

Zveza za tehnično kulturo Slovenije
59. srečanje mladih raziskovalcev SLOVENIJE 2025

Izboljšano merjenje majhnih kapacitivnosti

Raziskovalno področje ZOTKS: **elektrotehnika, elektronika in**
robotika

Avtor: Emanuel Pintar
Mentor: Branko Potisk
Somentor: Mladen Pintar
Srednja šola: Srednja elektro-računalniška šola Maribor

Maribor, 2025

VSEBINA

Vsebina.....	I
Kazalo slik:.....	II
Kazalo tabel:.....	II
Povzetek:	1
Zahvala:.....	2
1 Uvod:.....	3
1.1. Cilj	3
1.2. Raziskovalno vprašanje	3
1.3. Hipotezi	3
2 Metodologija dela:	3
3 raziskovanje principa delovanja kapacitivnih senzorjev.....	4
4 raziskava patenta našega mentorja številka 22178	5
5 izdelava lastnega senzorja za majhne kapacitivnosti:	9
5.1. Matematična idejna rešitev izboljšave.....	9
5.2. Idejna shema vezave elektronike za idejo rezanja časa.....	11
5.3. Načrtovanje senzorja meritve majhne kapacitivnosti	13
5.3.1. Izbira mikrokrmilnika	13
5.3.2. Izdelava ohišja za naše senzorje:.....	16
5.4. Pisanje programa:	17
5.5. Testiranje naših različnih senzorjev z različno narisanimi kondenzatorji:.....	19
6 Rezultati naših poizkusov:	25
7 družbena odgovornost:.....	26
8 zaključek:	27
9 viri in literatura:	28
9.1. Spletni viri:	28
9.2. Knjižni viri:.....	28

KAZALO SLIK:

Slika 1: Primer kapacitivnega senzorja	4
Slika 2: Shema za vezje kapacitivnega senzorja	5
Slika 3: Shema elektronskih komponent.....	7
Slika 4: Shema povezave vseh komponent	8
Slika 5 Meritev časa polnjenja merilnega kondenzatorja.....	9
Slika 6 Ideja rezanja časa polnjenja	10
Slika 7: Idejna shema elektronike za meritev majhne kapacitivnosti	11
Slika 8: Časovni potek signalov PWM1 in PWM2.....	12
Slika 9: Konfiguracija mikrokrmilnika STM32G030J6T6	13
Slika 10: Prvi izgled narisan tiskanine	14
Slika 11: Tiskano vezje enega senzorja.....	14
Slika 12: Tiskano vezje sestavljeno iz vseh štirih različnih senzorjev.....	15
Slika 13: Tiskano vezje s položenimi komponentami.....	15
Slika 14: Spodnja stran tiskanega vezja	16
Slika 15: Izgled ohišja narisane v Fusion360	16
Slika 16: Senzor v ohišju.....	17
Slika 17: IAR EW ARM. Izgled program za naš mikrokrmilnik.....	18
Slika 18: Senzor 1 Slika 19: Senzor 2	19
Slika 20: Senzor 3 Slika 21: Senzor 4	19
Slika 22: Senzor nalepljen na pleksi steklo in plastiko za poizkus zaznavanja roke	20
Slika 23: Poizkus zaznavanja vode v plastenki Slika 24: Poizkus zaznavanja vode v plastenki	21
Slika 25: poizkus zaznavanje vode v plastenki skozi les	22
Slika 26: Poizkus zaznavanja vode v plastenki skozi les	22
Slika 27: Senzor v ohišju.....	23
Slika 28: Poizkus zaznavanja vode v posodi.....	23
Slika 29: Poizkus zaznavanja vode v posodi.....	24
Slika 30: Oblika polja za zaznavanje kapacitivnosti pri senzorju številka 3	25

KAZALO TABEL:

Tabela 1: Poizkus 1	19
Tabela 2: Poizkus 2	20
Tabela 3: Poizkus 3	21
Tabela 4: Poizkus 4	22

POVZETEK:

V raziskovalni nalogi spoznavamo kako deluje kapacitivni senzor. Za osnovo smo vzeli patentirano metodo merjenja majhnih kapacitivnosti ter izboljšali merilno občutljivost. Že sama metoda merjenja opisana v patentu je do 200 krat hitrejša od najhitrejših že obstoječih merjenj majhnih kapacitivnosti in z enako občutljivostjo meritve. Prišli smo na idejo kako bistveno povečati občutljivost, tudi to nekajkrat pri isti hitrosti meritve. Ideja je podobna ideji Krištofa Kolumba in kako je postavil jajce (Kolumbovo jajce). Mi smo do nekajkrat povečali občutljivost meritve pri obstoječi metodi z preprostim matematičnim in elektrotehničnim trikom. Predstavljajte si, da merite napetost z volt metrom. Vemo, da je v tretji tretjini volt meter najbolj točen. Sedaj pa bi izvedli trik in zadnjo tretjino merjenja povečali na nekaj krat. Na primer, 300V in 300 razdelkov (1 razdelek/V), nato trik in v zadnji tretjini 500 razdelkov od 200V do 300V (5 razdelkov/V). Pri tem smo še raziskali različna kapacitivna polja in ugotovili vpliv na občutljivost. Dosegli smo neverjetno občutljivost tudi do 30mm in prekosili konkurenco. Naš senzor zazna tekočino tudi preko 20mm debelega lesa in še skozi 3mm debele plastike. Uspelo nam je in zelo smo zadovoljni. Zavedamo se, da ni navedene literature saj je samo patent literatura in naša ideja izboljšave.

Ključne besede: kapacitivni senzor, občutljivost, senzor meritve majhne kapacitivnosti, mikrokrmilnik, izdelava tiskanega vezja.

ZAHVALA:

Zahvalil bi se obema mentorjema za opravljanje mentorskega dela in vse pomoči, ki sta mi ju nudila. Predvsem pri oblikovanju raziskovalne naloge saj sem vedel matematično kako bi razširil področje merjenja in kaj želim izdelati. Nisem pa vedel kako bi to predstavil v raziskovalni nalogi in vse skupaj tudi zapisal.

1 UVOD:

1.1. Cilj

Cilj raziskovalne naloge je spoznati princip delovanja kapacitivnih senzorjev in jih izboljšati in jim izboljšati področje uporabe. Izvedeli smo tudi, da je naš mentor na tem področju že dosti delal saj nam je povedal, da ima iz tega področja tudi patent merjenja majhnih kapacitivnosti. Patent je zasnovan tako, da lahko merimo majhno kapacitivnost z enostavnimi mikrokrmilnikom in enim komparatorjem (primerjalno vezje), ki je zunaj ali v mikrokrmilniku. Ta metoda iz patenta je že v osnovi do 200 krat hitrejša od obstoječih meritev majhnih kapacitivnosti pri isti občutljivosti. Meritev iz patenta lahko izmeri kapacitivnost nekaj pF (piko faradov) v le pičlih nekaj mikro sekundah (npr. 4us, mikro sekundah) ter ima isto občutljivost kot kapacitivni senzorji z meritvijo nekaj ms (mili sekund). Ideja je izboljšati občutljivost do nekajkrat pri isti hitrosti meritve. Naš cilj je izboljšati njegov patent, saj smo dobili idejo kako bi ta patent še izboljšali, da bi deloval na daljše razdalje oziroma čez debelejša materiale zaznaval spremembo kapacitivnosti.

1.2. Raziskovalno vprašanje

Ali lahko sami izdelamo izdelek, ki bo deloval boljše kot že obstoječi in s tem izboljšamo že obstoječi patent in mu tako razširimo področje uporabe?

1.3. Hipotezi

Prva hipoteza je, da bo končni izdelek izboljššan in bo imel večjo občutljivost ter bo zaznaval spremembo majhne kapacitivnosti čez debelejša dielektrične materiale od 15mm.

Druga hipoteza je senzorju izboljšati področje uporabe, da ga bomo lahko uporabil v več drugih aplikacijah kjer je potrebno zaznavanje majhne spremembe kapacitivnosti. Takšen senzor bi lahko uporabili npr. za meritev nivoja vode čez 15mm debelo steno plastike ali pa zaznamo prisotnost roke preko debelega plastičnega materiala.

Tretja hipoteza je uporabiti senzor za merjenje nivoja tekočine preko 15mm debele poliestrske stene z steklenimi ali polikarbonat vlakni ter če je le mogoče preko 15mm debele stene ali več iz lesa.

2 METODOLOGIJA DELA:

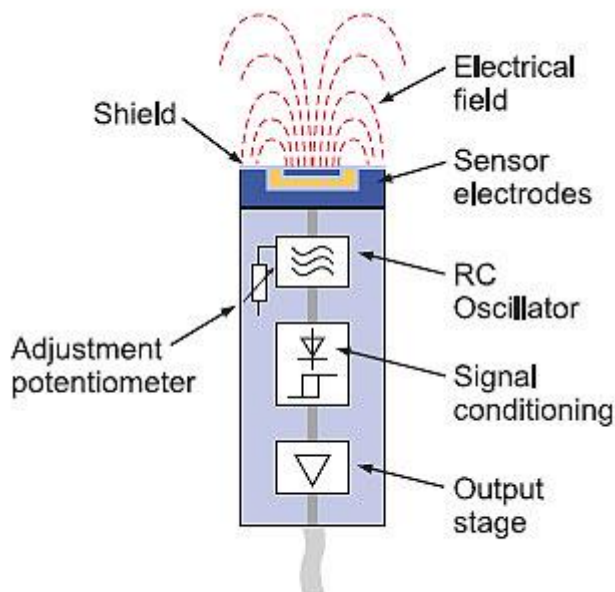
V tem poglavju bomo predstavili potek dela raziskovalne naloge. Začeli smo z raziskovanjem že obstoječih kapacitivnih senzorjev in njihovega principa delovanja. Nato smo se o tem posvetovali tudi z našim mentorjem, ki nam je predstavil svoj patent in smo raziskali tudi tega. Potem smo prišli na idejo, da bi njegov patent lahko še izboljšali in smo začeli z izdelavo svoje elektronike za kapacitivne senzorje nato pa smo se lotili meritev, da bi preizkusili ali je naša elektronika res boljša od že obstoječega patenta. Naredili smo tudi ohišje, v katerega smo namestili našo elektroniko kapacitivnega senzorja.

