

ФАБРИКАЦИЈА НАМОТАНОГ КОНДЕНЗАТОРА КОРИШЋЕЊЕМ ПРОВОДНОГ ABS КОМПОЗИТНОГ ФИЛАМЕНТА У ТЕХНОЛОГИЈИ 3Д ШТАМПЕ

Александар Менићанин¹ Љиљана Живанов² Нелу Блаж³ Милица Кисић⁴ Чедо Жлебич⁵

Резиме: У овом раду, 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 10 mm, дебљина електрода 0,6 mm, висина 10 mm. Измерена капацитивност одштампаног кондензатора је 93,8 pF, у ваздуху као диелектрику, и 5119,12 pF у дестилованој води. То потврђује могућност коришћења проводног ABS композитног филамента за штампање електрода (спиралног) намотаног кондензатора.

Кључне речи: Технологија 3Д штампе, 3Д одштампани спирално намотани кондензатор, проводни ABS композитни филамент

FABRICATION OF ROLLED CAPACITOR USING CONDUCTIVE ABS COMPOSITE FILAMENT IN 3D PRINTING TECHNOLOGY

Abstract: In this letter, a conductive ABS composite filament was used to create 3D printed electrodes of rolled capacitor using a commercial 3D printer. The capacitor consists of two Archimedes spiral electrodes which dimensions are: inner diameter 10 mm, thickness of electrodes 0.6 mm, height 10 mm.

The measured capacitance of the fabricated capacitor is 93.8 pF in the air, and 5119.12 pF in the deionised water. It confirms the possibility of using conductive ABS composite filament for fabrication of electrodes of rolled capacitor.

Key words: 3D printing technology, 3D printed rolled capacitor, conductive ABS composite filament

1. УВОД

3Д 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 (Espalin 2014), (MacDonald 2014), док је у осталим областима електронике још увек у фази истраживања и израде прототипова.

Најкоришћенији материјали у штампаној 3Д технолозији су полимери ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*) и PLA (*Poly Lactic Acid*), а филаменти тих материјала су коришћени за израду 3Д штампаних антена, сензора, електрода електрохемијских ћелија и других уређаја (Mirzae 2015), (Blaž 2019).

¹ Виши научни сарадник, Институт за мултидисциплинарна истраживања, Кнеза Вишеслава 1, Београд, e-mail: aleksandar.menicin@imsi.rs

² Редовни професор, Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад, e-mail: lilaziv@uns.ac.rs

³ Научни сарадник, Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад, e-mail: nelu@uns.ac.rs

⁴ Асистент са докторатом, Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад, e-mail: mkistic@uns.ac.rs

⁵ Истраживач сарадник, Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад, e-mail: cedoz@uns.ac.rs

Термопластични полимери, ABS и PLA, штампани су комерцијално доступним 3Д штампачима користећи FDM (*Fused Deposition Modelling*) 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 (Foo 2018), што је повећало потенцијал технологије 3Д штампања.

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 (Lee 2001). Сличан приступ се користи у изради намотаног кондензатора од истањеног стаклара (Capacitor 2019).

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

У поглављу 2 је приказано пројектовање и фабрикација намотаног кондензатора у адитивној технологији на бази проводног ABS композитног материјала као и најважније особине фабрикованог намотаног кондензатора. Карактеризација фабрикованог кондензатора приказана је у поглављу 3 у којем је дата и кратка дискусија добијених резултата. У поглављу 4 је приказан закључак рада.

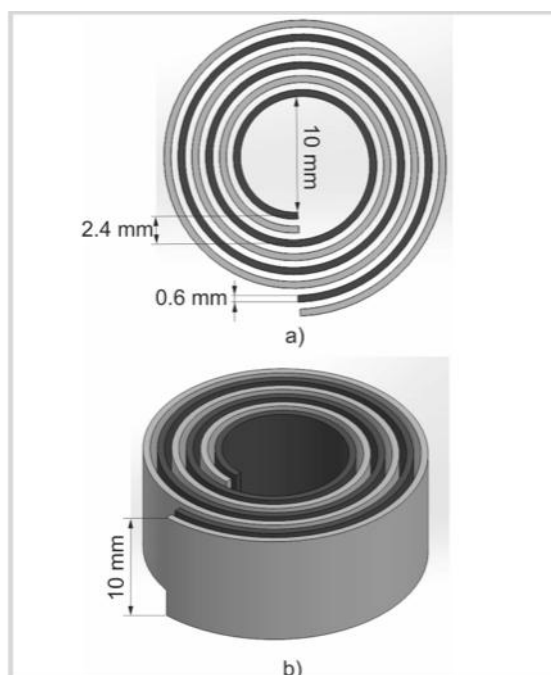
2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ФАБРИКАЦИЈА НАМОТАНОГ КОНДЕНЗАТОРА

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 2019). Комерцијално набављив проводни ABS композитни филамент произвођача (Saxon 2019) коришћен је као материјал за штампање кондензаторских електрода.

