

## ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

-обавезна садржина- свака рубрика мора бити попуњена

(сви подаци уписују се у одговарајућу рубрику, а назив и место рубрике не могу се мењати или изоставити)

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
<p>1. Датум и орган који је именовao комисију 29.09.2016. Научно наставно веће Факултета техничких наука. Број решења: 012-72 / 58 – 2012</p> <p>2. Састав комисије са назнаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Др Неда Пекарић-Нађ, редовни професор, уже научна област Теоријска електротехника, изабрана у звање 13.07.2001. године, Факултет техничких наука, Нови Сад,</li> <li>2. Др Мариa Весна Николић, научни саветник, уже научна област Електротехнички материјали, изабрана у звање 25.01.2012. године, Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд,</li> <li>3. Др Обрад Алексић, научни саветник, уже научна област Електротехнички материјали, изабран у звање 28.12.2004. године, Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд,</li> <li>4. Др Анамарија Јухас, ванредни професор, уже научна област Теоријска електротехника, изабрана у звање 01.04.2015. године, Факултет техничких наука, Нови Сад,</li> <li>5. Др Љиљана Живанов, редовни професор, уже научна област Електроника, изабрана у звање 01.01.2000. године, Факултет техничких наука, Нови Сад.</li> </ol>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Име, име једног родитеља, презиме: Миодраг, Милета, Милутинов</li> <li>2. Датум рођења, општина, држава: 28. август 1976., Зрењанин, Србија</li> <li>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив ФТН, Електротехника и рачунарство, дипломирани инжењер електротехнике</li> <li>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија -</li> <li>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: ФТН, Нови Сад „Оптимизација електромагнетског поља надземних водова“, Теоријска електротехника, 23.10.2009.</li> <li>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: Теоријска електротехника</li> </ol>

### III НАСЛОВ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

**Моделовање, симулација и мерење снаге губитака у феритним језгрима у фреквенцијском опсегу до 1GHz**

### IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикана и сл.

Докторска дисертација је изложена у 7 поглавља и има следећу структуру:

1. Увод
2. Стање у области истраживања
3. Метода за мерење густине снаге губитака у феритним језгрима
4. Моделовање и симулација густине снаге губитака у феритним језгрима
5. Утицај технолошких поступака на магнетске и електричне особине Mn-Zn феритног материјала
6. Дискусија
7. Закључак

Дисертација је изложена на 148 страна, А4 формата.

Дисертација садржи 21 табелу, 103 слике, 117 литерарних навода и 3 прилога.

Иза прве странице стоји кључна документацијска информација на српском и енглеском језику, после које следи захвалница, садржај и скраћенице и ознаке. Након тога следе горе поменута поглавља, после којих се, на крају рада, налази списак литературе и прилози.

### V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

**Наслов** докторске дисертације је јасно формулисан, и сажето дефинише тематику и садржај дисертације.

**У уводу**, након образложења теме истраживања, је указано на потребу одређивања фреквенцијске зависности снаге губитака феритних језгара као једне од битних величина приликом карактеризације феритних материјала. У складу са одабраним проблемом истраживања, јасно и сажето су дефинисани предмет, проблем и циљ истраживања. Након тога је дат преглед остварених резултата и најављен садржај дисертације.

*Комисија сматра да су проблем, предмет и циљ истраживања у дисертацији постављени концизно и јасно и да су успешно водили кандидата кроз рад на изабраној теми.*

**У другом поглављу** је дат преглед стања у области истраживања. Наведени су и укратко продискутовани радови посвећени методама за мерење снаге губитака и комплексне пермеабилности, као и радови посвећени проблемима који постоје приликом мерења магнетских особина феритних материјала. У истом поглављу је дат преглед метода за моделовање снаге губитака у режиму малих и великих сигнала.

*Комисија сматра да је дат свеобухватан и користан приказ стања научне литературе у овој области.*

**У трећем поглављу** је описана предложена нова метода за мерење снаге губитака. Метода представља модификацију ватметарске методе и прилагођена је употреби осцилоскопа мале улазне импедансе  $50\Omega$  и максималног улазног напона  $\pm 5V$ . Извршена је анализа грешке мерења и утврђен је мерни опсег методе у складу са карактеристикама употребљеног осцилоскопа. У истом поглављу је описана обрада мерних података за коју је у оквиру дисертације направљен кориснички модул у програмском пакету MATLAB. Верификација методе је изведена мерењем магнетских особина неколико комерцијалних језгара.

