VI.

ANTÉNY PRO VKV

Antény pro VKV jsou vizitkou, která oznamuje, že „zde bydlí nějaký OK". Tento efekt však zdaleka není prvním hlediskem pro stavbu VKV antén. Následující odstavce ukazují, kolik problémů může být u tak „jednoduché" věci, jako je anténa.

Mimo základní poznatky o funkci antén je opět uvedena řada praktických příkladů pro jejich stavbu. I připojení antény patří k závažnosti celé problematiky.

A

Základní anténní technika

VI. – 1. ÚVOD

Úlohou antény je měnit elektrickou energii získanou vysílačem na elektromagnetické vlny vyzařované do prostoru. Podobná anténa mění na přijímací straně elektromagnetické vlny, které na anténu dopadají, zpět na elektrickou energii, která může být detekována přijímacím zařízením. Je mnoho různých způsobů provedení antén, jejichž popis by zaplnil celou knihu. V této kapitole se budeme zabývat pouze typy antén, důležitými pro amatérskou techniku VKV.

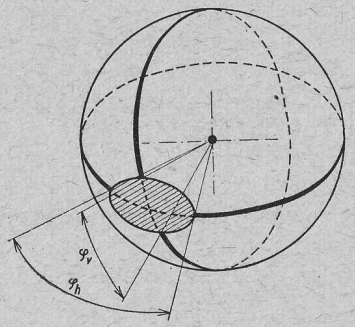
Vlastnosti antény používané pro příjem jsou téměř shodné s vlastnostmi téže antény, používané pro vysílání – jako zářič. Tak například anténní směrový diagram pro příjem se shoduje s diagramem pro vysílání. Směrovost, účinná plocha a impedance mají pro obojí týž význam. Tento poznatek nazýváme *teorém reciprocity*. K problémům šíření vln nám tento teorém říká i to, že při spojení mezi dvěma body lze očekávat stejné podmínky co do síly pole, optimálního kmitočtu a dalších vlastností spojení nezávisle na tom, který z obou bodů je přijímací a který vysílací.

VI – 2. SMĚROVOST A ZISK ANTÉNY

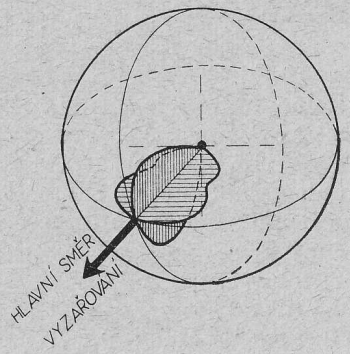
Směrovost vysílací antény je schopnost soustředit vyzařování vln do určitého směru. Všechny běžné antény vykazují určitý stupeň směrovosti. Čistě nesměrová anténa, tj. taková, která vyzařuje vlny všemi směry naprosto stejně, se jmenuje *izotropní anténa* (*izotropní zářič*) a její existence je pouze teoretická. Představíme-li si takovou anténu ve středu koule, pak bude intenzita pole po celém vnitřním povrchu koule stejná.

Jestliže tedy soustředíme vyzařování antény do určitého směru tak, aby z vnitřního povrchu koule byla ozářena pouze část, například eliptického tvaru (obr. 6–01), nutně musí být síla pole v ploše

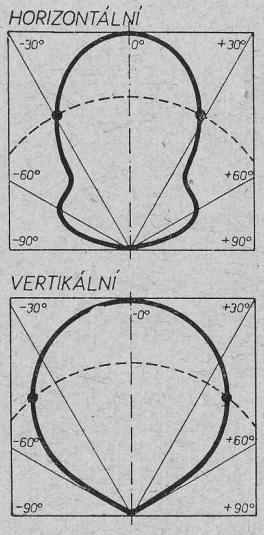
elipsy větší, a to v poměru celého povrchu koule k ploše elipsy (na obrázku vyčárkováno). Ke stejnému výsledku dojdeme porovnáním výkonu přiváděného na nesměrovou anténu s výkonem přiváděným na anténu s uvažovaným soustředěním vyzařování tak, aby v obou případech bylo dosaženo stejné síly pole. Tento poměr nazýváme *činitelem směrovosti* antény.



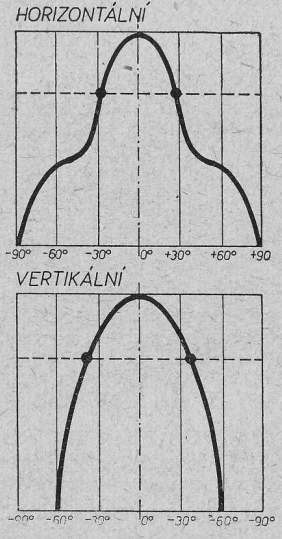
Obr. 6–01. Směrový účinek antény.



Obr. 6–02. Horizontální a vertikální směrový diagram.



Obr. 6–03. Směrový diagram kreslený v polárních souřadnicích.



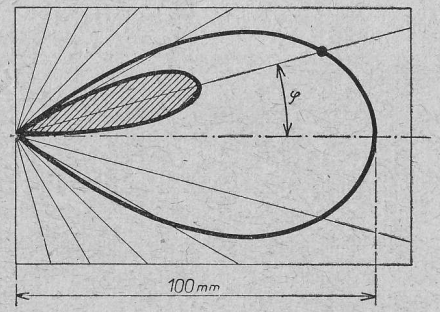
Obr. 6–04. Směrový diagram kreslený v pravoúhlých souřadnicích.

Uvedené vysvětlení pojmu činitele směrovosti antény se však poněkud liší od praktických údajů o anténě, poněvadž ozářená část vnitřku koule není zdaleka tak ostře ohraničena od neozářené části. Je nutno počítat s určitým plynulým přechodem i s určitou nerovnoměrností síly pole uvnitř ozářené plochy. Sledujeme-li sílu pole v různých bodech na kouli pro jednoduchost jen ve svislé a vodorovné rovině (viz obr. 6–02) a nanášíme-li na jednotlivé paprsky hodnotu síly pole v bodech, kde paprsky protínají kouli, dostaneme dvě křivky. Křivka ve vodorovné rovině je *vodorovným* (horizontálním) *směrovým diagramem* a křivka ve svislé rovině je *svislým* (vertikálním) *směrovým diagramem* antény. Na obrázku jsou plochy obou diagramů pro lepší názornost vyšrafovány.

Směrové diagramy však nekreslíme touto složitou formou, ale samostatně buď v polárních souřadnicích (obr. 6–03), nebo někdy v pravoúhlých souřadnicích, kde je úhel směru rozvinut do osy x (obr. 6–04). Z obou příkladů kreslení směrových diagramů antén vidíme, že síla pole pro různé směry je různá.

Ze směrových diagramů můžeme stanovit i *šířku svazku* účinného působení antény. Poněvadž svazek soustředěného vyzařování antény není ostře ohraničen, jak již bylo řečeno, je nutno stanovit mez poklesu síly pole, která svazek ohraničuje. V praxi se používá hodnoty poloviční výkonu, tj. o 3 dB méně, to znamená v míře síly pole snížené na sedm desetin $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$. Narýsujeme-li si na směrový diagram kružnici o poloměru 0,7 z maximální hodnoty vyzařování (ve vrcholu křivky), pak průsečníky s křivkou diagramu nám určí *směrovost* ve stupních (obr. 6–03).

Máme-li takto určeny směrové diagramy antény, nakreslíme si je na milimetrový papír, tak, aby největší hodnota síly pole souhlasila s některou zaokrouhlenou hodnotou měřítka, například 100 mm (obr. 6–05). Pak přepočteme jednu polovinu diagramu tak, že délku paprsků, tj. hodnoty síly pole v milimetrech, násobíme odmocninou cosinu příslušného úhlu směru (φ) a spočítáme plochu nového diagramu. Poměr plochy čtverce nad maximální hodnotou síly pole nepřepočíta-



Obr. 6–05. Stanovení absolutního činitele směrovosti.

né (tj. 100) k ploše nového diagramu nám udává *absolutní činitel směrovosti*. Jsou-li horizontální a vertikální diagramy odlišné, stanoví se činitel směrovosti ze střední geometrické hodnoty z obou vypočtených hodnot obou diagramů.

Jinak je možno stanovit činitele směrovosti jako poměr čtverce síly pole v hlavním směru vyzařování ke čtverci střední hodnoty pole v ostatních směrech.

$$S = \frac{E^2}{E^2_{str}} \qquad [6\text{–}01]$$

Použijeme-li pro porovnání izotropní antény, mluvíme o absolutním činiteli směrovosti (S_a). Pro půlvlnný dipól je $S_a = 1{,}64$, což odpovídá 2,15 dB. V praxi však používáme jako vztažné antény právě tohoto půlvlnného dipólu, poněvadž jej lze pro praktické porovnávací měření také použít. Pak mluvíme o *relativním činiteli směrovosti* (S_p). Absolutní činitel se v tomto případě stanoví:

$$S_a = 1{,}64\ S_p \qquad [6\text{–}02]$$

nebo v decibelech

$$S_a = S_p + 2{,}15 \quad [\text{dB}]. \qquad [6\text{–}03]$$

Účinnost antény η_A je poměr vyzařovaného výkonu k přivedenému příkonu.

$$\eta_A = \frac{P_{vyz.}}{P}. \qquad [6\text{–}04]$$

Půlvlnný dipól má účinnost 1, ale složité systémy mají vlivem ztrát účinnost nižší – 0,6 až 0,8, tj. vyzářený výkon je pouze 60 až 80 % z přivedeného příkonu. Je přirozené, že jak činitel směrovosti, tak účinnost antény mají vliv na výsledný efekt antény. Zavádíme proto pojem zisk antény (G), který stanovíme jako poměr výkonů přivedených na porovnávací anténu (s účinností 1) k měřené anténě, které vyvolají v dostatečné (stejné) vzdálenosti, nejméně 10 λ, stejnou sílu pole.

$$G = \frac{P_o}{P}. \qquad [6\text{–}05]$$

(P_o = příkon přivedený porovnávací anténě, P = příkon měřené antény.) Měříme-li sílu pole při stejném příkonu obou antén, bude

$$G = \frac{E^2}{E_o^2}. \qquad [6\text{–}06]$$

(E = síla pole vyvolaná měřenou anténou, E_o = síla pole vyvolaná porovnávací anténou).

Z uvedeného plyne, že

$$G = \eta_A \cdot S, \qquad [6\text{–}07]$$

tj., že skutečný zisk antény je zpravidla menší než její činitel směrovosti; může se mu však blížit.

Zisk antény můžeme také stanovit ze směrových diagramů podle úhlů směrovosti. Známe-li horizontální i vertikální úhel vyzařování pro poloviční výkon, je zisk antény dán vzorcem:

$$G = \frac{32027}{\alpha_h \cdot \alpha_v} \qquad [6\text{–}08]$$

(α_h = horizontální úhel, α_v = vertikální úhel; obojí ve stupních; zisk vyjde v poměrném čísle – nikoliv v dB).

VI–3. ÚČINNÁ PLOCHA ANTÉNY

Často se setkáváme s *pojmem účinná plocha* antény (též efektivní plocha absorpce nebo efektivní otevření), který charakterizuje přijímací antény. Účinná plocha antény je část rovinné elektromagnetické vlny procházející anténou, která přenáší stejně veliký vysokofrekvenční výkon, jaký uvažovaná anténa zachycuje a převádí do dalšího zařízení. Je to vyjádření schopnosti antény, z jaké plochy dopadající vlny zachycuje záření. Je pochopitelné, že tato účinná plocha je především závislá na skutečných rozměrech antény; pro složené plošné antény (soufázové) je přímo úměrná jejich ploše. Pro půlvlnný dipól ve volném prostoru, dokonale přizpůsobený, je účinná plocha antény asi 13 % ze čtverce o straně rovné vlnové délce.

$$A_a \doteq 0{,}13\ \lambda^2. \qquad [6\text{–}09]$$

Toto odpovídá zhruba elipse o délkách os $\frac{1}{4}\lambda$ a $\frac{3}{4}\lambda$ podle obr. 6–06.

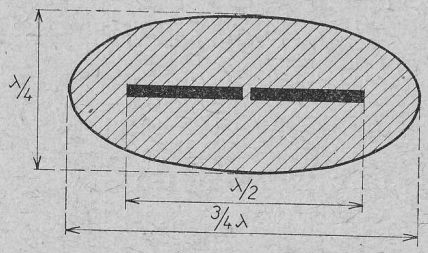
Účinná plocha jiných antén než je půlvlnný dipól, tj. antén s jiným ziskem, musí být jiná. Zvětšení zisku můžeme dosáhnout u přijímací antény pouze tím, že určitými prostředky umožníme zachycování vysokofrekvenčního výkonu z větší plochy elektromagnetické vlny. Pro tyto případy platí vztah

$$A = A_d \cdot G \doteq 0{,}13\ G\lambda^2, \qquad [6\text{–}10]$$

kde Ad je účinná plocha půlvlnného dipólu a G je zisk uvažované antény oproti půlvlnnému dipólu.

Účinná plocha antény je veličina velmi důležitá pro konstrukci antén. Především musíme dbát o to, aby v prostoru, kam zasahuje plocha, nebyly žádné předměty, které mohou elektromagnetickou vlnu nepříznivě ovlivnit. Při kombinaci několika antén na společnou podpěru zabráníme respektováním účinné plochy jednotlivých antén pozdějšímu zklamání.

Hlavní význam použití účinné plochy antény je při stavbě několikanásobných anténních soustav. Při optimální vzdálenosti dvou antén v soustavě (například dvě antény typu Yagi) mají se dílčí účinné plochy právě dotýkat. Vzdálenost větší než tato hodnota nepřináší dalších výhod, naopak rozměry antény zbytečně narůstají. Menší vzdálenost než je dotyk účinných ploch, tj. jejich vzájemné překrývání, způsobuje pokles celkového zisku.



Obr. 6–06. Účinná plocha antény.

K tomu, abychom si dovedli stanovit účinnou plochu antény a její vertikální a horizontální rozložení, pomohou nám již uvedené vztahy. Známe-li vertikální a horizontální směrový úhel vyzařování, můžeme stanovit i rozměry účinné plochy z následujících rovnic.

Pro kruhovou nebo eliptickou účinnou plochu, například u dvoupatrové antény Yagi, platí

$$d_h = 2\sqrt{\frac{A \cdot \alpha_h}{\pi \cdot \alpha_v}}, \qquad [6\text{–}11]$$

$$d_v = 2\sqrt{\frac{A \cdot \alpha_v}{\pi \cdot \alpha_h}} \qquad [6\text{–}12]$$

a pro obdélníkovou nebo čtvercovou účinnou plochu antény, charakteristickou pro mnohonásobnou soufázovou anténu, platí

$$d_h = \sqrt{\frac{A \cdot \alpha_h}{\alpha_v}}, \qquad [6\text{–}13]$$

$$d_v = \sqrt{\frac{A \cdot \alpha_v}{\alpha_h}}. \qquad [6\text{–}14]$$

Ve všech rovnicích d_h je horizontální rozměr účinné plochy (šířka), d_v je vertikální rozměr (výška); obojí vyjádřeno ve vlnových délkách, A je celková účinná plocha v λ^2; α_h α_v jsou horizontální a vertikální úhly vyzáření. Tyto rovnice jsou jednoduché a usnadní informativní výpočet, jsou-li postranní laloky směrových diagramů nejméně o 10 dB menší než hlavní směr vyzařování. Pro rychlé stanovení zisku a účinné plochy antény a úhlu vyzařování je určen nomogram na obr. 6–07.

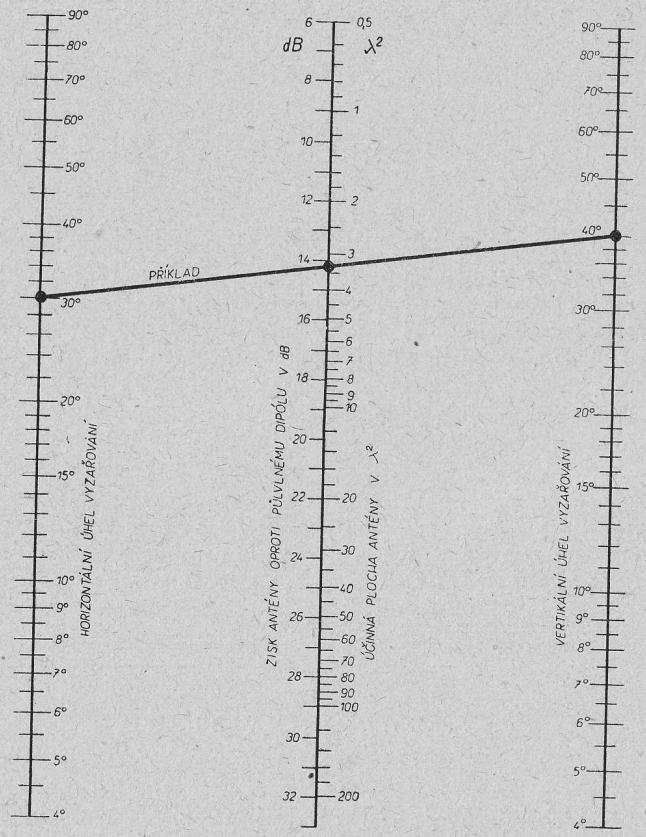
VI–4. ČINITEL ZPĚTNÉHO VYZAŘOVÁNÍ

Ze směrového diagramu antény lze také posoudit, v jakém poměru anténa vyzařuje kupředu a dozadu. Tento poměr, který jmenujeme *činitelem zpětného vyzařování* (nepoužívejme nepěkného výrazu předozadní poměr) má význam hlavně u dvou a tříprvkových antén. U těchto jde vlastně pouze o potlačení zpětného vyzařování, zatím co vyzařování kupředu zůstává se širokým úhlem. U antén víceprvkových s ostřejší směrovostí tento pojem ztrácí na významu, neboť takové antény mají zpravidla celý vějíř malých, vedlejších laloků na směrovém diagramu. V takovém případě jsou určité směry, kdy je vyzařování téměř nulové (mezi laloky), takže i vyzařování přesně zpět může být malé, ale sousední laloky mohou být daleko větší a naopak. Malý význam pojmu činitel zpětného vyzařování potvrzuje i to, že tvar a velikost zpětného vyzařování se značně mění s použitým kmitočtem.

VI–5. PŮLVLNNÝ DIPÓL

V předešlých odstavcích jsme se zajímali o některé vnější vlastnosti antén, o ty vlastnosti, které jsou pro použití v technice VKV důležité. Tyto vlastnosti jsou však závislé na typu i na provedení antén samotných a tomu jsou věnovány další odstavce.

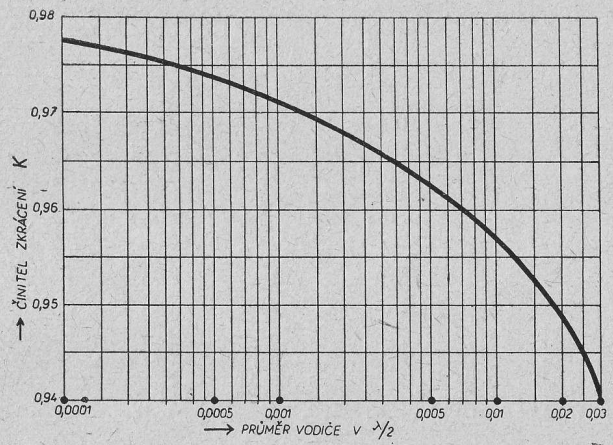
Jedním ze základních prvků antén pro VKV je *půlvlnná anténa*, zvaná *dipól* (*půlvlnný dipól*). V teorii antén považujeme dipól za elementární zářič, jehož vlastností se používá při studiu elektromagnetických polí. Půlvlnný dipól představuje skutečnou anténu (izotropní anténa je pojem pouze teoretický), jejíž vlastnosti jsou



Obr. 6–07. Nomogram závislosti účinné plochy antény a zisku na úhlech směrovosti.

celkem jednoduché a přesně definovatelné, a proto je vhodný jako porovnávací (*vztažná*) anténa pro vyjádření vlastností jiných druhů antén.

Má-li anténa odevzdávat do prostoru elektrickou energii s největší účinností, je nutné, aby byla v rezonanci s pracovním kmitočtem. Z teorie vedení je možno odvodit, že elektrická délka přímého vodiče v rezonanci je rovna polovině délky vlny (nebo jejím celistvým násobkům). Proto mluvíme o půlvlnném dipólu. Elektrická délka nekonečně tenkého vodiče s nulovým odporem a v pro-

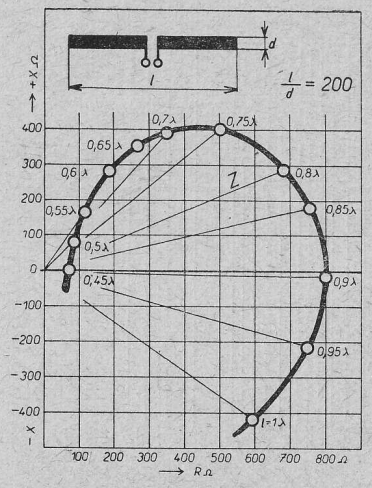


Obr. 6–08. Činitel zkrácení vodiče v závislosti na jeho průměru.

storu s dielektrickou konstantou rovnou nule je totožná s délkou geometrickou. Prakticky je vždy menší, a míru, jak se liší elektrická délka od geometrické, jmenujeme *činitelem zkrácení K*. Jak závisí činitel zkrácení antény na průměru vodiče, ze kterého je vyrobena, vyjadřuje diagram na obr. 6–08. Průměr vodiče je uveden v poměru k délce vlny. Čím je větší průměr vodiče, tím je pochopitelně větší i jeho kapacita. Je možno namítnout, že zesílením vodiče klesá jeho indukčnost, což naopak způsobuje zvětšení elektrické délky, ale zvětšení kapacity je větší než zmenšení indukčnosti.

Průměr vodiče dipólu má vliv i na další charakteristické hodnoty antény. Je to především *vyzařovací odpor*. Anténu můžeme považovat za spotřebič elektrické energie připojený ke zdroji (vf generátoru). Generátor tím zatížíme vyzařovacím odporem antény a ztrátovým odporem antény. Vyzařovací odpor je hodnota, kterou

můžeme zjistit pouze v přítomnosti proudu o rezonančním kmitočtu a je dána výkonem skutečně vyzářeným do prostoru a proudem přiváděným na anténu $R = \frac{P_v}{i^2}$. Kdybychom ideálním stíněním zcela zabránili vyzařování do prostoru, klesne vyzařovací odpor na nulu. Kromě vyzařovaného výkonu musíme přivést ještě výkon, který kryje ztráty způsobené elektrickým odporem vodiče a ztráty v izolaci. Součet všech ztrátových odporů je nutno připočítat k vyzařovacímu odporu. U běžných provedení VKV antén je ztrátový odpor prakticky zanedbatelný a mluvíme pak pouze o jediné hodnotě – vyzařovacím odporu.



