

4.7 Planární širokopásmové antény

Základní teorie

Širokopásmová technologie

Systémy s extrémní šířkou pásma patří k perspektivním systémům moderní rádiové vysokokapacitní komunikace. Původně byla tato technologie určena pro radarové snímání. Díky širokému frekvenčnímu pásmu měl radar možnost „vidět“ i za překážky, např. za zalesněné úseky apod. Pro svou odolnost proti rušení, zabezpečení proti odposlechu a malou výkonovou náročnost se začala používat pro datové přenosy.

V dnešní době má široké spektrum aplikací od nahrazování kabelů mezi multimediálními zařízeními jako jsou videokamery, digitální kamery či přenosné MP3 přehrávače přes propojení počítačů a periferních zařízení vysokorychlostní bezdrátovou univerzální sériovou sběrnici (WUSB) po nahrazení kabelů v mobilních telefonech třetí generace. S využitím UWB technologie se počítá především pro velmi rychlé sítě s malým dosahem (cca 10m), kde je potřeba velká datová propustnost.

Rychlost přenosu dat v širokopásmových technologiích umožňuje dosáhnout stovek Mb/s. Další výhodou UWB technologie je absence mezifrekvenční oblasti v modulátoru a demodulátoru a malá výkonová úroveň, která umožňuje koexistenci s jinými technologiemi ve stejném kmitočtovém pásmu. Díky nízké výkonové úrovni je také snížena možnost detekce těchto signálů, což umožňuje široké využití v oblasti vojenských aplikací, vysokou bezpečnost přenosu, prakticky nemožnost odposlechu a utajení přítomnosti bezdrátových zařízení.

Vzhledem k šířce pásma budou UWB (*ultra wide band*) technologie zasahovat do kmitočtových pásem jiných systémů a je nutné definovat spektrální masku UWB a minimalizovat tak interferenci s ostatními systémy. UWB technologie nejčastěji využívají frekvence od 3,1 GHz do 10,6 GHz. Toto je největší souvislá oblast s největším povoleným výkonem v definované spektrální masce pro UWB určené úřadem FCC (Federal Communications Commission). Každý rádiový kanál může mít šířku pásma více než 500 MHz, v závislosti na jeho střední frekvenci. Efektivní využití již jednou obsazeného kmitočtového spektra zajišťuje metoda překryvného modelu nebo realizace ad hoc síťového přístupu mezi uzly WPAN. Regulace kmitočtového spektra UWB z důvodu využívání stejného spektra jinými rádiovými službami není zatím úplně dořešená a zabývala se jí normalizační skupina IEEE 802.15.3 a IEEE 802.15.4 [40].

Jak bylo již zmíněno výše, pro tuto technologii je charakteristická velká šířka pásma. V absolutním vyjádření mluvíme o minimální šířce 500 MHz, v relativním vyjádření o minimální šířce 20 % tedy [39]:

$$\frac{B_f}{f_c} > 0,2, \quad (4.7A.1)$$

kde B_f je šířka pásma pro pokles sledované veličiny o 10 dB a f_c je střední frekvence daného pásma.

Na rozdíl od jiných moderních rádiových technologií širokopásmové technologie nemají harmonickou nosnou a informace je zakódována ve sledu velice krátkých pulzů (0,2 až 1,5 ns) [43]. Používáme zejména Gaussovské a Hermitovské pulzy.

Gaussovský pulz je popsán vztahem [39]

$$g_2(t) = K_3 \frac{-2}{\tau^2} \left(1 - \frac{2t^2}{\tau^2}\right) e^{\left(\frac{t}{\tau}\right)^2}. \quad (4.7A.2)$$

Ve vztahu (4.7A.2) značí K_3 amplitudovou konstantu a τ je konstanta pro změnu šířky pulzu.

Sled pulzů, ve kterých je zakódována informace, obvykle modulujeme na nosnou. Nejčastěji používané modulace jsou PPM (*Pulse Position Modulation*), PAM (*Pulse Amplitude Modulation*), dvoufázová modulace, amplitudové klíčování a ortogonální modulace [39]. Tento typ modulací prakticky vylučuje zkraslení odrazem, resp. příjmem signálů z více cest.

