

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „доктор“
в област на висше образование: 5. Технически науки,
професионално направление: 5.2. Електротехника, електроника и автоматика,
по докторска програма: 5.2.4. Електронизация

Автор на дисертационния труд: маг.инж. Теодора Пламенова Тодорова

Тема на дисертационния труд: Електрически свойства на Mn-Zn феритни материали

Член на научното жури: проф. д-р Николай Димитров Маджаров, ТУ Габрово
(съгласно Заповед 354/28.06.2018 г. на Ректора на ТУ-Варна)

1. Тема и актуалност на дисертационния труд

Темата на дисертационния труд е посветена на важни проблеми, свързани с високочестотните параметри на Mn-Zn феритни материали. Интересът към тази тематика е значителен през последните години и има отношение към пасивната елементна база на преобразувателната техника, която трябва да отговори на достигнатия мегагерцов честотен диапазон от активната елементна база - SiC MOSFET и GaN MOSFET. Важен е фактът, че при стандартизираните геометрични конфигурации на магнитопроводите и/или наличието на въздушна междина, напрегнатостта на полето в отделните зони е доста различна и в съответствие с това се получават локални претоварвания, силно изменящи параметрите на еквивалентната магнитна верига. Производителите на феритни материали предоставят оскъдна информация за високочестотните загуби, което затруднява правилното проектиране и конструиране на индуктивните елементи. Тези проблеми се дискутират на редица международни форуми от научни екипи и компании, имащи авторитет в тази област. Всичко това обуславя актуалността на разработката и направеното от докторантката научно изследване.

2. Степен на познаване състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал.

В обзорната част на дисертационната работа много добре са разгледани, систематизирани и анализирани проблемите и тенденциите в развитието на феритните материали. Използвани са 112 публикации в реномирани конференции и списания (108 са на латиница и 4 на кирилица) и 11 уеб сайта на фирми, имащи научен и производствен задел в тази област. От български автори или смесен колективи са използвани 13 публикации. При анализа на литературните източници е обърнато внимание на проблемите, явленията и някои нерешени въпроси, съпровождащи използването на феритите при високи честоти, начините на измерване на параметрите им и в съответствие с това ограниченията при тяхното приложение.

Общото заключение от прегледа на състоянието на проблема, представен в дисертационния труд е, че авторката познава отлично изследвания проблем и творчески оценява и интерпретира използвания литературен материал.

3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставените цел и задачи на дисертационния труд.

Методите за изследване, които е избрала докторантката, съответстват на формулираните цел и задачи на дисертационния труд и включват:

- методика за обединяване параметрите на по-тънки образци при моделиране на реалната форма на Mn-Zn феритни магнитопроводи и синтезиране на обща заместваща схема при анализа на електрическите им свойства;
- създаване на високочестотни еквивалентни заместващи схеми, отразяващи електромагнитните параметри на разглеждания магнито-диелектричен материал и възникването на полеви взаимодействия в него;
- анализ на феритните материали чрез създадените модели, отчитащи техния състав и наличието на паразитни елементи в еквивалентната заместваща схема;
- интерпретацията на резултатите от гледна точка на електромагнитни ефекти, свързани с дължината на вълната в материала и дълбочина на скин слоя.

Избраният методичен подход е правилен и адекватен за решаване на поставените задачи в дисертационната работа. Това е предпоставка за получаване на адекватни резултати при теоретичните и практически изследвания.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и оценка на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд.

Дисертационният труд съдържа приети означения и съкращения, списък на фигурите и таблиците, увод, 4 глави, изводи върху цялостното изследване, приноси, използвана литература и публикации по дисертацията в обем от 131 страници. Общо в труда са включени 46 фигури и 11 таблици.

В Глава 1 е направен литературен преглед на състоянието, областите на приложение и проблеми при използването на Mn-Zn феритни материали във високочестотните преобразуватели устройства. Това основно зависи от честотните зависимости на реалните им диелектрична проникваемост и специфичната електрическа проводимост, информация, която обикновено не се предоставя във фирмените каталози.

Много задълбочено е разгледан въпросът, свързан с измерването на електрическите параметри на Mn-Zn ферити. Използвана е наличната фирмена информация и публикации от научни колективи, работещи в тази област. Акцентувано е на получаването размерен резонанс, който се възбужда при определени размери на феритния материал, площта на контактните площадки и честота. В следствие на това явление, приложеното електрическо поле допринася за получаване и на магнитно поле, които взаимно предопределят привидни свойства и електрическите параметри на измервания ферит. Разгледани са условията за съставяне на правилна опитна постановка, свързани с точното определяне на напречното сечение на тествания материал, апаратура за измерване, електрически контакт и анализ на резултатите от измерването, касаещи алгоритми за извличане на присъщите електрически свойства на Mn-Zn ферити от измерените импеданси.

