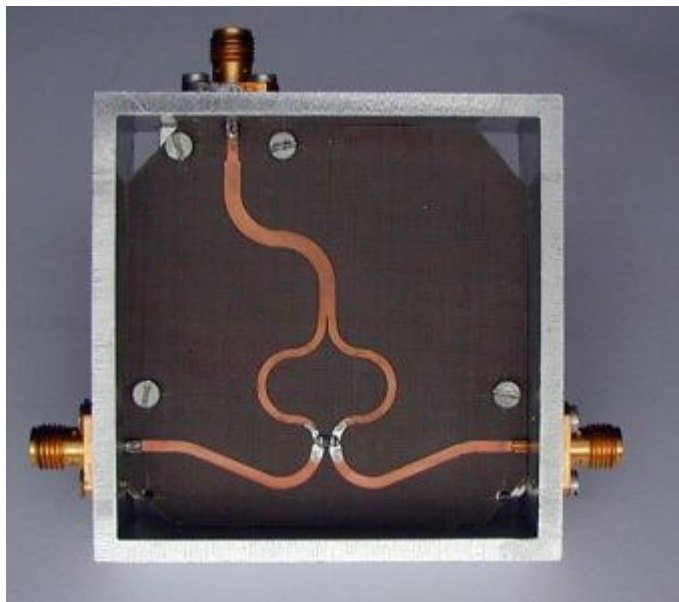


9.2 Některé pasivní obvody

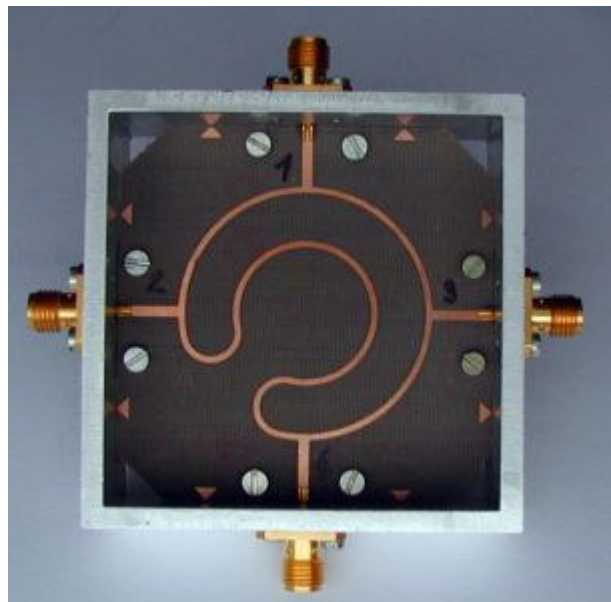
Základní teorie

Na této straně si můžete prohlédnout praktické realizace planárních mikrovlnných obvodů. Krom toho se dozvíte něco o principu, na kterém jsou uvedené obvody založeny. Podrobnější informace o dalších obvodech naleznete například v literatuře [24]

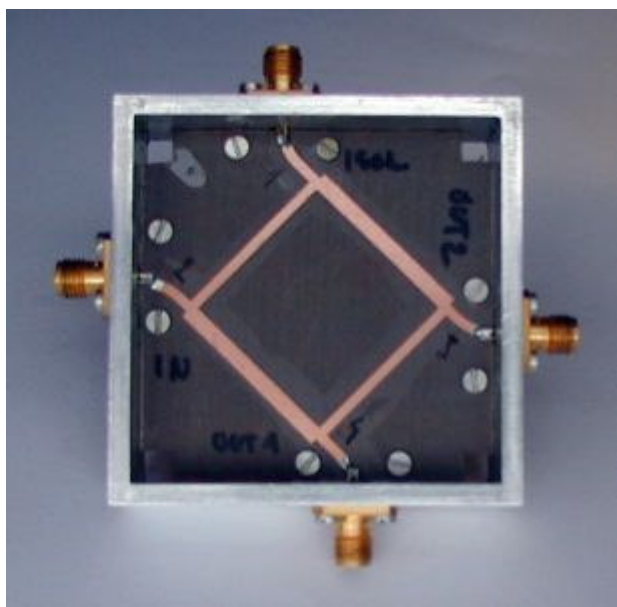
Vyobrazené obvody jsou výsledkem práce studentů FEL ČVUT na katedře elektromagnetického pole. Studenti obvody nejprve navrhli pomocí prostředků CAD (programu MIDE), a poté realizovali a změřili.



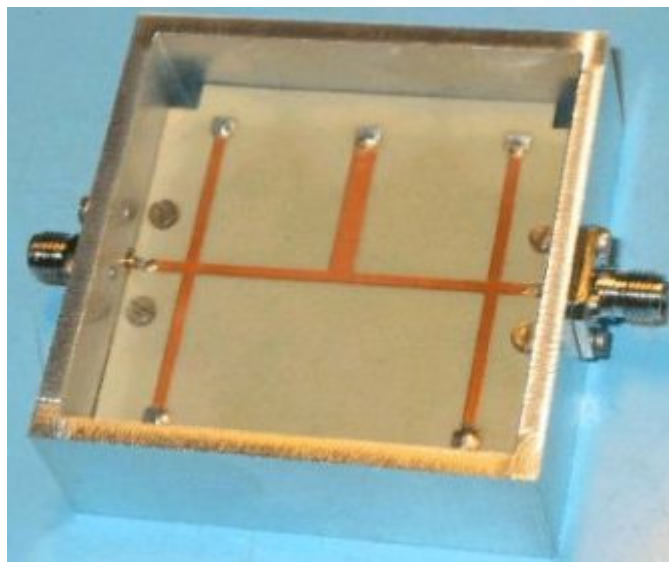
Wilkinsonův dělič výkonu - [podrobněji](#)



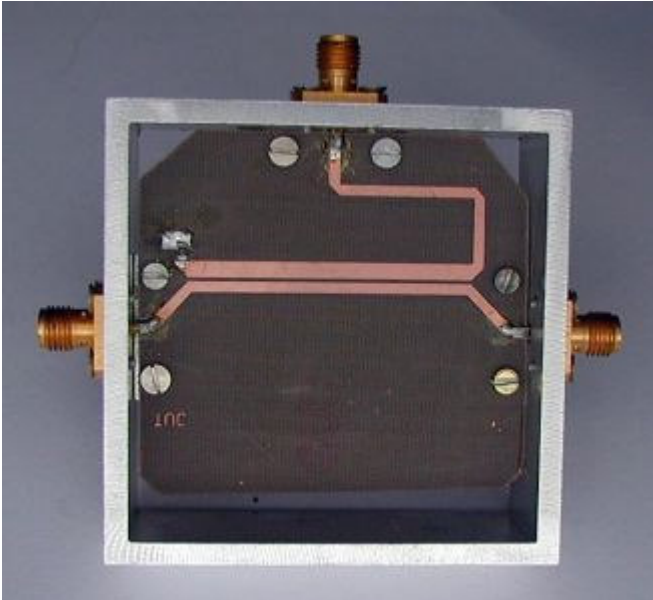
Vazební člen "Rat-race" - [podrobněji](#)



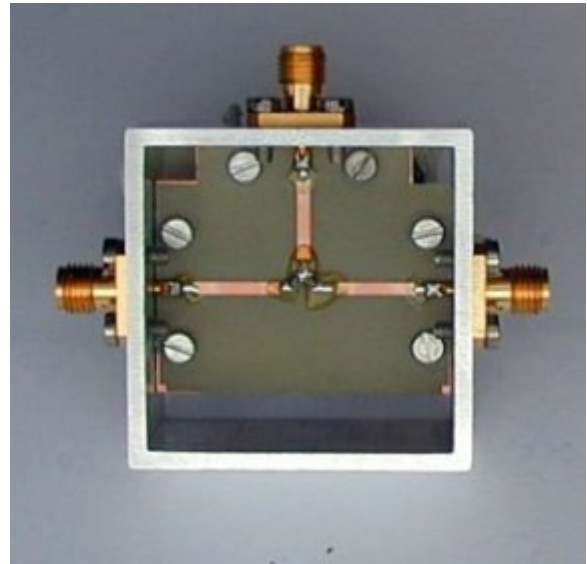
Dvojpříčkový hybrid - [podrobněji](#)



Filtr - [podrobněji](#)



Směrová odbočnice - [podrobněji](#)



Odporový dělič výkonu - [podrobněji](#)

9.2 Některé pasivní obvody

Základní teorie

Wilkinsonův dělič výkonu

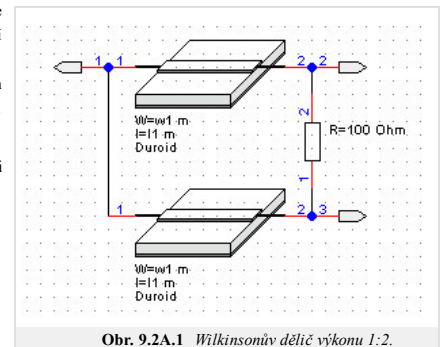
Určení	slouží k dělení výkonu na dvě stejné části, nebo ke sloučení výkonu vytvořeného dvěma zdroji do společné zátěže. Při napájení do brány 1 mají obě vlny vystupující branami 2 a 3 stejnou fázi.
Počet bran	3
Název modelu v programu WinMIDE	Wilkinson

