

**Univerza v Ljubljani**

**Fakulteta za elektrotehniko**

Marko Mihelin

# **Regulacija manjših ventilatorjev**

**Seminarska naloga**

**pri predmetu**

**Elektronska vezja**

V Ljubljani, maj 2008

# Kazalo

1. Ideja.....	1
2. Realizacija.....	1
2. 1 Delovanje MIC502.....	1
2. 1. 1 PWM.....	2
2. 2 Izbira temperaturnega senzorja in linearizacija.....	2
2.3 Spalna napetost.....	4
2.4 Končna konfiguracija MIC502.....	5
2.5 Problem PWM-ja.....	5
2.6 Usmerniško vezje in detekcija napake ventilatorja.....	6
2.7 Prikaz napak.....	8
2.6 Celotno vezje.....	10
3. Uporaba.....	11
4. Sklepne misli.....	11
5. Viri.....	12
PRILOGE.....	13

## 1. Ideja

Z vedno hitrejšimi računalniki se pojavljajo vedno večja hladilna telesa in ventilatorji, ki nam hladijo razne komponente v računalniškem sistemu. Vsa ta procesorska moč proizvede veliko toplote, zelo veliko. Za občutek AMD-jev Athlon X2 6000+, ki že v času pisanja te seminarske ni najnovejši ima nazivno moč 120W! To je toplotna izgubna moč. Z uvajanjem bolj učinkovitih polprevodniških tehnologij so sicer izgubne moči manjše, samo ne za veliko. Seveda s tem problemom se srečujemo vsi z (ne samo novejšimi) računalniki. Problem ni v sami toploti ampak v odvajanju te toplote s pomočjo glasnih ventilatorjev. Na trgu so sedaj že dokaj uveljavljeni 12 cm ventilatorji, ki se vrtijo počasneje in so tišji a kljub temu se postavlja vprašanje če bi še lahko bili še tišji. Odgovor je pritrdilen.

Če znižamo napetost ventilatorju se bo seveda vrtel počasneje. To lahko enostavno naredimo z potenciometrom. Tako nastavimo poljubno hitrost ventilatorja. Rešitev v tej obliki ni najbolj prepričljiva saj moramo ventilator nastaviti tako, da bo v najslabšem primeru (obremenjen procesor, visoka ambientna temperatura) še vedno zagotavljal dosti velik pretok zraka. Najslabši splet okoliščin se pa pojavlja samo včasih in zato proizvajamo še vedno nek odvečen hrup z prehitrim in nepotrebnim vrtenjem ventilatorjev.

Dobra rešitev je temperaturna regulacija ventilatorjev. tako so vrtljaji odvisni od temperature in ventilator se vrtil z ravno pravšnjo hitrostjo ves čas ne glede na okoliščine.

V tej seminarski nalogi bom predstavil eno izmed možnih rešitev, ki pa še zdaleč ni edina. Vezje, ki ga bom sestavil je predvsem namenjeno uporabi z vodnim hlajenjem računalnika. Z manjšimi spremembami ga je seveda možno predelati tako, da ga je možno uporabiti tudi v drugih podobnih aplikacijah.

## 2. Realizacija

Odločil sem se za realizacijo regulacije z pomočjo namenskega čipa in sicer Micrel-ovega MIC502. Ker nam ta čip ponuja določene prednosti in slabosti, ki jih bom obrazložil kasneje, sem še poleg tega implementiral detekcijo napake ventilatorja in prikaz napake prevelike temperature nadzirane komponente.

### 2. 1 Delovanje MIC502

Regulator dela na osnovi modulacije širine pravokotnih impulzov - PWM. To pomeni, da nastavljamo duty cycle pravokotnega signala kateri napaja ventilator. Ta signal nam povsem sam generira MIC502 in sicer glede na vhoda vt1 in vt2 na naslednji način:

- upošteva se vhod na katerem je največja napetost
- če sta eden ali oba povezana na zemljo (potencial 0V) je izhod izključen
- če je napetost na vhodu  $0,3 V_{dd}$  potem je na izhodu pravokotni signal z duty cycle 0%
- če je na vhodu napetost  $0,7 V_{dd}$  potem je na izhodu pravokotni signal z duty cycle 100%
- med obema je potek linearen

Poleg tega imamo še na voljo izhod /OTF, ki je logični izhod z odprtim kolektorjem in nam daje negirano vrednost napake previsoke temperature. Ta napaka se pojavi, če eden od merilnih vhodov preseže približno  $0,77 V_{dd}$ .

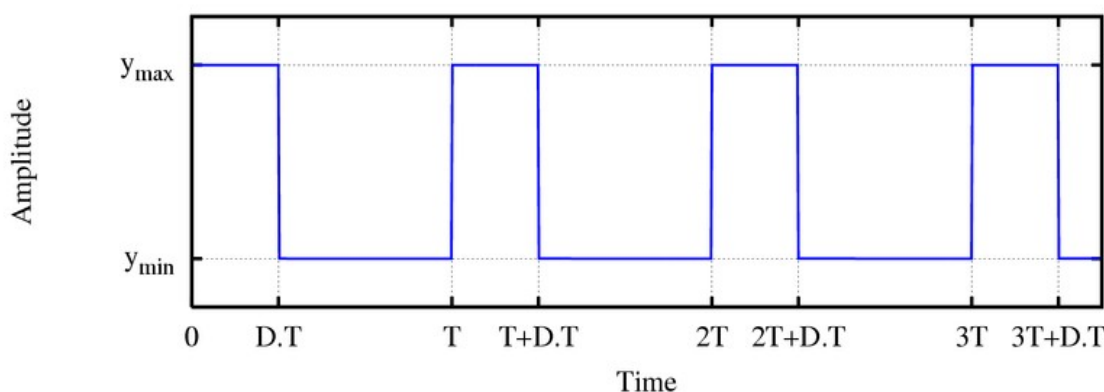
Z vhodom VSLP lahko nastavimo nivo, pod katerim se izključi generiranje izhodnega signala. Pod ta nivo morata paditi oba vhoda.

