

v mieste príjmu bola-taká istá, ako je v tomto mieste intenzita poľa od smerovej antény, ktorú berieme do úvahy. V tomto prípade hovoríme o absolútnej smerovosti antény.

Izotropná anténa je fiktívnym zdrojom, a preto veľmi často smerovosť danej antény vzťahujeme k polvlnovému dipólu ako k referenčnej anténe. V tomto prípade hovoríme o relatívnej smerovosti antény. Zisk antény nám udáva, koľkokrát väčší výkon treba dodať do referenčnej antény ako do smerovej antény, aby v mieste príjmu bola intenzita od oboch antén rovnaká. Na rozdiel od smerovosti antény zahŕňa zisk antény aj účinnosť antény. Je daný súčinom smerovosti S_a a účinnosti antény η

$$G = \eta \cdot S_a \quad (8.20)$$

Zisk antény sa obyčajne vyjadruje v dB vzťahom

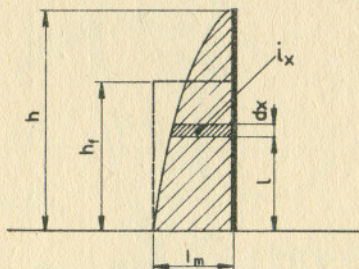
$$G_{(dB)} = 10 \log G \quad (8.21)$$

V prípade antén, ktoré majú vystupňované smerové účinky, sa vlastnosti antény vyjadrujú aj šírkou vyžarovaného zväzku. Je to uhol medzi sprievodičmi bodov na vyžarovacej charakteristike, ktoré zodpovedajú hodnote $0,707 E_m$ (obr. 8.7). Zväčšenie smerovosti sa môže dosiahnuť použitím anténových radov s viacerými napájanými (aktívnymi) prvkami.

V prijímacej technike sa používa pojem predozadný pomer alebo činiteľ spätného príjmu. Je to pomer napätia získaného v smere maximálneho príjmu k napätiu prijatému v protismere. Pri jednoduchom polvlnovom dipóle je tento pomer 1. Udáva sa aj v dB.

8.2.5 Efektívna výška antény

Rozloženie prúdu pozdĺž anténového vodiča nie je rovnomerné (obr. 8.8). To ale znamená, že nie všetky časti antény sa zúčastňujú na vyžarovaní vF energie rovnako účinne. Aby sa mohol aj za týchto okolností vypočítať vyžiarený výkon, zavádza sa efektívna výška antény. Je to taká výška antény, pri ktorej by pretekal po celej dĺžke rovnomerne rozložený prúd s takou efektívnou hodnotou, aká je efektívna hodnota prúdu pri normálnej výške. Efektívnu výšku antény s nerovnomerne rozloženým prúdom dostaneme, keď plochu



Obr. 8.8. Efektívna výška antény

znázorňujúcu rozloženie prúdu pozdĺž antény premeníme na obdĺžnik s rovnakou základňou a plochou. Porovnaním oboch plôch dostaneme

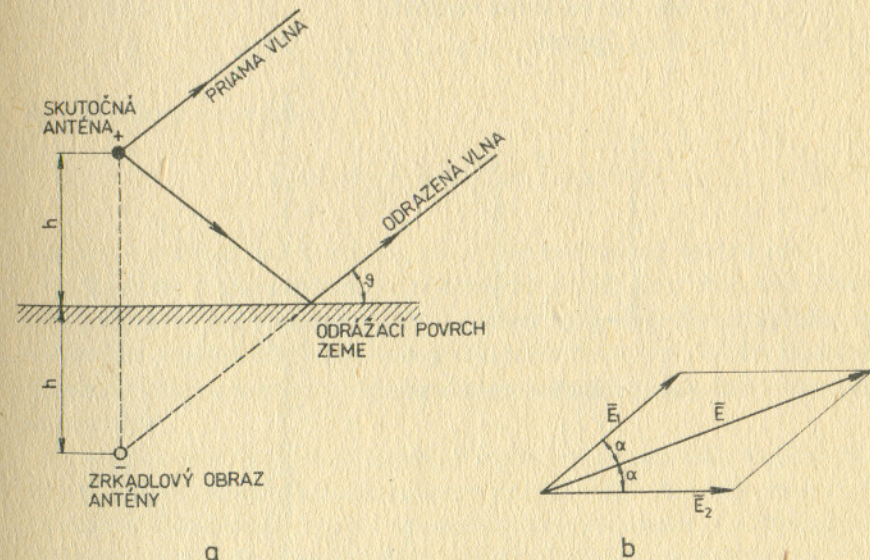
$$h_{et} I_m = \int_0^h i_x dx; \quad h_{et} = \frac{1}{I_m} \int_0^h i_x dx \quad (8.22)$$