3 RAZISKOVANJE PRINCIPA DELOVANJA KAPACITIVNIH SENZORJEV

V elektroniki pod pojmom kapacitivnega zaznavanja štejemo vse elemente, ki lahko zaznavajo oz. izmerijo kapacitivnost oz. spremembo kapacitivnosti snovi, ki so prevodna ali imajo dielektrično konstanto, ki se razlikuje od zraka. Poznamo kapacitivne senzorje bližine, tlaka, položaja, premika, sile, vlažnosti, nivoja tekočin in pospeška. Poznamo tudi mobilne telefone in tablične računalnike, ki uporabljajo zaslone na dotik, ki temeljijo na kapacitivnem zaznavanju. Kapacitivni zaslon na dotik je običajno sestavljen iz kapacitivnega senzorja na dotik skupaj z mikrokrmilnikom. Kapacitivno zaznavanje se običajno uporablja za mobilne zaslone z večkratnim dotikom, ki jih je leta 2007 populariziral Apple.

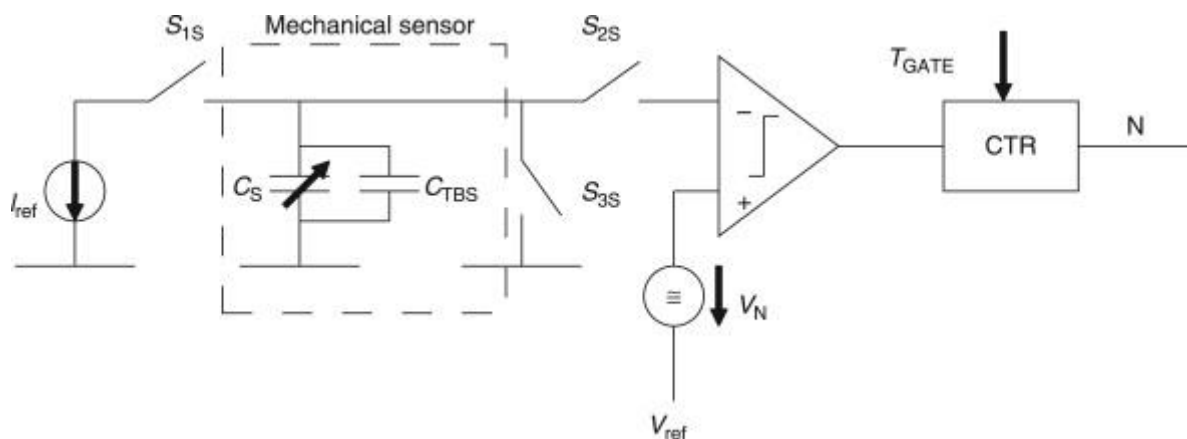
Kapacitivni senzor deluje kot preprost kondenzator. Kovinska plošča na zaznavni strani senzorja je ena plošča kondenzatorja, ki je električno povezana z notranjim oscilatorskim krogom material, ki ga zaznavamo deluje kot druga plošča kondenzatorja.

Na sliki 1 lahko vidimo primer sestave kapacitivnega senzorja, ki je sestavljen iz RC oscilatorja, izhoda, potenciometra za nastavljanje občutljivosti ter bralnika signala.



Slika 1: Primer kapacitivnega senzorja

Na sliki 2 lahko vidimo osnovno shemo za princip delovanja kapacitivnih senzorjev. Vidimo, da je uporabljen operacijski ojačevalnik ter dva kondenzatorja eden je uporabljen za referenčno vrednost na drugem pa gledamo spremembo kapacitivnosti in spremembo napetosti na njem. Določeno imamo referenčno napetost, ki jo premerjamo s tisto, ki se spreminja in ko je spremenljiva napetost večja od referenčne nam operacijski ojačevalnik na izhod, da signal.



Slika 2: Shema za vezje kapacitivnega senzorja

4 RAZISKAVA PATENTA NAŠEGA MENTORJA ŠTEVILKA 22178

Ko smo končali z raziskovanjem principa delovanja kapacitivnih senzorjev smo začeli z raziskavo mentorjevega patenta številka 22178. pri tem nam je naš mentor pomagal in vse skupaj na enostaven način razložil in predstavil.

Tukaj je predstavljen opis delovanja patenta našega mentorja:

Na sliki 4 vidimo merilno vezje s tremi merilnimi vhodi. Najprej moramo izbrati kateri C_m bomo merili. To storimo tako, da pin mikrokrmilnika na želenem C_m postavimo v visoko impedanco ostale pine pa v nizki impedanco proti minus polu (V_{ss}). Sedaj pričnemo generirati impulze s pomočjo mikrokrmilnika. Ob pozitivnem impulzu se nam naš želeni C_m napolni z nabojem, hkrati pa ta impulz napetostno dvigne negativni vhod komparatorja nad napetost na pozitivnem vhodu, kar ima za posledico, da imamo na izhodu komparatorja logično 0. Sedaj pride negativni impulz, ki povzroči, da se kondenzator C_m prazni preko upora R_7 hkrati pa imamo sedaj na komparatorju U_{ref} , ki jo določata R_5 in R_8 . Tako dolgo dokler se prazni C_m do U_{ref} je na izhodu komparatorja pozitiven impulz. Če imamo dovolj hiter mikrokrmilnik lahko merimo čas tega impulza, če ne pa uporabimo še dodatni kondenzator in upor (R_6 in C_1) ter merimo koliko impulzov je potrebnih za polnjenje tega dodanega kondenzatorja (C_1). Ko smo izmerili želeni C_m le ponovimo postopek tako, da sedaj na drugem želenem C_m postavimo pin mikrokrmilnika v visoko impedanco tega, ki smo pa izmerili pa postavimo v nizki nivo.

Prednost tega načina meritve je (slika 3), da ne potrebujemo posebej izdelan mikrokrmilnik ampak lahko uporabimo klasičnega. Druga velika prednost pa je, da potrebujemo za merjenje posamezni dodanega C_m le en upor in dve diodi ter pin na mikrokrmilniku, kar nam zelo poceni vezje in še enostavnost konstrukcije ter programa.

Tukaj pa je sedaj še opis posameznih enot, ki so potrebne za delovanje tega patenta.

a) Merilna enota:

Na sliki je razvidno merilno vezje za merjenje majhne kapacitivnosti (slika 3).

Vezju merilne enote (slika 3) pripeljemo pravokotne impulze pri tem se nam ob pozitivnem impulzu naš želeni C_m napolni z nabojem, hkrati pa ta impulz napetostno dvigne negativni vhod komparatorja nad napetost na pozitivnem vhodu, kar ima za posledico, da imamo na izhodu komparatorja logično 0. Sedaj pride negativni impulz, ki povzroči, da se kondenzator C_m prazni preko upora R_7 , hkrati pa imamo sedaj na komparatorju U_{ref} , ki jo določata R_5 in R_8 . Tako dolgo dokler se prazni C_m do U_{ref} je na izhodu komparatorja pozitiven impulz. Sedaj lahko na izhodu komparatorja izmerimo čas tega pozitivnega impulza ali pa uporabimo še dodatno diodo D_4 , kondenzator C_1 in upor R_6 ter s pomočjo štetja izmerimo koliko impulzov je potrebnih za polnjenje tega dodanega RC člena (D_4, R_6 in C_1). Z modernim mikrokrmilnikom lahko izmerimo napetost na C_1 že po enem impulzu, če imamo dovolj majhen C_1 in R_6 . Po meritvi na AD pinu postavimo ta AD pin kot digitalni izhod logične 0 in s tem izpraznimo C_1 kondenzator. Nato ta pin postavimo nazaj na analogni vhod za AD in ponovimo meritev od začetka.

b) Vhodna enota

Če želimo meriti več kapacitivnih polj dodajamo le vhodne enote kot kaže slika 4. Ena vhodna enota je sestavljena le iz dveh diod in enega upora, ki so vezani zaporedno z merilnim odcepom na zgornjem delu spodnje diode. Vse enote so povezane na skupno točko pravokotni impulzi. Izbiranje s katero vhodno enoto bomo merili je zelo enostavno. Izbrani enoti mikrokrmilnik postavi merilno točko v visoko impedanco vse ostale merilne točke vhodnih enot pa postavi v nizko omsko impedanco, ki je povezana na minus napajanje (V_{ss}).