Planární širokopásmové antény

Planární antény mají velké výhody (malé rozměry, nízký profil a snadná integrovatelnost do planárních mikrovlnných obvodů, nízká výrobní cena při sériové výrobě), ale při použití v UWB aplikacích je třeba vyřešit jejich nedostatky, mezi které patří hlavně úzká impedanční šířka pásma, nízká polarizační čistota, nízká vyzářovací účinnost. Zvětšení šířky pásma může být dosaženo mnoha různými technikami, jak bude uvedeno dále.

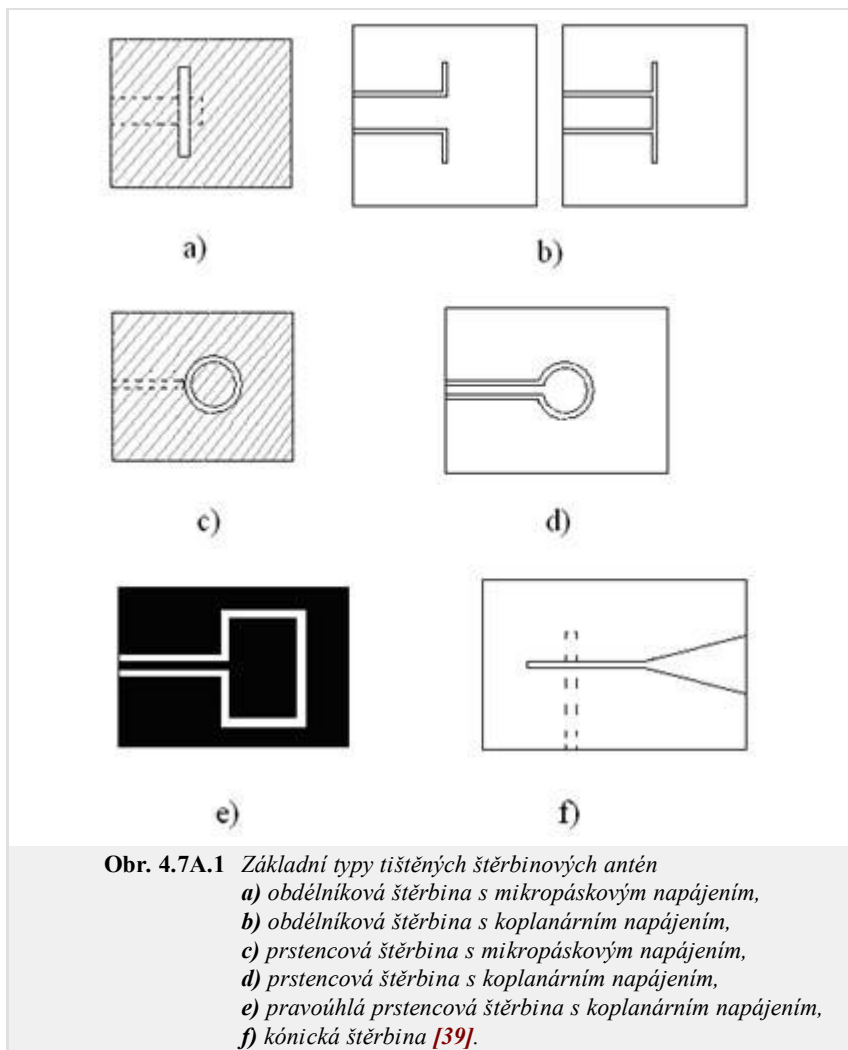
Hlavním znakem širokopásmových antén jsou minimální změny elektrických parametrů v relativně širokém kmitočtovém pásmu. Při návrhu se klade důraz na stálost vstupní impedance (poměr stojatých vln nesmí přesáhnout hodnotu 2).

Vlastnosti antény závisejí na poměru rozměrů antény k délce vlny. Teoreticky, pokud by byla délka antény nekonečná, byla by i šířka pásma antény nekonečná. Vzhledem k tomu, že taková realizace antény není možná, je nutné najít jiné řešení.

