



Šolski center Celje
Srednja šola za elektrotehniko in kemijo

MERILNIK NIVOJA

raziskovalna naloga

Mentor:
Gregor KRAMER univ. dipl. inž. el.

Avtor:
Amadej KUMER, E-4. c

Mestna občina Celje, Mladi za Celje
Celje, 2009

1. KAZALO VSEBINE

1. KAZALO VSEBINE	2
1. 1 KAZALO SLIK.....	3
1. 2 KAZALO GRAFOV.....	3
2. POVZETEK IN KLJUČNE BESEDE	4
2. 1 POVZETEK/SUMMARY.....	4
2. 2 KLJUČNE BESEDE / KEYWORDS.....	5
2. 3 KRATICE IN OKRAJŠAVE.....	6
3. UVOD	7
3. 1 OPIS RAZISKOVALNEGA PROBLEMA.....	7
3. 2 HIPOTEZE.....	7
3. 3 OPIS RAZISKOVALNIH METOD.....	7
4. MERJENJE NIVOJA	8
4. 1 NAČINI MERJENJA.....	8
4. 1. 1 Merjenje nivoja, ki temelji na električnih principih.....	8
4. 1. 2 Merjenje nivoja na osnovi električnih lastnosti medija.....	9
4. 2 KAPACITIVNI MERILNIKI NIVOJA.....	10
4. 3 IZDELAVA KAPACITIVNEGA MERILNIKA NIVOJA.....	11
4. 4 IZDELAVA SONDE.....	13
4. 4. 1 Izvajanje meritev kapacitivnosti.....	13
4. 4. 1. 1 Rezultati meritev polnjenja.....	14
4. 4. 1. 2 Rezultati meritev praznjenja.....	15
4. 5 PRIKAZOVALNIK NIVOJA.....	15
4. 6 ASTABILNI MULTIVIBRATOR.....	17
4. 7 MIKROKRMILNIK AT89C2051.....	19
4. 7. 1 Priključki mikrokrmilnika.....	19
4. 7. 2 Osnovni podatki mikrokrmilnika.....	19
4. 7. 3 Merjenje frekvence z mikrokrmilnikom AT89C2051.....	20
4. 7. 4 Program za izpisovanje frekvence nivoja vode.....	20
4. 8 IZDELAVA TISKANINE IN VGRADNJA V OHIŠJE.....	22
4. 8. 1 Izdelava tiskanine.....	22
4. 8. 2 Vgradnja v ohišje.....	24
4. 9 RAZPRAVA.....	25
6. VIRI IN LITERATURA	27
7. ZAHVALA	28

1. 1 KAZALO SLIK

Slika 1: Zvezni uporovni princip merjenja nivoja.....	9
Slika 2: Diskretni uporovni princip merjenja nivoja.....	9
Slika 3: Prikaz možne izvedbe za neprevodne medije.....	10
Slika 4: Prikaz možne izvedbe za prevodne medije.....	10
Slika 6: Kapacitivni senzor.....	12
Slika 7: Model senzorja.....	12
Slika 8: Merilna sonda.....	13
Slika 9: Sestavni deli merilne sonde.....	13
Slika 10: Izpis nivoja vode na LCD zaslonu.....	16
Slika 11: Celotni merilni sistem s sondo in prikazovalnik nivoja vode.....	17
Slika 12: Generiranje impulzov.....	17
Slika 13: Vezava mojega astabilnega vezja.....	18
Slika 14: Priključki mikrokrmilnika.....	19
Slika 15: Osnovna vezava mikrokrmilnika.....	20
Slika 16: Vezalna shema mikrokrmilnika in ostalih elementov.....	22
Slika 17: Stiskano vezje na pavs papirju.....	23
Slika 18: Postavitev elementov na tiskanini.....	23
Slika 19: Odprto ohišje s strani.....	24
Slika 20: Zaprto ohišje.....	24

1. 2 KAZALO GRAFOV

Graf 1: Polnjenja in povprečje polnjenja kondenzatorja.....	14
Graf 2: Praznjenja in povprečje praznjenja kondenzatorja.....	15
Graf 3: Graf funkcije za pretvorbo v želeno veličino.....	16

2. POVZETEK IN KLJUČNE BESEDE

2.1 POVZETEK/SUMMARY

V raziskovalni nalogi je raziskano delovanje kapacitivnega merilnika nivoja. Ideja za delo je bila moja, osebna, spodbudil pa me je tudi profesor. Pri delu so bile uporabljene metode deskripcija, komparacija, eksperiment in fizikalna metoda. Ugotovil sem, da je za izdelavo sonde merilnika potreben material z dobrimi linearnimi lastnostmi. Pričakovani rezultat je bil izpis meritve nivoja na LCD zaslonu in s tem potrditev hipoteze. Meritev je zelo natančna. Slaba lastnost sonde je, da ne zazna le kapacitivnosti vode, ampak tudi kapacitivnost predmetov, ki so v bližini oddaljeni do 20 cm. Nepričakovana lastnost sonde iz bakra je njena nelinearnost, kar ni dalo natančnih linearnih rezultatov meritve.

Z rezultati raziskave sem bil zadovoljen, saj sem dosegel cilje in potrdil postavljene hipoteze. Spoznal sem, da si lahko vsak, ki želi imeti merilnik nivoja za merjenje tekočin in sipkih materialov, tega tudi izdelati.

The project work focuses on the function of a level meter. The motivation came from me and my professor. In the work I used description, comparison, experimental and physical methods. I learned that to make a probe, you need a material with good linear properties. The expected result was the readout of the results on the LCD display, and with that the confirmation of my hypothesis. The measurement was very accurate. The disadvantage of the probe is that it doesn't only sense the capacity of the water, but also the items that are in the proximity of 20 cm. The unexpected result was the copper probes unlinearity which didn't give accurate measuring results. I was satisfied with the results of the research, because I researched my goals and confirmed my hypothesis. I learned that anyone who wants to build a level meter for liquids or granulated materials can do so.

2. 2 KLJUČNE BESEDE / KEYWORDS

- **AT89C2051** – mikrokontroler družine 89C51
 - **TISKANO VEZJE** – fiksno vezje, ki je izoblikovano na tanki trdni ploščici
 - **MERILNA SONDA** – naprava, s katero merimo merjeno veličino
 - **KAPACITIVNOST** – razmerje med električnim nabojem in električnim potencialom prevodnega materiala
 - **ASTABILNI MULTIVIBRATOR** – naprava s sposobnostjo proizvodnje periodičnega signala
 - **LCD** - zaslon s tekočimi kristali
-
- **AT89C2051** - microcontroller type 89C51
 - **PRINTED CIRCUIT** - a fixed circuit designed on a thin solid board
 - **MESURING PROBE** – a device used for measuring the level size
 - **CAPACITANCE** – electric charge to electric potential ratio of conductive material
 - **ASTABLE MULTIVIBRATOR** – the device able to produce the periodical signal
 - **LCD** – Liquid Crystal Display

2. 3 KRATICE IN OKRAJŠAVE

AT89C2051 – mikrokrmilnik družine 89C51

I – tok

A – ampermeter (merska enota)

U – napetost

V – voltmeter (merilnik napetosti)

Cv - kapacitivnost potopljenega senzorja

ϵ_0 - osnovna dielektrična konstanta, ki znaša $8.85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$

ϵ_r - dielektrična konstanta snovi

ϵ_{PVC} - dielektrična konstanta silikona

ϵ_{H_2O} - dielektrična konstanta vode, ki znaša 81

Av - površina potopljenega senzorja

d - debelina nanosa dielektričnega materiala

PVC – polivinilklorid

Czr – kapacitivnost zraka

Cv – kapacitivnost vode

Csenz – kapacitivnost senzorja

l – višina

NE555 – čip

VCC – napajanje +4 do +6V

RST – resetira mikrokrmilnik če je na '1'

GND – masa mikrokrmilnika 0V

XTAL1, XTAL2 – priključka za zunanji oscilator

P3.0 – P3.7 - vhodno-izhodni priključki port 3 (brez priključka P3.6)

P1.0 – P1.7 – vhodno-izhodni priključki port 1

INT0, INT1 – zunanja prekinitev 0 in 1

f – frekvenca

Ton – začetek proženja

Tof – konec proženja

T – čas periode

3. UVOD

3.1 OPIS RAZISKOVALNEGA PROBLEMA

V šoli imamo izdelan sistem za kroženje vode z rezervoarjem, vendar ta še ni imel narejenega merilnika nivoja. Profesor se je pri uri avtomatike pozanimal, če bi imel kdo željo narediti merilnik nivoja. Doma imamo zbiralnik strešne vode, zato me je stvar zelo zanimala. Želel sem poiskati način, kako bi na preprost način prišel do podatkov, kdaj bo rezervoar poln in kdaj prazen, ne da bi mi bilo treba iti k rezervoarju in pogledati. Merilnikov nivoja obstaja več vrst, a mene so pritegnile kapacitivne sonde. Tako sem se soočil z izzivi delovanja sonde, izdelavo svoje sonde, osciliranja frekvence ter prikazovalnikom nivoja vode.

