

UNIVERZA V LJUBLJANI



FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO

Tržaška 25, 1000 Ljubljana



Seminar:

TEMPERATURNI SENZOR

UVOD:

V okolju v katerem živimo se je naš organizem skozi tisočletja stoletja, moral prilagajati spreminjajočim se naravnim pojavom, če je hotel preživeti in tudi obstati. V zgodovini naše Zemlje se je dogajalo mnogo sprememb - najbolj opazne med njimi pa so spremembe klime in spremembe vremenskih pojavov.

Po znanstvenih raziskavah se je izkazalo da že v zgodnjih obdobjih, v naši pradavnini, se je pokazalo kako so organizmi sesalcev in nasplošno organizmi vseh živih bitij, rastlin odvisni od okolice, predvsem pa od temperature okolja, v kateri živijo; na tem mestu lahko omenimo ledene dobe, ki so dodobra spremenile naravo bitij in rastlin.

Človek je s svojim razvojem začutil potrebo po lajšanju in napredovanju svojega življenja oz. kvalitete le tega; in da bi si olajšal življenje je ena od zamisli tudi merjenje temperature in vsekakor spada zraven še spremljanje tudi drugih klimatskih sprememb in pojavov.

V vsakdanjem življenju smo svoje potrebe in želje kar zelo dobro pogojili z merjenjem temperature. Zjutraj nam po radiu sporočijo temperaturo zraka - vemo kako se moramo obleči; temperaturo srečamo pri vsakdanjih stvareh in opravkih : npr.: temperatura delovnega okolja, hrane, raznih snovi – zlitin, pri pranju oblačil, temperatura mikroprocesorskega jedra in še bi lahko naštevali.

IDEJA:

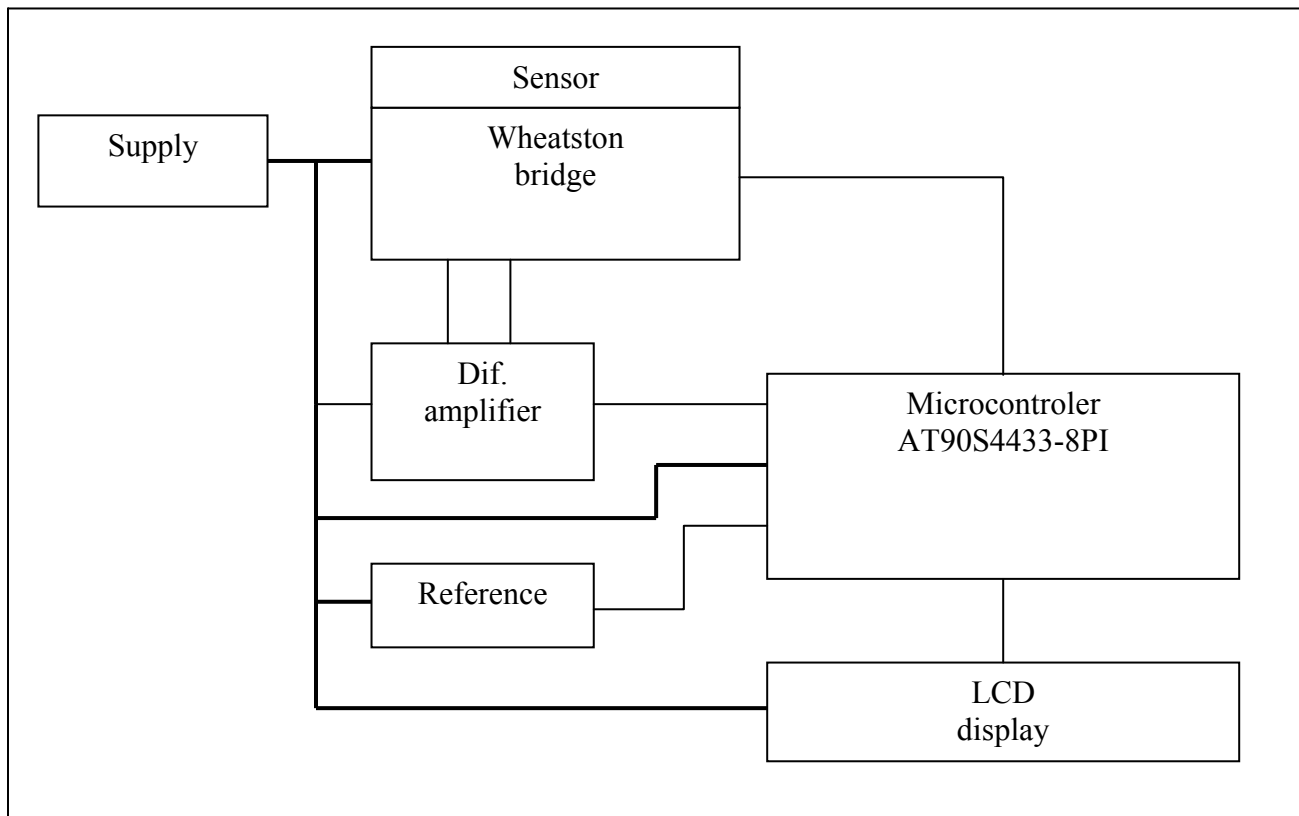
Po nekaj urah iskanja po internetu in lastnih izkušnjah sem prišel na idejo da bi bil NTC oz. v mojem primeru PT100 najprimernejši za zadan cilj te seminarske naloge.

