
ELEKTRONIKA - zbirka vaj

Ta zbirka vaj je namenjena študentom 1. stopnje bolonjskega študijskega programa smeri dvopredmetni učitelj, vezave tehnike, matematike, fizike in računalništva na Pedagoški fakulteti, Univerze v Ljubljani.

dr. David Rihtaršič

Kazalo

1	Napajanje	5
1.0.1	NALOGA: SESTAVITE VEZJE NA PROTOTIPNI PLOŠČICI	5
1.1	Napetostni potencial	6
1.1.1	NALOGA: IZMERITE NAPETOSTNE POTENCIALE	6
1.2	Napetost	7
1.2.1	NALOGA: IZRAČUNAJTE NAPETOSTI	7
2	Krmilnik Arduino Nano	9
2.1	Testni program "BLINK.ino"	9
2.1.1	NALOGA: PREIZKUS KRMILNIKA ARDUINO NANO.	10
2.2	Napajanje krmilnika Arduino Nano	10
2.2.1	NALOGA: VEZAVA KRMILNIKA ARDUINO NANO NA PROTOTIPNI PLOŠČICI.	11
2.3	Model semaforja	12
2.3.1	NALOGA: MODEL SEMAFORJA.	13
2.4	Analiza vezja	14
2.4.1	NALOGA: IZRAČUNAJTE ELEKTRIČNI TOK	15
3	Uporaba tipke	17
3.0.1	NALOGA: VEZAVA TIPKE V DELILNIK NAPETOSTI	17
3.1	Priključitev tipke na digitalni vhod	18
3.1.1	NALOGA: PRIKLJUČITEV TIPKE NA DIGITALNI VHOD	18
3.2	Priključitev tipke z uporom proti napajanju	19
3.2.1	NALOGA: UPOR VEZAN PROTI NAPA JANJU	19
3.3	Uporaba uporov vezanih proti napajanju v mikro krmilniku	20
3.3.1	NALOGA: UPORABA UPOROV VEZANIH PROTI NAPA JANJU V MIKROKRMILNIKU	20
4	Uporaba potenciometra	21
4.0.1	NALOGA: MERJENJE NAPETOSTNEGA POTENCIALA NA POTENCIOMETRU.	21
4.1	Uporaba analognega vhoda na krmilniku	22
4.1.1	NALOGA: ODČITAVANJE ANALOGNE NAPETOSTI S KRMILNIKOM	22
4.1.2	NALOGA: PRETVORBA ADC VREDNOSTI V NAPETOST	23

4.1.3	NALOGA: VU-METER	23
5	Nelinearni upori in senzorji	25
5.0.1	NALOGA: SENZOR TEMPERATURE - vezje [vezje].	25
5.0.2	NALOGA: SENZOR TEMPERATURE - delovanje	26
5.1	Izbira referenčnega upora	26
5.1.1	NALOGA: DOLOČITEV REFERENČNEGA UPORA	26
5.1.2	NALOGA: IZRAČUN REFERENČNEGA UPORA	27
6	Umiritev senzorja temperature	29
6.0.1	NALOGA: SESTAVITE VEZJE	29
6.0.2	NALOGA: UMERITEV SENZORJA	29
6.0.3	NALOGA: KARAKTERISTIKA NTC TERMISTORJA	30
7	Polprevodniška dioda	33
7.1	Pol-valni usmernik	33
7.1.1	NALOGA: POLVALNI USMERNIK	34
7.2	Glajenje izhodne napetosti	35
7.2.1	NALOGA: GLAJENJE IZHODNE NAPETOSTI	36
7.2.2	NALOGA: GLAJENA IZHODNA NAPETOST	36
8	Zenerjeva dioda	37
8.0.1	NALOGA: KARAKTERISTIKA ZENERJEVE DIODE	37
8.0.2	NALOGA: DELOVNA TOČKA ZENERJEVE DIODE	39
9	REFERENČNI VIR Z ZENERJEVO DIODO	41
9.0.1	NALOGA: REFERENČNI VIR Z ZENERJEVO DIODO	41
9.0.2	NALOGA: STABILNOST REFERENČNEGA VIRA.	42
9.1	OBREMENILNI PRESKUS REFERENČNEGA VIRA	42
9.1.1	NALOGA: OBREMENILNI PRESKUS REFERENČNEGA VIRA	42
10	TRANZISTOR	45
10.1	TRANZISTOR KOT OKJAČEVALNIK MOČI	45
10.1.1	NALOGA: REFERENČNI NAPETOSTNI VIR Z OJAČEVALNIKOM MOČI	45
10.2	TRANZISTOR KOT STIKALO	46
11	OPERACIJSKI OJAČEVALNIK	47
11.1	KOMPARATOR NAPETOSTI	47
11.1.1	NALOGA: VKLOP ŽARNICE	48

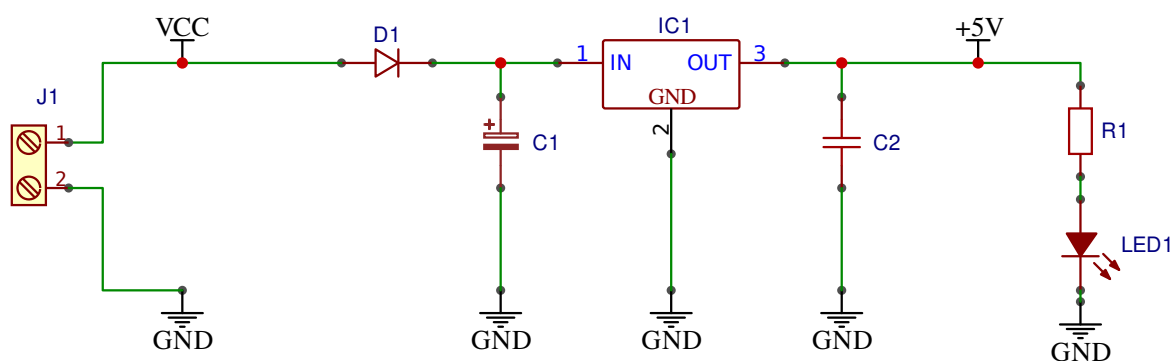
11.2	INVERTIRAJOČI OJAČEVALNI SISTEM	48
11.2.1	NALOGA: PRIPRAVA VHODNEGA SIGNALA	49
11.2.2	NALOGA: INVERTIRAJOČI OJAČEVALNI SISTEM	49
11.2.3	NALOGA: NAPETOSTNI PREMIK OPERACIJSKEGA OJAČEVALNIKA	50
11.2.4	NALOGA: UTEMELJITE	50
11.3	ELEKTROMETRSKI OJAČEVALNI SISTEM	51
11.3.1	NALOGA: UMERITEV TEMPERTURNEGA SENZORJA Z ELEKTROMETRSKIM OJA- ČEVALNIM SISTEMOM	51
12	Dodatki in pogosta vprašanja	53
12.1	Barvno kodiranje upornosti	53

1 Napajanje

Vsako električno vezje potrebuje napajanje. Pogosto vezja napajamo z baterijami (prenosne električne naprave) ali pa z uporabo omrežnega napajanja. Za današnje vezje bomo uporabili omrežno napajanje. S pomočjo 9 V napajalnika in 5 mm napajalnega priključka (J1) dobimo napajalno napetost 9 V. Oba napetostna potenciala (+9 V in 0 V) napajalne napetosti priključimo na testno ploščico in od tam zgradimo vezje, ki bo zagotavljalo 5 V napajanje za naše nadaljnja vezja.

