

## Měření šumového čísla

*Laboratorní úloha poskytuje studentům představu o metodách měření šumového čísla pasivních i aktivních komponent pomocí spektrálního analyzátoru i pomocí specializovaného měřiče.*

### Úkoly měření

1. Měření šumového čísla spektrálního analyzátoru.
2. Měření šumového čísla pomocí Y-metody.
3. Měření šumového čísla pomocí HP 8970A.

### Použité přístroje a komponenty

- Spektrální analyzátor R&S FSP30 (9 kHz–30 GHz)
- Měřič šumového čísla HP 8970A (10 MHz–1,5 GHz)
- Šumivka HP 346B (do 18 GHz)
- Zesilovač Mini-Circuits GALI-2+
- Stejnoseměrný napájecí zdroj Gwinstek
- Propojovací BNC kabely

### Měřené komponenty

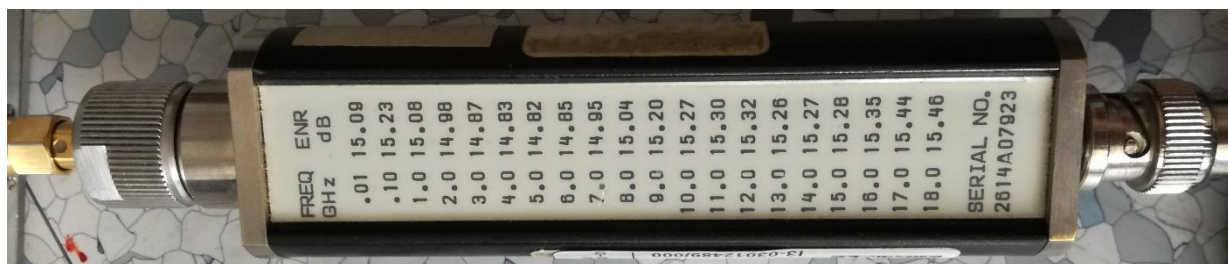
- Nízkošumový zesilovač s tranzistorem NXP BFU760F
- Atenuátor Mini-Circuits

## 0. Nastavení spektrálního analyzátoru před měřením

- Na spektrálním analyzátoru stiskněte tlačítko Preset.
- Nastavte rozsah frekvencí 10 MHz až 5 GHz a počet měřených bodů 501 (tlačítko Sweep, volba Sweep Points), tedy krok měření bude 10 MHz.
- Nastavte šířku mezifrekvenčního filtru na 10 MHz (tlačítko BW, volba Res BW Manual), což je u tohoto analyzátoru maximum. Všechna následující měření budou spočívat v odečítání hodnot šumových výkonů a budou vůči sobě porovnávána relativně, tedy měření je na volbě RBW téměř nezávislé, ale při maximálním BW měříme nejvyšší absolutní hodnotu šumového výkonu. Kdyby ovšem bylo nutné měřit slabé deterministické signály, pak by muselo být RBW co nejmenší.
- Nastavte referenční výkon na  $-40$  dBm (tlačítko Ampt, volba Ref Level). Tím bude zajištěno, že mezifrekvenční bloky v analyzátoru před AD převodníkem budou nastaveny na maximální zesílení a bude využit celý dynamický rozsah AD převodníku.
- Nastavte atenuátor na vstupu analyzátoru na 0 dB. Toto se nastavuje pod tlačítkem Ampt, volba RF Atten Manual. Hodnota 0 dB nelze nastavit pomocí rotačního enkodéru, ale z bezpečnostních důvodů pouze přes numerickou klávesnici.
- Je potřeba nastavit typ detektoru tak, aby zobrazovaný průběh skutečně ukazoval hladinu šumu na vstupu spektrálního analyzátoru. Ve spektrálním analyzátoru je jeden fyzický detektor z detekční diody a výkon v přijímaném pásmu heterodynního přijímače je určen pomocí navzorkovaného detekčního napětí na diodě. Jakmile se typ detektoru nastaví na Detector Sample (tlačítko Trace, volba Detector, Detector Sample), tak se na displeji zobrazují přímo detekované výkony v pásmu RBW. Kdyby byl v měřeném pásmu přítomen frekvenčně úzký harmonický signál mimo pásmo RBW, tak by ho spektrální analyzátor nezobrazil.
- Detekovaný šumový výkon má velký rozptyl hodnot a je potřeba detekované výkony v lineárním měřítku průměrovat. To zajišťuje volba detektoru na Detector Average. Jeho výsledky lze ještě dále průměrovat pomocí tlačítka Trace, volba Average a dále volba Sweep Count nastavit alespoň na 10.

