

Sistem za merenje i regulaciju temperature u zamrzivačima za čuvanje Pfizer-BioNTech COVID-19 vakcine

Milan Šaš, *Student Member, IEEE*, Bojan Vujčić, *Member, IEEE* i Dragan Pejić, *Member, IEEE*

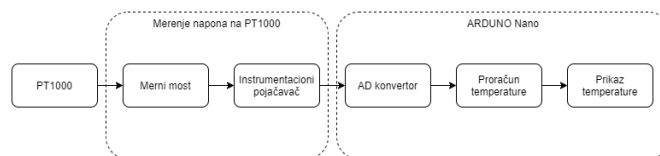
Apstrakt—U ovom radu biće prikazano rešenje za merenje i regulaciju temperature u zamrzivačima za čuvanje Pfizer-BioNTech COVID-19 vakcine na $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rad je baziran na Arduino Nano platformi koja se koristi za obradu podataka koje dobija iz kola koje meri napon na PT1000 senzoru temperature. Dalje, te podatke obrađuje i prikazuje na četvorocifrenom sedmosegmentnom displeju. Cilj rada jeste da se pokaže mogućnost projektovanja i implementiranja sistema za merenje i regulaciju temperature koja nije u standardnom opsegu merenja. Opseg temperature koji se ovim sistemom meri je od $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Cljučne reči—COVID-19, Pfizer-BioNTech, vakcina, merenje temperature, PT1000, INA122, Arduino Nano, merni most.

I. UVOD

U prethodnom vremenu smo svedoci posledica Covid-19 virusa koji je korenito promenio način života mnogih od nas i stavio zdravstvene sisteme svih zemalja na test. Kao rezultat razvoja tehnologije i medicine, koji prate jedan drugog u stopu, imamo vakcine za razne bolesti koje su iskorenjene u prošlosti. Sa pojavom novih vakcina protiv Covid-19 pojavila se nada da će i ova pošast proći što pre. Kompanije Pfizer (SAD) i BioNTech (Nemačka) [1] su razvile vakcinu protiv Covid-19 sa visokim stepenom efikasnosti ali i jednom manom: potrebno je čuvati vakcinu na $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ovo nije standarda temperatura za čuvanje vakcina pa je potrebno projektovati sistem za merenje i regulaciju koji omogućava transport vakcine na toj temperaturi kako bi ona došla u sve delove sveta.

Sistem koji je projektovan i koji će biti prikazan u ovom radu bavi se upravo ovim problemom ali ima za cilj da se ovaj problem reši tako da samo rešenje bude „low cost“ rešenje, kako bi moglo da se lako i jeftino primeni u praksi. Na slici 1 data je blok šema celog sistema.

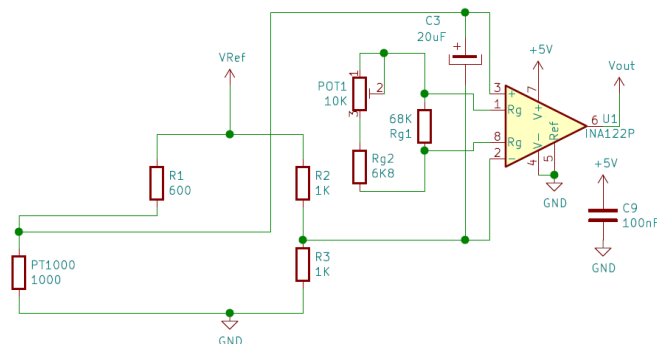


Sl. 1. Blok šema sistema

II. KOMPONENTE SISTEMA

A. Merenje temperature PT1000 sondom

Temperatura se meri pomoću PT1000 sonde [2], trožično, tako što se terminali sonde dovode u merni most i tada sonda postaje jedan od otpornika u mostu. Ostali otpornici su prilagođeni nameni ovog sistema. Pošto znamo da otpornost PT1000 na $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ iznosi $1000\ \Omega$ a na $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ iznosi $602.6\ \Omega$, te vrednosti su uzete kao vrednosti otpornika u mostu. Most se napaja sa 2.5 V (V_{ref}) a napon sa merne dijagonale se vodi na instrumentacioni pojačavač INA122 [3] koji napon iz mosta pretvara u napon u opsegu od 0 V do V_{ref} . Na slici 2 je dat prikaz mosta i instrumentacionog pojačavača.