Na izhodu se pojavi PWM signal amplitude od minimuma do maksimuma približno 4,2V. Točno kakšna napetost se pojavi na izhodu je odvisno od obremenitve izhoda in temperature čipa (odstopanje -300mV).

Nazadnje je še tukaj CF vhod na katerega priključimo kondenzator pravnje velikosti s katerim nastavljammo frekvenco izhodnega signala. Frekvenca je lahko nekako od 15 Hz do 90 Hz. Čip lahko napajamo z napetostnim obsegom 4 V do 13,2 V.

## 2. 1. 1 PWM

PWM ali pulzno širinska modulacija, tukaj gre za eno izmed možnih oblik regulacije ventilatorjev enosmerne napetosti. Ker ventilator deluje z enosmerno napetostjo "čuti" ta napajalni signal kot njegovo povprečno vrednost. Se pravi če imamo 12V amplitudo in duty cycle 50% bo povprečna napetost ravno 6V, kar pomeni, da se bo ventilator vrtel eno polovico polne hitrosti. No to ni čisto res saj odnos med napajalno napetostjo in vrtljaji ni čisto linearen.



Če predpostavimo pravokotni potek signala, kot je na zgornji sliki, s spodnjo vrednostjo  $y_{\min}$ , zgornjo vrednostjo  $y_{\max}$  in duty cycle-om (v nadaljevanju  $D$ ) potem je povprečna vrednost signala:

$$\bar{y}(x) = \frac{1}{T} \int_0^T f(x) dt$$

Če je  $f(t)$  pravokotni signal potem je vrednost  $f(t)$  enaka  $y_{\min}$  med  $D \cdot T < t < T$  in  $y_{\max}$  med  $0 < t < D \cdot T$  lahko zapišemo:

$$\begin{aligned} \bar{y}(t) &= \frac{1}{T} \left( \int_0^{D \cdot T} y_{\max} + \int_{D \cdot T}^T y_{\min} \right) \\ \bar{y}(t) &= \frac{D \cdot T \cdot y_{\max} + T(1-D) y_{\min}}{T} \\ \bar{y}(t) &= D \cdot y_{\max} + (1-D) y_{\min} \end{aligned}$$

Če sedaj še upoštevamo da je  $y_{\min} = 0$  potem vidimo,

$$\bar{y} = D \cdot y_{\max}$$

da je pri konstantni napetosti ( $y_{\max}$ ) povprečna vrednost odvisna povsem od  $D$  - duty cycle-a.

## 2. 2 Izbira temperaturnega senzorja in linearizacija

Sama izbira regulacijskega čipa mi je postavila zgornjo in spodnjo mejo upornosti termistorja, ne pa tudi vrsto (NTC, PTC). V specifikacijah za MIC502 je navedena zgornja meja nominalne upornosti termistorja in sicer  $100\text{k}\Omega$ , priporočena vrednost je pa okoli  $50\text{k}\Omega$ . Spodnja meja sicer ni določena je pa zelo pomembno, da ne izberemo premajhne upornosti saj bi tako čez termistor tekkel prevelik tok ki bi povzročal nepotrebne izgube in še gretje termistorja, ki bi imelo za posledico napačen podatek o temperaturi. Tako sem si izbral NTC termistor z upornostjo pri  $25^\circ\text{C}$   $47\text{k}\Omega$ . NTC različico sem si izbral zato, ker je malo bolj linearna od PTC, in ker ne potrebujem prevelikih temperaturnih koeficientov. Konkretni termistor je B57164 z toleranco  $\pm 5\%$  kar pomeni, da je napaka v temperaturi za izračunano upornost nekje od  $1^\circ\text{C}$  do  $2,5^\circ\text{C}$  v temperaturnem območju do  $70^\circ\text{C}$ . Te možne napake niso tako zelo pomembne saj ne mirimo točne temperature ampak nas zanima le na nekje  $5^\circ\text{C}$  natančno.

Sam termistor vežemo kot napetostni delilnik napajalne napetosti z določenim uporom. Tako dosežemo, da delimo napajalno napetost v odvisnosti od temperature. Za doseganje čim bolj linearne odvisnosti je potrebno linearizirati termistor kar pa naredimo z vzporedno in zaporedno vezano upornostjo. Tako lahko tudi točno določimo napetostni delilnik, da bomo imeli pri željeni vrednosti temperature želeno delilno razmerje.

Za upor R19 (glej shemo) sem izbral  $33\text{k}\Omega$  zato, da bo tudi pri višji temperaturi skozi napetostni delilnik tekkel dovolj majhen tok. Zdaj je še potrebno izračunati vrednosti vzporednega in zaporednega upora za linearizacijo z upoštevanjem naslednjih pogojev:

- Temperaturno območje v katerem želimo da ventilator obratuje je od  $35^\circ\text{C}$  do  $55^\circ\text{C}$
- Najnižji možni obrati ventilatorja so nekje pri  $0,6 V_{dd}$
- Pri temperaturi  $55^\circ\text{C}$  želimo na ventilatorju  $V_{dd}$

Iz teh treh pogojev lahko ugotovimo, da moramo pri  $35^\circ\text{C}$  imeti D 60% in pri  $55^\circ\text{C}$  100%. Sedaj je še potrebno ugotoviti, kako mora napetostni delilnik deliti napetost pri določeni temperaturi:

Če želimo iz D dobiti delilno razmerje napetosti za vhod upoštevamo sledečo formulo:

$$V_{del} = V_{dmin} + \frac{V_{dspan} \cdot D}{100}$$

Pri tem je  $V_{dmin} = 30\%$  in  $V_{dmax} = 70\%$  dobimo  $V_{dspan} = V_{dmax} - V_{dmin} = 40\%$ . Tudi D in  $V_{del}$  sta v procentih.