3.2 HIPOTEZE

1. Merilnik je namenjen merjenju nivoja vode.
2. Odvisnost kapacitivnosti od nivoja vode je linearna.
3. Izpis meritve nivoja je na LCD zaslonu.

CILJI

- ✓ Pretvoriti fizično veličino v električno
- ✓ Spoznati delovanje kapacitivnega senzorja
- ✓ Izdelati svojo sondo
- ✓ Spoznati delovanje LCD prikazovalnika
- ✓ Napisati stabilni program za izpis

3.3 OPIS RAZISKOVALNIH METOD

Tema, ki sem jo izbral za raziskovanje, je bila zahtevna. Pri nalogi sem se posluževal različnih metod raziskovalnega dela. V okviru deskriptivnega pristopa sem uporabljal metodo deskripcije in komparativno metodo. Zbral in pregledal sem gradivo, ki je bilo na razpolago. Ugotovil sem, da ga ni veliko. Uporabljeni sta bili tudi fizikalna in eksperimentalna metoda. Najprej sem začel z izdelavo sonde, s katero sem lahko meril nivo vode. Potrebno je bilo določiti dolžino, material in debelino sonde – kondenzatorja, izdelati puše. Nato sem na rezervoar iz pleksi stekla pritržil ventile in merilno sondo. Po zaključku tega sem naredil nekaj preprostih merjen z njim. Delo se je nadaljevalo v obliki izdelave vezja astabilnega vibratorja, merjenja frekvenc z mikrokontrolerjem AT89C2051, stabilizatorja napetosti in izdelave ohišja za prikaz na LCD zaslonu.

Programsko pa je naloga realizirana z mikrokontrolerjem AT89C2051, katerega naloga je merjenje impulzov v enoti časa, te pa izpisuje kot višino merjene veličine.

4. MERJENJE NIVOJA

Meritve nivoja so ena izmed najpomembnejših v procesni industriji (v kemijski industriji je po nekaterih ocenah kar 10% merilnikov tega tipa) in so tako ozko povezane tudi z avtomatskim vodenjem. Čeprav morda tovrstne meritve na prvi pogled izgledajo enostavne, se izkaže, da je mnogokrat merjenje nivoja lahko zelo problematično, posebno v primerih, ko zahtevamo večjo točnost. Nivo tekočine ali granulata v posodi je izražen z višino medija, običajno merjeno od dna posode. V splošnem bi lahko rekli, da merjenje nivoja pomeni indikacijo položaja meje med dvema medijema različne gostote glede na neko horizontalno površino, ki jo jemljemo kot referenčno. Večkrat merilnike nivoja uporabljamo tudi pri meritvah volumna sipkih ali kapljevastih materialov, pri čemer pa je vzporedno z nivojem potrebno meriti tudi površino trenutnega prereza posode.

4.1 NAČINI MERJENJA

Principi merjenja nivoja so številni, zato je na voljo tudi veliko komercialno dosegljivih merilnikov. Izbira najprimernejšega je odvisna v glavnem od naslednjih faktorjev:

- položaj posode (npr. pod ali nad zemljo),
- oblika posode,
- lastnosti shranjevanja medija (možnost zmrzovanja ali kristalizacije, korozivnost, strupenost, viskoznost, nečistost itd.),
- pomembnost natančnosti meritve,
- možnosti in potrebe po vzdrževanju,
- zahteva po prenosu merjenih podatkov na daljavo,
- potrebne lastnosti merilnika (hitrost odziva, sprotnost meritve, le občasna indikacija nivoja itd.).

Meritve nivoja lahko v grobem razdelimo na direktne in indirektne. Prve so enostavne in ekonomične, vendar običajno dajejo le vizualno indikacijo nivoja. Tako le težko pridemo do primernega izhodnega signala. Po drugi strani pa indirektne metode izkoriščajo mnoge fizikalne in električne lastnosti merjenih medijev. Zato lahko dobimo izhodne signale, ki omogočajo vključitev merilnika v regulacijsko zanko, pa tudi prenos signala na daljavo. Tako ločimo predvsem naslednje principe, ki temeljijo na:

- razliki gostot merjenega in medija nad njim (tlak, vzgon, plovci, radioaktivno žarčenje itd.),
- električnih principih, kjer gre ali za lastnosti medijev (upornost, kapacitivnost, induktivnost) ali pa za radiofrekvenčne metode,
- akustičnih lastnostih medijev (hitrost zvoka, slabljenje zvoka, resonančna frekvenca itd.),
- toplotnih lastnosti medijev.

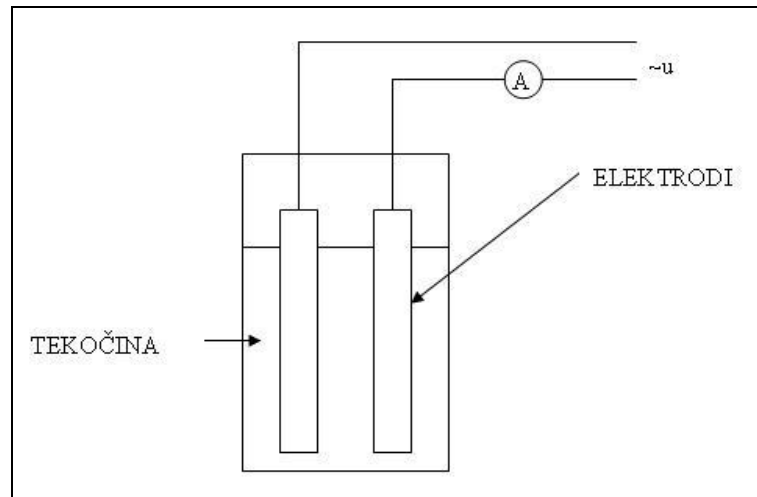
4.1.1 Merjenje nivoja, ki temelji na električnih principih

Med električne principe, ki se uporabljajo pri merjenju nivoja, štejemo predvsem:

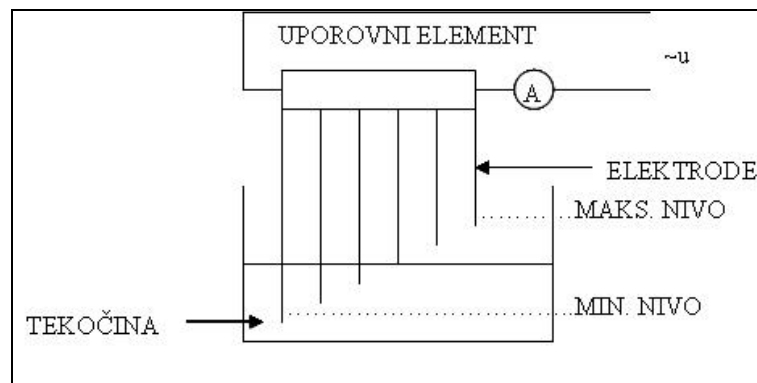
- merjenje nivoja na osnovi električnih lastnosti medija,
- merjenje nivoja z uporabo radiofrekvenčnih signalov.

4. 1. 2 Merjenje nivoja na osnovi električnih lastnosti medija

Pri merjenju nivojev dobro vodenih tekočin lahko uporabimo uporovni princip merjenja. Dve možni izvedbi tovrstnih merilnikov prikazujeta slika 1 in slika 2.