PT100 element je platinast upor, ki nam ob primerni uporabi nudi dobro točnost kar čez veliko temperaturno območje (od -200 do 850°C). Prednost pred drugimi temp. senzori je v tem, da nujno ne potrebuje posebnih priključnih kablov – to se pozna na ceni same realizacije. Potem sem si poleg temp. senzora PT100 zamislil še mikrokontroler, ki bi zajemal, obdeloval in prikazoval temperature na LCD zaslonu.

DELOVANJE:

Pregled in obrazložitev posameznih sklopov na blok shemi.

Blok shema:



Senzor:

Princip delovanja temelji na odvisnosti upornosti PT100 od temperature kjer se element nahaja. PT100 ima pri $T = 0^{\circ}\text{C}$ nazivno upornost 100.0Ω in pri $T = 100^{\circ}\text{C}$ pa nazivno upornost 138.4Ω . Razmerje med temperaturo in upornostjo PT100 je približno linearna npr. predpostavimo temp. območje $T = 0..100^{\circ}\text{C}$ - napaka pri 50°C je 0.4°C . Za precizno merjenje moramo linearizirati upornost, da bomo dobili pravo temperaturo (standard: ITS-90).

Upornost PT100 senzorju se bo ob $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$ spremeni za 0.384Ω ; tako se že majhna napaka pri merjenju upornosti (npr.: upornost dovodnih žic med senzorjem in napravo, ki zajema podatke) pozna na rezultatu - izmerjeni temperaturi. Za boljšo natančnost lahko uporabimo 2 žici za merjenje toka in 2 žici za merjenje napetosti – izločimo upornost žic. Seveda pa ob takšni občutljivosti senzorja ne smemo pozabi, da dodatno segrevamo sam PT100 tudi s tokom,

katerega potrebujemo za merjenje upornosti (npr.: 1mA na upor 100Ω - s tem se že sprošča 0.1mW moči). Pri vsem tem moramo paziti, ker imamo majhne signale tudi na okolje v katerem se nahajajo žice samega senzor – motnje elektromotorjev, preklopnikov in drugih električnih naprav, ki povzročajo šum.

Wheatstonov mostič:

Z Wheatstonovim merilnim mostičem lahko dosežemo visoko točnost pri merjenju ohmskih upornosti. Neznano veličino, v mojem primeru upornost PT100, primerjamo z znano; z ničelnim indikatorjem pa le ugotavljamo določeno stanje v vezju, ki mu pravimo ravnovesje. Zato na merilno točnost ne vpliva točnost ničelnega indikatorja ampak le vpliv okolice in točnost uporabljenih elementov.

Sam Wheatstonov mostič je sestavljen iz štirih zaporedno vezanih uporov v zanki. Pogoja ravnovesja: $R1/R2 = R3/R4$; v mojem primeru je eden izmed teh uporov PT100. Ena izmed dobrih lastnosti mostiča je, da vrednost napetostnega vira U_0 in njegova notranja upornost R_0 ne vplivata na ravnovesje.

Pri svoji ideji sem uporabil zelo razčirjen odklonski Wheatstonov mostič, ki se ga uporablja za kontinuirano merjenje spremenljivih upornosti – v tem primeru gledamo na mostič kot na merjenje veličine v enosmerno napetost. V fazi načrtovanja sem uporabil enačbo za razliko napetosti :

$$U_V = \frac{1}{4} U_0 \frac{\Delta R/R}{1 + \frac{1}{2} \Delta R/R}$$

Vidimo iz enačbe, da je odnos linearen. V enačbi je predpostavljena stalna napetost U_0 , seveda pa je možno mostič napajati tudi s tokovnim virom – izkaže se, da je varianta s tokovnim virom, kar se linearnosti tiče boljša.

Tukaj bi še navedel razlog zakaj načrtovan mostič ne bo nikoli v ravnovesju, s tem sem prihranil algoritem inbračanje polaritete za A/D pretvornik; tako načrtovan mostič nam bo v željenjem temperaturnem območju vedno generiral $U_a \geq U_b$ (napetost na izhodu diferencialnega ojačevalnika je enaka $A \cdot (U_a - U_b)$).

Napajalni modul:

Naprava za svoje delovanje potrebuje enosmerno napajanje U od 7.5V do 35V (beri specifikacije na www.national.com). Na vhodu sta dva napetostna stabilizatorja napetosti LM7805 in LM78L05; slednji je namenjen le napajanju reference za A/D pretvornik (za območje). Pod modul pa spada tudi LMC7660, ki pa skrbi za -5V.