*Комисија сматра да је предложена метода јасно изложена. Наведени поступак омогућује употребу савремених дигиталних осцилоскопа за мерење снаге губитака до фреквенција 1GHz. Кориснички модул је развијен у програмском пакету MATLAB, који подржава и сам дигитални осцилоскоп. Ово даје могућност директног имплементирања новоразвијеног модула на осцилоскопу.*

**Четврто поглавље** се бави моделовањем густине снаге губитака феритног језгра у случају малих и великих сигнала. У случају малих сигнала приказано је моделовање фреквенцијске зависности комплексне пермеабилности. Описана су три модела за прорачун комплексне пермеабилности на основу којих може да се изврши симулација густина снаге губитака. Први модел је аналитичка функција која описује фреквенцијску зависност комплексне пермеабилности, други модел је заснован на еквивалентној електричној шеми, а трећи модел је заснован на методи коначних елемената. У случају великих сигнала густина снаге губитака феритног језгра је израчуната помоћу емпиријске једначине, као и математичким моделовањем хистерезисне петље. Дат је опис предложеног модела хистерезисне петље са четири параметра, заснованог на Лангевинином моделу. Модели су тестирани на језгру направљеном од комерцијалног Mn-Zn материјала.

*Комисија сматра да је приказ коришћених модела као и приказ новог модела хистерезисне петље дат систематски и прецизно, те да су покривени сви релевантни аспекти и његове примене.*

**У петом поглављу** су приказани резултати мерења магнетских и електричних особина феритног Mn-Zn материјала за чије добијање су коришћени додатни технолошки поступци (додатно млевење различитог времена трајања као и додатно просејавање). За мерење и симулацију магнетских особина употребљене су методе за мерење и моделовање које су претходно описане у трећем и четвртном поглављу. Анализом добијених резултата утврђен је утицај технолошких поступака обраде феритног материјала на електричне и магнетске особине језгра. Установљено је да се млевењем феритног праха могу направити језгра са мањом густином снаге губитака. У истом поглављу су приказани резултати прорачуна густине снаге губитака коришћењем емпиријске једначине и модела хистерезисне петље. Експериментална испитивања верификују коришћене нумеричке моделе. Резултати су прегледно, прецизно и систематично приказани. Већина резултата је дата упоредо преко графичких приказа и одговарајућих табела. Сви графици су детаљно коментарисани, уз јасна тумачења физичких дешавања која доводе до представљених зависности. Кандидат аргументовано и систематично дискутује сваку зависност, уз јасна тумачења резултата и извођење логичних закључака.

*Комисија сматра да представљени резултати систематски и прецизно указују на утицај технолошких процеса припреме и обраде феритних материјала на магнетске и електричне особине језгра. Извршена је експериментална верификација нумеричких резултата. Дискусија је исцрпна и значајно доприноси квалитету ове дисертације. Кандидат јасно и са разумевањем коментарише добијене резултате.*

**У шестом поглављу** су дискутовани добијени резултати. Анализиране су предложене методе за мерење и моделовање снаге губитака и указано је на предности предложених метода. На основу резултата приказаних у петом поглављу, је још једном сагледан утицај млевења и просејавања почетног комерцијалног феритног материјала.

*Комисија сматра да је анализа и дискусија добијених резултата адекватна и да дати коментари заокружују оправданост израде тезе и добијених резултата.*

**У закључку** рада су сажети резултати добијени у дисертацији и дати предлози за даља истраживања.

*Комисија сматра да закључци донети на бази изложених резултата потврђују значај развијених метода за потребе испитивања утицаја процеса обраде феритних материјала на електричне и магнетске особине феритних језгара.*

Литература садржи 117 прегледно систематизована библиографска навода.