Sl. 2. Merni most i instrumentacioni pojačavač [3]

Instrumentacioni pojačavač se napaja unipolarno sa 5 V a otpornik R_g , koji definiše pojačanje instrumentacionog pojačavača, ima otpornost od $67,2\text{ k}\Omega$. Kako bi dobili što približniju vrednost otpornika R_g koristi se trimmer od $10\text{ k}\Omega$ i dva otpornika od $68\text{ k}\Omega$ i $6,8\text{ k}\Omega$ koji su povezani kao što je prikazano na slici 2. Podešavanjem trimera imamo fino zadavanje otpornosti R_g . Dodatno, postavljeni su kondenzatori C_3 od 20 uF i C_9 od 100 nF koji se koriste za stabilisanje napona na ulazu instrumentacionog pojačavača i napona napajanja, respektivno.

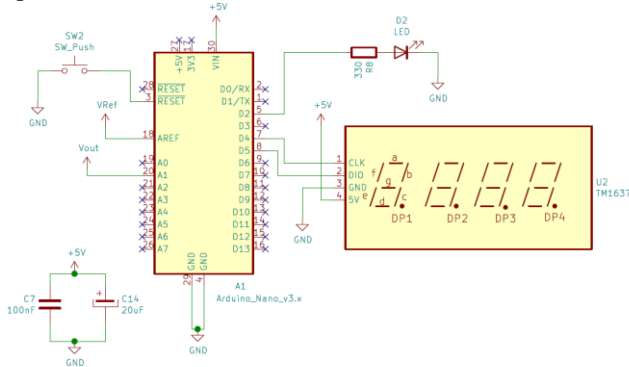
Milan Šaš - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (email: milansas@uns.ac.rs).

Bojan Vujčić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (email: bojanvuj@uns.ac.rs).

Dragan Pejić – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija (email: pejicdra@uns.ac.rs).

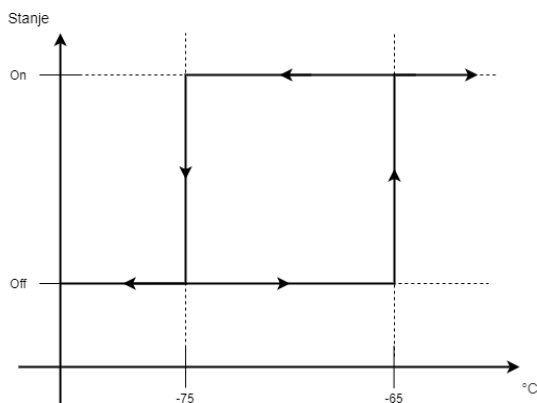
B. Arduino Nano i obrada podataka

Baza sistema je Arduino Nano [4] razvojno okruženje zbog niske cene, malih dimenzija i velike dostupnosti. Na slici 3 dat je izgled i povezivanje Arduino Nano sistema sa sedmosegmentnim displejom TM1637 [5] za prikaz temperature.



Sl. 3. Arduino Nano [4] i displej TM1637 [5]

Na analogni ulaz A1 se dovodi izlaz iz instrumentacionog pojačavača. Takođe, koristi se mogućnost zadavanja referentnog napona za AD konvertor i na AREF pin Arduino Nano sistema dovodi se napon V_{ref} kojim se, ujedno, napaja merni most. Kako bi imali mogućnost resetovanja sistema povezan je taster između GND i RESET pina Arduina. Kako bi ostvarili regulaciju temperature, pin D2 je postavljen kao izlazni i na njega povezana crvena LED koja daje informaciju o radu kompresora ili nekog drugog uređaja koji može da snizi temperaturu u objektu. Realizovano je histerezisno upravljanje tako što su u kodu koji se nalazi na Arduinu postavljene granice histerezisa na $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kada se temperatura popne iznad $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ izlaz D2 na Arduinu će preći u visoko stanje. Kada temperatura padne ispod $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ izlaz D2 na Arduinu će preći u nisko stanje. Na slici 4 je dat izgled histerezisa prema kome se vrši upravljanje, odnosno kako se menja stanje na pinu D2.