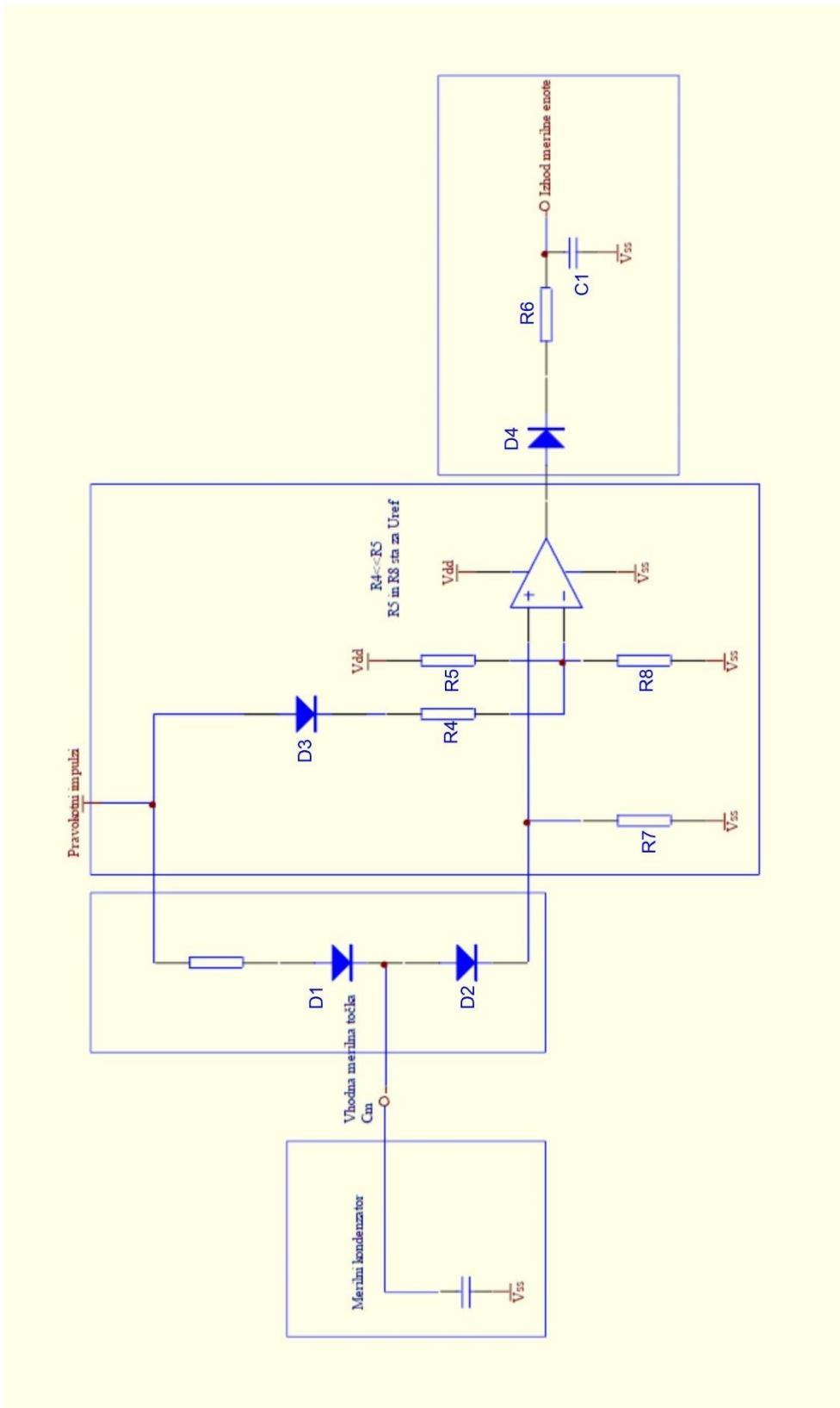
c) Krmilna enota

V našem primeru je krmilna enota običajen mikrokrmilnik kot kaže slika 4. Iz vezja na sliki je razvidno, da je ta običajen mikrokrmilnik uporabljen kot merilni mikrokrmilnik za merjenje kapacitivnih polj in kot krmilni mikrokrmilnik za krmiljenje izhodnih enot. (Velika prednost saj pri moji metodi upravlja vse en običajen mikrokrmilnik in ne dva ali več kot do sedaj – velik prihranek. Velika prednost pa je tudi ta, da lahko uporabimo le eno enojno napajanje in ne dveh enojnih kot do sedaj).

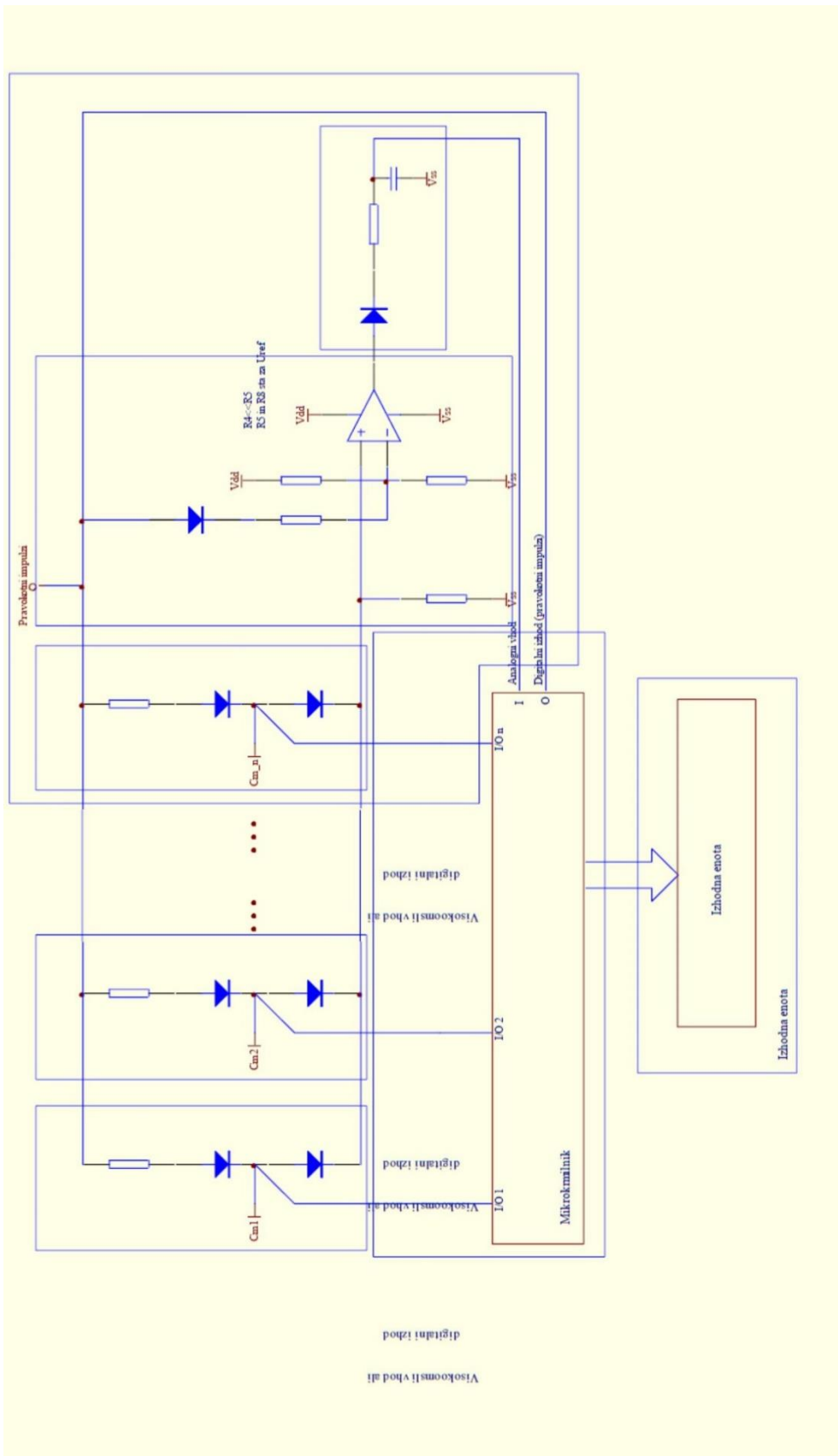
Krmilna enota v našem primeru mikrokrmilnik nam generira pravokotne impulze, hkrati izbira katero vhodno enoto bomo merili (kot je opisano v točki b) vhodne enote) ter nam šteje število impulzov potrebnih za polnjenje kondenzatorja C_1 , hkrati pa nam opravlja še krmilne posle za izhodno enoto.

e) Izhodna enota

Na sliki 4 je kompletna shema naprave. Izhodna enota, ki jo krmili naš običajen mikrokrmilnik je lahko LCD zaslon, lahko so luči krmiljene s trijakom, lahko so led diode, tipke, motor itd. Naš mikrokrmilnik upravlja izhodno enoto in nemoteno opravlja tudi vse ostale posle z merjenjem kapacitivnih polj.



