

Prototip: Multifunkcijski kapacitivni senzor

Rukovodilac projekta: prof. dr Ljiljana Živanov

Odgovorno lice: Nelu Blaž

Autori: Nelu Blaž, Andrea Marić, Ljiljana Živanov,
Fakultet tehničkih nauka (FTN), Novi Sad, Srbija;
Goran Radosavljević,
Institut za senzorske i aktuatorске sisteme, Beč, Austrija

Razvijeno: u okviru projekta tehnološkog razvoja TR-32016

Godina: 2015.

Primena: novembar 2015.

Kratak opis

U ovom tehničkom rešenju opisana je detaljna realizacija prototipa multifunkcijskog kapacitivnog senzora u LTCC (*Low Temperature Co-Fired Ceramic*) tehnologiji koji može da meri pomeraj, nivo i vrstu tečnosti. Kapacitivni multifunkcijski senzor se sastoji iz dva dela. Prvi deo je fiksirana (stacionarna) ploča na kojoj je realizovan kondenzator sa paralelnim pločama i mikro-kanalom. Drugi deo senzora čini dielektrični materijal (u tečnom ili čvrstom agregatnom stanju) koji ispunjava mikro kanal. Princip detektovanja svih ispitivanih funkcija zasniva se na promeni permitivnosti unutar mikro-kanal koji se nalazi između elektroda pločastog kondenzatora. Dimenzije prototipa senzora fabrikovanog u LTCC tehnologiji su 40,8 mm x 40,5 mm. Za svaku funkciju senzora dati su adekvatni eksperimentalni rezultati karakterizacije. Senzor je eksperimentalno okarakterisan i dobijeni rezultati su upoređeni sa rezultatima simulacija. Utvrđeno je dobro slaganje eksperimentalnih i simuliranih rezultata čime je potvrđena validnost razvijenog teorijskog modela.

Tehničke karakteristike:

Projektovanje i karakterizacija prototipa multifunkcijskog kapacitivnog senzora izrađenog u LTCC tehnologiji.

Tehničke mogućnosti:

Opisano tehničko rešenje omogućava kvalitetnu izradu multifunkcijskih kapacitivnih senzora u LTCC tehnologiji koji mogu naći svoju primenu pre svega u uslovima otežanog rada (velika vlažnost, temperatura i sl.) i u uslovima kada je ograničen prostor za ugradnju više senzora.

Realizatori:

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija
Institut za senzorske i aktuatorске sisteme, Beč, Austrija

Korisnici:

Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Podtip rešenja:

M85 Prototip

Uvod

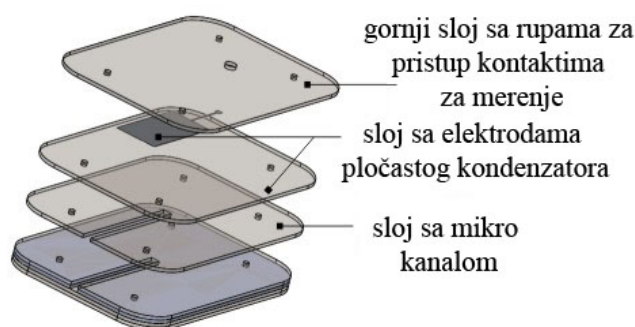
Postoje mnoge oblasti u kojima je primena jednog senzora za detektovanje više fizičkih veličina/osobina od interesa npr. u medicini, industriji, robotici. Jedna od prednosti multifunkcijskog senzora izrađenog na osnovu kapacitivne metode jeste linearna zavisnost između pomeranja i promene kapacitivnosti senzora.

Kapacitivni senzori za detekciju pomeraja su kontakti ili beskontaktni uređaji koji imaju mogućnost za precizno merenje / detekciju položaja i/ili promene položaja pokretnog objekta. Pored

detekcije pomeranja objekta ovi senzori se mogu koristiti i za druge upotrebe kao što su merenje debljine ili gustine materijala.

U ovom tehničkom rešenju biće prikazan prototip kapacitivnog senzor za detekciju pomeranja, odnosno merenje malih linearnih, pomeranja u ravni. Takođe, ista konfiguracija biće korišćena za detekciju nivoa tečnosti kao i vrste tečnosti. Usled činjenice da se jedna konfiguracija senzora može koristiti za više primena razvijeni prototip senzora se može nazvati multifunkcijski.

Za realizaciju senzora izabrana je LTCC tehnologija (*Low Temperature Co-fired Ceramic* - niskotemperaturna zajedno pečena keramika) pošto su keramički materijali poznati po svojoj dobroj mehaničkoj stabilnosti i pokazuju odličnu otpornost na visoke temperature. Ove karakteristike keramike kao materijala omogućavaju primenu senzora izrađenog u LTCC tehnologiji u nestandardnim radnim uslovima, kao što su npr. visoka vlažnost, visoke temperature, primena u hemijski agresivnim sredinama itd. Kapacitivni multifunkcijski senzor se sastoji iz dva dela. Prvi deo je fiksirana (stacionarna) ploča na kojoj je realizovan kondenzator sa paralelnim pločama i mikro-kanalom. Drugi deo je u zavisnosti od primene dielektrični štapić u slučaju da se struktura koristi kao senzor pomeraja. U slučaju da se senzor koristi za detektovanje nivoa ili vrste tečnosti drugi „deo“ je sama tečnost koja delimično ili u potpunosti ispunjava kanal u stacionarnom delu.