dosadením za $i_x = I_m \cos \frac{2\pi}{\lambda} x$ a riešením integrálu pre štvrtvlnovú anténu $h = \lambda/4$ dostaneme $h_{et} = \frac{2}{\pi} \cdot h$. Pomocou efektívnej výšky alebo efektívnej plochy, môžeme vypočítať napätie indukované v anténe

$$U_i = E h_{et} \quad \left[\mu V; \frac{\mu V}{m}; m \right] \quad (8.23)$$

8.3 ZÁKLADNÉ TYPY ANTÉN SO STOJATOU VLNOU

Antény so stojatou vlnou sa môžu napájať súmerne alebo nesúmerne. V oboch prípadoch sa uplatní odraz vlnenia od vodivého povrchu zemského na vyžarovacej charakteristike antény. Vplyv zeme na vyžarovanie antény vyjadrujeme zrkadlovým obrazom antény (obr. 8.9). Vý-



Obr. 8.9. Zrkadlový obraz antény

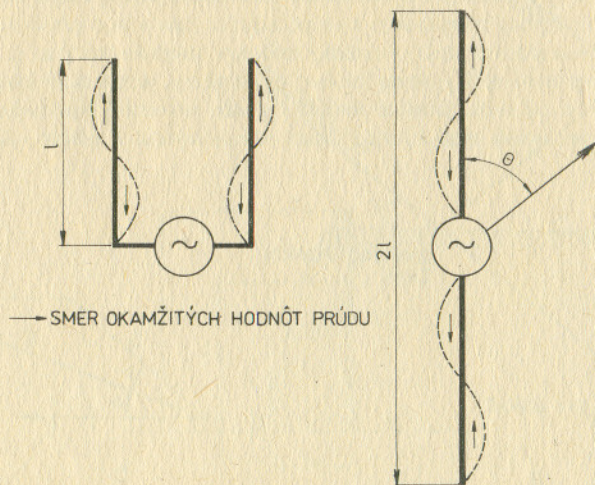
sledné pole je dané vektorovým súčtom elektrického poľa priamej a odrazenej vlny, ktorú si môžeme predstaviť ako keby bola vyžarovaná zrkadlovým obrazom antény.

8.3.1 Jednoduchý zvislý anténový vodič napájaný súmerne

Najjednoduchší tvar vysielacej antény, ktorá sa najviac blíži k elementárnemu elektrickému dipólu, je zvislý vodič dvojnásobnej dĺžky l vo voľnom priestore. Ak budeme takýto vodič napájať v strede, potom jeho vlastnosti môžeme odvodiť z vedenia naprázdno s dĺžkou l , ktorého zakončovacia impedancia je $Z_k = \infty$. Roztvorením vodičov vznikne symetrický žiarič (obr. 8.10). Rozloženie prúdu a napätia v jednotlivých bodoch, keď berieme do úvahy bezstratové vedenie, dostaneme z rovníc (6.20) a (6.21). Keď $I_k = 0$ (prúd na konci vedenia má uzol), potom pre prúd a napätie na anténe dostaneme výrazy

$$I = j \frac{U_k}{Z_v} \sin \beta x; \quad U = U_k \cos \beta x \quad (8.24)$$

kde I a U je napätie a prúd v bode x
 U_k — napätie na konci vedenia,
 β — fázový posun.



Obr. 8.10. Jednoduchý zvislý vodič súmerne napájaný

Napätie a prúd má fázový posun 90° . Vodič vyžaruje elektromagnetickú energiu celou svojou dĺžkou a vytvára v priestore elektromagnetické pole. Výsledné pole bude dané rozložením prúdu a napätia pozdĺž vodiča. Pri dlhšom vodiči, vzhľadom na vlnovú dĺžku, stojatá prúdová vlna pozdĺž vodiča má kladnú a zápornú polaritu, v dôsledku čoho sa vyskytnú v priestore také body, kde sa polia od jednotlivých elementárnych žiaričov stretnú vo fáze; tým smerom bude výsledné pole silnejšie. Vyskytnú sa však aj také smery, v ktorých sa polia od jednotlivých úsekov elementárnych žiaričov rušia. V týchto smeroch bude výsledné pole slabšie alebo žiadne. Výsledná intenzita poľa E v určitom bode P vo vzdialenosti r od žiariča je daná vzťahom (8.4)

$$E = \frac{60 I}{r} F(\Theta)$$

kde $F(\Theta)$ je smerová funkcia, ktorej priebeh závisí od počtu polvln pozdĺž anténového vodiča.

