

Мерна метода:

Метода за одређивање комплексне пермеабилности феритних материјала у нижем фреквенцијском опсегу (1 kHz - 1 MHz)

Руководилац пројекта: проф. др Владимир Срдих

Одговорно лице: Нелу Блаж

Аутори: Нелу Блаж, Андреа Марић, Љиљана Живанов,
Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад;

Горан Радосављевић,

Институт за сензорске и актуаторске системе, Беч, Аустрија

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја ИИИ - 45021

Година: 2013.

Примена: 01.09.2013.

Кратак опис

Познавање магнетске пермеабилности феритних материјала је веома важно приликом дизајнирања и одабира материјала за израду електронских компоненти. Индуктивност индуктора са феритним језгром не зависи само од броја или геометрије навојака већ и од пермеабилности феритног језгра. Постоје различите методе за одређивање пермеабилности. Најчешће коришћена метода за одређивање пермеабилности материјала јесте трансмисиона/рефлексиона метода. Поред наведене методе постоје такође и метода са еквивалентним колом као и резонантна метода.

Магнетска пермеабилност описује интеракцију између магнетског поља и материјала изложеног том пољу, а представља однос вектора магнетне индукције B и вектора јачине магнетског поља H . Комплексна релативна пермеабилност састоји се од реалног дела, μ' који представља ускладиштену енергију и имагинарног дела, μ'' који представља дисипацију снаге. За одређивање комплексне пермеабилности ниским фреквенцијама (фреквентни опсег 1 kHz – 1 MHz) метода са дискретним намотајем. За мерења у нижем фреквентном опсег ће се вршити на LCZ метру HP 4277A.

Феритни мерни узорак мора бити изведен у облику турса минималних димензија: унутрашњег пречника 4 mm, спољашњег пречника 7 mm и висине 1 mm. Ове минималне димензије су задате како би могуће да се на турсу намота калем за испитивање.

Метода се састоји из два сета мерења. Прво се врши мерења калема намотаног на феритни турс а потом се намотај истог облика и димензија мери без феритног језгра. У з помоћ ЛЦЗ метра мере се следеће величине: импеданса, $\cos \theta$ и индуктивност. Користећи развијени математички модел из измерених величина прерачунава се комплексна пермеабилност.

Техничке карактеристике:

Мерни систем се састоји од LCZ метра, развијеног програмског алата за контролу инструмента и преузимање измерених вредности са истог и два индетична калема (на турсу и намотаног на диелектрични материјал нпр. тефлон).

Техничке могућности:

Приказани мерни систем омогућава одређивање комплексне пермеабилности феритних материјала на основу измерених електричних величина Z , $\cos \theta$ и L . LCZ метар се контролише помоћу развијеног програмског алата и поћу кога се такође преузимају измерене величине и записују у текстуалну датотеку (CSV формат). Мерења је могуће спровести у оквиру целог фреквентног опсега инструмента од 1 kHz до 1 MHz.

Реализатори: ФТН, Нови Сад

Корисници:

Факултет техничких наука, Нови Сад, Институт за сензорске и актуаторске системе, Беч, Аустрија, Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд; ИРИТЕЛ А.Д., Београд.

Подтип решења: М 85 - Нова мерна метода.

Увод

Пермеабилност феритних материјала није константна већ њена вредност варира са променом фреквенције а с обзиром да се феритни материјали користе на различитим фреквенцијама неопходно је познавати вредност пермеабилности у широком фреквентном опсегу. Одређивање комплексне пермеабилности неопходна је у два случаја: у случају да је произведен нови феритни материјал или у случају да је комерцијално доступни материјал није довољно окарактерисан.

Ферити су хемијска једињења која се састоје од смеша оксида метала од којих је основна компонента гвожђе оксид (Fe_2O_3). Имају многобројне примене као што су израда сталних магнета, феритних језгара за трансформаторе, рачунарских меморија за масовно складиштење података итд. Постоје више врста магнетских материјала, али су само феромагнетски и феримагнетски материјали од важности у технологији, јер се лако могу намагнетисати релативно слабиом пољем. Ферит је у суштини керамички материјал који у себи комбинује отпорност изолаторских материјала са релативно великом пермеабилношћу. Легуре ферита које се највише користе су манган-цинк (у даљем тексту MnZn) и никл-цинк (у даљем тексту NiZn). Ови материјали имају велику унутрашњу отпорност и способност да се брзо намагнетишу. MnZn се користи на нижим фреквенцијама док се NiZn користи на вишим фреквенцијама. У овом истраживању биће карактерисани материјали на бази обе легуре.

