

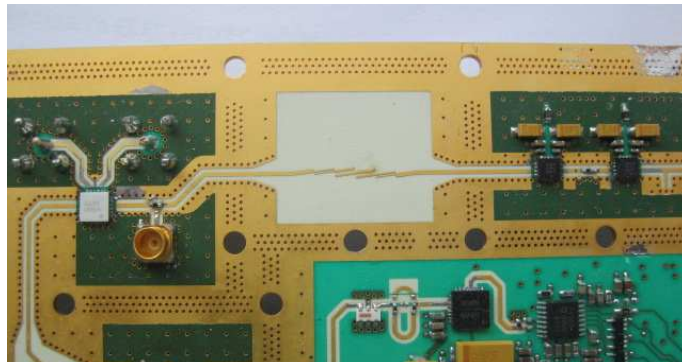
# Katedra elektromagnetického pole K13117

## kurs AWR MO

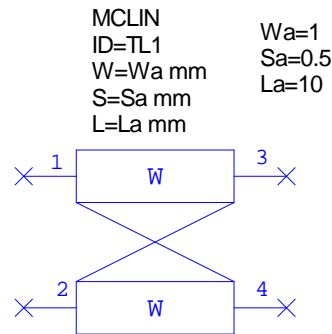
### samostatná úloha č.3

#### Návrh mikropáskových filtrů typu PP a DP

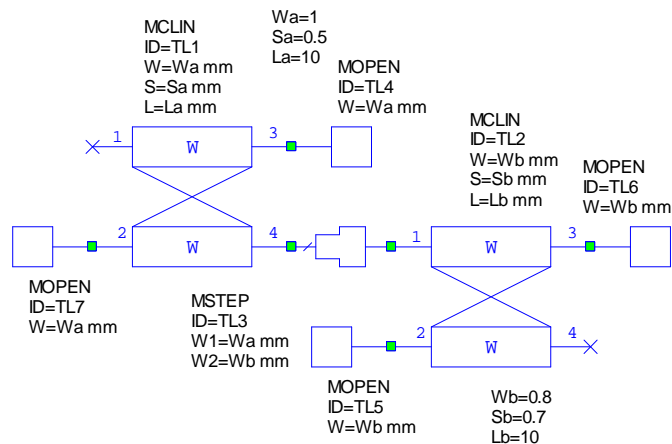
1. Navrhňte mikropáskový filtr typu pásmová propust (PP) se strukturou dle níže uvedeného obrázku.



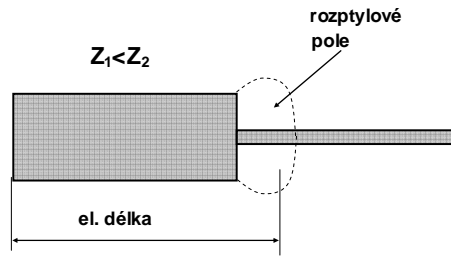
- Jako substrát použijte materiál CuCLAD s parametry:  $\epsilon_r=2.33$ ,  $H=0.508$ ,  $T=0.033\text{mm}$ ,  $\rho=0.712$ ,  $\text{tg}\delta=0.0013$ .
- Popis substrátu přidejte k vytvářenému SCHEMATICu.
- Jako střední frekvenci si zvolte hodnotu z tabulky úplně dole.
  
- Při zadávání SCHEMATICu je nutné místo přímého přiřazení hodnot zadat parametry pomocí proměnných (VARIABLES). Důvodem je to, že filtr musí být z obou stran symetrický a to, že bude navrhován pomocí optimalizace.
- Jakoukoliv proměnnou zadáte pomocí DRAW – ADD EQUATION
  - Objeví se prázdné políčko, které umístíte do SCHEMATICu
  - Do políčka pak napište název a výchozí hodnotu proměnné → například  $W_a=1$ , viz. následující obrázek
  - K prvku, např. MCLIN pak zadejte šířku pásku  $W=W_a$
  - To samé je u daného prvku provedeno i pro šířku štěrbin  $S$  a délku vedení  $L$ , přiřazené jsou jim proměnné  $S_a$  a  $L_a$ .
  
