

Projektovanje mernog pretvarača sa senzorom temperature Pt1000

Andrea Josipović, Platon Sovilj, Đorđe Novaković

Apstrakt— U ovom radu predstavljen je postupak projektovanja mernog pretvarača sa senzorom temperature Pt1000. Urađena je projektantska analiza u programu LTSpice, a potom i projektovanje električne šeme i štampane ploče u programu KiCad.

Ključne reči—senzor temperature; otpornost; napon; projektovanje; šema; KiCad; LTSpice.

I. UVOD

Temperatura je jedan od glavnih i neizostavnih faktora u većini industrija i oblasti danas. Počevši od merenja i kontrole temperature u elektroindustriji, prehrambenoj industriji, gasnoj, farmaceutskoj... U pomenutim je primena višestruka: primenjuje se u procesu testiranja materijala, kalibraciji, sušenju, održavanju željenih temperatura, kao i u mnogim drugim oblastima. Jedan od uređaja koji može da vrši sve navedeno jeste RTD (Resistance Temperature Detectors). U poređenju sa ostalim senzorima temperature izdvajaju se po svojoj tačnosti. Dodatno, stabilnost, ponovljivost i otpornost na smetnje/šumove ih takođe karakteriše. Kao i u svakoj oblasti gde se primenjuje, od najvećeg je značaja da temperatura koju RTD senzor meri bude identična ili što približnija pravoj temperaturi. Stoga, napredak tehnologije, pa i senzora temperature to omogućuju. Sa biomedicinske strane gledišta, napredak ima veliki uticaj na svakodnevnu medicinsku praksu. Primena se ogleda u:

- Monitoringu pacijenata
- Imaging metodama
- Procesu dijalize
- Inkubatori
- Sterilizacija medicinske opreme i mnoge druge

Bitno je napomenuti da pored pomenutog senzora postoje i drugi kojima se može meriti temperatura na određeni način i da je optimalna primena zavisna od slučaja do slučaja.

II. Pt1000

RTD senzor temperature koji je korišćen u ovom radu jeste Pt1000. Sam senzor sadrži otpornost, koja se sa promenom temperature menja i čiji će princip rada biti objašnjen.

Andrea Josipović – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21 000, Novi Sad, Srbija (email:andrea.joispovich@gmail.com)

Đorđe Novaković - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21 000, Novi Sad, Srbija (email:djordjenovakovic@uns.ac.rs)

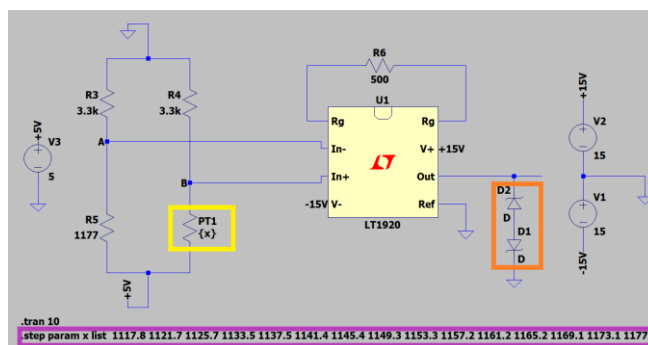
Platon Sovilj - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21 000, Novi Sad, Srbija (email:platon@uns.ac.rs)

Sam naziv ukazuje na dve informacije o senzoru:

- Pt – znači da je detektor konstruisan od materijala platine koju karakteriše gotovo linearna zavisnost temperature i otpornosti čak i u slučajevima velikih temperaturnih opsega.
- 1000 – odnosi se na otpornost otpornika u Ω na 0 $^{\circ}\text{C}$.

Polazna motivacija realizacije ovog senzora za merenje telesne temperature je njegova izražena linearnost. Pojavom Pt1000 proširena je primena pretvarača senzora temperature. Postoji i njegov prethodnik Pt100, koji ima svoje specifičnosti, i u zavisnosti od potreba se odlučuje koji će se koristiti.

