

**Прототип (M85):**

Намотани кондензатор реализован у Fused Fabricated Filament технологији

**Руководилац пројекта:** проф. др Љиљана Живанов

**Одговорно лице:** Александар Б. Менићанин

**Аутори:** Александар Б. Менићанин, Институт за мултидисциплинарна истраживања (ИМСИ), Београд, Љиљана Живанов, Милица Кисић, Александар Стефанов, Факултет техничких наука (ФТН), Нови Сад

**Развијено:** у оквиру пројектата 451-03-68/2020-14/200053 на Институту за мултидисциплинарна истраживања и 451-03-68/2020-14/200156 на Факултету техничких наука

**Година:** 2019-2020

**Примена:** децембар 2020.

## КРАТАК ОПИС

Идеја за развој ових 3Д штампаних кондензатора у FFF (Fused Fabricated Filament) технологији је проистекла из истраживања у области 3Д штампе. Проводни ABS композитни материјал је коришћен за производњу 3Д штампаних електрода намотаног кондензатора применом комерцијално доступног 3Д штампача (nano3Dprint A2200). Кондензатор садржи Архимедове спиралне електроде чије су димензије: унутрашњи пречник 10mm, дебљина електрода 0,6 mm, висина 10 mm.

### **Кључне речи:**

3Д штампани намотани кондензатор, проводни ABS композитни материјал за штампање, Fused Filament Fabrication (FFF) технологија

### **Техничке карактеристике 3Д штампаног кондензатора:**

Висина електроде:  $h=10\text{ mm} = 0.01\text{ m}$

Растојање између плоча:  $d=0.6\text{ mm} = 0.0006\text{ m}$

Спољашњи полупречник структуре:  $r_1=14.00\text{ mm} = 0.014\text{ m}$

Релативна пермитивност: воде - 78.6, ваздуха - 1.00058, непроводног ABS - 2.74

Опсег мерења 0,1kHz-100 kHz

Капацитивност: 93,8 pF (у ваздуху као диелектрику), и 5119,12 pF (у дестилованој води).

### **Техничке могућности:**

Измерена капацитивност одштампаног кондензатора потврђује могућност коришћења проводног ABS композитног филамента за штампање електрода (спиралног) намотаног кондензатора.

### **Реализатори:**

Институт за мултидисциплинарна истраживања – ИМСИ, Београд  
Факултет техничких наука – ФТН, Нови Сад

### **Корисници:**

ИМСИ, Београд, ФТН, Нови Сад, ИРИТЕЛ А.Д., Београд

### **Подтип решења:**

Техничко решење-прототип (M85)

## ОПИС ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

Fused Filament Fabrication (FFF) технологија је адитивна технологија [1, 2] заснована на екструзији термопластичних полимера. Без сумње ова технологија је најједноставнија и најјефтинија комерцијално доступна 3Д штампана технологија која се изводи са најјефтинијим хардвером за штампање. Поређења ради, FFF штампач са једном млазницом (нозлом) кошта 220\$ (MP Select Mini 3D Printer V2, White, <https://Monoprice.com>), док одговарајући стереолитографски принтер кошта 3500\$ (Form 2 SLA 3D Printer-Formlabs, <https://formlabs.com>). FFF технологија пружа низ атрактивних могућности за израду 3Д штампаних минијатурних компоненти и система.

FFF технологија штампања омогућава дизајн и израду сложених 3Д компоненти на једноставан и јефтин начин без компликованих поступака након израде.

Израда 3Д објекта у вишеслојној штампи има много предности и користи се у многим областима примене: медицинској индустрији, производњи машина и другим. Употреба технологије 3Д штампања у електронској индустрији је у 3Д штампаној електроници и штампаним плочама [3, 4], док је у осталим областима електронике још увек у фази истраживања и израде прототипова.

Најкоришћенији материјали у штампаној 3Д технологији су полимери ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) и PLA (Poly Lactic Acid) [5], а филаменти тих материјала су коришћени за израду 3Д штампаних антена, сензора, електрода електрохемијских ћелија и других уређаја [6-9].

Термопластични полимери, ABS и PLA, штампани су комерцијално доступним 3Д штампачима користећи FFF поступак штампе, који су релативно јефтинији и једноставнији за употребу.

Ефикасним повећањем броја материјала у технологијама 3Д штампања, биће могуће развити нове процесе у изради прототипова/компонената за различите области примене.

Данас се за 3Д штампач могу добити и електрично проводљиви полимерни композити [11, 12], што је повећало потенцијал технологије 3Д штампања [12-14].

Стога смо користили технологију 3Д штампања да бисмо развили кондензатор са ниским трошковима производње.

Да би се произвео намотани кондензатор конвенционалним начином израде, пластична фолија (полипропилен или полиестер), кондензаторски папир и фолија електроде (алуминијум или калај) се наизменично постављају, а затим се намотавају да формирају намотани кондензатор [15]. Сличан приступ се користи у изради намотаног кондензатора од истањеног стакла [16].

У технологији 3Д штампања, процес израде намотаног кондензатора је много једноставнији и јефтинији. Новост овог истраживања може да се представи на два начина:

- први - развој намотаног кондензатора помоћу проводног ABS композитног филамента и
- други - израда 3Д електрода помоћу FDM (Fused Deposition Modeling) технологије 3Д штампања (у литератури звана исто FFF).

Колико нам је познато, ово истраживање је иновативно и није тренутно могуће пронаћи слична научна решења у доступној литератури.

Кондензатор се састоји од две Архимедове спиралне електроде, означене сивом и црном бојом на слици 1а. 3Д модел кондензатора (приказан на слици 1б) је реализован на рачунару и експортиран у .stl формату и штампан је помоћу 3Д штампача (nano3Dprinter A2200). Комерцијално набављив проводни ABS композитни филамент произвођача (Saxon) коришћен је као материјал за штампање кондензаторских електрода.

