

**Прототип:**

Карактеризација и анализа рада једноставних планарних магнетних компоненти

**Руководилац пројекта:** проф. др Владимир Срдих

**Одговорно лице:** др Снежана Ђурић

**Аутори:** Снежана Ђурић, Горан Стојановић, Мирјана Дамњановић, Eric Laboure

**Развијено:** у оквиру пројекта интегралних и интердисциплинарних истраживања ИИИ-45021

**Година:** 2013

**Примена:** 01.07.2013

**Кратак опис**

Реализовани су прототипови једноставних планарних трансформатора израђених у технологији штампаних плоча. Пројектоване су и фабриковане три различите трансформаторске структуре са примарним и секундарним намотајима типа меандар. Урађена је експериментална анализа за све три конфигурације трансформатора. Самоиндуктивност намотаја и коефицијент спреге су испитани за све три структуре, без феритног језгра и са феритним језгром. Коришћена су два различита комерцијално доступна феритна језгра Ferroxcube 3С90 и 3Ф3. Карактеристике трансформатора су испитиване у опсегу фреквенција у којем феритна језгра исправно раде (0.2 – 0.5 MHz за 3Ф3 језгро и до 0.2 MHz за 3С90 језгро). Резултати су показали да је самоиндуктивност намотаја приближно 145 nH за прву структуру и приближно 1250 nH за другу и трећу структуру. Коефицијент спреге је приближно 0.14 за прву структуру и приближно 0.9 за другу и трећу структуру.

**Техничке карактеристике:**

Феритна Е језгра су димензија Е32/6/20 3С90 и Е38/8/25 3Ф3. Узимајући у обзир димензије језгара и њихову високу релативну пермеабилност ( $2300 \pm 20\%$  на собној температури за 3С90 и  $2000 \pm 20\%$  на собној температури за 3Ф3), геометријски параметри примарних и секундарних намотаја типа меандар су пројектовани тако да језгро буде у линеарном режиму. С тим у вези, број завојака у меандру је 7 за прву структуру и 6 пуних завојака и пола за другу и трећу структуру када је коришћено 3С90 језгро. Број завојака у меандру намотаја је 9 за прву структуру, а за другу и трећу структуру 9 пуних завојака и пола када је коришћено 3Ф3 језгро. Дебљина бакра у примарним и секундарним намотајима је 0.1 mm.

**Техничке могућности:**

Друга и трећа трансформаторска структура имају изузетно висок коефицијент спреге, приближно 0.9, у фреквенцијским опсезима од интереса (0.2 – 0.5 MHz за 3Ф3 и до 0.2 MHz за 3С90). Прва структура има врло низак коефицијент спреге јер примарни и секундарни намотаји не деле главну путању флукса.

**Реализатори:**

Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департман за енергетику, електронику и телекомуникације, Катедра за електронику.

**Корисници:**

Ирител а.д. Београд, Vlatacom d.o.o. Београд

**Подтип решења:**

Прототип– М85

## Стање у свету

Захтеви за великом густином енергије, високом радном фреквенцијом и магнетном компонентом ниског профила довели су до бројних ограничења у коришћењу магнетних компоненти са конвенционалним намотајима. Последњих година, планарне магнетне компоненте су постале изузетно популарне у високо енергетским претварачима због јединствене предности коју имају када је у питању низак профил компоненте, одличне топлотне карактеристике, изузетно добра поновљивост, модуларност, једноставна фабрикација и интеграција намотаја са штампаном плочом (printed circuit board-PCB). Компактна и високоефикасна конверзија снаге је критична када је у питању минијатуризација компјутера, телекомуникационих, индустријских и војних система. Планарна магнетика по својој природи има знатно нижи профил од компонената са конвенционалним намотајима што доприноси минијатуризацији. Планарна магнетна технологија може бити примењена у индустријским производима од микро система до киловат система.

