



Univerza v Mariboru

*Fakulteta za elektrotehniko,  
računalništvo in informatiko*

**Božidar Roglič**

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM  
Elektrotehnika - smer elektronika

**Dopplerjev iskalnik smeri**

v Mariboru, 11.12.2010



## *Kazalo*

<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>1 TEORETIČNI DEL.....</b>	<b>2</b>
<b>2 GLAVNI DEL.....</b>	<b>4</b>
2.1 Antena.....	4
2.2 Glavno vezje.....	6
2.3 Program.....	8
2.4 Izdelava tiskanin.....	9
<b>3 SKLEP.....</b>	<b>10</b>
<b>4 REFERENCE.....</b>	<b>10</b>

Slika 1 - Kroženje antene in sprememba frekvence signala.....	2
Slika 2 - Preklapljanje antene in Dopplerjevi pulzi.....	3
Slika 3 - Pulzi filtrirani s SCF.....	3
Slika 4 - Shema stikalne plošče.....	4
Slika 5 - Shema končne ploščice.....	5
Slika 6 - Zgled postavitve stikalne plošče.....	5
Slika 7 - Zgled postavitve končne ploščice.....	5
Slika 8 – Zgled postavitve glavne plošče.....	6
Slika 9 - Shema glavnega vezja.....	7
Slika 10 – Potek programa.....	8

## UVOD

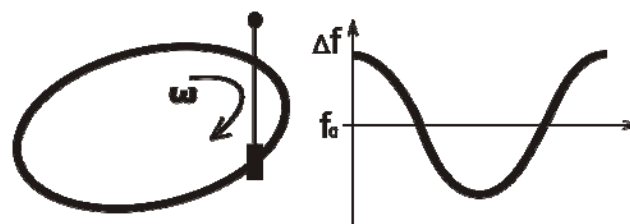
*Odločil sem se izdelati dopplerjev iskalnik smeri, saj je to lahko dokaj uporabna merilna naprava za določanje smeri, iz katere nam prihaja nek sprejet radijski signal.*

## 1 TEORETIČNI DEL

Klasičen primer dopplerjevega zamika je prihajajoči vlak, kateremu se drastično spremeni zvok, ko se pelje mimo nas ter se začne oddaljevati. Podobno se dogaja na primer pri sprejemu satelita v zemljini orbiti, katerega sprejemnik sprejema na višji frekvenci ko se mu po tirnici približuje. Sprememba frekvence se zgodi, ker približevanje efektivno skrajša valovno dolžino.

Podoben pojav opazimo če premikamo anteno. Sprejet signal na anteni, ki se izvoru približuje je na videz višje frekvence, kot če bi antena bila pri miru. Obratno pa je, seveda, če se antena oddaljuje od vira, saj se v tem primeru frekvenca na videz zniža. To lastnost pa lahko izkoristimo.

Če si predstavljamo anteno, ki se premika po neki krožnici, se nekaj časa približuje izvoru, nekaj časa pa oddaljuje. Temu primerno se spreminja tudi frekvenca sprejetega signala. Vendar pa je v trenutkih ko je antena najbližje in najdlje od izvora sprejet signal prave frekvence ( $f_0$ ), saj se sprejemna antena niti ne približuje niti ne oddaljuje od izvora.



Slika 1 - Kroženje antene in sprememba frekvence signala

Opazimo, da se frekvenca spreminja kot funkcija kotne hitrosti antene

$$\Delta f = (\omega \cdot r \cdot f_0) / c$$

kjer je:

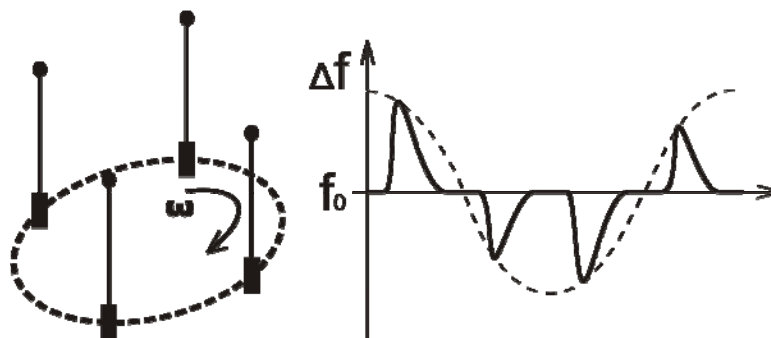
- $\Delta f$  – sprememba frekvence v Hz (Dopplerjev premik)
- $\omega$  – kotna hitrost antene v radianih
- $r$  – radij antene v metrih
- $f_0$  – frekvenca oddanega signala (Hz)
- $c$  – hitrost svetlobe ( $3 \cdot 10^8$  m/s)