Nekompenzovaný Wilkinsonův dělič

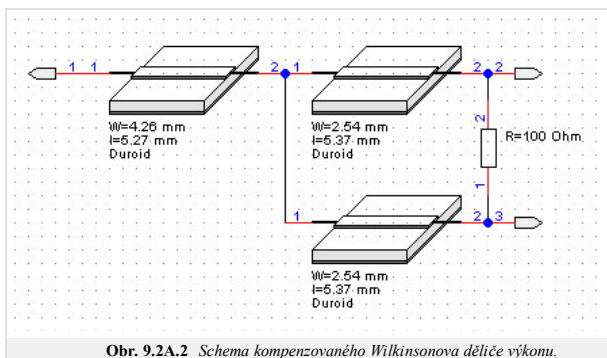
Wilkinsonův dělič výkonu [22] je tvořen dvěma čtvrt vlny dlouhými úseky vedení o charakteristické impedanci rovné $1,41 \cdot Z_0$, kde Z_0 je impedance zdrojů a zátěže. Tyto dva úseky vedení rozbočují energii priváděnou přivodním vedením na bránu 1. Výstupní brány 2 a 3 dostávají shodně polovinu energie.

Izolaci mezi branami 2 a 3 zlepšuje odpor o hodnotě $2 \cdot Z_0$. Pro signál vstupující branou 1 se odpor neuplatní (oba jeho konce jsou na stejném potenciálu). Signál vstupující branou 2 se do brány 3 dostává dvěma cestami: přímo přes odpor R a přes oba úseky vedení, zapojené do kaskády. Tyto dva signály jsou na bráně 3 v protifázi a vzájemně se ruší.

Správná funkce je podmíněna dodržением délky vedení rovné čtvrtině délky vlny, a tím, že odpor R má mít zanedbatelné parazitní vlastnosti (tedy musí být také zanedbatelně dlouhý vůči vlnové délce).



Kompenzovaný Wilkinsonův dělič

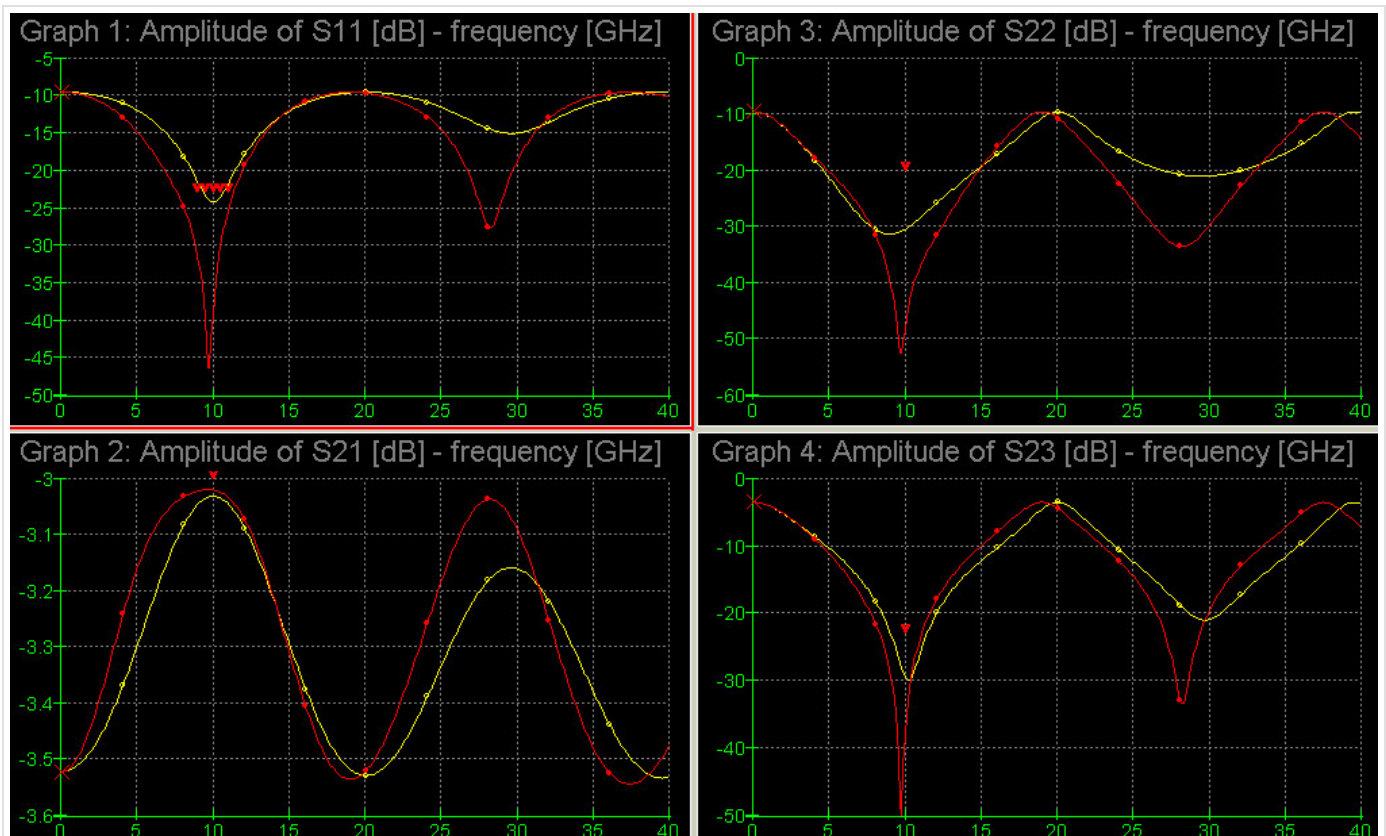


Pásmo frekvencí, ve kterém má Wilkinsonův dělič uspokojivé vlastnosti, lze rozšířit přidáním dalšího vedení, které zlepšuje impedanční přizpůsobení vstupní brány [23].

Bývá to opět čtvrtvlnný úsek vedení o impedanci $0,84 \cdot Z_0$. Ramena vedoucí k branám 2 a 3 pak mají impedanci $1,18 \cdot Z_0$. Pokud provedeme řez spojem všech tří vedení, pak směrem k bráně jedna "uvidíme" vstupní impedanci Z_0 transformovanou na hodnotu $1/1,41 \cdot Z_0$. Zprava pak vidíme paralelní spojení dvou impedancí $1,41 \cdot Z_0$, tedy rovněž $1/1,41 \cdot Z_0$. Tak je obvod ve stavu impedančního přizpůsobení.

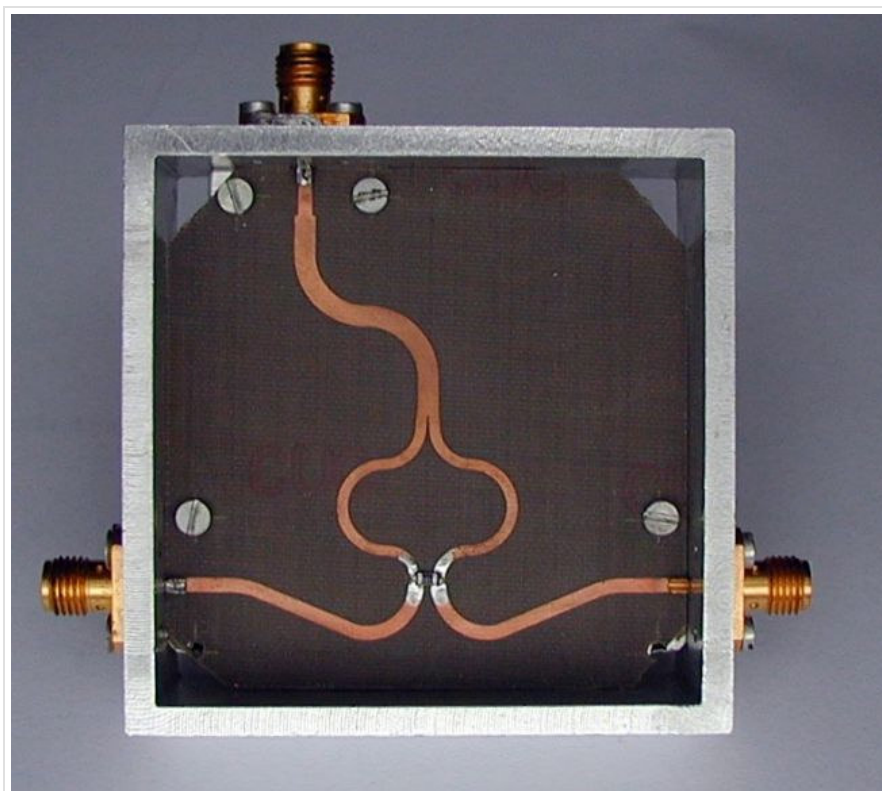
Proč je tento obvod širokopásmový? Zatímco u nekompenzovaného Wilkinsonova děliče dochází k transformaci impedancí v poměru 1:2, transformace impedance prostřednictvím čtvrtvlnných úseků je mezi impedancemi v poměru tolika 1:1,41. Krom toho je možno nastavením odlišných délek úseků vedení u bran 2 a 3 pásmo dále rozšířit.

