

Прототип:**Спирални индуктор произведен у 3Д адитивној технологији****Руководилац пројекта:** проф. др Љиљана Живанов**Одговорно лице:** др Александар Менићанин**Аутори:** Александар Менићанин

Институт за мултидисциплинарна истраживања (ИМСИ), Београд

Љиљана Живанов, Нелу Блаж, Дејан Моврин

Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја ТР-32016 и пројекта ИИИ-45007**Година:** 2016-2017.**Примена:** новембар 2017.**Кратак опис**

Пасивне електронске компоненте имају значајну улогу у пројектовању електронских уређаја. Ово техничко решење – прототип представља спирални индуктор који је израђен од полимера ПЛА (Polylactid acid) адитивном технологијом депоновања истопљеног филамента (*Fused Deposition Modeling*). Развојем адитивних технологија, како у свету тако и код нас, појавиле су се потребе и за пасивним компонентама добијеним у истој технологији. Представљен је комплетан поступак израде пропотира спиралног индуктора, почевши од пројектовања па до саме производње и карактеризације.

Техничке карактеристике:

Спирални индуктор је направљен у два корака: израда модула од ПЛА FDM адитивном технологијом и стављање сребрних проводних путева у процепе на модулу у једном слоју. Спирални индуктор је направљен са проводном епоксид сребрном пастом која је утиснута у канале и има 4 завојка. Дубина и ширина завојка износиле су 1 mm. Спољашњи пречник спиралног индуктора износио је 24 mm).

Техничке могућности:

Спирални индуктор има радну учестаност, до 120 MHz, а пројектован је у једном слоју са ефективном вредношћу индуктивности око 415 nH. Максимум Q фактора је 12. Резултати прототира показују добре карактеристике спиралног индуктора израђеном адитивном технологијом и представља иновативни приступ за производњу јефтених пасивних компоненти, као што су индуктори.

Реализатори:

Институт за мултидисциплинарна истраживања – ИМСИ, Факултет техничких наука – ФТН

Корисници:

Институт за мултидисциплинарна истраживања – ИМСИ, Факултет техничких наука – ФТН, ИРИТЕЛ А.Д., Београд

Подтип решења:

Лабораторијски прототип (M85)

Увод - Стање у свету

Аддитивна производња је процес познат као „3Д штампа“. Аддитивном производњом може да се произведе производ за веома кратак временски период и комбинацијом различитих материјала[1,2].

Истраживања спроведена у области адитивних технологија базирају се како на брзу израду прототипова (rapid prototyping) тако и на израду готових производа у различитим областима индустрије и за различите апликације.

Физички феномен повезан са адитивном производњом је сложен, укључује топљење/стврдњавање и испаравање, грејање и пренос масе. У истраживањима [3] је приказан пут за адитивну производњу који је на располагању и представљене су адитивне производне методе засноване на њиховим производним механизмима, описима моделовања и идентификују празнине у овом истраживању. Предности адитивних технологија у односу на конвенционалне производне процесиме су: смањење отпада, додатака, скраћење поступака израде, нема потребе за маскама и смањење времена израде.

Аддитивне технологије су коришћене и за израду јефтених компоненти као што су пасивни уређаји, сензори, РФИД, итд. У референци [4] су представљена својства и предности адитивних технологија за производњу флексибилне бежичне електронике.

У [5], аутори су предложили комбинацију 3Д штампања и металне пасте за проводнике како би реализовали индуктивно капацитивно резонантно коло.

3Д штампана електронике пружа широку лепезу могућности примене захваљујући предностима које нуди у односу на конвенционалну електронику (ниска цена израђених компоненти и једноставна производња). Ова технологија је нашла примену у многобројним апликацијама, од RFID-адо сензора. То доводи ову технологију до њене примене у различитим секторима као што су телекомуникације, индустрија амбалаже, аутомобилска индустрија, медицина, што с друге стране подстиче потражњу за тим електронским производима на тржишту. Постоје значајне могућности за раст пласмана електронике израђене адитивним технологијама код крајњих корисника на тржиштима као што су електроника у роби широке потрошње, војна индустрија, енергетика, здравство и логистика.