Slika 1. Model kapacitivnog multifunkcijskog senzora - razdvojeni 3D prikaz

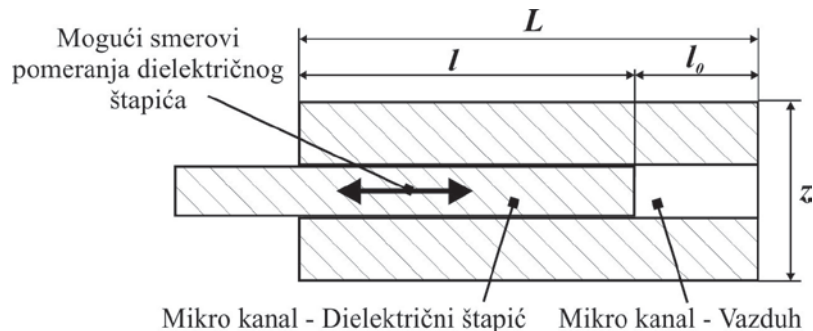
Nepokretni deo senzora se sastoji iz šest slojeva dielektrične LTCC trake, slika 1. Senzor je projektovan tako da su gornja tri sloja identična sa donja tri sloja sa izuzetkom traka na kojima su nanese elektrode kondenzatora. Ova simetrija omogućava ubrzavanje procesa izrade.

Gornji (prvi) i donji (šesti) sloj imaju zaštitnu ulogu odnosno štite elektrode kondenzatora od uticaja sredine (mehaničkih oštećenja, hemijsko agresivnih materija itd.). Na ova dva sloja nalaze se samo otvori (na svakom sloju po jedan) za pristup mernim kontaktima kondenzatora a koji su predviđeni da se zatvore prilikom praktične primene senzora. Na sledeća dva sloja (drugi i peti) nanose se provodne elektrode kondenzatora dimenzija: širine 10 mm i dužine 20 mm. Kao što je već napomenuto, jedina razlika u simetriji gornjih i donjih slojeva jeste baš na ova dva sloja. Razlika je u tome što se na gornjem sloju (drugom) provodni slojevi (elektrode, merni kontakt i provodne linije između njih) nanose sa gornje strane a na donjem sloju (petom) sa donje strane. Provodni slojevi se nanose baš na ovaj način kako bi bile u potpunosti ukopane u keramiku što u mnogome smanjuje osetljivost senzora na uslove okoline. Na poslednja dva sloja (treći i četvrti) usečeni su pravougaoni otvori koji nakon završetka fabrikacije čine mikro-kanal.

Teorijski model i simulacija

Na osnovu predloženog 3D modela, slika 1, razvijen je električni i matematički model multifunkcijskog kapacitivnog senzora. Teorijski model će biti objašnjen za slučaj kada je u mikro kanalu dielektrični štapić ali se model može primeniti i za funkcije detekcije tečnosti i određivanje nivoa tečnosti samo u tom slučaju u proračun treba uključiti umesto permitivnosti dielektričnog štapića permitivnost tečnosti koja se nalazi u mikro-kanalu.

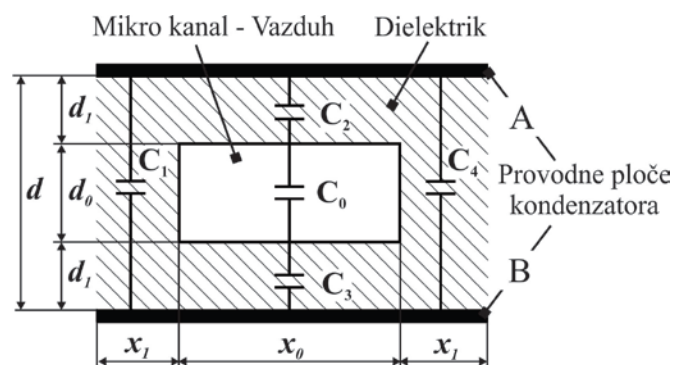
Za svaki položaj pokretnog štapića senzor se može podeliti na dve teorijske celine: deo u kome je mikro-kanal ispunjen samo vazduhom (kanal je prazan) i deo u kome se nalazi dielektrični štapić. Poprečni presek senzora na nivou kanala sa pogledom od gore dat je na slici 2.



Slika 2. Poprečni presek senzora na nivou kanala (između ploča kondenzatora) sa pogledom od gore

Kao što je prikazano na slici 2 sa velikim slovom L obeležena je dužina mikro kanala, sa malim slovom l označen je deo kanala koji je ispunjen dielektričnim štapićem dok je deo kanala koji je ispunjen vazduhom (prazan kanal) obeležen sa l_0 . Na istoj slici širina aktivnog dela senzora koji se nalazi između provodnih ploča kondenzatora obeležen je sa z .

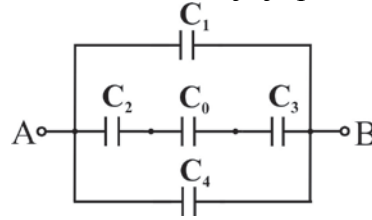
Da bi se lakše izvršila analiza senzora posebno je analiziran deo sa dielektričnim štapićem i posebno deo bez dielektričnog štapića. Radi lakše izrade električnog modela senzora prikazan je poprečni presek (pogled sa strane) celokupne strukture senzora u delu u kome nema dielektričnog štapića (dužine l_0), slika 3.



Slika 3. Poprečni presek senzora u delu ispunjenim vazduhom (pogled sa strane).

