

USING OF ACCURATE CAPACITANCE BRIDGE FOR INDUCTANCE MEASUREMENTS

Miroslav Uher

Magister Degree Programme (2), FEEC BUT
E-mail: xuherm02@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Marie Havlíková

E-mail: havlika@feec.vutbr.cz

ABSTRACT

The project is elaborated for Czech Metrology Institute Brno. It includes basic overview of methods of capacitance and inductance measurement and presents precise bridge for capacitance and loss measurement Andeen Hagerling AH 2500E. The project further describes methods of inductance measurement on capacitance bridge and inductance-to-capacitance transformation by T elements.

1. ÚVOD

Měření indukčnosti patří mezi měření pasivních elektrických veličin. Její přesné měření je velmi složité, neboť indukčnost cívky je ovlivňována okolním elektromagnetickým polem a také procházejícím proudem.

Pro měření indukčností se dají použít komerčně vyráběné autobalanční měřiče, tyto přístroje však neposkytují dostatečný rozsah přesnosti pro metrologická měření. Projekt se zabývá teoretickými možnostmi měření indukčností na přesném kapacitním mostu AH 2500E, zvláště pak za použití transformace indukčnosti na kapacitu pomocí T článků.

2. ROZBOR

V následujícím textu budou popsány čtyři metody, které lze využít k přesnému měření indukčnosti. Použití metod je vhodné pouze v daných rozsazích měřených indukčností.

2.1. REZONANČNÍ METODA

Jedná se o klasickou, široce používanou metodu, která je vhodná pro porovnání výsledků při validaci. Pomocí kapacitního mostu AH 2500E je možné indikovat rezonanci s vysokou přesností.

Samotné měření se provádí ve dvou krocích. V prvním kroku se z měřené indukčnosti a přídavných paralelních kondenzátorů a dekád vytvoří paralelní rezonanční obvod. Rezonanční obvod se naladí co nejlíže k rezonanci nastavením kapacitní dekády při současné kontrole měřením parametrů zbytkové impedance na mostu AH 2500E. Ve druhém kroku se pak změří parametry kondenzátoru použitého k vyladění rezonance. Z podmínky pro rezonanci pak lze vypočítat hodnotu měřené indukčnosti.

2.2. MĚŘENÍ INDUKČNOSTI SE SÉRIOVĚ ZAPOJENÝM KONDENZÁTOREM

Princip metody spočívá v měření kapacity pomocného kondenzátoru nejprve bez a poté s měřenou indukčností, která je s kondenzátorem zapojena do série. Hodnota měřené indukčnosti je z výsledků obou měření stanovena výpočtem.

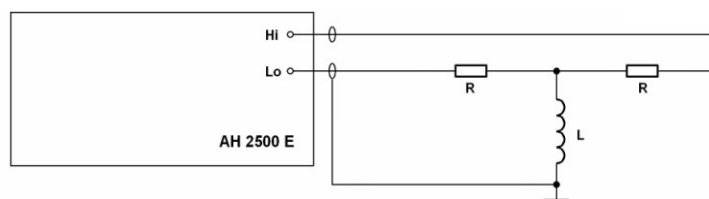
2.3. PŘÍMÉ MĚŘENÍ ZÁPORNÉ KAPACITY

Tato metoda využívá vlastnosti kapacitního mostu AH 2500E, který má na měřicím poměrovém transformátoru vyvedenu jednu odbočku opačné polarity napětí. Ta umožňuje přesné vyvažování mostu v případě impedancí, které se navenek projevují zápornou kapacitou. Této vlastnosti se dá přeneseně využít pro přímé měření indukčností, které jsou vlastně zápornou kapacitou. Skutečnost, že zápornou kapacitou je rozuměna indukčnost je podložena ve vztahu pro rovnost kapacitní a induktivní reaktance. Pro dosažení vysoké přesnosti měření je nutné, aby měl měřený objekt relativně malou činnou složku impedance.

2.4. POUŽITÍ T ČLÁNKU

Dalším principem, který lze pro měření indukčnosti využít je transformace indukčnosti na kapacitu, která se dá snadno změřit na kapacitním mostu AH 2500E. Transformace indukčnosti se vhodně volí tak, aby most mohl měřit transformovanou kapacitu v té části svého měřicího rozsahu, kde dosahuje nejvyšší přesnosti měření. Tato podmínka platí také pro transformaci reálné složky impedance, u které je použitelný rozsah v nejvyšší přesnosti ještě menší. Pro dosažení vysoké přesnosti měření je proto třeba, aby měřený objekt měl relativně malou činnou složku impedance.