Smerová funkcia:

a) pre nepárny počet polvln anténového vodiča

$$F(\Theta) = \frac{1}{\sin \Theta} \cos \left[(2n + 1) \frac{\pi}{2} \cos \Theta \right] \quad (8.25)$$

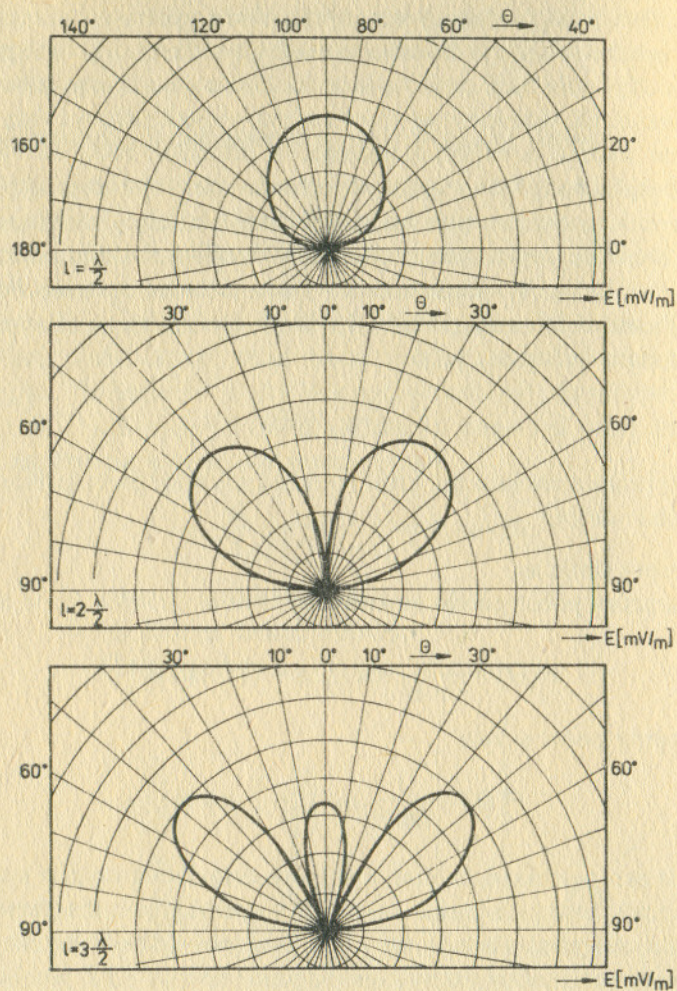
b) pre párny počet polvln

$$F(\Theta) = \frac{1}{\sin \Theta} \sin \left[2n \frac{\pi}{2} \cos \Theta \right] \quad (8.26)$$

kde $n = 0$ pre polvlnovú anténu, $n = 1$ pre celovlnovú anténu atď.

Smerovú funkciu môžeme znázorniť vo vertikálnom diagrame žiarenia. Takéto diagramy žiarenia pre niekoľko typov anténových žiaričov sú nakreslené v polárnom vyžarovacím diagrame na obr. 8.11. Horizontálny diagram zvislej súmerne napájanej antény je kružnica v rovine kolmej na os žiarenia.

Antény tohto typu nevyžarujú v smere osi anténového vodiča, čiže $\Theta = 0^\circ$. Hlavný smer vyžarovania je pre uhol $\Theta = 90^\circ$. Ak dĺžka anténového vodiča je väčšia ako λ , smer maximálneho vyžarovania sa odchyľuje od hlavného smeru tým viac, čím dlhší je žiarič. Celkový počet slučiek sa rovná počtu polvln, ktoré obsahuje dĺžka žiariča. O žiariči, ktorého vlastnosti