Z upoštevanjem te zveze dobimo naslednji rezultat:

Temperatura[ $^\circ\text{C}$ ]	$V_{del}$ [%]	D [%]
55	70	100
35	54	60

Sedaj je potrebno izračunati upornost termistorja pri teh temperaturah:

$$R_T(T) = R_{25} \cdot e^{B \cdot \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{298\text{K}} \right)}$$

B je temperaturna konstanta termistorja in znaša  $4450\text{K}$ ,  $R_{25} = 47\text{k}\Omega$  upornost pri  $25^\circ\text{C}$  in T je temperatura v kelvinih.

Temperatura [°C]	$R_T$ [kΩ]
35	30,3372
55	11,9931

Termistorju sta še vzporedno in zaporedno vezana po en upor, zato nas sedaj zanima kakšno upornost mora imeti vezava teh treh uporov, da dosežemo željeno delilno razmerje. To upornost imenujmo  $R_n$ . Za napetostni delilnik velja:

$$U_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U$$

Pri tem je  $U$  napajalna napetost  $R_2 = R_{19} = 33\text{k}\Omega$  in  $R_1 = R_n$ ,  $U_1$  lahko zapišemo v odvisnosti od  $U$  na naslednji način:

$$U_1 = U \cdot V_{del} \cdot 100$$

in zato

$$R_n = \frac{R_{19} \cdot (1 - V_{del} \cdot 100)}{V_{del} \cdot 100}$$

$$R_n(35^\circ\text{C}) = 14,1429\text{ k}\Omega$$

$$R_n(55^\circ\text{C}) = 28,1111\text{ k}\Omega$$

Paralelno in zaporedno upornost izračunamo s pomočjo prevodnosti in z njima izrazimo skupno upornost:

$$\frac{1}{R(35)} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_{T_{35}} + R_s}$$

$$\frac{1}{R(55)} = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_{T_{55}} + R_s}$$

V zgornjih dveh enačbah imamo neznanki  $R_s$  in  $R_p$ . Iz sistema enačb izločimo  $R_p$  tako da enačbi odštejemo:

$$\frac{1}{R(55)} - \frac{1}{R(35)} = \Delta G = \frac{1}{R_{T_{55}} + R_s} - \frac{1}{R_{T_{35}} + R_s}$$

$$\Delta G (R_{T_{55}} + R_s)(R_{T_{35}} + R_s) = R_{T_{35}} - R_{T_{55}}$$

$$R_s^2 + (R_{T_{35}} + R_{T_{55}})R_s + R_{T_{35}} \cdot R_{T_{55}} + \frac{R_{T_{55}} - R_{T_{35}}}{\Delta G}$$

Opazimo, da smo dobili kvadratno enačbo in sedaj lahko izračunamo  $R_s$ . Dobimo dva korena upoštevamo pa samo pozitivnega, ki je smiseln.

$$R_s = 3,451\text{ k}\Omega$$

in

$$R_p = \left( \frac{1}{R(35^\circ C)} - \frac{1}{R_{T_{35}} + R_s} \right)^{-1} = 167,308 \text{ k}\Omega$$

Dobljeni vrednosti  $R_s$  in  $R_p$  je sedaj potrebno pretvoriti v realne elemente.

$$R_s = 2,2 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega + 220 \Omega = 3,420 \text{ k}\Omega$$

$$R_p = 100 \text{ k}\Omega + 47 \text{ k}\Omega + 2 \cdot 10 \text{ k}\Omega = 167 \text{ k}\Omega$$

To so upori od R15 do R17 in R14, R13, R12 ter R9.

S tem je določen in lineariziran temperaturni merilni člen.

## 2.3 Spalna napetost

MIC502 nam ponuja tudi funkcijo spanja pri kateri je izhod izključen. Stvar deluje tako, da primerja napetost na pinu VSLP z napetostjo na pinih VT1 in VT2. Ko je napetost na merilnih pinih manjša od VSLP se izhod izključi. Da se nam nebi na mejni temperaturi ventilator kar naprej vključeval in izključeval je vgrajena histereza. Izhod je vključen ko se na enem od VT1 in VT2 pinov pojavi napetost  $V_{WAKE} = V_{SLP} + V_{HYST}$ . Za moje temperaturno območje in moj termistor je VHYST dokaj velika saj znaša  $V_{HYST} = 0,11 \cdot V_{dd}$ . Zato sem bil prisiljen izbrati dokaj visoko temperaturo vključitve izhoda, da je bilo še sploh smiselno uporabiti to funkcijo. Ta temperatura je  $45^\circ\text{C}$  ki se je kasneje izkazala za dobro izbiro.

Kot sem že v začetku omenil je ta sistem načrtovan z vodnim hlajenjem v mislih in ko sem malo eksperimentiral z svojim vodnim hlajenjem sem ugotovil, da temperatura izhodne vode iz zadnjega hladilnega rebra(točka ki se uporablja za krmiljenje ventilatorjev) redko kdaj sploh doseže to temperaturo, če ni računalnik polno obremenjen nekaj časa.