A. PT1000 – LTSpice

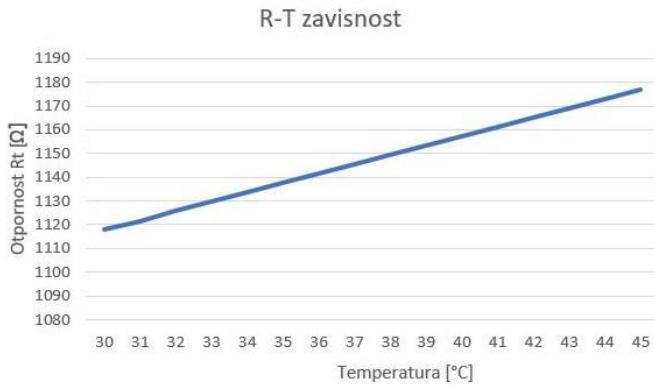


Sl. 1. Šema Pt1000 U LTSpice-u.

Kao što se može videti na Sl. 1, Pt1000 senzor je uokviren fluorescentnom bojom. To je jedini senzor u ovoj šemi čija se otpornost menja (u zavisnosti od temperature). Na osnovu liste koja je definisana na delu slike Sl. 1. ljubičastom bojom, predstavljene su vrednosti otpornosti koje će imati Pt1000 senzor na temperaturi od 30 $^{\circ}\text{C}$ do 45 $^{\circ}\text{C}$, sa korakom 1 $^{\circ}\text{C}$. Budući da je primena ovog senzora u projektu namenjena za merenje telesne temperature, u opseg su uzete vrednosti od 30 $^{\circ}\text{C}$ do 45 $^{\circ}\text{C}$. Iz tabele R-T za Pt1000 kojoj se može pristupiti preko linka iz odeljka „Literatura“ ([7]) su preuzete potrebne vrednosti i provlačenjem polinomijalne funkcije određena je sledeća jednačina:

$$R_t = R_0 (1 + 3,90802 \cdot 10^{-3} T + 5,802 \cdot 10^{-7} T^2) \quad [\Omega] \quad (1)$$

Gde R_0 ima vrednost od 1000 Ω , a T e [30, 45].



Sl. 2. R-T zavisnost Pt1000.

Sa Sl. 2 se jasno vidi da se sa povećanjem temperature povećava i otpornost.

LT1920 je instrumentacioni pojačavač koji na osnovu vrednosti otpornika Rt (koji je jedini promenljiv, a ostali konstantni) i na osnovu pojačanja RG na izlazu daje određenu vrednost napona. Vrednosti otpornika čije su vrednosti nepromenljive su postavljene tako da zajedno sa Rt i RG na izlazu rezultuju naponima u opsegu od 0 V do 5 V. Izlazni napon u funkciji otpornosti Pt1000 sonde dat je:

$$V_{out} = G V_{cc} (R3/(R5 + R3) - R4/(R4 + PT1)) \quad (2)$$

G predstavlja pojačanje instrumentacionog pojačavača i računa se na sledeći način:

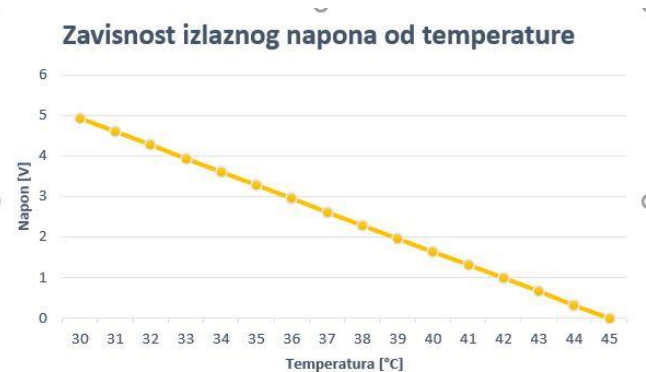
$$G = ((49.4 \text{ k}\Omega)/R_G) + 1 \quad (3)$$

Odnosno,

$$R_G = (49.4 \text{ k}\Omega)/((G - 1)) \quad (4)$$

Za potrebe merenja temperature u opsegu od 30 °C do 45 °C, izračunate su vrednosti fiksnih otpornika u kolu tako da se izlazni napon nalazi u opsegu od 0 V do 5 V. Vrednosti izračunatih otpornika su:

- R3 = R4 = 3.3 kΩ
- R5 = 1177 Ω
- RG = 500 Ω



Sl. 3. Izlazni napon od 0 V do 5 V.

