

Katedra elektromagnetického pole K13117

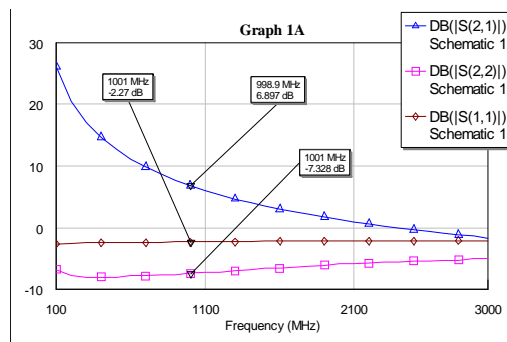
kurs AWR MO

samostatná úloha č.5

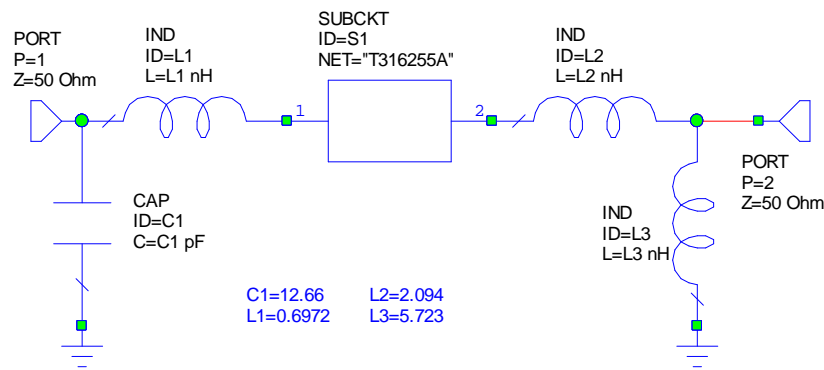
Analýza zesilovače s BJT

Úkol: Analyzujte zesilovač s tranzistorem BJT, a to včetně přizpůsobovacích obvodů

Základem téměř všech VF a mikrovlnných zesilovačů jsou tranzistory. Používají se tranzistory typu BJT, HBT, MESFET, HEMT, BJT (bipolar-junction transistor) patří k jednodušším typům s nižší horní frekvencí (do několika GHz), nicméně stále se používají. Hlavním problémem tranzistorových zesilovačů je to, že samotné tranzistory mají vstupní i výstupní impedance velmi odlišné od 50Ω , samy o sobě tedy vykazují velmi špatné impedanční přizpůsobení. Na následujícím obrázku jsou vyneseny hodnoty přenosu $G = \text{dBs}21$ a útlumů odrazů $RL_{\text{in}} = \text{dBs}11$ a $RL_{\text{out}} = \text{dBs}22$ odpovídající samotnému BJT použitému dále v textu.



Zisk BJT s frekvencí velmi rychle klesá, RL_{in} dosahuje hodnoty jen cca 2.3dB, RL_{out} je na tom s hodnotou cca 7dB jen o něco lépe. Proto se v systémech nepoužívají tranzistory samotné (prostřední blok) a jsou vždy doplněny vstupními a výstupními přizpůsobovacími obvody (PO), viz. následující obrázek.



PO transformují na návrhové frekvenci vstupní a výstupní impedance 50Ω na komplexně sdružené vstupní a výstupní impedance samotného tranzistoru. Důsledkem je to, že se vstupní a výstupní impedance celého zesilovače na úrovni konektorů (brány PORT P=1 a P=2) se rovnají požadovaným hodnotám 50Ω . Ve většině případů se používají bezztrátové PO založené na použití prvků L, C nebo krátkých úseků přenosových (nejčastěji mikropáskových) vedení.

Postup návrhu VF tranzistorových zesilovačů včetně teorie podrobně poznáte v předmětu B2M17MIO. V tomto kursu si můžete návrh projít bez zdůvodněních „proč?“ a podívat se na výslednou analýzu zesilovače navrženého na $f=1\text{GHz}$.

