

Měření mikrovlnného výkonu

Laboratorní úloha ukazuje možnosti měření mikrovlnného výkonu termálním a diodovým detektorem a vysílaného výkonu pulzního radarového senzoru.

Úkoly měření

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

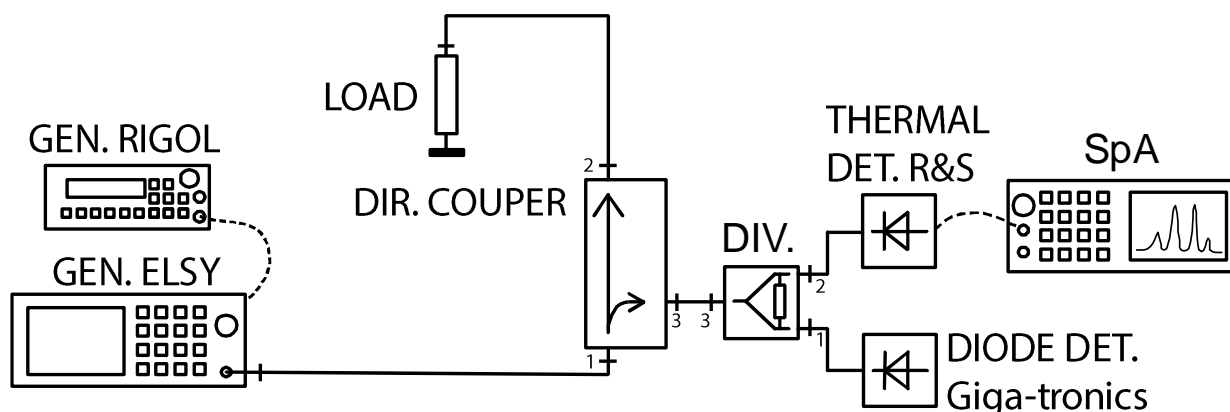
Použité přístroje a komponenty

- Spektrální analyzátor R&S FSW26 (2 Hz–26,5 GHz)
- Harmonický mixér R&S FS-Z90 (60–90 GHz)
- Trychtýřová anténa RFspin H-A90-W25 (60–90 GHz)
- Detektor R&S NRP40TN (DC–40 GHz)
- Detektor Giga-tronics 80401A (0,01 MHz–18 GHz)
- Vyhodnocovací jednotka detektoru Giga-tronics 8541C
- Generátor ELSY SG3000 (100 kHz–3 GHz)
- Nízkofrekvenční generátor RIGOL DG2041A (do 40 MHz)
- Směrová odbočnice Tesla CGN 102 10 (1–2 GHz)
- Dělič výkonu Mini-Circuits ZX10-2-20-S+ (200–2000 MHz)
- Integrovaná milimetrová jednotka (IMJ)
- Generátor Agilent E8257D (250 kHz–50 GHz)
- Kabely s N konektorem (Pasternack PE302-24)
- Propojovací SMA kabely

Měřené komponenty

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

1. Porovnání možností diodového a termálního detektoru - demonstrace

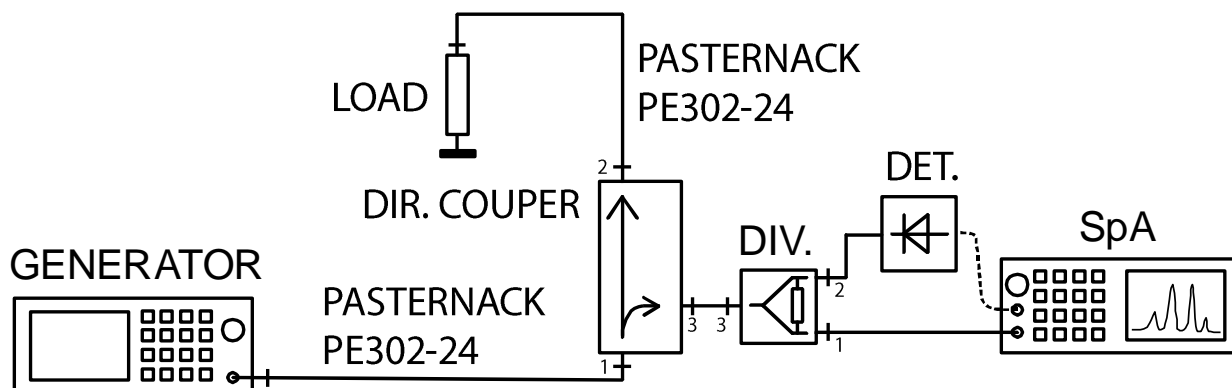


Obr. 1 Zapojení pro porovnání diodového a termálního detektoru.

