

USING METAMATERIALS AS ELECTROMAGNETIC LENS FOR TOMOGRAPH

Dušan Nešpor

Master Degree Programme (4), FEEC BUT
E-mail: xnespo03@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Pavel Fiala

E-mail: fialap@feec.vutbr.cz

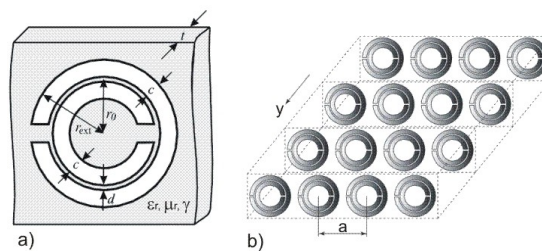
ABSTRACT

The subject this work is construction and optimization of electromagnetic lens for mid-field MR tomograph. Lens is constructed as a metamaterial with negative permeability. For design and optimization the finite element is used, concrete software Comsol.

1. ÚVOD

Metamateriály jsou umělé struktury, které vykazují elektrické a magnetické vlastnosti (permitivitu, permeabilitu) nevyskytující se v přírodě. Jsou složeny z malých částí. Například dlouhých vodičů nebo rovinných cívek. Ve skutečnosti jde tedy o složené materiály. Ale vzhledem k tomu, že elektromagnetické vlnění daného spektra, má vlnovou délku mnohem delší, než jednotlivé prvky struktury, můžeme na materiál pohlížet jako na homogenní. Obecně představují materiály se zápornými parametry skupinu médií, která má zápornou hodnotu relativní permitivity ϵ_r , nebo relativní permeability μ_r [1]. Tyto materiály jsou na teoretické úrovni známy již dlouho.

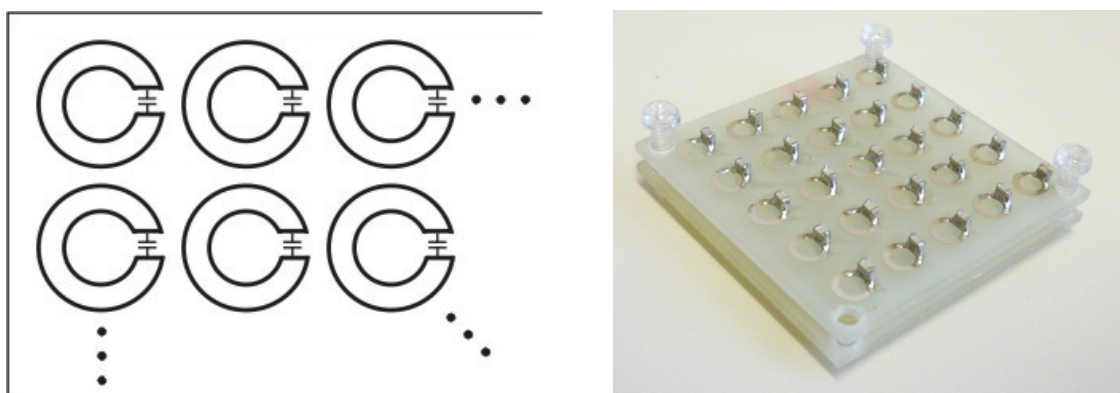
Záporná permeabilita zvyšuje dosah magnetických cívek, to znamená, že materiál se zápornou permeabilitou působí, jako elektromagnetická čočka [3]. Záporná permeabilita lze zkonstruovat pomocí přerušovaných prstencových rezonátorů, označovaných jako *SRR* (*Split Ring Resonator*) [1]. Rezonátor je složen ze soustředných kovových přerušovaných kruhů nanesených na substrátu pro mikrovlnné aplikace, jak je ukázána na obrázku 1 a). Jednotlivé rezonátory se skládají do periodické struktury v definované vzdálenosti, jak ukazuje obrázek 1 b). Právě na rezonanční kmitočtu této struktury vzniká záporná permeabilita.



