

# Laboratorní úloha č. 7

26. DUBNA 2023

MARTIN ŠIMÁK

---

**Měření velkosignálových vlastností mikrovlnných směšovačů a násobičů** Laboratorní úloha ukazuje možnosti měření mikrovlnného výkonu termálním a diodovým detektorem a vysílaného pulzního radarového senzoru.

## Úkoly měření

1. Měření dodaného výkonu do zátěže přes směrovou odbočnici
2. Měření efektivního vysílaného isotropického výkonu (EIRP) radaru

## Použité přístroje a komponenty

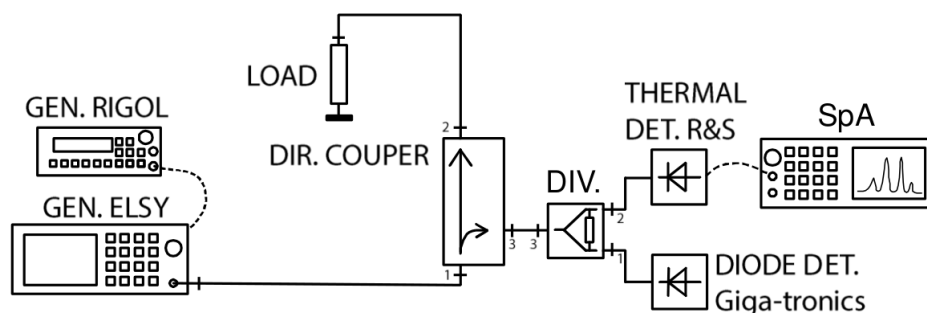
- Spektrální analyzátor R&S FSW26 (2 Hz až 26,5 GHz)
- Harmonický mixér R&S FS-Z90 (60 GHz až 90 GHz)
- Trychtýřová anténa RFspin H-A90-W25 (60 GHz až 90 GHz)
- Detektor R&S NRP40TN (DC až 40 GHz)
- Detektor Giga-tronics 80401A (0,01 MHz až 18 GHz)
- Vyhodnocovací jednotka detektoru Giga-tronics 8541C
- Generátor ELSY SG3000 (100 kHz až 3 GHz)
- Nízkofrekvenční generátor RIGOL DG2041A (do 40 MHz)
- Směrová odbočnice Tesla CGN 102 10 (1 GHz až 2 GHz)
- Dělič výkonu Mini-Circuits ZX10-2-20-S+ (200 MHz až 2 GHz)
- Integrovaná milimetrová jednotka (IMJ)
- Generátor Agilent E8257D (250 kHz až 50 GHz)
- Kabele s N konektorem (Pasternack PE302-24)
- Propojovací SMA kabele

## Měřené komponenty

- Radarový modul Texas Instruments AWR1642BOOST (77 GHz až 81 GHz)

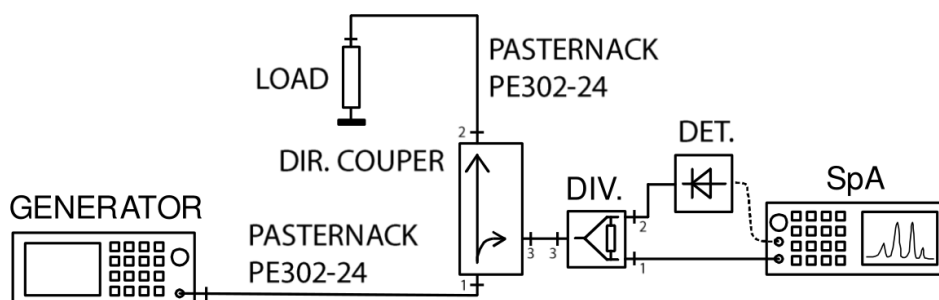
## Popis měření

**Porovnání možností diodového a termálního detektoru - demonstrace** Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.



Obrázek 1: Schéma zapojení úlohy

**Měření dodaného výkonu do zátěže přes směrovou odbočnici** Cílem úlohy je ukázat, jak lze měřit výkon dodaný do zátěže nepřímo přes směrovou odbočnici. Ve vysílací technice, kde jsou k anténě dodávány minimálně jednotky wattů výkonu, nelze často měřit výkon přímo, protože běžné mikrovlnné detektory nemají dostatečně velký rozsah měřených výkonů. Zároveň se vysílaný výkon průběžně monitoruje a je součástí smyčky ALC (automatic leveling control). Schéma zapojení úlohy je na obrázku 2.