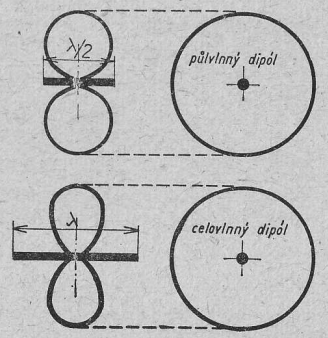
Obr. 6–09. Příklad závislosti impedance antény na kmitočtu.

Vyzařovacímu odporu někdy nesprávně říkáme impedance antény. Nesprávně proto, že impedance antény je komplexní veličina, mající reálnou a imaginární složku. Imaginární složka impedance antény způsobuje zvětšení impedance antény, ale pouze jalové, neboť se neprojeví zvýšením vyzářené energie. Tato imaginární složka je těsně spjata s kmitočtem, a to tak, že pro rezonanční kmitočet se rovná právě nule. Tedy pouze v tomto případě se kryje impedance antény s vyzařovacím odporem. Je-li kmitočet větší než rezonanční nebo je-li elektrická délka antény větší než půl vlny, má imaginární složka impedance kladné znaménko a říkáme, že má induktivní charakter. V opačném případě při záporném znaménku má kapacitní charakter. Poněvadž reálná složka a imaginární složka jsou k sobě kolmé, platí pro hodnotu impedance vztah

$$Z = R + jX = \sqrt{R^2 + X^2} \qquad [6\text{–}15]$$

(R je reálná složka, X je imaginární složka). Jak se mění obě hodnoty v závislosti na délce antény (geometrické) vyjádřené ve vlnových délkách, ukazuje na dipólu s určitým konečným průměrem vodiče obr. 6–09. Rezonance antény je v těch bodech křivky, která leží na vodorovné ose, tj. v případech, kdy je imaginární složka rovna nule. Z obrázku je patrno, že pro první rezonanci (půlvlnný

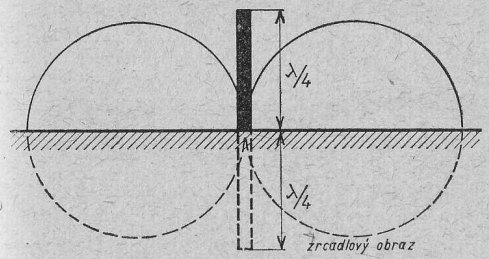
dipól), kdy je jeho délka 0,45 λ, je impedance, a tedy i vyzařovací odpor, kolem 70 Ω. Při prodlužování dipólu obě složky nejdříve rostou, pak imaginární složka opět klesá, až při druhé rezonanci (celovlnný dipól), kdy je délka kolem 0,9 λ, je imaginární složka znovu nulová, ale vyzařovací odpor dosáhl hodnoty 800 Ω. To byl příklad. V praxi se setkáváme s půlvlnnými dipóly, jejichž impedance se pohybuje s malými odchylkami kolem 72 Ω (ideální dipól má impedanci 73,13 Ω). Celovlnné dipóly jsou vlastně již složenými anténami, neboť je lze pokládat za dvojice půlvlnných dipólů napájených na konci. Impedance takovýchto antén je vysoká. Příklad na uvedeném obrázku platí pro velmi tlustý vodič. Impedance koncového napájení nebo celovlnného dipólu se velmi značně mění v závislosti na průměru vodiče a dosahuje hodnoty několika tisíc ohmů, a proto se výborně hodí pro mnohonásobné soufázové systémy, kde jsou jednoduché antény spojeny paralelně.



Obr. 6–10. Směrové diagramy půlvlnného a celovlnného dipólu.

Směrový diagram jednoduchého půlvlnného dipólu v rovině osy vodiče tvoří zhruba dvě dotýkající se kružnice (celovlnný dipól má protáhlou osmičku) a v rovině kolmé k ose vodiče je směrovým diagramem jediná kružnice se středem ve středu vodiče (i u celovlnného dipólu) obr. 6–10.

K základním tvarům jednoduchých antén patří čtvrtvlnný zářič. Prakticky se s ním setkáváme u svislých uzemněných antén. Nejde vlastně o nic jiného než o polovinu normálního půlvlnného dipólu, umístěnou kolmo k vodivé rovině. Vodivá rovina, ať je to zemský povrch, nebo jiná vodivá rovina, uměle vytvořená, je elektrickým zrcadlem, v němž se objeví jako „zdánlivý obraz“ chybějící druhá polovina normálního dipólu. Všechny vlastnosti ta-



Obr. 6–11. Základní princip čtvrtvlnného zářiče.

kové čtvrtvlnné uzemněné antény tomu odpovídají (obr. 6–11). Směrový diagram je polovina směrového diagramu dipólu, vyzařovací odpor je rovněž poloviční.

VI–6. REFLEKTOR A DIREKTORY

Vraťme se k půlvlnnému dipólu a k jeho dalším vlastnostem. Uspořádáme-li, pro další vysvětlení, dva stejné půlvlnné dipóly rovnoběžně vedle sebe tak, abychom mohli měnit jejich vzdálenost, jejich napáječe uspořádejme tak, abychom mohli měnit jejich vzájemnou fázi. Uděláme-li řadu pokusů s různými fázovými poměry a s různými vzdálenostmi, shledáme, že se vlivem rozdílnosti fází i vlivem rozdílností vzdálenosti obou zářičů budou měnit i vyzařovací diagramy.

Rozbor těchto pokusů vede k závěru, že směrové účinky dvojice dipólů o různé vzájemné vzdálenosti se řídí hodnotou této vzdálenosti a rozdílem fází proudů v obou dipólech. Je-li napájení obou dipólů soufázové i protifázové, mění se původní nesměrová charakteristika (v rovině kolmé k anténě) jediného dipólu na dvousměrovou charakteristiku, u které vzájemný poměr obou směrů je závislý právě na uvedených hodnotách. Jednosměrné vyzařování nastane, když v zářičích vzdálených $\frac{\lambda}{4}$ budou proudy vzájemně posunuty o čtvrt cyklu. Předpokládejme, že proud v zářiči I. (obr. 6–12) předbíhá ve fázi o 90° proud protékající v zářiči II. Vlna, která vyšla z prvního zářiče směrem k druhému zářiči, dostihne jej v čase

$$t = \frac{\lambda}{4\,C} = \frac{T}{4}. \qquad [6\text{–}16]$$

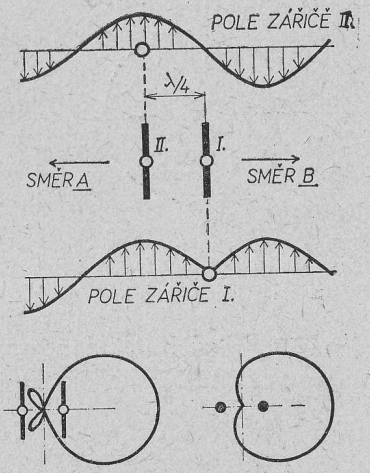
V tuto dobu proud v druhém zářiči bude mít takovou fázi, jakou měl proud v prvém zářiči, který danou vlnu vybudil. Proto vlna vyzařovaná v tuto dobu druhým zářičem bude mít stejnou fázi jako vlna, která přišla od prvního zářiče. Tyto vlny se sečtou a ve směru *A* nastane zesílení záření.

V obráceném směru *B* vzniknou jiné poměry. Když vlna vyzařovaná druhým zářičem dostihne první zářič, uplyne ještě čtvrt cyklu. Proud v prvním zářiči v tomto okamžiku již předběhl o půl cyklu vlnu vytvořenou druhým zářičem. Vlny ve směru *B* budou proto v protifázi a budou se odečítat, tj. dojde k omezení vyzařování. V ostatních směrech dojde v důsledku různosti délky dráhy

buď k částečnému potlačení, nebo částečnému zesílení výsledné vlny.

Charakteristika směrovosti takovéto dvojice je na obr. 6–12. Z obrázku je patrno, že zářič, ve kterém proud fázově předbíhá proud druhého zářiče, jakoby odrážel vyzařování druhého zářiče. Zářič s touto funkcí se nazývá *reflektor*.

Směrovost může být získána i při jiných vzdálenostech mezi zářiči, ale pak musí být upravena různost vzájemných fází proudů. Je-li vzdálenost menší než čtvrt vlny a mají-li se setkat vlny na reflektoru s opačnou fází, musí proud v reflektoru předbíhat proud v anténě o úhel větší než 90°. Při takto zmenšené vzdálenosti obou zářičů nastane také ve směru vyzařování určitý fázový rozdíl, který způsobuje, že postranní vyzařování bude důrazněji potlačeno. V tomto případě bude diagram vyzařování užší a tím vzroste i zisk této dvojice.

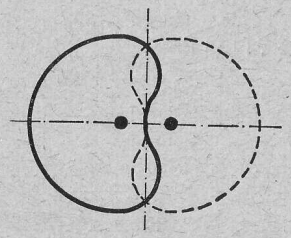


Obr. 6–12. Vysvětlení činnosti pasivního prvku.

Vlna vyzařovaná prvním zářičem a dopadající na reflektor vybudí v něm velký proud. Bude-li vybuzený proud předbíhat fázově o 90° proud v prvním zářiči, bude reflektor plnit svou funkci i bez samostatného napájení. Potřebný fázový posuv je vždy možno nastavit naladěním reflektoru změnou jeho délky. Změnou délky může půlvlnný vodič představovat pro vybuzené proudy buď ohmický nebo kapacitní nebo induktivní odpor. Následkem toho proudy v takto upraveném reflektoru budou mít odpovídající fázi ve vztahu k budicí vlně. Protože proud vybuzený reflektorem bude vždy o něco menší než proud v prvním zářiči, nepodaří se dosáhnout úplného potlačení zpětného vyzařování. Proto diagram takovéto dvojice bude vždy o něco horší než s napájeným reflektorem.

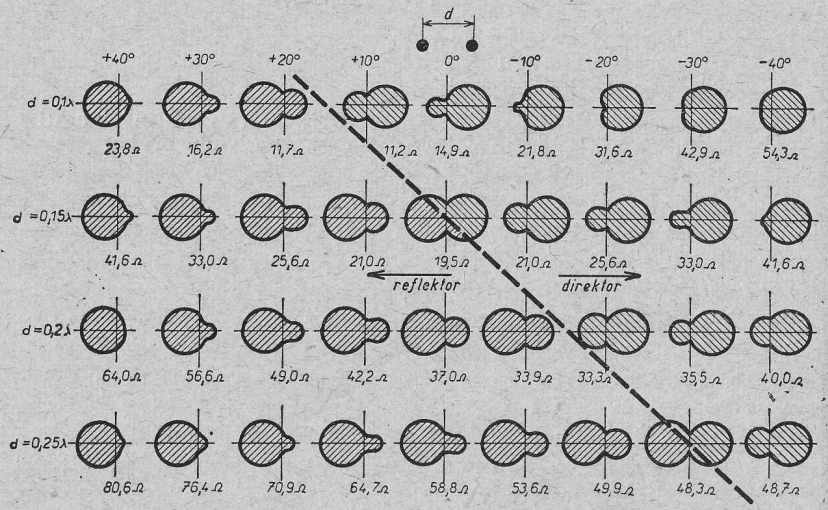
Reflektory, které nepotřebují samostatné napájení a které se budí polem vyzařovaným prvním zářičem, se jmenují *pasivní* na rozdíl od reflektorů napájených, nazývaných *aktivní*. Antény vybavené pasivními reflektory mají podstatně jednodušší systém napájení a snadnější možnost naladění.

Rozbor systému dvojice zářič-reflektor ukázal dále, že úlohu reflektoru plní ten vodič, ve kterém fáze proudu předbíhá fázi proudů v druhém vodiči. Je lehko nastavit oba vodiče tak, že si vymění úlohy například směru proudu v jednom z nich. Diagram antény změní svou orientaci o 180° (obr. 6–13). Totéž je možno uskutečnit i v dvojici zářič-pasivní prvek. Ukazují se zde velmi široké možnosti, protože tvar diagramu se řídí současně vzdáleností mezi vodiči a naladěním pasivního prvku. Například zmenšení vzdáleností vede ke snížení vyzařovacího odporu dvojice, ale zlepší se potlačení zpětného vyzařování. Tyto přednosti ukazuje série směrových diagramů na obr. 6–14, provedených pro různé vzdálenosti a různá naladění pasivního prvku.



Obr. 6–13. Změnou fáze lze měnit směrové vlastnosti dvojice prvku.

Z obrázku je patrno, že pro určitou skupinu kombinací naladění (tj. délky) a vzdáleností projevuje se pasivní prvek jako reflektor, pro určitou skupinu zůstává vyzařování oboustranné a pro zbytek kombinací zesiluje pasivní prvek vyzařování na svou stranu a je nazýván direktorem. Na obrázku je zakreslena čára rozdělující činnost reflektoru a direktoru. Na pravé straně od této čáry je pasivní prvek direktorem a na levé straně reflektorem. Z obrázku je dále patrno, že při menší vzdálenosti obou vodičů je potlačení zpětného vyzařování lepší než při větší vzdálenosti. To způsobuje účinnější vybuzení proudu v pasivním prvku.

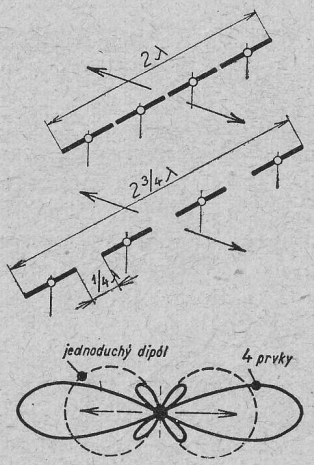


Obr. 6–14. Přehled směrových diagramů pro různé vzdálenosti prvků a různá fázová posunutí.

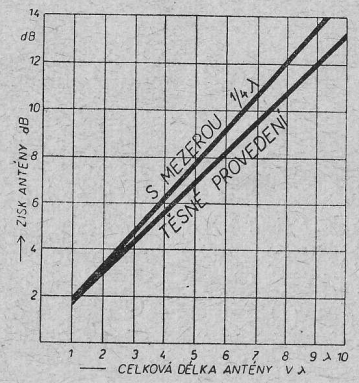
VI–7. VÍCEPRVKOVÉ ANTÉNNÍ SOUSTAVY

Při větším počtu prvků je nesmírné množství kombinací rozměrů, přičemž vzájemné indukčnosti a kapacity prvků situaci ještě natolik kombinují, že není prakticky možné řešení výpočtem. Antény s pasivními prvky se proto řeší převážně pouze experimentálně.

Ze základních jednoduchých prvků je možno kombinovat složitější anténní soustavy. Vede nás k tomu snaha soustředit vyzařování jedním směrem pro získání vyšší účinnosti vysílacího a přijímacího zařízení. V radioamatérské praxi z toho plynou i určité nesnáze antén, poněvadž směrová anténa vyžaduje otáčení. Rozměry základních prvků pro amatérská pásma VKV dávají možnost realizace i v amatérských poměrech. Rozhodnutí pro to či ono provedení bývá většinou ovlivňováno více místními možnostmi než obtížností i nákladností vlastní stavby. V dalších odstavcích jsou



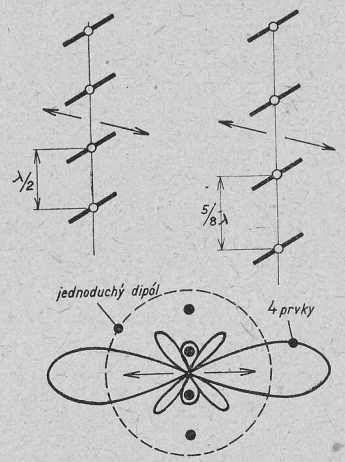
Obr. 6–15. Kolineární uspořádání dipólů.



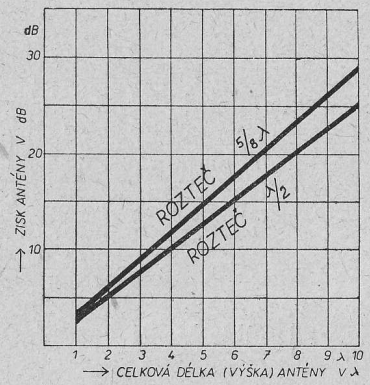
Obr. 6–16. Vliv vzdálenosti dipólů kolineární soustavy.

probrány některé hlavní druhy anténních soustav i s praktickými příklady.

Seskupíme-li dva nebo více půlvlnných dipólů za sebou do jedné přímky a zapojíme je všechny tak, aby byly napájeny se stejnou fází, bude směrová charakteristika v rovině osy vodičů křivkou značně protáhlou (obr. 6–15). Postranní laloky směrového diagramu jsou zbytky vnějších složek vyzařování krajních prvků, které se nemohly přímo navzájem zrušit. Této anténě říkáme také



Obr. 6–17. Rovnoběžné uspořádání dipólů.



Obr. 6–18. Vliv vzdálenosti dipólů rovnoběžné soustavy.

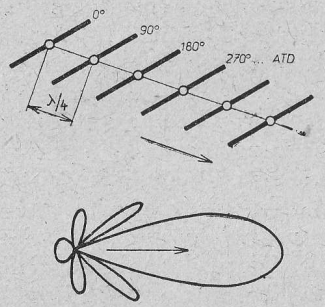
kolineární. Směrový diagram v rovině kolmé k ose vodičů zůstává kruhový jako u jednoduchého dipólu.

Poznatky, které máme o účinné ploše antény, nám napovídají, že není výhodné anténní prvky skládat těsně vedle sebe. Optimální mezery mezi prvky mají rozměr $\lambda/4$. Diagram na obrázku porovnává zisk antény v závislosti na její celkové délce ve vlnových délkách pro těsně montované dipóly a pro montáž s mezerou $\lambda/4$.

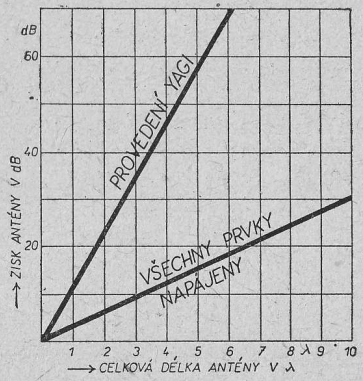
Půlvlnné dipóly je možno uspořádat vedle sebe rovnoběžně. I zde je podmínkou soufázové napájení. V tomto rovnoběžném bočném uspořádání se však zásadně mění směrovost v rovině kolmé k anténě, a to z původní kružnice na dvousměrovou charakteristiku danou dvěma hlavními laloky a několika postranními podle počtu prvků (obr. 6–17). Směrovost v rovině určené osou antény a hlavními směry vyzařování, vyjádřená u jednoduchého dipólu

přibližně dvěma kružnicemi, se u složené rovnoběžné soustavy rovněž značně protahuje. Vzájemná vzdálenost jednotlivých dipólů může být $\frac{\lambda}{2}$, ale může být i větší, podle stejného poznatku jako u antény kolineární. Při stejných rozměrech soustavy, tj. při stejné její délce má soustava s většími vzdálenostmi poněkud vyšší zisk (obr. 6–18).

Rovnoběžně umístěné dipóly nemusíme vždy připojovat soufázově. Bude-li taková řada prvků vzdálených od sebe o čtvrtinu



Obr. 6–19. Rovnoběžně umístěné dipóly nápájené postupnou vlnou



Obr. 6–20. Porovnání antény s postupnou vlnou s anténou Yagiho.

délky vlny, napájená postupně od jedné strany tak, že každý další prvek bude vždy buzen proudem posunutým o fázový úhel 90°, změní se úplně směrová charakteristika této soustavy. Diagram směrovosti bude mít maximum pouze na jedné straně ve směru osy celé soustavy dipólů (obr. 6–19).

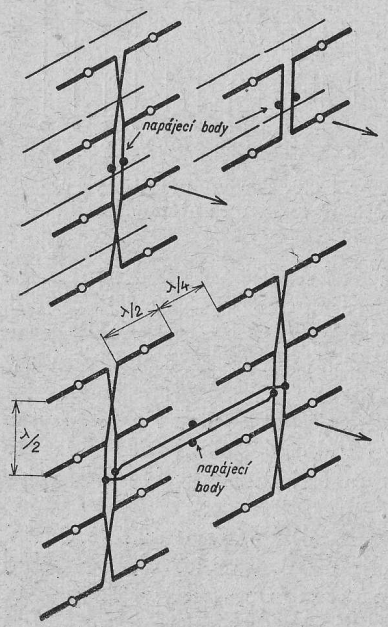
Připojení antény v jediném „ohnisku", tzv. antény s *postupnou vlnou* na jejím konci, je jistě velmi výhodné. Poněvadž má toto uspořádání vyzařovací diagram pouze jednostranný, je i zisk v tomto případě vyšší (obr. 6–20).

Dr. *Hidetsugu Yagi* (Japonsko) přispěl k dalšímu zlepšení tím, že anténu napájel pouze v jediném dipólu a ostatní prvky ponechal nepřipojené a buzené pouze vazbou zářením od předešlého prvku, jak jsme si dříve podrobněji vysvětlili. Anténa takto uspořádaná má přes uvedené zjednodušení značně vyšší zisk proti anténě se všemi napájenými prvky. A nyní porovnejme všechny čtyři druhy

antén podle uvedených diagramů. Budou-li mít všechny druhy stejnou velikost v míře zabíraného prostoru, bude mít anténa typu Yagi největší zisk. Totéž platí, budeme-li uvažovat stejnou váhu celé soustavy.

VI–8. POROVNÁNÍ ANTÉNNÍCH SOUSTAV

Položíme si otázku, kdy použít jiné antény a proč se vůbec nepoužívá pouze typu Yagiho. Odpověď je jednoduchá a tkví v rozdílnosti směrových charakteristik jednotlivých provedení. Pro potřebu zcela nesměrové antény ve vodorovné rovině, ale se zcela nízkým úhlem otevření ve svislém směru použijeme kolineární anténu uspořádanou svisle. Čím bude delší, tím směrovější bude ve svislém směru a tím vyšší bude i její zisk. Její polarizace je však svislá. A tak nejrůznějšími kombinacemi přímkového a rovnoběžného řazení prvků lze směrovost téměř libovolně měnit. Soufázové antény dále doplňujeme téměř pravidelně stejným počtem pasivních prvků s funkcí reflektorů. Na obrázku 6–21 je několik příkladů různých soustav soufázových antén a v tabulce je uveden zisk v závislosti na počtu dipólů v jedné řadě a na počtu rovnoběžných řad (tabulka platí pro soustavu s reflektory).