## 1. Měření šumového čísla spektrálního analyzátoru

- Připojte šumivku přímo na vstup analyzátoru a sledujte změny úrovně šumu  $N_1$ , když šumivku zapnete nebo vypnete (tlačítko Setup, volba Noise Src na On nebo Off). Těmto dvěma stavům se říká hot a cold a šumivka při nich mění svoji ekvivalentní šumovou teplotu. Ve stavu cold předpokládáme šumovou teplotu šumivky HP 346B  $T_0 = 290$  K a ve stavu hot  $T_{\text{HOT}} = T_0(ENR + 1) = 9\,460$  K, kde je nominálně  $ENR = 15$  dB = 31,6. Přesné hodnoty  $ENR$  použité šumivky jsou na obr. 1.



FREQ GHz	ENR dB
.01	15.09
.10	15.23
1.0	15.08
2.0	14.98
3.0	14.87
4.0	14.83
5.0	14.82
6.0	14.85
7.0	14.95
8.0	15.04
9.0	15.20
10.0	15.27
11.0	15.30
12.0	15.32
13.0	15.26
14.0	15.27
15.0	15.28
16.0	15.35
17.0	15.44
18.0	15.46

SERIAL NO. 2614A07923

Obr. 1 Hodnoty  $ENR$  šumivky HP 346B.

- Zobrazované průběhy uložte na USB flash disk (tlačítka Trace, Next, volba Ascii File Export, vyberte umístění pro uložení a zadejte název souboru). Uložený textový soubor obsahuje hlavičku s 28 řádky a dále dva sloupce čísel, kde první sloupec jsou frekvenční body v Hz a druhý sloupec jsou změřené výkony v dBm.
- Z následujících vztahů lze spočítat šumové číslo spektrálního analyzátoru  $F_{\text{SPA}}$  a jeho ekvivalentní šumovou teplotu  $T_{\text{eSPA}}$  (pozn.: do všech následujících rovnic se dosazují veličiny v lineární míře a v základních jednotkách):

$$Y_{\text{SPA}} = \frac{N_{\text{IHOT}}}{N_{\text{ICOLD}}} \quad (1)$$

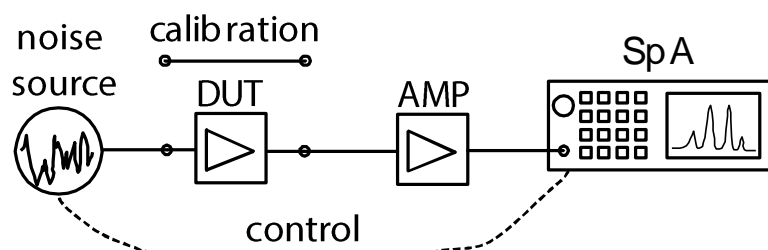
$$F_{\text{SPA}} = \frac{ENR}{Y_{\text{SPA}} - 1} \quad (2)$$

$$T_{\text{eSPA}} = T_0 (F_{\text{SPA}} - 1). \quad (3)$$

- Veličina Y je poměr mezi změřenými šumovými výkony ve stavu šumivky hot a cold a měl by vždy vyjít kladný. Pokud vyjde záporný nebo nula, pak je to způsobeno nejistotami měření. Ta se dá typicky zmenšit měřením šumu po delší časový úsek a prováděním průměrování více změřených průběhů pomocí sample detektoru analyzátoru. Dalším samostatným zdrojem nejistot je vnější rušení, kvůli kterému by všechny měřené komponenty měly být stíněny.
- Změřte šumové číslo samotného spektrálního analyzátoru, ale i když před analyzátor předradíte zesilovač.
- Zdůvodněte rozdíl mezi změřeným šumovým číslem samotného spektrálního analyzátoru a analyzátoru se zesilovačem.
- Pro zpracování frekvenčních průběhů změřených šumů můžete s výhodou použít MATLAB. Načtení uložených textových souborů je možné např. pomocí těchto příkazů:

```
T1 = table2array(readtable('DATA.TXT', 'NumHeaderLines', 28));
frequency = T1(:, 1); % frekvence v Hz
N = 10.^(T1(:, 2)/10)*1e-3; % sumovy vykon ve W
```

## 2. Měření šumového čísla Y-metodou pomocí spektrálního analyzátoru



Obr. 2 Schéma měření šumového čísla pomocí Y-metody.