Slika 1: Zvezni uporovni princip merjenja nivoja

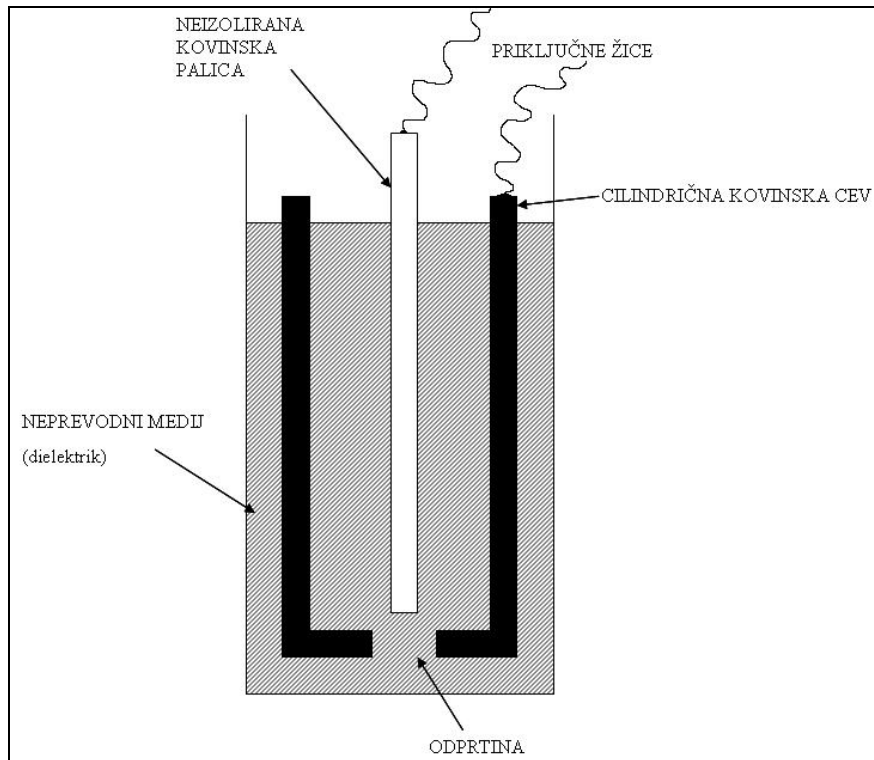


Slika 2: Diskretni uporovni princip merjenja nivoja

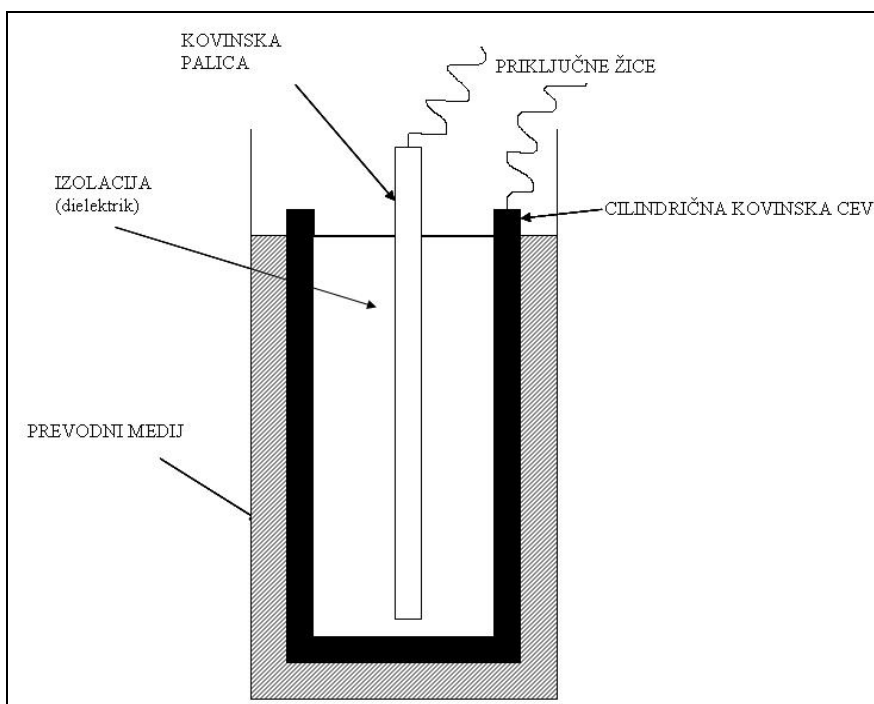
Zvezni merilnik nivoja izkorišča dejstvo, da pomeni tekočina kratek stik med dvema elektrodama, ki sta nameščeni v posodi (prevodnost tekočine je mnogo večja kot prevodnost pare ali zraka pod njo) in s tem spreminja upornost elektrod (pri čemer je seveda pomembna njena nazivna upornost ter geometrija naprave). Tako merimo tok, ki je proporcionalen nivoju. Podobno deluje diskretni uporovni princip merjenja, le da tukaj spreminjamo tok skozi vezje glede na število s tekočino kratko sklenjenih elektrod, ki pomenijo posamezne diskretne vrednosti nivojev. Ker se prevodnost večine tekočin spreminja s temperaturo, moramo naprave skrbno kalibrirati in zagotoviti ustrezno temperaturno kompenzacijo. Na točnost meritve lahko vpliva korozija elektrod ali nabiranje nesnag na njih.

4.2 KAPACITIVNI MERILNIKI NIVOJA

Ena izmed metod merjenja nivoja, ki temelji na električnih lastnostih medija, je največ uporabljena meritev nivoja s kapacitivno sondo. Metoda je uporabna za prevodne in neprevodne medije (tekočine in sipke materiale) in temelji na spremembi efektivne površine kondenzatorjevih plošč ali pa na spremembi dielektričnosti.



Slika 3: Prikaz možne izvedbe za neprevodne medije



Slika 4: Prikaz možne izvedbe za prevodne medije

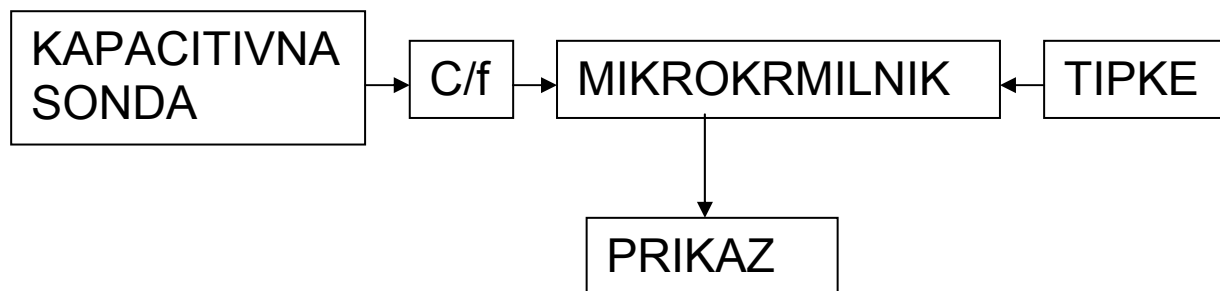
Pri izvedbi za neprevodni medij vlogo dielektrika prevzame tekočina in zrak nad njim. Tako spremembo kapacitivnosti povzroča od nivoja odvisno razmerje dveh dielektričnih. Pri izvedbi za prevodni medij pa le ta pomeni spremembo površine kondenzatorja.

Spremembe kapacitivnosti detektiramo bodisi z ustrežno mostično vezavo ali pa spremenljiva kapacitivnost vpliva na frekvenco oscilatorja. Pri tovrstnih meritvah pa lahko nastopijo različni faktorji, ki vplivajo na točnost meritve.

Osnovni pogoj je, da imamo stabilno in določeno dielektričnost materiala. Pri različnih mešanica je to pogosto problem. Prav tako lahko vnašajo napake viskoznost tekočine (če se namreč le – ta ob upadu nivoja tekočine oprime sonde, še vedno merimo prvotni nivo), pa tudi različni delci, mehurčki ali pene v tekočini. Podobno velja za vlogo pri neprevodnem granulatu. Ker en del kapacitivnosti naprave predstavlja tudi kapacitivnost povezav (se lahko spreminja), moramo pri merjenju upoštevati tudi močno odvisnost dielektričnosti od temperature (ko temperatura narašča, dielektričnost običajno pada).

