UNIVERZITET CRNE GORE
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

JEDAN DOPRINOS ENERGETSKOJ EFIKASNOSTI U DOMAĆINSTVU

-specijalistički rad-

Mentor:
Prof. dr Rada Dragović-Ivanović

Kandidat:
Alija Dervić, 21/2013

Podgorica, jul 2014.

Univerzitet Crne Gore

Elektrotehnički fakultet

Akademske specijalističke studije na smjeru Elektronika

Broj _____

Podgorica, _____2014. godine

Kandidat: Alija Dervić

Broj indeksa: 21/2013

Naziv rada:

JEDAN DOPRINOS ENERGETSKOJ EFIKASNOSTI U DOMAĆINSTVU

Datum izdavanja rada: _____

Datum predaje: _____

Mentor: _____

Prof. dr Rada Dragović Ivanović

Kandidat: _____

Alija Dervić

Izjava o samostalnom radu:

Izjavljujem da sam ovaj specijalistički rad uradio samostalno uz pomoć literature i mentora.

Kandidat:

_____

Alija Dervić

Rad odbranjen dana _____ 2014. godine, pred komisijom u sastavu:

1._____ (Predsjednik komisije)

2._____ (Mentor)

3._____ (Član)

sa ocjenom _____ (_____)

SADRŽAJ:

1. Uvod 3
1.1. Energetska efikasnost u domaćinstvu 3
2. Mjerenje temperature 5
2.1. Postupci mjerenja temperature u pojedinim opsezima 5
2.2. Bimetalni instrumenti 6
2.3. Otporni termometri 7
2.3.1. Platinski otporni termometar 7
2.3.2. Kola za mjerenje temperature pomoću otpornih termometara 8
2.3.2.1. Mjerenje uravnoteženim mostovima 8
2.3.2.2. Linearizacija i neuravnoteženi mostovi 9
2.3.3. Termistori 11
2.3.3.1. Proizvodnja i osobine 11
2.3.3.2. Složeni termistorski pretvarači 13
2.3.3.3. PTC termistori 14
2.3.4. Silicijumski otporni senzori 14
2.3.4.1. Fizički osnovi 15
2.3.4.2. Tehnologija izrade 15
2.4. Digitalni temperaturski senzor DS18B20 20
2.4.1. Primjena digitalnog senzora 20
2.5. Analogni temperaturski senzor LM35 21
2.5.1. Aplikacije u kojima se senzor koristi 21
3. Realizovani sistem 22
3.1. Oprema za mjerenje 22
3.1.1. Snimač signala sa 4 kanala 24
3.1.2. Dvokanalni operacioni pojačavač sa LM358 26
4. Analiza rezultata mjerenja 27
4.1. Dijagrami 27
4.2. Preporuka 29
4.3. Uticaj kvaliteta termo-izolacije 29
4.4. Zaključak 29
5. Mjerač vremena rada električnog uređaja 30
5.1. Opis 30
5.2. Algoritam 32
6. Zaključak rada 36
PRILOG 36
LITERATURA 41

SLIKE:

Slika 1.1. Potrošnja električne energije u prosječnom domaćinstvu 4
Slika 2.1. Bimetalni termometar 7
Slika 2.2. Vitstonov most za mjerenje otpornosti otpornog termometra sa četiri priključna voda 9
Slika 2.3. a) Tipična struktura elektronskog termometra sa Pt 100, b) i c) dvije varijante mosta sa senzorom spojenim pomoću trožičnog voda 10
Slika 2.4. Tipovi NTC termistora 11
Slika 2.5. a), b) i c) karakteristike NTC termistora na različitim temperaturama, d) karakteristika platinskog senzora 12
Slika 2.6. Složeni termistorski pretvarači sa širokim opsegom linearnosti, a) otporni pretvarač, b) pretvarač sa naponskim izlazom 13
Slika 2.7. Uporedne karakterstike PTC i NTC termistora 14
Slika 2.8. Temperaturska zavisnost specifične provodnosti dopiranog silicijuma 15
Slika 2.9. Konstrukcija temperaturskog silicijumskog senzora 16
Slika 2.10. Simetrični silicijumski senzor 17
Slika 2.11. Karakteristika silicijumskog senzora 18
Slika 2.12. Linearizacija karakterstike silicijumskog otpornog pretvarača, a) linearizovani polumost napajan konstantnim naponom, b) paralelna veza sa linearizovanom R(t) karakteristikom napajanja konstantnom strujom 19
Slika 2.13. a) Kolo za linearizaciju rednom vezom senzora R(t) i stalnog otpornika R_1 , b) kolo za linearizaciju paralelnom vezom senzora R(t) i stalnog otpornika R_1 19
Slika 2.14. Blok šema digitalnog temperaturskog senzora DS18B20 20
Slika 2.15. Blok šema analognog temperaturskog senzora LM35 21
Slika 3.1. Blok šema opreme koja je korištena za prikupljanje podataka 23
Slika 3.2. Velleman PCS10 četvorokanalni snimač signala (akvizicioni modul) 24
Slika 3.3. Šema Velleman PCS10 modula 25
Slika 3.4. Šema pojačavačkog stepena 26
Slika 3.5. Realizovani pojačavački stepen 26
Slika 4.1. Dijagram rezultata za prvi dan 27
Slika 4.2. Dijagram rezultata za prvi osmo-časovni period u toku jednog dana 28
Slika 4.3. Dijagram rezultata aktivnosti bojlera tokom 168 sati (7 dana) 28
Slika 5.1. Uređaj koji se koristi za mjerenje vremena rada potrošača 30
Slika 5.2. Uređaj koji se koristi za mjerenje vremena rada potrošača, prikaz pojedinačnih komponenti i štampane pločice 31

TABELE:

Tabela 2.1. Opsezi u kojima se primjenjuju termometri prema ITS-90 5
Tabela 2.2. Koeficijenti paraboličnih R(t) karakterstika silicijumskog i platinskog senzora 18

1. UVOD

Obzirom na sve veću potražnju električne energije i rasta cijene iste, suočavamo se sa potrebom da tu energiju štedimo i da je koristimo na efikasniji način. Predstavnik jednog uređaja iz domaćinstva, ujedno i velikog potrošača, jeste bojler.

Cilj ovog rada je, da se analizira rad prosječnog bojlera koji se koristi u domaćinstvu, kao i razvoj mjernog uređaja, preko kojeg bi posredno zaključivali o kvalitetu izolacije bojlera. Bojler na kome je vršeno mjerenje, instalisan je tako da obezbjeđuje toplu vodu za kupatilo i kuhinju.

U prvoj fazi se vršilo prikupljanje podataka o radu bojlera (50 litara, 1800W) kroz 168 sati (7 dana). Podaci su se prikupljali posredstvom odgovarajućih senzora koji su postavljeni na sami bojler, a isti su provodnicima priključeni na akvizicioni modul, koji je snimao tri različita signala. Prvi signal je temperatura bojlera, drugi temperatura ambijenta i treći stanje grijača (upaljen/ugašen). Informacija o temperaturi se dobijala preko analognih temperaturskih senzora, a o stanju grijača, preko bojlerice.

U drugoj fazi, prikupljeni podaci su obrađeni u Matlab-u i dalje analizirani, i na bazi dobijenih dijagrama došlo se do bitnog zaključka, tj. da je odabir bojlera sa kvalitetnom izolacijom korak više ka energetski efikasnijem domaćinstvu. U tu svrhu je i razvijen uređaj, koji posredno mjeri kvalitet izolacije. Ovde se zapravo mjeri vrijeme rada bojlera u nekom određenom periodu. Time se dobija procenat rada tog bojlera, i moguće je suditi o kvalitetu izolacije. Uređaj je konstruisan tako da je lak za rukovanje. Napajanje se vrši iz baterije, a informacija o aktivnosti bojlera se dobija preko fototranzistora. Obrada podataka (upaljen/ugašen) vrši se pomoću mikrokontrolera, i informacija o vremenu rada se šalje na LCD displeju.

1.1. Energetska efikasnost u domaćinstvu

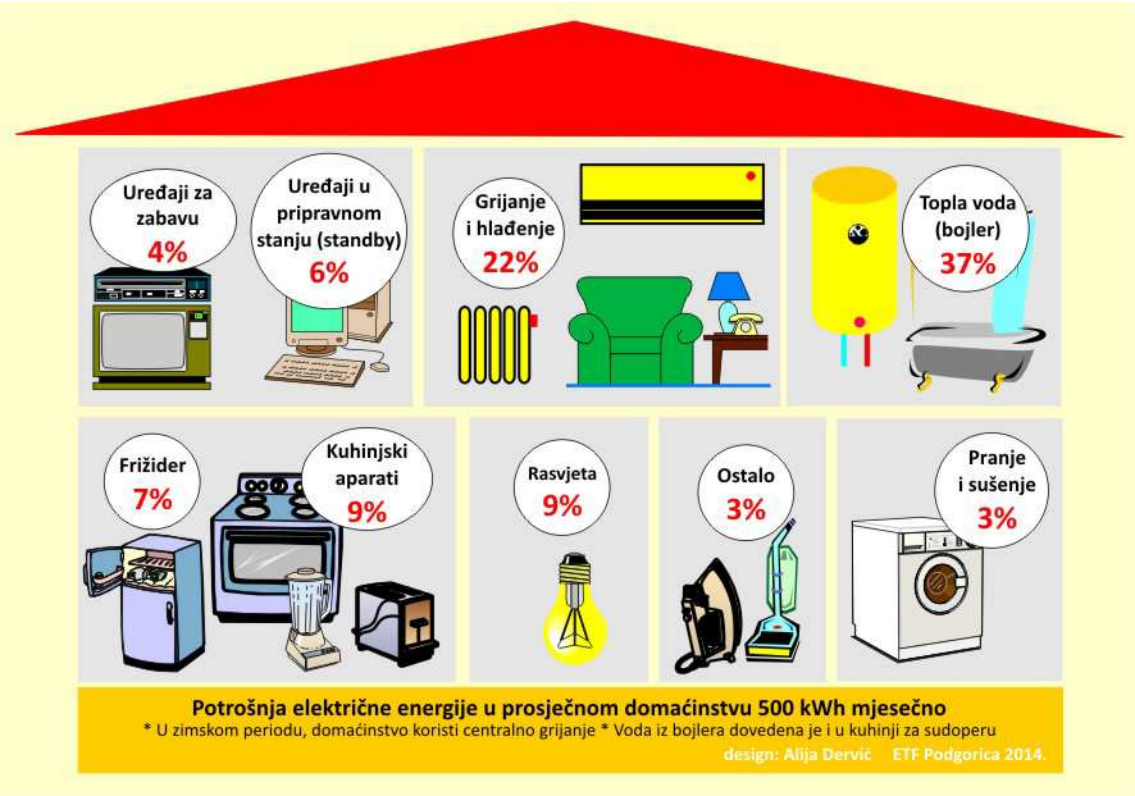
Energetska efikasnost podrazumjeva niz mjera koje preduzimamo u cilju smanjenja potrošnje energije, a koje pri tome ne narušavaju uslove rada i života.

Pojam energetska efiksnost ima dva moguća značenja, gdje se jedno odnosi na tehničke uređaje, dok se drugo odnosi na određene mjere i ponašanja. Za uređaje kažemo da su energetski efikasni ako imaju visok stepen korisnog dejstva tj. male gubitke prilikom transformacije jednog oblika energije u drugi. Krajnji cilj je svesti potrošnju energije na minimum, a pri tome ne narušiti nivo komfora, već zadržati ili čak povećati nivo udobnosti. Kada pomislimo na štednju, uglavnom se prave asocijacije na odricanje, dok efikasna upotreba energije direktno vodi ka povećanju kvaliteta života, konkurentnosti privrede i energetskoj bezbjednosti. Rezultat povećane efikasnosti su značajne uštede u finansijskom smislu, ali ne treba zanemariti i direktan uticaj na očuvanje životne sredine.

Najčešće mere koje se preduzimaju u cilju smanjenja gubitaka energije i povećanja eneregetske efikasnosti su:

- Zamjena neobnovljivih energenata obnovljivim,
- Zamjene energetski neefikasnih potrošača efikasnijim,
- Toplotna izolacija prostorija,
- Zamjena dotrajale ili neefikasne stolarije prostorija koje se griju ili hlade,
- Ugradnja mjernih i regulacionih uređaja,
- Zamjena ili ugradnja efikasnih sistema za grijanje, klimatizaciju ili ventilaciju.

Prema zakonu Evropske unije, svi novi električni uređaji i aparati za domaćinstvo, koji se na tržištu Evropske unije prodaju, iznajmljuju ili kupuju, moraju imati oznaku energetskog razreda, koji pokazuje prosječnu potrošnju električne energije pri korišćenju uređaja i aparata. Proizvođač uređaja za domaćinstvo svoju proizvodnju okreću ka uređajima veće klase energetske efikasnosti. Tako se na tržištu mogu naći uređaji koji su slabo energetski efikasni, klasa G, do jako efikasnih klasa A++.



Slika 1.1 – Potrošnja električne energije u prosječnom domaćinstvu

Energetski efikasni uređaji danas su sve sve više u ponudi po trgovinama, a samo nekoliko godina unazad bili su prava nepoznanica. Međutim, vremena se mijenjaju, a troškovi energenata rastu, stoga ne čudi da je sve više onih koji daju prednost energetski efikasnim uređajima, posebno onima koji troše najviše energije u domaćinstvu.

Kao i većina aparata i bojleri su poboljšani tokom poslednjih godina. Današnji modeli su energetski efikasniji. Dobro izolovani bojleri mogu da uštede i do 10% energije. Potrošnja energije za dobijanje tople vode u domaćinstvu zavisi od tipa aparata koji se koristi za zagrijevanje vode i izolacije vodenih cijevi.

Zagrijevanjem jednog litra vode sa 10ºC na 80ºC potroši se energije otprilike koliko i jedna sijalica od 100W za jedan sat. To nije malo jer litar tople vode se brzo potroši i treba paziti da se topla voda ne razbacuje. Sedmično se po osobi upotrebljava otprilike 300 do 800 litara tople vode.

Procjenjuje se da jedno kupanje u kadi troši 80 do 120 litara tople vode, dok tuširanje ne troši više od 50 litara.

Električni bojleri nove generacije su dobro izolovani pa gube veoma malo toplote, a više štede u odnosu na stare modele. Korištenjem jeftinije tarife električne energiije ovi bojleri proizvode jeftino toplu vodu. Kod kupovine treba paziti da se kupi bojler zapremine koja odgovara potrebama jedne porodice. Preveliki bojler nepotrebno grije više vode i troši više energije. Razdaljina od bojlera i slavine za toplu vodu treba da bude što je moguće manja, jer se voda uvjek najviše hladi u cijevima. Što je slavina udaljenija, to duže traje da topla voda iz nje poteče, a u cijevima ostaje više vode kada se zatvori slavina. U svakom slučaju treba se pobrinuti da se cijevi sa toplom vodom dobro izoluju ili da se koriste cijevi izrađene od materijala koji imaju manje toplotne gubitke (plastični materijali). Takođe, treba regulisati temperaturu u bojleru na 50-55°C, a pri višednevnom odsustvu od kuće isključiti ga. Uštedama doprinosi i povremeno skidanje kamenca i to, ako je temperatura 55-60°C, svake 4-5 godine, a ako je 75-80°C, svake godine.

2. MJERENJE TEMPERATURE

U prvoj polovini dvadesetog vijeka javila se potreba da se pitanje mjerenja temperature riješi jedinstveno na međunarodnom nivou, kao što je to već bilo učinjeno kod mjerenja mase i dužine. Korišćenje apsolutnih-termodinamičkih termometara, kao što je gasni termometar, zbog složenosti i glomaznosti, nemoguće je u praktičnim uslovima. Zbog toga je 1927. godine Generalna konferencija za mjere i dragocjene metale usvojila Internacionalnu temperatursku skalu (tzv. ITS-27). Za jedinicu temperature u ovoj skali bio je usvojen stepen Celzijusa, dok su kao zvanični termometri korišćeni platinski otporni termometar i termopar sa plemenitim metalima. Pri donošenju skale nastojalo se da rezulati mjerenja ovim netermodinamičkim termometrima budu što bolja aproksimacija termodinamičke temperaturske skale.

Uporedo sa razvojem tehnologije unapređivana su termodinamička mjerenja temperature. Zato se periodično javljala potreba za izmjenama internacionalne skale, kako bi se praktična mjerenja što više približila termodinamičkoj skali. Promjene internacionalne skale su donošene 1948, 1960, 1968, 1975 i konačno 1990 godine, kada je usvojena danas važeća Internacionala temperaturska skala od 1990. godine, (tzv. ITS-90). Jedinica temperature u ITS-90 je kelvin (K) definisan kao 273.16-ti dio temperature trojne tačke vode. Primenjuje se takođe i stepen Celzijusa (°C) koji je po definiciji jednak kelvinu.

U termometriji je uobičajeno da se temperature ispod 0°C označavaju u K, a iznad u °C. U poređenju sa prethodnom Internacionalnom praktičnom temperaturskom skalom od 1968. (tzv. IPTS-68), sadašnja skala je proširila opseg ka nižim temperaturama. Kao donju granicu ITS-90 ima 0,65 K, dok je u IPTS-68 to bila 13,8 K. U području visokih temperatura sve međunarodne skale koristile su radijacione termometre. Gornja granica do koje važe međunarodne skale određene su uslovom da supstancija koja zrači bude u čvrstom ili tečnom stanju kada važe zakoni zračenja crnog tijela. Čvrsto tijelo koje ima najvišu temperaturu je grafit koji sublimiše pri temperaturi od oko 4000°C.

Temperaturski opseg	Tip termometra
0,65 K - 5 K	Manometarski termometri na principu pritiska pare sa 3He i 4He radnom isparljivom tečnošću
3,0 K - 24,5561 K	Gasni termometar na principu konstantne zapremine sa 3He i 4He
13,8033 K- 961,78°C	Platinski otporni termometar
961,78°C i iznad	Radijacioni termometri na bazi Plankovog zakona zračenja

Tabela 2.1 – Opsezi u kojima se primjenjuju termometri prema ITS-90

2.1. Postupci mjerenja temperature u pojedinim opsezima

■ TEMPERATURSKI OPSEG OD 0.66 K DO 24.5561 K

U ovom opsegu zvanični termometri ITS-90 su termometri na principu pritiska pare i gasni termometar. Pri tome se u opsegu 0.65 K do 3.0 K, kao isparljiva tečnost koristi izotop helijuma 3He, a u opsegu 0.65 K do 5.0 K, izotop 4He. U intervalu, počev od kritičnih temperatura za 3He i 4He (3.0 K i 5.0 K respektivno) do 24.5561 K, kao zvanični termometri ITS-90 koriste se gasni termometri sa ovim izotopima helijuma. Za sve pomenute termometre u tekstu ITS-90 propisane su formule i potrebni koeficijenti za izračunavanje temperature na bazi izmjerenog pritiska.

■ TEMPERATURSKI OPSEG OD 13.8033 K DO 961.78°C

U ovom temperaturskom opsegu zvanični instrument ITS-90 je platinski otporni termometar. Kod prethodne internacionalne skale platinski termometar je korišćen samo do 630.75°C, dok je iznad ove temperature pa do 1064°C zvanični termometar bio termopar platina rodijum 10% - platina. U ITS-90 termopar nije više zvanični termometar skale. Naime, povišenjem gornje granične temperature platinskog termometra i sniženjem donje granice radijacionog termometra sa 1064°C na

961,78°C opsezi platinskog i radijacionog termometra su spojeni, a termopar je kao manje tačni instrument eliminisan iz ITS-90. (Ovo ne znači da je time umanjen značaj termopara u mjerenjima temperature u praksi). Platinski termometar za mjerenje od 13,8033K do 200°C ima oblik kapsule dužine oko 50mm sa otpornošću od približno 25Ω na tački leda. Termometar koji se koristi u rasponu od 83 K do 500°C ima zaštitni omotač od kvarcnog stakla ili čelika, dužinu 600mm i nominalnu otpornost od 25Ω. Termometri za visoke temperature (500°C do 962°C) imaju zaštitnu cijev kvarcnog stakla i relativno malu nominalnu otpornost (oko 0,5Ω), a izrađen je od deblje platinske žice.