Vzemimo za primer signal frekvence 435 MHz in anteno s polmerom 12cm. Želimo pa okrog 500Hz spremembe frekvence.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = (\Delta f \cdot c) / (r \cdot f_0)$$

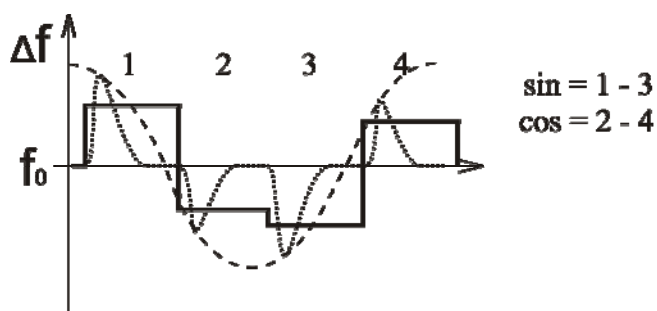
Kotna hitrost je potem 2873rad/s, kar pomeni 457 vrtljajev na sekundo ali 27440 vrtljajev na minuto. Hitrost antene pri takih vrtljajih je ( $v = \omega \cdot r$ ) 345 m/s, kar pomeni, da je mehanska izvedba take antene nemogoča, lahko pa jo simuliramo.

To dosežemo tako, da več anten razporedimo v krožnico ter jih krožno preklapljam. V tem primeru pa na izhodu zgubimo lep sinus, ki ga povzroča vrtenje. Namesto njega dobimo ob preklopih anten pulze, ki sovpadajo z amplitudo namišljenega sinusa vrteče se antene.



Slika 2 - Preklapljanje antene in Dopplerjevi pulzi

Te pulze je potrebno filtrirati, da dobimo signal podoben dopplerjevemu sinusu. Za ta namen uporabimo kar digitalni filter z preklapljanimi kondenzatorji (ang.: Switched capacitor filter - SCF). Ti filtri imajo izredno ozko pasovno širino in so zaradi svojega delovanja idealni za to aplikacijo.



Slika 3 - Pulzi filtrirani s SCF

Filtrirani pulzi so primerni za AD pretvorbo, ker pa imamo antene postavljene paroma pravokotno, lahko z enim parom izmerimo sinusno komponento dopplerjevega sinusa, z drugim parom pa kosinusa. Z razmerjem sinusa in kosinusa pa lahko izračunamo izhodiščno smer signala :

