

## Měření velkosignálových vlastností mikrovlnných zesilovačů

*Laboratorní úloha poskytuje studentům představu o parametrech a vlastnostech mikrovlnných zesilovačů a metodice jejich měření pomocí spektrálního analyzátoru.*

### Úkoly měření

1. Bod decibelové komprese  $P_{1dB}$  zesilovačů.
2. Bod zahrazení IP3 pro složky  $2a \pm b$  zesilovačů.

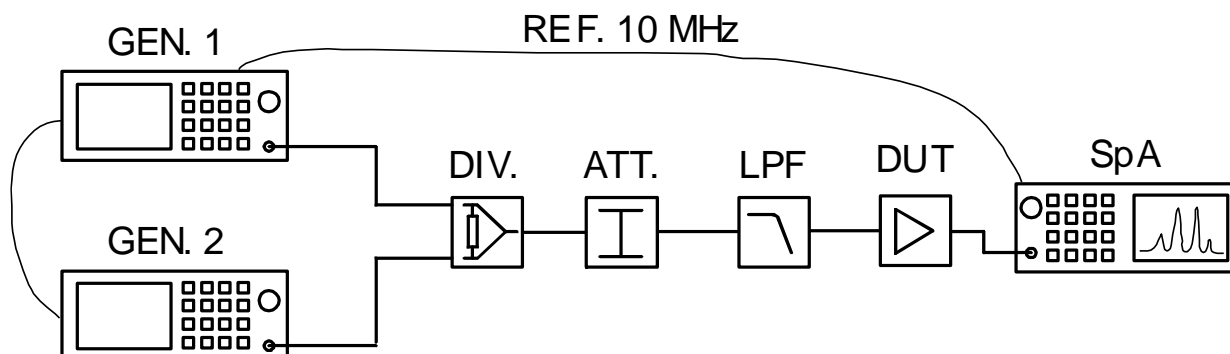
### Použité přístroje a komponenty

- Spektrální analyzátor R&S FSP30 (9 kHz–30 GHz)
- Generátor R&S SMIQ 03B (300 kHz–3,3 GHz)
- Generátor Agilent E8257D (250 kHz–50 GHz)
- Elektronicky říditelné attenuátory HP 84904L a 84906L (0–40 GHz)
- Koaxiální dolní propust Mini-Circuits VLFX-1050+ (0–1050 MHz)
- Dělič výkonu/slučovač Mini-Circuits RPS-2-30+ (10–3000 MHz)
- Propojovací SMA kabel Mini-Circuits CBL-2FT-SMSM+
- Dva propojovací kabely Pasternack PE300-36

### Měřené zesilovače

- Mini-Circuits ERA-3SM+
- Nízkošumový zesilovač s tranzistorem NXP BFU760F

## 1. Bod decibelové komprese $P_{1dB}$ zesilovačů



Obr. 1 Schéma zapojení laboratorní úlohy

- Schéma zapojení je uvedeno na obr. 1.
- Oba generátory a spektrální analyzátor uveďte do základního nastavení (tlačítka PRESET).
- Oba generátory a spektrální analyzátor jsou navzájem propojeny pomocí BNC kabelů s referenčním 10 MHz signálem, aby generátory generovaly koherentní signály a analyzátor detekoval signály s přesnou frekvencí. Spektrální analyzátor R&S bude zdroj reference, generátor Agilent bude tento externí signál brát jako referenční místo svého interního zdroje (tlačítka Frequency, volby More, Ref Oscillator Source nastavit na Ext) a generátor R&S také (menu Utilities, Ref Osc-Source-EXT).
- Měření decibelové komprese a intermodulačních produktů zesilovačů vyžaduje měření relativně velkých výkonů spektrálním analyzátozem, protože se měřený zesilovač měří blízko saturace. Budeme předpokládat, že maximální měřený výkon, bude 10 dBm. Analyzátor se musí nastavit tak, aby takový výkon nepřebudil vstupní obvody, tj. hlavně první směšovač. Vstupní obvod analyzátoru by jinak sám generoval intermodulační produkty nerozeznatelné od těch, které generuje měřený zesilovač.
- Spektrální analyzátor nastavte na rozsah frekvencí od 100 MHz do 3,1 GHz (tlačítka FREQ).
- Referenční hodnotu výkonu nastavte na 10 dBm (tlačítka AMPT).
- Šířku mezifrekvenčního filtru nastavte na 100 kHz (tlačítka BW, volba RES BW MANUAL, nastavte 100 kHz)
- Útlum externích attenuátorů HP mějte nastavenou na 0 dB. Na výstupu attenuátoru není připojen koaxiální filtr.
- Jeden z generátorů nastavte na frekvenci 1 GHz a druhý na 1,01 GHz. Nastavte jim výkon tak, aby spektrální analyzátor měřil přibližně 10 dBm. U obou použitých generátorů je nutné zapnout jejich výstup pomocí tlačítek RF On/Off.
- Prohlédněte si spektrum výstupních signálů obou generátorů zvlášť a identifikujte vyšší harmonické složky. Pro odečítání výkonů použijte na spektrálním analyzátoru marker, který aktivujete tlačítkem MKR, poté MKR→, volba PEAK, dále NEXT PEAK.
- Pro měření intermodulačních produktů zesilovačů je potřeba zajistit co nejčistší výstupní signál generátorů. Vyšší harmonické složky by měly být potlačeny co nejvíce. Na výstup externích attenuátorů připojte koaxiální dolní propust VLFX-1050+ a sledujte výkony vyšších harmonických.
- Spektrální analyzátor nastavte na střední frekvenci 1 GHz a rozsah zobrazeného spektra na 60 MHz (tlačítka FREQ a SPAN). Šířku mezifrekvenčního filtru nastavte na 100 kHz (tlačítka BW). Dostavte výkony obou generátorů na měřený výkon 10 dBm. Útlum použitých kabelů, sluchovače, attenuátorů a filtru by měl být cca. 6 dB.

