

Dokumentacija projekta

HeartTest

Završni projekt kolegija Ugradbeni računalni sustavi

Finalna verzija

Preddiplomski sveučilišni studij računarstva

Mentor: doc. dr. sc. Mladen Tomić

Maja Vrsaljko

Ivana Baćac

Azra Subašić

Sadržaj

| | |
|---------------------------------------------|----|
| 1. Uvod..... | 1 |
| 1.1. Svrha dokumenta..... | 1 |
| 1.2. Namjena dokumenta..... | 1 |
| 1.3. Članovi projektnog tima | 1 |
| 1.4. Reference | 1 |
| 2. Opis..... | 2 |
| 2.1. Opis projekta..... | 2 |
| 2.2. Primjena | 2 |
| 3. Mjerenje otkucaja srca | 3 |
| 4. Specifični zahtjevi..... | 4 |
| 4.1. Funkcionalnosti - mjerenje pulsa | 4 |
| 4.2. Pouzdanost..... | 5 |
| 4.3. Zahtjevi hardvera | 7 |
| 4.4. Hardverske komponente sustava | 7 |
| 3.6.1 Implementacija ledicom..... | 12 |
| 3.6.2 ADC-om | 12 |
| 3.6.3 Prekidima | 13 |
| 4. Zaključak | 13 |
| 5. Prilozi | 14 |

1. Uvod

1.1. Svrha dokumenta

Svrha ove dokumentacije je jednoznačno opisati i definirati hardverske i softverske komponente projekta i tijekom izrade projekta. Opisat će se sve funkcionalnosti realizirane projektom.

1.2. Namjena dokumenta

Dokument je namijenjen članovima tima koji sudjeluju u implementaciji, mentoru projekta, asistentu i svim ostalim korisnicima HeartTest-a.

1.3. Članovi projektnog tima

Projektni tim zadužen za ovaj projekt sastoji se od 3 člana:

- Maja Vrsaljko (voditelj)
- Azra Subašić
- Ivana Baćac

Svi članovi su aktivno i ravnopravno sudjelovali u razvoju i realizaciji projekta te pisanju potrebne dokumentacije. Voditelj tima imao je odgovornost raspodjele i organizacije rada.

1.4. Reference

- ATmega 16A Datasheet
- <https://pulsesensor.com/>
 - Dokumentacija senzora za mjerenje pulsa
- <https://www.avrfreaks.net/>
- <https://www.instructables.com/id/Do-it-yourself-a-heart-beat-monitor-with-AVR/>

