

# Fresnelzónová anténa

Jindra Macoun, OK1VR

**Fresnelovy zóny, ovlivňující kvalitu směrových spojů na dm a cm vlnách [1], se uplatní také u Fresnelzónových plošných antén (FZPA) na mikrovlnných pásmech elmag. vln, a principiálně i u plochých optických lup na nanovlnných pásmech elmag. vln, tzn. na vlnách světelných. Podrobnější informací o těchto aplikacích doplňujeme článek o Fresnelových zónách v PE-AR 3/2014, i když je to v jistém ohledu návrat do minulosti, protože s FZP anténami se dnes prakticky nesetkáváme.**

## Úvodní rekapitulace

Z předchozího článku o Fresnelových zónách [1] víme, že u směrových spojů na UHF a SHF pásmech ovlivňuje kvalitu přenášených informací (datových toků) také prostor mezi anténami, ohraničený rozhraním, od kterého se mohou elmag. vlny odrazit s definovaným fázovým zpožděním oproti vlnám, které se mezi oběma anténami směrového spoje šíří nejkratší trasou, tedy přímo.

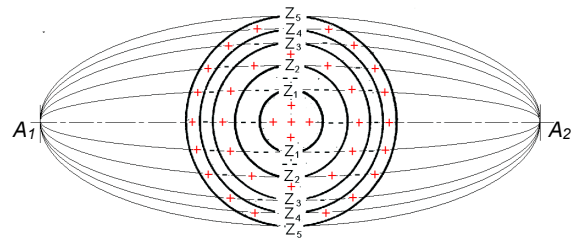
Líší-li se v místě příjmu fáze vlny odražené o  $180^\circ$ , ale její amplituda je s amplitudou vlny přímé téměř shodná, pak přijímaný signál může zeslábnout, popř. zcela vymizet, přestože je mezi anténami přímo viditelnost. Naopak odražená vlna může být s přímou vlnou ve fázi, je-li zpožděna o celých  $360^\circ$ , což znamená, že přijímaný signál může být

teoreticky i silnější než při příjmu vlny přímé. Tyto jevy jsou způsobeny rozdílnou délkou přímé a odražené vlny.

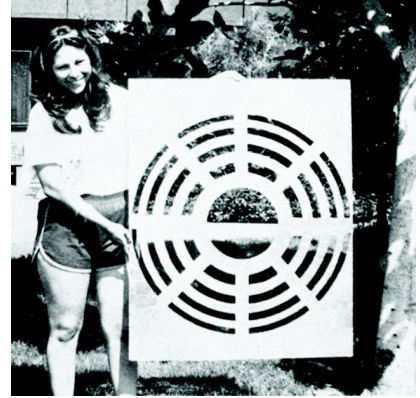
Při dané vzdálenosti mezi oběma anténami směrového spoje lze pro každý kmitočet definovat rozhraní, ohraničující oblasti, ze kterých je odražená vlna fázově zpožděna o jednu nebo více půlvln. Tímto rozhraním je elipsa, a další „soustředné“ elipsy, v jejichž společných ohniscích se nacházejí obě antény směrového spoje. Reálným rozhraním jsou umělé nebo přírodní překážky, které svým umístěním tato eliptická rozhraní „kopírují“ nebo do nich zasahují.

Oblast ohraničená první („vnitřní“) elipsou se obecně nazývá 1. Fresnelovou zónou. Prostorový útvar, který vznikne rotací této elipsy kolem osy spojující středy obou antén, je 1. Fresnelovým elipsoidem.

Oblast mezi první a druhou elipsou je 2. Fresnelovou zónou atd.



Obr. 1. Soustředné kružnice  $Z_1$  až  $Z_5$  ohraničují Fresnelovy zóny v rovině kolmé k podélné trase směrového spoje  $A_1 - A_2$ . Je to vlastně řez Fresnelovými elipsoidy a základní tvar FZP antény



Obr. 2. Žena v „retro“ šortkách předvádí pokusnou FZP anténu pro pásmo 10,6 GHz v roce 1982 [4] ( $D = 100$  cm,  $f = 100$  cm)

Zatímco fáze elmag. vln odražených od rozhraní jednotlivých zón se periodicky mění vždy o  $\pm 180^\circ$  proti fázi vlny přímé, tak jejich amplituda postupně klesá.

