

Měření velkosignálových vlastností mikrovlnných směšovačů a násobičů

Laboratorní úloha poskytuje studentům představu o parametrech a vlastnostech mikrovlnných směšovačů a násobičů a metodice jejich měření pomocí spektrálního analyzátoru a generátorů.

Úkoly měření

1. Závislost konverzních ztrát a izolace LO-IF směšovače na výkonu LO.
2. Bod zahrazení IP3 směšovače.
3. Potlačení zrcadlového kmitočtu směšovače.
4. Konverzní ztráty a harmonické složky násobičů.

Použité přístroje a komponenty

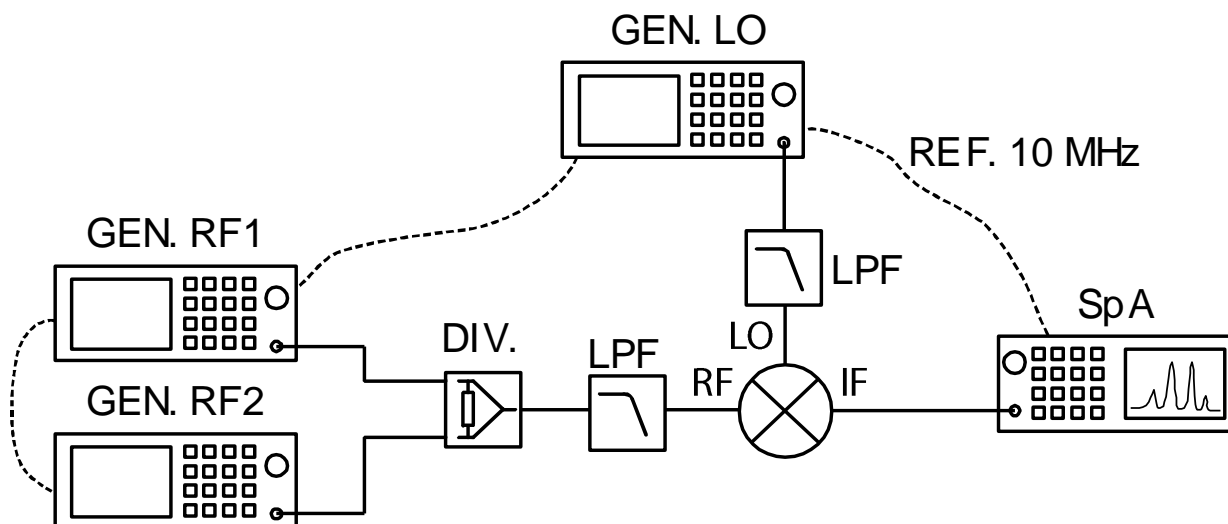
- Spektrální analyzátor Agilent E4440A (3 Hz–26,5 GHz)
- Generátor R&S SMF 100A (1–43,5 GHz)
- Generátor Agilent E8257D (250 kHz–50 GHz)
- Generátor ELSY SG3000 (100 kHz–3 GHz)
- Koaxiální dolní propust Mini-Circuits VLF-1800+ (0–1800 MHz)
- Koaxiální dolní propust Mini-Circuits VLF-1500+ (0–1500 MHz)
- Dělič výkonu/slučovač Mini-Circuits RPS-2-30+ (10–3000 MHz)
- Propojovací SMA a BNC kabely

Měřené komponenty

- Směšovač Mini-Circuits SYM-30DLHW
- Směšovač Mini-Circuits JCIR-152H+
- Násobič Mini-Circuits ZX90-2-19+
- Násobič Mini-Circuits ZX90-3-452+

0. Nastavení přístrojů před měřením

- Všechny přístroje uveďte do základního nastavení (tlačítka PRESET).
- Generátor ELSY nemá tlačítko PRESET a je potřeba si dát pozor na to, že hned po zapnutí je aktivní FM modulace výstupního signálu. Modulace se vypne tlačítkem Mod a volbou Off. Generátor má dále defaultně zapnutý výstup s výkonem 10 dBm, který se vypne tlačítkem On/Off u výstupního konektoru.
- Všechny přístroje jsou propojeny BNC kabely referenčním 10 MHz signálem ze spektrálního analyzátoru. Všechny generátory budou brát tento signál jako externí referenci.
- Zapněte výstup referenčního signálu ze spektrálního analyzátoru (tlačítko System, volby Reference, 10MHz Out nastavit na On).
- Zapněte korekci měřeného výkonu spektrálním analyzátozem na použitý kabel Pasternack PE300-12 (tlačítko File, volby Load, Type nastavte na Corrections, šipkami najedťte ve složce C:\ na soubor PE30012.CBL, Load Now). Korekce se zapne automaticky.
- Nastavení generátorů R&S: tlačítko Setup, volby System, Reference Oscillator, Source nastavit na External, tlačítko 2× Close.
- Nastavení generátoru Agilent: tlačítko Frequency, volby More, Ref Oscillator Source nastavit na Ext.
- Nastavení generátoru ELSY: tlačítka Setup, 1, položku Reference změnit šipkami z Int na Ext, tlačítko Setup uloží volbu. Generátor občas ukáže červenou chybovou hlášku, ale po restartu tlačítkem Stby zatím vždy zmizela.
- Generátor R&S bude sloužit pro všechna měření jako zdroj LO, generátor Agilent jako RF1 a generátor ELSY jako RF2.
- Oba RF generátory jsou spojeny pomocí slučovače RPS-2-30+ a na jeho výstupu je dolní propust VLF-1800+. Na výstupu generátoru LO je dolní propust VLF-1500+. Filtr mají zajistit potlačení vyšších harmonických složek z generátorů.