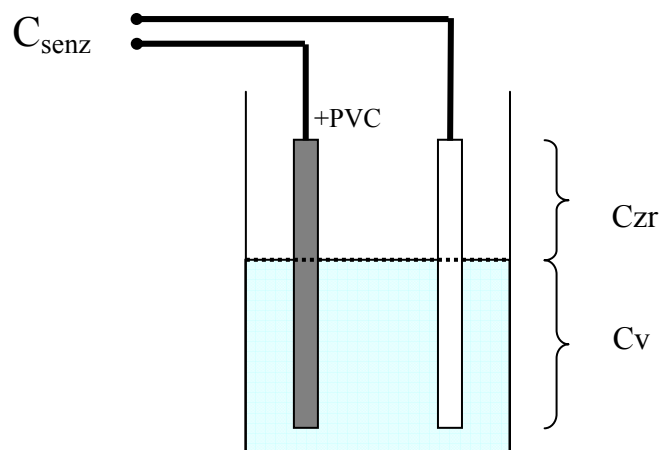
Zaradi svoje enostavnosti, cenenosti, možnosti preproste montaže in električnega izhoda je meritev nivoja s kapacitivno sondo zelo razširjena v industriji in zelo primerna tudi za vključitev v regulacijsko zanko. Uporabna je tako pri merjenju nivoja tekočin kot tudi za praškaste snovi in granulate (običajno zelo stabilna dielektričnost), ko mnogo ostalih metod ni primernih. Prav tako pa omogoča meritve v ekstremnih pogojih kot je merjenje nivoja tekočin kovin (zelo visoke temperature). Problem pa predstavlja omenjene spremembe dielektričnosti in spremembe kapacitivnosti dovodnih žic.

4. 3 IZDELAVA KAPACITIVNEGA MERILNIKA NIVOJA



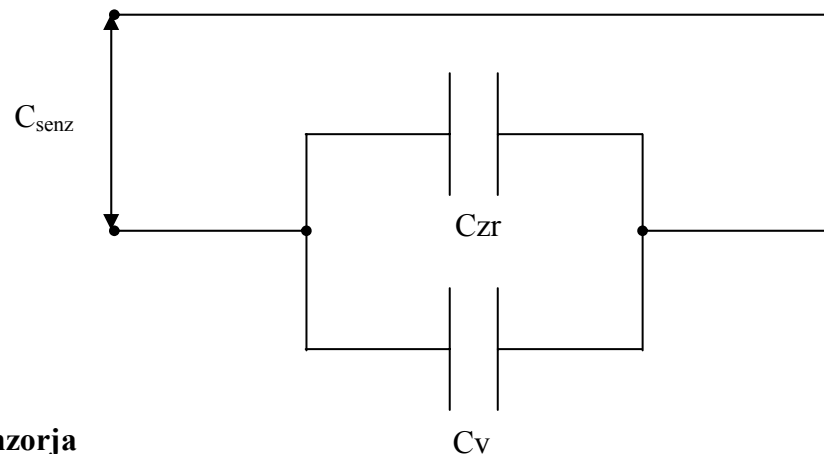
Slika 5: Blokovna shema merilnika

Kapacitivni senzor deluje po principu spreminjanja kapacitivnosti, glede na spreminjanje nivoja tekočine, v katero je potopljen. Sestavljata ga dve elektrodi, ki sta navpično postavljeni v bazen. Prva elektroda je premazana s snovjo, ki ima lastnosti dielektrika, druga pa je brez premaza in je postavljena kot čisti prevodnik.



Slika 6: Kapacitivni senzor

Slika 6 prikazuje model kapacitivnega senzorja, kjer je skupna kapacitivnost enaka vsoti kapacitivnosti potopljenega in nepotopljenega dela.



Slika 7: Model senzorja

$$C_v = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A_v}{d} = \epsilon_0 (\epsilon_{PVC} + \epsilon_{H_2O}) \frac{A_v}{d}$$

kjer je: C_v - kapacitivnost potopljenega senzorja

ϵ_0 - osnovna dielektrična konstanta, ki znaša $8.85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$

ϵ_r - dielektrična konstanta snovi

ϵ_{PVC} - dielektrična konstanta silikona

ϵ_{H_2O} - dielektrična konstanta vode, ki znaša 81

A_v - površina potopljenega senzorja

d - debelina nanosa dielektričnega materiala

$$C_{zr} = \epsilon_0 \frac{A_{zr}}{d}$$

kjer je: C_{zr} - kapacitivnost nepotopljenega senzorja

Azr - površina nepotopljenega senzorja

$$C_{senz} = C_v + C_{zr}$$

4. 4 IZDELAVA SONDE

Sondo za merjenje nivoja sem izdelal v obliki ogromnega kondenzatorja. Kondenzator sem zgradil iz dveh bakrenih cevi, dimenzij $\frac{3}{4}$ cole in $\frac{1}{2}$ cole. Cevi sem odrezal na dolžino 80 cm, saj sem se moral prilagoditi krajši cevi. Nato sem obe potopil v lak, zato da sem ju izoliral. Pred izolacijo sem na vrhu vsake cevi pri spajkal še dva kabela čevlja, kamor sem kasneje priključil žici, nanju pa merilni pretvornik. Ko sta bili cevi pripravljeni, sem zanju izdelal še dve »puši«, kar mi je centralno tanjšo cevko na sredino v debelejši. V manjšo cevko sem na koncu zabil čep, katerega sem okoli stika s cevjo zapolnil s silikonom. Vzel sem še skrčno bužirko in jo segrel, tako da se je tesno prilegala cevi. Ko sem vse sestavil skupaj, sem tanjšo cev na dnu še enkrat zalepil s silikonom. Tako sem lahko začel z meritvami.



Slika 8: Merilna sonda



Slika 9: Sestavni deli merilne sonde

4. 4. 1 Izvajanje meritev kapacitivnosti

Najprej sem moral ugotoviti, če senzor oz. kondenzator, ki sem ga izdelal, deluje pravilno. Na kableske čevlje sem priključil priključne vrvice in jih priključil na merilni inštrument, ki meri kapacitivnost. Na rezervoar sem pritrdil meter, si označil začetni položaj in začel izvajati

meritve. Vodo sem vlival v rezervoar in za vsakih pet centimetrov izpisal meritev. To sem ponovil trikrat, nato pa izračunal povprečno vrednost meritev.

4. 4. 1. 1 Rezultati meritev polnjenja

POVRPEČJE POLNJENJA

l[cm]	C[nF]
20	8,6
25	20,7
30	29,6
35	35,6
40	42,3
45	48,2
50	51,8
55	55,1
60	59,1
65	63,9
70	67,2
75	71,2
80	74,1
85	76,2
90	78,1
95	80,2

1 POLNJENJE

l[cm]	C[nF]
20	0,03
25	11,5
30	20
35	27,3
40	33
45	41
50	45
55	48
60	52,8
65	56,3
70	59,5
75	65,8
80	68,3
85	70,7
90	70,9
95	73

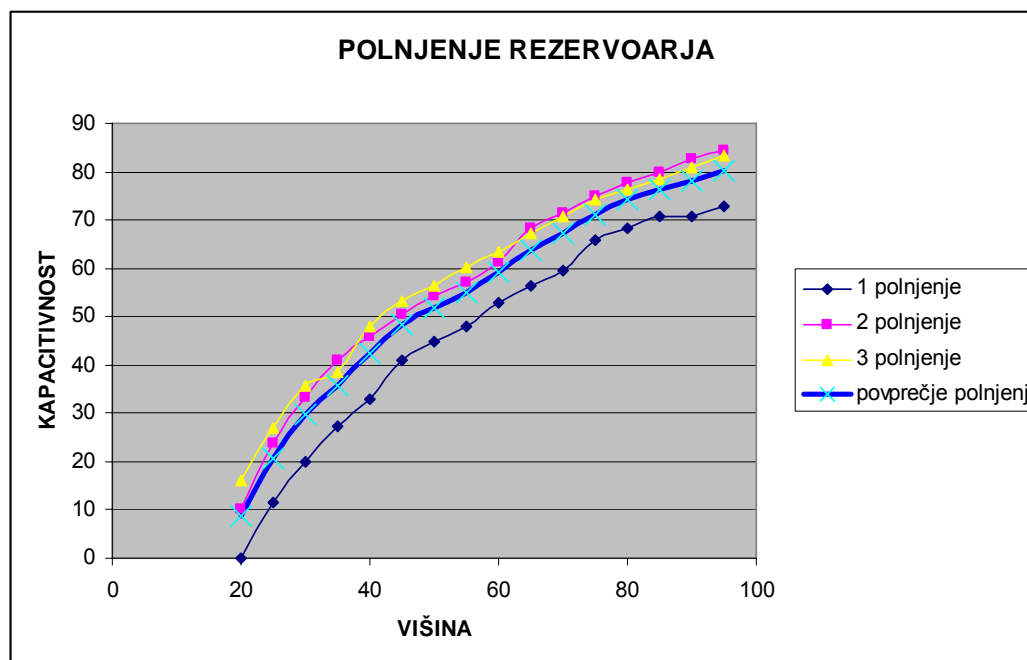
2 POLNJENJE

l[cm]	C[nF]
20	10
25	23,8
30	33,2
35	41
40	46
45	50,6
50	54,2
55	57
60	61,2
65	68,2
70	71,5
75	75
80	77,7
85	79,8
90	82,5
95	84,5

