

Návod na laboratorní úlohu

Testování anténního elementu pro mikrovlnné zobrazování – měření elektrických polí a SAR ve fantomu biologické tkáně

Název studijního předmětu: Nové trendy v zobrazovacích metodách v lékařství

Vedoucí cvičení/experimentu: Doc. Ing. David Vrba, Ph.D.

Anotace cvičení/experimentu:

V současné době se rozvíjejí nové metody medicínské diagnostiky. Mezi tyto nové metody můžeme zařadit mikrovlnné zobrazování, které využívá neionizující část EM spektra a tím je pro pacienta minimálně zatěžující. Mikrovlnné zobrazování má několik velmi zajímavých aplikací jako je například raná detekce nádoru prsu, detekce a klasifikace typu mozkové příhody nebo jej lze využít pro získání informace o 3D rozložení teploty v lidském těle v průběhu termoterapie/termoablace. Jednou z nejdůležitějších součástí mikrovlnného zobrazovacího systému je anténní element, jehož úkolem je vyzářit elektromagnetickou vlnu do zobrazovaného objemu (lidského těla). Anténní element by měl být ideálně navržen tak, aby dokázal co nejvíce mikrovlnné energie vyzářit do lidského těla (musí být dobře impedančně přizpůsoben) a také, aby jeho vyzařovací diagram co nejlépe odpovídal tvaru zobrazované oblasti. Tím se docílí nejlepších výsledků při tvorbě obrazu pomocí rekonstrukčních algoritmů.

Protokol

1. Využití fantomu biologické tkáně – cSAR 3D
2. Sestavení měřicího systému a následné měření koeficientu odrazu anténních elementů
3. Expozice fantomu, zobrazení elektrických polí a SAR pomocí přístroje cSAR 3D
4. Srovnání naměřených hodnot s výsledky numerických simulací

Cíle cvičení/experimentu:

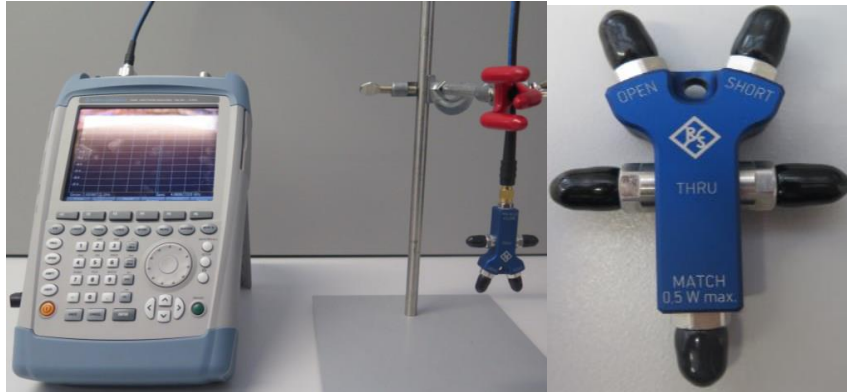
Cílem experimentu je seznámení studentů s měřením základních parametrů antén určených pro mikrovlnné zobrazování hlavy. Studenti získají teoretické znalosti ohledně vztahů mezi jednotlivými parametry antén a jejich vlivu na rekonstrukci obrazu v mikrovlnném tomografu.

Popis použitých zařízení/přístrojů:

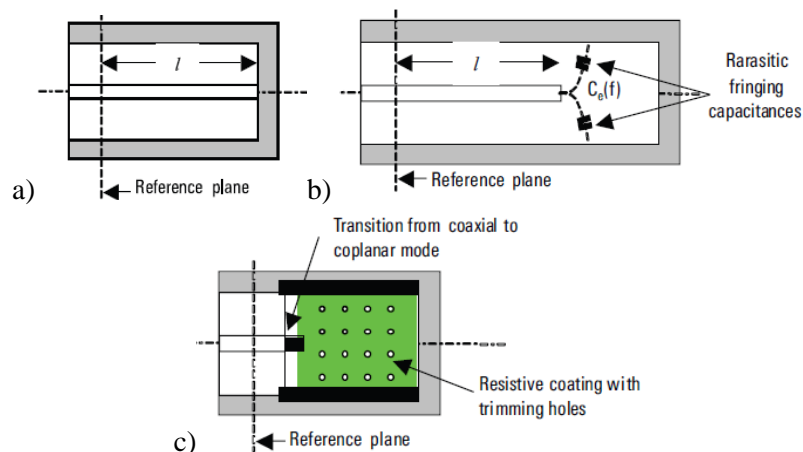
1. cSAR 3D, SPEAG, Švýcarsko - Systém pro vysoce přesné a rychlé měření veličiny SAR bezdrátových zařízení
2. Vektorový analyzátor obvodů (VNA) FSH8.28, Rohde&Schwarz, SRN a kalibrační sada ZV - Z170, Rohde&Schwarz, SRN,
3. Koaxiální kabely
4. Anténní elementy pro mikrovlnné zobrazování