Slika 3: Shema elektronskih komponent



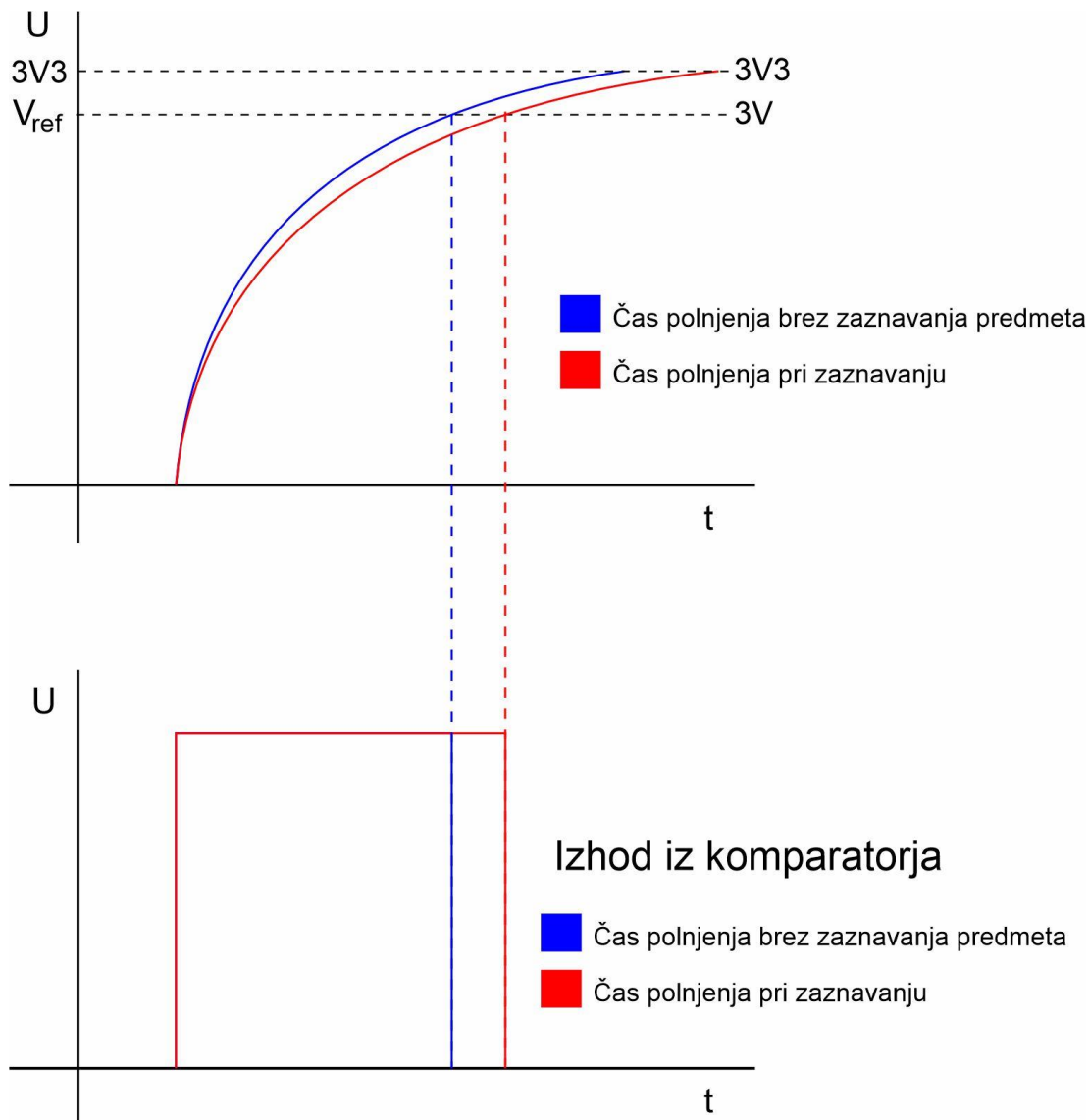
Slika 4: Shema povezave vseh komponent

5 IZDELAVA LASTNEGA SENZORJA ZA MAJHNE

KAPACITIVNOSTI:

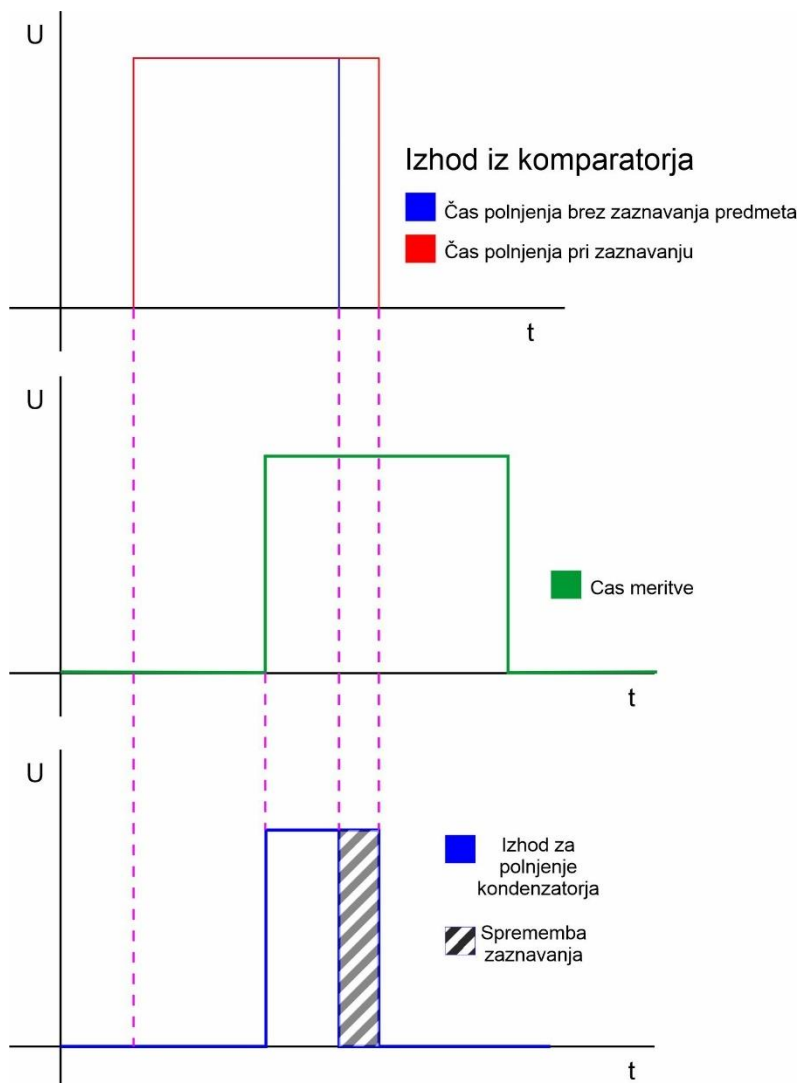
5.1. Matematična idejna rešitev izboljšave

Ko smo raziskali področje kapacitivnih senzorjev in mentorjevega patenta številka 22178, smo prišli na idejo, kako bi lahko njegov patent izboljšali. Prišli smo na idejo, da bi na podoben način merili naš merilni kondenzator vendar bi merili čas njegovega polnjenja (slika 5). Do tukaj je vse enako kot v patentu le, da merimo polnjenje kondenzatorja.



Slika 5 Meritev časa polnjenja merilnega kondenzatorja

Naša ideja izboljšave je, da bi nekako odrezali začetni čas. Kaj želimo doseči? Npr., če se naš merilni kondenzator polni 10 us, ko ni zaznavanja (npr. ni vode) in 10,1 us, ko je prisoten dielektrik (npr. voda) imamo spremembo časa 0,1us kar je 1%. Doseči želimo, da bi odrezali prvih npr. 8us sprememba pa bi ostala ista. V tem primeru bi imeli impulz dolg 2 us (10 us - 8 us = 2 us), če ni zaznavanja in 2,1 us, če je zaznavanje. To bi nam doprineslo enako spremembo 0,1 us le, da bi sedaj imeli spremembo 5%, kar je 5 krat več kot pred tem. Na sliki 6 je ideja kako bi rezali čas polnjenja. Se pravi impulz iz komparatorja bi odrezali na začetku kot bi postavili IN (AND) vrata s signalom (zeleni impulz za čas meritve), ki nam omogoča kdaj naj bo signal na izhodu (modri pravokotni signal za polnjenje kondenzatorja)