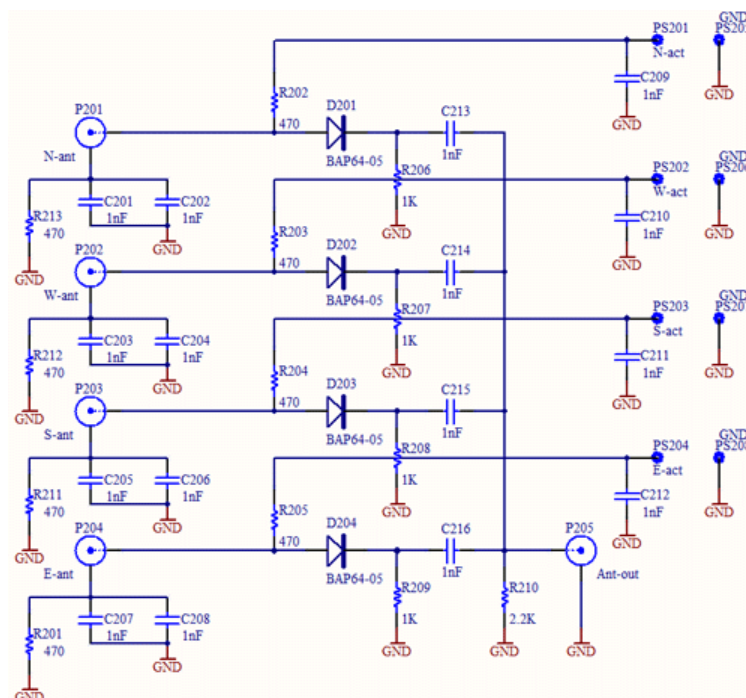
$$\varphi = \text{arctg}(\sin/\cos)$$

## 2 GLAVNI DEL

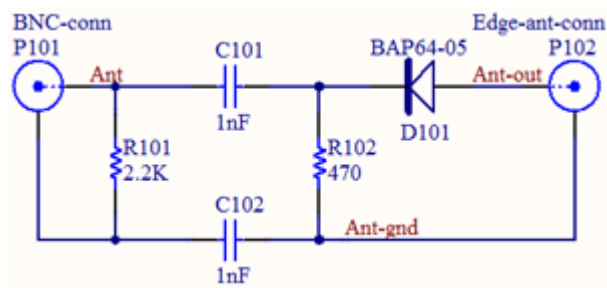
Naprava ima sprejemno anteno, oziroma 4 sprejemne antene, ki jih preklaplja tako, kot bi se ena antena navidezno vrtela. Kot stikala sem uporabil PIN diode, ki jih preklapljam z PIC mikrokontrolnikom PIC18F2458. Signal z antene peljem naprej v FM demodulator, za katerega sem uporabil kar radioamatersko radijsko postajo. Zvočni signal, ki ga sprejema radijska postaja pa peljem na filter s preklapljanimi kondenzatorji, katerega tudi krmili isti PIC. S filtra nato z vgrajenim 12 bitnim AD pretvornikom PIC mikrokontrolnika preberem vrednosti, ki jih preračunam v samem PIC-u ter prikažem na LCD zaslonu.

### 2.1 Antena

Anteno sem izdelal iz aluminijaste plošče. Nanjo sem v sredini postavil navidezen kvadrat s stranico približno  $\lambda/4$ , v njegove kote pa sem izvrtal luknje in namestil ženske BNC panel vtičnice. Za vertikalne elemente antene pa sem vzel srebrno varilno žico ter jo prispajkal na moški BNC vtič. Tako sem dobil anteno, kateri se lahko menjajo elementi v primeru uporabe antene na drugem frekvenčnem področju. Za drugo frekvenčno območje le vstavimo elemente primernih dolžin. Na sredino spodnje strani plošče sem namestil stikalno škatlo iz katere vodijo štiri koaksialni kabli, vsak do svoje končne ploščice, ki je privijačena ter prispajkana na BNC vtičnico.

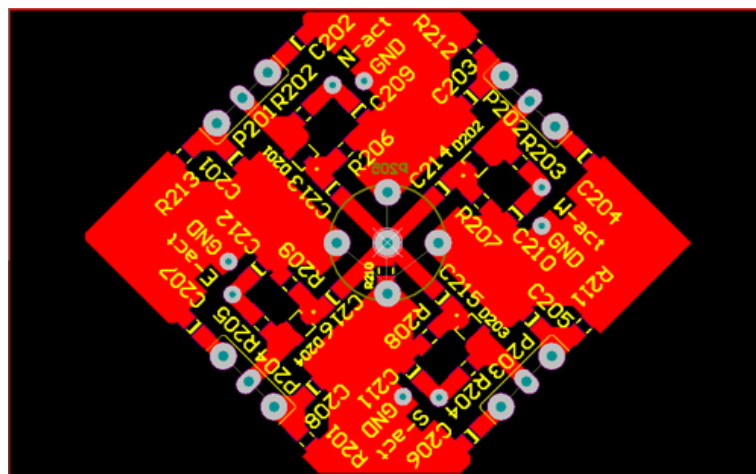


Slika 4 - Shema stikalne plošče

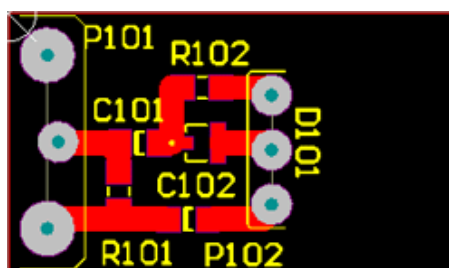


Slika 5 - Shema končne ploščice

Delovanje elektronike je precej enostavno. Da aktiviramo enega izmed elementov antene, pripeljemo na izbrani vhod napetost 5V. Ta požene tok skozi obe diodi, ki se v tem trenutku odpreta in prepuščata ne le enosmerni tok, temveč tudi RF signal iz izbranega elementa, ki ga pripeljeta do izhoda proti radioamaterskem sprejemniku. Za enosmerno izolacijo antene in sprejemnika, s katero zagotovimo dodatno mero zaščite proti poškodovanju vhoda sprejemnika, so na vseh mestih prisotni vezni kondenzatorji 1nF, ki RF signal prepuščajo.