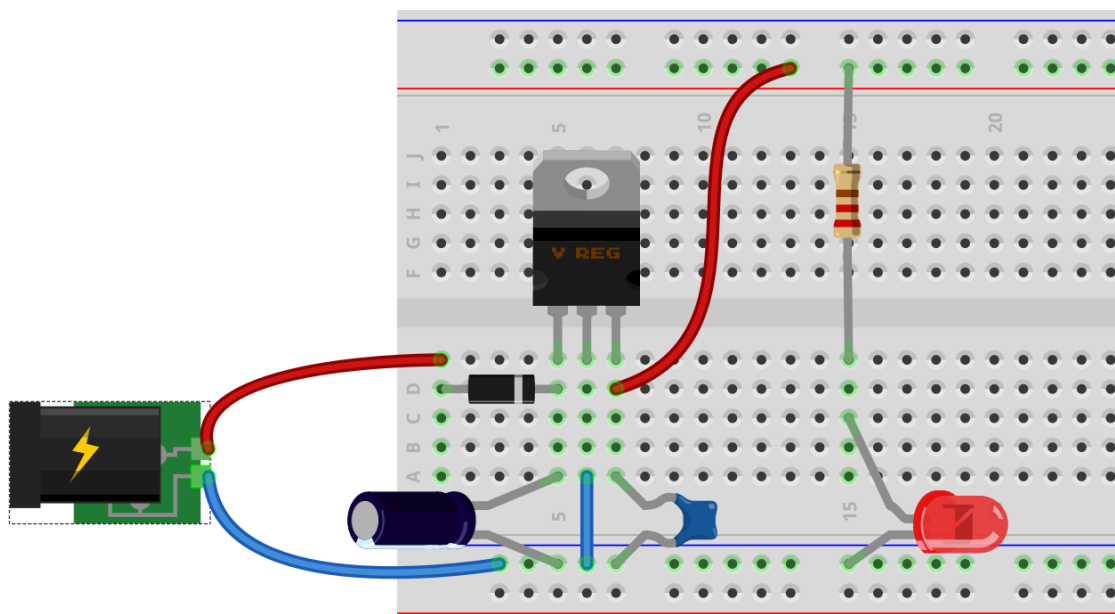
1.0.1 NALOGA: SESTAVITE VEZJE NA PROTOTIPNI PLOŠČICI

Izgradite vezje po shemi sl. 1.1.



Slika 1.1: Shema napajalnega vezja.

V pomoč bomo uporabili program **Fritzing**, s katerim lahko učitelj zelo nazorno pokaže kako moramo povezati elemente med seboj. S pomočjo Fritzing programa dobimo naslednjo skico *realnega* vezja.



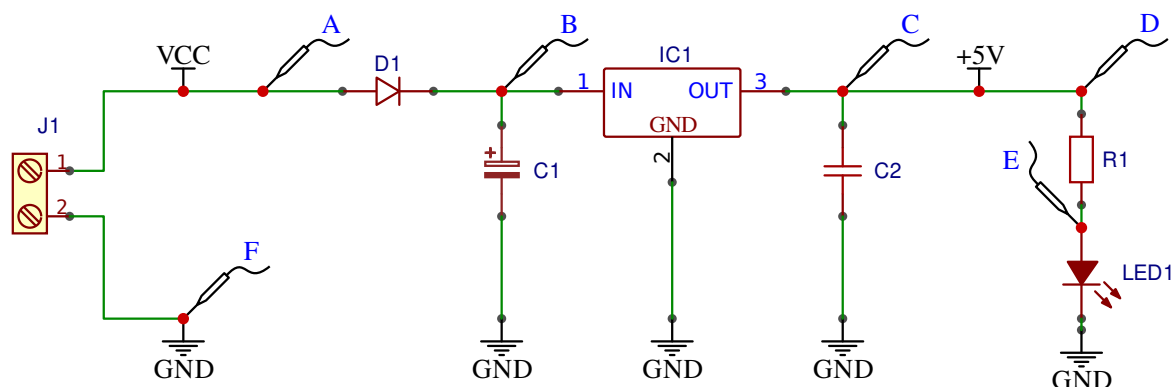
Slika 1.2: Skica realnega vezja.

1.1 Napetostni potencial

1.1.1 NALOGA: IZMERITE NAPETOSTNE POTENCIALE

Izmeri napetostne potenciale, ki so vrisani v naslednji shemi sl. 1.3.

Točka v vezju	Nap. potencial [V]
A	
B	
C	
D	
E	
F	



Slika 1.3: Shema električnega vezja 5 V napaljalne napetosti.

1.2 Napetost

V vezju imamo imamo kar nekaj elektronskih elementov. Na shemi sl. 1.1 so različno označeni, npr.:

- polprevodniška dioda - D1,
- elektrolitski kondenzator - C1,
- keramični kondenzator - C2,
- upor - R1,
- svetleča dioda - LED1

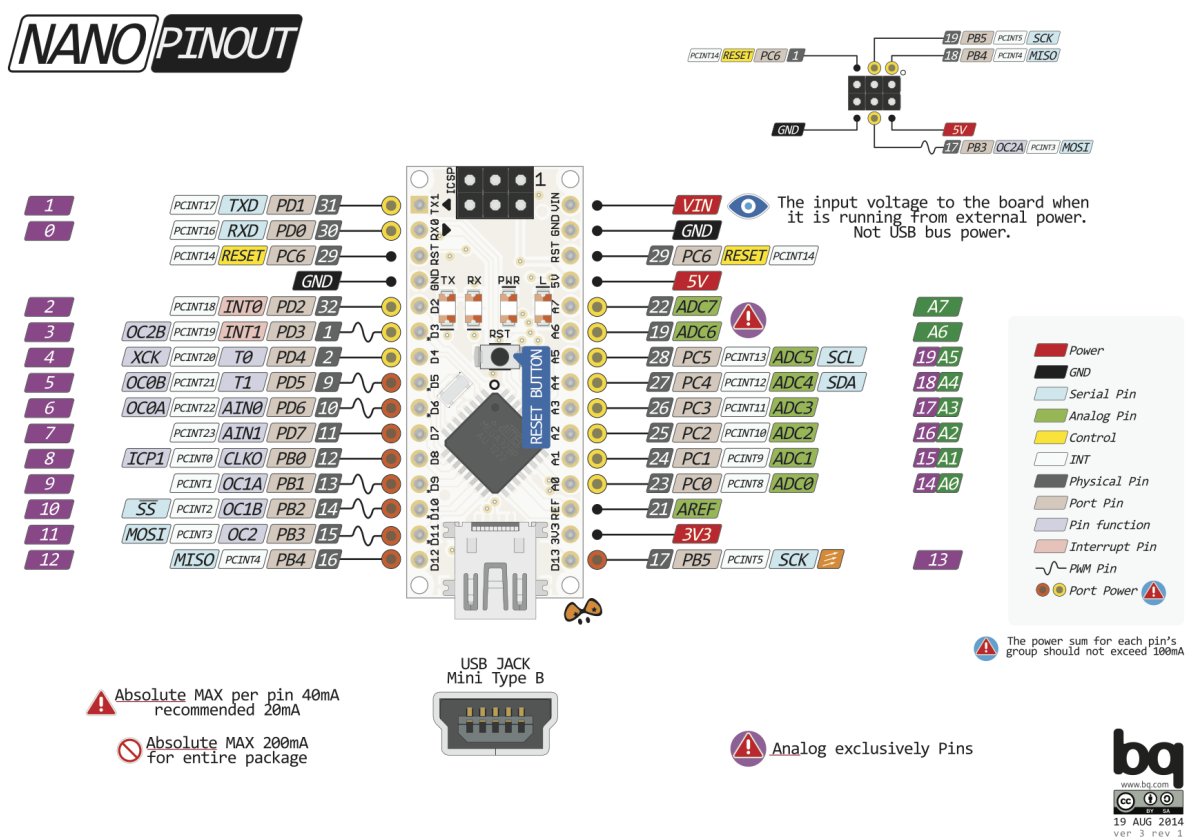
1.2.1 NALOGA: IZRAČUNAJTE NAPETOSTI

Za vse našete elemente najprej izračunajte kolikšna napetost je na njih, nato pa izračun preverite z inštrumentom.

Element	$U_{izr}[V]$	$U_{izm}[V]$
D1		
C1		
C2		
R1		
LED1		

2 Krmilnik Arduino Nano

Krmilnik Arduino Nano je relativno cenovno ugoden (cca. 3-5€) in ker je programirljiv, ga lahko uporabimo v najrazličnejših aplikacijah. Razporeditev njegovih priključkov pa lahko vidimo na naslednji sliki sl. 2.1.



Slika 2.1: Razporeditev priključkov na krmilniku Arduino Nano.

2.1 Testni program “BLINK.ino”

Preden bomo krmilnik uporabili v našem vezju, ga bomo preizkusili. S programskim orodjem “Arduino IDE” bomo na krmilnik naložili program “blink.ino” in s tem preverili, da vse komponente na krmilniku

delujejo pravilno. To je priporočljivo narediti pred vsakim projektom.

