

Laboratorní úloha č. 2

2. ČERVENCE 2023

MARTIN ŠIMÁK

Téma Měření mikrovlnných generátorů

Cílem této úlohy bylo seznámit se se základními parametry mikrovlnných generátorů jako je stabilita výkonu generovaného signálu, fázový šum či potlačení rušivých složek vznikajících na výstupních obvodech generátoru.

Úkoly měření

1. Stabilita výkonu generovaného signálu generátorem HP 86250D.
2. Fázový šum generovaného signálu generátory HP 86250D a R&S SMF 100A na frekvenci 1 GHz.
3. Fázový šum generovaného signálu generátorem ELSY SG2000.
4. IP2 a IP3 generátorů ELSY SG2000 a R&S SMF 100A na frekvenci 1 GHz.
5. Odstup rušivých složek signálu generátoru ELSY SG2000.

Použité přístroje a komponenty

- Spektrální analyzátor Agilent E4440A (3 Hz až 26,5 GHz)
- Zásuvná jednotka generátoru HP 86250D (8 GHz až 12,4 GHz)
- Řídící jednotka HP8620C
- Generátor ELSY SG2000 (100 kHz až 2 GHz)
- Generátor R&S SMF 100A (1 GHz až 43,5 GHz)
- Propojovací SMA kabel Mini-Circuits CBL-2FT-SMSM+

Popis měření

Z hlediska zapojení se jednalo o jednoduchou úlohu – ve všech úkolech byl měřený generátor propojen SMA kabelem ke spektrálnímu analyzátoru, z něhož jsme odečítali hodnoty. Během všech úloh byl do spektrálního analyzátoru nahrán soubor dat obsahující potřebné korekce pro kompenzaci vložného útlumu propojovacího SMA kabelu na různých frekvencích podle katalogového listu. Tyto korekce jsou též obsaženy v tabulce [1](#).

f [GHz]	IL [dB]	f [GHz]	IL [dB]	f [GHz]	IL [dB]
0,05	0,09	5	0,63	10	0,94
1	0,3	6	0,71	12	1,03
2	0,41	7	0,74	13	1,1
3	0,5	8	0,81	15	1,19
4	0,57	9	0,87	18	1,32

Tabulka 1: Hodnoty vložného útlumu propojovacího SMA kabelu CBL-2FT-SMSM+

Stabilita výkonu HP 86250D Pro měření stability výkonu generovaného signálu generátorem HP 86250D jsme nastavili na spektrálním analyzátoru referenční hodnotu výkonu na 10 dBm, šířku mezifrekvenčního filtru na 1 MHz, rozsah zobrazovaných frekvencí v rozsahu 7 GHz až 13 GHz a trackování signálu pomocí markeru. Na generátoru jsme zvolili režim CW (Continuous Wave) a výkon signálu nastavili tak, abychom na analyzátoru viděli spektrální čáru na hladině zhruba 0 dBm. Hodnoty naměřeného výkonu generovaného signálu s frekvencí jemně laděnou v rozsahu 8 GHz až 12 GHz pomocí režimu *CW Vernier* jsou zaznamenány v tabulce 2.

f [GHz]	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12
P_G [dBm]	0	-0,15	-0,58	-0,8	-0,43	-0,15	-0,07	0,06	-0,2

Tabulka 2: Hodnoty výkonu generátoru HP 86250D na různých frekvencích

Fázový šum generátorů HP 86250D a R&S SMF 100A Měření fázového šumu je možné provádět pomocí k tomu určené aplikace na použitém spektrálním analyzátoru. V aplikaci jsme nastavili nosnou frekvenci 10 GHz, rozsah hledání nosné 10 MHz a trackování nosné, přičemž rozsah zobrazování fázového šumu byl zvolen od -30 dBc (výkon vztažený k výkonu nosné) s krokem mřížky po 15 dB a rozsah offsetů od nosné na 1 kHz až 10 MHz. Po skončení zobrazování zahájeného funkcí *Log Plot* jsme pomocí markeru odečetli hodnoty fázového šumu pro oba generátory, které jsou zaneseny v tabulce 3. Nastavení generátoru HP 86250D bylo až na změnu frekvence na 10 GHz ponecháno z předchozí úlohy. Generátor R&S SMF 100A byl uveden do základního nastavení a následně mu byl doladěn výstupní výkon na 0 dBm. Frekvence byla ponechána na 10 GHz, což je součástí základního nastavení použitého generátoru.

f_{off} [kHz]	1	10	100	1000	10000
\mathcal{L}_{HP} [dBc/Hz]	-34,5	-92,93	-116,18	-139,4	-149,18
$\mathcal{L}_{\text{R\&S}}$ [dBc/Hz]	-103,4	-111,83	-117,06	-131,64	-143,58