От направения литературен обзор логически са систематизирани изводи, а от тях по естествен начин са формулирани целта и задачите на дисертацията.

В Глава 2 е разработена постановката за измерване на импедансните характеристики на Mn-Zn феритни образци. За реализирането ѝ са използвани конвенционални лабораторни уреди, с което се осигурява възможност за широкодиазонно по отношение на честотата измерване на импеданса и диелектричната проникваемост на различни по форма и размер Mn-Zn феритни образци, при честоти в диапазона 133 Hz ÷ 50 MHz и температури, съответно 25, 85, 100 и 120 °C. Обоснована е методика за избор на тестовите образци от различни части на стандартни магнитопроводи, основно от материал N87. На базата на проведените измервания на средното и страничните рамена на магнитопроводите PQ 40/40 и PQ 50/50, са установени диапазоните, в които се получава резонанс и в съответствие с това е определено тяхното конкретно приложение при моделирането на присъщите им електрически свойства.

Синтезирана е електрическа еквивалентна заместваща схема на измервателната постановка, отчитаща всички допълнителни елементи, като кабели, контактни съпротивления, измервателна апаратура. Част от тях са измерени с апаратура с достатъчна точност, а друга е взета от фирмени каталози. След измерване на входните напрежение и ток и фаза между тях са изчислени електрическите и магнитни параметри на феритния образец чрез изчислителна процедура в среда на Matlab. Верифицирането на предложената измервателна методика е извършено чрез сравнение с резултатите от прецизен LCR метър. Налице е високо съвпадение, което е предпоставка за приложимостта на предложения подход за измерване електрическите параметри на феритните образци.

Чрез резултатите от измерванията във втора глава, в трета глава са синтезирани и верифицирани универсални еквивалентни заместващи схеми на Mn-Zn ферити, чрез които са моделирани електрическите свойства на тестваните феритни образци. Основните елементи в тях са две последователно свързани RC двойки. Физическата им интерпретация в общите електрически параметри е, че едната отразява участието на металните зърна, а другата – участието на изолацията между тях. След добавяне на допълнителни елементи, отразяващи паразитните елементи и спецификата в работата на средното и странично ядро на магнитопровода е установено, че еквивалентна заместваща схема моделира с най-голяма достоверност получените импедансни характеристики при замяна на кондензаторите с елементи с постоянна фаза.

Допълнително са изследвани импедансните характеристики във функция от интензитета на магнитно поле и условията за получаване на размерен резонанс. Представена е процедура за измерване на реалните специфична електропроводимост и диелектрична проникваемост на MnZn ферит (марка N87), за различни части от стандартните магнитопроводи. Установено е, че се появява размерен резонанс в случаите, когато най-малкият размер на напречната площ на тестваните образци е по-голям или равен на 4.5 пъти от дължината на електромагнитната вълна в материала. На базата на това условие са разгледани ширините на напречните сечения на страничните рамена на тестваните геометрични конфигурации и като компромисен вариант са взети средните стойности. Така, за феритната сърцевина PQ 40 (средна стойност на ширината 4 mm) от материал N87, присъщите електрически свойства са валидни за честоти до 1 MHz, а за сърцевина PQ 50 (средна стойност на ширината 6,125 mm) от същия материал – за честоти до 700 kHz. Над тези честоти размерният резонанс оказва своето влияние и са налице привидните електрически свойства на феритния материал.

В тази глава дисертантката е демонстрирала много добро познаване на физическите основи на магнитодиелектричните материали и творчески ги интерпретира към съвременните методи за анализ на конкретни феритни сърцевини и материали. В резултат на този иновативен подход е създадена методология за оценката на високочестотните свойства на феритите и предпоставка за използването им при честоти над дефинираните във фирмените каталози.

