



Šolski center Celje
Srednja šola za elektrotehniko in kemijo

SLEDILNIK SONCU

raziskovalna naloga

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

Avtor:
Jernej SEVŠEK, E-4. c

Mestna občina Celje, Mladi za Celje
Celje, 2009

1. KAZALO VSEBINE

1. KAZALO VSEBINE	1
1. 1 KAZALO SLIK	2
2. POVZETEK IN KLJUČNE BESEDE	3
2. 1 POVZETEK	3
2. 2 KLJUČNE BESEDE	4
3. UVOD	5
3. 1 OPIS RAZISKOVALNEGA PROBLEMA	5
3. 2 HIPOTEZE	5
3. 3 OPIS RAZISKOVALNIH METOD	5
4. OSREDNJI DEL NALOGE	6
4. 1 PREDSTAVITEV REZULTATOV RAZISKOVANJ	6
4. 1. 1 IZVEDBA FIKSNE KONSTRUKCIJE	6
4. 1. 2 IZVEDBA SLEDILNE KONSTRUKCIJE	8
4. 1. 3 IZVEDBA VEZJA	11
4. 1. 4 IZVEDBA PROGRAMA	13
4. 2 RAZPRAVA	15
5. ZAKLJUČEK	16
6. VIRI IN LITERATURA	17
7. ZAHVALA	18

1. 1 KAZALO SLIK

Slika 1: Fotovoltaični modul	5
Slika 2: Ogradje s prečnima nosilcema	6
Slika 3: "Polmesec" za nastavitev naklona.	7
Slika 4: Fotovoltaična modula s kraki za stabilnost	7
Slika 5: Enosmerni motor za pogon sledilnega sistema	8
Slika 6: Konstrukcija za sledenje soncu	9
Slika 7: Prenosni mehanizem	10
Slika 8: Električna shema vezja.	11
Slika 9: Prikaz tiskanine v programu Eagle.	12

2. POVZETEK IN KLJUČNE BESEDE

2. 1 POVZETEK

V raziskovalni nalogi sem raziskal sončni sledilnik, podrobno so predstavljeni način delovanja, vse njegove pomanjkljivosti in možne nadgradnje. Prav tako je predstavljen tudi način izdelave sončnega sledilnika. Cilj naloge je dokazati prednosti pridobivanja energije s fotonapetostnim modulom, ki je sposoben slediti soncu, proti fiksno postavljenemu modulu. Za dosego cilja sem najprej pridobil dva enaka fotonapetostna modula, da sem ju lahko pozneje primerjal. Nato sem izdelal dve kovinski konstrukciji, v kateri sem vgradil oba modula. Ena konstrukcija je bila namenjena za fiksno postavitev modula, druga pa se je sposobna vrteti okoli svoje osi, zato je uporabljena kot sončni sledilnik. Sledila je izdelava pogona in pogonskih mehanizmov za obračanje modula. Izdelati je bilo treba še regulacijsko krmilje, ki je krmililo sončni sledilnik. To sem izvedel v posebnem računalniškem programu za izdelavo tiskanih vezij. Ko so bili vsi elementi prispajkani na tiskanino, je bilo treba izdelati še programski del krmilja. Program za sončni sledilnik sem napisal v enem od programskih prevajalnikov in ga prenesel na mikrokontroler ATmega8. Tako je bilo vse pripravljeno za preizkušanje in izvajanje meritev.

2. 2 KLJUČNE BESEDE

- **AT89C2051** – mikrokontroler družine 89C51
- **ATmega8** – mikrokontroler družine AVR
- **TISKANO VEZJE** – fiksno vezje, ki je izoblikovano na tanki trdni ploščici
- **FOTONAPETOSTNI MODUL** – modul, sestavljen iz več sončnih celic, ki zaradi sončnega obsevanja proizvajajo električno energijo
- **REGISTRATOR** – naprava, ki beleži trenutne vrednosti in jih zapisuje na papir ali v računalnik

3. UVOD

3. 1 OPIS RAZISKOVALNEGA PROBLEMA

Na začetku šolskega leta je profesor povprašal razred, če želi kdo imeti raziskovalno nalogo. Dogovorila sva se za raziskavo alternativnih virov energije. Tudi sam sem že pred časom razmišljal o postavitvi fotovoltaične elektrarne, zato sem se odločil raziskati izkoristek sončnih celic. Z mentorjem sva se dogovorila, da bi primerjala izkoristke fotonapetostnih modulov, če so postavljeni fiksno ali če sledijo soncu. Na nekaterih spletnih straneh, kjer ponujajo izdelavo sončnih elektrarn s sledenjem, trdijo, da je izkoristek do 20 % večji. To želim v raziskovalni nalogi preveriti.