Obr. 6–21. Několik příkladů soufázových antén.

Jinak je to však s anténou Yagiho. Její směrová charakteristika je úzká ve svislé i vodorovné rovině (čím delší anténa, tím užší) i když nejsou stejné. Podpořit tu či onu směrovost můžeme pouze uspořádáním dvou i více antén nad sebou (patrové systémy) nebo vedle sebe, případně oběma způsoby.

Vlastní provedení Yagiho antény je však náročnější, má-li

Tabulka zisků soufázových kombinací antén (s reflektory)

(v dB nad půlvlným dipólem)

Počet prvků v řadě (zářičů)

Počet řad zářičů	1	2	3	4	5	6	7	8
1	3	4,8	6,4	7,6	8,6	9,5	103,3	10,9
2	7	8,8	10,4	11,6	12,6	13,5	14,3	14,9
3	8,5	10,3	11,9	13,1	14,1	15	15,8	16,4
4	9,8	11,6	13,2	14,4	15,4	16,3	17,1	17,7
5	10,8	12,6	14,2	15,4	16,4	17,3	18,1	18,7
6	11,5	13,3	14,9	16,1	17,1	18	18,8	19,4
7	12,2	14	15,6	16,8	17,8	18,7	19,5	20,1
8	12,7	14,5	16,1	17,3	18,3	19,2	20	20,6
9	13,2	15	16,6	17,8	18,8	19,7	20,5	21,1
10	13,7	15,5	17,1	18,3	19,3	20,2	21	21,6
11	14,1	15,9	17,5	18,7	19,7	20,6	21,4	22
12	14,5	16,3	17,9	19,1	20,1	21	21,8	22,4

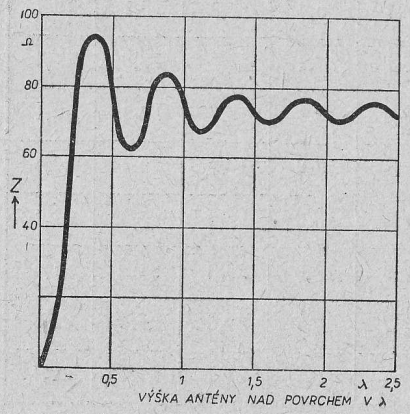
mít skutečně ty přednosti, o kterých se mluví. Na rozdíl od soufázových antén, kde jsou rozměry prvků a jejich vzdálenosti naprosto stejné a pravidelné, Yagiho anténa je v tomto směru zcela nepravidelná. Je řada kombinací vzdálenosti jednotlivých direktorů dávajících dobrý výsledek.

Kolem Yagiho antén je ještě hodně nejasností. Teoretické zpracování pro výpočet zatím chybí a údaje, které se kdy objevují, se opírají v podstatě o praktické experimenty. Tím si můžeme i vysvětlit často diametrální názory na tento výkonný druh antény. Tak se například dříve tvrdilo, že nemá smyslu budovat Yagiho anténu s mnoha prvky, a to proto, že nebyly zkušenosti s jejich dimenzováním a umísťováním. Dnes se můžeme i setkat s anténou pro dálkový VKV příjem, mající 150 direktorů. I tvrzení o extrém-

ní úzkopásmovosti této antény je již překonáno, neboť právě rozměry direktorů je možno značně ovlivnit šíři pásma. Již uvedený příklad antény se 150 direktory má šíři pásma 30 %.

VI–9. VYZAŘOVACÍ ODPOR SLOŽENÝCH ANTÉN

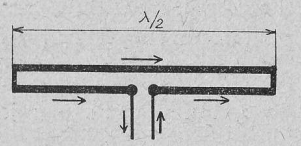
Vyzařovací odpor dipólu se mění přiblížením k jinému vodiči nebo k vodivé ploše. Prakticky uvažujeme dva případy. První je vliv výšky antény nad povrchem země, střechy apod. Tohoto vlivu se z hlediska impedance nemusíme obávat, pokud vzdálenost neklesá pod čtvrtinu délky vlny (obr. 6–22). Jinak je tomu z hlediska vlastního vyzařování a šíření – o tom v kapitole o šíření. Přítomnost pasivních prvků značně ovlivňuje i samotný zářič. Především klesá jeho impedance, a to v závislosti na vzdálenosti pasivních prvků a také na jejich ladění. Pasivní prvky také poněkud rozlaďují zářič, to znamená, že délka zářiče musí být při přítomnosti pasivních prvků poněkud opravena proti hodnotě samotného zářiče ve volném prostoru. Je možno sestrojit na základě řady měření množství diagramů, které vyjadřují dílčí závislosti například impedance dipólu na vzdálenosti reflektoru při různých vzdálenostech direktoru. Řadu těchto grafů naleznete v příručce M. Českého: Televizní přijímací antény. Průměrně lze počítat s tím, že impedance víceprvkové antény bude menší než třetina impedance samotného zářiče. Různé prameny se shodují na hodnotě 20 ohmů (je-li zářičem v soustavě jednoduchý půlvlnný dipól).



Obr. 6–22. Vliv výšky dipólů nad vodivým povrchem na jeho impedanci.

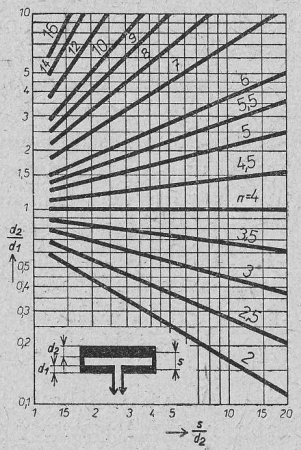
Velikost vyzařovacího odporu je veličina velmi důležitá. Ze základů radiotechniky víme, že nejlepšího využití výkonu zdroje dosáhneme při rovnosti výstupní impedance a zatěžovací impedance. Problém by byl jednoduchý, kdybychom mohli připojit anténu

přímo na výstup vysílače, což děláme velmi zřídka přesto, že by to bylo velmi výhodné. Napájecí vedení, kterým spojení mezi vysílačem a anténou zprostředkujeme, nám podstatně problém komplikuje, poněvadž jsme odkázáni pouze na určité druhy materiálu celkem s malým výběrem. Každou hodnotu impedance napáječe pro VKV techniku nelze amatérsky improvizovat z běžných vodičů. Vyvstává nám tím problém volit impedanci antény podle daného napáječe. K tomu cíli vede několik cest. První je volit takovou konstrukci antény, která má široké možnosti změny impedance. Touto konstrukcí je skládaný dipól. Spojíme-li konce běžného půlvlnného dipólu rovnoběžným vodičem o stejném průměru (obr. 6–23), zjistíme, že se okamžitá hodnota proudu vlastně rozdělí do dvou vodičů (jde o stojaté vlny) – polovina teče původním dipólem a polovina přidaným vodičem, a to stejným směrem; protože jsou oba vodiče vzhledem k napájecím bodům spojeny za sebou, musí být výsledná impedance čtyřnásobná proti jednoduchému dipólu.

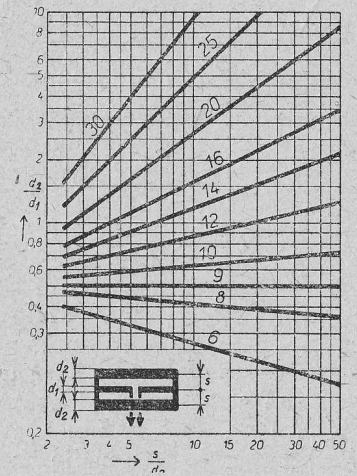


Obr. 6–23. Proudy ve skládaném dipólu.

Kdybychom podobným způsobem připojili ještě jeden rovnoběžný vodič, rozdělil by se proud na tři vodiče a výsledná impe-



Obr. 6–24. Transformace impedance skládaného dipólu volbou rozměrů.



Obr. 6–25. Transformace impedance trojitého dipólu volbou rozměrů.

dance by byla ještě větší. Při zachování stejných průměrů vodičů vyroste impedance několikanásobných skládaných dipólů na hodnotu

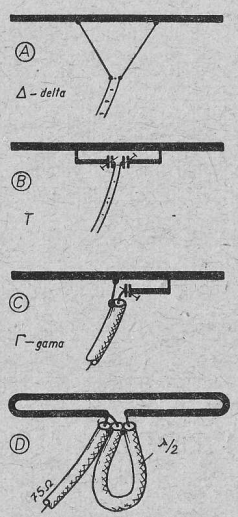
$$Z = Zd \cdot n^2 \qquad [6\text{–}17]$$

(Zd = impedance jednoduchého dipólu, n je celkový počet paralelních vodičů včetně původního dipólu).

Měníme-li průměry jednotlivých vodičů, bude se výsledná impedance odchylovat od hodnoty vypočtené uvedeným jednoduchým vztahem. Pokud zůstávají průměry všech vodičů stejné, není jejich vzdálenost kritická (obvykle je 4 až 6krát větší než průměr vodičů). Jsou-li však průměry vodičů různé, musíme při hledání hodnoty impedance vycházet jednak z poměru obou průměrů vodičů $\frac{d_2}{d_1}$ a z poměru rozteče obou vodičů k průměru přidaných vodičů $\frac{S}{d_2}$

Oba diagramy na obrázcích 6–24, 6–25, podle kterých vypočteme násobek impedance jednoduchého dipólu, ukazují, v jak širokých mezích je možno měnit impedanci skládaných dipólů.

V dnešní době málokterý amatér použije pro VKV anténu dvoudrátového napáječe zhotoveného pomocí distančních příček (žebříček). Brání tomu zcela praktické důvody. Prostě – dnes je na běžném trhu jak koaxiální kabel, tak i třistaohmová dvoulinka (snad i 240) a dokonce i dvoulinka stíněná.



Obr. 6–26. Běžné způsoby impedančního přizpůsobení.

Pro použití dvoulinky je výhodné použití skládaného dipólu, ovšem s patřičným rozdílem v průměrech vodičů. Toto uspořádání je výhodné i tam, kde používáme několikanásobných antén s paralelně spojenými zářiči. Dvoulinku je možno napojit i pomocí tak zvaného přizpůsobení delta (obr. 6–26–A). Velmi osvědčený způsob je pomocí přizpůsobení T (obr. 6–26–B). Použití paralelních krátkých vodičů ve tvaru bočníků vnáší do soustavy induktivní složku, kterou je nutno vyvážit vloženými kondenzátory.

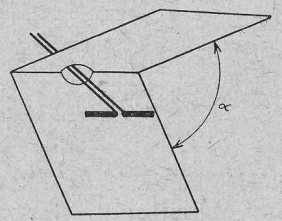
Lze předpokládat, že většina amatérů použije koaxiálního napáječe, který má určité výhody, i když je nákladnější. Jeho připojení lze nejjednodušeji provádět přizpůsobením gama (obr. 6–26–C), které je

polovinou již uvedeného T. Přizpůsobení gama nepotřebuje již žádnou další symetrizaci, která je jinak při použití koaxiálního napáječe nutná. Symetrizací půlvlnovým vedením lze nahradit impedanční přizpůsobení 1 : 4 (obr. 6–26–D).

VI–10. ZVLÁŠTNÍ DRUHY REFLEKTORŮ

Reflektory anténních soustav je možno sestavit z více prvků. Praktické zkoušky ukazují, že použití například dvou reflektorů nad sebou (jeden nad úrovní a druhý pod rovinou vlastní antény) má příznivější vlastnosti. Vyplývá to z toho, že zasahují do prostoru mimo účinnou plochu zářiče a umožňují tak získávat energii z větší plochy než reflektory umístěné s anténou v jedné rovině.

Více rovnoběžných reflektorů s malým rozestupem (max. 0,1 λ), seskupených do roviny rovnoběžné se zářičem, tvoří *plošný reflektor*. Lze jej nahradit rovinnou vodivou deskou nebo vodivou sítí. Vzdálenost mezi deskou a půlvlnným dipólem se volí v rozmezí 0,1–0,3 λ. Maximum vyzařování je ve směru kolmém k rovině tohoto reflektoru s činitelem směrovosti asi 6 dB.



Obr. 6–27. Základní uspořádání úhlového reflektoru.

Rovinných reflektorů se používá ve VKV technice jako náhrady za reflektorovou soustavu zejména u mnohonásobných soufázových soustav dipólů pro získání jednosměrového vyzařování. Toto uspořádání má tu výhodu, že je není nutno ladit. Jediným rozměrem, který se musí nastavit, je vzdálenost antén od roviny reflektorů. Tato vzdálenost může být lichým počtem čtvrtvlnové délky nebo může být menší než čtvrt vlny. Nastavení vzdálenosti není kritické.

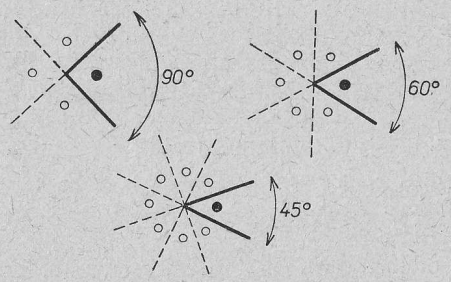
Vytvoříme-li reflektor ze dvou vodivých desek rovnoběžných se zářičem a navzájem svírajících určitý úhel α (obr. 6–27), zvětší se podstatně směrovost soustavy. Toto uspořádání je pojmenováno *úhlový reflektor*, podle zahraničních pramenů někdy též *rohový reflektor*. Je-li úhel reflektoru roven $\frac{180°}{n}$, kde n je celé číslo, může se účinek vysvětlovat podle zrcadlových obrazů (obr. 6–28). Při úhlu 90° musíme uvažovat tři obrazy, při 60° pět obrazů a při 45°

sedm obrazů. Směrový diagram úhlového reflektoru je velmi příznivý, prakticky bez postranních laloků (obr. 6–29). Pro každý úhel otevření reflektoru je možno vyhledat optimální vzdálenost zářiče od hřbetu reflektoru. Pro nejlepší využití soustavy je nutné, aby šířka reflektorových ploch byla o vzdálenost zářiče od hřbetu větší než půl vlny $\left(š = \frac{\lambda}{2} + r \right)$ a délka ploch 3 až 4krát větší než vzdálenost zářiče od hřbetu

$$3\,r < l > 4\,r).$$

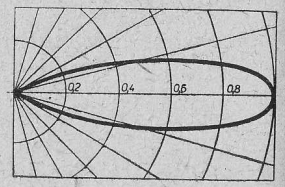
Závislosti činitele směrovosti a vyzařovacího odporu jsou na diagramech č. 6–30, 6–31.

Celistvý reflektor lze úspěšně nahradit mříží z rovnoběžných vodičů s roztečí maximálně desetina vlnové délky. Reflektor je možno zhotovit i z kovové sítě nebo z perforovaného plechu, nepřevyšují-li největší rozměry otvorů hodnotu 0,1 λ. Je nutno připomenout, že úhlový reflektor (rovněž rovinný reflektor) nejsou pasivními prvky ve smyslu poznatků z předešlých odstavců, tj. jejich délka ve směru polarizace zářiče nemusí být nikterak kriticky naladěna vzhledem k pracovnímu kmitočtu. Naopak, tento rozměr musí být prostě dostatečně veliký, aby dosáhl přibližně účinku nekonečně dlouhých vodičů. Toho je však již dosaženo, přesahuje-li nepatrně rozměr účinné plochy zářiče ve směru polarizace.

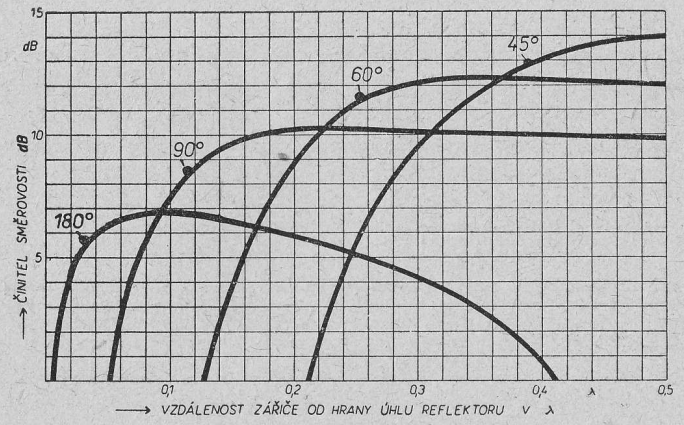


Obr. 6–28. Vysvětlení účinku úhlového reflektoru.

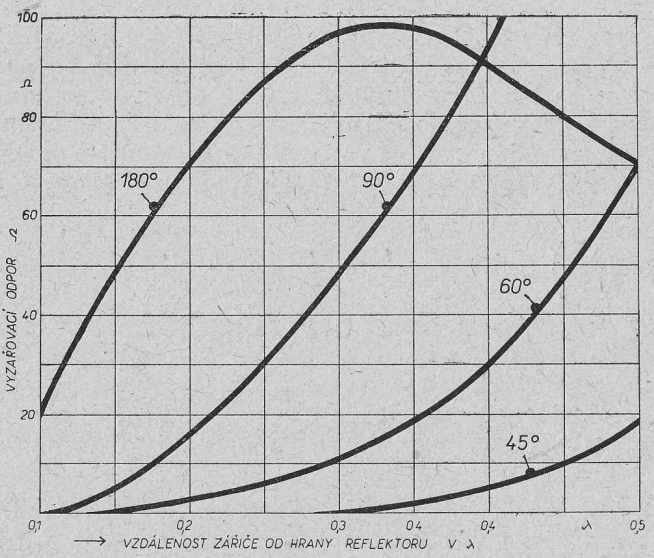
Antény s úhlovým reflektorem dosahují zisku 10 až 14 dB. Jejich použití je výhodné zejména pro vyšší pásma VKV. Pro pásmo 145 MHz by již vyžadoval důkladnou nosnou konstrukci, aby odolala silným náporům větru, neboť plocha reflektoru je velmi značná a při nejřidčím provedení je vystavena velkému namáhání. Pro nejvyšší pásma (zejména decimetrová) lze kombinovat několik úhlových antén vedle sebe se společným reflektorem



Obr. 6–29. Typický směrový diagram antény s úhlovým reflektorem.



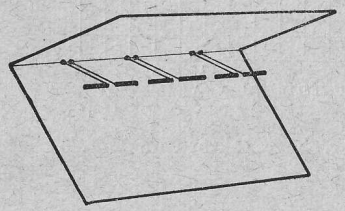
Obr. 6–30. Vliv vzdálenosti zářiče úhlového reflektoru na činitele směrovosti.



Obr. 6–31. Vliv vzdálenosti zářiče úhlového reflektoru na vyzařovací odpor.

(obr. 6–32). Vzdálenosti jednotlivých zářičů volíme podle poznatků o kolineárních anténách, tj. asi se čtvrtvlnnou mezerou.

Pro decimetrové a centimetrové vlny přistupujeme někdy k reflektorům obdobným reflektorům optickým; nejjednodušší z nich je válcový. Za zářičem je vodivá plocha ve tvaru části parabolického válce, v jehož ohniskové ose je umístěn zářič. Poněvadž jde skutečně o stejný způsob odrazu jako v optice, je nutno veškerou vyzářenou energii soustředit na plochu reflektoru. Proto v těchto případech používáme ještě jednoho nebo několika pasivních prvků před zářičem. Tím se zároveň zamezí možnosti fázově nesprávného kombinování vlny přímé a vlny odražené.



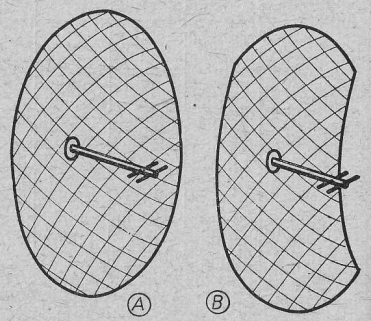
Obr. 6–32. Kombinování několika dipólů s úhlovým reflektorem.

Stejným způsobem soustřeďuje záření parabolický reflektor, jehož odrazná plocha je tvořena vrchlíkem rotačního paraboloidu (obr. 6–33–A). V ohnisku paraboloidu je umístěn půlvlnný zářič, opatřený laděným pasivním reflektorem, někdy několikanásobným. Tento malý reflektor nahrazujeme někdy kruhovou odraznou deskou. Parabolický reflektor je dnes běžnou anténou pro decimetrové a centimetrové vlny všude, kde potřebujeme dosáhnout velkého zisku. Musíme si však uvědomit, že je to právě oblast decimetrových a centimetrových vln, kdy je jeho použití výhodné, poněvadž právě u těchto pásem zůstávají jeho rozměry přijatelné pro zhotovení. Pro hrubé stanovení zisku platí vztah:

$$G \doteq 4\left(\frac{d}{\lambda}\right)^2. \qquad [6\text{–}18]$$

Z tohoto vztahu je patrné, že zisk záleží především na poměru průměru zrcadla k vlnové délce.

Je-li v ohnisku použito jako zářiče půlvlnného dipólu s pasivním reflektorem (u profesionálních zařízení se pro centimetrová pásma používá ústí vlnovodu), musíme si uvědomit jeho směrový diagram. V rovině kolmé k ose dipólu je



Obr. 6–33. Antény s parabolickým reflektorem.

směrový úhel větší než v rovině v ose dipólu. To znamená, že v kolmém směru je možno použít většího průměru zrcadla. Proto se někdy setkáváme se zrcadlem po stranách seříznutým (obr. 6–33–B). Odříznuté části paraboloidu nejen že by nezvětšily zisk, ale určitým způsobem nepříznivě ovlivňují fázi odražené vlny.

Použití parabolických zrcadel pro decimetrové a centimetrové vlny umožňuje vytvoření velmi úzkých svazků a mimořádně výhodný činitel zpětného vyzařování. Pro hrubé stanovení šířky svazku platí jednoduchá rovnice:

$$\gamma_{\text{stupňů}} \doteq 120\frac{\lambda}{d}. \qquad [6\text{–}19]$$

Čím užšího svazku dosáhneme, tím přesněji musíme zaměřovat protější stanici a tím větší bude možnost, že nám bude příjem kolísat změnou troposférického lomu.

