

Určení prvků náhradního schématu piezoelektrického transformátoru

Pavel Valenta

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Fakulta elektrotechnická

Západočeská univerzita v Plzni

valpav@kae.zcu.cz

Determination of the Equivalent Circuit of the Piezoelectric Transformer

Abstract – A piezoelectric transformer can be described by using an equivalent circuit. This equivalent circuit represents the electrical behavior of a piezoelectric transformer when operates at the resonant frequency. This paper describes the determination of the elements of the equivalent circuit. The results of the equivalent circuit simulation are compared with the results measured at the functional sample of the piezoelectric transformer.

Keywords – Piezoelectric transformer; Equivalent circuit; Resonant circuit; Simulation

I. ÚVOD

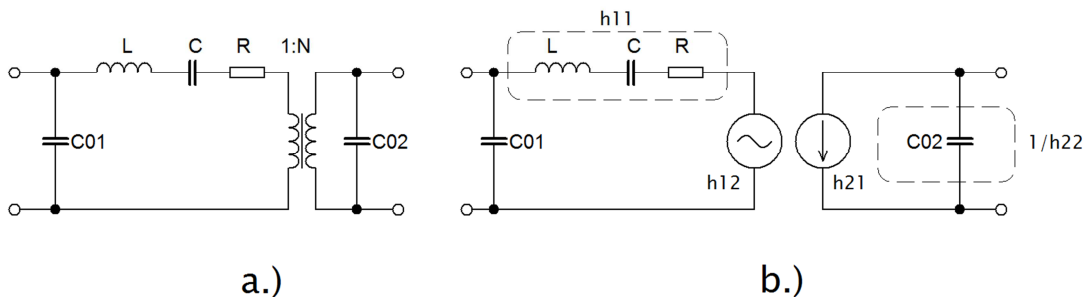
Piezoelektrické transformátory představují zajímavou alternativu ke klasickým elektromagnetickým transformátorům. Přenos energie z primární na sekundární stranu je zde zajištěn pomocí mechanických vibrací. Budící element převádí elektrickou energii na mechanickou (pomocí inverzního piezoelektrického jevu). Přijímací element převádí mechanickou energii zpět na elektrickou (pomocí přímého piezoelektrického jevu). Piezoelektrický transformátor je elektromechanický systém, jehož matematický popis by byl dosti složitý. Z toho důvodu se pro popis chování piezoelektrického transformátoru používá náhradní schéma. Cílem této práce je určení prvků náhradního schématu tak, aby odpovídaly chování reálného vzorku piezoelektrického transformátoru.

II. NÁHRADNÍ SCHÉMA

Ve zjednodušeném náhradním schématu piezoelektrického transformátoru je přenos energie mezi primární a sekundární stranou realizován pomocí ideálního transformátoru s převodem N . V sérii s transformátorem je sériový rezonanční obvod, který je tvořen prvky L , C a R . Kapacity C_{01} a C_{02} představují parazitní kapacity mezi elektrodami na primární a sekundární straně. Takové náhradní schéma je na obrázku I část a. Tento model náhradního schématu není příliš vhodný pro simulaci. Náhradní schéma piezoelektrického transformátoru lze také realizovat jako dvojbran popsany pomocí H matice. Takové schéma je na obrázku I část b.

III. FUNKČNÍ VZOREK

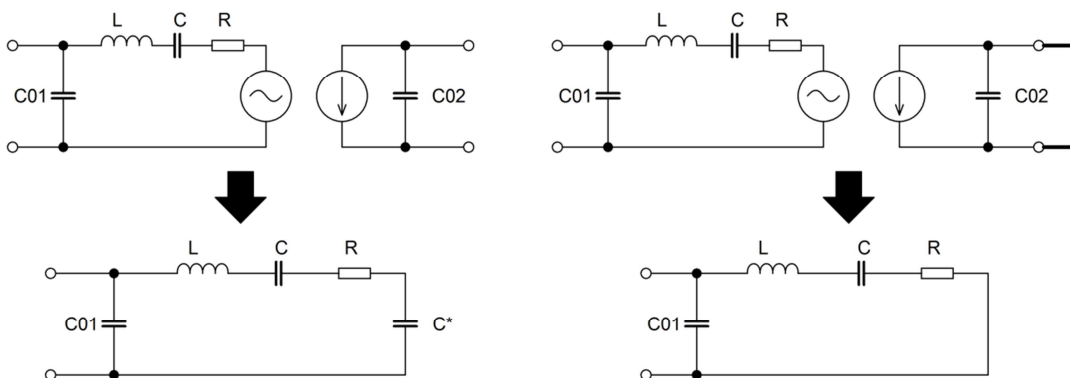
Funkční vzorek piezoelektrického transformátoru vznikl slepením dvou piezoelektrických membrán. Jako izolace byl mezi membrány vložen papír. Na takto získaném funkčním vzorku bylo provedeno měření.



