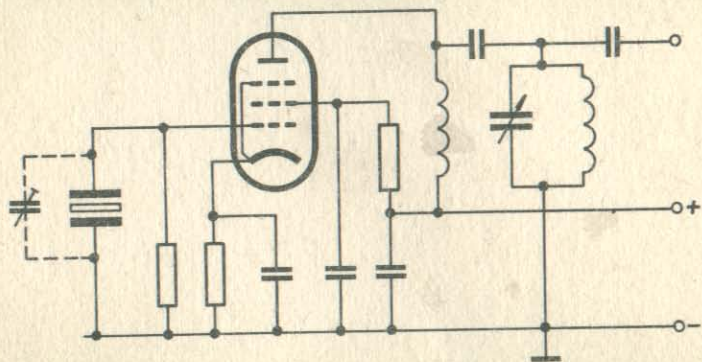


PŘEDNÁŠKY Z AMATÉRSKÉ RADIOTECHNIKY



Ing. Karel Jordan, CSc.

ANTÉNY

ÚV SVAZU PRO SPOLUPRÁCI S ARMÁDOU
ÚSTŘEDNÍ RADA RADIOKLUBU SVAZARMU

2.

PŘEDNÁŠKY Z AMATÉRSKÉ RADIOTECHNIKY

Ing. Karel Jordan CSc.

ANTÉNY

ÚV SVAZU PRO SPOLUPRÁCI S ARMÁDOU
ÚSTŘEDNÍ RADA RADIOKLUBU SVAZARMU

2.

1.	Základní pojmy	9
1.1.	Elektromagnetické pole	9
1.2.	Délka vlny a kmitočet	11
1.3.	Polarizace elektromagnetické vlny	11
1.4.	Šíření radiových vln	12
2.	Vlastnosti antén	18
2.1.	Půlvlnný dipól	20
2.2.	Antény s postupnou vlnou	25
2.3.	Vliv země	27
3.	Anténní napáječe	31
3.1.	Vlastnosti vf vedení	31
3.2.	Rychlost šíření a délka vlny na vedení	32
3.3.	Konstrukce napáječů	33
3.4.	Nepřizpůsobené vedení a stojaté vlny	36
3.5.	Vedení nakrátko a naprázdno	40
3.6.	Vedení jako imedanční transformátor	43
3.7.	Laděné a neladěné napáječe	44
3.8.	Přizpůsobování a symetrizace	45
3.9.	Vazba napáječů s vysílačem	52
4.	Antény pro KV	55
4.1.	Základní požadavky	55
4.2.	Dipólové antény	56
4.3.	Dlouhé jednodrátové antény	61

4.4. Buzené soustavy	64
4.5. Soustavy s pasívními prvky	69
4.6. Smyčkové antény	72
4.7. Vertikální antény	76
5. Antény pro VKV	82
5.1. Základní požadavky	82
5.2. Antény typu Yagi	83
5.3. Soufázové antény	85
5.4. Antény s aperiodickým reflektorem	87
5.5. Antény s kruhovou polarizací	91
Seznam obrázků	95

Antény jsou nezbytnou součástí každého bezdrátového spojovacího zařízení a dosah vysílače či přijímače je nakonec určen jejich vhodností a účinností. Význam dobré antény poznali radioamatéři již dávno a tak vzniklo známé úsloví - "anténa je nejlepší zesilovač" - a heslo "amatér experimentuje především s anténami". Obě zásady i přes nesmírný pokrok v součástkové a obvodové technice neztratily nic na své pravdivosti a lze jen podtrhnout, že investice do dobré antény je určitě ta nejúčelnější.

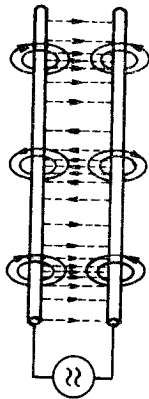
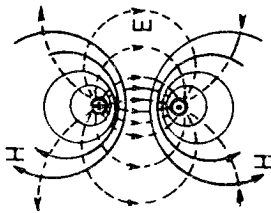
1. ZÁKLADNÍ POJMY

1.1. ELEKTROMAGNETICKÉ POLE

Při průtoku elektrického proudu se vytváří kolem každého vodiče elektromagnetické pole. Elektrická složka pole je orientována podél vodiče, magnetické siločáry obepínají vodič. Pokud jsou vodiče blízko sebe a kmitočet střídavého proudu nízký, je pole soustředěno v prostoru mezi vodiči a takovýmto uspořádáním, které nazýváme vř vedením, lze přenášet vř energii s malými ztrátami i na značné vzdálenosti /obr.1/. Jestliže vzdálíme navzájem oba vodiče, takže jejich vzdálenost je srovnatelná s vlnovou délkou, elektromagnetické pole se rozšiřuje do okolního prostoru a je schopno přenášet energii bezdrátově i na velké vzdálenosti. Zařízení, které umožňuje tímto způsobem vř energii vysílat do prostoru nebo ji přijímat, je právě anténa. Pro přenos energie bez drátu má význam pouze tzv. pole vzdálené, jehož intenzita je nepřímo úměrná vzdálenosti od antény.

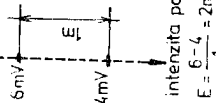
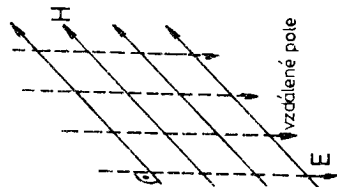
Intenzitu elektromagnetického pole oceňujeme velikostí intenzity jeho elektrické složky, což je spád potenciálního rozdílu v prostoru na jednotku délky. Intenzitu udáváme např. v mV/m. V přijímací anténě, umístěné v elektromagnetickém poli, se indukuje napětí, které je dané součinem intenzity pole a efektivní délky antény, přičemž efektivní délka je úměrná vlnové délce elektromagnetické vlny.

Obr. 1a/ Elektromagnetické pole
dvoudrátového vf vedení
H ... siločáry magnetického pole
E ... siločáry elektrického pole

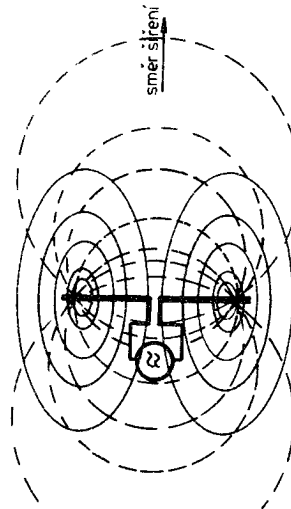


a

Obr. 1b/ Elektromagnetické pole
dipólové antény
" vzdáleného pole je čelo vlny ku-
lové vlnoplochy již prakticky ro-
vinné. Směr elektrických siločar
souhlasí se směrem anténního vodiče.
Intenzita pole je spád potenciálního
rozdílu podél elektrické siločáry
na jednotku délky.



$$E = \frac{6-4}{1} = 2 \text{ mV/m}$$



b

$$U = E_{\text{ef}} = Ek\lambda \quad [V, V/m, m]$$

Znamená to, že stejně intenzivní pole vyvolá na stejném typu přijímací antény na vyšších kmitočtech nižší napětí.

1.2. DÉLKA VLNY A KMITOČET

Délkou vlny rozumíme vzdálenost, kterou proběhne elektromagnetická vlna za jeden cyklus svých změn, tj. za dobu trvání jednoho kmitu střídavého proudu. Protože se elektromagnetické vlny šíří ve vzduchoprázdnu /a přibližně též vzduchem/ rychlostí světla, je vzájemný vztah vlnové délky a kmitočtu určen jednoduchým vzorcem

$$\lambda = cT = 300\,000/f \quad [km, Hz]$$

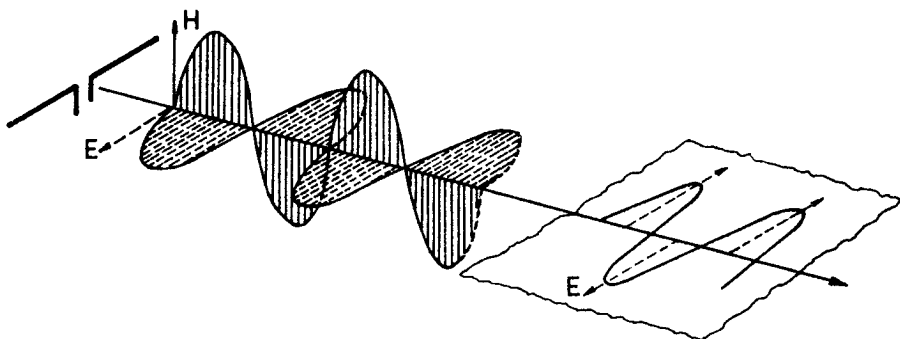
Častěji používáme příhodnější jednotky m a MHz, takže se vztah zjednoduší na

$$\lambda = 300/f \quad [m, MHz]$$

1.3. POLARIZACE ELEKTROMAGNETICKÉ VLNY

Elektrická a magnetická složka elektromagnetického pole jsou vždy navzájem kolmé, přičemž elektrické silokřivky leží v rovině anténního vodiče. Podle orientace elektrické složky rozlišujeme tzv. polarizaci elektromagnetické vlny. Při vodorovném umístěném anténním vodiči je tedy vlnění polarizováno vodorovně, při svislém zářiči mluvíme o svislé polarizaci. Kromě takovýchto lineárně polarizovaných vln lze vhodným uspořádáním antény vytvořit i vlnění s kruhovou /obecně eliptickou/ pola-

rizací, u něhož polarizační rovina rotuje a za jednu periodu se otočí o 360° . Podle smyslu otáčení je eliptická polarizace pravotočivá nebo levotočivá. Její používání na VKV pásmech přináší výhody zejména na poli kosmických spojů.



Obr.2. Polarizační rovina elektromagnetické vlny

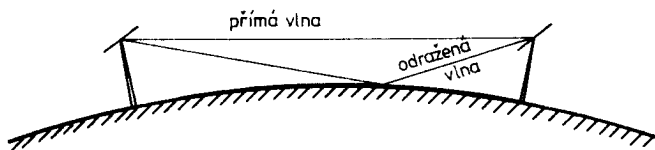
Nejúčinnější přenos mezi vysílací a přijímací anténou nastává při souhlasně orientované polarizaci obou antén. Tuto zásadu je třeba dodržovat především na VKV pásmech, v opačném případě může nastat zeslabení přenosu o 20 až 30 dB. Na KV pásmech nastává při ionosférickém šíření silný rozptyl původní polarizační roviny elektromagnetické vlny a tak souhlasná orientace polarizace antén nemá praktický význam.

1.4. ŠÍŘENÍ RADIOVÝCH VLN

Ve volném prostoru se elektromagnetické vlny šíří přímočaře. Vlny jsou z vysílací antény vyzařovány v kulových vlnoplochách, které jsou ve velké vzdálenosti od antény prakticky rovinné.

Podle cest, které vlny sledují, lze je rozdělit na vlny povrchové, troposférické a ionosférické /prostorové/.

Povrchová vlna je ta část záření, která se pohybuje po povrchu země a v jeho těsné blízkosti. Má na ni podstatný vliv tvar i elektrická vodivost povrchu. Povrchová vlna se skládá z vlny přímé a vlny odražené od zemského povrchu /obr.3/. Dosah povrchové vlny je malý, protože dochází k pohlcování energie zemským povrchem a je velmi zhruba tolik kilometrů, kolik je vlnová délka v metrech. Na VKV pásmech je dosah přímé vlny určen přímou viditelností vysílací a přijímací antény.

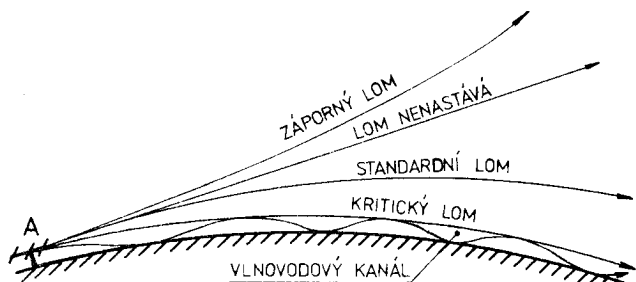


Obr.3. Šíření povrchovou vlnou

Při šíření povrchových vln se výrazně uplatňuje ohyb vln a odraz od vodivých předmětů, pokud mají rozměry srovnatelné s vlnovou délkou. Tyto úkazy jsou daleko více vyjádřeny na VKV.

Troposférická vlna je ta část záření, které se odráží nebo lomí v oblasti změny dielektrické konstanty v troposféře. Možné případy jsou znázorněny na obr.4. Nejběžnější případ je tzv. standardní lom, který nastává v dobře promíchané atmosféře: radiová vlna se mírně zakřivuje k zemskému povrchu a zvětšuje tak dosah za hranici teoretické přímé viditelnosti. Je to jakoby se poloměr Země zvětšil na $\frac{4}{3}$ skutečného poloměru. Za vhodných povětrnostních podmínek může dojít ke kritickému lomu, kdy se

radiová vlna šíří rovnoběžně se zemským povrchem, nebo se dokonce vytvoří mezi vrstvami atmosféry vlnododový kanál, jímž se mohou vlny šířit s malým útlumem i na velké vzdálenosti. Význam



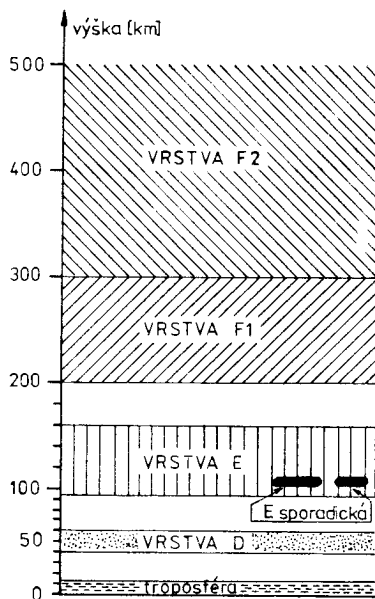
Obr.4. Typické případy lomu troposférické vlny v atmosféře

těchto způsobů šíření je pouze na VKV pásmech pro dálkový provoz. Pro šíření KV je stav troposféry prakticky bez významu.

Ionosférická neboli prostorová vlna směřuje z vysílací antény vzhůru a, na kmitočtech zhruba do 30 MHz se odráží od ionosférických vrstev, které se nacházejí ve výšce od 60 do 400 km nad zemským povrchem a vrací se zpět k Zemi. Je to základní způsob šíření na KV při provozu na vzdálenosti větší než asi 100 km. Typické rozložení ionosférických vrstev je znázorněno na obr.5. Každá z nich má specifický účinek na šíření radiových vln různých kmitočtů a rozložení a hustota vrstev se mění v závislosti na denní době, roční době a cyklu jedenáctileté sluneční aktivity. Existence ionosférických vrstev a jejich vlastnosti jsou podmíněny krátkovlnným slunečním zářením /ultrafialové a rentgenové záření/ a proudem elementárních částic vyvrhovaných Sluncem. Typické chování a vliv jednotlivých vrstev na šíření:

Vrstva D se vyskytuje pouze ve dne a způsobuje útlum na SV, na 160 a 80 m pásnu. Je natolik řídká, že vlny neodráží.

Vrstva E je také převážně denní vrstva a v nočních hodinách bývá zachována jen slabě. Způsobuje útlum šíření na 160 a 80 m

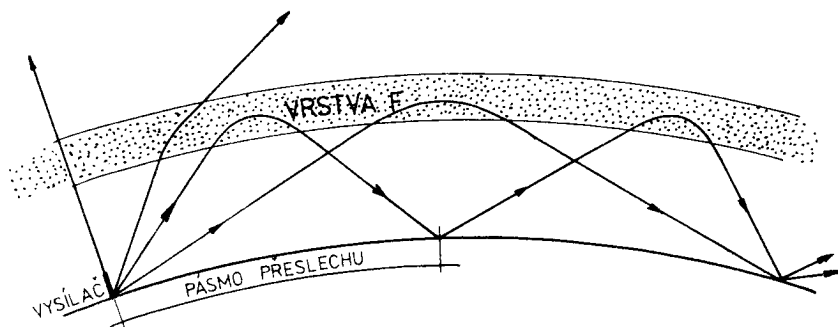


Obr.5. Rozložení ionosférických vrstev

pásmu. Při dostatečné koncentraci mohou na ní nastávat odrazy v pásmu 40 m. V letních měsících dochází občas k vzniku mimořádné neboli sporadické vrstvy E. Jsou to silně ionisované plošné mraky s ostrými hranicemi o rozměrech jednotek až stovek kilometrů, které se přemísťují a tak se oblasti možné komunikace na povrchu Země neustále mění. Hustota ionisace dosahuje někdy hodnot, které stačí i k odrazu VKV až do 200 MHz. Na KV

umožňuje spojení na pásmech 21 a 28 MHz na vzdálenost stovek km /jiným způsobem šíření nedosežitelnou/ - tzv. short-skip, na VKV dálková spojení na 1000-2300 km i s malými výkony.

Vrstva F má hlavní význam pro šíření KV na velké vzdálenosti. Její ionisace je podstatně méně proměnná s denní dobou. Ve dne se vlivem silného ultrafialového slunečního záření rozštěpuje do dvou vrstev - F1 a F2. Pro komunikaci má význam hlavně vyšší vrstva F2. Princip šíření ionosférické vlny je znázorněn na obr.6. Radiová vlna se neodráží od ionosférické vrstvy jako



Obr.6. Šíření ionosférické vlny a význam elevačního úhlu

od zrcadla, spíše jde o ohyb, takže jistý úsek dráhy vlny probíhá ionosférou. Čím je kmitočet vyšší, tím snáze vlna prochází ionosférou a méně se ohýbá. Proto je třeba, aby na vyšších kmitočtech radiová vlna dopadala na ionosférickou vrstvu pod menším úhlem. Optimální vyzářovací úhly pro dálkový provoz na jednotlivých pásmech jsou: 40m ... 12-40°, 20m ... 10-25°, 15m ... 7-20°, 10m ... 5-14°. Úhly maximálního vyzářování antény lze ovlivnit vhodnou konstrukcí, především její výškou nad zemí. Za vhodných podmínek, kdy je v místě dopadu radiové vlny

na zemský povrch např. moře, může nastat nový odraz a spojení se navazuje pomocí šíření s dvěma i více skoky.

2. VLASTNOSTI ANTÉN

Jako vysílací či přijímací anténa může v podstatě sloužit vodič jakéhokoli tvaru a délky, umístěný v jisté výši nad zemí a spojený vhodným způsobem s vysílačem nebo přijímačem. Každý anténní zářič je charakterizován: směrovým účinkem, součinitelem směrovosti, ziskem, vstupní impedancí účinným kmitočtovým rozsahem.

Směrový účinek zářiče je schopnost zářiče vyzařovat /příp. přijímat/ elektromagnetickou energii pouze do /příp. z/ určitého prostoru, definovaného prostorovými úhly ve vodorovné a svislé rovině. Směrové účinky jsou důsledkem toho, že vyzařená energie je v prostoru rozložena nerovnoměrně - v jednom směru se pole zesiluje, v jiném úplně potlačuje. Abychom mohli navzájem různé antény srovnávat, zavádíme pojem součinitel směrovosti, který udává, oč je v místě příjmu elektromagnetické pole silnější než pole, vzbuzené v témž místě zářičem, který by stejný přiváděný výkon vyzařoval zcela rovnoměrně do celého prostoru. Takový pomyslný a prakticky nerealizovatelný vztažný zářič se nazývá isotropický /všesměrový/.

