

Прототип:

Прототип подешљивог феритног индуктора коришћењем једносмерне струје

Руководилац пројекта: проф. др Љиљана Живанов

Одговорно лице: Чедо Жлебич

Аутори: Чедо Жлебич, Нелу Блаж, Миодраг Милутинов, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић

Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја ТР-32016 и ИИИ-45021

Година: 2017.

Примена: децембар 2017.

Кратак опис

Представљен је прототип подешљивог феритног индуктора применом једносмерне струје. Индуктор се састоји од феритног језра на који је, поред индуктивног намотаја, додат и контролни намотај. Променом интензитета струје кроз контролни намотај, мењају се електричне и магнетске карактеристике индуктора и на тај начин се формира подешљиви индуктор. Индуктор са широким опсегом подешавања сопствене индуктивности, омогућава реализацију и употребу нових реконфигурабилних кола која се користе за прилагодне широкопојасне комуникационе системе и прилагодна индуктивна кола за напајања.

Техничке карактеристике:

Реализовани прототип индуктора формиран је од феритног језгра у облику торуса произвођача Fair-Rite, произведеног од материјала ознаке 52 релативне пермеабилности 250, са 18 индуктивних намотаја и 10 контролних намотаја кроз које је пропуштана једносмерна струја до 2 А. Опсег подешавања индуктивности је 31 μH - 41 μH . Димензије коришћеног NiZn феритног језгра су: спољашњи пречник = 12.6 mm, унутрашњи пречник = 6.99 mm и висина = 4.9 mm. Пречник жице износи 0.32 mm.

Техничке могућности:

Реализованим прототипом подешљивог индуктора могуће је веома брзо и ефикасно подесити потребни опсег индуктивности. На тај начин, инжењери имају могућност подешавања жељене вредности индуктивности при чему не морају користити комерцијалне индукторе са индуктивностима приближних вредности.

Реализатори:

Факултет техничких наука, Нови Сад

Корисници:

Факултет техничких наука, Нови Сад

Подтип решења:

M85 - Прототип.