2. Opis

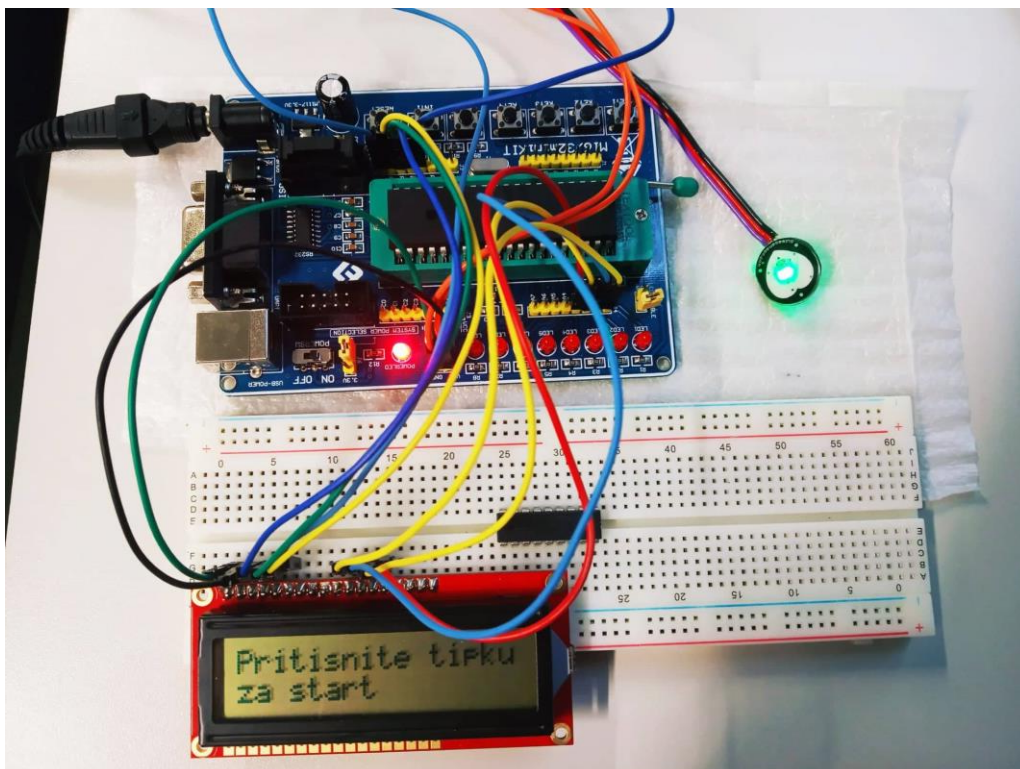
2.1. Opis projekta

HeartTest projekt demonstrira potencijalnu primjenu mikrokontrolera, uz odgovarajuće komponente, u stvarnom svijetu.

Pomoću puls senzora mjerimo otkucaje srca 15 sekundi te se zatim ispisuju prethodni i trenutno izmjereni prosječni broj otkucaja u minuti (BPM) na 16x2 LCD ekran. Korisnik pritiskom na tipku ima mogućnost vidjeti detaljnije objašnjenje svojih rezultata.

2.2. Primjena

Navedeni uređaj može se primijeniti pri uspoređivanju rada srca prilikom mirovanja ili zahtjevnijih aktivnosti. Zbog osjetljivosti uređaja (naročito senzora) korištenje se preporuča uz nadzor osobe koja razumije sam rad komponenti i ispravan način mjerenja otkucaja. U protivnom, može doći do oštećenja senzora i oscilacije rezultata.