Kao što se može videti sa slike 3, ovaj deo senzora dužine l_0 se može predstaviti sa pet kondenzatora. Kondenzatori C_1 i C_4 su kondenzatori između provodnih ploča. Rastojanje između ploča ova dva kondenzatora obeleženo je sa d . Kondenzatori C_2 i C_3 su kondenzatori između provodne ploče i mikro-kanala s tim što se kondenzator C_2 nalazi iznad mikro-kanala a kondenzator C_3 ispod mikro-kanala. Pošto je cela struktura senzora simetrična debljina dielektričnog materijala kod oba kondenzatora je ista i obeležena je sa d_1 . Kapacitivnost mikro-kanala ispunjenog vazduhom

označen je sa C_0 . Pošto se svi prethodno pomenuti kondenzatori nalaze između provodnih ploča njihove širine ploča u zbiru moraju dati ukupnu širinu ploče kondenzatora senzora tako da je širina ploča kondenzatora C_1 i C_4 zbog simetrije identična i označena je sa x_1 . Ploče kondenzatora C_2 , C_3 i C_0 pošto se nalaze jedan ispod drugog takođe su iste širine i označena je sa x_0 . Na osnovu analize ovog dela senzora napravljena je i električna šema koja je prikazana na slici 4.



Slika 4. Električna šema dela senzora bez dielektričnog štapića.

Na osnovu električne šeme prikazanoj na slici 4. moguće je izračunati i ukupnu ekvivalentnu kapacitivnost C_{ea} ovog dela senzora:

$$C_{ea} = C_1 + \frac{C_2 C_3 C_0}{C_0 C_3 + C_2 C_3 + C_2 C_0} + C_4, \quad (1)$$

gde je

$$C_1 = C_4 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{x_1 l_0}{d}, \quad (2)$$

$$C_2 = C_3 = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{x_0 l_0}{d_1}, \quad (3)$$

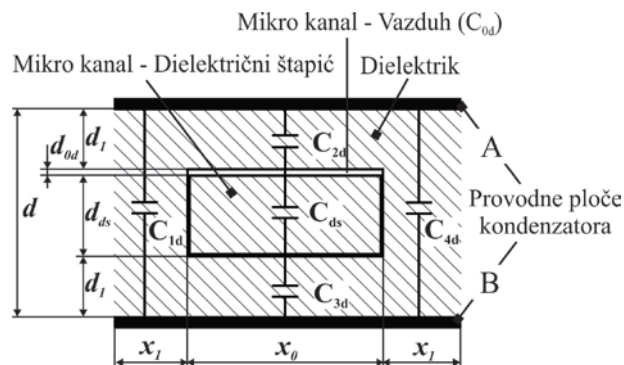
i kapacitivnost kanala ispunjenog vazduhom

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{x_0 l_0}{d_0}. \quad (4)$$

Ubacivanjem jednačina za pojedinačne kapacitivnosti (2) – (4) u jednačinu (1) dobija se izraz (5) za ukupnu kapacitivnost C_{ea} dela senzora ispunjenog vazduhom

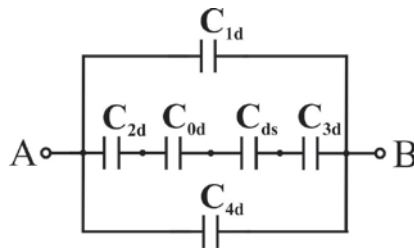
$$C_{ea} = \epsilon_0 \epsilon_r l_0 \left(\frac{2x_1}{d} + \frac{x_0}{2d_1 + d_0 \epsilon_r} \right). \quad (5)$$

Drugi deo senzora za analizu jeste deo u kome je mikro-kanal (dužine l) ispunjen dielektričnim štapićem. Poprečni presek ovog dela senzora prikazan je na slici 5.



Slika 5. Poprečni presek senzora u delu ispunjenim dielektričnim štapićem (pogled sa strane).

Slično kao i kod analize prvog dela kondenzatori C_{1d} i C_{4d} su kondenzatori između provodnih ploča senzora dok su kondenzatori C_{2d} i C_{3d} kondenzatori između provodne ploče i mikro-kanala (iznad i ispod mikro-kanala, respektivno). Kondenzatori koji predstavljaju oblast mikro-kanala u ovom slučaju su C_{0d} i C_{ds} . C_{0d} predstavlja kapacitivnost malog vazdušnog procepa u gornjem delu kanala koji nastaje usled činjenice da pokretni dielektrični štapić mora biti malo manji po dimenzijama od dimenzija mikro kanala kako ne bi došlo do velikog trenja. Ova kapacitivnost se mora uzeti u obzir kako ne bi došlo do greške prilikom proračuna ukupne kapacitivnosti senzora. Kapacitivnost C_{ds} predstavlja preostali deo kanala po visini koji ispunjava dielektrični štapić. Oznake d , d_1 , x_1 , i x na slici 5 imaju isto značenje kao i oznake na slici 3 dok je sa d_{0d} označena visina dela sa malim vazdušnim procepom u mikro-kanalu a sa d_{ds} je označena visina dielektričnog štapića koji se nalazi u kanalu. Uočeni kondenzatori na ovom delu senzora takođe su povezani u električnu šemu i ona je prikazana na slici 6.



Slika 6. Električna šema dela senzora bez dielektričnog štapića.

Na osnovu električne šeme ukupna ekvivalentna kapacitivnost C_{eds} dela senzora u kojem se nalazi dielektrični štapić može se izračunati preko sledeće jednačine:

$$C_{eds} = \frac{C_{2d}C_{0d}C_{ds}C_{3d}}{C_{0d}C_{ds}C_{3d} + C_{2d}C_{ds}C_{3d} + C_{2d}C_{0d}C_{3d} + C_{2d}C_{0d}C_{ds}} + C_{1d} + C_{4d}, \quad (6)$$

gde je

$$C_{1d} = C_{4d} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{x_1 l}{d}, \quad (7)$$

$$C_{2d} = C_{3d} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{x_0 l}{d_1}, \quad (8)$$

$$C_{0d} = \epsilon_0 \frac{x_0 l}{d_{0d}}, \quad (9)$$

i kapacitivnost dela kanala u kome se nalazi dielektrični štapić je data sa

$$C_{ds} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{x_0 l}{d_{ds}}. \quad (10)$$