Obr. 1 Schéma zapojení pro měření parametrů směšovačů.

1. Závislost konverzních ztrát a izolace LO-IF směšovače na výkonu LO

- Schéma zapojení je na obr. 1, kde generátor RF2 bude vypnutý, a měřený směšovač bude Mini-Circuits SYM-30DLHW.
- Nastavte referenční výkon spektrálnímu analyzátoru na 20 dBm. Nastavte frekvenci generátoru LO na 1,2 GHz a SMA spojkou propojte generátor se spektrálním analyzátozem a nastavte výkon generovaného signálu na 10 dBm.
- Zkontrolujte výskyt vyšších harmonických složek v LO signálu. Pro snížení šumového prahu měření případně zmenšete šířku mezifrekvenčního filtru, tlačítko BW/Avg. Dolní propust nechte na generátoru LO připojenou po celou dobu měření laboratorní úlohy.
- Na výstupu slučovače generátorů RF1 a RF2 je připojena dolní propust VLF-1800+. Na generátoru RF1 na frekvenci $f_{RF} = 1,1$ GHz nastavte výstupní výkon -10 dBm a proveďte kontrolu výkonu pomocí spektrálního analyzátoru.
- Připojte generátory LO a RF1 ke směšovači a ke spektrálnímu analyzátoru výstup IF směšovače.
- Změňte referenční úroveň na spektrálním analyzátoru na 0 dBm a rozsah frekvencí do 5 GHz.
- Pozorujte průnik signálu LO na výstup směšovače a všechny další směšovací produkty a harmonické složky LO. Dále identifikujte směšovací produkty druhého a třetího řádu.
- Rozmířte výkon LO v rozsahu -10 až 10 dBm a markery odečítejte výkon P_{IF} mezifrekvenčního signálu na $f_{IF} = 100$ MHz a výkon prosakujícího signálu LO P_{IFLO} .
- Zjistěte závislost konverzních ztrát směšovače L_c a odstup mezifrekvenčního signálu od parazitního LO signálu O_{IFLO} v závislosti na výkonu LO.

P_{LO} [dBm]	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
P_{IF} [dBm]											
P_{IFLO} [dBm]											
L_c [dB]											
O_{IFLO} [dB]											

2. Bod zahrazení IP3 směšovače

- Schéma zapojení je stejné jako v přechozím úkolu a měřený směšovač bude opět Mini-Circuits SYM-30DLHW.
- Nastavte frekvence RF generátorů na $f_{RF1} = 1,1$ GHz a $f_{RF2} = 1,11$ GHz. Simulujeme tak současný příjem radiových signálů rozmístěných v kanálech po 10 MHz.
- Pomocí spektrálního analyzátoru nastavte výkon obou RF signálů na -10 dBm.
- Výkon LO je stále 10 dBm a frekvence $f_{LO} = 1,2$ GHz.
- Připojte spektrální analyzátor k IF výstupu směšovače a sledujte okolí mezifrekvence 100 MHz ± 50 MHz.
- Rozmítejte výkon obou RF signálů v rozmezí -10 až 0 dBm a sledujte výkon P_{IF} mezifrekvenčního signálu $f_{IF} = f_{LO} - f_{RF1} = 100$ MHz a výkon P_3 intermodulačních produktů 3. řádu $f_3 = f_{LO} - (2f_{RF2} - f_{RF1}) = 80$ MHz, případně složky $f_{LO} - (2f_{RF1} - f_{RF2}) = 110$ MHz, které by měly být výkonově prakticky stejné.
- Nastavte BW spektrálnímu analyzátoru tak, aby byly intermodulačních produktů 3. řádu měřitelné.
- Vypočítejte odstup mezifrekvenčního signálu f_{IF} od intermodulačních produktů 3. řádu f_3 a zjistěte bod zahrazení IP3 vztažený k RF vstupu směšovače.