V době družic a kosmických raket často slýcháme a čteme o parabolických anténách obrovitých rozměrů. To jenom potvrzuje, že tento způsob je nejúčinnější cestou dosažení vysokých zisků a extrémně úzkých svazků.

B

Praktické provedení antén

VI–11. STAVBA ANTÉN

Pro VKV je možno použít řadu jiných druhů antén. Jsou to jednak antény drátové, jednak antény širokopásmové a konečně i antény nesměrové. Pro amatérské použití mají význam jenom některé z nich a mnohdy jen v omezené míře. Tak například dlouhodrátové antény a k nim patřící „V" antény a rombické (kosočtvercové) antény jsou snadno zhotovitelné, mají velký zisk, ale nehodí se pro otočné provedení pro své rozměry. Mimo to vyžadují, mají-li mít vlastnosti, které jsou jim přisuzovány, zcela určitou výšku nad rovným a dobře vodivým povrchem. Tam, kde na ně je místo, hodí se výborně pro dálková spojení v určitém směru.

Některé širokopásmové antény odpovídají do té míry svému pojmenování, že je lze použít pro dvě i více amatérských pásem. Jsou to především trychtýřové antény tvořené dvěma postranními stěnami čtverhranného trychtýře. Stěny jsou trojúhelníkového tvaru a jsou samostatně zapojeny jako dipól na oba vodiče napájecího vedení. Obě části tohoto zajímavého dipólu tvoří současně zářič a současně vlnovodový trychtýř soustřeďující vyzařování jedním směrem.

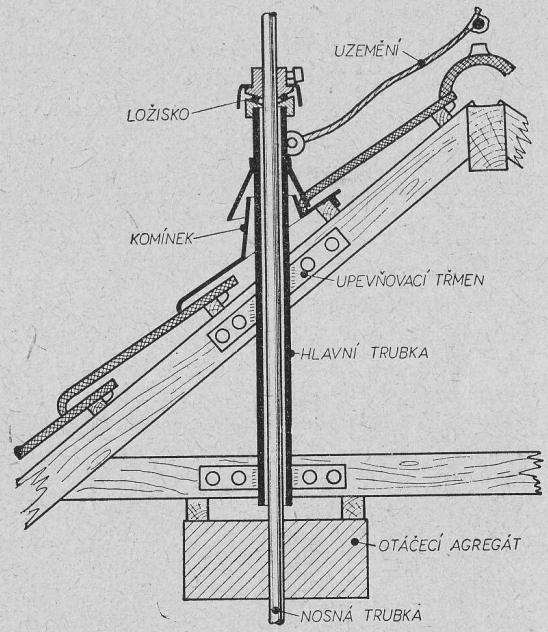
O těchto zvláštních anténách i anténách nesměrových jsou některé údaje v konstrukční stati této kapitoly.

Výsledky, kterých v dnešní době amatéři dosahují v technice VKV, jsou zčásti i výsledkem nároků kladených na provedení antény. Pohlédneme-li několik let zpět do období vrcholu amatérské práce na šestimetrovém pásmu, nalezneme převážně jednoduché antény. „Směrovka" byla tehdy senzační vzácností. Dnes již víme, že je správné dosadit si i na anténu trochu toho úsilí i nákladů.

Konstrukční provedení antény může mít mnoho obměn podle nejrůznějších podmínek. Nejdůležitější podmínkou je místní možnost realizace. Jiné možnosti má amatér bydlící v centru města v činžovním domě, jiné jsou v rodinném domku na předměstí nebo v domku na venkově. Někde lze anténu snadno postavit na střechu na zcela nízkou podpěru, jinde to s nízkou podpěrou nejde. Jsou místa s možností postavení samostatného sloupu vedle

domku v zahradě. V žádném případě však anténa nesmí být nebezpečím pro okolí. Zvláště je-li umístěna nad veřejnou komunikací nebo prostranstvím, musíme na to pamatovat. Je nutno doporučit: *poradit se dříve s odborníkem*, pokud sami nemáme takovou kvalifikaci. Některá bezpečnostní a právní ponaučení naleznete v „*Příručce radiotechnické praxe*" Naše vojsko 1961. Výstavba antén je vázána státní normou.

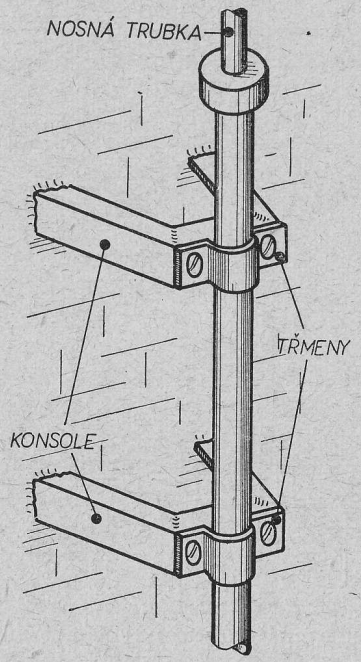
Stavba antény pro VKV je vážným problémem, který je nutno řešit s náležitou perspektivou a zejména tam, kde jsou realizační podmínky obtížnější. Musíme si především uvědomovat, že amatérská praxe nás donutí experimentovat. Budeme chtít postupně pracovat i na více pásmech. To všechno si předem uvážíme. Podpěru nebo nosnou soustavu postavíme proto tak, abychom mohli s anténou manipulovat, anténní soustavu měnit a rozšiřovat a v neposlední řadě udržovat.



Obr. 6–34. Příklad montáže antény na střeše domu.

Nejběžnější provedení jistě bude na střeše obytného nájemního domu. Pro tento případ je nutno vyhledat na střeše takové místo, kde by anténa nepřekážela důležitým službám (čištění komínu, údržba telefonních vedení atp.). Volíme si místo dobře přístupné, ale tak, aby anténní napáječ nebyl zbytečně dlouhý. Základem antény bude ocelová železná trubka asi 120 cm dlouhá, kterou připevníme pomocí přivařených třmenů na vazbu střechy tak, aby horní konec procházel krytinou. Porušenou krytinu je nutno zacelit vloženým pozinkovaným plechem s dobře přiletovaným komínkem (obr. 6–34). Komínek musí mít kolem trubky dostatečnou vůli, poněvadž se bude anténní podpěra vlivem větru mírně pohy-

bovat. Proti zatékání opatříme trubku nad komínkem kuželovou stříškou. Pro upevnění této základní trubky nelitujeme dostatečně silné vruty nebo vratové šrouby, aby celá soustava byla dostatečně pevná. Průměr základní trubky záleží na úmyslu, jak rozsáhlou anténní soustavu chceme budovat. Čím vyšší a rozměrnější bude anténa, tím větší průměr musí mít nosná trubka, která bude volně procházet základní trubkou. Pro výšku antén kolem tří metrů nad horním okrajem základní trubky postačí zpravidla světlost kolem 50 mm.



Obr. 6–35. Příklad provedení konzoly pro montáž antény na svislou stěnu domu.

Nosnou konstrukci nutno spojit pomocí silné objímky a silného drátu nebo lana (alespoň 10 mm²) s nejbližším vedením bleskosvodu. (Poraďte se s odborníkem.)

Vodorovný trám, na který je základní trubka zachycena, bývá někdy příliš vzdálen od hřebenu a je nutno zhotovit si jiný. Volíme takový rozměr, aby lícoval s rozměry krokví, ke kterým bude připevněn železnými pásy a vruty. Spodní konec základní trubky musí být dostatečně vysoko nad úrovní půdy, abychom mohli vsunovat zdola nosnou trubku antény. Anténní otáčecí agregát lze umístit těsně pod vodorovný trám, pokud nepoužijete lehkého rotátoru těsně pod vlastní anténou. Rotátor umístěný pod střechou je však lépe chráněn před povětrností.

Váha nosné trubky antény a vlastní antény je zachycena axiálním ložiskem, umístěným na horním konci základní trubky. Povolením několika stavěcích šroubů se anténa uvolní a spustí těsně nad střechu pro potřebnou manipulaci, montáž i demontáž. Vyšší antény zajistíme ještě třemi kotvami, upevněnými na nosné trubce otočným kroužkem, umožňujícím otáčení antény. Kotevní lana a dráty příliš nenapínáme.

Jiným způsobem upevnění anténní podpěry je konzola na svislé zdi nebo štít, pokud je dostatečně silný (nosná zeď). Nikdy nepoužíváme komínů. Jejich zdivo bývá vlivem kouřových plynů často zvětralé a anténa přímo nad komínem více trpí, nehledě k tomu, že se to ani *nesmí*. Konzolu nejlépe zhotovíme ze silné základní trubky, buď přišroubované, nebo dobře přivařené k nosným úhelníkům. Vlastní provedení záleží na tom, jak bude konzola přístupná pro další manipulaci. Na obrázku 6–35 je příklad provedení.

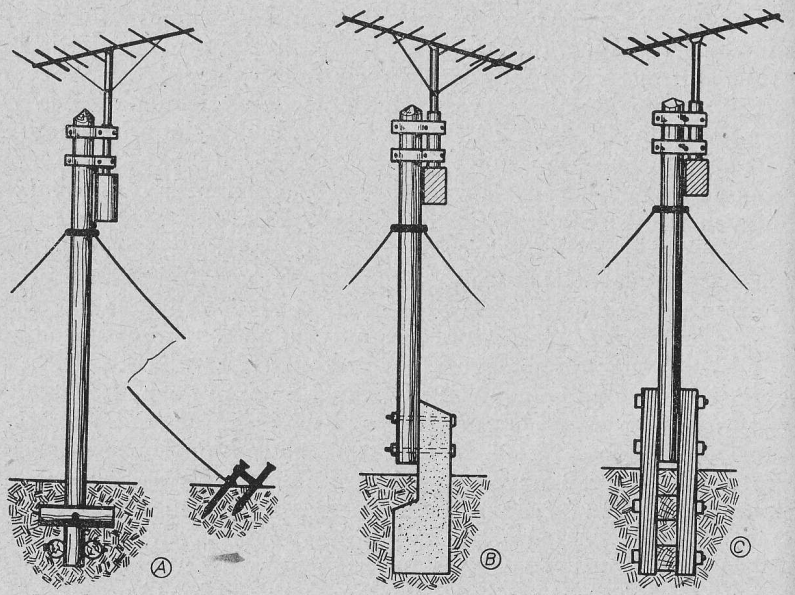
Umístění antény na samostatných sloupech má mnoho různých možností. Základem může být normální dřevěný sloup zapuštěný do země nebo zachycený na nosníkový nebo betonový podstavec s možností sklápění (obr. 6–36–A, B, C). Jiným provedením je stožár smontovaný z dvojic dřevěných prken do průřezu ve tvaru T nebo trojice desek ve tvaru H. Spoje desek jsou po délce vystřídány (obr. 6–36–D, E). Velmi tuhý a lehký sloup lze zhotovit ve tvaru dutého hranolu z desek o síle 25 mm (obr. 6–36–F) a pro trpělivé a zručné ruce je výhodný stožár příhradový z poměrně lehkých dřevěných latí (obr. 6–36–G). Příhradové provedení je velmi lehké a při tom dostatečně tuhé. Hodí se i pro nízké stožárky pro umístění na ploché střechy chaty, vyžaduje ovšem určité konstrukční znalosti, má-li se dosáhnout předpokládané pevnosti.

Všechny dřevěné konstrukce se musí řádně konzervovat dobrým a důkladným nátěrem. Pro všechny konstrukce platí důležitá zásada, již dříve připomenutá: při řešení anténní nosné konstrukce se napřed poradíme s odborníkem a obtížnější práce raději svěříme zkušenému řemeslníkovi. Vyčerpat všechny kombinace a situace včetně potřebných návodů není v rozsahu této příručky možné.

Vlastní anténa bývá zpravidla upevněna na nosné trubce, která je vsunuta do základní trubky popisované v předešlých odstavcích. Použití soustavy základní pevné trubky a v ní vložené otočné nosné trubky je výhodné pro všechny druhy podpěr i pro dřevěné, poněvadž umožňuje snadné otáčení, spouštění i vysouvání. Délka nosné trubky je závislá na místních podmínkách a velikosti použitých antén. Nelze ji ovšem zvětšovat neomezeně. Pro trubky delší než tři metry, počínaje od horního okraje hlavní trubky se doporučuje dolní polovinu vyztužit vložením do silnější trubky. Lepší zajištění je pomocí kotvení. Problém kotvení nosné trubky je závislý na řešení otáčení antény. Použijeme-li otočného agregátu, umístěného ve vrcholu trubky, bude zakotvení nosné trubky těsně u antény jednoduché. Dlouhé trubky vyztužíme třemi napínacími lany přes příčky uprostřed trubky (obr. 6–37–A). Ve výši příček upevníme také vlastní kotvy.

V případě použití rotátoru u paty nosné trubky, takže je otáčena i nosná trubka, musí být kotvy zachyceny na nosnou trubku otočně tak, aby připouštěly otáčení nosné trubky (obr. 6–37–B).

Je-li nutné použít nosné trubky s napínacími lany a rotátoru u paty nosné konstrukce, pak nezbude nic jiného než do nosné trubky vložit s náležitou vůlí lehkou trubku pro přenesení pohybu na anténu. Směrová víceprvková Yagiho anténa je nesena vodorovným nosníkem, kterému říkáme ráhno; ráhno lze vyrobit z duralové trubky o menším průměru než je nosná trubka. Pro menší antény můžeme použít i ráhno z jiného materiálu, případně i ze

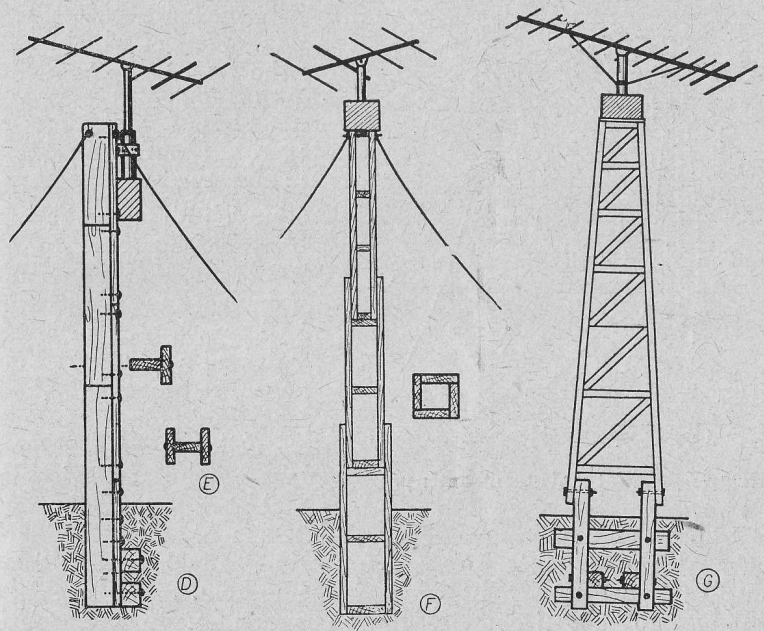


Obr. 6–36ABC. Příklady provedení anténního stožáru.

dřeva. Spojení ráhna s nosnou trubkou má opět řadu možností. Vždy pamatujeme na možnost experimentování. Spočívá to především v tom, že se vyhneme v každém případě vrtání nosné trubky, nebo i ráhna a všechna spojení provádíme objímkami a třmeny. Na obr. 6–38 je nakresleno několik provedení třmenů pro spojení kolmých trubek. Je velmi výhodné připevnit ráhno s možností sklápění o několik stupňů, a to přední stranou antény směrem vzhůru. Tato výhoda se projevuje zejména u delších antén s ostřejším směrovým diagramem, poněvadž umožňuje mírně šikmou montáží (5 až 10°) využití směrového diagramu pro spojení pomocí atmosférických lomů a pro alespoň mírné potlačení nežádoucích odrazů od terénu.

Polohu ráhna zajišťují vzpěry. Pro delší antény je užitečné použít dvojitých vzpěr, které z celé antény utvoří odolný dvojitý jehlan (obr. 6–39), tuhý i ve vodorovném směru.

Nosná konstrukce pro několikanásobné antény vychází ze stejných zásad. Při použití soustavy čtyř antén (dvě nad sebou a dvě vedle sebe) nesmíme zapomenout, že nosníky rovnoběžné s anténními prvky nesmějí být vodivé, aby neovlivňovaly vlastnosti antény. V takových případech je nutno použít dřeva nebo jiného izolačního materiálu (gumoidové trubky).

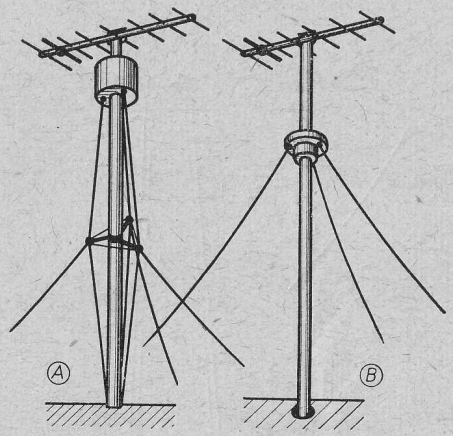


Obr. 6–36 DEFF. Příklady provedení anténního stožáru.

VI–12. OTÁČENÍ ANTÉNY

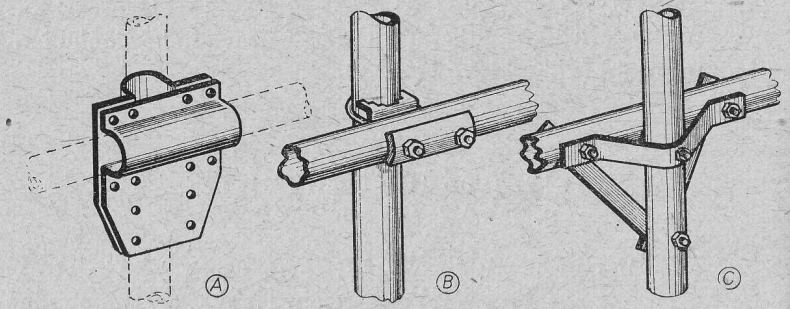
Otáčení antény je dnes již samozřejmostí, bez které si ani neumíme představit práci na VKV pásmech. Není však tak snadné zhotovit vhodné otáčecí zařízení. Stejně jako při volbě druhu an-

ténní podpěry je i otázka otáčecího mechanismu určena místními podmínkami. Nejjednodušší způsob bude tam, kde anténní podpěra je přímo nad pracovištěm, od kterého je oddělena jediným stropem. Stačí otvor, kterým bude procházet nosná trubka s ovládacím kolem na konci. Zdá se však, že takové podmínky je možno pokládat za velmi vzácné.



Obr. 6–37. Kotvení otočné antény.

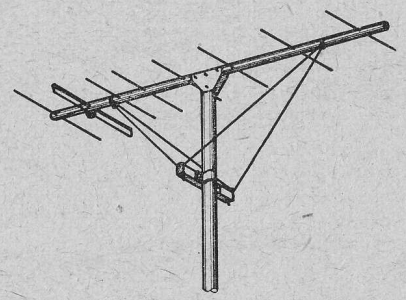
Ve více případech bude jistě možné natáčet anténou pomocí lankového nebo řetězového převodu. Je-li možno umístit převodová kola v jedné rovině, je velmi výhodné použít bicyklového řetězu a dvou stejných bicyklových ozubených kol (obr. 6–40). Toto uspořádání se vyplatí u konzol na zdi domu, je-li pracoviště přibližně v úrovni a blízkosti konzoly. Pro pracoviště vzdálenější od podpěry je nutno volit převod ocelovým lanem, jehož směr lze pomocnými kladkami prakticky libovolně kombinovat (obr. 6–41). Na hlavních kladkách otočíme lanko dvakrát kolem a upevníme, abychom si zajistili stálost vzájemné polohy antény a ovládacího kola. Téhož lze ovšem dosáhnout kombinací obou uvedených uspořádání převodů. Použijeme bicyklových kol, ale řetěz použijeme pouze u anténního



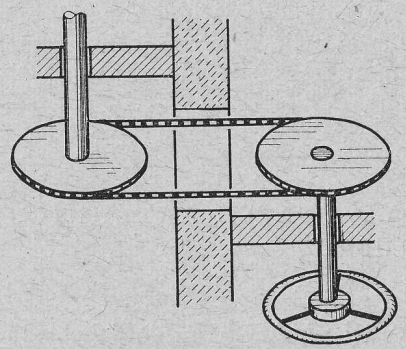
Obr. 6–38. Třmeny pro spojování anténních nosníků.

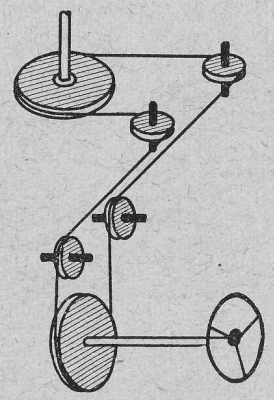
a ovládacího kola. Jinak bude nastaven dvěma stejně dlouhými kusy ocelového lanka, které můžeme převádět kladkami různým směrem.

Nejvhodnější je dálkové elektrické ovládání, neboť výše uvedené způsoby ani jim podobné přece jen nemůžeme kdekoliv použít, zejména v nájemních domech. Na našem trhu dosud nenalezneme vhodné otáčecí agregáty pro anténu a nezbude nic jiného než se do toho pustit. Otáčecí agregát je možno řešit zásadně dvěma způsoby. První je pro montáž na konec nosné trubky bezprostředně pod vlastní anténu a druhý je pro montáž na dolním konci nosné trubky, otáčející celou nosnou trubkou s anténou. Pokusme se shrnout výhody a nevýhody obou způsobů.


Obr. 6–39. Kotvení ráhna dlouhé antény.

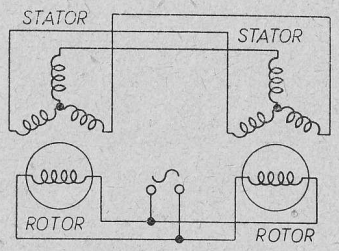
Agregát montovaný těsně pod anténou umožňuje řádné kotvení celé podpěry a otáčení není brzděno dalšími odpory v jiných ložiskách, které jsou vlivem namáhání větrem mnohdy značné. Na druhé straně je možno na takovýto agregát namontovat prakticky jen jedinou anténu, poněvadž prodlužování nosné tyče nad přístroj


Obr. 6–40. Otáčení antény řetězovým převodem.