Познавање магнетске пермеабилности феритних материјала је веома важно приликом дизајнирања и одабира материјала за израду електронских компоненти. Индуктивност индуктора са феритним језгром не зависи само од броја или геометрије навојака већ и од пермеабилности феритног језгра. Постоје различите методе за одређивање пермеабилности. Најчешће коришћена метода за одређивање пермеабилности материјала јесте трансмисиона/рефлексиона метода. Поред наведене методе постоје такође и метода са еквивалентним колом као и резонантна метода.

Теоријски модел

Магнетска пермеабилност описује интеракцију између магнетског поља и материјала изложеног том пољу, а представља однос вектора магнетне индукције B и вектора јачине магнетског поља H . Комплексна релативна пермеабилност $\mu \approx \mu' - j\mu''$ састоји се од реалног дела, μ' који представља ускладиштену енергију и имагинарног дела, μ'' који представља дисипацију снаге. За одређивање комплексне пермеабилности ниским фреквенцијама (фреквентни опсег 1 kHz – 1 MHz) метода са дискретним намотајем. За мерења у нижем фреквентном опсегу ће се вршити на LCZ метру HP 4277A.

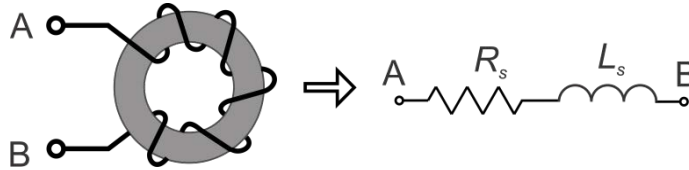
На нижим учестаностима (1 kHz – 1 MHz) као што је већ наведено користи се метода са дискретним намотајем. Ова метода се заснива на чињеници да феритни торус на који је намотан калем, Слика 1., може представити као импеданса:

$$Z = R_s + j\omega L_s, \quad (1)$$

где је L_s сопствена индуктивност а R_s серијска отпорност. Слично је и за намотај који има исти број навоја као и исти геометријски облик и димензије као калем на торусу и његова импеданса Z_0 се може записати као:

$$Z_0 = R_0 + j\omega L_0 \quad (2)$$

где је L_0 сопствена индуктивност а R_0 серијска отпорност калема без феритног језгра.



Слика 1 Модел феритног језгра са намотајем и његова еквивалентна шема

За приказани електрични модел са феритним торусом важи следећа једнакост:

$$Z = R_0 + j\omega\mu_0(\mu' - j\mu'')\frac{SN^2}{l_s} = R_0 + j\omega\mu_0\mu'\frac{SN^2}{l_s} + j\omega\mu_0\mu''\frac{SN^2}{l_s}, \quad (3)$$

док за намотај без торуса важи да је импеданса Z_0 једнака:

$$Z_0 = R_0 + j\omega\mu_0\frac{SN^2}{l_s} \quad (4)$$

Из приказане једначине се може закључити да се одређивање пермеабилности може постићи преко мерења импедансе односно преко разлике импедансе намотаја са и без феритног торуса, једначина (5).

$$Z - Z_0 = R_s - R_0 + j\omega(L_s - L_0). \quad (5)$$

Убацавањем једначина (3) и (4) у једначину (5) добија се :

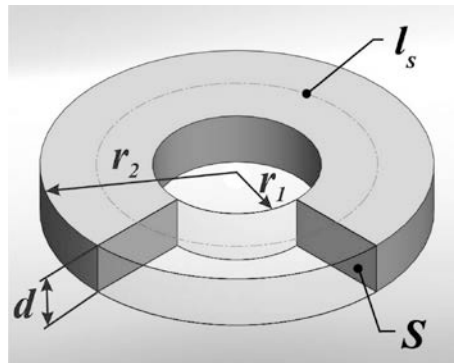
$$Z - Z_0 = \cancel{R_0} + \omega\mu_0\mu''\frac{SN^2}{l_s} + j\omega\mu_0\frac{SN^2}{l_s}\mu' - \cancel{R_0} - j\omega\mu_0\frac{SN^2}{l_s} \quad (6)$$

Изједначавањем једначина (5) и (6) добијају се једначине преко којих се може изразити реални и имагинарни део комплексне пермеабилности су дате као:

$$\mu' = \frac{l_s(L_{s0} - L_s)}{\mu_0 SN^2}, \quad (7)$$

$$\mu'' = \frac{l_s(|Z|\cos\Theta - |Z_0|\cos\Theta_0)}{\mu_0\omega SN^2}, \quad (8)$$

где је L_{s0} , Z_0 и $\cos\theta_0$ вредности измерене за намотај без феритног језгра а L_s , Z и $\cos\theta$ вредности измерене за намотај са испитиваним феритним језгром.