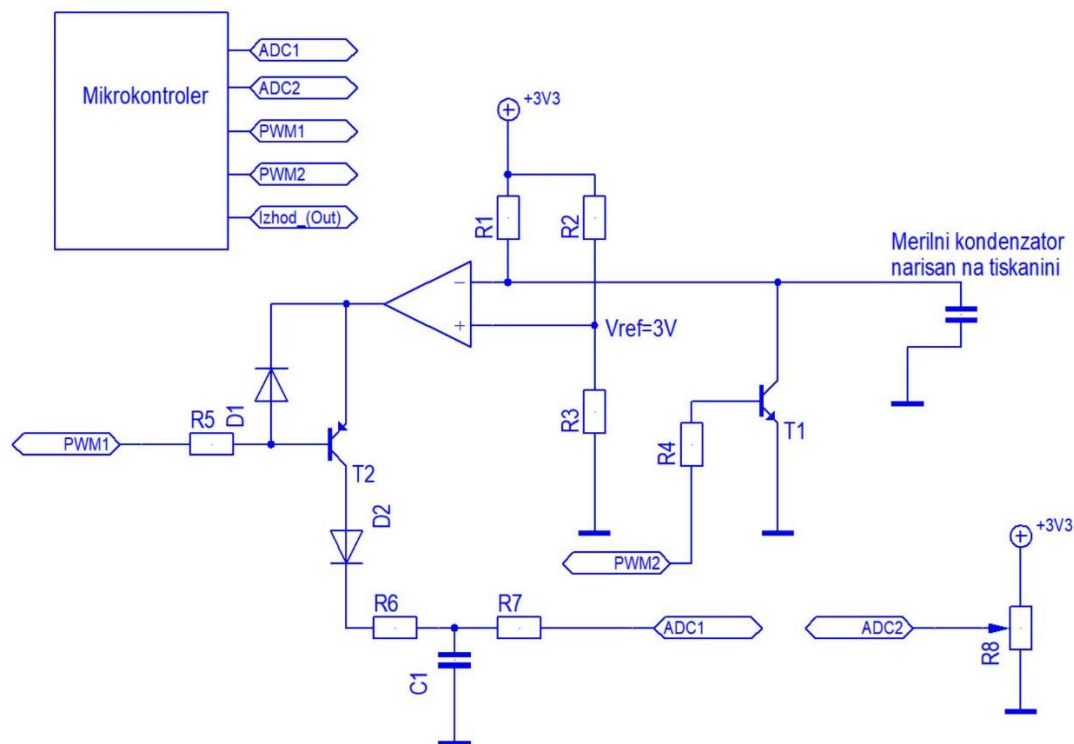


Slika 6 Ideja rezanja časa polnjenja

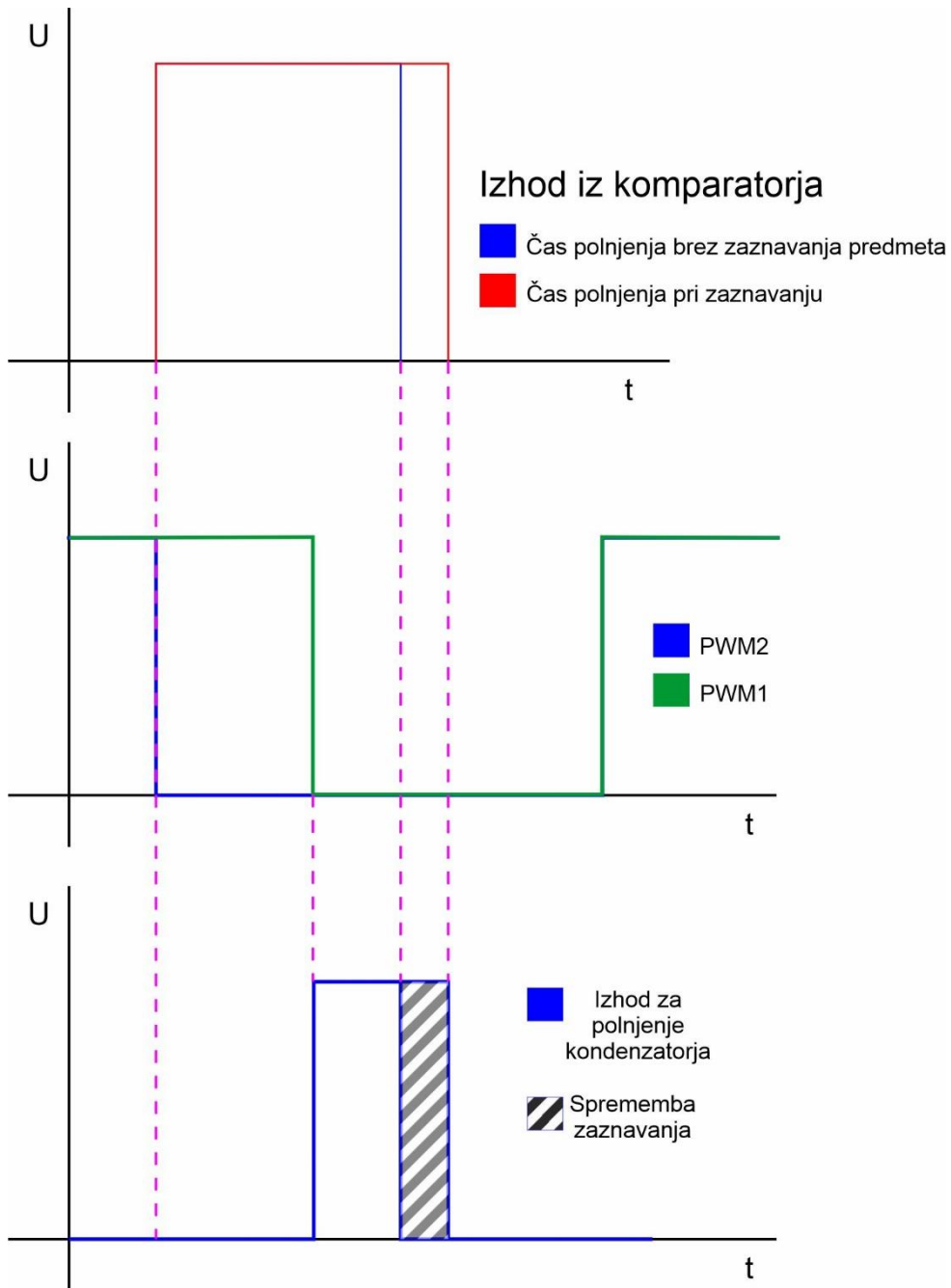
5.2. Idejna shema vezave elektronike za idejo rezanja časa

Po matematični idejni rešitvi smo se lotili poiskati primeren mikrokrmilnik, ki bo imel dva PWM impulza oziroma časovno krmiljenje obeh. Eden ta impulz bi uporabili za polnjenje kondenzatorja drugi pa za rezanje našega časa polnjenja. Mikrokrmilnik naj ima še dva analogna vhoda in sicer enega za meritev napetosti našega polnilnega kondenzatorja. Ta, ki se polni pri izhodu naše meritve (RC člen). Drugi analogni vhod pa bomo uporabili za trimer s katerim bomo določili referenčno vrednost naše meritve. Se pravi referenco pri kateri izmerjeni vrednosti naj bo na izhodu senzorja naš signal logična 1. Na sliki 7 je idejna shema naše elektronike, ki bo rezala naš čas meritve na začetku.

Na kratko bi opisali delovanje naše elektronike s pomočjo mikrokrmilnika (Slika 7). V začetku sta digitalna izhoda PWM1 in PWM2 na logični 1, kar povzroči praznjenje merilnega kondenzatorja in izklop izhoda iz komparatorja. Sedaj najprej ADC1 vhod spremenimo v digitalni izhod in ga damo na logično 0, s tem izpraznimo C1. Nato postavimo ADC1 zopet kot analogni vhod za merjenje napetosti. Sedaj pričnemo z postavitvijo signala PWM2 na 0 pri tem se prične naš merilni kondenzator polnit ter se njegova vrednost napetosti primerja na komparatorju. Ta sicer daje izhod logične 1 a ker je PWM1 signal na logični 1 ne gre čez tranzistor T2, ki deluje kot stikalo. Šele ko pride po določenem času PWM1 signal na 0 prične prevajati T2 in polniti kondenzator C1 preko R6. Ta cikel nekajkrat ponovimo, da zadostno napolnimo C1 in nato izmerimo njegovo napetost. Napetost primerjamo z referenčno napetostjo ADC2 in na osnovi primerjave vklopimo ali izklopimo izhod iz našega senzorja. Časovni potek signalov je lepo razviden iz slike 8.



Slika 7: Idejna shema elektronike za meritev majhne kapacitivnosti



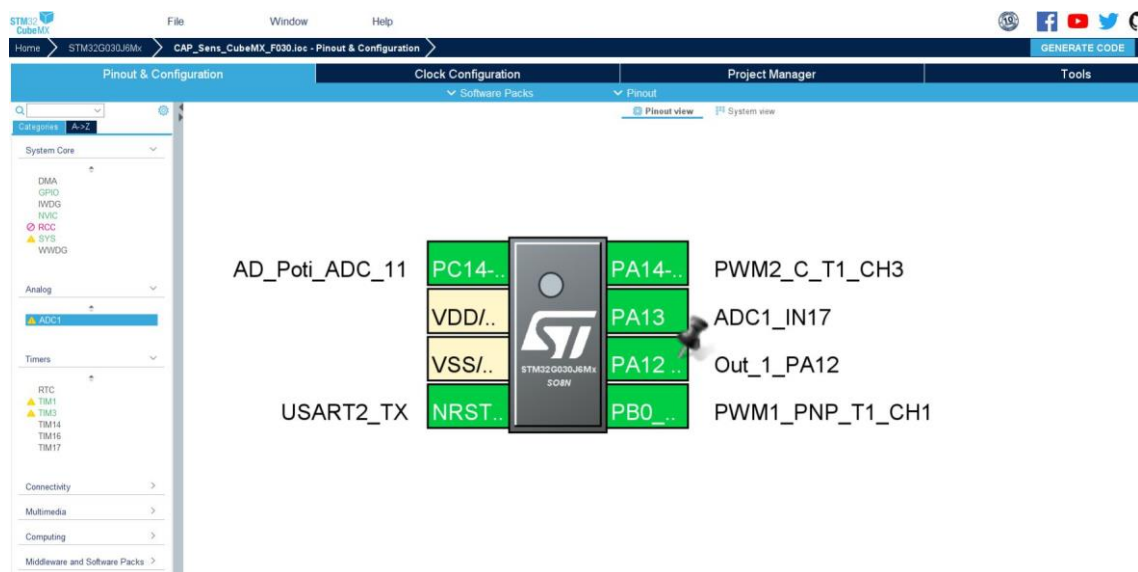
Slika 8: Časovni potek signalov PWM1 in PWM2

5.3. Načrtovanje senzorja meritve majhne kapacitivnosti

V tem poglavju bomo opisali kako je potekalo načrtovanje našega izboljššanega senzorja. Držali se bomo sheme na sliki 7. Najprej moramo izbrati mikrokrmilnik, da bomo vedeli katere njegove pine lahko uporabimo, nato bomo narisali tiskanino po shemi na sliki 7. Ker ne vemo kakšna naj bo oblika našega merilnega kondenzatorja na tiskanini bomo naredili štiri tiskanine z različno narisanimi kapacitivnimi polji (kondenzatorji) na tiskanini.

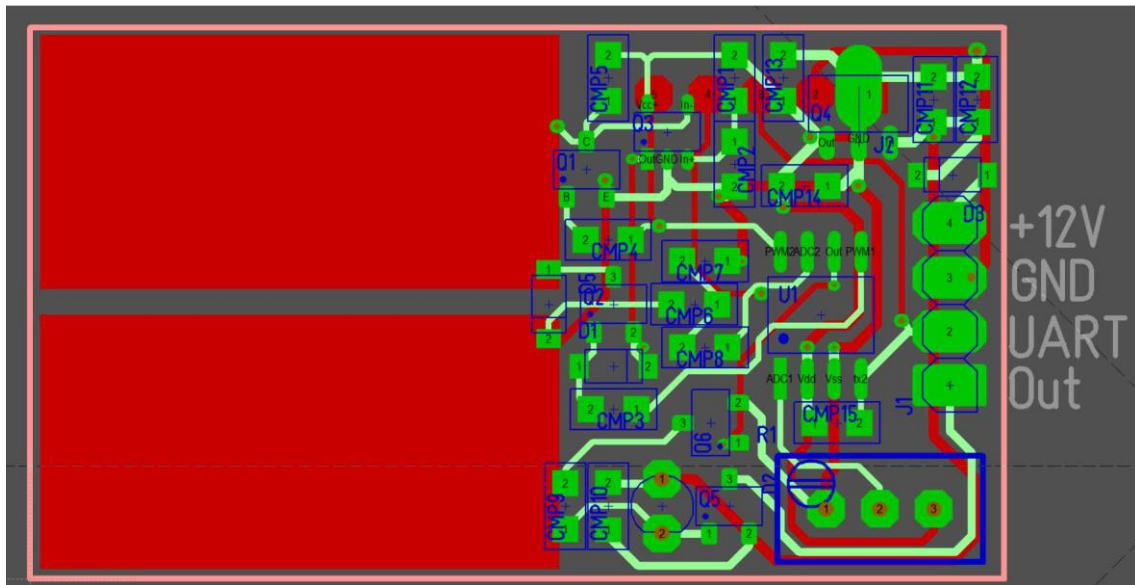
5.3.1. Izbira mikrokrmilnika

Izbrali bomo mikrokrmilnik STM32G030J6T6, ker ga že poznamo. Namreč je 8 pinski mikrokrmilnik STM32 ARM serije in ima ogromno funkcij od analognih vhodov do veliko časovnikov ter PWM izhodov. Seveda moramo najprej določiti oziroma konfigurirati naš mikrokrmilnik, da lahko potem pričnemo z risanjem tiskanine (PCB). Na sliki 9 je konfiguracija, ki jo potrebujemo za naš senzor. Dodali smo le še USART2_TX, če bomo potrebovali pošiljanje podatkov navzven. USART2_TX je serijska komunikacija in preko nje lahko pošiljamo navzven podatke kaj smo izmerili. Uporabimo ga v postopku razvoja aplikacijskega programa.