Slika 6 - Zgled postavitve stikalne plošče



Slika 7 - Zgled postavitve končne ploščice



## 2.2 Glavno vezje

Glavno vezje s PIC18F2458 mikrokrmilnikom je tisto, ki skrbi za usklajeno delovanje vseh elementov iskalnika.

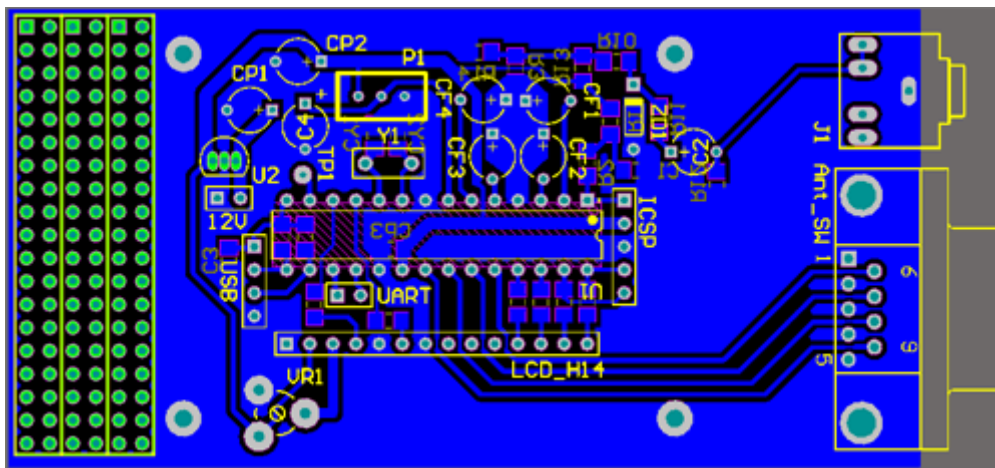
Napajanje je izvedeno z linearnim regulatorjem 78L05, ki lahko zagotovi največ 100mA toka. Pričakovana poraba pa je okrog 20mA.

Signal iz radioamaterske postaje peljemo na vhod vezja, kjer poskrbimo za zaščito vhoda PIC mikrokrmilnika. S kondenzatorjem se znebimo enosmerne komponente signala, z Zener diodo pa poskrbimo, da signal ostane v mejah vhodnih napetosti našega mikrokrmilnika.