Предности планарних магнетних компоненти у односу на компоненте са конвенционалним намотајима су: низак профил (уобичајено је висина планарних магнетних компоненти 25% до 50% мања од компоненти са конвенционалним намотајима), добре топлотне карактеристике и велика густина енергије (планарна магнетна језгра имају већи однос површина-обим у односу на конвенционалне компоненте и због тога су више ефективне у провођењу топлоте и имају ниску топлотну осетљивост у поређењу са конвенционалним компонентама), једноставна фабрикација и ниска цена (с обзиром да планарне магнетне компоненте не захтевају ручно или компликовано аутоматско мотање намотаја, технологија штампаних плоча ја лако прилагођена за масовну производњу), изузетна поновљивост (процес конструкције планарне магнетне компоненте има свега неколико корака што омогућава фабрикацију високе поновљивости и високе тачности), модуларност (с обзиром да се PCB намотаји користе у планарним магнетним уређајима, полупроводничке и остале пасивне компоненте могу бити постављене на PCB површине и због тога нису потребне додатне везе). Ограничења планарне магнетике су: велика површина коју заузимају због равних језгара, низак фактор испуњености бакром, ограничен број завојака у намотајима, висока капацитивност између намотаја.

Флексибилна PCB може да поправи фактор испуњености бакром у планарној магнетици због танког полимер супстрата. Такође, флексибилна PCB омогућава коришћење технике “z-савијања” како би се имплементирао велики број слојева без потребе за вијама или лемљењем веза између слојева. Флексибилна PCB знатно смањује цену производње. Тренутно се PCB и флексибилна PCB технологија намотаја увелико користе у минијатуризацији енергетских претварача.

## Карактеризација и анализа рада једноставних планарних магнетних компоненти

### Пројектовање PCB трансформатора са намотајима типа меандар

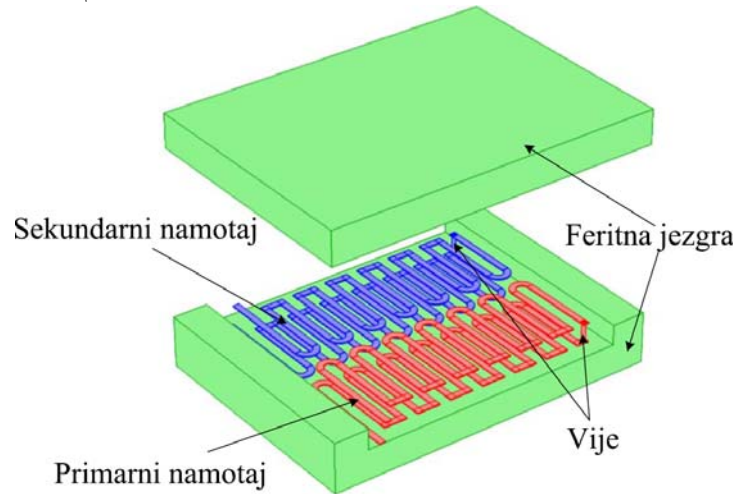
Намотаји типа меандар су штампани са обе стране PCB-а. У зависности од распореда намотаја, три различите структуре су анализиране, као што је приказано на сликама 1, 2 и 3. Због јасноће приказа намотаја, PCB је изостављена на сликама 1, 2 и 3. Трансформатори су анализирани са два различита комерцијално доступна E-језгра, Ferroxcube E32/6/20 3C90 и E38/8/25 3F3. Језгра су накнадно обрађена тако да оклопе намотаје као што је приказано на слици 1.

Структура 1 – меандар намотаја на горњој страни PCB-а је повезан вијом са меандром намотаја на доњој страни плоче, формирајући на тај начин примарни намотај (црвена боја) и секундарни намотај (плава боја), као што је приказано на слици 1. PCB намотаји су оклопљени феритним језгрима (зелена боја).