2.1.1 NALOGA: PREIZKUS KRMILNIKA ARDUINO NANO.

1. Krmilnik Arduino Nano povežite z računalnikom preko USB povezave,
2. zaženite program Arduino IDE in ga pravilno nastavite:
 - Tools -> Processor : Arduino Nano,
 - Tools -> Port : USB2
3. Odprite primer 01-BLINK.ino in
4. prenesite program na krmilnik.

Program je napisan v programskem jeziku C++, ki uporablja nekaj funkcij za lažje rokovanje s krmilnikom.

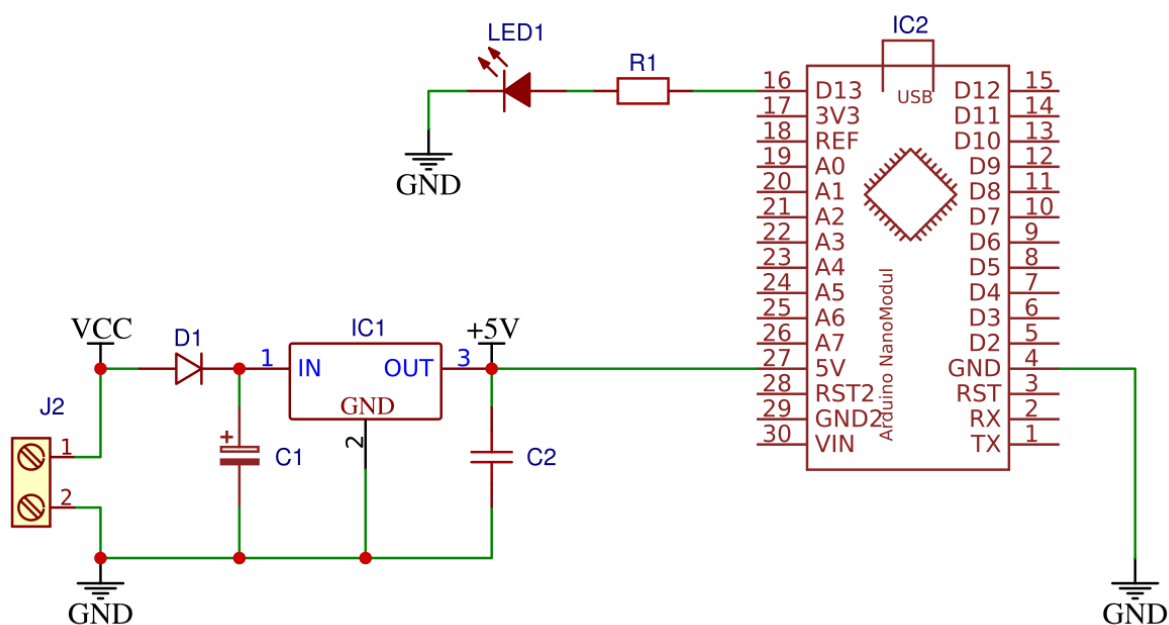
```
1  void setup() {  
2      // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.  
3      pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);  
4  }  
5  
6  // the loop function runs over and over again forever  
7  void loop() {  
8      digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);    // turn the LED on (HIGH is the  
9          voltage level)  
10     delay(1000);                        // wait for a second  
11     digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);     // turn the LED off by making the  
12         voltage LOW  
13     delay(1000);                        // wait for a second  
14 }
```

2.2 Napajanje krmilnika Arduino Nano

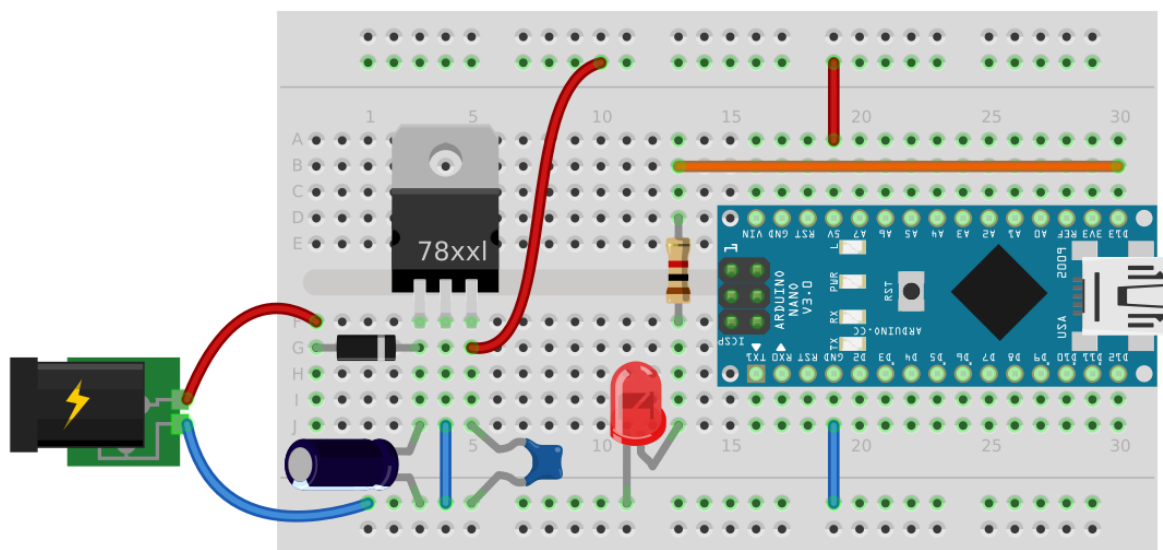
Krmilnik Arduino Nano lahko vstavimo tudi v prototipno ploščico in ga napajamo z zunanjim napajanjem.

2.2.1 NALOGA: VEZAVA KRMILNIKA ARDUINO NANO NA PROTOTIPNI PLOŠČICI.

Vstavite krmilnik Arduino Nano v prototipno ploščico in ga povežite kot prikazuje naslednja shema. Priključite tudi upor in LED na priključek 13.



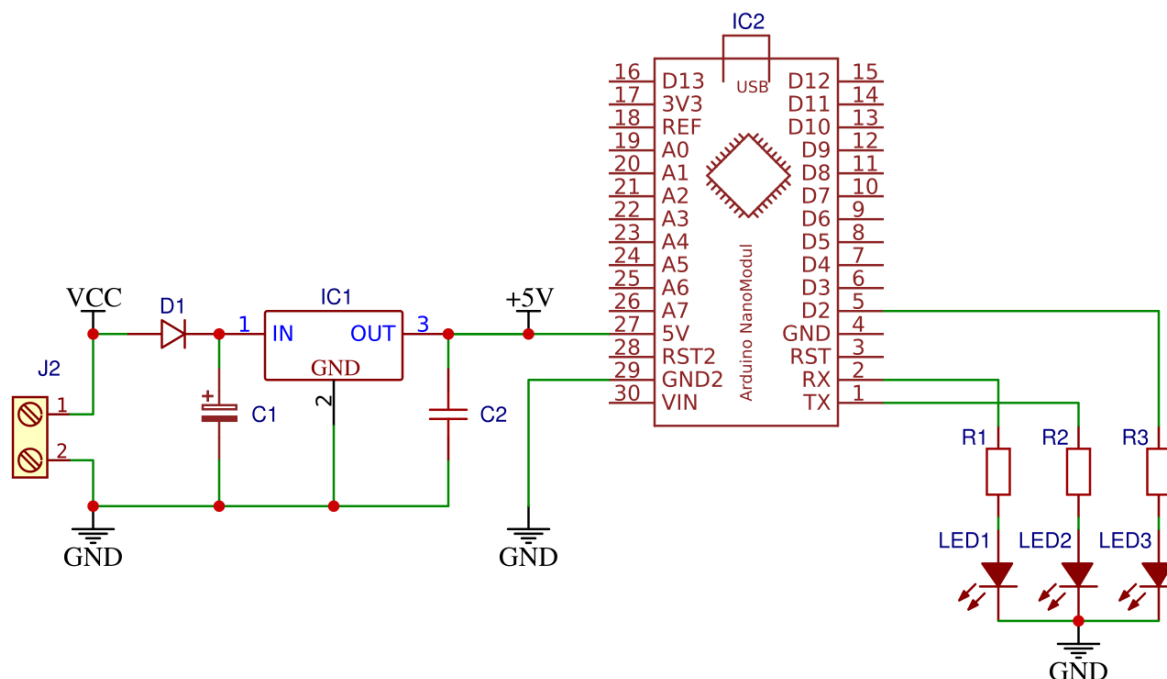
Slika 2.2: Priključitev napajanja in dodatne LED na izhodni priključek.