U narednoj tabeli će za kraj vrednosti parametara biti prikazana tačna zavisnost vrednosti napona od vrednosti otpornika PT1, pa i temperature.

T[°C]	PT1 [Ω]	Vout [V]
30	1117.8	4.938
31	1121.7	4.609
32	1125.7	4.272
33	1129.6	3.943
34	1133.5	3.616
35	1137.5	3.280
36	1141.4	2.954
37	1145.4	2.619
38	1149.3	2.294
39	1153.3	1.961
40	1157.2	1.637
41	1161.2	1.305
42	1165.2	0.973
43	1169.1	0.651
44	1173.1	0.321
45	1177	0

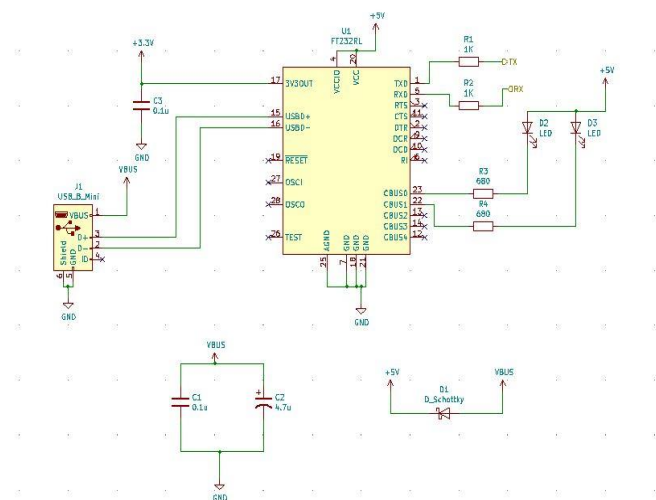
Tabela 1. Zavisnost napona od temperature/otpornosti.

Dodatno, narandžasto uokvireno na slici 1 je komponenta koja se sastoji od dve Zener diode koje štite od prenapona (vrednosti ispod 0 V i većih od 5 V).

III. ŠEMA UREĐAJA

Šema je crtana u KiCad aplikaciji na hijerarhijski način. To podrazumeva da je svaka smisljena celina nacrtana u okviru jedne hijerarhije, te da su sve konekcije sa drugim hijerarhijama omogućene pomoću *hijerarhijskih labela*. Postoje 4 hijerarhije u šemi koje će biti opisane u daljem tekstu.

A. FTDI kolo za komunikaciju



Sl. 4. Šema FT232RL.

UART je protokol za serijsku komunikaciju za prenos podataka i komunikaciju sa računarem. Sam prenos je omogućen zahvaljujući linijama RX (Receive) i TX (Transmit), odnosno primanje i slanje podataka. Ove linije su pomoću hijerarhijskih labela uspostavile prenos između

FT232RL i MCU sa racunarom. Na linijama se nalazi i otpornik, otpornosti 1 k Ω , koji služi da ograniči struju ukoliko negde dođe do kratkog spoja (da ne bi odjednom velika struja prošla kroz tu liniju).

FT232RL je translator, spona između UART i USB protokola, koji translira UART na USB.

USB komunikacija je diferencijalna komunikacija, odnosno vode se dve linije na kojima se prenosi signal kako bi se uspostavila veća otpornost na smetnje jer se mogu dostići jako velike brzine prenosa. Zahvaljujući USB-u se signal sa RX i TX linije prenosi na D+ i D- liniju (15. i 16. pin).

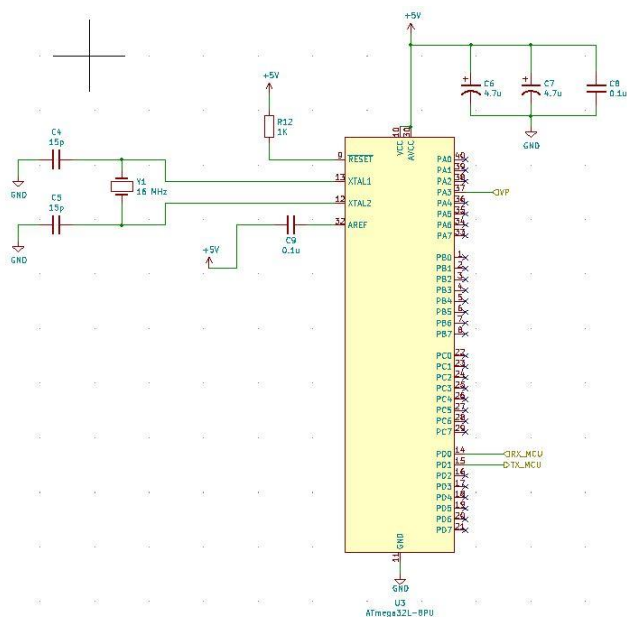
Diode na pinovima 22 i 23 se aktiviraju svaki put kada se nešto šalje ili prima i korisne su da se uoči fizički aktivnost prenosa ili za debugovanje. Kada se na CBUS0 ili CBUS1 pojave nule, diode će se aktivirati.