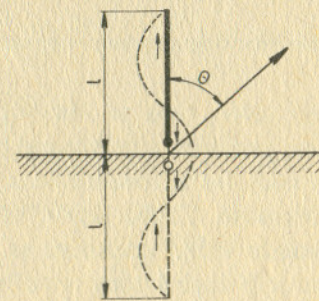
Obr. 8.11. Vyžarovacie diagramy anténových vodičov s dĺžkou $l = \lambda/2$, $l = 2\lambda/2$, $l = 3\lambda/2$

sme opísali, predpokladáme, že je voľne uložený v priestore. Prakticky to znamená toľko, že sme nebrali do úvahy vplyv vodivého zemského povrchu na priebeh vyžarovania. Ak je stred vodiča súmerne napájanej antény vo výške h nad zemou a o zemskom povrchu budeme predpokladať, že je dokonale vodivý, jej vplyv sa prejaví zrkadlovým obrazom daného vodiča,

ktorý tiež vyžaruje. Amplitúda výslednej elektrickej zložky poľa je potom daná súčtom elektrických zložiek od anténového vodiča nad zemou a jeho zrkadlového odrazu. Tvar vertikálneho vyžarovacieho diagramu bude závisieť nielen od dĺžky anténového vodiča, ale aj od výšky jeho bodu napájania nad zemským povrchom. Zvyšovaním výšky vodiča nad zemou sa vyžarovanie sústreďuje pri týchto anténach do smeru roviny zemského povrchu.

8.3.2 Jednoduchý zvislý anténový vodič nesúmerne napájaný

Usporiadanie zvislého anténového vodiča napájaného nesúmerne a umiestneného nad zemou, je znázornené na obr. 8.12. Nesúmerné napájanie znamená, že činný vodič sa budí proti zemi. Vyžarovanie sa opäť

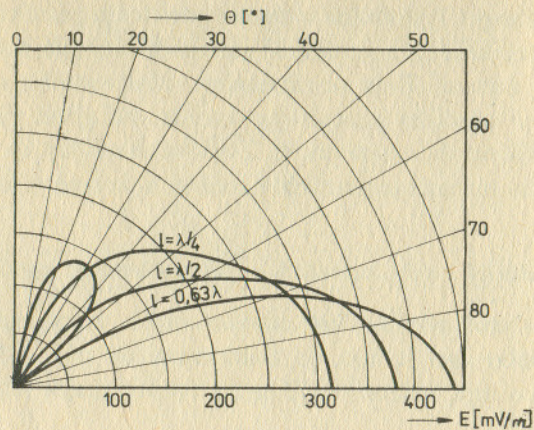


Obr. 8.12. Zvislý anténový vodič nesúmerne napájaný

ovplyvňuje zemským povrchom, o ktorom predpokladáme, že je vodivý. Vyžarovacie diagramy takejto antény sú súmerné podľa zvislej osi antény. Vertikálny vyžarovací diagram čo do tvaru bude závisieť od dĺžky vodiča antény l , zväčšovaním ktorej sa vyžarovanie sústreďuje do smeru roviny povrchu zeme. Maximálne žiarenie v smere roviny zemského povrchu sa dosiahne pri dĺžke antény $l = 0,63 \lambda$ [7]. Pri väčších dĺžkach sa začínajú vytvárať laloky. Vertikálne vyžarovacie diagramy pre niekoľko antén s rôznou dĺžkou sú na obr. 8.13.

8.4 LINEÁRNE ANTÉNY SO STOJATOU VLNOU

Spôsob vyžarovania anténových žiaričov opisovaných v predchádzajúcich kapitolách, sa používa vo vysielacej technike pre dlhé, stredné



Obr. 8.13. Vertikálne vyžarovacie diagramy nesúmerne napájaného anténového vodiča

a krátke vlny. Antény tohto typu sa nazývajú aj lineárne, lebo pri prúdovom rozložení sme používali idealizované predpoklady. Predpokladali sme, že anténový vodič je nekonečne tenký a rozloženie prúdu po celej dĺžke vodiča je sínusové. Chyba, ktorej sa tým dopúšťame, je tým menšia, čím je dĺžka vodiča väčšia vzhľadom na jeho priemer. K tomuto predpokladu sa najviac približujú antény pre dlhé, stredné a krátke vlny. Pri stavbe antén pre DV a SV je snahou dosiahnuť maximum vyžarovania energie v rovine zemského povrchu vo všetkých smeroch. Takejto požiadavke najlepšie vyhovuje zvislý vodič konečnej dĺžky nad zemským povrchom. Príjem z takýchto antén sa uplatňuje povrchovými vlnami cez deň. V noci vyžarovaním od lalokov s malými zenitálnymi uhlami, sa uplatní priestorová vlna.