Porovnání vlastností nekompenzovaného a kompenzovaného děliče výkonu naleznete na obr. 9.2A.3.



Obr. 9.2A.3 Srovnání vlastností nekompenzovaného (žlutě) a kompenzovaného (červeně) děliče výkonu. Simulace programem WinMIDE.

Příklad kompenzovaného děliče je možno spatřit na následujícím obrázku, společně s několika poznámkami k jeho konstrukci a činnosti.



Obr. 9.2A.4 *Praktická realizace Wilkinsonova členu - Wilkinsonův dělič výkonu provedený v mikropáskovém vedení. Čtvrťlnné úseky vedení jsou ohnuty tak, aby jejich konce ležely blízko sebe a umožnily tak propojení pomocí odporu v provedení SMD. Jde o tzv. kompenzovaný Wilkinsonův dělič. Ze vstupního konektoru (nahore) je signál přiveden na mikropáskové vedení. Rozbočení vedení je provedeno tak, aby byla změna směru šíření vlny podél vedení pozvolná.*

Dělič bývá někdy používán při konstrukci výkonových zesilovačů, např. tak, že nejprve je výkon rozdělen na osm stejných částí kaskádním zapojením tří děličů v každé větvi, potom zesílen osmi tranzistorovými zesilovači a výsledný výkon je opět sloučen kaskádou děličů. Důležité je to, že výsledný zesilovač pracuje i v případě, že je některý z dílčích zesilovačů zničen. Ověřte změnu v přizpůsobení brány 2, je-li brána 3 zkratována.

[Zpět](#)

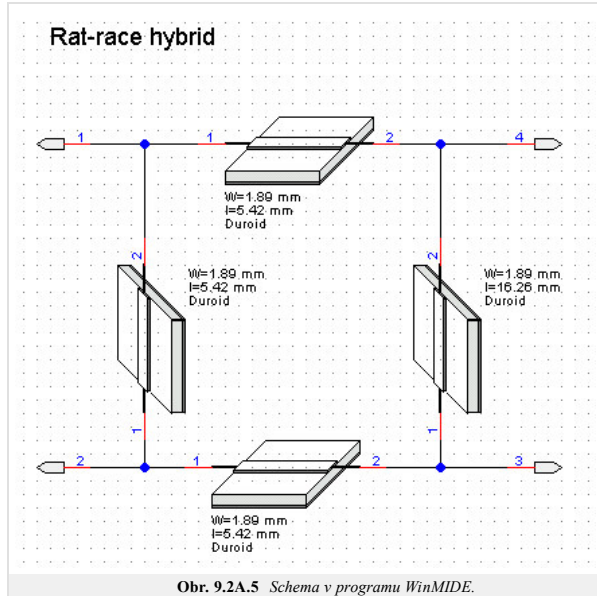
9.2 Některé pasivní obvody

Základní teorie

Kruhový vazební člen (Magic Tee Coupler, Rat-race Coupler)

Určení	k rozdělení výkonu, poskytuje vzájemně fázově posunuté signály
Počet bran	4
Název modelu v programu WinMIDE	ratrace

Kruhový vazební člen



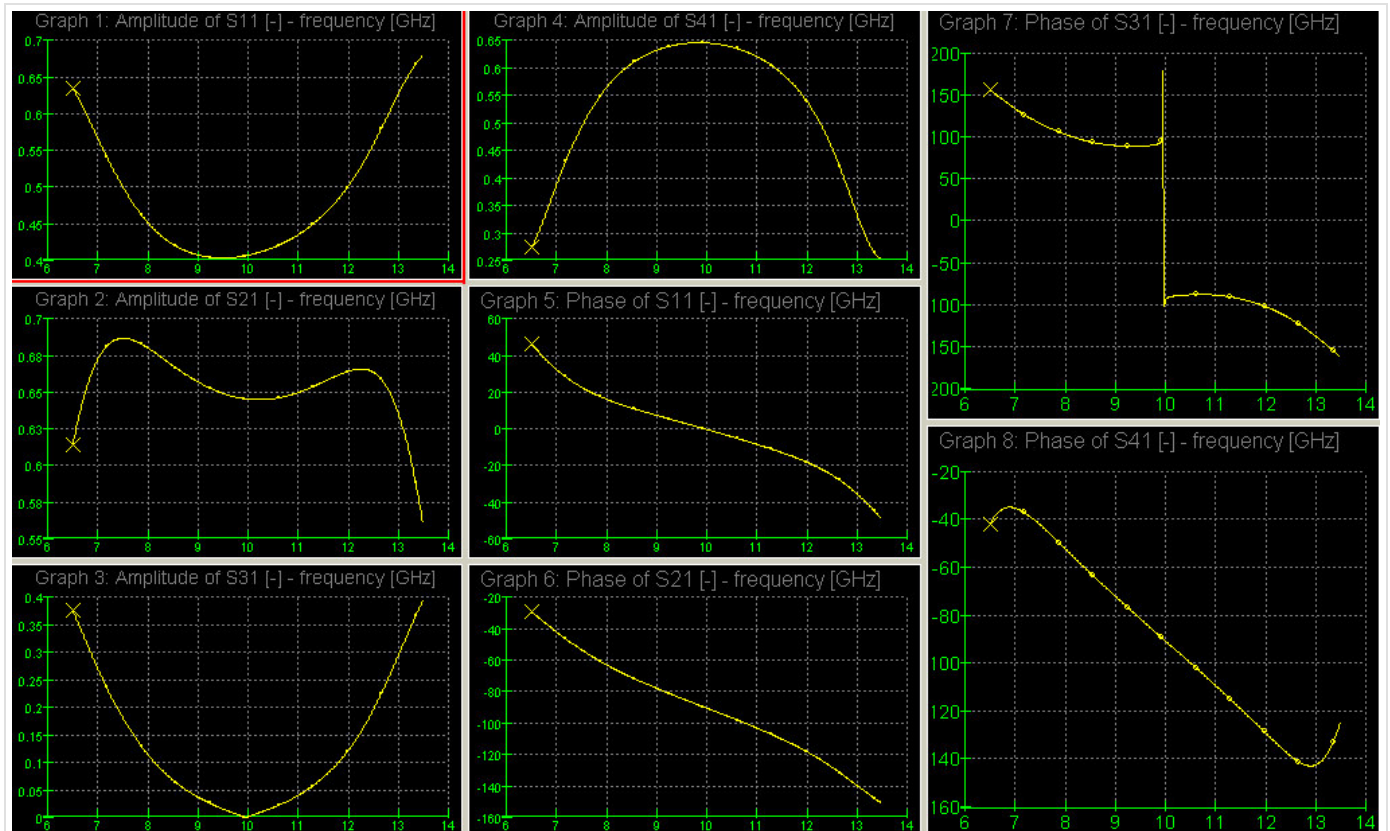
Tento vazební člen sestává ze čtyř úseků vedení, z nichž tři mají elektrickou délku rovnu čtvrtině vlny, zbývající rameno (zde mezi branami 4 a 2) má délku tří čtvrtin vlny.

