

## 4.6 Vícepásmové flíčkové antény

### Základní teorie

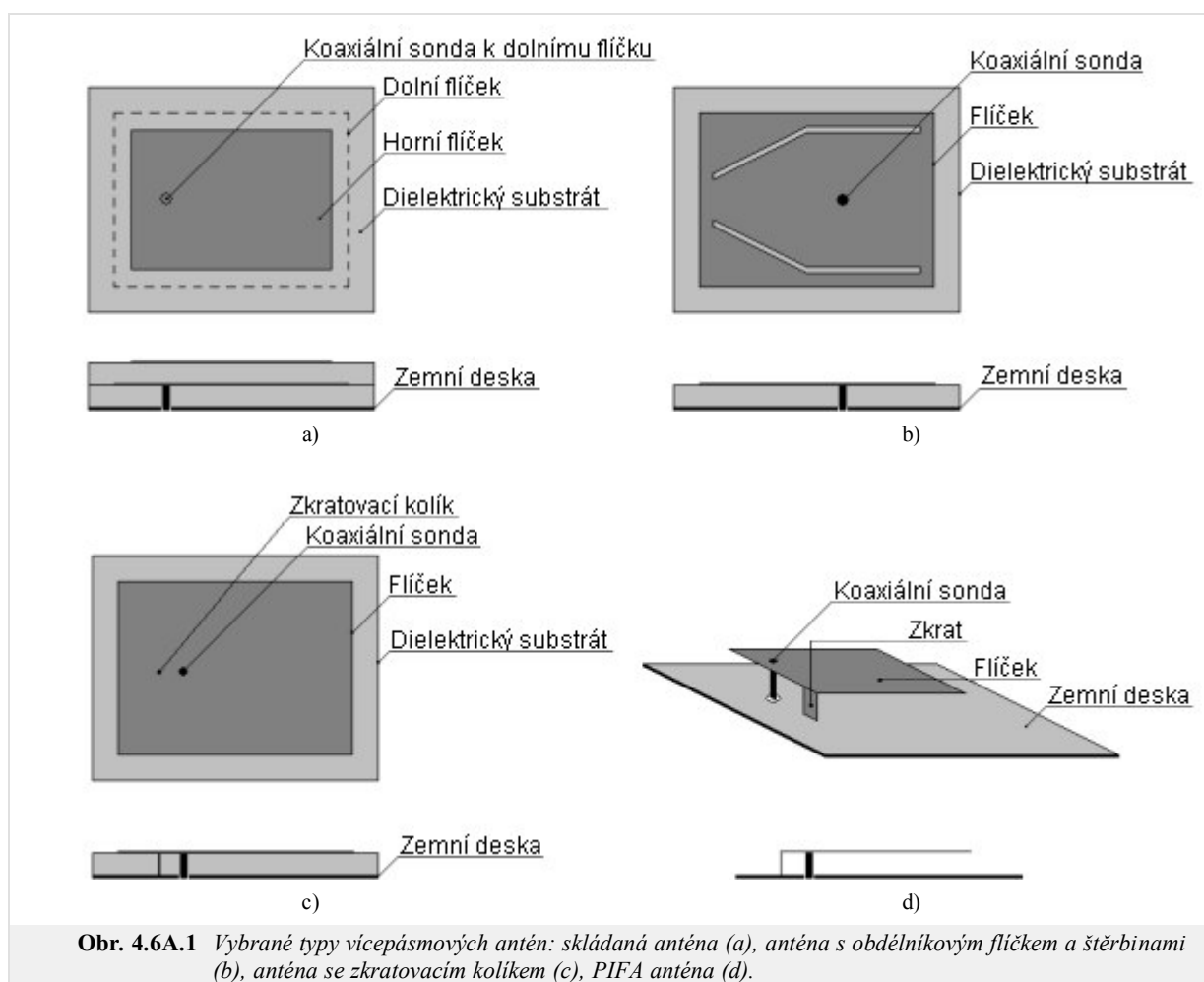
#### Úvod

Telekomunikační technika je jedním z rychle se rozvíjejících technických oborů s výrazným uplatněním jak ve vojenské a profesionální tak i v civilní sféře. Komerční využití složitých elektronických zařízení (např. mobilních telefonů) přineslo nové nároky na jejich vlastnosti. Současný trend nutí inženýry vyvíjet nové koncepty splňující stoupající požadavky nejenom na jejich technické parametry, ale i na rozměry. Miniaturní antény moderních komunikačních zařízení musejí být schopny v mnoha případech přijímat a vysílat elektromagnetické vlnění v různých kmitočtových pásmech, která jsou využívána různými komunikačními službami.

