

Zpřesněná metoda měření šumového čísla

Petr Ouředník, Josef Dobeš a Jan Míchal
České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická

18. října 2021



Stručná charakteristika...

Přesná definice metody

Na čem pracujeme nyní?

Domovská stránka



Strana 1 z 8

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

1. Stručná charakteristika metody

K měření šumových čísel verzí zesilovačů pro pásma L a pro pásma L a S byla použita upravená modifikovaná metoda s kalibrací. Pro nízkošumové zesilovače optimalizované na kompromis mezi ziskem a šumovým číslem nelze totiž použít tradiční metody, navíc vzhledem k velmi malému šumovému číslu jsou velké problémy s citlivostí měřicí aparatury, rušením a zajištěním předepsaných impedančních poměrů. Po dlouhé sérii experimentů jsme nakonec dospěli k níže definované konfiguraci. Měřicí pracoviště obsahuje kaskádu šumového zdroje (šumivky typu 346B), prvního attenuátoru, měřeného zesilovače (DUT, Device Under Test), jeho napájecího T-článku, druhého attenuátoru, pomocného měřicího předzesilovače ERA-3SM+ a spektrálního analyzátoru E4440A. Účelem obou attenuátorů je zajistit zakončení DUT z obou stran impedancemi blízkými 50 ohmům a předzesilovač poskytuje spektrálnímu analyzátoru potřebnou výslednou citlivost. Kalibrační fáze se provádí s vyjmutým DUT (nahrazeným přímým propojením) a spočívá ve stanovení šumového faktoru F_{CAL} měřicí kaskády od napájecího T-článku až po spektrální analyzátor. Nejprve je na spektrálním analyzátoru změřena spektrální výkonová hustota při vypnutém a pak při zapnutém napájení šumivky. Poměr těchto dvou výkonových úrovní, tzv. Y-faktor, se použije pro výpočet šumového faktoru měřicí kaskády F_{CAL} . K tomu je ještě potřeba znát relativní rozdíl obou šumových výkonů na výstupu prvního attenuátoru ENR_M (Excess Noise Ratio), daný rozdílem ENR samotné šumivky (získaného interpolací tabulkových hodnot od výrobce) a přesného útlumu prvního attenuátoru (stanoveného předtím měřením na vektorovém analyzátoru). Před fází vlastního měření šumového čísla je DUT zařazen mezi první attenuátor a napájecí T-článek a je zapnuto jeho napájení. Měří se opět ve dvou krocích jako předtím při kalibraci a stanoví se tím šumový faktor F_{TOT} celé kaskády včetně DUT. Výsledné šumové číslo NF_{DUT} zesilovače je vypočteno z celkového F_{TOT} eliminací příspěvku od měřicí kaskády F_{CAL} pomocí Friisova vzorce. K tomu je ještě potřeba znát zisk zesilovače a proto potřebné S-parametry zesilovače byly předtím rovněž změřeny pomocí vektorového analyzátoru.



Stručná charakteristika ...

Přesná definice metody

Na čem pracujeme nyní?

Domovská stránka



Strana 2 z 8

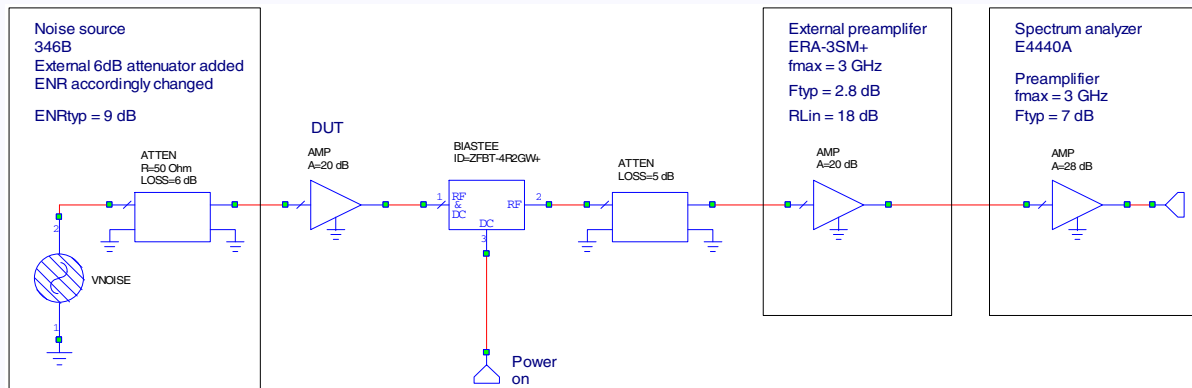
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