Слика 2. Попречни пресек феритног торусног језгра са обележеним потребним геометријским параметрима.

Као што је већ напоменуто ова метода подразумева мерење индуктивности калема са N навојака у случају када је калем намотан на феритно језгро и у случају када нема феритног језгра с ограничењем да у оба случаја калем мора имати исти облик и димензије. Поред броја навојака за ову методу такође је потребно знати (као што се може видети из једначина (7) и (8)) и површину попречног пресека S и дужину средње линије l_s feritnog torusnog jezgra, Слика 2.

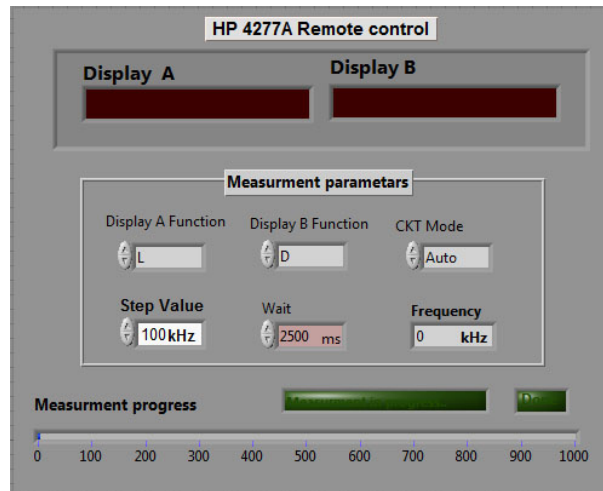
Мерна метода и експериментални резултати

Koristeći gore opisanu metodu određena je kompleksna permeabilnost za dva komercijalno dostupna LTCC materijala ESL 40011 i ESL 40012 произвођача ElectroScience laboratory. Карактеризација је вршена на претходно фабрикованим феритним језгрима димензија $r_1= 4$ mm, $r_2= 6,68$ mm и $d= 3,2$ mm. На оба језгра намотано је $N= 20$ навојака лаком изоловане жице.



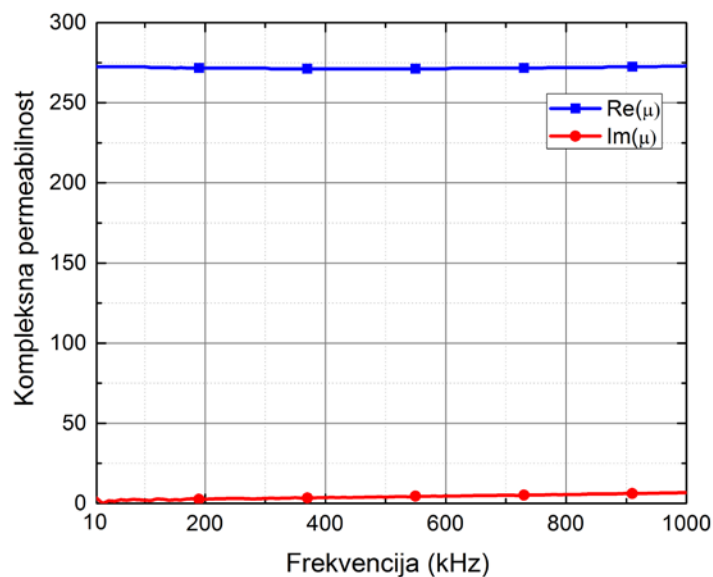
Слика 3. Мерна поставка за одређивање комплексне пермеабилности на нижим фреквенцијама.

Такође су намотани и калемови на торусима од тефлона који су пресечени на пола да би се могли скинути намотани калемови и на тај начин добили калемове који су идентичног облика и димензија као калемови на феритним језгрима. Добијени калемови са и без феритног језгра прикључени су на LCZ метар HP 4277A и измерене су вредности за модуо импедансе, $\cos\theta$ и индуктивност, Слика 3 и то у пуном мерном опсегу инструмента од 1 kHz – 1 MHz. Ради ефикаснијег и бржег мерења развијен је програмски алат који управља радом инструмента, омогућава мерење са унапред задатим кораком у целом фреквентном опсегу и бележи измерене резултате у текстуалну датотеку на рачунару. Изглед управљачког интерфејса овог програмског алата приказан је на Слици 4.