Pri návrhu antén pre väčšie vlnové dĺžky, najmä pri vertikálnych vodičoch, kde vhodnou výškou sa snažíme doceliť sústredenie vyžarovania po zemskom povrchu, dĺžka vodičov vychádza veľmi veľká. Skrátene geometrickej dĺžky vodiča sa dá doceliť tak, že úseky s pomerne malým prúdom vynecháme a nahradíme kapacitnými nadstavcami. Kapacitné nadstavce sa prakticky realizujú tak, že zvislý vodič sa zakončí vodorovnými vodičmi alebo zoskupením vodičov do kruhového tvaru. Fiktívne zväčšenie dĺžky vodiča kapacitným nadstavcom nie je rovnocenné zväčšeniu jeho skutočnej dĺžky, pokiaľ ide o vyžarovanie antény.

8.4.1 Vysielačie antény na dlhé vlny

Anténa na dlhé vlny sa môže skonštruovať ako samonosný stožiar určitej výšky (250 m), ktorý sa postaví priamo na izolátor nad zemou. Vzhľadom na ťažkosť s dostatočne dlhým zvislým činným vodičom, veľmi často sa používajú antény tvaru T s rozvinutou horizontálnou časťou. Táto časť antény tvorí kapacitnú záťaž pre vertikálny vodič. Princípiálna konštrukcia antény typu T je na obr. 8.14 s prúdovým rozložením vertikálnej časti.

Celková kapacita antény sa skladá z kapacity horizontálnej a vertikálnej časti

$$C_a = C_h + C_v \quad (8.27)$$

Intenzitu poľa od takejto antény vypočítame

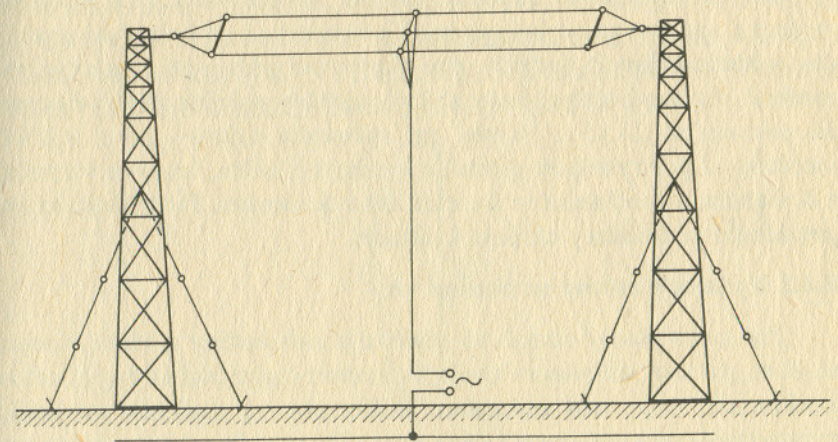
$$E = \frac{60\pi I_a 2h}{\lambda r} \quad \left[\frac{\mu V}{m}; A, m, km, km \right] \quad (8.28)$$

Vstupná impedancia antény

$$Z_{vst} = 160 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 h^2 - j \frac{1}{\omega C_a} = R_{vst} - j X_{vst} \quad (8.29)$$

Prúd v napájacom bode antény

$$I_a = \sqrt{\frac{P_a}{Z_{vst}}} \quad (8.30)$$



Obr. 8.14. Anténa na dlhé vlny typu T

Napätie v napájacom bode

$$U_a = I_a Z_{vst} \quad (8.31)$$

Pri určitom napätí vo vodiči, môže na ňom vzniknúť korona, ktorá zapríčiňuje straty na výkone dodávanom do antény. Vznik korony podporujú ostré hrany v konštrukcii antény. Pri kruhovom vodiči závisí jej vznik od polomeru zakrivenia vodiča. Dovoľené elektrické namáhanie vodiča je obmedzené vznikom korony.