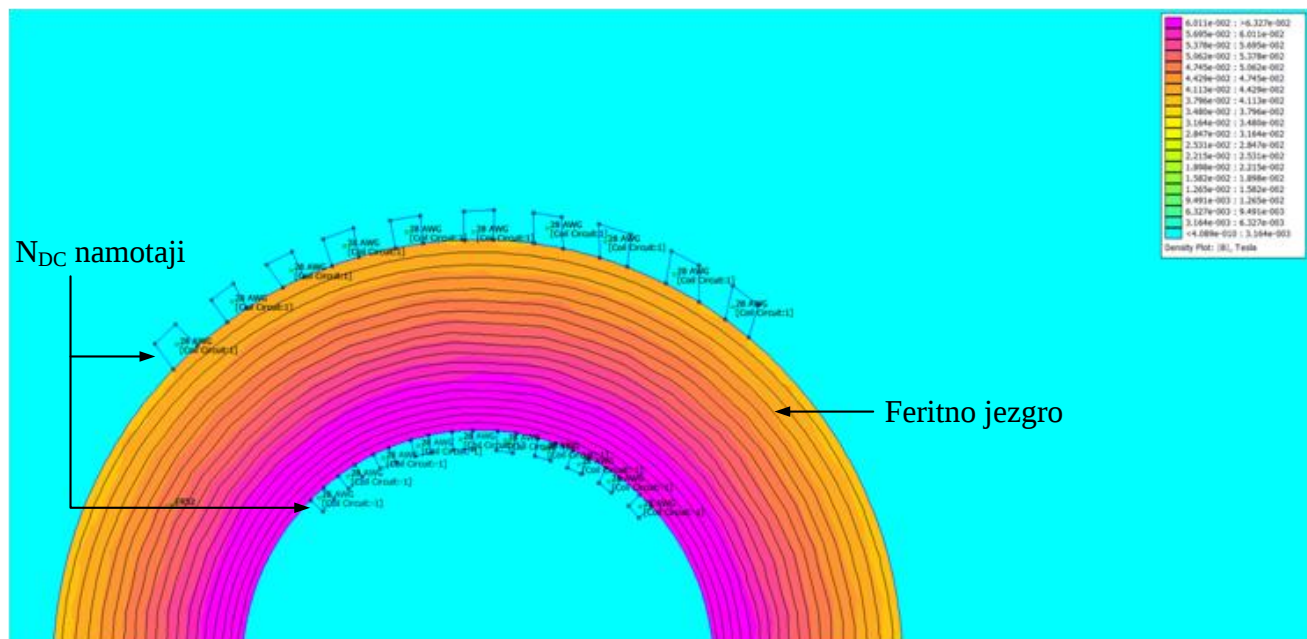
Увод

Индуктори имају примену у различитим енергетским и бежичним колима, као што су *dc-dc* конвертори, филтри напонских хармоника, напоном-контролисани осцилатори, филтри, кола за прилагођавање импедансе у бежичним апликацијама, *RFID* (енг. *Radio Frequency Identification*) системима, итд. Перформансе ових кола зависе од карактеристика индуктора и применом подешљивог индуктора могуће је оптимизовати перформансе радио-фреквентних кола

подешавајући фреквенцију филтера пропусника учестаности, мењати импедансу извора прилагођавајући је импеданси потрошача, мењати фреквенцију осциловања напонам контролисаног осцилатора, смањивати таласност излазног напона и струје индуктора у *dc-dc* конверторима.

Дизајн прототипа подешљивог индуктора

Подешљиви индуктор се састоји од феритног NiZn језгра у облику торуса (произвођача Fair-Rite, материјала 52, пермеабилности 250, са димензијама: спољашњи пречник = 12.6 mm, унутрашњи пречник = 6.99 mm и висина = 4.9 mm) [1], са $N_L = 18$ индуктивних намотаја и $N_{DC} = 10$ контролних намотаја. Као облик језгра, изабран је торус, јер је расипни флукс код торусних језгара веома мали и износи око 1 % [2]. На **слици 1** је приказана расподела магнетског поља унутар феритног језгра при вредности једносмерне струје 0.5 А применом *FEMM* симулатора, тј. нумеричком методом коначних елемената (*FEMM*, енг. *Finite Element Method Magnetics*) [3]. Анализе у овом софтверу се врше на основу карактеристика феритног језгра и намотаја, као и њихових геометријских параметара.



Слика 1. Расподела магнетског поља унутар феритног језгра подешљивог индуктора.

[1] Available at: <http://www.fair-rite.com/product/toroids-5952020401>

[2] C. A. Baguley, B. Carsten, U. K. Madawala, „The Effect of DC Bias Conditions on Ferrite Core Losses,“ *IEEE Trans. Magn.*, vol. 44, No. 2, Feb. 2008.

[3] Available at: <http://www.femm.info>

Феритни материјал који се користи у подешљивим индукторима треба да има велику иницијалну пермеабилност, чиме се омогућава постизање већих вредности индуктивности и мале магнетске губитке у високо фреквенцијским опсезима. Велика специфична отпорност феритних материјала обезбеђује високу вредност фактора добротe индуктивних компоненти. Иницијална индуктивност подешљивог индуктора, без протицања струје кроз намотаје, рачуна се као:

$$L = \frac{\mu_r \mu_0 A_e N^2}{l_e}, \quad (1)$$

где је μ_r - релативна пермеабилност феритног језгра, μ_0 - пермеабилност вакуума, A_e - ефективна површина попречног пресека језгра, N - број завојака, l_e - ефективна дужина језгра.

Реализовани индуктор је струјно-контролисан уређај и променом интензитета једносмерне струје кроз контролне намотаје у опсегу од 0 А до 2 А, врши се промена индуктивности од 41 μH (за $I_{DC} = 0$ А) до 31 μH (за $I_{DC} = 2$ А).

