

NÁVRH ÚZKOPÁSMOVÉHO ZESILOVAČE

Semestrální práce z předmětu X37CAD
(CAD pro vysokofrekvenční techniku)

Číslo zadání 32

Jméno: Jan Hlídaek

Kontakt: hlidej1@feld.cvut.cz

(hlidek@centrum.cz)

ZADÁNÍ:

Návrh úzkopásmového zesilovače

Úkol:

Navrhněte jednostupňový tranzistorový zesilovač s tranzistorem ATF13170 na frekvenci 17 GHz (změněno z původních 15GHz). Vstupní a výstupní přizpůsobovací obvody proveďte:

- a) s diskrétními součástkami
- b) pomocí úseků mikropásmového vedení.

Pokyny k vypracování:

Zkontrolujte, zda je tranzistor na zadané frekvenci stabilní. Pokud tomu tak není, požádejte cvičícího o změnu zadání.

Mikropásmová vedení navrhněte na podložce o síle $h = 0.8$ mm, pokovené 20 mikrometrů silnou vrstvou mědi. Relativní permitivita podložky je rovna 4, ztrátový činitel pak 0.01. Při návrhu uvažujte vliv diskontinuit (otevřené konce) na vedení.

Porovnejte možné alternativy zapojení. Určete šířku pásma pro pokles přenosu -3 dB a pásmo, v němž je přizpůsobení na vstupu a výstupu lepší než -20 dB.

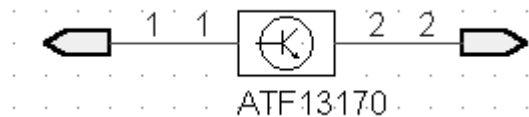
Návrh zpracujte tak, aby obsahoval toto zadání, schéma zapojení navržených obvodů, grafická znázornění vypočtených charakteristik zesilovačů (velikost odrazů a přenosů) a výkres motivu mikropásmových vedení.

Data použitých tranzistorů lze nalézt na www.mide.cz .

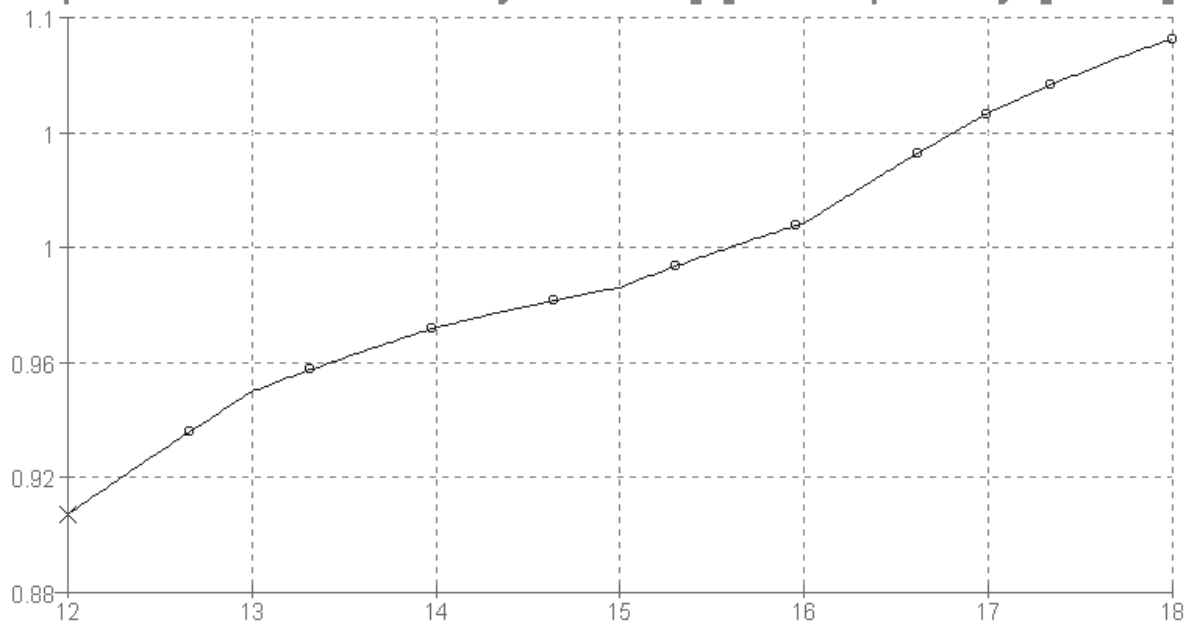
Celý zesilovač, jak kontrola stability, návrh s diskretními součástkami, i pomocí úseků mikropáskového vedení, byl navrhován v programu WinMide 5.0 . Bylo využito také modulů HF lines a Smith chart. Přizpůsobení zesilovače je prováděno na standardní impedanci 50Ω .

KONTROLA STABILITY TRANZISTORU:

Tranzistor nebyl na původně zadané frekvenci (15 GHz) stabilní (Rollet factor byl pod 0,9). Dle doporučení cvičícího jsem upravil zadání a tak návrh provádím na frekvenci 17 GHz (kde je Rollet factor mírně nad 1).