Diferencialni ojačevalnik:

Pri realizaciji diferencialnega ojačevalnika sem uporabil lahko dostopen in poceni operacijski ojačevalnik OP07 (www.analog.com). Dražja alternativa pa je seganje po instrumentacijskem

ojačevalniku (npr.: INA110). V velikost ojačanja dif. ojačevalnika so upoštevani naslednji parametri:

- # število bitov A/D pretvornika, da lahko dosežemo zaželeno natančnost ;
 - # velikost analogne reference za A/D pretvornik;
 - # izbran obseg temperaturnega območja, ki naj bi ga meril senzor PT100;
- Ojačanje diferencialnega ojačevalnika določimo z uporabo in sicer:

$$A = \frac{R_2}{R_1}$$

Reference:

V trgovini dobiti zelo dobro referenco in lahko predvsem pa ne poceni. Za svoj seminar sem se odločil, da potrebujem dve; in sicer referenco AREF za delovanje A/D pretvornika v mikrokontrolerju, ki ni nujno da je dobro temperaturno neodvisna (izbral sem aplikacijo s LM336 analogno referenco). Pri čimer je pri drugi referenci to eden glavnim in seveda najtežjih pogojev – mora biti skoraj temperaturno neodvisna, saj je uporabljena za sam izračun merjenega rezultata. Ta referenca je realizirana kot band gap – žal ni lahko dostopna v prosti prodaji. Po besedah načrtovalca (A.Pleteršek) čipa znaša temperaturno lezenje napetost pod 2ppm/°C.

Microkontroler AT90S4433 (www.atmel.com):

Vidno iz same slike HW-ja je razvidno, da bi bil mikrokontroler tudi drugi, odvisno od lastnih izkušenj in poznavanja.

Izbral sem prav tega, v glavnem zato, ker sem imel na razpolago programska orodja in pa tudi razvojno ploščo STK 500. Ima vgrajen 6 kanalni A/D pretvornik; za izboljšanje natančnosti bi morali uporabiti zunanji A/D z 12 biti, s tem bi lahko uporabili manjši kontroler.

Program sem spisal v AVR Studio, ker lahko uporabimo že narejene knjižnice in funkcije, tako za LCD zaslon kot tudi za A/D pretvornik.

LCD zaslon:

Za LCD sem se odločil zato, ker je njegova uporaba enostavna in po drugi strani potrebuje tudi malo energije za svoje delovanje.

IZRAČUN:

- ▶ PT100: pri 0°C upornost 100,0Ω; pri 100°C pa 138,4Ω;
- ▶ napajalna napetost mostiča $U_0 = 5V$;
- ▶ $R_m = 75\Omega$ - upori v mostiču;
- ▶ napetost izhoda mostiča:

$$U_V = \frac{1}{4} U_0 \frac{\Delta R/R}{1 + \frac{1}{2} \Delta R/R}$$

- ▶ ojačanje diferencialnega ojačevalnika:

$$A = U_{aref} / U_V$$

- ▶ analogna referenca za A/D pretvornik $U_{aref} = 2.49V$;
- ▶ referenca $U_{ref} = 0.535V$;
- ▶ 10 bitni A/d pretvornik;

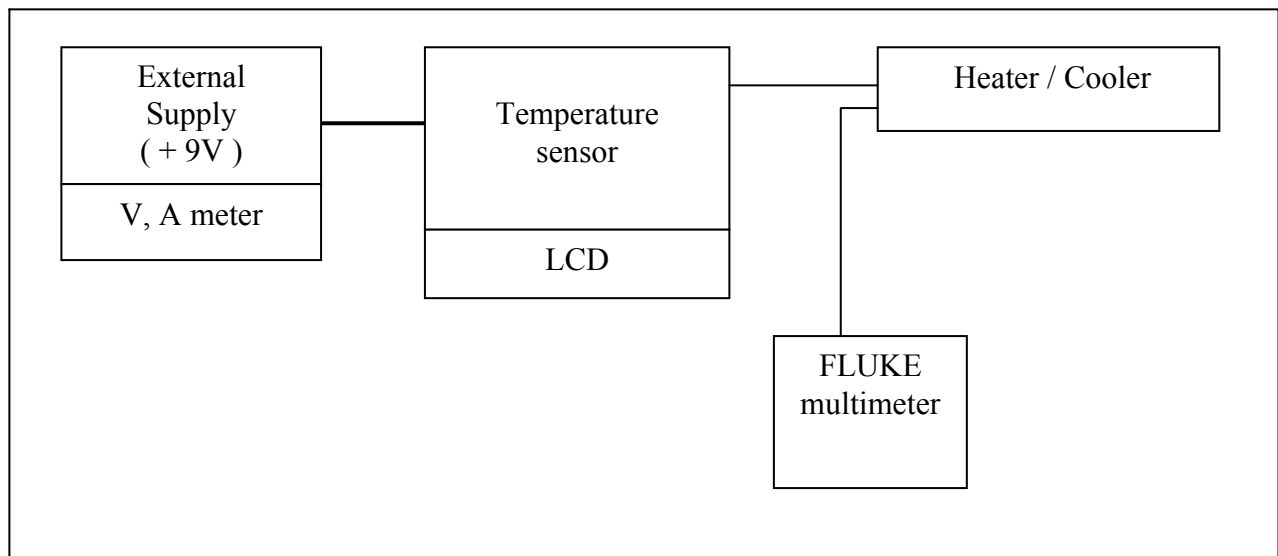
Območje upornosti PT100 je $[80.8\Omega, 157.6\Omega]$, temperatura $[-50^\circ C, 150^\circ C]$. Za izbrano območje spreminjanja upornosti PT100 je potrebno izračunati ojačanje (A) diferencialnega ojačevalnika. Saj je vhodna napetost v A/D pretvornik omejena z U_{aref} . Ob tem izračunu moramo upoštevati tudi vrednost 1LSB, ki je v tem primeru $2.4mV$ – postavljena natančnost merjenja bo na $1^\circ C$. Pri $\Delta T = 1^\circ C$ se nam upornost spremeni za 0.384Ω , kar v našem primeru načrtovanega mostiča teoretično znesse $\Delta U \approx 6.6mV$.