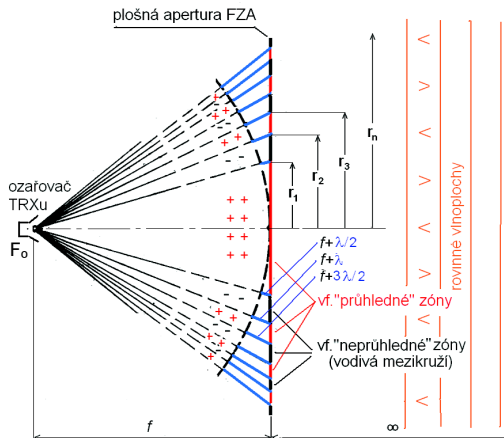
Obr. 1 znázorňuje eliptická rozhraní jednotlivých Fresnelových zón podél celé trasy směrového spoje. V rovině kolmé k podélné trase spoje se eliptická rozhraní změní v rozhraní kruhová, tedy v soustředné kružnice ohraničující jednotlivé Fresnelovy zóny ( $Z_1$  až  $Z_5$  na obr. 1). Je to vlastně kolmý řez Fresnelovými elipsoidy. Můžeme jej považovat za principiální obraz a nejjednodušší tvar Fresnelzónové plošné antény – FZPA.

## Fresnelzónová anténa

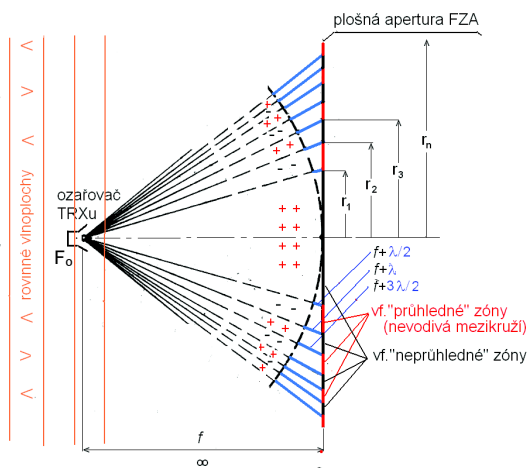
Jako anténa se FZPA do historie antén výrazněji nezapsala, takže ji autoři významných odborných anténářských publikací (Kraus, Jasik, Procházka a další) ani publikací radioamatérských (ARRL Antenna Handbook, Rothammel) vůbec nezmiňují. Teoretické práce vztahující se k FZPA nicméně nacházíme na desítkách současných webových stránek a pak i v ojedinělé knižní publikaci z roku 2002 [2], kde se odvozuje a popisují nová uspořádání Fresnelových zón, přibližující malou účinnost prvních FZP antén k účinnosti reflektorů parabolických.

S praktickým využitím FZPA se počítalo v počátcích satelitního vysílání, tzn. počátkem 80. let jako s přijímacími anténami pro DBS – Direct Broadcasting Satellite service [3], když se v komerčním sektoru, resp. ve spotřební elektronice jevílo nereálným masové použití velkých a přesně tvarovaných parabolických antén pro příjem tehdy ještě málo výkonných satelitních TV a rozhlasových transpondérů a z dnešního pohledu nečitlivých pozemských přijímačů.