*Комисија сматра да је литература пажљиво одабрана и да одговара тематици ове дисертације.*

На крају докторске дисертације су дати прилози у којима су приказани: 1) фабрички подаци комерцијалних језгара употребљених за верификацију метода за мерење и моделовање, 2)

развијени програмски код за обраду мерних података написан у програмском пакету MATLAB, 3) развијени програмски код за прорачун снаге губитака употребом методе коначних елемената помоћу програмског пакета COMSOL написан у програмском пакету MATLAB.

*Комисија сматра да прилози на прави начин употпуњују саржај тезе и дају важне детаље дисертације.*

На основу изложеног Комисија позитивно оцењује све делове докторске дисертације.

## **VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ**

### **M22 - Рад у истакнутом међународном часопису**

**M. Milutinov**, M. V. Nikolic, M. Lukovic, N. Blaz, N. Labus, Lj. Zivanov, O. Aleksic, "Influence of starting powder milling on structural properties, complex impedance, electrical conductivity and permeability of Mn-Zn ferrite," Journal of Materials Science: Materials in Electronics, vol. 27, pp. 11856-11865, July 2016.

### **M33 - Радови саопштени на скупу међународног значаја штампани у целини**

**M. Milutinov**, N. Blaz, Lj. Zivanov, „Ferrite core loss measurement issues and technique," 18th International Symposium on Power Electronics, EE 2015, Novi Sad, Serbia, Oct. 2015. Proceedings of Full Papers (CD-ROM), ISBN 978-86-7892-757-7.

**M. Milutinov**, M.V. Nikolic, M. Lukovic, O. Aleksic, N. Blaz, Lj. Zivanov, "Influence of Starting Powder Milling on the Permeability and Core Loss Density of Mn-Zn Ferrite in the High Frequency Range," Proceedings of Academics World 24th International Conference, Abu Dhabi, UAE, 20th February 2016, ISBN: 978-93-85973-45-1

**M. Milutinov**, N. Pekarić-Nadž, Nelu Blaž, Goran Radosavljević, „Zavisnost karakteristika induktivne strukture od geometrije i vrste feritnog materijala“, 53th ETRAN Conference, Vrnjačka Banja, 15-18. Jun 2009, Rad štampan u celosti: CDROM Elektronski zbornik radova 53. konferencije za ETRAN, Paper No. EL3.5, pp. 1-4, ISBN 978-86-80509-64-8

## **VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

У оквиру ове дисертације извршено је мерење, моделовање и симулација на три модела густине снаге губитака у феритним језгрима, у режиму малих и великих синусоидалних сигнала, у широком фреквенцијском опсегу. За потребе мерења снаге губитака развијена је нова метода која представља модификацију ватметарске методе. Мерна метода је прилагођена дигиталном осцилоскопу са улазном импедансом  $50\Omega$  и максималном мерном напону  $\pm 5V$ . У режиму великих сигнала предложеном мерном методом је могуће измерити густину снаге губитака и параметре хистерезисне петље. У режиму малих сигнала предложеном мерном методом је могуће измерити густину снаге губитака, хистерезисну петљу и комплексну пермеабилност уз контролисану амплитуду магнетске индукције.

Осим предложене мерне методе, у оквиру дисертације је предложено више метода за прорачун снаге губитака. У режиму малих сигнала густина снаге губитака је израчуната применом три различита модела: моделовање комплексне пермеабилности језгра аналитичким функцијама, моделовање импедансе језгра помоћу елемената електричних кола и моделовање снаге губитака језгра помоћу методе коначних елемената.

У режиму великих сигнала прорачун густине снаге губитака је омогућен на бази усавршеног модела хистерезисне петље. При томе су у оквиру дисертације употребљена два модела базирана на Лангевиновом моделу додавањем хистерезисног ефекта. Први модел користи операцију конволуције у времену, док је код другог модела кашњење вектора магнетске индукције у односу на вектор јачине магнетског поља моделовано додатним параметрима. Резултати симулације густине снаге губитака на тестираним језгрима показују одступања од мерених резултата која су мања од 10%.