Iz danih izsledkov izračunamo ojačanje $A \approx 2.8$. Iz ojačanja A izračunamo potrebno razmerje uporov R_2 in R_1 .

UMERJANJE:

Potek in izvajanje meritev:

Shema meritve:



Merilni rezultati:

Tambient = 24°C;

Externo napajanje = +9V;

Izmerjena referenca Uref z A/D je 226 (2.475V);

Na podlagi izmerjenih rezultatov sem polinomsko interpolacijo metodo izračunal funkcijo $U_v(T)$ oz. $R(T)$, ki jo potrebujemo za samo obdelavo in prikaz temperature na LCD zaslonu.

Polinomska interpolacija:

- ▶ koeficienti a pa so koeficienti končne funkcije;
- ▶ f_i je vrednost funkcije v točki i ;

$$a_0 + a_1x_0 + \dots + a_nx_n = f_0$$

$$p(x) = a_0 + xa_1 + \dots + x^n a_n$$

$$a_0 + a_1x_1 + \dots + a_nx_n = f_1$$

$$a_0 + a_1x_n + \dots + a_nx_n = f_n$$

V programskem paketu MATLAB uporabimo funkcijo POLYFIT in dobimo naslednji rezultata v obliki polinoma:

Tabela merilnih rezultatov:

Meritev	Temperatura: °C	Vrednost A/D pretvorbe pretvorba	Vrednost A/D reference refAD	Koeficient koeficient
1	-34.0	253	224	0.6043
2	-19.1	323	226	0.7646
3	-15.0	346	226	0.8191
4	-12.9	358	226	0.8475
5	0.0	423	227	0.9970
6	6.5	465	226	1.1008
7	13.9	501	226	1.1860
8	18.3	527	228	1.2366
9	24.1	551	227	1.2986
10	36.5	613	229	1.4321
11	44.5	644	228	1.5111
12	59.7	712	230	1.6562
13	70.8	751	231	1.7393
14	97.1	851	231	1.9709
15	110.6	907	232	2.0916
16	115.7	923	232	2.1285
17	129.1	971	232	2.2392
18	145.6	1021	232	2.3545

Rezultat polinomske interpolacije:

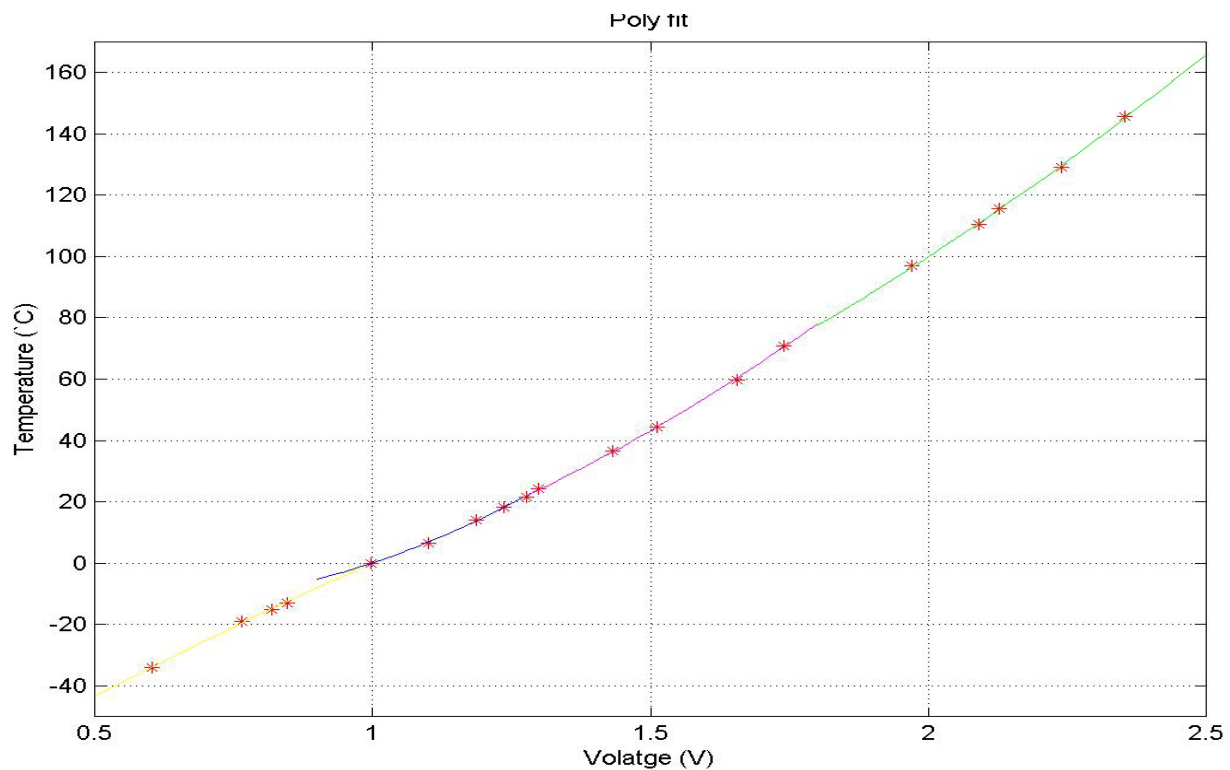
Vrednosti koeficientov posameznih polinomov:

- *od 0.500V do 0.997V: $-13.4256x^2 + 107.5653x - 94.002$;
- *od 0.998V do 1.290V: $69.8781x^2 - 79.7341x + 9.9304$;
- *od 1.291V do 1.800V: $39.4660x^2 - 14.1268x - 24.437$;
- *od 1.801V do 2.500V : $27.4251x^2 + 8.4194x - 26.636$;

Vpeljava koeficienta elegantno izloči vpliv lezenja U_{ref} , ki določa območje A/D pretvornika.

$$Koeficient = \frac{U_{ref} * pretvorba}{refAD}$$

Graf prilaganja polinoma k rezultatom meritev:



Pri rezultatu polinomske interpolacije sem se moral prilagoditi temu, da sem uporabil čim nižjo stopnjo polinoma. Tako sem območje razdelil na štiri polinome. Za še večjo natančnost pa bi moral poseči po večjem številu polinomov oz. interval gledanja rezultata A/D pretvorbe na več podintervalov; tu se pa že na letimo na omejitve mikrokontrolerja.

Pri sami izvedbi se pojavi pa še problem lezenja območja napetosti za A/D pretvornik, ve se, da je tudi ta temperaturno odvisna – uporaba naprave naj ne bi bila odvisna od temperature v katerih

naprava deluje in tudi za to bo poskrbel mikrokontroler – princip primerjanja vrednosti reference med posameznimi meritvami.

Zamisel je, da vedno pomerimo napetost band-gap reference in s tem zmanjšamo oz. povečamo glede na spremembo napetost na A/D pretvorniku in sicer napetost U_{aref} (nazivna U_{aref} pri 24°C je 2.475V).

Poraba moči:

Ideja same izvedbe naprave je težila k majhni porabi. Prvoten namen je bil, da bi bila naprava mobilna, majhna, lahka, nezahtevna za uporabo in seveda tudi baterijsko napajana. Težnja po 9V baterijskem napajanju se je na začetku izkazala za kar težko izvedljivo vendar je na koncu vseeno uspelo.

Omejevanje prehitrega trošenja baterije je izvedena z bipolarnim NPN tranzistorjem, ki deluje kot stikalo za Wheatstonov mostič, krmiljen je s strani mikrokontrolerja. Najpotratnejši člen v vezju je ravno mostič – max. moč je v primeru ko je mostič v ravnovesju, saj takrat čez njega teče

$$P = U_0^2 / R_{\text{bridge}} = 25\text{V}^2 / 75\Omega \cong 0.3\text{W}$$

največji tok; moč, ki se troši je enaka.

Krmiljenje tranzistorja poteka preko izhodnega porta mikrokontrolerja.

Režim delovanja mostiča:

► ON

Čas ko je mostič aktiven je povprečna poraba moči – vidna iz slike osciloskopa.