Obrázek I. Náhradní schéma piezoelektrického transformátoru

IV. MĚŘENÍ NAPRÁZDNO A NAKRÁTKO

Na funkčním vzorku bylo provedeno měření ve stavu naprázdno a nakrátko. Při obou těchto stavech byla změřena závislost vstupního proudu na frekvenci (při konstantním vstupním napětí). Dále byla změřena závislost výstupního napětí na frekvenci (pro stav naprázdno) a závislost výstupního proudu na frekvenci (pro stav nakrátko). Jak se změní náhradní schéma piezoelektrického transformátoru při stavu naprázdno a na krátko ukazuje obrázek II.



Obrázek II. Úprava náhradního schématu pro stav naprázdno a nakrátko

Ve stavu naprázdno byla sériová rezonanční frekvence $f_{0S} = 101,5$ kHz. Ve stavu nakrátko byla sériová rezonanční frekvence $f_{KS} = 97$ kHz a paralelní rezonanční frekvence $f_{KP} = 102$ kHz. Kapacita C^* odpovídá přepočtené kapacitě C_{02} a její hodnota je dána rovnicí (1).

$$C^* = \frac{C_{02}}{h_{12} \cdot h_{21}} \quad (1)$$

Z naměřené závislosti vstupního proudu na frekvenci, mimo oblast rezonance, lze odhadnout velikost kapacity $C_{01} = 125$ nF. Z Thomsonova vztahu a naměřených rezonančních frekvencí naprázdno a nakrátko lze určit prvky náhradního schématu $L = 204$ μ F, $C = 13,2$ nF a $C^* = 138,6$ nF. Z velikosti vstupního proudu při sériové rezonanci lze spočítat velikost odporu v náhradním schématu $R = 3$ Ω .

V. SIMULACE NÁHRADNÍHO OBVODU

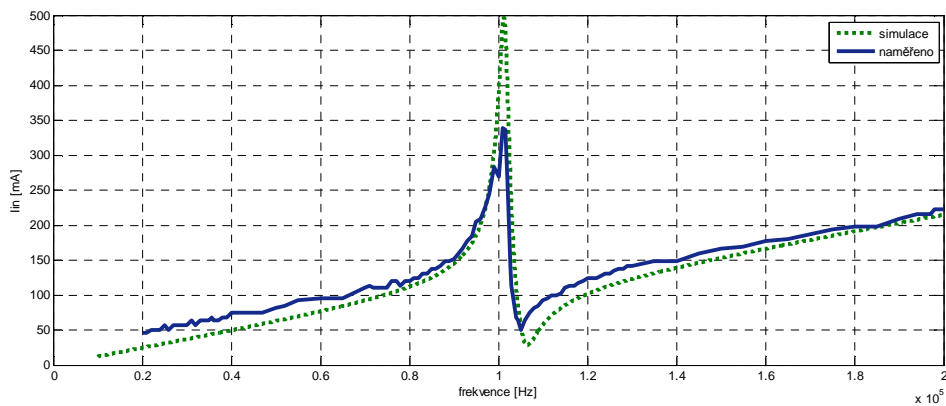
Při znalosti prvků R , L , C , C^* a C_{01} lze sestavit a simulovat upravené schéma piezoelektrického transformátoru podle obrázku II. Dále je nutné určit velikost parametrů h_{12} a h_{21} . Z velikostí napětí na kapacitě C^* a napětí na C_{02} lze spočítat

parametr $h_{12} = 1,13$. Parametr $h_{21} = 0,86$ lze určit z velikostí proudu (ve stavu nakrátko) tekoucího rezonančním obvodem a výstupního zkratového proudu.

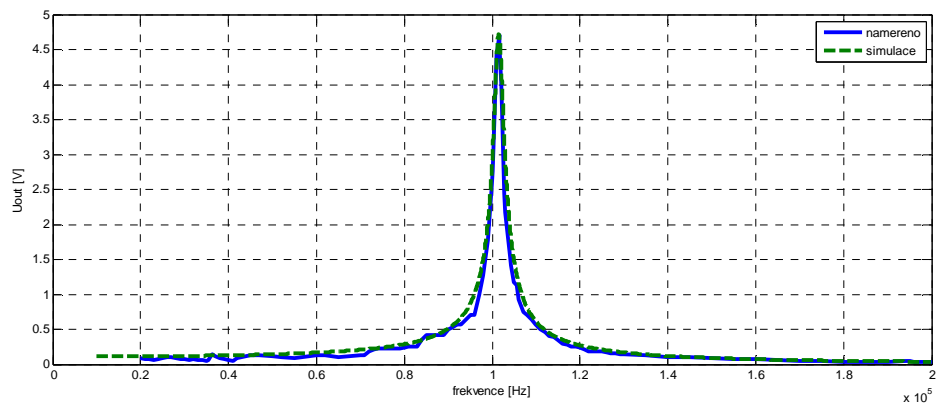
Nyní už lze simulovat kompletní neupravené schéma piezoelektrického transformátoru z obrázku II. Simulace byla provedena v programu PSpice. Pro realizaci napětím řízeného zdroje napětí (popsaného parametrem h_{12}) byl použit blok ENOM. Pro realizaci proudem řízeného zdroje proudu (popsaného parametrem h_{21}) byl použit blok FNOM.