Obr. 6–41. Několikrát zalomený převod pro otáčení antény.

by ohrozilo jeho pevnost. Mimoto agregát umístěný přímo pod anténou musí být velmi pečlivě chráněn nejen před deštěm, ale i před normálním působením větru, kouře apod.

Druhý způsob má především výhodu v tom, že je možno na nosnou trubku libovolně kombinovat více antén. Agregát umístěný dole není namáhán žádnými radiálními tlaky a momenty, je-li s nosnou trubkou spojen pouze unášečem. Na druhé straně nosnou trubku, která je v tom případě otočná, hůře kotvíme než pevnou neotočnou trubku. Vlivem pružení trubky větrem zhoršuje se i odpor v ložiskách, takže agregát musí přemáhat větší otočný moment.



Obr. 6–42. Běžné zapojení selsynů.

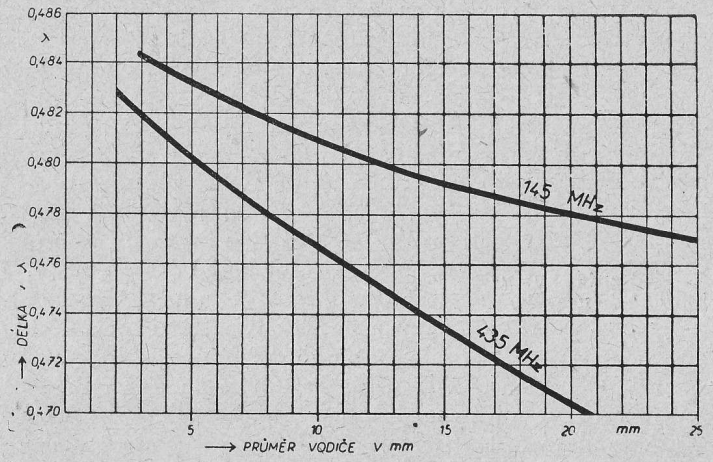
Otáčení antény vyžaduje i možnost sledování její polohy. Pokud nepoužijeme některého mechanického převodu, který umožní přímé čtení na pomocné stupnici, u ovládacího kola bude nutno provádět indikaci elektricky. I tento úkol má celou řadu řešení. Lze použít kruhového vícekontaktového přepínače a na pracovišti kroužku malých žárovek. Je možno použít kruhového potenciometru v kombinaci s voltmetrem ocejchovaným podle světových stran. Potenciometr spojíme s otočnou trubkou ozubeným převodem nebo i stupnicovým laníčkem v poměru asi 1 : 1,5, abychom necelým kruhem potenciometru ovládli celý obrat antény. (Koncové dorazy nebo vypínače otočného motoru, které chrání kabel před ukroucením, uchrání také uvedený potenciometr.) Nejlepší řešení je pomocí selsynů. Jeden spojíme s anténou a druhý opatříme stupnicí se světovými stranami nebo namontujeme s ukazatelem přímo pod podlepenou mapu. Obrázek 6–42 ukazuje nejběžnější zapojení selsynů.

VI–13. PROVEDENÍ VLASTNÍCH ANTÉNNÍCH SOUSTAV

Než přistoupíme ke konstrukci vlastních anténních systémů, bude užitečné poučit se o závislosti délky prvků na jejich průměru. Z předešlých odstavců víme, že se elektrická délka vodiče nekryje s geometrickou délkou, ale zkrácení je závislé na průměru vodiče.

Přesto, že jsou v dalších příkladech uvedeny skutečné délky prvků, může se vyskytnout otázka, jak délku změnit při použití jiného průměru. Pro takový příklad použijeme diagramu na obrázku 6–43.

Délka prvků je závislá i na jeho upevnění do nosné tyče. Je možno počítat zásadně s dvojím způsobem upevnění. První a nejběžnější je vodivé upevnění v nosné tyči. Vodivé spojení prvků s nosnou tyčí nebo trubkou musí však být dokonalé. Nejlepší pro-



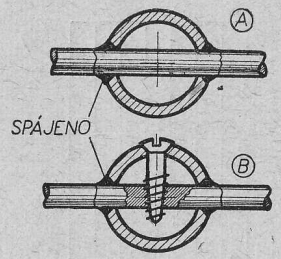
Obr. 6–43. Diagram zkrácení vodičů podle průměru.

vedení je zasunutí prvků do přesně vyvrtaných otvorů a dobré připájení na obou stranách (obr. 6–44). Kdo nevěří mechanické pevnosti takovéhoto spojení, zajistí ještě prvky zavrtaným šroubem. Zkušenost ukazuje, že lze mosazné trubky naznačeným způsobem dobře spájet i s duralovou trubkou.

Takovéto prosté spojení jednotlivých prvků s nosníkem vyžaduje prodloužit jejich délku o dvě třetiny průměru tyče proti délce prvků ve volném prostoru nebo v izolačním nosníku. Z toho je zřejmé, že nedokonalé spojení prvků s nosnou trubkou může zcela neočekávaně libovolně prvky rozladit a tím vlastnosti antény zmařit. Dále uvedené příklady mají toto prodloužení započítané, a to vždy podle uvedeného průměru nosníku. – Je užitečné nechat přesahovat konce nosníku za posledním direktorem a za reflektorem alespoň o pětinásobek jeho průměru. Při těsném ukončení je nutno opravit vyladění obou koncových prvků, neboť uvedené prodloužení o $^2/_3$ průměru nosníku v tomto případě neplatí.

Podle toho lze dále doporučit vyhnout se použití upevňovacích kovových bloků, jejichž vliv na prodloužení prvků je nutno stanovit měřením. Zavrženíhodné jsou i různé třmeny, které nezaručují trvalé dokonalé oboustranné spojení. Pamatujte, že koroze časem poruší pouhý dotyk dvou kovů. Je-li použito izolačního nosníku nebo jsou-li prvky vetknuty do bloků z izolačního materiálu, odpadá prodloužení prvků.

Při přípravě všech dílů antény se budeme snažit odstranit všechny ostré hrany, zejména na koncích prvků a nosníku, abychom zamezili zbytečnému sršení atmosférické elektřiny v letních měsících. Na zaoblených hranách je odolnější i ochranný nátěr.



Obr. 6–44. Montáž anténních prvků do nosného ráhna.

Ochrana anténních prvků před korozí je též problémem. Každý nátěr má dvojí vliv na elektrické vlastnosti prvků. Především takový nátěr rozlaďuje prvky směrem k nižším kmitočtům vlivem vyšší dielektrické konstanty. Rozladění může být značné podle druhu laku a podle síly nátěru (například dvojitý nátěr nitrolakem rozladil prvky antény pro 420 MHz o 5 MHz). Nátěr lakem se špatnou izolační schopností pro velmi vysoké kmitočty zhoršuje kvalitu antény. Ideální provedení anténních prvků by vyžadovalo nekorodující dobře vodivý povlak. Některé prameny doporučují pozlacení prvků. Tento postup však není doporučitelný jednak pro těžkou dosažitelnost, ale hlavně z důvodů ryze praktických. Antény umístěné nad střechami obytných domů jsou vystaveny tak nepříznivým poměrům (zejména v městě), že se sebelépe upravené prvky v krátké době pokryjí nežádanou a špatně vodivou vrstvou. Jsou-li prvky pokryty dobrým nátěrem, lze nanesenou vrstvu i s nátěrem odstranit a nátěr obnovit. Chybí-li však nátěr, je to horší.

Jako vhodný nátěr poslouží tzv. *syntetický smalt vrchní* a podle úsudku řady amatérů se osvědčil nejlépe červený.

Nakonec jednu společnou zásadu pro různé typy antén. Všechny spoje (připojení přizpůsobovacích členů) kromě mechanického zajištění důkladně spájíme. Všechny styky mezi kovovými díly (hlavně v blízkosti vlastní antény) provádíme s dobrou vodivostí nebo ještě překleneme drátovým spojem. Špatný dotyk může způsobit při pohybu antény větrem nepříjemné rušivé hluky. Tam, kde není možné zaručit dobrý dotyk, použijeme raději izolační vložky.

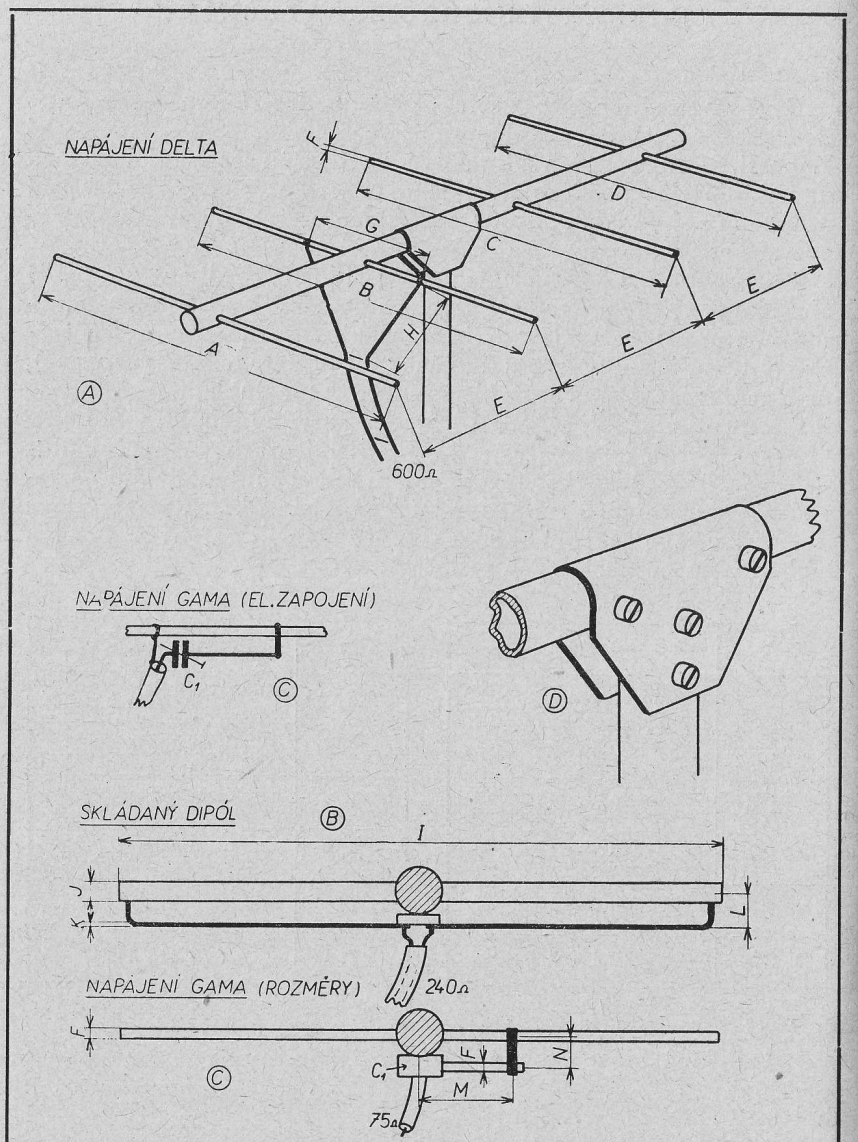
Bylo by snad na místě začínat nejjednodušší nesměrovou anténou takovou, kterou lze doporučit začátečníkům radioamatérské činnosti. Skutečnost je však taková, že každý začátečník sní hned na nejúplnějším počátku o nějaké té super-anténě a super-zařízení o výkonu nejméně . . . atd. Dobré slovo nepomáhá, a tak i my si zvolíme střední cestu.

Prvním praktickým příkladem je čtyřprvková anténa podle obrázku 6–45. Je provedena ve třech obměnách s různým přizpůsobením napáječe. Poněvadž jde opravdu o jednoduchou nenáročnou anténu, je zhotovena z dřevěné tyče (kulaté nebo čtyřhranné), nejlépe z tvrdého dřeva. Dobře vysušenou tyč důkladně napustíme izolací proti vlhkosti (vhodný je horký parafin hluboko vsáklý).

Provedení A je pro dvoudrátový napáječ s impedancí 450 ÷ ÷600 Ω, provedení B je pro napájení televizní dvoulinkou a provedení C je pro napájení koaxiálním kabelem 75 Ω. Rozměry jsou uvedeny v tabulce. Na obrázku D je připevnění antény na nosnou trubku pomocí plechových příložek.

A	0,490 λ	H	0,180 λ
B	0,470 λ	I	0,470 λ
C	0,445 λ	J	0,006 λ
D	0,442 λ	K	0,001 λ
E	0,196 λ	L	0,0085 λ
F	0,003 λ	M	0,050 λ
G	0,170 λ	N	0,010 λ

Anténa v tomto provedení má zisk kolem 8 dB a je skutečně velmi vhodná jednak pro nováčky a jednak pro omezené místní podmínky.



Obr. 6–45. Provedení jednoduché Yagiho antény.

Obrázek 6–46 je příkladem dvou oblíbených dlouhých „Yagin“. Obě uspořádání jsou ukázkou experimentálně nastavených antén. Při dobrém provedení lze očekávat od první (A) zisk kolem 13 dB a od druhé (B) kolem 16 dB. Prvky jsou provedeny z poměrně ten-

A_1	1036 *	C_1	938 *	F_1	203
A_2	1017 *	C_2	935 *	F_2	505
B_1	996 *	C_3	932 *	F_3	407
B_2	982 *	C_4	929 *	F_4	178
D	926 *	C_5	926 *	F_5	190
E	482	C_6	923 *	F_6	190
G	110	C_7	920 *	F_7	407
L_1	4	C_8	917 *	F_8	813
L_2	4	H	20	J	8
L_3	6	L	3	K	20

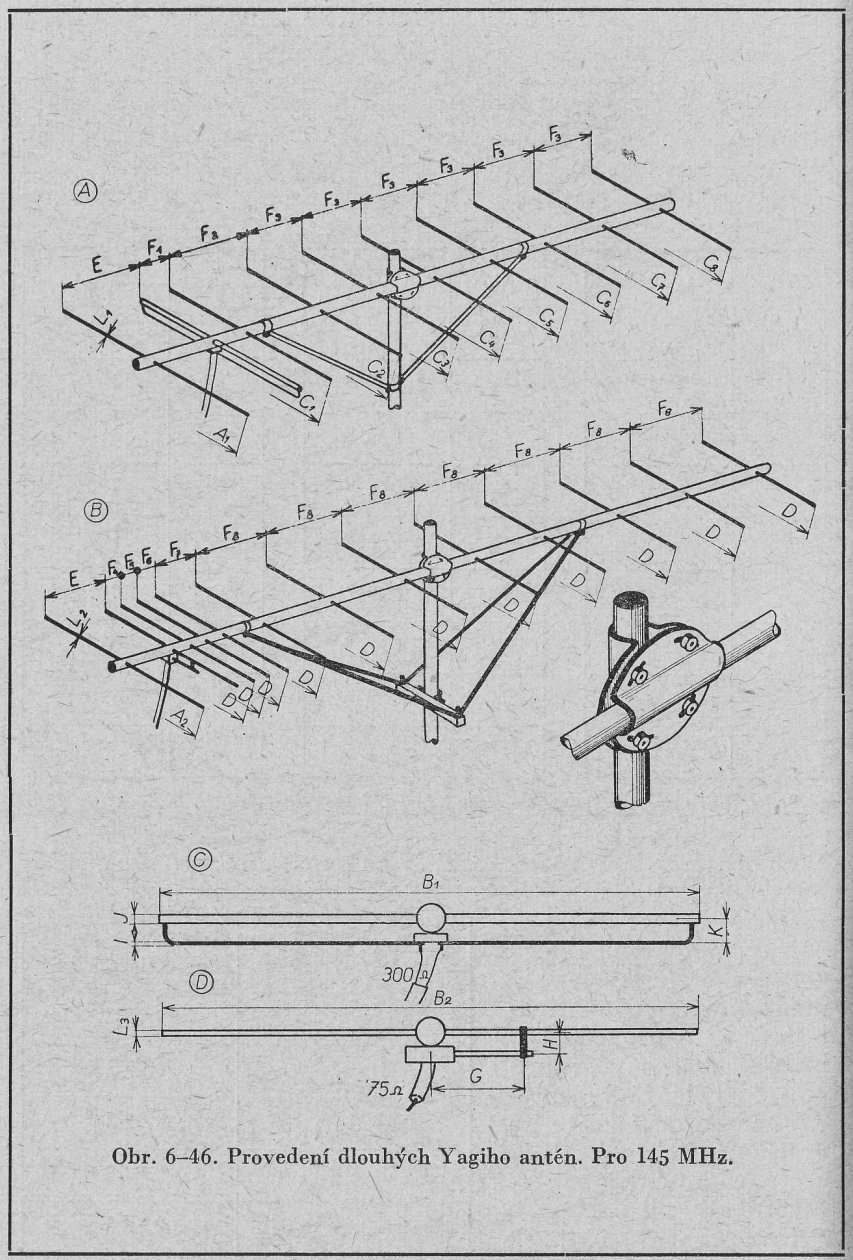
*) *Platí pro průměr kovového ráhna 32 mm.*

kých mosazných prutů nebo trubek. Do nosného ráhna jsou zasunuty a připájeny. Provedení A má zářič ve formě skládaného dipólu pro napáječ 300 nebo 450 Ω a provedení B přizpůsobení gama pro připojení na koaxiální kabel 75 Ω. Provedení zářiče lze ovšem zaměnit.

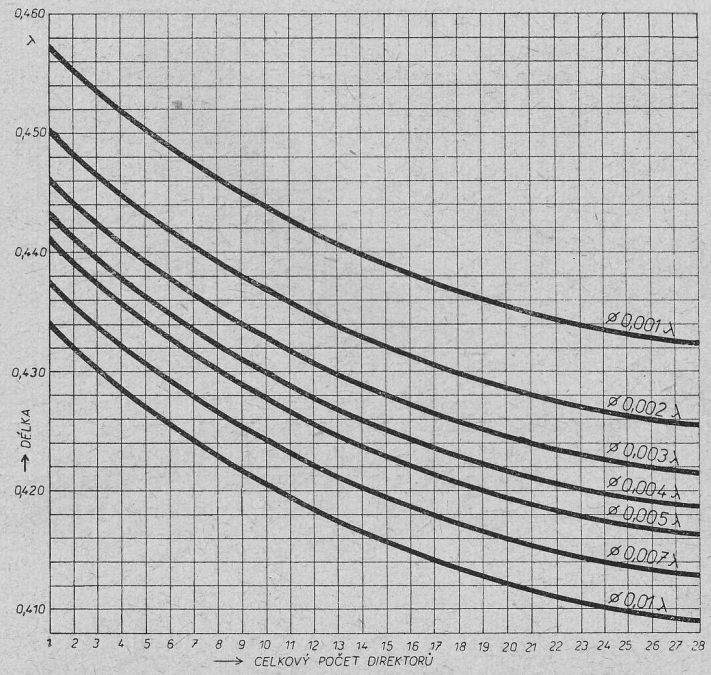
Ráhno antény je vyztuženo dvojitými vzpěrami. Při upevnění objímek

Tabulka roztečí direktorů pro dlouhé Yagiho antény (v λ)

Direktor	Rozteč od předcházejícího
první	0,08 λ
druhý	0,09 λ
třetí	0,09 λ
čtvrtý	0,20 λ
pátý a další	0,39 λ



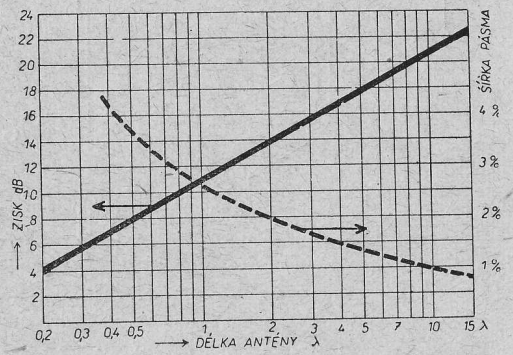
Obr. 6–46. Provedení dlouhých Yagiho antén. Pro 145 MHz.



Obr. 6–47. Závislost délky reflektoru na jejich celkovém počtu.

vzpěr na ráhno počítáme s možností naklánění v rozmezí asi do 10°. Pro sklonění je ovšem nutno tyto objímky uvolnit.

Pro provedení dlouhých antén jiných velikostí je možno použít tab. na str. 253 udávající vzdálenosti direktorů ve vlnových délkách a diagramu na obrázku 6–47 pro stanovení délky direktorů v závislosti na jejich průměru a na jejich celkovém počtu. Diagram na obr. 6–48 dále ukazuje závislost zisku a šířky pásma na délce antény ve vlnových délkách.

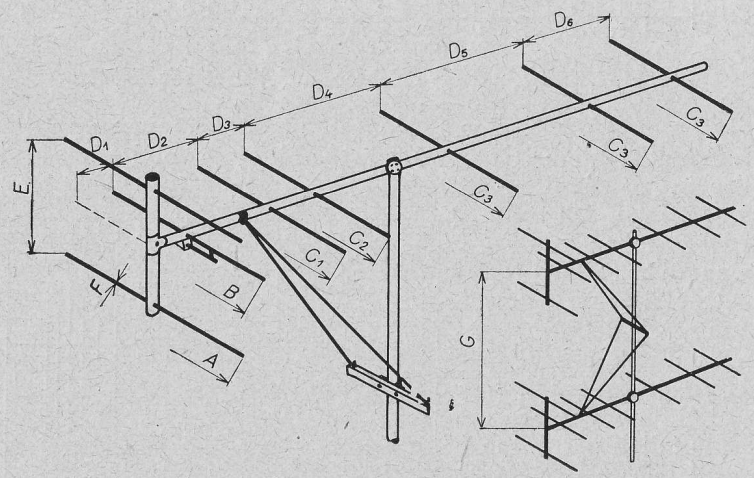


Obr. 6–48. Zisk a šířka pásma Yagiho antény v závislosti na její délce.

Dlouhé Yagiho antény vynikají poměrně vysokým ziskem při celkově jednoduché konstrukci, ale musíme být pamětlivi toho, že při spojení pomocí rozptylů a podobných způsobů šíření, kde vlna přichází od vysílače současně více nestejně dlouhými cestami, není možno při příjmu počítat s plným ziskem antény (viz vysvětlení v jiné části této kapitoly).

VI–16. ANTÉNA STŘEDNÍHO TYPU

Na základě zkušeností s různými typy víceprvkových antén sestavil autor anténu středního typu, jejíž prvky byly experimentálně nastaveny na optimální hodnoty. Pro anténu bylo použito dvojitého reflektoru lépe využívajícího účinné plochy antény. Uspořádání antény je zachyceno na obr. 6–49. Při pečlivém provedení dosahuje anténa zisku přes 12 dB, při dvoupatrovém provedení dosahuje zisku přes 15 dB. Byla vyzkoušena jak pro pásmo 144 MHz, tak pro pásmo 420 MHz.