■ TEMPERATURSKI OPSEG IZNAD 961,78°C

Iznad tačke očvršćavanja srebra kao propisani termometar ITS-90 koristi se spektralni radijacioni termometar koji zasniva svoj rad na Plankovom zakonu zračenja crnog tijela. Pomoću termometra se određuje količnik spektralnih gustina zračenja na mjerenoj temperaturi T, i jednoj od fiksnih tačaka ITS-90.

$$\frac{L_\lambda\left(T_{90}\right)}{L_\lambda\left(T_{90}\left(x\right)\right)}=\frac{e^{\frac{C_2}{\lambda T_{90}(x)}}-1}{e^{\frac{C_2}{\lambda T_{90}}}-1}$$

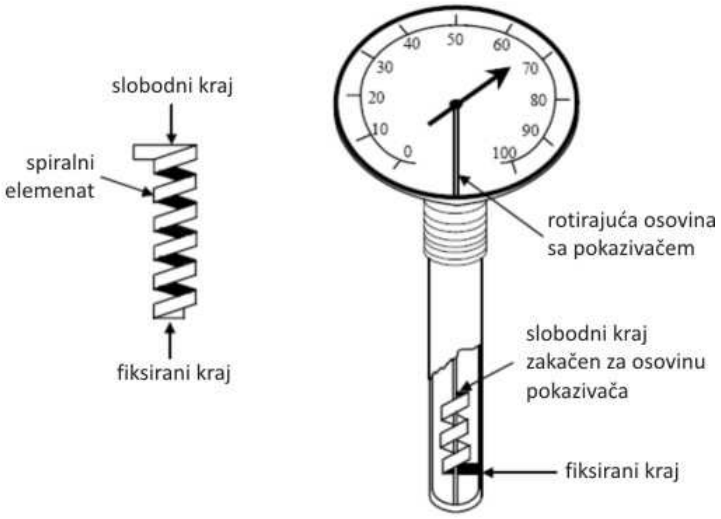
U prethodnoj međunarnodnoj skali IPTS-68 radijaciona termometrija je primjenjivana iznad temperature očvršćivanja zlata koja je korišćenja kao jedina definicijska fiksna tačka. Tehnološki razvoj zadnjih decenija omogućio je sniženje donje granice primjene radijacionih termometara. Treba istaći da radijacioni termometri na bazi Plankovog zakona zračanja predstavljaju termodinamičke termometre. Dakle, iznad 961°C ITS-90 i termodinamička temperaturska skala su identične.

2.2. Bimetalni instrumenti

Bimetali predstavljaju vrlo rasprostranjene, jeftine i pouzdane termometre, koji se takođe koriste za kontaktnu regulaciju temperature. Bimetalni termometri se sastoje od dva metala čiji se termnčki koeficijienti izduženja znatno razlikuju. Metali imaju najčešće oblik traka međusobno čvrsto spojenih i oblikovanih u obliku spirale ili helikoidalne zavojnice (Slika 2.1). Materijal sa većim koeficijentom širenja nalazi se sa spoljašnje strane krivine. Pri porastu temperature usled različitog širenja dolazi do smanjenja poluprečiika krivine i povećanja ugla namotavanja. To izaziva rotaciju kazaljke neposredno pričvršćene na slobodnom kraju spirale, odnosno helikoidalne zavojnice. Broj namotaja bimetala proporcionalan je sa osetljivošću termometra. Skala bimetalnih termometara je linearna, a kalibracija se vrši empirijski.

Kod praktičio svih bimetalnih termometara kao metal sa malim termičkmm koeficijentom širenja koristi se legura gvožđa i nikla (invar, $\alpha = 1.7 \cdot 10^{-6}\,{}^{\circ}C^{-1}$). Kao materijal većeg koeficijenta izduženja primjenjuje se bronza (do 150°C) ili legura nikla i horma (do oko 400°C). Osjetljivost bimetala raste ukoliko je debljina trake manja. Ako se zahtjevaju veće sile na slobodnom kraju, kao na primjer kod kontaktne regulacije temperature, koriste se nešto deblji materijali. Osjetljivost kazaljke se u tom slučaju povećava pogodnim mehaničkim prenosom. Bimetal oblika spirale koristi se za mjerenje temperature u stambenim prostorijama, vozilima itd, pošto ga odlikuju male dimenzije. Helikoidalni bimetalni termometri su pogodni za mjerenje viših temperatura, pri čemu se na zagrijanom mjestu nalazi bimetalna zavojnica čije se pomjeranje preko spojnice dužine 20 cm do 40 cm prenosi na kazaljku. Bimetalni senzor i spojnica nalaze su zaptivenoj metalnoj cijevi.

Praktičnu primjenu za mjerenje i regulaciju temperature u aparatima za domaćinstvo i industriji nalazi i bimetal oblika šipke. On se sastoji od cijevi koja predstavlja element većeg koeficijenta širenja i koaksijalne šipke od invara, porcelana ili kvarcnog stakla čije je termičko širenje manje. Dužina cijevi iznosi 20 cm do 30 cm. Razlika širenja šipke i cijevi je ispod 1 mm, pa se radi dobijanja dovoljnog otklona kazaljke primjenjuje mehanički prenos za povećanje osjetljivosti.



Slika 2.1 – Bimetalni termometar

Ovaj mehanizam utiče na porast mjerne nesigurnosti koja se kreće u granicama 1% do 2%. Kod termometara oblika šipke treba imati u vidu da oni pokazuju srednju temperaturu po cijeloj svojoj dužini. Zato su oni nepodesni u slučajevima kada su gradijenti temperature duž šipke veliki.

2.3. Otporni termometri

Najznačajniji otporni termometar predstavlja platinski termometar. On se koristi u metrologiji kao termometar najveće tačnosti i rezolucije, i to prije svega kao jedan od instrumenata u ITS-90. Platinski termometar ima namjenu i u industrijskim mjerenjima zbog širokog opsega radnih temperatura i odlične stabilnosti. Ostali metalni otporni termometri imaju ređu primjenu od platinskog. Drugu značajnu grupu otpornih termometara sačinjavaju poluprvodnički pretvarači, prije svega termistori sa negativnim temperaturskim(NTC). Osim njih koriste se u manjoj mjeri i druge komponente, kao što su silicijumski otporni senzori i termistori sa pozitivnim koeficijentom(PTC). Poluprovodnički termometri se karakterišu velikom osjetljivošću, užim temperaturskim opsegom i većom nelinearnošću karakterstike. Otporni termometri daju relativno veliki izlazni signal, što znači da ne zahtjevaju primjenu složenijih kola za njegovo mjerenje ili prenos na daljinu. Zbog toga se primjena otpornih termometara sve više širi u oblastima u kojima su tradicioialno primjenjivane druge mjerne metode.

2.3.1. Platinski otporni termometar

Prve primjene platine za mjerenje temperature datiraju od 1871. godine, kada je V. Simens konstruisao platinski otporni termometar za mjerenje visokih temperatura. Platinu karakterišu više osobina koje je čine najpogodnijim otpornim termometrijskim materijalom. To su prije svega velika postojanost karakterstika, pošto platina slabo hemijski reaguje sa ostalim materijalima. Platina ima visoku tačku topljenja (1769°C) i relativno veliku specifnčnu otpornost.

Kvalitet platinskog termometra je utoliko bolji, ukoliko je hemijska čistoća materijala veća. Temperaturski koeficijent otpornosti raste sa povećanjem čistoće. Odnos otpornosti na 100°C i 0°C koji treba da imaju kvalitetni termometri iznosi $R(100^{\circ}C)/R(0^{\circ}C)=1.3925$, što je vrlo blizu teorijski najvećoj vrijednosti od 1.3928. Krajem devetnaestog vijeka H. Kalendar je ustanovio empirijsku relaciju između otpornosti i platinskog termometra i temperature datu izrazom:

$$R(t)=R(0^{\circ}C)(1+At+Bt^2)$$

Temperatura dobijena pomoću ove jednostavne parabolične funkcije predstavlja dobru aproksimaciju termodinamičke temperature, pa je izraz prethodni izraz korišćen u ranijim internacionalnim temperaturskim skalama. Ispod 0°C do tačke ključanja kiseonika u ranijim temperaturskim skalama temperatura je određivana jednačinom trećeg stepena:

$$\frac{R(t)}{R(0^{\circ}C)} = 1 + At + Bt^2 + C(t-100)t^2$$

gdje su A i B jednaki odgovarajućim konstantama, data relacija važi iznad 0°C. Konstanta C određuje se kalibracijom termometra na tački ključanja kiseonika.

Maksimalna temperatura do koje se koristi platinski otporni termometar je tačka očvršćavanja srebra (962°C). Pri velikoj brzini hlađenja sa visokih temperatura javlja se promjena otpornosti R(0°C) koja može biti ekvivalentna grešci i do 0.5°C. Ponovnim izlaganjem otpornika višim temperaturama i laganim hlađenjem tzv. žarenje obično se ponovo dobija ranija nominalna otpornost R(0°C). Najčešće se koristi precizni platinski termometar. Žica je namotana na tijelo od izolacionog materijala, tako da u materijalu ne dolazi do mehaničkog naprezanja pri promjenama temperture. Tijelo se izrađuje od aluminijum dioksida, kvarcnog stakla ili vještačkog safira i mora imati veliku izolacionu otpornost, posebno pri visokim temperaturama. Da bi šentirajući uticaj izolacione otpornosti tijela bio što manji nominalna otpornost visoko-temperaturskih termometara je relativno mala i iznosi 10Ω, 1Ω ili 0.25Ω.

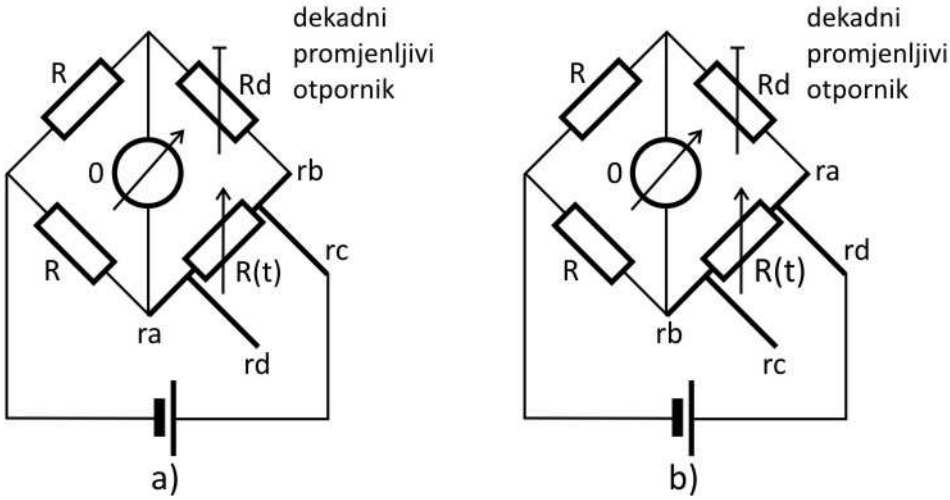
Termometri za vrlo tačna mjerenja su obavezno snadbjeveni sa dva para priključnih provodnika jer se pomoću njih, pogodnim vezama može praktično izbjeći uticaj otpornosti veza na mjerenje otpornosti samog senzora. Stabilnost platinskih pretvarača je veoma dobra. Pri vrlo dugom radu do 631°C nastaju promjene otpornosti koje su na trojnoj tački vode ekvivalentne grešci od oko 1 mK. Stabilnost platinskih termometara pri korišćenju do 1000°C je oko 10 puta bolja u poređenju sa termoparom platina-rodijum-platina.

2.3.2. Kola za mjerenje temperature pomoću otpornih termometara

Otporni termometri predstavljaju relativna mjerila temperature za razliku od termodinamičkih (apsolutnih) termometara. To znači da je prije primjene neophodna kalibracija otpornnh termostata na određenom broju definicijskih ili sekundarnih fiksnih tačaka. Mjerenja temperature visoke tačnosti zahtjevaju primjenu osjetljivih metoda za mjerenje otpornosti. Preduslov tačnog mjerenja manjih otpornosti je da se otkloni uticaj otpornosti priključnih veza na rezultat mjerenja. Ovo se ostvaruje isključivo ako otpornik, odnosno otporni termometar posjeduje dva para priključnih veza. Većina termometara koji se koriste u industriji i drugim tehničkim disciplinama zahtevaju tačnost mjerenja temperature reda veličine 0,1°C. Kod ovakvih termometara uticaj otpornosti veza nije toliko od značaja kao kod etalonskih metoda. Zato se kod uobičajenih otpornih termometara senzor spaja pomoću dvožičnog kabla.

2.3.2.1. Mjerenje uravnoteženim mostovima

Na sl. 2.2. prikazan je Vitstonov most prilagođen za priključenje otpornog termometra sa četiri priključna provodnika, čije su otpornosti približno jednake i iznose r_a, r_b, r_c, r_d . Otpornost temperaturskog pretvarača određuje se na osnovu dva mjerenja, pri kojima su tri priključna provodnika uključena u most, dok je četvrti slobodan. U prvom mjerenju provodnici su priključeni kao na sl. 2.2a. Podešavanjem otpornosti dekadnog promjenljivog otpornika R_d, ostvaruje se nulto skretanje instrumenta pri čemu važi uslov ravnoteže $R(t) + r_a = R_d + r_b$. Priključni provodnici termometra se zatim prevezuju tako da se napajanje vrši preko provodnika otpornosti r_d, a provodnici r_b i r_a međusobno zamjenjuju mjesta sl. 2.2b. Zbog neminovnih razlika otpornosti provodnika, most neće biti potpuno uravnotežen, pa se nula dobija pri nekoj drugoj otpornosti $R_d^{'}$



Slika 2.2 – Vitstonov most za mjerenje otpornosti otpornog termometra sa četiri priključna voda

U tom slučaju ispunjen je uslov, pa se iz ove relacije dobija otpornost $R(t) + r_b = R_d^{'} + r_a$ Vidi se da otpornosti veza, koje nisu potpuno jednake i koje se ne mogu tačno poznavati ne utiču na mjerenje otpornosti *R(t)*. U ova dva mjerenja, otpornosti r_c i r_d su vezana na red sa izvorom za napajanje pa s toga ne remete ravnotežu mosta. Za vrhunski tačna mjerenja otpornosti platinskih termometara koriste se modifikovane varijante Tomsonovog mosta, koji inače služi za mjerenje malih otpornosti. Od jednosmjernih mostova ove vrste, koristi se Smitov most, a od naizmjeničnih mostova modifikovani Tomsonov most sa induktivnim razdjelnicima napona. Šeme i opis rada ovih mostova mogu se naći u odgovarajućoj specijalizovanoj literaturi. Treba napomenuti da kvalitetni mostovi ove vrste predstavljaju glomazne instrumente koji po cjeni znatno prevazilaze i najbolje tipove elektronskih digitalnih voltmetara.

2.3.2.2. Linearizacija i neuravnoteženi mostovi

Mjerenje temperature u tehničkoj praksi pomoću otpornih pretvarača vrši se najčešće pomoću termometra na bazi neuravnoteženih mostova, pri čemu se skala instrumenta u dijagonali mosta kalibriše u jedinicama temperature. Ako se pretpostavi da je otpornost pretvarača kvadratna funkcija temperature:

$$R(t) = R(0^{\circ}C)(1 + At + Bt^2)$$

pokazuje se da izlazni signal kod svih uobičajenih pasivnih mostova sa zanemarljivim samozagrijevanjem ima oblik:

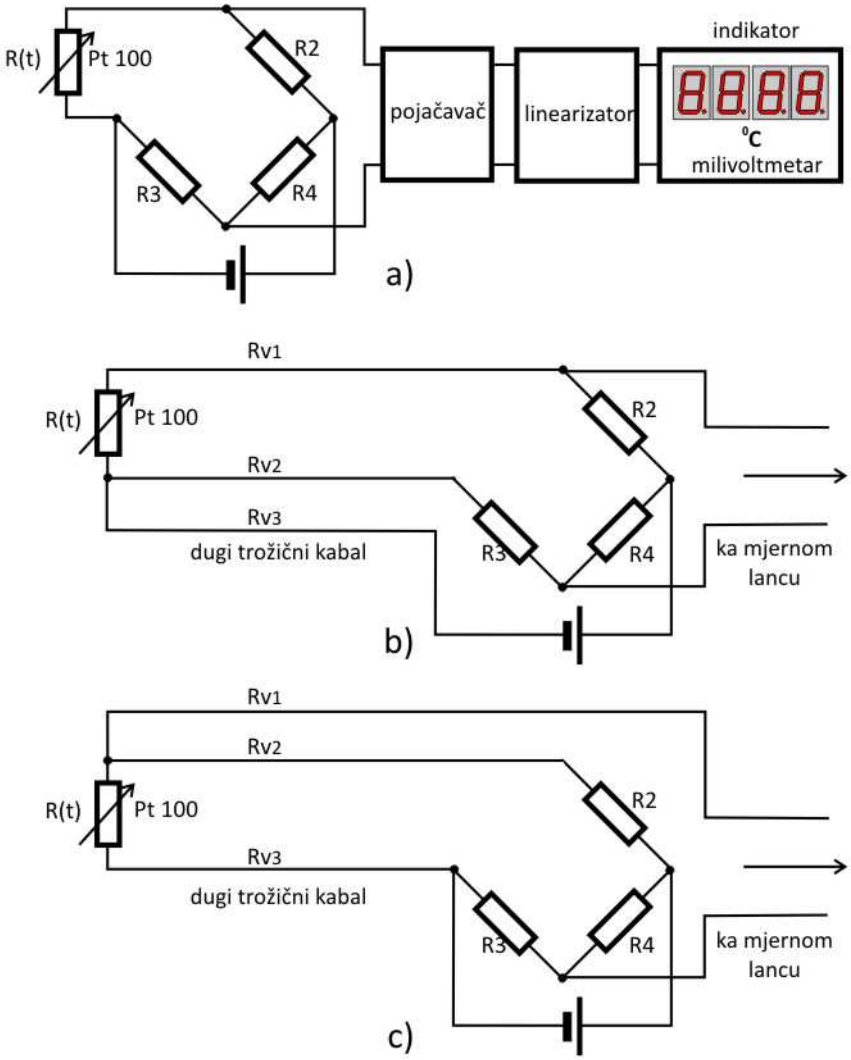
$$u(t) = \frac{C_1(1 + At + Bt^2) + C_2}{C_3(1 + At + Bt^2) + C_4}$$

Iz ovog izraza se izvodi uslov za linearizaciju isključivo za *pretvarače od nikla*.

$$B = A^2 \frac{C_3}{C_3 + C_4}$$

Struktura elektronskog termometra sa platniskim otpornim termometrom prikazana je blok šemom na sl. 2.3a. Pretvarač najčešće ima otpornost $R(0°C) = 100\Omega$ $(tzv.\ Pt\ 100)$, dok se u novije vrijeme sve više upotrebljavaju senzori sa $R(0°C) = 1000\Omega$ $(tzv.\ Pt\ 1000)$.