Помоћу развијене методе за мерење и моделовање густине снаге губитака извршена је карактеризација различитих комерцијалних феритних материјала. Такође, испитивана је могућност побољшања магнетских карактеристика комерцијалних Mn-Zn феритних материјала применом додатних технолошких процеса. Анализа утицаја величине зрна на магнетске карактеристике језгра је извршена испитивањем фреквенцијске зависности пермеабилности, пермитивности, проводности ферита, као и густине снаге губитака језгра. Резултати истраживања показују да млевење и/или просејавање почетног комерцијалног праха имају значајан утицај на структуру, диелектричне, електричне и магнетске особине синтерованих узорака. Анализом података добијених мерењем великог броја узорака на различитим фреквенцијама и излагањем различитим вредностима магнетске индукције, закључено је да се густина снаге губитака може смањити 2 пута (за 50%) просејавањем, односно 4 пута (за 75%) млевењем почетног праха.

Захваљујући развијеној методи за мерење и моделовање снаге губитака употпуњени су закључци о утицају технолошких поступака израде феритних језгара на њихове магнетске особине. На овај начин метода за мерење снаге и методе за моделовање снаге описане у дисертацији представљају допринос карактеризацији магнетских материјала и одређивању оптималних параметара технолошких процеса за израду феритних језгара циљаних магнетских карактеристика.

#### **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Резултати мерења и прорачуна су приказани прегледно и систематично, помоћу табела и графика који олакшавају њихово тумачење. Сви графици су испраћени адекватним текстуалним описом резултата прорачуна и одговарајућим коментарима, тако да чине целину која веома добро описује сваки добијени резултат. Интерпретација резултата је концизна. Дискусије, коментари и закључци дати у раду логично произилазе из добијених резултата за све претпостављене вредности параметара, који описују реална стања посматране структуре. Приказ резултата истраживања, у целој дисертацији, заједно са пратећим тумачењима, се процењује као веома квалитетан. Све горе наведено указује да је кандидат темељно упознат са тематиком дисертације и стања у истраживању дате научне области.

*Стога, Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.*

#### **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме?

*Да, дисертација је у целини написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме*

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе?

*Да, дисертација садржи све битне елементе.*

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци?

Допринос ове дисертације је у развоју и примени нове методе за мерење снаге губитака. Метода представља модификацију ватметарске методе, а прилагођена је дигиталном осцилоскопу улазне отпорности  $50\Omega$  максималног мерног напона  $\pm 5V$ . У оквиру дисертације извршена је анализа грешке мерења ове методе и дискутовани су мерни опсези методе. Предложеном методом је осим снаге губитака могуће измерити и хистерезисну петљу као и комплексну пермеабилност. Помоћу ове методе је извршена карактеризација феритног материјала за чије добијање су примењени додатни технолошки процеси и утврђен је утицај технолошких процеса обраде феритних материјала на електричне и магнетске карактеристике. Оригинални резултати из области коју обухвата ова дисертација објављени су у врхунском међународном научном часопису са импакт фактором и саопштени на међународним и домаћим скуповима, чиме се потврђује да ова докторска дисертација представља оригиналан допринос науци.

<i>Након анализе докторске дисертације кандидата <b>мр Миодрага Милутинова</b>, Комисија је закључила да дисертација садржи све елементе оригиналног научног рада.</i>	
4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања.	<i>У дисертацији нису уочени значајни недостаци који би утицали на резултат истраживања.</i>
<b>X ПРЕДЛОГ:</b>	
На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:	
Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију под насловом „Моделовање, симулација и мерење снаге губитака у феритним језгрима у фреквенцијском опсегу до 1GHz“ и предлаже да се Извештај о оцени докторске дисертације <b>прихвати</b> , а кандидату <b>одобри</b> јавна одбрана.	

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ  
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

\_\_\_\_\_  
др Неда Пекарић-Нађ, редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад,  
Председник комисије

\_\_\_\_\_  
др Марија Весна Николић, научни саветник,  
Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд,  
члан

\_\_\_\_\_  
др Обрад Алексић, научни саветник  
Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд,  
члан

\_\_\_\_\_  
др Анамарија Јухас, ванредни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад,  
члан

\_\_\_\_\_  
др Љиљана Живанов, редовни професор,  
Факултет техничких наука, Нови Сад,  
ментор

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не жели да потпише извештај.