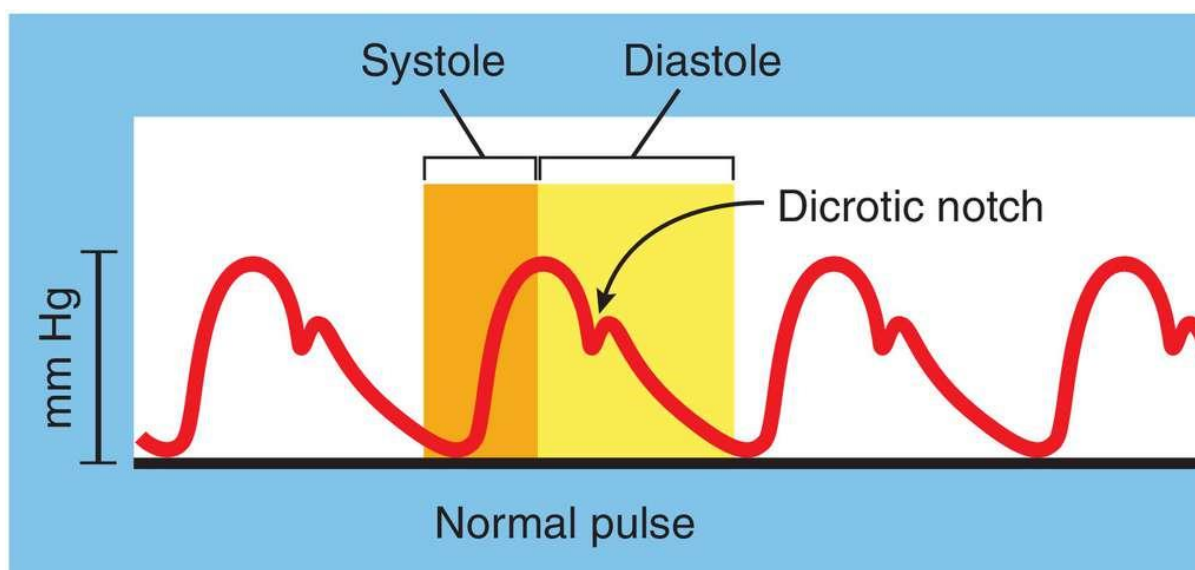


Slika 1. HeartTest uređaj

3. Mjerenje otkucaja srca

Frekvencija srca, srčana frekvencija ili sinusni ritam je brzina smjene srčanih ciklusa, mjerena brojem kontrakcija srca u minuti. Srčani puls može varirati prema fizičkim i psihičkim potrebama osobe. Fizički napori, vježbanje, anksioznost, stres, bolesti i uzimanje lijekova samo su neke od stvari koje mogu utjecati na puls. Prosječna zdrava osoba u mirovanju ima puls u rasponu od **60-100** otkucaja u minuti. Sve ispod 60 otkucaja definira se kao spora frekvencija srca odnosno bradikardija, a sve iznad 100 kao ubrzani rad srca odnosno tahikardija. Prosječno vrijeme između dva otkucaja srca iznosi 0.86 sekundi. Ne ulazeći previše u detalje rada srca prije same implementacije potrebno je znati nekoliko stvari o signalu kojeg proučavamo

Svakim otkucajem srca javlja se pulsni val koji prolazi kroz tijelo. U idealnim uvjetima i sa savršeno preciznim senzorom, signal koji dolazi na pin ujednačen je i predvidljivog oblika. Vrijednost signala PPG-a se akcelerira kada pulsni val prijeđe preko senzora i zatim ponovno opada na normalnu razinu. U periodu između dva pulsa često se javlja tzv. *dicrotic notch* (označen na slici). Radi se o tlaku koji se javlja nakon zatvaranja arterija i označava kraj jednog perioda ispumpavanja krvi. Za precizno mjerenje potrebno je detektirati najveću vrijednost signala i reducirati sve ostale šumove koje se javljaju naknadno. Neki izvori tvrde da se otkucaj srca dogodi pri 25% ili 50% amplitude.



Slika 2. Pulsni val

4. Specifični zahtjevi

4.1. Funkcionalnosti - mjerenje pulsa

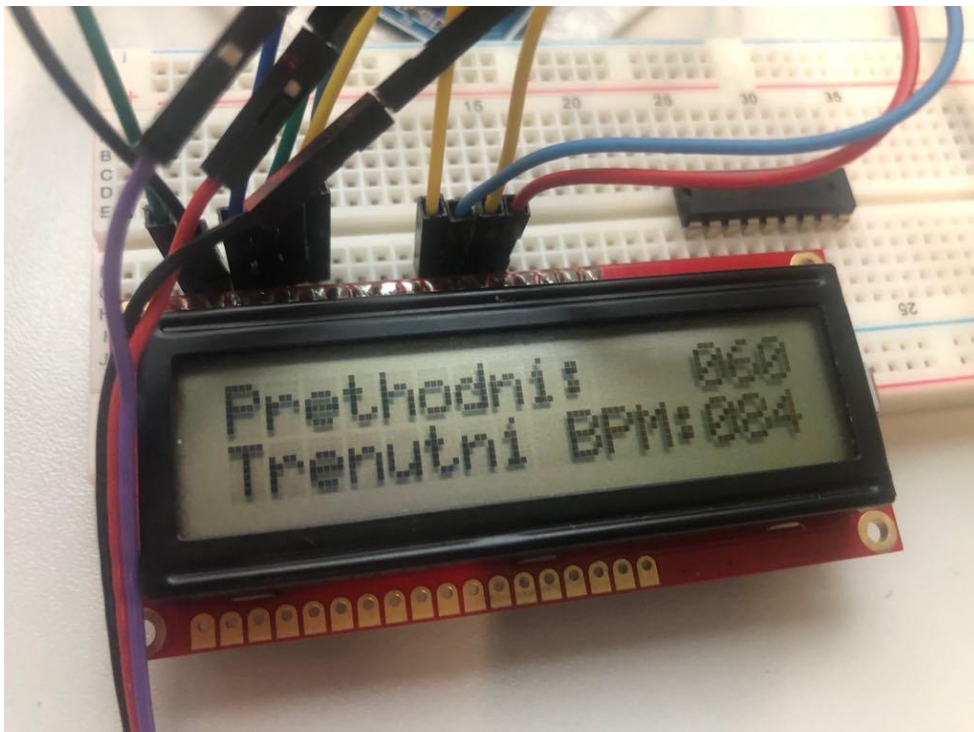
HeartTest prilikom pokretanja prikazuje poruku "Pritisnite KEY4 za start".