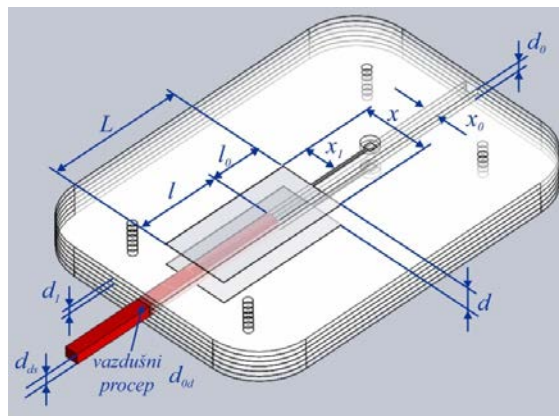
Ubacivanjem jednačina za pojedinačne kapacitivnosti (7) – (10) u jednačinu (6) dobija se izraz (11) za ukupnu kapacitivnost C_{eds} dela senzora ispunjenog vazduhom

$$C_{eds} = \epsilon_r l \left(\frac{\epsilon_{rs} x_0}{2\epsilon_{rs} d_1 + \epsilon_{rs} \epsilon_r d_{0d} + \epsilon_r d_{ds}} + 2\epsilon_0 \frac{x_1}{d} \right). \quad (11)$$

Pošto se oba analizirana dela nalaze između istih provodnih ploča senzora može se smatrati da su ekvivalente kapacitivnosti C_{ea} i C_{eds} vezane paralelno odnosno da se ukupna ekvivalentna kapacitivnost senzora može dati pomoću sledeće jednačine:

$$C_t = C_{ea} + C_{eds}. \quad (12)$$

Ako se posmatraju jednačine (2) – (4) koje predstavljaju pojedinačne kapacitivnosti u delu koji je ispunjen vazduhom i jednačine (7) – (10) koje predstavljaju kapacitivnost dela u kome se nalazi pomični dielektrični štapić može se zaključiti da preko dužina l i l_0 ukupna kapacitivnost senzora C_t u svakom trenutku zavisi od položaja dielektričnog štapića u mikro-kanalu te da je na taj način moguće definisati vezu između promene položaja i kapacitivnosti. Na slici 7 predstavljen je i 3D model sastavljenog senzora sa označenim geometrijskim parametrima.

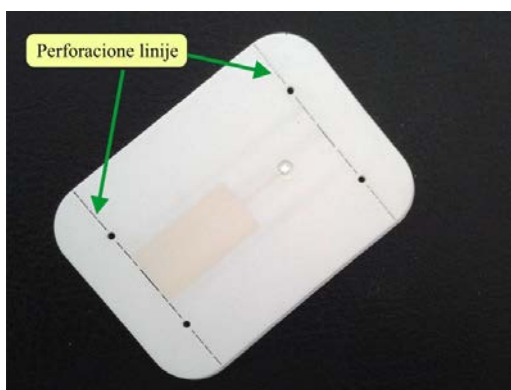


Slika 7. 3D model kapacitivnog senzora pomeraja sa označenim geometrijskim parametrima

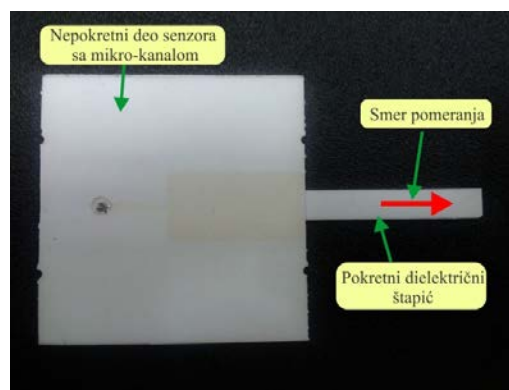
Eksperimentalna karakterizacija i rezultati merenja

Eksperimentalna merenja multifunkcijskog senzora za slučaj njegove primene kao senzor pomeraja su vršena tako što je nepokretni deo senzora pomeraja fiksiran u za podlogu a dielektrični štapić je pomezan unutar mikro-kanala. Pomeranje dielektričnog štapića odnosno njegov položaj u odnosu na ivicu senzora mereno je preciznim, digitalnim kljunastim merilom Kern IP54 (osetljivost: 0,01 mm, preciznost: DIN862). Merenja kapacitivnosti vršeno je uz pomoć analizatora impedanse HP 4194A. Na osnovu prethodno izvršenih simulacija izrađena je prototip multifunkcijskog senzora sa širinom kanala od 5 mm.

U dizajnu senzora predviđene su i perforacije na svim slojevima dielektričnih traka što omogućava da se nakon sinterovanja smanje dimenzije senzora odnosno da se na mestu početka mikro-kanala nalaze i počeci ploča kondenzatora, slika 8 a).



a)



b)

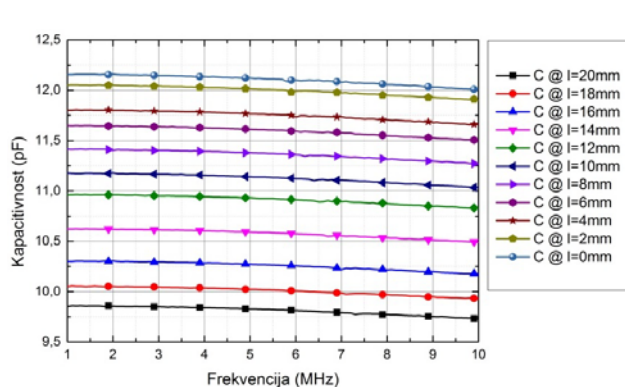
Slika 8. Perforacione linije na drugom fabrikovanom prototipu a) i izgled multi funkcijskog prototipa kapacitivnog senzora kao senzora pomeraja b).