Tehdy se také objevily první články [4] s popisem pokusných konstrukcí FZP antén pro radioamatérská zařízení na pásmo 10,4 GHz, když se předpokládalo, že by svépomocně zhotovená FZPA mohla nahradit nákladnou a rozměrnou parabolickou anténu, nezbytnou pro dálková spojení např. s populárním a na tehdejší dobu vynikajícím



Obr. 3. Schéma záření FZP antény s označením hlavních rozměrů. Z propustných (červených) kruhových zón FZP antény se v ohnisku  $F_0$  sečtou jen vlnové paprsky se stejnou fází



Obr. 4. Záměnou propustných a nepropustných zón se záření FZP antény obrátí

amatérským TRXem, tzv. Gunnplexerem [5], nicméně s šumovým číslem jen kolem 16 dB a výkonem od 15 do 40 mW. Vývoj však pokračoval rychleji [6]. Šumové parametry přijímačů a výkony koncových tranzistorů „předbíhaly dobu“. Nároky na rozměry antén klesaly. Parabolická anténa pro satelitní příjem i radioamatérskou komunikaci se stala běžným „spotřebním zbožím“, a tak původní FZPA zmizela v „propadlísti anténářských dějin“ dříve, než se rozšířila.

Fresnelova principu se však stále využívá v optice [7], např. u plochých Fresnelových lup, dostupných za nevelký peněz v každém obchodě s optikou. I to je důvod, proč se s touto anténou blíže seznámit, popř. ji i vyzkoušet.

## Popis FZPA

Aby byla funkce antény srozumitelnější, připomínáme stručnou formulaci tzv. **Huygensova principu**, podle kterého platí, že každý bod (např. hrana kruhových prstenců), do něhož čelo elmag. vlny dorazí, se stává zdrojem dalšího vlnění, které vytvoří novou vlnoplochu, jejíž každý bod se stává zdánlivým (fiktivním) zdrojem nové – sekundární vlny.

Leží-li zdánlivé (fiktivní) zdroje sekundárních vln na hranici první zóny, nepřekračuje fázový posun mezi hlavním zdrojem a tímto fiktivním zdrojem hodnotu  $180^\circ$ . Fázový posun mezi fiktivními zdroji druhé zóny a hlavním zdrojem se pohybuje v mezích od  $180^\circ$  do  $360^\circ$  – atd. Na obr. 1 a 3 je to znázorněno znaménky + a -, která odpovídají sousedním zónám. Ve vlnové optice se dokazuje, že působení dvou Fresnelových zón se navzájem téměř úplně ruší. Tato kompenzace je tím zřetelnější, čím vyšší je řádové číslo zóny. Výsledkem této kompenzace je, že vzájemné působení všech zón je rovnocenné záření, které je vytvořeno polovinou první Fresnelovy zóny. Proto je účinnost jednoduché FZPA antény poměrně nízká, a proto je účinnost antény s lichým počtem zón vyšší než s počtem sudým.

Popis a činnost FZPA antény budou lépe vnímány u antény přijímací, což je ostatně ve shodě s původně zamýšleným použitím – pro příjem signálů z prvních TV satelitů počátkem 80. let.

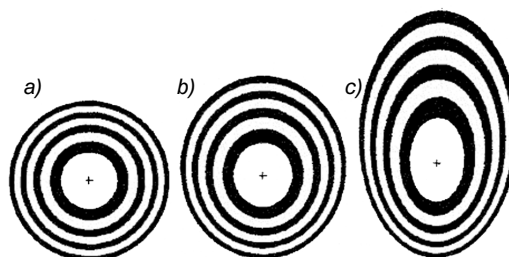
Základním uspořádáním FZPA je plošná apertura s kruhovými zónami z vodivých (kovových) a nevodivých (izolačních) materiálů – ve tvaru prstencových mezikruží (obr. 3). V ose této kruhové apertury o průměru  $D$  je na jedné straně v konečné (ohniskové) vzdálenosti ( $f$ ) její primární (vstupní nebo výstupní) ozařovač ( $F_0$ ). Na druhé straně plošné apertury je v „nekonečné“ ( $\infty$ ) vzdálenosti anténa vysílaných nebo přijímaných signálů.

● V této konfiguraci, kdy apertura antény propouští a zesiluje elmag. záření „na druhou stranu“ anténní apertury, ji můžeme považovat za „spojnou čočku“. První (vnitřní) kruhová zóna, ohraničená kružnicí o poloměru  $r_1$ , je v tomto případě pro vř. záření propustná (nevodivá). Druhá a všechny další sudé prstencové zóny jsou nepropustné (vodivé).