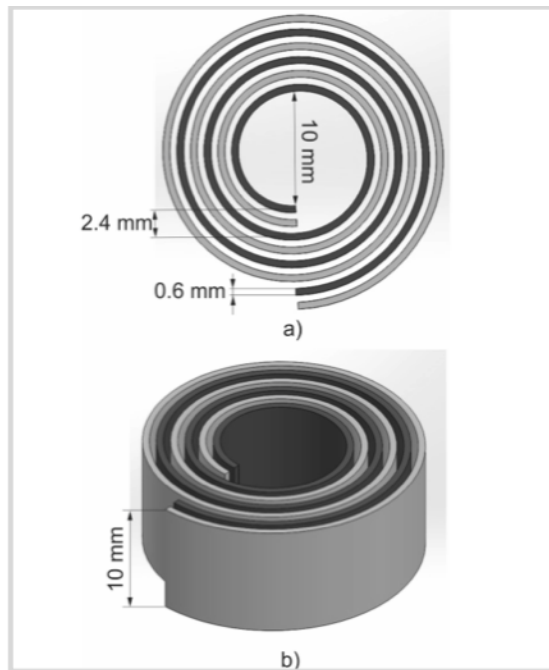
ABS је непрозиран термопластични и аморфни полимер. Термопластични материјали при одређеној температури прелазе у течност. Ова врста материјала се може загревати до топљења, затим охладити па поново топити без значајне деградације самог материјала. Температура ABS-а при којој прелази у стакло је око 105 °C. Температура топљења ABS филамента је од 180 до 260 °C. Диелектрична константа непроводног ABS-а који смо користили у овом случају износи  $\epsilon_r = 2.74$ , али такође постоје и друге врсте овог материјала са константама од 3 до 12.

Проводност одштампаног проводног ABS филамента зависи од дебљине и ширине проводног узорка и у литератури се налазе различите вредности  $\rho = 10^4 \Omega m$  [6],  $\rho = 10^4 \div 10^7 \Omega m$  [6, 17].

Параметри коришћених материјала и геометријске димензије пројекторваног кондензатора приказане су у табели 1.

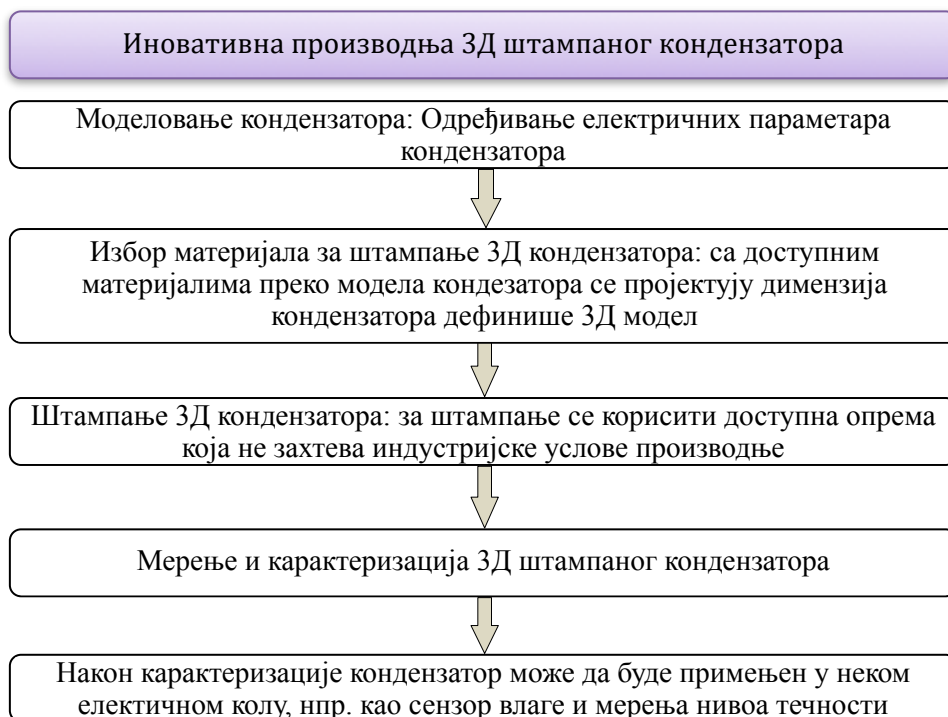
*Табела 1 Параметри материјала и геометријске димензије пројектованог кондензатора*

Пермитивност вакуума	$\approx 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$
Релативна пермитивност ваздуха	$\approx 1.00058986 \pm 0.0000005$
Релативна пермитивност дејонизоване воде	$\approx 78.6$
Релативна пермитивност ABS-а	$\approx 2.74$
Висина електроде	$h=10 \text{ mm} = 0.01 \text{ m}$
Растојање између електрода	$d=0.6 \text{ mm} = 0.0006 \text{ m}$
Унутрашњи пречник структуре	$d_0=10.00 \text{ mm}$
Спољашњи полупречник	$r_e=r_0+15d=(5+15 \times 0.6)=14 \text{ mm}$



Слика 1. Пројектовани намотани кондензатор: а) попречни пресек, поглед одозго б) 3Д модел

У пројектовање, моделовање и производњу 3Д штампаних кондензатора од композитних материјала уведени су следећи иновативни поступци као део процеса иновативне технологије која нам омогућава једноставну производњу компоненти без скупог индустријског процеса. Цео ток поступака од пројектовања до производње 3Д штампаних кондензатора приказан је дијаграмом тока на слици 2.



Слика 2: Дијаграм тока производног процеса

У типичном FFF процесу, термопластична полимерна нит се загрева изнад своје температуре стакла и штампа кроз млазницу 3Д штампача, чији пречник дефинише резолуцију штампања у хоризонталној резолуцији x-y. У нашем случају млазница за штампање има пречник од 0,4 mm. Резолуција штампања у z-оси (висина једног слоја) постављена је на 100  $\mu\text{m}$ . То је била вертикална резолуција.