Senzor je priključen u neuravnoteženi Vitstonov most pomoću dvožnčnog kabla. Izlazni signal mosta se pojačava i linearizuje posebnim nelinearnim pojačavačkim stepenom. Na izlazu linearizatora dobija se napon proporcionalan temperaturi. Promjeni temperature senzora od 1°C odgovara promjena izlaznog napona od 1 mV ili 10mV. Temperatura se očitava na skali digitalnog milivoltmetra koji je direktno kalibrisan u jedinici temperature (°C). Ovakvi termometri imaju relativno skromne performanse: tačnost od 0.2°C do 0.5°C i rezoluciju od 0.1°C. Koriste se u industriji i drugim tehničkim disciplinama, posebno kao mali prenosni instrumenti sa baterijskim napajanjem.



Slika 2.3 – a) Tipična struktura elektronskog termometra sa Pt 100, b) i c) dvije varijante mosta sa senzorom spojenim pomoću trožičnog voda

Kod termometra više tačnosti, neophodno je otkloniti uticaj otpornosti veza senzora na izlazni napon mosta. To je posebno važno ako je otporni senzor na većem rastojanju, na primjer nekoliko desetina metara. Na sl. 2.3b prikazan je most sa senzorom spojenim pomoću trožnčnog kabla. Sva tri provodnika imaju jednak poprečni presjek. S obzirom da su u istom kablu i da od senzora do mosta imaju isti temperaturski gradijent, provodnici imaju jednake otpornosti $R_{v1} = R_{v2} = R_{v3}$. Napajanje mosta je u tački neposredno do senzora. Pri tome provodnik R_{v1} pripada grani mosta u kojoj je senzor, provodnik R_{v2} je u grani sa otpornikom R_3, dok je provodnik R_{v3} spojen na red sa izvorom. Usled uticaja temperature okoline u susjednim granama mosta se javljaju jednake promjene

otpornosti R_{v1} i R_{v2}. One se međusobno kompenzuju, tj. ne utiču na ravnotežu ni na izlazni napon mosta. Promjene otpornosti ΔR_{v2} u kolu za napajanje ne remete znatnije rad mosta.

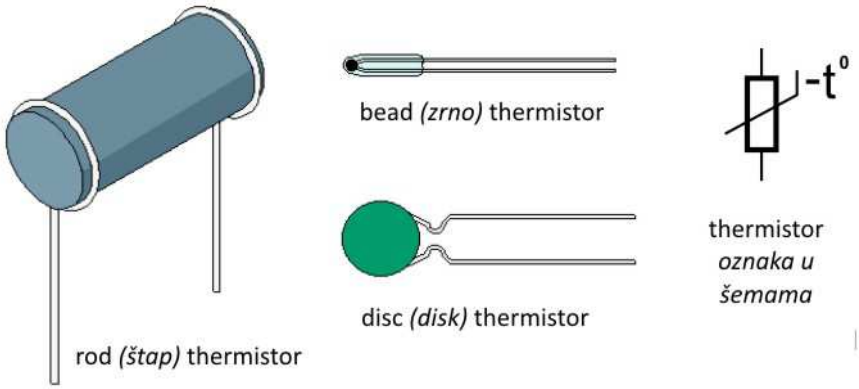
Druga mogućnost trožične veze senzora prikazana je na sl. 2.3c. U ovom slučaju, jedan od izlaznih krajeva mosta spojen je neposredno uz senzor. Otpornost provodnika R_{v1} spojena je redno na visokoomski ulaz pojačavača, pa time nema uticaj na izlazni napon. Druga dva provodiika, R_{v2} i R_{v3} pripadaju diferencijalnim granama, $R(t)$ odnosno R_3 respektivno. Time se uticaj promjena otpornosti ovih provodnika poništava. Mjerenje temperature pomoću trožične veze omogućava bar za jedan red veličine bolju tačnost i rezoluciju nego kada je senzor spojen jednim parom provodnika. Trožično spajanje se primjenjuje i kod drugih otpornih senzora, kao što su na primjer mjerne trake.

2.3.3. Termistori

Riječ termistor dobijena je skraćivanjem engleskog izraza („Thermally sensitive resistor"), što znači otpornik osjetljiv na temperaturu. Smanjivanje otpornosti sulfida srebra pri porastu temperature otkrio je Faradej 1833, godine, međutim prvi komercijalni termistori sa negativnim temperaturskim koeficijentom otpornosti (NTC) za mjerenje temperature, pojavili su se početkom tridesetih godina prošlog vijeka. Do šire primjene termistora došlo je poslije 1950. godine, zahvaljujući razvoju poluprovodničke tehnologije i potrebama vazduhoplovne tehnike i kosmonautike. Glavna prednost NTC termistora u odnosu na druge temperaturske pretvarače je velika osjetljivost koja omogućava konstrukciju jednostavnih i pouzdanih termometara. Vremenska nestabilnost zavisnosti otpornosti od temperature, kao velike tolerancije parametara pri proizvodnji, bile su u prošlosti glavni nedostaci termistora koji su ograničavali njihovu primjenu. Danas su ovi nedostaci termistora u velikoj mjeri otklonjeni. U električnim mjerenjima temperature u oblastima kao što su na primjer, medicina, biologija, geologija, okeanologija i sl., termistori predstavljaju najčešće korišćene temperaturske pretvarače. Osim toga, uloga termistora u industriji sve više raste.

2.3.3.1. Proizvodnja i osobine

Savremeni NTC termistori proizvode se od oksida metala gvožća, hroma, mangana, kobalta, nikla itd. Smješa oksida u prahu se sinteruje na temperaturama iznad 1000°C, čime se formiraju otpornici oblika loptice, diska ili cilindra. Neki od oblika NTC termistora prikazani su na sl. 2.4. Prije sinterovanja smješi se dodaju primjese u cilju dobijanja poluprovodničkog materijala N ili P tipa. Maksimalne radne temperature oksidnih termistora iznose od 300°C do 350°C.



Slika 2.4 – Tipovi NTC termistora

U novije vrijeme se izrađuju visokotemperaturski termistori sa maksimalnim radnim temperaturama od 700°C pa čak i 1000°C, što je blisko maksimalnim radnim temperaturama platinskog otpornog termometra. U oblasti niskih temperatura termistori se primjenjuju do nekoliko desetina kelvina.

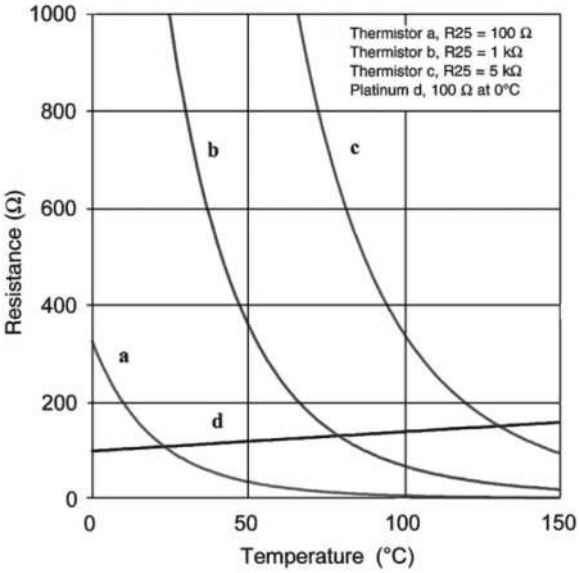
Otpornost NTC termistora je nelinearna funkcija temperature koja je pri zanemarljivoj disipaciji:

$$R(T) = A \cdot e^{\frac{B}{T}}$$

gdje su A i B konstante koje karakterišu određeni termistor. Izraz se može napisati i u obliku:

$$R(T) = R(T_1) \cdot A \cdot e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1}\right)}$$

R-T karakteristike tipičnog NTC termistora prikazane su na sl.2.5. Na istoj slici data je i karakteristika platinskog otpornika, odakle se uočava znatno veća osjetljivost termistora, ali i veća nelinearnost.



Slika 2.5 – a), b) i c) karakterstike NTC termistora na različitim temperaturama, d) karakterstika platinskog senzora

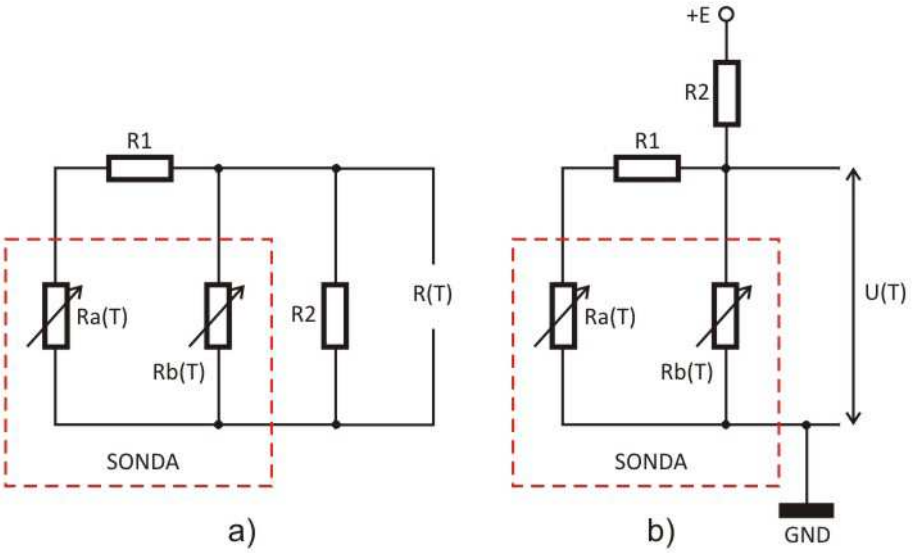
Osjetljivosti termistora odnosno temperaturski koeficijent otpornosti je:

$$\alpha = \frac{1}{R}\frac{dR}{dT} = -\frac{B}{T^2}$$

Osjetljivost, dakle opada sa porastom temperature. Konstanta B se kreće u opsegu 3000 K do 4000 K. Osjetljivost u okolini sobnih temperatura iznosi (3 do 5)%/°C, što je desetak puta više nego kod metalnih otpornika. Na primjer, termistor sa konstantom V = 4000 K, u opsegu 0°C i 100°C, ima odnos otpornosti R(0°C)/R(100°C)=50, dok je isti odnos za platinu oko 0.72. Otpornost termistora na sobnoj temperaturi može biti veoma različita, počev od nekoliko desetina oma pa do više megaoma. Nominalna otpornost termistora određuje se sastavom materijala i uslovima sinterovanja, ali se može i naknadno podešavati. Poslednjih godina proizvode se termistori sa uskim tolerancijama, tako da međusobna zamjena prouzrokuje grešku pri mjerenju temperature od 0.2°C ili 0.1°C. Visoka nominalna otpornost termistora odražava se na povećanu osjetljivost mjerenja temperature. Naime, termistorski mostovi, zbog većih otpornosti mogu se napajati višim naponom od mostova sa metalnim otpornim termometrima, pri istom samozagrijvanju pretvarača. S obzirom da je osjetljivost neuravnoteženih mostova direktno srazmjerna naponu za napajanje, osjetljivost termistorskih mostova je u stvari oko 40 do 50 puta veća nego mostova sa metalnim pretvaračima.

2.3.3.2. Složeni termistorski pretvarači

Sedamdesetih godina prošlog vijeka pojavili su se termistorski pretvarači sa dva ili tri termistora u jednoj sondi. Pomoću ovih pretvarača ostvaruje se dva do tri puta širi opseg, sa linearnom zavisnošću izlaznog signala od temperature, nego pomoću uobičajenih NTC termistora.

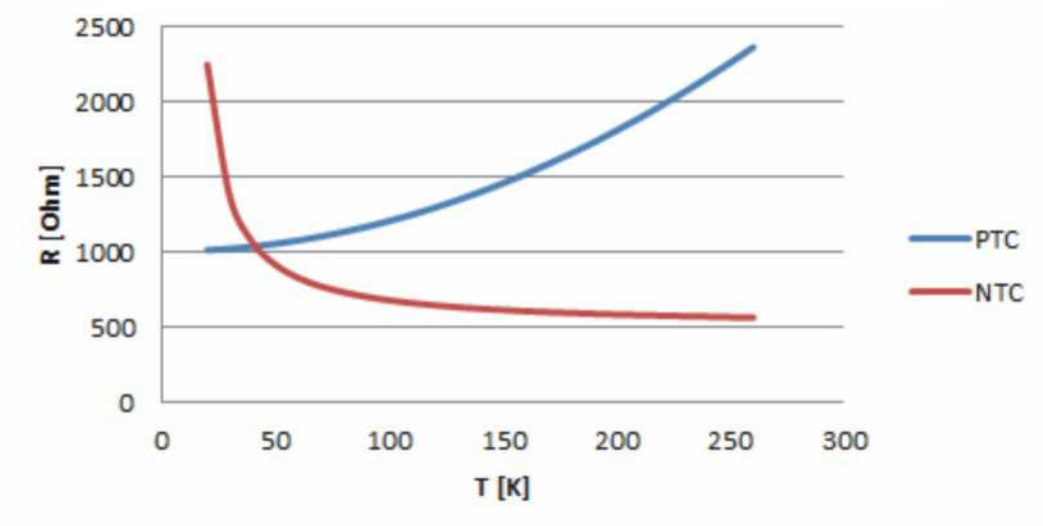


Slika 2.6 – Složeni termistorski pretvarači sa širokim opsegom linearnosti, a) otporni pretvarač, b) pretvarač sa naponskim izlazom

Linearizacija složenih termistorskih pretvarača bazira se u suštini na dvije ili tri prevojne tačke koje su međusobno razmaknute oko 30-40°C. Analiza složenih termistorskih pretvarača je vrlo komplikovana, pa se praktični pretvarači optimiziraju pomoću računara. Kolo na sl. 2.6a predstavlja pretvarač sa linearnom karakteristikom otpornost-temperatura. Kolo na sl.2.6b daje linearni napon u funkciji temperature. Termistor R_a ima manju, a termistor R_b znatno veću otpornost jer je paralelno spojena otpornost R_b veoma velika. Pri višim temperaturama otpornost, R_a je znatno manja od otpornosti stalnog otpornika R_1, pa je otporpost grane sa R_a praktično konstantna. Izlazni signal zato pri višim temperaturama zavisi prvenstveno od promjene otpornosti termistora. Tipični linearni opseg pretvarača sa dva termistora u sondi je -30 do +50°C sa nelinearnošću 0.16°C. Sa tri termistora ostvaruje se opseg -50 do +50°C sa nelinearnošću oko 0,1%. Osjetljivost složenih linearizovanih pretvarača je oko dva puta manja od običnih termistora, tj. povećanje linearnosti ima kao posledicu smanjenje osjetljivosti.

2.3.3.3. PTC Termistori

Termistori sa pozitivnim temperaturskim koeficijentom (PTC) pojavili su se sredinom pedesetih godina prošlog vijeka. Oni se koriste prvenstveno kao senzori koji pri nekoj temperaturi daju odgovarajući diskretni signal. PTC termistori se rijeđe koriste za mjerenje temperature. Mjerni opseg PTC termistora je uzak, ali im je osjetljivost oko 10 puta veća od NTC termistora. NTC termistori imaju i niz primjena u režimu velikog samozagrijevanja. tj. u nelinearnom dijelu U-I karakteristike.



Slika 2.7 – Uporedne karakteristike PTC i NTC termistora

PTC termistori se proizvode od barijum titanata $(B_a T_i O_3)$ koji spada u feroelektrike. Čisti barijum titanat je izolator, ali se dopiranjem donorskim primjesama smanjuje otpornost, pri čemu se on ponaša kao poluprovodnik. Barijum titanska keramika dobija se sinterovanjem mljevenog materijala na temperaturama iznad 1000°C, slično kao NTC termistori. Barijum titanat, kao feroelektrični materijal ima veliki broj domena sa spontanom polarizacijom u različitim pravcima. Relativna dielektrična propustljivost barijum titanata ispod Kirijeve temperature je vrlo velika i iznosi oko 10^4. Sinterovani materijal dopiranog barijum titanata sačinjavaju monokristalna zrna dimenzija oko $5 \cdot 10^{-4}\,cm$, koja su međusobno razdvojena graničnim slojevima debljine $10^{-5}\,cm$.

Zagrijevanjem iznad Kirijeve temperature barijum titanat miješa kristalnu strukturu prelazeći iz tetragonalne strukture u kubičnu. Kirijeva temperatura za čisti barijum titanat iznosi 123°C. Relativna dielektrična konstanta na temperaturama iznad Kirijeve, opada prema Kiri-Vajsovom zakonu:

$$\varepsilon(T) = \frac{C}{T - T_C}, \ (T > T_C)$$

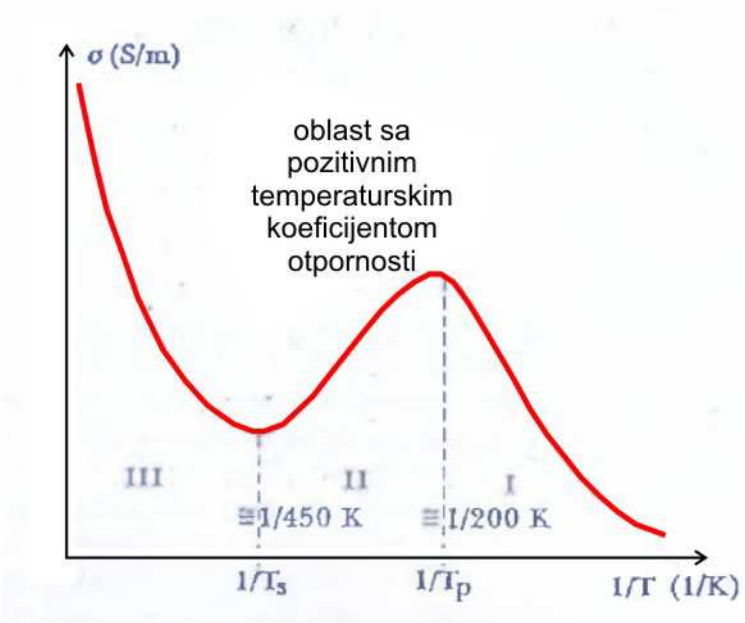
2.3.4. Silicijumski otporni senzori

Silicijumski otporni senzori temperature sa pozitvnim temperaturskim koeficijentom otpornosti ušle su u primjenu početkom sedamdesetih godina prošlog vijeka. Mjerni opseg senzora je relativno uzak i iznosi -50°C do 150°C. Ipak. ovaj opseg temperatura je važan, jer se koristi u mnogim oblastima, kao što je prehrambena industrija, klimatizacija. meteorologija i u uređajima masovne primjene, kao što su kućni aparati, automobili, silosi i dr. Termometri sa silicijumskim senzorima su jednostavne konstrukcije, lako se linearizuju i niske su cijene. U pogledu mjerne nesigurnosti koja

iznosi 0.3°C do 0.5°C, silicijumski termometri zaostaju za platinskim. Međutim, u većini praktičnih primjena karakteristike silicijumskih termometara su potpuno zadovoljavajuće.

2.3.4.1. Fizički osnovi

Silicijum sa primjesama donorskog tipa ima složenu zavisnost specifične otpornosti od temperature. Donorski atomi, kao što je na primjer fosfor, lako se jonizuju otpuštajući jedan slobodni elektron u međuprostor kristalne rešetke. I u domenu niskih temnsratura (od 0 K do oko 200 K) primjesni atomi su djelimično jonizovani. Sa porastom temperature udio jonizovanih atoma se povećava, čime raste broj slobodnih nosilaca elektriciteta. To dovodi do porasta provodnosti dopiranog silicijuma sa temperaturom, što prikazuje desni segment dijagrama na sl.2.8.