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

Табела 1 Параметри материјала и геометријске димензије кондензатора

Пермитивност вакуума	$\epsilon_0 \approx 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$
Релативна пермитивност ваздуха	$\epsilon_r \approx 1.00058986 \pm 0.0000005$
Релативна пермитивност дестиловане воде	$\epsilon_r \approx 80.2$
Релативна пермитивност ABS-а	$\epsilon_r \approx 2.74$
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	$r_1 = 14.775 \text{ mm} = 0.014775 \text{ m}$



Слика 1: Дизајнирани намотани кондензатор: а) пресек и б) 3Д модел.

У типичном FDM 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 μm . 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 °С. Димензије конструисаног кондензатора приказане су на слици 1. Фотографија произведеног кондензатора приказана је на слици 2.



Слика 2: Фотографија произведеног намотаног кондензатора са додатим контактима.

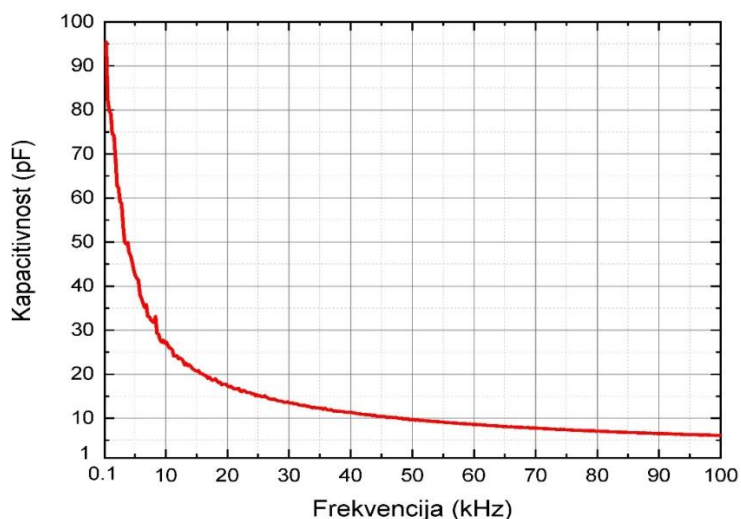
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

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

Relativna permitivnost ϵ_r	Капацитивност C [pF]	Q фактор	Учестаност f [Hz]
Voda	5119,12	0,262	100
78,6	338,34	1,86	100000
Vazduh	93,8	6,75	100
1,00058	6,2	0,95	100000
Neprovodni ABS	131,4	9,12	100
2,74	9,1	6,7	100000

Такође је измерена зависност капацитивности фабрикованог кондензатора у ваздуху од промене учестаности, што је приказано на слици 3.



Слика 3: Зависност капацитивности кондензатора у ваздуху од фреквенције.

Са слике 3 се види да капацитивност опада нагло са порастом фреквенције. Највећа вредност капацитивности се постиже на ниским учестаностима (< 10 kHz).

4. ЗАКЉУЧАК

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.

Захвалница

Овај рад је делимично финансиран од стране пројеката Министарства просвете и науке, бр. ТР32016 и ИИИ45007.

5. ЛИТЕРАТУРА

1. D. Espalin, D. W. Muse, E. MacDonald, & R. B. Wiker. (2014). *3D Printing multifunctionality: structures with electronics*. Int. J. Adv. Manuf. Technol., бр. 72, стр. 963-978.
2. E. MacDonald et al. (2014). *3D printing for the Rapid Prototyping of Structural Electronics*. IEEE Access, бр. 2, стр. 234-242.

3. Mirzae M., Noghalian S., Wiest L., & Chang I. (2015). *Developing flexible 3D printed antenna using conductive ABS materials*. IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, стр. 1308-1309.
4. Blaž N., Kisić M., Živanov L., & Damjanović M. (2019). *Capacitive Sensor with Stretchable Membrane Fabricated by 3D Printing for Displacement Application*. IEEE EUROCON 18th International Conference on Smart Technologies, стр. 1-5.
5. Foo C., Lim, H., Mahdi M., Wahid M., & Huang, N. (2018). *Three-dimensional printed electrode and its novel applications in electronic devices*, Sci. Rep., бр. 8, стр. 1-11.
6. Lee S., & Seo I. (2001). *Dielectric Fabrication Method for high Voltage Capacitor*. Patent WO2002007189A2.
7. Техничке информације доступне на: https://www.electronics-tutorials.ws/capacitor/cap_2.html приступано 10.12.2019.
8. Техничке информације доступне на: <https://www.nano3dprint.com/product-page/refurbished-a2200-3d-multimaterials-printer> приступано 10.12.2019.
9. Техничке информације доступне на: <http://ce.shaxon.com/product/3d-specialty-filament-1-75mm-abs-conductive-black-0-5-kg-reel/>, приступано 01.10.2019.