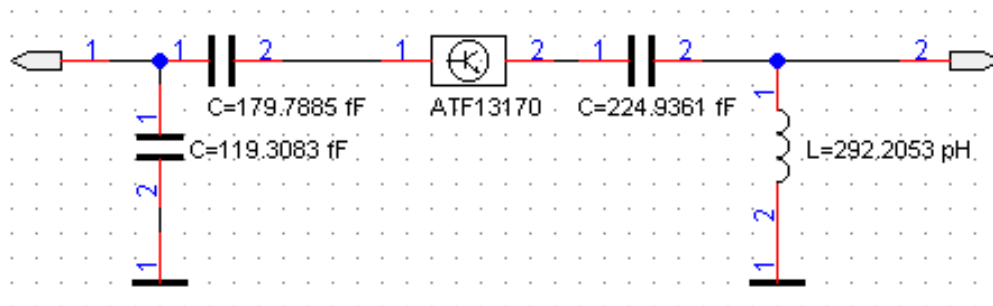
Graph 6: Rollet stability factor [-] - frequency [GHz]



Přizpůsobovací obvody S DISKRÉTNÍMI SOUČÁSTKAMI:

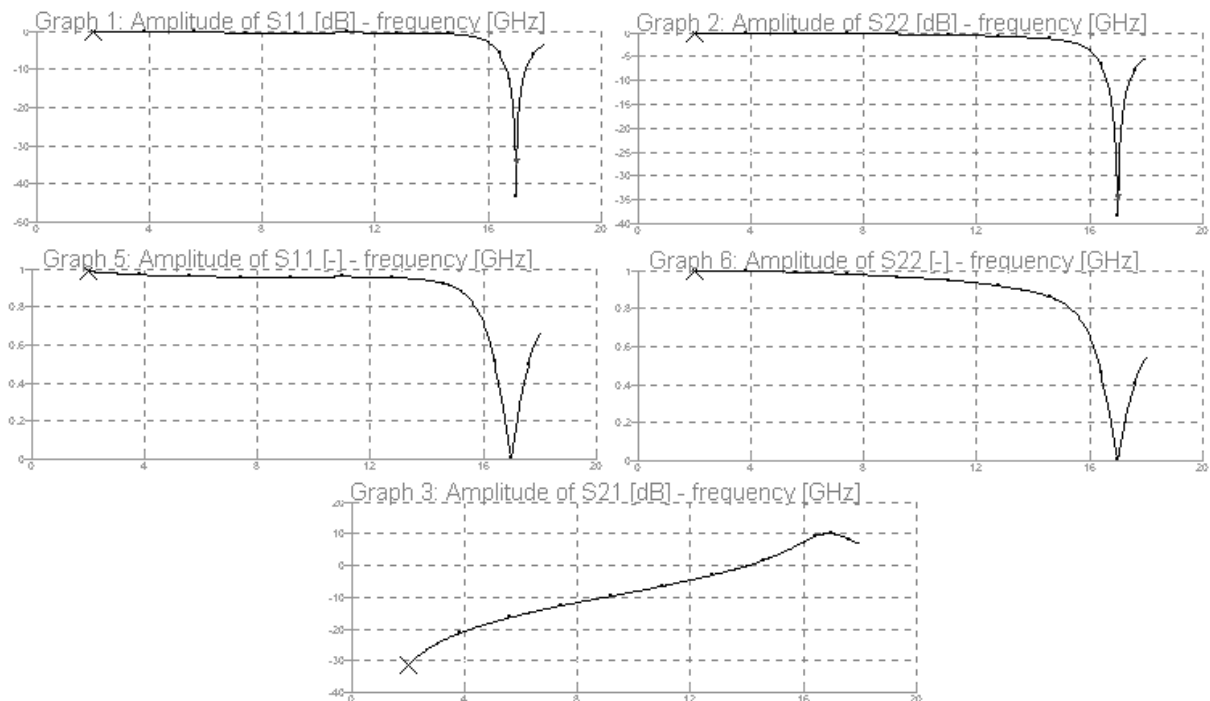
U těchto obvodů jsme se díky poměrně vysoké frekvenci dostali do oblasti, kde už vycházejí velikosti kapacit, případně indukčností, tak malé, že není možné je prakticky realizovat. Samozřejmě by tady šlo porovnávat různé možnosti zapojení, tak jak nám je pro každou stranu zapojení (vstup / výstup) ukáže návrh pomocí Smidthova diagramu, ale parametry obvodů vycházejí podobně. Navíc některá zapojení jsou ještě méně realizovatelná než jiná, proto vybírám toto schéma na základě hodnot součástek – nejvíce se blíží možné realizaci (která by ale přesto možná prakticky nebyla).

SCHÉMA ZAPOJENÍ:



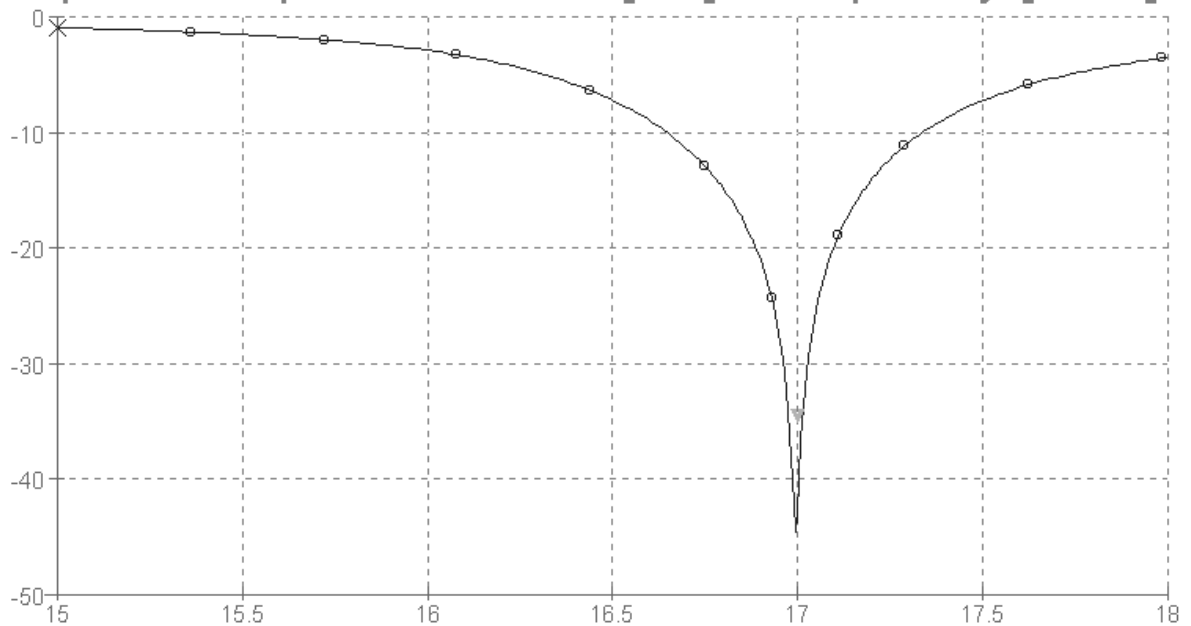
GRAFY KE SCHÉMATU:

Grafy – celkový pohled ve velkém frekvenčním rozsahu:



Pro koeficienty odrazu:

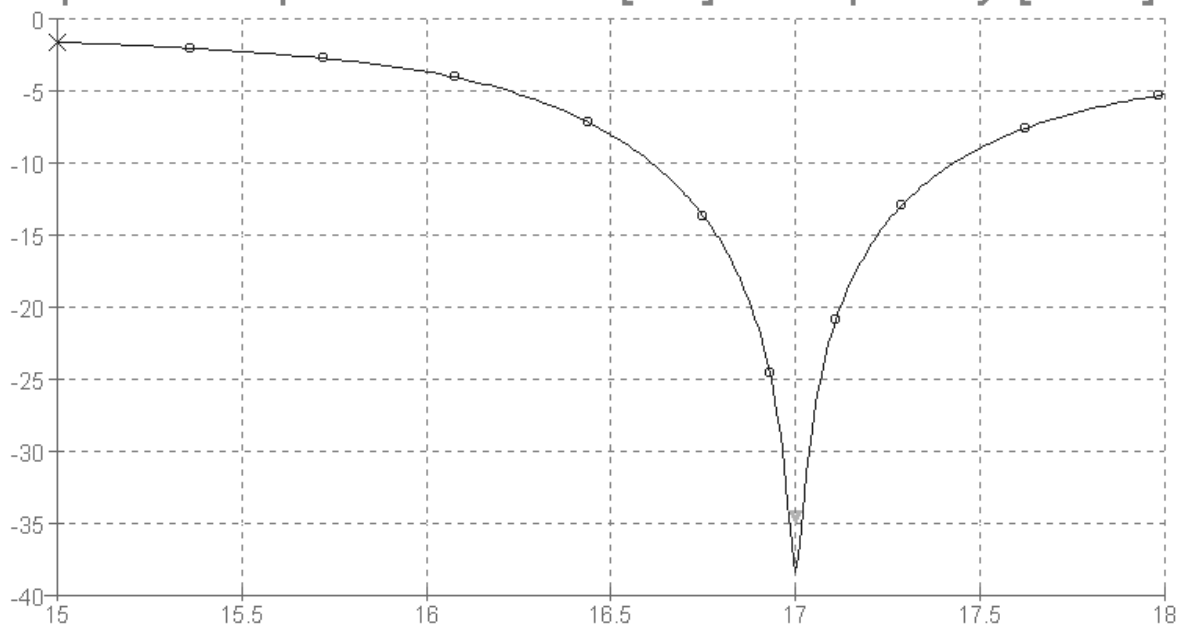
Graph 1: Amplitude of S11 [dB] - frequency [GHz]



(Poznámka:

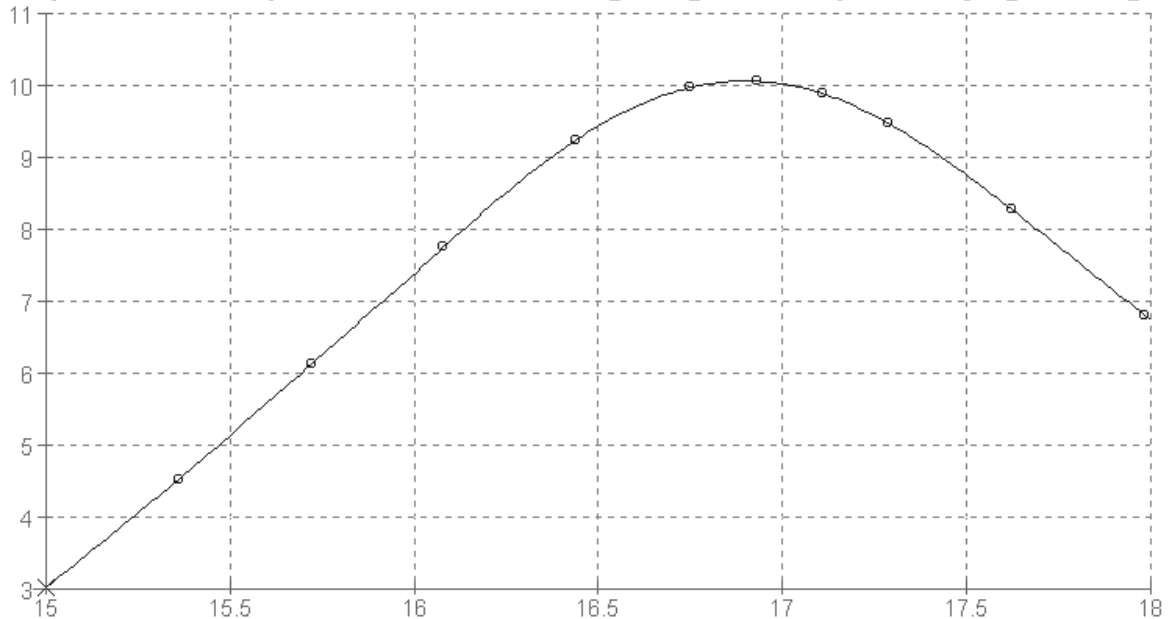
Aby bylo na grafech něco vidět, tak zde je vykresluji ne v celém spektru frekvencí, jak jsem ale zkusmo ověřil, tak např. předchozí graf by směrem k nižším frekvencím pokračoval do 0. Směrem k vyšším frekvencím pravděpodobně také, ale to už do těch vyšších pak chybějí údaje v datovém souboru ve WinMide pro daný tranzistor.

Graph 2: Amplitude of S22 [dB] - frequency [GHz]



Graf pro přenos:

Graph 3: Amplitude of S21 [dB] - frequency [GHz]



PÁSMO, V NĚMŽ JE PŘIZPŮSOBENÍ LEPŠÍ NEŽ -20 DB:

S_{11} :

(17,097 – 16,885) GHz → šířka pásma je: 212 MHz

Poměrná šířka pásma (BW): (dle tohoto vztahu bude počítáno ve všech dalších)

$$BW = \frac{f_{Horní} - f_{Dolní}}{\frac{f_{Horní} + f_{Dolní}}{2}} * 100 = \frac{17,097 - 16,885}{\frac{17,097 + 16,885}{2}} * 100 = 1,3[\%]$$

(Někdy se u tohoto výpočtu také používá ve jmenovateli geometrického průměru namísto aritmetického.)

S_{22} :

(17,120 – 16,880) GHz → šířka pásma je: 240 MHz
BW = 1,4 %

ŠÍŘKA PÁSMO PŘI POKLESU PŘENOSU -3 DB:

Pokles hodnoty činitele prostupu:

S_{21} :

(17,920 – 15,930) GHz → šířka pásma je: 1,990 GHz
BW = 11,8 %

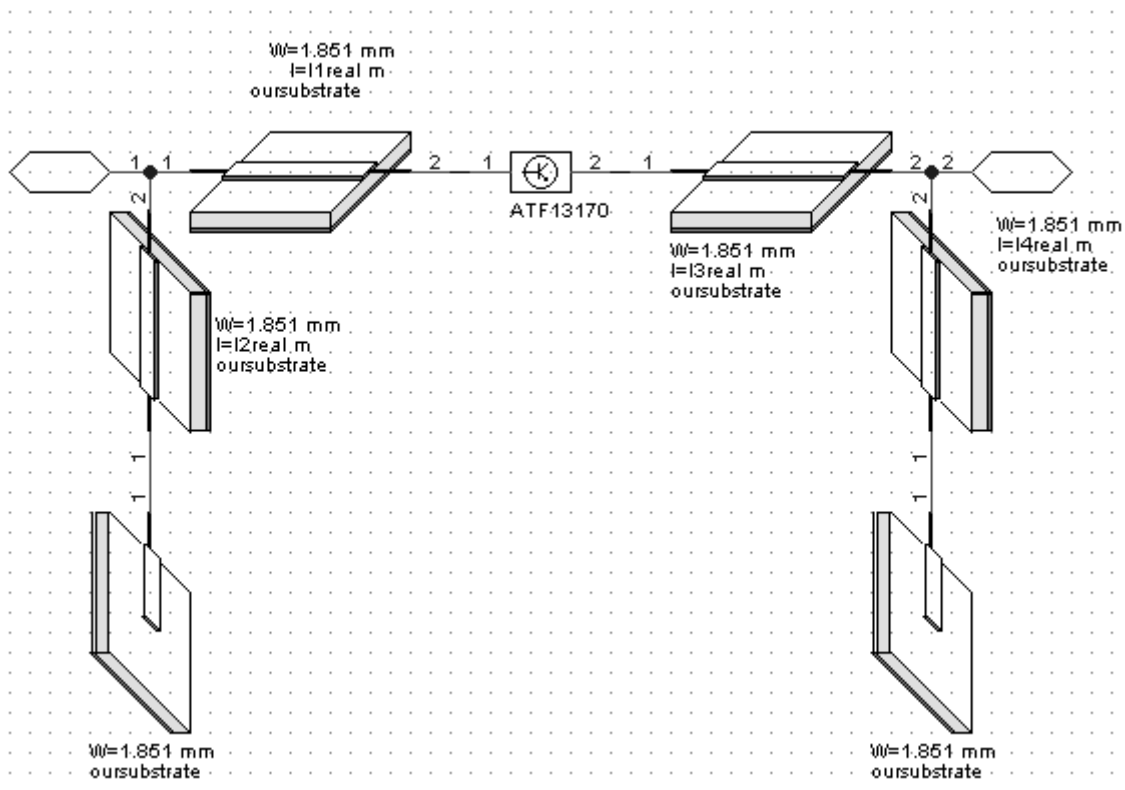
(Odečítání z grafu je vždy prováděno pomocí kurzorů ve WinMide, aby bylo co nejpřesnější)