Ово техничко решење – прототип представља наше ново истраживање о спиралним индукторима произведеним FDM адитивном технологијом, и даје реалну чињеницу о пасивној компоненти израђене на тај начин. Наш процес израде прототипа нема отпада у материјалу за прављење канала као у реф. [5]. 3Д модел и добијени резултати су реална веза између производње пасивних компоненти и адитивне производње.

Процес дизајна и фабрикациони процес спиралног индуктора на ПЛА подлози и двокомпонентног проводног сребра од наночестичног мастила су такође приказани.

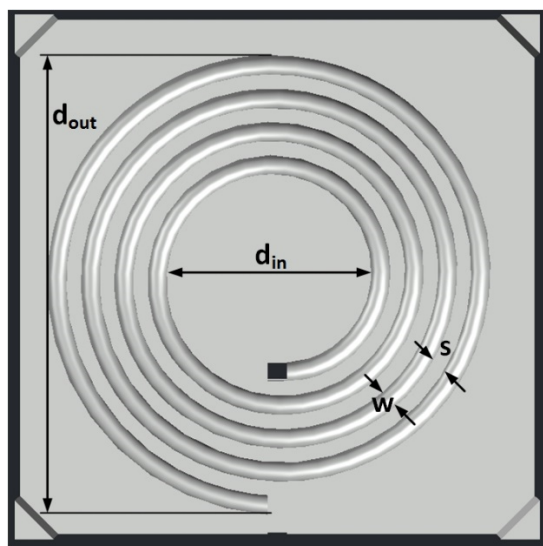
Карактеризација фабриковане структуре, индуктивност и фактор добротe као резултати мерења дати су у одељку 3. На крају техничког решења, представљени су дискусија добијених резултата и закључци.

Спирални индуктор добијен 3Д адитивном технологијом – пројектовање и фабрикација

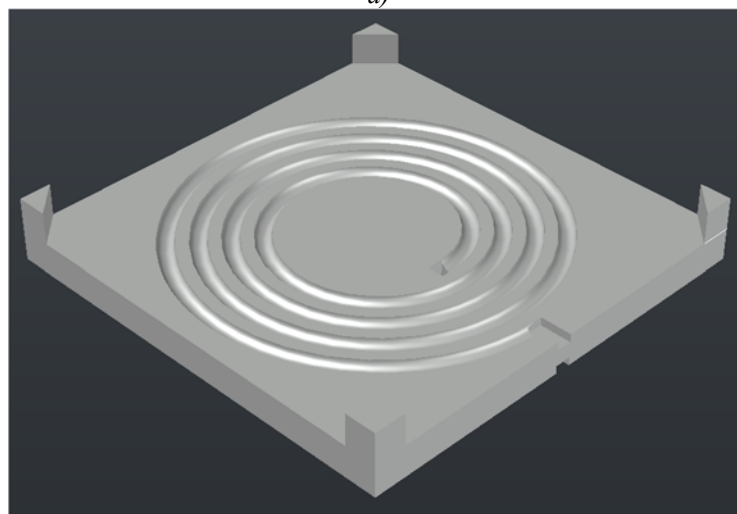
Пројектовани спирални индуктор се састоји од четири пуна завојка, са унутрашњим пречником 10 mm и спољашњим пречником 24 mm. Габаритне димензије компоненте су 27 mm x 27 mm. Ширина проводне линије је 1 mm, а полуокруг је попречни пресек.

3Д модел структуре има две стране, два слоја (горњи и доњи) повезана преко проводног канала – вије, и он представља калуп (структуру) за израду 3Д спиралног индуктора FDM адитивном технологијом. Вија има пречник 1 mm. На доњем слоју је краткоспојник - „underpass“.

Геометрија 3Д модула за спирални индуктор је приказан на слици 1. Детаљан модел са свим геометријским параметрима је приказана на слици 1а), а Табела 1 приказује све димензије произведеног прототипа 3Д спиралног индуктора.