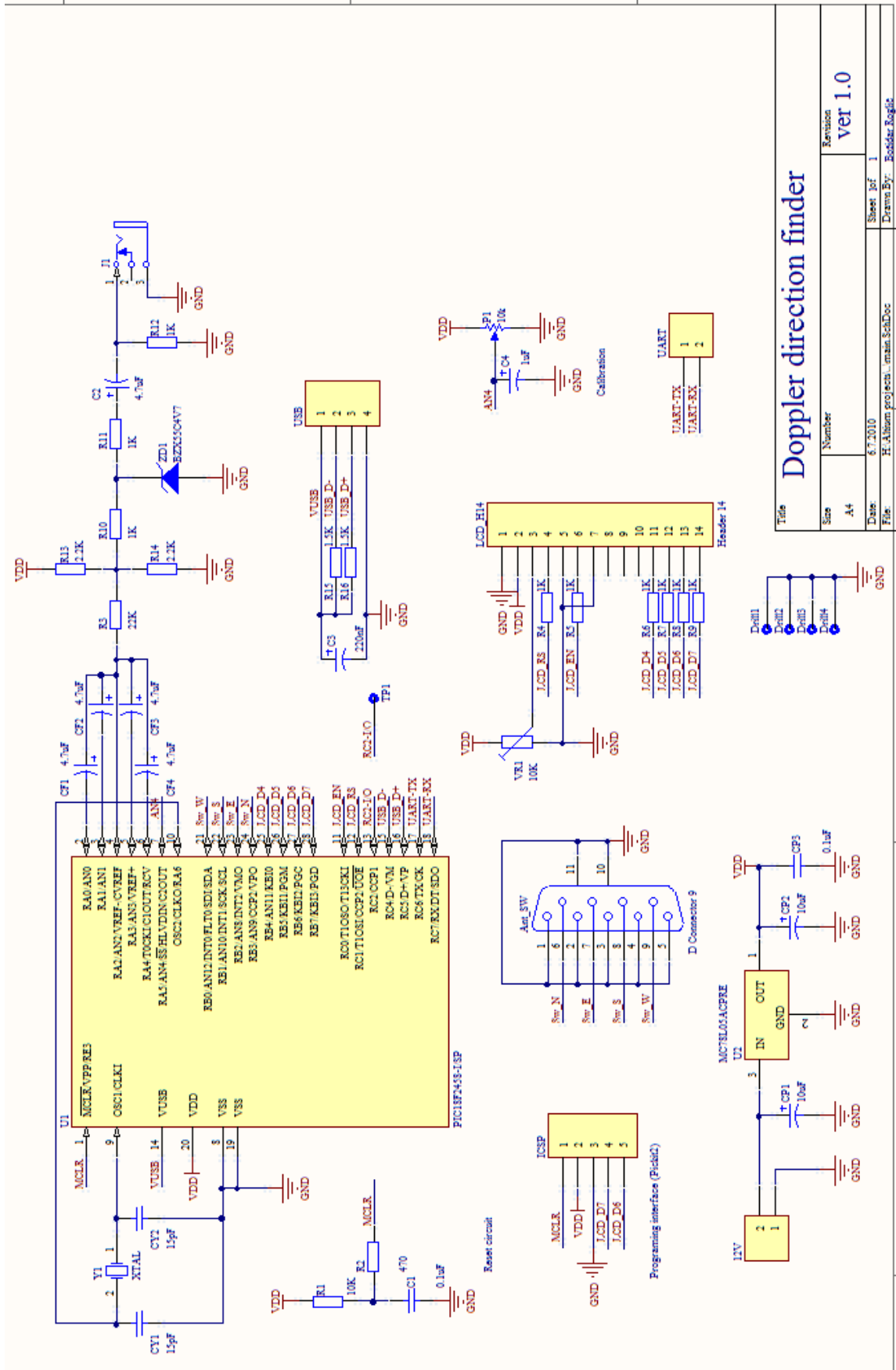
Ta signal nato filtriramo na našem digitalnem filtru, ki ga krmilimo z enako frekvenco kot naše antenske elemente ter tako dobimo nivoje, ki so ekvivalentni točkam zamaknjenim za 90° na sinusni krivulji.

Za nastavitvev izhodiščnega kota sem uporabil multi turn nastavljljivi upor, ki ga preberem z AD pretvorbo na PIC mikrokrmilniku.

Uporabil sem LCD prikazovalnik velikosti 2x16 znakov, s standardnim HD44780 krmilnikom, na katerem prikazujem rezultat. Da sem prihranil pri povezavah z mikrokrmilnikom, sem ga povezal v 4 bitnem načinu ter tako prihranil 4 izhode PIC mikrokrmilnika.