1. Uspořádání měřicího pracoviště pro měření šumového čísla – fáze vlastního měření



Stručná charakteristika ...

Přesná definice metody

Na čem pracujeme nyní?

Domovská stránka



Strana 3 z 8

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

2. Přesná definice metody

K měření šumového čísla byla použita upravená dvoukroková metoda s kalibrací. Měřicí pracoviště (viz Obrázek 1) obsahuje kaskádu šumového zdroje (šumivky typu 346B), prvního atenuátoru (6 dB), měřeného zesilovače (DUT), jeho napájecího T-článku, druhého atenuátoru (5 dB), pomocného měřicího předzesilovače ERA-3SM+ (20 dB) a spektrálního analyzátoru E4440A se zapnutým vnitřním předzesilovačem s přídavným ziskem 28 dB. Účelem obou atenuátorů je zajistit zakončení DUT z obou stran impedancemi blízkými $50\ \Omega$ a oba předzesilovače poskytují spektrálnímu analyzátoru potřebnou výslednou citlivost.



Stručná charakteristika...

Přesná definice metody

Na čem pracujeme nyní?

Domovská stránka



Strana 4 z 8

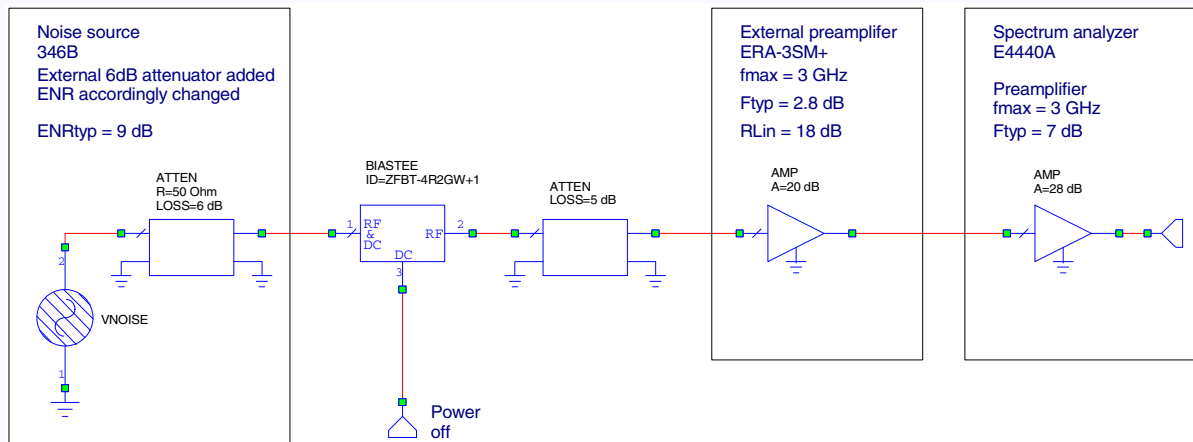
Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

2. Uspořádání měřicího pracoviště pro měření šumového čísla – kalibrační fáze



2.1. Kalibrační fáze

Kalibrační fáze metody se provádí s vyjmutým DUT (nahrazeným přímým propojením, viz Obrázek 2) a spočívá ve stanovení šumového faktoru F_{CAL} měřicí kaskády od napájecího T-článku až po spektrální analyzátor. Nejprve je na spektrálním analyzátoru změřena spektrální výkonová hustota N_{COLD} při vypnutém a pak N_{HOT} při zapnutém napájení šumivky. Poměr těchto dvou výkonových úrovní, tzv. Y-faktor,

$$Y_{CAL} = \frac{N_{HOT}}{N_{COLD}}, \quad (1)$$



Stručná charakteristika ...