Nejčastěji používané typy planárních antén pro UWB technologii

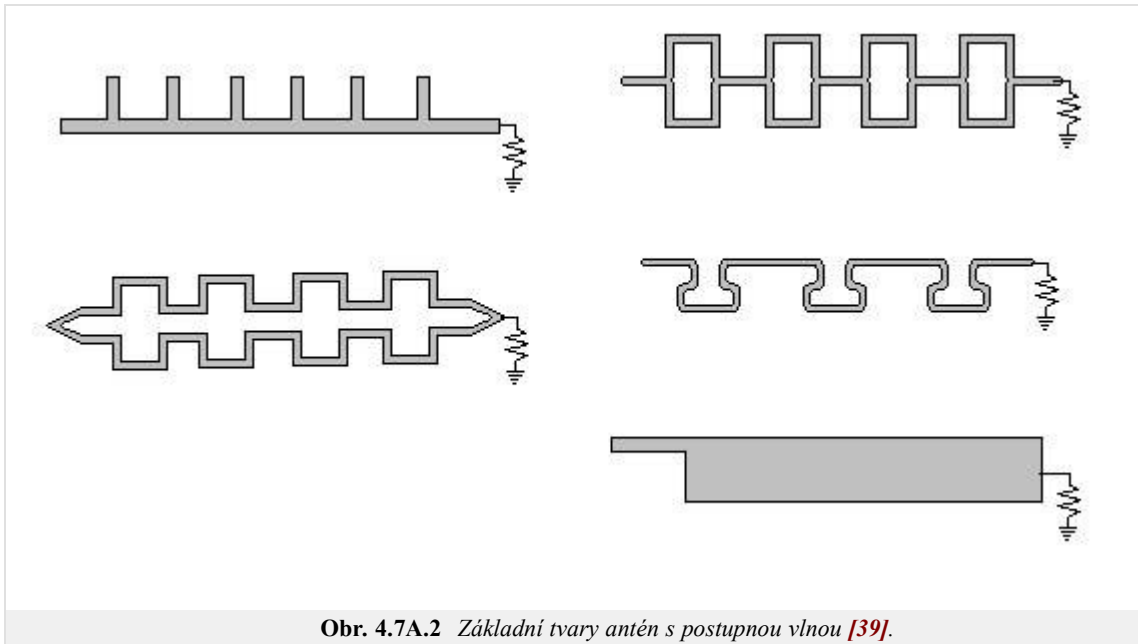
- **fličková anténa:** se skládá z vodivého fličku na jedné straně dielektrického substrátu a zemní desky na straně druhé. Základní tvary fličku často používané v praxi jsou uvedeny na obr. 4.7A.3a. Jejich vyzařovací charakteristiky jsou souměrné. Tyto antény mívají obvykle zisk mezi 5 až 6 dB. Další tvary fličků (obr. 4.7A.3b) jsou používány pro speciální aplikace [39].

- **planární dipóly:** odlišuje od pravoúhlých fličkových antén jejich poměr délky k šířce. Šířka dipólu je obvykle menší než $0,05 \lambda_0$ (délka vlny ve volném prostoru). Vyzařovací charakteristiky dipólu a fličku jsou shodné při shodném podélném rozložení proudu. Nicméně vyzařovací odpor, šířka pásma a úroveň křížové polarizace se liší. Mikropáskové dipóly jsou zajímavé antény díky svým vlastnostem, kterými jsou malá velikost a lineární polarizace. Dipóly jsou velice vhodné pro vyšší frekvence a dosahují výrazných šířek pásma. Příkladem je symetrický skládaný tištěný dipól, který je ze složeného dipólu kombinovaného s jiným shodným dipólem (zrcadlový obraz) a vytváří tak symetrickou strukturu. Tato struktura může být považována za obdélníkový fliček se štěrbinou tvaru H. Při $PSV = 2$ je šířka pásma tohoto dipólu kolem 16 % [39].



Obr. 4.7A.1 Základní typy tištěných štěrbinových antén
a) obdélníková štěrbinová s mikropáskovým napájením,
b) obdélníková štěrbinová s koplanárním napájením,
c) prstencová štěrbinová s mikropáskovým napájením,
d) prstencová štěrbinová s koplanárním napájením,
e) pravoúhlá prstencová štěrbinová s koplanárním napájením,
f) kónická štěrbinová [39].