Za prototip multifunkcijskog kapacitivnog senzora sa funkcijom detekcije pomeraja korišćena je merna postavka prikazana na slici 9.

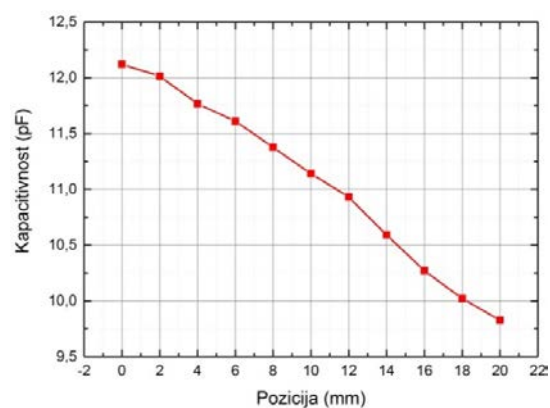


Slika 9. Merna postavka za karakterizaciju multifunkcijskog kapacitivnog senzora kao senzora pomeraja.

Prvi korak u karakterizaciji ovog prototipa senzora bilo je merenje kapacitivnosti u frekvencijskom opsegu od 1 MHz do 40 MHz. Rezultati dobijeni za pomeraje od 2 mm prikazani su na slici 10 a). Kao što se sa grafika može videti za svaki pomeraj štapića može se jasno detektovati promena kapacitivnosti senzora za oko pola pikofarada. Kako bi se realnije mogla proceniti karakteristika samog senzora određena je međusobna veza kapacitivnosti senzora i položaja štapića u mikrokanalu na sredini mernog frekvencijskog opsega (5 MHz), slika 10 b). Kao što je i očekivano i ovaj prototip senzora ima približno linearnu karakteristiku.



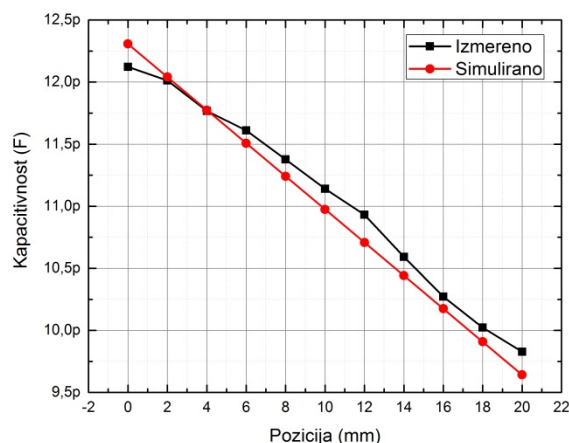
a)



b)

Slika 10. Kapacitivnost senzora za različite položaje u zavisnosti od frekvencije – korak pomeranja 2 mm a) i zavisnost kapacitivnosti senzora od položaja dielektričnog štapića – korak 2 mm b.)

Kako bi se dodatno potvrdila ispravnost teorijskog modela odnosno razvijenog programskog alata za oba modela senzora urađeno je poređenje izmerenih i simuliranih karakteristika, slika 11.



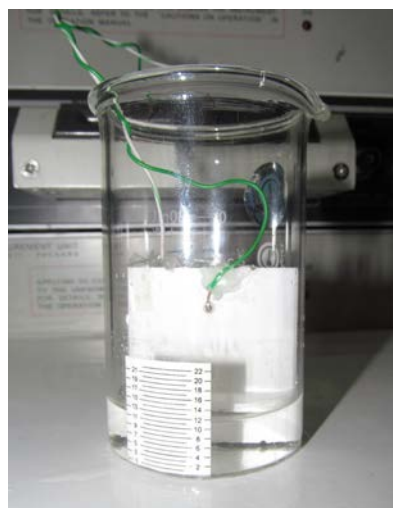
Slika 11. Poređenje izmerenih i simuliranih karakteristika multifunkcijskog kapacitivnog senzora kao senzora pomeraja.

Kao što se može videti sa slike 11 za ovu primenu prototipa senzora se dobijaju dobra poklapanja između simuliranih i izmerenih rezultata. Mala odstupanja između izmerenih i simuliranih rezultata koja se na graficima mogu videti mogu se objasniti nemogućnošću da se napravi idealno ravan mikro-kanal odnosno pokretni štapić kao što je uzeto prilikom simulacije.

Druga moguća primena multifunkcijskog senzora je određivanje nivoa tečnosti. Što je već rečeno teorijski model je identičan kao i kod funkcije detekcije pomeraja ali u ovom slučaju umesto dielektričnog štapića u mikro-kanalu se nalazi tečnost čija se količina u mikro-kanalu menja. Ukoliko se senzor postavi normalno na podlogu u sudu u kome se nivo tečnosti menja prilikom promene nivoa doći će i do promene visine tečnosti u mikro kanalu što će izazvati promenu kapacitivnosti senzora. Merna postavka za ovu primenu multifunkcijskog kapacitivnog senzora prikazana je na slici 12. i podrazumeva sud u kome se kontrolisano menja nivo tečnosti (destilovanu vodu) i analizator impedanse HP4194A za merenje kapacitivnosti. Na posudi sa tečnošću postavljena je i milimetarska skala kako bi se mogao precizno odrediti nivo tečnosti u sudu (slika 12 b). Iako je dužina elektroda kondenzatora u senzoru 20 mm zbog lošeg naleganja donje ivice senzora detekcija nivoa tečnosti se vršila samo u središnjem delu elektroda i to pet koraka sa porastom nivoa tečnosti od 2 mm po koraku.



