



Návod na laboratorní úlohu

Test of antenna elements for microwave imaging systems – measurement of reflection coefficients

Název studijního předmětu: Advances in Microwave Imaging

Vedoucí cvičení/experimentu: Doc. Dr.-Ing. Jan Vrba, M.Sc.

Připravil: Doc. Dr.-Ing. Jan Vrba, M.Sc.

1. Anotace cvičení/experimentu:

Rozvoj mikrovlnného zobrazování (microwave imaging - MWI) v posledním desetiletí 20. století otevřel dveře k celé řadě potenciálně perspektivních neinvazivních lékařských diagnostických metod založených na interakci mikrovlnného neionizujícího záření s lidskou tkání.

Jednou z klíčových oblastí těchto diagnostických metod je měřicí hardware (HW) a jednou z nejdůležitějších komponent HW pak anténní element. Návrh vhodných anténních elementů, které mají za úkol efektivně přenášet mikrovlnnou energii do zkoumané oblasti lze provést pomocí návrhových matematických vztahů a následná optimalizace návrhu probíhá buď

- realizací a měřením většího počtu prototypů nebo
- opakovanými numerickými simulacemi.

Cílem návrhu je najít takové rozměry anténního prvku, aby při zachování požadovaných vyzařovacích vlastností na dané frekvenci vykazoval nízký modul komplexního koeficient odrazu S_{11} – tedy aby byl anténní prvek dostatečně impedančně přizpůsoben při přiložení na dané prostředí - fantom.

V tomto experimentu změříme a vypočítáme parametry S_{11} daného anténního prvku a výsledné hodnoty porovnáme a dále ověříme vyzařovacích charakteristik antény měřením specifické míry absorpce (SAR).

2. Protokol

- Příprava fantomu pro daný anténní prvek.
- Vytvoření experimentálního nastavení pro testování prvků antény - VNA (Vector Network Analyzer) – fantom.
- Nastavení frekvenčního rozsahu, kalibrace VNA a změření S_{11} anténního prvku.
- Vytvoření numerického modelu a provedení simulace.
- Porovnání naměřených výsledků s numerickými simulacemi.
- Vyhodnocení impedančního přizpůsobení anténních elementů pro dané fantomové prostředí.
- Ověření vyzařovacích charakteristik antény měřením SAR distribuce na fantomu s průměrnými dielektrickými vlastnostmi hlavy.

3. Cíle cvičení/experimentu:

Studenti budou seznámeni s testováním anténních elementů pro mikrovlnné zobrazovací systémy z hlediska impedančního přizpůsobení. Provedou měření a simulaci koeficientu odrazu (S_{11}) anténního prvku a porovnájí naměřená data se simulovanými. Vyhodnotí výsledky a účinky na možné rozdíly mezi simulovanými a měřenými koeficienty S_{11} a dále pak ověření vyzařovacích charakteristik antény měřením SAR distribuce.

4. Popis použitých zařízení/přístrojů:

- Anténní prvek typu Bowtie slot,
- Vektorový analyzátor obvodů (vector network analyzer – VNA) FSH8.28, Rohde&Schwarz, SRN
- cSAR3D skener specifické míry absorpce (Speag, Curich, Švýcarsko)
- Kalibrační standard ZV-Z170, Rohde&Schwarz, SRN,
- Měřicí koaxiální kabel s konektory N(m) na obou stranách,
- Látky pro přípravu fantom – propylenglykol, deionizovaná voda a NaCl,
- PC se softwarem Mathworks MATLAB.



5. Měření koeficientu odrazu a SAR distribuce

Napětový koeficient odrazu S_{11} pro konkrétní anténní element udává poměr mezi komplexní amplitudou napětové vlny od anténního elementu odražené \mathbf{b} a komplexní amplitudou napětové vlny dopadající \mathbf{a} $S_{11} = \mathbf{b}/\mathbf{a}$. V praxi se pro ohodnocení impedančního přizpůsobení využívá především výkonová obdoba koeficientu odrazu uváděná v dB $S_{11,\text{dB}}$. Pro reálný výkon nesený harmonickými napětovými vlnami \mathbf{a} a \mathbf{b} platí $P_a = 1/2|\mathbf{a}|^2$ a $P_b = 1/2|\mathbf{b}|^2$.