Проводни ABS композитни филамент је загрејан на 230 °C у комори главе за штампање и истиснут кроз млазницу пречника 0,4 mm и одштампан на подлози загрејаној на 90 °C. Димензије конструисаног кондензатора приказане су на слици 1. Фотографија произведеног кондензатора приказана је на слици 3.



Слика 3: Фотографија произведеног намотаног кондензатора са доданим контактима.

Кондензатор би могао да се користи као сензор влаге ако би се између електрода убацио материјал осетљив на влагу, нпр хидрогел. Могао би да се користи за мерење нивоа течности или мерење празнина у двофазним течностима (вода-ваздух) [18, 19].

## ИЗРАЧУНАВАЊЕ КАПАЦИТИВНОСТИ 3Д ШТАМПАНОГ КОНДЕНЗАТОРА

Када би се размотао кондензатор, добио би се равна плочаста кондензатор са површином плоча

$$A = h \cdot l$$

где је  $l$  једнако дужини спирале и  $h$  висина кондензатора. Ако је растојање између плоча  $d$ , онда би капацитивност плочастог кондензатора била

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d},$$

где је  $\epsilon_0$  пермитивност вакуума,  $\epsilon_r$  пермитивност диелектрика између електрода кондензатора.

Када се кондензатор намота у цилиндар (у тубу), погодно је да се узме капацитивност једног завојка као основна јединица,  $C_1$ . Формула за капацитивност плочастог кондензатора се онда узима за израчунавање  $C_1$  пошто  $d$  је у ствари веома мало

у поређењу са полупречником цилиндра. То се види из следећег, капацитивност цилиндричног кондензатора је

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{2\pi h}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{2\pi h}{\ln\left(1 + \frac{d}{r_1}\right)} \approx \epsilon_0 \epsilon_r \frac{2\pi h r_1}{d}.$$

Из овога се види да када је  $d \ll r_1$ , капацитивност цилиндричног кондензатора се своди на капацитивност плочастог кондензатора где је површина електрода једнака производу обима цилиндра,  $2\pi r_1$ , и висине цилиндра  $h$ .

Засновано на овом разматрању, може се приметити да се капацитивност намотаног кондензатора може приближно да израчуна на основу израза

$$C = (2n - 1)C_1,$$

где је  $n$  број завојака а  $C_1$  је капацитивност кондензатора од једног завојка као основне јединице [20]. Како се полупречници завојака разликују, узећемо да је капацитивност кондензатора од средишног завојка једнака  $C_1$  и да се израчунава као капацитивност плочастог кондензатора

$$C_1 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{hS}{d},$$

где су:  $\epsilon_0$  пермитивност вакуума,  $\epsilon_r$  пермитивност диелектрика,  $h$  је дужина кондензатора,  $d$  је размак између завојака а  $S$  је обим завојка.

Да би смањили отпорност одштампаних електрода ми смо користили дебље електроде што доводи до различитих полупречника и обима

$$S_k = 2\pi R_k = 2\pi(r_1 + kd),$$

где је  $k=1, 2, 3, \dots, 5n$ . У нашем случају  $k=1, 2, \dots, 15$ , ( $n=3$ ). У нашем случају  $k=7$  за средишњи полупречник

$$R_s = r_1 + kd = (5 + 7 \cdot 0.6)mm = 9.2mm.$$

Обим средишне спирале је

$$S_s = 2\pi \cdot 9.2mm = 57.78mm$$

Премеравањем растојања између електрода одштампаног кондензатора, приказаног на слици 3, добија се мање растојање између електрода, приближно 0,4 mm.

За капацитивност  $C_1$ , у том случају, добијамо вредност 12,77 pF. Капацитивност намотаног кондензатора је  $C = 5 \cdot 12.78pF = 63.9pF$  у ваздуху и 5024 pF у дејонизованој води.

## АНАЛИЗА КАРАКТЕРИСТИКА 3Д ШТАМПАНОГ КОНДЕНЗАТОРА

Валидација излазних података је вршена поређењем израчунатих резултата са вредностима које смо добили мерењем у лабораторијским условима. Мерења су вршена уз помоћ LCR метра са ознаком U1730C произвођача KEYSIGHT и анализатора импедансе

4194A произвођача Hewlett Packard, приказаног на слици 4. Испитивања су вршена на различитим учестностима у опсегу од 100 Hz до 100 kHz .



*Слика 4. Мерење на Impedansnom analizatoru u laboratorijskim uslovima*

Измерене капацитивности и  $Q$ -фактор фабрикованог кондензатора у ваздуху и дестилованој води приказане су у табели 2. У табели 2 је приказана и вредност капацитивности кондензатора када би између електрода био непроводни ABS као диелектрик, што би могло да се фабрикује штампачем који има главу за штампање са две нозле (нпр. MakerBot Dual printer).

*Табела 2 Измерене вредности*

Релативна пермитивност	Капацитивност $C$ [pF]	$Q$ фактор	Учестаност $f$ [Hz]
<b>Вода</b>	5119,12	0,262	100
<b>78,6</b>	338,34	1,86	100000
<b>Ваздух</b>	93,8	6,75	100
<b>1,00058</b>	6,2	0,95	100000
<b>Непроводни ABS</b>	131,4	9,12	100
<b>2,74</b>	9,1	6,7	100000

Измерене вредности за различите врсте диелектрика очитане са LCR метра U1730C приказане су на слици 5.