3 POLNJENJE

l[cm]	C[nF]
20	16
25	26,8
30	35,8
35	38,5
40	48
45	53,2
50	56,4
55	60,3
60	63,3
65	67,2
70	70,8
75	74,2
80	76,4
85	78,3
90	80,9
95	83,2

Tabela 1: V tabeli so prikazani rezultati polnjenja kondenzatorja



Graf 1: Polnjenja in povprečje polnjenja kondenzatorja

4. 4. 1. 2 Rezultati meritev praznjenja

POVPREČJE
PRAZNJENJA

l[cm]	C[nF]
95	84
90	80,1
85	77,8
80	75,1
75	72,96
70	69,8
65	66,7
60	63,7
55	58,2
50	55
45	52,2
40	49,1
35	44,9
30	37,8
25	29,4
20	15

1 PRAZNJENJE

l[cm]	C[nF]
95	73
90	72,1
85	70,3
80	68,5
75	66,5
70	63,5
65	60,6
60	57,7
55	54,2
50	51,3
45	49,3
40	45,3
35	40,8
30	34
25	24,3
20	8,6

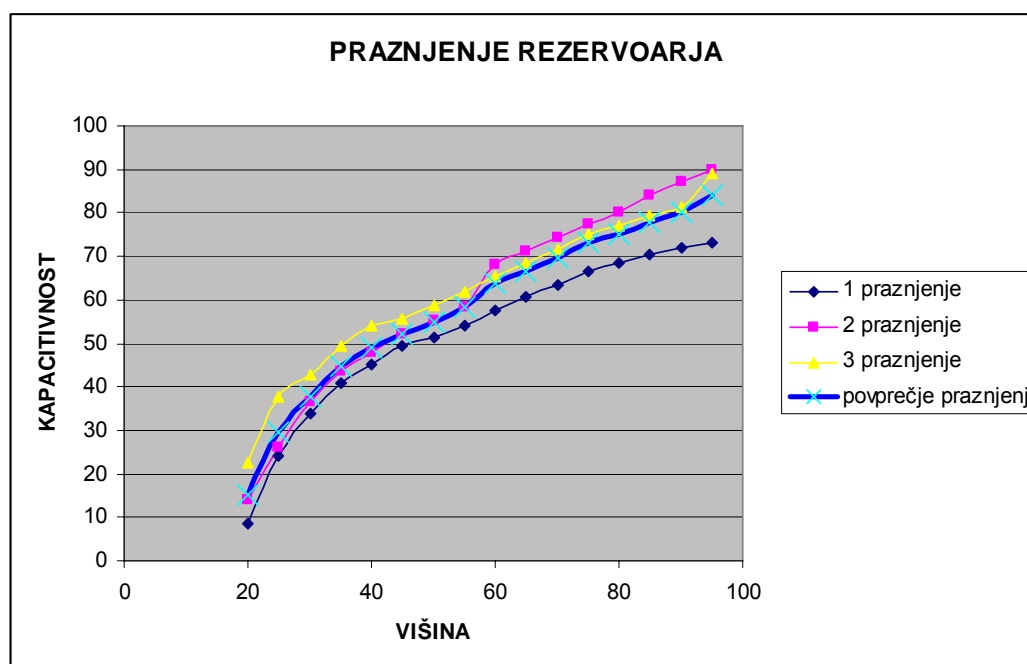
2 PRAZNJENJE

l[cm]	C[nF]
95	90
90	87
85	84
80	80
75	77,4
70	74,3
65	71,1
60	68
55	58,5
50	55,3
45	52
40	48
35	43,5
30	36,6
25	26,2
20	14

3 PRAZNJENJE

l[cm]	C[nF]
95	89
90	81,2
85	79,3
80	77
75	75
70	71,6
65	68,4
60	65,4
55	61,9
50	58,6
45	55,5
40	54,2
35	49,6
30	42,9
25	37,9
20	22,5

Tabela 2: V tabeli so prikazani rezultati praznjenja kondenzatorja



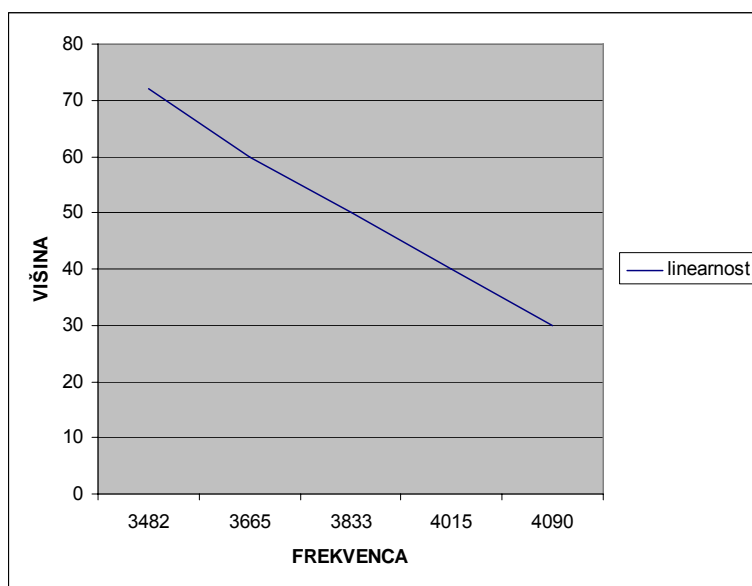
Graf 2: Praznjenja in povprečje praznjenja kondenzatorja

4. 5 PRIKAZOVALNIK NIVOJA

Za prikazovalnik nivoja sem moral izdelati oscilator, ki mi je spremembo kapacitivnosti spreminjal v frekvenco. To sem realiziral s čipom NE555, na katerega sem priklopil sondo na pin P2. Signal, ki je nastal na izhodu, sem priključil na atmela na pin P3. 4 (T0) in P3. 5 (T1).

Na atmela sem priklopil LCD, na katerem se mi je izpisovala višina nivoja tekočine, v mojem primeru vode.

Pri merjenju višine vode se je kapacitivnost spreminjala bolj ali manj linearno, kar je zagotovitev za točnost meritve. Manjša kot je bila kapacitivnost, večja je bila frekvenca na izhodu NE555. Ko se je voda dvigovala, je kapacitivnost rasla, frekvenca pa se je zmanjševala. Sedaj je nastopil problem pri izračunu linearne funkcije, saj se je frekvenca zmanjševala, nivo vode je rasel in sta bili ti dve veličini ravno v obratnem sorazmerju. To pomeni, da je smerni koeficient funkcije naraščanja vode v odvisnosti od frekvence negativen. S pomočjo grafa sem zapisal linearno enačbo, ki jo je bilo potrebno zapisati v program za izračun vrednosti nivoja glede na frekvenco. Program nato izpiše vrednost enačbe na prikazovalnik. Merilno odstopanje pri meritvi je +/- 1cm.