- Základem filtru jsou rezonátory délky  $\lambda_v/2$  navzájem vázané štěrbinami na úsecích dlouhých přibližně  $\lambda_v/4$ . Model dvojice štěrbinou vázaných vedení označený MCLIN najdete v MICROSTRIP – COUPLED LINES a je uveden i na následujícím obrázku.



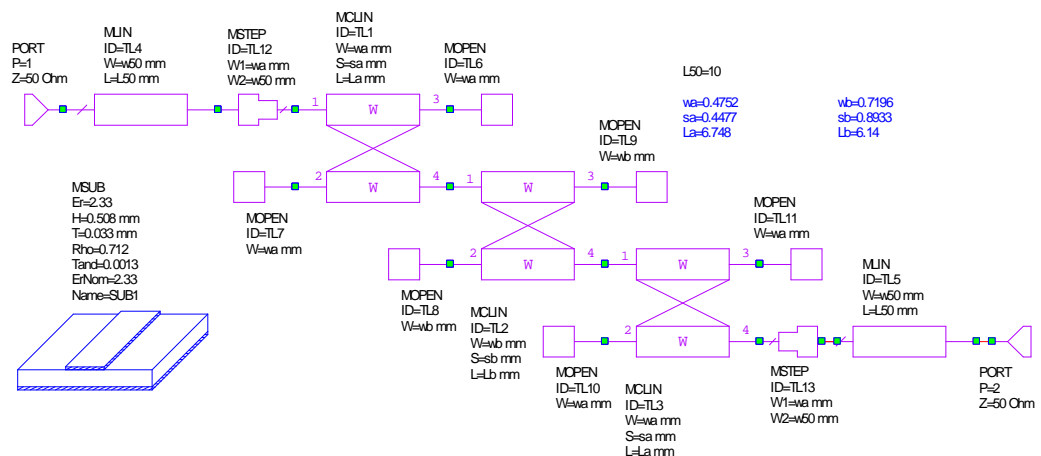
- Základními parametry úseku vázaného vedení jsou:
  - Délka úseku vedení L, jako výchozí hodnotu pro optimalizaci nastavte přibližně  $La = \lambda_v/4$
  - Tuto délku si pro daný substrát můžete vypočítat pomocí procedury TXLINE s tím, že zadáte „Electrical Length“ = 90 deg. Výpočet proveďte pro střední frekvenci pásma a impedanci vedení  $Z=70\Omega$ .
  - Šířka štěrbin mezi vedeními S, jako výchozí hodnotu pro optimalizaci zadejte  $Sa=0.5$  mm
  - Šířka pásku W, jako výchozí hodnotu nastavte  $Wa=1$  mm
- Celkový rezonátor délky  $\lambda_v/2$  (s kmitnami OPEN na obou stranách a s uzlem uprostřed) vázaný na obě strany vznikne zapojením dvou úseků MCLIN za sebou s tím, že otevřené konce mikropáskových vedení jsou zakončeny modely MOPEN a skok impedancí mezi vázanými úseky může být popsán diskontinuitou MSTEP, viz. následující obrázek.



- Na otevřených koncích rezonátoru je elektromagnetické pole, které částečně zasahuje i za konec mikropásku. Tento rozptýlené pole je možné v modelu popsat pomocí modelu MOPEN (Microstrip-Other). Zadává se u něj šířka W odpovídající šířce mikropásku, v daném případě tedy  $Wa$  nebo  $Wb$ .
- Zajímavý je i případ skoku 2 různých impedancí a tedy i šířek W na mikropásku.



- V případě širšího pásku nekončí elektromagnetické pole přesně na konci pásku, nýbrž ve formě rozptylového pole tento konec trochu přesahuje. Elektrická délka pásku je pak trochu větší, než délka fyzická.
  - To může při analýze způsobovat nezanedbatelné chyby.
  - Je to obdobný problém, jako výše uvedený otevřený konec mikropásku.
  - Proto je součástí AWR i model skoku impedancí mikropáskového vedení MSTEP. Zadávají se šířky pásků  $W$  z obou stran.
  - Model MOPEN najdete v subadresáři „Other“, model MSTEP najdete v subadresáři „Junctions“.
- Sestavte filtr tvořený dvěma  $\lambda_v/2$  rezonátory vázanými  $\lambda_v/4$  vazbami na vnější vedení 50 ohmů. Celkové zapojení je uvedeno na následujícím obrázku:



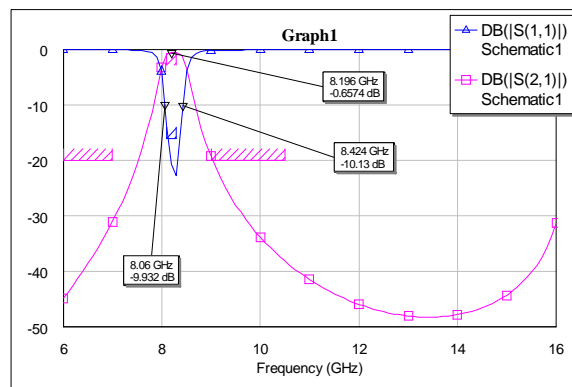
- Při návrhu filtru použijte symetrii, parametry první a poslední vazby jsou  $W_a$ ,  $S_a$ ,  $L_a$ , parametry prostřední vazby jsou  $W_b$ ,  $S_b$ ,  $L_b$ . Na každou stranu filtru připojte propojovací úsek vedení 50Ω délky 10mm

Hodnoty parametrů filtru  $W_a$ ,  $S_a$ ,  $L_a$  a  $W_b$ ,  $S_b$ ,  $L_b$  vypočtete pomocí optimalizace. Optimalizační procedury patří mezi nejefektivnější moderní CAD návrhové nástroje. Jsou to numerické procedury, které mění v zadaných mezích hodnoty proměnných tak dlouho, až výsledný obvod co nejvíce splňuje zadané požadavky. Optimalizaci filtru můžete aktivovat v následujících krocích:

- Pomocí ADD EQUATION nadefinujte 6 výše popsaných proměnných.
- Ze submenu SIMULATE spusťte funkci OPTIMIZE, v tomto okně vlevo dole lze přepínat mezi vlastním optimalizátorem a nastavením proměnných.
- Ve složce VARIABLES je zadejte pro optimalizaci, označte je jako CONSTRAINED a zadejte jejich meze (LOWER, UPPER):

- od 0.2mm do 1mm pro Wa, Wb
- od 0.1mm do 1mm pro Sa, Sb
- od  $0,5 \lambda_v/4$  do  $1,5 \lambda_v/4$  pro La, Lb
- CONSTRAINED znamená, že hodnoty proměnných bude optimalizátor volit v definovaných mezích. Meze nastavíte tak, že pravou myší kliknete na šedivé pole vedle nápisu CONSTRAINED a otevřete položky pro dolní mez LOWER a horní mez UPPER.
- Pokud by při optimalizaci proměnné narážely na meze, tak tyto meze mírně rozšířte (ale ne příliš, vede to potom často k nesmyslným řešením).
- Otevřete si GRAPH1 typu RECTANGULAR a nadefinujte si měření dBs11 a dBs21.
- Ve složce OPTIMIZER GOALS zadejte požadavky optimalizace:
  - vaši střední frekvenci filtru  $f_s$  najdete v příložené tabulce
  - propustná šířka pásma filtru je 200 MHz, tedy  $f_s \pm 100$  MHz
  - v propustném pásmu zadejte požadavek dBs11 < -15
  - v propustném pásmu zadejte požadavek dBs21 > -1
  - na frekvenci  $f_s + 10\%$  zadejte požadavek dBs21 < -20
  - na frekvenci  $f_s - 10\%$  zadejte požadavek dBs21 < -20
  - váhu W druhého požadavku (na malý útlum v propustném pásmu) zadejte 4.
- Optimalizátor spustíte z SIMULATE - OPTIMIZE
- Použijte optimalizátor typu POINTER – ROBUST OPTIMIZATION (podle zkušeností pro tuto úlohu dobře konverguje), nicméně můžete vyzkoušet i jiné optimalizátory.