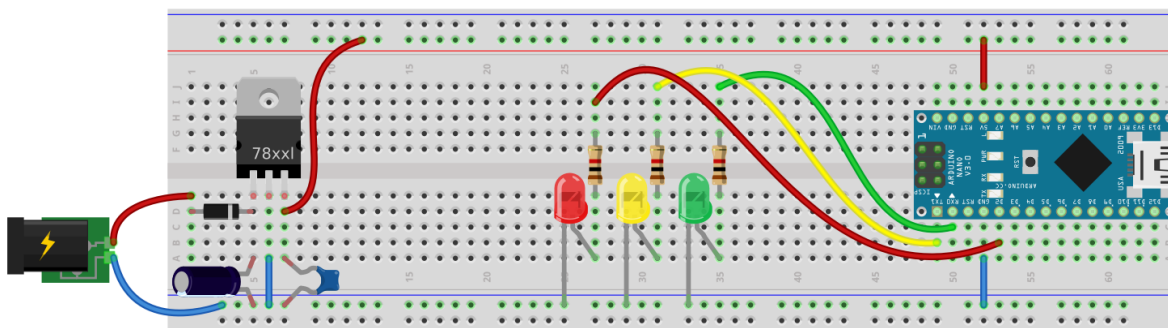
Slika 2.3: Shema vezave krmilnika Arduino Nano na prototipni ploščici.

2.3 Model semaforja

Vezje bomo preoblikovali tako, da bo delovalo kot semafor na cestnem križišču. Uporabili bomo tri LED svetila različnih barv in preoblikovali program.



Slika 2.4: Shema vezave treh LED na krmilnik Arduino Nano.



Slika 2.5: Ter shema vezave na prototipni ploščici.

2.3.1 NALOGA: MODEL SEMAFORJA.

Preoblikujte vezje po shemi sl. 2.4 in uporabite naslednji program ter ga ustrezno preoblikujte. Program, ki zagotavlja podobno delovanje, kot pri cestnem semaforju dokumentirajte in komentirajte uporabljene programske stavke (t.j. programske ukaze).

Vsak programski stavek morate zaključiti s podpičjem ;.

Preskustite naslednji program in ga ustrezno preoblikujte.

```
1  void setup() {  
2      pinMode(0, OUTPUT);  
3      pinMode(1, OUTPUT);  
4      pinMode(2, OUTPUT);  
5  }  
6  
7  void loop() {  
8      digitalWrite(0, HIGH);  
9      digitalWrite(1, HIGH);  
10     digitalWrite(2, HIGH);  
11     delay(1000);  
12     digitalWrite(0, LOW);  
13     digitalWrite(1, LOW);  
14     digitalWrite(2, LOW);  
15     delay(1000);  
16 }
```

2.4 Analiza vezja

Elektronski elementi so omejeni z njihovo največjo dopustno električno moč. Če to električno moč prekoračimo, jih bomo najverjetneje uničili.

Naprimero: Največja dopustna moč, ki se še lahko troši na uporih, ki jih uporabljate (premer upora = 2.4 mm) je 0,25 W.

Električno moč lahko izračunamo po enačbi:

$$P = UI$$

Pri nekaterih drugih elementih (kot na primer pri LED) pa so omejitveni pogoji postavljeni že s samim tokom.

Na primer za običajne 5mm LED je najpogostejše največji tok, ki lahko teče skozi 20 mA.

Tok skozi element lahko izračunamo po Ohmovem zakonu:

$$I_R = \frac{U_R}{R}$$

Če ne vemo kolikšno upornost ima element (tako kot je to v primeru LED), si največkrat pomagamo z izračunom toka skozi drug zaporedno vezan element. Kajti v tem primeru je tok isti.

2.4.1 NALOGA: IZRAČUNAJTE ELEKTRIČNI TOK

Izračunajte kolikšen električni tok teče skozi elemente R1, R2, R3, LED1, LED2 in LED3 ter preverite kakšne so električne omejitve tega elementa. Izračunajte tudi električno moč, ki se troši na tem elementu.

Element	U [V]	I [mA]	P[W]
R1			
R2			
R3			
LED1			
LED2			
LED3			

3 Uporaba tipke

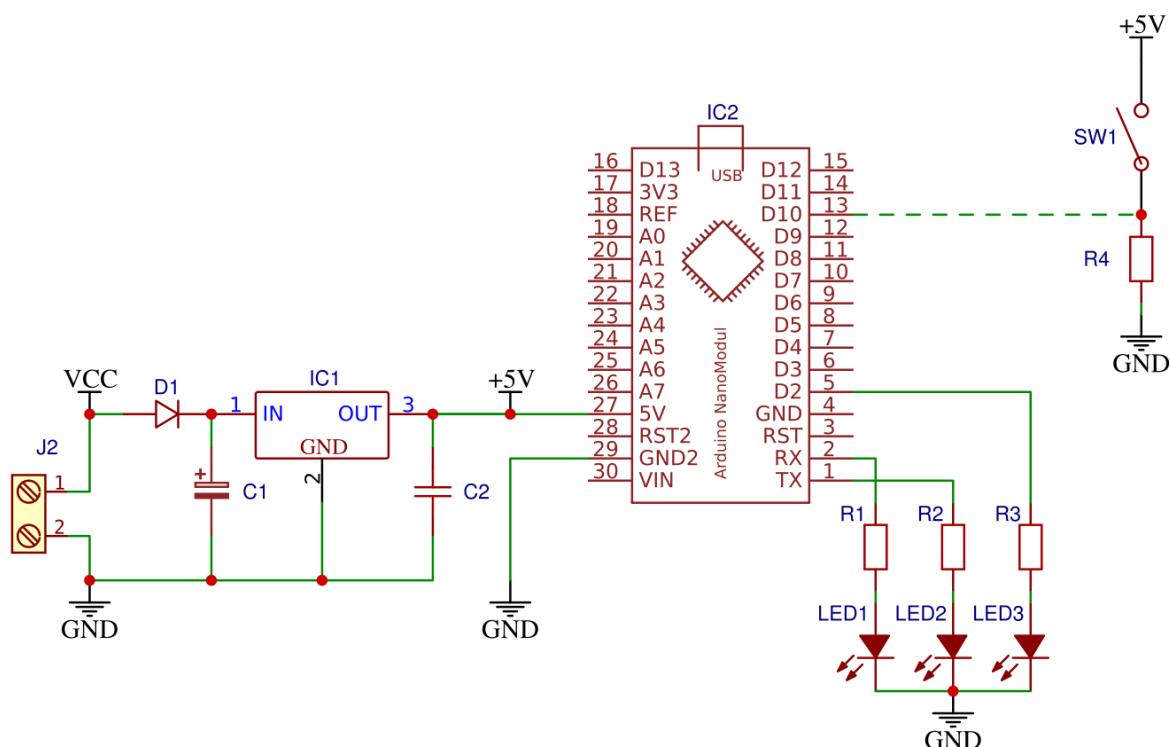
Tipka je element, ki je podoben stikalu. Prav tako kot pri stikalu, ob pritisku povežemo dva priključka med sabo, razlika pa je v tem, da se pri tipki ta povezava razklene ob prenehanju pritiska nanjo.

3.0.1 NALOGA: VEZAVA TIPKE V DELILNIK NAPETOSTI

Sestavite vezje s tipko, kot ga prikazuje sl. 3.1 (brez črtkane povezave). Tipka naj bo vezana v delilnik napetosti in naj bo priključena proti napajanju.

V tabelo vpišite napetosti na vsakemu elementu posebej. Najprej poskušajte predvideti kolikšna je napetost na elementu, nato pa le-to preverite z inštrumentom.

Situacija	Element	$U?$ [V]	U_{izm} [V]
Razkljenjeno	Tipka		
	Upor		
Slenjeno	Tipka		
	Upor		



Slika 3.1: Vezava tipke v delilnik napetosti.