- Zapojení je provedeno podle obr. 1.
- Na generátoru ELSY nastavte frekvenci výstupního signálu na 1 GHz, nastavte ASK modulaci s hloubkou 100 % z externího zdroje a zapněte výstup (tlačítko Freq, 1 GHz, tlačítko Mod, Mod, ASK, Depth, 100 %, tlačítko Mod, ModIN, EXT, tlačítko On/Off). Modulaci ještě nezapínejte.
- Na generátoru Rigol nastavte výstup do vysoké impedance (tlačítko Utility, Output, HighZ). Dále nastavte výstupní signál jako pulzy v rozsahu 0 až 3 V s frekvencí 1 kHz a střidou 5 %, tedy délkou 50 μ s, jako modulační signál generátoru ELSY (tlačítko Pulse, Freq, 1 kHz, Ampl, 3 Vpp, Offset, 1,5 Vdc, DtyCyc, 5 %). Zapněte výstup (tlačítko Output). Generátor ELSY ho bude zatím ignorovat, protože je modulace vypnutá.
- Spektrální analyzátor slouží jen pro zobrazení výkonu z termálního detektoru (tlačítko INPUT/OUTPUT, Power Sensor Config, State nastavte na On).
- Na detektoru Giga-tronics nastavte měření v CW módu (tlačítko MENU, šipkami vybrat SENSOR SETUP, tlačítko ENTER, šipkami najít CW, tlačítko ENTER).
- Na výstupu generátoru ELSY je tedy zatím harmonický signál s frekvencí 1 GHz. Oba detektory by měly ukazovat stejný výkon. Nastavte výkon na generátoru ELSY tak, aby oba detektory ukazovaly asi -10 dBm (tlačítko Level).
- Zapněte ASK modulaci generátoru ELSY (tlačítko Mod, On). Termální detektor ukazuje průměrnou hodnotu výkonu $-10 + 10 \log_{10}(0,05) = -23$ dBm, hodnota na diodovém detektoru je určena špatně, protože předpokládá CW vstup. Na diodovém detektoru se musí nastavit měření modulovaných signálů (tlačítko MENU, SENSOR SETUP, šipkami vybrat MODULATED AVG).
- Výkony z obou detektorů se dají snadno korigovat pro zobrazování výkonu v pulzu jen tehdy, když mají pulzy známou střidu, resp. periodu a délku.
- Narozdíl od termálního detektoru lze na diodovém detektoru analyzovat i pulzy s náhodnou periodou a délkou. Pro takové měření nastavte detektor do režimu BURST AVG (tlačítko MENU, SENSOR SETUP, šipkami vybrat BURST AVG).
- Dá se změřit i překmit výkonu v pulzu oproti průměrné hodnotě výkonu v pulzu, tzv. crest factor (tlačítko MENU, šipkami najít MEAS SETUP MENU, najít CREST FACTOR, nastavit na On). Faktor je ovlivněn jak překmity, ale i rychlostí hran pulzu.

2. 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).



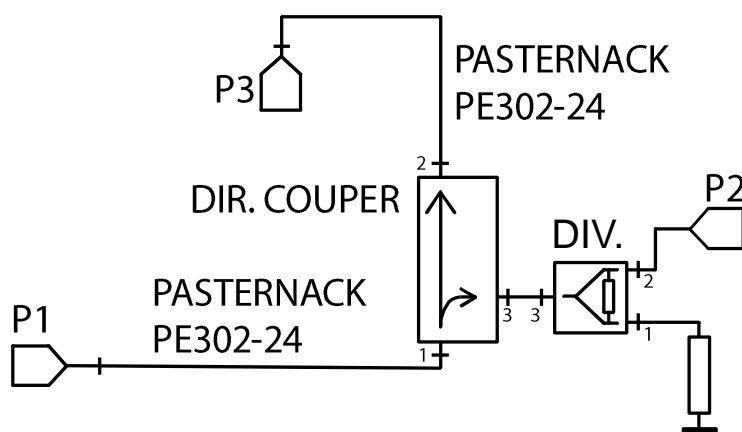
Obr. 2 Schéma zapojení úlohy.