Kalibrace vektorového analyzátoru pomocí standardu OSM

Parametry testované antény je zapotřebí změřit v podmínkách, pro který byla impedančně přizpůsobena. K měření lze použít vektorový analyzátor Rohde&Schwartz FSH8.28, který je před měřením zapotřebí kalibrovat metodou Open-Short-Match za pomoci kalibračního členu R&S ZV – Z170. Před začátkem kalibrace je zapotřebí nastavit frekvenční rozsah, hodnotu mezifrekvenčního filtru, výstupní výkon.



Obrázek 1: Vlevo je zobrazen proces kalibrace VNA pomocí kalibračního členu R&S ZV - Z170, jenž je detailně zobrazen vpravo



Obr. 2. Kalibrační standardy a) zkrat b) otevřený konec a c) přizpůsobená zátěž

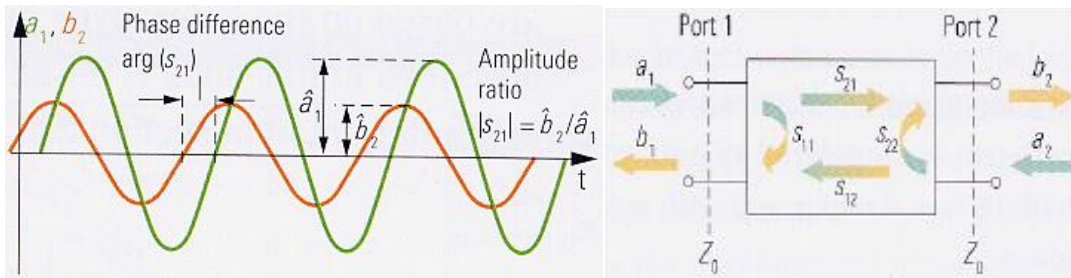
Na obr. 2 jsou uvedeny řezy jednotlivými koaxiálními standardy. Koaxiální zkrat na obr.2a má téměř ideální vlastnosti s modulem koeficientu odrazu rovném 1. Koeficient odrazu zkratu závisí pouze na jeho délkovém posunutí, které představuje délku mezi referenční rovinou a zkratem. Ztráty, ke kterým dojde během této délky, lze obecně ignorovat. Modelování zkratu ve VNA vyžaduje, aby byla do přístroje zadána pouze jeho elektrická délka, ale v některých případech lze model rozšířit pomocí polynomiálních koeficientů L0 až L3, aby se zohlednila parazitní indukčnost.

Koaxiální standard reprezentující otevřený konec obr. 2b je konstruován pomocí stínění, aby se zabránilo vstupu rozptýlené elektromagnetické energie. Na otevřeném konci vnitřního vodiče se vytvoří rozptylová kapacita, která je frekvenčně závislá. I kdyby otevřený standard mohl být fyzicky konstruován s délkou 0, rozptylové kapacity by vedly k negativní imaginární části pro S_{11} při vyšších frekvencích.

Standard přizpůsobená zátěž je přesná širokopásmová impedance, která má hodnotu odpovídající impedanci systému (nejčastěji používáme charakteristickou impedanci 50 Ω). Implementace, ve které vnitřní vodič končí na substrátu s odporovým povlakem, je znázorněna na obr. 2c.

Poté je zapotřebí anténu připojit ke kalibrovanému vektorovému analyzátoru obvodů a současně musí anténa být přiložena na materiál, pro který byla navržena. Následně je zapotřebí změřit tzv. S-parametry.

S-parametry jsou obvodové parametry stejně jako např. impedanční nebo admitanční parametry a jsou vhodné pro charakterizaci lineárních obvodů a komponent, i za podmínky, že rozměry těchto struktur jsou výrazně menší než vlnová délka $l \ll \lambda$. Napětí a proud nejsou pro vysoké frekvence v obvodu jednoznačně definovány, proto namísto U a I jsou parametry definované dopadajícím, odraženým a přeneseným výkonem. S-parametry jsou však platné i pro DC signály.