1. Postup návrhu je popsán na následujícím příkladu:
 - Tranzistor AT-31625 (Agilent), pracovní bod 4.8V , 50mA . S-parametry jsou uvedeny v databázi AWR, a to v souboru T316255A z knihovny LIBRARIES-AWR WEB SITE-PARTS OBSOLETE-AGILENT-DATA-BJT DATA FILES
 - Otevřete si projekt, zadejte frekvence 0.1 až 3GHz , krok třeba 100MHz
 - Otevřete si SCHEMATIC 1, přetáhněte do něj samotný tranzistor a připojte k němu PORTy.
 - Zobrazení souboru s-parametrů tranzistoru provedete tak, že v záložce PROJECT – DATA FILES klepnete levou myší na název daného souboru s-parametrů a otevře se vám textový soubor s s-parametry (u některých tranzistorů i šumovými parametry).

2. Základním parametrem každého tranzistoru, rozhodujícím o postupu návrhu i výsledných vlastnostech celého zesilovače, je jeho stabilita, určená nejjednodušeji koeficientem stability k . Do grafu si zobrazte průběh k v celém pásmu frekvencí BJT.
 - Zadejte GRAPH - RECTANGULAR
 - Jako MEASUREMENT zadejte parametr „ k “ – najdete jej v knihovně LINEAR
 - Proveďte analýzu, graf si uložte do protokolu
 - Nejlepší vlastnosti mají zesilovače s absolutně stabilními tranzistory, tomu odpovídá $k > 1$. V ukázkovém případě AT-31625 byla proto zvolena frekvence 1GHz .

3. Pokud je BJT stabilní, lze přímo spočítat optimální koeficient odrazu, který musí „vidět“ báze (parametr v AWR označený GM1) a optimální koeficient odrazu, který musí „vidět“ kolektor (parametr v AWR označený GM2).

Poznámka:

- Platí to, že stejnou fyzikální veličinu lze vyjádřit jako impedanci Z , admitanci Y nebo koeficient odrazu Γ (všechno komplexní veličiny). Platí jednoduchý přepočtení vztah, ze kterého výše uvedené tvrzení vyplývá:

$$\hat{\Gamma} = \frac{\hat{Z} - Z_0}{\hat{Z} + Z_0} = \frac{Y_0 - \hat{Y}}{Y_0 + \hat{Y}}$$

- V oboru VF a mikrovlnné techniky se nejčastěji používají koeficienty odrazu, důvodem je hlavně to, že se na rozdíl od impedanci/admitancí dobře měří.

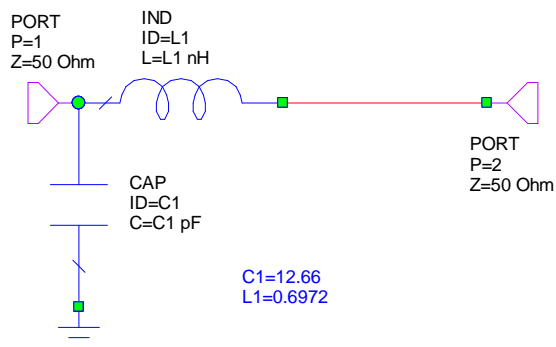
Pokud báze BJT „vidí“ koeficient odrazu GM1 a kolektor BJT koeficient odrazu GM2 (obojí jsou komplexní čísla), tak je zesilovač na vstupu i výstupu optimálně přizpůsobený a na dané frekvenci má maximální možný zisk.