- Schéma zapojení úlohy je na obr. 2.
- V této úloze slouží spektrální analyzátor jako zobrazovací jednotka pro výkon měřený termálním detektorem a dále detektor informuje o frekvenci vysílaného signálu. Vysílat se do zátěže bude jen CW signál.
- Na generátoru vypněte ASK modulaci (tlačítko Mod, volba Off) a nastavte frekvenci výstupního signálu na 1 GHz a výkon 0 dBm (tlačítka Freq a Level).
- Spektrální analyzátor nastavte do základního stavu (tlačítko PRESET) a nastavte frekvenční rozsah měření od 0,9 GHz do 2,1 GHz (tlačítko FREQ, volby Start a Stop).
- Zapněte marker a nastavte ho tak, aby vždy sledoval špičku s nejvyšším měřeným výkonem (tlačítko MKR, volby Marker Config, záložka Search, Auto Max Peak nastavte na On).
- Zapněte detektor připojený ke spektrálnímu analyzátoru a zajistěte, aby měřil svižně (nezávisle na sweepu analyzátoru) a korigoval změřené hodnoty výkonu podle měření frekvence z interních kalibračních dat (tlačítko INPUT/OUTPUT, Power Sensor Config, State nastavte na On, Continuous Update nastavte na On, Frequency Coupling na Marker).
- Na generátoru měňte postupně frekvenci signálu v rozsahu 1 až 2 GHz, tedy v rozsahu funkčnosti směrové odbočnice a zaznamenejte si změřené výkony detektorem P_{DET} s krokem např. 100 MHz.

F [MHz]	1 100	1 200	1 300	1 400	1 500	1 600	1 700	1 800	1 900	2 000
P_{DET} [dBm]										
P_{LOAD} [dBm]										

Tabulka pro změřené a vypočítané hodnoty výkonu.

- Při změně frekvence signálu se vždy na spektrálním analyzátoru automaticky posune i marker a hodnotu výkonu z něj nemusíte zapisovat. Pro experiment není důležitá.



Obr. 3 Schéma sestavené z bloků S-parametrů.

- Výkon změřený přes směrovou odbočnici není ten, který je dodáván do zátěže. Máte k dispozici změřené S-parametry dvou stejných kabelů Pasternack, použité směrové odbočnice a děliče výkonu. Např. v programu AWR sestavte obvod z bloků S-parametrů podle obr. 3.
- Měření výkonu P_{DET} bylo provedeno v místě portu 2 a předpokládáme, že detektor i vstup spektrálního analyzátoru byl bezodrazový. Ze známého výkonu generátoru P_{in} se dá detekovaný výkon spočítat jako

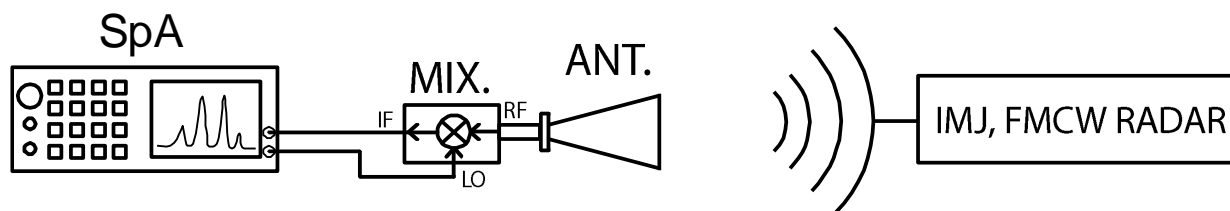
$$P_{\text{DET}} = P_{\text{in}} |S_{21}| \quad (1)$$

- 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 hodnotu výkonu P_{in} generovaného přímo generátorem.

3. Měření harmonického signálu pomocí harmonického mixéru - demonstrace



Obr. 4 Zapojení úlohy s harmonickým mixérem.

- Zapojení laboratorní úlohy je na obr. 4. Ke spektrálnímu analyzátoru je připojen harmonický mixér jako vstup, který přes anténu na vlnovodu WR-12 přijímá signály ve frekvenčním pásmu 60–90 GHz.
- Na spektrálním analyzátoru stiskněte tlačítko Preset.

- Zapněte harmonický mixér (tlačítko INPUT/OUTPUT, volby External Mixer Config, sekce Mixer Type 3-port, sekce Band Settings, Band E (60–90 GHz), sekce Mixer Settings, Harmonic Type Even, Harmonic Order 6, Table, NONE změnit na RAS_FS_Z90_101804_6_1330M.ACL).
- Do mixéru pusťte signál LO zapnutím volby On.
- Nastavte výkon LO na 14 dBm stejně jako bylo při kalibraci výrobcem (záložka Basic Settings, LO Level 14 dBm).
- Zapněte identifikaci zrcadlových příjmů (sekce Signal Identification Settings, Signal ID nastavit na On, Auto ID na Off).
- Zdrojem harmonického signálu 82 GHz je IMJ (integrovaná milimetrová jednotka), která sestává ze směšovače a antény. IMJ je na vstupu LO buzena z generátoru Agilent signálem s frekvencí 41 GHz a v IMJ dojde k vynásobené této frekvence $2\times$. Na vstupu IF není připojeno nic, tedy z antény IMJ se bude vysílat jen prosakující signál LO. Spektrální analyzátor posílá do vstupu LO mixéru silný signál frekvencí f_{LO}/n , kde $n = 6$ a přijímá mezifrekvenční signál IF na frekvenci $f_{IF} = 1330$ MHz. Spektrální analyzátor obecně přijme všechny RF signály, které mají frekvenci splňující relaci