3.1 Priključitev tipke na digitalni vhod

Nato srednji priključek delilnika napetosti povežite na digitalni vhod krmilnika Arduino nano na priključek D10, kot prikazuje sl. 3.1 črtkana povezava.

3.1.1 NALOGA: PRIKLJUČITEV TIPKE NA DIGITALNI VHOD

Priključite tipko po shemi sl. 3.1 in preskusite spodnji program.

Nato popravite program tako, bo LED svetila, ko boste tipko pritisnili.

```
1 void setup() {  
2     pinMode(0, OUTPUT);  
3     pinMode(1, OUTPUT);  
4     pinMode(2, OUTPUT);  
5     pinMode(10, INPUT);  
6 }  
7  
8 void loop() {  
9     if (digitalRead(10) == LOW){  
10        digitalWrite(0, HIGH);  
11    }else{  
12        digitalWrite(0, LOW);  
13    }  
14 }
```

POMNI: DIGITALNI VHOD MIKROKRMILNIKA

Priključke mikrokrmilnika lahko uporabimo tudi za odčitavanje napetostnih potencialov v digitalni obliki (ločimo le dva napetostna nivoja). S funkcijo `pinMode(PIN, INPUT)`; določimo, da priključek `PIN` lahko opravlja funkcijo digitalnega vhoda s katerim lahko odčitamo vrednost napetostnega potenciala. Funkcija `digitalRead(PIN)`; vrne vrednost digitalnega vhoda. Če je na priključku `PIN` napetostni potencial večji od 2.0 V bo funkcija vrnila vrednost 1 (ali HIGH ali TRUE). Če pa je na priključku `PIN` napetostni potencial manjši od 0.8 V pa bo funkcija vrnila vrednost 0 (ali LOW ali FALSE).

3.2 Priključitev tipke z uporom proti napajanju

Zamenjajte elementa v delilniku napetosti tako, da bo upor vezan proti napajanju in tipka proti napetostnemu potencialu 0 V.

3.2.1 NALOGA: UPOR VEZAN PROTI NAPAJanJU

Vezje spremenite, kot je opisano v nalogi in narišite shemo vezja.

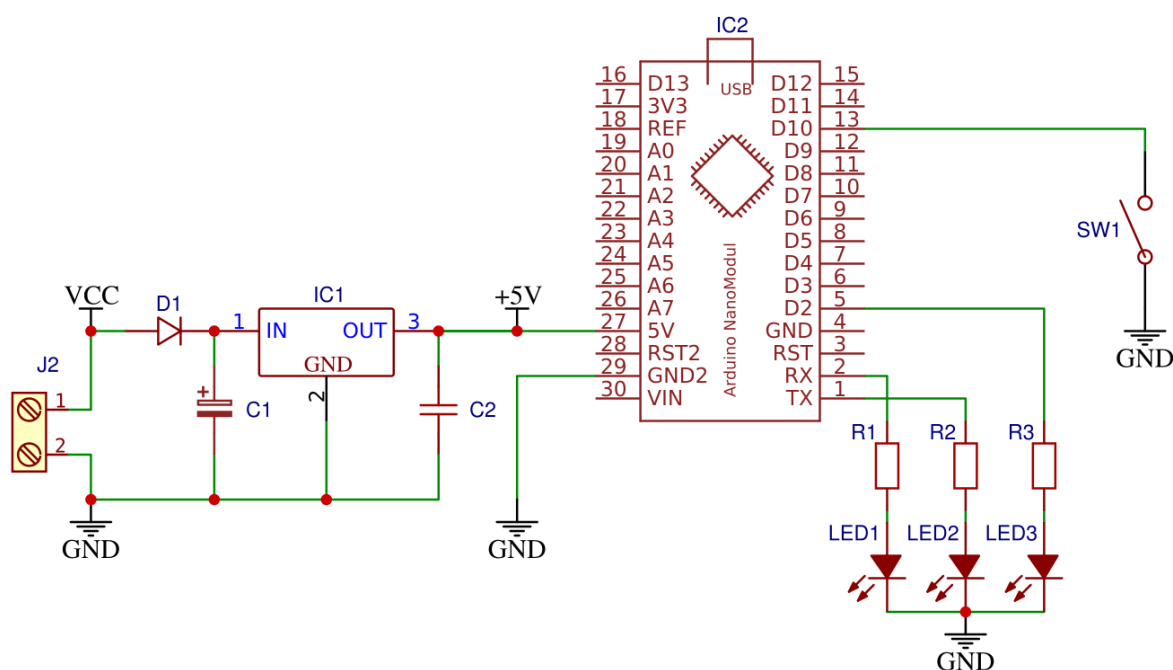
Popravite program tako, da bo LED utripala, ko boste tipko držali. Utemeljite zakaj je sedaj napetostni potencial na vhodnem priključku krmilnika D10 enak 5 V, ko tipka ni pritisnjena (Utemeljitev podprite z Ohm-ovim zakonom in Kirchhoff-ovima izrekoma).

3.3 Uporaba uporov vezanih proti napajanju v mikrokrmilniku

Uporaba vezave uporov proti napajanju je zelo pogosta. Zato le to mikrokrmilniki že vsebujejo v samem integriranem vezju na vseh digitalnih vhidih.

3.3.1 NALOGA: UPORABA UPOROV VEZANIH PROTI NAPAJanJU V MIKROKRMILNIKU

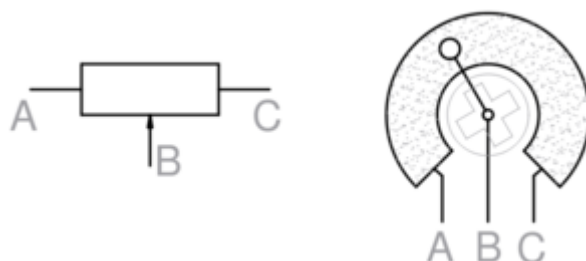
Odstranite upor iz vezja kakor veleva shema sl. 3.2 in programsko vključite upor vezan proti napajanju na digitalnem vhodu D10.



Slika 3.2: Vezava tipke z notranjim uporom vezanim proti napajanju.

4 Uporaba potenciometra

Potenciometri so upori s tremi priključki, ko je prikazano na sl. 4.1. Upornost potenciometra je fiksna in jo merimo med priključkoma A in C. Tretji priključek pa je nastavljiv in drsi po uporovni plati od ene skrajne lege do druge skrajne lege potenciometra.



Slika 4.1: Simbol in shema potenciometra.

Delovanje potenciometra si lahko razložimo na dva načina:

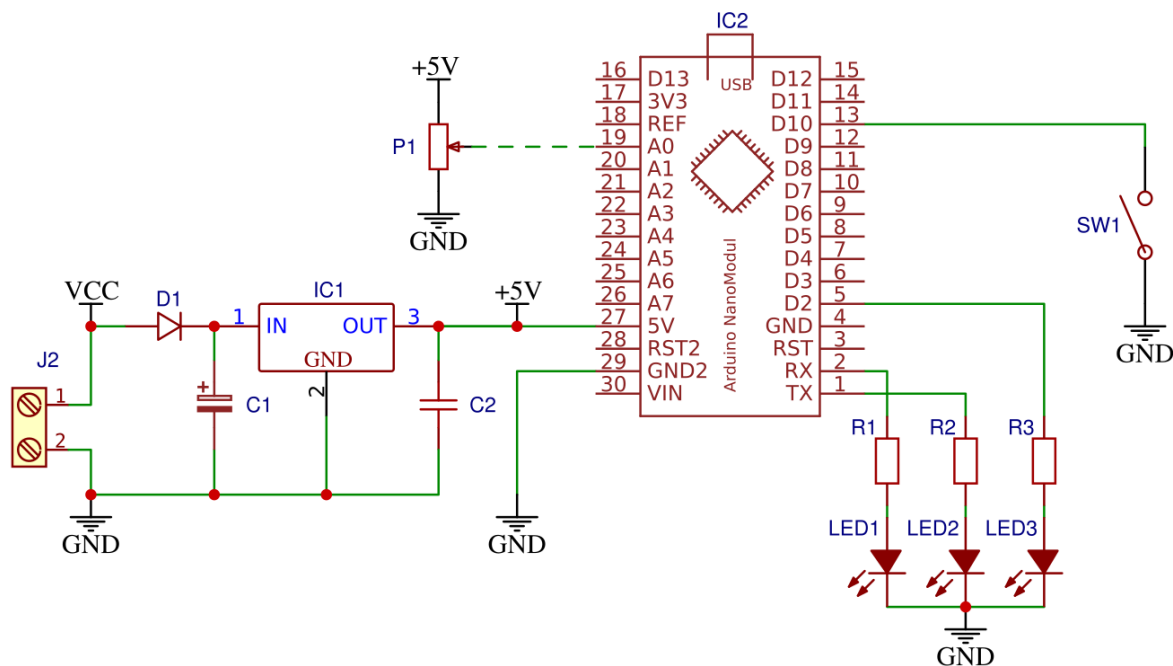
1. Če na priključka A in C priključimo neko napetost, se bo napetostni potencial enakomerno zmanjševal vzdolž uporovne plasti potenciometra. Tako je napetostni potencial na priključku B odvisen od njegove lege.
2. Lahko si zamislimo, da priključek B razdeli potenciometer na dva upora: (1) R_{AB} in (2) R_{BC} . Tako se bo tudi napetost, ki jo bomo priključili na potenciometer razdelila v razmerju teh dveh upornosti.

