

Logaritmicko-periodické dipólové antény (3)

Jindra Macoun, OK1VR

Předchozí informace doplňuje praktický návrh hlavních rozměrů LPD antény pomocí spojnicových diagramů. Vypočtenými rozměry jsou v podstatě dány směrové vlastnosti antény. Napájecí vlastnosti, tzn. svorkovou impedanci, resp. přizpůsobení antény ovlivňuje konstrukční uspořádání nosného ráhna spolu se symetrickým napájecím vedením anténních prvků.

Po volbě a následných korekcích návrhových parametrů τ a σ pomocí spojnicových diagramů na obr. 3, 4, 5 (v 2. části) a obr. 7 (v této 3. části) je již možné vypočítat délky a rozteče N prvků na délce antény L_c . Vypočtenými rozměrům by měl v pásmu $B = f_{\max}/f_{\min}$ odpovídat zisk G_i podle diagramu na obr. 3. Příkladem je následující návrh.

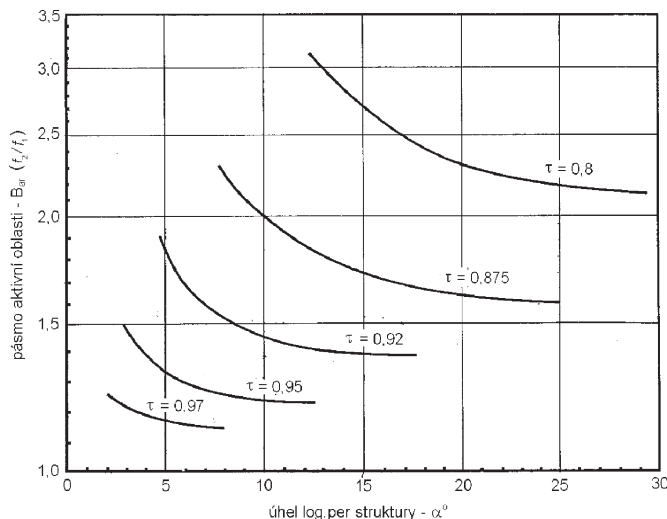
Praktický návrh LPD antény

vychází z provozních požadavků a realizačních podmínek:

- Provozní pásmo 14 až 30 MHz.
- Aby měla anténa dobré vlastnosti i na nejnižších kmitočtech 14MHz pásma, posuneme „pro jistotu“ f_{\min} na 13,5 MHz a f_{\max} naopak snížíme na 29 MHz, takže budeme uvažovat provozní pásmo $B = f_{\max}/f_{\min} = 29/13,5 = 2,15$ ($\lambda_{\min} = 10,34$ m a $\lambda_{\max} = 22,22$ m).
- Celková délka antény by neměla překročit délku $L_c \leq 6$ m $\leq 0,6 \lambda_{\min}$.
- Maximální počet prvků $N \leq 10$.
- Délka nejdelšího dipólového prvku $L_1 = 0,5 \lambda_{\max} = 11,11$ m.
- Průměry prvků $d_1 = 25$ mm (střední průměr nejdelšího prvku) $d_{10} = 10$ mm (střední průměr nejkratšího prvku).

Průměr prvků LPD antén není kritický z hlediska elektrických vlastností, přesto je vhodné, aby pokud možno všechny dipólové prvky měly přibližně stejnou štíhlost L/d , a to i z mechanických důvodů.

- Střední štíhlost prvků $L/d = 11$ 110/25 = 444.
- Svorková (vstupní) impedance antény $Z_{LPD} = 50 \Omega$, popř. 200 Ω .



Obr. 6. Šířka aktivní oblasti B_{ar} jako funkce úhlu α pro několik hodnot periodicity τ . Platí pro $Z_0 = 100 \Omega$ a $L/d = 125$