а)



б)

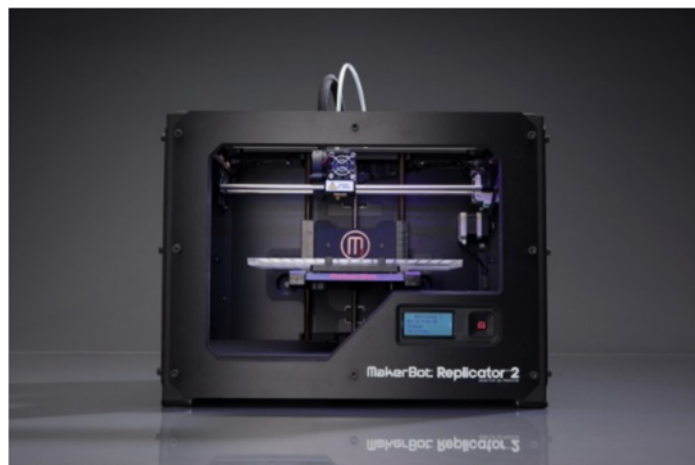
Слика 1. 3Д спирална индукторска структура са каналима: а) поглед одозго, б) 3Д модел.

ТАБЕЛА 1.
ГЕОМЕТРИЈСКИ ПАРАМЕТРИ 3Д СПИРАЛНОГ ИНДУКТОРА

Параметри	Димензије
број завојака n	4
унутрашња димензија индуктора d_{in}	10 mm
спољашња димензија индуктора d_{out}	24 mm
размак између суседних сегмената s	0.8 – 1 mm
ширина проводне линије w	1 mm

Због низа предности у односу на друге технологије адитивне производње, депоновање истопљеног филамента (Fused Deposition Modeling) је најпопуларнија технологије данашњице. Од других технологија је издваја једноставност коришћења уређаја, цена уређаја, цена потрошног материјала, широк спектар потрошних материјала (ПЛА; АБС, најлон, композитни материјали...), нетоксични и еколошки материјали, итд. FDM технологија као основни материјал користи чврсти филамент у облику жице одређене дебљине. Материјал се уводи у главу за штампање у којој се загрева, доводи у полутечно стање, истискује (екструдира) кроз млазницу на радну платформу штампача где се хлади чинећи један слој радног предмета.

У експерименталним истраживањима коришћен је уређај Makerbot Replicator 2 (MakerBot® Industries, USA) који је приказан на слици 2. Основне карактеристике уређаја су: врста филаментна ПЛА термопласт, пречник филамента 1.75 мм, пречник млазнице 0.4 мм, димензије радног простора 285x153x155 мм, тачност позиционирања 11 μм у x-у правцу, а у z правцу 2.5 μм. На уређају је извршена модификација радне акрилне плоче која је замењена стакленом, како би се повећала прецизност уређаја због веће равности стаклене радне плоче.



Слика 2 FDM штампач MakerBot Replicator 2.

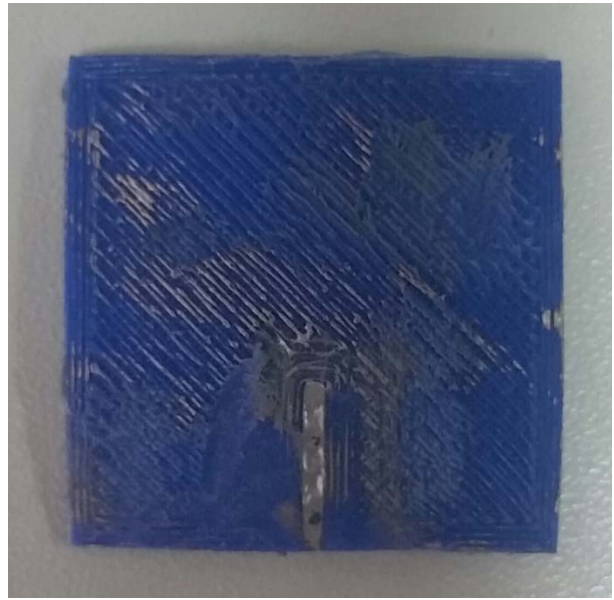
Како би се добили најбољи резултати са становишта механичких карактеристика израђених делова, параметри процеса су усвојени на основу претходних детаљних истраживања извршених на Makerbot уређају од стране Лужанина и осталих [6]. Сви модели су израђени са следећим параметрима: материјал ПЛА термопласт (произвођач German RepRap, Немачка), дебљина слоја 0.1 мм, температура екстудирања 235⁰С и брзина главе 20 mm/s. Сплавови (подлоге) и потпорне нису коришћене у процесу.