4.0.1 NALOGA: MERJENJE NAPETOSTNEGA POTENCIALA NA POTENCIOMETRU.

Priključite potenciometer tako kot je prikazano na sl. 4.2. Na srednji priključek potenciometra priključite V-meter. Preverite kako se napetostni potenciala spreminja v odvisnosti od položaja srednjega priključka potenciometra.

4.1 Uporaba analognega vhoda na krmilniku

Na krmilniku imamo možnost odčitavanja analognе napetosti z analognim vhodom. Vsi analogni vhodi so na krmilniku označeni s črko "A" in zaporedno številko npr.: A0, A1 .. A7.



Slika 4.2: Priključitev potenciometra.

4.1.1 NALOGA: ODCITAVANJE ANALOGNE NAPETOSTI S KRMILNIKOM

Povežite srednji priključek potenciometra na analogni vhod krmilnika (naprimer na A0) in preizkusite naslednji program. Program lahko najdete tudi v Arduino IDE programu:

File -> Examples -> 01. Basics -> AnalogReadSerial.

```

1 void setup() {
2   Serial.begin(9600);
3 }
4
5 void loop() {
6   int sensorValue = analogRead(A0);
7   Serial.println(sensorValue);
8   delay(10);
9 }

```


Kot ste verjetno opazili, se vam na ekranu v serijskem oknu izpisujejo številke vrednosti. Te vrednosti so v območju od 0..1023, saj je ADC v mikrokrmilniku 10-bitni in je največja možna binarna številka zapisana z 10-imi biti prav 1023. Lahko pa te vrednosti prikazujete tudi grafično, v ta namen morate uporabiti `Serial Plotter`.

Krmilnik pa bi lahko na ta način (do neke mere) uporabljali tudi kot V-meter.

4.1.2 NALOGA: PRETVORBA ADC VREDNOSTI V NAPETOST

Z ustrezno linearno funkcijo pretvorite ADC vrednosti v številke vrednosti napetosti. Enačbo funkcije tudi zapišite in priložite kodo programa.

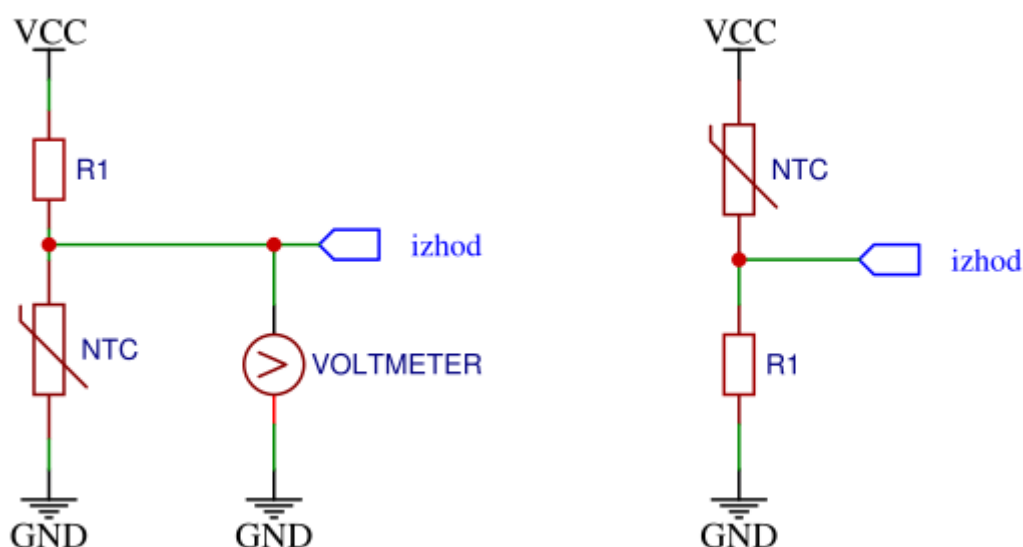
Prav tako enostavno pa lahko poskrbimo za grafični prikaz napetosti...

4.1.3 NALOGA: VU-METER

Program preoblikujte tako, da ko boste s potenciometrom nastavili večjo napetost, naj se vključi vaš LED. Podobno kot je to na VU-metru na glasbenih stolpih. Kodo programa tudi priložite.

5 Nelinearni upori in senzorji

Senzor je elektronski element, katerega izhodna električna količina (izhodni signal) je odvisna od neke fizikalne količine (temperature, osvetljenosti ...). V našem primeru bomo sestavili senzor temperature. V delilnik napetosti bomo vezali termistor in upor s konstantno upornostjo, kot prikazuje sl. 5.1.



Slika 5.1: Temperaturni senzor.

5.0.1 NALOGA: SENZOR TEMPERATURE - vezje [vezje].

Sestavite obe vezji iz sl. 5.1 in preverite kako se izhodna napetost spreminja glede na temperaturo. Ugotovitev zapišite za oba primera.

Premislimo, kako lahko razumemo delovanje senzorja na sl. 5.1:

1. Če se temperatura poveča, se bo upornost termistorja R_{NTC} zmanjšala.
2. Ker se skupna upornost $R' = R_{NTC} + R_1$ zmanjša, bo tok, ki teče po tem vezju večji $I' = \frac{V_{CC}}{R'}$.

3. Ker je sedaj tok skozi vezje večji in le-ta teče tudi skozi upor R_1 bo na njem napetost večja $U_{R_1} = R_1 I'$.
4. Napetost na uporu R_1 je enaka napetostnemu potencialu na izhodnem priključku senzorja.
5. Zaključimo lahko, da se napetostni potencial na izhodnem priključku poveča, če se je tudi temperatura povečala.

5.0.2 NALOGA: SENZOR TEMPERATURE - delovanje

Sledite točkam razmišljanja od 1 - 5 in zapišite konkretne vrednosti električnih količin iz vašega vezja.

fiz. količina	pri nižji temp.	pri višji temperaturi
temperatura		
R_{NTC}		
I'		
U_{R_1}		
U_{IZHOD}		

5.1 Izbira referenčnega upora

Odzivnost senzorja (t.j. sprememba izhodnega napetostnega potenciala ob dani spremembi temperature) je zelo odvisna od prave izbire upora R_1 iz sl. 5.1 - desno. Temu uporu rečemo tudi **referenčni upor**.

5.1.1 NALOGA: DOLOČITEV REFERENČNEGA UPORA

Za različne referenčne upore preverite odziv senzorja. Pri izpeljavi meritev bodite pozorni, da boste temperaturo spremenili vedno v istem območju, npr. vedno iz temperature 10°C na 40°C. Referenčni upori naj bodo v dekadnem razmerju.

$R_{Ref}[\Omega]$	$T_1[^\circ C]$	$T_2[^\circ C]$	$U_{IZH}(T_1)[V]$	$U_{IZH}(T_2)[V]$	$\Delta U[V]$
100					
1k					
10k					
100k					
1M					

Iz prejšnje naloge ste verjetno opazili, da je odziv senzorja zelo odvisen od izbire referenčnega upora. Zato poskusimo nastaviti enačbo za izračun le-tega. Če bi iz meritev iz prejšnje naloge narisali graf $\Delta U(R_{Ref})$ bi lahko ugotovili, da ima ta funkcija en maksimum pri $R_{Ref-MAX}$. Za izračun tega upora (določitev maksimuma funkcije) moramo poiskati ničlo odvoda funkcije $\Delta U(R_{Ref})$.