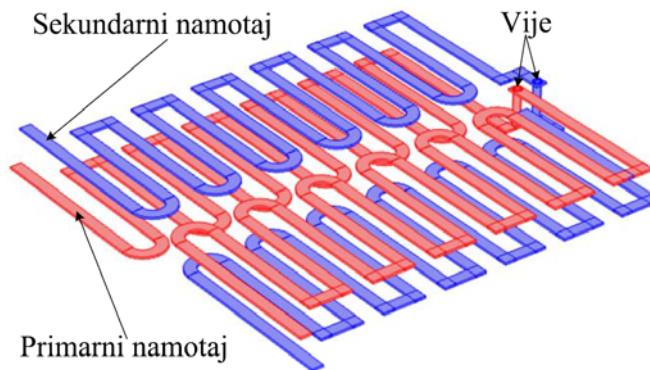
Структура 2 – половина примарног намотаја на горњој страни плоче је вијом повезана са другом половином намотоја дијагонално постављеној на доњој страни плоче, црвена боја на слици 2. Секундарни намотај је представљен плавом бојом.

Структура 3 – Примарни намотај (црвена линија) је на једној страни плоче, док је секундарни намотај (плава линија) на супротној страни плоче, као што је приказано на слици 3.

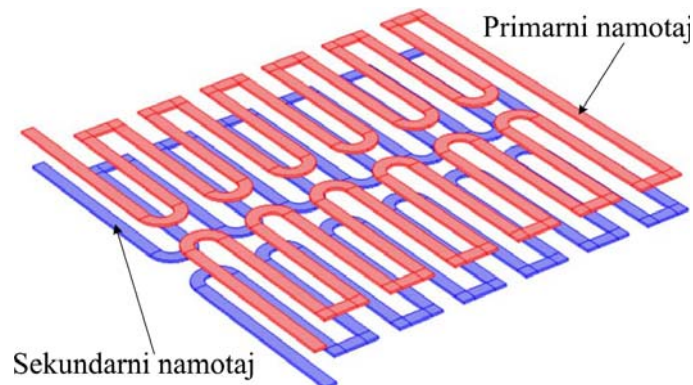
У све три структуре, намотаји на једној страни плоче су померени у односу на намотаја на супротној страни плоче за ширину бакарне линије. Геометријски параметри намотаја за оба језгра су приказани на слици 4.



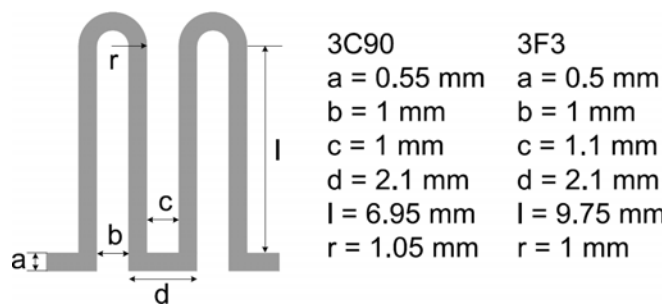
Слика 1. РСВ трансформатор – Структура 1



Слика 2. РСВ трансформатор – Структура 2



Слика 3. РСВ трансформатор – Структура 3



Слика 4. Геометријски параметри примарних и секундарних намотаја предложених трансформаторских намотаја

### Експериментална процедура

Трансформатори су тестирани када су намотаји били без језгра и са језгром. Електрични параметри трансформаторских прототипова су мерени помоћу Impedance Analyzer HP4194А у фреквенцијском опсегу од 100 Hz до 40 MHz, као што је приказано на слици 5. Представљени су резултати само у фреквенцијском опсегу од интереса. Анализиране су фреквенцијске карактеристике електричних параметара у опсегу од 10 kHz до 500 kHz за 3C90 језгро и од 10 kHz до 1 MHz за 3F3 језгро. Изнад ових фреквенција феритна језгра су нестабилна и трансформатори показују лоше карактеристике. Мерени су електрични параметри примарног намотаја, секундарног намотаја и намотаја када су примар и секундар везани на ред.

Фреквенцијска карактеристика коефицијента спреге је рачуната на основу формуле 1

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_p L_s}} \quad (1)$$

где су  $L_p$  и  $L_s$  самоиндуктивности примара и секундара. Међусобна индуктивност  $M$  је изведена из формуле 2

$$L_{sc} = L_p + L_s + 2M \quad (2)$$

где је  $L_{sc}$  самоиндуктивност намотаја када су примарни и секундарни намотаји везани на ред.