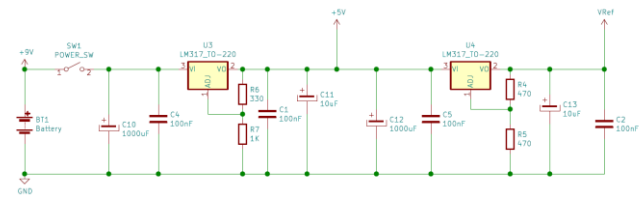
Sl. 4. Histerezis

Na Arduinu je implementiran algoritam koji vrši očitavanje

pina A1 tako što izvodi AD konverziju. AD konvertor koji je sastavni deo Arduino platforme je 10-bitni pa ceo opseg merene temperature dobijamo u opsegu od 0 do 1023. Kada se izvrši AD konverzija potrebno je prebaciti dobijenu vrednost AD konverzije u temperaturu. Više o formuli koja vrši to pretvaranje biće rečeno u sledećem odeljku. Primenom formule dobijamo vrednost temperature u $^{\circ}\text{C}$ koja se prikazuje na četvorocifrenom sedmosegmentnom displeju koji je sa dve linije povezan sa Arduinom. Pin CLK je povezan na pin D4 a pin DIO je povezan na D5. Kako bi rad sa ovim displejom bio olakšan koristi se Arduino biblioteka istog imena kao i dispelj.

C. Napajanje

Napajanje uređaja je projektovano tako da možemo koristiti izvod od 9 V DC, najčešće baterija ili drugi tip izvoda DC napona. Na slici 5 je data šema napajanja.



Sl. 5. Napajanje uređaja

Potrebno je postići dva naponska nivoa, od 5 V i 2.5 V, a to postizemo tako što koristimo dva LM317 [6] naponska regulatora konfigurisana tako da nam daju prethodno pomenute naponske nivoe. Nivo od 5 V se koristi za napajanje instrumentacionog pojačavača, Arduina i displeja a nivo od 2.5 V se koristi kao referenca za AD konvertor i napajanje mernog mosta. Ovde je bitno da se most napaja sa istom referencom koja se dovodi na AD konvertor kako bi dobili racionometrijsko merenje.

III. OBRADA PODATAKA

Iz tabele otpornosti za senzor PT1000 možemo videti da njegova otpornost na $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ iznosi $1000\ \Omega$ a na $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ iznosi $602.6\ \Omega$. Kako što je rečeno u prethodnom odeljku, ove vrednosti su uzete kao vrednosti otpornika u mostu. Sada nam je bitna zavisnost otpornosti od temperature. Postoje dva pristupa rešavanju ovog problema. Prvi pristup jeste da prvo gledamo zavisnost otpora od temperature na senzoru, posle toga da gledamo zavisnost napona u mostu od promene otpora i na kraju da gledamo zavisnost rezultata AD konverzije od promene napona. Pošto je ovo previše komplikovano za naše potrebe mi smo se odlučili za drugačiji pristup ovom problemu i direktno smo posmatrali zavisnost rezultata AD konverzije od temperature. Kolo je sastavljeno i spremno za prvo testiranje. Pošto nismo u mogućnosti da postignemo temperaturu od $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ morali smo da simuliramo otpornost koju bi dobili na temperaturama u već pomenutom opsegu. Otpornost smo simulirali dekadnom kutijom MA 2115 proizvođača Metrel [7], prikazanu na slici 6.

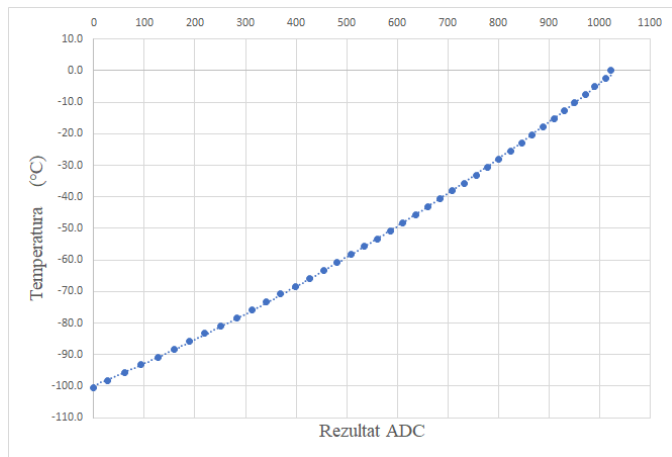
IV. IZRADA UREĐAJA

Kada smo testirali sistem i utvrdili da zadovoljava naše kriterijume prešli smo na izradu samog uređaja. Projektovanje PCB-a je rađeno u program KiCad [8] a jedno od mogućih rešenja PCB-a je prikazano na slikama 7 i 8:



Sl. 6. Otporna dekada MA 2115 [7]

U kolo je povezana dekada i sada smo spremni za merenje. Procedura je sledeća: dekadu postavimo na otpornost od 600 Ω i povećavamo je do 1000 Ω u koracima od 10 Ω a zapisujemo rezultat AD konverzije. Rezultat ovog merenja je dat na grafiku 1:

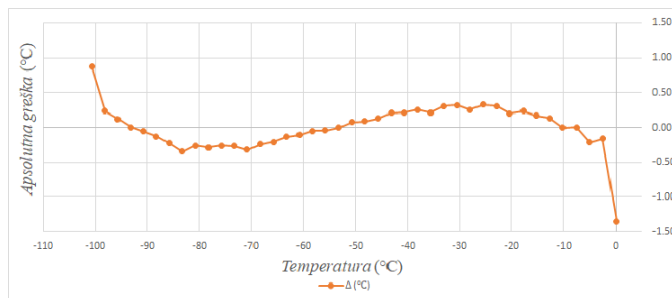


Gr. 1. Zavisnost rezultata AD konverzije od temperature

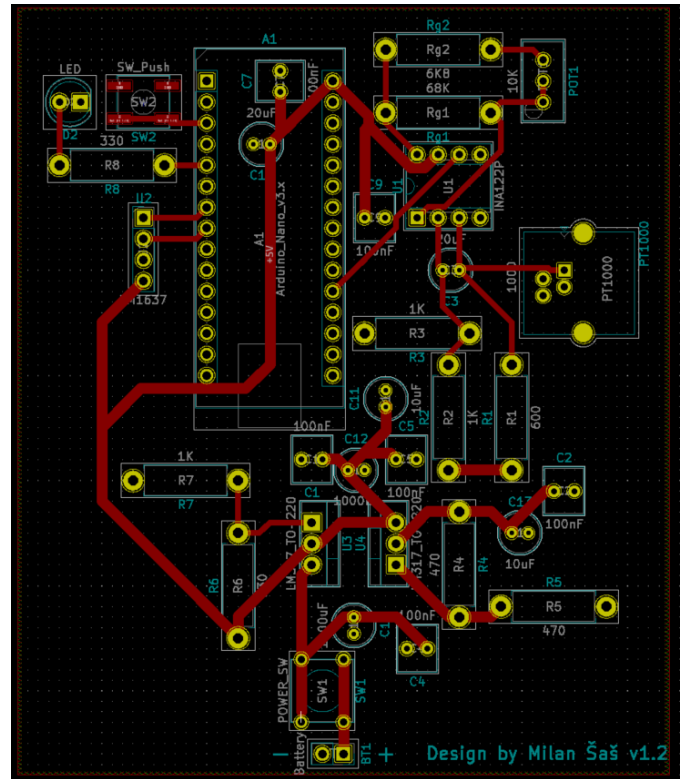
Apromksimiranjem prikazane zavisnosti kvadratnom jednačinom dobijamo jednačinu (1):

$$\text{Temperatura}(\text{°C}) = 28,536 * 10^{-5} * \text{ADC}^2 + 0,067041 * \text{ADC} - 99,756 \quad (1)$$