5.1.2 NALOGA: IZRAČUN REFERENČNEGA UPORA

1. Nastavite enačbo za izračun izhodne napetosti U_{IZH} pri temperaturi T_1 .^a
2. Nastavite enačbo za izračun izhodne napetosti U_{IZH} pri temperaturi T_2 .
3. Nastavite enačbo za ΔU .
4. Enačbo ΔU odvajajte po R_{Ref} in jo rešite za $\frac{\partial U_{IZH}}{\partial R_{Ref}} = 0$

^aUpornost termistorja pri temperaturi T_1 je različna od uporanosti pti T_2 , zato jih morate ločiti in označiti drugače, npr.: R_{NTC-T1} in R_{NTC-T2} .

6 Umiritev senzorja temperature

Kot smo že omenili so senzorji elektronski elementi, katerih izhodna napetost je odvisna od neke fizikalne količine. Na primer v napštem primeru (senzor temperature) je izhodna napetost odvisna od temperature $U_{IZH}(T)$. Vendar, da bi poznali to funkcijo, moramo senzor umeriti.

Pred umeritvenim postopkom moramo poznati temperaturno območje, v katerem bomo senzor uporabljali. Zato si zadajmo nalogo, da bomo senzor uporabljali v območje $T = [0^{\circ}\text{C} \dots 40^{\circ}\text{C}]$.

6.0.1 NALOGA: SESTAVITE VEZJE

Sestavite senzor temperature kot sledilnik napetosti, v katerem boste uporabili le referenčni upor R_{REF} in NTC termistor R_{NTC} . Vezje tudi narišite.

Izhodni napetostni potencial senzorja naj bo večji čim večja je temperatura.

Nenazadnje, določite referenčni upor R_{REF} tako, da bo senzor imel največji odziv v zadanem temperaturnem območju. V ta namen morate poznati upornost termistorja pri:

$$- R_{NTC-20} = \text{_____} \text{ k}\Omega$$

$$- R_{NTC-40} = \text{_____} \text{ k}\Omega$$

$$R_{REF} = \text{_____} \text{ k}\Omega^a$$

^aZa izračun vzemite izpeljano enačbo iz prejšnje naloge.

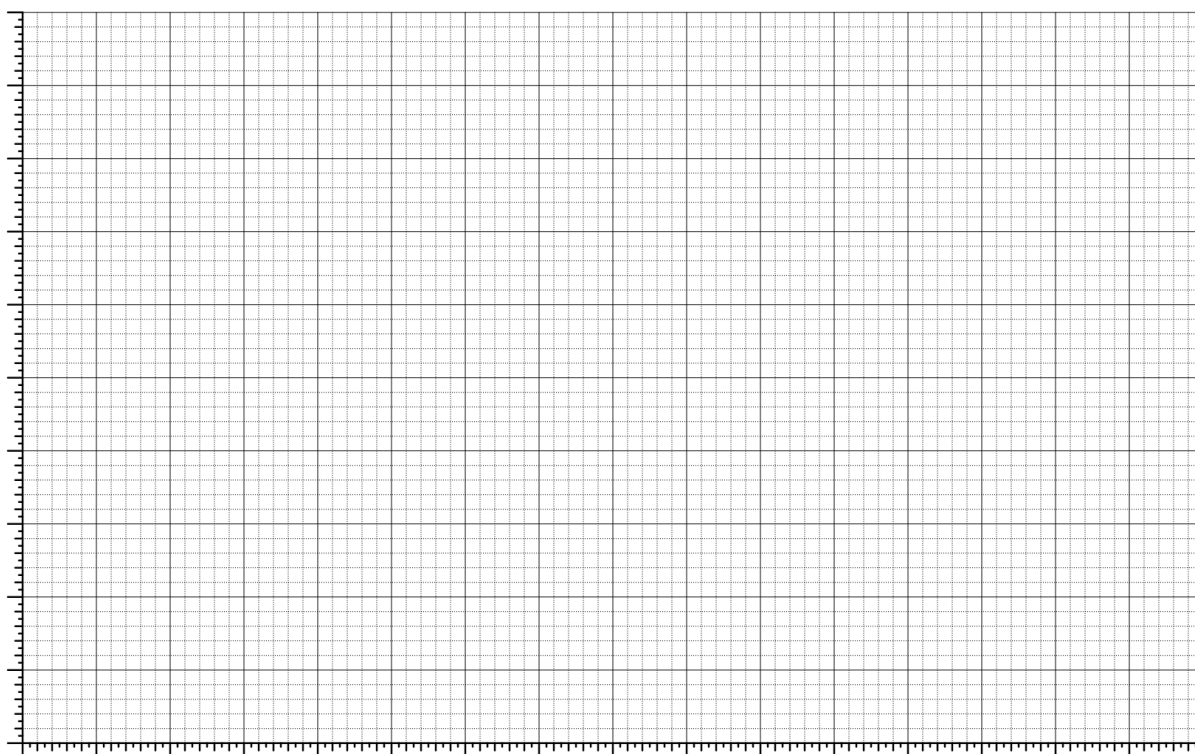
6.0.2 NALOGA: UMERITEV SENZORJA

Pri postopku umeritve morate meriti temperaturo T termistorja in hkrati izhodni napetostni potencial senzorja U_{IZH} . Meritve zabeležite v spodnjo tabelo.

Nato podatke vrišite v graf na sl. 6.1

Tabela 6.1: Umeritev senzorja temperature.

meritve	no. 1	no. 2	no. 3	no. 4	no. 5	no. 6	no. 7	no. 8	no. 9	no. 10
$T[^\circ C]$										
$U_{IZH}[V]$										
$R_{NTC}[k\Omega]^1$										

**Slika 6.1:** Graf $U_{IZH}(T)$ temperaturnega senzorja in karakteristika $R_{NTC}(T)$ NTC termistorja.

6.0.3 NALOGA: KARAKTERISTIKA NTC TERMISTORJA

Izračunajte tudi upornost termistorja. Le-to lahko izračunate glede na napajalno napetost U_0 , referenčno uporanost R_{REF} in izhodno napetost U_{IZH} . Vsaj en izračun tudi dosledno nakažite. Upornost termistorja R_{NTC} izračunajte pri vsaki umerjeni temperaturi in jo vpišite v tbl. 6.1.

¹Upornost termistorja ne prepisujte iz programa za simulacijo, le-to morate izračunati v naslednji nalogi.

Nato v isti graf na sl. 6.1 vrišite še karakteristika termistorja $R_{NTC}(T)$ tako, da skalo za upornost določite na desni strani grafa.

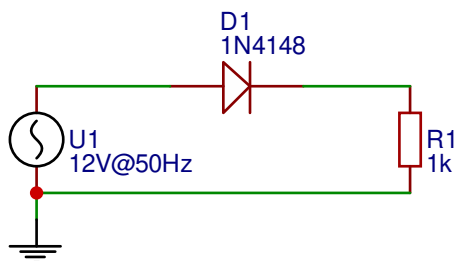
7 Polprevodniška dioda

Polprevodnik je monokristalna snov, ki ima brez dovedene energije lastnosti električnega izolatorja, pri dovolj veliki dovedeni energiji pa ima lastnosti slabega električnega prevodnika. Od tod tudi njegovo ime. Uporabljajo se za izdelavo nelinearnih elektronskih elementov (dioda, tranzistor, integrirano vezje, triak,...). Sodobne elektronike si ne moremo zamišljati brez polprevodnikov. Najbolj znan polprevodnik v elektroniki je silicij, uporablja pa se tudi germanij [vir: <https://sl.wikipedia.org/wiki/Polprevodnik>].

Dioda je elektronski element z dvema priključkoma (anoda in katoda). Sprva so bile diode elektronke. Danes so jih skoraj povsem izpodrinile polprevodniške diode, ki so bile tudi prvi polprevodniški elementi. Značilnost diode je nesimetrična in nelinearna tokovno-napetostna karakteristika. V eni smeri dioda prepušča električni tok, v drugi (zaporni) smeri pa ne. Zaradi tega je primerna za usmerjanje izmeničnih signalov.