● Záměnou propustných a nepropustných zón, počínaje první (střední) kruhovou zónou, ohraničenou kružnicí o stejném poloměru  $r_1$ , a všemi dalšími lichými prstencovými zónami, se záření antény obrátí. Z plošné apertury se stane reflektor, protože anténa vysílaných (přijímaných) signálů je spolu s primárním ozařovačem na stejné straně apertury (obr. 4).

Při „nekonečné“ vzdálenosti (TV) vysílače je plošná apertura antény se soustavou soustředných vodivých a nevodivých prstencových mezikruží ozařována rovinnými vlnoplo-

Obr. 5. Při šikmém dopadu elmag. záření na plochu FZ apertury musí být kruhové zóny upraveny tak, aby byly opět splněny podmínky pro souřadový odraz. Výpočet tvaru „nekruhových“ zón je obtížnější. Úhel od kolmého dopadu: a)  $0^\circ$ , b)  $25^\circ$ , c)  $50^\circ$  [2]



plochami. Rozměry (průměry) prstenců jsou určeny jen vlnovou délkou (kmitočtem) a zvolenou ohniskovou vzdáleností tak, aby se vzdálenost mezi ozařovačem a prvním a každým dalším vodivým mezikružím (Fresnelovou zónou) skokově zvyšovala o polovinu vlnové délky, viz obr. 3.

U směrových spojů se při výpočtu Fresnelových zón počítá se vzdáleností ke každé anténě směrového spoje, protože obě vzdálenosti se podílejí na definované fázové změně.

Při výpočtu rozměrů FZPA se uvažuje pouze ohnisková vzdálenost  $f$ , protože druhá anténa je prakticky v nekonečnu, a její souřadové vlnoplochy dopadají na plošnou aperтуру rovnoběžně a kolmo.

Zdánlivá tvarová jednoduchost této FZPA proti dnes běžným parabolickým anténám je degradována nevýhodami, pro které přestala být zajímavou a sledovanou.

● Kovové zóny, blokující protifázové vlnění, snižují účinnou plochu a účinnost antény a tím i úroveň signálu v ohnisku  $F_0$  (obr. 3).

● Bez dalších úprav [2] mají diagramy záření poměrně výrazné postranní laloky.

U reflektorových antén parabolických ovlivňuje diagram záření především tvar reflektoru. Držení přísných mechanických tolerancí lze u nich dosáhnout velmi dobré účinnosti i velmi malých postranních laloků.

Tedy se však akcentovala výhodnost rovinné a rozměrově méně kritické FZPA s kruhovými zónami proti vyšším nákladům na výrobu a instalaci nutně rozměrných a „nevzhledných“ parabolických reflektorů. Tištěná „low profile“ FZPA anténa instalovaná jako přijímací anténa např. ve stěně (okně) místnosti s vlastním přijímačem se jevila jako výhodnější.

Jednoduchý kruhový tvar Fresnelových zón je však optimální, jen pokud vlnové paprsky dopadají na plošnou aperтуру antény (z obou stran) kolmo, resp. je-li spojnice obou antén přímá. Není-li tomu tak, pak se jejich jednoduchý kruhový tvar mění v elipsovitý s proměnnou šířkou mezikruží (obr. 5), závislý na úhlové odchylce od kolmého směru, resp. na úhlové výšce satelitu nad obzorem.

## FZPA pro 24 GHz

Pro experimentování s plošnou Fresnelzónovou anténou přijatelných rozměrů lze využít mikrovlnného pásma 24 GHz, kde ji nebude obtížné zhotovit na kruhové kuprexitové desce s přibližně stejným průměrem dnešních antén parabolických.