Pritiskom na KEY4:

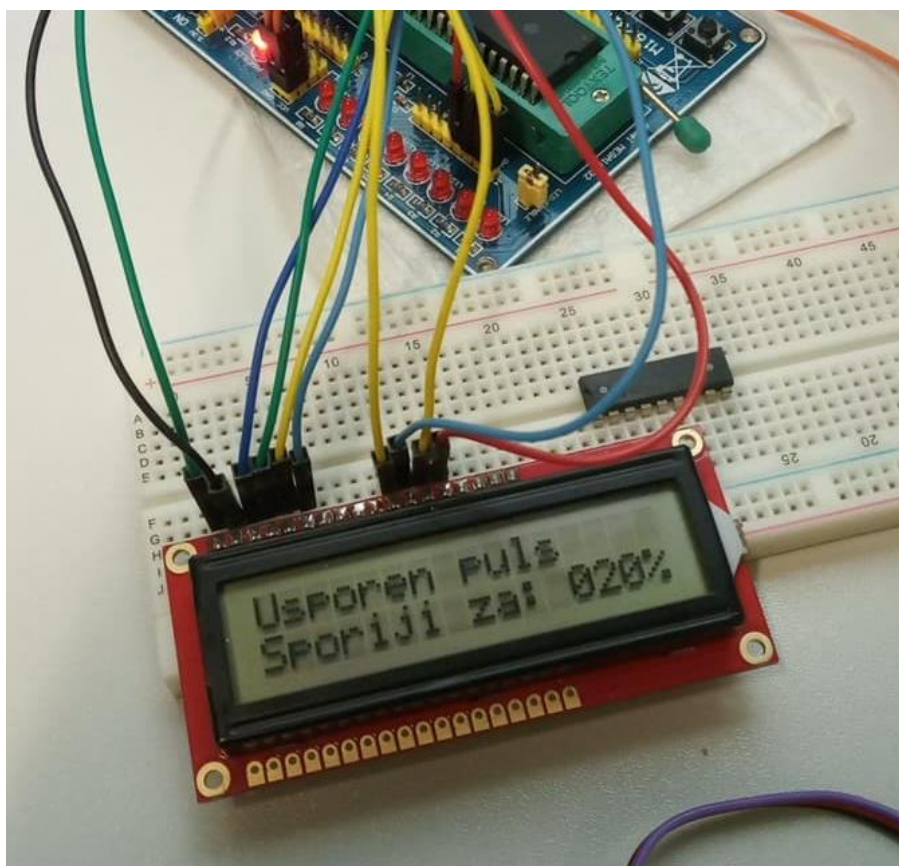
- Pokreće se mjerenje pulsa; korisnik mora 15 sekundi mirno držati senzor na prstu.
- Kada istekne vrijeme prikazuju se prethodni (zapisani u EEPROM memoriji) i trenutni rezultati mjerenja otkucaja srca (Slika 2)

Pritiskom na KEY3:

- Prikazuju se detaljniji podaci o trenutnom mjerenju (Slika 3)
- Prikazuje se usporedba trenutnih rezultata s prethodnim (npr. "Sporiji za: 050%")



Slika 2. Korištenje EEPROM memorije



Slika 3. *Pritisak na KEY3*

4.2. Pouzdanost

Kako bi osigurali ispravan rad našeg senzora, moramo pripaziti na koji način ga koristimo, budući da ćemo neispravnim korištenjem dobiti netočne rezultate. Način korištenja podrazumijeva pozicioniranje vrška jagodice bilo kojeg prsta ruke na sredinu senzora. Uzevši u obzir veliku osjetljivost senzora, dovoljno je lagano prisloniti prst i mirno sačekati da timer završi sa odbrojanjem.

Nadalje, kako bismo dodatno poboljšali očitavanja, izbjegli nepotrebne šumove iz okoline te olakšali cjelokupan način korištenja, možemo izolirati senzor sa remenom dobivenim u *Pulse Sensor* opremi koji nam daje mogućnost individualnog prilagođavanja veličine prema prstu.

Također, imamo na raspolaganju kvačicu za ušnu resicu, no testiranje te metode pokazalo se nepouzdanom i nepreciznom.

Trebamo obratiti pozornost i na to da održavamo senzor "čistim". Tj. da prilikom svakog korištenja imamo zaljepljen zaštitni flaster dobiven u opremi. U suprotnom, nečistoća može poremetiti točnost rezultata i trajno oštetiti senzor.