- **tištěné štěrbinové antény:** se skládají ze štěrbin v podkladové desce uzemněného substrátu. Štěrbina může mít prakticky jakýkoliv průřez. Teoreticky většina mikropáskových fličkových tvarů může být realizována formou tištěné štěrbinové. V praxi je používáno jen několik základních tvarů štěrbin: obdélníková štěrbinová, kruhová štěrbinová, obdélníková prstencová a zužující se kuželová štěrbinová (obr. 4.7A.1). Podobně jako mikropáskové fličkové antény mohou být štěrbinové antény napájeny mikropáskovým vedením nebo koplanárním vlnovodným vedením. Štěrbina je všesměrová zářička (vyzařují po obou stranách štěrbinové). Vyzařování do jednoho poloprostoru je možné získat použitím odrazné desky na jedné straně štěrbinové [39].
- **mikropáskové antény s postupnou vlnou:** se mohou skládat ze zřetězených pravidelných úseků vedení nebo dlouhých mikropáskových úseků s dostatečnou šířkou pásma pro podporu šíření příčné elektrické (TE) vln. Konec antény s postupnou vlnou je zakončen přizpůsobenou odporovou zátěží zabraňující vzniku stojatých vln na anténě. Různé konfigurace antén s postupnou vlnou jsou nakresleny na obr. 4.7A.2 [39].
- **komplementární (duální) anténa:** komplementární dvojici tvoří takové dvě antény, u nichž poloha zabraná vodičem u první antény je tvarem i rozměry totožná s plochou vyříznutou z vodiče druhé antény [38].



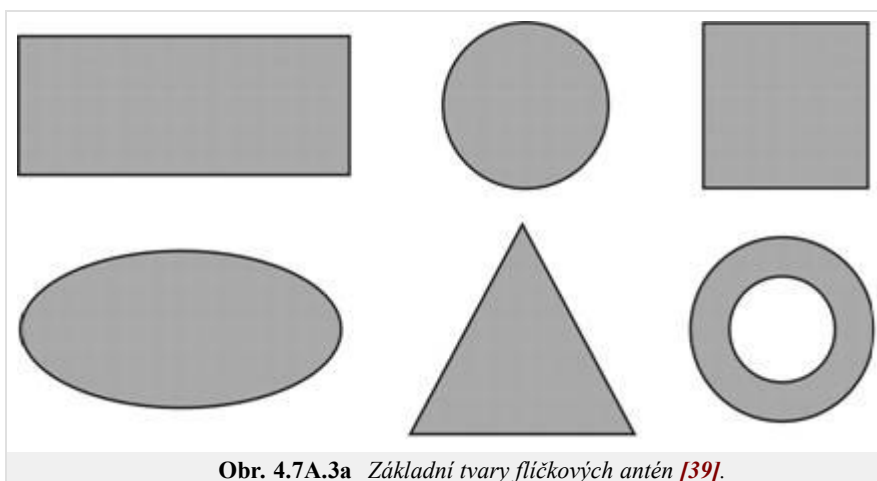
Definice šířky pásma u planárních UWB antén