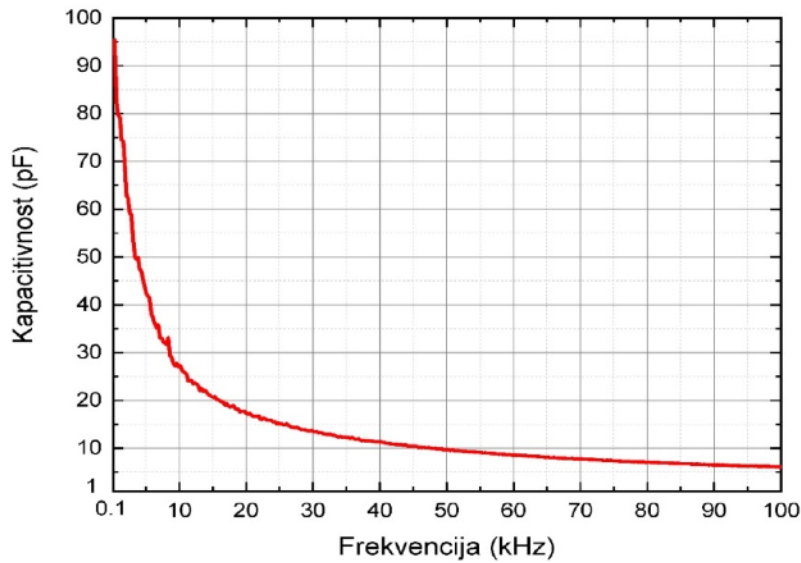
Прорачуната вредност капацитивности кондензатора у ваздуху је 63,9 pF, а измерена вредност је 93.8 pF. Прорачуната вредност капацитивности кондензатора у води је 5024 pF, а измерена је 5119,12 pF. Види се да је много боље слагање између израчунате и измерене капацитивности када је диелектрик вода. Због велике пермитивности воде утицај околине је много мањи него у случају када је диелектрик ваздух.



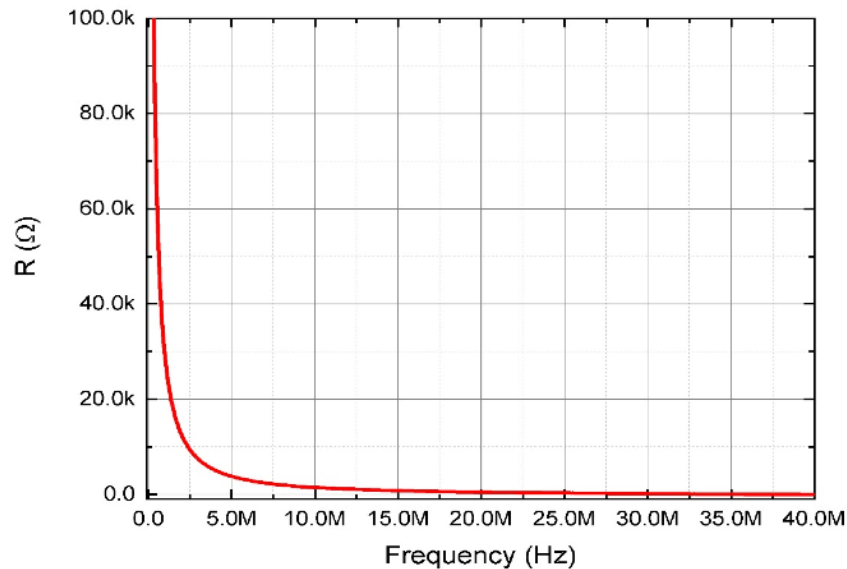


Слика 5. Капацитивност кондензатора када је диелектрик ваздух и вода.

Такође је измерена зависност капацитивности и отпорности фабрикованог кондензатора у ваздуху од промене учестаности, што је приказано на сликама 6 и 7.



Слика 6: Зависност капацитивности кондензатора у ваздуху од фреквенције.



Слика 7: Зависност отпорности кондензатора у ваздуху од фреквенције.

Са слике 6 се види да капацитивност опада нагло са порастом фреквенције. Највећа вредност капацитивности се постиже на ниским учестаностима ( $< 10 \text{ kHz}$ ).

Добијене вредности капацитивности штампаног кондензатора потврђују могућност коришћења проводног ABS композитног филамента за израду електрода намотаног кондензатора.

По први пут је приказан концепт 3Д штампе употребом проводног ABS композитног филамента за израде корисне геометрије кондензатора. Термопластични потпорни материјали омогућавају израду бесконачног броја геометријских облика и величина.

## ТЕХНИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

Материјал за FFF технологију је јефтинији од материјала за друге адитивне технологије. Поређења ради, смола за стереолитографско штампање кошта 350 еура, а смола за полицет 3Д штампање од 500 до 1250 еура док 1кг шпулне FFF филамента кошта 30 до 100 еура. Због тога, штампани материјал потребан за прављење 1кубног сантиметра компоненте кошта реда неколико еура ако се штампа са стеролитографским или полицет штампањем а дестак центи ако се штампа са FFF технологијом.

Иновативном технологијом 3Д штампе добијају се кондензатори који имају велику примену у индустрији [21, 22]. Они имају велику предност код уређаја који се прави у виду прототипова или у мањим серијама уређаја специфичне намене. Техничке карактеристике 3Д штампаног кондензатора репрезентују пројектоване катактеристике кондензатора. У референцама [21] и [22] може да се види да је 3Д адитивна технологија штампе већ увелико примењена у индустрији и показује све већу могућност масовне производње због појаве великог броја примењених материјала.

### Техничке карактеристике 3Д штампаног кондензатора:

Висина електроде:  $h=10 \text{ mm} = 0.01\text{m}$

Растојање између плоча:  $d=0.6 \text{ mm} = 0.0006 \text{ m}$

Спољашњи полупречник структуре:  $r_1=14.775 \text{ mm} = 0.014775 \text{ m}$

Релативна пермитивност: воде - 78.6, ваздуха - 1.00058, непроводног ABS - 2.74

Опсег мерења 0,1kHz-100 kHz

Капацитивност: 93,8 pF (у ваздуху као диелектрику), и 5119,12 pF (у дестилованој води).

Све техничке карактеристике су добијене на собној температури од 23 - 25 °C. Опсег мерења је од 0,1kHz-100 kHz и мерења су се вршила у не контролисаним лабораторијским условима анализатором импедансе. Вредност капацитивности 3Д штампаног кондензатора се смањује са порастом учестаности до 6 pF на 100 kHz. Ово је последица пада импедансе са фреквенцијом из које се рачуна капацитивност кондензатора.

Иновативном технологијом 3Д штампе омогућава се истраживачким тимовима да брже и лакше своје идеје реализују у виду прототипова, као и производња малих серија за специфичне намене у индустрији.

