

Přehled probraných témat předmětu
„Architektury rádiových přijímačů a vysílačů“
(2022, část přednášek 4.10.–8.11., řazeno tematicky,
ne přesně podle pořadí přednášení)

Josef Dobeš

15. listopadu 2022

1. Návrh vstupních (anténních) nízkošumových zesilovačů

- Znat základní dvě účelové funkce pro multiobjektovou optimalizaci:
 - (a) Šumové číslo (noise figure, NF)
 - (b) Výkonové zesílení (transducer power gain, G_T)
- Vědět o tom, že druhů sledovaných výkonových zesílení je více, i pro tento běh předmětu B2M37ART byl zaslán materiál s definicí tří základních druhů výkonových zesílení (vědět, že existují tři; popřípadě některé pojmenovat, přesné vzorce si není třeba pamatovat)
- Vědět, že kritickým omezujícím faktorem je stabilita zesilovače kontrolovaná např. Rolletovým činitelem stability (taktéž definovaným v poslaných vzorcích)
- Vědět, jaký je asi rozdíl mezi (optimalizovaným) jednopásmovým nebo dvoupásmovým zesilovačem (dvoupásmový zesilovač dává spíše „konstantní“ průběh šumového čísla o mírně větší hodnotě než jednopásmový, jednopásmový zesilovač dává spíše „prohnutý“ průběh šumového čísla s nejmenší hodnotou kdesi uprostřed kmitočtového pásma; šumové číslo pro jednopásmový zesilovač samozřejmě vyjde o něco lépe)
- Rozdíl je i v Paretově ploše jako kompromisu (trade-off) mezi jednopásmovým a dvoupásmovým nízkošumovým zesilovačem: u dvoupásmového LNA je křivka ostře zalomená a řešení se tedy zpravidla vybere v tomto „rohu“, křivka pro jednopásmový zesilovač je mnohem více zaoblená a je tedy přirozeně více možností volby
- Vědět, že kromě pasivních prvků můžeme optimalizovat i předpětími (to platí pro jakýkoliv optimalizovaný obvod, větší význam to však pochopitelně má pro výkonové zesilovače)
- Vědět, že při získání menšího šumového čísla jednopásmového zesilovače je současně zpravidla větší problém se stabilitou zesilovače (viz nově zařazený graf *měřeného* Rollettova činitele stability) i když tato nestabilita zpravidla nastává pro vstupní/výstupní impedance dosti odlišné od standardních 50 Ω)
- Znat typické hodnoty prakticky dosažených šumových čísel pro optimalizovaný zesilovač s nízkošumovým pHEMT (a typické výkonové zesílení), samozřejmě jen přibližně
- Jakých typických IP_3 LNA dosahuje? (Hodnoty s P_{out} okolo 30 dBm považujeme za už velmi dobré.) Vědět také o zvláštním propadu v části křivky intermodulačních produktů třetího řádu, která nastává pro zesilovače s pHEMT.

2. Návrh výkonových úzkopásmových vysokofrekvenčních zesilovačů

- Znat základní tři účelové funkce pro multiobjektovou optimalizaci (vědět, že jsou v „troj-rozměrném“ protikladu):
 - (a) výstupní výkon první harmonické komponenty
 - (b) výkonová efektivnost
 - (c) minimalizace harmonického zkreslení
- Vědět, že se používá zapojení ve třídě C (proč? ... účinnost)
- Vědět, že zesilovač mohou optimalizovat nejenom hodnotami pasivních prvků, nýbrž i např. (vhodnou) amplitudou vstupního napětí či stejnosměrným předpětím (na to se zapomíná!)
- Vědět, že u výkonových zesilovačů se musí sledovat jako omezení (constraints) i maximální (průměrný) proud aktivního prvku a maximální rozptýlený výkon na aktivním prvku
- Znat alespoň základní náhradní zapojení pasivních prvků (L, C) pro vysokofrekvenční techniku obecně
- Na základě předvedených výsledků vědět, že základní tři účelové funkce jsou v „troj-rozměrném“ protikladu, viz např. ilustrace v tabulce pěti vybraných řešení
- Dobrou představu o výsledcích dává asi nejlépe Alternativní zobrazení 2 ve formě vrstevnic
- Jaké typické účinnosti nebo harmonického zkreslení se v úzkopásmových výkonových vysokofrekvenčních zesilovačích typicky dosahuje?