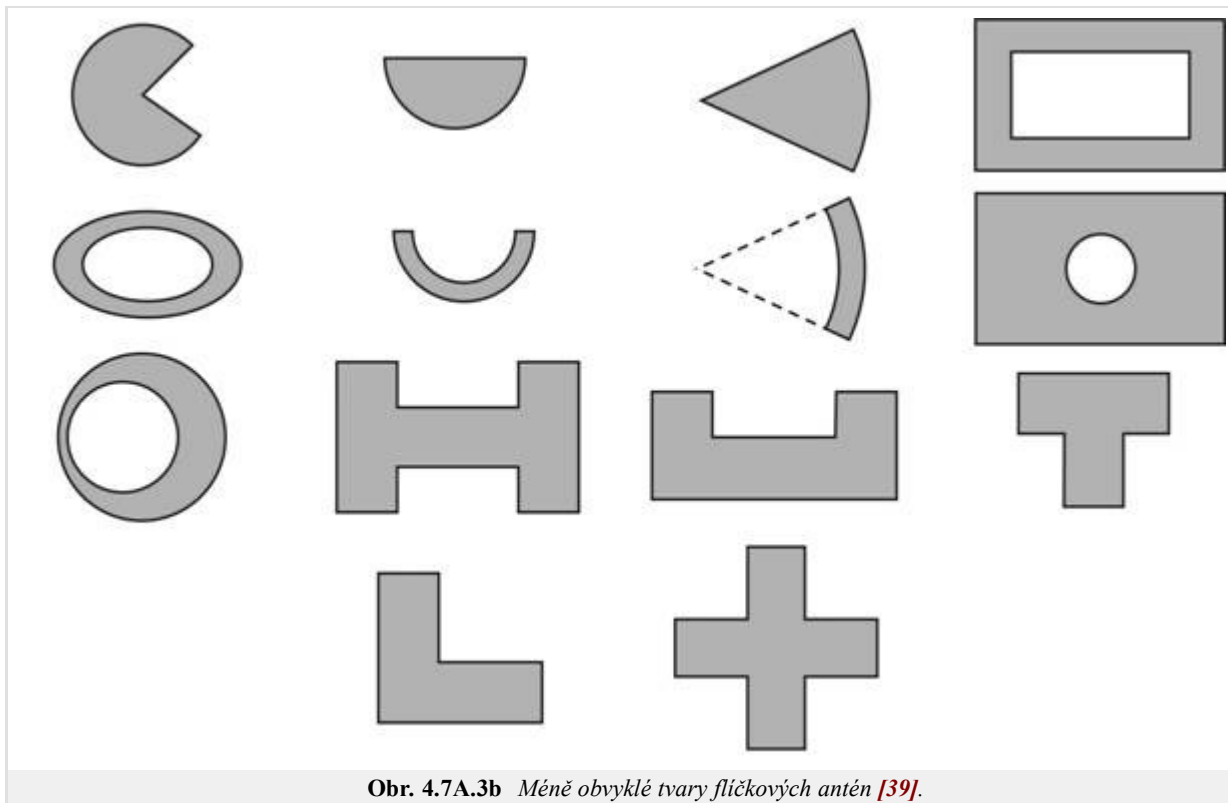
- **impedanční šířka pásma:** je rozsah kmitočtů, na kterých je anténa dobře impedančně přizpůsobená a dá se vyjádřit poměrem stojatých vln (PSV 2 nebo 1,5) nebo modulem činitele odrazu (s_{11} -10 dB a -15 dB).
- **vyzařovací šířka pásma:** vyzařovací diagram je nejdůležitější indikátor provozních módů antény [41]. Vyzařovací charakteristika závisí na rozložení proudu na anténním flíčku.
- **polarizační šířka pásma:** je definována maximální úrovní křížové polarizace neboli úrovní osového poměru. Kontrola polarizace antény závisí na kontrole ortogonálních módů vybuděných v lineárně a kruhově polarizovaných anténách. Rozdíl mezi ortogonálními módy stanovuje úroveň křížové polarizace neboli úroveň osového poměru [41]. Úroveň osového poměru je ovlivněna typem napájení a činitelem jakosti antény.

Obecně šířka pásma mikropáskových antén závisí na tvaru zářiče (flíčku), vlastnostech substrátu, napájení, hodnotě činitele jakosti antény, vybudění násobných rezonancí a impedančním přizpůsobení. U širokopásmových planárních antén tomu není jinak. Dále budou uvedeny vlivy základních parametrů planárních antén na širokopásmost.

Tvar flíčku

Kovový flíček konkrétního tvaru je nesen dielektrickým substrátem. Kov by měl být dobře vodivý. Délka flíčku bývá rovna polovině vlnové délky na substrátu. Tvar flíčku ovlivňuje rozložení proudu na anténě a tím i vyzařovací charakteristiku antény. Základní tvary flíčkových antén jsou uvedeny na obr. 4.7A.3a, další používané tvary flíčkových antén jsou nakresleny na obr. 4.7A.3b.