FREKVENCA	VIŠINA[cm]
3482	72
3665	60
3833	50
4015	40
4090	30

Graf 3: Graf funkcije za pretvorbo v želeno veličino



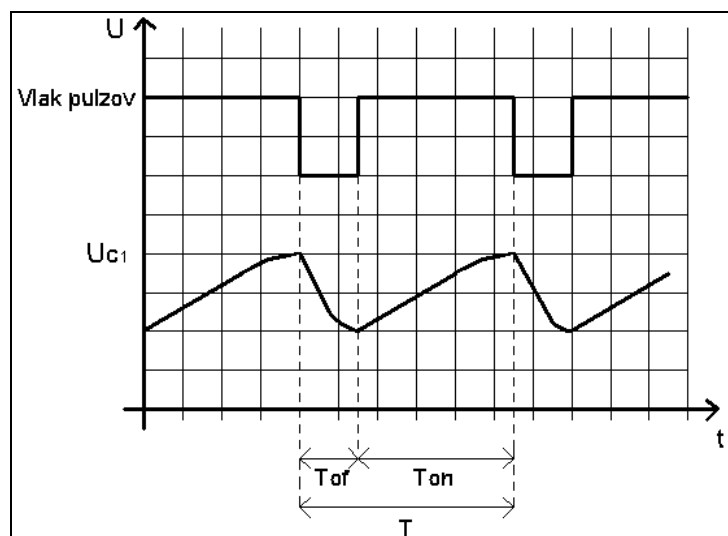
Slika 10: Izhodni prikaz nivoja vode na LCD zaslonu



Slika 11: Celotni merilni sistem s sondo in prikazovalnik nivoja vode

4.6 ASTABILNI MULTIVIBRATOR

Namenjen je generiranju vlaka impulzov. Narejen je tako, da s pomočjo zunanjih elementov proži sam sebe in tako deluje kot multivibrator. Zunanji kondenzator se polni preko uporov R_1 in R_2 , prazni pa se le preko upora R_2 , kar pa izkoriščamo za natančno nastavitvev razmerja časov t_{ON} in t_{OF} , s tem pa tudi frekvence. Naslednja slika prikazuje povezavo med napetostjo na kondenzatorju in vlakom impulzov.



Slika 12: Generiranje impulzov

Izhod na visokem potencialu (T_{ON}):

$$T_{ON} = 0.693(R_1 + R_2)C_1 \quad [\text{s}]$$

Izhod na nizkem potencialu (T_{OF}):

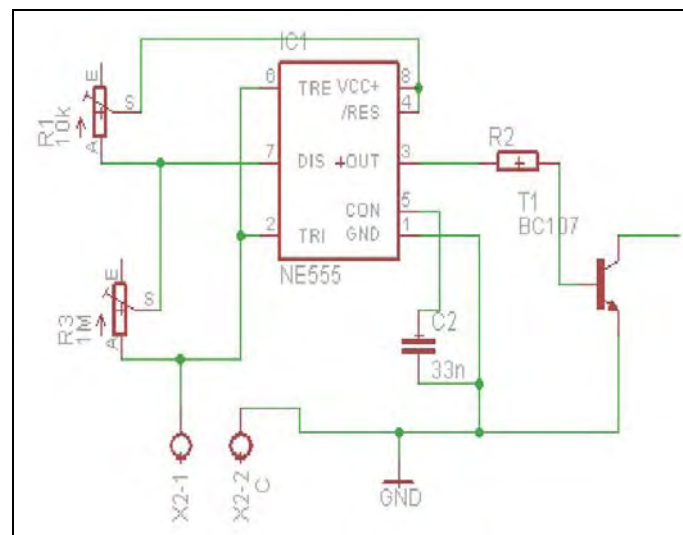
$$T_{OF} = 0.693 \cdot R_2 C_1 \quad [\text{s}]$$

Izražen celoten čas periode:

$$T = T_{ON} + T_{OF} = 0.693(R_1 + 2R_2)C_1 \quad [\text{s}]$$

Frekvenca oscilatorja:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C_1} \quad [\text{Hz}]$$



Slika 13: Vezava mojega astabilnega vezja

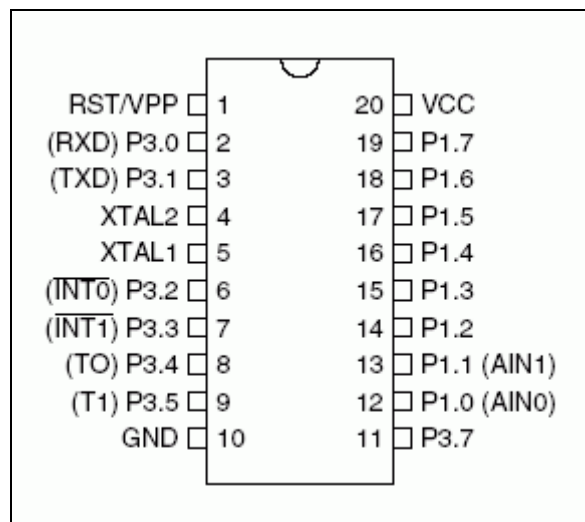
4. 7 MIKROKRMILNIK AT89C2051

Mikrokrmilnik potrebuje za svoje delovanje oscilator, ki daje mikrokrmilniku takt za izvajanje programa. Program se izvaja po korakih, ki jih imenujemo strojni cikli.

Za vsak strojni cikel mikrokrmilnik izvede del ukaza, pri tem primeru (89C2051) mikrokrmilnika, strojni cikel potrebuje 12 pulzov oscilatorja. Torej dobimo frekvenco strojnega cikla tako, da frekvenco oscilatorja delimo z 12, kar pri kristalu 12MHz znaša natanko 1MHz, oz. je čas periode 1mikro sekundo in se najkrajši ukaz izvede v eni mikrosekundi.

Reset vezje pa poskrbi, da se mikrokrmilnik ob vklopu napajanja postavi na začetek programa.

4. 7. 1 Priključki mikrokrmilnika



Slika 14: Priključki mikrokrmilnika

VCC – napajanje +4 do +6V

RST – resetira mikrokrmilnik, če je na '1'

GND – masa mikrokrmilnika 0V

XTAL1, XTAL2 – priključka za zunanji oscilator

P3.0 – P3.7 - vhodno-izhodni priključki port 3 (brez priključka P3.6)

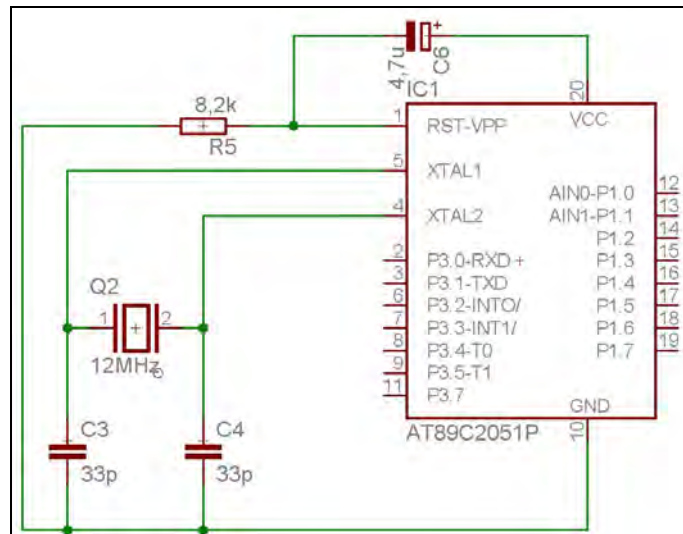
P1.0 – P1.7 – vhodno-izhodni priključki port 1

INT0, INT1 – zunanja prekinitvev 0 in 1

4. 7. 2 Osnovni podatki mikrokrmilnika

- Sistemska frekvenca od 0 do 24MHz
- Zunanji programski pomnilnik razširljiv do 64k zlogov
- Zunanji podatkovni pomnilnik razširljiv do 64k zlogov
- Pet prekinitvenih izvorov (dva zunanja)
- 2k notranjega flash pomnilnika

- 15 vhodno/izhodnih priključkov
- Dva 16 bitna števec/a časovnika



Slika 15: Osnovna vezava mikrokrmilnika

4. 7. 3 Merjenje frekvence z mikrokrmilnikom AT89C2051

Pri mikrokrmilniku lahko merimo frekvenco z integriranim števcem, tako da štejemo impulze v določenem času. Najprej inicializiramo časovnik, nastavimo način štetja, proženje, nastavimo ga kot števec in določimo lokacijo prekinitvenega podprograma. V inicializacijskem področju programa, definiramo tudi spremenljivke in nastavitve za LCD prikazovalnik. Pri LCD prikazovalniku določimo vrsto prikazovalnika (znaki in vrstice), širino podatkovnega vodila (4, 8 bitno) in definiramo, katere priključke na mikrokrmilniku bomo uporabili za prenos podatkov. V svojem primeru sem definiral priključke za prenos podatkov v nastavitvah za LCD prikazovalnik, v programu Bascom.