Do série s anténovým vodičom sa vkladá cievka na vyladenie antény do rezonancie. Reaktanciu tejto cievky vypočítame z podmienky

$$X_L = -X_{vst} \quad (8.32)$$

Šírka pásma antény, frekvenčný rozsah, v ktorom anténa nemeí svoje elektrické vlastnosti, napr. impedanciu, vyžarovací diagram [3]

$$2\Delta f = \frac{\delta f_0}{\pi} \quad (8.33)$$

Kde δ je logaritmický dekrement tlmenia, logaritmický dekrement číselne vyjadruje tlmenie sínusových kmitov [3]

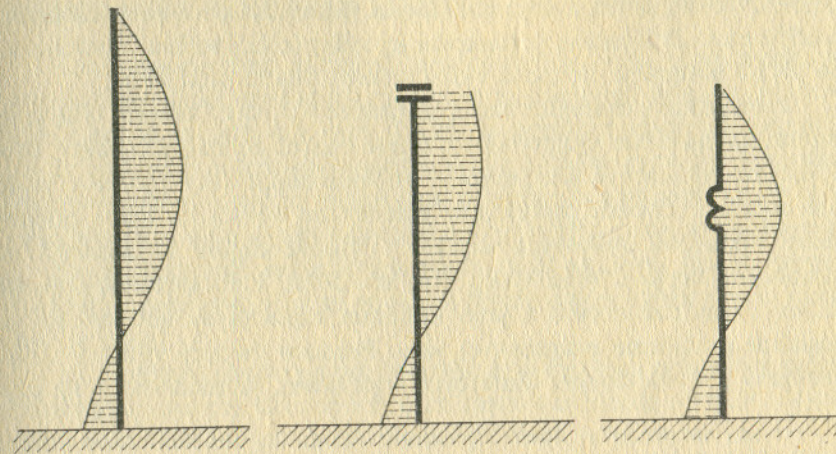
$$\delta = \frac{R_{vst}}{X_{vst}} \quad (8.34)$$

Účinnosť antén býva 70 až 90 % a menej, podľa dĺžky činného vodiča. Pri nesúmer-
ných anténach účinnosť ovplyvňujú straty v zemskom povrchu okolo antény a straty v uzemňovacej sieti.

Okrem uvedeného usporiadania na dlhých vlnách sa používajú
vejárové, strechové a plošné antény. Tieto názvy sú odvodené od usporiada-
nia horizontálnych vodičov. Pre stavbu takýchto antén sa používajú
medené, bronzové alebo hliníkové laná s oceľovou dušou. Najpoužívanejšie
prierezy sú 25,35 a 50 mm² pri výkonoch rádove 100 až 400 kW. Izolátory sa pre
vysielaciu techniku vyrábajú z kalitu, ktorý sa vyznačuje s dostatočnou me-
chanickou a elektrickou pevnosťou. Proti elektrickému preťaženiu sa izolátory
chránia krúžkami.

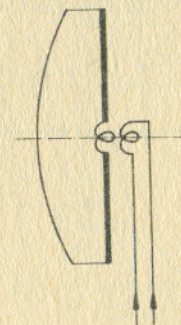
8.4.2 Vysielacie antény na stredné vlny

Pre tento vlnový rozsah sa používajú ako antény oceľové kotvené
stožiare, pri ktorých priamo konštrukcia tvorí činnú časť antény. Oceľové
konštrukcie majú mať optimálnu dĺžku, aby sa docielilo maximálne
vyžarovanie energie v smere roviny zemského povrchu. Antény tohto typu
sa napájajú v pätnom bode, čo vyžaduje izoláciu konštrukcie od zeme.



Obr. 8.15. Rozloženie prúdovej vlny pozdĺž anténového vodiča pri krátení dĺžky antény

Anténa sa izoluje tak, že celý stožiar sa vztýči na mohutnom pätnom
izolátore, ktorý sa chráni iskrištom proti preskokom. Po obvode oceľovej
konštrukcie sa umiestňujú medené laná na zlepšenie elektrických vlast-
ností antény. Zníženie konštrukcie, a tým skrátenie činného vodiča sa dá
doceliť zaradením kapacity alebo indukčnosti do anténového vodiča na
vhodnom mieste. Tento spôsob krátenia dĺžok s rozložením prúdovej vlny
je znázornený na obr. 8.15. Jednoduchšie a rozšírenejšie antény na
stredné vlny sú antény typu T a L, ktoré sa zavesia na stožiare. Vyžiarený
výkon pri týchto anténach sa dá upravovať počtom vodičov.