USB_B_Mini je konektor, a za komunikaciju koristi kabl sa četiri žice od kojih 2 služe za prenos podataka, a 2 za napajanje.

VUSB je filtar koji se povezuje na napajanje USB-a.

Kolo na kom se nalazi Šotki dioda se koristi kada se dovede na USB napajanje VBUS. Ukoliko ne postoji napajanje sa druge strane Šotki diode, ona je polarisana i provodi sa malim padom napona na njoj, 0,2 V. Suprotno, ako se na drugi kraj diode takođe dovede napajanje od 5 V, što dovodi do neželjenih posledica u vidu spaljivanja neke komponente, dioda razdvaja ta dva napajanja i time ne dozvoljava pojavu takvih posledica.

B. Mikrokontroler sa oscilatorom



Sl. 5. Šema mikrokontrolera sa oscilatorom.

Za model MCU odabran je ATmega32L-8PU, kao što je i prikazano na slici 5 i predstavlja ključnu komponentu čitave šeme.

Na pinovima 10 i 30 je povezano napajanje, a takođe i kondenzatori koji imaju filtarsku ulogu. C6 i C7 su elektrolitski kondenzatori za koje su karakteristične velike kapacitivnosti. Međutim, ono što im je glavna mana jeste činjenica da moraju biti polarisani jednosmernim naponom (mora jedan kraj biti pozitivniji u odnosu na drugi). U paraleli

sa njima povezan je kondenzator C8 koji pored filtarske uloge treba dobro da se ponaša na visokim frekvencijama jer elektrolitski nemaju tu karakteristiku.

Pin 9 je reset pin. Kada se signal pojavi na ovom pinu mikrokontroler se resetuje hardverski. R12 otpornik je pull-up otpornik, 1 k Ω , koji dozvoljava da se reset desi samo kada je na njegovom donjem kraju dovedena masa.

Između pinova 12 i 13 je povezan oscilator čija je frekvencija 16 MHz.

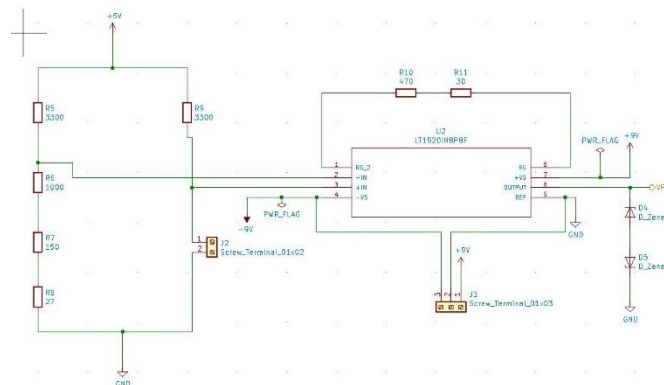
Pin broj 32 se odnosi na analognu referencu i predstavlja mogućnost da se dovede dodatnih (eksternih) 5 V.

Pin 11 je uzemljenje (GND) i on je spojen na masu.

Pinovi 15 i 14 predstavljaju RX i TX linije za prenos podataka. RX linija se koristi za primanje podataka, a TX za slanje. Na njima se nalaze hijerarhijske labela zahvaljujući kojima su povezani sa odgovarajućim TX i RX linijama na FT232RL, kao što je dalje i objašnjeno u podnaslovu 3.1.