Tau – τ a sigma – σ

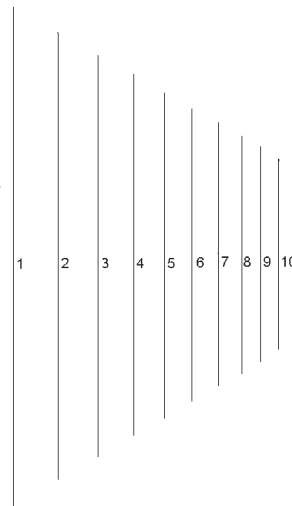
jsou charakteristické návrhové parametry LPD antén pro výpočet délek (L) a roztečí (s) prvků (viz obr. 2 a 3 v 2. části). Jejich výběr usnadní požadovaná délka antény $L_c \leq 0,6 \lambda_{\min}$, kterou najdeme na střední stupnici na obr. 4. Všechny přímky proložené touto délkou označí na krajních stupnicích dvojice návrhových parametrů B_s a α , které povedou k LPD anténě této délky. Výběr dvojic se zúží volbou šíře pásma log.-per. struktury B_s na levé stupnici. Ta je vždy větší než provozní šířka pásma B . V našem případě tedy přicházejí v úvahu hodnoty $B_s > 2,15$ a jim odpovídající úhly $\alpha > 13^\circ$. Z grafů na obr. 2 a 3 je zřejmý poměrně značný rozsah hlavních parametrů τ a σ vyhovujících úhlům $\alpha > 13^\circ$.

Proto je užitečné zúžit výběr hodnot τ ještě počtem prvků N na obr. 5. Považujeme-li za přijatelný maximální počet $N = 10$ prvků na délce $L_c = 6$ m, budeme τ hledat v rozsahu 0,915 až 0,86 při změně B_s z mezní hodnoty 2,15 na pravděpodobně vyšší hodnotu, cca $B_s \div 4$.

Zvolíme-li např. $\tau = 0,9$, bude (dle obr. 2 nebo 3) $\sigma \leq 0,11$ a $\alpha > 13^\circ$. Správně zvolené hodnoty τ a σ umožní, aby se na danou délku 6 m „vešlo“ 9 roztečí všech 10 prvků. Obvykle se to po několika pokusech podaří. V našem případě vyhovují zvolené 6m délce 10prvkové antény parametry $\tau = 0,89$ a $\sigma = 0,045$. Přesvědčíme se o tom součtem 9 roztečí (s_1 až s_9), vypočtených z činitele $\sigma = 0,045$. Malými změnami σ je možné součet roztečí „doladit“ a tím délku antény mírně upravit bez patrných změn směrových vlastností.

Tento zdlouhavější postup výpočtu odpadá při počítačovém návrhu antény (zmíníme jej ve 4. části), nemožňuje však podrobnější vzhled do vztahů mezi návrhovými

Obr. 7. Rozložení 10 prvků LPD antény charakterizované parametry $\tau = 0,89$, $\sigma = 0,045$ a úhlem $2\alpha = 62^\circ$ je znázorněno v poměrném měřítku



mi parametry LPD antén, který nabízejí použité diagramy.

Hlavní rozměry LPD antény (tab. 1):

Délky a rozteče prvků pro $\tau = 0,89$ a $\sigma = 0,045$, vyjádřené v metrech, jsou zaokrouhleny na setiny (cm).

Ve 3. sloupci jsou uvedeny střední průměry prvků (v mm) s přibližně stejnou štíhlostí $L/d = 444$.

Součet roztečí s_1 až s_9 činí 5,9 m, takže vyhovuje požadavku na celkovou délku antény 6 m.

Součet délek L_1 až $L_{10} = 90,33$ m + 6 m délka ráhna $\div 100$ m představuje celkovou délku trubkového materiálu různých průměrů. LPD anténa na KV pásma tedy není levnou záležitostí.

Jistou představu o této anténě nabízí reálné rozložení prvků znázorněné v poměrném měřítku na obr. 7.

Při výpočtu délek prvků a roztečí se stává, že zjištěná délka antény se poněkud liší od požadované. Je-li z různých důvodů nepřijatelná, je možné změnit „hustotu“ prvků a tím i celkovou délku ráhna antény malou změnou parametru σ bez odpovídající změny periodicity τ . Menší hodnoty σ ráhno zkrátí a naopak.