$$|nf_{LO} \pm f_{RF}| = f_{IF}, \quad (3)$$

kde n je jakékoli přirozené číslo. V běžném režimu spektrální analyzátor používá frekvenci $f_{LO} = (f_{RF} + f_{IF})/6$, tedy $f_{LO} \in \langle 10,22; 15,22 \rangle$ GHz. Pro identifikaci zrcadlového příjmu je ale střídavě používána i frekvence $f_{LO} = (f_{RF} - f_{IF})/6$, tedy $f_{LO} \in \langle 9,78; 14,78 \rangle$ GHz.

- Ve změřeném spektru se bez automatické detekce falešných příjmů zobrazuje několik harmonických signálů, i když je na vstupu jen jeden signál. Na směšovači se díky silně přebuzené nelinearitě vytvoří i další harmonické složky LO signálu a dojde ke směšování všech harmonických složek LO se vstupním RF signálem.
- Na spektrálním analyzátoru lze vidět příjem signálů f_{RF} a $f_{RF} \pm 2f_{IF}$.
- Nastavte automatické potlačování falešných příjmů (tlačítko INPUT/OUTPUT, volba External Mixer Config, záložka Basic Settings, Auto ID na On). Jakmile je nějaký signál detekován s obou variantách příjmu, je považován za reálný. Po této korekci zůstane vidět jen signál f_{RF} .

4. Měření EIRP radaru

- Zapojení je stejné jako v předchozí úloze. Zdrojem signálu je nyní radarový modul TI AWR1642BOOTS.
- Změřte velikosti apertur obou antén a zajistěte, aby měření probíhalo ve vzdálené zóně

$$d_F = \frac{2D^2}{\lambda}, \quad (4)$$

kde D je největší rozměr z obou apertur antén a λ je vlnová délka.

- Markery nastavte na okraje pásma radarového signálu 77 až 81 GHz (tlačítko MKR, Marker 1, 77 GHz, Marker 2, 4 GHz).
- Prohlédněte si spektrum, které analyzátor měří standardně v celém pásmu f_{RF} 60 až 90 GHz. Je vidět, že téměř všude se občas objevují detekované části radarem vysílaných čírpů. Kvůli tomu, že se přijímá harmonickým mixérem, je potřeba počítat s tím, že přijímané RF frekvence mohou po

směšování obecně s n -tou harmonickou $n f_{LO}$ padnout do mezifrekvenčního pásma a může být přijata „kopie“ přijímaného signálu, která se jeví frekvenčně posunuta oproti originálu.

- Nastavte rozsah měření na 76 až 82 GHz (tlačítko Freq, volby Start a Stop).
- Nastavte sweep přes pásmo trvající 1 s (tlačítko SWEEP, Sweep Time Manual, 1 s).
- Vytvoříme trace, která si bude pamatovat maximum přijatého výkonu (tlačítko TRACE, Trace 4, Mode nastavit na Max Hold, Detector Positive Peak).
- Markerem odečtete přijatý výkon P_{rx} na trace 4 (tlačítko MKR, Marker 2, volba Marker to Trace, 4, ENTER, Marker 2, kolečkem měňte frekvenci) a vypočítejte $EIRP$ jako

$$EIRP = P_{rx} + FSL - G, \quad (5)$$

kde FSL jsou ztráty volným prostorem a G je zisk použité antény 25 dB. Ztráty volným prostorem jsou

$$FSL = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2, \quad (6)$$

kde d je vzdálenost mezi přijímací a vysílací anténou.

F [GHz]	77	78	79	80	81
P_{rx} [dBm]					
FSL [dB]					
$EIRP$ [dBm]					

Tabulka změřených a vypočtených hodnot.

5. Měření rychlých dějů pomocí real-time spektra - demonstrace

- Spektrální analyzátor umožňuje v reálném čase vzorkovat signál s šířkou pásma 160 MHz. Ze vzorků v časové oblasti lze pak vypočítat spektrum pomocí Fourierovy transformace a zobrazit spektrum přijatého signálu. Tímto způsobem lze detekovat i rychlé děje, které by přeladovaný heterodynní přijímač změřil jen náhodou.
- Tlačítko Mode, Real-Time Spectrum.
- Frekvence od 77 GHz, tlačítko SWEEP, 50 μ s.
- Tlačítko MEAS CONFIG, Color Mapping, přizpůsobit rozsah barev přijímaným výkonům.
- Tlačítko RUN SINGLE, hledat čirpy, 32 ks.
- Tlačítko SWEEP 1 ms, hledat periodu framů.