

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

Jure Novak

Merjenje temperature z uporabo vezja FPGA

Seminarska naloga

pri predmetu

Elektronska vezja

V Ljubljani, September 2009

1 UVOD

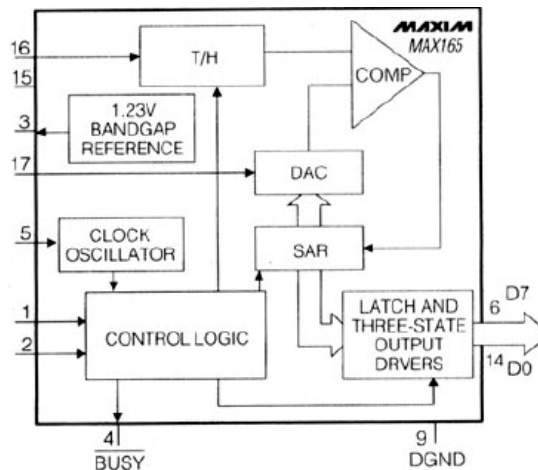
V nadaljevanju predstavljena naprava v samem bistvu preko uporovnega delilnika meri enosmerni padec napetosti na senzorskem NTK uporu, katerega nato analogno-digitalni pretvornik pretvarja v digitalno obliko in dobljeni rezultat pošilja na Xilinxovo FPGA vezje. Leta zajema podatke, jim priredi ustrezno temperaturo ter jih vseskozi izpisuje na 7-segmentnem LED prikazovalniku. Merilnik meri temperaturo na območju od 0 do 32°C, in sicer z natančnostjo na 1°C.

2 OPIS UPORABLJEIHKOMPONENT

2.1 ANALOGNO-DIGITALNI PRETVORNIK (ADC)

2.1.1 Uporabljen ADC

Uporabil sem Maximov 8-bitni analogno-digitalni pretvornik MAX165 s paralelnim izhodom. Odlikuje ga hitrost (čas pretvorbe je 5 μ s) in funkcija T/H (angl. Track/Hold), ki omogoča točno obdelavo in digitalizacijo signalov vse do 50kHz. Njegova maksimalna napaka digitalizacije je ± 1 LSB. Napajati ga je treba z napetostjo +5V, njegova tipična poraba pa je 15 mW. Proces pretvorbe in zajem podatkov sta nadzorovana s standardnimi krmilnimi vhodi: CS, RD in BUSY, ki so negirani. Funkcionalni diagram pretvornika predstavlja naslednja shema:

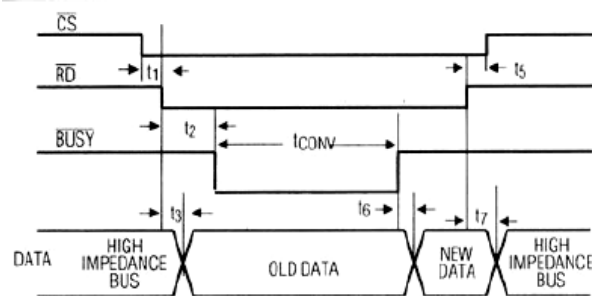


Urin signal

MAX165 ima možnosti notranje ali zunanje ure. Za delovanje notranje ure je treba dodati upor in kondenzator, ki določita frekvenco vgrajenemu oscilatorju. Sam sem izbral drugo možnost in mu zahtevani urin signal (frekvence 4 Mhz) dovedel kar iz FPGA boarda (kjer sem urin signal 50 Mhz zmanjšal na 4 Mhz).