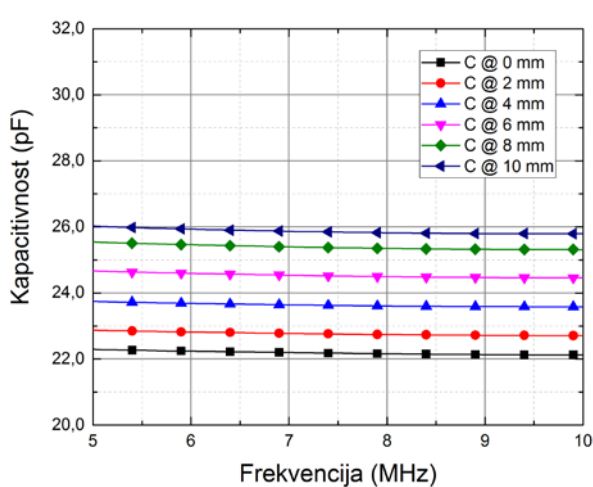
a)



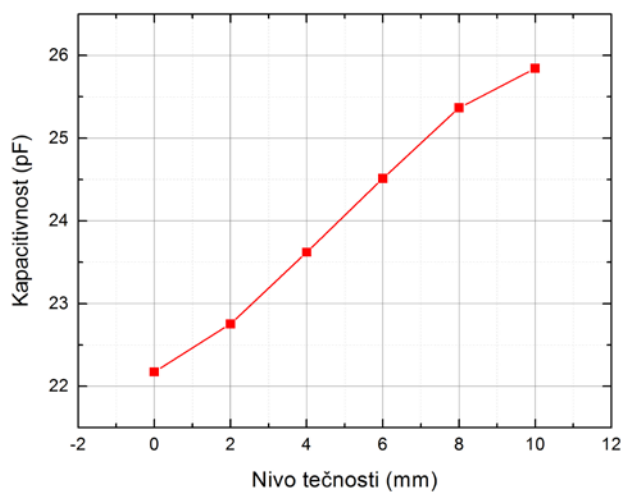
b)

Slika 12. Merna postavka za karakterizaciju multifunkcijskog kapacitivnog senzora kao senzora nivoa tečnosti a) i uvećani detalj postavke b).

Na slici 13 a) prikazani su rezultati merenja u frekventijskom opsegu od 5 MHz do 10 MHz i može se jasno uočiti trend porasta kapacitivnosti sa povećanjem nivoa tečnosti u posudi. Da bi se bolje uočio trend porasta kapacitivnosti sa porastom nivoa tečnosti na slici 13 b) data je zavisnost kapacitivnosti od nivo tečnosti. Može se videti da je karakteristika senzora približno linerana kao i da je promena kapacitivnosti približno 1 pF za korak porasta nivoa od 2 mm.



a)

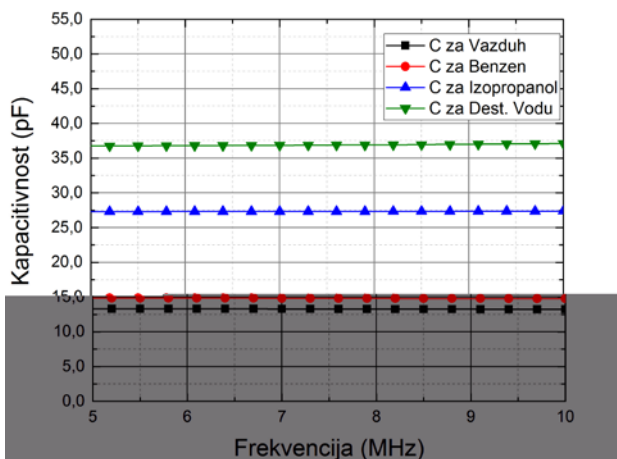


b)

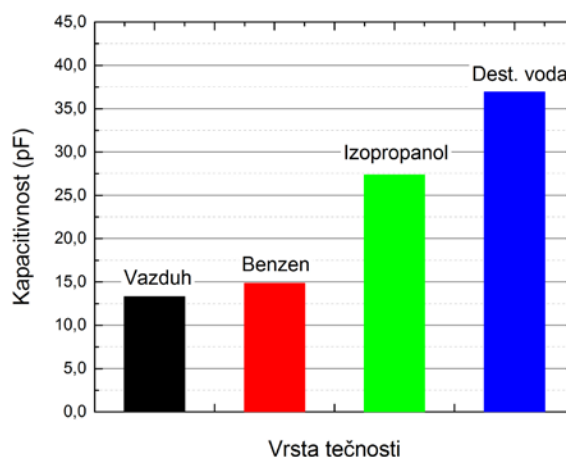
Slika 13. Kapacitivnost senzora za različite nivoe tečnosti u zavisnosti od frekvencije – korak pomeranja 2 mm a) i zavisnost kapacitivnosti senzora od nivoa tečnosti – korak 2 mm b.)

Treća moguća primena multifunkcijsog senzora je određivanje vrste tečnosti. I pri ovoj primeni, kao što je prethodno napomenuto, važi isti teorijski model ali smatra se da je kanal u potpunosti ispunjen tečnošću koja se određuje. Usled činjenice da različite tečnosti imaju različitu permitivnost promenom vrste tečnosti u mikro-kanalu menja se i kapacitivnost senzora.