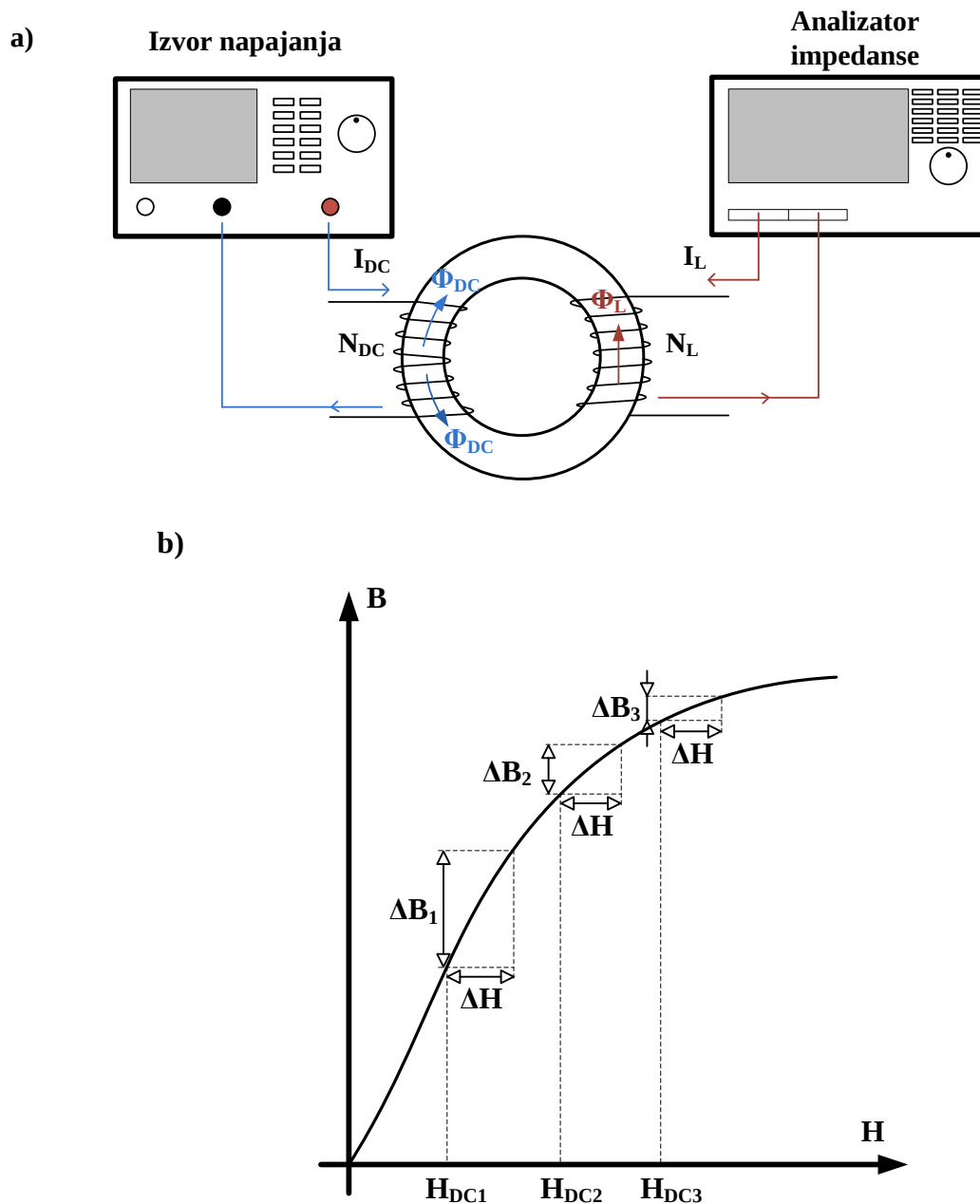
Мерна поставка мерења

На **слици 2. а** је приказана мерна поставка мерења. Састоји се од једносмерног извора напајања (0-32 V, 0-3.2 А) и анализатора импедансе HP4194А. Протицањем једносмерне струје кроз контролне намотаје долази до стварања магнетског флуksа Φ_{DC} (**слика 2. а**) Магнетски флуks Φ_L , који настаје протицањем наизменичне струје индуктора I_L из мерног инструмента, суперпонира се на магнетски флуks Φ_{DC} . Порастом једносмерне струје, пермеабилност феритног језгра, тј. нагиб криве магнетисања (B - H криве) опада, што доводи до опадања индуктивности (**слика 2. б**) [4]. На **слици 2. б** се јасно види да нагиб B - H криве опада са порастом јачине магнетског поља H_{DC} , које се рачуна као:

$$H_{DC} = \frac{N_{DC} \cdot I_{DC}}{l_e}, \quad (2)$$

где је N_{DC} – број намотаја, I_{DC} – јачина једносмерне струје, l_e – ефективна дужина језгра, при чему је $H_{DC3} > H_{DC2} > H_{DC1}$. Мењањем јачине струје I_{DC} , померамо радну тачку индуктора дуж криве магнетисања и на тај начин подешавамо жељену вредност индуктивности. Према подацима произвођача, максимална јачина магнетског поља је $H_{DC} = 800$ А/м. Индуктор је тестиран и за вредност магнетског поља од $H_{DC} = 862$ А/м (за $I_{DC} = 2.5$ А).

[4] Y. Hu, L. Huber, M. Jovanovic, "Single-Stage, Universal-Input AC/DC LED Driver With Current-Controlled Variable PFC Boost Inductor," *IEEE Trans. On Power Electronics*, Vol. 27, No. 3, pp. 1579-1588, 2012.



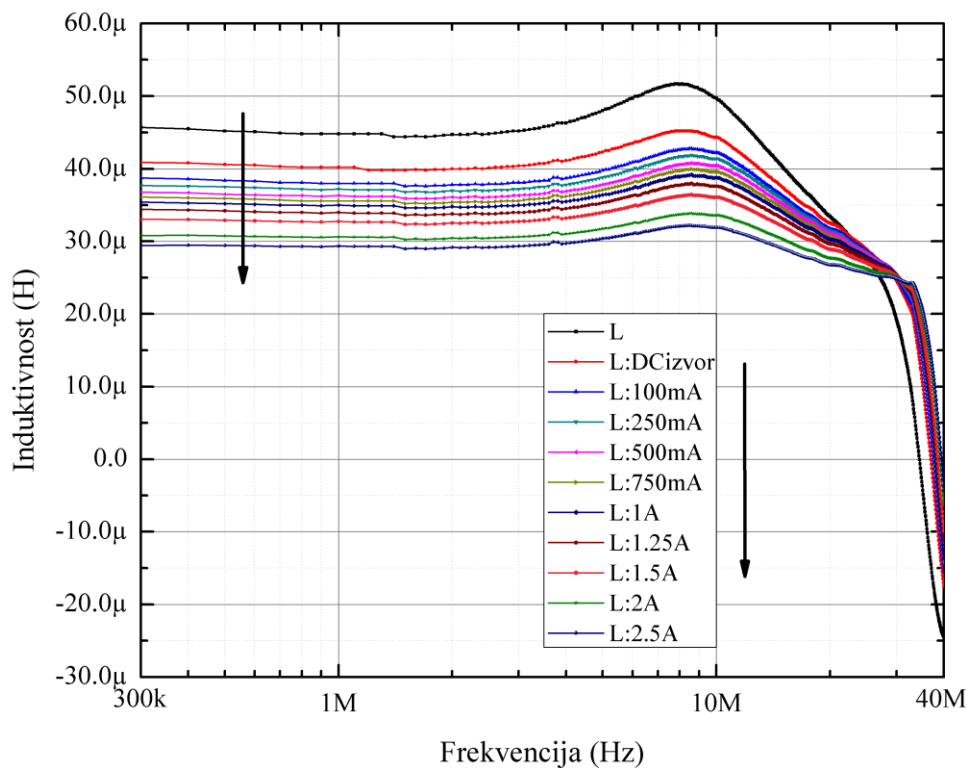
Слика 2. а) Мерна поставка мерења. б) Принцип промене пермеабилности са порастом H_{DC} .

Да би се поништио утицај флукса Φ_L на N_{DC} намотаје, ови намотаји се зато намотавају редно у супротним смеровима, као што се види на **слици 2. а**. Поред тога, извор напајања је потребно користити као извор константне струје [5]. Нелинеарна спрега између индуктивних и контролних намотаја ће постојати, чак иако су контролни намотаји симетрично намотани, због нелинеарности магнетских материјала.