Temperaturo vključitve sem izbral tako, da imajo ventilatorji dovolj veliko napetost, da se samostojno lahko zavrtijo. To je približno  $0,6 \cdot V_{dd}$ , ker pa znaša histereza po sredinski vrednosti 11% po maksimalni pa 14% sem izbral  $0,63 \cdot V_{dd}$  kar pomeni, da se mora izhod izključiti pri napetosti  $0,52 \cdot V_{dd}$ . Te napetosti je potrebno sedaj še pretvoriti v temperaturo s pomočjo formule za termistor in upoštevanju  $R_s$  in  $R_p$  ter napetostnega delilnika:

Temperatura [ $^\circ\text{C}$ ]	Napetost na vhodu [ $v \% V_{dd}$ ]
45	63
31	52

Za določitev elementov napetostnega delilnika za napetost VSLP si en upor prosto izberemo in sicer tako, da skozi napetostni delilnik ne bo tekkel prevelik izgubni tok. Tako sem si izbral za  $R_{30} = 47 \text{ k}\Omega$ . Izračunati je še potrebno drugo upornost:

$$V_{dd} \cdot 0,52 = \frac{R_{30}}{R_{30} + R_{30a}} \cdot V_{dd}$$

$$R_{30a} = \frac{R_{30} - R_{30} \cdot 0,52}{0,52} = 43,385 \text{ k}\Omega$$

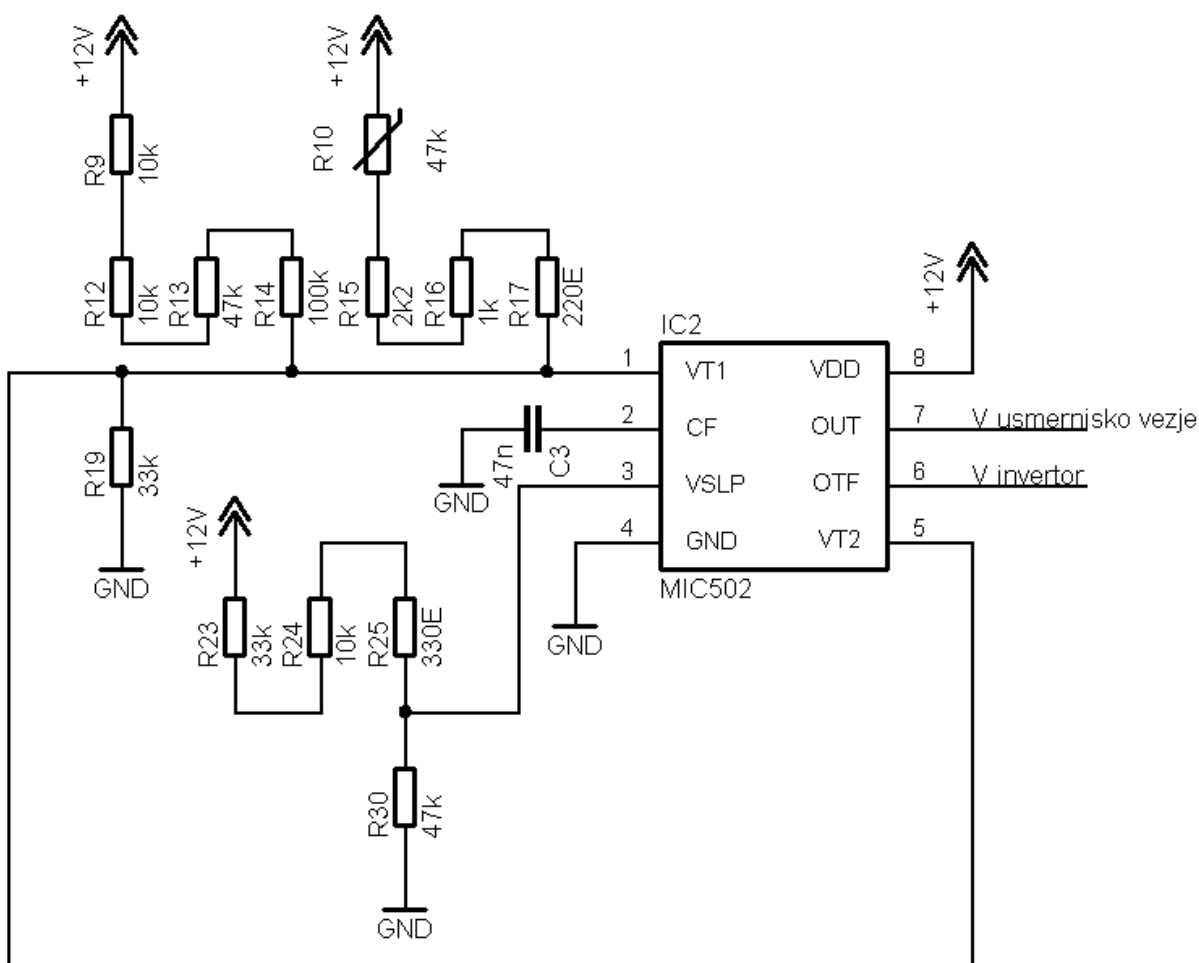
Za realne elemente  $R_{30a} = 33 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega + 330 \Omega$ , to so upori od R23 do R25.

## 2.4 Končna konfiguracija MIC502

Določiti še moramo s kakšno frekvenco bo deloval MIC502. To storimo z kondenzatorjem C3, ki ga izberemo tako, da imamo čim višjo frekvenco, ki nam omogoča boljšo regulacijo.

$$C(\mu F) = \frac{30\text{Hz} \cdot 0,1 \mu F}{f(\text{Hz})}$$

Ker ne moremo izbrati poljubnih vrednosti kondenzatorjev, izberemo 47nF, ki nam da frekvenco 63Hz, naslednja višja bi bila 90Hz z 33nF kondenzatorjem, kar je pa preblizu zgornje dovoljene meje.



## 2.5 Problem PWM-ja

Edini problem, si pojavi pri takšni regulaciji računalniških ventilatorjev je ta da nam popači signal vrtljajev. Ker se ta signal generira z napajalno napetostjo ventilatorja ta pa v našem primeru ni konstantna ne dobimo pravilne meritve vrtljajev. To lahko rešimo da PWM signal usmerimo v neko enosmerno napetost, ki je seveda odvisna od D. To lahko enostavno rešimo z operacijskim ojačevalnikom.