V praxi je účelnější posuzovat směrové vlastnosti různých anténních systémů jejich srovnáním s půlvlnným dipólem, který je základním typem anténního zářiče, navíc snadno a opakovatelně realizovatelným. O tom, zdali skutečně nastane v daném místě požadované soustředění energie, rozhoduje i účinnost samotného

zářiče nebo anténního systému. V mnoha případech /např. u půl-
 vlnného dipólu/ je účinnost zářičů blízká 100%, ale často je
 účinnost značně menší vlivem ztrát samotného zářiče a pohybuje
 se např. mezi 50 - 80%. Skutečný zisk antény /zesílení pole ve
 směru maximálního vyzařování/ je proto praktickým měřítkem vý-
 konnosti antény a udává prostým číslem, nebo obvykleji v deci-
 belech, kolikrát je pole silnější než pole vztažného zářiče,
 jímž je zpravidla půlvlnný dipól a méně častěji isotropický zá-
 řič. Součinitel směrovosti a tedy i zisk je úměrný účinné geo-
 metrické ploše anténního systému a nepřímo úměrný čtverci vl-
 nové délky podle vztahů:

součinitel směrovosti	$S = 4\pi P/\lambda^2$	$[m^2, m]$
zisk proti isotr. zářiči	$G_i = \eta S$	
případně	$G_i = 10 \log \eta S$	

kde P je účinná plocha v m^2 , η je účinnost, příp. využití
 plochy.

Neexistuje proto žádný "kouzelný" typ antény, který by měl
 malé rozměry a přitom velký zisk. Mnoho nedorozumění vzniká
 tím, že není udáno /mnohdy z reklamních důvodů/ k jakému vztaž-
 nému zářiči je inzerovaný anténní zisk udáván. Zisk vztahovaný
 k isotropickému zářiči je totiž o 2,15 dB větší než zisk vzta-
 hovaný k půlvlnnému dipólu.

Úkolem zářiče je vyzářit do prostoru přiváděnou vř energii.
 Tato energie se do zářice přivádí obvykle napájecím vedením a
 z hlediska napáječe se proto zářič jeví jako spotřebič. Maxi-
 mální přenos energie nastává, když je vstupní odpor zářiče

ohmický a rovný vnitřnímu odporu zdroje, tj. napáječe. Ve skutečnosti má zářič často i reaktanční /jalovou/ složku a proto je správnější mluvit o vstupní impedanci zářiče. Vyjadřujeme ji obecně vztahem

$$Z = R \pm jX \quad [\Omega]$$

což je sériové zapojení činného odporu R a induktence /+/ nebo kapacitance /-/ X. Jalová složka nespotebuje sice žádný výkon, ale způsobuje kmítočtovou citlivost zářiče a zhoršuje přenos energie z napájecího vedení do zářiče.

Účinný kmítočtový rozsah souvisí bezprostředně s impedančními vlastnostmi zářiče. Čím v širším kmítočtovém rozsahu anténa zachovává konstantní a pokud možno jen ohmickou impedanci, tím je širokopásmovější. U většiny rezonančních antén se šíře pásma, v němž je možné účinně pracovat, pohybuje mezi 1 - 5% středního kmítočtu a proto tyto antény jsou vhodné jen pro jednotlivá amatérská pásma. Různými a většinou kompromisními způsoby napájení lze i rezonanční antény provozovat na několika pásmech, přičemž se využívá harmonického vztahu mezi kmítočty KV pásem. Naproti tomu existují též antény vysloveně aperiodické, např. antény s postupnou vlnou, které zachovávají vhodné impedanční vlastnosti a dokonce i směrové vlastnosti v kmítočtovém rozsahu až 1:3.

2.1. PŮLVLNŇY DIPŮL

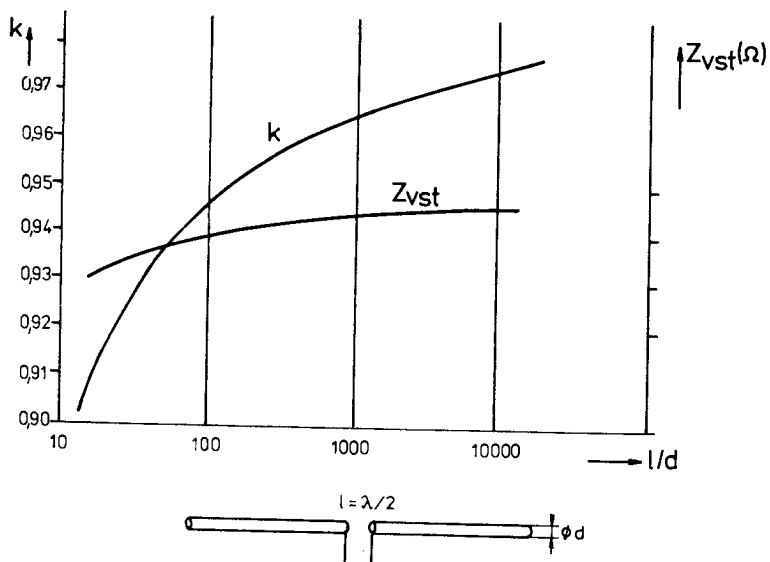
Základním typem rezonanční antény /též antény se stojatou vlnou/ je zářič o půlvlnné délce. Takový zářič se chová v podstatě jako rezonanční obvod, jehož rezonanční kmítočet nastavu-

jeme délkou zářiče. Při resonanci vykazuje pouze ohmickou složku vstupní impedance, mimo resonanci je vstupní impedance komplexní. Je-li délka dipólu kratší než resonanční, má vstupní impedance kapacitní charakter; při délce větší než resonanční je charakter induktivní. Přesně vzato, nekonečně tenký přímý vodič ve volném prostoru o délce přesně $\lambda/2$ má uprostřed vstupní impedanci $(73,1 + j43) \Omega$, takže fyzická délka $\lambda/2$ je poněkud delší než pro přesnou resonanci. K dosažení resonance musíme proto délku vodiče zkrátit a koeficient zkrácení pak udává, kolikrát je třeba zkrátit fyzickou délku $\lambda/2$, aby bylo dosaženo resonanční délky elektrické $\lambda/2$.

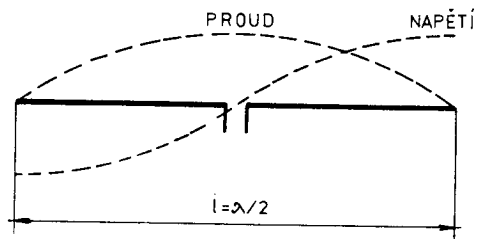
Pro běžné drátové dipóly na KV pásmech je např. činitel zkrácení zhruba $k = 0,98$. Čím je průměr anténního vodiče větší, tím je činitel zkrácení menší a u VKV antén se běžně pohybuje mezi $0,90 - 0,95$. Současně s rostoucí tloušťkou zářiče klesá i jeho vstupní impedance na hodnoty mezi $55 - 65 \Omega$. Průběh závislosti činitele zkrácení a vstupní impedance je na obr.7. S klesajícím poměrem d/λ se zlepšuje i širokopásmovost zářiče.

Rozložení proudu a napětí na půlvlnném dipólu je znázorněno na obr.8. Na volném konci zářiče vždy vznikne napěťová kmitna a proudový uzel. V místě proudové kmitny, která je uprostřed dipólu, je vstupní impedance nejnižší, teoreticky 73Ω , prakticky kolem 60Ω . Na konci vyladěného půlvlnného zářiče je vstupní impedance také čistě ohmická a pohybuje se v mezích 1000 až 5000Ω . Vstupní impedance v jiných místech je vždy komplexní a ohmická složka nabývá nějaké hodnoty mezi uvedenými extrémy.

Vyzařovací diagram půlvlnného dipólu ve vodorovné a svislé rovině je zkonstruován jako průsek těchto rovin s rotačním

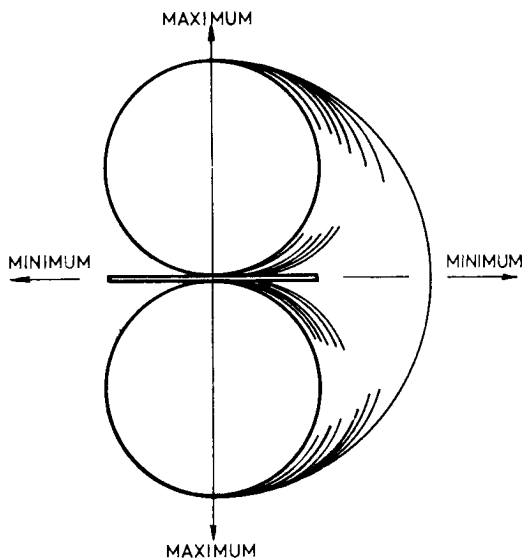


Obr.7. Závislost činitele zkrácení a vstupní impedance půlvlnného dipólu na poměr l/d



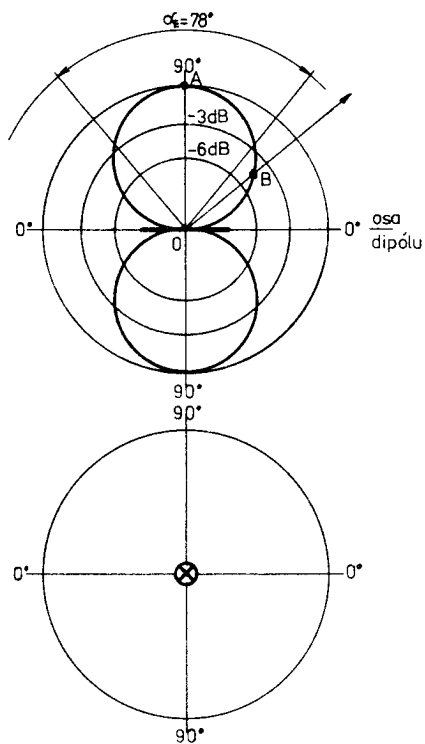
Obr.8. Rozložení proudu a napětí na půlvlnném dipólu

prstencovým tělesem /obr.9/. Ve směru osy zářiče je vyzářování nulové, maximální je ve směrech kolmých k zářiči. Horizontální směrový diagram je symetrického osmičkového tvaru. Délka průvodiče např. \overline{OB} udává relativní velikost vyzářování vůči maxi-



Obr.9. Prostrový vyzářovací diagram půlvlnného dipólu ve volném prostoru

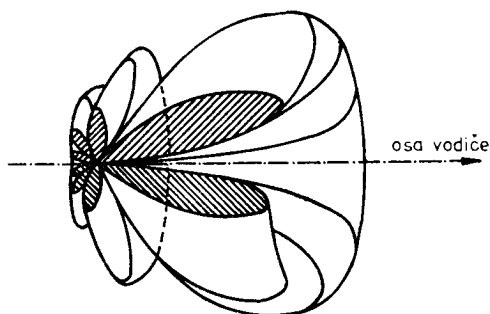
málnímu směru \overline{OA} . Měřítkem směrovosti je úhel, v němž neklesne výkon elektromagnetického pole více než o polovinu, tj. o 3 dB a tento úhel, nazývaný též šířka hlavního svazku /laloku/ nebo lépe úhel příjmu, se u půlvlnného dipólu rovná $\alpha_E = 78^\circ$. V rovině kolmé na osu dipólu má směrový diagram tvar kružnice, vyzářování je tedy v této rovině všesměrové /obr.10/. Ve skutečnosti je tvar vertikálního směrového diagramu značně ovlivněn zemními odrazy.



Obr.10. Vyzařovací diagram půlvlnného dipólu v rovině zářiče a v rovině kolmé

2.2. ANTÉNY S POSTUPNOU VLNOU

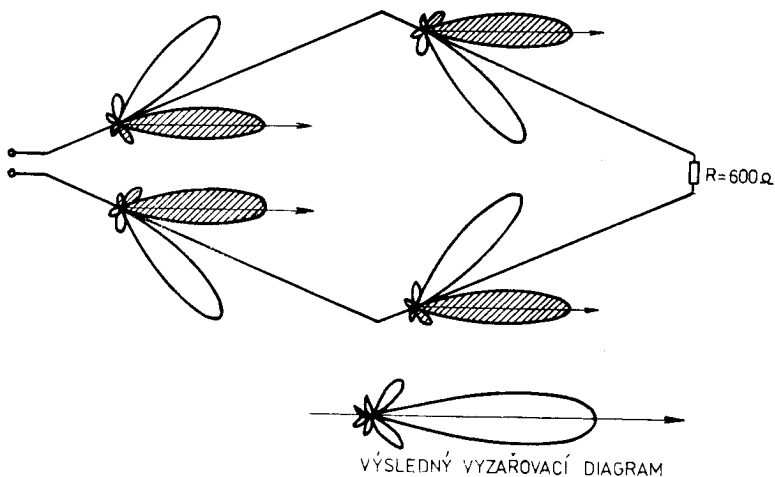
Antény s postupnou vlnou mají výrazně odlišné vlastnosti od antén rezonančních, a to jak do tvaru směrového diagramu, tak i do impedančních vlastností. Základním prvkem je dlouhý vodič protékáný vř proudem a zakončený vhodným odporem, takže se vř energie na konci vodiče neodráží a na anténě se nevytvoří stojatá vlna proudu a napětí. Tyto veličiny pouze plynule, podle exponenciálního průběhu, snižují své hodnoty podél zářiče směrem k zakončovacímu odporu. Typický vyzařovací diagram vodiče s postupnou vlnou je na obr.11. Vyzařování je výrazně směrové



Obr.11. Prostorový vyzařovací diagram přímého vodiče s postupnou vlnou

ve směru postupu vlny s množstvím postranních laloků. V ose zářiče je vyzařování nulové a hlavní lalok se tím více přimyká k ose zářiče, čím je větší poměr délky k vlnové délce. Antény s postupnou vlnou jsou na rozdíl od rezonančních antén málo kmitočtově závislé a vyzařovací diagram i vstupní impedance zůstávají téměř konstantní i při změně kmitočtu v poměru 1 : 2

i větším. Typickým a nejznámějším představitelem antén s postupnou vlnou je kosočtverečná anténa, která je složena ze čtyř vodičů s postupnou vlnou, přičemž vzájemné úhly sklonu vodičů jsou zvoleny tak, aby se hlavní laloky sčítaly /obr.12/. Výsledkem je potom ostře jednosměrný diagram ve směru osy kosočtverce

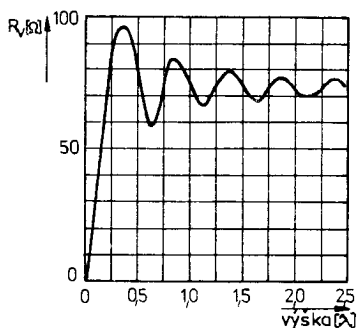


Obr.12. Kosočtverečná anténa

směrem k zatěžovacímu odporu. Vzhledem k tomu, že se část přiváděného vf výkonu stráví v zakončovacím odporu, má kosočtverečná anténa nižší účinnost - asi 50 až 80% podle délky ramen kosočtverce. Minimální délka ramene je alespoň 2λ a k dosažení optimálního zisku musí být zvolena i správná výška nad zemí. Zisk proti dipólu $\lambda/2$ je podle délky ramena $\lambda/2$ až 6λ v okolí 12 - 18 dB.

2.3. VLIV ZEMĚ

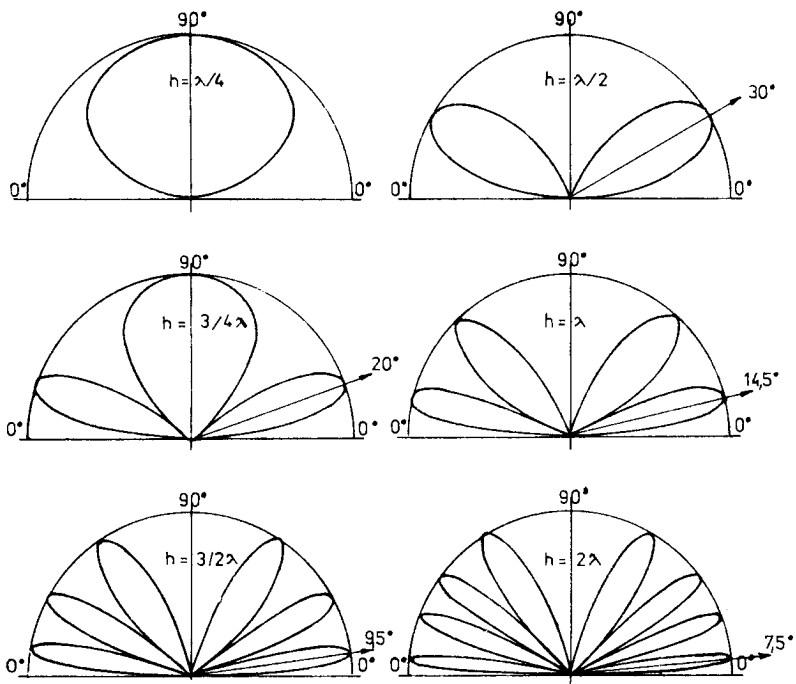
Ve skutečných poměrech /s výjimkou družicových antén/ není anténa umístěna ve volném prostoru, ale nachází se v jisté výšce nad zemí. Zemský povrch v prvním přiblížení nahraďujeme dokonale vodivou rovinou a tím podstatným způsobem ovlivňuje vyzařovací diagramy antén ve vertikální rovině. Navíc pokud je anténa zavěšena v menší výšce než $\lambda/2$, mění se znatelně její vstupní impedance a při výšce menší než $\lambda/4$ impedance prudce klesá /obr.13/. Typické tvary vertikálních směrových diagramů



Obr.13. Vliv výšky nad zemí na vstupní impedanci horizontálního půlvlnného dipólu

horizontálního dipólu v závislosti na jeho výšce nad zemí jsou naznačeny na obr.14. Výsledné pole složitějšího tvaru vzniká tím, že se celá polovina energie vyzařené směrem k zemi odráží nazpět směrem nahoru, interferuje s přímým vyzařováním ve stejném směru a podle fázového rozdílu vlny přímé a odražené se pole buď zesiluje, nebo zeslabuje. Při bezztrátovém odrazu od

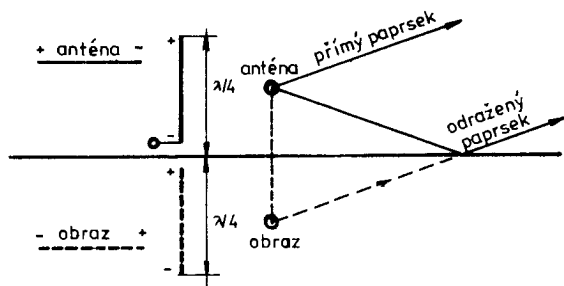
dobře vodivé země je intenzita pole ve směru maxima hlavního laloku dvojnásobná proti hodnotě zářiče ve volném prostoru. Z uvedených diagramů je zjevné, že vodorovný zářič by měl být zavěšen ve výšce nejméně $\lambda/2$ nad zemí, pokud je určen k dálkovému provozu.