Аддитивна технологија, иако још увек недовољно истражена, показала се као потенцијално решење за масовну производњу кондензатора који могу имати велику капацитивност и енергетску густину, без повећања физичких димензија саме структуре.

**Прототип (М85) - Намотани кондензатор реализован у Fused Fabricated Filament технологији развијено је у ИМСИ-у и ФТН-у у оквиру текућих пројеката бр. 451-03-68/2020-14/200053 и 451-03-68/2020-14/200156 код Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.**

## РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] Xin Wang, Man Jiang, Zuowan Zhou, Jihua Gou, David Hui: "3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective," *Composites Part B: Engineering*, Volume 110, 2017, Pages 442-458, ISSN 1359-8368, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.11.034>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836816321230>)
- [2] Tuan D. Ngo, Alireza Kashani, Gabriele Imbalzano, Kate T.Q. Nguyen, David Hui: "Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges," *Composites Part B: Engineering*, Volume 143, 2018, Pages 172-196, ISSN 1359-8368, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836817342944>)
- [3] Espalin, D., Muse, D.W., MacDonald, E. *et al.* 3D Printing multifunctionality: structures with electronics. *Int J Adv Manuf Technol* **72**, 963–978 (2014). <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5717-7>
- [4] E. Macdonald, R. Salas, D. Espalin, M. Perez, E. Aguilera, D. Muse, and R. B. Wicker, "3D printing for the rapid prototyping of structural electronics," *IEEE Access*, vol. 2, pp. 234–242, 2014.
- [5] Z. Sun and L. F. Velásquez-García, "Monolithic FFF-Printed, Biocompatible, Biodegradable, Dielectric-Conductive Microsystems," in *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. 26, no. 6, pp. 1356-1370, Dec. 2017, doi: 10.1109/JMEMS.2017.2746627.
- [6] M. Mirzaee, S. Noghianian, L. Wiest and I. Chang, "Developing flexible 3D printed antenna using conductive ABS materials," 2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, 2015, pp. 1308-1309, doi: 10.1109/APS.2015.7305043.
- [7] P. Rewatkar and S. Goel, "Next-Generation 3D Printed Microfluidic Membraneless Enzymatic Biofuel Cell: Cost-Effective and Rapid Approach," in *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 66, no. 8, pp. 3628-3635, Aug. 2019, doi: 10.1109/TED.2019.2922424.
- [8] T. Le et al., "A novel strain sensor based on 3D printing technology and 3D antenna design," 2015 IEEE 65th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), 2015, pp. 981-986, doi: 10.1109/ECTC.2015.7159714.
- [9] M. Rizwan, M.W.A. Khan, H. He, J. Virkki, L. Sydanheimo, L. Ukkonen: "Flexible and stretchable 3D printed passive UHF RFID tag", *Electronics Letters* 53 (2017), 1054.
- [10] Foo, C.Y., Lim, H.N., Mahdi, M.A. *et al.* "Three-Dimensional Printed Electrode and Its

- Novel Applications in Electronic Devices”, *Sci Rep* **8**, 7399 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25861-3>.
- [11] Wei, X., Li, D., Jiang, W. *et al.*, “3D Printable Graphene Composite”, *Sci Rep* **5**, 11181 (2015). <https://doi.org/10.1038/srep11181>
- [12] Manzanares Palenzuela, C Lorena et al. “3D-Printed Graphene/Polylactic Acid Electrodes Promise High Sensitivity in Electroanalysis.” *Analytical chemistry* vol. 90,9 (2018): 5753-5757. doi:10.1021/acs.analchem.8b00083
- [13] S. Y. Jun, A. Elibiary, B. Sanz-Izquierdo, L. Winchester, D. Bird and A. McClelland, "3-D Printing of Conformal Antennas for Diversity Wrist Worn Applications," in IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 8, no. 12, pp. 2227-2235, Dec. 2018, doi: 10.1109/TCPMT.2018.2874424.
- [14] Camović, M. *et al.* (2020). Coated 3D Printed PLA Microneedles as Transdermal Drug Delivery Systems. In: Badnjevic, A., Škrbić, R., Gurbeta Pokvić, L. (eds) CMBEBIH 2019. CMBEBIH 2019. IFMBE Proceedings, vol 73. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-17971-7\\_109](https://doi.org/10.1007/978-3-030-17971-7_109)
- [15] C. Mariotti, F. Alimenti, L. Roselli, M.M. Tentzeris: “High-Performance RF Devices and Components on Flexible Cellulose Substrate by Vertically Integrated Additive Manufacturing Technologies”, *IEEE Trans. Compon., Packag. Manufact. Technol.*, 65 (2017), p. 62
- [16] S. Kim, A. Shamim, A. Georgiadis, H. Aubert and M. M. Tentzeris, "Fabrication of Fully Inkjet-Printed Vias and SIW Structures on Thick Polymer Substrates," in IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, vol. 6, no. 3, pp. 486-496, March 2016, doi: 10.1109/TCPMT.2016.2522461.
- [17] Paz, R.; Moriche, R.; Monzón, M.; García, J. Influence of Manufacturing Parameters and Post Processing on the Electrical Conductivity of Extrusion-Based 3D Printed Nanocomposite Parts. *Polymers* **2020**, *12*, 733. <https://doi.org/10.3390/polym12040733>.
- [18] S. W. Kwok, K. H. Henry. Goh, Z. Dong Tan, S. T. Melissa Tan, W. W. Tjiu, J. Yeong Soh, Z. J. Glenn Ng, Y. Zhi Chan, H. Kim Hui, K. E. Johnson Goh, “Electrically conductive filament for 3D-printed circuits and sensors,” *Applied Materials Today*, Vol. 9,2017, pp. 167-175, <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2017.07.001>.
- [19] Jayanth N, Senthil P, “Application of 3D printed ABS based conductive carbon black composite sensor in void fraction measurement,” *Composites Part B: Engineering*, Vol. 159, 2019,pp 224-230, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.09.097>.
- [20] S K Foong and C H Lim, “On the capacitance of a rolled capacitor”, *Physics Education*, Vol. 37, No. 5, 2002, pp. 429
- [21] Patrick F. Flowers, Christopher Reyes, Shengrong Ye, Myung Jun Kim, Benjamin J. Wiley, 3D printing electronic components and circuits with conductive thermoplastic filament, *Additive Manufacturing*, Volume 18, 2017, pp. 156-163, ISSN 2214-8604, <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.10.002>.
- [22] L. Fieber and P. Grant: “3D Printing for Energy Applications/Capacitors” Editor(s): Albert Tarancón, Vincenzo Esposito, Wiley, примену8 February 2021.