Vztah mezi odraženým výkonem od aplikátoru a výkonem přiváděným k aplikátoru od generátoru v dB lze vypočítat následně $S_{11,\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10}|S_{11}|^2 = 20 \cdot \log_{10}|\mathbf{b}/\mathbf{a}|^2$. Jelikož jsou hodnoty $|\mathbf{b}|$ pro pasivní struktury vždy menší než hodnoty $|\mathbf{a}|$ nabývá veličina $S_{11,\text{dB}}$ hodnot $S_{11,\text{dB}} \leq 0$ dB. Obecně pro nízkoztrátové anténní elementy platí, že čím nižší je hodnota $S_{11,\text{dB}}$, tím méně anténní element odráží dopadající energii zpět ke generátoru a tím více energie prochází do léčené oblasti, kde je využita k diagnostice.

Studenti budou charakterizovat z hlediska impedančního přizpůsobení planární anténní element. Dále ověří anténní charakteristiky měřením měrného absorbovaného výkonu (SAR) s využitím fantomu s průměrnými dielektrickými parametry hlavy.

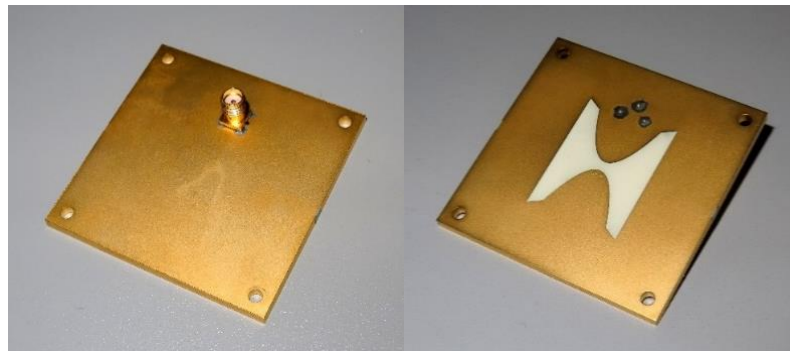
1. Příprava

1. Vytvořte převodní tabulku mezi $|S_{11}|^2$ a $S_{11,\text{dB}}$. Hodnoty $|S_{11}|$ volte v intervalu 0 až 1 s krokem 0,1.
2. Ukažte pro jaké hodnoty $|S_{11}|^2$ odpovídá $S_{11,\text{dB}}$ rovno -3, -6, -9, -10, -20, -30 dB.

2. Postup měření

5.2.1. Zajištění testovací konfigurace

Parametry testované antény je zapotřebí změřit v podmínkách, pro který byla anténa impedančně přizpůsobena. Proto musí být před začátkem měření zajištěna testovací konfigurace skládající se z následujících tří komponent: fantom zobrazované oblasti, anténní element a kalibrovaný vektorový analyzátor obvodů.



Obrázek 1: Realizovaná Bowtie slot anténa.

5.2.1.1. Vytvoření fantomu biologické tkáně

Fantom biologické tkáně by měl být tvarem kvádr s rozměry minimálně: $v = 10$ cm x $h = 10$ cm x $\delta = 10$ cm nebo válec o rozměrech $v = 10$ cm a $r = 5$ cm. Fantom odpovídá dielektrickými vlastnostmi průměrným hodnotám lidské hlavy, kdy relativní permitivity činí $\epsilon_r = 41,8$ (-) a elektrické vodivosti $\sigma = 0,97$ ($\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$) pro frekvenci 1 GHz. Složení tohoto roztoku je pak zaznamenáno v tab. 1. Tento fantom lidské hlavy se řadí mezi homogenní kapalné. Při smíchání komponent fantomu dochází k lehké exotermické reakci, která vede ke zvýšení teploty o jednotky °C.