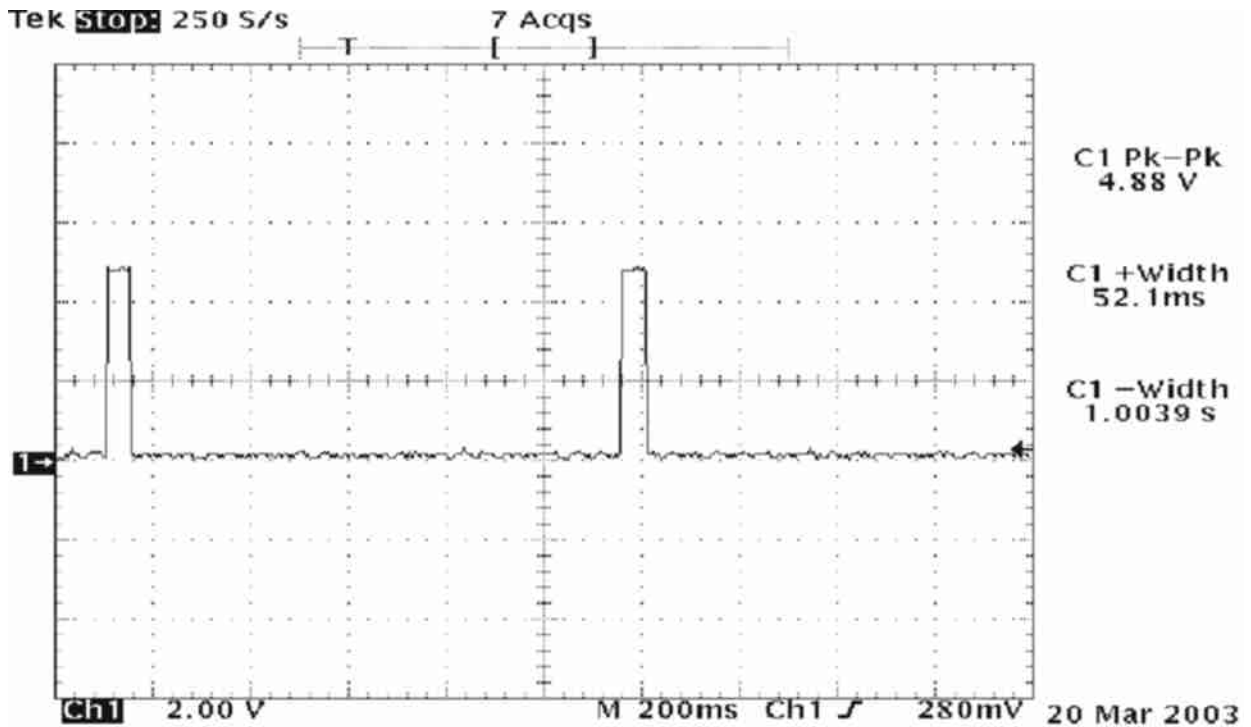
Meritev toka je bila izvedena kar na merilniku toka na samem napajalniku. Izkaže se, da poraba med merjenjem upornost na mostiču kar 0.9W . Na sliki je prikazan merilni rezultat pri katerem je bilo postavljeno razmerje impulz / pavza 1:20 (50ms trajajoč impulz, 1s dolga pavza).

► OFF

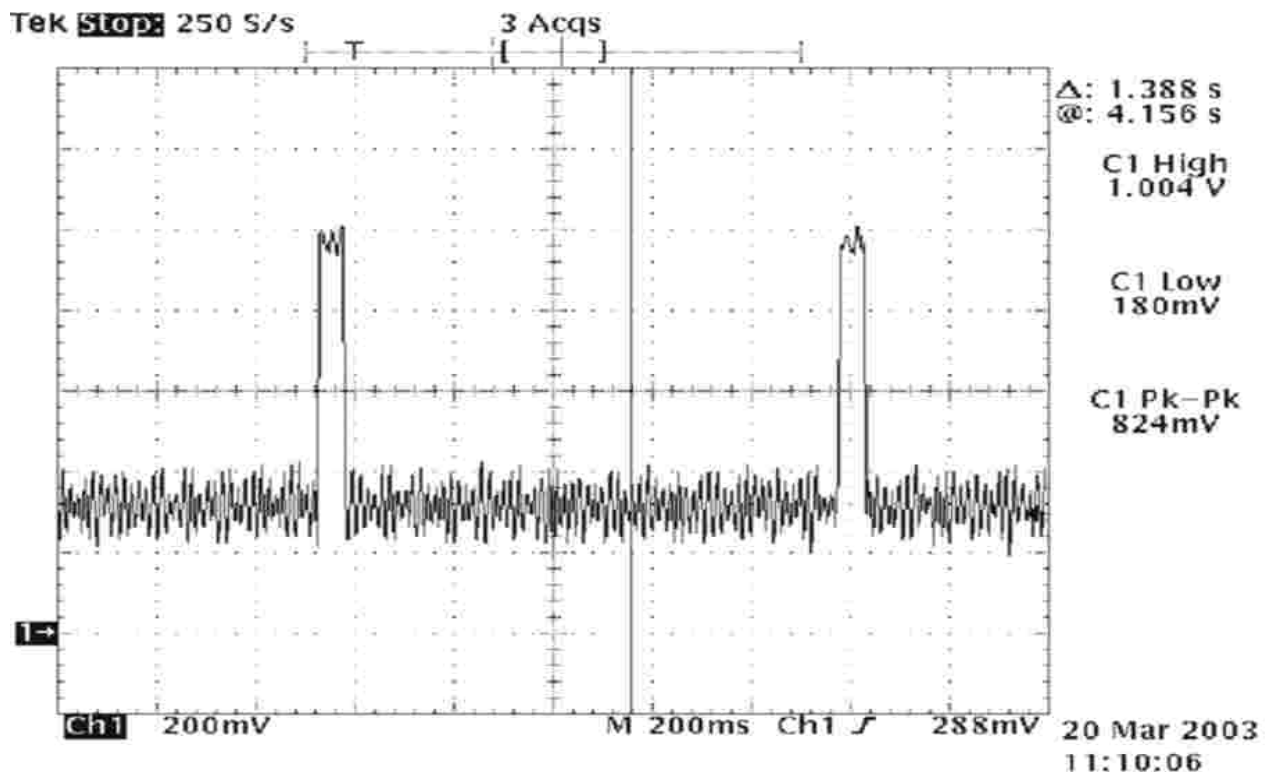
Med časom, ko pa je stikalo izključeno pa je povprečna poraba enaka 0.27W (na sliki je izmerjena napačna vrednost; odčitamo $U_{\text{min}} = 300\text{mV}$). Ugotovitev je, da lahko prihranimo na energiji le s skrajšanjem časa trajanja impulza, moč potrebna za mostič ostane nespremenjena.