3. 2 HIPOTEZE

- ✓ Izkoristek sončne celice je za 20 % večji ob uporabi sončnega sledilnika.
- ✓ Sončni sledilnik je neobčutljiv na kratkotrajne vplive senčenja zaradi oblakov.
- ✓ Sončni sledilnik je uporabljen na lokacijah, kjer ni motilnih vplivov senc sosednjih objektov.

3. 3 OPIS RAZISKOVALNIH METOD

Praktični del raziskovalne naloge se je pričel z nakupom enega fotonapetostnega modula pri slovenskem proizvajalcu Bisolu iz Velenja. Fotonapetostni modul ima moč 210 W, model modula je BMU-215-1/213, nazivna napetost je 36 V in kratkostični tok je 8,1 A. Še en takšen modul je priskrbel mentor. Izdelal sem dve kovinski konstrukciji za modula. Prva je fiksna, le nastavitev naklona modula je ročna, druga pa je primerna za sončni sledilnik, saj konstrukcijsko omogoča zasuk skoraj 180° z enosmernim elektromotorjem, ki se sicer uporablja pri avtomobilskih brisalcih. Tudi ta konstrukcija ima možnost ročne nastavitve naklona. Za meritev izkoristka sem uporabil štirikanalni registrator, ki se priključi na računalnik in prek enostavnega programa zajame podatke o napetosti in toku. Oba modula sem obremenil z avtomobilski žarnicami, ker so najmanj občutljive na napetostne nihljaje.



Slika 1: Fotovoltaični modul

4. OSREDNJI DEL NALOGE

4. 1 PREDSTAVITEV REZULTATOV RAZISKOVANJ

4. 1. 1 IZVEDBA FIKSNE KONSTRUKCIJE

Konstrukcijo sem izvedel skupaj s prijateljem, ki ima več znanj iz strojne smeri in tudi vsa potrebna orodja, kot so dovolj veliki vrtalniki, tračni rezalniki in seveda nepogrešljiva stružnica. Najprej sva skonstruirala konstrukcijo za fiksno postavljeni panel oz. modul. Premerila sva panel in nato naredila ogrodje (obrobo) panela, za kar sva uporabila kotno železo v velikosti 30x30 mm. Na oz. v to ogrodje je s štirimi vijaki standardne velikosti M8 pritrjen panel.



Slika 2: Ogradje s prečnima nosilcema

Na ogrodje sva privarila dva prečna nosilca, pravokotno na nosilca, točno na sredino, sva privarila kotno železo večjih mer, debeline 5 mm, ga obrezala in prevrtala tako, da sva dobila tako imenovani polmesec za nastavitev naklona. Za lažjo predstavo prilagam sliko.



Slika 3: "Polmesec" za nastavitev naklona

Nato sva se lotila izdelave glavnega nosilnega stebra. Izbrala sva kovinsko cev premera 101 mm in jo privarila na spodnji del na pločevino 200x100x5 mm. Tako sva dobila podnožje stebra, na katerega sva lahko privila oporne krake, dolge dva metra. Oporni kraki so ključnega pomena za stabilnost konstrukcije. Dva kraka na vsaki konstrukciji, dolžine 4 m, ki sta med seboj pravokotna, sta dovolj, da kljubujeta našim vremenskim razmeram. Za postavitev na bolj vetrovno območje bi bilo treba kraka podaljšati in ju vkopati ali pričvrstiti v temelj.



Slika 4: Fotovoltaična modula s kraki za stabilnost

4. 1. 2 IZVEDBA SLEDILNE KONSTRUKCIJE

Pri izdelavi konstrukcije za panel, ki bo sledil soncu, pa ni šlo vse tako gladko. Še preden sva v roke vzela orodje in železo, sva morala dobro premisliti o konstrukciji in jo skicirati.

Prva težava se je pojavila, ker nisem natančno vedel, s kakšnim pogonom lahko obračam panel, niti nisem točno vedel, kakšni naj bodo prenosni mehanizmi. Treba je bilo razmisliti o tem, kako izdelati konstrukcijo, ki se bo sposobna obračati okoli svoje osi za 180°.