Temperatura senzora i Atmega16A mikrokontrolera mora ostati u granicama -40 do 85 stupnjeva Celzijusa.

Napon mikrokontrolera ATmega16A je 2.7-5.5V, dok je našeg Arduino PulseSensora 3-5.5V stoga, ulazni napon ne smije prelaziti granice tih vrijednosti pošto premala vrijednost dovodi do neispravnog rada sustava, dok prevelika može dovesti do oštećenja komponenti.

Ukoliko pratimo sve navedene savjete, očekuje se visoka pouzdanost sustava s prosječnim odstupanjem 2%.



Slika 4. *PulsSensor oprema*

4.3. Zahtjevi hardvera

- Mikrokontroler ATmega16A
- 2 pina za prekide (INT0 i INT1) za primanje signala sa senzora
- 2 pina za tipke koje kontroliraju uređaj
- PulsSenzor
- LCD 16x2
- Izvor napajanja

4.4. Hardverske komponente sustava

Kratki opis svake značajnije komponente uređaja:

Mikrokontroler ATmega16A

RISC arhitektura

- 131 instrukcija
- 32 8-bitna registra opće namjene

Memorija

- 16KB samo-programirajuće flash memorije
- 512KB EEPROM memorije
- 1KB internog SRAM-a
- 10000 write/erase ciklusa, 10000 Flash/100000 EEPROM

JTAG sučelje

- programiranje Flash, EEPROM, *fuses* i *lock* bitova

Značajke periferije

- Dva 8-bitna Timer-a
- Jedan 16-bitni Timer/Counter
- 10-bitni ADC
- 4 PWM kanala

Ostale značajke

- Eksterni i interni prekidi
- 32 programabilne linije
- Radni napon: 2.7V - 5.5V
- Frekvencija rada: 0-16MHz

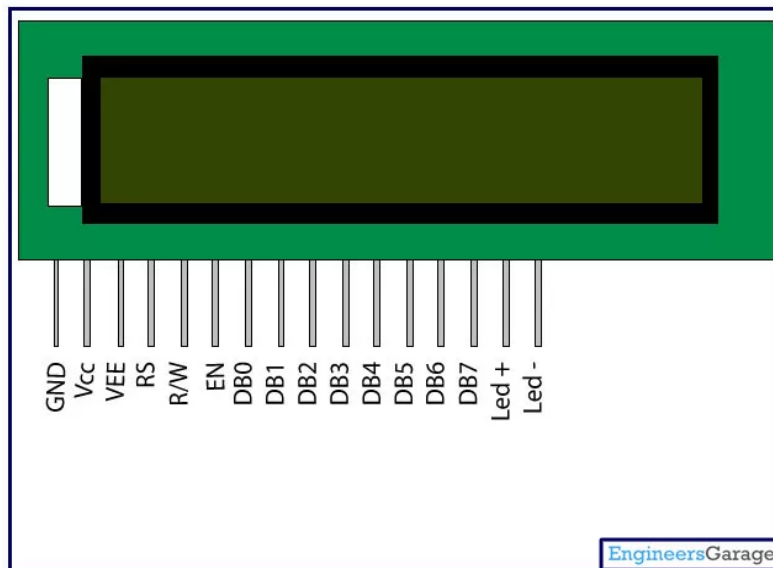
Mikrokontroler je centralna komponenta našeg uređaja. Njegov zadatak je da prima signale koje šalje senzor za detekciju tzv. *rising edg-a signala* pomoću prekidne rutine. Također, zadužen je štopanje vremena mjerenja pulsa i upravljanje korisničkog sučelja na LCDU preko tipki koje služe za kontrolu načina rada.

LCD 16x2

Pinovi:

| Pin No | Function | Name |
|--------|----------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1 | Ground (0V) | Ground |
| 2 | Supply voltage; 5V (4.7V – 5.3V) | V _{CC} |
| 3 | Contrast adjustment; through a variable resistor | V _{EE} |
| 4 | Selects command register when low; and data register when high | Register Select |
| 5 | Low to write to the register; High to read from the register | Read/write |
| 6 | Sends data to data pins when a high to low pulse is given | Enable |
| 7 | 8-bit data pins | DB0 |
| 8 | | DB1 |
| 9 | | DB2 |
| 10 | | DB3 |
| 11 | | DB4 |
| 12 | | DB5 |
| 13 | | DB6 |
| 14 | | DB7 |
| 15 | Backlight V _{CC} (5V) | Led+ |
| 16 | Backlight Ground (0V) | Led- |