Obr. 6–49. Provedení Yagiho antény středního typu.

Zářič je přizpůsoben pro připojení koaxiálního kabelu 75 Ω, a to transformací gama. Stejně jako antény na obrázku 6–46 je možno použít i jiného napájení s příslušným přizpůsobením. Ráhno antény je z duralové trubky s nasunutými a připájenými mosaznými prvky. Pro spojení nosníků obou reflektorů s ráhnem je použito T spojky pro vodovodní potrubí s otvory přetočenými na průměr trubek. Anténa je zpevněna dvojitou vzpěrou na straně zářiče. Spojení s nosnou trubkou umožňuje mírné naklánění posouváním příčky vzpěry po nosné trubce.

Tabulka rozměrů antény podle obrázku 6–49.

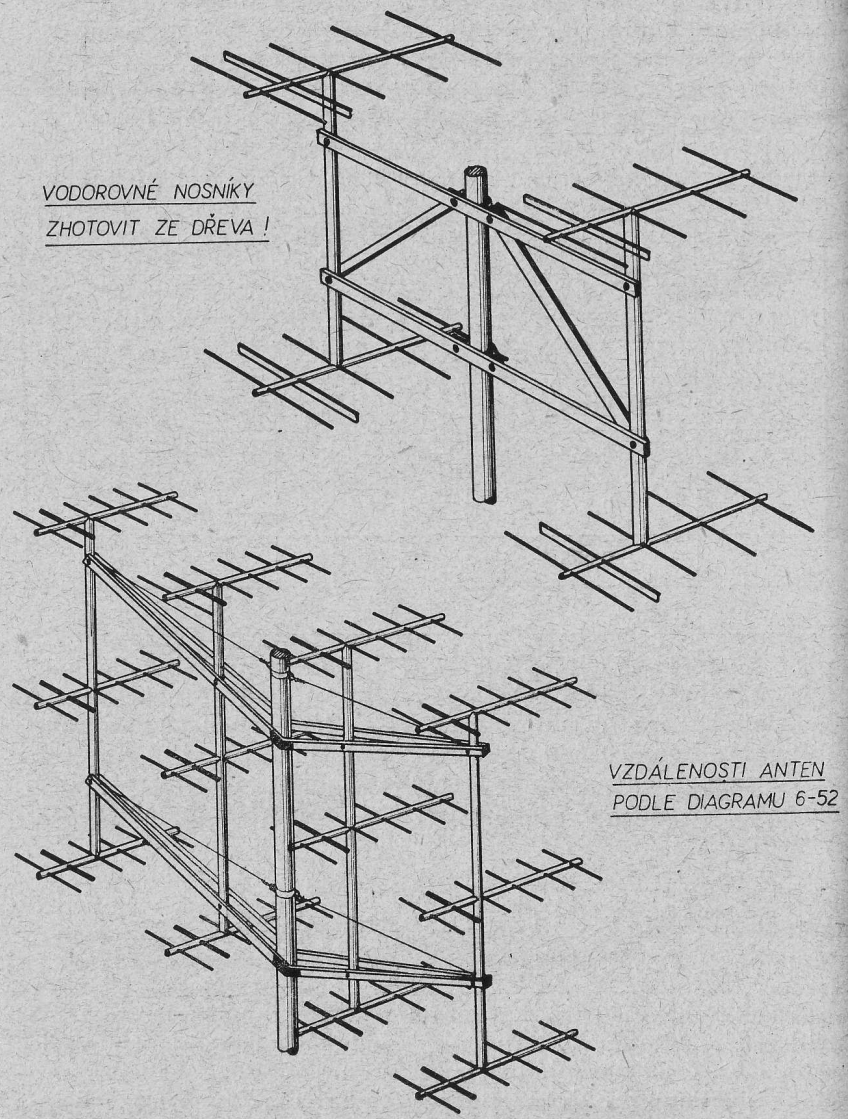
A	0,498 λ	D_1	0,09 λ
B	0,469 λ	D_2	0,167 λ
C_1	0,440 λ	D_3	0,112 λ
C_2	0,436 λ	D_4	0,335 λ
C_3	0,433 λ	D_5	0,350 λ
E	0,225 λ	D_6	0,230 λ
F	0,005 λ	G	1,600 λ

Anténu je možno kombinovat na dvou patrech. V takovém případě spojíme obě antény paralelně pomocí dvou stejně dlouhých kusů kabelů. Přívodní kabel pak musíme připojit prostřednictvím koaxiálního transformátoru 1 : 2 (provedení impedančního transformátoru jsou popsána v samostatné stati).

Toto provedení antény se jeví jako vhodné pro průměrné místní poměry, kde si nemůžeme dovolit instalaci zvlášť rozsáhlých systémů.

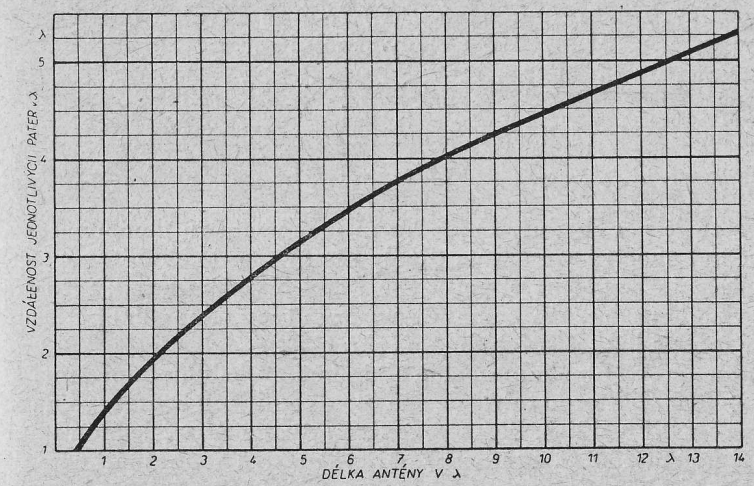
VI–17. VÍCENÁSOBNÉ ANTÉNY

Yagiho směrové antény je možno sestavovat nejenom v patrech nad sebou, ale ve vícenásobných skupinách nad sebou a vedle sebe. Obr. 6–50 ukazuje příklad provedení nosné konstrukce pro čtyřnásobnou a pro dvanáctinásobnou anténu. Pro skupinové antény lze použít prakticky libovolných antén. Chceme-li však vytěžit největší účinek z takové skupiny, musíme dodržet přiměřené vzdálenosti mezi anténami. V principiálních popisech jsme si řekli,



Obr. 6–50. Vícenásobné uspořádání Yagiho antén.

že je nutno antény vzdálit tak, aby se jejich dílčí účinné plochy pouze dotýkaly. Nebudeme se lopotit výpočtem účinné plochy, ale pomůžeme si diagramem na obr. 6–51, podle kterého určíme optimální vzdálenosti antén v závislosti na jejich celkové délce. Není proto z praktických důvodů rozumné kombinovat extrémně dlouhé antény. Zisk takovéto skupinové antény roste také celkem pomalu. Pro dvojitou anténu platí zvýšení zisku o 3 dB, pro čtyřnásobnou o 6 dB, osminásobnou o 9 dB, pro šestnáctinásobnou o 12 dB. Prostě zdvojnásobením počtu antén ve skupině vyroste zisk o 3 dB bez ohledu na základní zisk jediné antény.



Obr. 6–51. Diagram optimální vzdálenosti vícenásobného uspořádání Yagiho antén.

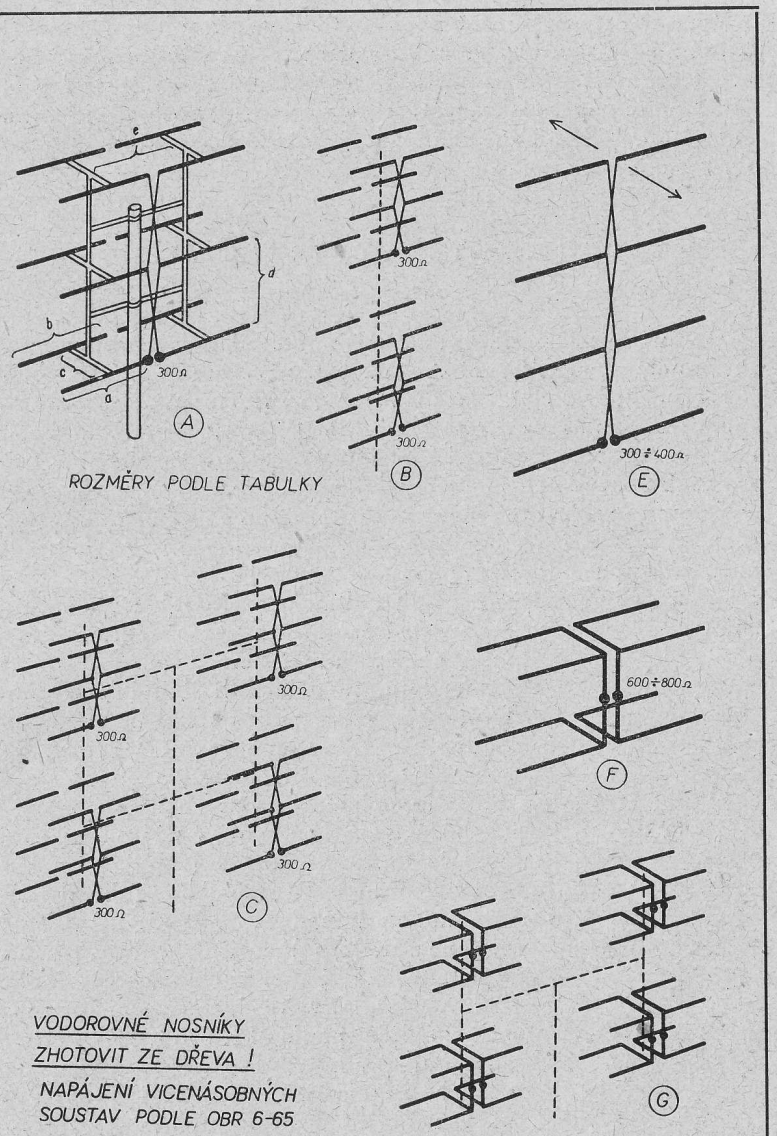
Již jednou bylo v této kapitole řečeno, že je užitečné všechny části konstrukce rovnoběžné s prvky antény zhotovit z izolačního materiálu. Většinou to bude dřevo. Je nutno pamatovat i na náležité zpevnění použitím vhodných vzpěr. Pohled na obr. dvanáctinásobné skupiny sám říká, že takové a jim podobné antény musíme montovat po zralém uvážení důsledků porušení jejich pevnosti. Spojení jednotlivých antén a napájecí vedení musí být provedeno přesně, poněvadž veškeré nepřesnosti mají vliv na účinnost antény. Provedení napáječů i potřebných transformačních členů je vysvětleno ve zvláštní stati o napáječích.

Skupinovými anténami jsou rovněž tzv. soufázové anténní systémy. Toto provedení antén se těší u řady amatérů velké oblibě, i když mají o málo více nevýhod než antény Yagi, jak bylo vpředu dovozeno. Hlavní těžkostí, kterou jim jejich odpůrci přičítají, je složitost a náročnost napájení. Částečně tomu tak je, ale částečně je to jen předsudek.

Soufázové antény se sestavují z celovlnných dipólů, majících vysoký vyzařovací odpor. To umožňuje velmi jednoduché řazení jednotlivých antén paralelně. Při řešení antén však narážíme na jeden rozpor. Jednotlivé antény spojujeme navzájem vedením o elektrické délce $\frac{\lambda}{2}$ a tím je dána maximální vzdálenost jednotlivých dipólů. My však víme, že optimální vzdálenost dipólů je kolem $\frac{5}{8}\ \lambda$. Celovlnné vedení z volných drátů by se muselo zvlášť napínat a to je nevýhodné. Lepší řešení (zejména pro mnohonásobné systémy) spočívá v tom, že dipóly sestavíme do skupin po třech s dodržením vzdáleností podle spojovacích vedení a pak tyto trojice vzdálíme tak, aby celkový rozměr antény odpovídal pětiosminové rozteči jednotlivých dipólů (obr. 6–52).

Spojením tří dipólů paralelně obdržíme výslednou impedanci asi 200 ÷ 300 Ω, kterou můžeme snadno dvoulinkou soufázově napojit na hlavní napáječ. Sestava ze dvou dvojic dá výslednou impedanci kolem 150 Ω, kterou připojíme na dva souběžné koaxiální kabely 75 Ω; celé napájení bude symetrické. Pro čtyři trojice dojdeme paralelním spojením přímo na 75 Ω. Použité napájení musíme v tomto případě v bodě spojení všech napáječů symetrizovat, ale o tom ve stati o napáječích.

	145 MHz	435 MHz	1250 MHz
a	977	324	108
b	1016	342	114
c	298	98,5	32,8
d	1000	333	111
e	1040	353	122
∅	6	3	1,5



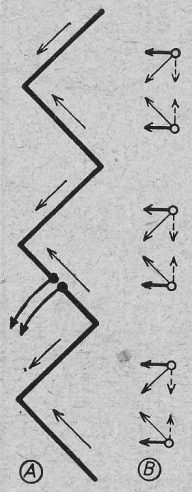
Obr. 6–52. Provedení soufázových antén. (Rozměry viz tabulka.)

Vlastní antény jsou opatřeny reflektory, které jsou samozřejmě půlvlnné (anténu je možno realizovat jako dvousměrovou bez reflektorů). Určitou obměnou je uspořádání F, ve kterém jsou použity napájené reflektory. I tuto variantu můžeme kombinovat vícenásobně (G). Pro přibližné stanovení zisku platí tabulka při obrázku 6–21.

VI–19. ANTÉNA CHIREIX–MESNY

Nevýhodu složitého napájení mnohonásobných soufázových anténních soustav je možno odstranit anténou CHIREIX-MESNYOVOU (Francie). Tato anténa je mezi amatéry bezdůvodně opomíjená, snad proto, že je v odborné literatuře řazena mezi KV směrové antény. Poněvadž je její zhotovení nenáročné a také se prakticky osvědčila, je nutno ji doporučit.

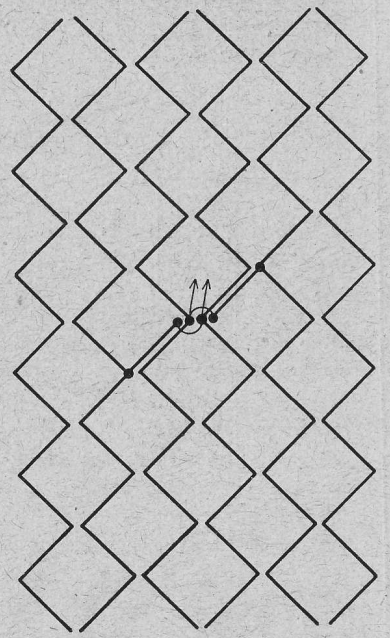
V jednodušším provedení je tato anténa tvořena řadou půlvlnných zářičů klikatě uspořádaných. Sousední zářiče spolu svírají vždy pravý úhel (obr. 6–53). Představíme-li si směry proudů v jednotlivých zářičích, jasně vidíme, že ve vodorovném smyslu směřují všechny na jednu stranu, kdežto ve svislém smyslu jich polovina směřuje šikmo vzhůru a polovina šikmo dolů. Rozložíme-li šikmé směry na vodorovné a svislé složky (*B*), přesvědčíme se snadno, že vodorovné se musí sčítat, zatím co svislé se budou rušit. To znamená, že z takto šikmo polarizovaných zářičů zmizí svislá složka a zůstane vodorovná polarizace (je-li osa celé soustavy svislá). Napájení je možno provádět buď vyšší impedancí (obr. 6–54) nebo s nízkou impedancí v polovině některého (nejlépe středního) zářiče. V obou případech impedance klesá úměrně s počtem jednotlivých prvků, a proto je výhodnější vyobrazené napájení podle obr. 6–54.



Obr. 6–53. Princip činnosti Chireix-Mesnyovy antény.

Hlavní předností antény tohoto typu je možnost libovolného zvětšování jak na výšku, tak i na šířku. Šířka soustavy je sestavena z několika klikatých vodičů vedle sebe. Napájení pak upravíme, aby složky v jednotlivých půlvlnných sekcích byly zaměřeny na tutéž stranu. Při sudém počtu řad je možno napájení zapojit bez přerušení vodičů podle obr. 6–54. Ve skutečnosti jsou přímo napájeny pouze čtyři řady, druhá až pátá a první a šestá jsou buzeny pouze jako pasivní prvky. Anténa v tomto provedení je dvousměrová. Umístíme-li do vzdálenosti $\lambda/4$ stejnou síť z klikatě upravených vodičů, získáme výbornou jednosměrovou anténu.

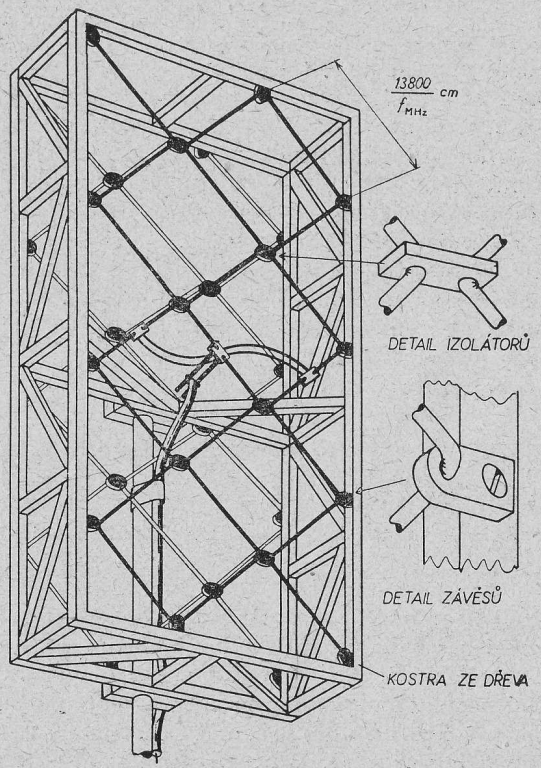
Na obrázku 6–55 je zachyceno praktické provedení antény pro pásma 435 a 1215 MHz. Kostru antény zhotovíme z dřevěných latěk 10×20 mm a 20×20 mm náležitě vyztuženou příčkami. Vodiče sousedních řad zavěsíme v jejich ohybech do izolačních spojek, takže celou síť můžeme dostatečně napnout. Anténa v tomto provedení je velmi lehká a odolná proti náporům větru.


Obr. 6–54. Uspořádání vícenásobné Chireix-Mesnyovy antény.

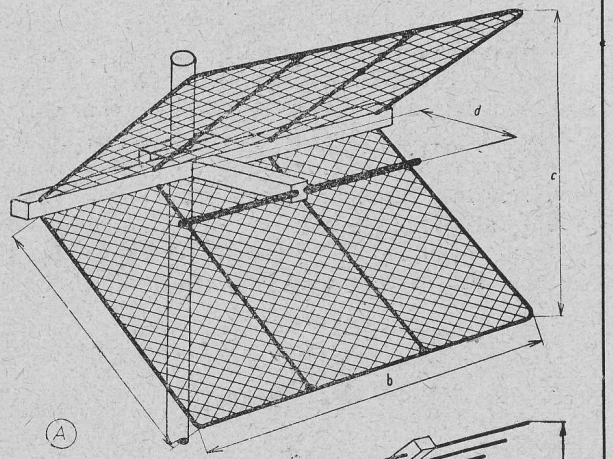
VI–20. ÚHLOVÝ REFLEKTOR

Úhlový reflektor patří mezi velmi oblíbené antény pro pásmo 435 MHz a výše. Jak již bylo uvedeno, je možno tento typ zhotovit v různém provedení. Rozhodující budou určitě pořizovací náklady. Pro nižší kmitočty volíme reflektory z drátěného pletiva (pro dvoumetrové pásmo). Pro sedmdesát centimetrů bude vhodný a celkem i nenákladný reflektor z tyčí či prutů a pro 1215 a výše použijeme perforovaný nebo i hladký plech. Praktické rozměry jsou na obrázku 6–56 a v tabulce.

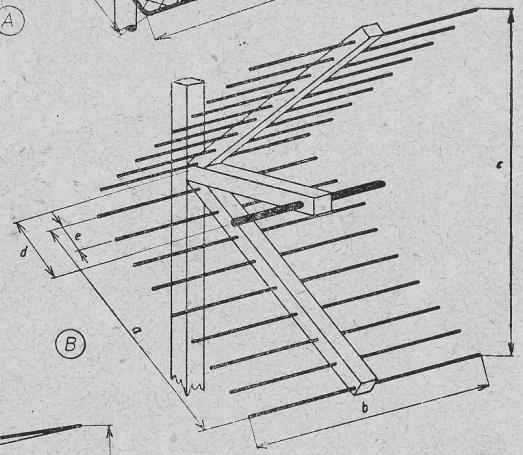
Mnozí se již jistě setkali s úhlovým reflektorem, ve kterém je zářič doplněn ještě několika direktory (D). Toto řešení lépe koncentruje energii vyzářenou zářičem před předním okrajem reflektorů, která bez použití direktorů není soustřeďována a odchází v poměrně širokém úhlu.

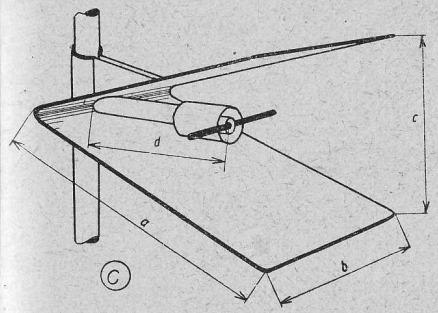


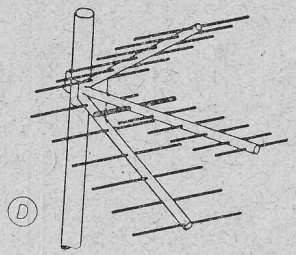
Obr. 6–55. Praktické provedení Chireix-Mesnyovy antény pro VKV.