Přizpůsobovací obvody POMOCÍ ÚSEKŮ MIKROPÁSKOVÉHO VEDENÍ:

Šířka mikropásku je: $w = 1.851 \text{ mm}$
 Vlnová délka je: $\lambda_g = 9,681 \text{ mm}$

Zde je obvod, který je navržen z úseků mikropáskového vedení, i otevřené konce jsou z mikropásku (je uvažován vliv diskontinuit (otevřené konce)).

SCHÉMA ZAPOJENÍ:



kde:

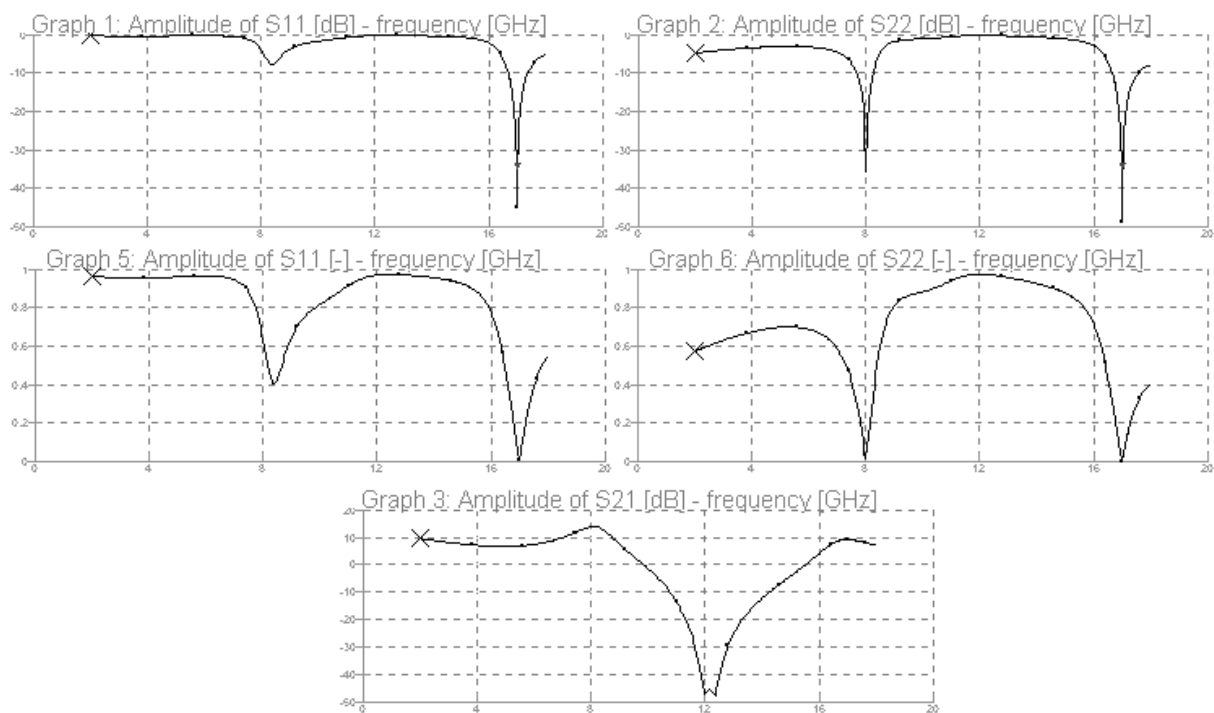
- $l_{1\text{real}} = 2.45686783455 \text{ mm}$
- $l_{2\text{real}} = 3.02127702162 \text{ mm}$
- $l_{3\text{real}} = 3.4218612127 \text{ mm}$
- $l_{4\text{real}} = 3.1357135158 \text{ mm}$

Pro porovnání, pokud by byly místo těchto mikropáskových konců zapojeny ideální otevřené konce:

- $l_1 = 2.47006653808 \text{ mm}$
- $l_2 = 3.29662975855 \text{ mm}$
- $l_3 = 3.44578898512 \text{ mm}$
- $l_4 = 3.40058165602 \text{ mm}$