- Schéma zapojení je na obr. 2. Zesilovač AMP (Mini-Circuits GALI-2+.) před spektrálním analyzátozem zlepšuje přesnost měření šumového čísla obvodu DUT.
- Zjištění šumového čísla kaskády zesilovač AMP-spektrální analyzátor, které bylo provedeno v předchozím úkolu, je nezbytný kalibrační krok.
- Mezi šumivku a zesilovač AMP zapojte měřený zesilovač nebo atenuátor. Uložte pro oba stavy šumivky oba průběhy změřeného šumu  $N_2$ .
- Šumové číslo kaskády měřený obvod–spektrální analyzátor s předzesilovačem  $F_{\text{DUT+SPA}}$  se dá spočítat následovně:

$$Y_{\text{DUT+SPA}} = \frac{N_{2\text{HOT}}}{N_{2\text{COLD}}} \quad (4)$$

$$F_{\text{DUT+SPA}} = \frac{ENR}{Y_{\text{DUT+SPA}} - 1} = F_{\text{DUT}} + \frac{F_{\text{SPA}} - 1}{G_{\text{DUT}}} \quad (5)$$

- Pravá strana rovnice (5) je dána Friisovým vztahem, který udává šumové číslo měřené kaskády. Z toho se dá vyjádřit šumové číslo samotného měřeného obvodu  $F_{\text{DUT}}$ :

$$F_{\text{DUT}} = F_{\text{DUT+SPA}} - \frac{F_{\text{SPA}} - 1}{G_{\text{DUT}}} \quad (6)$$

- Pro tento výpočet je ještě nezbytné znát zisk měřeného obvodu  $G_{\text{DUT}}$ . Ten se dá relativně přesně změřit skalárním nebo vektorovým analyzátozem, nicméně dá se spočítat i ze měřených hodnot šumových výkonů jako poměr rozdílů s měřeným obvodem a bez něj:

$$G_{\text{DUT}} = \frac{N_{2\text{HOT}} - N_{2\text{COLD}}}{N_{1\text{HOT}} - N_{1\text{COLD}}} \quad (7)$$

- Do protokolu uveďte frekvenční průběh zisku v dB, šumových čísel v dB a ekvivalentních šumových teplot v K.

### 3. Měření šumového čísla pomocí měřiče HP 8970A

- K měřiči šumového čísla připojte šumivku HP 346B a stiskněte tlačítko Calibrate. Přístroj se sám zkalibruje. To trvá přibližně do jedné minuty, kdy se defaultně ve frekvenčních bodech v rozsahu 30 MHz až 1,5 GHz po 20 MHz změří šumové číslo měřicího přístroje. Pomocí tlačítek v sekci Smoothing můžete měnit počet průměrovaných změřených hodnot na každé frekvenci. Měření i kalibrace ovšem potom probíhá N-krát pomaleji, nicméně změřené hodnoty jsou stabilnější. Defaultně průměrování neprobíhá.
- Po stisku tlačítka Noise Figure and Gain zobrazí přístroj zisk a šumové číslo přibližně 0 dB. Kalibrace je velmi závislá na teplotě, kdy ideální hodnota 0 dB s připojenou šumivkou na vstupu měřiče může ujíždět vlivem teploty měřicího přístroje, a to až o desetiny dB za minutu těsně po zapnutí přístroje.
- Mezi měřič šumového čísla a šumivku zapojte měřený zesilovač nebo atenuátor a změřte jím zisk a šumové číslo. Sledujte stabilitu měřených hodnot v závislosti na počtu průměrovaných hodnot.
- Odečtěte zisk a šumové číslo měřených obvodů s krokem alespoň 200 MHz a porovnejte je s hodnotami změřenými pomocí Y-metody z předchozího úkolu. Frekvence měření se dá měnit pomocí tlačítka Frequency a krok měření pomocí tlačítka Freq Incr. Zadávané hodnoty jsou v MHz. Frekvence se pak přepínají po nastaveném kroku pomocí tlačítek  $\uparrow$  a  $\downarrow$ .

$F$ [MHz]	100	300	500	700	900	1100	1300	1500
$G_{DUT}$ [dB]								
$F_{DUT}$ [dB]								

Tabulka naměřených hodnot pro zesilovač.

$F$ [MHz]	100	300	500	700	900	1100	1300	1500
$G_{DUT}$ [dB]								
$F_{DUT}$ [dB]								

Tabulka naměřených hodnot pro atenuátor.