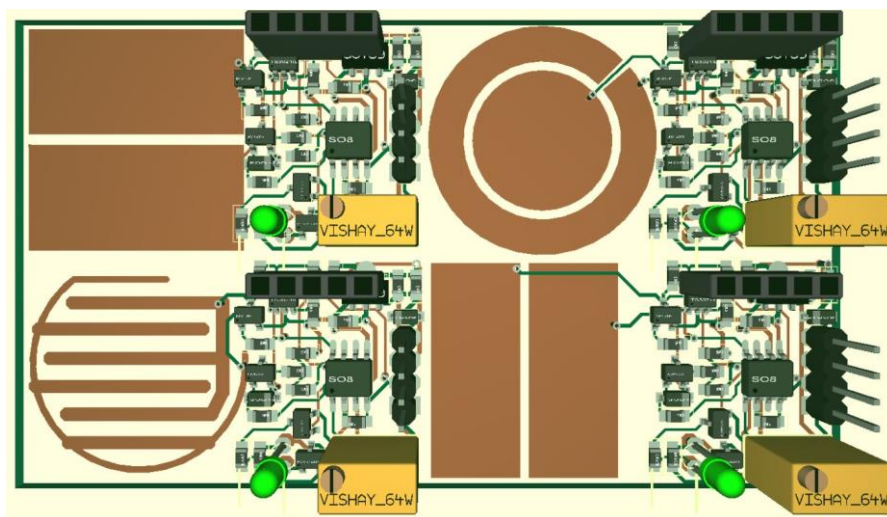
Slika 9: Konfiguracija mikrokrmilnika STM32G030J6T6

Sedaj, ko smo konfigurirali naš STM32G030J6T6 mikrokrmilnik smo se lotili risanja tiskanine po shemi na sliki 7 in sicer v programu Target3001 kar vidimo na sliki 10.

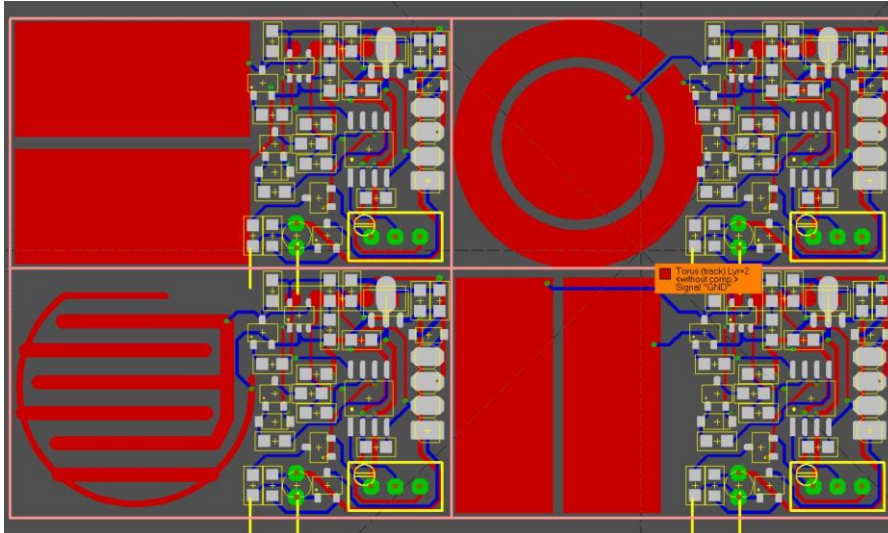


Slika 10: Prvi izgled narisanе tiskanine

Nato smo to osnovno vezje le kopirali in spremenili obliko našega merilnega kondenzatorja kar se vidi na sliki 11. Pazite z rjavo narisanе linije in naš merilni kondenzator so na spodnji strani tiskanine. V izdelavo smo torej dali štiri različna tiskana vezja kot lahko vidimo na sliki 12.

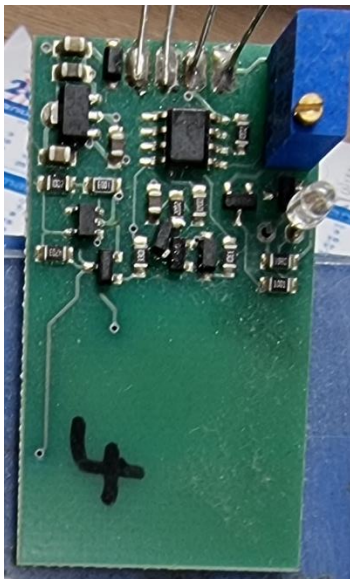


Slika 11: Tiskano vezje enega senzorja

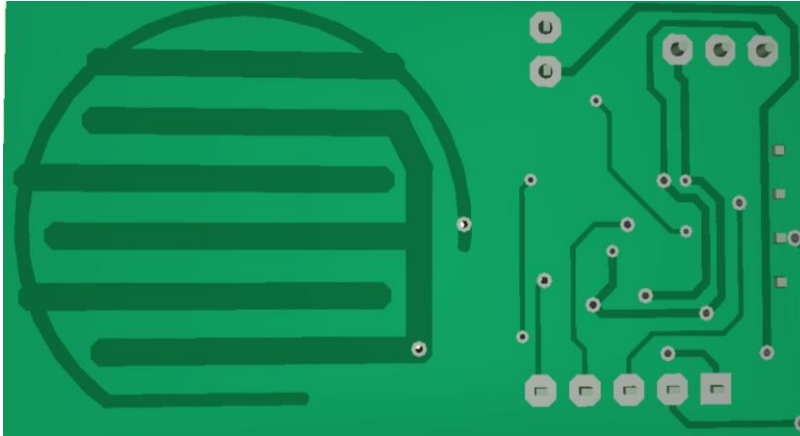


Slika 12: Tiskano vezje sestavljeno iz vseh štirih različnih senzorjev

Nato smo se lotili polaganja komponent na tiskano vezje kar lahko vidimo na sliki 13. Najprej smo na tiskano vezje nanegli spajko v pasti in na tiskano vezje položili vse komponente. Nato smo vse skupaj dali v posebno industrijsko peč za spajkanje. Vsa tiskana vezja imajo na njih položene enake komponente razlikujejo se le v polju za zaznavanje kapacitivnosti, ki so različnih oblik in na spodnji strani tiskanega vezja vidno na sliki 14 in na sliki 12.



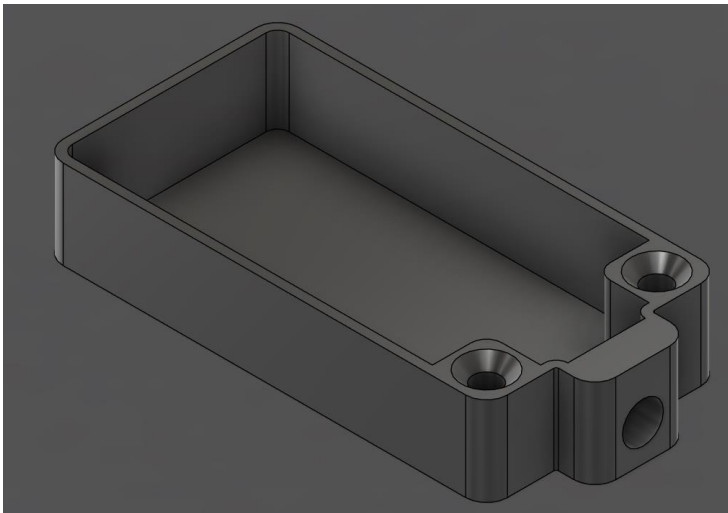
Slika 13: Tiskano vezje s položenimi komponentami



Slika 14: Spodnja stran tiskanega vezja

5.3.2. Izdelava ohišja za naše senzorje:

Ko smo naredili naša tiskana vezja smo se lotili izdelave našega ohišja saj želimo narediti ta senzor profesionalno in ga želimo uporabljati za merjenje vode kar pomeni, da mora biti dobro narejeno vodotesno ohišje. Odločili smo se, da bomo ohišje narisali v programu Fusion 360, kar lahko vidimo na sliki 15.