Slika 2.8 – Temperaturska zavisnost specifične provodnosti dopiranog silicijuma

Na temperaturi T_p, koja iziosi oko -70°C do -60°C, praktično svi donorski atomi su jonizovani, što se naziva pojavom iscrpljenja. Provodnost tada dostiže maksimalnu vrijednost određenu koncentracijom donorskih primjesa. U središnjem dijelu dijagrama na sl.2.8. u intervalu između T_p do T_s specifična provodnost opada tj. otpornost ima pozitivan temperaturski koeficijent. Tada su svi donori već jonizovani, pa se sa temperaturom više ne povećava broj slobodnnh elektrona. U toj oblasti, pod uticajem vibracija kristalne rešetke (fonona) dolazi do smanjivanja pokretljivosti elektrona sa temperaturom. Specifična otpornost povećava se srazmjerno sa $T^{3/2}$. Iznad T_s u trećem segmentu na sl.2.8. provodnost ponovo raste sa temperaturom, jer temperaturske vibracije rešetke dovode do jonizacije atoma silicijuma. Time se stvaraju novi parovi elektron-šupljina, pa se koncentracija nosilaca naelektrisanja povećava. Posljedica ovog procesa je porast specifične provodnosti srazmjerno sa $e^{\frac{V_g}{2kT}}$, gdje je širina zabranjene zone V_g, a K Bolcmanova konstanta. Silicijumski otporni senzori temperature primjenjuju se u središnom P dijelu dijagrama na sl.2.8, u kome dopirani silicijum ima pozitivan temperaturski koeficijent.

2.3.4.2. Tehnologija izrade

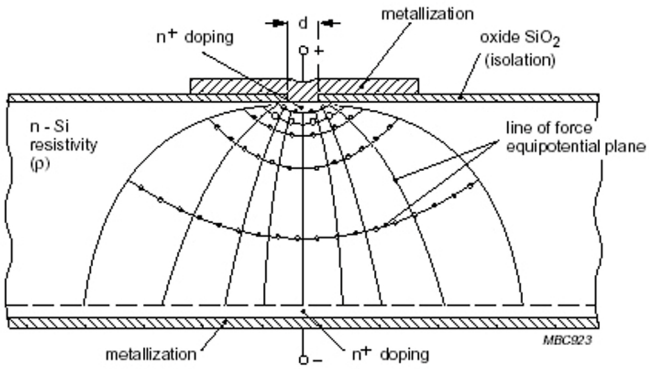
Početkom šezdesetih godina prošlog vijeka učinjeni su pokušaji da se, na bazi silicijumske planarne tehnologije, izrade otporni senzori temperature. Na supstratu od monokristalnog silicijuma

dopiranjem su načinjeni otpornici pravougaone geometrije, izolovani PN prelazom. Ovi pokušaji nisu doveli do željenog rezultata jer se dobijala loša provodljivost nominalne otpornosti. Pri tome, nepovoljan uticaj imala je blizina prostornog tovara, kao i postojanje temperaturski zavisne inverzne struje zasićenja PN spoja. Karakteristike senzora zavisile su i od lokalne kristalne strukture materijala. Dobijanje pouzdanog silicijumskog temperaturskog senzora postignuto je metodom šireće otpornosti (spreading resistance). Princip konstrukcije senzora objašnjen je na sl.2.9 a pomoću otpornika poluloptastog oblika sa dvije metalne elektrode poluprečnika r_0 i r_1. Strujno polje se širi približno radijalno pa je gustina struje na rastojanju r

$$J = \frac{I}{S} = \frac{I}{2\pi r^2}$$

pa se za otpornost dobija:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{\rho}{2\rho r_0}$$



Slika 2.9 – Konstrukcija temperaturskog silicijumskog senzora

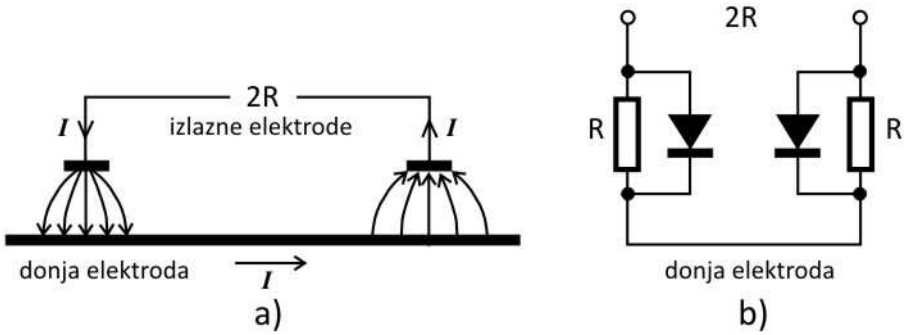
Konstrukcija temperaturskog senzora prikazana je na sl.2.9. Na gornju površinu silicijumske pločice nanesen je oksidni sloj i na njemu načinjen kružni otvor malog prečnika d u odnosu na dimenzije pločice. Na otvoru je formiran kontaktni sloj koji ima ulogu elektrode iz koje se širi strujno polje, tj. oko koje se formira "šireća" otpornost. Na donjoj strani pločice nanesen je metalni sloj koji predstavlja drugu elektrodu. Kod senzora na sl.2.9 strujno polje ima približno radijalnu geometriju. Uz smjenu $d=2r_0$ za otpornost se dobija

$$R = \frac{\rho}{\pi d}$$

Da bi se dobili senzori stabilnih karakteristika sa uskim tolerancijama trebalo je postići: a) optimizaciju geometrijskih senzora i b) homogenu i ponovljivu koncentraciju donorskih primjesa. Veće nominalne otpornosti, reda veličine kilooma, koje su poželjne u praksi, dobijaju se ako je prečnik elektrode d dovoljno mali. Međutim, ponovljivost izrade malih prečnika lošija je nego većih. Kao optimalna vrijednost prečnika elektrode, usvojeno je $d = 22\mu m$: Ostale dimenzije senzora su – debljina $D = 180\mu m$ i dužina oko $500\mu m$.

Homogeno i precizno dopiranje silicijuma nije ostvarivo uobičajenim postupcima planarne tehnike, jer tada koncentracije primjesa variraju za čitavih 15%, što nije prihvatljivo u proizvodnji

temperaturskih senzora. Ravnomjerno i homogeno dopiranje silicijuma postiže se dejstvom neutrona u nuklearnom reaktoru. Atom silicijuma zahvata jedan neutron i dolazi u pobuđeno stanje. Atom se deeksituje putem, β raspada (jezgro emituje jedan elektron), pri čemu se od jednog neurona stvara proton. Atomski broj povećava za jedan i od silicijuma dobija se petovalentni fosfor, koji u kristalnoj rešetci predstavlja donorsku primjesu. Ovim postupkom se ostvaruje odlična homogenost koncentracije donora. Uzorci silicijuma dopirani na ovaj način imaju specifičnu provodnost koja, od jednog do drugog uzorka, ima rasipanje ispod $\pm 1\%$. Specifična otpornost materijala na sobnoj temperaturi iznosi oko $\rho = 0.07\ \Omega / m$. Prečnik gornje elektrode je $d = 22\mu m$, pa se iz (8,55) za nominalnu otpornost dobija $R = 1000\Omega$.



Slika 2.10 – Simetrični silicijumski senzor

Senzor na sl.2.9, ima nedostatak zbog nesimetrije otpornosti pri promjeni smjera struje, što se izražava faktorom nesimetrije $M = \Delta R / R\ (\%)$, gdje je ΔR razlika otpornosti pri promjeni polariteta, a R srednja otpornost. Nesimetrija je posljedica ispravljačkog efekta koji se uvek javlja, u određenoj mjeri, na spoju metalne elektrode i poluprovodnika. Pri struji od oko 2 mA, otpornost senzora na sobnoj temperaturi ima nesimetriju od oko 0.5%. Problem nesimetrije rješava se simetričnom konstrukcijom senzora, sl. 2.10a. Simetrični senzor ima dvije izlazne elektrode na gornjoj površini poluprovodnika, dok je cijela donja površina pokrivena metalnim slojem. Time su dobijena dva redno spojena otpornika sa radijalnim ("širećnm") strujnim poljem.
Ekvivalentna šema simetričnog senzora prikazana je na sl. 2.10b. Ispravljački efekti na kontaktima metalnih elektroda i poluprovodnika prikazani su diodama spojenim u opoziciju. Ovim rješenjem nesimetrija se smanjuje za jedan red veličine. Faktor nesimetrije senzora na sl.2.10 iznosi $M \approx 0.1\%$. U uobičajenim tehničkim primjenama simetrični senzor se ponaša kao čisto omska otpornost. Zbog redne veze simetrični pretvarač ima dvostruko veću nominalnu otpornost, koja iznosi oko 2000Ω na tempsraturi od 25°C. Elektrode senzora se ostvaruju višespojnom metalizacijom $(Ti - Pt - Au)$, čime se dobija dobra stabilnost karakteristika. Izlaganjem senzora povišenoj temperaturi od oko 150°C u trajanju od više hiljada sati ustanovljene su zanemarljivo male promjene karakteristika sa stanovišta uobičajenih tehničkih primjena.

Karakterstika silicijumskog pretvarača:

U opsegu -30°C do 120°C zavisnost otpornosti silicijumskog senzora od temperature se prikazuje paraboličnom funkcijom

$$R(\Delta t) = R_{25}(1 + \alpha\Delta t + \beta\Delta t^2)$$

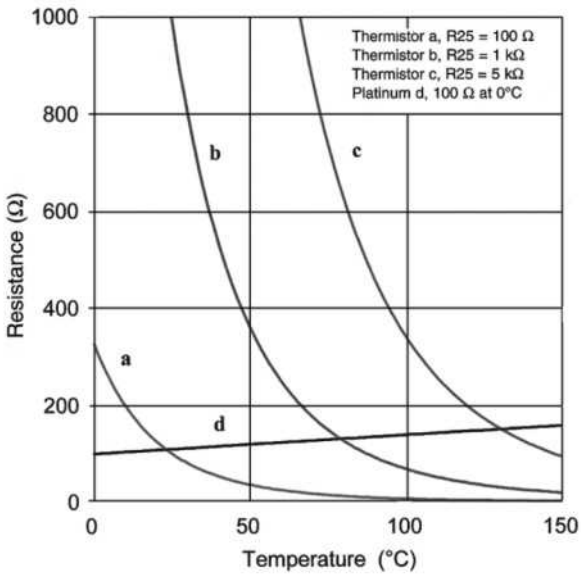
gdje je ($R_{25} = 2k\Omega$ otpornost na 25°*C*, a $\Delta t = t - 25°C$). U tabeli 2.2 dati su koeficijenti paraboličnih *R(t)* karakteristika silicijumskog senzora i platinskog otpornog pretvarača industrijskog tipa. Tipična zavisnost otpornosti od temperature silicijumskog senzora prikazana je na sl.2.11. Ako se uporede podaci dati u tabeli 2.2 vidi se da je linearni koeficijent silicijumskog senzora više od dva

puta veći od koeficijenata platinskog pretvarača. To ukazuje da je osjetljivost silicijumskog pretvarača u manjim intervalima temperature veća više od dva puta.

Pretvarač	Linearni koeficijent α[1/°C]	Kvadratni koeficijent β[1/°C^2]
Silicijumski PTC senzor	$7.68 \cdot 10^{-3}$	$1.88 \cdot 10^{-5}$
Platinski otporni pretvarač	$3.85 \cdot 10^{-3}$	$-5.8 \cdot 10^{-7}$

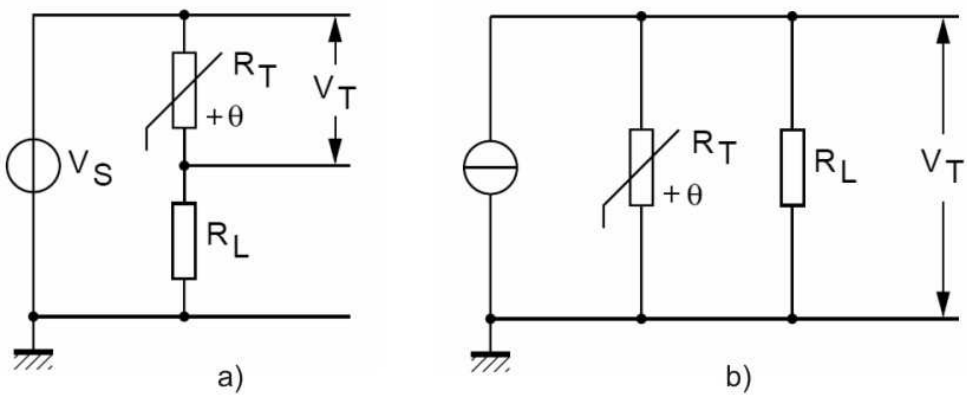
Tabela 2.2 – Koeficijenti paraboličnih R(t) karakterstika silicijumskog i platinskog senzora

Kvadratni koeficijent silicijumskog pretvarača je pozitivan, pa sa porastom temperature osjetljivost raste. Nasuprot tome osjetljivost platinskog pretvarača opada sa porastom temperature jer je koeficijent uz kvadratni član negativan. Relativna promjena otpornosti silicijumskog senzora u opsegu 0°C do 100°C iziosi 105%, za razliku od platinskog pretvarača kod koga je promjena oko 38%. Na slici 2.11 se uočava da iznad 120°C prestaje da važi parabolična zavisnost otpornosti data formulom, jer osjetljivost počinje da opada sa temperaturom, kao posljedica generisanja novih slobodnnh nosilaca termičkom eksitacijom silicijuma. Iznad 120°C karakteristika *R(t)* se prikazuje polinomom trećeg reda. Otporni temperaturski pretvarači sa pozitiviim kvadratnim koeficijetom linearizuju se veoma jednostavno, pomoću jednog pasivnog otpornika određene otpornosti. Na sl.2.12 a prikazan je polumost. tj. potenciometarska veza senzora koja se napaja iz izvora konstantne EMS E. Izborom otpornosti R_1, linearizuje se izlazni napon *U(t)*. Paralelna veza na slici 2.12b primjenjuje se kada se za napajanje koristi izvor konsatntne struje. Paralenim otpornikom linearizuje se ekvivalentna otpornost, a time i izlazni napon $U(t) = R(t) \cdot I$.



Slika 2.11 – Karakteristika silicijumskog senzora

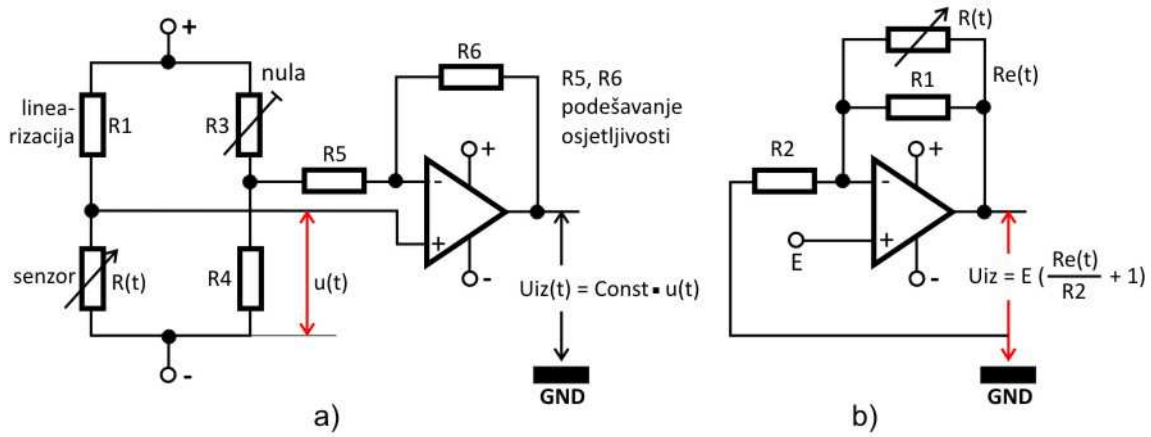
Nelinearnost karakteristike *R(t)* silicijumskog senzora određena u odnosu na optimalnu pravu, veća je od $\pm 2°C$, što je neprihvatljivo u većini tehničkih mjerenja. Kod realizacije mjernog kola sa stalnim otpornikom, ovaj problem se u jednoj mjeri rješava. U ovom slučaju nelinearnost je daleko manja i iznosi 0,2°C do 0,4°C, što zadovoljava većinu praktičnih potreba. Linearizovana karakteristika može se aproksimirati jednačinom prave $R(t) = 1.28(1 + \alpha t)$ kΩ. Linearni koeficijent iznosi $\alpha = 5.68 \cdot 10^{-3}$ 1/°C , što je za 47,5% više od osjetljivosti platinskog otpornog termometra.



Slika 2.12 – Linearizacija karakterstike silicijumskog otpornog pretvarača, a) linearizovani polumost napajan konstantnim naponom, b) paralelna veza sa linearizovanom R(t) karakteristikom napajanja konstantnom strujom

Na sl.2.13 a prikazana je šema elektronskog termometra gde se linearizacija zasniva na rednoj vezi senzora *R(t)* i stalnog otpornika R_1. Otpornost R_1 se određuje u zavisnosti od temperature prevojne tačke koja se nalazi približno na sredini mjernog opsega. Otpornicima R_3 i R_4 podešava se nula izlaznog napona. Osjetljivost mjerenja podešava se odnosom R_6/R_5. U kolu na slici 2.13b linearizacija se postiže paralelnim povezivanjem senzora *R(t)* i stalnog otpornika R_1. Izlazni napon dat je izrazom:

$$U_{iz} = E(1+\frac{R(t)}{R_2})$$



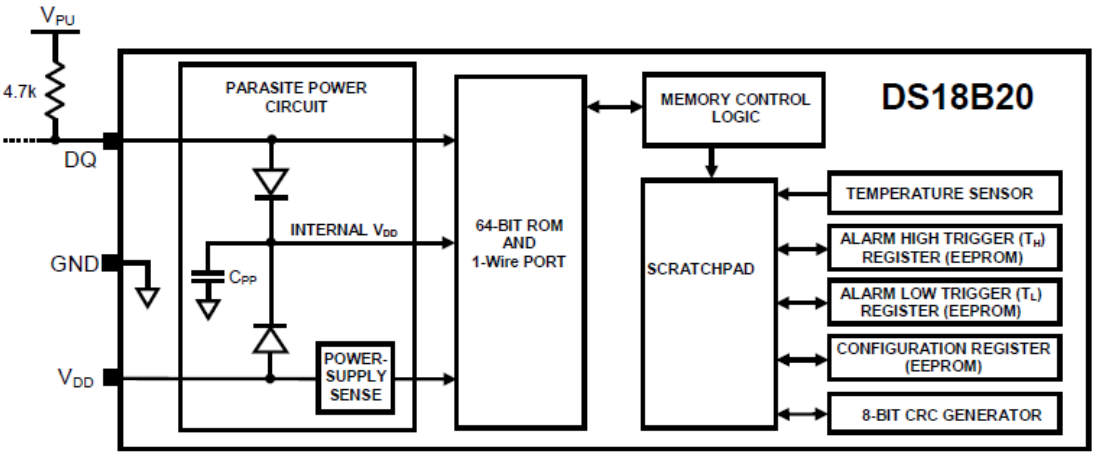
Slika 2.13 – a) Kolo za linearizaciju rednom vezom senzora R(t) i stalnog otpornika R_1, b) kolo za linearizaciju paralelnom vezom senzora R(t) i stalnog otpornika R_1

Osjetljivost se podešava naponom *E* ili otpornošću *R2*. Nula se reguliše dodatnim razdjelnikom napona. Vremenska konstanta senzora, zavisno od spoljašnjih dimenzija i oblika kućišta, kreće se između 7s do oko 40s u mirnom vazduhu. Odgovarajuće vremenske konstante u mirnom ulju iznose 1s u i 4s respektivno.