Tablica 1. Pinovi LCD-a



Slika 5. LCD 16x2

Kontrolni pinovi:

RS (Register Select):

- RS = 0 - preneseni podaci smatraju se instrukcijama
- RS = 1 . preneseni podaci smatraju se znakovima

R/W (Read/Write):

- Određuje smjer podataka na sabirnici podataka
- R/W = 0 - pisanje u LCD
- R/W = 1 - čitanje iz LCD-a

E (Enable) input:

- Pokreće prijenos podataka
- Prilikom pisanja, podaci se prenose na padajući brid
- Prilikom čitanja, podaci su dostupni na rastući brid

Povezivanje i upravljanje LCD-om 1602A-1:

8-bitni način rada:

- Defaultni način rada
- Koristi svih 8 data linija DB0-DB7
- Podaci se prenose na LCD u bajtovima
- Zahtjeva 10 ili 11 pinova I/O pinova mikrokontrolera (DB0-DB7, RS, E, po potrebi R/W)

4-bitni način rada:

- Prijenos podataka 4 po 4 bita
- Ne koristi DB0-DB3 (mogu ostati odspojeni)
- Prijenos svakog bajta odvija se u 2 koraka - prvo viših 4 bita, zatim niža 4 bita
- Potrebno je 6 ili 7 I/O pinova mikrokontrolera (DB4-DB7, RS, E, po potrebi R/W)

Zaslon LCD (zaslon s tekućim kristalima) je elektronički modul zaslona i pronalazi širok raspon primjena. 16x2 LCD zaslon je vrlo osnovni modul i vrlo se često koristi u raznim uređajima i krugovima. Ovi moduli se preferiraju na više od sedam segmenata i na druge segmentne LED diode.

Razlozi su sljedeći: LCD-ovi su ekonomični; lako programirati; nema ograničenja prikazivanja posebnih i čak prilagođenih znakova (za razliku od sedam segmenata), animacija i tako dalje.

16x2 LCD znači da može prikazati 16 znakova po retku i postoje 2 takve linije. U ovom LCD-u svaki se znak prikazuje u 5x7 pikselskoj matrici. Ovaj LCD ima dva registra: naredbu i podatke.

Naredba registra pohranjuje naredbe dane LCD-u. Naredba je instrukcija koja se daje LCD-u za obavljanje unaprijed zadanog zadatka kao što je inicijalizacija, čišćenje zaslona, postavljanje položaja kursora, upravljanje prikazom itd. U registru podataka pohranjuju se podaci koji će se prikazati na LCD-u. Podaci su ASCII

vrijednost znaka koji će se prikazati na LCD-u. Kliknite da biste saznali više o unutarnjoj strukturi LCD-a.

PulseSensor

PulseSensor se sastoji od glavne komponente tj. samog senzora iz kojeg izlaze tri žice za napon, uzemljenje i signal.

Korišteni pinovi

Puls Senzor spojile smo na pinove PD3, GND i AVCC, za LCD smo koristile pinove s porta A i D i za tipke KEY3 i KEY4 pinove PB2 i PB3 (Shema 1).

GND - uzemljenje

AVCC - izvor napajanja

PORTA: služi kao analogni ulaz za A/D pretvarač ili kao 8-bitni dvosmjerni I/O priključak sa unutarnjim pull-up otpornicima. PORT A smo koristile kao podaktivne pinove LCD-a.

PORTB: 8-bitni I/O priključak sa unutarnjim pull-up otpornicima. Zadnja dva pina koristile smo za konfiguraciju tipki (KEY3/KEY4).

PORTD: 8-bitni dvosmjerni I/O priključak sa unutarnjim pull-up otpornicima. Koristile smo posljednja četiri pina Porta D kao kontrolne pinove LCD zaslona, a posebno pin PD3 koji služi za primanje ekstremnih prekida.

3.5. Svojstva softverskog produkta

3.6.1 Implementacija ledicom

U prvom susretu sa senzorom pokušale smo rad senzora ispitati vizualno; direktnim spajanjem na ledice. Odgovarajuće žice senzora spojile smo na GND, VCC te njegov izlaz na PA01.