- Parametry GM1 a GM2 vypočtete ze samotného BJT (source SCHEMATIC 1)
- V PROJECT OPTIONS nastavte 1 pracovní frekvenci, v daném případě 1GHz.
- Otevřete si GRAPH 2 – TABULAR
- Do tabulky vyneste: magGM1, angGM1, magGM2, angGM2
- Pro daný BJT jsou na 1GHz :

magGM1=0,89229
angGM1=-163,72°
magGM2=0,64625
angGM2=103,49°

4. Nyní lze navrhnout vstupní přizpůsobovací obvod (PO1), který transformuje 50 ohmů na GM1 a výstupní přizpůsobovací obvod (PO2), který transformuje 50 ohmů na GM2. Přizpůsobovací obvody navrhnete s ideálními bezeztrátovými prvky LC. Pro výpočet PO použijte syntézu pomocí optimalizačních procedur a to v následujících krocích:

- Ne všechny kombinace LC mohou splnit výše uvedené transformační podmínky. Návrh správných struktur se naučíte v B2M17MIO. Pro návrh vstupního PO1 použijte níže uvedenou LC strukturu (báze BJT bude připojena napravo, vstupní 50Ω konektor nalevo).
- Výpočet hodnot prvků LC provedete pomocí optimalizace.
- Otevřete SCHEMATIC 2, zadejte do něj tuto strukturu PO1 s tím, že na PORT P=1 (nalevo) bude připojen vstupní konektor zesilovače 50 ohmů a na bráně PORT P=2 by měl být koeficient odrazu GM1.

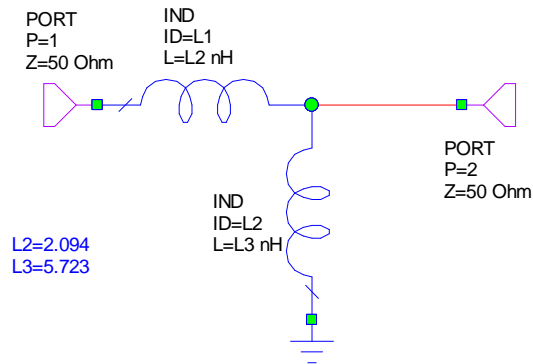


- Pomocí ADD EQUATION zadejte proměnné (VARIABLES) odpovídající hodnotám dvou přizpůsobovacích prvků (C1 a L1), jejich výchozí hodnoty odhadněte na 10nH a 10pF.

Poznámka: Hodnoty C1=12.66pF a L1=0.697nH na výše uvedeném obrázku jsou již po optimalizaci, takže optimalizátor by nevykázal žádnou činnost.

- Zadejte GRAPH 3 typu TABULAR, do něj jako MEASUREMENT zadejte mags22 a angs22
- Pravou myší aktivujte OPTIMIZER GOALS – ADD OPT. GOAL
- Vyberte nejprve parametr mags22 a zadejte požadavek MEASUREMENT=GOAL a hodnotu GOAL na 0.89229, váhu W tohoto požadavku nastavte na 10.
- Vyberte parametr angs22 a zadejte požadavek MEASUREMENT=GOAL a hodnotu GOAL na -163°, váhu W tohoto požadavku nastavte na 1.
- Ze submenu SIMULATE spusťte funkci OPTIMIZE, v tomto okně vlevo dole lze přepínat mezi vlastním optimalizátorem a nastavením proměnných.
- Aktivujte záložku VARIABLES. U proměnných, které budou optimalizovány (v našem případě C1 a L1) zaškrtněte OPTIMIZE a CONSTRAINED.
- 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. Pro daný příklad nastavte dolní meze na 0 a horní meze na 20.
- Nyní aktivujte položku OPTIMIZER a nastavte optimalizační proceduru.
- Program obsahuje celou řadu různých optimalizačních metod, které můžete zvolit v levém horním okně. Doporučuji vybrat metodu SIMPLEX OPTIMIZER.
- Optimalizační proceduru spustíte tlačítkem START, graf RELATIVE GOAL COST by měl klesat, ideálně na nulu. Optimalizace se zastaví sama nebo tlačítkem STOP.
- Pokud vše proběhne dobře, najdete výsledné optimalizované parametry v tabulce VARIABLES nebo u definice proměnných ve SCHEMATIC2, viz. výše uvedený obrázek.
- Výsledek optimalizace je velmi vhodné ověřit analýzou. V GRAPH 3 typu TABULAR by měly být aktuální hodnoty mags22 a angs22 vstupního přizpůsobovacího obvodu PO1 = SCHEMATIC2. Vypočtená hodnota se musí shodovat s GM1.