Zjednodušený, ale vyhovující vzorec pro výpočet poloměrů Fresnelových zón lze odvodit z obr. 3, při „nekonečné“ vzdálenosti jedné z antén. Rozdíl mezi přímou a fázově zpožděnou vlnou pak ovlivní jen dráhy vlnových paprsků mezi TRXem a hranami kruhových zón natištěných na plošné (kuprexitové) aperтуру.

Poloměry zón	$r_1$	$m$	$r_2$	$m$	$r_3$	$m$	$r_4$	$m$	$r_5$	$m$	$r_6$
střední kruh. zóna	61,2		86,6		106,0		122,4		136,9		150
vodivé prstence		25,4				16,4				13,1	
nevodivé prstence				19,4				14,5			

Tab. 1. Rozměry pokusné Fresnelzónové antény na 24 GHz s ohniskovou vzdáleností 300 mm a průměrem 300 mm. (Rozměry v mm jsou zaokrouhleny na desetiny.)

Pro poloměry Fresnelových zón  $r_1, r_2$  až  $r_n$  pak platí zjednodušený vzorec:

$$r_n = \sqrt{n f \lambda},$$

kde  $f$  je zvolená (ohnisková) vzdálenost mezi anténou (ústím vlnovodu) TRXu a plochou antény a  $\lambda$  je provozní vlnová délka. Oba rozměry jsou ve stejných délkových jednotkách (mm).

Na přijatelném rozměru kuprexitové desky asi 300 x 300 mm, resp.  $\varnothing$  300 mm, se zvolenou ohniskovou vzdáleností  $f = 300$  mm budou kružnice o poloměrech  $r_1$  až  $r_6$  ohraničovat vodivé a nevodivé soustředné prstence o šířce  $m$  (tab. 1). Při kratší ohniskové vzdálenosti  $f$  se na původním průměru antény počet zón (prstenců) zvýší.

Vodivé prstence jsou vř. neprůhledné. Nevodivé (izolační) prstence jsou vř. průhledné.

Nejsnadněji se ověřit účinek FZPA jako „spojné zesilovací čočky“, vloží-li se do trasy 24GHz spoje v přibližné vzdálenosti  $f$  od ústí vlnovodu.

Jak výše zmíněno, záměnou vodivých a nevodivých zón se FZPA stane „klasickou“ anténou reflektorovou, jejíž účinnost nepříznivě ovlivňuje blokáce apertury primárním ozařovačem. Odstraňuje se vychýlením ozařovače mimo osu, jako u ofsetových parabol pro satelitní příjem TV.

Při pokusech s reflektorovým uspořádáním FZPA se nabízí možnost vyzkoušet zvýšení účinnosti reflektoru pomocí přidavné reflektorové desky [2] umístěné ve vzdálenosti  $\lambda/4$ , tj. cca 3 mm za aperтуру antény, která „ztracenou“ vř. energii procházející nevodivými zónami odrazí zpět a tím zvýší účinnost apertury FZPA antény. Podobně jako u parabolických reflektorů ovlivňuje účinnost FZPA úhel ozaření primárním ozařovačem.

## Literatura

- [1] Macoun, J.: O Fresnelových zónách. PE-AR 03/2014, str. 31, 32.
- [2] Guo, Y., J.; Barton, S., K.: Fresnel Zone Antennas. Kluwer Academic Publisher, Boston, 2002.
- [3] Shurter, Chan, Li, Yeung: A Metal Plate Fresnel Lens for 4 GHz Satellite TV Reception. IEEE, Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP-30, No. 4, July 1982.
- [4] Brooks, W., M., WB6YVK: A Fresnel-zone plate for 10.4 GHz. Ham Radio Magazine, May 1982.
- [5] Richardson, B., W4UCH: The Gunnplexer Cookbook. The Ham Radio Publishing Group, Grenville, N. H., 1981.
- [6] Šír, P., OK1AIY: Radioamatérské konstrukce pro mikrovlnná pásma. Nakladatelství AMA, 1992.
- [7] www.opto.cz/book/phtml – na tomto serveru jsou stovky volně dostupných webových stránek, včetně nejrozsáhlejší učebnice optiky, která dosud v češtině vyšla.