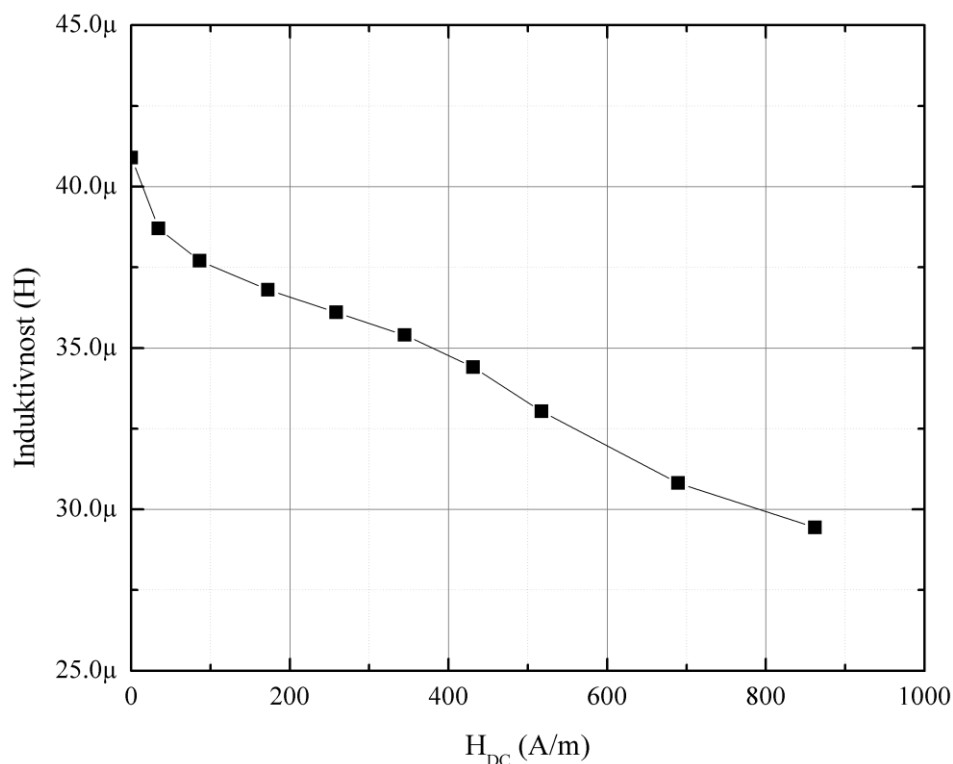
[5] M. Perdigão, J. Trovão, J. Alonso, E. Saraiva, "Large-Signal Characterization of Power Inductors in EV Bidirectional DC–DC Converters Focused on Core Size Optimization", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 62, No. 5, pp: 3042-51, 2015.

Резултати мерења подешљивог индуктора

На **слици 3** приказан је график промене индуктивности у функцији од фреквенције (300 kHz - 40 MHz) за вредности једносмерне струје (0 A - 2 A). На графику се види очекивано опадање вредности индуктивности са порастом једносмерне струје. Приказано је и мерење за $I_{DC} = 2.5 \text{ A}$ ($H_{DC} = 862 \text{ A/m}$). Када су N_{DC} намотаји прикључени на извор напајања, измерена вредност индуктивности (на графику означено као L:DCizvor) је за $\sim 10 \%$ нижа у односу на измерену вредност (на графику означено као L) када N_{DC} намотаји нису прикључени на извор напајања. Вероватни узрок ове промене индуктивности је то што излазна импеданса коришћеног извора напајања није довољно велика, па долази до спреге са N_{DC} намотајима. Међутим, овај пад индуктивности је доста нижи у односу на пад индуктивности када извор напајања користимо као извор константног напона. Опсег подешавања индуктивности на 300 kHz, $\Delta L/L$ износи око 25 %.



Слика 3. Промена индуктивности подешљивог индуктора у функцији од фреквенције за опсег једносмерне струје (0 A - 2 A).