Vedel sem, da moram uporabiti enosmerni motor zaradi lažjega obračanja smeri in zaradi lažjega napajanja motorja z baterijami, ki jih lahko predhodno polnimo s sončnimi celicami. Le tako je lahko sistem neodvisen od električnega omrežja. Vedel sem tudi, da mora biti ta motor majhen in majhnih moči zaradi samega izkoristka. Vendar pa mora kljub temu kljubovati možni sili vetra. Torej – panel se kljub včasih močnemu vetru ne sme obrniti. Zato sem se odločil uporabiti motor za poganjanje avtomobilskih brisalcev. Krmiljenje je zelo enostavno, za vrtenje v eno smer ga le priključimo na napetost 12 V, za vrtenje v obratno smer pa zamenjamo le polariteto. Tako sem kmalu odpravil težavo glede pogonskega motorja, saj sem natančno vedel, kaj bom uporabil.



Slika 5: Enosmerni motor za pogon sledilnega sistema

Problem o prenosnem mehanizmu pa je ostal.

Motorček brisalcev ima na osi majhen zobnik, ki se sorazmerno hitro vrti, a občutno prehitro za neposredno pričvrstitev na sončni panel. Zato se mi je najprej porodila misel o prenosu na dve različni jermenici v pravilnem razmerju in jermenu. Takšen prenos bi verjetno deloval, vendar bi bila potrebna nekoliko večja moč za počasen zasuk panela. Torej, če damo na eno

stran veliko jermenico, na drugo, malo vmes, pa močno napnemo jermen, se nam zgodi, da se, če ženemo malo jermenico z neko hitrostjo, večja jermenica vrti počasneje. To bi v mojem primeru koristilo, vendar se pojavi problem pri moči in navoru. Če želimo zavrteti večjo jermenico, potrebujemo na manjši več moči kot bi jo na večji. Zato dobimo negativen učinek pri primeru, če mora biti panel v mirovanju in če piha močan veter. Ravno zaradi tega je takšen prenos neprimeren, sej bi že ob manjšem vetru lahko obrnilo motor in panel. Prav tako je pri prenosu preko zobnika. Nato sem pomislil na prenos z vretenom, a se je takoj pojavila težava. Takšen način prenosa se večinoma uporablja pri linearnih premikih, gor – dol, levo – desno, torej pri premočrtnem gibanju. Ob nadaljnjem razmišljanju sem se spomnil na motor z notranjim izgorevanjem. Glavna funkcija takšnega motorja je spreminjanje premega gibanja v krožno.

Tako sva kmalu imela skicirano, kako naj bi bila izvedena konstrukcija.

Postopek je bil enak kot prej. Najprej sva izdelala ogrodje, nato dodala prečne nosilce in »polmesec« za nastavitev naklona. Za nosilni steber sva izbrala enako kovinsko cev premera 101 mm, vendar ima ta, za razliko od fiksne konstrukcije, v notranjosti stebra os, na katero je na eni strani pritrjen panel, na drugi pa (ojnica) pogon. Ker je os na obeh straneh pritrjena, mora biti glavni nosilni steber krajši od osi. Zato tudi ne more biti na spodnjem delu fiksno pritrjen na kraka. Za stabilnost konstrukcije skrbijo štirje poševni nosilci iz srede nosilnega stebra do krakov.



Slika 6: Konstrukcija za sledenje soncu

Motor je pritrjen na enega od teh poševnih nosilcev in vrti vreteno, za kar sem uporabil navojno palico. To vreteno obrača tako imenovano ojnico, ki je pritrjena na os.