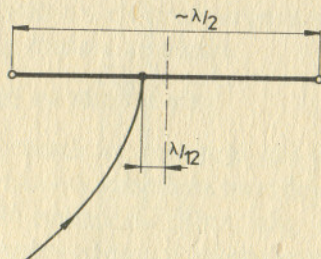
Obr. 8.16. Prúdovo budený výškový dipól

Parametre antén na stredne vlny sa vypočítajú podobne ako antény na dlhé vlny. Zisk antény je funkciou jej výšky (dĺžky vodiča). Zväčšuje sa po určitú optimálnu hodnotu výšky antény, potom opäť klesá.

Protiúnikový charakter antén na stredné vlny sa dá docieľiť tým, že sa zmenší na minimum vyžarovanie v smere malých zenitálnych uhlov. Tým potlačíme priestorovú vlnu, ktorá je príčinou úniku v bode príjmu. Tento stav môžeme docieľiť predĺžením anténového vodiča na dĺžku polvlny alebo výstavbou výškových dipólov. Výškové dipóly sa montujú na samonosné oceľové veže výšky 100 až 150 m. Umištením dipólu do určitej výšky nad zemou a jeho krátením kapacitnými nadstavcami sa dosiahne potlačenie priestorovej vlny. Prúdovo budený výškový dipól, napájaný dvojvodičovým súmerným napájačom, je znázornený na obr. 8.16.

8.4.3 Základné lineárne antény na krátke vlny

V krátkovlnnom pásme, keď chceme docieľiť maximálne vyžarovanie, môžeme zvislé alebo vodorovné vodiče presne nastaviť na potrebnú vlnovú dĺžku. Najjednoduchšou anténou tohto typu je vodorovný vodič voľne zavesený nad povrchom zeme s polovičnou vlnovou dĺžkou (obr. 8.17). Takáto anténa vyžaruje v smeroch s malými zenitálnymi uhlami. Anténa sa napája jedným vodičom a napájač je pripojený približne pod pravým uhlom, čím sa zabráni nesúmernej väzbe medzi dvoma horizontálnymi časťami. Horizontálnu anténu $\lambda/2$ môžeme napájať aj súmerným napájačom so vzduchovým dielektrikom. V mieste napájania sa musí anténa impedančne prispôbiť vedeniu. Na prispôbennom napájači vzniká postupná vlna; takéto napájače sa nazývajú neladené.



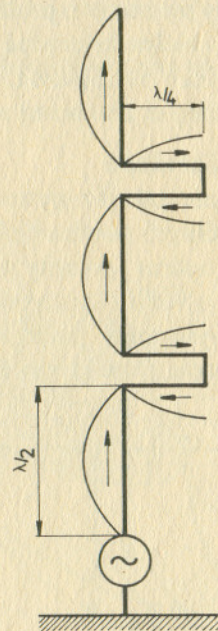
Obr. 8.17. Lineárna anténa na krátke vlny

8.5 SMEROVÉ LINEÁRNE ANTÉNY SO STOJATOU VLNOU

Také usporiadanie aktívnych anténových prvkov, ktoré vyžiarujú energiu sústredí do jedného smeru, nazýva sa smerovou anténou. Smerové účinky pri lineárnych anténach docielime použitím viacerých jednoduchých lineárnych antén, zoskupených podľa určitého pravidla. Jednotlivé anténové vodiče sa môžu všetky napájať alebo sa napájajú len niektoré z nich a ostatné pôsobia ako odrazové prvky (reflektory alebo direktory).

Pri zoskupovaní jednotlivých antén treba sledovať fázové pomery prúdovej a napäťovej vlny vo vodičoch týchto antén. Môžu pritom nastať tieto prípady:

a) *Anténové sústavy s prirodzeným protifázovým prúdom prúdu.* Používajú sa len pre stredné vlny. Ich sústava sa skladá obvykle z dvoch alebo troch čiastkových antén. Smerový účinok je pomerne malý.



Obr. 8.18. Vertikálna súfázová súosová sústava

b) *Anténové súfázové sústavy.* Prúdy vo vodičoch, ktoré berieme do úvahy, majú súhlasnú fázu. Používajú sa hlavne v oblasti krátkych a veľmi krátkych vln. Majú silný smerový účinok. Zvýšenie koncentrácie žiarenia vzniká v smere kolmom na os anténového radu.

c) *Anténové protifázové sústavy.* Prúdy vo vodičoch, ktoré berieme do úvahy, sú v protifáze. Smer maximálneho žiarenia je v osi antén.