Slika osciloskopa: (Tambient = 24°C , napajalnik: +9V)

► merjenje napetosti v napajalniku – proporcionalna toku napajalnika (napetost / 10 = tok)



► merjenje napetosti na bazi NPN tranzistorja, ki vklaplja/izklaplja mostič



Končni test:

Pri končnem testu sem preveril točnost merjenja temperature realiziranega senzorja.

Tabela merilnih rezultatov:

Meritev	Ref. Meritev (°C)	Temp. senzor (°C)	Napaka (°C)
1	-15.7	-15.0	-0.7
2	23.5	24.0	-0.5
3	37.6	38.0	-0.4
4	57.8	58.0	-0.3
5	101.7	101.0	0.7
6	136.0	137.0	-1.0

Kot sledi iz same tabele rezultatov napak je napaka kar velika, saj je bil zastavljeni cilj +/- 0.1°C; iz analize rezultatov končnega testa sledi, da je napaka +/- 1°C – za domačo rabo bi še kar šlo. Glavni povzročitelj napak je A/D pretvornik, saj je za zastavljeno območje delovanja senzorja premalo natančen (alternativa bi bil 12-bitni A/D). Drugi veliki razlog pa je tudi v samem računanju v mikrokontrolerju, saj le ta ni namenjen za računanje z števili s plavajočo vejico (alternativa bi lahko bil DSP ali pa kaj podobnega).

Oprema uporabljena pri izvajanju meritev:

#FLUKE 89 IV True RMS multimeter
 #kot V-meter
 #kot termometer
 #peč Gorenje
 #hladilni sprej FREEZE 75 (do -50°C)
 #zmrzovalna skrinja Zanussi
 #enosmerni napajalnik 05ASF (0 – 10.000V/max.100mA)
 #digitalni osciloskop Tektronix TDS 520D

Literatura:

#F. Bergelj: Meritve 2.del , 1995
 #B. Orel: Osnove numerične matematike , 1999
 # www.atmel.com datasheet: AT90LS/S4433-8PI
 # www.avrfreak.com
 # www.picotech.com/applications/pt100.html
 # predavanja Elektronska vezja I in II

ZAKLJUČEK:

Zastavljeni cilj je v celoti uspel razen manjših odstopanj pri končnem testu. Seveda pa nisem mogel uresničiti cilja spodnje meje območja - zaradi pomankljive merilne opreme, saj vemo da v praksi ni lahko doseči -50°C , zato je območje delovanja termometra od -30°C do $+150^{\circ}\text{C}$ in je do -50°C uporabljena le aproksimacija.

Poudariti je potrebno, da bi se dalo marsikaj še boljše postoriti, vendar pa vem, da mi bodo izkušnje pridobljene na tem seminarju služile tudi v prihodnost in pri nadaljnih načrtovanjih.

PRILOGA:

- 1) Program v jeziku C
- 2) Slika temperaturnega senzorja
- 3) Električna shema

Add 1:

```

/*****
Chip type       : AT90S4433
Clock frequency : 4,000000 MHz
Memory model    : Tiny
Internal SRAM size : 128
External SRAM size : 0
Data Stack size : 32
*****/
#include <90s4433.h>
#include <delay.h>
#include <lcd.h>
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include <math.h>
// Alphanumeric LCD Module functions
#asm
.equ __lcd_port=0x12
#endasm

#define control PORTC.5

// Declare your global variables here
int adc_temp , adc_vref , temperature , temp_max , temp_min ;
int i,range;
float temper1 , adcvref , temper , temp_result , fraction , celo ;
char temp_res[4] , temp_res_min[4] , temp_res_max[4] ;// referenca[4];
float vref = 0.535;
// Read the AD conversion result
int read_adc(void)
{
    // Start the AD conversion
    ADCSR|=0x40;
    // Wait for the AD conversion to complete
    while ((ADCSR & 0x10)==0);
    ADCSR|=0x10;
    return ADCW;
}

//Read AD conversion of the temperature sensor
int read_temp(void)
{
    ADMUX = 1;//priključen temp. senzor
    read_adc();
    return ADCW;
}

//Read AD conversion of reference voltage (temperature)
unsigned int read_vref(void)//zaenkrat bo to kar band gap (0.535V)