Списак техничких решења за сваког од аутора појединачно

**Александар Менићанин**

**M85 - Техничка решења: Ново техничко решење (није комерцијализовано)**

**Број: 11**

1. Прототип: „**Нови прилагодни микрострип тест степени за карактеризацију стандардних СМД компоненти са два и три краја помоћу векторског анализатора мрежа на високим учестаностима**“, Одговорно лице: мр Александар Менићанин, Аутори: Александар Менићанин, Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов, Број пројекта: TP11023., 2010.
2. Мерна метода: „**Екстраховање унутрашњих и спољашњих електричних параметара ЕМИ потискивача у стандардном SMD кућишту у широком опсегу учестаности**“, Одговорно лице: мр Александар Менићанин, Аутори: Александар Менићанин, Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов, Број пројекта: TP11023, 2010.
3. Софтвер: „**Софтверски пакет ILCMC за одређивање електричних карактеристика феритних ЕМИ пригушница**“, Одговорно лице: др Мирјана Дамњановић, Аутори: Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов, Снежана Ђурић, Александар Менићанин, Број пројекта: TP11023, 2010.
4. Прототип: „**Сензор истезања реализован у инкџет технологији на флексибилном супстрату**“, Одговорно лице: Никола Иванишевић, Аутори: Никола Иванишевић, Чедо Жлебич, Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин, Број пројекта: TP32016, 2013.
5. Мерна метода: „**Метода за одређивање карактеристика сензора истезања реализованог у инкџет технологији**“, Одговорно лице: Чедо Жлебич, Аутори: Чедо Жлебич, Никола Иванишевић, Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин, Број пројекта: TP32016, 2013.
6. Мерна метода: „**Метода за одређивање утицаја DC струје на електричне карактеристике SMD индуктора**“, Одговорно лице: Чедо Жлебич, Аутори: Чедо Жлебич, Драган Кљајић, Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин, Број пројекта: TP32016, 2014.
7. Софтвер: „**Програмски алат за брзо одређивање електричних карактеристика индуктора из S-параметара**“, Одговорно лице: Чедо Жлебич, Аутори: Чедо Жлебич, Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин, Број пројекта: TP32016, 2014.
8. Прототип: „**Прототип РФ индуктора добијених коришћењем наночестичног мастила на флексибилној подлози**“, Одговорно лице: Александар Менићанин, Аутори: Александар Менићанин, Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов, Андреа Марић, Број пројекта: TP32016, 2015.
9. Прототип: „**Израда узорака на бази графенског мастила коришћењем десктоп инкџет штампача**“, Одговорно лице: Чедо Жлебич, 2015, Аутори: Чедо Жлебич, Љиљана Живанов, Милица Кисић, Нелу Блаж, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин, Број пројекта: TP32016, 2015.
10. Прототип: Александар Менићанин, Љиљана Живанов, Нелу Блаж, Дејан Моврин

“Спирални индуктор произведен у 3Д адитивној технологији“, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2017.

11. Нова метода: Нелу Блаж, Милица Кисић, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин „Метода за израду сензора помераја у 3Д адитивној технологији“, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2017.

### Љиљана Живанов

#### **М82: Нови индустријски прототип**

##### **Број: 4**

1. Нелу В. Блаж, Милољуб Луковић, Љиљана Живанов, Станко Алексић, Снежана Луковић, "Нове конфигурације ЕМИ потискивача реализованих помоћу снопа Мн-Зн феритних језгара са дубоким жлебовима", Факултет техничких наука (ФТН), Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2018. М82
2. Милољуб Д. Луковић, Станко О. Алексић, Снежана Г. Луковић, Нелу Блаж, Љиљана Живанов, "Једноосни сензор брзине ветра ЈСБВ-1" Факултет техничких наука (ФТН), Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2018. М82
3. Милољуб Д. Луковић, Нелу В. Блаж, Марија В. Николић, Обрад С. Алексић, Љиљана Живанов „Нове конфигурације ЕМИ потискивача који су реализовани помоћу мешовитог снопа Мн-Зн феритних цевчица“, Факултет техничких наука, Нови Сад, број пројекта ТР-32016, 2014
4. Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Милољуб Луковић, Марија Николић, Обрад Алексић: „Нове конфигурације ЕМИ потискивача реализованих помоћу снопа Мн-Зн феритних цевчица“ Факултет техничких наука, Нови Сад, број пројекта ТР-32016, 2012

#### **М85 - Техничка решења: Ново техничко решење (није комерцијализовано)**

##### **Број: 27**

1. Прототип: „Нови прилагодни микрострип тест степени за карактеризацију стандардних СМД компоненти са два и три краја помоћу векторског анализатора мрежа на високим учестаностима“, Одговорно лице: мр Александар Менићанин, Аутори: Александар Менићанин, Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов, Број пројекта: ТР11023., 2010.
2. Мерна метода: „Екстраховање унутрашњих и спољашњих електричних параметара ЕМИ потискивача у стандардном SMD кућишту у широком опсегу учестаности“, Одговорно лице: мр Александар Менићанин, Аутори: Александар Менићанин, Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов, Број пројекта: ТР11023, 2010.
3. Софтвер: „Софтверски пакет ПСМС за одређивање електричних карактеристика феритних ЕМИ пригушница“, Одговорно лице: др Мирјана Дамњановић, Аутори: Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов, Снежана Ђурић, Александар Менићанин, Број пројекта: ТР11023, 2010.
4. Прототип: “Сензор истезања реализован у инксет технологији на флексибилном супстрату”, Одговорно лице: Никола Иванишевић, Аутори: Никола Иванишевић, Чедо Жлебич, Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин, Број пројекта: ТР32016, 2013.