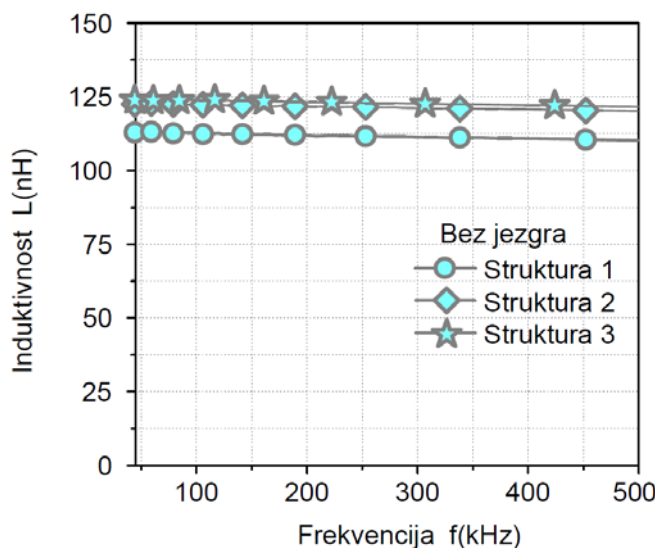
Слика 5. Мерење електричних параметара трансформатора помоћу Impedance Analyzer HP4194А.

## Анализа рада прототипова трансформатора

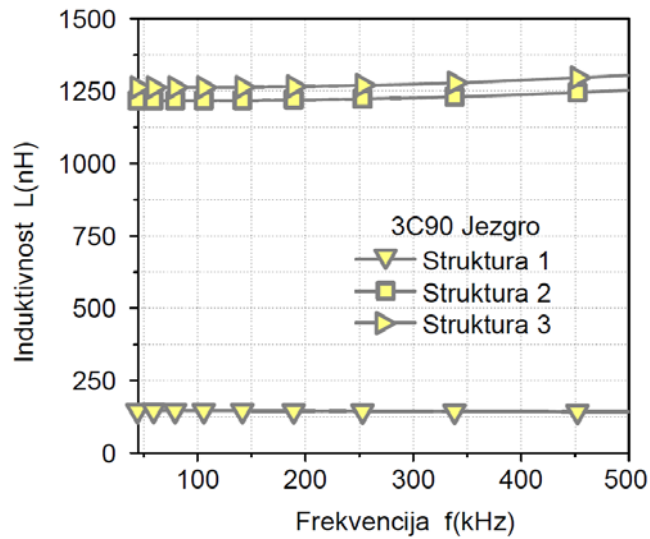
Фреквенцијске карактеристике индуктивности примарних намотаја за све три структуре без језгра се представљене на слици 6. Због симетрије намотаја у све три структуре приближни резултати су добијени и за секундарне намотаје. Фреквенцијска зависност индуктивности примарног намотаја је приближно константна до 0.5 MHz када језгро није присутно. Индуктивност за структуру 1 је приближно 112 nH, односно приближно 125 nH за структуре 2 и 3. Када је 3C90 језгро присутно индуктивност је знатно повећана, што се може видети на слици 7, такође, индуктивност је и даље константна у фреквенцијском опсегу од интереса. Код структуре 1, индуктивност је незнатно повећана (30%) у односу на случај када језгро није присутно и износи 145 nH. Индуктивност структура 2 и 3 је знатно повећана у односу на случај када језгро није присутно и износи 1200 nH односно 1260 nH.

Фреквенцијске карактеристике коефицијента спреге су представљене на слици 7, без језгра и са језгром. Када језгро није присутно коефицијент спреге је изузетно мали 0.04 за структуру 1, 0.18 за структуру 2 и 0.22 за структуру 3. Када је присутно језгро 3C90, коефицијент спреге трансформаторске структуре 1 је и даље низак 0.14, док је за структуре 2 и 3 приближно 0.9. Резултати су показали да је са намотајима типа меандар пројектованих као у структурама 2 и 3 могуће постићи релативно високу индуктивност и висок коефицијент спреге. Слични резултати су добијени и када су трансформатори тестирани са 3F3 језгром. Коефицијент спреге за структуре 2 и 3 је 0.75 и 0.8, док је коефицијент спреге за структуру 1 само 0.1, у фреквенцијском опсегу од интереса.