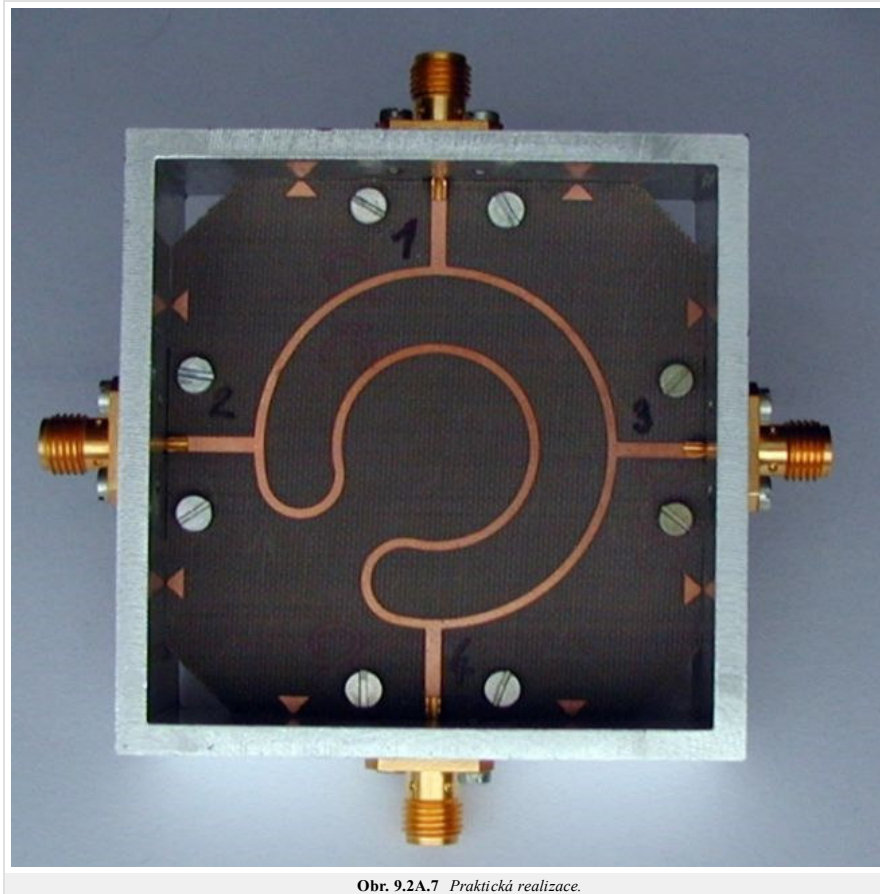
Vstupuje - li signál branou 1, pak do brány čtyři může projít buďto po směru hodinových ručiček s fázovým posunem 90 stupňů, nebo proti směru pohybu hodinových ručiček s fázovým posunem 360+90 stupňů. Signály se v ramenu 4 sčítají. Naopak do brány 3 prochází po směru hodinových ručiček cestu dlouhou 360 stupňů, ale v opačném směru jen 180 stupňů. Oba signály se tady v bráně 3 odečtou a proto nejsou brány 1 a 3 vázány.

Přenosy mezi ostatními branami je možno odvodit analogicky.

Pro správnou funkci je třeba dodržet impedance jednotlivých úseků vedení.

Parametry obvodu dle obr. 9.2A.5 naleznete na obr. 9.2A.6

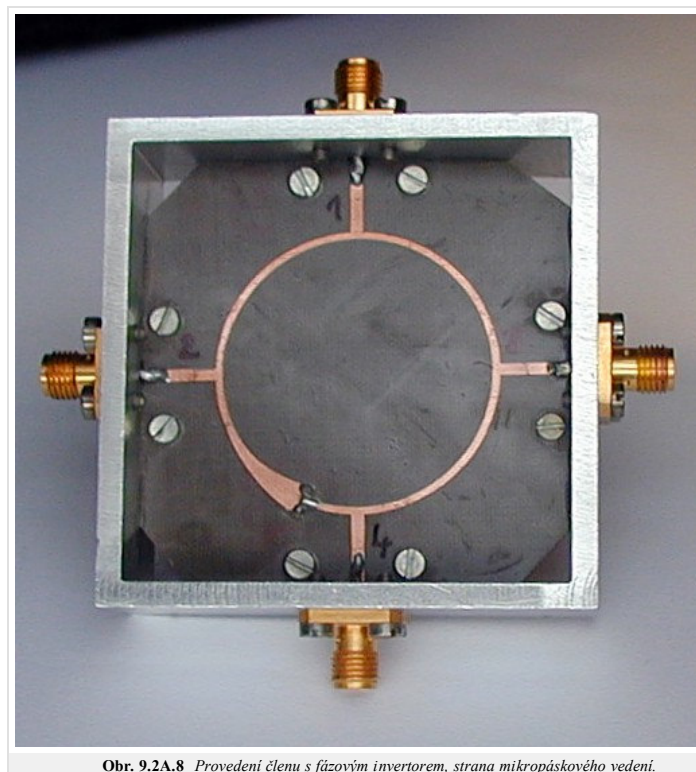




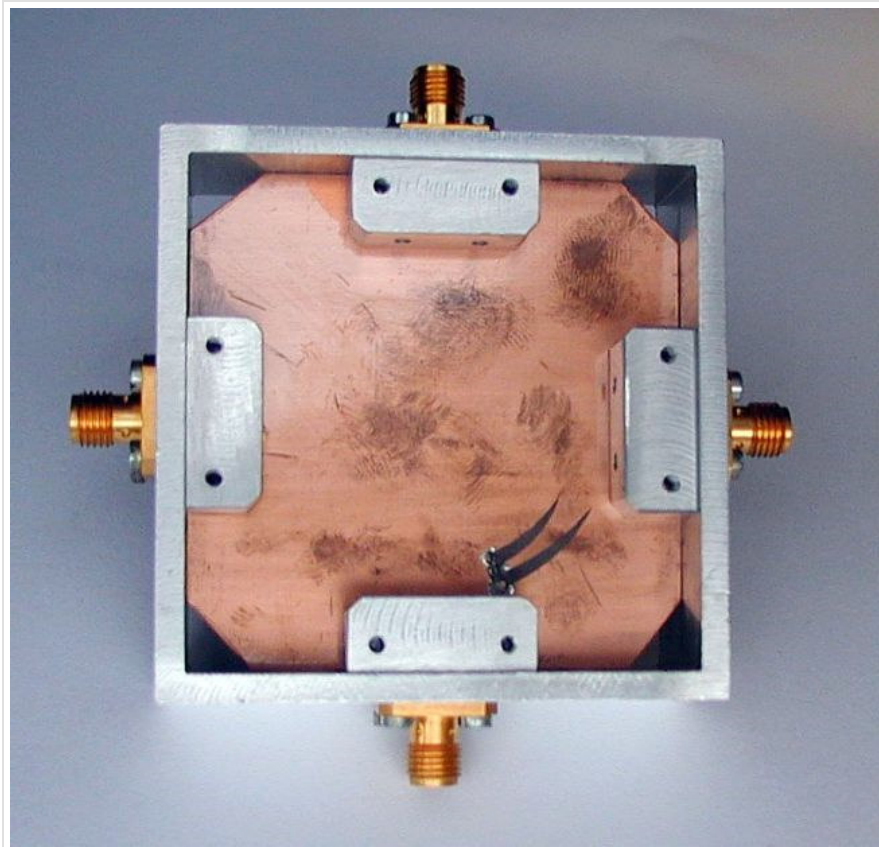
Obr. 9.2A.7 *Praktická realizace.*

Realizovaný vazební člen vidíme na obr. 9.2A.7. Delší rameno členu je umístěno dovnitř kruhu. Provedeno v mikropáskovém vedení.

Délka vedení může být někdy na závalu, především tehdy, když je požadována velká šířka pásma. To je pak omezeno především chováním úseku dlouhého třetí čtvrtě vlnové délky. Tomu můžeme zabránit tak, že jej nahradíme vedením o délce jedné čtvrtiny vlny a invertorem fáze. Invertor je možno provést například pomocí "překřížených" mikropásků. Vodič na lícové straně rozšíříme, na rubu mikropáskového vedení odstraníme část vodiče a vytvoříme tak mikropáskové vedení na opačné straně podložky. Takové provedení ukazuje obr. 9.2A.8. a obr. 9.2A.9.



Obr. 9.2A.8 *Provedení členu s fázovým invertorem, strana mikropáskového vedení.*



Obr. 9.2A.9 Provedení členu s fázovým invertorem, rub plošného spoje.

[Zpět](#)

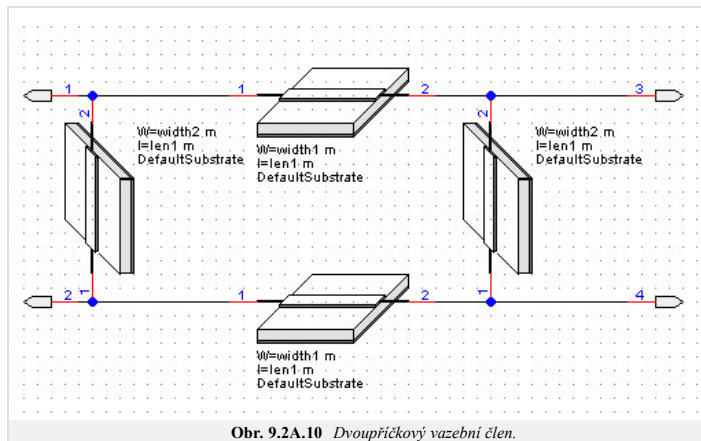
9.2 Některé pasivní obvody

Základní teorie

Příčkový vazební člen

Určení	dělení výkonu; poskytuje výstupní signály vzájemně fázově posunuté
Počet bran	4
Název modelů v programu WinMIDE	2hybr, 3hybr