Obr.14. Vertikální vyzářovací diagramy horizontálního půlvlnného dipólu v závislosti na výšce nad zemí

Vliv vodivé roviny pod anténou si výhodně nahrazujeme zrcadlovým obrazem antény a výsledné pole vzniká jako součet pole skutečné antény a fiktivní zrcadlové antény. Zrcadlový účinek vodivé roviny nám též umožňuje konstruovat rezonanční svislé

antény o délce $\lambda/4$, kde druhá polovina dipólu je nahrazena zemním odrazem. Vstupní impedance takové antény mezi patou a zemí je polovina hodnoty impedance půlvlnného dipólu tj. asi 30Ω /obr.15/.



Obr.15. Náhrada zemního odrazu zrcadlovým obrazem antény

Zemský povrch není zdaleka ideálně vodivý a jeho vodivost se pohybuje v rozmezí čtyř řádů. Nejlepší vodivost má mořská voda, dále následuje úrodná ornice, bažinaté roviny, pastviny a lesy, hlinitá půda, písčité půda, sladkovodní plochy, budovy a městská zástavba. Hloubka vniku krátkých vln do země je přibližně 1,5 až 3 m, proto o dobré vodivosti rozhoduje především hladina spodní vody, zatímco povrchová vlaha má jen malý význam.

Dobrá vodivost země v blízkém okolí antény je hlavním předpokladem její účinné funkce. U antén symetrických vůči zemi /např. horizontální dipól/ i při horší půdě nedochází k větším ztrátám, pokud je anténa zavěšena dostatečně vysoko. Zato u krátkých vertikálních zářičů je zem bezprostřední součástí antény a je-li špatná, funkci antény zcela znehodnotí. Vodivost

země se proto často uměle zlepšuje pomocí soustavy vodičů spojených do zemnicí sítě /protiváha/. Vodiče se umísťují přímo na zemský povrch nebo se mělce /několik cm/ zakopávají. Mají být paprscitě rozloženy do vzdálenosti asi $\lambda/2$ a jejich počet má být co největší. Teprve zvyšování počtu zemnicích prvků nad 90 má již malý vliv na zlepšení účinnosti antény. V amatérské praxi se za cenu snížení účinnosti používají skromnější zemnicí systémy. Minimum představují čtyři prvky o délce $\lambda/4$.

3. ANTÉNNÍ NAPÁJEČE

3.1. VLASTNOSTI VF VEDENÍ

Přenos vf energie z vysílače do anténního zářiče nebo z antény na vstup přijímače zprostředkovává napájecí vf vedení - anténní napáječ. Výjimku představují jen ty případy, kdy je anténa přivedena až bezprostředně k vysílači /např. antény přenosných radiostanic/. K účinnému přenosu energie mezi zdrojem a spotřebičem, tj. mezi vysílačem a anténou, musí mít vf vedení vhodné vlastnosti. Především nás zajímá, jaká je impedance na vstupu vedení v závislosti na impedanci připojené zátěže, délce vedení a jeho mechanické konstrukci. Druhým důležitým činitelem jsou ztráty při přenosu, vyjadřované jako útlum vedení.

Kdyby bylo vf vedení nekonečně dlouhé, vykazovalo by na svých vstupních svorkách jistou impedanci, která závisí pouze na mechanické konstrukci vedení, tj. na průměrech a rozteči vodičů a na vlastnostech a způsobu umístění isolačního dielektrika mezi vodiči. Tato hodnota se nazývá charakteristická impedance a pro vf kmitočty je dostatečně přesně určena vztahem

$$Z_0 = \sqrt{L/C} \quad [\Omega, H, F]$$

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

Následkem jistého ohmického odporu vodičů vedení, navíc zvý-

šeného na vř povrchovým jevem a ztrátami v dielektriku vznikají při přenosu energie ztráty. Další ztráty vznikají i tím, že se část vř energie ztrácí vyzařováním do prostoru. Ztráty se vyjadřují jako poměr vstupního a výstupního výkonu v logaritmické míře a udávají se proto jako útlum v decibelech na jednotku délky vedení (dB/m nebo dB/100m). Útlum všeobecně stoupá s rostoucím kmitočtem.

3.2. RYCHLOST ŠÍŘENÍ A DÉLKA VLNY NA VEDENÍ

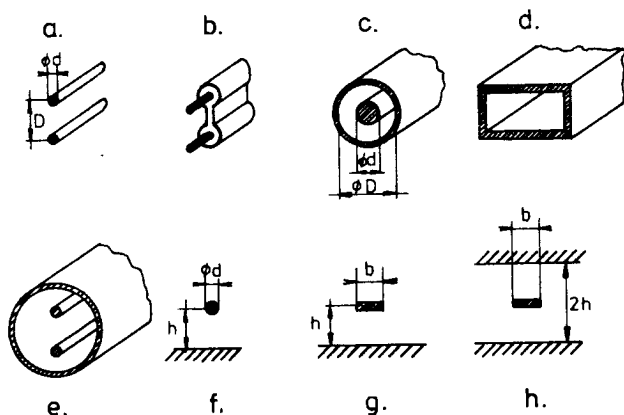
Přenos energie po vedení se děje v podobě elektromagnetického vlnění a nosičem energie je prostor v nejbližším okolí vedení. Vlastní vodiče vedení slouží jen k tomu, aby daly vř poli žádaný průběh a směr. Elektromagnetické vlnění na vedení se šíří pomaleji než ve volném prostoru a v souhlasu s tím je délka vlny na vedení kratší než ve volném prostoru. U vedení se vzduchovou izolací /např. dvojdřátové vedení s rozpěrkami/ je toto zkrácení jen asi 5%, u plného polyethylenového dielektrika v koaxiálním kabelu asi 34%, u pěnového polyetylenu asi 18%. Pro jednotlivé typy vedení se udává obvykleji tzv. činitel zkrácení, což je poměr délky vlny na vedení k délce vlny ve volném prostoru

$$K = \lambda_v / \lambda_0$$

Pro výše uvedené typy vedení jsou činitele zkrácení $k = 0,95$, $0,66$ a $0,82$.

3.3. KONSTRUKCE NAPÁJECŮ

V praxi se nejčastěji používají vř vedení znázorněná na obr.16. Souměrné vedení se vzduchovou nebo polyetylenovou izolací /a, b/ vyhovuje pro kmitočty do 1000 MHz, sousosé /koaxiální/ vedení pro kmitočty do 3000 MHz /c/, vlnovody pro kmitočty



Obr.16. Nejčastěji používané typy vř vedení

od 2000 MHz výše /d/. Vedle těchto základních typů existují různé obměny podle tvaru vodičů. Např. dvojdrátové symetrické stíněné vedení /e/, jednodrátové vedení nad vodivou rovinou /f/, pásková vedení /g, h/.

U koaxiálního kabelu se elektromagnetické pole rozprostírá mezi vnitřním vodičem a pláštěm, složeným obvykle pro větší ohebnost kabelu z měděného pletiva. Plášť stíní přenos energie uvnitř kabelu, kabel nevyzařuje ani nepřijímá rušení. Případné "prosakování" vř energie nastává pouze tehdy, jsou-li v stínicím

pletivu mezery, nebo jsou-li některá vlákna pletiva přerušena. Pro náročnější aplikace se proto vyrábějí kabely s dvojitým stínícím opletením, nebo s pláštěm zhotoveným z fólie. Plášť koaxiálního kabelu bývá chráněn obalem z PVC. Povětrnostní vlivy a sluneční záření časem narušují ochranný povlak a kabel se potom korozí znehodnocuje - rozrůstá jeho útlum a zhoršují se stínící vlastnosti.

Na útlum koaxiálního kabelu i jeho charakteristickou impedanci má podstatný vliv dielektrikum, které zajišťuje polohu vnitřního vodiče vůči plášti. Pro vakuum a přibližně i vzduch je charakteristická impedance určena vztahem

$$Z_0 = 138 \log (D/d) \quad [\Omega]$$

kde d je průměr vnitřního a D průměr vnějšího vodiče. Plynné dielektrikum je vhodné pouze nemá-li nadměrnou vlhkost. Při použití dielektrika s permitivitou /dielektrickou konstantou/ ϵ se charakteristická impedance vedení o stejných rozměrech sníží podle vztahu

$$Z_\epsilon = Z_0 / \sqrt{\epsilon}$$

Útlum kabelu všeobecně klesá s rostoucím průměrem vodiče a stoupá se vzrůstajícím kmitočtem. Běžně se vyrábějí koaxiální kabely s charakteristickou impedancí 75 a 50 Ω (v NDR a NSR též 60 Ω), jejichž dielektrikem bývá polyetylén, pěnový polyetylén, teflon, nebo polystyrénové kalíškovité distanční vložky.

Druhým hlavním typem vf vedení pro anténní techniku je symetrické dvojdřátové vedení. Jeho charakteristická impedance při vzduchovém dielektriku závisí na rozteči a průměru vodičů

podle vztahu

$$Z_0 = 276 \log (D/d) \quad [\Omega]$$

kde D je rozteč os vodičů a d je průměr vodičů. Konstantní vzdálenost mezi vodiči je udržována buď distančními isolačními rozpěrkami a napnutím vodičů, nebo jsou vodiče zalisovány do polyetylenového pásu, případně do oválného profilu z pěnového polyetylenu. Protože toto dielektrikum nevyplňuje celý prostor mezi vodiči, má menší vliv na charakteristickou impedanci, než tomu bylo u koaxiálního kabelu. Proto též ztráty dvojdrátového vedení jsou menší než ztráty koaxiálního kabelu s vnitřním vodičem stejného průměru, pouze na nejvyšších kmitočtech, kdy rozteč vodičů přestává být zanedbatelná vůči vlnové délce, se útlum dvojdrátového vedení zvětšuje následkem vyzařování v energii. Běžně vyráběné dvojdrátové vedení je tzv. televizní dvoulinka s charakteristickou impedancí 300Ω .

Dvojdrátové vedení má dobré vlastnosti jen pokud je jeho okolí stejnorodé a tvořené převážně vzduchem. Vedení napáječe po střeše nebo po zdi má za následek zvýšení ztrát, přiblížení vodivým předmětům způsobí změnu charakteristické impedance, čímž vzniká nepřizpůsobení a další ztráty. Důležité je také zachování symetrie napáječe vůči zemi. Jejím zhoršením vedení vyzařuje, případně přijímá poruchy. Proto se např. doporučuje TV dvoulinku zkrucovat asi dvakrát na 1 m délky.

V protikladu ke koaxiálnímu kabelu je dvojdrátový napáječ citlivější i na atmosférické vlivy. Vadí především vodní srážky všeho druhu, v městském prostředí pak hlavně spad nečistot, které se usazují na dielektrickém materiálu a vydatně zvyšují útlum vedení. Také slunečné záření zhoršuje vlastnosti polyety-

lenového dielektrika. TV dvoulinka oválného tvaru s pěnovým dielektrikem je proti těmto vlivům odolnější než páskové vedení pro I. TV program. Naproti tomu amatérsky zhotovené dvojdřátové vedení s rozpěrkami je pro KV účely patrně nejvhodnějším typem anténního napáječe pro malé ztráty, malou váhu a nízkou cenu. Je snadno výrobitelné s potřebnou charakteristickou impedancí v rozmezí 200 až 800 Ω . Útlum takového napáječe závisí především na průměru použitých vodičů, vliv distančních rozpěrek zhotovených i z méně jakostního dielektrika /např. proužky sklolaminátu/ je téměř zanedbatelný.

3.4. NEPŘÍZPŮSOBENÉ VEDENÍ A STOJATÉ VLNY

Pro přenos maximálního výkonu mezi zdrojem s vnitřním odporem R_i a zatěžovacím odporem /anténou/ R_z prostřednictvím vedení o charakteristické impedanci Z_0 je zapotřebí, aby byla splněna podmínka vzájemného přizpůsobení impedancí

$$R_i = Z_0 = R_z$$

V takovém případě je průběh napětí a proudu podél vedení téměř konstantní a jen mírně klesá následkem ztrát vedení /viz obr.17/. Při nepřizpůsobení impedancí na začátku vedení nedojde k maximálnímu přenosu výkonu ze zdroje do vedení. Zavedeme-li pojem činitel nepřizpůsobení jako podíl hodnot dvou odporů větší než 1

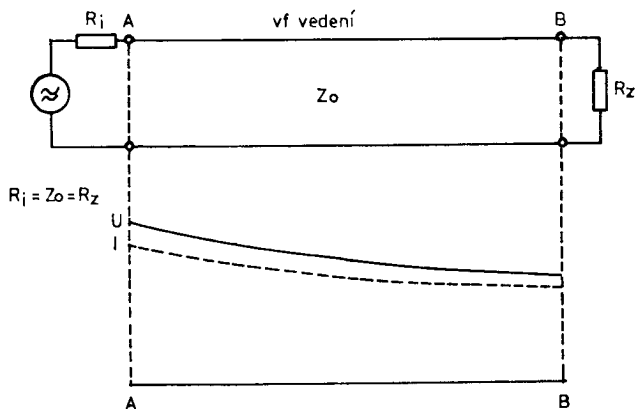
$$\delta = R_i/Z_0 \quad \text{pro } R_i > Z_0 \quad \delta = Z_0/R_i \quad \text{pro } Z_0 > R_i$$

pak poměr výkonu maximálního, tj. přenášeného při $\delta = 1$, ke

skutečně přenesenému při $\delta > 1$ je určen vztahem

$$\frac{P_{\max}}{P} = \frac{4}{\delta + \frac{1}{\delta} + 2} = \frac{4\delta}{\delta^2 + 2\delta + 1}$$

Např. pro činitel nepřizpůsobení $\delta = 2$ je poměr výkonů 0,89, což znamená, že soustava vedení-anténa odebere z vysílače jen 89% max. možného výkonu a při přenosu tudíž vzniká ztráta asi 0,5 dB.

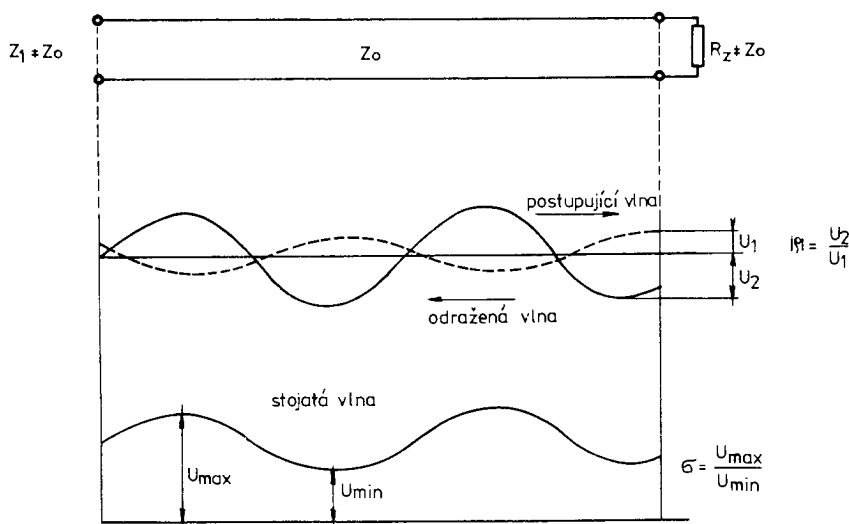


Obr.17. Přizpůsobené vedení

Složitější situace vzniká, když není přizpůsoben zatěžovací odpor /tj. anténa/ charakteristické impedanci napájecího vedení. Zmenšení přeneseného výkonu je popsáno stejným vztahem jako při nepřizpůsobení na začátku vedení, navíc vzniká na vedení tzv. stójatá vlnění. Část energie přímé vlny, postupující na vedení od zdroje k zátěži R_z , se na nepřizpůsobeném konci odraží a jako vlna odražená postupuje na vedení zpět ke zdroji. Poměr vlny odražené a původní vlny závisí na míře nepřizpůsobení, která se

udává jako tzv. činitel odrazu ρ . Činitel odrazu je obecně komplexní číslo, protože zatěžovací impedance nemusí být pouze odporová, ale má i jalovou složku. Absolutní hodnota činitele odrazu se pohybuje mezi $\rho = 0$ /dokonalé přizpůsobení zátěže/ a $\rho = 1$ /totální odraz na zkratovaném nebo otevřeném konci vedení/.

Odražená vlna se skládá s vlnou přímou a na vedení vzniknou maxima a minima /kmitny a uzly/ napětí a proudu /obr.18/. Jejich



Obr.18. Vznik stojatých vln při impedančním nepřizpůsobení na konci vedení

poloha závisí na charakteru zatěžovací impedance. Vzdálenost dvou sousedních maxim nebo minim odpovídá poloviční délce vlny na vedení. Poměr napěťového maxima a minima stojaté vlny se nazývá činitel stojatého vlnění - ČSV /nesprávně poměr stojatých

vln/ a je roven dříve definovanému činiteli nepřizpůsobení

$$\text{ČSV} = U_{\max}/U_{\min} = \delta$$

Mezi ČSV a činitelem odrazu ρ platí vztahy

$$\delta = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \quad \rho = \frac{\delta - 1}{\delta + 1}$$

Z hlediska zdroje signálu se jeví na konci nepřizpůsobené vedení i na začátku jako nepřizpůsobené. Vstupní impedance vedení, zakončeného jinou impedancí než čistým odporem rovným charakteristické impedanci, je obecně komplexní a její činná i jalová složka závisí kromě zátěže i na délce vedení.

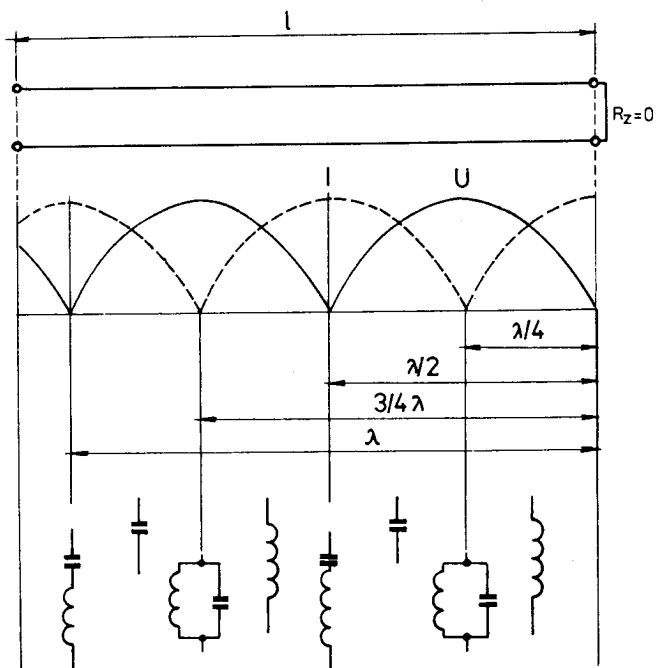
Stojaté vlny na vedení zvyšují ztráty přenosu, protože v kmitných napětí a proudu jsou větší hodnoty než v přizpůsobeném stavu. Tím vzrůstá vyzařování vedení, tepelné ztráty a namáhání dielektrika a v extrémních případech se může koaxiální kabel nebo dvoulinka i prorazit. Na krátkých vlnách se považuje za ještě přijatelnou hodnotu ČSV = 3, kdy dochází k přenosové ztrátě 1,25 dB /minimálně/. Ale většina běžných výstupních obvodů vysílačů není obvykle při takovém ČSV schopna zprostředkovat náležitě zatížení koncového stupně. Na VKV pásmech se vždy snažíme o dosažení co nejlepšího přizpůsobení antény k napájecí, protože přídavný útlum způsobený stojatými vlnami se uplatňuje podstatně více. Za ještě přijatelnou hodnotu se považuje ČSV = 2, zlepšování přizpůsobení pod ČSV = 1,2 již bývá zbytečné.