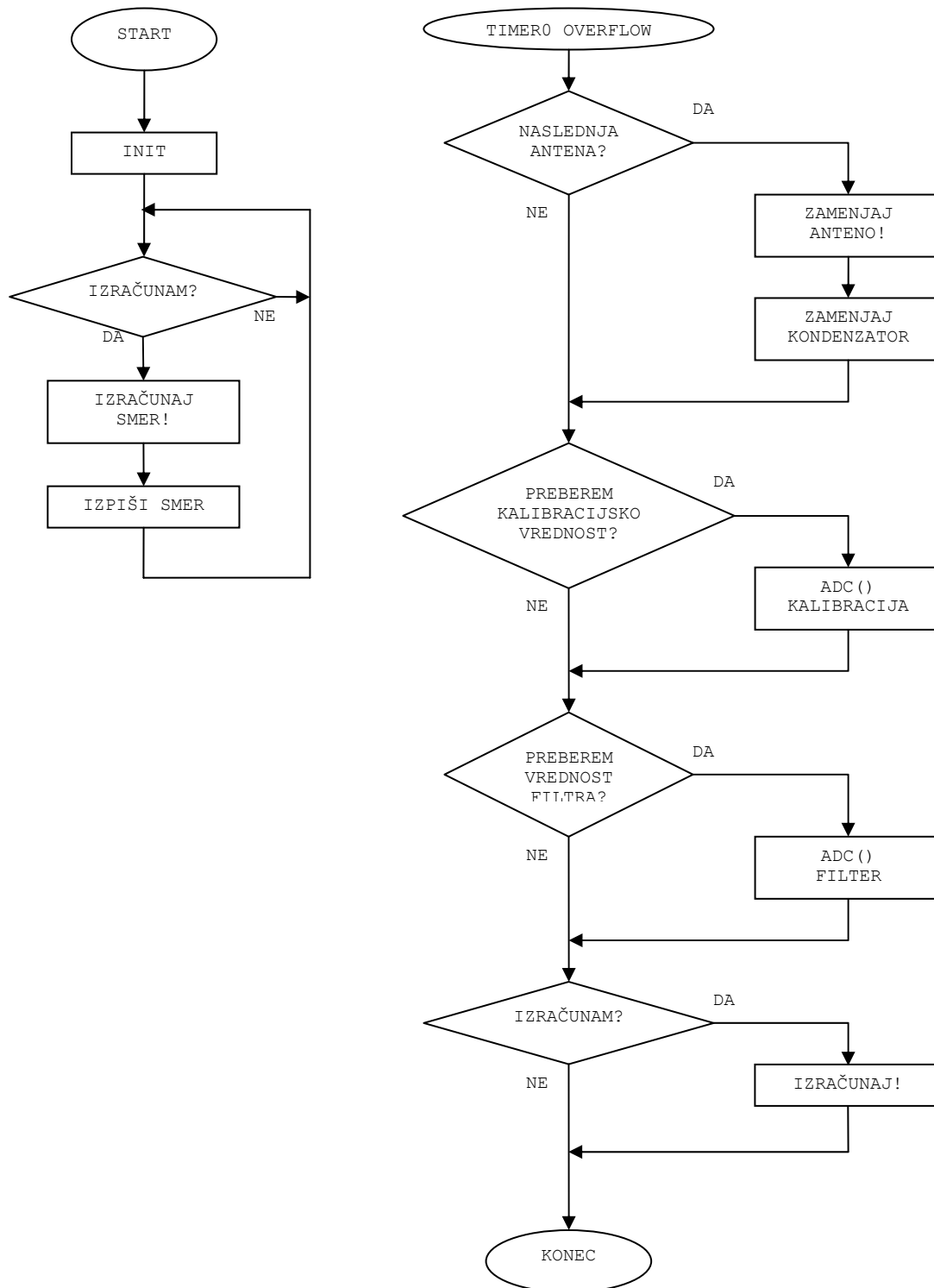
Slika 8 – Zgled postavitve glavne plošče



Title		Revision	
Doppler direction finder		ver 1.0	
Size	A4	Number	
Date	5.7.2010	Sheet 1 of 1	
File	H:\Ablom\proj\sch\main\SchDoc	Drawn By	Božidar Roglič

Slika 9 - Shema glavnega vezja

## 2.3 Program



Slika 10 – Potek programa

Program je napisan v programskem jeziku C. Njegova naloga je, da preklaplja antene ter filter, bere analogne vrednosti dopplerjevih pulzov in kalibracijskega potenciometra ter izpiše rezultat na LCD prikazovalnik.

Uporablja en notranji števec Timer0, ki proži prekinitvev. Ta se zgodi vsakih 103,8  $\mu$ s, mi pa moramo zamenjati anteno približno vsake 500  $\mu$ s. In zato to naredimo z vsako peto prekinitvijo. Vmesne prekinitve pa izkoristimo za AD pretvorbe in izračune ter izpis.

## 2.4 Izdelava tiskanin

Tiskanine sem se odločil izdelati sam po postopku toplotnega prenosa tonerja. Toner je prah, ki ga uporabljajo laserski tiskalniki za tiskanje in je stabilen pri jedkanju, kar pomeni, da ga jedkalo ne raztopi.

Sama ideja je taka, da izgled tiskanine natisnemo na nek gladek papir, na katerega se toner ne bo uspel močno prijati. Pri tem moramo paziti ali bomo sliko zrealili ali ne. Papir položimo s tonerjem navzdol na dobro očiščeno in razmaščeno bakreno stran tiskanine. Nato toner z uporabo likalnika prenesemo tako, da nekaj časa močno pritiskamo na papir z zelo segretim likalnikom. Za prenos pa lahko uporabimo tudi laminator, skozi katerega večkrat pošljemo tiskanino skupaj s papirjem. Ta način ponavadi daje tudi boljše rezultate.