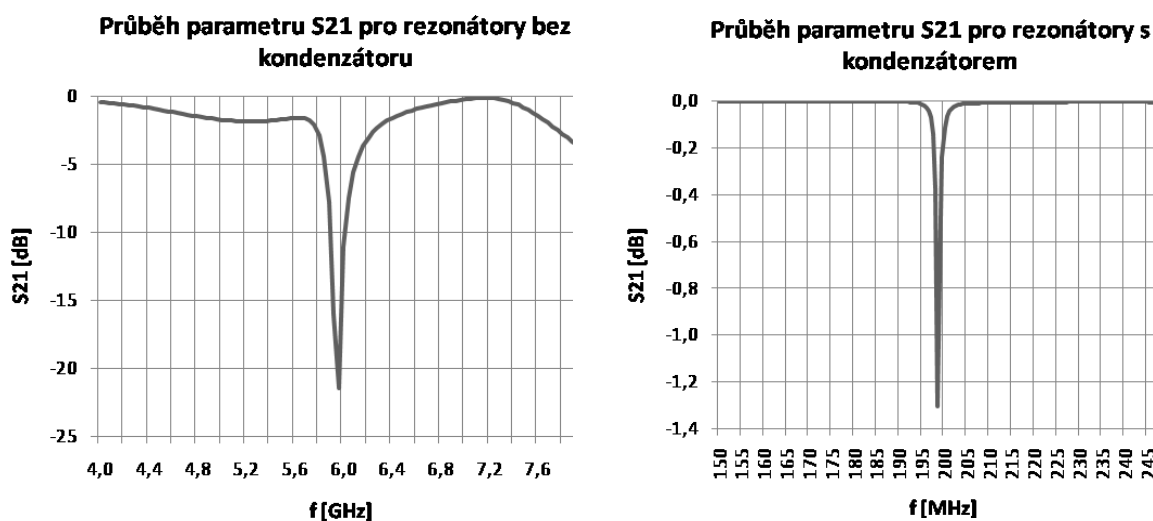
Obrázek 1: Přerušené prstencové rezonátory [1].

2. KONSTRUKCE ELEKTROMAGNETICKÉ ČOČKY

Pro konstrukci čočky je využit jednoduchý prstencový rezonátor s vnějším průměrem 5mm a vnitřním průměrem 3,6mm. Tento rezonátor je poskládán do periodické struktury, jak ukazuje obrázek 2 a). Použit je substrát FR4 o tloušťce 2mm a relativní permitivitě 4,5. Na substrátu je pět krát pět rezonátorů. Chování při ozařování elektromagnetickou vlnou bylo modelováno v programu Comsol. Při dopadu elektromagnetické vlny vzniká rezonance kolem 6 GHz, průběh parametru parametru S21 ukazuje obrázek 3 a). Cívky MR tomographu jsou ovšem naladěny na kmitočet 198,75MHz. Rezonanční kmitočet je možné snížit zvýšením indukčnosti nebo kapacity. V tomto případě, je na rezonátor zavedena kapacita pomocí diskretního kondenzátoru. Výpočet kapacity byl proveden analyticky a poté namodelován opět v programu Comsol. Průběh vypočteného parametru S21 je uveden na obrázku 1 b). Vypočtená kapacita je přibližně 112pF. Rezonátory byly osazeny paralelní kombinací kondenzátorů $C_1=100\text{pF}$, $C_2=10\text{pF}$, $C_3=1,2\text{pF}$. Realizace čočky je uvedena na obrázku 2 b). Rezonanční kmitočet zkonstruované čočky byl 199MHz.