Intezitet ledice mijenjao se ovisno o izlaznom naponu senzora. Inicijalna ideja je bila slušati promjene na pinu i brojati svako stanje logičke jedinice na pinu. Međutim, ovaj pristup pokazao se krivim iz više razloga.

Napon na pinu dolazio je iz dva izvora; unutarnji napon ledice i senzora. Nadalje, na pogrešan rezultat utjecao je i preosjetljiv senzor koji kontinuirano šalje signal. Napon koji se može pojaviti na pinu je u rasponu 0-5V pri čemu se sve iznad 3.3V detektiralo kao logička jedinica tj. u našem slučaju kao jedan otkucaj srca

Rezultati ove inicijalne ideje varirale su od 70-100 otkucaja u 15 sekundi, ali su nam ukazali na ključne probleme pri mjerenju: učestali šumovi i nepreciznost senzora.

3.6.2 ADC-om

Kako bi dobile preciznije vrijednosti pokušale smo pretvoriti analogne vrijednosti signal u digitalni. Digitalni signal je ekvivalentan analognom, ali u numeričkom formatu razumljivom mikrokontroleru. AVR kontroleri imaju ugrađeni ADC pretvarač koji pretvara analognu vrijednost napona u 10-bitni integer u rasponu od 0-1023. Primjerice 2.5 V pretvoreno ADC-om je 512.

Za implementaciju ADC-om izlazni pin senzora spojile smo na PA01, pri čemu je PA01 konfiguriran kao ulazni pin ADC pretvarača.

Eksperimentalnom analizom utvrdile smo da su vrijednosti pri otkucaju srca bile niske, a pri mirovanju visoke. Kao referentnu točku za otkucaj srca uzele smo 30% amplitude signala odnosno ADC vrijednost 300. Sve iznad vrijednosti 512 definirale smo kao treshold, a vrijednosti između 275 i 440 uzimale smo kao referentne pri brojanju otkucaja.

Ovim pristupom senzor je točno detektirao trenutak otkucaja međutim zbog svoje visoke osjetljivost često je detektirao i *dicrotic notch* i sve popratne šumove. Također,

ovisno o načinu držanja prsta na senzoru vrijednosti ADC-a su se znatno mijenjale te je bilo nemoguće odabrati pouzdane referentne vrijednosti i optimalan delay za preciznu detekciju otkucaja bez usrednjavanja više očitavanja ili dodatne opreme.

3.6.3 Prekidima

Posljednja i najpreciznija implementacija je korištenjem vanjskih prekida. Spojile smo izlaza senzora direktno na prekid INT1 (pin PD3) i detektirale prijelaz iz faze 0 u 1 (*rising edge*) kao otkucaj srca.

Fokusiramo se na detekciju signala u početnoj, sistoličkoj fazi otkucaja srca. U dijastoličkoj fazi senzor ponekad detektira slabiji, nepouzdan signal *dicrotic notch-a*. Kako bi “preskočile” osluškivanje dijastoličke faze postavile smo debounce u trajanju 0.5s nakon svakog prekida.

Naizgled „veliki“ debounce od 0.5s ne predstavlja problem jer je prosječna perioda između dva otkucaja 0.86s. Debounce je između ostalog potreban i zbog nesavršenosti hardvera koji često više puta detektira isti prekid.

Experimentalnom analizom ovaj pristup se pokazao najboljim pa smo ga usvojile kao konačno rješenje. Prosječne dobivene vrijednosti odgovaraju stvarno izmjerenom pulsu i kreću se u normalnim granicama 60-100 otkucaja u minuti. Na ovo rješenje dodatno smo implementirale opisane funkcionalnosti od kojih valja istaknuti korištenje EEPROM memorije.