В заключителната четвърта глава са моделирани електрическите свойства на Mn-Zn феритни материали, чрез електрически еквивалентни заместващи схеми при отчитане на размерния резонанс. Представени са нови изследвания на части от феритния магнитопровод PQ50, плочки с ширина 2 mm и 3 mm на контактната повърхност, съответно от материал N87 и N97. Анализирани са резултатите от честотните измервания и са дефинирани и обосновани характерни признаци в импедансните характеристики на Mn-Zn феритни образци, чрез които директно се установява възникването на размерен резонанс. Тези признаци са локални минимума в изчислената имагинерна част на комплексната относителна диелектрична проникваемост и в измерената фазово честотна характеристика. Отчитайки представените условия, е извършено моделиране чрез

еквивалентни схеми, в които участват последователно свързани две паралелни RC и RQ двойки. На основата на резултатите от импедансните измервания е дефинирана ширината на входния честотен диапазон, който е използван като входни данни за моделирането на измерените характеристики. От особено значение е точната стойност на долната гранична честота, която предопределя доброто моделиране на електрическите свойства на разглежданите феритни образци. Установено е, че ширината на използвания честотен диапазон в обхвата от 30 kHz до 5 MHz почти не влияе върху точността на моделирането.

Всички изводи са съставени въз основа на възприетия методичен подход – на аналитични, стимулационни и експериментални решения и подробен анализ и сравнение на получените от тях резултати. Това гарантира достоверността на материала в дисертационния труд и на приносите в него.

5. Научни и/или научно-приложни приноси на дисертационния труд. Значимост на приносите за науката и практиката.

- По мое мнение, достиженията в дисертационния труд се характеризират със следното:
- Направен е обстоен и задълбочен анализ на параметрите на MnZn ферити. Представени са съществени проблеми при измерването на параметрите и използването им при високи честоти.
 - Разработена е специализирана постановка за измерване на импеданса на Mn-Zn феритни образци в широк честотен диапазон и различни температури.
 - Синтезирани са специфични еквивалентни заместващи схеми за моделиране на електрическите свойства на Mn-Zn феритни материали и импедансната характеристика, повлияна от размерния резонанс. Иновативният момент е, че чрез представените заместващи схеми, размерният резонанс се интерпретира от гледна точка на параметрите на електрическите вериги.
 - Изведени са честотните зависимости за специфичната електропроводимост и реалната диелектрична проницаемост на MnZn феритен материал. Процедурата е верифицирана чрез моделиране и анализ на еквивалентни заместващи схеми на измерените импеданси на тестваните образци.
 - Установени са условията за появата на размерен резонанс в тествания образец и е доказано е, че той се появява в случаите, когато най-малкият размер на напречната площ на тествания образец е по-голям или равен на 4.5 пъти дължината на електромагнитната вълна в материала.
 - Съставен е алгоритъм за определяне честотния диапазон при изследване на еквивалентните високочестотни параметри на Mn-Zn феритни образци в съответствие с геометричните размери и условието за изолиране влиянието на размерния резонанс.

Основните приноси в дисертационния труд, според моята преценка, имат научно-приложен характер. Те могат да се класифицират като: полезно увеличаване на знанията в разглежданата научна област; използване и обогатяване на съществуващи знания; използване на класически и съвременни методи за анализ на съвременна апаратура и елемента база; получаване и доказване на нови факти; технологии и подходи за практическото им приложение; внедряване на оригинални научни постижения.

6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите.

Нямам сведения за използване или цитиране на данни от изследванията в дисертационния труд от други автори. Считам, че получените резултатите са полезни и някои от тях могат да се използват при провеждане на разнообразни изследвания, свързани с високочестотното използване на Mn-Zn феритни. Нямам основание да смятам,

че получените резултати и приносите в представения труд не са лично дело на маг.инж. Теодора Пламенова Тодорова. Основание за това ми дава и факта, че авторката има h-индекс = 3. От общата справка установих, че тя има в съавторство 14 статии в базата на Scopus и 15 цитирания, едно отлично постижение на докторантката и свидетелство за високото ниво на научната ѝ продукция и нейната апробация.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд.

Основните резултати от дисертацията са намерили място в осем публикации, една от които е самостоятелна и седем са съвместни с научния ръководител – проф. д-р инж. Венцислав Цеков Вълчев.

Във всичките публикации докторантката има важен принос. В основната си част изследванията от дисертацията са представени на конференции и в статии в списания, както следва:

- една статия в международен журнал с импакт фактор $IF=7.151$ (*IEEE Transactions on Power Electronics*), 2017, рефериран в база данни Scopus;
- една статия в международен журнал с импакт фактор $IF=0.542$ (*Journal of Electrical Engineering*; очаква се одобрение), 2018, рефериран в база данни Scopus;
- един доклад на национален форум „Електроника“, София, 2017;
- пет доклада на национални и международни форуми, реферирани в база данни Scopus (*JEMS*, Glasgow; *ET*, Созопол; *SIELA*, Бургас).