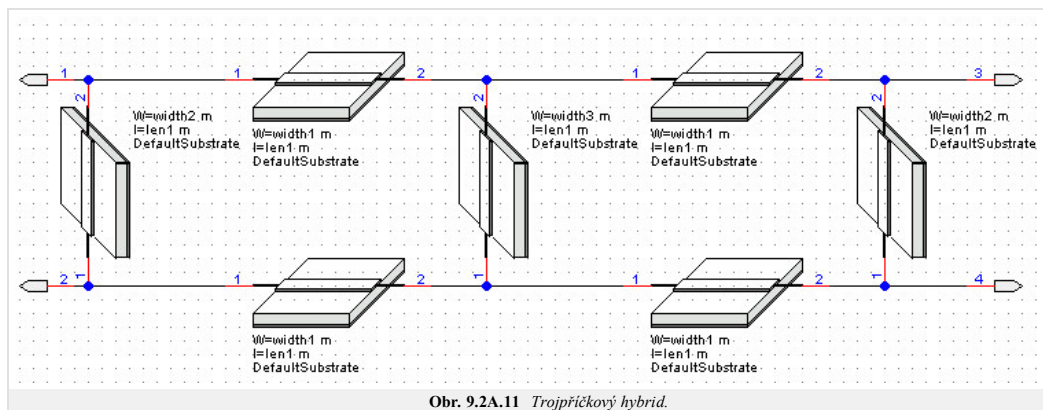
Dvoupříčkový vazební člen

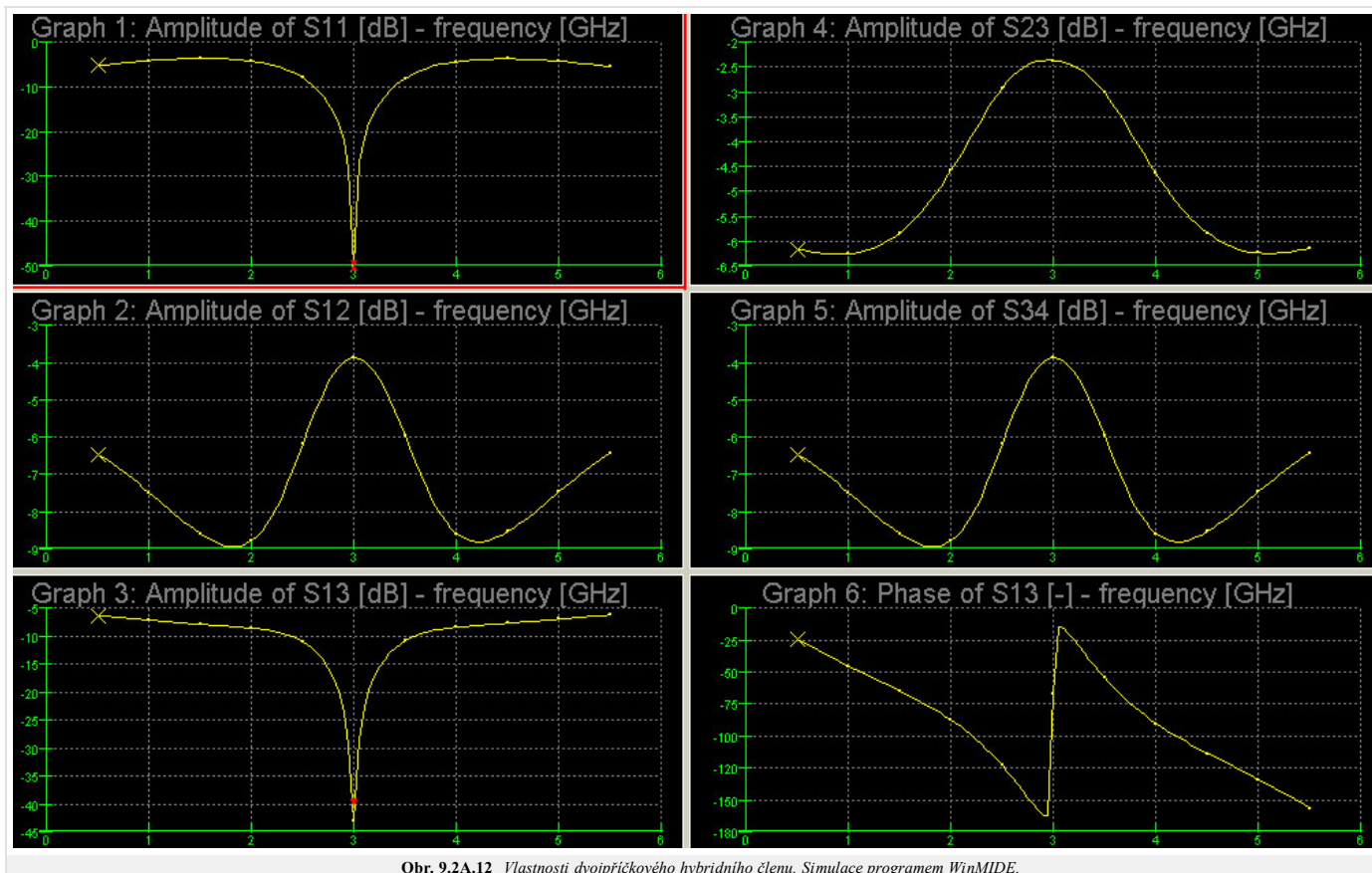


Příčkový hybridní člen (obr. 9.2A.10) je tvořen čtveřicí vedení o shodné elektrické délce 90 stupňů na střední frekvenci.

Signál z brány 1 postupuje skrz hybrid jednak ve směru hodinových ručiček, jednak proti směru jejich pohybu. V každé z bran oba tyto signály interferují. Zatímco v braně 2 a 3 jsou tyto dva dílčí signály v protifázi, v braně 4 jsou ve fázi a sčítají se. Vhodným nastavením hodnot impedance lze dosáhnout toho, že signál z brány 1 vystupuje jen branami 3 a 4, přičemž tyto výstupní signály jsou fázově posunuty o 90°.

Směrové vlastnosti a šířku pásma lze rozšířit přidáním dalších příček [26].





Obr. 9.2A.12 Vlastnosti dvojpříčkového hybridního členu. Simulace programem WinMIDE.

K návrhu

Za předpokladu, že jsou úseky vedení dlouhé právě čtvrt vlny (pozor, to může znamenat různé fyzické délky, neboť na mikropáskovém vedení závisí konstanta šíření na jeho sířce, která určuje impedanci), lze pro průchozí útlum odvodit

$$IL = 20 \log \left(\frac{Z_v}{Z_1} \right) \quad (9.2A.1)$$

a pro vazbu

$$C = 20 \log \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{Z_{v2}}{Z_v} \right)^2}} \right] \quad (9.2A.2)$$

Přitom byly zanedbány ztráty ve vedeních.

Rozptylové parametry pak lze (za výše uvedených předpokladů) zapsat jako

$$S_{11} = \frac{1}{D} \left(\frac{Z_{v2}}{Z_v} \right)^2 \left\{ 1 - \left[\left(\frac{Z_v}{Z_{v2}} \right)^2 - \left(\frac{Z_v}{Z_{v1}} \right)^2 \right]^2 \right\}, \quad (9.2A.3)$$

$$S_{12} = \frac{2j}{D} \left(\frac{Z_{v2}}{Z_1 Z_v} \right) \left\{ \left(\frac{Z_v}{Z_{v2}} \right)^2 - \left(\frac{Z_v}{Z_{v1}} \right)^2 - 1 \right\}, \quad (9.2A.4)$$

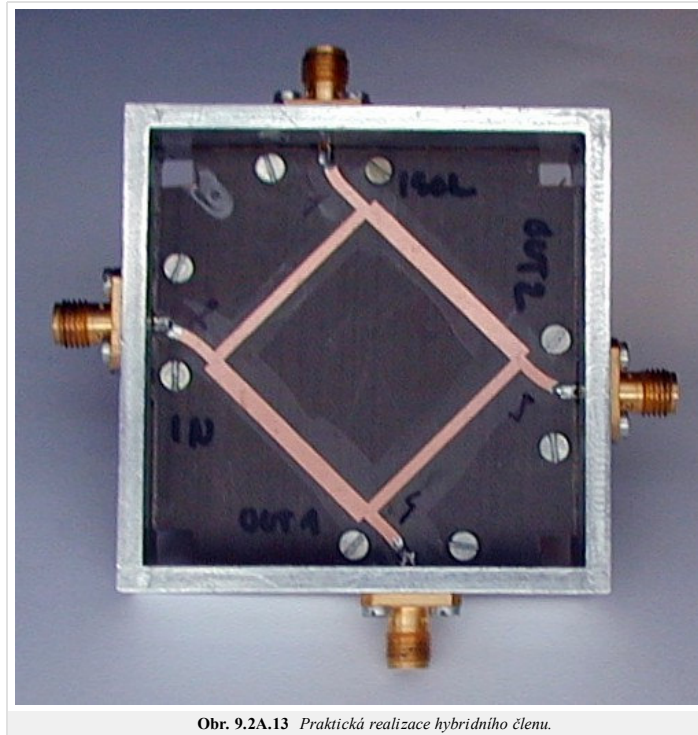
$$S_{13} = -\frac{2j}{D} \frac{Z_{v2}}{Z_v} \left\{ \left(\frac{Z_v}{Z_{v2}} \right)^2 - \left(\frac{Z_v}{Z_{v1}} \right)^2 + 1 \right\}, \quad (9.2A.5)$$

$$S_{14} = -\frac{4}{D} \frac{Z_{v2}}{Z_{v2}}, \quad (9.2A.6)$$

kde bylo pro zjednodušení psáno

$$D = 4 \left(\frac{Z_{v2}}{Z_{v1}} \right)^2 + \left(\frac{Z_{v2}}{Z_v} \right)^2 \left\{ \left(\frac{Z_v}{Z_{v2}} \right)^2 - \left(\frac{Z_v}{Z_{v1}} \right)^2 + 1 \right\}^2.$$

Ve výše uvedených vztazích mělo Z_v význam *charakteristické impedance* napájecích vedení, charakteristické impedance mezi branami 1 a 3, 2 a 4 jsou označeny indexem 1 a zbývající dvě vedení mají charakteristickou impedanci označenou indexem 2.