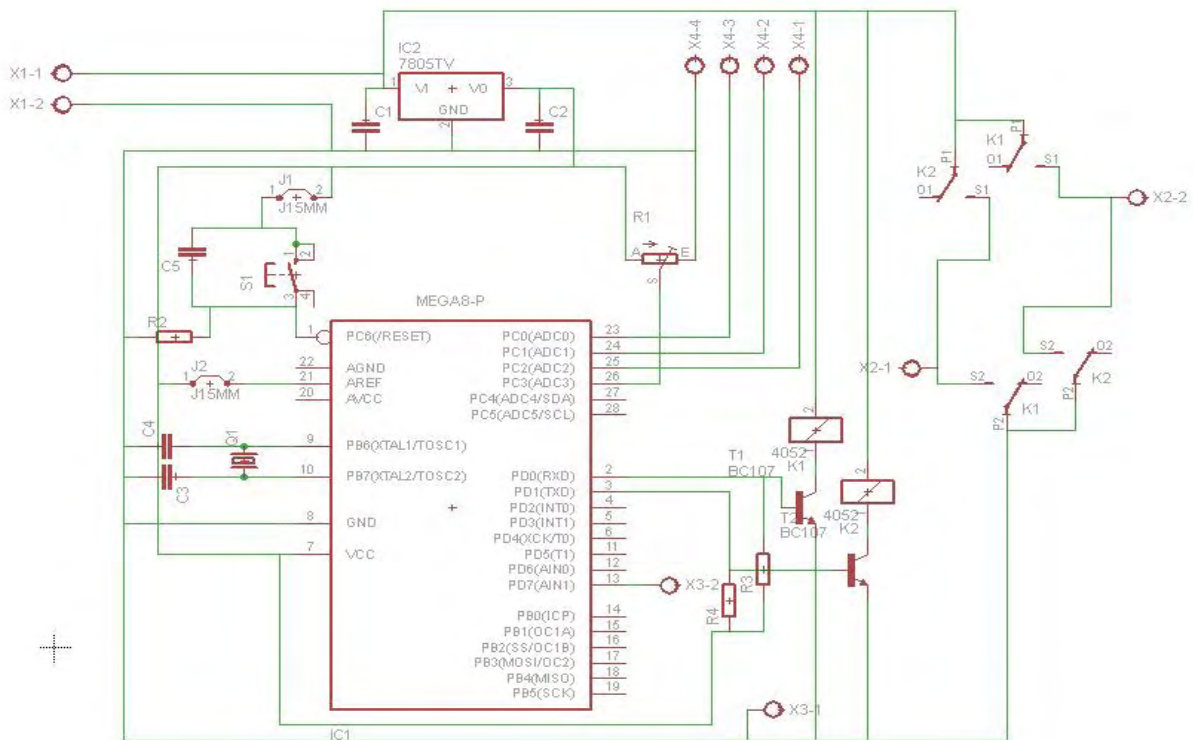
Slika 7: Prenosni mehanizem

4. 1. 3 IZVEDBA VEZJA

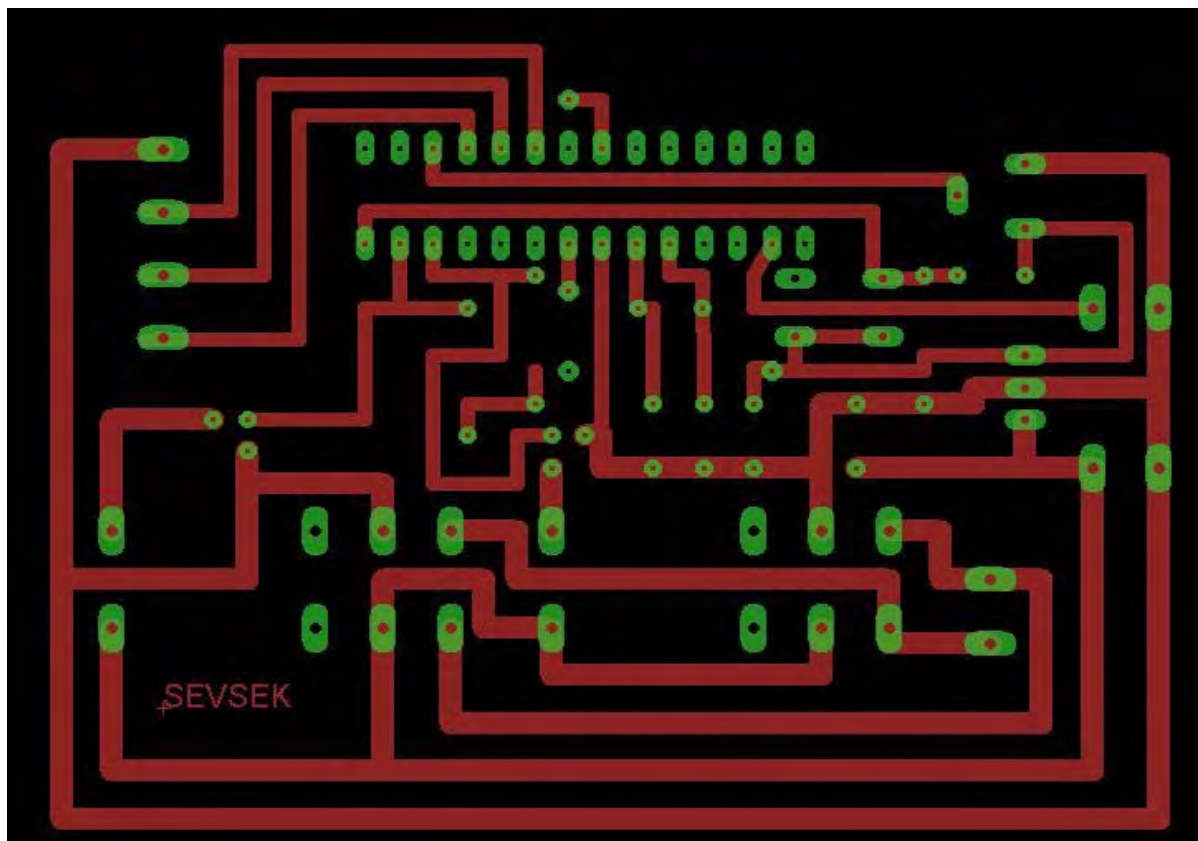
Za krmiljenje motorja sem želel uporabiti mikrokrmilnik AT89C2051, vendar sem po temeljitem razmisleku in s pomočjo mentorja ugotovil, da je neprimeren za uporabo.

