

## Měření permitivity materiálů

*Laboratorní úloha ukazuje využití vektorového měření pro určování frekvenčního průběhu efektivní i relativní permitivity různých materiálů.*

### Úkoly měření

1. Měření frekvenčního průběhu efektivní permitivity mikropáskového vedení pomocí přímkového rezonátoru.
2. Měření frekvenčního průběhu efektivní permitivity mikropáskového vedení pomocí prstencového rezonátoru.
3. Měření relativní permitivity materiálu ABS ve vlnovodu.

### Použité přístroje a komponenty

- Vektorový analyzátor R&S ZVA67 (10 MHz–67 GHz)
- Elektronická kalibrační jednotka R&S ZV-Z52 (10 MHz–24 GHz)

## 1. Měření frekvenčního průběhu efektivní permitivity mikropáskového vedení pomocí přímkového rezonátoru

- Bude se měřit mikropáskové vedení s šířkou 0,7 mm o délce 34 mm, které je umístěno do kovové krabičky a má otevřené konce, které jsou jen přibližně k pinům SMA konektorů. Použitý substrát je CuClad® 233 od firmy Rogers s tloušťkou 0,254 mm.
- Podél délky vedení  $L$  je možné rozmístit celé násobky  $\lambda/2$  stojaté vlny, kdy na otevřených koncích vedení je vždy maximum elektrické intenzity. Vlnová délka na vedení je dána vztahem

$$\lambda = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_e}}, \quad (1)$$

kde  $c$  je rychlost světla a  $\epsilon_e$  je efektivní permitivita vedení.

- Vektorový analyzátor uveďte do základního nastavení (tlačítko PRESET).
- Nastavte rozsah měření v pásmu 20 MHz–24 GHz s výkonem 0 dBm (menu Channel, Stimulus, Start..., Stop..., Power).
- Zvolte počet bodů měření tak, aby byl frekvenční krok měření 20 MHz (menu Channel, Sweep, Number of points).
- Nastavte šířku pásma mezifrekvenčního filtru BW tak, aby měření probíhalo za akceptovatelný čas.
- Proveďte kalibraci přístroje pomocí automatické kalibrační jednotky (Channel, Calibration, Start Cal, Calibration Unit...).
- Zobrazte na přístroji měření modulů přenosu i odrazu vedení (pravým tlačítkem na Trc1 v grafu, Trace Manager).
- Připojte krabičku s mikropáskovým vedením k analyzátoru a uložte změřené S-parametry ve formátu Touchstone (menu File, Trace Data, Export S-Matrix).
- Změřené S-parametry zpracujte tak, že odečtete všechny rezonanční frekvence v pásmu měření a na každé rezonanční frekvenci spočítejte efektivní permitivitu vedení. Tyto hodnoty poté zkontrolujte např. pomocí TXLine s užitím  $\epsilon_r$  z datasheetu substrátu. Zjištěné průběhy zobrazte do grafu.

## 2. Měření frekvenčního průběhu efektivní permitivity mikropáskového vedení pomocí prstencového rezonátoru

- K analyzátoru připojte přípravek s prstencovým rezonátorem. Ten je vyroben na substrátu Rogers RO4003C s tloušťkou 0,508 mm. Šířka vedení prstence je 0,7 mm a vnější průměr je 34 mm.
- Změřené S-parametry si uložte a zpracujte obdobně jako v předchozím úkolu. Na obvod rezonátoru se ale nyní vejdou celá násobky vlnové délky.

## 3. Měření relativní permitivity materiálu ABS ve vlnovodu

- Na vektorovém analyzátoru nastavte pásmo měření jako je jednovidové pásmo vlnovodu R100. Frekvenční krok měření nastavte dle svého uvážení.
- K analyzátoru připojte přechody na vlnovod R100 a proveďte TRL kalibraci s vlnovodnou kalibrační sadou (menu Channel, Calibration, Start Cal, Two-Port P1 P2, TRL...). Jako konektor zvolte na obou portech R100 a kalibrační sadu zvolte TRL R100.

- Po kalibraci připojujte mezi vlnovodné přechody rovné úseky vlnovodu vyplněné kvádříky vytisknuté na 3D tiskárně z materiálu ABS.
- Pro každý vzorek uložte změřené S-parametry ve formátu Touchstone.
- V AWR vytvořte model měřicí sestavy z vlnovodných přechodů COAXRWG\_TE10 a z úseku vlnovodu RWG\_TEMn a nastavte jim správné rozměry a parametry. Ladte parametry  $\epsilon_r$  a  $\tan \delta$  úseku vlnovodu tak, abyste dosáhli co nejlepší shody mezi měřením a modelem. Udělejte parametrizaci a konstrukci měřicího modelu tak, abyste využili k určení relativní permitivity materiálu ABS všechna dostupná měření s různými délkami vzorků najednou.
- Pro odhad permitivity lze využít i optimalizaci. Je ovšem nutné definovat v sekci projektu Output Equations rovnice, které budou počítat vhodnou metriku vyjadřující rozdíl mezi měřením a modelem. Po pravém kliknutí na Output Equations můžete vytvořit set rovnic. Vždy je nutné pro každý S-parametr vytvořit novou proměnnou. Např. proměnná s názvem S11 obsahující komplexní koeficient odrazu od prvního portu ze schématu schematic se dá napsat jako  $S11 = \text{schematic:S}(1,1)$ . Stejně tak se dá do proměnné uložit S-parametr z importovaného Touchstone souboru jako např.  $S11\_meas = \text{loadedFile:S}(1,1)$ . Z proměnných lze již vytvářet rovnice a jejich výsledky zobrazovat v grafech nebo je optimalizovat. Např. můžete minimalizovat součet kvadratických odchylek mezi všemi měřeními a modely. Náповědu k psaní Output Equations naleznete v sekci 12 náповědy.