Obr. 9.2A.13 Praktická realizace hybridního členu.

Na obrázku vidíme dvoupříčkový hybridní člen, který dělí výkon vstupující branou "IN" na dvě stejné části do bran "OUT1" a "OUT2". Zbývající brána "ISOL" je izolována, signál ze vstupu do ní (alespoň na pracovní frekvenci) neprochází.

[Zpět](#)

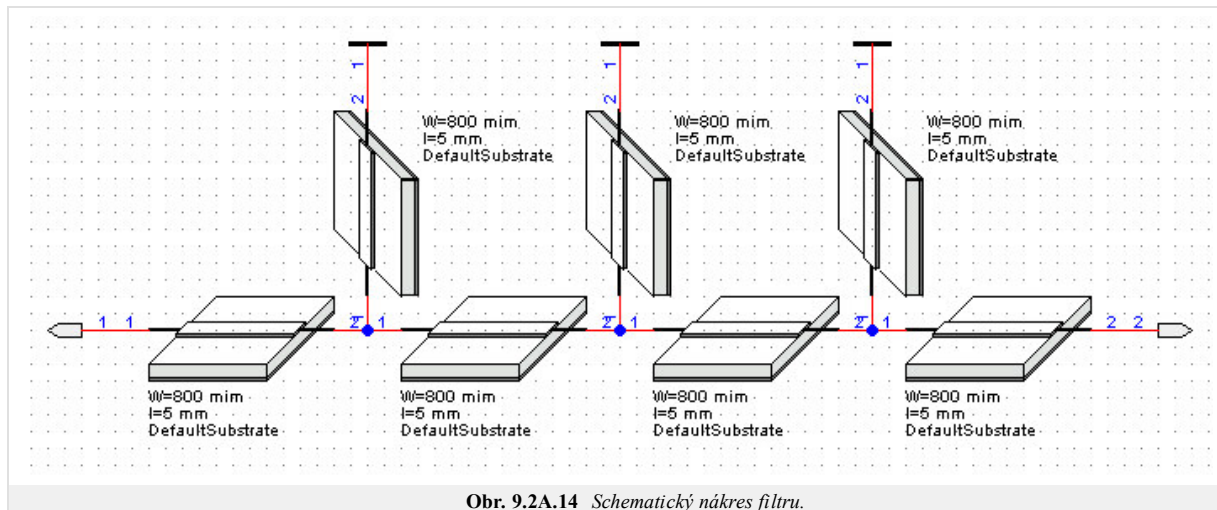
9.2 Některé pasivní obvody

Základní teorie

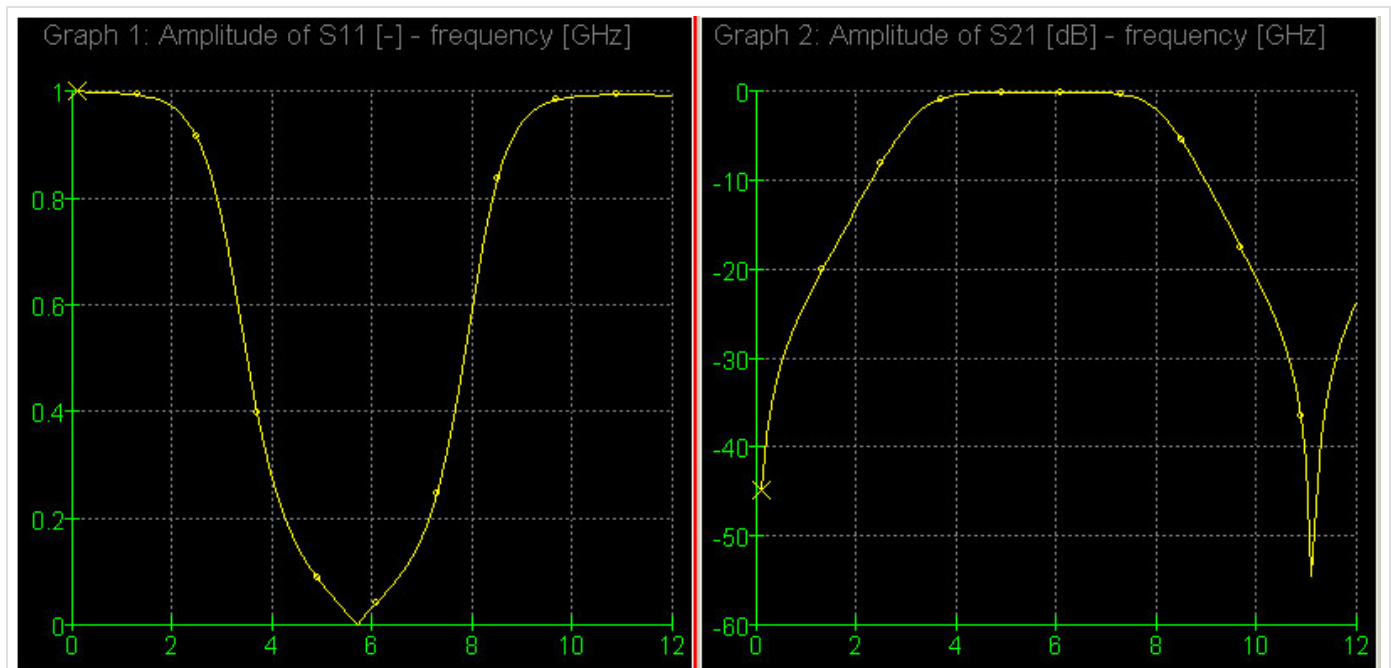
Filtr - pásmová propust

Určení	K oddělení signálů o různých frekvencích (pásmová propust).
Počet bran	2
Model ve WinMIDE	BandPass

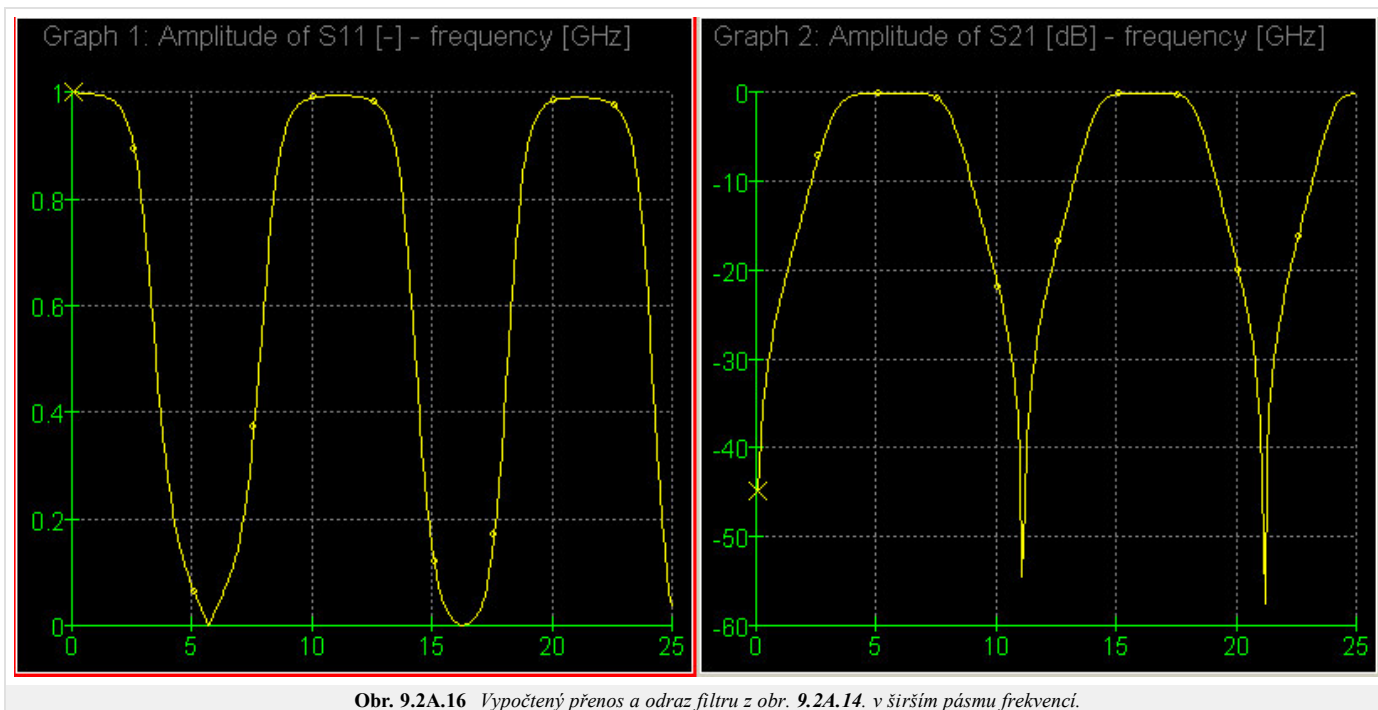
Mikrovlnné filtry jsou navrhovány a vyráběny celou řadou způsobů. Zde bude uveden toliko jeden z nich, provedený v mikropásmovém vedení.