Mikrokrmilnik Atmelove družine majhnih krmilnikov je premalo zmogljiv za zajem vseh analognih podatkov, ki so potrebni za pravilno obračanje panela. Mikrokrmilnik AT89C2051 ima le en analogni komparator (primerjalnik), potreboval pa bi vsaj dva, da lahko nastavljam občutljivost sončnega sledilnika. Zato sem se odločil za Atmelov mikrokrmilnik iz večje družine krmilnikov in izbral mikrokrmilnik ATmega8.

Risanja električne sheme vezja sem se lotil s programom Eagle. V to vezje sem združil osnovno shemo za delovanje mikrokrmilnika, priključke za priklop svetlobnih senzorjev (fotoporov) in močnostni del vezja z relejskim izhodom za krmiljenje motorja.



Slika 8: Električna shema vezja



Slika 9: Prikaz tiskanine v programu Eagle

4. 1. 4 IZVEDBA PROGRAMA

Program za mikrokrmilnik sem realiziral s pomočjo programskega prevajalnika Bascom AVR. Program je zasnovan tako, da najprej zajame podatke prek analogno-digitalnega konverterja (pretvornika) od obeh svetlobnih senzorjev (fotouporov), in jih nato primerja med seboj. Ker je med obema svetlobnima senzorjema, ki sta nameščena vzporedno ob panel, pravokotno postavljena prepreka za prehod svetlobe, je vedno, kadar sonce ni pravokotno nad obema senzorjema, en senzor v senci. Torej, če panel ni obrnjen pravokotno proti soncu, senzorja nimata enakih vrednosti. Nekaj odstopanja med tema vrednostma nastane že zaradi raznih izgub v vodniku in na vezju, zato to histerezo nastavljam v programu. Program deluje tako, da, ko z meritvami in izračuni ugotovi preveliko odstopanje, še nekajkrat zaporedoma preveri, če je to odstopanje res zaradi poti sonca. S tem, ko večkrat zaporedoma preverimo odstopanje osvetljenosti, eliminiramo kratkotrajne motnje, ki nastanejo zaradi kakšnih nečistoč, mrčesa in manjših oblakov na enem od senzorjev. Šele potem, ko vse meritve ustrezajo prevelikemu odstopanju, program ukaže obrat panela, dokler odstopanje spet ne pride v območje vnaprej določene histereze. Če želimo voditi panel od vzhoda proti zahodu, tako, kot potuje sonce, moramo ta panel ponoči tudi vrniti v izhodiščni položaj. Ta funkcija vrnitve panela je izvedena tako, da program zopet preverja osvetljenost senzorjev, in ko je večkrat zaporedoma osvetljenost enaka nič oz. zelo nizka, pomeni, da je zunaj tema. Takrat pa lahko obrnemo panel nazaj v začetni položaj.