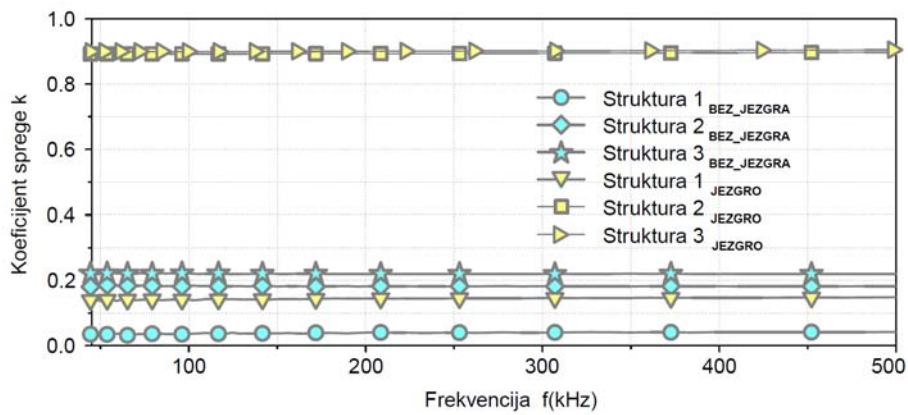
У структури 1, флуks спреге примарни и секундарни намотај само кроз мале површине у полукружним деловима завојака меандра, као што је приказано на слици 9а. Због тога је спрега изузетно слаба у структури 1. У структурама 2 и 3, флуks пролази кроз сваки завојак меандра у секундарном намотају, као што се може видети на слици 9б. Намотаји на различитим странама плоче су померени једни у односу на друге за ширину линије бабра и због тога линије флуksа већег интензитета пролазе кроз секундарне намотаје што додатно повећава спрегу у структурама 2 и 3.



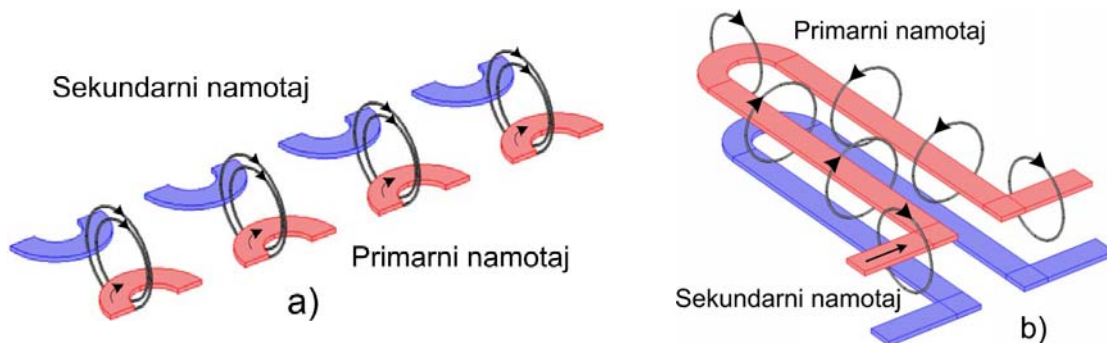
Слика 6. Мерене фреквенцијске карактеристике индуктивности примарног намотаја  $L$  за структуре 1, 2 и 3 када није присутно језгро.



Слика 7. Мерене фреквенцијске карактеристике индуктивности примарног намотаја  $L$  за структуре 1, 2 и 3 када је присутно језгро 3C90.



Слика 8. Мерене фреквенцијске карактеристике коефицијента спреге  $k$  за структура 1, 2 и 3, без језгра и са 3C90 језгром.



Слика 9. Приказ спреге између примарних и секундарних намотаја а) структура 1 и б) структура 2 и 3



## Примена

Анализирани планарни трансформатори израђени у технологији штампаних плоча су развијани у циљу примене у DC/DC конверторима.

Карактеризација и анализа рада једноставних планарних магнетних компоненти је извршена на Факултету техничких наука у Новом Саду, у оквиру пројекта ИИИ45021.

*Штампано – јануар 2014.*