5. Мерна метода: **“Метода за одређивање карактеристика сензора истезања реализованог у инкјет технологији”**, Одговорно лице: Чедо Жлебич, Аутори: Чедо Жлебич, Никола Иванишевић, Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин, Број пројекта: ТР32016, 2013.
6. Мерна метода: **“Метода за одређивање утицаја DC струје на електричне карактеристике SMD индуктора ”**, Одговорно лице: Чедо Жлебич, Аутори: Чедо Жлебич, Драган Кљајић, Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин, Број пројекта: ТР32016, 2014.
7. Софтвер: **“ Програмски алат за брзо одређивање електричних карактеристика индуктора из S-параметара ”**, Одговорно лице: Чедо Жлебич, Аутори: Чедо Жлебич, Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин, Број пројекта: ТР32016, 2014.
8. Прототип: **„Прототип РФ индуктора добијених коришћењем наночестичног мастила на флексибилној подлози“**, Одговорно лице: Александар Менићанин, Аутори: Александар Менићанин, Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов, Андреа Марић, Број пројекта: ТР32016, 2015.
9. Прототип: **„Израда узорака на бази графенског мастила коришћењем десктоп инкјет штампача“**, Одговорно лице: Чедо Жлебич, 2015, Аутори: Чедо Жлебич, Љиљана Живанов, Милица Кисић, Нелу Блаж, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин, Број пројекта: ТР32016, 2015.
- 10.Прототип: Александар Менићанин, Љиљана Живанов, Нелу Блаж, Дејан Моврин **“Спирални индуктор произведен у 3Д адитивној технологији“**, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2017.
- 11.Нова метода: Нелу Блаж, Милица Кисић, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић, Александар Менићанин **„Метода за израду сензора помераја у 3Д адитивној технологији“**, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2017.
- 12.Прототип: Кисић Милица, Нелу В. Блаж, Жлебич Чедо, Љиљана Живанов, **"Прототип капацитивног сензора притиска на бази полиимидног материјала"**, Факултет технички наука (ФТН), Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2018.
- 13.Прототип: Милица Кисић, Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић: **„Прототип бежичног хетерогено интегрисаног сензора помераја“**, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2017.
- 14.Нова метода: Миодраг Милутинов, Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Чедо Жлебич, **“Метода за одређивање снаге губитака, пермеабилности И хистерезисне петље магнетских материјала у широком фрекветном опсегу”** Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, бројпројекта: ТР-32016 и ТР 32055 , 2017.
- 15.Прототип: Чедо Жлебич, Нелу Блаж, Миодраг Милутинов, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић **“Прототип подешљивог феритног индуктора коришћењем једносмерне струје“**, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2017.
- 16.Прототип: Милица Кисић, Нелу Блаж, Калман Бабковић, Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов: **„Индуктивни тангенцијални сензор помераја“**, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2016.
- 17.Нова метода: Милица Кисић, Калман Бабковић, Нелу Блаж, Мирјана Дамњановић,

- Љиљана Живанов: „**Детектовање заузетости седишта помоћу бежичног индуктивног сензора**“, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2016
- 18.Прототип: Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Горан Радосављевић, Андреа Марић „**Мултифункционални капацитивни сензор**“ пројекат технолошког развоја ТР-32016, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, 2015
- 19.Прототип: Нелу Блаж, Андреа Марић, Љиљана Живанов, Горан Радосављевић „**Прототип индуктивног сензора помераја у ЛТЦЦ технологији**“, пројекат технолошког развоја ТР-32016, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, 2015
- 20.Прототип: Милица Кисић, Нелу Блаж, Чедо Жлебич, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић: „**Сензори за мерење врсте и нивоа течности**“, пројекат технолошког развоја ТР-32016, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, 2015.
- 21.Нова метода: Н. Блаж, М. Кисић, М. Дамњановић, Љ. Живанов „**Метода за одређивање комплексне пермитивности праскастих и течних диелектричних материјала у фреквенцијском опсегу од 500 MHz до 50 GHz**“ Факултет техничких наука, Нови Сад, број пројекта: ИИИ-45021, 2015
- 22.Нова метода: Нелу Блаж, Андреа Марић, Горан Радосављевић, Љиљана Живанов, „**Метода за одређивање комплексне пермитивности диелектричних ЛТСС материјала у фреквенцијском опсегу од 100 Hz до 40 MHz**“, Факултет техничких наука, Нови Сад, број пројекта: ИИИ-45021, 2015
- 23.Прототип: Милица Г. Кисић, Нелу В. Блаж, Калман Б. Бабковић, Андреа Марић, Горан Ј. Радосављевић, Љиљана Д. Живанов, Мирјана С. Дамњановић „**Пасивни сензор помераја са полиимидном мембраном**“ Факултет техничких наука, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2014
- 24.Нова метода: Нелу Блаж, Андреа Марић, Горан Радосављевић, Љиљана Живанов: „**Метода за одређивање комплексне пермеабилности феритних материјала у фреквенцијском опсегу од 300 kHz до 1 GHz,**“ Факултет техничких наука, Нови Сад, број пројекта: ИИИ-45021, 2013
- 25.Нова метода: Нелу Блаж, Андреа Марић, Горан Радосављевић, Љиљана Живанов: „**Метода за одређивање комплексне пермеабилности феритних материјала у нижем фреквенцијском опсегу (1 kHz- 1 MHz),**“ Факултет техничких наука, Нови Сад, 2013, број пројекта: ИИИ-45021, 2013
26. Прототип: Милица Кисић, Нелу Блаж, Андреа Марић, Горан Радосављевић, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић: „**Прототип држача са комором за испитивање сензора притиска**“ Факултет техничких наука, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2013
- 27.Нова метода: Андреа Марић, Горан Радосављевић, Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић: „**Карактеризација феритних трансформатора помоћу векторског анализатора мрежа и РФ испитне радне станице,**“ Факултет техничких наука, Нови Сад, број пројекта ТР-11023, 2010