Obrázek 2: Schéma zapojení úlohy

V této úloze slouží spektrální analyzátor jako zobrazovací jednotka pro výkon měřený termálním detektorem a dále detektor informuje o frekvenci vysílaného signálu. Do zátěže se vysílá jen CW signál. Nastavení přístrojů:

- vypnutá modulace ASK generátoru,

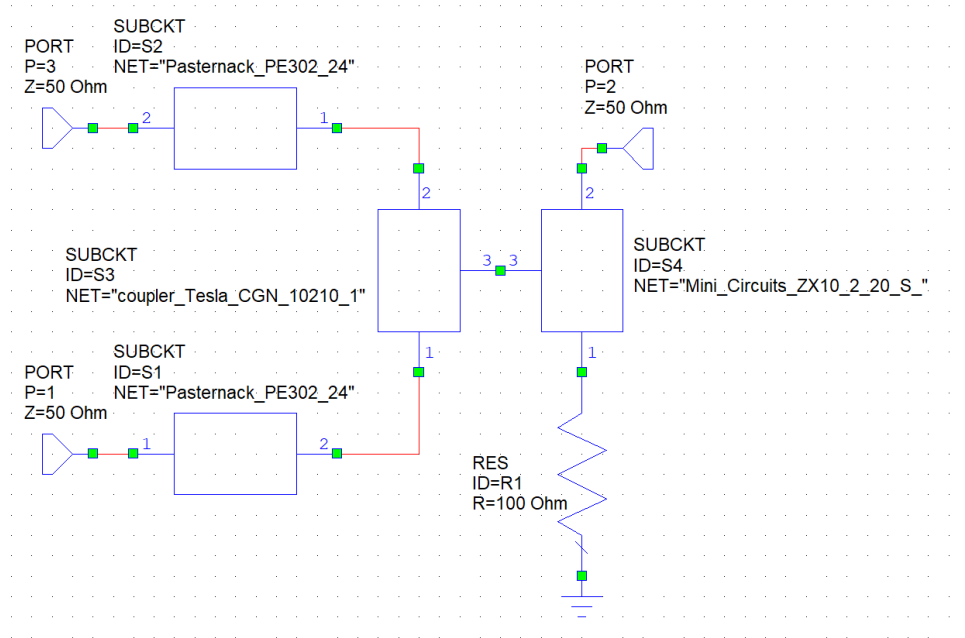
- frekvence výstupního signálu generátoru na 1 GHz a výkon 0 dBm,
- spektrální analyzátor s frekvenčním rozsahem měření od 0,9 GHz do 2,1 GHz, jinak v základním nastavení,
- svižné měření detektoru s korekcí změřené hodnoty výkonu podle měření frekvence z interních kalibračních dat (*Continuous Update: On, Frequency Coupling: Marker*).

Po zapnutí detektoru (*Power Sensor Config-State: On*) a nastavení markeru tak, aby vždy sledoval špičku s nejvyšším měřeným výkonem (*Marker Config-Auto Max Peak: On*), na generátoru postupně měníme frekvenci signálu v rozsahu 1 GHz až 2 GHz, tedy v rozsahu funkčnosti směrové odbočnice, a výkony  $P_{\text{DET}}$  změřené detektorem jsou zaznamenány v tabulce 1.

$f$ [MHz]	1100	1200	1300	1400	1500
$P_{\text{DET}}$ [dBm]	-17,52	-17,57	-17,76	-17,78	-17,91
$P_{\text{LOAD}}$ [dBm]	-11,7	-11,7	-11,9	-11,9	-12
$f$ [MHz]	1600	1700	1800	1900	2000
$P_{\text{DET}}$ [dBm]	-17,87	-18,14	-18,31	-18,35	-18,80
$P_{\text{LOAD}}$ [dBm]	-11,9	-12,1	-12,2	-12,8	-12,6