Спирални индуктор је произведен FDM адитивном технологијом, израдом ПЛА 3Д калуца (модула) и двокомпонентне сребрне пасте, произвођача [7]. Након израде калуца, сребрна паста је утиснута у 1 mm широке канале. Попуњена структура, сада већ формиран 3Д спирални

индуктор, је држана више од 12 сати на собној температури ради сушења. На крају, прототип је изравнан механичким полирањем. Произведена структура је представљена на слици 3, а) поглед одозго, б) поглед одоздо.



а)

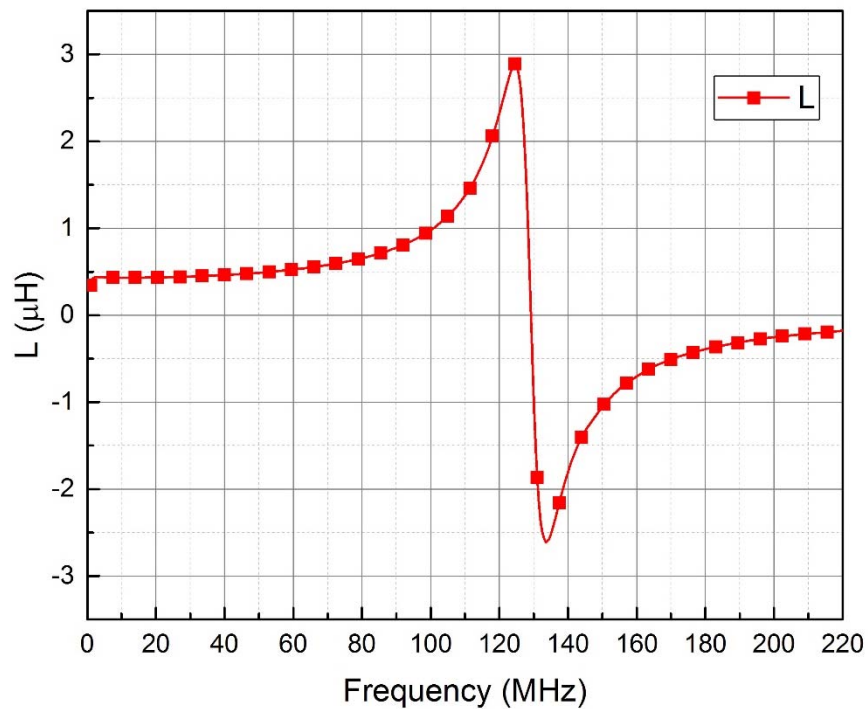


б)