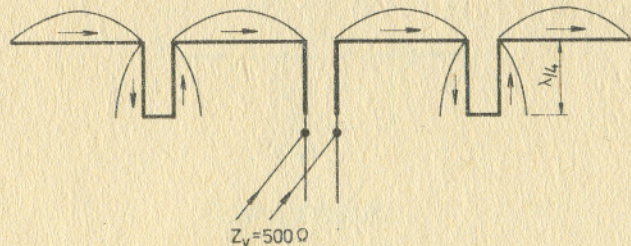
Takéto anténové sústavy sa skladajú z vodorovných a čiastkových zvislých prvkov. Keď sa prirodzené fázovanie zamení za súfázové usporiadanie vodičov s dĺžkou $\lambda/2$, zvýši sa smerovosť takejto dlhodrotovej antény. Takáto anténa sa nazýva kolineárna.

Sústavy zložené zo zvislých prvkov

Vertikálna súfázová súosová sústava je znázornená na obr. 8.18. Sústava sa skladá z vertikálnych dipólov s dĺžkou $\lambda/2$, ktorými pretekajú prúdy vo fáze. Prúdové polvlny s prietokom prúdu opačného smeru sú vylúčené z vyžarovania vytvorením slučiek $\lambda/4$, ktorých účinok sa ruší, pretože nimi pretekajú prúdy priestorovo protismerné. Takto usporiadaný anténový vodič sa zavesí na priečne upevnené lano, nesené samonosnými vežami. Sústava dosahuje výšku troch polvlnových dĺžok. Takáto sústava môže tvoriť jednu časť zložitejšej anténovej sústavy.

Sústava s vodorovnými prvkami

Principiálne usporiadanie takejto sústavy je na obr. 8.19. Je to sústava súosových horizontálnych polvlnových dipólov, kde sa nahradia časti, ktorými preteká prúd opačnej polarítu úsekmí $\lambda/4$; tieto sú vyradené z vyžarovania. Izolátory a vodiče sa zavesia na priečne zavesené laná kotvené na podperách. Zvyšovaním počtu čiastkových prvkov vzniká anténa s úzkou horizontálnou charakteristikou. Radením polvlnových

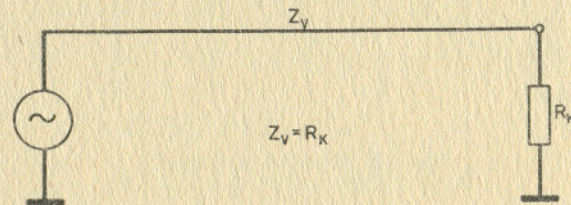


Obr. 8.19 Horizontálna súfázová súosová sústava

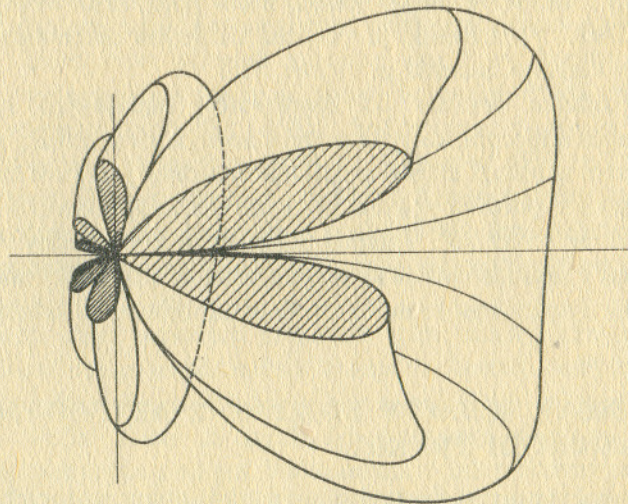
žiaríčov nad seba vo vzdialenostiach $\lambda/2$ sa vytvára priečne vyžarujúca anténová sústava s úzkou vyžarovacou charakteristikou. Radením polvlnových žiaríčov za sebou sa vytvorí pozdĺžne žiariaca anténová sústava.

8.6 ANTÉNY S POSTUPNOU VLNOU

Ak zakončíme vodič dostatočne dlhý a napnutý v rovine rovnobežnej so zemským povrchom odporom, ktorý sa rovná jeho vlnovej impedancii, a budeme ho napájať, vznikne na ňom postupné vlnenie (obr. 8.20).



Obr. 8.20. Jednovodičová anténa s postupnou vlnou



Obr. 8.21. Priestorový vyžarovací diagram jednovodičovej antény s postupnou vlnou