V glavnem programu vključimo števec ter v program vnesemo določeno zakasnitev. To je čas, v katerem želimo šteti impulze na vhodnem priključku števca. Po preteklem določenem času, izključimo števec. Dobljeno frekvenco lahko pretvorimo v katerokoli veličino, v mojem primeru v višino in volumen. To sem dosegel preko linearne funkcije $y = k \cdot x + n$. Zelo pomembno je, da se frekvenca ki jo pretvarjamo, spreminja zelo linearno in predhodno tudi kapacitivnost kondenzatorja. Če se frekvenca ne spreminja linearno, se posledično tudi izpis na zaslonu ne spreminja linearno. To pomeni, da se izpis na zaslonu v določenem območju spremeni več kot v drugem območju.

4. 7. 4 Program za izpisovanje frekvence nivoja vode

```
$regfile = "89c2051.dat"
$crystal = 24000000
```

```

Dim C As Word , D As Long , A As Long          'definicija spremenljivk
Dim T0ic As Long
Dim Delayword As Word

T0ic = 0
D = 0
*****
'nastavitev lcd prikazovalnika
Config Lcd = 16 * 2                            'znaki * vrstica
Baud = 4                                       'povezava z lcd prikazovalnikom
Cls                                             'izbriše lcd prikazovalnik, kurzor vrne na začetek
Cursor Off
Lcd "NIVO  h"                                  'izpis na lcd prikazovalniku

Config Timer0 = Counter , Gate = Internal , Mode = 1 'nastavitev timerja
On Timer0 Povečaj_spremenljivko                'prekinitev timerja
Priority Set Timer0
Enable Interrupts                              'omogoči prekinitve
Enable Timer0                                  'omogoči časovnik0
Counter0 = 0                                   'postavi števec na 0
Start Counter0                                 'vključi števec
*****
'glavna zanka
Do

Enable Interrupts
For Delayword = 1 To 15000                     'zakasnitvena zanka
Next Delayword
Disable Interrupts                             'onemogoči prekinitve
C = Counter0                                  'spremenljivka c je enaka števcu0
D = T0ic * 65536                              'spremenljivka d je enaka produktu prešteti prekinitev,in času
Lowerline
A = C + D
T0ic = 0
A = 60.04 * A                                  'pretvorba izmerjenega števila v zeleno veličino
A = A / 1000
A = 0 - A

*****
'izpis na prikazovalniku(lcd)
Lcd "      "
Locate 2 , 1
Lcd "=" ; A ; "cm"

Counter0 = 0                                   'postavi začetno vrednost števca0
Start Counter0                                'poženi števec0
Loop

```

Povečaj_spremenljivko:

'prekinitveni podprogram(štetje prekinitev)

Incr T0ic

Return

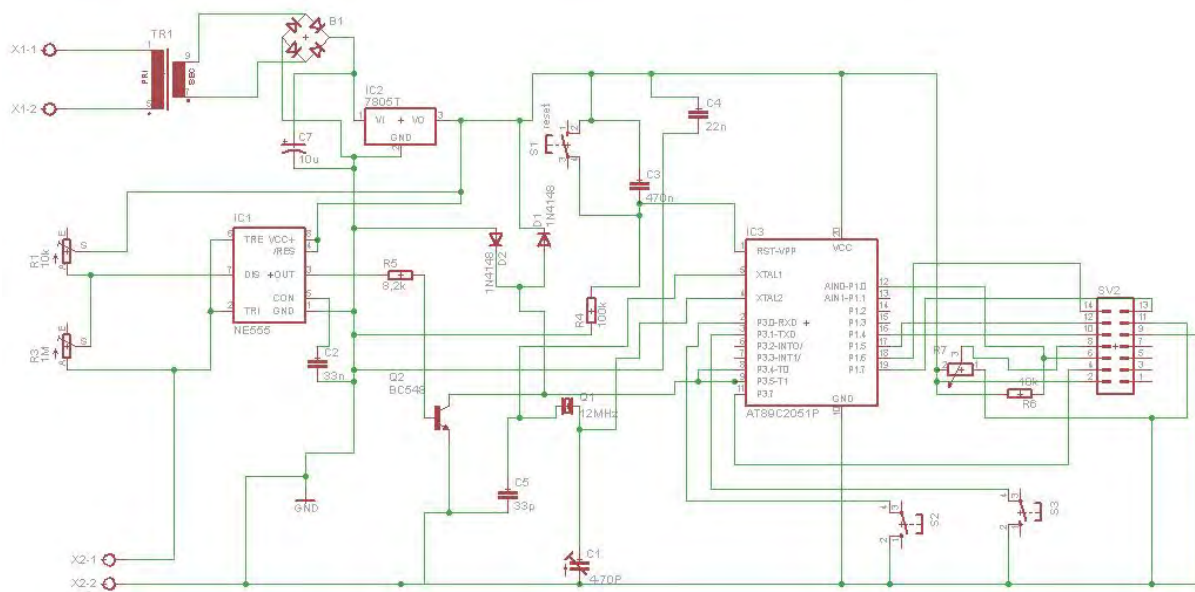
End

4. 8 IZDELAVA TISKANINE IN VGRADNJA V OHIŠJE

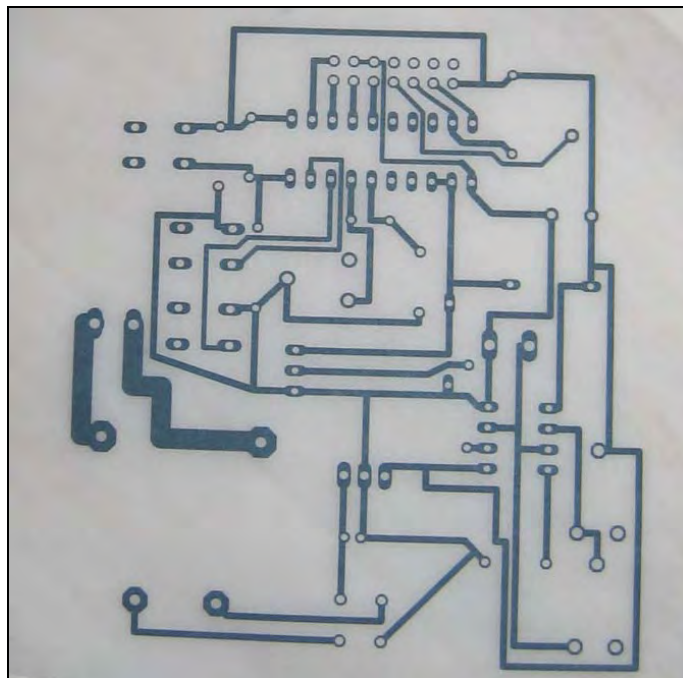
4. 8. 1 Izdelava tiskanine

Tiskano vezje sem narisal v programu Eagle. Najprej sem v knjižnici programa poiskal vse potrebne elemente, jih vstavil v »schematic« in povezal. Odprl sem »bord«, kjer sem si pripravil postavitev elementov za na tiskano. Avtomatski povezovalc mi je vse povezave povezal, tako da sem jih kasneje samo še odebelil. Ko je bilo vezje pripravljeno, sem ga stiskal na pavs papir in počrnil povezave z razredčilom.

Film sem postavil na bakreno ploščico, jo vstavil pod UV žarnico in počakal da je pretekel čas osvetljevanja. Po osvetljevanju sem razvil film, pri katerem sem dobil rezultat, jasne povezave. Ploščica je bila sedaj pripravljena na jedkanje. Po jedkanju je sledilo še vrtnanje lukenj in lahko sem začel s spajkanjem elementov na vezje.



Slika 16: Vežalna shema mikrokrmilnika in ostalih elementov



Slika 17: Stiskano vezje na pavs papirju



Slika 18: Postavitev elementov na tiskanini

4. 8. 2 Vgradnja v ohišje

Ko sem imel prispajkane vse elemente na ploščico, sem jo najprej še preizkusil, nato pa sem jo vgradil v ohišje. Vstavil sem jo v ohišje 100X100X65. Na pokrovu sem zarezal večjo odprtino, kjer sem vstavil LCD prikazovalnik. Pod njim sem vgradil tri tipke. Eno sem uporabil za »reset« vezje, ostali dve pa sta prosti in ju lahko uporabim pri spreminjanju programa na mikrokrmilniku. Na levo stran sem pritrdil ohišje za varovalko. Sprednja ličnica ima bananci za priključitev merilne sonde; nad njima je glavno stikalo za vklop napajanja, na skrajno desni strani je napajalni kabel.