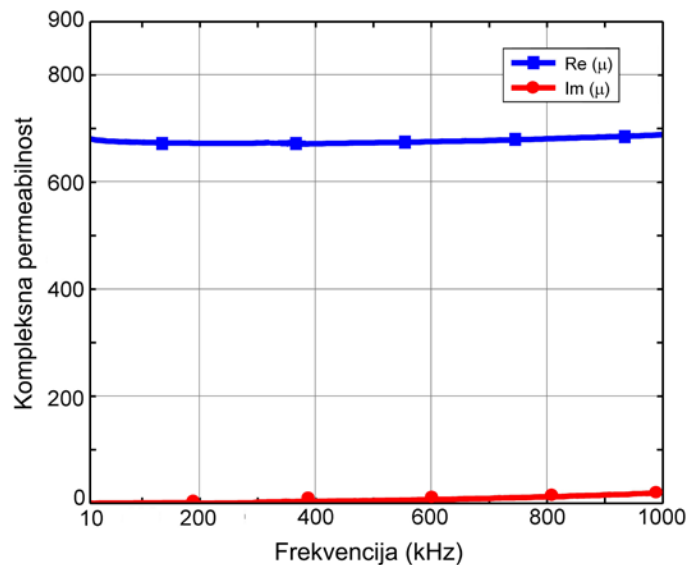


Слика 4. Управљачки интерфејс програмског алата.

Добијене вредности укључене су у горе наведене формуле и на тај начин прорачуната је комплексна пермеабилност LTCC feritnih uzoraka. Израчунате вредности за комплексну магнетну пермеабилност материјала приказане су на Слици 5. ESL 40011 и на Слици 6. ESL 40012.



Слика 5. Комплексна магнетна пермеабилност материјала ESL 40011 у фреквенцијском опсегу 1 kHz – 1 MHz.



Слика 6. Комплексна магнетна пермеабилност материјала ESL 40012 у фреквенцијском опсегу 1 kHz – 1 MHz.

Са презентових графика може се закључити да је за феритни LTCC материјал ESL 40011 и реални и имагинарни део комплексне пермеабилности приближно константан у мереном фреквентном опсегу док су вредности за ESL 40012 приближно константне у фреквентном опсегу од 1 kHz до 500 kHz након чега вредности почињу благо да расту. Добијене вредности су у складу са иницијалним вредностима које је произвођач дао за феритне материјале: ESL 40011 $\mu \geq 200 @ 100 \text{ kHz}$ и ESL 40012 $\mu \geq 450 @ 100 \text{ kHz}$ чиме је потврђена валидност мерне методе.

Могућности представљене мерне методе

У овом технолошком решењу је приказана је метода за одређивање комплексне пермеабилности феритних материјала. Новина се огледа у карактеризацији комерцијално доступних или новопроизведених феритних материјала помоћу LCZ метра HP 4277A и развијеног програмског алата. Овакав начин карактеризације је омогућен је преко развијеног теоријског модела а преко кога је могуће из измерених електричних величина одредити комплексну пермеабилност испитиваног феритног материјала.

Феритни мерни узорак мора бити изведен у облику торуса минималних димензија: унутрашњег пречника 4 mm, спољашњег пречника 7 mm и висине 1 mm. Ове минималне димензије су задате како би могуће да се на торус намота калем за испитивање.

Приказана метода карактеризације је тестирана на комерцијално доступним LTCC материјалима компаније *ElectroSience laboratory* ESL 40011 и ESL 40012 тако што је на испитивано феритно језгро намотан калем од 20 навојака. Индентичан калем је намота и на тефлонски торус који је идентичних димензија и облика као испитивани феритни торус. За ова два индентична калема измерене су следеће електричне величине: модуо импедансе, $\cos\Theta$ и индуктивност. Из добијених измерених вредности уз помоћ развијеног теоријског модела израчунате су вредности за комплексну пермеабилност испитиваног материјала за ова два, до сада комерцијално доступна али неокарактерисана материјала. Комплексна пермеабилност одређена је

предложеном методом на собној температури. Добијени резултати су у сагласности са оквирним вредностима које је произвођач презентовао у техничкој документацији испитиваних феритних материјала.

Нова метода за одређивање комплексне пермеабилности феритних материјала у нижем фреквенцијском опсегу (1 kHz - 1 MHz) развијена је на Факултету техничких наука у Новом Саду, у оквиру текућег пројекта бр. ИИИ-45021 код Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије.

Штампано –2014.