- Při zapnutí obou generátorů zároveň identifikujte ve spektru intermodulační produkty 3. řádu typu  $2a \pm b$ . Ty vznikají přebuzením vstupního obvodu spektrálního analyzátoru. Všechny externí komponenty (kabely, výkonový dělič, attenuátory) jsou obvody lineární a intermodulační produkty na nich nevznikají. Pokud žádné intermodulační produkty nevidíte, zmenšete hodnotu attenuátoru na vstupu přijímače na 20 dB (tlačítko AMPT, volba RF ATTEN MANUAL).
- Nastavte hodnotu vstupního attenuátoru spektrálního analyzátoru tak, aby intermodulační produkty 3. řádu byly neměřitelné. Nejspíše vyhoví nastavit vstupní attenuátor na automatickou hodnotu (tlačítko AMPT, volba RF ATTEN AUTO).
- V tuto chvíli jsme si jisti, že i při měření výkonu 10 dBm (očekávaný maximální měřený výkon ze zesilovačů) se bude přijímač spektrálního analyzátoru nacházet v lineárním režimu a budeme měřit decibelovou kompresi přesně.
- Nastavte na obou generátorech výkony tak, aby spektrální analyzátor měřil výkony 0 dBm. Útlum attenuátorů je stále 0 dB.
- V tuto chvíli si jsme jisti, že na vstup měřených zesilovačů bude přiváděn výkon číselně roven  $-L_{att}$  dBm, kde  $L_{att}$  je nastavený útlum externích attenuátorů v dB.
- Nastavte útlum externích attenuátorů na asi 30 dB. Nechte zapnutý pouze generátor s frekvencí 1 GHz.
- Nastavte rozsah měřených frekvencí na spektrálním analyzátoru na rozsah 0,5 až 3,5 GHz a sledujte i vyšší harmonické složky zesilovaného signálu.
- Mezi koaxiální filtr a kabel ze spektrálního analyzátoru připojte jeden z měřených zesilovačů. Napájecí napětí nastavte na 12 V a proudovou pojistku na 100 mA. Markerem odečítejte výkon výstupního 1 GHz signálu ze zesilovače.
- Nastavujte útlum externích attenuátorů tak, abyste proměřili závislost výstupního výkonu zesilovače  $P_{out}$  na vstupním výkonu  $P_{in}$  až k saturaci zesilovače.
- Změřené hodnoty vyneste do grafu a zjistěte  $P_{1dB}$  vztažený k výstupu zesilovače.

Zesilovač: Mini-Circuits ERA-3SM+

$L_{att}$ [dB]									
$P_{out}$ [dBm]									
$G$ [dB]									

Zesilovač: LNA s tranzistorem NXP BFU760F

$L_{att}$ [dB]									
$P_{out}$ [dBm]									
$G$ [dB]									

## 2. Bod zahrazení IP3 pro složky $2a \pm b$ zesilovačů

- Schéma zapojení je stejné jako v předchozím úkolu.
- Zapněte výstupy obou generátorů. Nastavte externí attenuátory na útlum asi 30 dB.
- Nastavte na spektrálním analyzátoru střední frekvenci 1 GHz a rozsah frekvencí 60 MHz (tlačítko SPAN).
- Prozkoumejte, v jakých mezích útlumu attenuátorů jsou intermodulační produkty typu  $2a \pm b$  měřitelné.
- Pomocí markerů odečítejte hodnotu výkonu základní harmonické  $P_a$ , výkon intermodulačních produktů  $P_{2a \pm b}$  a vypočítejte odstup intermodulačních produktů od základní harmonické  $O_{2a \pm b}$ .
- Změřené výkony vynesete do grafu a zjistíte bod zahrazení IP3 pro složky  $2a \pm b$ .

Zesilovač: Mini-Circuits ERA-3SM+

$L_{att}$ [dB]									
$P_a$ [dBm]									
$P_{2a \pm b}$ [dBm]									
$O_{2a \pm b}$ [dBm]									

Zesilovač: LNA s tranzistorem NXP BFU760F

$L_{att}$ [dB]									
$P_a$ [dBm]									
$P_{2a \pm b}$ [dBm]									
$O_{2a \pm b}$ [dBm]									