3.5. VEDENÍ NAKRÁTKO A NAPRÁZDNO

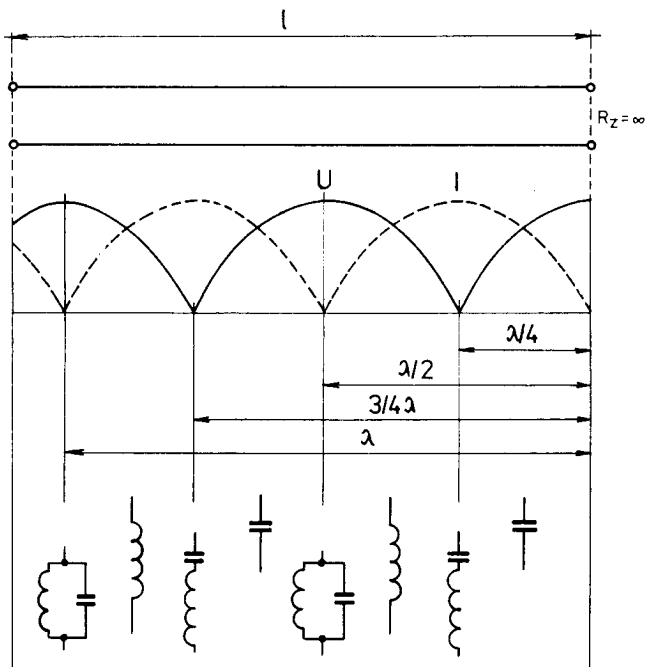
V anténní technice často využíváme stojatých vln na vedení ke konstrukci přizpůsobovacích a transformačních obvodů. Extrémní případy nastávají u vedení na konci nakrátko $/R_z = 0/$ a naprázdno $/R_z = \infty/$, kdy ČSV se blíží nekonečnu.

U vedení nakrátko vzniká na konci vedení kmitná proudy a uzly napětí. Vstupní impedance má různou velikost a charakter podle délky vedení. Je-li vedení kratší než $\lambda/4$, je vstupní impedance čistě induktivní, vedení o délce $\lambda/4$ se chová jako paralelní rezonanční okruh v rezonanci a vykazuje nekonečně velký vstupní odpor. Mezi délkami $\lambda/4$ a $\lambda/2$ je vstupní impedance čistě kapacitní a při délce přesně $\lambda/2$ odpovídá sériovému rezonančnímu okruhu v rezonanci, tj. jeví se jako zkrat. Tyto hodnoty vstupní impedance se opakují vždy po délce $\lambda/2$. Délkou vlny se rozumí skutečná délka vlny na vedení /viz 3.2./. Přehledně jsou vlastnosti vedení nakrátko znázorněny na obr.19.

Na vedení naprázdno jsou poměry opačné. Na otevřeném konci vedení vzniká kmitná napětí a uzly proudy. Vstupní impedance je při délce kratší než $\lambda/4$ kapacitní, pro délku $\lambda/4$ se chová vedení jako zkrat, při délce mezi $\lambda/4$ a $\lambda/2$ jako indukčnost a při délce $\lambda/2$ jako paralelní rezonanční obvod /obr.20/.



Obr.19. Vlastnosti vedení nakrátko



Obr.20. Vlastnosti vedení naprázdno

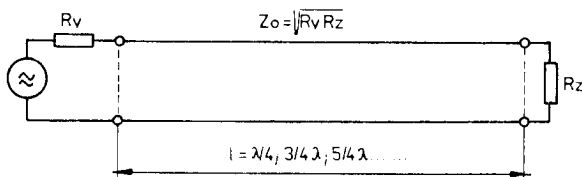
3.6. VEDENÍ JAKO IMPEDANČNÍ TRANSFORMÁTOR

Z teorie vedení vyplývá jednoduchý vztah, že vstupní impedance Z_V vedení s charakteristickou impedancí Z_0 dlouhého $\lambda/4$ a zakončeného impedancí Z_Z se rovná

$$Z_V = Z_0^2 / Z_Z$$

Dva různé odpory R_V a R_Z lze proto přizpůsobit čtvrtvlnným vedením o charakteristické impedanci

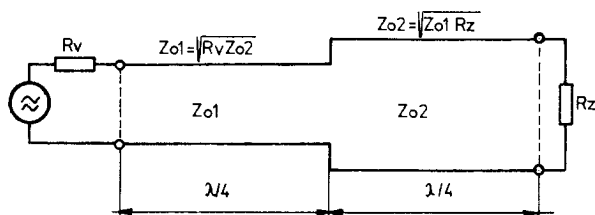
$$Z_0 = \sqrt{R_V R_Z}$$



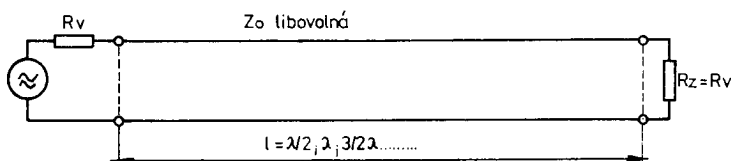
Obr.21. Přizpůsobení dvou různých odporů čtvrtvlnným vedením

Protože se poměry na vedení periodicky opakují vždy po půlvlnné délce, může být místo čtvrtvlnného úseku mezi odpory zapojen i jiný lichý násobek $\lambda/4$. Transformace a tedy i přizpůsobení je tím úzkopásmovější, čím jsou odpory R_V a R_Z navzájem rozdílnější. Při větším transformačním poměru než 1 : 4 je výhodnější transformátor dvojestupňový /příklad na obr.22/. Vedení o délce $l = \lambda/2$ působí jako "transformátor" impedance v poměru 1 : 1. To znamená, že při této délce vedení bude vstupní impedance rovna zatěžovací impedanci a to bez ohledu na to, jaká je cha-

arakteristická impedace vedení /obr.23/. Místo půlvlnné délky lze použít libovolný celý násobek $\lambda/2$, neboli sudý násobek $\lambda/4$.



Obr.22. Dvojstupňový čtvrtvlnný transformátor pro větší transformační poměry R_z/R_v



Obr.23. Transformace impedancí 1:1 půlvlnným vedením

3.7. LADĚNÉ A NELADĚNÉ NAPÁJEČE

Podle způsobu využívání, případně podle průběhu proudového či napěťového obložení, mohou být napájecí vedení laděná /resonanční/ nebo neladěná /aperiodická/.

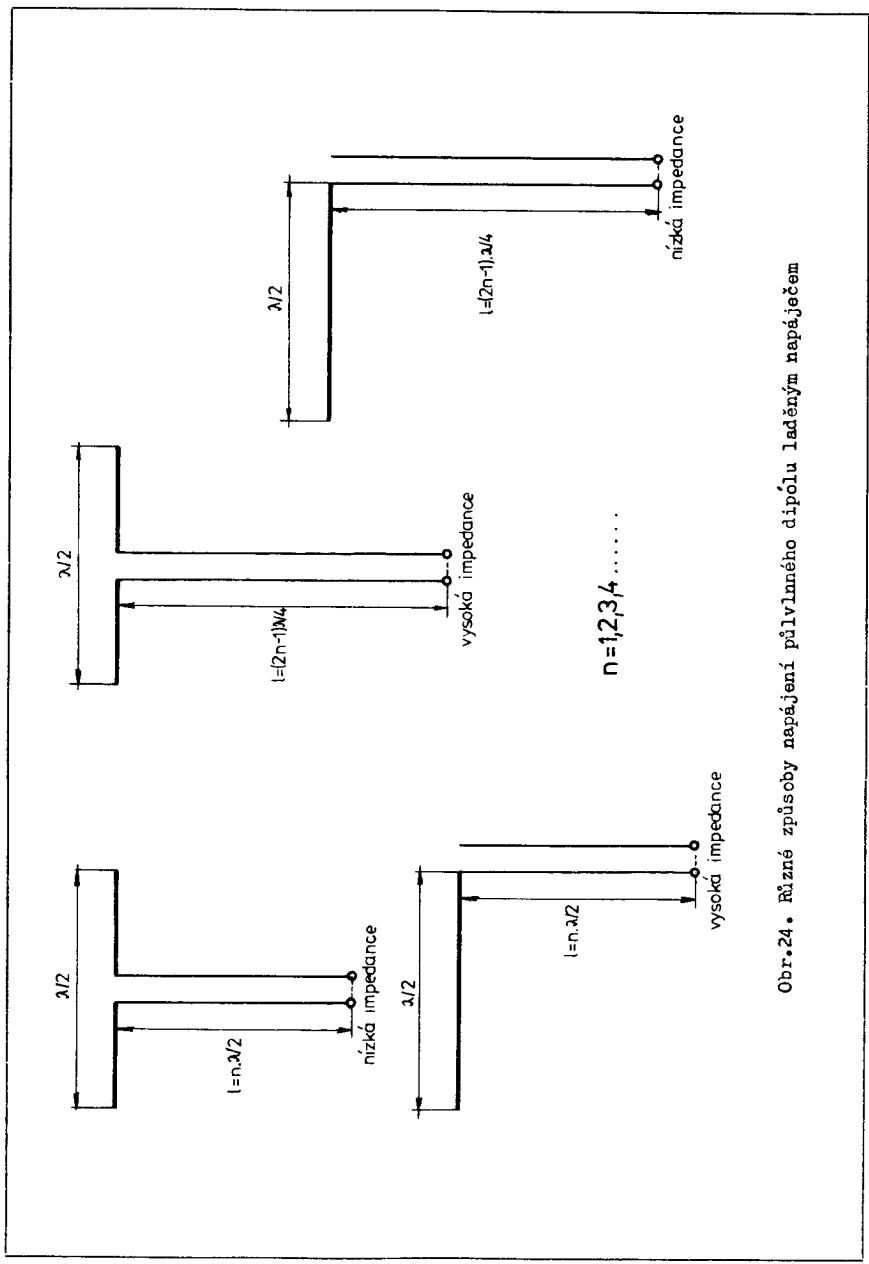
U laděných napáječů musí být jejich délka celistvým násobkem $\lambda/4$ a na napáječi existují výrazné stojaté vlny, protože zatěžovací impedance není přizpůsobena charakteristické impedanci napáječe. Podle toho, je-li délka napáječe sudým nebo lichým násobkem čtvrtvlny, nedochází nebo dochází k transformaci

impedance. Například půlvlnný dipól lze napájet uprostřed v místě nízké impedance /60-70 Ω /, nebo na konci v místě vysoké impedance /2000-5000 Ω / obvody podle obr.24. Vhodnou délkou napáječe o libovolné impedanci Z_0 se na vstupu napáječe získá vysoká nebo nízká impedance, tak jak potřebujeme k navázání na vysílač nebo přijímač. Výhodou laděných napáječů je snadná přizpůsobitelnost na harmonických kmitočtech a proto se jich využívá u vícepásmových antén pro KV. Nevýhodou je jejich úzkopásmovost a na vyšších kmitočtech znatelné vyzařování. Laděné napáječe se konstruují výhradně jako vedení se vzduchovým dielektrikem.

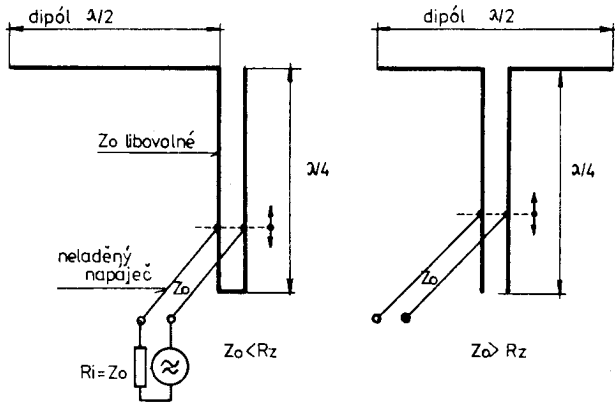
Neladěné napáječe pracují za podmínky přizpůsobení anténní impedance k charakteristické impedanci napájecího vedení. Na napáječi v ideálním případě neexistují stojaté vlny - ČSV se blíží 1. Délka napáječe nemusí být v žádném vztahu k vlnové délce a širokopásmovost závisí pouze na vstupní impedanci antény. Zato se anténní systém komplikuje potřebou přizpůsobovacích nebo i symetrizačních obvodů.

3.8. PŘIZPŮBOVÁNÍ A SYMETRIZACE

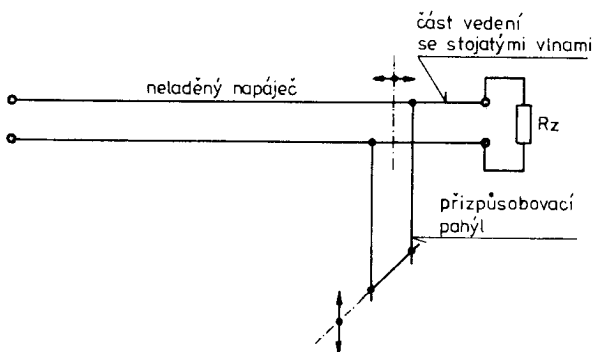
Kromě čtvrtvlnného vedení mezi různými impedancemi existuje celá řada jiných způsobů jak přizpůsobit naladěný napáječ k impedanci antény. Většinou jsou založeny na vlastnostech vedení nakrátko a naprázdno. Několik typických ukázek je na obr.25 v aplikaci k napájení dipólu. Dokonalé přizpůsobení /minimum ČSV/ se nastaví posunováním přípojného místa na impedančním transformátoru. Složitější přizpůsobovací obvody se skládají



Obr. 24. Různé způsoby napájení půlvlnného dipólu laděným napáječem

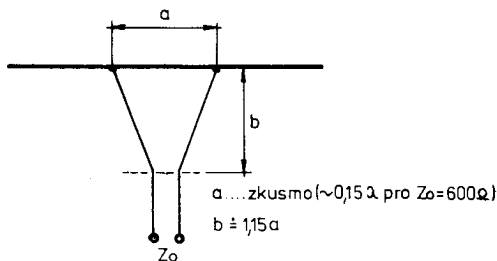


Obr.25. Koncové a středové napájení půlvlnného dipólu pomocí čtvrtvlnného úseku /pahýlu/

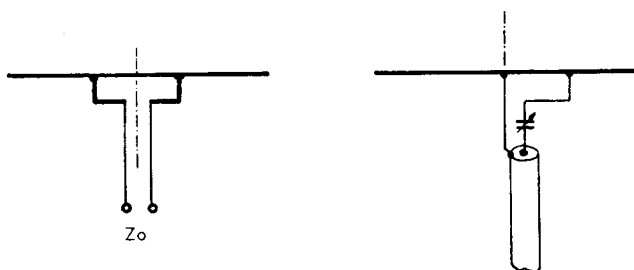


Obr.26. Přípůsobení impedancí pahýlovým vedením

z jednoho nebo dvou nastavitelných úseků vedení /pahýlů/ a přizpůsobení se nastavuje jejich délkou a polohou /obr.26/. Na KV je populární přizpůsobení "delta" pro středové napájení půlvlnných dipólů /obr.27/ a pro zářiče směrových antén přizpůsobovací obvod "gama" a "T" /obr.28/, které mají charakter bočnicku.



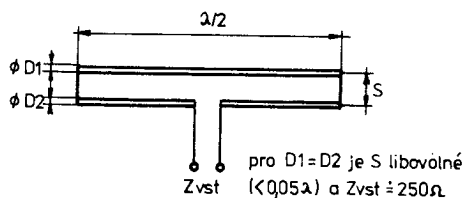
Obr.27. Přizpůsobení "delta". Rozteč a závisí na poměrech vodičů.



Obr.28. Bočníkové přizpůsobení
a/ přizpůsobení "T"
b/ přizpůsobení "gama"

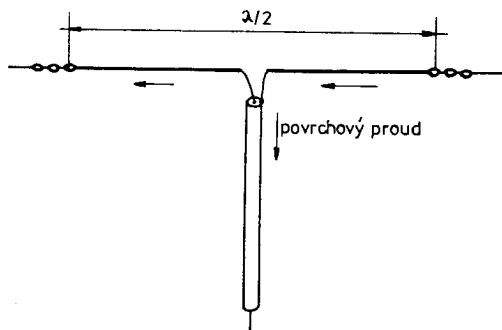
Zvláštním případem bočníkového přizpůsobení je skládaný dipól $\lambda/2$, který se používá hlavně na VKV při konstrukci směrových antén /obr.29/. Je-li zhotoven z vodičů stejného průměru, pak transformuje impedanci dipólu na čtyřnásobek a nezáleží přitom na rozteči ramen. Změnou poměru průměrů a rozteče ramen, případně zvětšením jejich počtu, lze získat transformační poměr

od 1 : 2 až do 1 : 30 i více. Skládáný dipól má navíc proti prostému dipólu výhodu v podstatně větší širokopásmovosti.



Obr.29. Skládáný dipól

V anténní technice se často vyskytuje požadavek přechodu z nesočměrného /koaxiálního/ napáječe na symetrickou anténu. Přímé připojení koaxiálního kabelu na půlvlnný dipól podle obr. 30 je nesprávné, i když z hlediska impedančního přizpůsobení

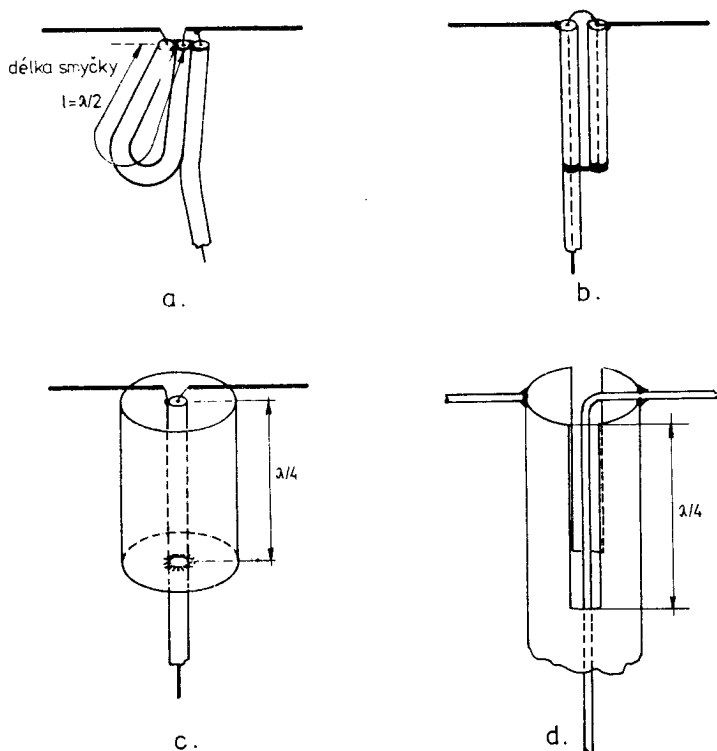


Obr.30. Chybné napájení symetrického zariadení nesymetrickým napáječem

se zdá všechno v pořádku. Plášť koaxiálního kabelu má vůči zemi podstatně větší kapacitu než jeho vnitřní vodič. Proto i

každá polovina původně souměrného dipólu bude po připojení kabelu vůči zemi různá. Povrchem pláště kabelu pak protékají povrchové vlny, napáječ se tím stane součástí antény a sám bude vyzařovat a přijímat. Tím se zkresluje vyzařovací diagram antény, mění se rezonanční kmitočet zářiče, zvyšují se ztráty v napáječi.