S jednopásmovou variantou **flíčkové antény**, její charakteristickými rysy a analýzou, jsme se již seznámili v [předchozí kapitole](#) učebnice. Nyní se zaměříme na flíčkovou anténu, která je schopna pracovat ve více frekvenčních pásmech. Nejdřív se seznámíme se základními postupy, kterými lze anténu donutit, aby rezonovala na několika kmitočtech. Následně popíšeme, co je to [modální analýza planárních antén](#) a jak ji lze využít při jejích návrhu. Ve [vrstvě B](#) je uveden příklad jednoduché dvoupásmové struktury, její numerický model v programu Ansoft HFSS a ověření tohoto numerického modelu v programu CST Microwave Studio. Prostudováním této kapitoly získáme stručný přehled o vícepásmových flíčkových anténách, praktickou zkušenost s těmito anténami, základní povědomí o dvou moderních simulačních programech a správné interpretaci výsledků.

#### Základní typy vícepásmových flíčkových antén

Přístupů k návrhu vícefrekvenčních antén existuje nespočet. Jako příklad můžeme uvést konfiguraci sestávající z několika flíčků umístěných nad sebe (anglicky *stacked patch*). Díky jednoduché realizaci se dále prosazují antény se zářezy nebo štěrbínami různých tvarů, které se nacházejí v různých místech kovového flíčku. Nemůžeme vynechat ani koncepty se zkratovacími elementy nebo antény zvané PIFA (anglicky *planar inverted-F antenna*): Uvedené typy antén jsou nakresleny na obr. 4.6A.1. Co se týká polarizace, vícepásmové antény rozlišujeme podle toho, zda roviny elektrického pole jsou v jednotlivých frekvenčních pásmech rovnoběžné nebo navzájem ortogonální; ortogonalitu lze s výhodou využít v komunikačních systémech s polarizační diverzitou.



Nyní si popíšeme princip vícepásmového chování antén z obr. 4.6A.1.

U skládané antény je dolní flíček napájen přímo z anténního konektoru (obvykle se používá koaxiální sonda), horní flíček je buzen nepřímou. Soustava má dva rezonanční kmitočty – nižší rezonanční kmitočet je dán rozměry většího dolního flíčku a vyšší rezonanční kmitočet rozměry menšího flíčku horního. Základním **videm** obdélníkových flíčků je  $TM_{10}$ .

U obdélníkového flíčku se štěrbinami ovlivňují tyto úzké štěrbinové rozložení proudů na povrchu antény. Různě umístěné a tvarované štěrbinové odpovídají různým módům s různými rezonančními kmitočty. V případě struktury uvedeného na obr. 4.6A.1b kromě základního vidu  $TM_{10}$  vzniká na určitém kmitočtu další vid  $TM_{x0}$  ( $1 < x < 2$ ), jehož účinnost vyzařování je největší pro úhel ohybu od  $15^\circ$  do  $30^\circ$ . Rezonanční kmitočty jsou od sebe vzdáleny  $f_1/f_2 = 1,29$  až  $f_1/f_2 = 1,60$ .

Co se týká antény se zkratovacím kolíkem, vhodnou volbou pozice zkratovacího kolíku lze dosáhnout dobrého impedančního přizpůsobení pro první dva vidy podél rezonanční délky flíčku. Volíme-li střed flíčku místem zkratu, kmitočet  $f_1$  základního vidu  $TM_{10}$  zůstane nezměněn, zatímco nová rezonance vzniká při frekvenci  $f_2 = 0,5 f_1$ . Znamená to, že takto modifikovaná anténa může pracovat jako půlvlnná a čtvrtvlnná zároveň. Rezonanční kmitočty lze posouvat v rozmezí  $f_1/f_2$  od 2,0 do 3,6.

PIFA anténa je velice rozšířeným typem vícepásmové antény, který je montován do komunikačních zařízení různých druhů. Prostor mezi zemní deskou a flíčkem je vyplněn dielektrikem. Podobně jako u předchozího typu antény je i zde dobrého impedančního přizpůsobení na požadovaných kmitočtech dosaženo zkraty, ale také výřezy v kovovém flíčku (na různých frekvencích rezonují různé části flíčku). Anténu lze zkonstruovat pro použití ve třech i více pásmech, tím se však její návrh velmi výrazně zesložituje.

Podrobný popis vyjmenovaných antén i další modifikace lze nalézt v literatuře [33], [34]. Pro lepší pochopení fyzikálních zákonitostí souvisejících s činností studovaných planárních struktur se teď seznámíme s jejich modální analýzou, která popisuje rozložení pole jednotlivých vidů na anténě. Díky tomu můžeme získat dobrý odhad tvaru a rozměrů flíčku pro dosažení rezonancí na požadovaných kmitočtech. Tím se výrazně zjednoduší a zrychlí samotný návrh antény a její finální ladění.