3. K měření šumového čísla (vědět pouze, že se používají atenuátory, které kompenzují, že zesilovač není ani šumově, ani impedančně přizpůsobený – je navržený na vhodný kompromis mezi nimi)

- Vědět pouze, že postup měření se skládá z kalibrační a měřicí fáze (viz obrázky v souboru measurement21.p4.pdf – samotnou metodu ani obrázky ovšem není potřeba znát do detailu)

4. Analýza a návrh směšovačů

- Princip aditivních směšovačů (viz např. obvod z analyticky řešené demonstrativní ukázky)
- Princip multiplikativních směšovačů (viz např. obvod s dvojhradlovým MOSFET)
- Základní idea (zjednodušené) analýzy založené na Volterrových řadách ... nemusíte přesně umět vícerozměrnou řadu (i když dvojrozměrná Taylorova řada patrně někde už probírána byla), měli byste jen vysvětlit metodu založeno na Volterrových řadách v pořadí:
 - (a) výpočet pracovního bodu (směšovač na rozdíl od oscilátoru pracovní bod má),
 - (b) standardní kmitočtová analýza pro f_1 a f_2 ,
 - (c) analýza (komplexní) soustavy rovnic obsahující druhé derivace pro kmitočty $f_1 \pm f_2$, tj. výpočet základních dvou intermodulačních produktů (vědět, že druhé derivace jsou *zdrojem* těchto produktů)
 - (d) vědět, že např. pro výpočet směšovacího produktu $2f_1 \pm f_2$ by musely být do řady začleněny i třetí derivace (proč je produkt $2f_1 \pm f_2$ natolik škodlivý?)(Tyto body (a) až (d) (hlavně (a)–(c)) stačí popsat jen slovně, algoritmus byl totiž procházen už v předmětu A2B37ROZ, který většina z vás absolvovala na konci bakalářského studia.)
- Jakou přesnost kvazilineární analýza dosahuje? ... obvyklé hodnoty přesnosti byly demonstrovány ukázkovými příklady (srovnání s výsledky získanými časovou analýzou a následné aplikací FFT, viz např. ten analyticky řešený příklad s aditivním směšovačem)

- Princip vícenásobně vyvážených směřovačů (viz např. nejčastější příklady na konci této sekce, např. diodové směřovače a směřovače s bipolárními tranzistory), proč se vyvážené směřovače dělají, které směřovací produkty potlačují?
- Realizace vícenásobně vyváženého směřovače buď na bipolární technologii nebo na CMOS technologii (znát jenom typickou buňku; Gilbertova buňka v CMOS provedení je demonstrována u QAM modulátorů)
- Nejčastější případy směřovačů (především na toto se v této sekci zaměřit!):
 - Jednoduchý vyvážený a dvojité vyvážený směřovač s diodami (s čtyřmi diodami, tzv. “ring” mixer, jeho princip činnosti je dobře demonstrován i v připojeném videu)
 - Směřovač s dvojhradlovým MOSFET (a příslušné filtry)
 - Dvojité vyvážený směřovač – Gilbertova buňka (s bipolárními tranzistory) – v posledních bžích předmětu byl nově zařazen i stručný výklad činnosti Gilbertovy buňky (ty obrázky s červeným zvýrazněním otevřených signálových větví)