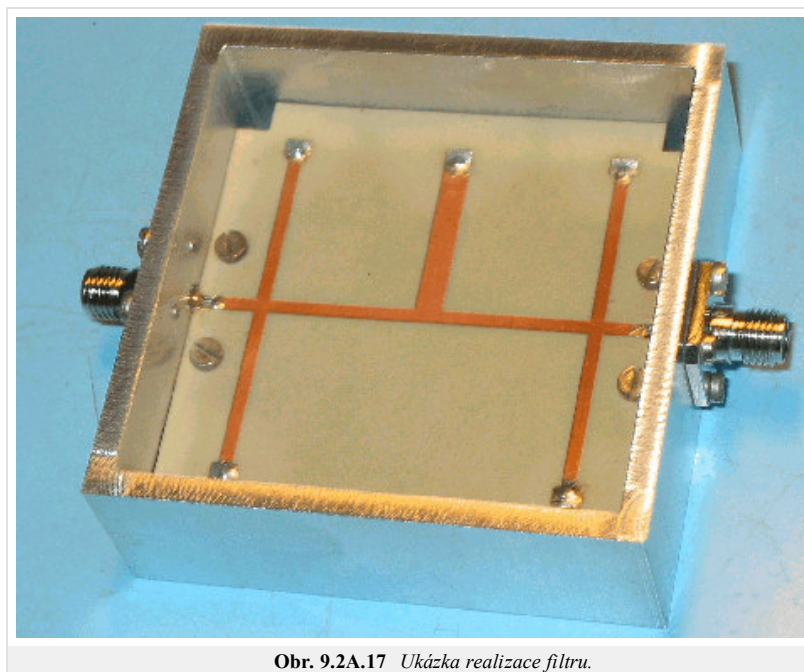
Výsledné vlastnosti filtru uvádí obr. 9.2A.15.



Obr. 9.2A.15 Vypočtený přenos a odraz filtru z obr. 9.2A.14.



Obr. 9.2A.16 Vypočtený přenos a odraz filtru z obr. 9.2A.14. v širším pásmu frekvencí.



Obr. 9.2A.17 Ukázka realizace filtru.

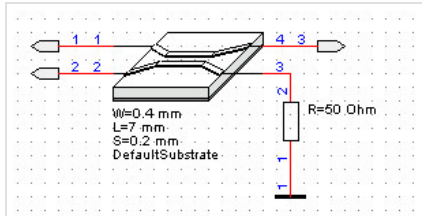
[Zpět](#)

9.2 Některé pasivní obvody

Základní teorie

Odbočnice

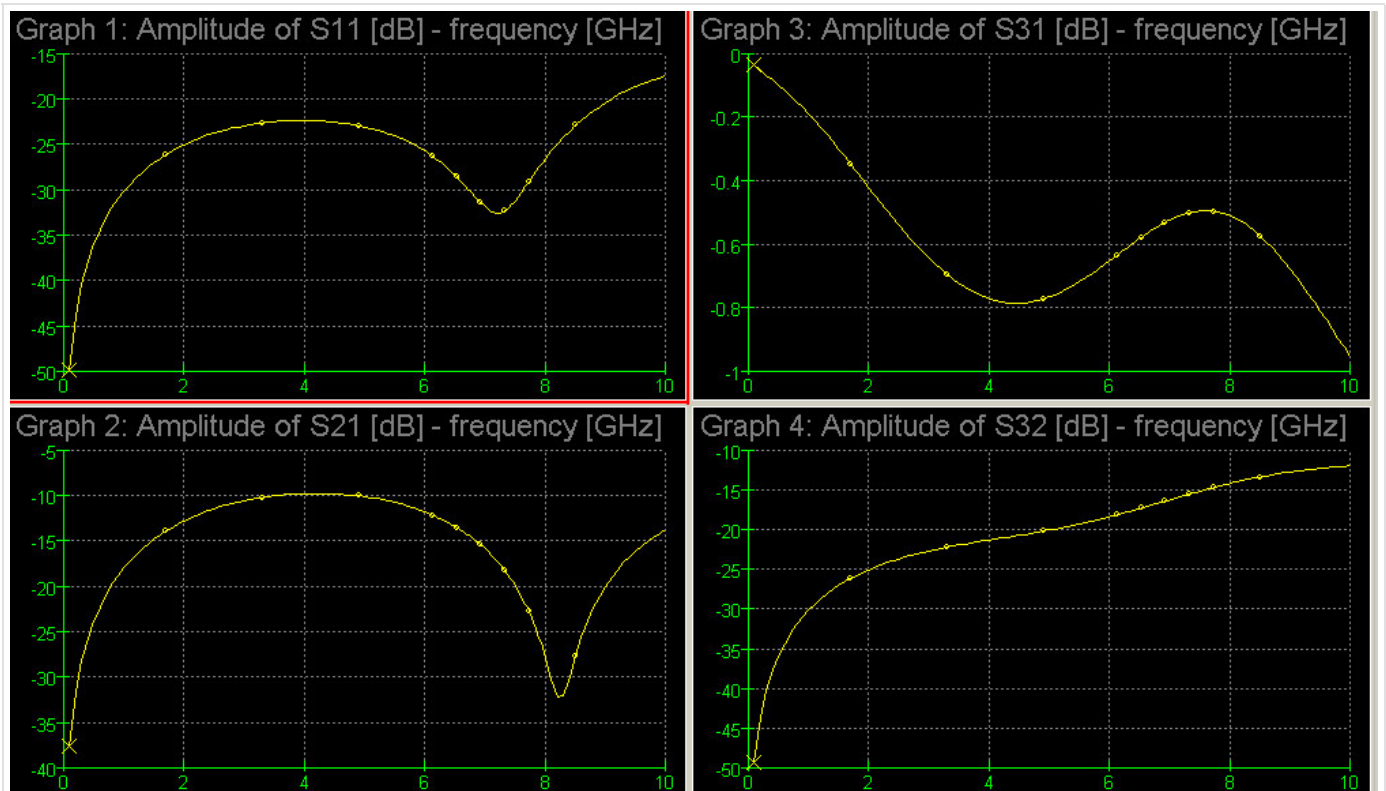
Určení	k odebrání části výkonu, k rozlišení postupující a odražené vlny
Počet bran	3
Název modelu v programu WinMIDE	odboč



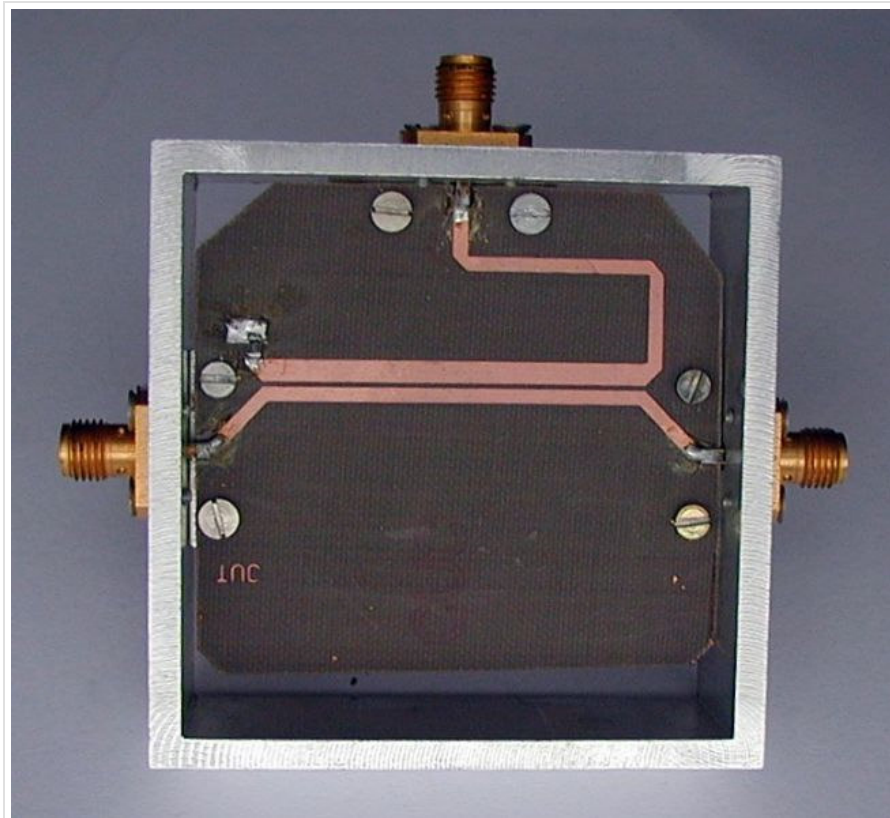
Obr. 9.2A.18 Schéma odbočnice (kopie ze schematického editoru WinMIDE)

Uvedená odbočnice je založena na vlastnostech vázaného vedení. Pracuje na principu elektromagnetické vazby mezi dvěma vedeními. Maximum přenosu z brány 1 do brány 2 nastává při elektrické délce vázaného vedení právě čtvrt vlny. Při dodržení této podmínky rovněž nedochází k vazbě mezi branami 3 a 2.