## Modální analýza

Při tomto zjednodušeném popisu je planární anténa modelována jako rezonanční dutina, která je zdola i shora ohraničena dokonalými elektrickými stěnami (PEC – *perfect electric conductor*). Základním předpokladem platnosti modální analýzy je tenký dielektrický substrát. Jelikož tloušťka dielektrického substrátu  $h$  je mnohem menší než vlnová délka  $\lambda$ , změna elektrického pole ve směru kolmém na kovový flíček (směr osy  $z$ ) je zanedbatelná. Díky okrajovým podmínkám je elektrické pole nenulové pouze ve směru osy  $z$ , zatímco magnetické pole má složky pouze ve směru os  $x$  a  $y$ . Na hranách kovového flíčku platí **Neumannova okrajová podmínka** pro elektrické pole ( $\partial \mathbf{E} / \partial \mathbf{n} = 0$ , kde  $\mathbf{n}$  je normála k hranám flíčku). Proto lze hrany kovového flíčku považovat za dokonale magnetické stěny (PMC – *perfect magnetic conductor*). Složka intenzity elektrického pole, která je kolmá k rovině flíčku, vyhovuje skalární vlnové rovnici ve tvaru

$$\Delta E_z + k^2 E_z = 0. \quad (4.6A.1)$$

Vektor intenzity magnetického pole  $\mathbf{H}$ , který je úměrný proudové hustotě  $\mathbf{J}$  na povrchu flíčku, lze potom vyjádřit jako gradient intenzity elektrického pole  $E_z$  pomocí vztahu

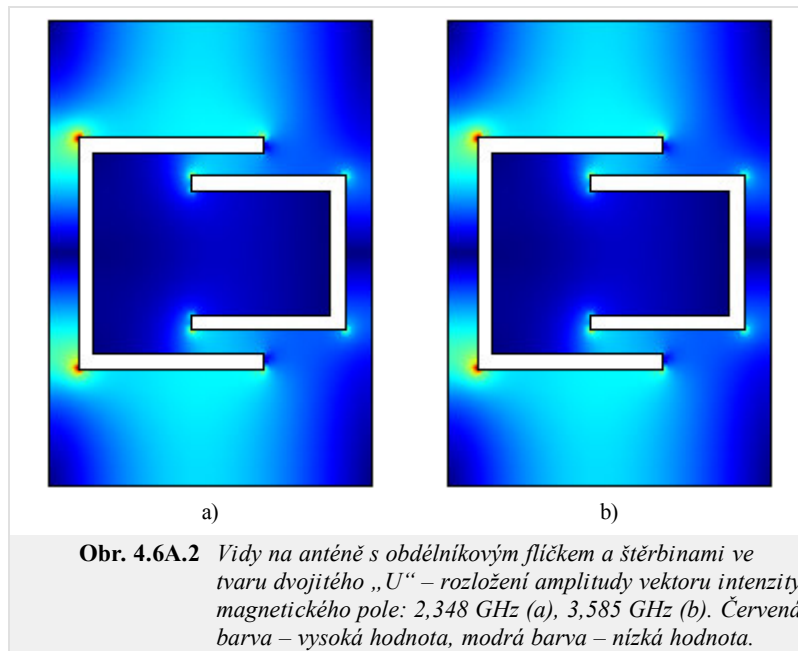
$$\mathbf{H} = \frac{1}{j\omega\mu_0} \mathbf{z}_0 \times \nabla E_z. \quad (4.6A.2)$$

K výpočtu vektoru magnetické intenzity popsaným způsobem lze použít například program Comsol Multiphysics, který vlnovou rovnici (4.6A.1) řeší **metodou konečných prvků** (FEM – *finite element method*). Flíček kreslíme jako homogenní dielektrický vlnovod s permitivitou odpovídající permitivitě anténního substrátu. Stěny vlnovodu nastavíme jako PMC a zkoumáme kritické kmitočty příčně magnetických vidů. Kritické kmitočty odpovídají rezonančním kmitočtům antény (pro tento případ je nutno nastavit nízkou hodnotu fázové konstanty, např.  $0,001 \text{ rad.m}^{-1}$ ).

Na obr. 4.6A.2 vidíme rozložení amplitudy vektoru intenzity magnetického pole pro dvoupásmovou planární anténu s obdélníkovým flíčkem a štěrbinou ve tvaru dvojitého „U“, navrženou pro pásma 2,45 GHz a 3,60 GHz. Princip takové antény je velmi jednoduchý: na nižším kmitočtu rezonuje celý flíček, zatímco na vyšší frekvenci rezonuje pouze část ohraničená štěrbinami. V tab. 4.6A.1 jsou vypsány rezonanční frekvence, z nichž třetí a pátá jsou velmi blízko požadovaným hodnotám 2,45 GHz a 3,60 GHz. Parametry antény z obr. 4.6A.2 uvádíme ve vrstvě B spolu s výsledky simulací v programech Ansoft HFSS a CST Microwave Studio.

**Tab. 4.6A.1** Rezonanční kmitočty antény z obr. 4.6A.2 – výsledky modální analýzy.

Číslo rezonance	1.	2.	3.	4.	5.
Kmitočet [GHz]	1.055	1.100	<b>2.348</b>	2.985	<b>3.585</b>



Největší výhodou výše popsané modální analýzy spočívá ve výrazné úspoře času při získávání základních poznatků o chování antény jako rezonátoru. V programu Comsol Multiphysics totiž modelujeme podélně homogenní vlnovod (tj. i naši anténu) jako dvojrozměrnou strukturu, což mnohonásobně redukuje výpočetní náročnost a čas oproti trojrozměrnému modelu.