### Милица Кисић

**М85 - Техничка решења: Ново техничко решење (није комерцијализовано)**

**Број: 8**



1. Прототип: Кисић Милица, Нелу В. Блаж, Жлебич Чедо, Љиљана Живанов, "**Прототип капацитивног сензора притиска на бази полиимидног материјала**", Факултет техничких наука (ФТН), Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2018.
2. Прототип: Милица Кисић, Нелу Блаж, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић: „**Прототип бежичног хетерогено интегрисаног сензора помераја**“, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2017.
3. Прототип: Милица Кисић, Нелу Блаж, Калман Бабковић, Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов: „**Индуктивни тангенцијални сензор помераја**“, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2016.
4. Нова метода: Милица Кисић, Калман Бабковић, Нелу Блаж, Мирјана Дамњановић, Љиљана Живанов: „**Детектовање заузетости седишта помоћу бежичног индуктивног сензора**“, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2016
5. Прототип: Милица Кисић, Нелу Блаж, Чедо Жлебич, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић: „**Сензори за мерење врсте и нивоа течности**“, пројекат технолошког развоја ТР-32016, Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду, 2015.
6. Нова метода: Н. Блаж, М. Кисић, М. Дамњановић, Љ. Живанов „**Метода за одредјивање комплексне пермитивности праскастих и течних диелектричних материјала у фреквенцијском опсегу од 500 MHz до 50 GHz**“ Факултет техничких наука, Нови Сад, број пројекта: ИИИ-45021, 2015
7. Прототип: Милица Г. Кисић, Нелу В. Блаж, Калман Б. Бабковић, Андреа Марић, Горан Ј. Радосављевић, Љиљана Д. Живанов, Мирјана С. Дамњановић „**Пасивни сензор помераја са полиимидном мембраном**“ Факултет техничких наука, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2014
8. Прототип: Милица Кисић, Нелу Блаж, Андреа Марић, Горан Радосављевић, Љиљана Живанов, Мирјана Дамњановић: „**Прототип држача са комором за испитивање сензора притиска**“ Факултет техничких наука, Нови Сад, број пројекта: ТР-32016, 2013

### Александар Стефанов

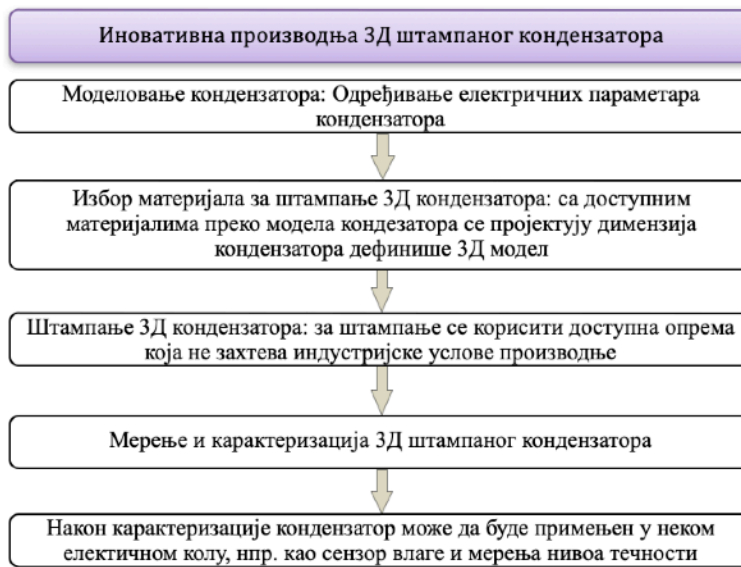
-нема објављених техничких решења

## ПРОТОКОЛ О ПРИМЕНИ

Техничко решење представља дијаграм тока производног процеса, уз који је могуће репородуковати производњу прототипа истих или сличних намена или карактеристика.

Важни елементи овог процеса су:

- 3Д штампач (nano3Dprinter A2200, или штампач сличних карактеристика)
- Проводни ABS композитни филамент (нпр. произвођача Saxon)
- Проводна паста за постављање контаката
- Уређаји за карактеризацију прототипа (LCR метар U1730C произвођача KEYSIGHT и анализатора импедансе 4194A произвођача Hewlett Packard)



Слика 2: Дијаграм тока производног процеса

Протокол верификовао

*Aleksandar Mencić*

др Александар Менићанин

Научни сарадник

Институт за мултидисциплинарна  
истраживања, Београд

**МИНИСТАРСТВО НАУКЕ,  
ТЕХНОЛОШКОГ РАЗВОЈА И ИНОВАЦИЈА**  
Матични научни одбор за електронику,  
телекомуникације и информационе технологије  
ТР 08/22

Београд, 19.12.2023. год.

На основу захтева за верификацију техничког решења под насловом „**Намотани кондензатор реализован у *Fused Fabricated Filament* технологији**“ (Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд, Факултет техничких наука Универзитета у Новом Саду), чији су аутори Александар Менићанин, Љиљана Живанов, Милица Кисић и Александар Стефанов, чланови Матичног научног одбора за електронику, телекомуникације и информационе технологије су на својој седници одржаној 01.12.2023. године, разматрали исти и донели одлуку да су у складу са условима које предвиђа *Правилник о стицању истраживачких и научних звања* („Службени гласник РС“, број 159 од 30. децембра 2020.):

**ИСПУЊЕНИ СВИ ПРОПИСАНИ УСЛОВИ ЗА ДОДЕЛУ КАТЕГОРИЈЕ**

**М 85 „Ново техничко решење у фази реализације“.**

Матични научни одбор за електронику,  
телекомуникације и информационе технологије

председник



проф. др Жељко Ћуровић