

# URČOVÁNÍ MATERIÁLOVÝCH PARAMETRŮ VE VOLNÉM PROSTORU

<sup>1</sup>Ing. Martin Hudlička, Ph.D., <sup>2</sup>Dr. Alireza Kazemipour

<sup>1</sup>Český metrologický institut, Odd. primární metrologie mikrovlnné techniky,  
e-mail: [mhudlicka@cmi.cz](mailto:mhudlicka@cmi.cz)

<sup>2</sup>Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Spolková republika Německo

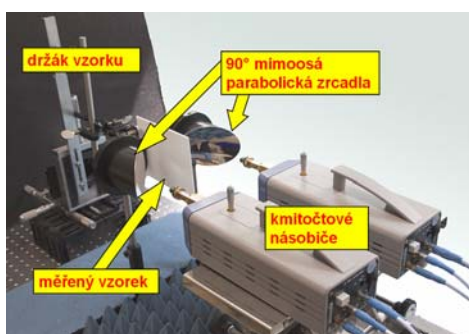
## ÚVOD

Měření materiálových parametrů (permitivita, permeabilita, index lomu) ve volném prostoru je možné na mikrovlnných kmitočtech [1] za použití vektorového analyzátoru obvodů (kmitočtová oblast) a na terahertzových kmitočtech za použití systémů používajících velmi krátkých širokopásmových impulsů (časová oblast). Měření ve volném prostoru je bezkontaktní a nedestruktivní a také příprava vzorků je relativně snadná ve srovnání s jinými metodami (rezonanční, vlnodivé metody). Díky pokrokům v polovodičové technice lze v současnosti pokrýt i oblast submilimetrových vln v kmitočtové oblasti pomocí vektorového analyzátoru obvodů s kmitočtovými násobiči.

Tento příspěvek se zabývá některými praktickými aspekty měření materiálových parametrů, zejména permitivity, v oblasti milimetrových a submilimetrových vln za použití jednoduchého a relativně levného systému. Měření materiálových parametrů a jejich absorpčních spekter je velmi důležité pro nejrůznější aplikace [2]. Tyto parametry lze měřit různými způsoby, které mohou dávat odlišné výsledky. V literatuře lze často najít pro stejný materiál a stejné kmitočtové pásmo dosti odlišné výsledky. V oblasti terahertzových kmitočtů se měřená absorpční spektra uvádí často jen jako bezrozměrná veličina, protože dosud neexistuje spolehlivé měření výkonové úrovně a profilu svazku. V oblasti submilimetrových vln je situace o něco lepší a přesnost měření lze vyčíslit na základě analýzy některých systematických chyb měření. Pro některé aplikace je důležitá nejen kvalitativní znalost měřeného absorpčního spektra, ale i jeho absolutní hodnota (různé chemicky příbuzné látky mohou vykazovat velmi podobné absorpční spektrum lišící se jen amplitudou rezonančních špiček).

## MĚŘICÍ SYSTÉM

Měřicí systém se skládá ze 4-branového vektorového analyzátoru obvodů (VNA), externích modulů pro kmitočtová pásma 50-75 GHz, 75-110 GHz, 110-170 GHz, 140-220 GHz, 220-325 GHz a 325-500 GHz a kvazioptického systému pro směřování a tvarování vlnového svazku (mimoosých parabolických zrcadel). Externí moduly obsahují v principu směšovač, který je buzen ze dvou nezávislých oscilátorů uvnitř VNA, výsledný kmitočet je dále vynásoben  $\times 6$  v kmitočtovém násobiči a zesílen. S rostoucím kmitočtem mírně klesá dosažitelná výstupní úroveň a tím dynamický rozsah měření. Vyzářujícími prvky jsou standardní obdélníkové trychtýřové antény se ziskem cca 20 dB. Je možné ukázat, že tyto antény poskytují přibližně gaussovský tvar svazku, který je pomocí zrcadel transformován na téměř rovinnou vlnu v rovině materiálového vzorku. Ještě lepšího přiblížení ke gaussovskému svazku lze dosáhnout pomocí hřebenových (corrugated) kruhových trychtýřových antén, které jsou ovšem v oblasti submilimetrových vln velmi drahé. Fotografie systému je uvedena na Obr. 1 a ukázky antén na Obr. 2. Rozměry a parametry kvazioptického systému byly určeny tak, aby vzdálenost středů zrcadel a fázového středu antén odpovídala fokální vzdálenosti zrcadel [3]. Plocha měřeného materiálu by měla být alespoň 3x větší, než činí poloměr svazku v rovině materiálu, aby byly eliminovány nežádoucí difrakční jevy.



Obr. 1 Měřicí systém



Obr. 2 Ukázka použitých vyzářovacích elementů, pásmo 50-500 GHz