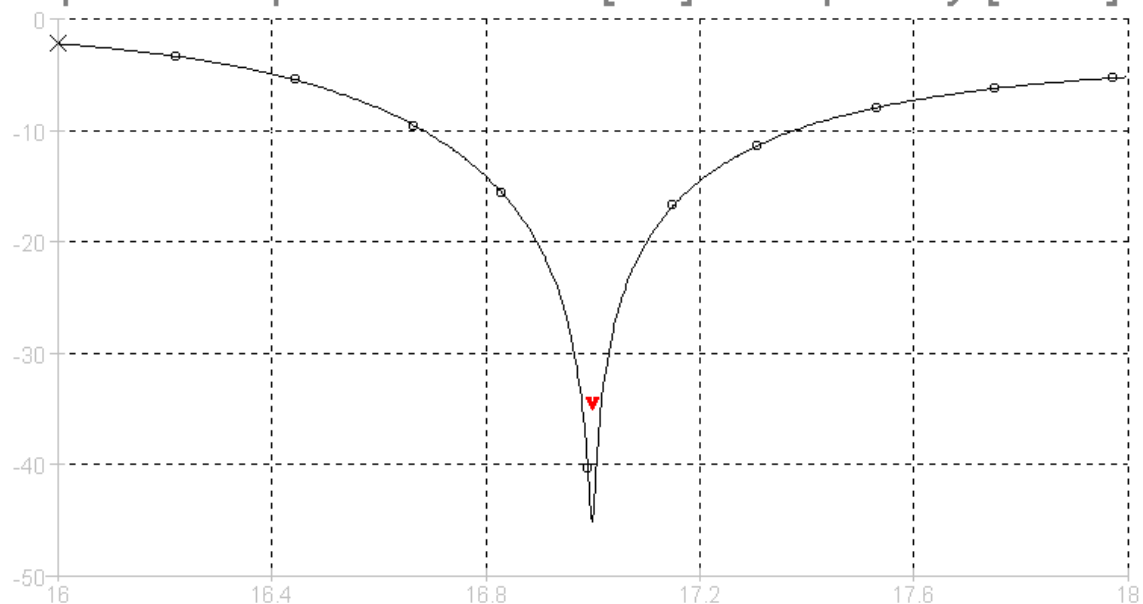
GRAFY KE SCHÉMATU:

Grafy – celkový pohled ve velkém frekvenčním rozsahu:

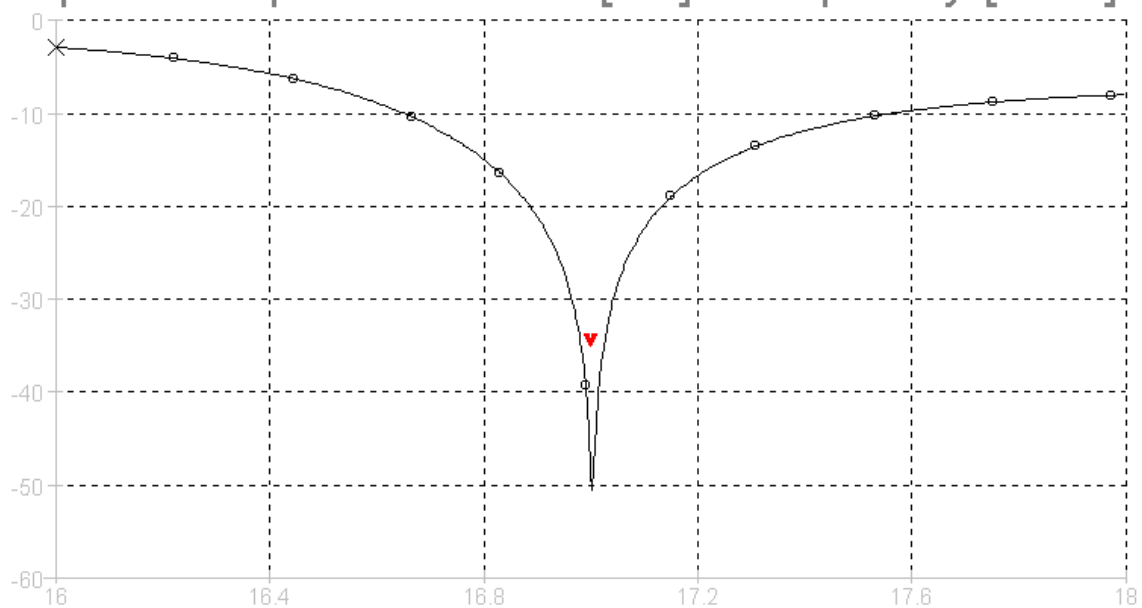


Pro koeficienty odrazu:

Graph 1: Amplitude of S11 [dB] - frequency [GHz]