Обобщено, седем от научните публикации са реферирани в база данни Scopus, две от които в списания с импакт фактор. Публикациите като брой и изисквания за самостоятелни такива, удовлетворяват Правилника за придобиване на научни степени и заемане на академични длъжности в Технически университет Варна. Направените публикации ми дават основание да смятам, че дисертационният труд е достатъчно добре разгласен и обсъден.

8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика

Дисертационна работа представлява изследване с подчертано практическа ориентация. На базата на изследванията е създадена аналитична и експериментална методика за определяне електрическите и магнитни параметри на Mn-Zn ферити, при работа във високочестотния мегахерцов обхват. Представените в настоящия дисертационен труд изследвания са в основата на съвместната работа с колектив от университета в Гент, Белгия с ръководител проф. А. Ван ден Босче. Постигнатите резултати са апробирани в авторитетни списания и на редица международни конференции. Безспорно достиженията на докторантка са на високо инженерно ниво. Разбира се, не пренебрегвам и значението на средата, в която тя е работила, както и ролята на научния ръководител.

9. Препоръки за бъдещо използване на приносите

В аспект на бъдещи изследвания бих препоръчал да се доразвие започнатото в глави 3 и 4 – да се докажат условията, при които могат да се използват Mn-Zn ферити при високи честоти от гледна точка на магнитна индукция, напрегнатостта на полето, загуби и др.

10. Оценка на съответствието на автореферата с изискванията за изготвянето му, както и на адекватността на отразяване на основните положения и приносите на дисертационния труд.

Авторефератът е направен според изискванията, установени през годините и правилно отразява основните положения в дисертацията. Той е с обем от 28 стр., структуриран е аналогично на дисертацията и в него са представени целта и задачите на разработката, основните резултати от проведените изследвания и обобщените изводи и приноси.

11. Мнения, препоръки и бележки.

1. Не е коментирано влиянието на плътността (g/cm^3) на високочестотните ферити, имаща директно отношение върху структурата на материала и косвено, върху електрическите и магнитните им параметри - максималната магнитна индукция и загубите.

2. При измерване на електрическите свойства на Mn-Zn ферити във втора глава, е използван кондензатор МКР. Считаю, че за мегагерцовия честотен диапазон по – подходящи са сериите ММКР или FKP, които определено имат по-малка собствена индуктивност и ESR.

3. На страница 49 са представени резултати от измерването на импедансите при 25°C. Ефективните стойности на напреженията върху образците се изменят в обхвата $5 \div 1$ V за ниски към високи честоти, а съответните ефективни токове през образците - в диапазона $7 \div 80$ mA. Как кореспондират тези резултати със специфичното съпротивление на N87, равно на 10 Ohm.m ?

4. Възниква и още един въпрос, относно измерването и моделирането на феритните образци, които са направени при температури до 120 °C. В случаите на въздушна междина в магнитопровода на индуктивния елемент, тази локална температура е доста по-висока в зоната на прекриване на феритите, често пъти близка до точката на Кюри за дадения магнито-диелектричен материал. Правени ли са измервания при тези по-високи температури и как те се отразяват върху електромагнитните параметри на феритния материал?

12. Други въпроси.

Категорично смятам, че образователната функция на докторантурата е изпълнена. Докторантката е повишила и е придобила нови познания в теорията и практиката на използването и измерването параметрите на високочестотните феритни материали.

13. Заключение с ясно становище да се даде или не научна степен.

Дисертационна работа е актуална и третира сложен комплекс от аналитични и практически въпроси, свързани с високочестотното използване на Mn-Zn ферити. Считаю, че в представения вид трудът отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Република България и на Правилника за неговото приложение. Направените бележки и препоръки не оспорват приносите на дисертационния труд, поради което давам положителна оценка за него. Постигнатите резултати ми дават основание да предложа на членовете на научното жури да бъде придобита образователната и научна степен „доктор“ от маг.инж. Теодора Пламенова Тодорова, в област на висше образование 5. Технически науки, по докторска програма 5.2.4. Електронизация, към професионално направление 5.2. Електротехника, електроника и автоматика.

Юли, 2018
Габрово

Рецензент:
(проф. д-р инж. Николай Д. Маджаров)