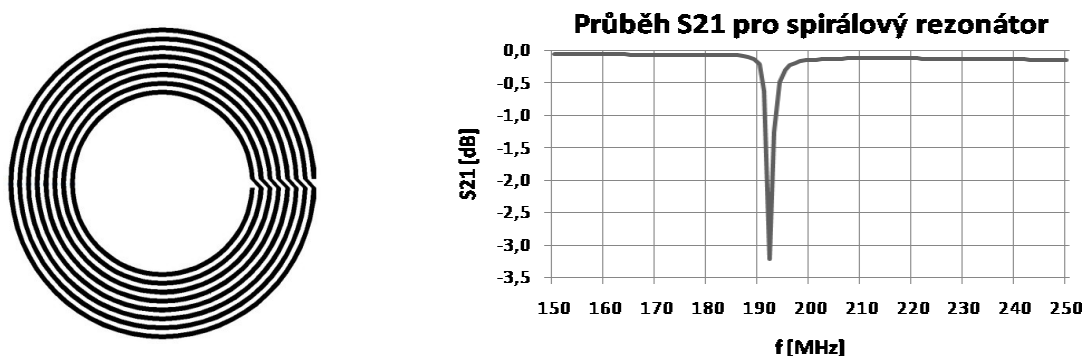
Obrázek 2: a) Návrh struktury čočky. b) Realizace čočky.



Obrázek 3: Namodelované parametry S21 pro: a) rezonátory bez kondenzátoru, b) rezonátory s kondenzátorem.

3. OPTIMALIZACE ČOČKY

Konstrukce čočky s kondenzátory je velmi nevýhodná. Kapacita diskretních kondenzátorů se pohybuje v určitých tolerancích, je teplotně závislá a může se s časem měnit. Rezonanční kmitočet může tedy být u každého rezonátoru jiný. Navíc po vyrobení už nejde rezonance nijak naladit. V neposlední řadě jsou s pájením kondenzátorů také konstrukční problémy. Pomocí programu Comsol, byl navržen spirálový rezonátor, který rezonuje na kmitočtu nižším, než 200MHz a je realizován pouze planární technologií. Průměr rezonátoru je 7mm, tloušťka jedné spirály 0,1mm, tloušťka mezery mezi spirálami 0,1mm a počet spirál je osm. Rezonátor je zrealizován na substrátu o relativní permitivitě 10 permitivitě a tloušťce 1mm. Kvůli zvýšení kapacity je substrát přiložen ještě z druhé strany. Rezonátory jsou tedy uprostřed dvou substrátových desek. Postup při výrobě bude takový, že se vyrobí rezonátory s nižším rezonančním kmitočtem, než je požadováno a budou se doladovat postupným odřezáváním částí vnějšího závitu pomocí laseru. Spirálový rezonátor je na obrázku 3, průběh parametru S21 je na obrázku 4.



Obrázek 4: Spirálový rezonátor, průběh parametru S21 pro spirálový rezonátor.

4. ZÁVĚR

Vyrobena a odzkoušena je první verze elektromagnetické čočky. Podle očekávání, jsou jisté problémy s diskretními kondenzátory. Další verze realizovaná pomocí spirálových rezonátorů bude vyrobena čistě planárně. Navíc s možností přesného naladění kmitočtu.

LITERATURA

- [1] MARQUÉS, R, MARTÍN, F, SOROLLA, M. *Metamaterials with Negative Parameters*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. Rok 2007. ISBN 2007017343.
- [2] CALOZ, C, ITOH, T. *Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Applications*. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey. Rok 2006.
- [3] MANUEL, J, JELINEK, L, MARQUES, R. *On the application of $\mu=-1$ metamaterial lenses for magnetic resonance imaging*. Universidad de Sevilla.
- [4] BARTUSEK, K, DREXLER, P, FIALA, P, KADLEC, R, KUBASEK, R. *Magnetoinductive lens for experimental mid-field MR tomography*. Department of Theoretical and Experimental Electrical Engineering, Brno. University of Technology, Kolejní 2906/4, 612 00 Brno, Czech Republic.