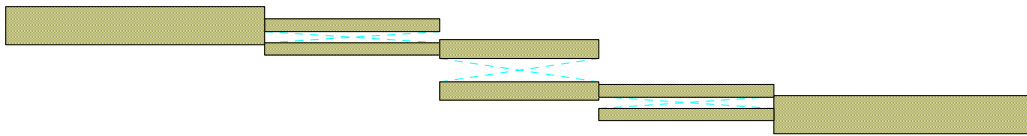
Parametry výsledného filtru by se měly shodovat (alespoň do značné míry) s požadavky optimalizace. Pokud optimalizace dosáhne COST=0, můžete zkusit požadavky ještě zpřísnit, nejlépe zvýšením útlumu v nepropustném pásmu, například na 25dB (místo zadaných 20dB). Příklad filtru navrženého na střední frekvenci 8.2GHz je na následujícím obrázku:



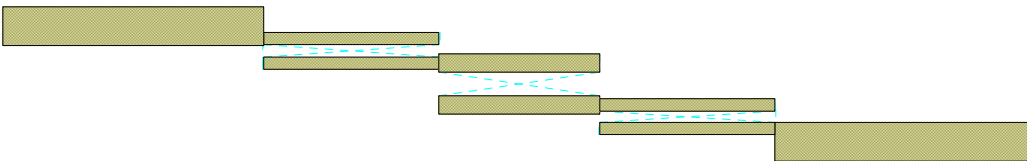
- Do protokolu v DOC zaznamenejte:
  - Návrhovou frekvenci
  - SCHEMATIC
  - GRAPH typu RECTANGULAR s parametry dBs11, dBs21, a to ve frekvenčním pásmu typ.  $f_s \pm 4$  GHz, krok cca 0.1 GHz.
  - Layout filtru – zobrazíte jej kliknutím pravou myší na SCHEMATIC a aktivací funkce VIEW LAYOUT

- U layoutu filtru může být problém s tím, že se vstupní vedení 50 ohmů mohou dotýkat rezonátorů, viz. následující obrázek. Tento problém se dá následně vyřešit tím, že se na přechodu 50Ω – vedení Wa použije model MSTEPX, který umožňuje nastavit offset mezi osami vedení. Schod lze tak přesunout na hranu 50Ω vedení, viz. další obrázek.

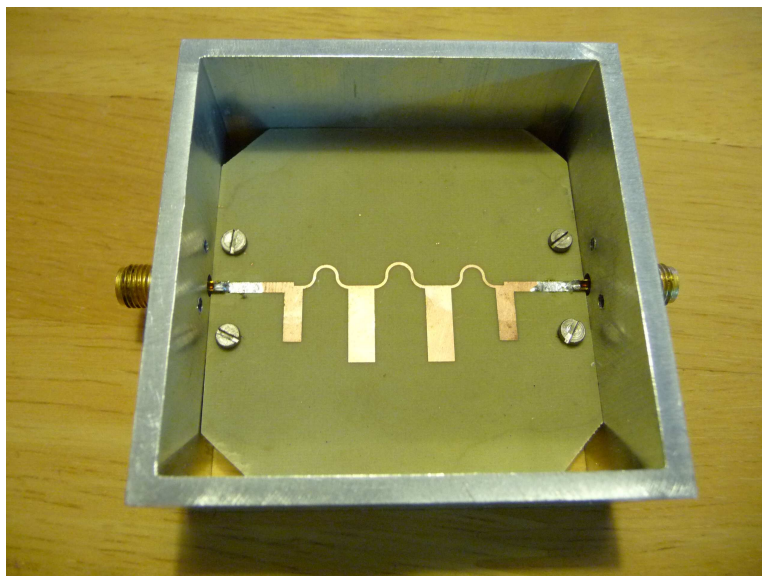
Řešení s MSTEP



Řešení s MSTEPX



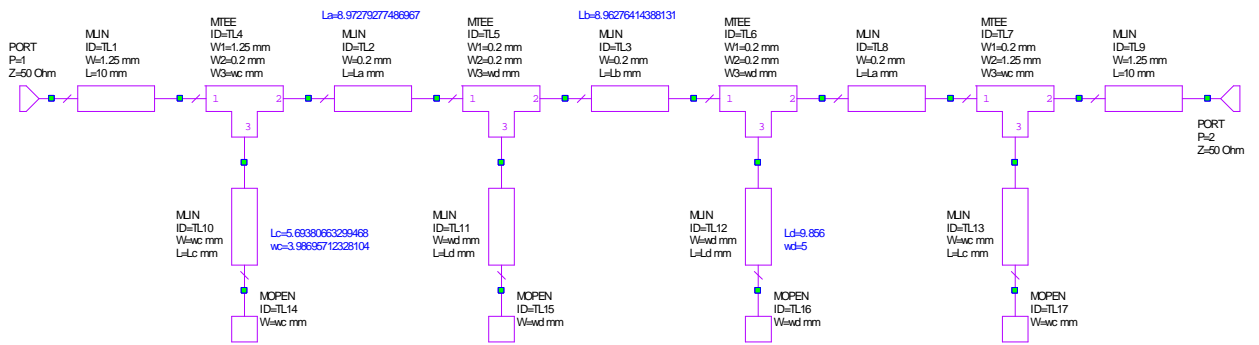
**2. Navrhnete mikropáskový filtr typu dolní propust se strukturou dle přiložené fotografie.**