2.4. Digitalni temperaturski senzor DS18B20

DS18B20 digitalni termometar omogućava 9-12-bitna mjerenja temperature u Celzijusima i ima funkciju alarma sa ***nonvolatile*** korisnički programabilnim gornjim i donjim tačkama za okidanje. DS18B20 komunicira preko 1-žične sabirnice koja po definiciji zahtijeva samo jednu liniju za podatke (i uzemljenje) za komunikaciju sa centralnim mikroprocesorom. Ima radni temperaturni raspon od -55°C do +125°C i preciznost od 0.5°C na rasponu od -10°C do +85°C. Dodatno, DS18B20 može dobijati napajanje direktno sa linije prenos podataka ("parazitna snaga"), eliminišući potrebu za eksternim napajanjem.

Svaki DS18B20 ima jedinstveni 64-bitni serijski kod, koji dozvoljava da više DS18B20-ova rade na istoj 1-žičnoj sabirnici. Stoga je jednostavnije koristiti jedan mikroprocesor za kontrolisanje više DS18B20-ova raspoređenih u velikoj oblasti. Aplikacie koje mogu imati koristi od ove opcije uključuju HVAC kontrole okoline, sisteme za praćenje temperature unutar zgrada, opreme, ili mašina, i monitoring procesa i kontrolne sisteme.



Slika 2.14 – Blok šema digitalnog temperaturskog senzora DS18B20

2.4.1. Primjena digitalnog senzora

Osnovna karakteristika koju posjeduje DS18B20 je njegov "direktno u digitalno" ulazni dio. Rezolucija senzora temperature je podesiva za korisnike, na 9, 10, 11, ili 12 bita, što odgovara uvećanjima od 0.5°C, 0.25°C, 0.125°C, i 0.0625°C, respektivno. Osnovna rezolucija nakon uključenja sistema je 12-bita. DS18B20 je nakon uključivanja u stanju mirovanja sa niskom potrošnjom. Da bi se iniciralo mjerenje temperature i A-D konverzija, master mora izvršiti Convert T [44h] komandu. Nakon konverzije, rezultantni podaci o temperaturi se smještaju u 2-bajtni temperaturni registar u *scratchpad* memoriji i DS18B20 se vraća u stanje mirovanja. Ako DS18B20 napaja eksterna napojna jedinica, master može pokrenuti "read time slots" (vidi *1-Wire Bus System* sekciju) nakon Convert T komande i DS18B20 će odgovoriti tako što će davati 0 dok je temperaturna konverzija u toku, i 1 kada je konverzija završena. Ako je DS18B20 napajan sa parazitnim napajanjem, ova tehnika obavještavanja se ne može koristiti jer je sabirnica jako opterećena tokom cjelokupnog trajanja temperaturne konverzije. Zahtjevi vezani za sabirnicu su detaljno opisani u *Powering the DS18B20* sekciji.

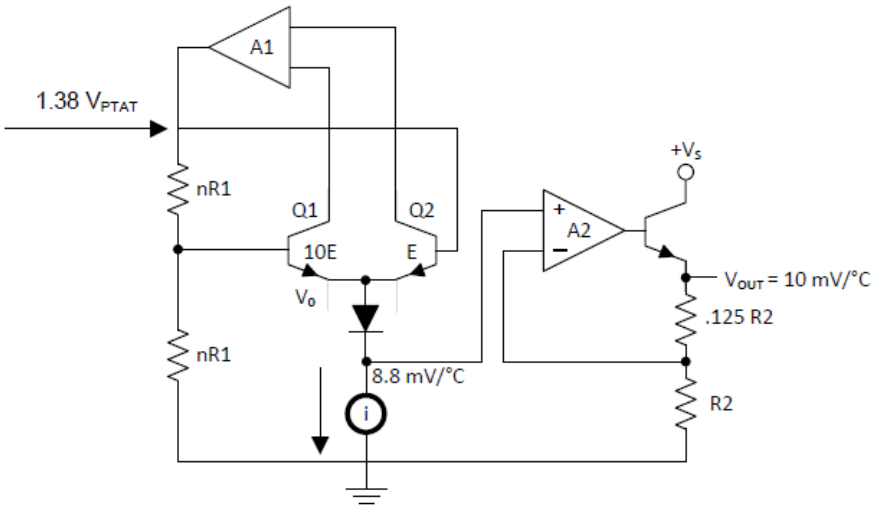
DS18B20 podaci o izlaznoj temperaturi su kalibrisani u Celzijusima; za aplikacije sa Farenhajtima se mora koristiti tablica prevoda ili koeficijent konverzije. Podaci o temperaturi su skladišteni kao 16-bitni znak-prošireni broj od dva komplementa u temperaturnom registru. Biti znaka (S) ukazuju na to da li je temperatura pozitivna ili negativna: za pozitivne vrijednosti S = 0, a za negativne S = 1. Ako je DS18B20 konfigurisan za 12-bitnu rezoluciju, svi biti u temperaturnom

registru će sadržavati validne podatke. Za 11-bitnu rezoluciju, bit 0 nije definisan. Za 10-bitnu rezoluciju, biti 1 i 0 nisu definisani, i za 9-bitnu rezoluciju biti 2, 1, i 0 nisu definisani.

2.5. Analogni temperaturski senzor LM35

LM35 serija su precizni temperaturni senzori sa integrisanim kolima, gdje je izlazni napon linearno proporcionalan promjeni temperature. Stoga LM35 ima prednost nad linearnim temperaturnim senzorima kalibrisanim u ° Kelvina, jer korisnik ne mora da vrši veliki proračun kako bi dobio vrijednost u celzijusima. LM35 ne zahtijeva eksternu kalibraciju ili podešavanja da bi imao tipičnu preciznost od ±¼°C na sobnoj temperaturi i ±¾°C na cijelom −55°C do +150°C temperaturnom rasponu. Niski troškovi se postižu kalibracijom i podešavanjem na nivou wafer-a. Niska izlazna impedansa, linearni izlaz, i precizna kalibracija kod LM35 čine izradu interfejsa i kola za očitavanje ili kontrolu veoma lakim.

Uređaj se koristi sa jednostrukim napajanjem, ili sa plus i minus napajanjima. Kako LM35 uzima samo 60 µA od napajanja, ima veoma malo samozagrijavanje od 0.1°C u vazdušnoj okolini. LM35 je namijenjen za rad u temperaturnom spektru od −55°C do +150°C, dok LM35C ima radni opseg od −40°C do +110°C (−10° sa povećanom preciznošću). LM35 je dostupna u pakovanjima TO tranzistora, dok su LM35C, LM35CA, i LM35D takođe dostupni u plastičnom TO-92 tranzistorskom pakovanju.



Slika 2.15 – Blok šema analognog temperaturskog senzora LM35

2.5.1. Aplikacije u kojima se senzor koristi

LM35 se koristi lako, na isti način kao i ostali temperaturni senzori sa integrisanim kolima. Uređaj se zalijepi na površinu i očitavanja temperature su u unutar 0.01°C od temperature površine. Ovo naravno važi uz pretpostavku da je temperatura okolnog vazduha ista kao temperatura površine. Ako to nije slučaj, već je ona veća ili manja, stvarna temperatura LM35 senzora je vrijednost između temperature vazduha i površine, što je posebno tačno za TO-92 plastično pakovanje gdje bakarni izlazi predstavljaju glavni put za prenos temperature, tako da je kod njih temperatura bliža temperaturi vazduha u odnosu na temperaturu površine.

Da bi se minimizovao ovaj problem, treba osigurati da su vodovi koji izlaze iz LM35 uređaja na istoj temperaturi na kojoj je površina čija se temperatura mjeri. Najlakši način da se ovo osigura je da se ove žice potope u sloj voska, što će osigurati da su žice i izlazi na istoj temperaturi kao površina, i da na temperaturu LM35 ne utiče temperatura vazduha. TO-46 metalno pakovanje se takođe, može pričvrstiti na metalnu površinu ili cijev bez oštećenja. Naravno, u tom slučaju V−

terminal kola će biti uzemljen na taj metal. Alternativno, postaviti LM35 unutar zatvorene metalne cijevi, a zatim ga potopiti u posudu ili zašarafiti za rezervoar. Kao i sa bilo kojim IC, LM35 i pridružena instalacija i žice moraju biti izolovani i suvi, da bi se izbjeglo curenje i korozija. Ovo je posebno važno, kada kolo treba da radi na niskim temperaturama gdje je moguća pojava kondenzacije. Premazi i lakovi za štampana kola i farbe sa voskom se često koriste kako bi se osiguralo da vlaga ne dovede do korozije LM35 ili njegovih spojeva. Ovi uređaju su nekad prikačeni na mali laki hladnjak, kako bi se smanjila temperaturna vremenska konstanta i ubrzao odziv u okolini sa sporo kretajućim vazduhom. S druge strane, mala termalna masa se može dodati na senzor, da obezbijedi najrobustnija očitavanja, uprkos malim devijacijama u temperaturi vazduha.

3. REALIZOVANI SISTEM

S obzirom da je kućni bojler tipičan predstavnik termo-potrošača u svakom domaćinstvu, to je urađena odgovarajuća oprema sa kojom je izvršeno snimanje podataka o ovom potrošaču.

Za mjerenje je odabran boljer snage grijača od 1800W sa ''A'' klasom efikasnosti. Bojler je instalisan u stanu sa tročlanim domaćinstvom. Postojeća vodovodna instalacija u stanu izvedena je tako da se topla voda iz bojlera koristi u kupatilu (bojler) i u kuhinji (sudopera).

3.1 Oprema za mjerenje

Za samu realizaciju mjerenja pripremljena je sledeća oprema.

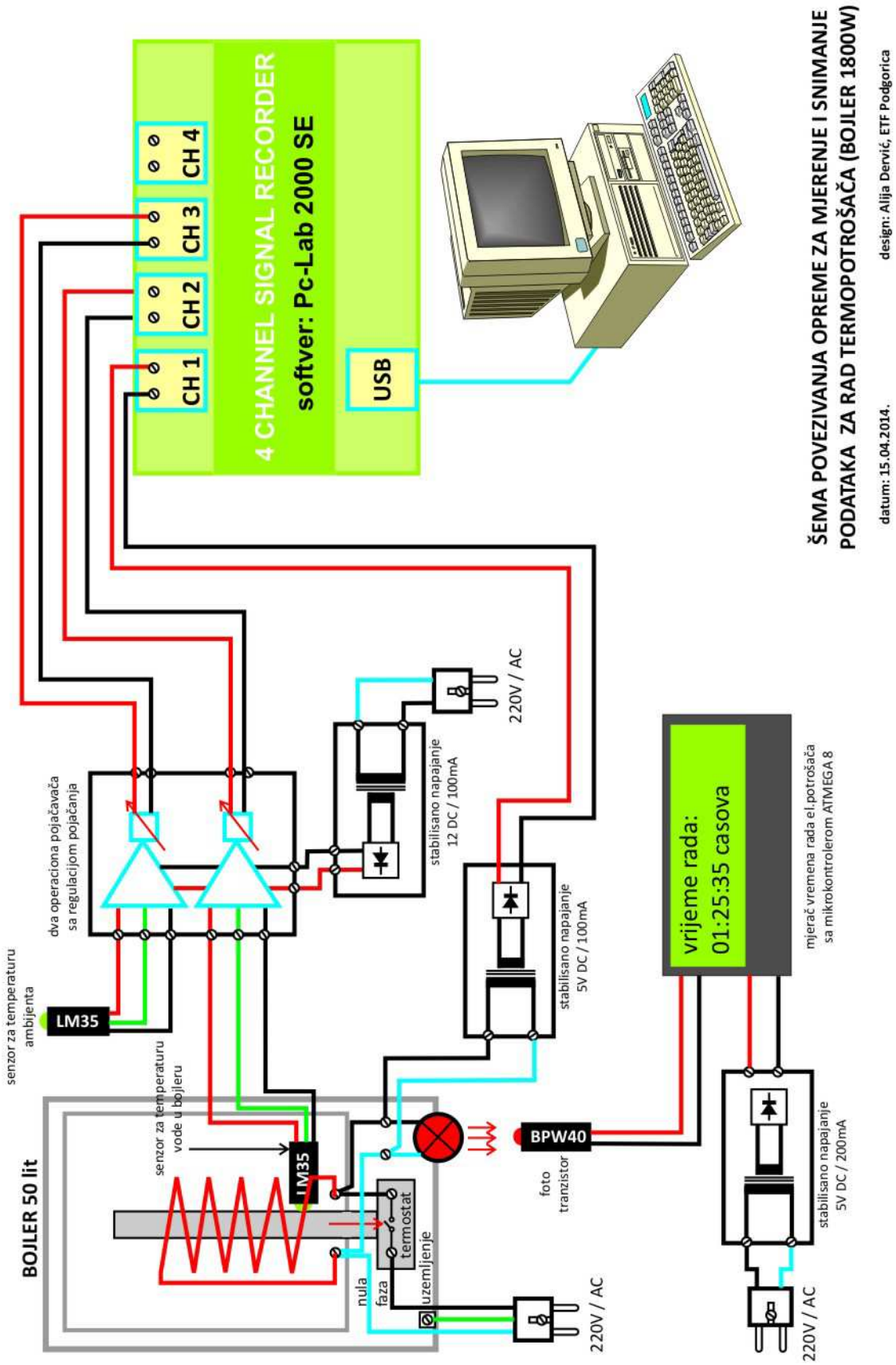
- snimač signala sa 4 kanala
- analogni termo-senzor LM35
- dvokanalni operacioni pojačavač sa LM358
- stabilisani ispravljač 220V AC / 5V DC 100mA
- Mjerač vremena rada sa mikrokontrolerom
- Kablovi PVC 3x0,75 i 2x0,75 za povezivanje opreme

Za prikupljanje podataka korišten je Velleman-ov četvoro-kanalni akvizicioni modul. Modul je prikupljao podatke o temperaturi vode u bojleru, temperaturi ambijenta u kojem se bojler nalazi, kao i o aktivnosti rada grijača. Podaci su se tokom 168 sati smještali na računar u row formatu, kako bi bili pogodni za kasniju obradu i analizu. Zbog nedovoljne ulazne osjetljivosti modula, kao i zbog dužine trase od senzora do modula, izlazni signali iz termo-senzora su morali da se pojačaju. Kao pojačavač korišćen je LM358, koji u sebi sadrži dva operaciona pojačavača. Konstruisan je neinvertujući spoj, pojačanja oko 12 puta. Za dobijanje informacije o radu grijača, uzet je ispravljač ~220V/=5V, koji je bio priključen paralelno sa grijačem bojlera.

Kao senzori temperature korišteni su analogni temperaturski senzori LM35, čiji je izlaz jednosmjeran i prati zavisnost 10mV/°C. Zbog preciznijih mjerenja ovaj signal je pojačan, i potom doveden na snimač signala.

Pored elemenata koji su služili za prikupljanje podataka, konstruisan je i uređaj koji direktno mjeri vrijeme rada uređaja. Koristeći taj podatak, neposredno se može zaključivati o kvalitetu izolacije bojlera.

Uređaj za mjerenje vremena konstruisan je kao mikrokontrolerski uređaj, baziran na Atmelovom Atmega8 procesoru. Cilj uređaja je mjerenje vremena sa pamćenjem. Podatak o aktivnosti bojlera se dobija preko fototranzistora koji je priključen na bojlericu i takav podatak se obrađuje i rezultat o vremenu šalje na LCD. Radi jednostavnijeg korišćenja uređaj je konstruisan kao baterijski.



Slika 3.1 – Blok šema opreme koja je korištena za prikupljanje podataka

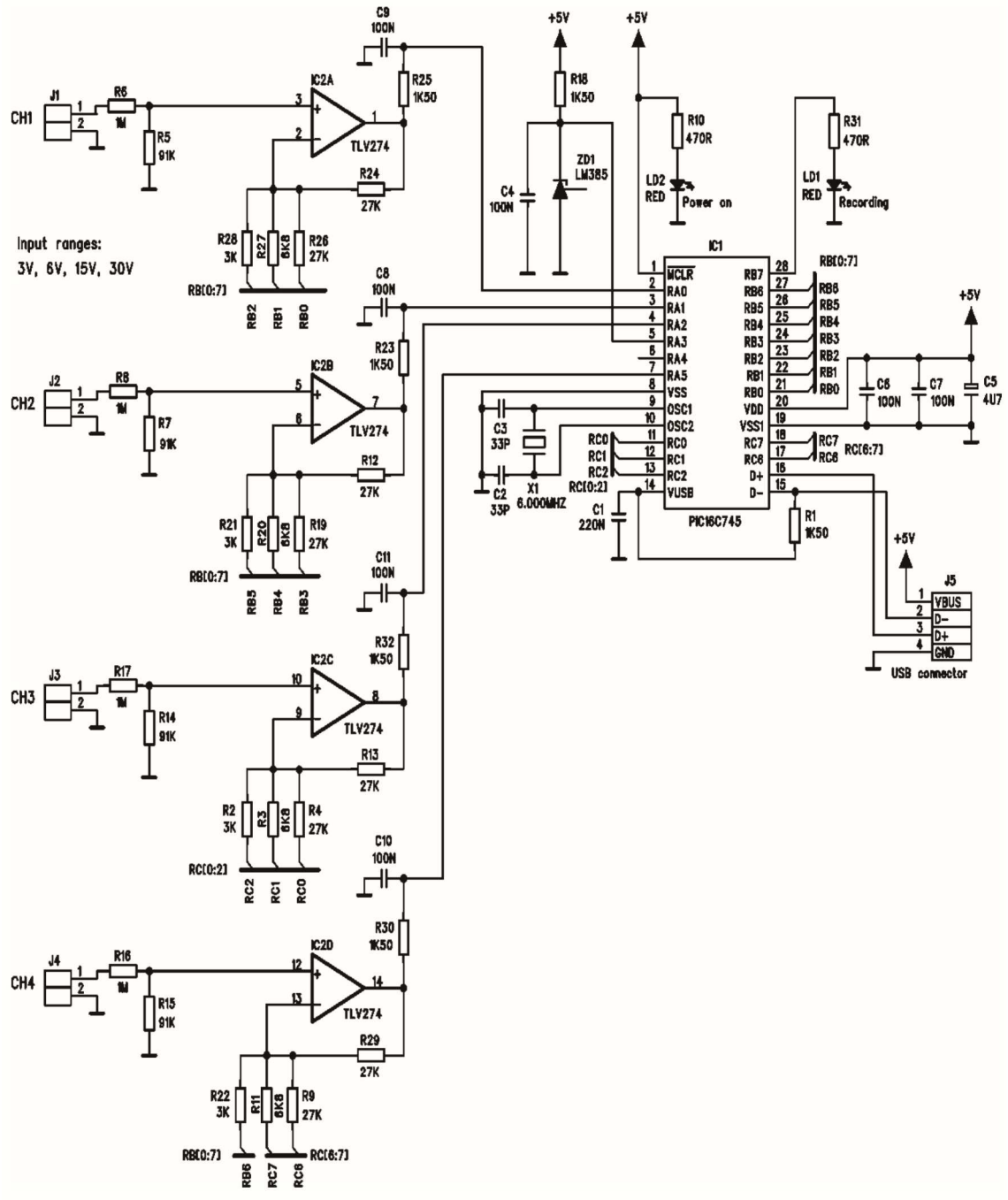
3.1.1. Snimač signala sa 4 kanala

Slika 3.2 Velleman PCS10 četvorokanalni snimač (akvizicioni modul)

Akvizicija podataka je proces pomoću koga fizički fenomeni iz realnog svijeta se transformišu u električne signale koji se mjere i konvertuju u digitalni format za potrebe procesiranja, analize i memorisanja od strane računara. Akvizicioni modul je elektronski instrument, ili grupa međusobno povezanih elektronskih hardverskih komponenti, namjenjenih za mjerenje i kvantizaciju analognih signala i prihvatanje digitalnih, u cilju digitalne analize ili obrade i preduzimanje povratno-upravljačkih akcija.