## 2.6 Usmerniško vezje in detekcija napake ventilatorja

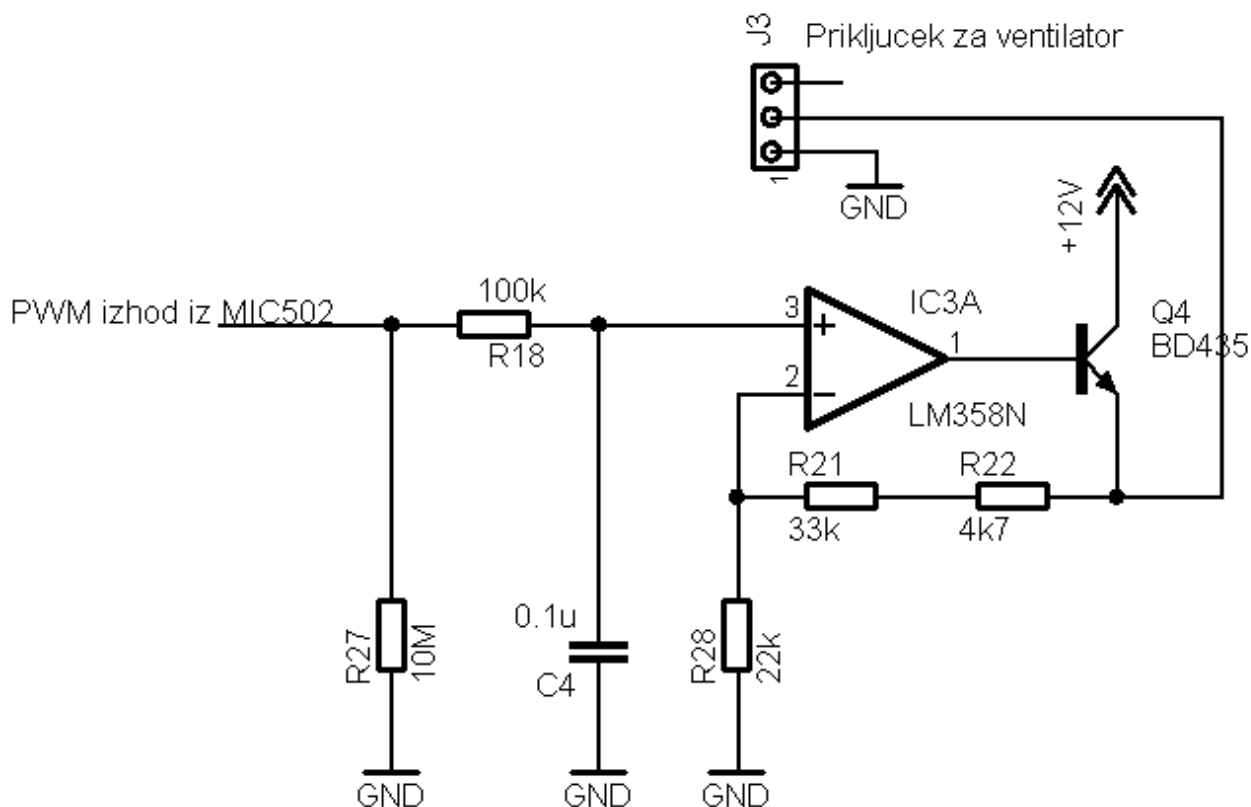
Ker je najnižji potencial PWM signala 0V imamo dejansko že usmerjeno napetost, ki jo je potrebno še samo povprečiti. To storimo z operacijskim ojačevalnikom IC3A in kondenzatorjem C4. Za operacijski ojačevalnik(O.O.) sem izbral LM358, ki ima dovolj dobre lastnosti za to aplikacijo. Boljša izbira bi bil tako imenovan rail-to-rail O.O. saj LM358 ni zmožen generirati napetosti nasičenja, ki bi bila enaka napajalni. Napetost nasičenja je približno za 1V nižja od napajalne napetosti. Zaradi te pomanjkljivosti ne moremo polno obremeniti ventilatorja, ker pa predvidevamo, da v splošnem naj nebi presegli 80% obremenitve to ne predstavlja velikega problema in se zadovoljimo z slabšim O.O., ki je pa tudi občutno cenejši.

Upor R18 je dodan, da se v pol periodi, ko je potencial PWM signala 0V kondenzator prehitro ne izprazni. Pri izključenem izhodu MIC502 še vedno pušča nekaj toka in približno 1uA, kar je pa dovolj da počasi napolni kondenzator zato je še dodan R27.

Pri majhni obremenitvi MIC502 na izhodu daje napetost z amplitudo približno 4,2V. Da dobimo 12V na izhod O.O. moramo napetost pomnožiti 2,86 krat. Za to poskrbijo upori R21, R22, R28, ki skupaj nastavijo ojačanje O.O. , ki je vezan kot neinvertirajoč ojačevalnik, na:

$$A_u = 1 + \frac{R21 + R22}{R28} = 2,71$$

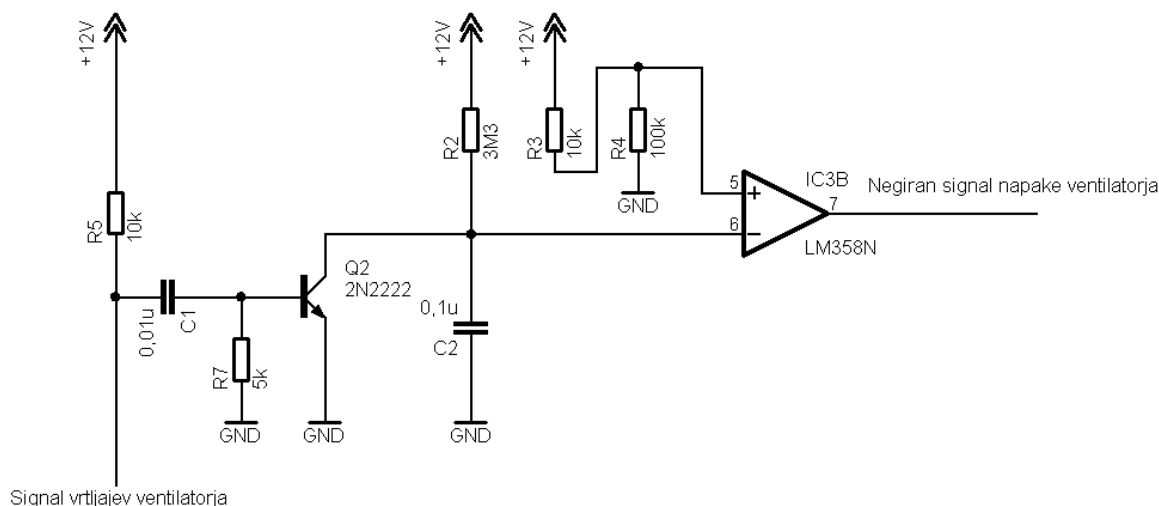
Nastavljeno ojačanje ni čisto enako izračunanemu se pa izkaže, da je dovolj blizu. Ker LM358 ni zmožen velikih obremenitev moramo na izhod dodati še napetostni sledilnik. Q4 je npn tranzistor vezan kot napetostni sledilnik in z povratno vezavo preko O.O. kompenziran ( $U_{ce}$ ). Konkretni tranzistor je BD435, ki ima dovolj veliko  $\beta$  in dovolj majhno  $U_{cesat}$ , ki nam povzroči težave ko gre tranzistor v nasičenje. To se zgodi ko želimo imeti na emitorju  $V_{dd}$  oz. , ko zahtevamo  $D = 100\%$ .



Za detekcijo napake ventilatorja izkoristimo kar signal za merjenje vrtljajev ventilatorja. Signal zglada tako, da dobimo po en pulz določene dolžine za en vrtljaj ventilatorja. Sama dolžina pulza ni važna saj nas zanimajo samo prehodi. Z drugim delom LM358, IC1A naredimo primerjalnik napetosti, ki primerja referenčno napetost ki jo tvorita R3 in R4 z napetostjo na kondenzatorju C2, ki se polni preko upora R2 in prazni preko tranzistorja Q2. Dokler je napetost na (+) vhodu O.O. višja od napetosti na (-) vhodu je O.O. v pozitivnem nasičenju, ko pa napetost na C2 naraste preko napetosti na R4 pade izhod O.O. na potencial 0V.

Tranzistor Q2 ki prazni C2 uporabljamo kot stikalo, krmilimo ga pa z signalom ventilatorja za merjenje vrtljajev. Priključek iz ventilatorja je tipa odprti kolektor zato potrebujemo R5 kot pull-up upor, z C1 blokiramo enosmerno napetost, zato krmilimo Q2 samo z prehodi. Če nimamo nobenega signala od ventilatorja se C2 napolni in na izhodu O.O. dobimo potencial 0V, če pa dovoli pogosto izpraznimo C2 ostaja na izhodu O.O. potencial  $V_{dd}$ .

Tako dobimo signal napake ventilatorja, ki je neigran.



## 2.7 Prikaz napak

Kot že prej opisano lahko s tem vezjem zaznamo dve napaki in sicer preveliko temperaturo merjenca in napako ventilatorja. Odločil sem se da bom napaki prikazal s pomočjo LED.

Pri napaki ventilatorja je pomembno upoštevati, da se lahko izhod avtomatsko izključi in se ventilator neha vrteti kar pa ni napaka, zato je potrebno zaznati kdaj je napaka veljavna in kdaj ni. Problem sem rešil z logičnimi vrati. Za signal neveljavne napake sem z napetostjo, ki je direktno na ventilatorjih krmilil Q3, tako dobimo logično enko če je krmilna napetost med  $0,7V_{in V_{dd}}$ , logično ničlo pa če je med  $0V$  in  $0,7V$ . Če si ta signal in signal napake ventilatorja pobližje pogledamo:

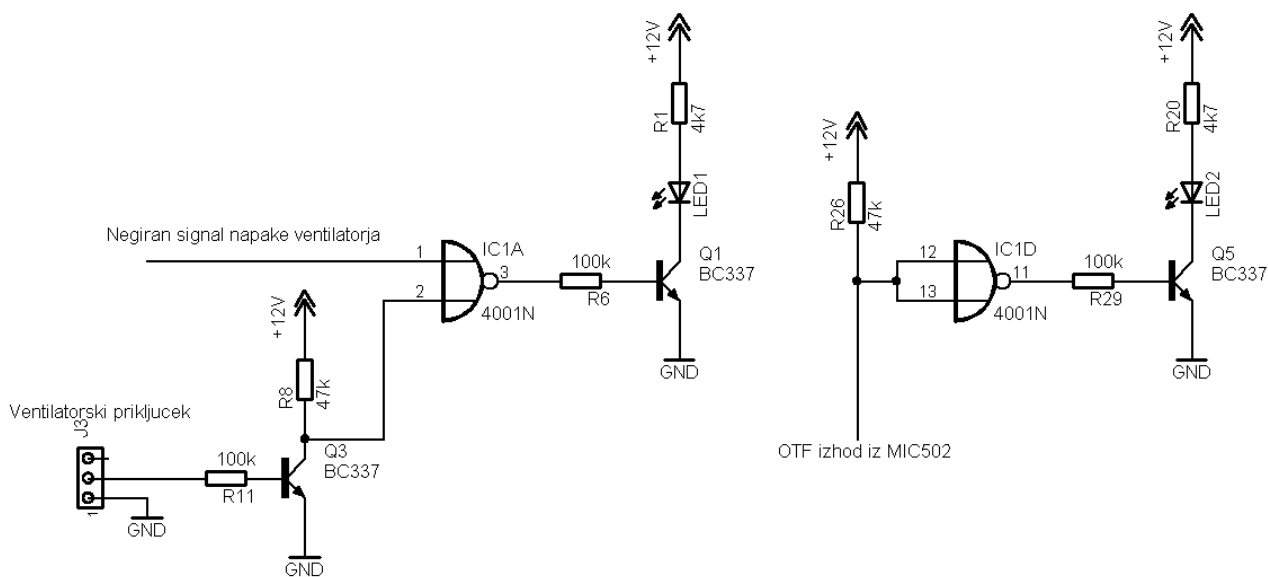
Signal napake ventilatorja	Neveljavna napaka	Dejansko stanje
0	0	Napaka na ventilatorju
0	1	Ventilator je ugasnjen
1	0	Ventilator je vključen in ni napake
1	1	Neveljavno stanje