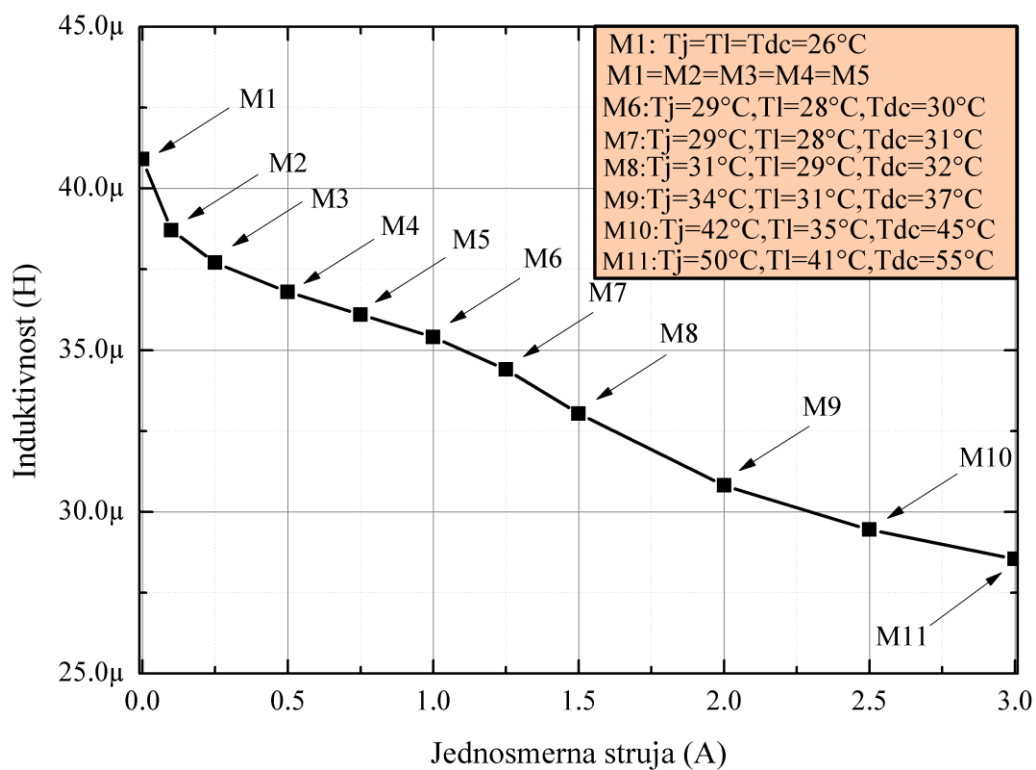


Слика 4. Промена индуктивности подешљивог индуктора у функцији од H_{DC} на $f = 300$ kHz.

На **слици 4** је приказан график промене индуктивности у функцији од H_{DC} на фреквенцији од 300 kHz (индуктивност је константна до ~ 3 MHz).

Порастом једносмерне струје кроз N_{DC} намотаје, долази до загревања намотаја и феритног језгра. Пермеабилност је фреквенцијски и температурно зависна, па индуктор мења своје особине за различите радне температурне и фреквенције [6]. На **слици 5** приказана је промена индуктивности и температуре језгра (T_j), индуктивних намотаја (T_l) и контролних намотаја (T_{dc}) услед пораста једносмерне струје на фреквенцији $f = 300$ kHz. „М“ тачке означавају измерене температуре за појединачне вредности струја. Измерене температуре су константне и износе 26°C (собна температура) за вредности струје од 0 А до 0.75 А. Даљим повећавањем струје, највише се загревају контролни N_{DC} намотаји и феритно језгро, док се индуктивни намотаји загревају више као последица загревања контролних намотаја и језгра. За вредност струје од 3 А ($H_{DC} = 1035$ A/m), температура језгра износи $T_j = 50^\circ\text{C}$, температура индуктивних намотаја $T_l = 41^\circ\text{C}$ и температура контролних намотаја $T_{dc} = 55^\circ\text{C}$.

[6] G. Stojanovic, M. Damnjanovic, Lj. Zivanov: "Temperature dependence of electrical parameters of SMD ferrite components for EMI suppression", Microel. Reliability, Vol. 48, No. 7, pp. 1027-1032, 2008.