Tabulka 1: Naměřené a vypočítané hodnoty výkonu

Výkon změřený přes směrovou odbočnici není ten, který je dodáván do zátěže. K dispozici máme změřené S-parametry dvou stejných kabelů Pasternack, použité směrové odbočnice a děliče výkonu. V programu AWR lze tak jednoduše sestavit obvod z bloků S-parametrů jako na obrázku 3. Měření výkonu  $P_{\text{DET}}$  bylo provedeno v místě portu 2 a předpokládáme, že detektor



Obrázek 3: Schéma sestavené z bloků S-parametrů

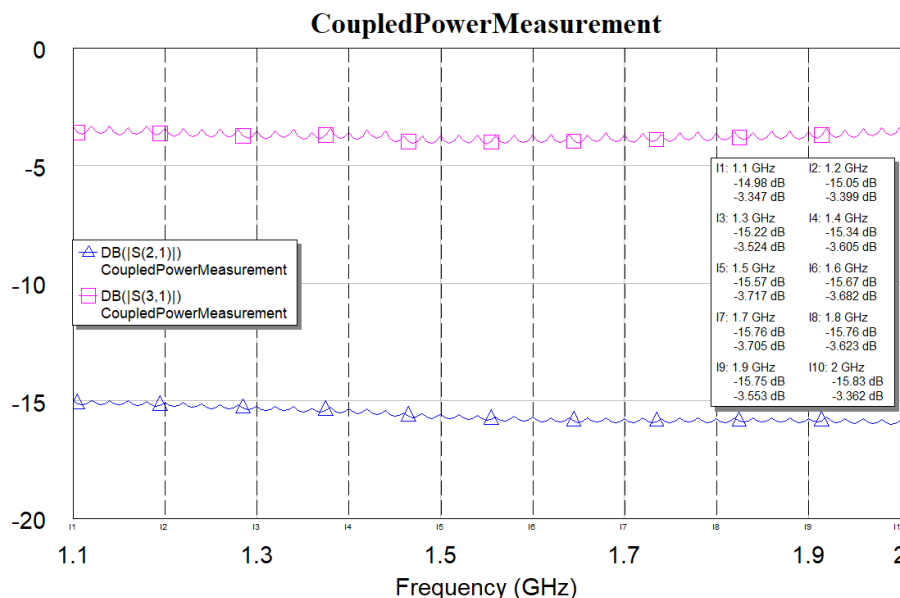
i vstup spektrálního analyzátoru byl bezodrazový. Ze známého výkonu generátoru  $P_{\text{in}}$  se dá detekovaný výkon spočítat jako

$$P_{\text{DET}} = P_{\text{in}} |S_{21}|. \quad (1)$$

Výkon dodávaný do zátěže se dá pak spočítat jako

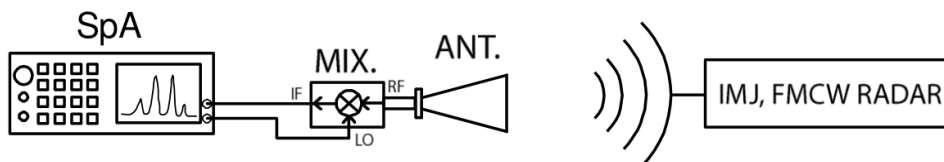
$$P_{\text{LOAD}} = P_{\text{in}} |S_{31}| = P_{\text{DET}} \frac{|S_{31}|}{|S_{21}|}, \quad (2)$$

tedy bez potřeby znát skutečnou hodnot výkonu  $P_{\text{in}}$  generovaného přímo generátorem. Hodnoty  $P_{\text{LOAD}}$  v tabulce 1 jsme získali touto metodou, kde S-parametry byly získány simulací obvodu 3. Grafy těchto hodnot jsou znázorněny na obrázku 4.



Obrázek 4: S-parametry soustavy odbočující měřený výkon

**Měření harmonického signálu pomocí harmonického mixéru - demonstrace** Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.



Obrázek 5: Schéma zapojení úlohy

**Měření EIRP radaru** Zapojení je ponecháno z předchozí úlohy, viz obrázek 5.

$f$ [GHz]	77	78	79	80	81
$P_{RX}$ [dBm]	X	X	X	X	X
FSL [dB]	X	X	X	X	X
EIRP [dBm]	X	X	X	X	X

Tabulka 2: Naměřená a vypočítaná data

**Měření rychlých dějů pomocí real-time spektra - demonstrace** Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

## Závěr

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.