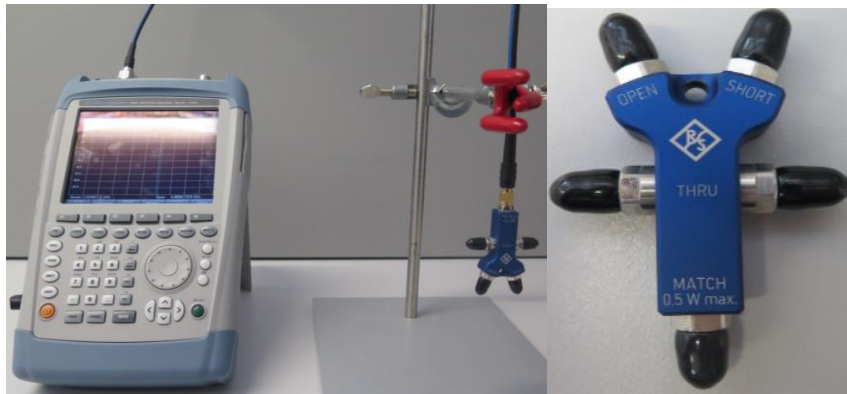
Tabulka 1: Složení roztoku s dielektrickými parametry fantomu lidské hlavy pro frekvenci 1 GHz, $\epsilon_r = 41,8$ (-) a $\sigma = 0,97$ (S·m⁻¹)

Druh chemikálie	Hmotnostní procenta (%)
Propylenglykol	64,81
NaCl	0,79
Deionizovaná a destilovaná voda	34,40

Kalibrace vektorového analyzátor obvodů

Před měřením vektorovým analyzátozem FSH8.28 je zapotřebí neprve nechat přístroj cca 1 hodinu zapnutý, aby dosáhl konstantní vnitřní teploty a poté jej kalibrovat metodou Open-Short-Match za pomoci kalibračního členu R&S ZV – Z170. Před začátkem kalibrace je potřeba nastavit frekvenční rozsah, hodnotu mezifrekvenčního filtru, výstupní výkon.

Následuje stručný popis 1-portové kalibrace vektorového analyzátoru obvodů pomocí standardu OSM.

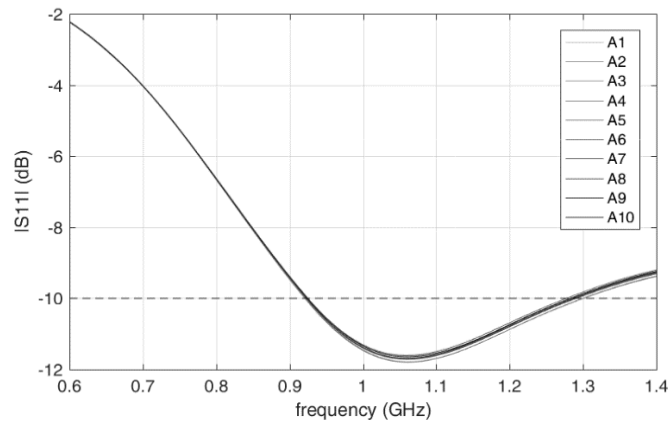


Obrázek 2: Vlevo je zobrazen VNA s připojeným měřicím koaxiálním kabelem a kalibračním členem R&S ZV - Z170, jehož detail je zobrazen vpravo.

Po zapnutí VNA nastavte požadovaný frekvenční rozsah (start frequency a stop frequency) a výstupní výkon na 0 dBm (1 mW). Po stisknutí tlačítka Calibration zkontrolujte nastavený kalibrační standard (ZV-Z170 Female), případně nastavte požadovaný kalibrační standard. Následně vyberte měření S_{11} . Potvrďte, že chcete provést kalibraci. Připojte kalibrační standard open (otevřený konec) a potvrďte. Tyto kroky následně opakujte pro short a match. Nyní připojte anténu a umístěte jí na požadovaný fantom a změřte S_{11} parametr.