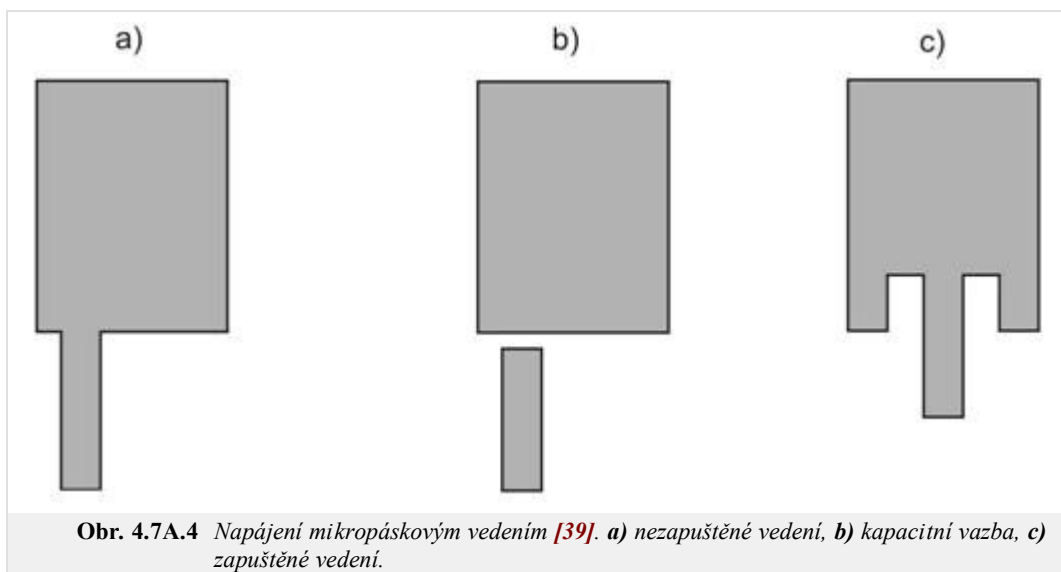
Obr. 4.7A.3b Méně obvyklé tvary fličkových antén [39].

Substrát

Dielektrický substrát používaný pro mikrovlnné antény má nejčastěji relativní permitivitu $2,2 \leq \epsilon_r \leq 16$ a ztrátový čísel $0,0001 \leq \text{tg } \delta \leq 0,06$. Vysoká permitivita ϵ_r má obvykle za následek snížení efektivity antény. Tloušťka substrátu bývá mnohem menší než je vlnová délka.

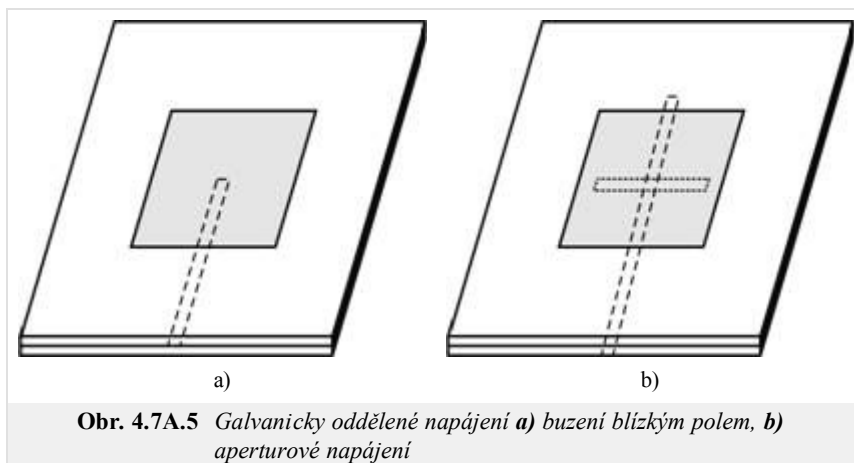
Napájení

Napájecí struktura ovlivňuje impedanční přizpůsobení, provozní módy, parazitní vyzařování, šíření povrchových vln, vyzářený výkon. Nejčastěji používáme napájení koaxiální sondou (vnější vodič je spojen se zemní deskou, vnitřní vodič s anténním prvkem) a napájení mikropáskovým vedením (obr. 4.7A.4).