Obrázek 3. znázornění dopadající vlny a a odražené vlny b

Matrice S-parametrů pro 2-bran je pravděpodobně nejčastěji používaná a slouží jako základní stavební blok pro generování matic vyššího řádu pro vícebrany. V tomto případě je vztah mezi odraženými (b), dopadajícími vlnami (a) popsán maticí S-parametrů:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} \\ s_{21} & s_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix}$$

Rozepsáním matice do rovnic získáme

$$\begin{aligned} b_1 &= s_{11}a_1 + s_{12}a_2 \\ b_2 &= s_{21}a_1 + s_{22}a_2 \end{aligned}$$

Každá rovnice udává vztah mezi odraženými a dopadajícími vlnami na každém ze síťových portů 1 a 2. Pro přehlednost jsou níže popsány jednotlivé členy S-matice

$$s_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} = \text{vstupní koeficient odrazu při výstupu zakončeném přizpůsobenou zátěží}$$

$$s_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} = \text{přenosový koeficient při výstupu zakončeném přizpůsobenou zátěží}$$

$$s_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} = \text{zpětný přenosový koeficient při vstupu zakončeném přizpůsobenou zátěží}$$

$$s_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} = \text{výstupní koeficient odrazu při vstupu zakončeném přizpůsobenou zátěží}$$

Měření veličiny SAR bezdrátových zařízení

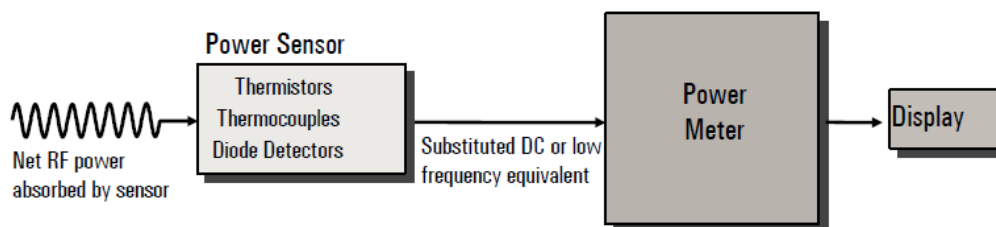
Měrný absorbovaný výkon (SAR, Specific Absorption Rate) je fyzikální veličina nejčastěji používaná k popisu absorpce výkonu živou tkání exponovanou elektromagnetickým polem

$$SAR = \int \frac{\sigma(r)|\mathbf{E}(r)|^2}{\rho(r)}$$

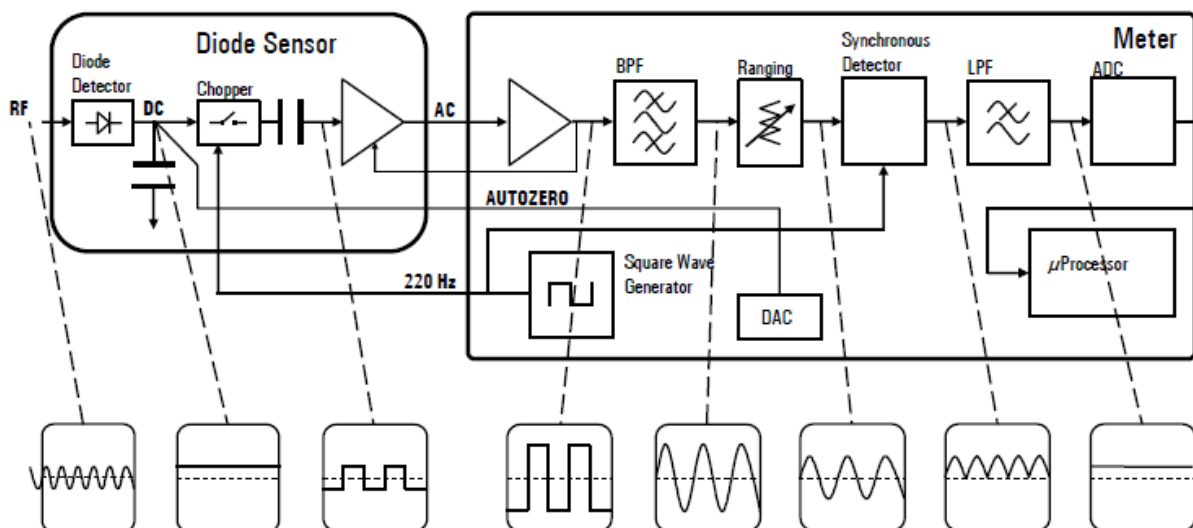
Kde σ_r elektrická vodivost, \mathbf{E}_r je efektivní hodnota intenzity elektrického pole, ρ_r hustota.