Na kraju, pinovi od 33 do 40 su pinovi AD konvertora. Hijerarhijska labela VP, koja predstavlja izlaz iz pretvarača o kom će biti više reči u narednom poglavlju, se dovodi na ulaz AD konvertora na ovaj pin. U ovom slučaju, dovoljno je bilo proizvoljno iskoristiti jedan od mogućih pinova.

C. Pretvarač



Sl. 6. Šema pretvarača.

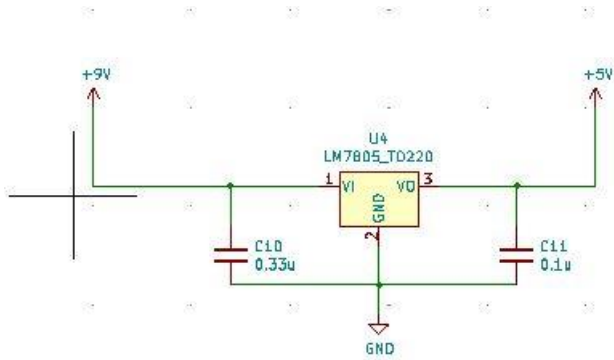
Ulogu svake komponente na pretvaraču je objašnjena u podnaslovu I (A).

Otpornik od 1177 Ω je postavljen kao serijska veza R6, R7 i R8, ka oi R_G koji je serijska veza R10 i R11. Za promenljivi otpornik je postavljen konektor, odnosno screw terminal J2. Ovaj konektor je dvopinski i ima funkciju da se za njega zašrafi bilo koji otpornik (u ovom slučaju željeni otpornik otpornosti iz tabele 1).

PWR_FLAG je logička komponenta koja sugerise design rule check-u da se radi o komponentama (vodovima) kroz koje je dopremljeno napajanje. Napajanje ovog instrumentacionog pojačavača je -9 V i 9 V.

Dodatno, na šemi se nalazi još jedan screw terminal (konektor) za napajanje sa 3 pina, 3 ulaza -9 V, GND i 9 V.

D. Power supply



Sl. 7. Šema bloka za napajanje.

Na slici 7 je prikazana šema regulatora napona *LM7805*.

Uloga ove komponente je da reguliše napon tako što smanjuje fluktuacije istog i uspostavlja konstantan napon. Do fluktuacija može doći zbog promene opterećenja i one mogu sadržati dodatnog šuma.

Kondenzatori C10 i C11 su keramički kondenzatori i njihova uloga je da filtriraju izlazni napon sa regulatora.

IV. PROJEKTOVANJE PCB PLOČICE

Nakon što su napravljene sve hijerarhijske celine i povezane, urađeno je sledeće:

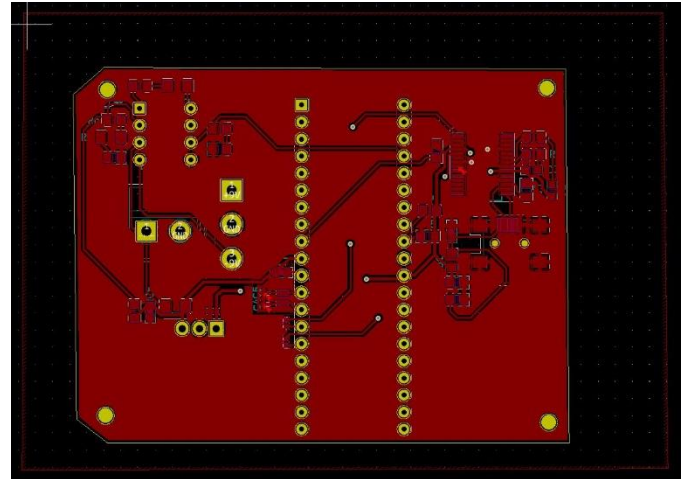
- *Annotate schematic symbol* – izvršava se anotacija, kako bi se tačno znalo koja je koja komponenta. Postoje različite opcije anotacije, a u ovom slučaju odrađena je na nivou čitave šeme.
- *Electrical rules check* – informiše korisnika u okviru *warning-a* ili *error-a* da je došlo do neke greške u povezivanju ili upozorava na nepogodan način povezivanja. Ukoliko greške postoje, moraju se eliminisati, a pogodno je i da je broj upozorenja jednak nuli na kraju.

Kada se prethodna dva koraka izvrše, sledeće što se radi jeste dodeljivanje svih *footprint-a* (otisaka) svakoj komponenti na šemi.