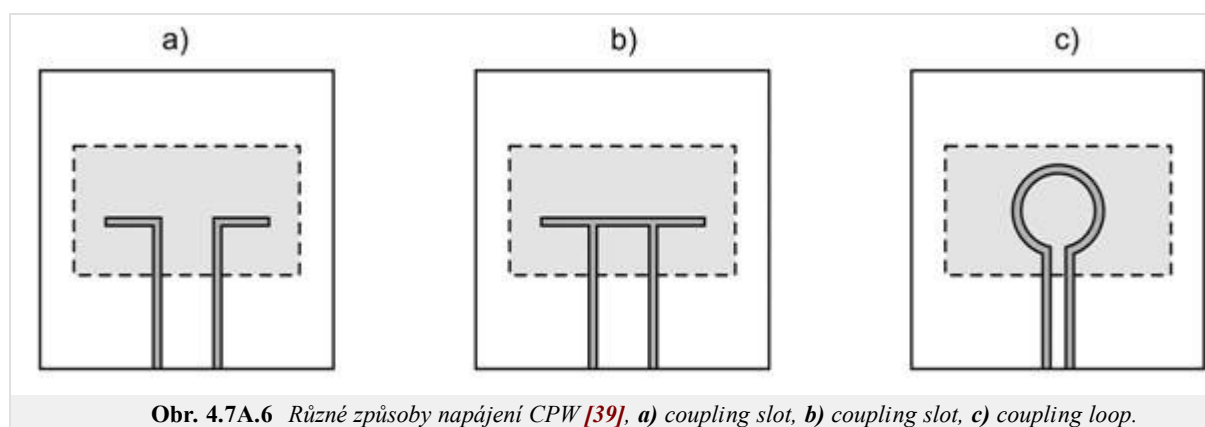
Obr. 4.7A.4 Napájení mikropáskovým vedením [39]. a) nezapuštěné vedení, b) kapacitní vazba, c) zapuštěné vedení.

V některých aplikacích používáme galvanicky oddělené napájení: anténa je buzena polem napájecího mikropásku přímo (obr. 4.7A.5a) nebo přes štěrbinu (obr. 4.7A.5b, tzv. aperturové napájení).



Obr. 4.7A.5 Galvanicky oddělené napájení **a)** buzení blízkým polem, **b)** aperturové napájení

Při požadavcích na velkou šířku pásma se často antény budí koplanární vedením (obr. 4.7A.6). Spojení mezi flíčkem a CPW může být induktivní (obr. 4.7A.6a) nebo kapacitní (obr. 4.7A.6b). Zpětné vyzařování může být redukováno záměnou dlouhé přímé štěrbiny za kruhovou smyčku (obr. 4.7A.6c), smyčka je umístěna pod střed flíčku [39].



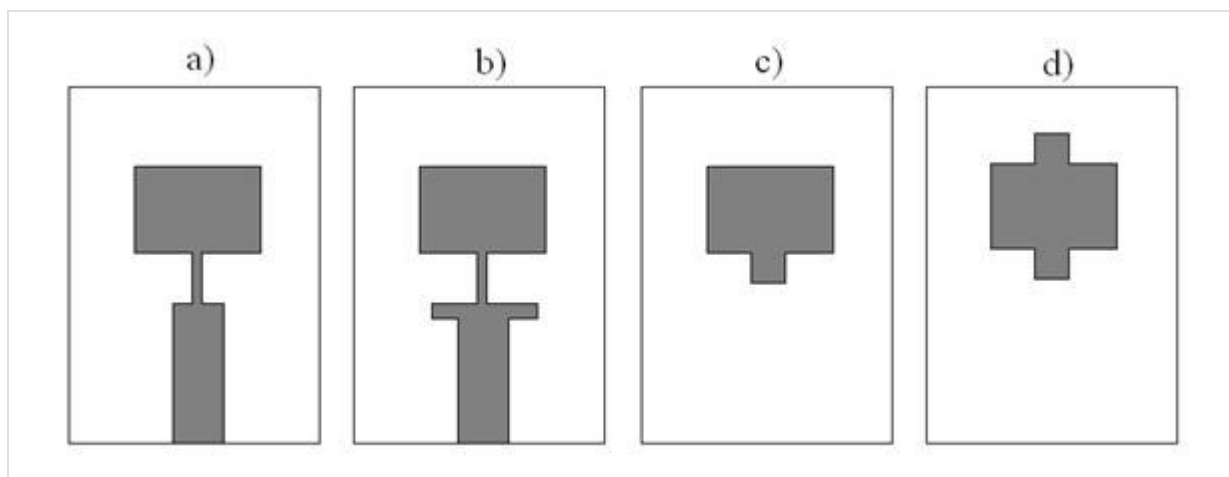
Obr. 4.7A.6 Různé způsoby napájení CPW [39], **a)** coupling slot, **b)** coupling slot, **c)** coupling loop.