	145 MHz	435 MHz
a	2500	920
b	1220	458
c	2500	920
d	965	330
e	130	42





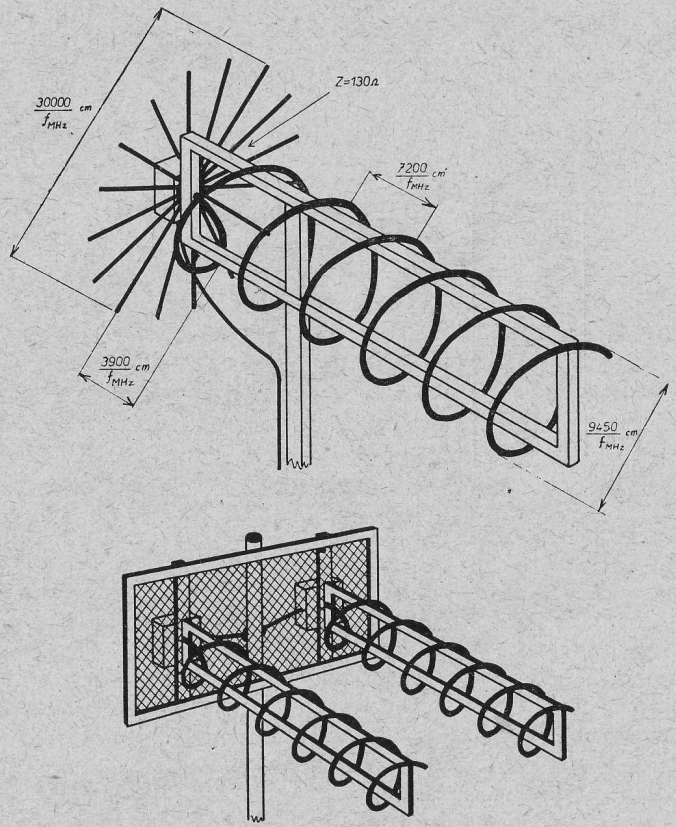


ROZMĚRY PODLE TABULKY

Obr. 6–56. Provedení antén s úhlovým reflektorem.

VI–21. ŠROUBOVICOVÁ ANTÉNA

S érou „sputníků a satelitů" vešla do módy *šroubovicová anténa*, které byly dříve v příručkách věnovány jen skrovné odstavce (obr. 6–57). Patří mezi účinné a při tom velmi širokopásmové antény. Její zvláštností je kruhová (eliptická) polarizace, pro kterou se osvědčuje zejména tam, kde se polarizace vlny mění – ať již vlivem interference s odraženou vlnou, nebo vlivem pohybu vysílací antény. Použije-li se šroubovicové antény u obou stanic (na straně vysílače i přijímače), dosáhne se nejlepšího účinku, je-li směr vinutí šroubovice v obou případech stejný.



Obr. 6–57. Provedení šroubovicové antény.

Anténa se napájí koaxiálním vedením. Její impedance záleží na průměru šroubovice vyjádřeném ve vlnových délkách

$$Z = 440 \cdot D. \qquad [\Omega, \lambda] \qquad [6\text{–}18]$$

Tento vztah platí pro optimální rozměry.

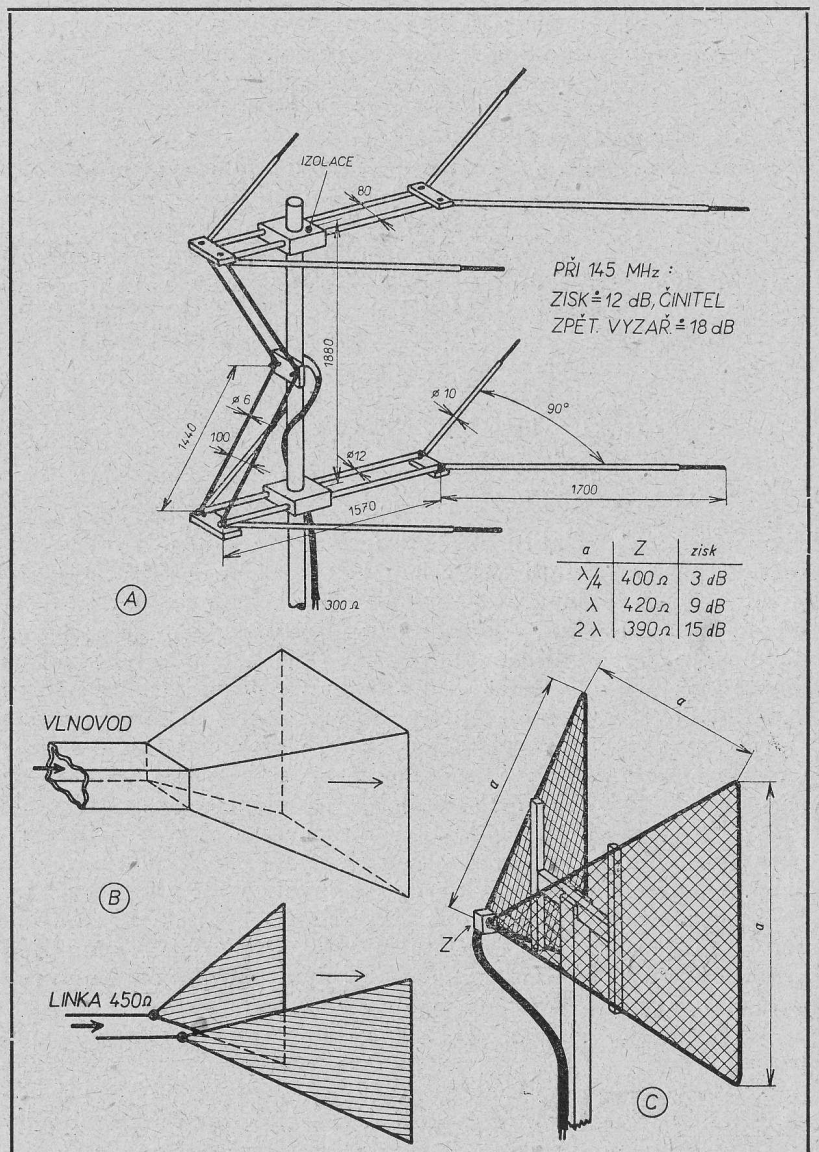
Šroubovicové antény můžeme sestavovat do skupin pro získání většího zisku při zachování nezávislosti na polarizaci přijímané vlny. Tato vlastnost se využívá pro konstrukci mnohonásobných anténních systémů pro speciální účely. Na obrázku 6–57 jsou znázorněna dvě praktická provedení šroubovicových antén se ziskem kolem 13 dB (pro jeden systém).

VI–22. ŠIROKOPÁSMOVÉ ANTÉNY

Širokopásmové antény nacházejí nejčastější uplatnění v televizní přijímací technice. Vyžadují to nejen značně široká kmitočtová pásma jednotlivých televizních kanálů, ale i nutnost přijímat jedinou anténou vysílání různých stanic. V amatérské technice je tomu poněkud jinak. Snažíme se vyřešit antény s dobrou účinností na dvou i více amatérských pásmech. Oproti televizi jsou amatéři ve výhodě, poněvadž amatérská pásma jsou většinou v harmonickém vztahu a antény pro více pásem nejsou v pravém slova smyslu širokopásmové, ale pouze vícepásmové s dobrou účinností právě v rozsahu určitých a nepříliš širokých amatérských pásem. Takováto řešení jsou běžná pro KV amatérská pásma, ale pro VKV antény je situace značně obtížnější. Běžné používání antény s pasivními prvky se poměrně nesnadno řeší tak, aby pro dvě nebo více pásem si všechny prvky zachovaly svoje vlastnosti. Naopak antény pro VKV nejsou tak rozměrné, aby nemohlo být použito pro každé pásmo speciální antény. Přesto se v amatérské praxi setkáváme s řešením vícepásmových nebo širokopásmových antén. Dva typické příklady jsou na obrázku 6–58.

Obrázek 6–58A znázorňuje zajímavou anténu ve tvaru V s napájenými všemi prvky. I tato konstrukce je odvozena z televizní přijímací antény. Anténu lze použít počínaje pásmem 50 MHz se ziskem kolem 14 dB. Porovnáme-li však tuto anténu s kteroukoliv jinou víceprvkovou anténou stejné velikosti, shledáme, že širokopásmovosti je dosaženo na úkor zisku.

Jiným typickým příkladem širokopásmové antény je tzv. trychtýřová anténa odvozená od skutečné trychtýřové antény použí-



Obr. 6–58. Dvě typické širokopásmové (vícepásmové) antény.

vané pro decimetrové a centimetrové vlny. Z původního čtyřhranného trychtýře jsou použity dvě protější stěny, připojené podobně jako dipól na napájecí vedení (obr. 6–59B). Vlna, která se mezi oběma trojúhelníkovými plochami vytváří, je obdobná vlně vytvořené na vlnovodovém trychtýři.

Zisk této trychtýřové antény je závislý na její velikosti a může být vyjádřen výrazem

$$G = \frac{8{,}4\,A^2}{\lambda^2}. \qquad [\mathrm{m^2, dB}] \qquad [6\text{–}19]$$

A je plocha ústí antény $A = a \times a$. Vyjádříme-li rozměr a ve vlnových délkách, bude

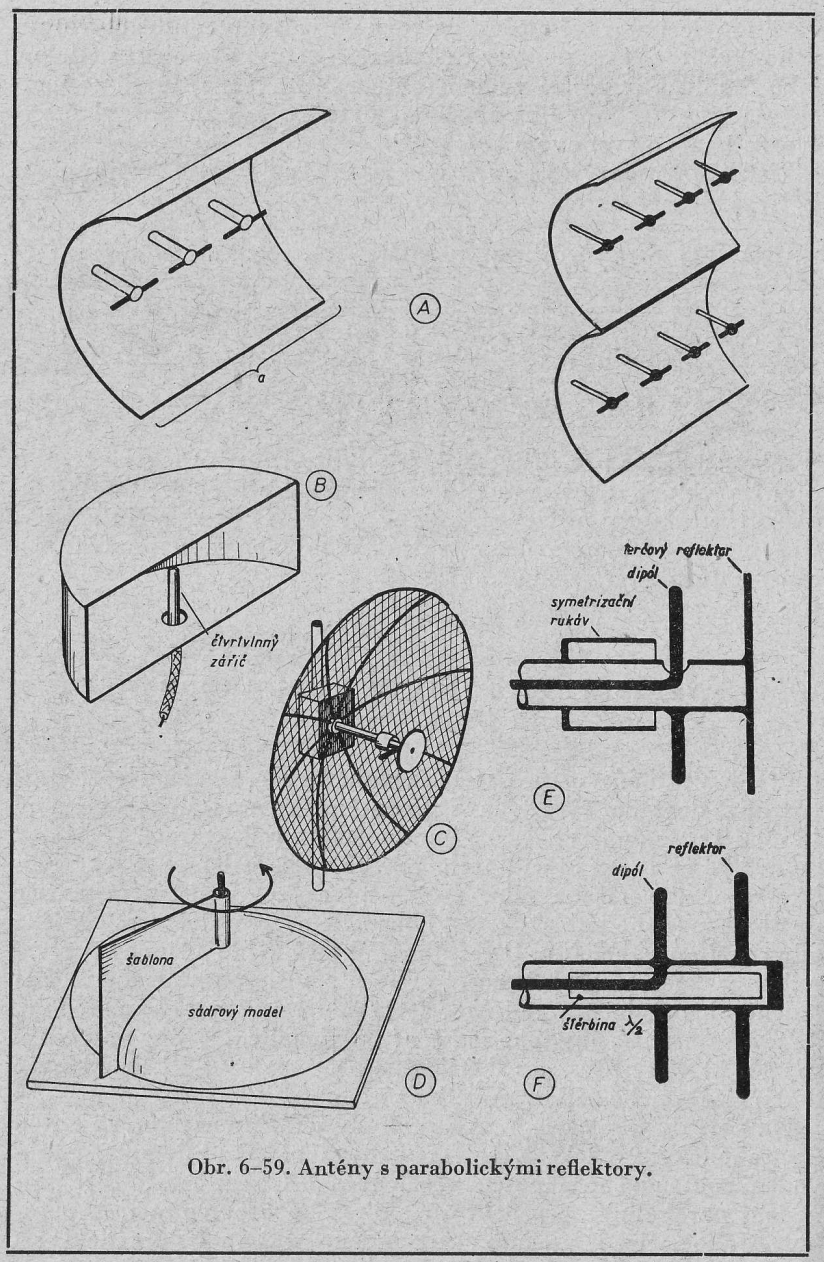
$$G = 8{,}4\,a^2. \qquad [\mathrm{dB}, \lambda^2] \qquad [6\text{–}20]$$

Z toho plyne, že pro přijatelný zisk volíme anténu s rozměrem a rovným vlnové délce nejnižšího používaného pásma. Obr. 6–58C ukazuje praktické provedení antény pro pásmo 144 MHz a výše. Obě plochy jsou provedeny z drátěného pletiva napnutého na rámy z duralových trubek.

VI–23. PARABOLICKÉ REFLEKTORY

Čím je vyšší pásmo, pro které se rozhodneme, tím jsou lepší možnosti pro dosažení vysokých zisků antén. Pro amatérská pásma od 1250 MHz lze použít zářičů s parabolickým reflektorem. Reflektor může být ve tvaru části parabolického válce nebo ve tvaru vrcholíku rotačního paraboloidu. V obou případech umísťujeme zářiče do ohniska (nebo ohniskové osy) bez ohledu na vzdálenost ohniska od vrcholu paraboloidu. U těchto reflektorů nejde o laděný pasivní reflektor, který vyžaduje zcela určitou závislost vzdálenosti a naladění, ale o neladěný reflektor zcela podobný optickému zrcadlu. Je proto důležité, aby jeho rozměr (zejména u válcového provedení rozměr a) vždy přesahoval nejméně o čtvrtvlny na každé straně délku zářiče nebo celkovou délku zářičů.

Na obrázku 6–59A jsou dva příklady několikanásobných antén s parabolickým reflektorem. Toto provedení vyžaduje pečlivé provedení soufázového napájení všech zářičů. Obrázek 6–59B je provedení parabolického reflektoru s širokým otevřením ústí paraboly. Jako zářiče je použito čtvrtvlnného prvku v boku reflektoru.



Obr. 6–59. Antény s parabolickými reflektory.

Toto provedení je u amatérů značně oblíbené pro svou jednoduchost (zejména pro 2300 MHz a výše).

Obr. 6–59C je typický pro reflektor, tvořený rotačním paraboloidem. Zhotovení je obtížnější oproti válcovému typu. Pro zhotovení dobré paraboly, jejíž odchylky od přesného tvaru nesmějí v žádném případě přesahovat velikost desetiny vlnové délky, se vyplatí zhotovit si předem dřevěnou nebo sádrovou formu (obrázek 6–59D). Přesného tvaru dosáhneme šablonou otočnou kolem svislého čepu. Šablona je přesně vystřižena z plechu nebo jiného tvrdého materiálu. Na takové pomocné formě snadno zformujeme kovové pletivo a trubkové nebo úhelníkové výztuhy. Stejně snadno všechny díly na pomocné formě spájíme.

Pro upevnění zářiče použijeme trubku procházející středem reflektoru. Je-li použito zářiče s půlvlnným reflektorem nebo odraznou deskou, je výhodné posouváním trubky doregulovat umístění zářiče v ohnisku.

Napájení zářiče v parabolickém reflektoru je poněkud odlišné od běžných provedení. Nejčastěji se používá dvou způsobů: první způsob (obr. 6–59E) vyžaduje symetrizační čtvrtvlnný rukáv. Druhý způsob (obr. 6–58F) budí symetricky dvě půlvlnné štěrbiny v plášti koaxiálního napáječe a tyto pak budí dipól připájený vně pláště. Tento druhý způsob nepotřebuje symetrizaci.

Při používání všech parabolických reflektorů je výhodné montovat vysílač i přijímač (nebo alespoň jejich hlavní části) přímo na zadní stranu reflektoru. To nám ušetří starosti s napájecím kabelem. Reflektory zhotovujeme nejčastěji z drátěného pletiva nebo děrovaného plechu. Plná kovová plocha není z elektrického hlediska nikterak na závadu, ale způsobuje nesnáze při větru. Otvory v plechu nebo oka v pletivu nemají být větší než desetina vlnové délky. Při použití pletiva budeme dbát na dobrý dotyk mezi jednotlivými dráty.

Parabolickými zrcadly se dosahuje poměrně úzkých vyzařovaných svazků (viz rovnice [6–19]) a proto musíme počítat i s možností jemného a přesného zaměrování, a to ve vodorovném směru tak v malých mezích i ve svislém směru (zejména při využívání příznivých troposférických podmínek šíření VKV). Vyžaduje to i dobré znalosti směrování v terénu.

VI–24. POZNÁMKA K VOLBĚ ANTÉNY

Pro volbu antény pro to či ono amatérské pásmo VKV je nutno především zvážit místní podmínky, které bývají často nejzávažnějším omezujícím činitelem. Vzhledem k tomu, že VKV anténa vyžaduje určité materiálové i pracovní náklady (daleko větší než natažení drátové KV antény), je důležité dobře promyslet výhled do budoucna. To znamená, že volíme umístění i provedení antén podle toho, o kolik pásem budeme mít zájem, podle toho, jsme-li radioamatéry s převahou provozní záliby nebo konstruktérské záliby, nebo budeme-li provozovat činnost převážně od krbu nebo v terénu. V neposlední řadě musíme zvážit i výrobní možnosti.

V žádném případě si nezapomeneme zhotovit pomocnou anténu (prostý dipól) s diodou v určité vzdálenosti od hlavní antény (podle možností alespoň 10 λ). Vedení této antény provedeme z běžného zkrouceného dvojitého vodiče, svedeme k mikroampérmetru k zařízení. Tento pomocný dipól je výborným pomocníkem pro nastavování, zkoušení a porovnávání antén napáječů a konec konců i vysílače.

VI–25. NAPÁJECÍ VEDENÍ

Anténní soustava je připojena k vysílači nebo přijímači buď přímo, nebo prostřednictvím napájecího vedení. Přímé připojení antény k přístroji se častěji používá u zařízení pro decimetrové vlny, kde montujeme přístroj přímo k anténě. Avšak ani zde nejde vždy o přímé připojení antény, poněvadž i zde potřebujeme použít kus napájecího vedení. Poněvadž délku napájecího vedení vždy srovnáváme s vlnovou délkou, jsou i tyto na pohled krátké napáječe ve srovnání s vlnovou délkou napáječi dlouhými. Krátkým vedením jmenujeme takové vedení, jehož délka je menší než čtvrt nebo půl délky vlny. Dlouhé vedení je srovnatelné s délkou vlny nebo delší. Přímým připojením budeme tedy rozumět takové provedení, kde je anténa přímo napojena na příslušný obvod, například čtvrtvlnná anténa decimetrového zařízení umístěná v boční stěně parabolického zrcadla, na jehož vnější straně je vlastní přístroj, nebo čtvrtvlnná anténa přenosné rádiové stanice.

Každé vedení, pokud si zachovává po celé délce stejný profil, má svou charakteristickou impedanci. Zanedbáme-li ohmický odpor

vodičů a svod izolace mezi vodiči, platí pro charakteristiskou impedanci vztah:

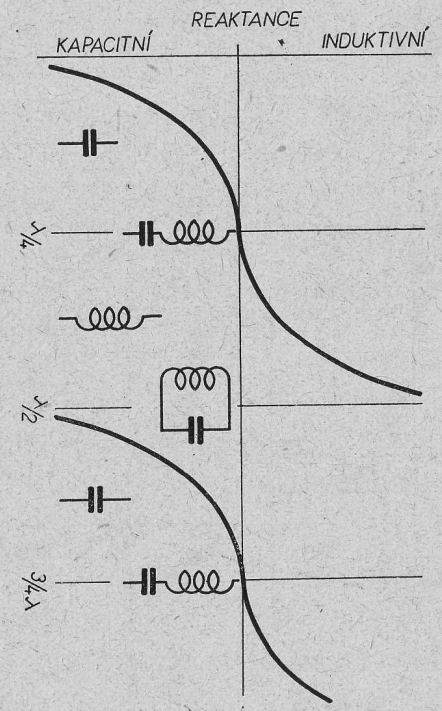
$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} \qquad [\Omega, \mathrm{H}, \mathrm{F}] \qquad [6\text{–}21]$$

[Z_o = charakteristická impedance, L = indukčnost vedení a C = kapacita vedení.]

Charakteristická impedance takového bezztrátového vedení je nezávislá na kmitočtu a má charakter čistě ohmický, a poněvadž závisí pouze na indukčnosti a kapacitě, musí být nutně dána fyzikálními rozměry. Je-li však ohmický odpor vodičů nebo svod izolace (nebo obojí) srovnatelné s L a C, bude mít i charakteristická impedance komplexní charakter, ale zachovává si kmitočtovou nezávislost. Charakteristická impedance je základní údaj, kterým jsou také označována i vyráběná vedení. Mluvíme například o koaxiálním kabelu 70 Ω, dvoulince 300 Ω atp.

Anténní napáječe dělíme na laděné a neladěné. Neladěné napáječe jsou zakončeny tak, aby na nich nevznikaly stojaté vlny. To znamená, že neladěné napáječe musí být zakončeny impedancí odpovídající charakteristické impedanci napáječe. Naproti tomu laděné napáječe nejsou zakončeny charakteristickou impedancí vedení a pro správné přizpůsobení na zdroj a zátěž je nutno dosáhnout zcela určitého poměru mezi jejich délkou a délkou vlny – tj. musí být naladěny.

V technice VKV se laděných napáječů používá jako krátkých úseků, které mají úkol určitým laděním transformovat impedanci zátěže na impedanci vlastního dlouhého na-



Obr. 6–60. Průběh reaktance vedení.

páječe (neladěného). Dále se laděných napáječů používá na vzájemné, fázově zcela určité propojování více anténních prvků u složených antén.

Tam, kde je připojen k vedení zdroj vf energie, můžeme měřit vstupní impedanci napáječe. Je-li měřené vedení nekonečně dlouhé nebo je-li zakončeno zátěží rovnající se charakteristické impedanci vedení, naměříme také na vstupu hodnotu rovnající se charakteristické impedanci vedení. Sledujeme-li vstupní impedanci vedení, které na konci nemá žádnou zátěž, bude se vstupní impedance měnit v závislosti na délce vedení podle diagramu 6–60.

