

# Zpřesněná metoda měření šumového čísla

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

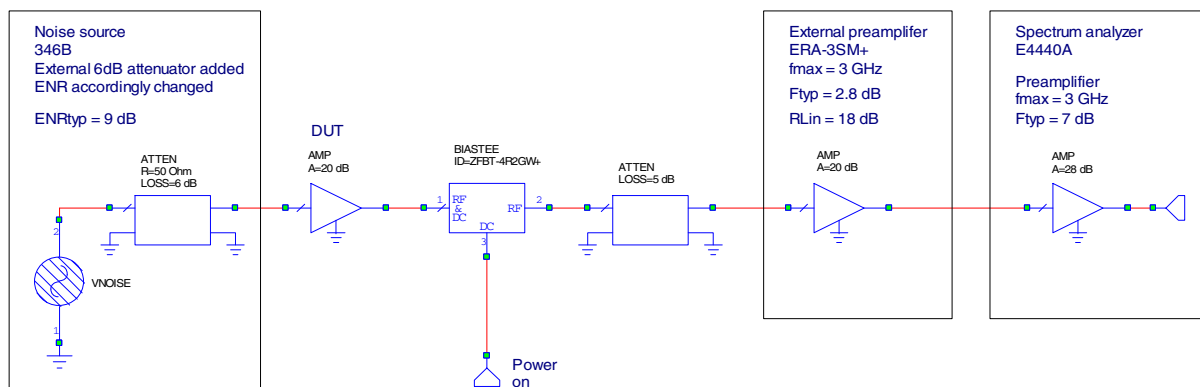
18. října 2021

*Architektura rádiových přijímačů a vysílačů*

## 1 Stručná charakteristika metody

K měření šumových čísel verzí zesilovačů 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.

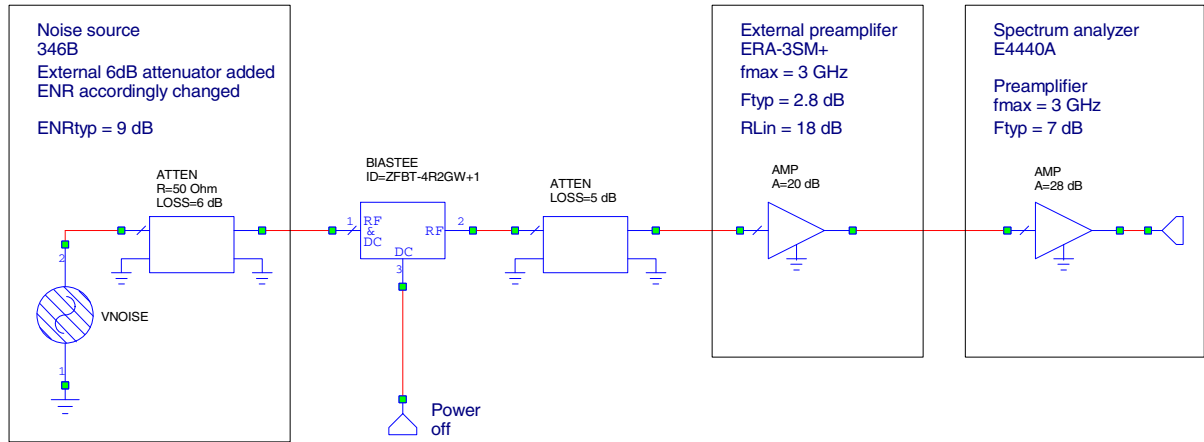
## 1. Uspořádání měřicího pracoviště pro měření šumového čísla – fáze vlastního měření



## 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 přídatným 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.

## 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  $F_{\text{CAL}}$  měřicí kaskády od napájecího T-článku až po spektrální analyzátor. Nejprve je na spektrálním analyzátoru změřena spektrální výkonová hustota  $N_{\text{COLD}}$  při vypnutém a pak  $N_{\text{HOT}}$  při zapnutém napájení šumivky. Poměr těchto dvou výkonových úrovní, tzv. Y-faktor,

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

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

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

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  $F_{\text{TOT}}$  celé kaskády včetně DUT. Výsledný šumový faktor  $F_{\text{DUT}}$  zesilovače je vypočten z celkového  $F_{\text{TOT}}$  eliminací příspěvku od měřicí kaskády  $F_{\text{CAL}}$  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,

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

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.)