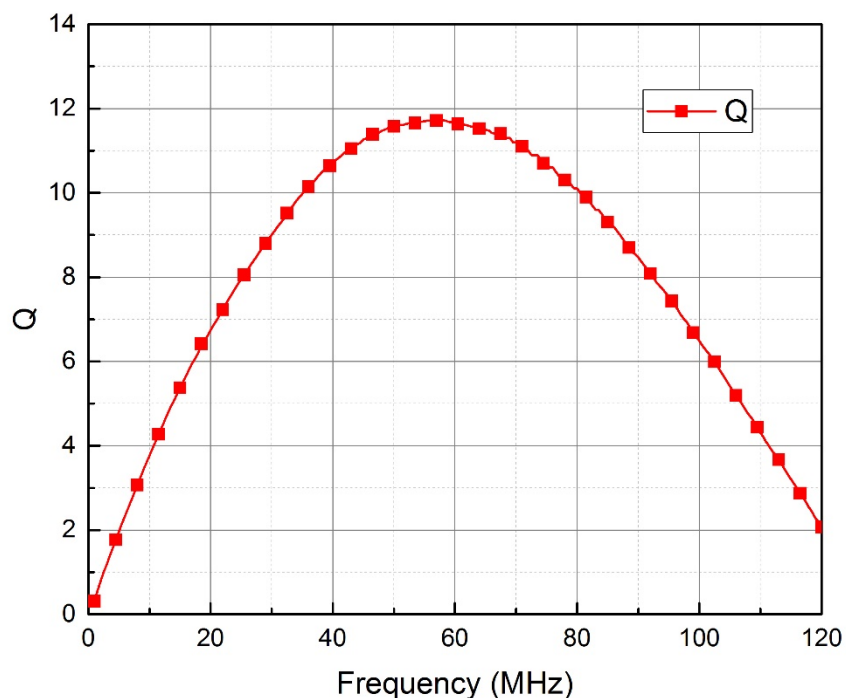
Слика 3: Прототип 3Д спиралног индуктора: а) поглед одозго, б) поглед одоздо.

Резултати мерења 3Д спиралног индуктора и дискусија добијених резултата

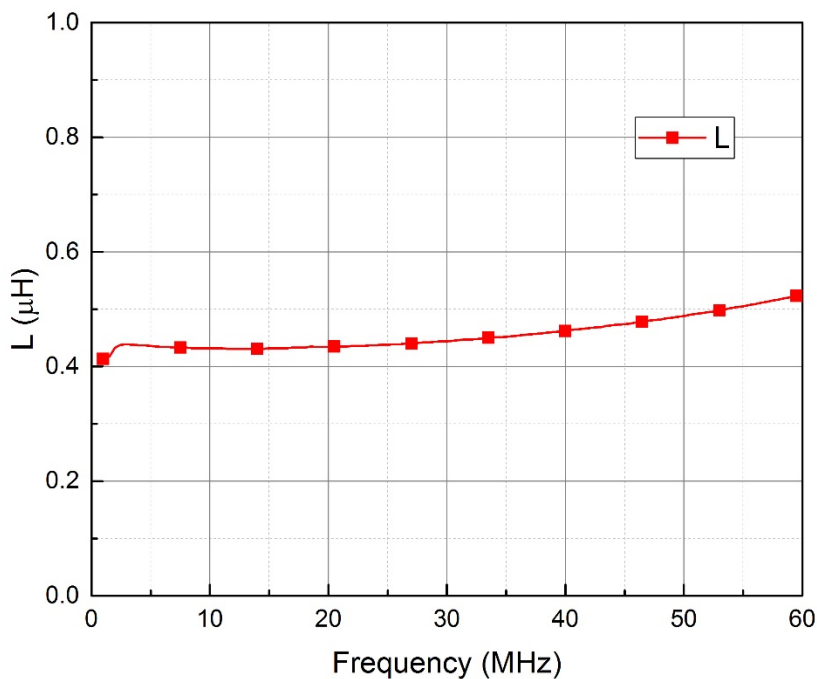
Мерни резултати су добијени мерењем индуктивности помоћу анализатора импедансе HP4194A, и представљени су у фреквентном опсегу од 1 MHz до 220 MHz (слике од 4-6).



Слика 4. Индуктвност спиралног индуктора произведеног у 3Д адитивној технологији – мерени резултати.



Слика 5. Фактор добротности спиралног индуктора произведеног у 3Д адитивној технологији – мерени резултати.



Слика 6. Индуктвност спиралног индуктора произведеног у 3Д адитивној технологији – мерени резултати.

Као што може да се види, индуктивност спиралног индуктора је око 415 nH (видети слику 4). сопствена резонантна учестаност за овај спирални индуктор је 129 MHz. Мерена вредност фактора добротности за овај спирални индуктор је око 12 на учестаности од 56 MHz (видети слику 5).