U ovom sistemu korišten je Vellemanov četvoro kanalni modul. Modul posjeduje mogućnost praćenja četiri nezavisna signala i njihovom skladištenju na računar u row formatu (tabelarnom) preko USB interfejsa. Opsezi ulaznih signala mogu biti do 3V, 6V, 15V i 30V, a ulazna impedansa modula iznosi 1MΩ. Ulazna osjetljivost je 10mV, a analogno-digitalna konverzija se vrši rezolucijom od 8 bita. Maksimalna vrijednost uzimanja mjerenja iznosi 100 mjerenja u sekundi.

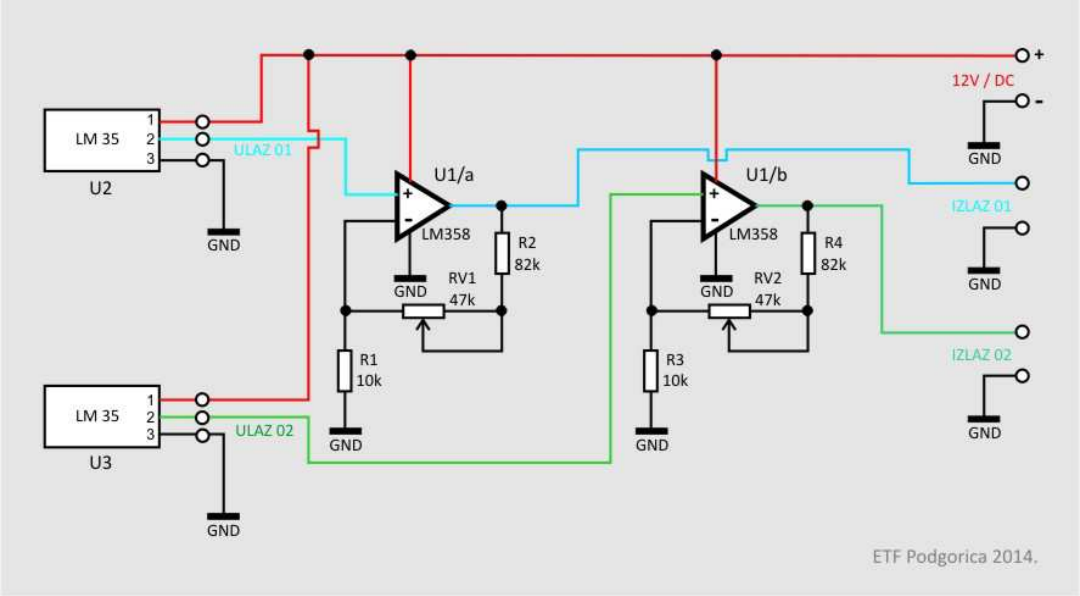
Modul posjeduje svoj softver, koji je zadužen za podešavanje načina prikupljanja podataka, odnosno za podešavanje nivoa ulaznog signala i broja odbiraka koji će biti snimljeni. Moguće je vršiti snimanje signala u tačno određenom vremenskom intervalu, ili snimati sve do trenutka dok korisnik ne obustavi snimanje. Snimljenje signale je moguće pregledati u istom softverskom paketu, ali i u nekom od drugih programa za obradu podataka.



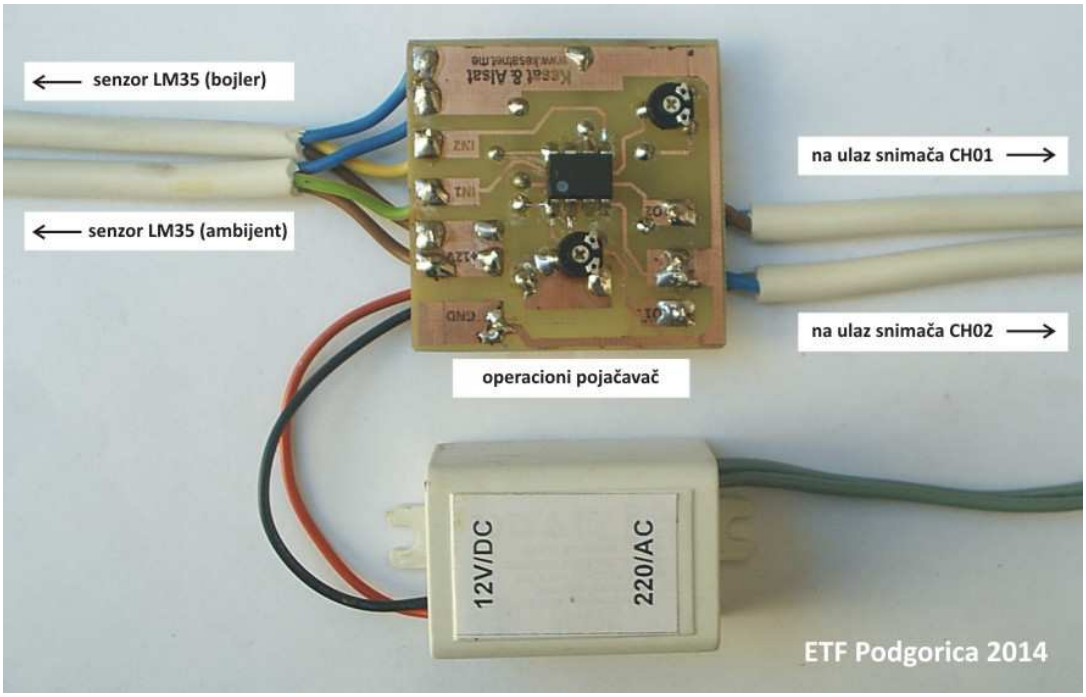
Slika 3.3 Šema Velleman PCS10 modula

3.1.2. Dvokanalni operacioni pojačavač sa LM358

Zbog nedovoljne ulazne osjetljivosti akvizicionog modula i dužine trase od termo-senzora do modula, signal koji se dobija na izlazu iz senzora se mora pojačati. U tu svrhu je korišten operacioni pojačavač LM358. On u svom 8-pinskom kućištu sadrži dva operaciona pojačavača sa mogućnošću velikog jednosmjernog pojačanja. Sa njim je konstruisan neinvertujući spoj promjenljivog pojačanja i korišteno je unipolarno napajanje. Ovim sistemom se postiglo pojačanje oko 12 puta, u cilju dobijanja što tačnijih rezultata.



Slika 3.4 Šema pojačavačkog stepena



Slika 3.5 Realizovani pojačavački stepen

4. ANALIZA REZULTATA MJERENJA

Nakon sređivanja podataka, i obrade istih u MATLAB-u, možemo zaključiti sledeće:

- grijač bojlera od 1800W u periodu od 168 sati (7 dana) bio je uključen 33.45 časova, što pretvoreno u kilovatčasove iznosi 60.21kWh
- Takođe u toku 24 časa, grijač bojlera je bio aktivan 4.78 časova, što u kilovatčasovima iznosi 8.6kWh

4.1. Dijagrami

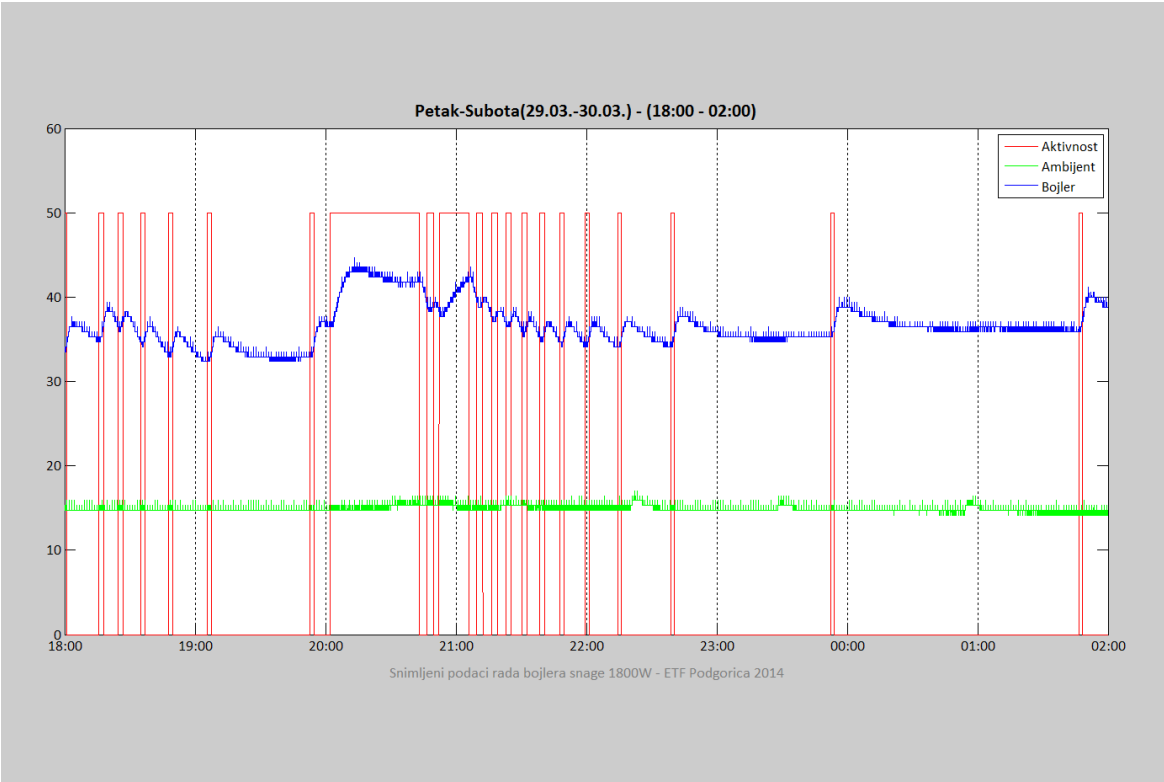
Grafički prikaz podataka je dobijen, nakon obrade tabelarnih podataka dobijenih iz akvizicionog modula. Podaci su sortirani po danima u nedelji.

Od ukupno 11 dijagrama, 7 dijagrama predstavlja rezultate za pojedinačne dane u nedelji. Tri dijagrama predstavljaju osmo-časovne vremenske periode u toku dana, i jedan dijagram predstavlja aktivnost rada grijača u periodu do 168 časova(7 dana).

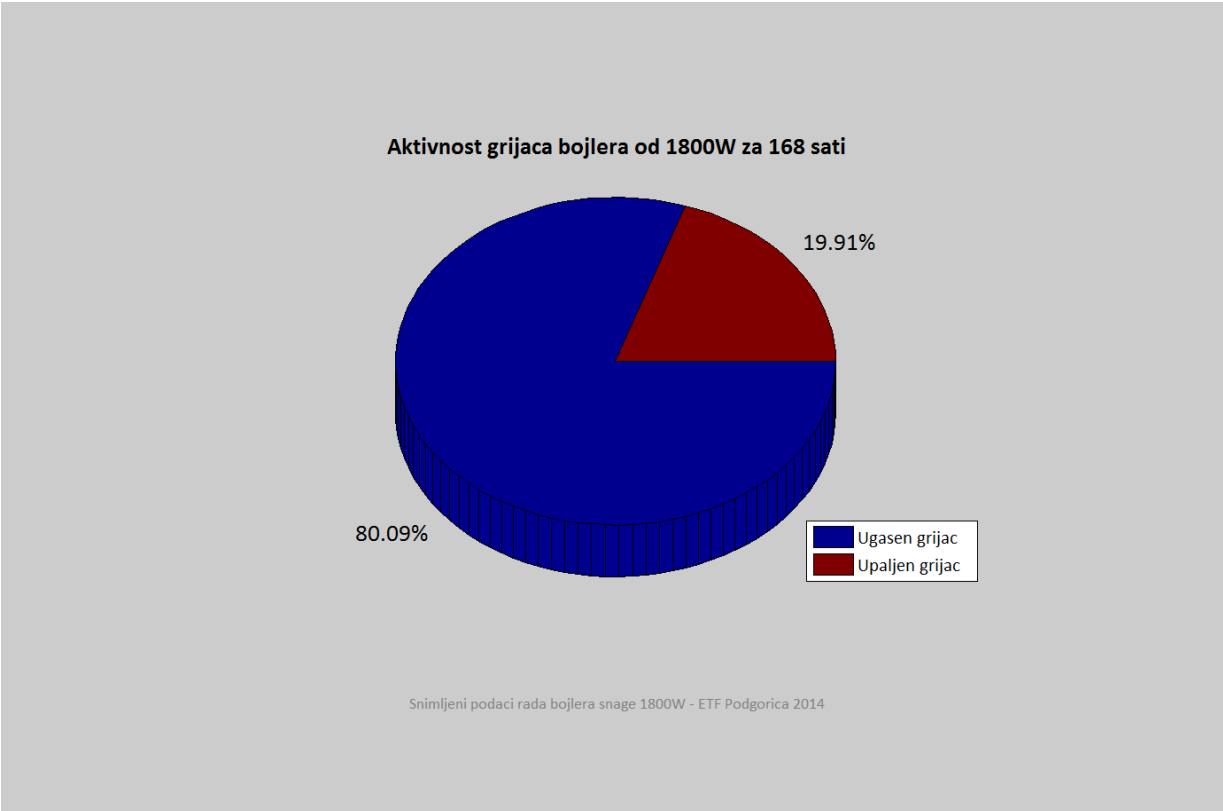
Na dijagramima je prikazana temperatura bojlera plavom bojom i temperatura ambijenta zelenom bojom. Crvenom bojom je prikazana aktivnost bojlera, odnosno kada je grijač aktivan. Na ordinati je prikazana temperatura u stepenima Celzijusovim, a na apscisi period od 24 časa.

U ovom dijelu su prikazana tri osnovna grafika, a ostali grafici se mogu pronaći u prilogu. U prilogu postoji još šest grafika za preostale dane u sedmici, kao i još dva grafika za osmo-časovne periode u jednom danu.

Slika 4.1 Dijagram rezultata za prvi dan



Slika 4.2 Dijagram rezultata za prvi osmo-časovni period u toku jednog dana



Slika 4.3 Dijagram rezultata aktivnosti bojlera tokom 168 sati (7 dana)

4.2. Preporuka

Na osnovu dobijenih rezultata, vidi se da u noćnom terminu, u periodu od 23 sata od 7 sati ujutru, nema potrebe za gašenjem bojlera. Jer bojler tokom tih sati radi svega 15 do 20 minuta. U slučaju da se bojler ugasi uveče i uključi u zadnji sat "jeftine tarife", cijena energije koju bi potrošio bi bila veća, nego da je ostao čitavo veče upaljen. Naravno ovo važi ukoliko se bojler koristi sa 60-80% svoje snage. A u vremenu kada se ne koristi za intezivno korišćenje(tuširanje,pranje sudova,itd.), poželjno je podesiti na snagu ispod 50%.

4.3. Uticaj kvaliteta termo-izolacije

Danas često prilikom odabira nekog kućnog uređaja, možemo primjetiti i naznaku koja nam govori o energetskoj efikasnosti tog uređaja. Klase energetske efikasnosti se kreću od G(nije efikasan), do A++(najviše efikasan). Kod bojlera, što je klasa veća, posjeduje se bolja i kvalitetnija izolacija, kao i „pametniji" način upravljanja. Od velike je važnosti da bojler ima kvalitetnu termo-izolaciju. Razlog za ovu tvrdnju, može se vidjeti i sa grafika. Bojler koji je imao dobru termo-izolaciju, imao je jako male toplotne gubitke kroz istu, odnosno odavao je malo toplote u spoljašnju sredinu. Zahvaljujući dobroj termo-izolaciji, i sama aktivnost grijača se smanjuje. Stoga odabir bojlera sa kvalitetnom termo-izolacijom je jedan od krupnih koraka u unaprijeđenju energetske efikasnosti u domaćinstvu.

4.4. Zaključak

U ovom radu je pokazan način prikupljanja i obrade podataka o potrošnji bojlera i njegove aktivnosti, kao i uticaja na potrošnju električne energije. Za prikupljanje je korišten snimač signala (akvizicioni modul) Velleman PCS10, a podaci su dalje obrađivani u MATLAB-u. Takođe, je prikazana realizacija uređaja za posredno mjerenje kvaliteta izolacije. Mjerač vremena je realizovan kao mikrokontrolerski sistem sa mogućnošću ispisa rezultata na LCD displeju. Na osnovu dobijenih rezultata izvedni su korisni zaključci koji će poslužiti unapređivanju energetske efikasnosti.

5. MJERAČ VREMENA RADA ELEKTRIČNOG UREĐAJA

U obrađenim i analiziranim rezultatima se pokazalo koliko je bitno da je energetska klasa uređaja visoka, a samim tim i njegova izolacija dobra, kako bi se smanjili troškovi električne energije u domaćinstvu. U tu svrhu je konstruisan ovakav uređaja koji omogućava da se dobije informacija o vremenu rada nekog potrošača. Takođe, posredno ga možemo korisiti za ocjenu izolacije nekog uređaja u domaćinstvu.

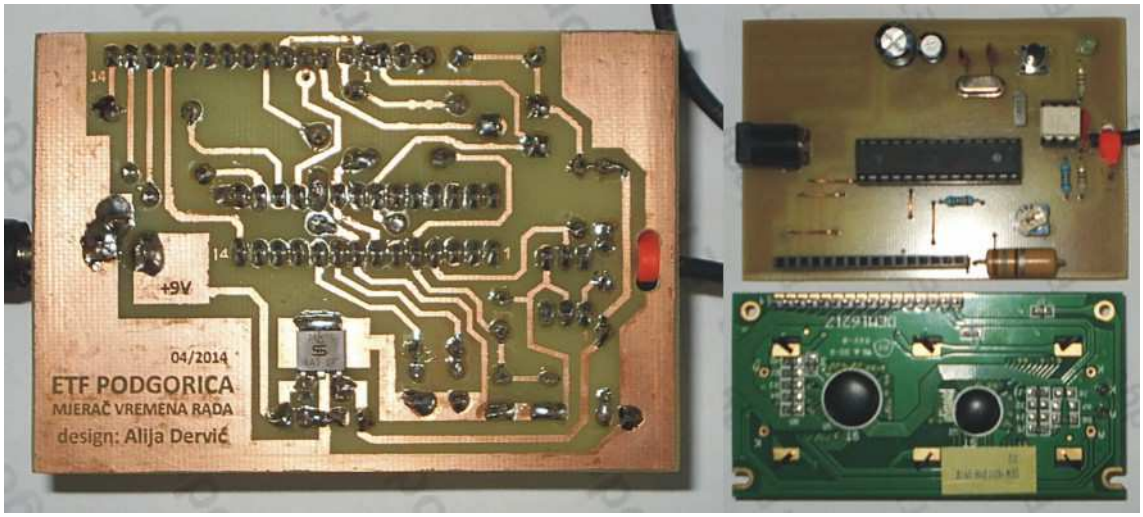
5.1. Opis

Za konstrukciju ovog uređaja korišten je Atmel-ov mikroprocesor ATMega8, LCD displej (16x2, sa Hitachi-ijevm procesorom), i foto-tranzistor kao ulazni senzor. Program za mikroprocesor je pisan u grafički orijentisanom programskom jeziku FlowCode. To znači, da je program pisan u formi algoritma, a kao izlazni fajlovi se dobijaju C kod i HEX kod. Foto-tranzistor je mikroprocesor povezan preko optokaplera, kako bi se spriječila neželjenja okidanja i izbjegla netačna mjerenja. Senzor se montira na tinjalicu potrošača (koja služi kao indikator da li je potrošač upaljen).