Režim delovanja

ADC ima možnosti večih režimov delovanja. Za moj projekt je ustrezal "Slow-Memory Interface Mode", katerega časovni diagram je sledeč:



2.2 VEZJA FPGA

2.2.1 Uporabljeno FPGA vezje

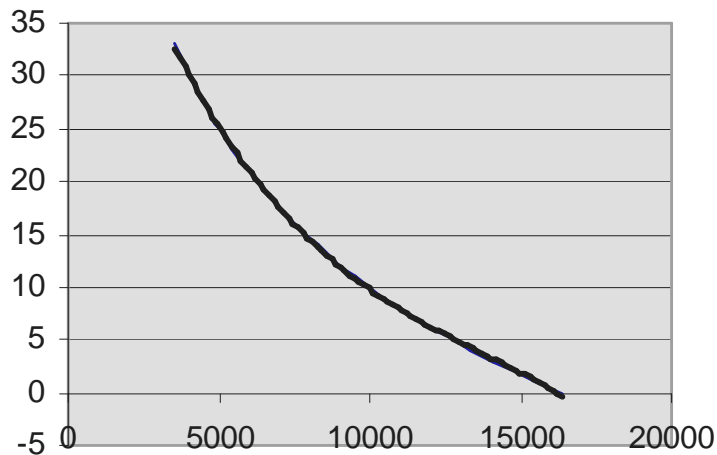
V svojem projektu sem uporabil Xilinxov *Spartan-3 Starter Kit Board* (Spartan-3 XC3S200 FPGA), ki med drugim vsebuje: matriko 24 x 20 programirljivih logičnih blokov, 173 vhodno / izhodnih blokov, 2 Mbit platform Flash, 200 000 logičnih vrat, 7-segmenten, 4 mestni LED zaslon, 50 MHz urin impulz (oscilator), 2 Mbit Platform Flash in 8 individualnih LED izhodov. Ta board res ni najnovejši, vseeno pa je več kot zadostil moji preprosti aplikaciji.

Samo vezje sem programiral v programskem okolju ISE proizvajalca Xilinx in sicer v jeziku VHDL. Potrebno je bilo implementirati krmilno logiko ADC-ja, generirati zunanjo uro (4 MHz) za ADC, tabelo vrednosti (LUT) in pravilen izpis na LED zaslon. Pri implementaciji ADC-ja je bilo potrebno upoštevati vse pomembne zakasnitve. Simulacijo napisanega programa sem napravil v simulatorju ModelSim XE III. Najprej sem testiral posamezne funkcijske dele kode in na koncu še celoto.

2.3 SENZOR

Uporabil sem temperaturni senzor proizvajalca STRIP's, ki je narejen na principu NTK in se sicer uporablja pri uravnavanju temperature v hladilnikih, zamrzovalnikih ter drugih napravah in aplikacijah z največjo močjo bremena do 60 W. Tipalo je zalito v plastičnem ohišju, kar zagotavlja odpornost na vlago, prah in razne nevarne pline.

Zanimalo me je samo območje od 0 do 32 °C, kar ustreza grafu karakteristike T(R) :



3 DELOVANJE IN REALIZACIJA

Zamislil sem si preprosto vezje, kjer preko uporovnega delilnika merim enosmerni padec napetosti na senzorskem NTK upor, katerega nato analogno-digitalni pretvornik (ADC) pretvarja v digitalno obliko in dobljeni rezultat pošilja na Xilinxovo FPGA vezje. Le-ta zajema 128 podatkov na sekundo in vrne povprečen rezultat (s čimer sem se izognil nadležnemu lezenju in prehitremu spreminjanju temperature na prikazovalniku). Potem jim priredi ustrezno temperaturo ter jih vseskozi izpisuje na 7-segmentnem LED prikazovalniku. Temperaturo meri z natančnostjo na 1°C, kar se mi je zdelo za vsakdanjo uporabo povsem dovolj. V praksi se pri merilnih vezjih s senzorji seveda uporabljajo mostiči, vendar sem se odločil za manj natančno, a cenejšo in preprostejšo varianto z navadnim uporovnim delilnikom, saj me je predvsem zanimala ideja in hitra realizacija, ne pa toliko natančnost in občutljivost samega merilnika.