Slika 15: Izgled ohišja narisane v Fusion360

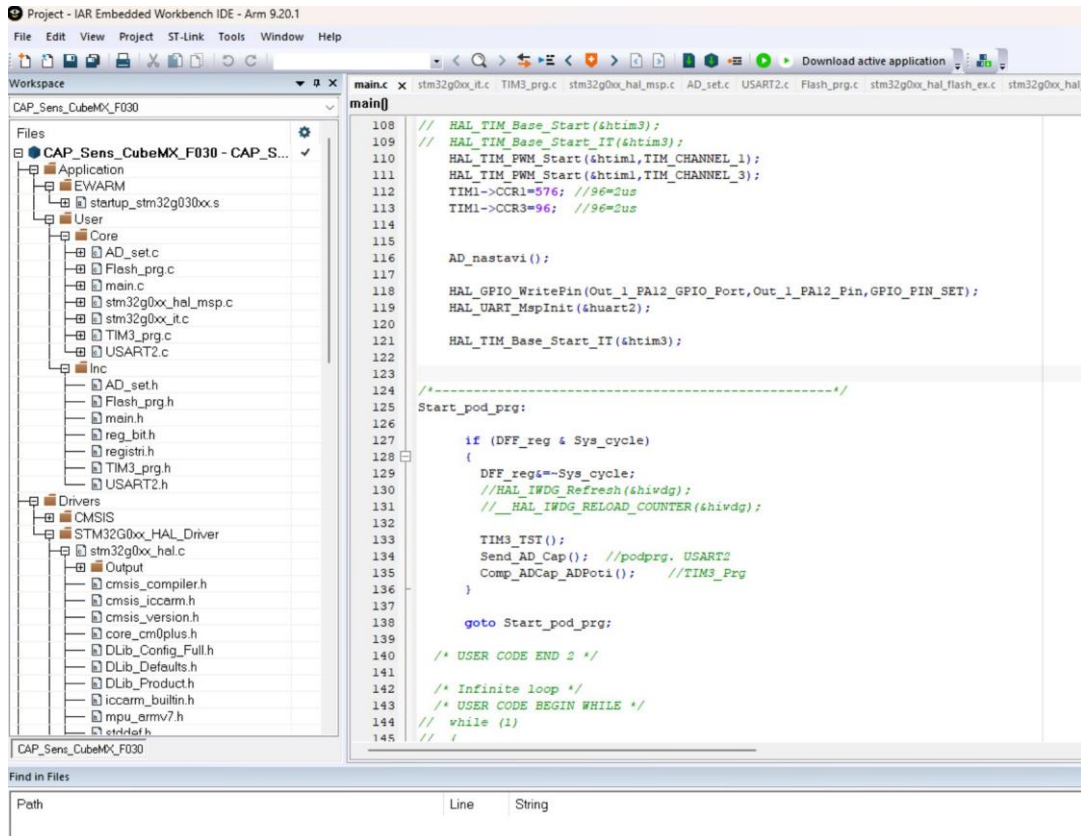
Ohišje smo narisali tako, da je enodelno in se naša elektronika vanj samo vstavi vidno na sliki 16 in z vrha zalije z dvokomponentno zalivno maso kar naredi naš senzor vodotesen, kar nam omogoča merjenje nivoja vode tudi v vlažnih razmerah.



Slika 16: Senzor v ohišju

5.4. Pisanje programa:

Ko smo končali z izdelavo naših elektronik in našega vodotesnega ohišja smo se lotili pisanja programa po ideji iz točke 5.1 in 5.2. Program smo napisali tako, kot smo to predvideli v točki 5.2 le, da smo dodali še notranji števec in PWM signala 1 in 2, ki smo jih nastavili z medsebojnim sinhronim zamikom in delujeta samostojno hkrati pa nam avtomatski števec šteje število impulzov in nam jih avtomatično zaustavi. Mi le poženemo v programu števec in čakamo konec štetja impulzov (npr. 100) ter nato odčitamo vrednost napetosti na ADC1. To vrednost nato primerjamo z vrednostjo ADC2, ki je vrednost trimerja. Sedaj še le vključimo ali izključimo naš izhod. USART smo uporabljali, da smo preko njega dobivali informacije o meritvah (slika 17). Programirali smo v programu IAR ARM, ki je profesionalno orodje za vse vrste ARM mikrokrmilnikov na trgu (slika 17).



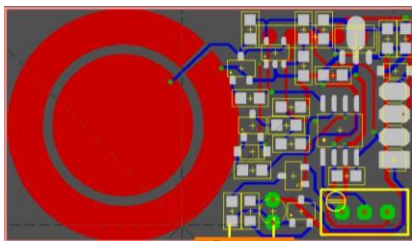
Slika 17: IAR EW ARM. Izgled program za naš mikrokrmilnik.

5.5. Testiranje naših različnih senzorjev z različno narisanimi kondenzatorji:

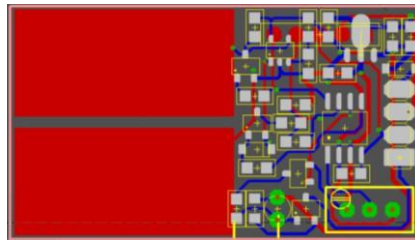
Ko smo napisali program smo se lotili testiranja. Preden smo vstavili senzorje v naše ohišje smo jih testirali brez ohišja. Senzorje smo nalepili na 2mm debelo pleksi steklo, ki nam je predstavljalo dno našega ohišja. Vse skupaj pa nalepili na 20mm debelo plastiko (slika 22).

Imamo štiri senzorje, ki smo jih oštevilčili od ena do štiri, da jih ločimo po obliki polja za zaznavanje kapacitivnosti. Kar lahko vidimo na slikah 18, 19, 20 in 21.

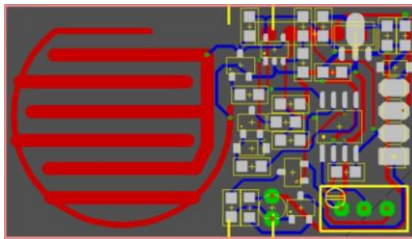
Senzorje smo priključili in pričeli s testiranjem. V tabeli 1 je preizkus ali bo senzor zaznal našo roko preko 20mm plastike.



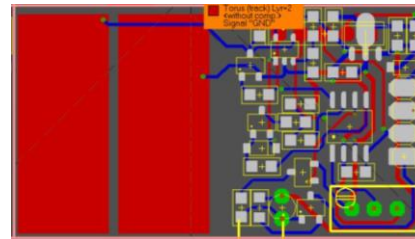
Slika 18: Senzor 1



Slika 19: Senzor 2



Slika 20: Senzor 3

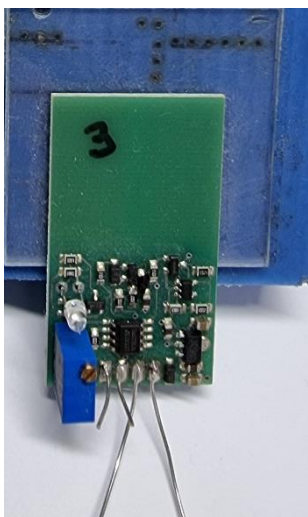


Slika 21: Senzor 4

Dobili smo naslednje rezultate:

Senzorji	Material, skozi katere merimo kapacitivnost: 2mm debelo pleksi steklo in 20mm debela plastika. Dotik z roko na drugi strani plastike.
Senzor 1	Utripa, ko smo z roko oddaljeni 5mm in sveti ko se dotaknemo plastike
Senzor 2	Utripa, ko smo z roko oddaljeni 10mm in sveti ko se dotaknemo plastike
Senzor 3	Utripa, ko smo z roko oddaljeni 25mm in sveti ko smo oddaljeni 15mm
Senzor 4	Utripa, ko smo z roko oddaljeni 15mm in sveti ko smo oddaljeni 10mm

Tabela 1: Poizkus 1



Slika 22: Senzor nalepljen na pleksi steklo in plastiko za poizkus zaznavanja roke

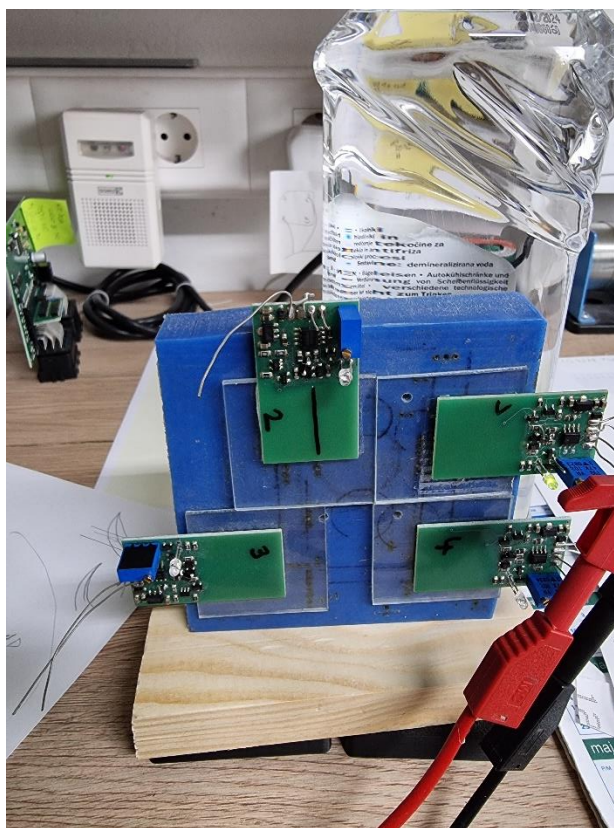
Sliki 23 in 24 prikazujeta poizkus senzorja nalepljenega na 2mm debel pleksi in 20mm debelo plastiko vendar sedaj ne zaznavajo roke ampak vodo v plastenki. V tabeli 2 so prikazani rezultati.