Za eksperimentalnu karakterizaciju korišćena je ista merna postavka kao i prilikom određivanja nivoa tečnosti ali je u ovom slučaju nivo tečnosti bio iznad visine elektrode tako da se mikro-kanal u potpunosti ispuni ispitivanom tečnošću. Merenja su vršena u istom frekventijskom opsegu sa sledećim tečnostima: benzen (permitivnost ~ 2,3), izopropanol (permitivnost ~ 18,3) i



a)



b)

Slika 14. Kapacitivnost senzora za različite tečnosti u zavisnosti od frekvencije a) i zavisnost kapacitivnosti senzora od vrste tečnosti b.)

destilovana voda (permitivnost ~ 80) [vrednosti za permitivnost preuzete sa <http://www.deltacnt.com/99-00032.htm>]. Dobijeni eksperimentalni rezultati prikazani su na slici 14 a). Radi lakšeg uočavanja promene kapacitivnosti u zavisnosti od vrste tečnosti u mikro-kanalu dat je i grafika na slici 14 b). Sa slike 14 b) može se videti da u poređenju sa kapacitivnošću senzora kada je kanal prazan (ispunjen vazduhom) najmanja promena je za benzen a najveća za destilovanu vodu što je direktno povezano sa permitivnošću primenjene tečnosti.

Mogućnosti predstavljenog tehničkog rešenja

U ovom tehničkom rešenju je prikazano projektovanje i karakterizacija prototipa kapacitivnog multifunkcijskog kapacitivnog senzora izrađenog u LTCC tehnologiji. Multifunkcijski senzor pomeraja se sastoji od dva dela: nepokretnog dela na kom je relizovan kondenzator između čijih elektroda je smešten mikro-kanal i drugog dela koji čini dielektrični materijal (u tečnom ili čvrstom agregatnom stanju) koji ispunjava mikro kanal. Nepokretni deo senzora se sastoji iz šest slojeva dielektrične LTCC trake. Senzor je projektovan tako da su gornja tri sloja identična sa donja tri sloja sa izuzetkom traka na kojima su nanesele elektrode kondenzatora. Ova simetrija omogućava ubrzavanje procesa izrade.

Prikazano je da je sa jednom strukturom moguće izvršiti tri funkcije senzora: detekcija pomeraja, detekcija nivoa tečnosti i detekcija vrste tečnosti. Pomeraj je moguće odrediti uz pomoć dielektričnog štapića u mikro-kanalu. Teorijski i eksperimentalni su pokazali da se za pomeraje od 2 mm dobija promena kapacitivnosti od oko pola pikofarada. Za primenu senzora u funkciji senzora za detekciju nivoa tečnosti vršena su ispitivanja sa promenom nivoa tečnosti (destilovane vode) sa promenom nivoa od 2 mm i detektovana je promena kapacitivnosti od približno jedan pikofarad. Kada je senzor primenjen kao senzor za detekciju tečnosti dobijen je očekivan porast kapacitivnosti u zavisnosti od permitivnosti primenjene tečnosti.

Ova konfiguracija multifunkcijskog kapacitivnog senzora omogućava da se na mestima gde je ograničen prostor za ugradnju senzora ugradi jedan senzor koji može da detektuje tri fizičke promene.

Prototip Multifunkcijski kapacitivni senzor je razvijen na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu i Institutu za senzorske i aktuatorne sisteme u Beču, Austrija u okviru tekućeg tehnološkog projekta br. TR-32016 kod Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Štampano –2015.



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

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

ИНТЕГРИСАНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: _____

Ваш број: _____

Датум: 2015-11-26

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 1. редовној седници одржаној дана 01.10.2015. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 12.2.10: У циљу верификације новог техничког решења предлажу се рецензенти:

- Др Дана Васиљевић-Радовић, Институт за хемију, технологију и металургију - ИХТМ, Београд
- Др Обрад Алексић, Институт за мултидисциплинарна истраживања, Београд

МУЛТИФУНКЦИЈСКИ КАПАЦИТИВНИ СЕНЗОР

Аутори: Нелу Блаж, Андреа Марић, Љиљана Живанов, Горан Радосављевић

-непотребно изостављено-

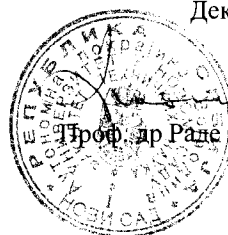
Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Декан



Проф. др Раде Дорословачки

RECENZIJIA PREDLOŽENOG TEHNIČKOG REŠENJA

Predmet: Mišljenje o ispunjenosti kriterijuma
za pisanje tehničkog rešenja

Prototip:

Multifunkcijski kapacitivni senzor

Broj projekta: TR 32016

Rukovodilac projekta: prof. dr Ljiljana Živanov

Odgovorno lice: Nelu Blaž

Autori: Nelu Blaž, Andrea Marić, Ljiljana Živanov,
Fakultet tehničkih nauka (FTN), Novi Sad;
Goran Radosavljević,
Institut za senzorske i aktuatorске sisteme, Beč, Austrija

Razvijeno: u okviru projekta tehnološkog razvoja TR 32016

Godina: 2015

Primena: 01.11.2015.

Realizatori: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Korisnici: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Institut za senzorske i aktuatorске sisteme, Beč, Austrija.

Podtip rešenja: M 85 – Prototip.

Obrazloženje

Postoje mnoge oblasti u kojima je primena jednog senzora za više funkcija (detektovanje više fizičkih veličina/osobina) od interesa npr. u medicini, industriji, robotici.

U ovom tehničkom rešenju opisana je detaljna realizacija prototipa multifunkcijskog kapacitivnog senzora u LTCC (Low Temperature Co-Fired Ceramic) tehnologiji koji može da meri pomeraj, nivo i vrstu tečnosti. Novina se ogleda u prvom prototipu ovakve vrste senzora koji je upotpunosti izrađen u LTCC tehnologiji. Izrada senzora u ovoj tehnologiji omogućava njegovu primenu u otežanim uslovima rada kao što su visoke temperature, povećana vlažnost i sl, kao i u uslovima gde je ograničeno mesto za postavljanje više senzora. Za prototip multifunkcijskog kapacitivnog senzora je razvijen teorijski model.