Са слике 6 се може видети стабилна мерена вредност индуктивности фабриковане структуре, је у фреквентном опсегу од 1 до 60 MHz. У овом фреквентном опсегу, компонента има стабилну

индуктивност и као таква може бити коришћена у различитим применама. Индуктивност спиралног индуктора произведеног у 3Д адитивној технологији је била од 410 до 530 нН.

Закључак и примена резултата

Кроз представљена истраживања развијени су процеси пројектовања, производње и карактеризације спиралног индуктора, произведеног комбинацијом FDM адитивне технологије и техником попуњавања металном пастом. Резултати представљају добро слагање овог прототипа са аналитичким очекивањима и приказују могуће перформансе и интеграцију базирану на 3Д штампаним структурама.

Резултати су показали велику вредност индуктивности (изнад 400 нН). Произведени спирални индуктор у FDM технологији адитивне производње има највећу вредност фактора добротe на 56 MHz, и стабилну радну учестаност од 1 до 60 MHz. Такође, прототип спиралног индуктора има добру вредност фактора добротe (већу од 6) за опсег радне учестаности од 20 до 100 MHz.

Ова технологија омогућава израду компоненти које се могу применити у високо фреквентним опсезима. Пластичне подлоге су супериорне у односу на силицијумске у смислу да су непроводне, што ће ограничити утицај других механизма губитака као што су вртложне струје.

Одавде се види да је FDM адитивна технологија погодна за производњу спиралних индуктора са одличним особинама и јефтином производњом.

Литература

- [1] Y. Huang: “Additive Manufacturing: Current state, future potential, gaps and needs, and recommendations”, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 137, Feb 2015.
- [2] O. Ivanova, C. Williams, T. Campbell: “Additive manufacturing (AM) and nanotechnology: promises and challenges”, Rapid Prototyping Journal, 19/5, 2013, pp: 353-364.
- [3] H. Bikas, P. Stavropoulos, G. Chryssolouris: “Additive manufacturing methods and modelling approaches: a critical review”, Int. Journal of Advance Manufacturing Technology, Vol. 83, 2016, pp: 389-405.
- [4] J. Heseter, et. all.: “Additively manufactured nanotechnology and origami-enabled flexible microwave electronics”, Proceedings of the IEEE, Vol. 103, Iss. 4, 2015.
- [5] S. Wu, C. Yang, W. Hsu, L. Lin: “3D-printed microelectronics for integrated circuitry and passive wireless sensors”, Microsystems & Nanoengineering Vol. 1, 2015, pp: 1-9.
- [6] O. Lužanin, D. Movrin, M. Plančak: “Experimental investigation of extrusion speed and temperature effects on arithmetic mean surface roughness in FDM built specimens”, Journal for Technology of Plasticity, Vol. 38, Iss. 2, 2013, pp:179-190.
- [7] Chemtronics Corp., CircuitWorks® Conductive Epoxy CW2400. [Online]. Available: www.chemtronics.com

Прототип спиралног индуктора произведеног у 3Д адитивној технологији развијен је у ИМСИ-у и ФТН-у у оквиру текућег технолошког пројекта бр. ТР-32016 и ИИИ45007 код Министарства за просвету, науку и технолошки развој Републике Србије.

РЕЦЕНЗИЈА ПРЕДЛОЖЕНОГ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Предмет: Мишљење о испуњености критеријума за писање техничког решења

Прототип:

Спирални индуктор произведен у 3Д адитивној технологији

Руководилац пројекта: проф. др Љиљана Живанов

Одговорно лице: др Александар Менићанин

Аутори: Александар Менићанин

Институт за мултидисциплинарна истраживања (ИМСИ), Београд

Љиљана Живанов, Нелу Блаж, Дејан Моврин

Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја ТР-32016 и пројекта ИИИ-45007

Година: 2016-2017.

Примена: новембар 2017.