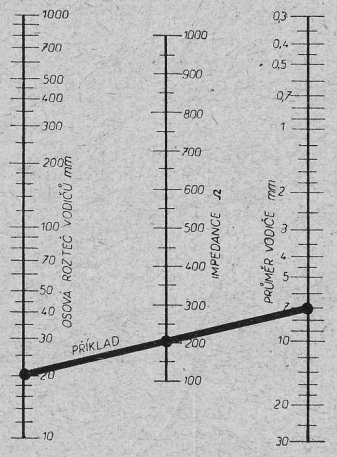
Této vlastnosti používáme pro transformovaci impedancí. Má-li vedení délku $\frac{\lambda}{4}$ nebo liché násobky $\frac{\lambda}{4}$, je jeho vstupní impedance v opačném poměru k zátěži, například zátěž s malou impedancí se transformuje na velkou vstupní impedanci. Takovému krátkému vedení, jehož elektrická délka je $\frac{\lambda}{4}$, říkáme čtvrtvlnný transformátor. Pro výpočet transformace platí vztah

$$Z_1 \cdot Z_2 = Z_o^2 \qquad [6\text{–}21]$$

nebo

$$Z_o = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2}\,, \qquad [6\text{–}22]$$

[kde Z_o je charakteristická impedance použitého čtvrtvlnného vedení, Z_1 je vstupní impedance a Z_2 je zatěžovací impedance].



Obr. 6–61. Nomogram pro stanovení impedance vzdušného vedení.

V praxi používáme dvou druhů napájecích vedení. Prvním je symetrické vedení ve tvaru rovnoběžných vodičů v určité vzdálenosti. Toto může být provedeno buď se vzdušnou izolací (vodiče jsou holé) a vzdálenost je udržována izolačními příčkami řídce rozloženými. Impedance takového vedení stanovíme podle vzorce

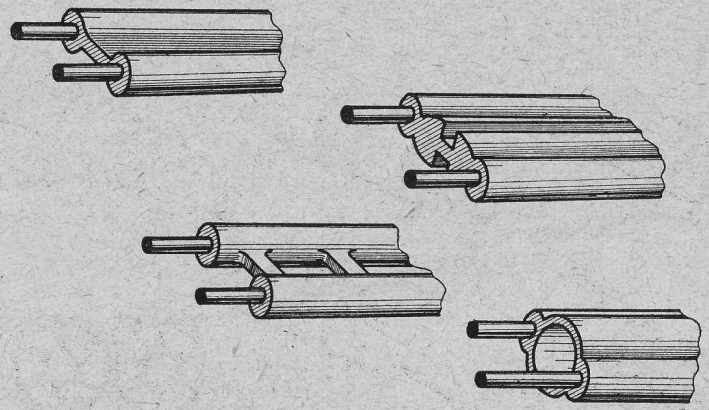
$$Z_o = 276 \log \frac{s}{r}, \qquad [6\text{–}23]$$

[kde s = osová rozteč vodičů, r = = poloměr vodičů].

Pro rychlejší stanovení rozměrů použijeme nomogramu 6–61. Nejmenší možná impedance takového vzdušného vedení (když

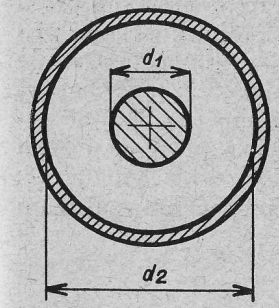
osová rozteč se rovná průměru vodičů) za předpokladu, že se nedotýkají, je 83 Ω.

V praxi se vyskytují symetrická vedení ve tvaru pásku izolace se zalisovanými vodiči na obou krajích. Impedance takového vedení závisí také na dielektrické konstantě izolačního materiálu. Profil takového vedení může mít různé provedení podle příkladu na obr. 6–62.



Obr. 6–62. Příklady provedení dvoulinky.

Druhým běžným typem napájecího vedení je *vedení souosé* (*koaxiální*). Takové vedení je tvořeno vodičem procházejícím vodivým pláštěm (obr. 6–63). Je-li izolace mezi oběma vodiči vzduch (lépe vakuum), je charakteristická impedance dána vztahem



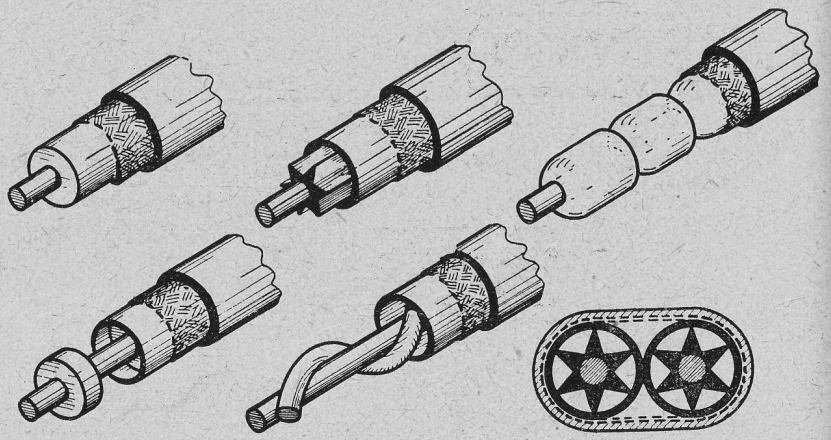
Obr. 6–63. Rozměry určující charakteristickou impedanci koaxiálního vedení.

$$Z_o = 138 \log \frac{d_2}{d_1}. \qquad [6\text{–}24]$$

Dostatečně přesně platí tento vzorec pro *souosé vedení*, ve kterém jsou izolační rozpěrky daleko od sebe. Běžné kabely mají izolaci buď plnou, nebo určitým způsobem profilovanou. Pro tyto případy platí složitější vzorec, vyžadující znalost dielektrické konstanty použité izolace. Charakteristickou impedanci uvádí výrobce a této hodnotě je možno věřit. Souosé kabely mívají

různá provedení izolační vložky, jak ukazují některé příklady na obr. 6–64.

Souosý kabel je vlastně určité provedení tak zvaného stíněného kabelu. Podobným způsobem je možno uspořádat i symetrické vedení vložením dvouvodičového vedení do stínicího pláště. I tento typ vedení může mít různá provedení. Symetrické stíněné vedení slučuje výhody symetrického vedení vedením sou-



Obr. 6–64. Příklady provedení koaxiálních kabelů.

osým. Je však těžko nezávisle na ostatních podmínkách doporučit to či ono. Volba symetrického nebo souosého vedení záleží na vlastních technických podmínkách použití. Pro amatérskou praxi je souosý kabel jednodušší manipulací; přepínání a konečně i připojení do nesymetrických vstupů například přijímače vyžaduje však někdy symetrizaci (například připojení antény). Symetrickým kabelem se snadno udržuje symetrie antény a případně symetrického výstupu z vysílače, ale vyskytne-li se potřeba dalších členů (například filtru proti rušení), musí být také symetrické. Naopak symetrické vedení je i z hlediska možného vyzařování značně příznivější.

Výběr napájecího vedení v amatérské praxi někdy naráží na nepřekonatelnou překážku danou omezeným výběrem tohoto materiálu na trhu. To vede k nutnosti používat symetrizační členy pro připojení antény. Je-li impedance antény rovná impedanci vedení, používáme *symetrizační člen* (někdy se říká vyvažovací – v zahraniční literatuře je označován zkráceně BALUN) s transformací 1 : 1, tj. bez změny impedance. Jedno provedení (obr. 6–65A), tzv. *rukávové* má vně napájecího vedení plášť o elektrické délce $\frac{\lambda}{4}$, spojený dolním koncem s pláštěm kabelu. Vnitřní průměr tohoto rukávu volíme tak, aby charakteristická impedance daná průměry d_2 a d_3 odpovídala impedanci vlastního napájecího vedení.

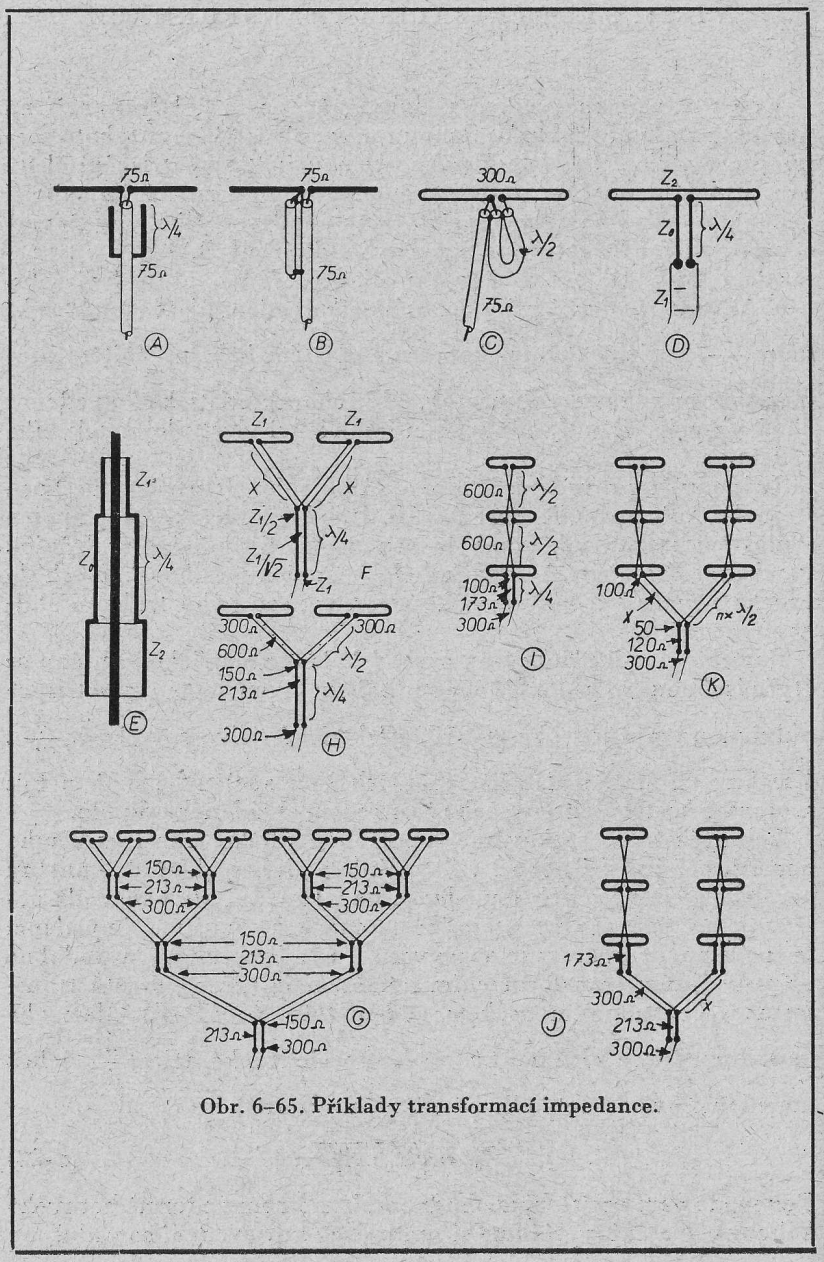
Jednodušší provedení je dáno připojením čtvrtvlnného kusu stejného kabelu podle obr. 6–65B. Spodní konec je opět spojen s pláštěm vedení, ale jinak je připevněn distančními izolačními vložkami. Připojený kousek kabelu je spojen na obou koncích do krátka a může být nahrazen kovovou tyčkou nebo trubkou stejných rozměrů.

Potřebujeme-li připojit na souosý kabel symetrickou anténu se čtyřnásobnou impedancí oproti kabelu, použijeme symetrizace půlvlnnou smyčkou obr. 6–65C. Elektrická délka smyčky je $\frac{\lambda}{2}$. Všechny tři stínicí pláště na koncích jsou spojeny a mohou být spojeny s kostrou antény nebo se středem skládaného dipólu.

Velmi často se setkáváme s potřebou jiného transformačního poměru než je 1 : 1 nebo 1 : 4. Spojujeme-li například dvě antény paralelně, klesne jejich impedance na polovinu, ale poněvadž potřebujeme pokračovat stejným napáječem, musíme impedanci transformovat opět výše v poměru 1 : 2. Pro takové a podobné případy jiným transformačním poměrem je určena prostá transformace čtvrtvlnným úsekem vedení (obr. 6–65D–E). Mezi obě dané impedance vložíme kus vedení o elektrické délce $\frac{\lambda}{4}$, jehož impedanci upravíme podle již známého vzorce

$$Z_o = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \,. \qquad [6\text{–}22]$$

Poněvadž nám určitě vyjde hodnota, která není ve formě hotového kabelu k dostání, vyrobíme si tento úsek v provedení se vzdušnou



Obr. 6–65. Příklady transformací impedance.

izolací podle vzorce [6–23] nebo podle nomogramu 6–61. Transformaci je možno zhotovit jak pro souosé, tak pro symetrické vedení.

Pro spojování složených anténních systémů musíme znát některé zásady paralelního řazení:

1. Použijeme-li napáječe o impedanci rovné zátěži, mohou být oba úseky sice libovolně, ale stejně dlouhé a v bodě spojení bude impedance poloviční (obr. 6–65F). Je-li takových antén více, řadíme je vždy po dvou (obr. 6–65G).

2. Nemáme-li možnost propojovat antény odlišnou impedancí oproti hodnotě antény, musí být napáječ dlouhý $\frac{\lambda}{2}$ (obr. 6–65H). Podobně spojujeme i antény nad sebou (obr. 6–65I).

3. Jsou-li skupiny antén v jedné soustavě umístěny tak, že nelze použít půlvlnných spojek, propojíme jednotlivé antény ve skupině půlvlnným vedením a skupiny mezi sebou neladěným vedením s patřičným transformátorem (obr. 6–65J).

Je-li možno v podobném případě použít spojek v délce násobku půlvlny $\left(n \cdot \frac{\lambda}{2}\right)$, nemusíme používat transformačních členů u jednotlivých skupin (obr. 6–65K).

4. Pro zhotovení transformačních úseků je možno použít normálních napájecích vedení, a to v takovém případě, potřebujeme-li transformační úsek o impedanci poloviční (nebo třetinové) – 100 Ω na 225 Ω, nebo 50 Ω na 450 Ω a naopak, prostě podle vzorce [6–22]. Totéž je možno provádět i souosým kabelem.

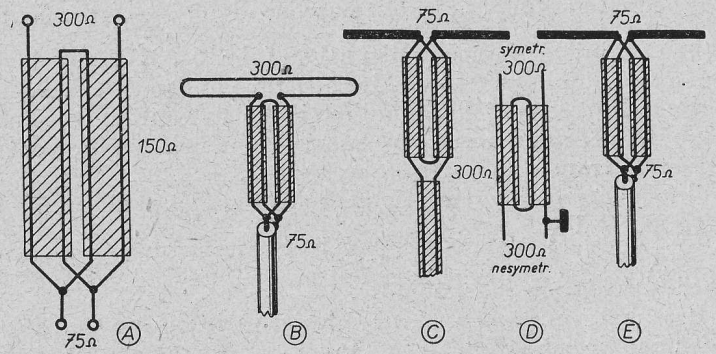
5. V žádném případě nezapomínejme na zkrácení úseků vlivem dielektrické konstanty. O správném naladění transformačního úseku se přesvědčíme pomocí Grid-dip-metru. Nezapojený transformační úsek spojíme na jednom konci do krátka. V tomto stavu musí GDO přiblížený ke zkratovanému konci ukazovat rezonanci při správném kmitočtu.

VI–27. ELEVÁTORY

Podobné uspořádání čtvrtvlnných transformačních úseků, jako je nakresleno na obr. 6–65, můžeme uspořádat použitím vedení o impedanci 150 Ω, které zapojíme podle obr. 6–66A. Tomuto uspořádání se také říká „*elevátor*“. Jeho výhodou je, že může být použit jak pro transformaci, tak pro symetrizaci. Na konce pro 75 Ω můžeme stejně dobře připojit symetrické vedení jako nesy-

metrický kabel i v jiných libovolných kombinacích naznačených na náčrtcích 6–66–B, C, D, E.

Navineme-li oba kusy dvoulinky na dva válečky s většími mezerami mezi závity, zmenší se velikost elevátoru pro umístění do malé krabičky. Kromě toho, poněvadž se zvětší vzájemná vazba mezi oběma vodiči v jedné cívce, změní se charakter elevátoru na širokopásmový. Ostatní možnosti v zapojení zůstanou zachovány. Provedení cívek z běžné dvoulinky je však příliš rozměrné,



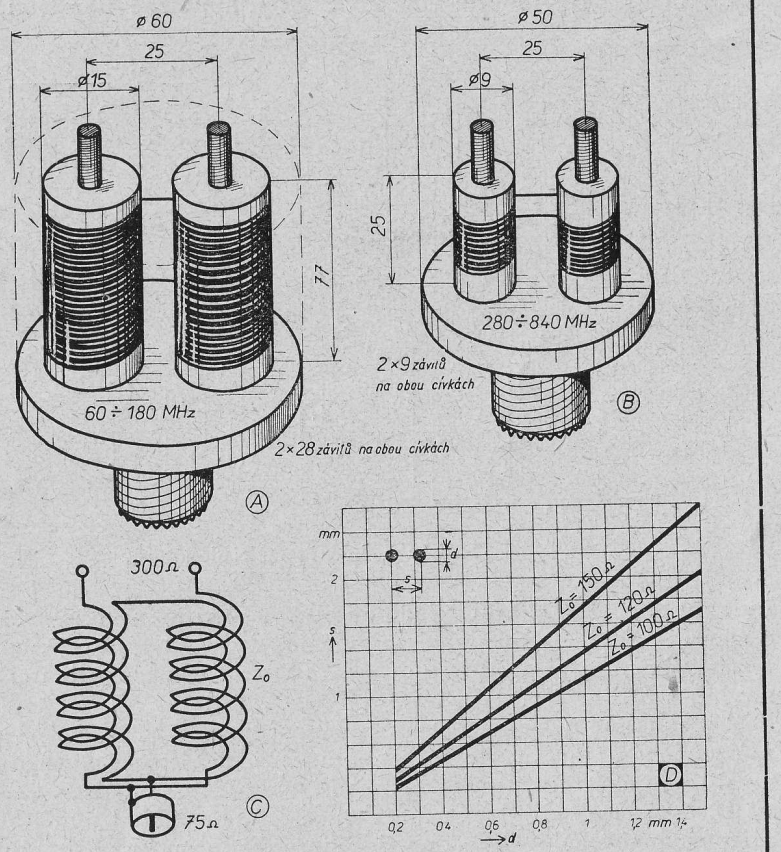
Obr. 6–66. Transformace čtvrtvlnými úseky dvoulinky – elevátory.

a proto vodiče přímo navineme na izolační kostřičky. Vzdálenost vodičů volíme tak, aby odpovídala impedanci 150 Ω (pro potřebu transformace z 50 Ω na 200 Ω má vzdálenost vodičů odpovídat impedanci 100 Ω). Mezeru mezi závity volíme alespoň dvojnásobnou.

Zhotovíme-li válečky z materiálu, který je možno obrábět, je výhodné připravit na soustruhu dvojitou drážku pro přesné uložení drátu. Vineme-li na hladkou trubku, pomůžeme si přidáním distančních drátů, které po dokončení odvineme a zbývající vedení zajistíme dobrým izolačním lepidlem.

Elevátory v tomto provedení pracují přijatelně v kmitočtovém rozsahu 1 : 3. Nejnižší kmitočet je dán délkou navinutého dvojdrátu rovnou čtvrtvlně. Na obrázku 6–67 je příklad provedení elevátorů pro různé kmitočty a diagram pro stanovení rozteče vodičů pro impedanci 100 až 150 Ω. Elevátory se vloží do krytu. Izolačním víčkem prochází svorníky pro připojení symetrické linky a na dně je koaxiální koncovka.

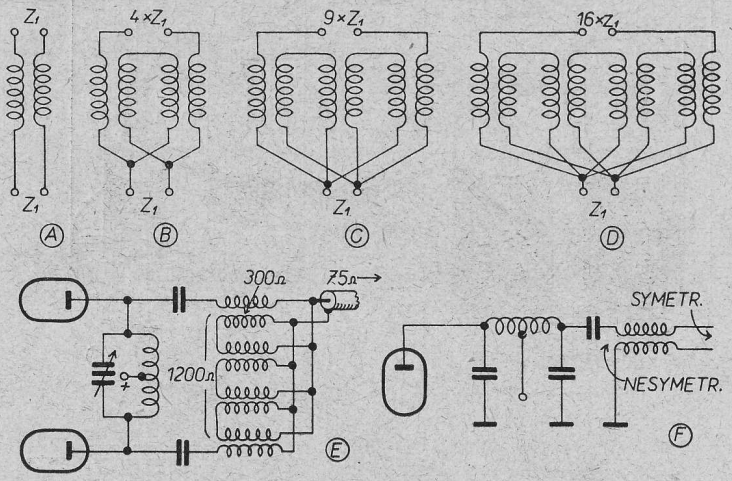
Použijeme-li vodiče o průměru 0,5 mm, bude možno použít ele-



Obr. 6–67. Příklady provedení elevátorů.

vátoru až do výkonu 150 W. Malé elevátory pro nepatrné výkony se běžně vyrábějí a prodávají k televizorům.

Řekli jsme si, že obě cívky můžeme různě kombinovat, jako to bylo naznačeno pro úseky dvoulinky na obrázcích 6–66A až E. Zapojíme-li cívky na obou koncích paralelně, vznikne transformace 1 : 1 a při tom mohou být na obou stranách jak symetrické, tak i nesymetrické přípojky. Obě cívky jsou skutečně paralelní, tj.



Obr. 6–68. Příklady možnosti použití elevátorů.

bylo by možno je nahradit jedinou cívkou navinutou dvoudrátem o charakteristické impedanci poloviční. Jde-li tedy pouze o symetrizaci při transformačním poměru 1 : 1, stačí pouze jediná cívka navinutá příslušným dvoudrátem (obr. 6–68A).

Potřebujeme-li naopak transformační poměr větší než 1 : 4, můžeme kombinovat více cívek. Impedanční přizpůsobení cívek musí tomu ovšem odpovídat. Několik kombinací je na obr. 6–68A až D. Vícenásobná transformace může být například použita na přizpůsobení anodového symetrického obvodu na koaxiální kabel (obr. 6–68E).

VII.

MĚŘICÍ A KONTROLNÍ POMŮCKY

Jak je pro úspěchy v provozu důležitý způsob a kvalita modulace a jak si kvalitu kontrolovat, je stručně shrnuto v první části této kapitoly.

VKV amatér se však neobejde ani bez některých měřicích pomůcek, speciálně přizpůsobených pro tato vysoká kmitočtová pásma. Bez nich bychom tápali a úspěchy by se staly jen produktem náhody.