5. Použití ustalovacích algoritmů k návrhu oscilátorů

- Stručná představa o způsobu řešení nelineárních diferenciálně-algebraických rovnic definujících oscilátor (jen slovně vyložit představu o metodě, absolutně není samozřejmě vůbec nutné znát matematické vztahy)
 - Prediktor (vědět, že jde o interpolační mnohočlen, v našem případě byl použit Newtonův interpolační polynom; vědět, že prediktor je explicitní metoda – je tedy potenciálně nestabilní; přesněji řečeno, není tzv. “A-stable” (oficiální termín))
 - Korektor (vědět, že jde o implicitní metodu kvůli stabilitě; vědět, že korektor je iterativní metoda, korektor by měl být “A-stable” – tedy vliv chyby v jednom časovém kroku se exponenciálně zmenšuje v následujících časových krocích)
- Princip ustalovacího algoritmu (opět jen „slovní“ představa, není třeba znát vzorce)
 - vědět, že se jedná o extrapolaci metodu poměrně vysoké účinnosti (ϵ -algoritmus)
 - vědět, že umožňuje „přeskočit“ někdy komplikovaný a velmi dlouhý přechodný děj
 - vědět, že algoritmus je relativně necitlivý na volbu řádu extrapolace (kterou ostatně uživatel software může jen těžko někdy odhadnout – bylo předvedeno na přechodném ději nízkošumového zesilovače pro multi-konstelaci přijímač družicové navigace)
- Typické zpětnovazební oscilátory (především na toto se zaměřit!)
 - Typický Collpittsův oscilátor (v posledních bžích předmětu byla zařazena i ukázka „rozběhu“ oscilátoru a ustálené periodické odezvy)
 - Typický mikrovlnný zpětnovazební oscilátor (jak se obvykle vede zpětná vazba?)
 - Vědět, že zpětnovazební oscilátory mají zpravidla dost velké zkreslení (pokud se nepoužije vnitřní snížení amplitudy, např. anti-paralelním zapojením dvojice diod)
- Oscilátory s prvkem s negativním diferenciálním odporem (vědět jen princip činnosti, ukázka kmitů oscilátoru s tunelovou diodou byla zařazena v posledních bžích předmětu)
 - Znat typickou ampérovoltovou charakteristiku tunelové diody, zejména část s negativním diferenciálním odporem
 - Vědět, že výsledné kmity jsou dost neharmonické a musí tedy být filtrovány
 - Vědět, že tento oscilátor má velmi malý šum

6. Využití rozprostřeného zesílení (distributed amplification), detailně bylo vyloženo obrázkem na tabuli (na přednášce fotografované)

- Princip rozprostřeného zesílení
 - (Jako) vázaná přenosová vedení
 - (Aktivní) vazba mezi vedeními
- Vlastnosti zesilovače s rozprostřeným zesílením (distributed amplifier, „rovná“ kmitočtová charakteristika, stabilita, čím je zpravidla (technologicky) určen mezní kmitočet)
- Základní vlastnosti oscilátoru s rozprostřeným zesílením (distributed oscillator, typická míra přeladitelnosti (stovky megahertů pro gigahertzové oscilátory), typické harmonické zkreslení (okolo procenta) – tyto oscilátory mívají menší zkreslení než ty zpětnovazební)
- Vědět, že oscilátory s rozprostřeným zesílením mají zpravidla dlouhý přechodný děj

7. Základní informace o modulátorech mQAM

- Principiální struktura vyváženého modulátoru QAM s dvěma „kruhovými“ (ring) obvody s diodami; jaké jsou fáze na vstupu
- Principiální struktura vyváženého modulátoru QAM s Gilbertovými buňkami (zdůvodnit, proč jsou výhodnější v MOS technologii než v technologii bipolární); zmínit fázové posuvy na vstupu (derivační a integrační články)

8. Další LNA (nízkošumový zesilovač) podle monografie Vendelin-Pavio-Rohde

- Povšimněte si získávání důkladně filtrovaných stejnosměrných napětí gate a drain
- Zhruba vědět typické hodnoty šumového čísla a zisku (a i otázka rovnoměrnosti průběhů)

9. Výkonový zesilovač s rozprostřeným zesílením

- Typické zapojení výkonového zesilovače s rozprostřeným zesílením (srovnejte zapojení tohoto výkonového zesilovače s námi dříve analyzovaným nízkovýkonovým zesilovačem s rozprostřeným zesílením)
- Vědět o skutečnosti, že existují vztahy pro optimální počet členů tohoto zesilovače (v monografii Vendelin-Pavio-Rohde nejsou zcela úplné a správné, ale v posledních bžích předmětu byly podle původního článku v časopise IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques doplněny korektní vztahy)

10. Samokmitající směšovač

- Zmínit, že důvodem rozkmitání jsou přenosová vedení (gate, drain)
- Nakreslit typickou zatěžovací linii a typické spektrum
- Důležitější než tyto oba detaily je ale třeba vědět vůbec o existenci takového obvodu, tj. že jeden aktivní prvek může sloužit *současně* v oscilátoru a směšovači (ovšem za cenu celkové kvality obvodu)

11. PLL – znát přinejmenším blokové schéma

- Rozsah zachycení
- Rozsah udržení