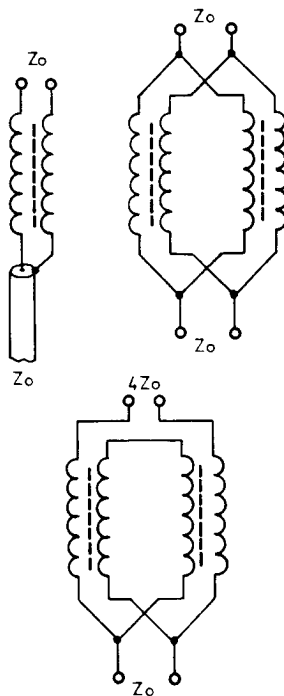
K odstranění popsaných nesnází se mezi koaxiální napáječ a souměrnou anténu zapojují symetrizační členy. Nejběžnější způ-



Obr.31. Různé způsoby symetrizace souosého vedení

- a/ půlvlnnou smyčkou /transformuje impedanci 1:4/
- b/ paralelním vedením $\lambda/4$
- c/ "rukávem" $\lambda/4$
- d/ čtvrtvlnnou štěrbinou

soby symetrizace jsou naznačeny na obr.31. Nejčastější je symetrizátor podle obr.31a/, který současně transformuje impedanci v poměru 1 : 4 a je proto vhodný k napájení skládaného dipólu koaxiálním kabelem 75Ω . Také bočníkové přizpůsobení "gama" /podle obr.28/ splňuje současně funkci symetrizátoru a transformátoru impedance. Uvedené symetrizační členy jsou úzkopásmové a pracují podle typu obvodu v kmítočtovém pásmu 3 - 15%

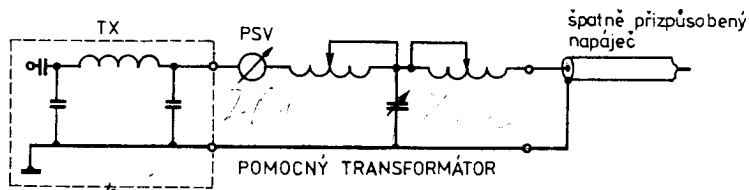


Obr.32. Širokopásmové symetrizační transformátory

středního kmítočtu. Na KV jsou běžné i symetrizační členy "se soustředěnými parametry", využívající širokopásmových vf transformátorů na feritových jádrech. Několik zapojení je uvedeno na obr.32. Dobře konstruovaný transformátor vyhoví v kmítočtovém pásmu 1 : 10 i více.

3.9. VAZBA NAPÁJEČŮ S VYSÍLAČEM

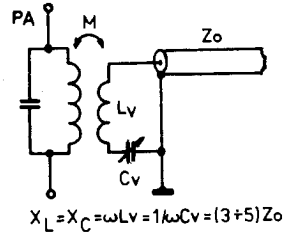
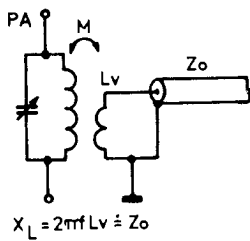
Výstupní obvod KV vysílačů se obvykle konstruuje v podobě π -článku, nebo π -L článku pro zatěžovací impedanci 50-100 Ω , takže je možné přímé připojení koaxiálního kabelu. Pokud není anténa dobře přizpůsobena a ČSV na napáječi je větší než 2, mohou nastat potíže s tím, že nelze laděním π -článku dobře zatížit koncový stupeň. Nedá-li se z praktických důvodů snížit ČSV lepším přizpůsobením antény k napáječi /což je jediné správné řešení/, je jedinou pomocí zařadit mezi vysílač a vstup koaxiálního vedení pomocný impedanční transformátor sestavený z kondenzátorů a cívek. Universálně použitelnými obvody jsou články tvaru T podle obr.33. Optimální nastavení pomocného



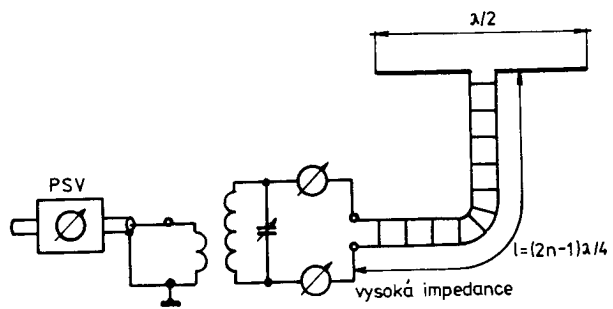
Obr.33. Zlepšení PSV pomocným přizpůsobovacím obvodem umožní správně zatížit koncový stupeň

transformátoru se dosáhne pomocí reflektometru zařazeného mezi vysílač a pomocný transformátor.

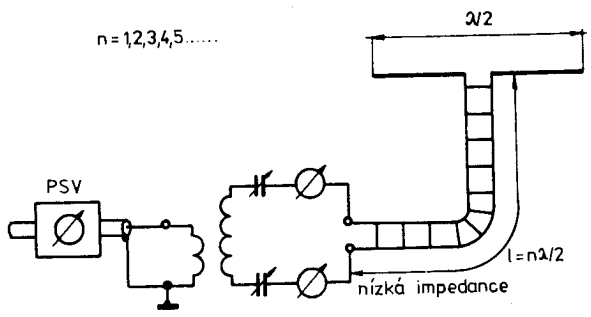
U VKV vysílačů se výstupní obvod zpravidla řeší vazební smyčkou a správné zatížení koncového stupně se nastavuje vhodnou vazbou. Dva možné způsoby jsou spolu s podmínkami pro správné dimenzování vazebních obvodů na obr.34.



Obr.34. Typické vazební obvody pro VKV vysílače



$n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$



Obr.35. Vazební obvody pro laděné napáječe

Jestliže je KV anténní systém napájen dvoudrátovým laděným napáječem, je třeba vstup vedení napájet z laděného okruhu, který respektuje vstupní impedanci napáječe. Přídavný ladící okruh sice komplikuje obsluhu stanice při přepínání pásem, ale pomáhá účinně filtrovat harmonické kmitočty. Pro nízkou vstupní impedanci napáječe se zvolí sériový rezonanční okruh, pro vysokou impedanci paralelní. Typický případ pro napájení půlvlnného dipólu je znázorněn na obr.35. Směrná hodnota kapacity ladícího kondenzátoru pro 3,5 MHz je asi 200 pF. Optimální vazba mezi cívkami se nastavuje na maximum údaje indikátorů v proudě v obou vodičích napáječe, nebo lépe nastavením minima ČSV na přiváděcím koaxiálním napáječi.

4. ANTÉNY PRO KV

Pracovní kmitočet je jen jedním z možných hledisek pro rozdělení antén a není to dělítko právě přesné, protože v podstatě všechny antény mohou pracovat na nízkých i vysokých kmitočtech, záleží jen na rozměrech. Přesto bylo zvoleno toto rozdělení, aby bylo možné vybrat alespoň typické představitele antén pro dekametrové a metrové vlny z nepřeberného množství antén, jejichž pouhý výčet by přesáhl únosný rozsah kapitoly.

4.1. ZÁKLADNÍ POŽADAVKY

Při stavbě antény je nutno uvážit: rozsah pracovních kmitočtů, směrové vlastnosti, konstrukční možnosti a místní podmínky realizace, způsob šíření vln. Pro KV pásma je základním typem šíření pro dálkový provoz ionosférická vlna odražená od vrstvy F ve výši asi 400 km. Pro dálkový provoz musí být vlna energie vyzařována pod nízkými elevačními úhly, což vyžaduje zaředit horizontální anténu co nejvýše, nebo dobrý zemnicí systém pro anténu vertikální. Nejlepších výsledků se dosahuje s individuálními anténami pro každé pásmo, ale prostorové omezení většinou nutí ke stavbě více méně kompromisních anténních systémů schopných pracovat na více pásmech. Využívá se přitom toho, že kmitočty amatérských KV pásem jsou vzájemně v harmonickém vztahu. Na nižších KV pásmech jsou schůdné i jednoduché směrové

systemy, buď pevně nasměrované do žádaného směru, nebo systémy, jejichž směrování lze přepínat změnou napájení zářičů. Otočné směrové antény pro DX pásma již dávno přestaly být raritou a možnosti i odvaha konstruktérů pokročily natolik, že se dnes staví směrovky i pro 40 m. U KV antén panuje jistá nepřehlednost v názvech jednotlivých anténních systémů, které nesou obvykle jméno svého tvůrce a rozdíl mezi různými typy se týká především způsobu napájení zářiče. V následujících odstavcích budou proto popsány jen hlavní principy některých základních typů KV antén.

4.2. DIPÓLOVÉ ANTÉNY

Základním typem je vodorovný dipól o délce $\lambda/2$. Je-li zhotoven z tenkého vodiče /např. drát $\varnothing 2\text{mm}/$, má na jeho elektrickou délku prakticky vliv jen kapacita závěsných izolátorů a rezonanční délka je přibližně určena vzorcem

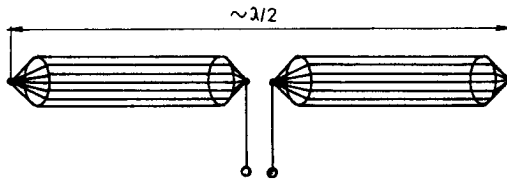
$$l = 142,5/f \quad [m, \text{MHz}]$$

Takový zářič je poměrně úzkopásmový a vhodně impedanční vlastností pro napájení neladěným napáječem má v rozmezí max. $\pm 3\%$. Např. dipól "ustřižený" pro telegrafní úsek pásma 80 m bude na kmitočtu 3,8 MHz vykazovat PSV kolem 3. Širokopásmovost dipólu lze zlepšit zvětšením jeho tloušťky, což se docíluje složením zářiče z několika paralelně spojených vodičů /obr.36/. Vhodnější obměnou je skládaný dipól /viz 3.8./. Činitel zkrácení je poněkud menší než u prostého dipólu a délku zářiče ve smyslu obr.37 lze počítat ze vzorce

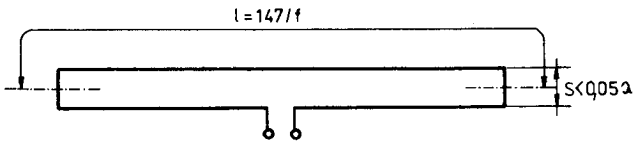
$$l = 147/f$$

$$[m, \text{MHz}]$$

Rozteč vodičů není kritická, postačí, je-li menší než $0,05\lambda$.
Pro práci z přechodného stanoviště lze celou anténu včetně na-

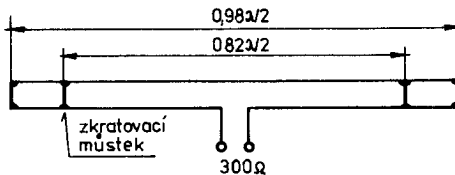


Obr.36. Širokopásmový dipól



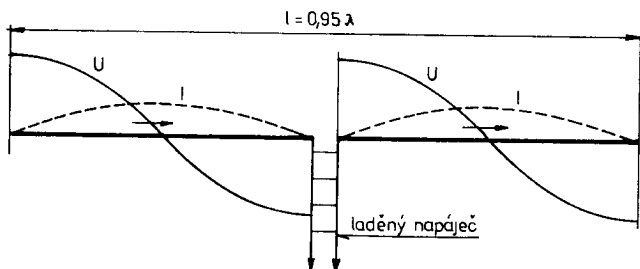
Obr.37. Skládáný dipól

páječe zhotovit z TV dvoulinky. Správné přizpůsobení k napáječi se dosáhne zapojením zkratovacích můstek podle obr.38. Popsané dipóly napájené v místě proudové kmitny neladěným napáječem jsou vhodné jen pro základní kmitočet. Na vyšších harmonických je uprostřed dipólu kmitna napětí a vzniká naprosté nepřizpůso-



Obr.38. Dipól zhotovený z TV dvoulinky

bení. Zato napájení laděným napáječem práci na vyšších pásmech umožňuje, pro druhou harmonickou je dipól celovlnný, napájený v kmitně napětí. Proti půlvlnnému dipólu má větší šířku pásma a užší vyzářovací diagram /60° pro -3 dB/. Tato konfigurace představuje již nejjednodušší soufázovou kolineární soustavu, protože v podstatě jde o dva půlvlnné dipóly napájené ve fázi.



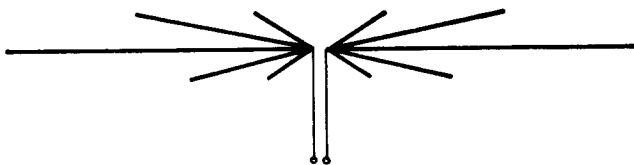
Obr.39. Celovlnný dipól s vyznačeným průběhem proudového a napětového obložení

Zisk proti půlvlnnému dipólu je 1,8 dB. Celovlnný dipól lze napájet i neladěným napáječem za pomoci přizpůsobení podle obr. 25, stává se pak ovšem jen jednopásmovou anténou.

Pro práci na více pásmech se též používá kompromisní více-dipólový systém podle obr.40, vzniklý propojením napájecích bodů několika dipólů pro jednotlivá pásma. Vzájemná vzdálenost vodičů u konců jednotlivých zářičů by měla být několik decimetrů. ČSV tohoto systému stěží dosáhne na všech pásmech hodnoty nižší než 2.

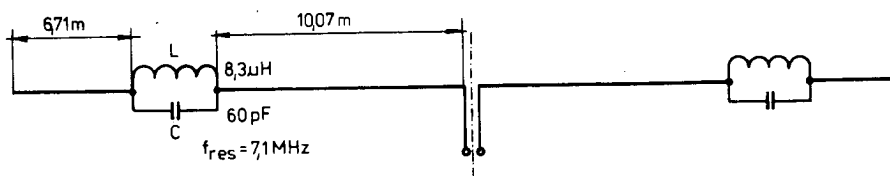
Jiným typem vícepásmového dipólu je uspořádání podle W3DZZ, u něhož jsou v obou ramenech dipólu zapojeny paralelní odlaďovací rezonanční okruhy /tzv. "trapy"/ s vhodně volenými para-

metry. S rozměry uvedenými na obr.41 anténa pracuje na 80 m jako dipól $\lambda/2$, neboť induktivní charakter rezonančních obvodů prodlužuje elektrickou délku zářiče na rezonanční. Resonanční



Obr.40. Vícepásmový kompromisní dipól

okruhy jsou naladěny na 7,05 MHz a proto na tomto pásmu svou vysokou impedancí oddělují koncové úseky zářiče od napájené střední části a anténa opět funguje jako dipól $\lambda/2$. Na vyšších

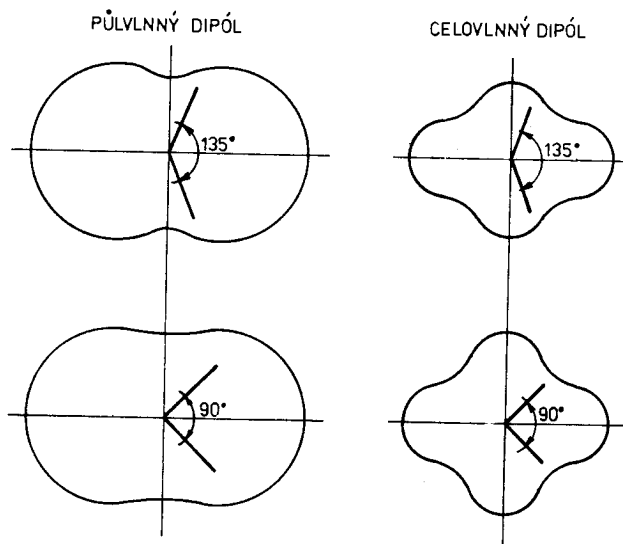


Obr.41. Vícepásmový dipól podle W3DZZ

pásmech mají rezonanční okruhy kapacitní charakter a zkracují elektrickou délku zářiče, takže má na 20 m délku $1,5\lambda$, na 15 m $2,5\lambda$, na 10 m $3,5\lambda$. Napájecí bod je vždy v proudové kmitně, ale tvar vyzařovacího diagramu odpovídá dlouhohrátové anténě. Na 80 a 40 m lze dosáhnout velmi dobrého přizpůsobení /na 80 m v úseku asi 100 kHz/, pro vyšší pásma je systém opět jen kompro-

misní, s ČSV kolem 3 /napáječ 75 Ω / . Možné je i uspořádání s více odlaďovači, nebo s odlaďovači zhotovenými z úseků vedení, či kombinace s vícepólovým uspořádáním.

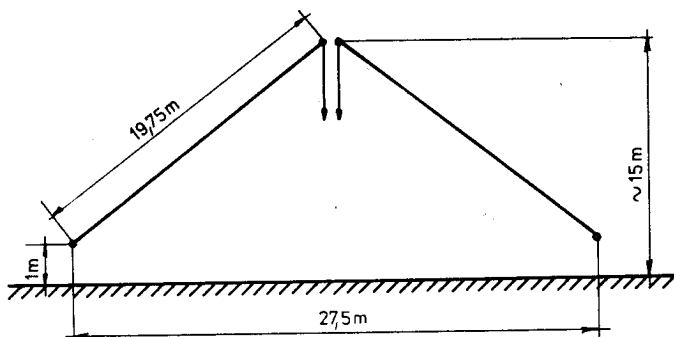
Ramena dipólu nemusí být napjata v jedné přímce. Vychýlením ramen ve vodorovné rovině se dosáhne změny vyzařovacího diagramu podle obr.42. Dá se tak odstranit ostrá nula vyzařování ve směru osy dipólu a získat téměř všesměrový diagram.



Obr.42. Vyzařovací diagramy "zahnutých" dipólů

S ohledem na účinné vyzařování je důležité, aby alespoň úsek zářiče v okolí proudové kmitny byl umístěn co nejvýše a ve volném prostoru. Tak vznikla anténa "obrácené V" /inverted V/, kde ke konstrukci stačí jediná vysoká podpěra uprostřed, která současně nese anténní napáječ. Jako příklad slouží anté-

na pro 80 m na obr.43. Vrcholový úhel nemá být menší než 60° . Při 90° je zisk proti dipólu zavěšenému ve stejné výšce menší



Obr.43. Anténa "obrácené V"

o 3 dB, při vrcholovém úhlu 120° menší o 1,5 dB. Vyzařovací diagram této antény je téměř všesměrový.