Ko smo prepričani, da se je toner res oprijel bakrene površine, pustimo ploščico, da se ohladi. Nato pa jo potopimo v toplo vodo, da se papir napije vode in odstopi. Včasih mu moramo tudi malo pomagati z drgnjenjem, vendar je treba biti previden in nežen, saj lahko zdrgnemo tudi toner, ki bi sedaj moral delovati kot zaščitna plast za lak med jedkanjem.

Za jedkalo sem uporabil železov(III)klorid ( $\text{FeCl}_3$ ), saj sem ga imel ravno pri roki že namešanega z vodo. Jedkalo je okrog 15min s stalnim mešanjem raztopine. Mešal sem kar tako, da sem posodico nagibal na eno ter drugo stran. Grel pa mešanice tudi nisem, razen toliko, kot so jo ogrele moje dlani. Pri jedkanju z železovim(III)kloridom je potrebno biti previden, saj je to močna kislina in pušča madeže na oblačilih in koži. Med jedkanjem se sprošča plin klor ( $\text{Cl}$ ), zato ni priporočljivo jedkati v zaprtih prostorih. Najboljše zunaj ali na prepihu.

Ko smo prepričani, da nam je dovolj izjedkalo vzamemo ploščico ven ter jo speremo z veliko tekoče vode. Železov(III)klorid se uporablja kot sredstvo za strjevanje v čiščenju odplak in v procesu proizvodnje pitne vode. Zato menim, da je varno ostanke raztopine izliti v odtok, če le speremo z veliko količino vode, ki jo še bolj razredči. Z bakra lahko toner očistimo mehansko s kakšno grobo kuhinjsko krpo ali pa ga očistimo s topilom kot je aceton.

### 3 SKLEP

Namenoma nisem nikjer napisal dimenzij antene, valovnih dolžin ali frekvenc za katere sem izdelal iskalnik. Vzrok je ta, da je elektronika iskalnika povsem univerzalna za področje od okrog 100 MHz pa najbrž do okrog 1 GHz. Iskanje je seveda odvisno od naše želje, nato pa tudi od sprejemnika/FM demodulatorja. Temu primerno zgradimo anteno. Vertikalni elementi so dolgi  $\lambda/4$  in enako razmaknjeni. Postavljeni so na sredino aluminijske plošče, katera je velika toliko, da imajo elementi okrog vsaj  $\lambda/4$  plošče.

Jaz sem izdelal celotni iskalnik za območje frekvenc okrog 430 – 440 MHz. Torej sem vertikalne elemente odrezal na dolžino 17cm. Uporabljeni sprejemnik je Kenwood TM-721 na 70cm radioamaterskem območju, ki skrbi za FM demodulacijo.

Ta sistem iskanja smeri signala je zelo občutljiv na odboje, saj s tem dobimo za rezultat smer, ki skače od enega do drugega odboja t.i. »multipath«. Iz tega razloga so meritve v zaprtih prostorih zelo težavne, saj se signali odbijajo od sten in vseh predmetov v sobi. Odboji so problem nasploh v urbanih področjih, kjer se odbijajo od zgradb, pa tudi dreves. Zato je ta sistem najbolj učinkovit na velikih ravninah ali pa na vrhovih hribov ter visokih stavb.

En način za izničenje vplivov odbojev od bližnje okolice (drevesa, grmovja, druge antene) je, da se antena premika. Na ta način naj bi se razni manjši odboji odpravili, saj naj bi se napake odštele.

### 4 REFERENCE

1. **Transmitter hunting, radio direction finding simplified**, Joseph D. Moell (K0OV), Thomas N. Curlee (WB6UZZ)
2. <http://www.silcom.com/~pelican2/INTRO.html>
3. [http://www.silcom.com/~pelican2/PicoDopp/PICO\\_MORE.html](http://www.silcom.com/~pelican2/PicoDopp/PICO_MORE.html)
4. [http://www.cvarc.org/tech/doppler\\_df/t-hunting\\_and\\_doppler\\_df.pdf](http://www.cvarc.org/tech/doppler_df/t-hunting_and_doppler_df.pdf)
5. <http://www.ramseyelectronics.com/downloads/manuals/DDF1.pdf>
6. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39887b.pdf>