U tehničkom rešenju prikazan je izgled prototipa multifunkcijskog kapacitivnog senzora fabrikovanog u LTCC tehnologiji.

Dobijeni prototip multifunkcijskog kapacitivnog senzora je okarakterisan sa analizatorom impedanse HP4194A. Postupak karakterizacije je sproveden za sve tri funkcije multifunkcijskog senzora i dobijeni eksperimentalni rezultati su jasno prikazani i obrazloženi. Iz dobijenih eksperimentalnih rezultata za svaku funkciju data je adekvatna karakteristika senzora.

Karakteristika multifunkcijskog kapacitivnog senzora za funkciju detekcije pomeraja, dobijena iz eksperimentalnih rezultata, je u saglasnosti sa karakteristikom senzora dobijene pomoću razvijenog teorijskog modela čime je potvrđena i validnost razvijenog teorijskog modela.

Novi prototip Multifunkcijskog kapacitivnog senzora razvijen je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, u okviru tekućeg projekta br. TR32016 kod Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

U Beogradu,

04.11.2015.

Recenzent:



dr Dana Vasiljević-Radović

Institut za hemiju, tehnologiju i
metalurgiju - IHTM, Beograd

RECENZIJA PREDLOŽENOG TEHNIČKOG REŠENJA

Predmet: Mišljenje o ispunjenosti kriterijuma
za pisanje tehničkog rešenja

Prototip:

Multifunkcijski kapacitivni senzor

Broj projekta: TR 32016

Rukovodilac projekta: prof. dr Ljiljana Živanov

Odgovorno lice: Nelu Blaž

Autori: Nelu Blaž, Andrea Marić, Ljiljana Živanov,
Fakultet tehničkih nauka (FTN), Novi Sad;
Goran Radosavljević,
Institut za senzorske i aktuatorске sisteme (ISAS), Beč, Austrija

Razvijeno: u okviru projekta tehnološkog razvoja TR 32016

Godina: 2015

Primena: 01.11.2015.

Realizatori: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Korisnici: Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Institut za senzorske i aktuatorске sisteme, Beč, Austrija.

Podtip rešenja: M85 – Prototip.

Obrazloženje

U ovom tehničkom rešenju opisana je detaljna realizacija prototipa multifunkcijskog kapacitivnog senzora u LTCC (Low Temperature Co-Fired Ceramic) tehnologiji. Prototip je zasnovan na pločastom kondenzatoru između čijih elektroda se nalazi mikro-kanal. Prilikom promene permitivnosti unutar kanala (pomeranjem dielektričnog štapića, promenom nivoa tečnosti ili promenom vrste tečnosti) dolazi do promene ukupne kapacitivnosti multifunkcijskog kapacitivnog senzora. Za dati prototip razvijen je teorijski model i izvedene su jednačine za određivanje kapacitivnosti senzora u odnosu na ukupnu permitivnost materijala u mikro-kanalu.

Prototip senzora izrađen je u LTCC tehnologiji. U tehničkom rešenju prikazan je 3D model u kojem su predstavljeni svi slojevi potrebni za realizaciju ovog senzora u prethodno pomenutoj tehnologiji. Kapacitivni multifunkcijski senzor se sastoji iz dva dela. Prvi deo je fiksirana (stacionarna) ploča na kojoj je realizovan kondenzator sa paralelnim pločama i

mikro-kanalom. Drugi deo senzora čini dielektrični materijal (u tečnom ili čvrstom agregatnom stanju) koji ispunjava mikro kanal.

Dokazno je da je sa jednom strukturom moguće izvršiti tri funkcije senzora: detekcija pomeraja, detekcija nivoa tečnosti i detekcija vrste tečnosti. Pomeraj je moguće odrediti uz pomoć dielektričnog štapića u mikro-kanalu. Teorijski i eksperimentalni rezultati su pokazali da se za pomeraje od 2 mm dobija promena kapacitivnosti od oko pola pikofarada. Za primenu senzora u funkciji senzora za detekciju nivoa tečnosti vršena su ispitivanja sa promenom nivoa tečnosti (destilovane vode) sa promenom nivoa od 2 mm i detektovana je promena kapacitivnosti od približno jedan pikofarad. Kada je senzor primenjen kao senzor za detekciju tečnosti dobijen je očekivan porast kapacitivnosti u zavisnosti od permitivnosti primenjene tečnosti.

Prikazana konfiguracija multifunkcijskog kapacitivnog senzora omogućava da se na mestima gde je ograničen prostor za ugradnju senzora ugradi jedan senzor koji može da detektuje tri fizičke promene. Druga dobra osobina ovog senzora je njegova robusnost odnosno mogućnost primene u otežanim uslovima rada (povećana temperatura, vlaga i sl.).

Novi prototip Multifunkcijski kapacitivni senzor razvijen je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, u okviru tekućeg projekta br. TR32016 kod Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

**U Novom Sadu,
06.11.2015.**

Recenzent:



Dr Obrad Aleksić

Institut za multidisciplinarna
istraživanja, Beograd



УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

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

ИНТЕГРИСНИ
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2015-11-26

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научно веће Факултета техничких наука у Новом Саду, на 5. редовној седници одржаној дана 25.11.2015. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

ТАЧКА 17. Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње

Тачка 17.2.: На основу позитивног извештаја рецензената верификује се техничко решење под називом:

17.2.10. Назив техничког решења:

МУЛТИФУНКЦИЈСКИ КАПАЦИТИВНИ СЕНЗОР

Аутори: Нелу Блаж, Андреа Марић, Љиљана Живанов, Горан Радосављевић

-непотребно изостављено-

Записник водила:

Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар

Иван Нешковић, дипл. правник

Декан

Проф. др Раде Дорословачки