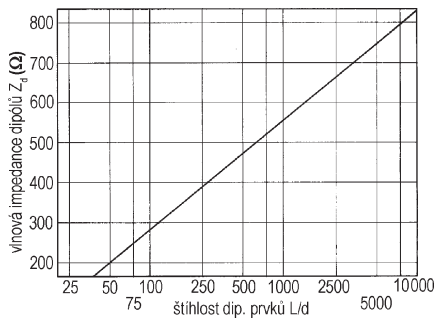
Podobně lze poopravit pouze τ při požadavku na malou korekci šířky provozního pásma, znázorněného nejlépe průběhem ČSV, pomocí některého z anténních počítačových programů (např. MMANA, 4NEC2, EZNEC apod. – viz průběhy ČSV na obr. 10 a 11 odpovídající výpočtům v následující kapitole). Závěrem bychom jím stejně měli kontrolovat všechny elektrické vlastnosti navržené antény, bez ohledu na použitý způsob návrhu. Tzn. i po návrhu antény pomocí programu LPDCAD, který zmíníme ve 4. části.

Napájecí vlastnosti

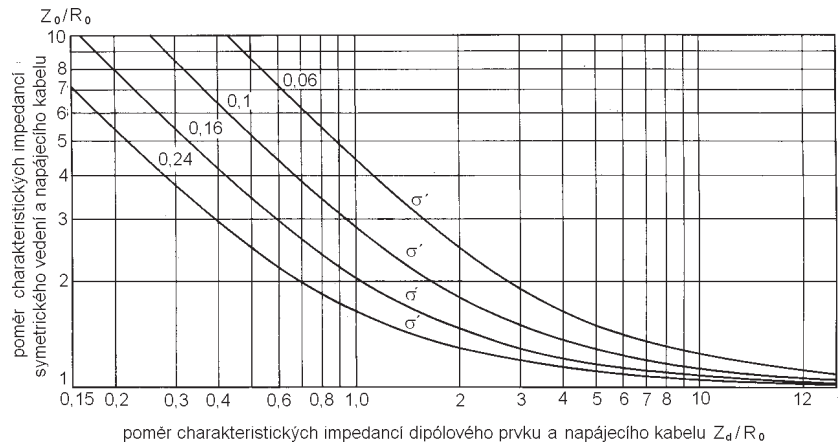
Návrh antény zatím postrádá informaci o napájecích vlastnostech – vstupní (svorkové) impedanci Z_{LPD} a jejím přizpůsobení k charakteristické (vlnové) impe-

Tab. 1. Hlavní rozměry LPD antény

$L_1 = 0,5 \lambda_{\max}$	$s_1 = 2L_1\sigma$	$d = L/444$
$L_1 = 11,11$	$s_1 = 1,0$	$d_1 = 25$
$L_2 = L_1 \tau^1 = 9,99$	$s_2 = s_1 \tau^1 = 0,89$	$d_2 = d_1 \tau^1 = 22$
$L_3 = L_1 \tau^2 = 8,99$	$s_3 = s_1 \tau^2 = 0,79$	$d_3 = d_1 \tau^2 = 20$
$L_4 = L_1 \tau^3 = 8,10$	$s_4 = s_1 \tau^3 = 0,70$	$d_4 = d_1 \tau^3 = 18$
$L_5 = L_1 \tau^4 = 7,29$	$s_5 = s_1 \tau^4 = 0,63$	$d_5 = d_1 \tau^4 = 16$
$L_6 = L_1 \tau^5 = 6,56$	$s_6 = s_1 \tau^5 = 0,56$	$d_6 = d_1 \tau^5 = 14$
$L_7 = L_1 \tau^6 = 5,90$	$s_7 = s_1 \tau^6 = 0,50$	$d_7 = d_1 \tau^6 = 14$
$L_8 = L_1 \tau^7 = 5,30$	$s_8 = s_1 \tau^7 = 0,44$	$d_8 = d_1 \tau^7 = 12$
$L_9 = L_1 \tau^8 = 4,78$	$s_9 = s_1 \tau^8 = 0,39$	$d_9 = d_1 \tau^8 = 12$
$L_{10} = L_1 \tau^9 = 4,30$		$d_{10} = d_1 \tau^9 = 10$



Obr. 8. Průměrná charakteristická impedance dipólového prvku Z_d závisí na jeho štíhlosti, tzn. na poměru délky L a průměru d podle vzorce (2)



Obr. 9. Relativní charakteristická impedance symetrického vedení Z_0/R_0 v závislosti na relativní charakteristické impedanci dipólového prvku Z_d/R_0 pro několik hodnot σ'

danci napáječe R_0 . Je tedy nezbytné navrhnout ještě **impedanci symetrického vedení Z_0** , a to tak, aby se dosáhlo požadované svorkové (vstupní) impedance antény Z_{LPD} pokud možno shodné s impedancí napáječe R_0 .