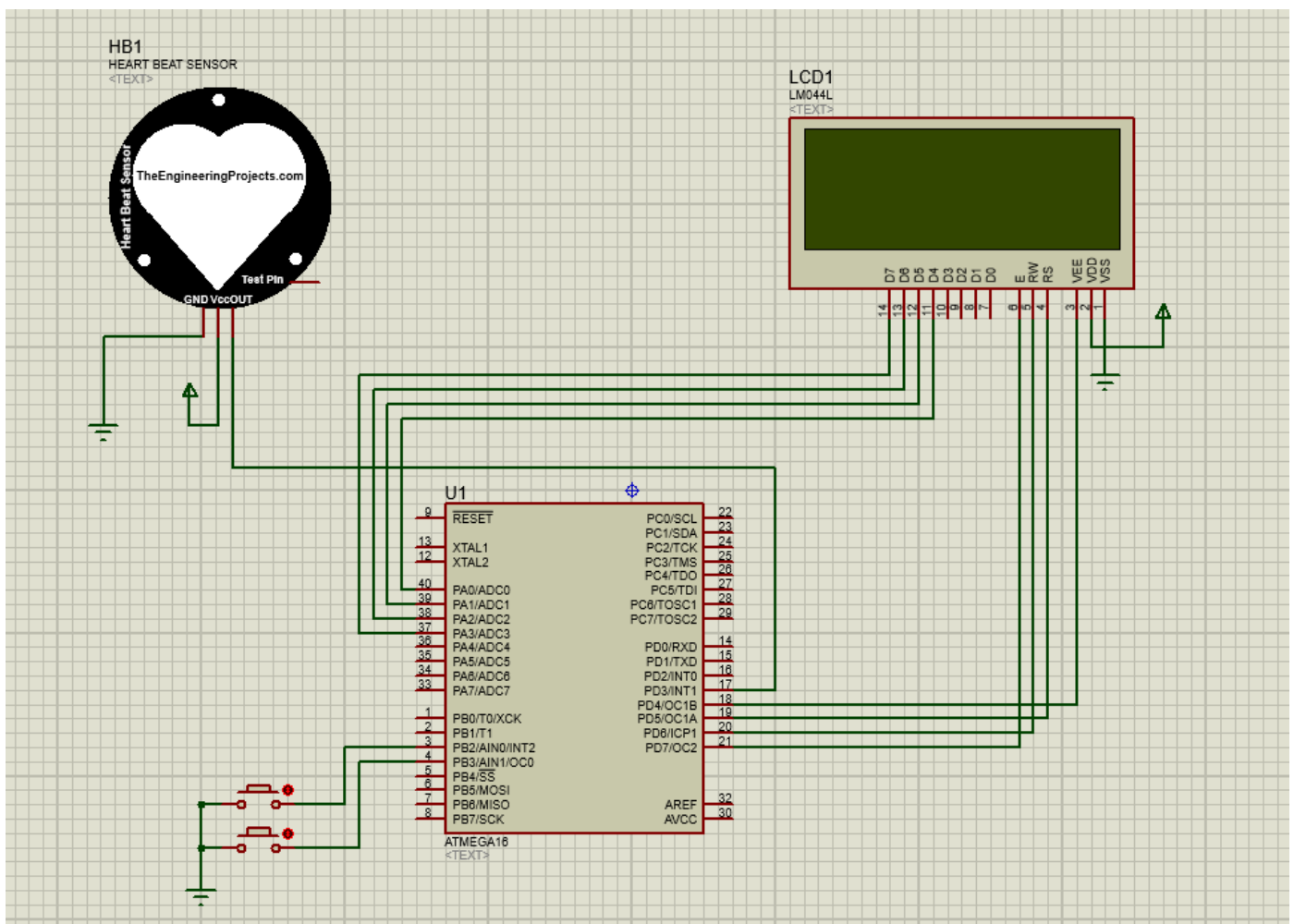
Za štopanje vremena mjerenja otkucaja srca (15s) koristimo 8-bitni Timer0 (PWM, Phase Correct, 8-bit), a za aktivno prikazivanje (svaku ms) vrijednosti otkucaja i odbrojanja na LCD-ekranu koristimo 8-bitni Timer1 (CTC). Valja napomenuti da debounce ne utječe na štopericu jer se koristio poseban oblik debounce funkcije vidljiv u kodu.

4. Zaključak

Tijekom izrade ovog projekta susrele smo se s nekoćinom problema koji su nas potaknuli na istraživanje više mogućih implementacijskih rješenja.

Jedan od glavnih problema je bio preosjetljivost senzora koja je dovodila do krivih očitavanja. No nakon implementacije višestrukim metodama opisanih u prijašnjem poglavlju, pronašle smo ono optimalno te uspješno riješile problem. Ovim projektom smo proširile i potvrdile usvojeno znanje iz kolegija.

5. Prilozi



Shema 1. Spajanje PulsSensora, LCD-a i Atmege16A