Слика 5. Промена индуктивности и температуре језгра (T_j), индуктивних намотаја (T_l) и контролних намотаја (T_{dc}) подешљивог индуктора услед пораста једносмерне струје на фреквенцији $f = 300 \text{ kHz}$.

Пројектовање и мерење прототипа подешљивог феритног индуктора извршено је на Факултету техничких наука у Новом Саду, у оквиру текућих пројеката бр. ТР-32016 и ИИИ-45021 код Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

Штампано –2017.



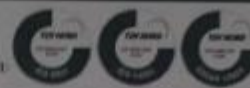
УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централна: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентско служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: fnt@un.ns.ac.rs

ИНТЕРНАЦИОНАЛНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: _____

Ваш број: _____

Датум: 2017-12-14

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 48. редовној седници одржаној дана 13.12.2017. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

**Тачка 20.1.1. Верификација нових техничких решења
и именовање рецензента**

Тачка 20.1.2.: У циљу верификације новог техничког решења усвајају се рецензенти:

1. Др Обрад Алексић, научни саветник, ИМСИ Београд
2. Др Здравко Станимировић, научни сарадник, ИРИТЕЛ Београд

Назив техничког решења:

**“ПРОТОТИП ПОДЕШЉИВОГ ФЕРИТНОГ ИНДУКТОРА КОРИШЋЕЊЕМ
ЈЕДНОСМЕРНЕ СТРУЈЕ”**

Аутори техничког решења: Чедо Жлебич, Нелу Блаж, Миодраг Милутинов, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник



Декан

Проф. др Раде Дорословачки

РЕЦЕНЗИЈА ПРЕДЛОЖЕНОГ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Предмет: Мишљење о испуњености критеријума за писање техничког решења

Прототип:

Прототип подешљивог феритног индуктора коришћењем једносмерне струје

Број пројекта: ТР-32016

Руководилац пројекта: проф. др Љиљана Живанов

Одговорно лице: Чедо Жлебич

Аутори: Чедо Жлебич, Нелу Блаж, Миодраг Милутинов, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић – Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја ТР-32016 и ИИИ-45021

Година: 2017

Примена: децембар 2017

Реализатори: Факултет техничких наука, Нови Сад

Корисници: Факултет техничких наука, Нови Сад

Подтип решења: Прототип – М85

Мишљење рецензента

У данашње време када је регулисање енергетске ефикасности све више захтевно, неопходно је истражити нове ефикасне начине регулисања енергетских система. Подешљиви индуктори се користе у разним областима које је могуће поделити у три категорије; високо-напонски уређаји, средње-напонски уређаји и телекомуникациони системи.

Реализовани прототип подешљивог индуктора приказан у овом техничком решењу може пронаћи примену у средње-напонским системима, као што је контролисање излазне струје високо-фреквентних резонантних кола, у електронским баластима, колима за контролу LED расвете, dc-dc конверторима, итд. Такође, реализовани прототип индуктора може наћи примену и у телекомуникационим системима, као што су кола за подешавање импедансе у широко-појасним високо-фреквентним колима, у L-C филтерима, итд.

Прототип подешљивог индуктора се састоји од феритног језгра у облику торуса, индуктивног намотаја и додатног контролног намотаја кроз које је пропуштана једносмерна струја. На тај начин се подешавала жељена индуктивност тако што се радна тачка индуктора померала дуж криве магнетисања. Коришћено је феритно језгро произвођача Fair-Rite (ознака материјала 52, пермеабилности 250), са 18 индуктивних намотаја и 10 контролних намотаја. Променом интензитета једносмерне струје из струјно контролисаног извора у опсегу $0 \div 2$ А, реализован је опег подешавања индуктивности од 41 μH (за $I_{DC} = 0$ А) до 31 μH (за $I_{DC} = 2$ А). Температура језгра и намотаја се мењају са променом интензитета једносмерне струје.) За вредности струје од 0 А до 0.75 А, измерене температуре језгра и намотаја су константне и износе 26 °С, колико износи и собна температура. Даљим повећавањем интензитета струје, расту и температуре намотаја и феритног језгра. За вредност струје од 3 А, измерена је температура језгра од 50 °С, температура индуктивних намотаја је износила 41 °С, а температура контролних намотаја 55 °С.