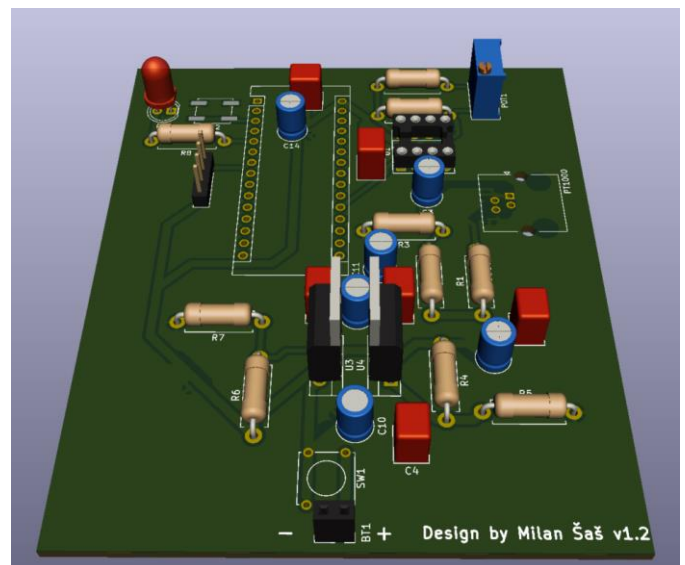
Ovo je jednačina koja je deo algoritma u Arduinu i na osnovu koje dobijemo vrednost temperature. Ukoliko se porede izmerene vrednosti sa zvaničnom tabelom senzora PT1000 možemo da vidimo da apsolutna greška ne prelazi 0.5 °C, ako zanemarimo krajeve opsega. Analiza apsolutne greške je data na grafiku 2.



Gr. 2. Apsolutna greška merenja temperature



Sl. 7. PCB izgled



Sl. 8. PCB izgled 3D

Konačni izgled uređaja je dat na slici 9:



Sl. 9. Izgled samog uređaja (levo) i uređaj povezan na dekadnu kutiju (desno)

V. ZAKLJUČAK

Na kraju rada možemo zaključiti da je sistem uspešno realizovan i da zadovoljava prvobitno planirane potrebe. Sam sistem se može primeniti i u drugim poljima rada gde je potrebno meriti i regulisati temperaturu u datom opsegu, kao što je transport zamrznute ribe i morskih plodova sa primorja u kontinentalne krajeve kako bi se ta riba servirala sveža u suši barovima i ostalim restoranima. Zanimljivo je primetiti da pojava samozagrevanja koji se javlja kod PT100 i PT1000 senzora ovde ne predstavlja problem zato što samozagrevanje doprinosi rastu temperature i imamo ranije aktiviranje releja koji dalje uključuje uređaj koji snižava temperaturu pa ovde možemo da kažemo da za samozagrevanje važi rečenica: *"It's not a bug, it's a feature"*. Uređaju je dato ime ŠVP-21 u čast svih autora ovog rada. Dalji planovi podrazumevaju unapređenje postojećeg sistema kako bi se smanjila greška u krajevima opsega kao i greška na čitavom opsegu merenja temperature. Za samu regulaciju greška na krajevima opsega ne pravi problem, ukoliko bi želeli manju grešku možemo uzeti polinom višeg stepena. Takođe, dalji planovi podrazumevaju i testiranje uređaja u nekom od temperaturnih kupatila laboratorije za metrologiju na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu.

LITERATURA

- [1] Pfizer, "PFIZER-BIONTECH COVID-19 VACCINE," [Online]. Available: <https://www.pfizer.com/products/product-detail/pfizer-biontech-covid-19-vaccine>.
- [2] K. M. AS. [Online]. Available: https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/tsiec751_ce.pdf.
- [3] T. Instruments, "Literature," [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina122.pdf>.
- [4] Arduino. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>.
- [5] D. cafe, "TM1637 datasheet," [Online]. Available: <http://www.datasheetcafe.com/tm1637-datasheet-pdf/>.
- [6] STMicroelectronics. [Online]. Available: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lm317.pdf>.
- [7] Mertel, "MA 2115 and MA 2115 S Decade resistors," [Online]. Available: <https://www.metrel.si/en/shop/LABS/ma-2115-and-ma-2115-s-decade-resistors.html>.
- [8] KiCad, "Home page," [Online]. Available: <https://www.kicad.org>.

ABSTRACT

This paper will present a solution for measuring and regulating the temperature in Pfizer-BioNTech COVID-19 vaccine freezers at $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. The work is based on the Arduino Nano platform used to process the data obtained from the circuit that measures the voltage on the PT1000 temperature sensor. Further, it processes and displays this data on a four-digit seven-segment display. The aim of this paper is to show the possibility of designing and implementing a system for measuring and regulating temperature that is not in the standard measuring range. The temperature range measured by this system is from $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Temperature measurement and control system in Pfizer-BioNTech COVID-19 vaccine freezers

Milan Šaš, Bojan Vujčić, Dragan Pejić