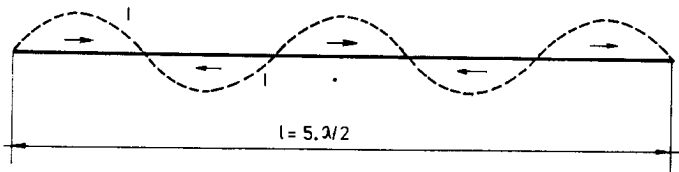
4.3. DLOUHÉ JEDNODRÁTOVÉ ANTÉNY

Patrně dosud nejrozšířenějším universálním druhem KV antény je dlouhý rezonující vodorovný zářič napájený na konci nebo uprostřed. Délka zářiče se volí jako násobek $\lambda/2$. Protože na zkrácení zářiče mají vliv pouze závěsné izolátory, vypočítá se rezonanční délka zářiče ze vzorce

$$l = \frac{150 (N - 0,05)}{f} \quad [m, \text{MHz}]$$

kde N je počet půlvln, připadajících na zářič pro daný kmitočet. Rozložení okamžitých proudů na zářiči je takové, že v sousedních půlvlnných úsecích jsou vždy v protifázi /obr.44/.

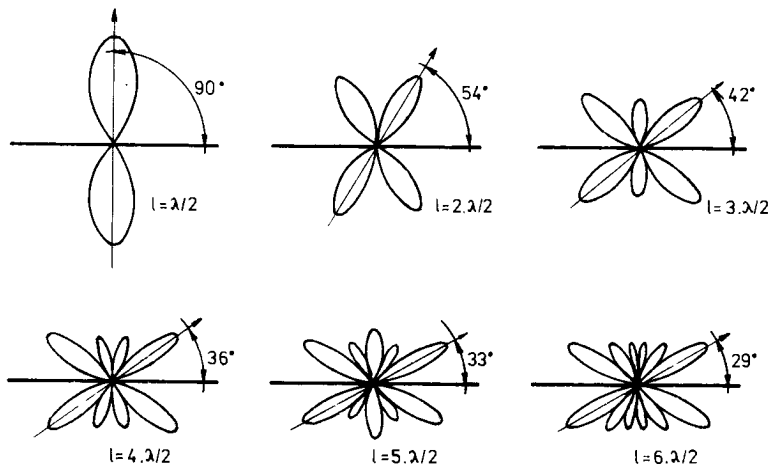
Výsledné pole a vyzařovací diagram v horizontální rovině vznikne složením vyzařování dílčích dipólů. Na rozdíl od soufázové



Obr.44. Rozložení okamžitých proudů na dlouhém zářiči

kolineární soustavy /např. celovlnný dipól napájený uprostřed/ se pole v některých směrech zesiluje, v jiných potlačuje, případně vymizí. Výsledkem je členitý vyzařovací diagram, tím členitější, čím je zářič delší. Z obr.45 je patrné několik základních vlastností dlouhého zářiče:

a/ vyzařovací diagramy jsou souměrné vůči ose zářiče a souměrné v kolmém směru;



Obr.45. Vyzařovací diagramy dlouhých zářičů

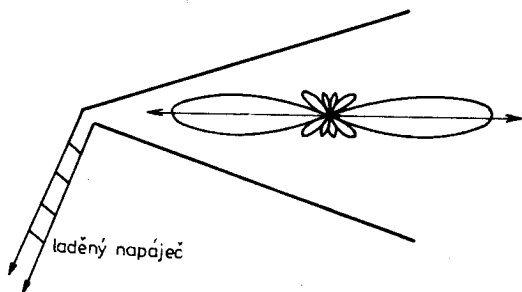
- b/ směr maximálního vyzařování se přiklání tím více k ose zářiče, čím je zářič delší;
- c/ zářič o délce která je lichým násobkem $\lambda/2$ vyzařuje část energie ve směru kolmém na zářič, zářič se sudým počtem $\lambda/2$ má v tomto směru nulové vyzařování;
- d/ celkový počet smyček horizontálního vyzařovacího diagramu v polovině $0^\circ - 180^\circ$ je roven počtu půlvln obsažených v délce zářiče;
- e/ nejvíce energie je vyzařováno ve smyčkách nejpřilehlejších k ose zářiče, poměrné zesílení výkonu proti půlvlnnému dipólu je tím větší, čím je zářič delší.

Z uvedeného vyplývá, že dlouhý zářič je vlastně směrovou anténou se čtyřmi hlavními a případně dalšími menšími laloky. Podstatné zesílení nastává až u skutečně dlouhých zářičů. Např. zářič dlouhý 4λ dává v hlavních lalocích zisk 3 dB proti půlvlnnému dipólu.

Dlouhé zářiče mohou být z prostorových důvodů v určité své části zalomeny, zavěšeny šikmo nebo umístěny nad nerovným terémem. Všechny tyto změny téměř neovlivňují rezonanční kmitočet, ale mají vliv na tvar vyzařovacího diagramu. Zářič nad svažující se zemí vyzařuje pod menším vertikálním úhlem na tom konci, který je výše nad zemí.

Délka dlouhého zářiče určeného pro vícepásmový provoz se musí volit kompromisně, protože zářič o správné rezonanční délce pro nejnižší pásmo se stává krátkým pro vyšší pásma. Např. dipól $\lambda/2$ pro kmitočet 3,5 MHz rezonuje na 7,2 - 14,5 - 21,9 - 29,3 MHz. Pro vícepásmový provoz je nutné napájení laděným napáječem; výhodnější je napájení středové, u něhož napáječ s va-

zebním obvodem lépe vyrovnává nepřesné rezonanční kmitočty zářiče. Doporučené délky jsou např.: zářič 41,15 m, napáječ 23,6 m. Délka napáječe je zde volena tak, aby nebyla přesným násobkem $\lambda/2$. Zabrání se tím vzniku soufázových, proti zemi



Obr.46. Směrová anténa "Y"

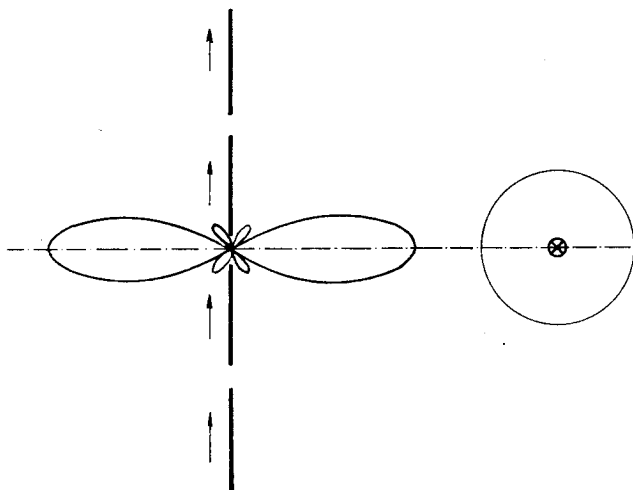
nesymetrických stojatých vln na vedení. Ze dvou dlouhých zářičů, svírajících mezi sebou vhodný úhel, lze získat účinnou směrovou soustavu /obr.46/.

4.4. BUZENÉ SOUSTAVY

Jedním ze způsobů jak zvětšit směrovost a zisk antény je zmožení dipólových zářičů. Je-li vř energie přiváděna anténám napáječem všem dílčím zářičům, jde o tzv. buzené /fázované/ anténní soustavy. Základní typy jsou: řadová /kolineární/, bočná /s příčným vyzařováním/, koncová /s podélným vyzařováním/. Anténní soustava může být též vytvořena kombinací základních typů.

Dipólové prvky řadové soustavy leží na téže ose a jsou buze-

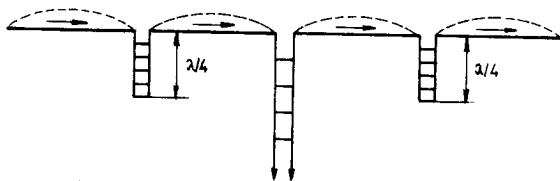
ny ve fázi. Vyzářují podobně jako jednoduchý dipól $\lambda/2$, jen směrový diagram je užší, v rovině kolmé všesměrový /obr.47/. S ros-



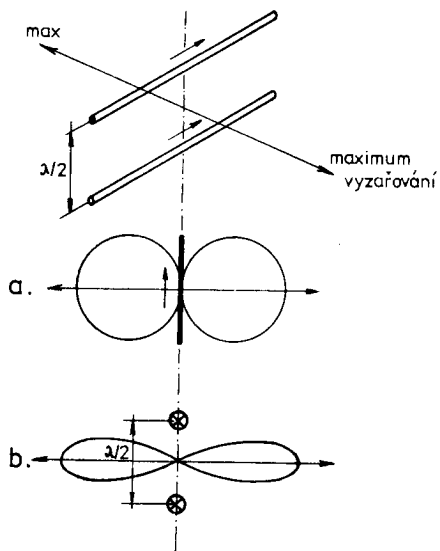
Obr.47. Vyzářování řadové soustavy

toucím počtem prvků roste směrovost a zisk. Pro dvouprvkovou soustavu je zisk 1,8 dB, pro tři prvky 3,3 dB, pro 4 prvky 4,5 dB atd. Soufázové napájení lze např. zajistit uspořádáním podle obr.48, kde mezi jednotlivé půlvlnné prvky zářiče jsou zařazeny čtvrtvlnné úseky vedení.

Bočné soustavy mají dipólové prvky uspořádány paralelně a vyzářují nejvíce kolmo k rovině prvků. V případě horizontální polarizace jsou prvky nad sebou a získává se směrovost ve svislé rovině, zatímco v horizontální rovině je vyzářovací diagram shodný s diagramem prostého dipólu /obr.49/. Rozteč prvků v soustavě se volí obvykle půlvlnná, což usnadňuje řešení napájecího systému, i když maximální zisk nastává při rozteči $5/8\lambda$.



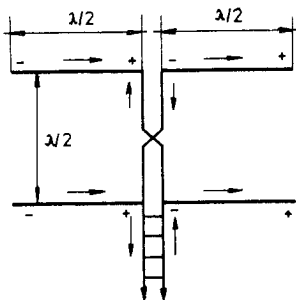
Obr.48. Soufázové napájení čtyřprvkové řadové soustavy pomocí čtvrtvlnných pahýlů



Obr.49. Bočná soustava

- a/ horizontální vyzářovací diagram
- b/ vertikální vyzářovací diagram

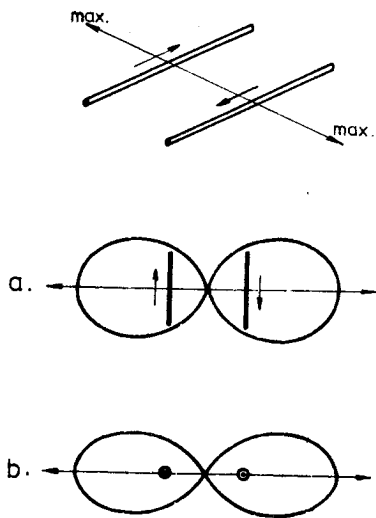
Dva prvky s půlvlnnou roztečí dávají zisk 4 dB, tři prvky 5,5 dB, čtyři prvky 7 dB, atd. Způsob napájení je patrný z obr. 50, kde je anténa "ležaté H", představující kombinaci řadové a bočné soustavy.



Obr.50. Anténa "ležaté H" s vyznačeným rozložením okamžitých proudů a polarit napětí

Koncové soustavy mají prvky také rovnoběžné, ale napájené s rozdílnou fází. Vhodnou volbou rozteče a fázového rozdílu lze získat vyzařovací diagramy různého tvaru. Maximum vyzařování nastává v rovině prvků a kolmo k nim, takže soustava soustřeďuje energii v obou rovinách. S ohledem na snadné napájení se nejvíce používá fázového rozdílu 180° /obr.51/. Zisk soustavy s dvěma prvky napájenými v protifázi je při rozteči $\lambda/4$ 3,8 dB, při rozteči $\lambda/8$ 4,3 dB. Při rozteči $\lambda/4$ a fázovém rozdílu 90° se získává dokonce jednosměrný vyzařovací diagram, maximum záření bude ve směru prvku, jehož proud se fázově opožďuje. Nevýhodou koncových soustav je malý vstupní odpor, což znesnadňuje napájení.

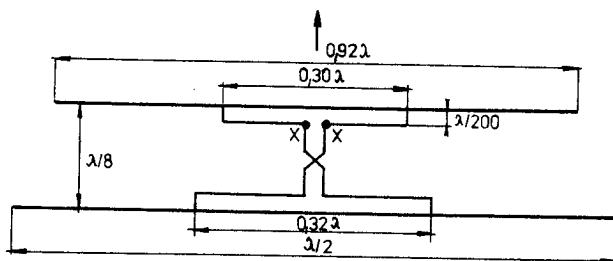
Horizontální buzené soustavy pro KV vycházejí značně rozměrné



Obr.51. Koncová soustava

a/ horizontální vyzařovací diagram

b/ vertikální vyzařovací diagram



Obr.52. Směrová anténa HB9CV

Základní rozměry pro napájení 300Ω vedením /body XX/

a byly postupně překonány otočnými směrovými anténami. Zato jsou velmi vhodné ve vertikální verzi pro nižší KV pásma, kde lze vytvořit soustavy s přepínáním směrového diagramu pouhou změnou fázování v napájecím systému.

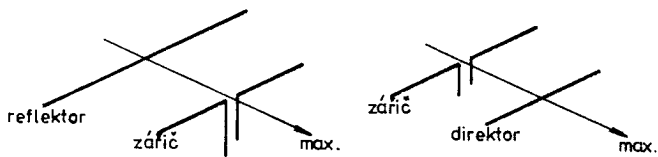
V posledních letech se značně rozšířila směrová anténa HB9CV, kterou pro způsob napájení můžeme zařadit mezi buzené soustavy. Skládá se ze dvou prvků, z nichž jeden je o trochu kratší než správná rezonanční délka $\lambda/2$, druhý o trochu delší. Prvky mají rozteč $\lambda/8$ a delší prvek je napájen s fázovým zpožděním 225° . Rozměry pro symetrické napájení 300Ω vedením jsou na obr.52. Zisk směrové antény HB9CV je asi 6,5 dB.

4.5. SOUSTAVY S PASÍVNÍMI PRVKY

Pasívním nazýváme prvek, který je buzen pouze elektromagnetickým polem napájeného zářiče, v jehož blízkosti se nachází a má vliv na směrový diagram. Směrové antény založené na tomto principu jsou nejrozšířenějším typem směrovek a jde-li o přímé prvky délky $\lambda/2$, nazývají se tyto antény podle svého objevitele Yagi /správněji Yagi-Uda/.

Funkce pasívního prvku spočívá v tom, že zachytí část energie vyzářené aktivním zářičem a protože není připojen k žádné zátěži, opět ji vyzáří. Vyzařování pasívního prvku se sčítá s energií vyzařovanou zářičem a podle vzájemného fázového rozdílu proudů v obou prvcích dochází v některých směrech k zesilování a v jiných k zeslabování celkového pole této dvouprvkové soustavy. Vhodný fázový rozdíl lze nastavit jednak roztečí prvků, jednak reaktančními vlastnostmi pasívního prvku. Ty se dají

nastavit vpojením indukčnosti nebo kapacity do pasívního vodiče, nebo, daleko příhodněji, prodloužením nebo zkrácením pasívního prvku. Pasívní prvek může pracovat jako reflektor a energie je usměrňována směrem od pasívního prvku k aktivnímu, nebo jako direktor, kdy maximum vyzařování nastává ve směru od aktivního prvku k pasívnímu /obr.53/. Aby přidavný pasívní prvek

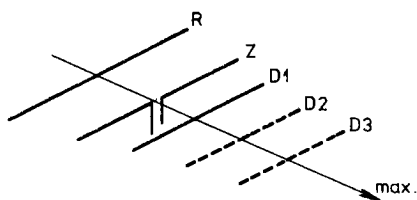


Obr.53. Dvouprvkové soustavy s pasívními prvky

působil jako reflektor, musí v něm v proud předbíhat vlastního zářiče a tomu odpovídá induktivní charakter, tj. přidavný prvek musí být delší než $\lambda/2$. U direktoru je tomu naopak: fázové zpoždění - kapacitní charakter - kratší délka než $\lambda/2$. V praxi se volí délka pasívních prvků o 4 - 6% odlišné od délky aktivního zářiče.

Největší zesílení pole /asi 5,6 dB/ se docílí použitím pasívního prvku ve funkci direktoru při optimální vzdálenosti od zářiče $0,1\lambda$. Dodržení optimální vzdálenosti i správné délky prvku je dost kritické. Reflektor dává největší zisk při vzdálenosti $0,18\lambda$ /asi 5 dB/ při podstatně plošším průběhu optimální rozteče. Anténa skládající se celkem ze tří prvků - reflektoru, zářiče a direktoru - může dosáhnout zisku 7 - 8 dB. Maximální zisk se docílí při větší rozteči prvků: Z-R $0,25\lambda$, Z-D $0,15\lambda$. Vyzařovací diagram tříprvkové antény je již výrazně směrový.

Vyzařovací úhel v rovině prvků je asi 60° , v rovině kolmé asi 100° . Činitel zpětného příjmu /nesprávně předozadní poměr/ je 15 - 25 dB. Nastavení rozteče a délky prvků pro maximální zisk nesouhlasí s nastavením pro největší činitel zpětného příjmu. Z provozních důvodů se spíše dává přednost nastavení optima činitele zpětného příjmu. Zvýšení zisku základního uspořádání antény Yagi je možné docílit předáváním dalších direktorů s vzájemnou roztečí nejméně $0,1\lambda$.



Obr.54. Víceprvková anténa Yagi
 R ... reflektor
 Z ... zářič
 D ... direktory

Předností antén typu Yagi je konstrukční jednoduchost a velký zisk při malém počtu prvků. Hlavními nedostatky jsou malá širokopásmovost, nejednoznačnost a obtížnost seřízení na největší zisk. Obtíže vzrůstají při malých roztečích prvků, protože pasívní prvky, umístěné blízko zářiče, výrazně snižují jeho vstupní impedanci, která pak klesá na méně než 10Ω a docíluje se obtížně účinné přizpůsobení k napáječi.

Byla též popsána celá řada kompromisních systémů, schopných pracovat na více pásmech, nebo systémů se zmenšenými rozměry. Využívají většinou prvky doplněné rezonančními okruhy /princip

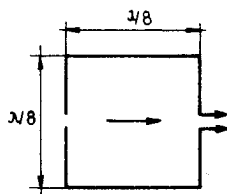
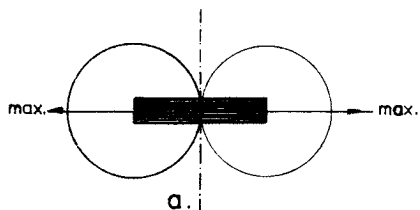
W3DZZ/, nebo prodlužovacími indukčnostmi. Jejich seřizování je obtížné a zisk i ostatní vlastnosti se nemohou vyrovnat jednopásmovým anténám s plnými rozměry.

Princip pasívního reflektoru se velmi často používá i u jiných směrových systémů pro přeměnu dvojsměrného vyzařovacího diagramu na jednosměrný. Typickým příkladem je soustava přídatných reflektorů u kolineární nebo bočné soustavy, nebo u smyčkové antény. Reflektorem se zvýší zisk antény podle jejího typu o 3 - 5 dB.