Vidimo, da je prišlo do napake samo v prvem primeru, v vseh ostalih ni napake, kar je pa ravno

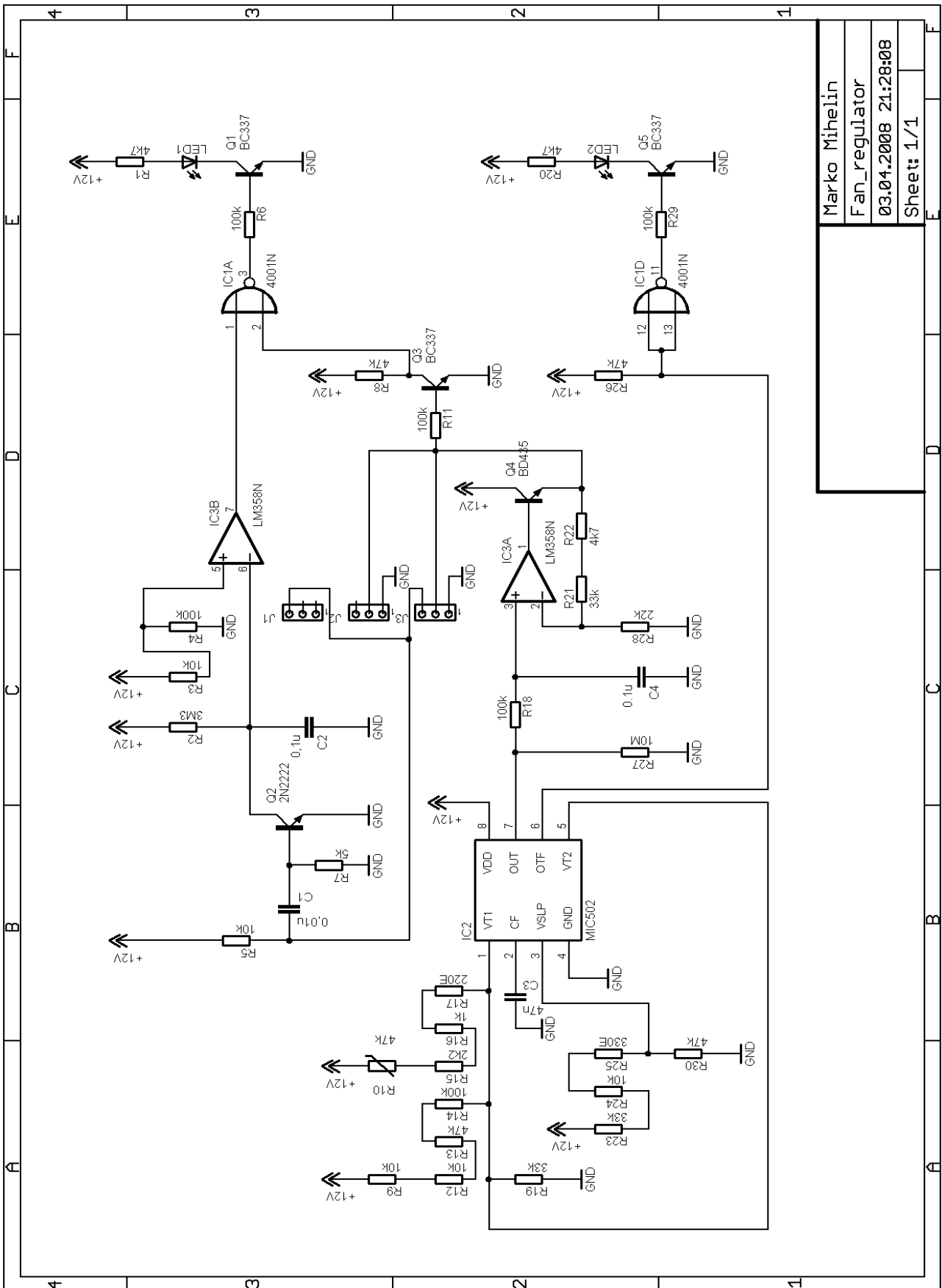
neali funkcija.

Za napako prevelike temperature je potrebno signal samo negirati in dodati en pull-up R26 upor saj je izhod tipa odprti kolektor. Z neali izvršimo negacijo tako, da vežemo vhoda skupaj.

Za neali vrata sem izbral čip 4001. Potrebno še je samo dodati tranzistorja Q1 in Q5, ki krmilita LED, saj ne moremo krmiliti svetlečih diod direktno z logičnimi vrata.