```

```

    {
        ADMUX = 2;//prikljucena referenca
        read_adc();
        return ADCW;
    }
// Declare your global variables here
void main(void)
{
// Declare your local variables here
// Input/Output Ports initialization
// Port B initialization
// Func0=In Func1=In Func2=In Func3=In Func4=In Func5=In
// State0=T State1=T State2=T State3=T State4=T State5=T
PORTB=0xff;
DDRB=0xff;
// Port C initialization
// Func0=In Func1=In Func2=In Func3=In Func4=In Func5=In
// State0=T State1=T State2=T State3=T State4=T State5=T
PORTC=0x20;
DDRC=0x20;
// Port D initialization
// Func0=In Func1=In Func2=In Func3=In Func4=In Func5=In Func6=In Func7=In
// State0=T State1=T State2=T State3=T State4=T State5=T State6=T State7=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;
// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;
// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 1 Stopped
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1 output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
TCCR1A=0x00;
TCCR1B=0x00;
TCNT1H=0x00;
TCNT1L=0x00;
OCR1H=0x00;
OCR1L=0x00;
// External Interrupt(s) initialization
// INT0: Off
// INT1: Off
GIMSK=0x00;
MCUCR=0x00;
// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x00;
UBRRHI=0x00;
// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
// Analog Comparator Output: Off
ACSR=0x80;
// ADC initialization
// ADC Clock frequency: 125,000 kHz
// ADC Bandgap Voltage Reference: Off
ADCSR=0x85;

lcd_init(16);
control = 0;

//LOGO
    _lcd_ready();
    lcd_clear();
    lcd_gotoxy(0,0);
    lcd_putsf(" TEMP MAX MIN °C");
//inicialization
    i = 1;    //temp max/min

```

```

    range = 1;
//main loop
while (1)
{
// Place your code here
control = 1;
    delay_ms(50);
    adc_temp = read_temp();      //read temp(V) ADC
    adc_vref = read_vref();     //read ref(V) ADC
    control = 0;

    temper1 = (float) adc_temp;
    adcvref = (float) adc_vref;
    //izracun
    temper = ( vref * temper1 ) / adc_vref;

    if ((temper >= 0.500) & (temper <= 0.997))
    {
        temp_result = -13.4256*temper*temper + 107.5653*temper - 94.002;
    }
    else if ((temper > 0.997) & (temper <= 1.290))
    {
        temp_result = 69.8781*temper*temper - 79.7341*temper + 9.9304;
    }
    else if ((temper > 1.290) & (temper <= 1.800))
    {
        temp_result = 39.466*temper*temper - 14.1268*temper - 24.437;
    }
    else if ((temper > 1.800) & (temper <= 2.500))
    {
        temp_result = 27.4251*temper*temper + 8.4194*temper - 26.636;
    }
    else
    {
        range = 0;
    }
}
/*zakroozevanje rezultata*/
fraction = modf (temp_result , &celo);
fraction = fabs (fraction);
if (temp_result > 0)
{
if (fraction < 0.5)
{
    temp_result = floor (temp_result);
}
else
{
    temp_result = ceil (temp_result);
}
}
else
{
if (fraction < 0.5)
{
    temp_result = ceil (temp_result);
}
else
{
    temp_result = floor (temp_result);
}
}
temperature = (int) temp_result;
if (i == 1)
{
    temp_max = temperature;
    temp_min = temperature;
    i = 0;
}
printf( temp_res , "%d" , temperature ); //conversion to string
temp_max = max ( temperature , temp_max ); //max temp
printf( temp_res_max , "%d" , temp_max );

```

```
temp_min = min ( temperature , temp_min ); //min temp
sprintf ( temp_res_min , "%d" , temp_min );
//data on LCD screen
//clear line
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("                ");
lcd_gotoxy (1,1);

if (range == 0)
{
    lcd_putsf("err");
    range = 1;
}
else
{
    lcd_puts ( temp_res );
}
lcd_gotoxy (6,1);
lcd_puts ( temp_res_max );
lcd_gotoxy (10,1);
lcd_puts ( temp_res_min );
delay_ms (1000);
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("                ");
};
}
```

Add 2:



Seznam elementov:

- S1, S2 stikalo;
- U1,U2 LM7085;
- kondenzator: C3,C4,C5 Ta 16u/10V; C6,C7 elko 100u/16V; C1,C2 22p; C8 100n lay;
- D1 LED green; D2 D3 1N4148;
- R1 PT100; R2,R3,R4 75E; R10A,R10B 12k; R20A,R20B 33k2; R60 2k7;R6 R50 680E; R7 10k; R8 3k32; R11 5k6; R9 4k7;
- R10 trimer 10k;
- Q1 BC337;
- LM 336;
- QRZ1 4.000MHZ;
- IC1 OP07; IC2 AT90L4433; IC3 display 2X16; IC4 LMC7660; IC5 band_gap;