Реализатори:

Институт за мултидисциплинарна истраживања – ИМСИ, Факултет техничких наука – ФТН

Корисници:

Институт за мултидисциплинарна истраживања – ИМСИ, Факултет техничких наука – ФТН, ИРИТЕЛ А.Д., Београд

Подтип решења:

Лабораторијски прототип (М85)

Образложење

У скорије време дошло је до експанзије примене адитивних технологија, које се базирају на разноврсним процесима штампе, у изради јефтених компонената као што су пасивни уређаји, сензори, РФИД, итд. Евидентна је све већа потражња за штампаним електронским производима на тржишту. Самим тим, појавила се и потреба да се пасивне електронске компоненте израђују адитивним технологијама. Аутори овог техничког решења су успешно реализовали пасивну компоненту – индуктор, применом поступка „3Д штампе“.

Примена технологије 3Д штампе пружа бројне предности у односу на конвенционалну електронику, што се пре свега односи на много једноставнији поступак производње и ниску цену израђених компонената. Ова технологија је већ освојила примене у различитим секторима као што су телекомуникације, индустрија амбалаже, аутомобилска индустрија, медицина, итд.

У овом техничком решењу представљен је прототип спиралног индуктора који је израђен од полимера ПЛА (Polylactid acid) адитивном технологијом депоновања истопљеног филамента (Fused Deposition Modeling - FDM). Дат је комплетан поступак израде прототипа спиралног индуктора, почевши од фазе пројектовања па до детаљно објашњеног поступка процеса производње. Потом су приказани резултати мерења који се односе на одређивање индуктивности и фактора добротe реализованог прототипа.

Аутори су аргументовано образложили оправданост одабира технологије депоновања истопљеног филамента због низа предности у односу на друге технологије адитивне производње: једноставност коришћења уређаја, цена уређаја, цена потрошног материјала, широк спектар потрошних материјала, нетоксични и еколошки материјали, итд. FDM технологија је описана са довољно детаља и дате су основне карактеристике коришћеног уређаја.

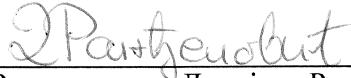
Спирални индуктор је направљен у два корака, најпре је израђен 3Д калуп од ПЛА применом FDM адитивне технологије, а потом су техником попуњавања металном пастом формирани сребрни проводни путеви у процепима на модулу у једном слоју. Тако израђен спирални индуктор има спољашњи пречник од 24 mm и 4 завојка дубине и ширине 1 mm.

Тестирање реализоване компоненте је показало да је постигнута велика вредност индуктивности, која премашује 400 nH, као и стабилна радна учестаност у опсегу (1 – 60) MHz. У опсегу радне учестаности (20 – 100) MHz постиже се максималан фактор добротe, $Q = 12$, на 56 MHz, док његова вредност не пада испод 6, што је сасвим задовољавајући резултат. Експериментални резултати се добро слажу са пројектованим вредностима.

Експериментални подаци дати у овом техничком решењу доказују да је FDM адитивна технологија погодна за производњу јефтиних спиралних индуктора са одличним перформансама. Такође је потврђено да се тако израђене пасивне компоненте могу применити у високо фреквентним опсезима. Поред тога, коришћењем пластичне уместо силицијумске подлоге, смањује се утицај разних механизма губитака.

На основу достављеног материјала, а у складу са одредбама Правилника о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, рецензент оцењује да резултат односно решење под називом: „Спирални индуктор произведен у 3Д адитивној технологији“, испуњава све услове да буде признат као техничко решење категорије M85 – прототип.

У Београду, 18.12.2017.


Рецензент: др Данијела Ранђеловић
Научни саветник, ИХТМ,
Универзитет у Београду

РЕЦЕНЗИЈА ПРЕДЛОЖЕНОГ ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Предмет: Мишљење о испуњености критеријума
за писање техничког решења

Прототип:

Спирални индуктор произведен у 3Д адитивној технологији

Број пројекта: TP-32016

Руководилац пројекта: проф. др Љиљана Живанов

Одговорно лице: Александар Менићанин

Аутори: Александар Менићанин – Институт за мултидисциплинарна истраживања (ИМСИ), Београд

Љиљана Живанов, Нелу Блаж, Дејан Моврин - Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад

Развијено: у оквиру пројекта технолошког развоја TP-32016 и ИИИ45007

Година: 2017

Примена: новембар 2017

Реализатори:, Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд, Факултет техничких наука, Нови Сад

Корисници: Факултет техничких наука, Нови Сад, ИРИТЕЛ АД, Београд

Подтип решења: Прототип – M85

Образложење

Проблем који се техничким решењем решава је следећи: Емпиријски је развијена оптимална процедура штампе у 3Д адитивној технологији са ПЛА супстрату и примењена је на прототипу спиралног индуктора. Индуктор је спиралног типа пошто је овај индуктор има најбоље карактеристике у односу на друге облике индуктора.