Hodnota SAR silně závisí na pozici v exponovaném objektu, na rozměrech objektu, na vzdálenosti od zdroje záření a také na samotných rozměrech zdroje záření a jeho výkonu. Pro účely hodnocení expozice je SAR průměrován přes celé tělo (celotělový SAR) nebo krychlový objem o hmotnosti 1g či 10g (lokální SAR). V případě lokálního SAR je pak expozice hodnocena podle nejvyšší dosažené hodnoty v celém zkoumaném objemu.

Měření vyzařovacích charakteristik antény v blízké zóně



Základní myšlenkou pro využití výkonového senzoru je převést vysokofrekvenční energii na DC nebo nízkofrekvenční signál. Pro měření pak můžeme použít wattmetr a naměřenou hodnotu pak vztáhnout na určitou úroveň RF energie. Tři hlavní typy senzorů jsou termistory, termočlánky, a diodové detektory



Zde je zobrazena základní metoda měření absorbovaného výkonu. Na svorkách termočlánku nebo diodového detektoru je napětí řádově 100 nV. Taková malá DC napětí nelze spolehlivě zesilovat a jsou proto nejprve převedeny na AC signály (pomocí chopperu jsou z původního DC signálu vytvořeny obdélkové pulzy) a poté zesíleny pomocí střídavých zesilovačů a detekovány pomocí přesných synchronních detektorů. Měření výkonu u obou druhů snímačů vyžaduje oscilátor s přesně známým

výstupním výkonem, aby bylo možné upravit kalibraci měřiče výkonu tak, aby odpovídal použitému konkrétnímu snímači. DC výstup z termočlánu nebo diodového detektoru je velmi nízký (řádově nV), takže je obtížné přenášet na běžném kabelu, protože malé, nežádoucí účinky termočlánu ovlivňují měření. Aby bylo možné zpracovat tak nízké stejnosměrné napětí, musí se signál „rozsekat“. Chopper a první AC zesilovač jsou součástí samotného snímače výkonu. Obdélníkový signál se znovu zesiluje a prochází pásmovým filtrem. Nejužší šířka pásma je zvolena pro nejslabší signály a nejcitlivější rozsah. Při zapnutí měřiče výkonu do vyšších rozsahů se šířka pásma zvyšuje, takže měření lze provádět rychleji. Synchronní detektor pak usměrňuje signál, který pak prochází filtrem typu dolní propust. Analogově-digitální převodník vezme stejnosměrný signál a přenesení jej na určitou úroveň výkonu.

Postup měření laboratorní úlohy:

Kalibrace vektorového analyzátoru obvodů Rohde&Schwartz FSH8.28

Po zapnutí VNA nastavte požadovaný frekvenční rozsah (start frequency a stop frequency). Po stisknutí tlačítka Calibration zkontrolujte nastavený kalibrační standard (ZV-Z170 Female), případně nastavte požadovaný kalibrační standard. Následně vyberte měření S11. 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 S11 parametr.

Nastavení výstupního výkonu VNA

Místo generátoru, který bude napájet anténu pro měření na zařízení cSAR 3D je možné použít VNA od společnosti Keysight FieldFox. Je zapotřebí nastavit maximální vysílací výkon na 0 dBm (1mW). Po zapnutí tohoto VNA stisknete Meas/Setup. Zde vyberete Output Power na High. Následně nastavte frekvenci (start i stop) na hodnotu, kde bude veličina SAR měřena - předpokládá se rezonanční frekvence, kterou jste změřili v předchozím bodu. Nyní se projekt uloží a je možné začít měření.

Změření veličiny SAR

Na PC propojeným se systémem spusťte program C3D.

V záložce Setup Project vyberte Phantoms a označte Flat HSL (fantom hlavy).

V záložce measurement vyberte Quick. V Communication System vyberte CW (continuous wave), v Channel nastavte frekvenci stejnou s rezonanční frekvencí vaší antény. Nyní je možné spustit start single measurement a nebo continuous measurement.

Porovnání se simulacemi

Měřenou anténu vytvořte v programu COMSOL Multiphysics a proveďte výpočet veličiny SAR ve fantomu simulující hlavu.