3.1 Realizacija

Najprej sem vzel Maximov ADC in ga preko razširitvenega konektorja A1 povezal na FPGA board. Sledila je implementacija krmilne logike in delovanja ADC-ja v obliki v vezju FPGA ter testiranje na LED diodah. Pri programiranju je bilo potrebno upoštevati tudi dejanske zakasnilne čase pretvornika iz kataloga. Za referenčno napetost ADC-ja (V_{REF}) sem porabil kar napetost +3.3V, ki jo dobim iz Spartanovega FPGA boarda in je že vezana na konektor A1. To napetost sem delil na polovico, ker ADC potrebuje za svoje delovanje:

$$\text{Full scale} = 2 * V_{REF}$$

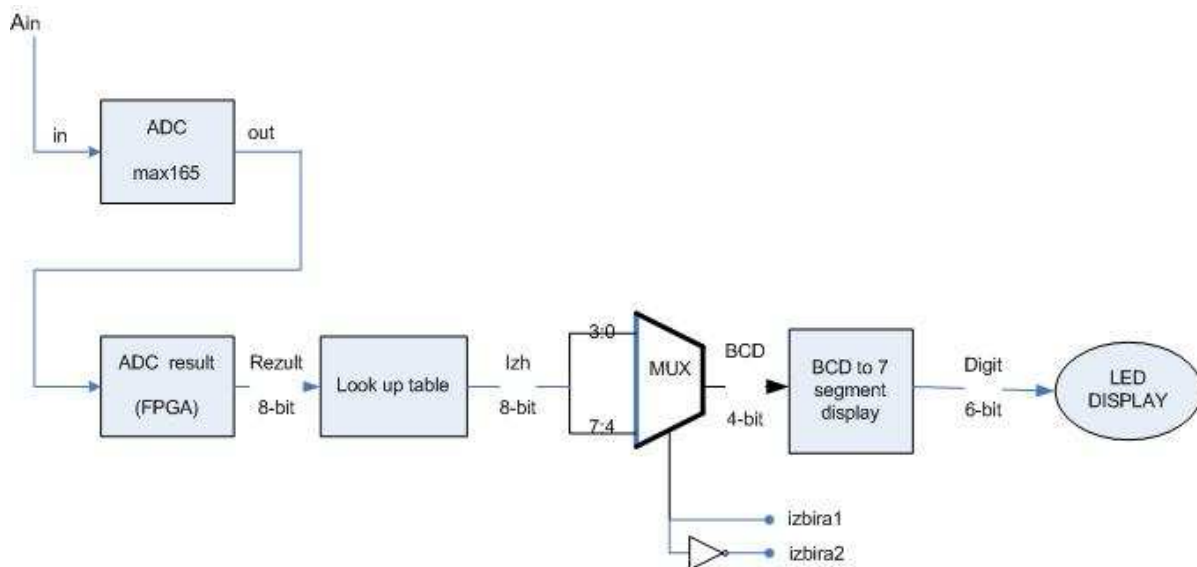
Referenčna napetost nam tako definira območje delovanja ADC in njegovo ločljivost:

$$\text{LSB} = \text{Full scale} / 2^n$$

Nato sem napisal tabelo. Ker je moj ADC 8-biten, mora moja tabela imeti 256 vrstic. Z izračunom LSB-ja sem lahko zapisal prvi in drugi stolpec tabele: prelet pripadajočih spodnjih mejnih vrednosti napetosti za celo področje kod. Nato sem iz karakteristike NTK sensorja določil ustrezne kode temperaturam. Karakteristiko NTK sem opisal s polinom 3. reda za območje od 0 do 32°C. S tem sem omejil delovanje merilnika. Če merilnik izmeri temperaturo izven območja delovanja, te ne prikazujem – izpišem “EE”. Stolpec napetosti sem zatem uporabil za računanje novih upornosti na sensorju, ki sem jo izračunal iz napetostnega delilnika (sestavljenega iz R_1 in R_s). Upornost R_1 sem izbral takšno, da sem za svoje območje (0 do 32°C) kar najbolj pogodil in izkoristil kodo. Na koncu sem izbral upornost 1 kOhm (tolerance +/- 1%). Stolpec upornosti sem nato uporabil pri računanju pripadajočih temperatur, kjer sem uporabil zgoraj omenjeno polinomsko formulo.