Přesná definice metody

Na čem pracujeme nyní?

Domovská stránka



Strana 5 z 8

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

je následně použit pro výpočet šumového faktoru měřicí kaskády F_{CAL}

$$F_{\text{CAL}} = \frac{ENR_{\text{M}}}{Y_{\text{CAL}} - 1}. \quad (2)$$

Zde ENR_{M} je relativní rozdíl obou šumových výkonů na výstupu prvního atenuátoru, daný součinem ENR (excess noise ratio) samotné šumivky (získaného interpolací tabulkových hodnot od výrobce přes měřené frekvenční pásmo) a výkonového přenosu prvního atenuátoru $|\hat{S}_{21 \text{ att}}|^2$, předtím přesně stanoveného měřením na vektorovém analyzátoru

$$ENR_{\text{M}} = ENR |\hat{S}_{21 \text{ att}}|^2.$$



Stručná charakteristika...

Přesná definice metody

Na čem pracujeme nyní?

Domovská stránka



Strana 6 z 8

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

je následně použit pro výpočet šumového faktoru měřicí kaskády F_{CAL}

$$F_{\text{CAL}} = \frac{ENR_M}{Y_{\text{CAL}} - 1}. \quad (2)$$

Zde ENR_M je relativní rozdíl obou šumových výkonů na výstupu prvního atenuátoru, daný součinem ENR (excess noise ratio) samotné šumivky (získaného interpolací tabulkových hodnot od výrobce přes měřené frekvenční pásmo) a výkonového přenosu prvního atenuátoru $|\hat{S}_{21 \text{ att}}|^2$, předtím přesně stanoveného měřením na vektorovém analyzátoru

$$ENR_M = ENR |\hat{S}_{21 \text{ att}}|^2. \quad (3)$$

2.2. Fáze vlastního měření

Před fází vlastního měření šumového čísla je DUT zařazen mezi první atenuátor a napájecí T-článek a je zapnuto jeho napájení dle Obrázku 1. Měří se opět ve dvou krocích jako předtím při kalibraci a následně je obdobným způsobem jako v (1) a (2) stanoven šumový faktor F_{TOT} celé kaskády včetně DUT. Výsledný šumový faktor F_{DUT} zesilovače je vypočten z celkového F_{TOT} eliminací příspěvku od měřicí kaskády F_{CAL} pomocí Friisova vzorce:

$$F_{\text{DUT}} = F_{\text{TOT}} - \frac{F_{\text{CAL}} - 1}{|\hat{S}_{21 \text{ DUT}}|^2}, \quad (4)$$

kde $\hat{S}_{21 \text{ DUT}}$ je přenos měřeného zesilovače, zjištěný opět pomocí vektorového analyzátoru. Nakonec je výsledné šumové číslo získáno převedením šumového faktoru na decibely,

$$NF_{\text{DUT}} = 10 \times \log_{10} F_{\text{DUT}}. \quad (5)$$



Stručná charakteristika ...

Přesná definice metody

Na čem pracujeme nyní?

Domovská stránka



Strana 6 z 8

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec

Měření bylo prováděno při pokojové teplotě blízké referenční teplotě 290 K. Zvažovali jsme i možný vliv ohřevu zesilovače jeho ztrátovým teplem. Proto bylo měření v celém kmitočtovém pásmu rozděleno do kratších úseků a mezi ně byly zařazeny pauzy dostatečné pro vychladnutí zesilovače.

3. Na čem pracujeme nyní?

Na nalezení optimálního útlumu obou atenuátorů (viz Obrázky 1 a 2). (Matematicky, opět optimalizací.)



Stručná charakteristika...

Přesná definice metody

Na čem pracujeme nyní?

Domovská stránka



Strana 7 z 8

Zpět

Celá obrazovka

Zavřít

Konec