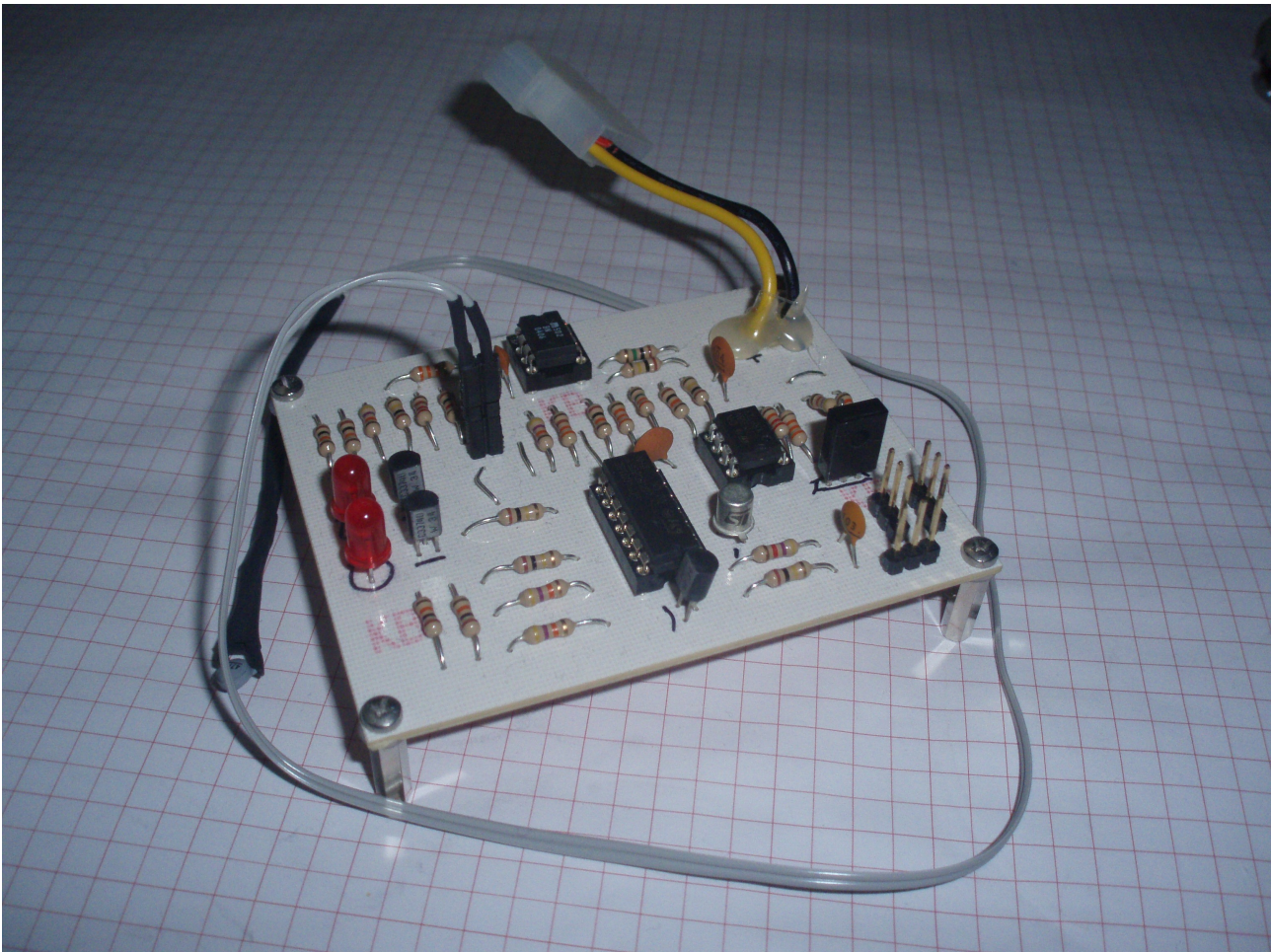
2.6 Celotno vezje



Marko Mihelin
Fan_regulator
03.04.2008 21:28:08
Sheet: 1/1

### 3. Uporaba

Vezje napajamo z 12VDC preko molex priključka kar z računalniškim napajalnikom. Termistor pritrdimo na želeno mesto merjenja z dovolj termalne paste, da zagotovimo dober termo spoj. Na vezje lahko priključimo dva ventilatorja na priključka J3 in J2 s tem, da je signal za merjenje vrtljajev upoštevan samo pri J3. J1 priključimo direktno na matično ploščo in nam omogoča prikaz vrtljajev ventilatorja priključenega na J3. LED nam prikazujeta če je prišlo do kakšne napake.



### 4. Sklepne misli

Kot že omenjeno pride do težav, če je temperatura tako visoka da zahteva vrtenje ventilatorja za več kot 85% moči nam ta različica vezja to ne omogoča. Zamenjati bi bilo potrebno O.O. z dražjim tako imenovanim rail-to-rail, ki ima napetost nasičenja skoraj enako napetosti napajanja, izbrati bi bilo potrebno tudi boljši močnostni tranzistor Q4, ki mora imeti dovolj veliko beto za napajanje ventilatorjev in čim manjšo  $U_{cesat}$ . Seveda to vezje ni precej natančno zaradi uporabe uporov 5% tolerance in termistorja 10% tolerance. Tudi kar se se velikosti tiče je kar veliko, to pa zato ker nisem uporabil SMD tehnologije in še samo vezje je enostransko (vsi elementi so na eni strani plošče), vse zaradi lažje izdelave.

Zahvalil bi se Laboratoriju za fotovoltaike in optoelektroniko kjer so mi izdelali rezkano vezje.

## 5. Viri

LEVSTEK, Andrej, in PIRC, Matija. 2006. *Zbirka rešenih nalog iz elektronskih komponent*. Ljubljana.

### Internetni viri

<http://www.micrel.com>

<http://www.alldatasheet.com>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation)

Priloge so na priloženem CD-ju:

Kataloški podatki:

- MIC502
- HCF4001
- LM358
- BD435
- 2N2222
- BC337
- B57164

Seminarska naloga v pdf formatu.