Zde je třeba uvažovat **dvě varianty**, závislé na konstrukci antény.

A) Jsou-li dvojice vzájemně izolovaných dipólových prvků nevodivě upevněny k (jedinému) **nosnému ráhnu**, použije se k jejich napájení dvou vodičového („dvoudrátového“) symetrického vedení, jehož vodiče (vedené v přiměřené vzdálenosti nad tímto ráhnem) jsou střídavě připojovány k vnitřním koncům jednotlivých prvků. Na KV pásmech jsou to zpravidla poměrně dlouhé prvky se značnou štíhlostí ($L/d > 300$). Realizovatelná impedance takového vedení je vyšší, $Z_0 \geq 300 \Omega$. Hledaná svorková impedance antény Z_{LPD} pak obvykle činí 200 Ω , takže mezi napáječ s charakteristickou impedancí $R_0 = 50 \Omega$ a anténní svorky u nejkratšího dipólového prvku je nutné vložit širokopásmový symetrikační a transformační obvod s transformačním poměrem 1 : 4.

B) Oba dipólové prvky jsou střídavě připojeny a mechanicky (pevnostně) upevněny k horní a dolní části **dvojitěho nosného ráhna**, které je proto symetrickým napájecím vedením všech prvků, zároveň ale i obvodem symetrikačním. Napájecí kabel antény je k napájecím svorkám u nejkratšího prvku obvykle protažen jednou trubkou nosného ráhna. Není-li to možné, je veden vně, těsně podél spodní trubky dvojitěho ráhna až na jeho zkratovaný konec u nejdělejšího prvku. U napájecích svorek je jeho stínění galvanicky spojeno s přilehlou částí, zatímco vnitřní vodič je spojen s trubkou protilehlou. Realizovatelná impedance tohoto „nosníkového“ symetrického vedení

může být podstatně nižší než impedance dvou vodičového (dvoudrátového) vedení u varianty A), zvláště použije-li se nosníků s čtvercovým profilem. Toto uspořádání usnadňuje přímé napájení antény 50 Ω napáječem.

Zdálnivá elegance varianty B) je však na KV pásmech spojena s konstrukčně-mechanickými potížemi. Relativně dlouhé ráhno prakticky nelze upevnit ke stožáru „excentricky“, až na konci ráhna za nejděleším prvkem, jak je to obvyklé u relativně krátkých antén na VKV a UKV pásma. Stožárové upevnění LPD antény v jejím těžišti, přibližně uprostřed dvojitěho ráhna, by proto mělo být izolační, aby se stožár nestal nežádoucí zářící částí antény.

Navíc pak se u varianty B) mohou za nepříznivých povětrnostních podmínek přechodně zhoršovat elektrické vlastnosti antény, vyplní-li se vodou, námrazou nebo ledem relativně úzká štěrbinová mezera přilehlými vodorovnými plochami čtvercových profilů dvojitěho ráhna.

Mechanicky a konstrukčně náročné je i jednostranné, a proto i nevyvážené „včetně“ poměrně dlouhých prvků do ráhna.

Z uvedených důvodů se s dvou vodičovým ráhnem setkáváme spíše u LPD antén na VKV a UKV pásma, které se snadno upevní ke stožáru až na konci ráhna.

Výpočet impedance Z_0

Označíme-li impedanci symetrického napájecího vedení anténních prvků jako Z_0 (ve shodě s obr. 1 ve 2. části článku), pak pro její výpočet platí podle [7] vzorce (1, 2, 3), do kterých se dosadí již známé

parametry σ a τ a charakteristická impedance dipólového prvku Z_d , daná jeho průměrnou štíhlostí L/d podle obr. 8, popř. podle vzorce (2):

$$R_0 = Z_0 / \sqrt{1 + (Z_0 / 4\sigma' Z_d)} \quad (1)$$

$$Z_d = 120 (\ln Ln/d_N - 2,25) \quad (2)$$

$$\sigma' = \sigma / \tau \quad (3)$$

● Z_0 je hledaná impedance symetrického napájecího vedení.