Kada sve komponente imaju svoj footprint, neophodno je da se odradi *generate netlist* kako bi se definisale sve veze.

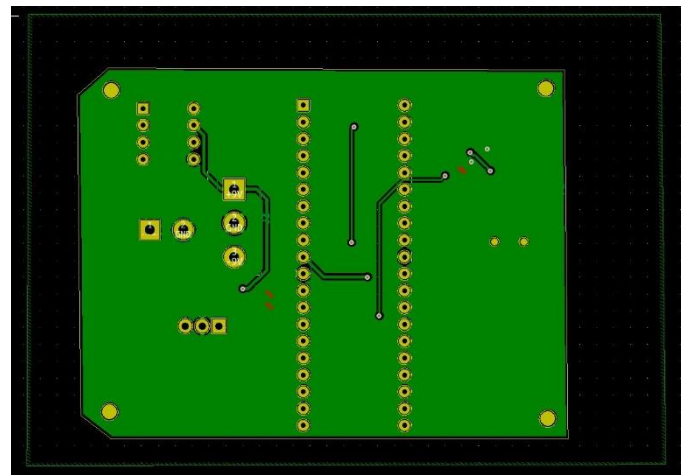
Prelaskom na PCB se učitava PCB iz schematic-a i organizuje se raspored komponenti tako da vodovi budu što kraći i da imaju što manje vija.

Konkretno u ovom projektu, sve komponente se nalaze u *Front copper layer-u*. Njihovo povezivanje je većinski u tom sloju, ali radi preglednosti povezivanja iskoristene su vije, pa delovi nekih vodova prolaze i kroz *Back copper layer*.



Sl. 8. Front copper layer.

Kao što je i rečeno, na ovom sloju se nalaze sve komponente i većina vodova.

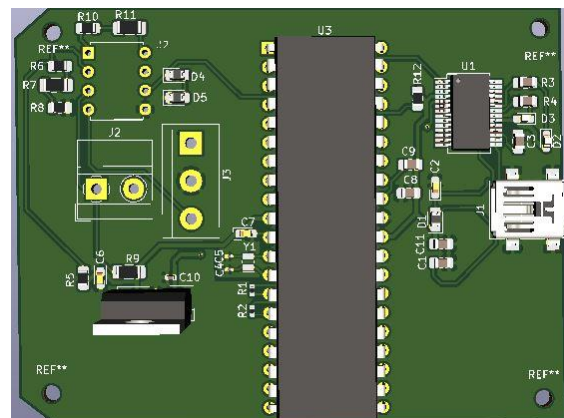


Sl. 9. Back copper layer.

Na donjem sloju se može videti samo delovi vodova koji prolaze kroz ovaj sloj.

Za kraj, žuti krugovi koji se nalaze u ćoškovima predstavljaju rupe za montiranje pločice.

V. ZAKLJUČAK



Sl. 10. 3D model pločice.

Realizovani sistem bi mogao pronaći primenu u monitoringu temperature pacijenata. Kao što i simulacije pokazuju,

dobija se linearna promena napona na izlazu u opsegu od 0 V do 5 V za promene temperature u opsegu od 30 °C do 45 °C. Sledeći koraci u daljem razvoju uključivali bi izradu i testiranje pločice, kao i evaluaciju postojećih rezultata, nakon čega bi se moglo razmisliti i o komercijalizaciji. Na slici 10 je prikazan 3D model realizovane PCB pločice.

LITERATURA

- [1] <https://www.sterlingsensors.co.uk/rtds>
- [2] <https://www.optris.com/life-science-medical>
- [3] <https://learn.digilentinc.com/Documents/376>
- [4] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc2503.pdf>
- [6] <http://www.circuitstune.com/2012/09/7805-voltage-regulator-circuit-7805-pinout.html>
- [7] <https://www.sterlingsensors.co.uk/pt1000-resistance-table>

ABSTRACT

A project about designing a transducer with a temperature sensor Pt1000 is elucidated in this paper. An analysis of a design has been done in a program LTSpice. Nonetheless, additional planning of electrical scheme and printed circuit board has been performed in a KiCad program.

Development of a measuring transducer with temperature sensor PT1000

Andrea Josipović
Platon Sovilj
Đorđe Novaković