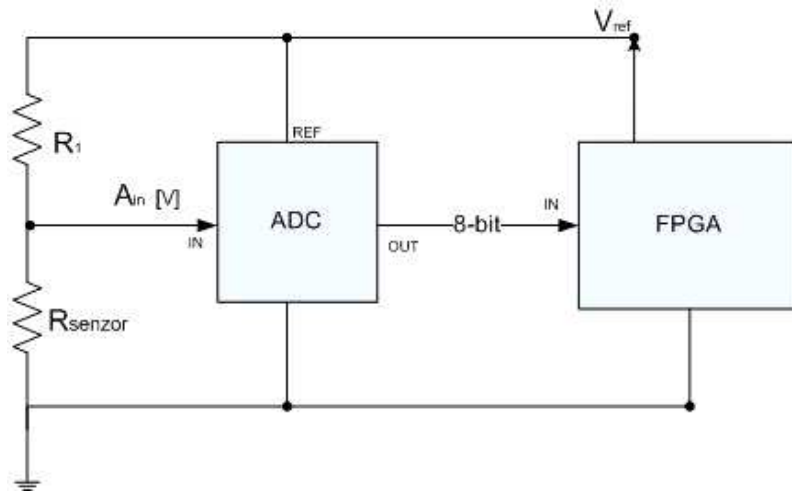
Potem sem dodal uporovni delilnik s preciznim 1 kilo Ohmskim uporom in temperaturnim sensorjem ter ga povezal z ADC-jem, tako da je bil vhod v pretvornik kar analogna napetost na senzorskem uporu. ADC to napetost pretvarja v digitalno obliko in jo pošlja FPGA vezju. Ta zajema po 128 vzorcev v sekundi in jih povpreči. Sedaj je treba prihajajočim digitalnim zapisom prirediti ustrezno temperaturo. To sem uredil z implementacijo vrednostne tabele (LUT). Sledi še sprotno izpisovanje temperature na LED zaslon.

3.2 Blokovna shema merilnika:



Opomba: Ain na vhodu ADC-ja je napetost na senzorskem uporu.

3.3 Princip vezave:



4 TEŽAVE, POGREŠKI IN MOŽNE IZBOLJŠAVE

Še največ časa sem porabil za samo implementacijo ADC-ja v jeziku VHDL in za pravilno izpisovanje temperature na led zaslon. Ker sem pri izdelavi merilnika dal prednost preprostosti in hitrosti izdelave, je merilnih napak in pogreškov kar precej. Kot prvo bi izpostavil samo realizacijo merilnega vezja. V praksi se merilna vezja s senzorji realizira z Wheatstonovim mostičem, kar je gotovo boljše metoda od mojega uporabnega delilnika. Ker uporabljeni upori niso niti idealni niti povsem točni, to vpliva na lezenje napetosti na senzorskem uporu in posledično na točnost prikaza.

Vpliv na točnost rezultata ima tudi neidealna polinomska interpolacija in samo zaokroževanje pri računanju napetosti. Svoje doprineseta še pogreška sensorja in ADC-ja. Izdelani merilnik tako res ni preveč natančen, ker pa človek ne zazna zelo majhnih temperaturnih sprememb, je za prikaz sobne temperature vseeno dovolj dober.

Kar se tiče možnih izboljšav, bi - razen mostične izvedbe samega vezja - omenil predvsem razširjenje merilnega območja (tako v pozitivno kot tudi v negativno področje temperatur). Celotno tabelo karakteristike sensorja bi bilo potrebno razdeliti v več manjših območij, za katere bi naredili svoje polinomske interpolacije in sestavili novo tabelo. S tem bi tudi popravili natančnost merilnika. Izboljšati bi se dalo tudi samo natančnost merilnika in sicer z boljšimi in dražjimi elementi ter natančnejšim izračunavanjem temperature. Preostale možne izboljšave bi bile lahko na primer tudi možnost računanja in shranjevanja dnevne povprečne temperature ali pa realizacija vezja s konektorjem za senzor, tako da bi lahko uporabljali različne senzorje na istem merilnem vezju (seveda pa bi morali za vsak senzor prilagoditi njegovo implementacijo v vezju FPGA).

5 VIRI

<http://www.xilinx.com/>

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/maxim/MAX165-MAX166.pdf>

<http://www.cs.colostate.edu/~cs460/S3BOARD-rm.pdf>

<http://www.strips.eu/>

<http://en.wikipedia.org>

S. Tomažič, S. Leonardis: Diskretni signali in sistemi, 2004