● R_0 je charakteristická impedance anténního napáječe $R_0 = 50 \Omega$, popř. 200Ω .

● Z_d je průměrná charakteristická (vlnová) impedance dipólového prvku, kterou můžeme bez výpočtu odečíst z grafu na obr. 8. Nezaměňujeme ji se svorkovou (vstupní) impedancí půlvlnných dipólů (50 – 73 Ω). Laicky a názorněji si ji lze představit jako charakteristickou (vlnovou) impedanci „rozevřeného“ symetrického vedení.

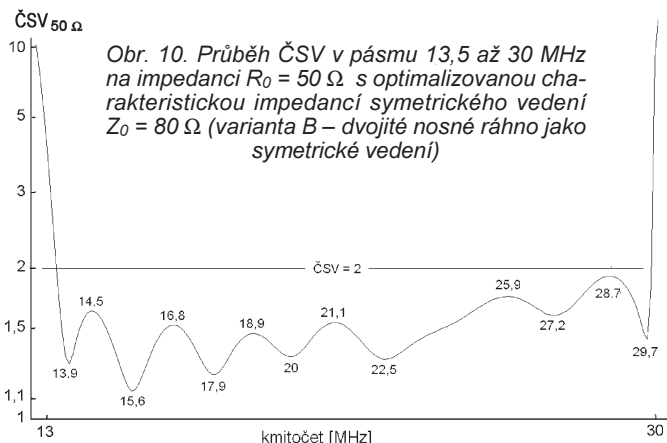
● $L/d = 11\ 110/25 = 444$, takže $Z_d = 461,5 \Omega$ [podle obr. 8, přesněji podle (2)].

● σ' je pomocný parametr, podle (3). $\sigma' = 0,045/\sqrt{0,89}$, takže $\sigma' = 0,0477$.

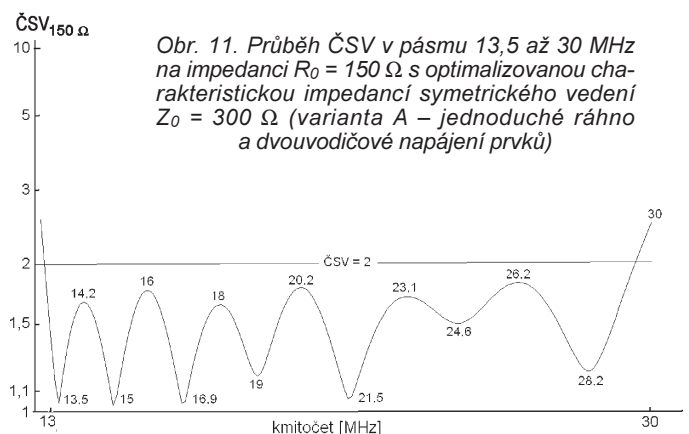
Výpočet charakteristické impedance symetrického vedení Z_0 byl proveden pro obě konstrukční varianty A i B.

Vypočtená impedance Z_0 byla při kontrolní počítačové simulaci navrženého uspořádání ještě optimalizována tak, aby se dosáhlo co nejprůběhovějšího průběhu ČSV.

U varianty A ovlivnilo změnu velikosti svorkové impedance na $Z_{LPD} = 150 \Omega$ využití TV „dvoulinky“ s charakteristickou impedancí 240 až 300 Ω jako dvou vodičového vedení pro napájení dipólových prvků. Příznivé průběhy ČSV u obou variant jsou zřejmé z obr. 10 a 11.



Obr. 10. Průběh ČSV v pásmu 13,5 až 30 MHz na impedanci $R_0 = 50 \Omega$ s optimalizovanou charakteristickou impedancí symetrického vedení $Z_0 = 80 \Omega$ (varianta B – dvojitě nosné ráhno jako symetrické vedení)



Obr. 11. Průběh ČSV v pásmu 13,5 až 30 MHz na impedanci $R_0 = 150 \Omega$ s optimalizovanou charakteristickou impedancí symetrického vedení $Z_0 = 300 \Omega$ (varianta A – jednoduché ráhno a dvou vodičové napájení prvků)