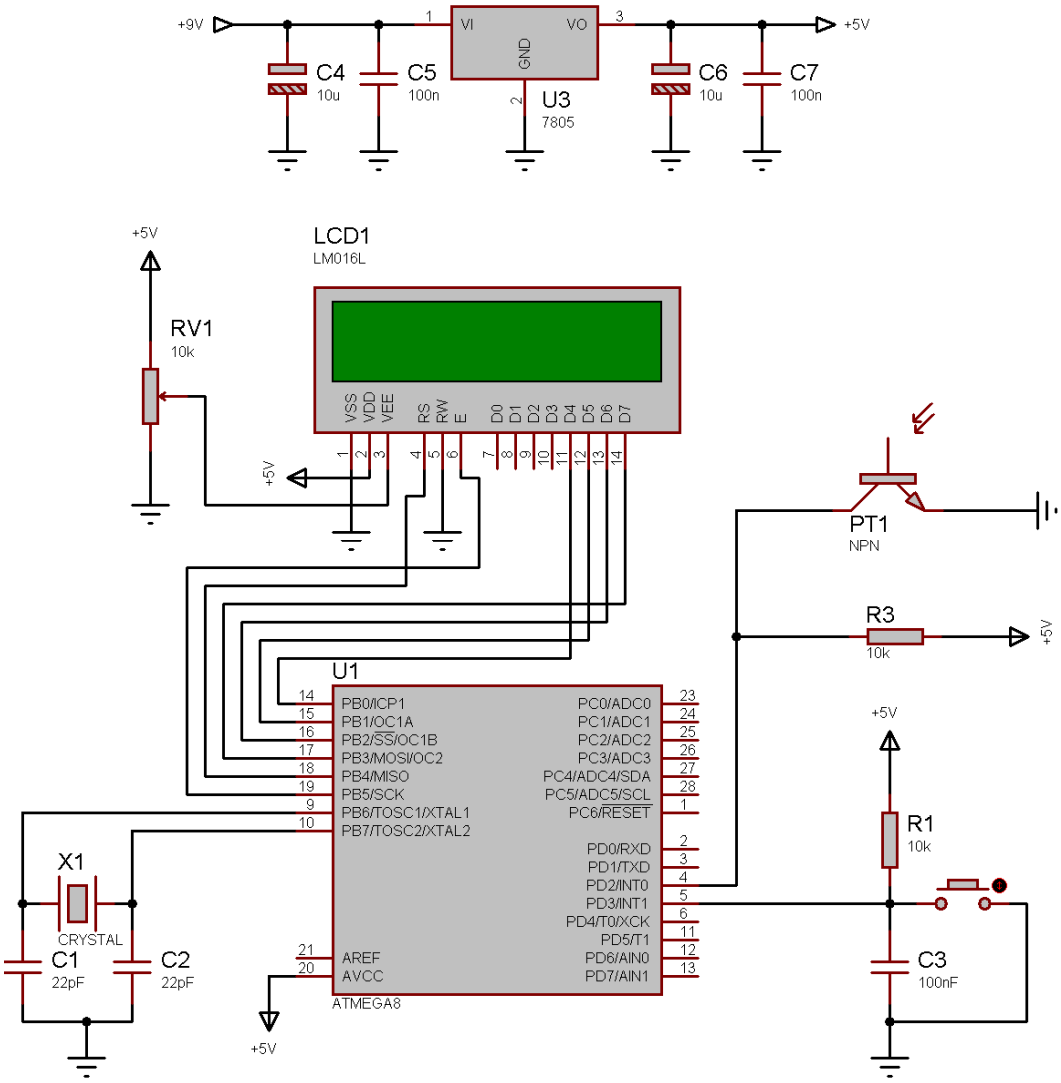
Kada se uređaj postavi na potrošač o kojem želimo da dobijemo potrebne informacije, pritiskom na dugme START, započinje proces mjerenja. Na dispjelu se ispisuje kumulativno vrijeme rada uređaja od momenta uključenja (sati,minuti,sekunde). Poslije isteka određenog vremenskog perioda, možemo suditi o efikasnosti takvog uređaja. Ukoliko podijelimo vrijeme rada, sa vremenom posmatranog perioda, dobićemo procenat rada tog potrošača.

U slučaju bojlera, u periodu od 23:00 do 07:00, bojler je radio svega 15 minuta, što možemo zaključiti da ima dobru izolaciju.

Slika 5.1 Uređaj koji se koristi za mjerenje vremena rada potrošača



Slika 5.2 Uređaj koji se koristi za mjerenje vremena rada potrošača, prikaz pojedinačnih komponenti i štampane pločice

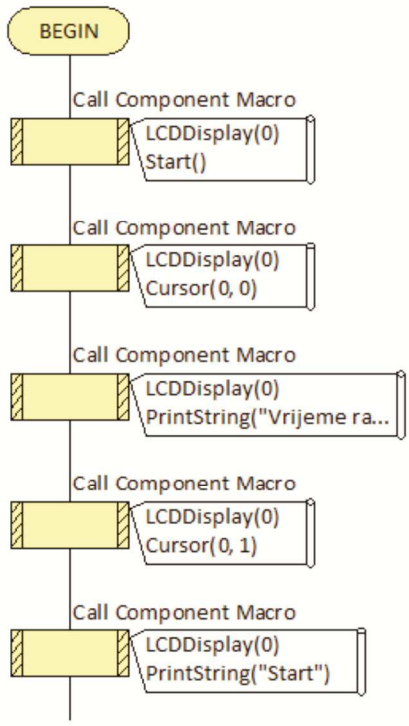


Šema elektronskog sklopa za mjerenje sati rada uređaja

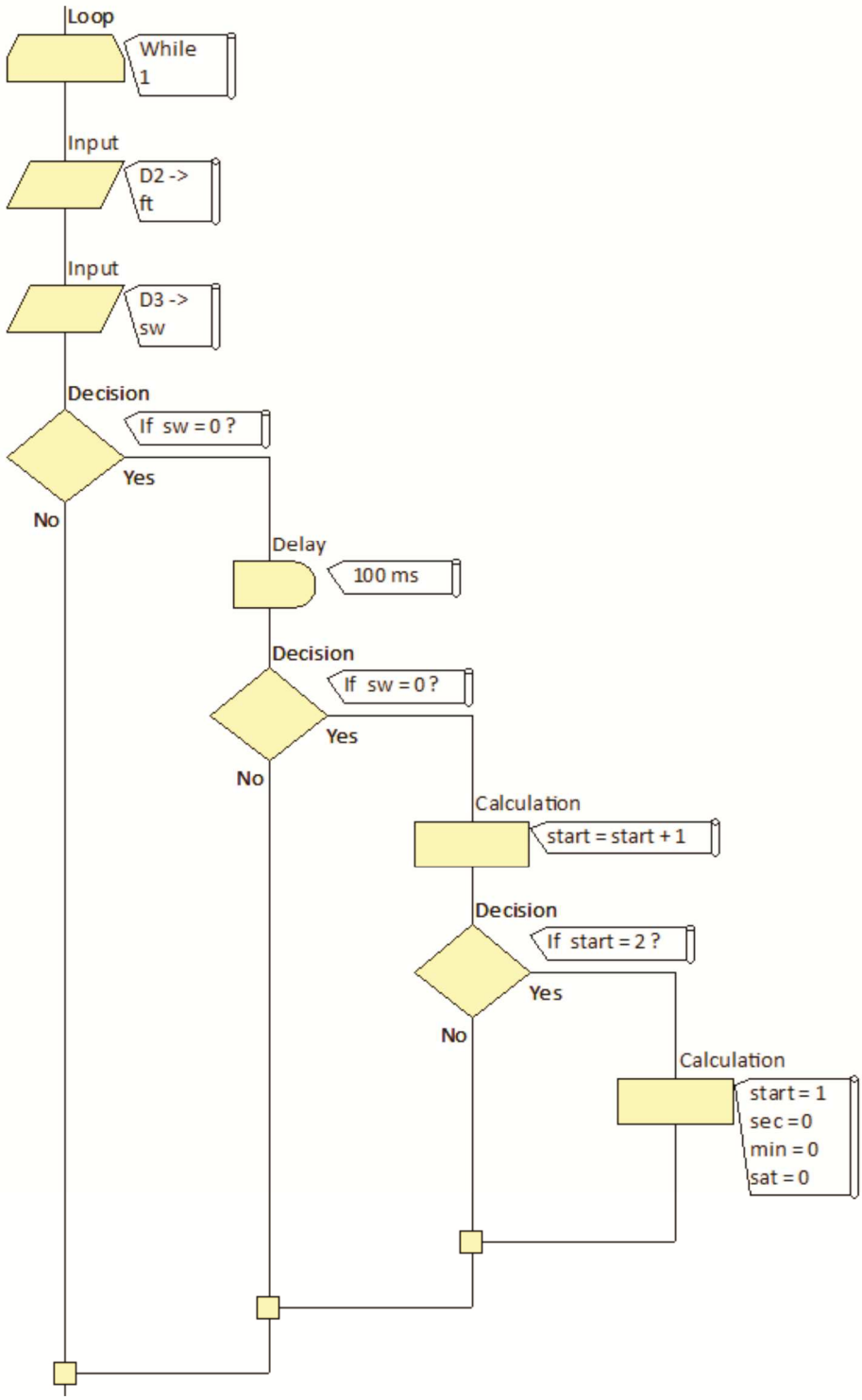
5.2. Algoritam

Program za mjerač vremena je pisan u grafički orijentisanom jeziku FlowCode-u. FlowCode omogućava razvijanje programa korištenjem standardnih blokova koji se koriste u algoritmima, kao i namjenskih blokova namjenjenih mikrokontrolerima. U sklopu namjenskih blokova, mogu se pronaći blokovi za komunikaciju sa LCD displejom, A/D konverziju, USB, I2C, CAN, GSM, GPS, WiFi komunikacione interfejse. U sklopu FlowCode-a nalazi se dio za simulaciju algoritma, kao i korak-po-korak traženje grešaka. FlowCode omogućava i kompajliranje koda u C jezik, kao i obavezno kreiranje HEX fajla. Ovakav način projektovanja mikrokontrolerskih sistema omogućava brži i efikasniji razvoj uređaja, kao i brži plasman na tržište. Takođe korsnik može kreirati svoje blokove i koristiti ih u kasnijem razvoju, slično kao i kod funkcija u C jeziku.

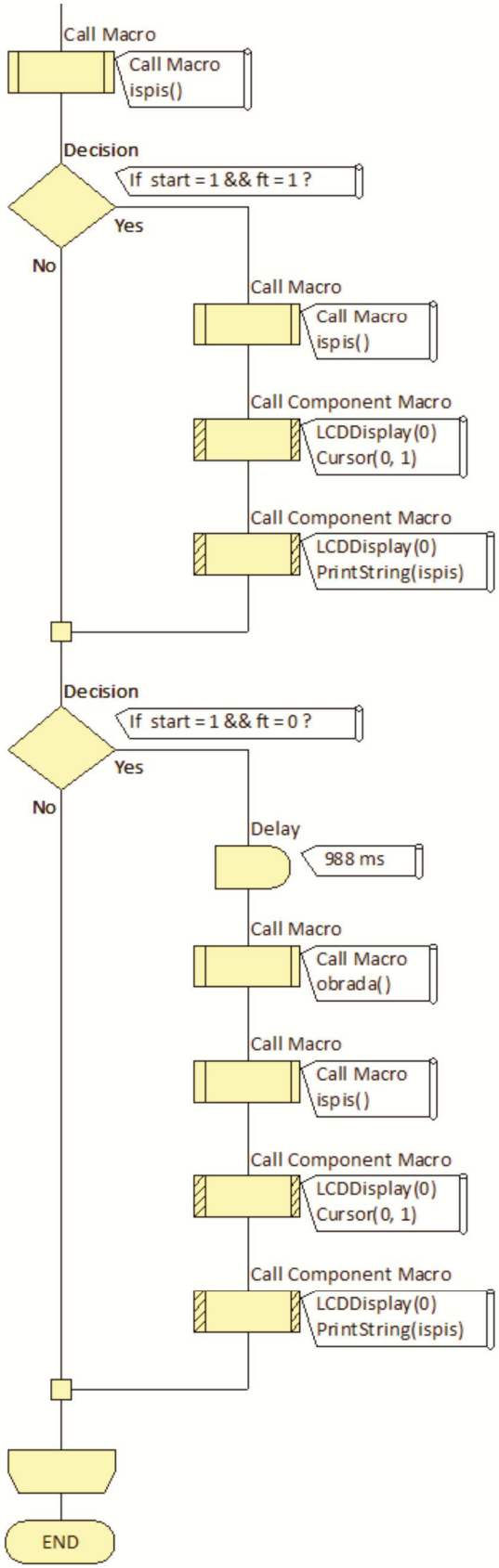
Ovdje je prikazan algoritam mjerača vremena, u kome se može vidjeti kako su pozivani neki ugrađeni blokovi, kao i konstrukciju i pozivanje korisnički definisanih blokova.



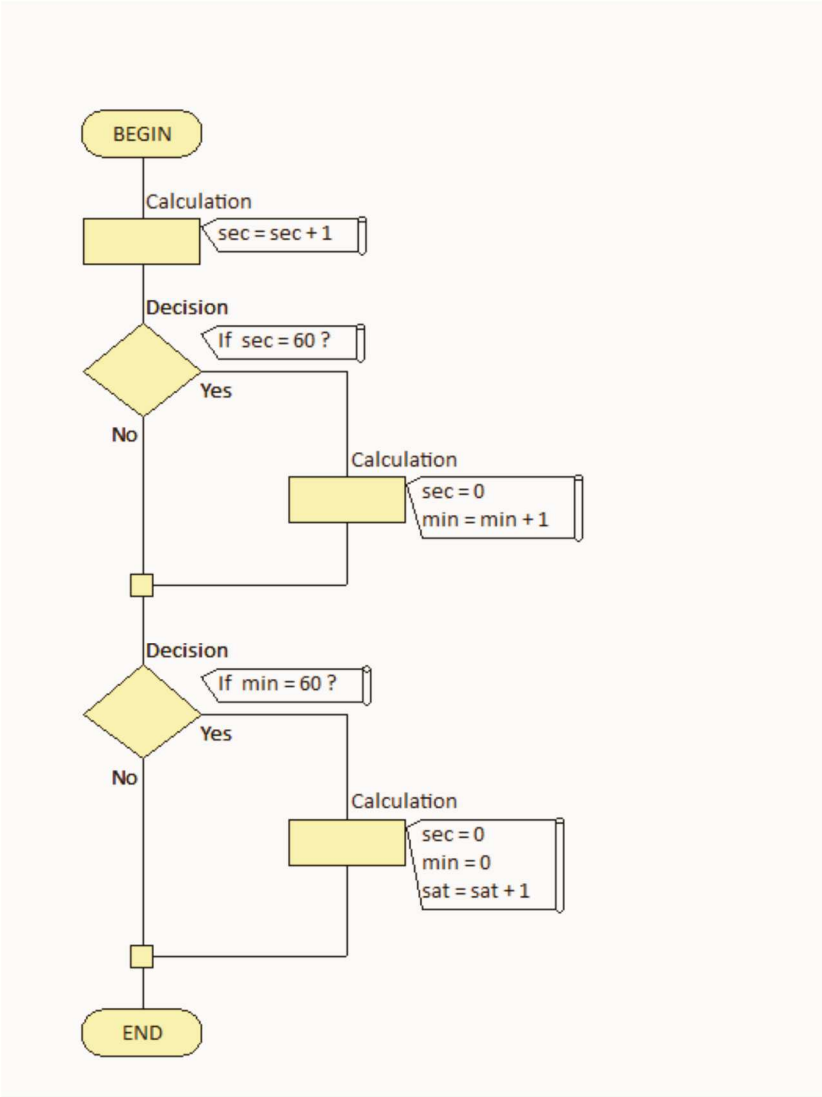
Algoritam – prvi dio

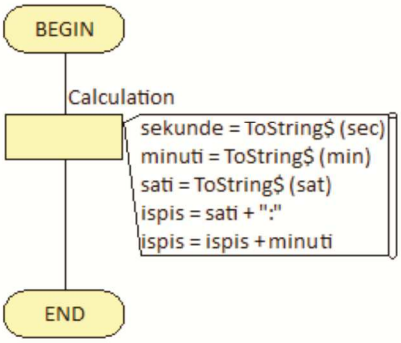


Algoritam – drugi dio



Algoritam – treći dio





Algoritam – četvrti dio

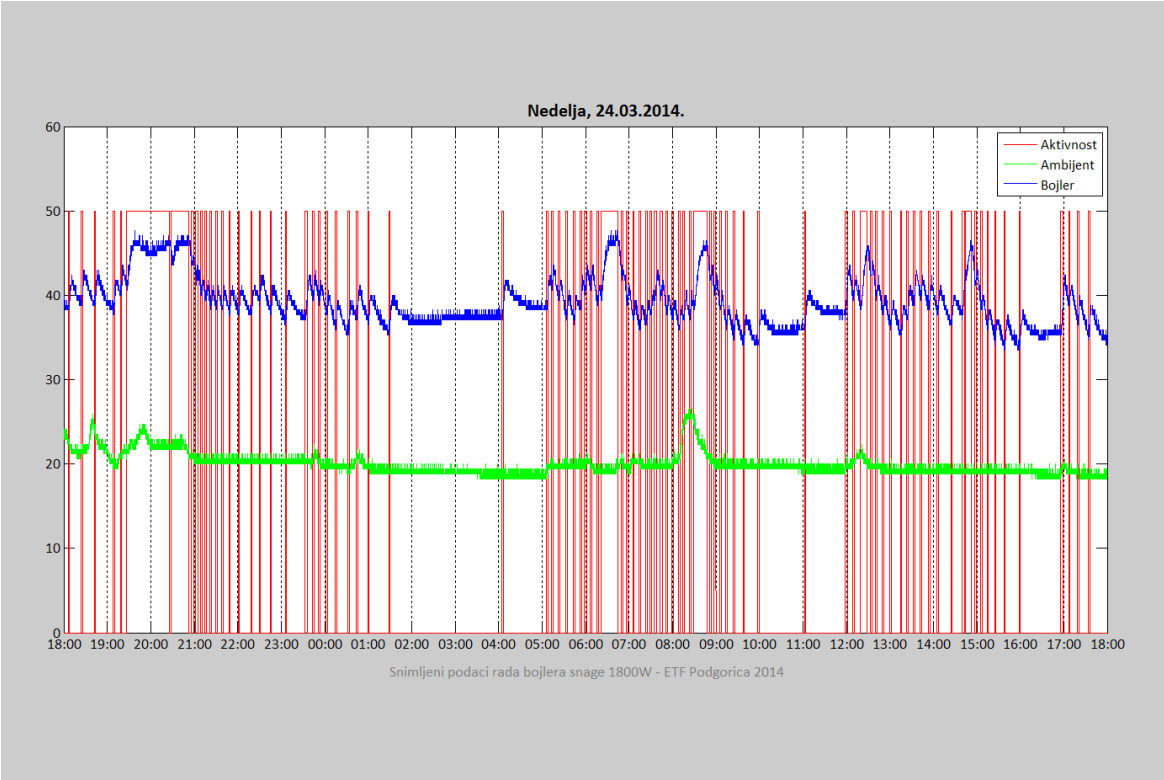
6. ZAKLJUČAK RADA

U ovom radu je pokazan način prikupljanja i obrade podataka o potrošnji bojlera i njegove aktivnosti i uticaja na potrošnju električne energije, kao i realizacija uređaja za posredno mjerenje kvaliteta izolacije. Informacija o potrebnoj temperaturi se dobijala preko analognih temperaturskih senzora. Potom je izvršena konverzija istih u digitalne, kako bi se podaci mogli čuvati i kasnije analizirati. Na osnovu dobijenih rezultata izvedni su neki korisni zaključci, koji će poslužiti unaprijeđivanju energetske efikasnosti. Uređajem za posredno mjerenje kvaliteta izolacije pokazano je kako se mikrokontrolerski sistemi mogu koristiti za različita mjerenja, kao i za unaprijeđenje energetske efikasnosti.