Program, zapisan v Bascom-u AVR, je videti tako:

```
$regfile = "m48def.dat"
$crystal = 8000000
```

```
Config Adc = Single,           'Nastavitev analogno-digitalnega pretvornika
Prescaler = Auto,
Reference = Internal
```

```
Dim X As Byte , Y As Byte,    'definicija spremenljivk
Levo As Byte , Desno As Byte,
A As Byte , B As Byte
```

```
Start Adc                     'začetek analognega merjenja
```

```
Do                             'glavna zanka programa
```

```
X = Getadc(0)                 'izvedi analogno meritev in
Y = Getadc(1)                 'jo zapiši v spremenljivko
Desno = X - Y                 'izračunaj razliko in
A = X + Y                     'in seštevek
```

```
If Desno > 100 Then          'če je razlika med enim in
    Set Portd.0                'in drugim senzorjem prevelika,
    Reset Portd.1              'izvedi premik v desno
End If
```

```
If Desno <= 100 Then                                'če je razlika premajhna in sta
Reset Portd.0                                       'senzorja enako osvetljena,
Reset Portd.1                                       'ustavi panel
End If

If A <= 100 Then                                     'če je osvetljenost tako majhna,
Gosub Podprogram                                    'da pomeni temo,
End If                                              'pojdi v podprogram

Loop                                                'vrnitev na začetek glavne zanke

Podprogram:                                         'podprogram

Levo = 2
For B = 0 To Levo                                   'večkrat preveri, če je še
X = Getadc(0)                                       'vedno osvetljenost majhna
Y = Getadc(1)
A = X + Y
If A <= 100 Then
Incr Levo
Waitms 1
Else
Exit For                                           'če ni, zaključi podprogram
End If

If Levo > 10 Then                                    'drugače obrni panel v levo
Set Portd.1                                         'na začetno izhodišče
Levo = 0
End If
Next

Return                                             'vrnitev iz podprograma
```


4. 2 RAZPRAVA

Na koncu raziskovalne naloge je čas, da pokomentiram svoje izsledke. Povedal bom, kje vse so se pojavile težave pri nastajanju raziskovalne naloge, ker samih grafičnih rezultatov in meritev izkoristka ter primerjave obeh panelov še nisem uspel zajeti. Zato, da teh podatkov še nimam, sta kriva predvsem sam letni čas in trenutne vremenske razmere. Ker je treba imeti za opravljanje meritev veliko električne tehniške opreme na prostem, mora biti temu primerno tudi vreme. To se izboljšuje in vse več je sončnih dni, kakršne potrebujem za opravljanje meritev, zato pričakujem, da bom imel v roku treh tednov v rokah podatke o dejanskem izkoristku obeh panelov v različnih vremenskih razmerah (tudi ob oblačnosti).