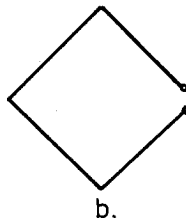
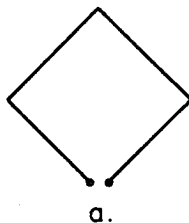
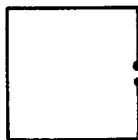
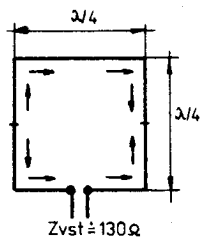
4.6. SMYČKOVÉ ANTÉNY

Smyčková anténa je v podstatě cívka s libovolným tvarem, kterou protéká vf proud. Velmi známé je použití smyčky jako tzv. rámové antény pro zaměřovací přijímače. Pokud je její rozměr malý vzhledem k vlnové délce, má proud stejnou velikost i fázi v celé smyčce a vyzařovací diagram je osmičkový, s maximy v rovině smyčky.

Pro vysílací účely se používá jednozávitových smyček s rozměry, které jsou násobky $\lambda/2$. Nejmenší možná anténa má délku obvodu $\lambda/2$ a vyzařuje nejvíce ve vyznačeném směru se ziskem asi 0,7 dB /obr.55/. Je to vlastně dipól $\lambda/2$ s dvakrát zahnutými rameny. Podstatně jiné vlastnosti má smyčka o délce obvodu 1λ . Vyzařuje maximálně kolmo k rovině smyčky se ziskem 0,9 dB a vstupní impedance je asi 130 Ω . Podle toho, kde je umístěn napájecí bod, lze získat horizontální nebo vertikální polarizaci /obr.56/. Z rozložení proudu na obr.56 je patrné, že jde vlast-



Obr.55. Malé smyčkové antény
 a/ rámová anténa
 b/ smyčka $\lambda/2$

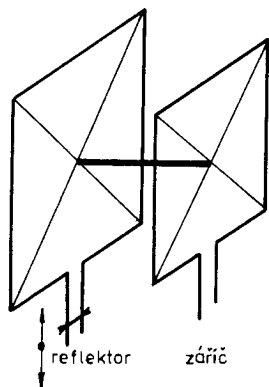


Obr.56. Celovlnná smyčka
 a/ horizontální polarizace
 b/ vertikální polarizace

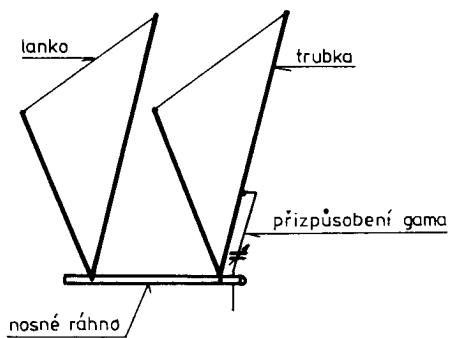
ně o dvojprvkovou soufázovou soustavu s příčným vyzařováním, kde prvky jsou v délce $\lambda/8$ zahnuty.

Celovlnná smyčka je základem velmi oblíbené kubické antény /"quad"/, která má proti anténě typu Yagi konstrukční výhody. Po doplnění smyčky pasívním reflektorem stejného tvaru se získá směrový systém se ziskem 5,9 dB. Optimální vzdálenost reflektoru od zářiče je asi $0,13\lambda$ a při ní klesne vstupní impedance zářiče zhruba na 75Ω . Konstrukce a seřízení kubické antény je podstatně snazší než u antény Yagi. Prvky se zhotovují z drátu upevněného izolovaně na zkřížená nosná ramena. Správná délka zářiče je o něco delší než 1λ , délka jedné strany čtverce má být $0,257\lambda$. Reflektorová smyčka se zpravidla volí stejně rozměrná, ale doplňuje se úsekem prodlužovacího vedení nakrátko, kterým se získá potřebný induktivní charakter pasívního prvku pro funkci reflektoru. Optimální nastavení /obvykle pro optimální potlačení zpětného vyzařování/ se dosáhne posouváním zkratovacího můstku na prodlužovacím vedení /obr.57/.

Vícepásmová kubická anténa se konstruuje tak, že čtvercové prvky pro jednotlivá pásma jsou umístěny koncentricky. Vzájemné ovlivňování antén je malé. Základní typ kubické antény je možno různě obměňovat. Tak např. anténu lze pro zvýšení zisku doplnit dalšími prvky ve funkci direktorů, reflektor může být aktivní a napájen jako u směrovky HB9CV. Také tvar základního prvku nemusí být čtvercový a anténa s trojúhelníkovými prvky /"delta loop"/ se dá konstruovat jako samonosná /obr.58/.



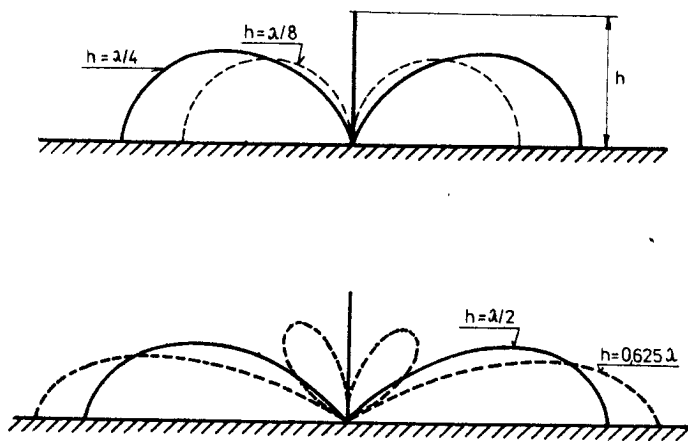
Obr.57. Kubická anténa ("quad")



Obr.58. Anténa "delta loop"

4.7. VERTIKÁLNÍ ANTÉNY

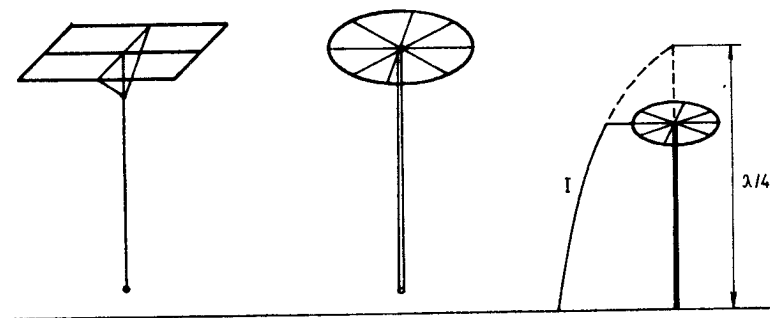
Vertikální antény jsou výhodné pro malé prostorové požadavky, výhodný vyzařovací diagram ve svislé rovině i všesměrovost v horizontální rovině. Nejkratší rezonanční délka zářiče je $\lambda/4$, kdy druhou polovinu půlvlnné délky nahrazuje zemní odraz /viz obr.15/. Do resonance se dají přivést i kratší zářiče zapojením prodlužovací indukčnosti v blízkosti kmitny proudu, nebo zatěžovací kapacitou na vrcholu zářiče. Vyzařovací diagram ve svislé rovině závisí na délce /výšce/ zářiče. Několik typických příkladů je na obr.59, odkud je patrné, že se zvětšováním výšky



Obr.59. Vertikální vyzařovací diagramy různé vysokých vertikálních zářičů

zářiče se vyzařování soustřeďuje podél obzoru tak dlouho, pokud výška nepřesáhne $\lambda/2$. Při větších výškách se objevují a vzrůstají laloky pod velkými elevačními úhly; při výšce 1λ se energie podél obzoru vůbec nevyzařuje.

Následkem nedokonalé vodivosti skutečné země v okolí antény vznikají ztráty, které mají mj. za následek, že vyzařování pod úhly menšími než 5° je potlačováno. Přesto je vyzařovací diagram stále velmi příznivý pro dálkový provoz a svislá anténa je proto velmi vhodná pro nižší KV pásma, kde by vodorovný zářič k dosažení podobných vlastností musel být zavěšen neúnosně vysoko. Základním předpokladem účinné funkce vertikální antény je dostatečná výška zářiče a hlavně dobrý zemnicí systém, pokud je pata zářiče umístěna přímo na zemi. Potřebnou výšku zářiče lze snížit zavedením kapacitní zátěže na vrcholu. Kapacita je vytvořena např. vodorovnými vodiči /anténa T/, nebo vodiči ve tvaru kruhu či mnohoúhelníku /obr.60/. Prodlužování

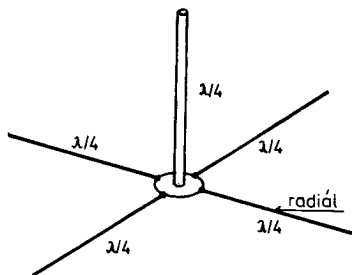


Obr.60. Prodloužení elektrické délky kapacitní zátěží vrcholu vertikálního zářiče

elektrické délky pomocí indukčnosti zapojené blízko napájené paty vede k značnému poklesu účinnosti a k velmi ostrému ladění přízpusobovacích obvodů.

Na vyšších kmitočtech se svislá anténa výhodně konstruuje jako zářič s umělou zemnicí rovinou /"ground plane"/. Výška

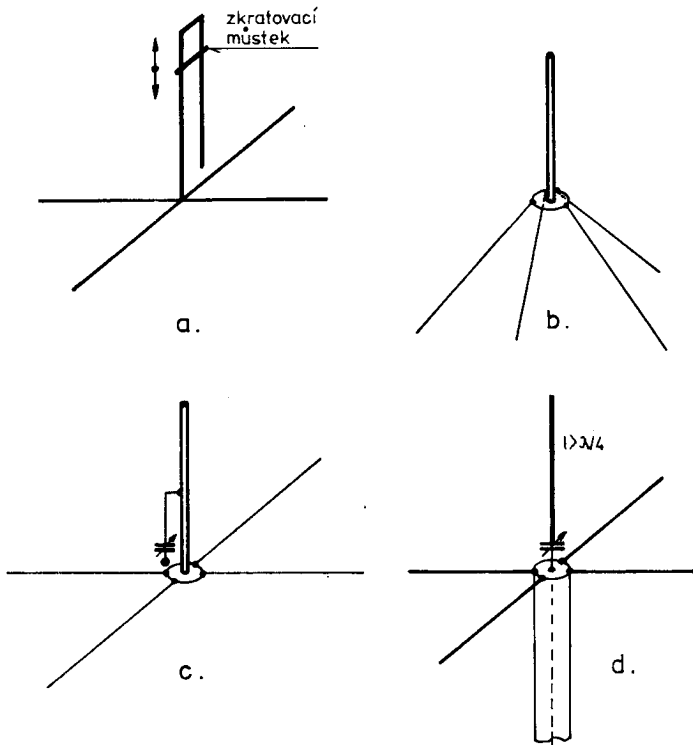
zářiče nad skutečnou zemí pak není pro funkci podstatná. Nejběžnější typ je na obr.61, kde zem nahrazují čtyři vodiče o délce $\lambda/4$ /tzv. radiály/. Vstupní impedanci antény GP lze při-



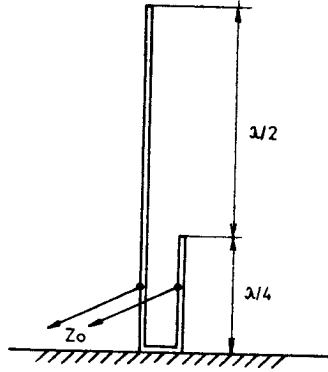
Obr.61. Anténa "ground plane" (GP)

způsobit impedanci napáječe různými obvody /obr.62/, které také umožní galvanické uzemnění zářiče. Koaxiální napáječ má být pokud možno vyveden kolmo pod rovinu radiálů v délce alespoň $\lambda/4$. Zářič může být provozován i na více pásmech. Buď je doplněn odlaďovacími rezonančními okruhy /princip W DZZ/, nebo se využívá celé délky zářiče /např. na 10 m $0,5\lambda$, na 15 m $0,38\lambda$, na 20 m $0,25\lambda$ / a pak je přizpůsobovací obvod složitější. Je-li zářič půlvlnný, je v místě paty velmi vysoká impedance a patří izolátor musí být proto kvalitní. Výhodný způsob napájení půlvlnného zářiče představuje "anténa J", kde funkci "izolátoru" i přizpůsobovacího transformátoru zastává čtvrtvlnný úsek vedení nakrátko /obr.63/.

Dva, případně i více vertikálních zářičů napájených s různou fází, mohou vytvořit účinný směrový systém s přepínatelným směrováním, dosahovaným jen změnou fázového rozdílu /např. pře-



Obr.62. Různé způsoby přizpůsobení vstupní impedance antény GP



Obr. 63. Anténa "J"

		rozteč svislých zářičů			
		$\lambda/8$	$\lambda/4$	$3/8\lambda$	$\lambda/2$
fázový rozdíl	0°				
	45°				
	90°				
	135°				
	180°				

Obr. 64. Typické vyzařovací diagramy dvou svislých zářičů v závislosti na jejich rozteči a fázovém rozdílu napájecích proudů

pínáním délky anténního napáječe/. Několik typických vyzařovacích diagramů pro dvojprvkový systém s roztečí $\lambda/2$ je na obr. 64. Podobně lze vytvořit vertikální směrové systémy i s pasívními prvky.

5.1. ZÁKLADNÍ POŽADAVKY

Pro spojení na VKV pásmech má základní význam šíření přízemní a troposférickou vlnou. Ionosféra je pro vlnové délky kratší než 10 m až na řídké výjimky "průhledná". Za normálního stavu troposféry je k spolehlivému spojení třeba alespoň teoretická přímá viditelnost mezi vysílací a přijímací anténou. Ve skutečnosti je "radiový obzor" poněkud větší a je přibližně určen vztahem

$$d = 4,13 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad [\text{km, m, m}]$$

kde d je dosah v km a h_1, h_2 výšky antén nad ideálně rovným terénem. Přitom se předpokládá, že mezi anténami nejsou terénní převyšující překážky. Část vysílané energie může dospět vlivem ohybu i za hranici obzoru, ale intenzita tohoto pole se rychle zmenšuje se vzdalováním antény do "stínu" zemského zakřivení. Praktické zvýšení dosahu ohybem je asi 50%.

V souladu s kvasioptickým šířením VKV je nutné, aby VKV antény byly umístěny co nejvýše nad okolním terénem a aby vyzařovaly maximum energie v horizontálním směru. I při šíření vln na větší vzdálenost pomocí inverzních vrstev a jiných nehomogenit v troposféře zůstává tento požadavek v platnosti, protože většina troposférických anomalií se objevuje ve výškách do 5 km. Vyzařování s velmi nízkým elevačním úhlem se snadno splní smě-

rovou anténou nacházející se alespoň $4 - 5\lambda$ nad zemí. Další zlepšení se získá řazením antén nad sebe /patrování/.

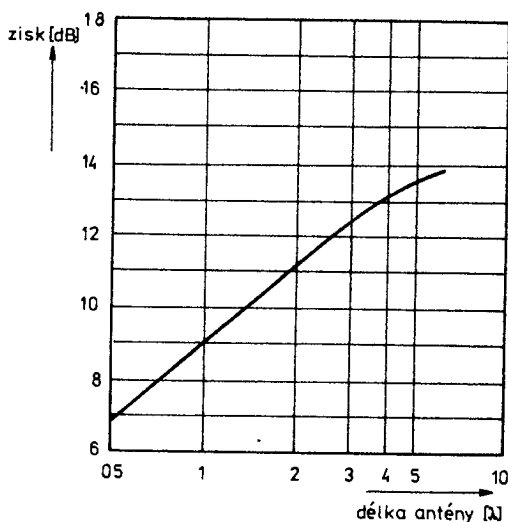
Protože na VKV pásmech jsou vlnové délky o 1 až 2 řády kratší než na KV, je snadné konstruovat antény s velkou směrovností a ziskem a aplikovat při konstrukci principy, které by byly na KV z rozměrových důvodů neschůdné. Jednoduché dipólové antény různého tvaru se užívají jen pro místní spojení, nebo pro přenosné či mobilní stanice. Zcela standardním vybavením amatérské VKV stanice by měla být směrová anténa otočná v horizontální rovině. Polarizace se volí také horizontální, neboť při šíření nad zemským povrchem má menší útlum než vertikální. Vertikální polarizace je z praktických důvodů zavedena pro mobilní provoz a tedy i pro VKV převaděče. Provoz přes družicové převaděče vyžaduje směřovat anténu i ve svislé rovině a nejvhodnější polarizace je kruhová, protože anténa na palubě družice může v důsledku vlastní rotace zaujímat proti pozemní anténě různou polohu a tak způsobovat značný únik.

5.2. ANTÉNY TYPU YAGI

Antény Yagi pro VKV se z důvodů méně choulostivé konstrukce a k dosažení vhodnějších impedančních vlastností stavějí s většími roztečemi prvků. Na délku jednotlivých pasívních prvků i dipólu má již značný vliv průměr použitých vodičů a také způsob jejich upevnění na nosné ráhno. Standardním záříčem bývá skládaný dipól, který zlepšuje i širokopásmovost antény. Reflektor víceprvkových antén bývá často vícenásobný, čímž se dosahuje lepšího potlačení zpětného vyzařování v širším kmitočtovém pásmu.

K potlačení postranních laloků vyzařovacího diagramu je zpravidla délka direktorů odstupňována, direktory vzdálenější od zářiče jsou kratší. Stejného účinku je možné dosáhnout vzrůstající roztečí direktorových prvků, nebo kombinací obou způsobů.

Dosažení optimálního zisku u Yagiho antény je víceznačné, to znamená, že maximálního zisku u antény dané délky lze dosáhnout s různým počtem a s různými roztečemi i délkami direktorových prvků. Proto je lépe udávat "výkonnost" antény její délkou



Obr. 65. Závislost zisku antény Yagi /proti půlvlnnému dipólu/ na její délce

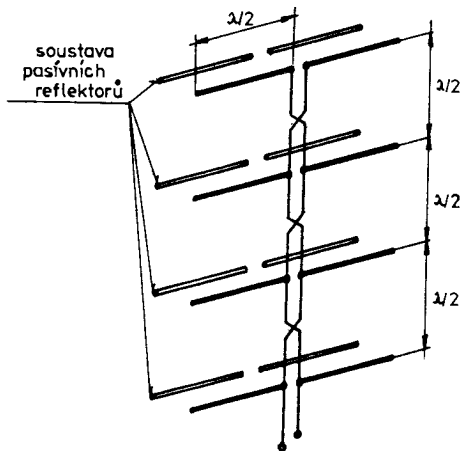
/jako násobek λ /, než počtem prvků. Zisk antény vzrůstá s její délkou přibližně podle grafu na obr. 65. Je z něho patrné, že prodlužování antény nad 3 - 4 λ dává již jen malý přínos. Vhodnější cestou k zvyšování zisku je skládání několika stejných antén do soustavy. Každým zdvojením antény by se teoreticky měl

zisk zvýšit dvakrát, tj. o 3 dB; prakticky je přírůstek 2,5 až 2,8 dB. Řazením antén v rovině vedle sebe se zužuje hlavní lalok horizontálního vyzařovacího diagramu /při dvou anténách přibližně na polovinu/, při řazení antén nad sebou se zužuje vertikální diagram, což je provozně výhodnější. Čím je dílčí anténa delší, tím jsou optimální rozteče v soustavě větší. Pro antény o délce 2λ je optimální rozteč přibližně $1,5\lambda$, pro délku $3,5$ až 4λ rozteč 2λ .