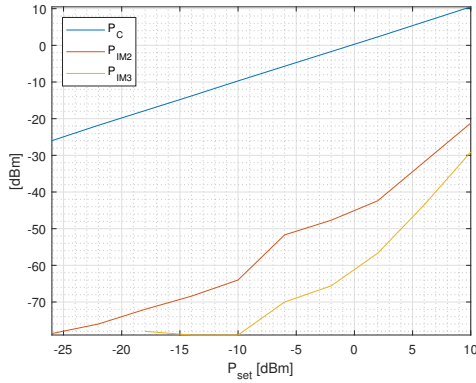
Tabulka 3: Hodnoty fázového šumu generátorů HP 86250D a R&S SMF 100A

Fázový šum generátoru ELSY SG2000 na 1 GHz a 2 GHz Postup a nastavení úlohy byly ponechány z předchozího měření, neboť se liší pouze v měřeném generátoru. Hodnoty pro oba generované signály jsou zaznamenány v tabulce 4.

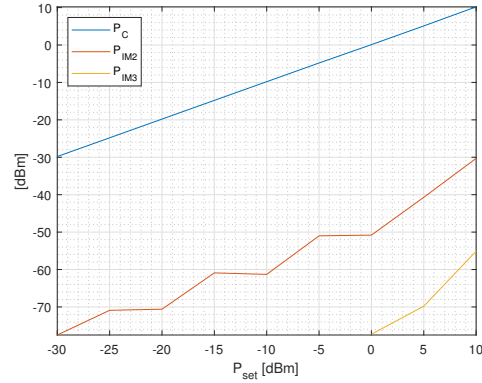
Úkol Na základě znalosti blokového schématu generátoru zdůvodněte, čím je způsoben rozdíl mezi oběma závislostmi.

P_{set} [dBm]	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
P_C [dBm]	10,2	5,1	0,1	-4,8	-9,8	-14,8	-19,8	-24,8	-29,8
P_{IM2} [dBm]	-30,3	-40,7	-50,8	-51	-61,3	-60,9	-70,6	-70,9	-77,5
P_{IM3} [dBm]	-55,1	-69,8	-77,3	X	X	X	X	X	X

Tabulka 6: Hodnoty výkonů signálu na nosné frekvenci a intermodulačních produktů 2. a 3. řádu na výstupu generátoru R&S SMF 100A



(a) ELSY SG2000



(b) R&S SMF 100A

Obrázek 2: Grafické zpracování dat pro ilustraci zahrazení IM2 a IM3

Úkol Zjistěte hodnoty IP2 a IP3 pro oba měřené generátory.

V tabulce 7 jsou zaneseny body zahrazení získané pomocí extrapolace lineárních tendencí intermodulačních produktů 2. a 3. řádu.

	IP2 [dBm]	IP3 [dBm]
ELSY SG2000	48,2	37,6
R&S SMF 100A	48,6	32,5

Tabulka 7: Zjištěné hodnoty IP2 a IP3

Odstup rušivých složek signálu generátoru ELSY SG2000 Pro zobrazování intermodulačních a subharmonických složek generovaného signálu jsme nastavili spektrálnímu analyzátoru rozsah na měření do 6,2 GHz a RBW na 100 kHz. Pomocí delta markeru jsme naměřili hodnoty odstupů nejvýznamější rušivé složky signálu od nosné v závislosti na výstupním výkonu generovaného signálu P_{set} o frekvenci 2 GHz. Tyto hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 8.

P_{set} [dBm]	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
ΔP [dBm]	-28,4	-27	-25,3	-23,8	-23,2	-25,7	-23,2	-25	-23,4

Tabulka 8: Odstup nejsilnějšího rušivého signálu od žádoucího na různých úrovních výkonu

Úkol Na základě znalosti blokového schématu generátoru zdůvodněte změřenou závislost.

Závislost je nepravidelná vlivem toho, že nastavení výkonu je realizováno přímým laděním atenutátorů, kterými je regulován výkon přivedený na vstupy zesilovačů, jak je vidět na obrázku 1. Nelinearita operačních zesilovačů potom způsobuje nepravidelný odstup intermodulačních a subharmonických složek signálu generátoru.

Závěr

V rámci úlohy jsme se seznámili s měřením základních parametrů mikrovlnných generátorů. Měření probíhalo tak, aby nám umožnilo porovnat kvalitu měřených generátorů, což posloužilo jako demonstrace odlišností jednotlivých konstrukcí. Mohli jsme tak například sledovat negativní dopad absence fázového závěsu na stabilitu výkonu generovaného signálu starším, *napěťově syntetizovaným* generátorem HP 86250D či rozdíly ve schopnosti potlačení fázového šumu oproti vysoce kvalitnímu, *frekvenčně syntetizovanému* generátoru R&S SMF 100A.

Měření proběhlo v pořádku bez větších obtíží.