Snížení činitele jakosti

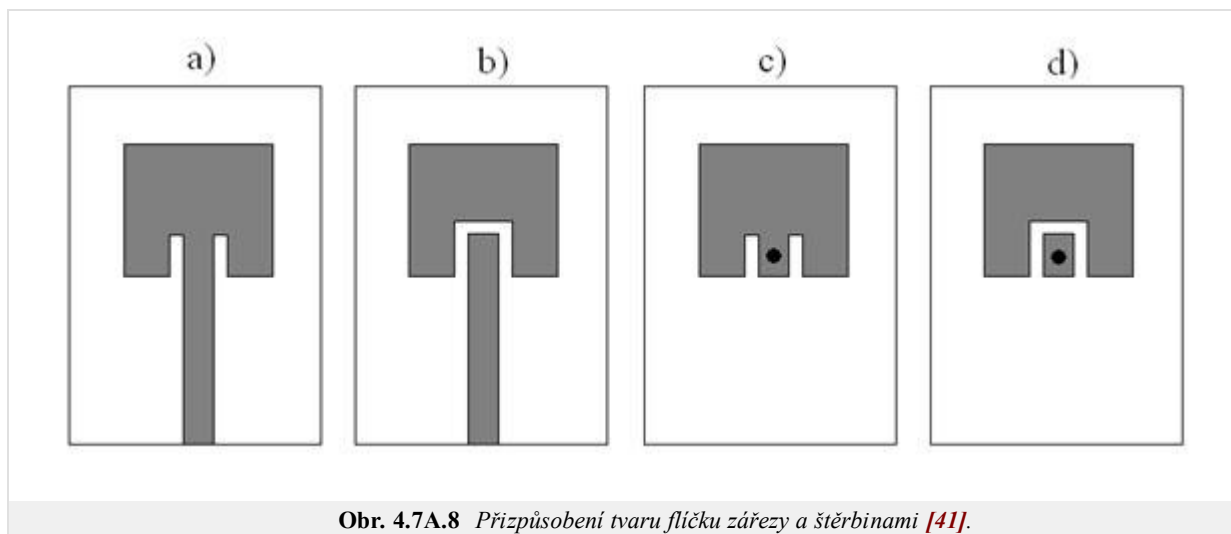
Na širokopásmové planární antény lze pohlížet jako na obvody s vysokým činitelem jakosti. Zvýšení šířky pásma je tedy podmíněno snížením činitele jakosti antény. Činitele jakosti můžeme snížit výběrem vhodného tvaru flíčku (ovlivňuje provozní módy, a tedy vyzařovací účinnost antény [41] a vhodnou volbou substrátu (tlustý substrát s nízkou relativní permitivitou rozšiřuje pásmo [41]).

Impedanční přizpůsobení

Napáječ má kmitočtově stabilní charakteristickou impedanci, vstupní impedance antény je frekvenčně závislá. Rozpor můžeme řešit vložením samostatného přizpůsobovacího obvodu – čtvrtvlnným impedančním transformátorem (obr. 4.7A.7a), ladicími pahýly (obr. 4.7A.7c,d) nebo jejich kombinací (obr. 4.7A.7b) – nebo přizpůsobením tvaru flíčku (štěrbiny a zářezy).



Obr. 4.7A.7 Přizpůsobovací obvody, a) čtvrtvlnný transformátor, b) čtvrtvlnný transformátor s ladícím pahýlem, c), d) ladící pahýl [41].



Dobře přizpůsobená anténa by měla pokrývat na celém požadovaném provozním frekvenčním rozsahu definované úrovně parametrů, které by se v tomto rozsahu měly měnit jen minimálně ($PSV < 2$, modul činitele odrazu $s_{11} < -10$ dB, stabilní hodnoty zisku, šířka svazku hlavního laloku a vyzářovací diagram přes požadovanou šířku pásma).

Ve **vrstvě B** bude uveden konkrétní příklad výpočtu širokopásmové planární antény, bude ukázán vliv tvaru a rozměrů flíčku, volba napájení i volba substrátu na vlastnosti antény.