Стање решености тог проблема у свету је следеће: 3Д адитивна технологија штампања је позната технологија која постаје свестран алат у индустрији захваљујући развоју и примени нових материјала и лакоћом штампања без коришћења маске и калупа. Адитивном производњом може да се произведе производ за веома кратак временски период и комбинацијом различитих материјала. Адитивне технологије су коришћена и за израду јефтених компоненти као што су пасивни уређаји, сензори,

РФИД, итд. Због тога је развијена описана процедура за реализацију индуктора која смањује кориснику потребно време и материјал за добијање оптималних структура.

Карактеристике предложеног техничког решења су следеће: Описану процедуру је могуће применити и на друге материјале за штампање структуре, као и могућност коришћења других типова проводних материјала. Такође, дате смернице је могуће опште применити и на друге пасивне компоненте од истих или различитих материјала уколико таква подешавања дозвољавају за дати 3Д штампач.

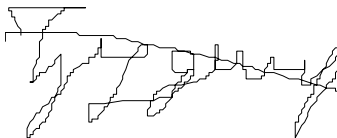
Могућности примене предложеног техничког решења су следеће: Могућност овог техничког решења је оптимизација 3Д адитивне технологије инкдет технологије и њено даље коришћење у производњи компоненти у малим или већим серијама. Конкретно пример је дат за спирални индуктор, почев од пројектовања са разматрањима које треба узети у обзир, затим начина на који се треба направити како би се добио велики број примерака са малим технолошким варијацијама.

У оквиру пријаве техничког решења дат је детаљан опис пројектовања спиралног индуктора и његове реализације у 3Д адитивној. Поступак је опште објашњен како не би био ограничен опремом и материјалима, али такође су дати и конкретни технолошки параметри у овом техничком решењу.

На основу достављеног материјала, у складу са одредбама Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитавном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије («Службени гласник РС, бр. 38/2008») рецензент оцењује да резултат научноистраживачког рада под називом: Спирални индуктор произведен у 3Д адитивној технологији представља научноистраживачки резултат који треба прихватити као техничко решење.

Прототип Спиралног индуктора произведеног у 3Д адитивној технологији развијен је на Институту за мултидисциплинарна истраживања у Београду и Факултету техничких наука у Нпвом Саду у оквиру текућег технолошког пројекта бр. ТР32016 и ИИИ45007 код Министарства просвете, науке и техничког развоја Републике Србије.

У Лондону, Велика Британија, 18.12.2017.



Recenzent: др Ђурађ Будимир,
Reader, University of Westminster



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: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2018-01-12

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

"СПИРАЛНИ ИНДУКТОР ПРОИЗВОДЕН У 3Д АДИТИВНОЈ ТЕХНОЛОГИЈИ"

Аутори техничког решења: Александар Менићанин, Љиљана Живанов, Нелу Блаж, Дејан Моврин.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
За Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Декан

Проф. др Раде Дорословачки





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: ftndeans@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАНИ
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 Данијела Ранђеловић, научни саветник ИХТМ Београд
2. Др Будимир Ђурађ, гостујући професор, Електротехнички факултет у Београду, (reader, University Westminster, London, UK)

Назив техничког решења:

“СПИРАЛНИ ИНДУКТОР ПРОИЗВОДЕН У 3Д АДИТИВНОЈ ТЕХНОЛОГИЈИ”

Аутори техничког решења: Александар Менићанин, Љиљана Живанов, Нелу Блаж, Дејан Моврин.

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:

за Секретар

Иван Нешкович, дипл. правник

Декан

Проф. др Раде Дорословачки