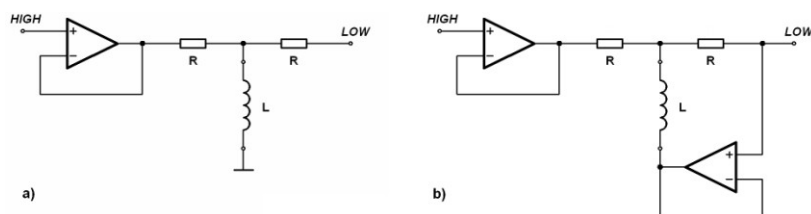
Použitá transformace indukčnosti na kapacitu vychází z transfigurace obvodu trojúhelník – hvězda, kde se po transformaci změní charakter impedance. Měřicí obvod má tvar článku T, v němž podélné členy tvoří rezistory a příčný člen tvoří měřená cívka. Na přesném kapacitním mostu se změří přenosová admitance tohoto T článku a vypočte se hodnota impedance měřeného objektu. Pokud tedy existuje možnost měřit přesně kapacitu a odpor T článku a známe stabilní frekvenci měřicího napětí mostu, pak použití tohoto velmi jednoduchého zapojení umožňuje měřit indukčnost s velkou přesností. Zapojení pro měření indukčnosti L pomocí pasivního T článku je uvedeno na Obrázku 1.



Obrázek 1: Pasivní T článek pro měření indukčností.

Přesnost měření mostu závisí na hodnotě ztrát kondenzátoru a měřicím napětí. Volbou hodnoty odporů v T článku lze ovlivnit velikost transformované kapacity. Odporů pro T články se volí přednostně s dekadickými hodnotami kvůli lepšímu měření substitučními metodami s dekadickými hodnotami etalonů. Experimentálně bylo prokázáno, že hlavní část nejistoty výsledku vzniká vlivem zátěže přívodů kapacitního mostu použitými rezistory (hlavně úbytkem napětí na impedanci plášťů přívodních kabelů) a chybami údaje mostu při měření přenosové konduktance T článku. Proto je doporučeno použít kabely s dvojitým stínícím pláštěm.

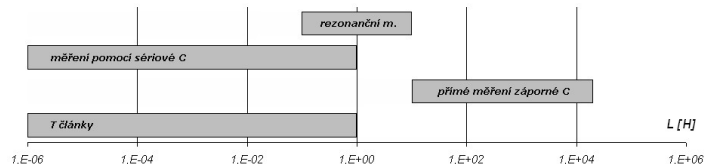
Aktivní články jsou určeny pro měření malých hodnot indukčnosti. Pokud je žádáno měření při velkém napětí, pak jsou při malých hodnotách indukčnosti kladeny velké požadavky na výstupní proud použitých operačních zesilovačů. Vzhledem k dalším problémům se zdroji napětí a ohřevem elektroniky oddělovacích stupňů je tedy výhodnější měřit nejmenší hodnoty indukčnosti při snížené hodnotě měřicího napětí mostu (což most umožňuje) než řešit problémy s velkými proudy v měřicím obvodu. V porovnání se ztrátou přesnosti řešením problémů s velkými proudy je pokles přesnosti v důsledku snížení měřicího napětí menší. Zesilovače pro aktivní T články musí být voleny z několika hledisek, kterými jsou dostatečný výstupní proud, širokopásmovost a nízký šum. Možné návrhy zapojení aktivních T článku pro měření indukčnosti jsou uvedeny na Obrázku 2.



Obrázek 2: Návrhy aktivních T článků pro měření indukčnosti.

3. ZÁVĚR

Pro měření indukčností v rozsahu $1 \mu\text{H}$ až 1H jsou vhodné metody měření pomocí sériové kapacity a pomocí T článků, pro měření indukčností v rozsahu 10H až 20kHz je vhodné přímé měření záporné kapacity. Přesné měření v prostoru mezi těmito vymezenými oblastmi lze provádět pomocí rezonanční metody. Rozsahy jsou uvedeny na Obrázku 3.



Obrázek 3: Srovnání rozsahů použití popsaných metod.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svým konzultantům z Českého metrologického institutu Brno za poskytnuté materiály a vedení mých prací, jmenovitě Doc. Ing. Jiřímu Horskému, CSc., Ing. Věře Novákové Zachovalové a Ing. Janě Horské, Ph.D. Za pomoc a vedení děkuji také p. Ing. Marii Havlíkové.

LITERATURA

- [1] Horský, J.: Precision inductance measurement on high precision capacitance bridge, Brno, ČMI 2005.
- [2] Fajt, V., Jakl, M.: Přesná měření elektrických veličin, 1. vydání, SNTL, ALFA 1979, ISBN 04-503-79.
- [3] Andeen Hagerling: 2500A 1kHz Ultra-Precision Capacitance Bridge, Operation and Maintenance Manual, 1998.