Slika 19: Odprto ohišje s strani



Slika 20: Zaprto ohišje

4. 9 RAZPRAVA

Ob koncu bom predstavil še nekaj problemov, s katerimi sem se soočil, prav tako bom predstavil delovanje merilnika.

Pri izdelavi sonde nisem imel posebnih težav, te sem imel pri meritvah. Potrebno je bilo le izbrati material, odrezati cevi, narediti dve »puši« in vse sestaviti. Ko sem meril kapacitivnost sonde, sem opazil, da kapacitivnost vseeno ni tako zelo linearna; od začetka je zelo strmo naraščala, proti koncu je naraščala bolj položno. Ugotovil sem, da si je pred začetkom izdelave sonde potrebno izbrati material z dobrimi linearnimi lastnostmi, sicer lahko imaš kasneje težave pri pretvarjanju frekvence v višino merjene veličine. Merilna sonda mora imeti linearno spremembo kapacitivnosti v celotnem merilnem območju. Za to pa morajo biti izpolnjeni določeni pogoji. Izbrati je treba pravi materialni del; če za sondo izberemo dve cevi, je priporočljivo, da je notranja cev zamašena ali zelo dobro izolirana. Opazil sem, da je pri sondi iz bakra kapacitivnost do višine 40 cm naraščala hitro, proti višini 80 cm pa je naraščala počasneje. Zaradi tega sem imel težave z določanjem smernega koeficienta, s pomočjo katerega lahko pretvarjamo le, če je veličina linearna, zato sem kasneje izdelal še eno sondo, ki ima jedro iz medenine, ovoj okoli nje pa je iz železa. Pri njej je kapacitivnost naraščala vzdolž celotne višine enakomerno, tako da ni bilo težko določiti smernega koeficienta.

Če hočemo izračunati kapacitivnost sonde v nekem trenutku, (npr. ko voda pokriva $\frac{1}{2}$ sonde), moramo gledati merilno sondo kot kondenzator, ki je sestavljen iz kapacitivnosti zraka in kapacitivnosti vode. Tako pri prvem v enačbo za dielektrik vstavimo dielektričnost zraka, v drugem pa dielektričnost vode. Realno vrednost kondenzatorja dobimo le, če seštejemo kapacitivnost zraka in vode.

Tudi če ustrezno ne izoliramo eno elektrodo, lahko kapacitivnost izmerimo, če pa priključimo takšno merilno sondo na dajalnik pravokotne napetosti, nam ta na izhodu (pri merjenju z osciloskopom) pokaže raven signal. Podobno težavo sem imel, dokler nisem manjše cevi - elektrode oblekel v obžirko in jo na koncu zalepil s silikonom.

Meritve sem sproti izvajal tako, da sem si celotno vezje sestavil na testno ploščico, a sem kmalu ugotovil, da si bo potrebno izdelati tiskanino, saj je testna ploščica nezanesljiva. Z načrtovanjem vezja nisem imel težav, saj imam dovolj znanja za načrtovanje tiskanih vezij, prav tako tudi za njihovo izdelavo.

Pojavilo se je tudi nekaj manjših težav in popravkov v programskem delu mikrokrmilnika, ti so potrebni za dobro delovanje merilnika nivoja.

Največje težave so bile pri pretvarjanju frekvence v želeno veličino. Z višanjem nivoja vode frekvenca pada in je smerni koeficient linearne funkcije negativen, zato je na zaslonu izpisana vrednost negativna. To sem odpravil tako, da sem dobljeno negativno vrednost odštel od števila nič in dobil pozitivno število. Merilno odstopanje na LCD prikazovalniku je +/- 1cm. Odvisno je od vseh predmetov, ki so bliže kot 20 cm od sonde. Po odpravljenih težavah merjenja nivoja sem napisal še program za izračunavanje volumna posode; edina programska težava je bila ta, da sem želel imeti izpis volumna na dve decimalki natančno. Meritev volumna ima merilno odstopanje +/- 1dcl.

5. ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi je raziskano delovanje kapacitivnega merilnika nivoja, ki je izdelan za merjenje tekočin in sipkih materialov. Preden sem lahko pričel z izdelavo sonde, sem moral posodo, v kateri sem meril nivo vode, opremiti s cevmi in ventili za dotok in odtok vode. Sondo sem kasneje pritrdil na ohišje, nadaljeval sem z izdelavo vezja na eksperimentalni plošči, s katerim sem opravil meritve kapacitivnosti sonde pri različnih nivojih vode.

Po opravljenih meritvah sem izdelal oscilator pravokotne napetosti, pri katerem sem kondenzator za določanje frekvence na izhodu zamenjal s kapacitivno sondo, ki sem jo sam izdelal. Izhodni signal sem pripeljal na priključek števca na mikrokrmilniku, s katerim sem štel impulze in jih izpisoval na prikazovalniku. Meritvam je sledila izdelava tiskanine merilnega vezja za nivo tekočine in vgradnja te v ohišje.

Dosegel sem zastavljene cilje in v celoti potrdil hipoteze. Nalogo bi lahko nadgradil z regulacijo nivoja, ki bi ga reguliral preko pretočne črpalke; regulacija je odvisna je od zgornje in spodnje meje nivoja.

Spoznal sem, da je za izdelavo takšnega kapacitivnega merilnika nivoja treba skrbno izbrati material za merilno sondo. Za morebitne nadaljnje raziskave je priporočljivo uporabiti kovinske zunanje cevi in medeninasto jedro ter uporabljati AT 89C4051, saj končni program zasede nekaj več kot 2kB delovnega pomnilnika (RAM-a). Nadaljnje raziskave so lahko v smeri:

- meritve drugih vrst tekočin ali sipkih materialov,
- vplivov okolice na spreminjanje kapacitivnosti,
- vplivov nečistoč na merilno sondo.

6. VIRI IN LITERATURA

1. KARBA, R. 1994. Gradniki sistemov vodenja. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo.
2. MITROVIĆ, V. 2002. Programiranje mikrokontrolera programskim jezikom Bascom. Ljubljana: AX elektronika.
3. MIKELN, J. 2007. Bascom: teorija in praktični projekti. Ljubljana: AX elektronika.
4. PLUKAVEC, M., ZWITTER, S. 1997. Kako do raziskovalne naloge in kako ustvariti vidno podobo. Ljubljana, Zavod za tehnično izobraževanje, 21 str.
5. PRIROČNIK za elektrotehniko in elektroniko. Ljubljana: Tehniška založba, 2003.
6. Dostopno na naslovu:
http://baza.svarog.org/elektrotehnika/senzorska_tehnika_2_vaja4.php, 2. 1. 2009.
7. Dostopno na naslovu:
http://lpa.feri.uni-mb.si/Seminar_II/koncna_porocila/2003_1.pdf, 16. 12. 2008.

7. ZAHVALA

Nastala je zanimiva raziskovalna naloga, zato bi se rad zahvalil vsakemu, ki mi je v teh štirih mesecih raziskovalnega dela priskočil na pomoč, mi podal kakšno mnenje, idejo, kritiko ipd. Skratka, hvala vsem, ki ste na kakršenkoli način pripomogli, da je to delo nastalo.

Najprej iskrena zahvala mentorju prof. Gregorju Kramerju za vso potrpežljivost, ideje, strokovno pomoč pri delu, iskanju gradiva, računalniških in meritvenih nasvetih.

Zahvala velja tudi prof. Gvidu Paru za pomoč pri risanju vezja in nasvete pri izdelavi ploščice.

Zahvaljujem se prof. Petru Kuzmanu za razlago in nasvete pri delovanju mikrokrmilnika.

Hvala mag. Tanji Jelenko za lektoriranje naloge.

Hvala prof. Ireni Sojč za lektoriranje angleškega prevoda.

Zahvaljujem se tudi mojemu sošolcu Urošu Sadeku za nasvete pri pisanju programa za mikrokrmilnik.