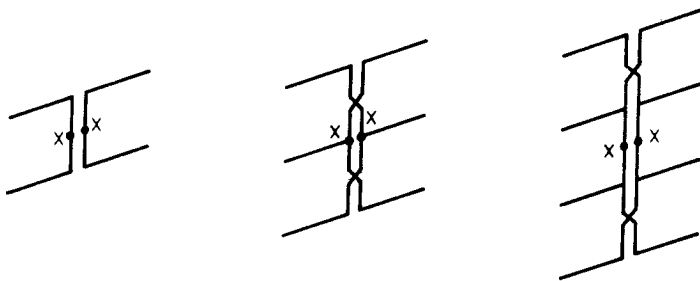
Závěrem je vhodné zdůraznit, že vývoj dobré Yagiho antény je velmi pracný a časově náročný a přesahuje možnosti průměrného amatéra. Proto je lépe se přidršet ověřených stavebních návodů, u nichž je ovšem třeba pečlivě dodržet rozměry a konstrukční detaily upevnění prvků na nosné ráhno. Antény typu Yagi jsou též citlivé na rozladění vlivem okolních předmětů a proto by kolem antény měl být volný prostor do vzdálenosti asi 2λ . Právě tak anténní soustavy z několika Yagiho antén musí pracovat v homogenním elektromagnetickém poli, tedy v dostatečně volném prostoru, aby při příjmu docílily předpokládaný zisk. Tato zásada platí i pro jiné anténní systémy s velkou účinnou plochou a tudíž i velkým ziskem.

5.3. SOUFÁZOVÉ ANTÉNY

Soufázové systémy jsou na VKV oblíbené pro svou širokopásmovost a menší nároky na přesné provedení. Běžná soufázová anténa vzniká kombinací řadové a bočné soustavy dipólů, které jsou k získání jednosměrového diagramu doplněny systémem pasívních reflektorů. S ohledem na snadné přizpůsobení a mechanickou kon-



Obr.66. Šestnáctiprvková soufázová soustava



Obr.67. Středově napájené soufázové soustavy /napáječ připojen do bodů XX/ mají pravidelnější vyzářovací diagramy a jsou širokopásmovější

strukci jsou dipóly celovlnné, napájené laděným napáječem. Správné fázování zajišťuje překřížení napáječe v každém půlvlnném úseku /obr.66/. Příznivější vlastnosti mají soustavy napájené uprostřed /obr.67/.

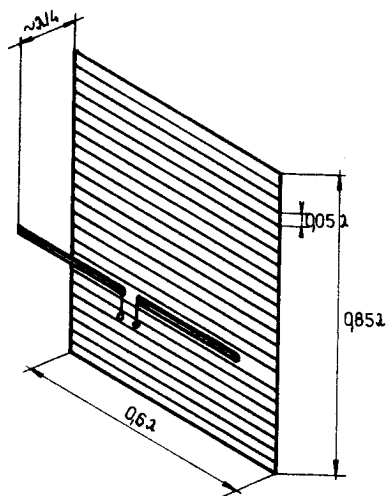
Zisk soufázové antény proti dipólu $\lambda/2$ je dán přibližně počtem půlvlnných prvků v celé soufázové soustavě /včetně reflektorů/. Anténa podle obr.67 má celkem 16 prvků, takže její zisk je G 16, tj. 12 dB proti dipólu. Reflektory se zpravidla umísťují ve vzdálenosti $\lambda/4$ od dipólu, tehdy ovlivňují jen málo vstupní impedanci. Jednotlivé reflektorové prvky mohou být též nahrazeny jediným velkým aperiodickým reflektorem zhotoveným z pletiva. Takové provedení je zejména vhodné pro širokopásmové použití a také poskytuje lepší potlačení zpětného vyzařování.

Hlavní nevýhodou soufázových antén je větší mechanická pracnost, způsobená složitější nosnou konstrukcí a velkým počtem přípojných bodů, které je nutno propojit fázovacím vedením. Výhodou je kromě širokopásmovosti i velká účinnost a snadné sestavování libovolně rozměrných soustav.

5.4. ANTÉNY S APERIODICKÝM REFLEKTOREM

Nejjednodušším typem je půlvlnný nebo celovlnný dipól umístěný před odraznou stěnou. Vzdálenost zářiče od stěny se volí kompromisně $\lambda/4$, při níž se dosahuje zisku asi 3,6 dB. Odrazná vodivá stěna může být nahrazena síťovinou nebo osnovou vodičů rovnoběžných s osou zářiče. Rozteč vodičů v reflektorové stěně bývá menší než $0,05\lambda$ a minimální rozměry jsou na obr.68. Při menších rozměrech se začíná rychle zhoršovat činitel zpětného vyzařování.

Výkonnější směrovou anténou je úhlový reflektor, u něhož také nastává podstatné soustředění vyzařované energie v rovině kolmé k ose zářiče. V rovině zářiče je vyzařovací diagram jen

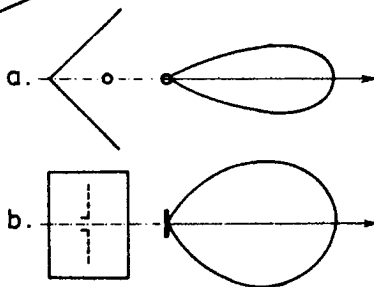
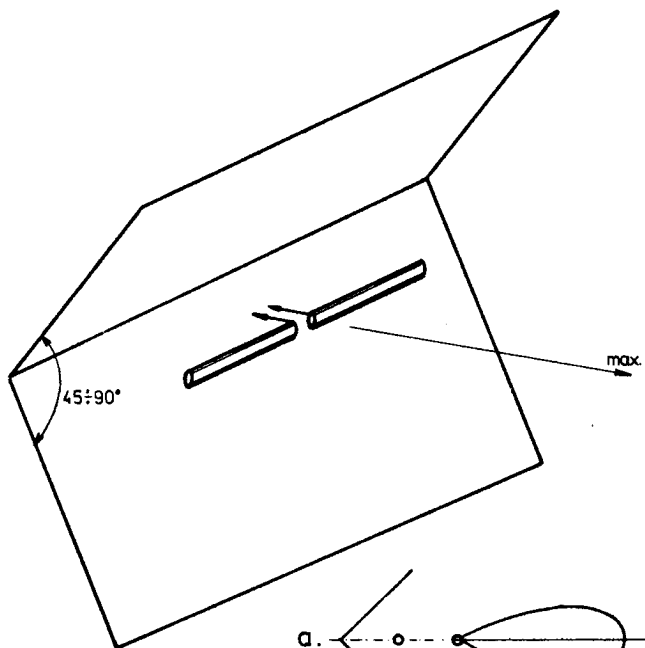


Obr.68. Dipól s odraznou stěnou

o málo užší než diagram použitého zářiče /dipól $\lambda/2$ nebo $1\lambda/$. Podle zvoleného vrcholového úhlu reflektoru, délky stran odrazných ploch a vzdálenosti zářiče se dá dosáhnout zisku 10-14 dB /vrcholový úhel $90^\circ - 45^\circ/$. Odrazné stěny se opět zhotovují ze sítě, nebo rovnoběžných vodičů.

K získání ještě větší směrovosti a zisku se na dm a cm pásmech používá parabolický reflektor. V jeho ohnisku je umístěn primární zářič, který je doplněn pomocným reflektorem, usměrňujícím vyzařování na parabolickou odraznou plochu. Zisk parabolické antény proti půlvlnnému dipólu je dán vztahem

$$G = 7,76 P\eta/\lambda^2 \quad [m^2, m]$$



Obr.69. Úhlový reflektor

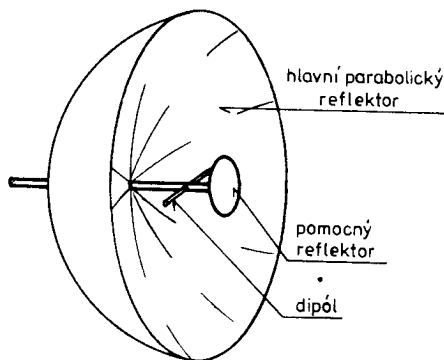
a/ vertikální vyzářovací diagram

b/ horizontální vyzářovací diagram

nebo zisk proti isotropickému zářiči při kruhovém ústí o průměru D je

$$G_i = 10\eta (D/\lambda)^2 \quad [m, m]$$

kde P je plocha ústí hlavního reflektoru a η je koeficient účinnosti využití plochy. Pro paraboloidy optimálního tvaru /poměr ohniskové vzdálenosti k průměru $F/D = 0,4-0,5/$ je účinnost asi 0,6.

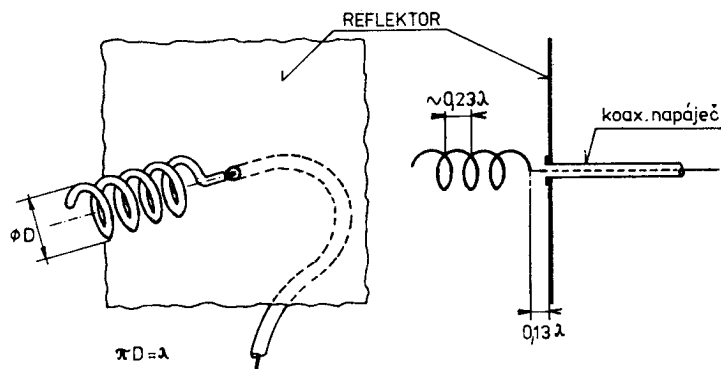


Obr.70. Parabolický reflektor

Velkou výhodou parabolické antény je značná širokopásmovost, závisející jen na vlastnostech primárního zářiče, výborné potlačení zpětného vyzařování a snadné napájení /pouze jedno přípojné místo napájěče/, které dovoluje přechod na jiné kmitočtové pásmo pouhou výměnou primárního zářiče. Parabolická plocha pro nejvyšší kmitočty bývá plná, pro vlnové délky od 10 do 20 cm je výhodnější síťovina s oky o rozměrech menších než $0,03\lambda$.

5.5. ANTÉNY PRO KRUHOVOU POLARIZACI

Nejznámější anténou s kruhovou polarizací je šroubovicová anténa. Je to v podstatě několikařazovitá cívka, u níž délka jednoho závitu je přibližně rovna délce vlny. Elektromagnetické pole se soustřeďuje ve směru osy šroubovice a je přibližně kruhově polarizované. K získání jednosměrného vyzařování je šroubovice umístěna před reflektorovou stěnou ve vzdálenosti asi

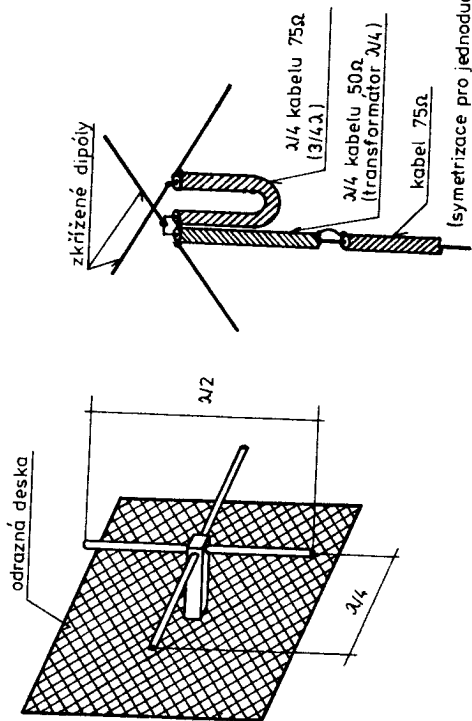


Obr.71. Šroubovicová anténa

$0,12\lambda$ a napájena proti ní koaxiálním napáječem. Optimální průměr šroubovice je $0,28 - 0,35\lambda$, stoupání závitu $0,2 - 0,3\lambda$. Zisk vzrůstá s počtem závitů a je proti isotropickému zářiči s kruhovou polarizací přibližně

$$G_{10} = 3,33 n$$

kde n je počet závitů. Šroubovicová anténa se vyznačuje značnou širokopásmovostí /téměř $1 : 2$ / a málo proměnnou vstupní impe-



Obr. 72. Kruhová polarizace získaná napájením zkřížených prvků s fázovým posuvkem 90°

dancí v okolí 130Ω. Smysl polarizace určuje smysl vinutí: směrovka otáčená ve směru hodinových ručiček a "zařezávající se" do vzduchu ve směru vyzařování dává pravotočivou polarizaci. Na obou stranách spojovací trasy musí být použito polarizace stejného smyslu, jinak dochází k ztrátě přes 30 dB! Pracuje-li anténa s kruhovou polarizací proti anténě s libovolnou lineární polarizací, vzniká při přenosu ztráta -3 dB.

Druhý způsob jak získat kruhovou polarizaci spočívá v napájení dvou shodných antén pro lineární polarizaci s navzájem kolmými polarizačními rovinami s fázovým posuvem 90°. Jednoduchý příklad na obr.72 znázorňuje dva zkřížené dipóly před odraznou stěnou. Fázový posuv 90° se docílí rozdílnou délkou napájecí /diference $\lambda/4$ /. Podobně lze např. napájet dvě antény Yagi s navzájem zkříženými prvky. Změnou délky jednoho z napájecí o $\lambda/2$ lze dosáhnout změny smyslu kruhové polarizace.

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr.1a/ Elektromagnetické pole dvoudrátového vf vedení
- Obr.1b/ Elektromagnetické pole dipólové antény
- Obr.2. Polarizační rovina elektromagnetické vlny
- Obr.3. Šíření povrchovou vlnou
- Obr.4. Typické případy lomu troposférické vlny v atmosféře
- Obr.5. Rozložení ionosférických vrstev
- Obr.6. Šíření ionosférické vlny a význam elevačního úhlu
- Obr.7. Závislost činitele zkrácení a vstupní impedance půlvlnného dipólu na poměru l/d
- Obr.8. Rozložení proudu a napětí na půlvlnném dipólu
- Obr.9. Prostorový vyzařovací diagram půlvlnného dipólu ve volném prostoru
- Obr.10. Vyzařovací diagram půlvlnného dipólu v rovině zářiče a v rovině kolmé
- Obr.11. Prostorový vyzařovací diagram přímého vodiče s postupnou vlnou
- Obr.12. Kosočtverečná anténa
- Obr.13. Vliv výšky nad zemí na vstupní impedanci horizontálního půlvlnného dipólu
- Obr.14. Vertikální vyzařovací diagramy horizontálního půlvlnného dipólu v závislosti na výšce nad zemí
- Obr.15. Náhrada zemního odrazu zrcadlovým obrazem antény
- Obr.16. Nejčastěji používané typy vf vedení
- Obr.17. Přizpůsobené vedení
- Obr.18. Vznik stojatých vln při impedančním nepřizpůsobení na konci vedení
- Obr.19. Vlastnosti vedení nakrátko
- Obr.20. Vlastnosti vedení naprázdno
- Obr.21. Přizpůsobení dvou různých odporů čtvrtvlnným vedením
- Obr.22. Dvojestupňový čtvrtvlnný transformátor pro větší transformační poměry R_z/R_v
- Obr.23. Transformace impedancí 1:1 půlvlnným vedením

- Obr.24. Různé způsoby napájení půlvlnného dipólu laděným napáječem
- Obr.25. Koncové a středové napájení půlvlnného dipólu pomocí čtvrtvlnného úseku /pahýlu/
- Obr.26. Přizpůsobení impedancí pahýlovým vedením
- Obr.27. Přizpůsobení "delta"
- Obr.28. Bočníkové přizpůsobení
- Obr.29. Skládáný dipól
- Obr.30. Chybné napájení symetrického zářiče nesymetrickým napáječem
- Obr.31. Různé způsoby symetrizace souosého vedení
- Obr.32. Širokopásmové symetrizační transformátory
- Obr.33. Zlepšení PSV pomocným přizpůsobovacím obvodem umožní správně zatížit koncový stupeň
- Obr.34. Typické vazební obvody pro VKV vysílače
- Obr.35. Vazební obvody pro laděné napáječe
- Obr.36. Širokopásmový dipól
- Obr.37. Skládáný dipól
- Obr.38. Dipól zhotovený z TV dvoulinky
- Obr.39. Celovlnný dipól s vyznačeným průběhem proudového a napěťového obložení
- Obr.40. Vícepásmový kompromisní dipól
- Obr.41. Vícepásmový dipól podle W3DZZ
- Obr.42. Vyzařovací diagramy "zahnutých" dipólů
- Obr.43. Anténa "obrácené V"
- Obr.44. Rozložení okamžitých proudů na dlouhém zářiči
- Obr.45. Vyzařovací diagramy dlouhých zářičů
- Obr.46. Směrová anténa "V"
- Obr.47. Vyzařování řadové soustavy
- Obr.48. Soufázové napájení čtyřprvkové řadové soustavy pomocí čtvrtvlnných pahýlů
- Obr.49. Bočná soustava
- Obr.50. Anténa "ležaté H" s vyznačeným rozložením okamžitých proudů a polarit napětí
- Obr.51. Koncová soustava
- Obr.52. Směrová anténa HB9CV
- Obr.53. Dvouprvkové soustavy s pasívními prvky
- Obr.54. Víceprvková anténa Yagi

- Obr.55. Malé smyčkové antény
- Obr.56. Celovlnná smyčka
- Obr.57. Kubická anténa /"quad"/
- Obr.58. Anténa "delta loop"
- Obr.59. Vertikální vyzařovací diagramy různě vysokých vertikálních zářičů
- Obr.60. Prodloužení elektrické délky kapacitní zátěží vrcholu vertikálního zářiče
- Obr.61. Anténa "ground plane" /GP/
- Obr.62. Různé způsoby přizpůsobení vstupní impedance antény GP
- Obr.63. Anténa "J"
- Obr.64. Typické vyzařovací diagramy dvou svislých zářičů v závislosti na jejich rozteči a fázovém rozdílu napájecích proudů
- Obr.65. Závislost zisku antény Yagi /proti půlvlnnému dipólu/ na její délce
- Obr.66. Šestnáctiprvková soufázová soustava
- Obr.67. Středově napájené soufázové soustavy
- Obr.68. Dipól s odraznou stěnou
- Obr.69. Úhlový reflektor
- Obr.70. Parabolický reflektor
- Obr.71. Šroubovicová anténa
- Obr.72. Kruhová polarizace získaná napájením zkřížených prvků s fázovým posuvem 90°

ÚČELOVÁ EDICE ÚV SVAZARMU

Knižnice zájmové, branně technické a sportovní činnosti

PŘEDNÁŠKY Z AMATÉRSKÉ RADIOTECHNIKY

ANTÉNY

Vydal Ústřední výbor Svazu pro spolupráci s armádou v Praze roku 1980 jako svou 2397. publikaci, 100 stran, 72 obrázků.

Napsal Ing. Karel Jordan, CSc.

Lektoroval Jiří Bláha

Obrázky nakreslil Ing. Jiří Štěpán

Návrh obálky František Prouza

Šéfredaktorka Nina Erbenová

Odpovědná redaktorka Ilona Manolevská

Grafická úprava Miloslav Torn

Náklad 3 000 výtisků. Publikace je vydána pro vnitřní potřebu Svazarmu a rozšiřuje se bezplatně.

Vytiskly Východočeské tiskárny Jihlava.