Senzorji	Material, skozi katere merimo kapacitivnost: 2mm debel pleksi in 20mm debela plastika zaznavanje vode v plastenki
Senzor 1	Utripa ko smo z roko oddaljeni 8mm in sveti ko se dotaknemo plastike s plastenko
Senzor 2	Utripa ko smo z roko oddaljeni 15mm in sveti ko smo oddaljeni 5mm s plastenko
Senzor 3	Utripa ko smo z roko oddaljeni 18mm in sveti ko smo oddaljeni 6mm s plastenko
Senzor 4	Utripa ko smo z roko oddaljeni 13mm in sveti ko smo oddaljeni 4mm s plastenko

Tabela 2: Poizkus 2



Slika 23: Poizkus zaznavanja vode v plastenki



Slika 24: Poizkus zaznavanja vode v plastenki

Na slikah 25 in 26 ter v tabeli 3 lahko vidimo poizkus senzorjev v ohišju, ki zaznavajo vodo v plastenki skozi 19mm debel les.

Senzorji	Material, skozi katere merimo kapacitivnost: Ohišje in 19mm debel les, zaznavanje vode v plastenki
Senzor 1	Ne utripa ampak samo zasveti, ko se s plastenko dotaknemo lesa
Senzor 2	Utripa, ko s plastenko dotaknemo lesa in ne zasveti
Senzor 3	Utripa, ko s plastenko dotaknemo lesa in ne zasveti
Senzor 4	Utripa, ko s plastenko dotaknemo lesa in ne zasveti

Tabela 3: Poizkus 3



Slika 25: poizkus zaznavanje vode v plastenki skozi les



Slika 26: Poizkus zaznavanja vode v plastenki skozi les

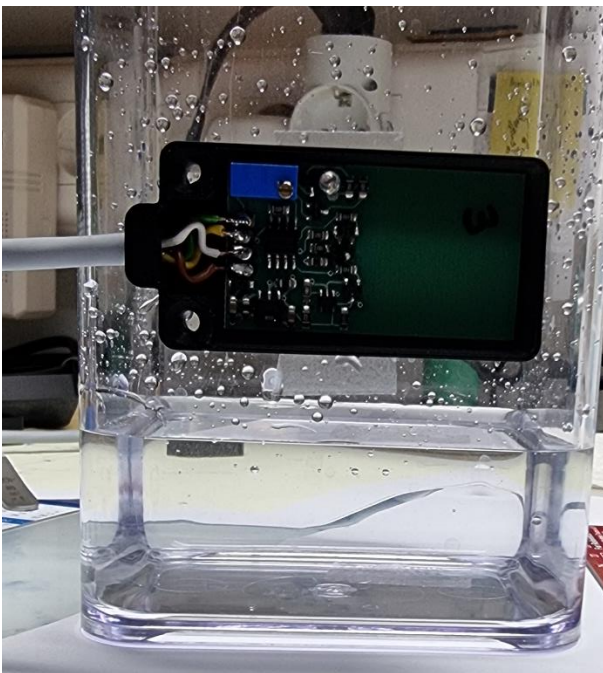
Na slikah 27, 28 in 29 vidimo poizkus ko so senzori v ohišju in zaznavamo nivo vode v 2.5mm debeli posodi in ko je senzor nameščen na višini 50mm od dna posode. Rezultati so vidni v tabeli 4.

Senzorji	Material, skozi katere merimo kapacitivnost: Ohišje in 2.5mm debela plastična posoda, zaznavanje nivoja vode, ko je senzor nameščen na višini 50mm od dna posode.
Senzor 1	Utripa, ko je voda v višini 50mm in sveti, ko je nivo vode 56mm
Senzor 2	Utripa, ko je voda v višini 51mm in sveti, ko je nivo vode 54mm
Senzor 3	Utripa, ko je voda v višini 29mm in sveti, ko je nivo vode 35mm
Senzor 4	Utripa, ko je voda v višini 40mm in sveti, ko je nivo vode 45mm

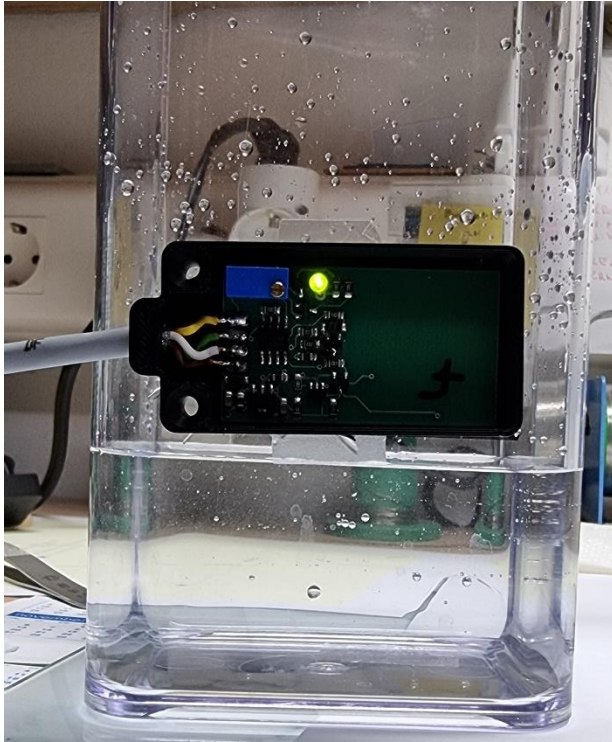
Tabela 4: Poizkus 4



Slika 27: Senzor v ohišju



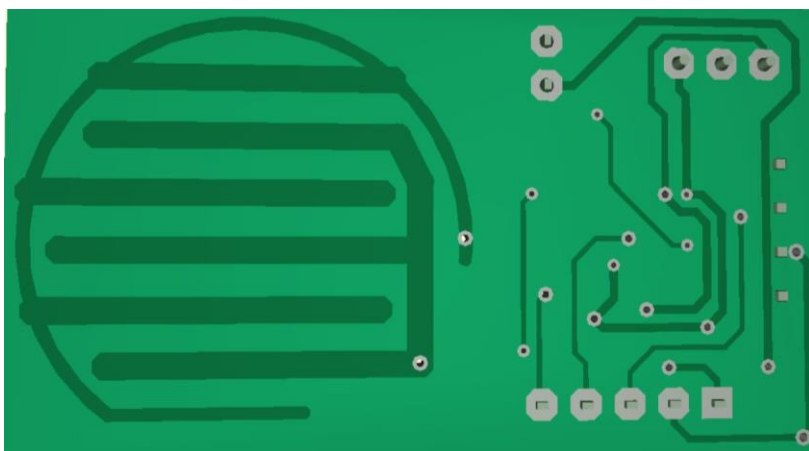
Slika 28: Poizkus zaznavanja vode v posodi



Slika 29: Poizkus zaznavanja vode v posodi

6 REZULTATI NAŠIH POIZKUSOV:

Ko smo opravili vse naše poizkuse smo prišli do naslednjih rezultatov, ugotovili smo, da pri prvem poizkusu najbolj zaznava našo roko skozi 2mm debel pleksi in 20mm debelo plastiko senzor številka 3. Pri drugem poizkusu, ko smo zaznavali vodo v plastenki prav tako skozi 2mm debel pleksi in 20mm debelo plastiko najboljše in na najdaljšo razdaljo prav tako deluje senzor 3. Pri tretjem poizkusu kjer smo zaznavali vodo v plastenki skozi 19mm debel les se je najbolj odzval senzor številka 1. Pri zadnjem poizkusu kjer pa smo že zaznavali nivo vode v 2.5mm debeli plastični posodi se je prav tako najboljše odzval senzor številka 3. Ugotovili smo torej, da zaradi oblike polja za zaznavanje kapacitivnosti najboljše od vseh deluje senzor številka 3, ki ima obliko polja za zaznavanje kapacitivnosti kot jo lahko vidimo na sliki 30.



Slika 30: Oblika polja za zaznavanje kapacitivnosti pri senzorju številka 3

7 DRUŽBENA ODGOVORNOST:

Naša družbena odgovornost je, da smo izboljšali že obstoječ patent našega mentorja za merjenje majhnih kapacitivnosti, kar nam je omogočalo izdelavo lastnega senzorja za merjenje majhnih kapacitivnosti, ki je boljši kot že obstoječi saj nam omogoča razširitev področja uporabe senzorjev kapacitivnosti. Ta metoda nam omogoča hitrejše in natančnejše zaznavanje majhnih kapacitivnosti. Zaradi dobrega delovanja imamo že naročila za izdelavo naših senzorjev.

8 ZAKLJUČEK:

V zaključku bi radi povedali, da so bile naše raziskave uspešne saj smo ugotovili, da smo res izboljšali že obstoječ patent našega mentorja, kar res pripeva k širši uporabi teh senzorjev. Saj bomo naše senzorje za majhne kapacitivnosti uporabljali v kadeh za bolnike kjer bomo zaznavali nivo vode, da se voda sama natoči do nekega nivoja in se tam ustavi. Tudi v primeru ko je kad iz lesa. Za cilj smo si zadali, da mora senzor zaznavati vodo na razdalji vsaj 15mm debeli steni iz polikarbonata z steklenimi vlakni ali iz lesa kar pa nam je uspelo. Te senzorje lahko uporabljamo tudi na drugih področjih kjer lahko zaznavamo kapacitivnost torej dotik roke oziroma tekočine tudi skozi les. Tako smo potrdili naše ves hipoteze saj senzor res deluje skozi debelejše stene kot 15mm vključno z lesom ter tako povečali področje uporabe.

9 VIRI IN LITERATURA:

9.1. Spletni viri:

- Kapacitivni senzorji nasploh 2024.(18.9.2024). Dostopno na:
https://en.wikipedia.org/wiki/Capacitive_sensing
- Patent številka 22178 2024.(16.12.2024). Dostopno na:
<https://www2.uil-sipo.si/s/ds.dll/00>

9.2. Knjižni viri:

- Herbert Schildt, C fourth edition, 2018, Tenth Street Berkeley Californija ZDA, založba Osborne