VI. VÝSLEDKY SIMULACÍ

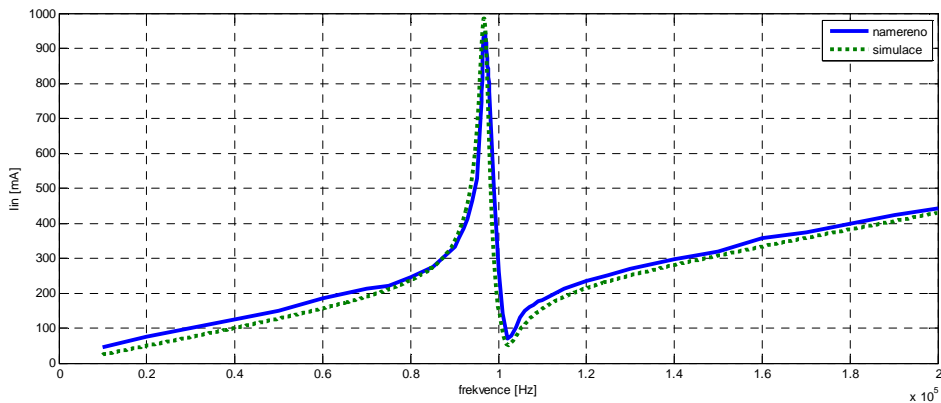
Následující obrázky představují srovnání výsledků simulovaného náhradního schématu a výsledků z měření na reálném funkčním vzorku. Obrázky III. a IV. Ukazují porovnání naměřených a simulovaných dat ve stavu naprázdno. Porovnání simulovaných a měřených dat pro stav na krátko ukazují obrázky V. a VI.



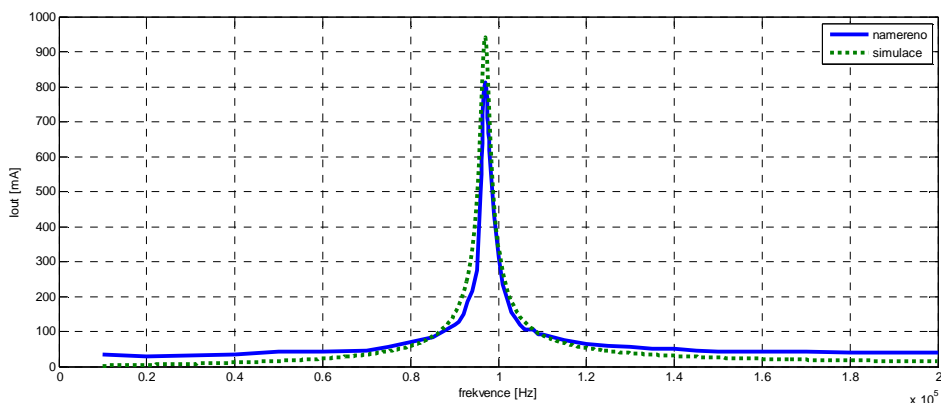
Obrázek III. Závislost vstupního proudu na frekvenci ve stavu naprázdno



Obrázek IV. Závislost výstupního napětí na frekvenci ve stavu naprázdno



Obrázek V. Závislost vstupního proudu na frekvenci ve stavu nakrátko



Obrázek VI. Závislost výstupního proudu ve stavu nakrátko

VII. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo určení prvků náhradního schématu piezoelektrického transformátoru. Za použití hodnot, získaných z měření na funkčním vzorku piezoelektrického transformátoru, byly výše zmíněným postupem určeny všechny prvky náhradního schématu. Pro takto navržené náhradní schéma byly provedeny simulace. Výsledky simulací byly porovnány s naměřenými daty. Jak je z grafů patrné, navržené náhradní schéma popisuje chování funkčního vzorku velmi dobře.

PODĚKOVÁNÍ

Tento článek vznikl za podpory interního projektu na podporu studentských vědeckých konferencí SVK-2016-006 a projektu SGS-2015-002: Moderní metody řešení, návrh a aplikace elektronických a komunikačních systémů.

LITERATURA

- [1] D. Vasic, F. Costa, E. Sarraute "Piezoelectric Transformer for Integrated MOSFET and IGBT Gate Driver." IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 21, no.1, January 2006
- [2] P. Laoratanakul, K. Uchino "Design a radial Mode Laminated Piezoelectric Transformer for High Power Applications" ISBN 0-7803-8410-5, 2004