P_{RF} [dBm]	-10	-8	-6	-4	-2	0
P_{IF} [dBm]						
P_3 [dBm]						
O_{IF3} [dB]						

3. Potlačení zrcadlového kmitočtu směšovače

- Schéma zapojení je stejné jako v předchozím úkolu.
- Při použití směšovačů jako down-konvertoru v radiovém přijímači, kde je mezifrekvence f_{IF} pevná a frekvence lokálního oscilátoru f_{LO} také, existují dva kmitočty $f_{RF1,2} = f_{LO} \pm f_{IF}$, které po směšování padnou do mezifrekvenčního pásma f_{IF} .
- Běžné směšovače zrcadlový kmitočet nepotlačují a konverzní ztráty signálů f_{RF1} a f_{RF2} jsou prakticky totožné, pokud je mezifrekvence nízká.
- Ten nechtěný RF signál je potřeba potlačit buď filtrací, nebo volbou směšovače konstrukčně zabírající příjmu zrcadlového kmitočtu, nebo ideálně obojím, kdy při použití směšovače s potlačením zrcadla jsou nároky na filtraci nižší.
- Výkony signálů RF1 a 2 nastavte shodně na -10 dBm a frekvence RF i LO signálů použijte z tabulky uvedené níže.
- Na spektrálním analyzátoru odečítejte výkony P_{IF1} a P_{IF2} mezifrekvenčního signálu na $f_{IF} = 100$ MHz při střídavě zapnutých signálech RF1 a RF2.
- Vypočítejte konverzní ztráty pro „horní“ a „spodní“ RF signál jako $L_L = P_{RF1} - P_{IF1}$ a $L_U = P_{RF2} - P_{IF2}$. Dále potlačení zrcadlového příjmu jako $L_M = L_U - L_L$, případně jako $L_M = P_{IF1} - P_{IF2}$ jestliže jsou výkony signálů RF1 a RF2 totožné (měly by být).
- Směšovač SYM-30DLHW vyžaduje výkon LO 10 dBm, JCIR-152H+ 18 dBm.

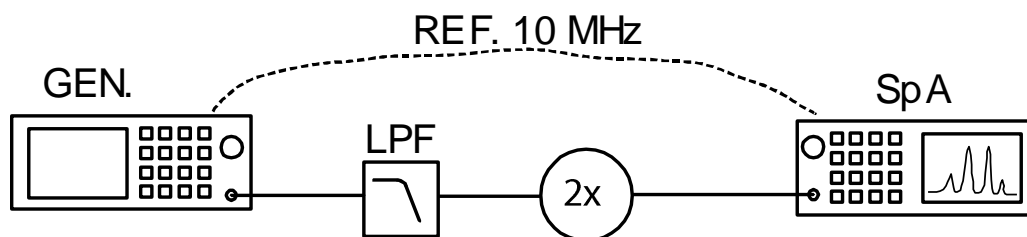
Tabulka hodnot pro směšovač SYM-30DLHW:

f_{RF1} [MHz]	f_{LO} [MHz]	f_{RF2} [MHz]	P_{IF1} [dBm]	P_{IF2} [dBm]	L_L [dB]	L_U [dB]	L_M [dB]
1000	1100	1200					
1100	1200	1300					
1200	1300	1400					
1300	1400	1500					

Tabulka hodnot pro směšovač JCIR-152H+:

f_{RF1} [MHz]	f_{LO} [MHz]	f_{RF2} [MHz]	P_{IF1} [dBm]	P_{IF2} [dBm]	L_L [dB]	L_U [dB]	L_M [dB]
1000	1100	1200					
1100	1200	1300					
1200	1300	1400					
1300	1400	1500					

4. Konverzní ztráty a harmonické složky násobičů



Obr. 2 Schéma měření konverzních ztrát násobičů.

- Schéma zapojení je na obr. 2.
- Násobiče jsou nelineární prvky, které na svém výstupu produkují vyšší harmonické složky vstupního signálu. Násobiče bývají optimalizovány tak, aby měly co nejnižší konverzní ztráty pro jednu konkrétní harmonickou složku. Nejběžnější jsou dvojnásobiče až pětínásobiče.
- Připojte na vstup násobiče generátor R&S s dolní propustí VLF-1500+ pro potlačení vyšších harmonických složek (již by měl být připojen z minulých úkolů) a nastavte frekvenci signálu na $f_1 = 1,2 \text{ GHz}$.
- Připojte signál z generátoru na vstup násobiče a měňte výkon signálu v rozsahu 0 až 10 dBm a měřte výkony vyšších harmonických složek na výstupu násobiče.
- Spočítejte konverzní ztráty L_k a odstup výstupního signálu od nejvýkonnější nechtěné harmonické složky O_{OUT} .

Tabulka hodnot pro násobič ZX90-2-19+:

P_{IN} [dBm]	0	2	4	6	8	10
P_{OUT2} ($2f_{IN}$) [dBm]						
P_{OUT3} ($3f_{IN}$) [dBm]						
P_{OUT4} ($4f_{IN}$) [dBm]						
L_k [dB]						
O_{OUT} [dBc]						

Tabulka hodnot pro násobič ZX90-3-452+:

P_{IN} [dBm]	0	2	4	6	8	10
P_{OUT2} ($2f_{IN}$) [dBm]						
P_{OUT3} ($3f_{IN}$) [dBm]						
P_{OUT4} ($4f_{IN}$) [dBm]						
L_k [dB]						
O_{OUT} [dBc]						