Прототип подешљивог феритног индуктора коришћењем једносмерне струје развијен
јена Факултет техничких наука Новом Саду у оквиру текућег пројекта бр. ТР-
32016 код Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

У Београду,
21.12.2017.

Рецензент:



Др Обрад Алексић

Институт за
мултидисциплинарна
истраживања, Београд

РЕЦЕНЗИЈА ПРЕДЛОЖЕНОГ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Предмет: Мишљење о испуњености критеријума за писање техничког решења

Прототип:

Прототип подешљивог феритног индуктора коришћењем једносмерне струје

Број пројекта: ТР-32016

Руководилац пројекта: проф. др Љиљана Живанов

Одговорно лице: Чедо Жлебич

Аутори: Чедо Жлебич, Нелу Блаж, Миодраг Милутинов, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић – Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја ТР-32016 и ИИИ-45021

Година: 2017

Примена: децембар 2017

Реализатори: Факултет техничких наука, Нови Сад

Корисници: Факултет техничких наука, Нови Сад

Подтип решења: Прототип – М85

Мишљење рецензента

У овом техничком решењу, представљен је прототип феритног индуктора са подешљивом индуктивношћу применом једносмерне струје. Индуктор се састоји од феритног торусног језгра пермеабилности 250 (произвођач Fair-Rite) око којег је намотано 18 индуктивних завојака и 10 контролних завојака. Кроз контролне завојке је пропуштана једносмерна струја и са променом интезитета струје, тј. јачине магнетског поља, подешавала се жељена вредност индуктивности. За реализовани опсег промене индуктивности 31 μH - 41 μH , опсег промене магнетског поља је износио од 0 А/м (вредност индуктивности 41 μH) до 862 А/м (вредност индуктивности 31 μH).

Приликом дизајнирања индуктора, потребно је водити рачуна да главни флуks који настаје протицањем наизменичне струје анализатора импедансе кроз индуктивне намотаје не утиче на контролне намотаје. Због тога, неопходно је DC извор напајања користити као извор константне струје, јер је то ефикаснији и једноставнији начин него у DC контролном колу користити високу импедансу.

Порастом интензитета једносмерне струје кроз намотаје индуктора несумњиво ће довести до загревања самих намотаја, као и феритног језгра. Због тога, испитана је промена температура језгра, индуктивних и контролних намотаја. За дату конфигурацију индуктора и геометријских параметара језгра и намотаја, температура језгра и намотаја се не мења у односу на собну температуру за вредности струје 0 - 750 mA. Даљим повећањем струје, температуре намотаја и језгра расту и за максималну вредност струје од 3 A која је пропуштена кроз контролне намотаје, температура језгра је износила 50 °C, температура индуктивних намотаја је износила 41 °C док је температура контролних намотаја била 55 °C.

Прототип подешљивог феритног индуктора коришћењем једносмерне струје развијен је на Факултету техничких наука у Новом Саду у оквиру текућег пројекта бр. TP-32016 код Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

У Београду,

Рецензент:

22.12.2017.

Здравко Станимировић

Др Здравко Станимировић, научни сарадник,
Институт за електронику и телекомуникације
ИРИТЕЛ а.д. Београд



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централа: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndeap@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНЕДЖМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број: _____

Датум: 2018-01-10

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 49. редовној седници одржаној дана 27.12.2017. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

ТАЧКА 13.1. Верификација нових техничких решења и именовање рецензената

Тачка 13.1.3.: На основу позитивног извештаја рецензената верификује се техничко решење (М85) под називом:

“ПРОТОТИП ПОДЕШЉИВОГ ФЕРИТНОГ ИНДУКТОРА КОРИШЋЕЊЕМ ЈЕДНОСМЕРНЕ СТРУЈЕ”

Аутори техничког решења: Чедо Жлебич, Нелу Блаж, Миодраг Милутинов, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:

30 Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Декан

Проф. др Раде Дорословачки