5.2.2. Měření koeficientu odrazu pomocí vektorového analyzátor obvodů

Následně můžeme připojit anténu pomocí měřicího koaxiálního kabelu k VNA, umístit anténu na fantom zobrazované oblasti a provést měření koeficientu odrazu. Naměřená data exportujte z VNA do PC, načtete do MATLABu a vykreslete.



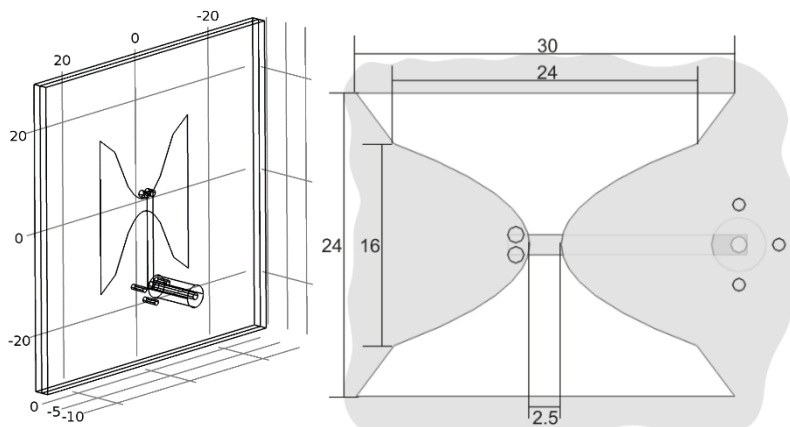
Obrázek 3: Naměřený modul S_{11} deseti exemplářů Bowtie slot antény (parametry prostředí jsou $\epsilon_r = 41$ a vodivost $\sigma = 1,0$).

5.2.3. Měření SAR distribuce pomocí cSAR3D

MWI anténu připojte pomocí koaxiálního kabelu k VNA Rohde&Schwartz FSH8. Dále pak zapněte VNA a nastavte frekvenci 1 GHz a dále nastavte maximální výstupní výkon na hodnotu 0 dBm (1 m W). Anténu umístíte a zafixujete do středu plochy fantomu cSAR3D. cSAR3D zapněte a propojte s počítačem, na kterém je instalovaný program C3D. Program spusťte a zkontrolujte, zda je přístroj připojen. V programu C3D v záložce *Setup Project* vyberte *Phantom* a označte *Flat HSL* – jedná se o fantom hlavy. Dále v záložce *Measurement* zvolte možnost *Quick* a v *Communication System* zvolte možnost *CW* (continuous wave). Nastavte frekvenci 1 GHz a spusťte měření. Hodnoty a rozložení absorbovaného výkonu (SAR) srovnajte s teoretickými předpoklady.

3. Numerické simulace koeficientu odrazu v COMSOL Multiphysics

Pro anténní element nyní připravte numerický model a proved'te numerickou simulaci. Rozměry anténního elementu jsou uvedeny na následujícím obrázku. Simulace proved'te v prostředí COMSOL Multiphysics. Výsledky simulací a měření následně porovnejte.



Obrázek 4. Rozměry anténního elementu v mm. Šířka přívodního pásku je 1,61 mm. Použit je dielektrický substrát Rogers RO4003C o tloušťce 1,524 mm a $\epsilon_r = 3,55$ a $\sigma = 0,0004$ S / m. Celý povrch antény, až na slot a mezikruží pro koaxiální port, je pokovený a tvoří tak kovovou dutinu.

U všech použitých obrázků se jedná o autorské dílo.

[1] D. M. Pozar, Microwave Engineering, 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, 1998.