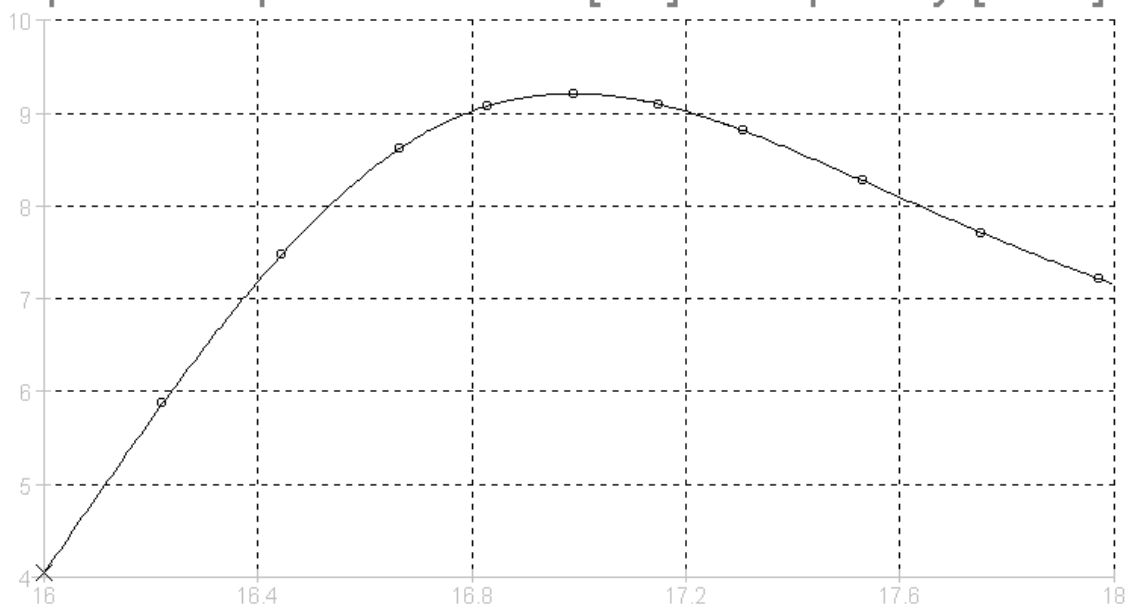


Graph 2: Amplitude of S22 [dB] - frequency [GHz]



Graf pro přenos:

Graph 3: Amplitude of S21 [dB] - frequency [GHz]



PÁSMO, V NĚMŽ JE PŘIZPŮSOBENÍ LEPŠÍ NEŽ -20 DB:

S_{11} :
(17,100 – 16,894) GHz → šířka pásma je: 206 MHz
BW = 1,2 %

S_{22} :
(17,132 – 16,888) GHz → šířka pásma je: 244 MHz
BW = 1,4 %

ŠÍŘKA PÁSMO PŘI POKLESU PŘENOSU -3 DB:

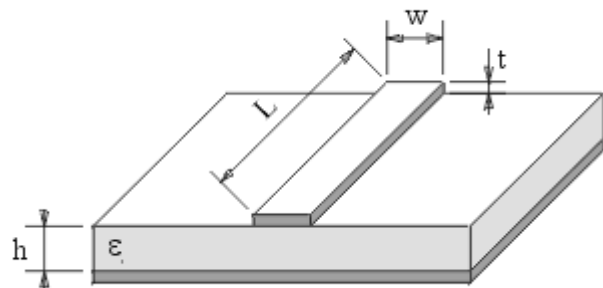
(Jedna krajní hranice není přesně definována u tranzistoru (nad 18GHz), proto zde průběh křivky odhaduji a druhou krajní hodnotu při poklesu o -3 dB odhaduji na 18,3 GHz)

Pokles hodnoty činitele prostupu:

S_{21} :
(18,3 – 16,270) GHz → šířka pásma je: 2,034 GHz
BW = 11,8 %

(Odečítání z grafu je vždy prováděno pomocí kurzorů ve WinMide, aby bylo co nejpřesnější)

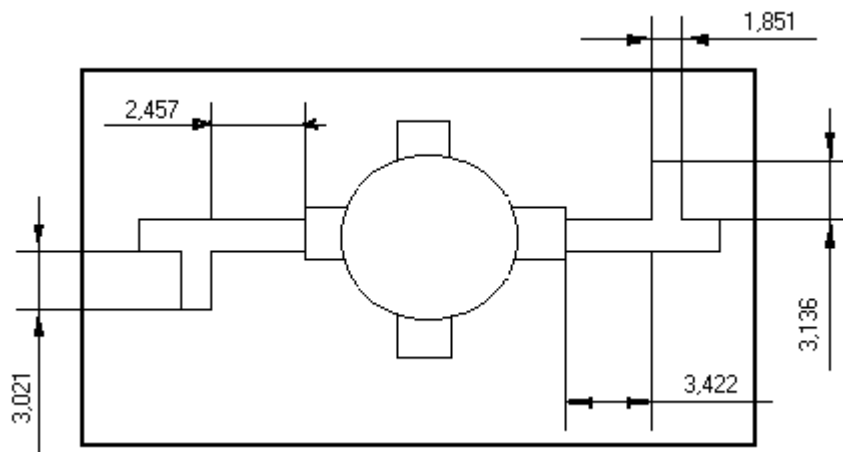
DETAIL MIKROPÁSKOVÉHO VEDENÍ NA PODLOŽCE:



Pro mé zadání (hodnoty):

$w = 1,851$ mm ... šířka mikropásku
 L ... délka mikropásku
 $t = 20$ μ m ... tloušťka mědi
 $h = 0,8$ mm ... tloušťka podložky
 $\epsilon_r = 4$...relativní permitivita podložky

REALIZACE MIKROPÁSKOVÉHO VEDENÍ NA PODLOŽCE:

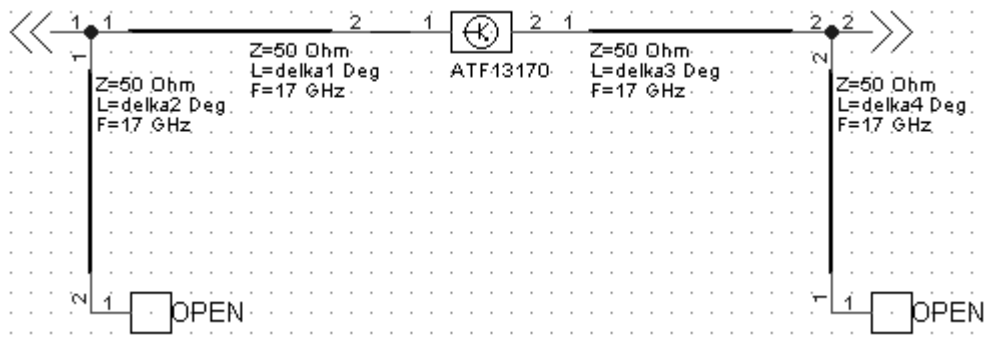


Na nákresu realizace přizpůsobení zesilovače mikropáskovým vedením na podložce je znázorněn zesilovač a pásy vedení s jejich velikostmi v mm. Není znázorněno žádné další napojení na jiné obvody, ale je zřejmé, že tato soustava bude vhodně připojena například na jiné obvody na podložce (přizpůsobení je prováděno na standardní impedanci 50Ω), případně rovnou na generátor nějaké frekvence, na okraji podložky pak k tomu ale musí být uzpůsoben vhodný výstup, jehož návrh ale není součástí mého zadání. Tranzistor také musí být napájen atd.

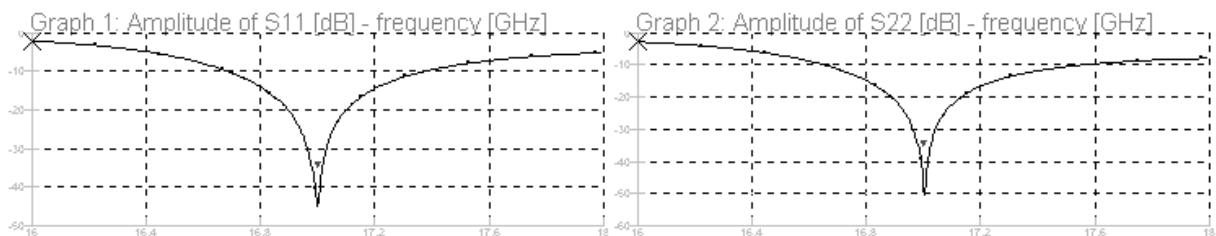
ZÁVĚR:

Návrh zesilovače se skládal z několika kroků, nejdříve jsem si navrhl ideální vedení a nechal ho zanalyzovat. Pak jsem vždy vyměnil jednu stranu obvodu, stále tak, aby to bylo přizpůsobené (zadané kritérium pro odraz jsem nastavil -35 dB)

Takto vypadalo *ideální vedení*, ze kterého jsem vycházel při návrhu přizpůsobovacích obvodů:



(delka1 = 95,705° ; delka2 = 119,415° ; delka3 = 131,521° ; delka4 = 122,378°)



U součástek tento postup vyhovoval a nebylo třeba ani nějaké další například ruční doladování. U vedení mikropáskového již byla situace obtížnější, jelikož se zde už nepoužívá tzv. ideální zakončení vedení, ale skutečné, realizované z mikropásku. Při tomto navrhování je již třeba doladovat hodnoty, které nám realizací vzniknou. Vycházet z ideálního vedení je ale důležité, protože jinak je obtížné dojít k nějakému realizovatelnému či vůbec nějakému zdárnému návrhu. Za délky mikropásku jsem si tedy zvolil proměnné a jako výchozí hodnotu jsem zadal délky, které po přepočítání vyšly z ideálního vedení (fyzická délka je jiná než elektrická ($l_{\text{fyzická}} = (\lambda_g / 360) * l_{\text{elektrická}}$) ...atd.). Návrh se vylepšil tím, že jsem o trochu zvýšil optimalizační kritérium (-45 dB). Zkoušel jsem si také, jestli by to šlo navrhnout rovnou, bez nějaké smysluplné počáteční hodnoty. Po několika pokusech a různých typech analýzy (metodách) jsem se dostal k výsledkům, ale jeden z mikropásků měl např. délku 3 cm, což je zbytečné. Ještě je jedna zajímavost, že jak je vidět z grafů, kde je obvod zanalyzován pro širší oblast frekvencí, tak se objevuje menší nepřizpůsobení také na frekvenci 8 GHz („okno“), přizpůsobení zde ale zejména na vstupu není nikterak oslnivé.

Je zřejmé, že vyrobení reálných diskrétních součástek pro přizpůsobení tohoto zesilovače není možné, protože víme, že např. kapacita závisí nepřímo úměrně na vzdálenosti. Většinou ale pro realizaci nemám moc místa k dispozici (např. na čipu), takže pak i jen dva vodiče u sebe mají větší kapacitu než 119 fF.

Pro obě realizace platí, že je třeba vyrobit součástky poměrně velice přesně. Už při malé změně hodnoty některé z diskrétních součástek dochází k rozladění obvodu a ten přestává být z obou stran bezodrazově přizpůsobený. U mikropásku je také třeba, aby měl navrhnutou délku skutečně přesnou.

Závěrem lze říci, že se jedná o návrh přizpůsobení zesilovače, který by se hodil pro nějakou aplikaci, která by neoperovala v širokém rozsahu frekvencí. Realizace je možná jen úseky vedení, nikoli diskrétními součástkami. Vyžadovaná přesnost délek těchto vedení případnou fyzickou realizaci dále komplikuje.