To lze splnit pouze tehdy, realizujeme-li odbočnici ve vedení s vlnou TEM (např. symetrickém páskovém vedení). Na ostatních vedeních nemá **sudý vid** stejnou **vlnovou délku** jako **lichý vid**. To zhoršuje výsledné vlastnosti odbočnice. Zpravidla pak postupujeme tak, že délku vázaného vedení stanovíme podle průměrné hodnoty vlnové délky pro oba vidy.



Obr. 9.2A.19 Výpočtená charakteristika mikropáskové odbočnice (simulace programem WinMIDE).



Obr. 9.2A.20 Odbočnice provedená v mikropáskovém vedení. Vstupní brána vpravo, výstupní vlevo, odbočení nahore. Horní vedení vlevo zakončeno odporem SMD.

Označíme-li Z_{ve} charakteristickou impedanci sudého vidu a Z_{v0} charakteristickou impedanci lichého vidu vázaného vedení, Z_v charakteristickou impedanci napájecích vedení, pak pro rozptylové parametry odbočnice máme [29]

$$S_{11} = \frac{R_e}{2} \left(1 - \frac{1-R_e^2}{\exp(2a_e l) \exp(2j\beta_e l) - R_e^2} \right) + \frac{R_0}{2} \left(1 - \frac{1-R_0^2}{\exp(2a_0 l) \exp(2j\beta_0 l) - R_0^2} \right), \quad (9.2A.7)$$

$$S_{12} = \frac{R_e}{2} \left(1 - \frac{1-R_e^2}{\exp(2a_e l) \exp(2j\beta_e l) - R_e^2} \right) - \frac{R_0}{2} \left(1 - \frac{1-R_0^2}{\exp(2a_0 l) \exp(2j\beta_0 l) - R_0^2} \right), \quad (9.2A.8)$$

$$S_{13} = \frac{1}{2} \left(\frac{(1-R_e^2) \exp(2a_e l) \exp(2j\beta_e l)}{\exp(2a_e l) \exp(2j\beta_e l) - R_e^2} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{(1-R_0^2) \exp(2a_0 l) \exp(2j\beta_0 l)}{\exp(2a_0 l) \exp(2j\beta_0 l) - R_0^2} \right), \quad (9.2A.9)$$

$$S_{14} = \frac{1}{2} \left(\frac{(1-R_e^2) \exp(2a_e l) \exp(2j\beta_e l)}{\exp(2a_e l) \exp(2j\beta_e l) - R_e^2} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{(1-R_0^2) \exp(2a_0 l) \exp(2j\beta_0 l)}{\exp(2a_0 l) \exp(2j\beta_0 l) - R_0^2} \right), \quad (9.2A.10)$$

kde jsme označili

$$R_e = \frac{Z_{ve} - Z_v}{Z_{ve} + Z_v}, \quad R_0 = \frac{Z_{v0} - Z_v}{Z_{v0} + Z_v}.$$

Přitom a a β jsou po řadě imaginární a reálná část konstanty šíření, přičemž index e nebo 0 označuje sudý nebo lichý vid, l je délka vázaného vedení.

Pro ideální směrovou odbočnici platí [31] $S_{11} = S_{14} = 0$, takže

$$R_e = -R_0, \quad \beta = 0, \quad Z_v = \sqrt{Z_{ve} Z_{v0}} \quad (9.2A.11)$$

Pro požadovanou vazbu C [dB] je pak třeba dodržet [32]

$$Z_{ve} = Z_v \sqrt{\frac{1+10^{-C/20}}{1-10^{-C/20}}}, \quad Z_{v0} = Z_v \sqrt{\frac{1-10^{-C/20}}{1+10^{-C/20}}}. \quad (9.2A.12)$$

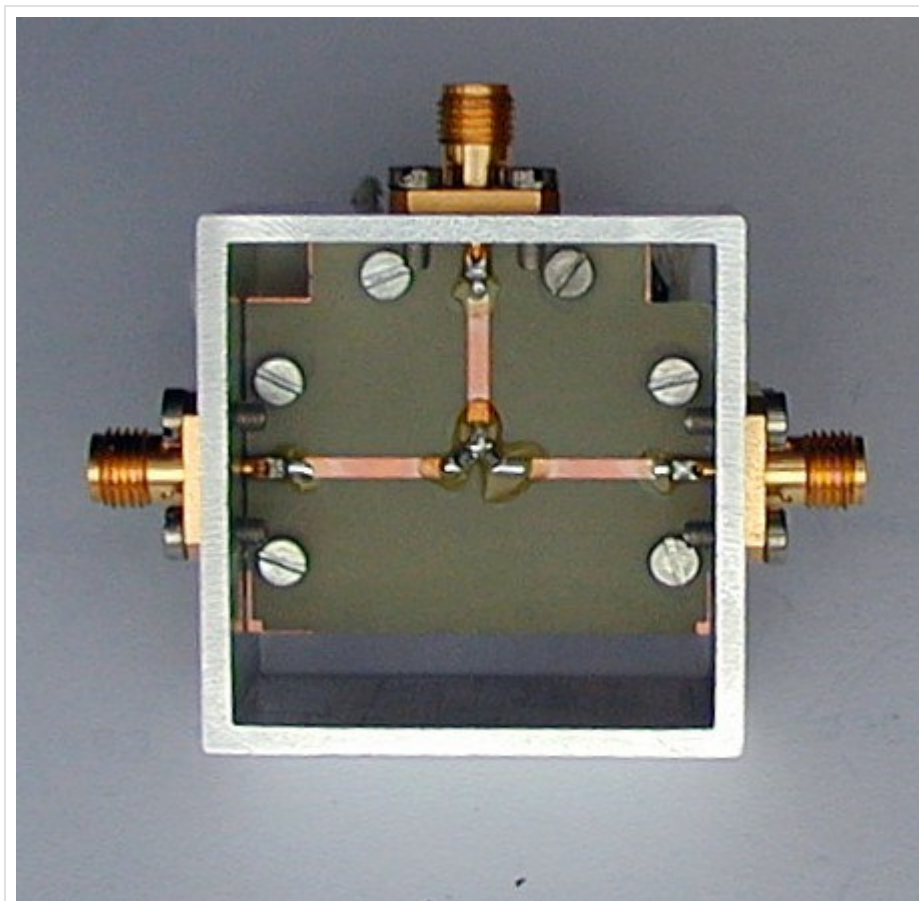
[Zpět](#)

9.2 Některé pasivní obvody

Základní teorie

Odporový dělič výkonu

Slouží k širokopásmovému rozdělení výkonu do dvou větví. Daní za širokopásmovost je ztráta energie v odporech a zvýšení úrovně šumu. Obvod uveden pro srovnání, není dodán model ve WinMIDE.



Obr. 9.2A.21 Odporový dělič výkonu.

Tento dělič výkonu je na závěr kapitoly přidán pro srovnání. Pokud jsou obvodové prvky provedeny tak, že jejich rozměry jsou podstatně menší než délka vlny, je možno i na frekvencích mikrovlnného pásma stavět "klasické" obvody. Vyobrazený obvod umožňuje rovným dílem dělit výkon z brány 1 (nahore) do bran 2 a 3. Mezi brány jsou zapojeny miniaturní odpory SMD. Pokud návrh respektuje parazitní vlastnosti takových obvodů, lze s odpory SMD řady 0605 stavět obvody až do 12 GHz [27]. Polovina výkonu vstupující vlny se přemění v teplo v odporech. Za to je uvedený obvod (na rozdíl od ostatních obvodů popsaných v této kapitole) širokopásmový.

Provedení obvodu si můžete prohlédnout na obr. 9.2A.21.

[Zpět](#)