- Filtr navrhnete na substrátu FR4:  $\epsilon_r=4$ ,  $H=0.635\text{mm}$ ,  $T=0.05\text{mm}$ ,  $\rho=0.712$ ,  $\tan\delta=0.01$ .
- Návrhovou (zlomovou) frekvenci DP si vyberte z dole připojené tabulky.
- V programu TXLINE vypočtete  $W$  pro impedanci  $50\ \Omega$  a  $\lambda_v$  na vaší návrhové frekvenci.
- Filtr je tvořen sériově zapojenými úseky vysokohmových vedení (tenké pásky) a paralelně zapojenými pahýly naprázdno (OPEN) s relativně nízkou impedancí (široké pásky), filtr musí být symetrický.

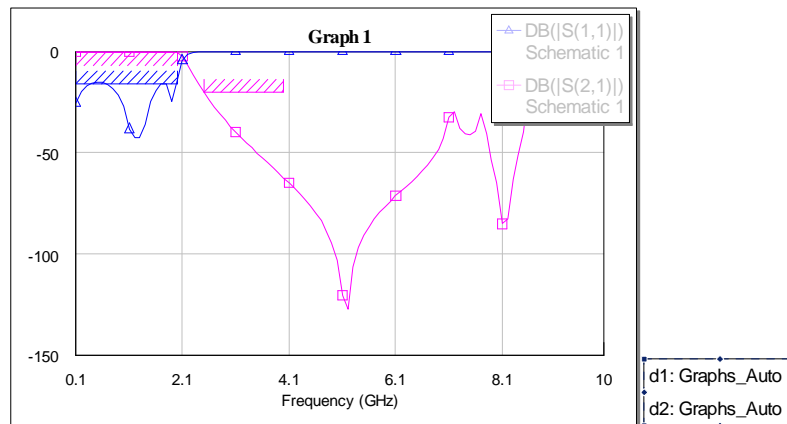
Strukturu filtru sestavte pomocí modelů MLIN, MTEE a MOPEN, na vstup a výstup připojte úseky vedení  $50\ \Omega$  dlouhé  $10\text{mm}$ .

- MTEE je model popisující rozptylové pole při pravouhlém napojení 3 vedení
- Šířku vysokohmových vedení zadejte  $W_a=W_b=0.2\ \text{mm}$
- Proměnnými budou:
  - délky vysokohmových vedení  $L_a$  a  $L_b$
  - Šířky krajních pahýlů  $W_c$  a délky těchto pahýlů  $L_c$
  - Šířky středních pahýlů  $W_d$  a délky těchto pahýlů  $L_d$
  - Celkem tedy 6 proměnných
- Pro návrh filtru využijte symetrii:
  - délky vysokohmových úseků na obou stranách budou  $L_a$ , délka středního úseku  $L_b$
  - Délky a šířky pahýlů na obou stranách filtru budou stejné  $L_c$ ,  $W_c$
  - Délky a šířky obou středních pahýlů budou stejné,  $L_d$ ,  $W_d$
- Celkový model filtru je na následujícím obrázku



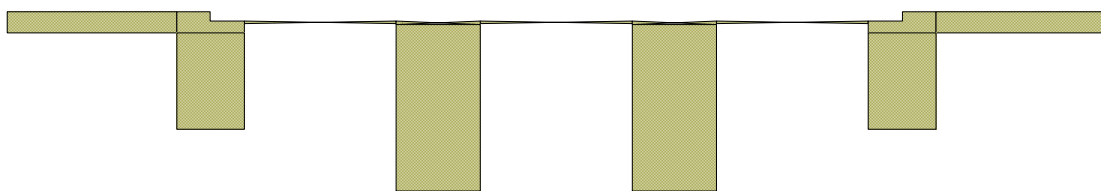
Hodnoty parametrů filtru  $L_a$ ,  $L_b$ ,  $L_c$ ,  $W_c$ ,  $L_d$ ,  $W_d$  vypočtete pomocí optimalizace:

- Pomocí ADD EQUATION nadefinujte 6 výše popsaných proměnných.
- Ve složce VARIABLES je zadejte pro optimalizaci, označte je jako CONSTRAINED a zadejte jejich meze (LOWER, UPPER):
  - od 0 do  $0.2\lambda_v$  pro  $L_a$ ,  $L_b$ ,  $L_c$ ,  $L_d$
  - od 3 do 5mm pro  $W_c$ ,  $W_d$
- Pokud by při optimalizaci proměnné narážely na meze, tak tyto meze mírně rozšiřte. Ale spíše NE u šířek pahýlů  $W_c$  a  $W_d$ , ty by neměly být širší než delší.
- Otevřete si GRAPH1 typu RECTANGULAR a nadefinujte si měření dBs11 a dBs21.
- Ve složce OPTIMIZER GOALS zadejte požadavky optimalizace:
  - vaši zlomovou frekvenci filtru  $f_z$  najdete v příložené tabulce
  - do zlomové frekvence by měl být filtr typu DP přizpůsobený a měl mít malý průchozí útlum, nad ní by měl přenos co nejrychleji klesat
  - v propustném pásmu do  $f_z$  zadejte požadavek dBs11 < -15
  - v propustném pásmu zadejte požadavek dBs21 > -0.8
  - na frekvenci  $f_z + 20\%$  zadejte požadavek dBs21 < -20
  - váhu  $W$  druhého požadavku (na malý útlum v propustném pásmu) zadejte 4.
- Použijte optimalizátor typu POINTER – ROBUST OPTIMIZATION (podle zkušeností pro tuto úlohu dobře konverguje), nicméně můžete vyzkoušet i jiné optimalizátory.
- Příklad filtru optimalizovaného pro zlomovou frekvenci 2.1GHz je na následujícím obrázku.



Parametry výsledného filtru by se měly shodovat (alespoň do značné míry) s požadavky optimalizace. Pokud optimalizace dosáhne  $COST=0$ , můžete zkusit požadavky ještě zpřísnit, nejlépe zvýšením útlumu v nepropustném pásmu, například na 25dB (místo zadaných 20dB). Do protokolu v DOC zaznamenejte:

- Návrhovou zlomovou frekvenci
- Výsledný SCHEMATIC včetně rozměrů pásků
- GRAPH1 typu RECTANGULAR s parametry dBs11, dBs21, a to ve frekvenčním pásmu typ. od 0.1 GHz do 10 GHz, krok cca 0.1 GHz
- Layout filtru
- Rozměry takto navrženého filtru jsou zbytečně velké a lze je zmenšit. Řešením může být meandrové ohnutí vysokoohmových vedení, viz. fotografie nahoře. To lze v AWR MO zadat pomocí MICROSTRIP - BENDS nebo vedení typu MTRACE2, které lze „ohýbat“ v režimu LAYOUT.
- Layout ukázkového filtru navrženého pro zlomovou frekvenci 2GHz bez výše popsané úpravy je na následujícím obrázku.



Návrhové frekvence:

č. zadání	střední frekvence PP [GHz]	zlomová frekvence DP [GHz]	
1	8,4	1,7	
2	11,6	3,3	
3	9,7	2,6	
4	14,2	1,9	
5	8,9	2,9	
6	12,7	3,5	



7	10,5	1,6	
8	15,3	2,2	
9	8,7	3,0	
10	13,5	2,7	
11	10,2	4,1	
12	14,5	1,5	
13	9,1	2,4	
14	13,8	4,3	
15	9,9	3,6	
16	12,2	2,3	
17	10,8	4,0	
18	15,0	3,8	
19	11,2	2,0	
20	13,3	2,9	

č. zadání	střední frekvence PP [GHz]	zlomová frekvence DP [GHz]	
21	8,0	2,5	
22	14,7	3,7	
23	11,5	2,8	
24	13,0	4,5	
25	9,5	3,7	
26	12,5	1,8	
27			
28			
29			
30			