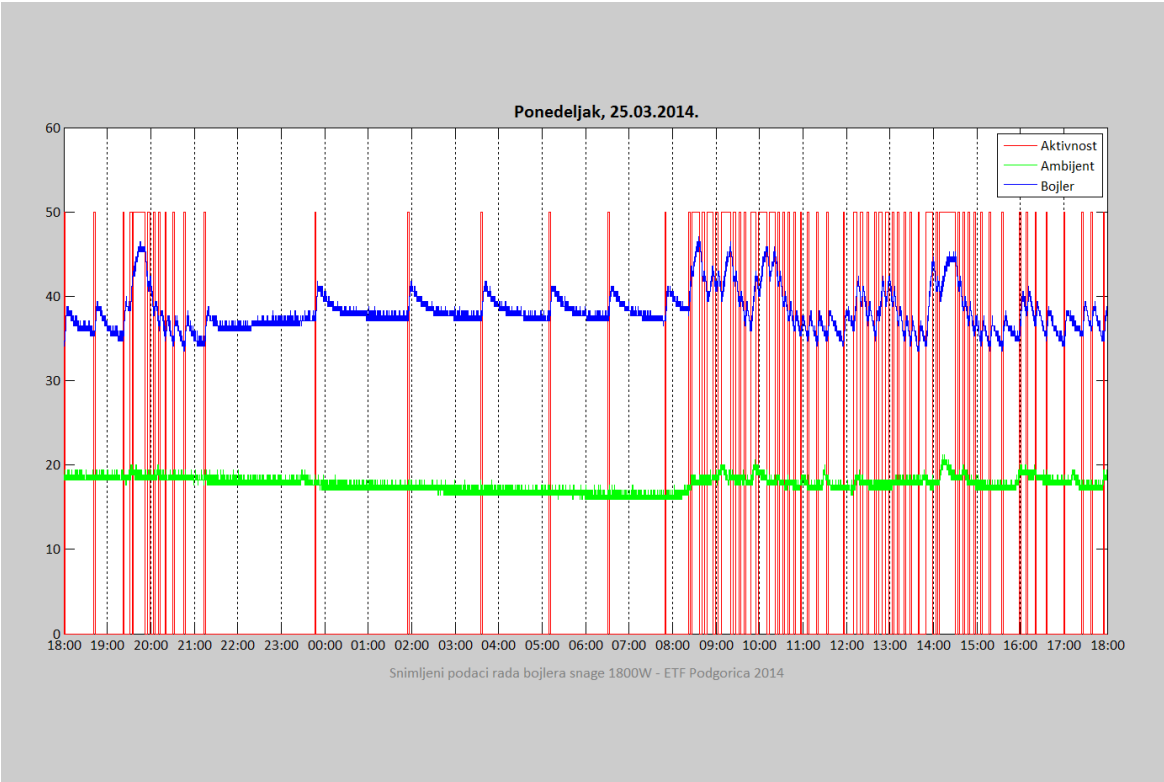
Ovaj rad se može posmatrati kao jedan doprinos energetskoj efikasnosti u domaćinstvu, sa prostorom za dalju optimizaciju i naprednija rješenja. U daljim istraživanjima moglo bi se pristupiti opširnijoj analizi bojlera sa boljom efikasnošću, kao i njihovim upoređivanjem. Kao jedna napredna realizacija, moguća je konstrukcija čitavog mjernog sistema, uključujući hardver i softver, koji bi analizirao energetsku efikasnost ne samo kućnih aparata, već i samih prostorija u kući i njihove izolacije.

Ovim naznakama, za budući razvoj opisanog sistema zaokružio bih izlaganje na temu doprinosa energetskoj efikasnosti u domaćinstvu.

PRILOG

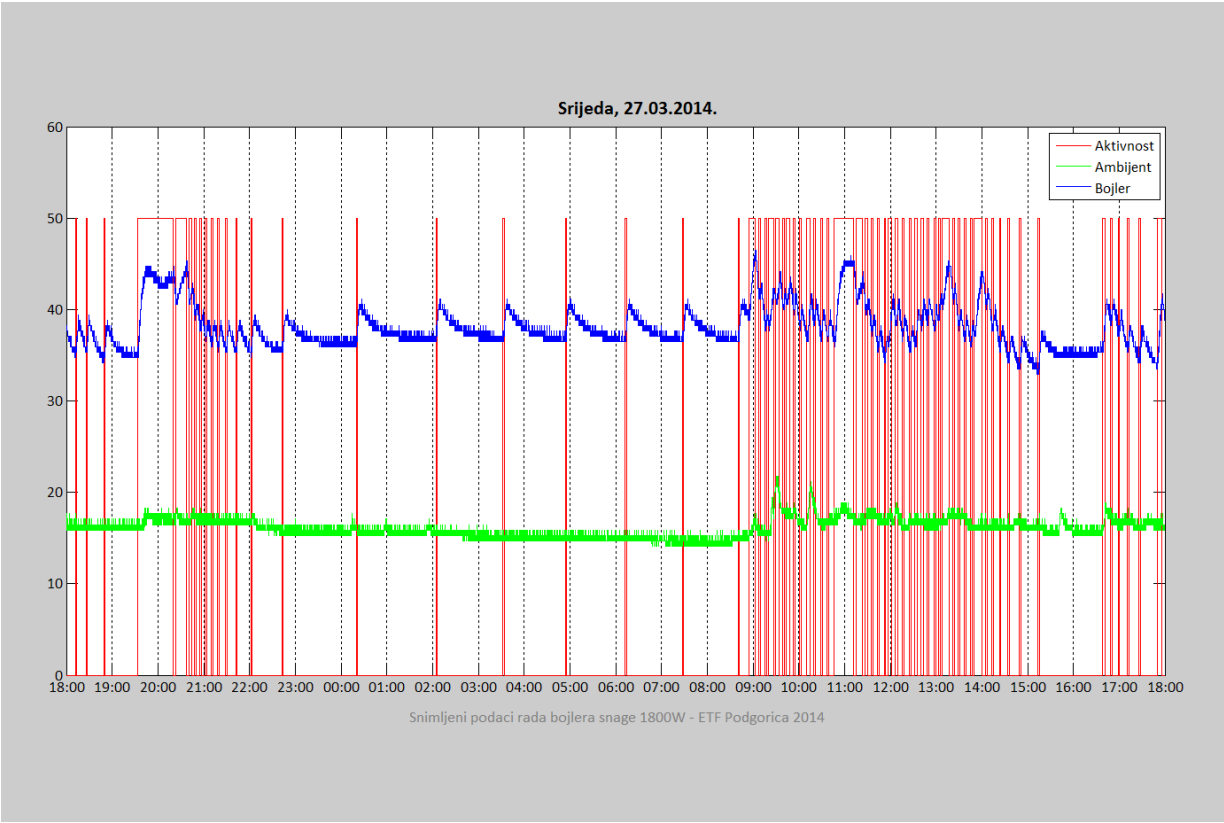


Prilog 1 - Dijagram rezultata za drugi dan

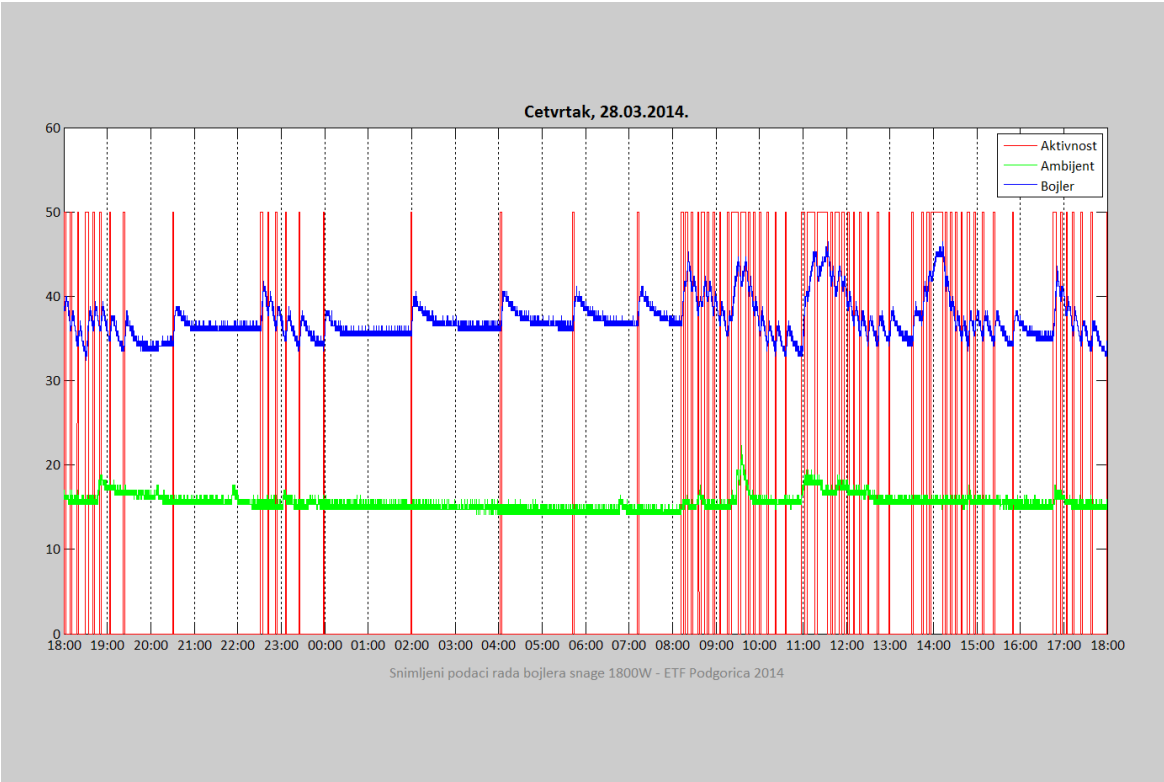


Prilog 2 - Dijagram rezultata za treći dan

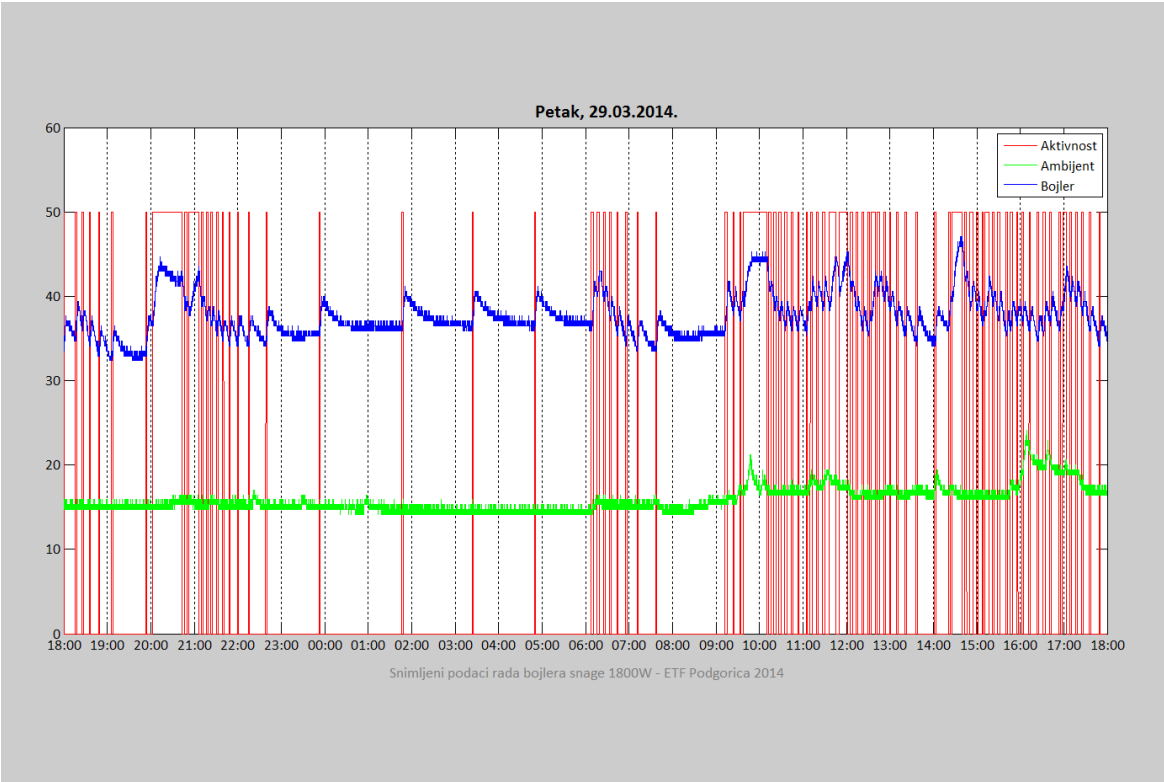
Prilog 3 - Dijagram rezultata za četvrti dan



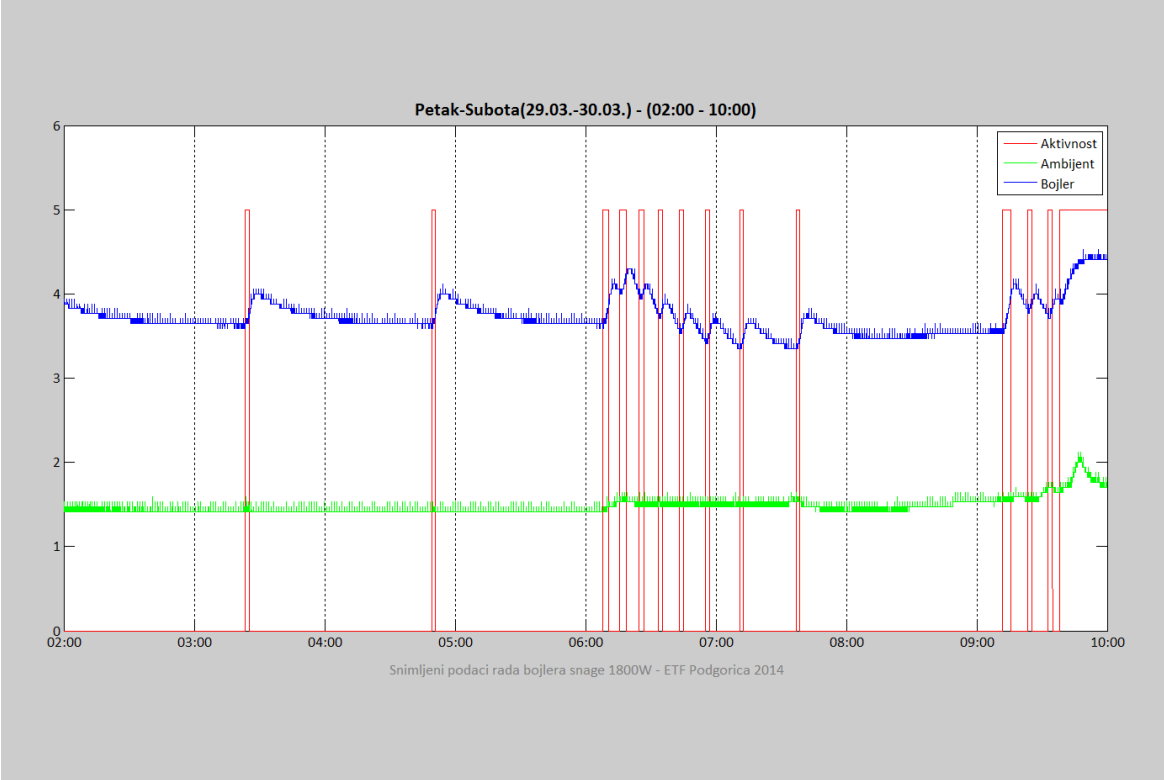
Prilog 4 - Dijagram rezultata za peti dan



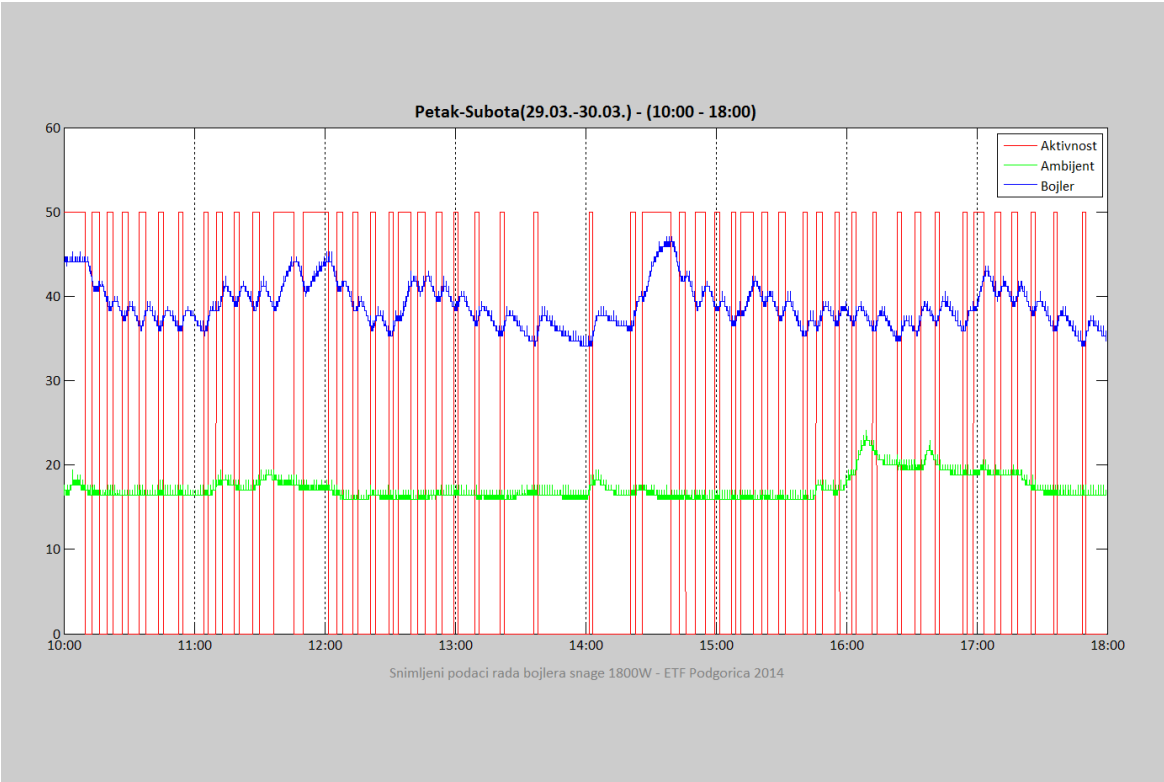
Prilog 5 - Dijagram rezultata za šesti dan



Prilog 6 - Dijagram rezultata za sedmi dan



Prilog 7 - Dijagram rezultata za drugi osmo-časovni period u toku jednog dana



Prilog 8 - Dijagram rezultata za treći osmo-časovni period u toku jednog dana

LITERATURA

1. Fizičko tehnička merenja, D.Stanković
2. Measurement systems, Ernest O. Doeblin
3. Experimental methods for engineers, J.P. Holman
4. Principles of measurement systems, J.P. Bentley
5. Industrial electronics, Thomas E. Kissel
6. http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8_l_datasheet.pdf
7. http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf
8. http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18S20.pdf
8. http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm158-n.pdf
9. http://www.matrixtsl.com/flowcode.php
10. http://www.labcenter.com/index.cfm
11. http://www.mathworks.com/
12. https://www.velleman.eu/downloads/0/user/usermanual_pcs10_k8047_uk.pdf
13. http://edis.ifas.ufl.edu/fy1025
14. http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/