Kaj več pa lahko povem o samem delovanju sončnega sledilnika, njegovih pomanjkljivosti in seveda tudi o možnih nadgraditvah. Za vsako napravo, ki jo avtomatiziramo, želimo, da bi lahko delovala tako odločno, modro, razsodno in logično kot lahko človek, vendar tako zanesljivo in cenovno ugodno kot robot. Da človek pravilno odreagira v dani situaciji, potrebuje zanesljiva čutila. In ravno tu se pojavi problem pri napravah: ker nimajo čutil, uporabljamo razne senzorje, da lahko čim bolj točno zaznavajo okolico. Pri sami izdelavi konstrukcije, prenosnega mehanizma, ni bilo večjih težav. Tudi pri izbiri motorja se ni močno zataknilo, največje in najtežje rešljivo vprašanje je bilo, kaj bo pognalo motor. Odgovor na to sem dobil kmalu: mikrokrmilnik. Vendar, kako bo mikrokrmilnik vedel, kje je sonce in kje panel, sem se spraševal. Tu se je pričelo pravo raziskovanje. Iz primerov na internetu sem tudi jaz dobil idejo o dveh fotouporih in vmesni pregradi, kar je videti zelo enostavno in tudi sam program ni težak. Nastopil pa je problem, kako zajeti podatke v krmilnik. Tu je prišlo do prve spremembe v mojem načrtu, saj sem zamenjal mikrokrmilnik, da sem lahko zajel podatke. Pri preizkusu sem ugotovil, da pride ob stalnem preverjanju do mnogih korekcij postavitve panela, kar je seveda brez pomena in potratno. Potrebno je izvajanje meritev v določenem časovnem zaporedju, npr. na vsake pol ure. S to potezo sem potrdil hipotezo o eliminiranju kratkotrajnih motenj zaradi senčenja oblakov. Ker krmilnik vsake pol ure zajame podatke, s tem preveri, kje je sonce, in nato izvede še več zaporednih meritev. Šele če so te meritve vedno enake in ustrezajo večji razliki od histereze, se panel obrne. Torej, če se na nebu pojavi manjši oblak, lahko v roku pol ure, ko ne izvajamo meritev, oblak preprosto preide brez kakršne koli korekcije. Če pa se pojavi ravno takrat, ko izvajamo meritve, in zasenči le en senzor, pa vemo, da lahko traja največ nekaj sekund, da oblak osenči še drugi senzor. Zato pa izvajamo zaporedne meritve, da smo lahko prepričani, da ni v senci le en senzor. Sledilnik mora biti seveda zmontiran tako, da nikoli ne pride v senco zaradi kakršnih koli objektov, ker to pomeni, da preprosto ne more slediti soncu, če ga zaradi drugih objektov niti ne vidi. Pri preizkušanju sledilnika sem opazil, da bi ga lahko še nadgradil z avtomatsko nastavitvijo histereze. Vsi vemo, da je na deževen dan precej bolj temno kot na popolnoma jasen sončen dan ali pa kot na sončen z nekaj oblaki. In na takšen deževen dan je nesmiselno primerjati senzorje in obračati panel. Zato bi bilo smiselno opremiti sledilnik s še enim svetlobnim senzorjem, ker fotonapetostni modul oddaja energijo, ki jo prejema z neposrednim sončnim obsevanjem in z difuznim (odbitim) sevanjem. To difuzno energijo prejme ne glede na to, kam je usmerjen. Kot rešitev tega problema bi uporabil svetlobni senzor, ki bi svojo zajeto vrednost enačil s histerezo. Torej, večja, kot je oblačnost (tema), večja bi bila histereza, torej bi morala biti večja tudi razlika med senzorjema, in tako v močnejši oblačnosti sploh ne bi obračalo panela. Kadar pa bi bila osvetljenost zelo velika neposredno pod soncem, bi panel vedno popravljaj svoj položaj in sledil soncu vsake pol ure.

5. ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi sem želel dokazati, da je izkoristek sončnih celic, združenih v modul, za 20 odstotkov večji, če ta modul obračamo proti soncu, in da ima vedno optimalni pravokotni vpad sončnega sevanja, kot če je obrnjen fiksno postavljen proti jugu, ki naj bi bila najboljša smer obračanja modulov za fiksno postavitev. Te teze mi še ni uspelo ne potrditi ne ovreči, ker še nisem zajel dovolj podatkov. Po grafih, ki so dostopni na internetu, pa lahko sklepam, da se izkoristek močno poveča v jutranjih in večernih urah, vendar le ob sončnih dneh. To lahko potrdim, saj sem v jutranjih urah tudi sam opazil razliko v napetosti že pri neobremenjenem modulu.

Ugotovil sem tudi, da je sončni sledilnik primerno zasnovan, tudi dovolj dovršen, da lahko potrjuje zastavljene teze. Seveda je na njem še možna nadgradnja; ne le ena, verjetno še mnogo več nadgradenj, vendar naj to ostane za naslednje generacije mladih raziskovalcev.

6. VIRI IN LITERATURA

1. MIKELEN, J. Bascom: Teorija in praktični projekti. Ljubljana: AX elektronika, 2007.
2. MITROVIĆ, V. Programiranje mikrokontrolera programskim jezikom Bascom. Ljubljana: AX elektronika, 2002.
3. PLUKAVEC, M., ZWITTER, S. 1997. Kako do raziskovalne naloge in kako ustvariti vidno podobo. Ljubljana, Zavod za tehnično izobraževanje, 21 str.
4. PRIROČNIK za elektrotehniko in elektroniko. Ljubljana: Tehniška založba, 2003.

7. ZAHVALA

K nastanku te raziskovalne naloge je pripomoglo mnogo ljudi. Vse je na tej strani nemogoče zajeti, zato iskrena hvala vsem, ki ste na kakršen koli način priskočili na pomoč pri izdelavi tega dela.

Še posebej pa bi se rad zahvalil svojemu mentorju prof. Gregorju Kramerju za vse ideje in nasvete pri strokovni izvedbi naloge.

Zahvalil bi se rad tudi svojemu prijatelju Štefanu Razboršku, ki mi je pomagal pri izdelavi konstrukcije.

Zahvala velja tudi mojima staršema, ki sta me močno finančno in moralno podprla.

Hvala tudi Jasmini Štorman za lektoriranje.