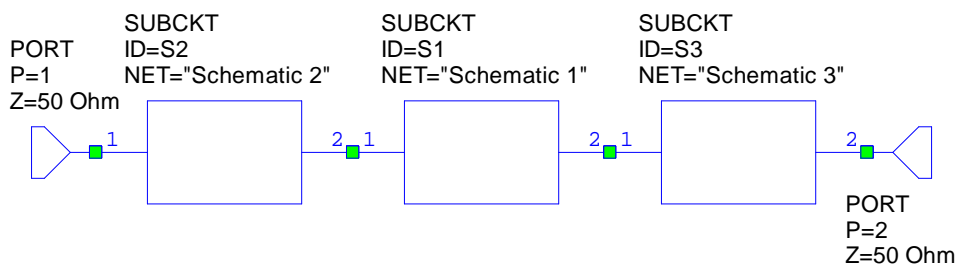
- Obdobným způsobem odvodíte strukturu výstupního přizpůsobovacího obvodu PO2, otevřete SCHEMATIC 3 a navrženou strukturu do něj zadejte. Jedna z možných struktur vyhovující popisanému příkladu je uvedena na následujícím obrázku.



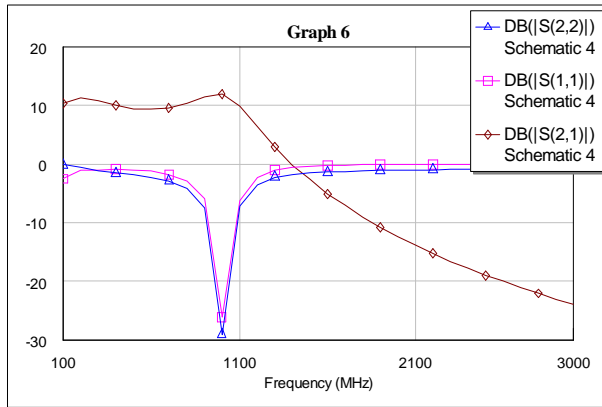
- Do GRAPH 4 si nadefinujete tabulku s mags11 a angs11 obvodu SCHEMATIC3.
- Pomocí optimalizace určete hodnoty prvků PO2.
- Zkontrolujte, zda se hodnoty mags11 a angs11 obvodu SCHEMATIC3 shodují s GM2.

6. Po ukončení návrhu PO1 a PO2 je možné provést sestavení a analýzu výsledného zesilovače:

- Výsledný zesilovač je možné složit pomocí SUBCIRCUITS (záložka ELEMENTS dole).
- Otevřete si SCHEMATIC 4 a vložte do něj (zleva) SCHEMATIC 2, SCHEMATIC 1, SCHEMATIC 3 a zakončete PORTy.
- Dejte pozor na číslování portů, obvody na sebe musí dosedat správnými branami.



- Nastavte frekvence od 0,1 do 3 GHz, krok 0,1 GHz.
- Nastavte GRAPH 5 do něhož vyneste (source SCHEMATIC 4), dBS11, dBS22, dBS21 a proveďte analýzu výsledného zesilovače, výsledky příkladu jsou na následujícím obrázku



- Výsledný zesilovač je na návrhové frekvenci 1GHz téměř ideálně přizpůsobený (útlumy odrazů na vstupu i výstupu jsou typicky 30dB), zisk je na dané frekvenci maximální možný, a to 12dB.
- Do protokolu zdokumentujte zadání, strukturu a parametry PO1, PO2, výsledný SCHEMATIC a výsledné parametry zesilovače s BJT.
- Porovnejte s parametry samotného tranzistoru do 50Ω bez přizpůsobovacích obvodů.