7.1 Pol-valni usmernik

Diodo večkrat uporabljamo kot usmerniški element, zaradi svoje preklopne prepustnosti. V vezju na sl. 7.1 je na vhod priključen napetostni vir izmenične sinusne napetosti, ki poganja tok skozi diodo in upor.



Slika 7.1: Polvalni usmernik s polprevodniško diodo.

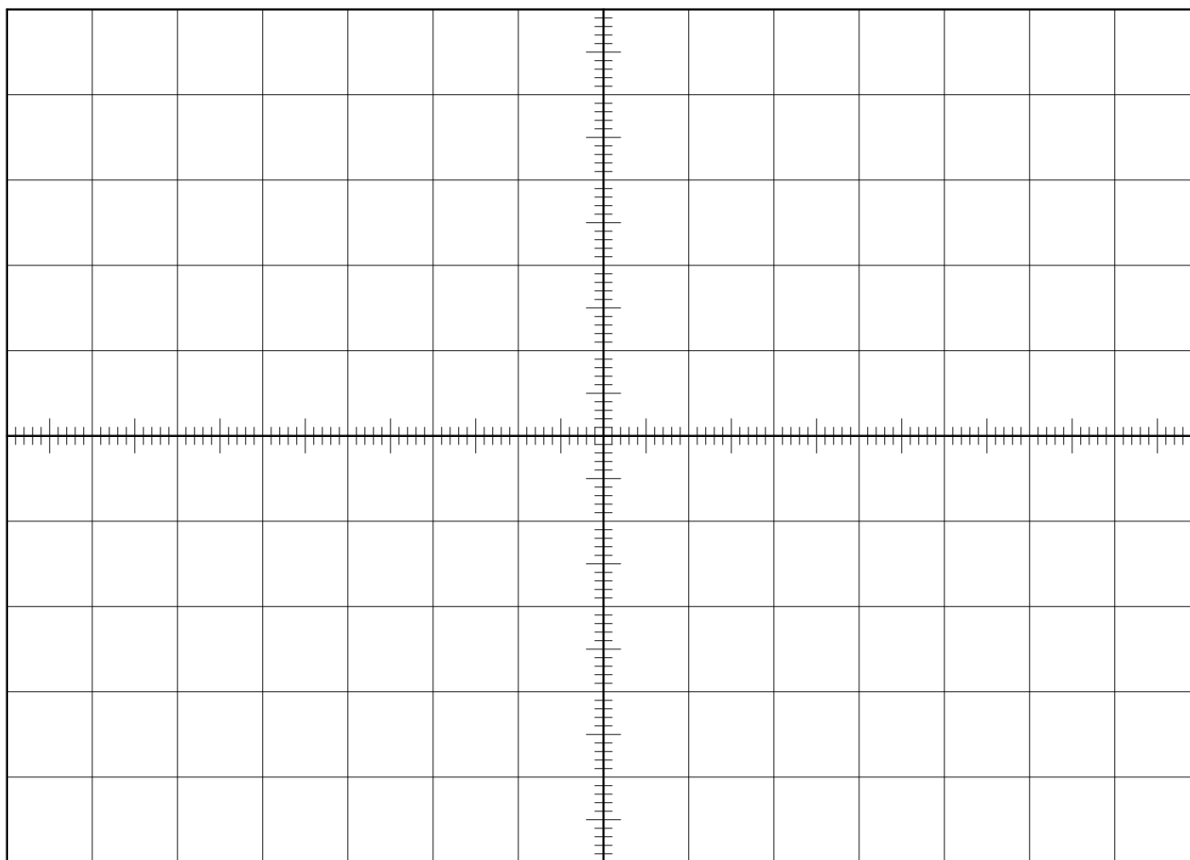
V času pozitivne napajalne napetosti dioda prevaja električni tok in je na njej je majhna napetost $U_D = 0.7V$, večji del napajalne napetosti pa je na upor R_1 , ki omejuje tok skozi tokokrog. Največji tok, ki v našem vezju teče skozi diodo je:

$$I_D = \frac{U_G - U_D}{R_{R_1}} \quad (7.1)$$

V primeru negativne periode napajalne napetosti dioda ne prevaja. Skozi tokokrog teče zelo majhen zaporni tok $I_Z = 25nA$, ki povzroča zanemarljiv padec napetosti na upor R . Tako na izhodu dobimo le enosmerno napetost, čeprav smo na vhod priključili izmenično napetost. V našem primeru je enosmerna napetost pozitivna polvalna napetost ...

7.1.1 NALOGA: POLVALNI USMERNIK

Sestavite vezje na sl. 7.1, ter izmerite potek vhodne napetosti vira - $U_G(t)$ in napetost na upor $U_{R1}(t)$. Obe krivulji narišite v graf na sl. 7.2



Slika 7.2: Časovna odvisnot izhodne napetosti polvalnega usmernika.

7.2 Glajenje izhodne napetosti

Ko uporabljamo nek vir napetosti, je v večini primerov zaželena neka konstantna izhodna napetost (s časom naj se ne spreminja). V prejšnji vaji pa smo lahko opazili, da je sicer napetostni potencial sicer pozitiven, a ni konstanten. Zato moramo ta napetostni potencial še "zgladiti". Za naš primer bomo uporabili najenostavnejšo rešitev in za glajenje uporabili kondenzator tako, da ga vežemo vzporedno k bremenu (= porabniku). Tako izboljšamo stabilnost izhodne napetosti in jo lahko izračunamo kot:

$$\sigma = \frac{\overline{U_{IZ}}}{\Delta U_{IZ}} \quad (7.2)$$

Kjer je $\overline{U_{IZ}}$ - povprečna vrednost izhodne napetosti in ΔU_{IZ} - največja sprememba izhodne napetosti.

Princip delovanja glajenja lahko razložimo tako, da v času pozitivne periode napetostni vir zagotavlja

električni tok obena - upor R_1 in kondenzatorju. Kondenzator se ob tem napolni z nabojem in se tako na njem pojavi napetost. S časom se napetost vira začne zmanjševati in ko je napetost vira manjša od napetosti na kondenzatorju, v tem trenutku tok skozi diodo ne teče več. Tako toka skozi upor ne zagotavlja več napetostni vir, pač pa naboj, ki je shranjen na kondenzatorju. Stabilnost izhodne napetosti pa bo boljša, čim večja bo časovna konstanta praznjenja:

$$\tau = R_1 C_1 \quad (7.3)$$

7.2.1 NALOGA: GLAJENJE IZHODNE NAPETOSTI

Izhodno napetost polvalnega usmernika zgladite z dodanim kondenzatorjem s kapacitivnostjo za $C_1 = 47\mu F$. Nato menjajte različne bremenske upornosti R_1 in opazujte kako se spremeni stabilnost izhodne napetosti.

V tbl. 7.1 vpišite meritve povprečne vrednosti izhodnega napetostnega potenciala in vrednosti največje spremembe le tega.

Natu tudi izračunajte stabilnost napetostnega potenciala.

Tabela 7.1: Stabilnost izhodne napetosti pri različnih bremenskih upornostih.

$R_B [k\Omega]$	$\overline{U_{IZ}} [V]$	$\Delta U_{IZ} [V]$	σ
1.0kΩ			

7.2.2 NALOGA: GLAJENA IZHODNA NAPETOST

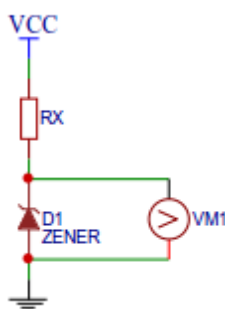
Na graf sl. 7.2 dorišite še zglajeno izhodno napetost za en primer iz kombinacije:

$R_1 = \text{_____} k\Omega$ in

$C_1 = \text{_____} \mu F$.

8 Zenerjeva dioda

Zenerjeva dioda je v prevodni smeri zelo podobna navadni usmerniški diodi. V zaporni smeri pa ima nekoliko drugačne lastnosti. Električni tok začne dobro prevajati šele, ko se na njej pojavi t.i. zenerjeva napetost. V elektronskih vezjih jo uporabljamo predvsem v zaporni smeri. Zato boljše spoznajmo njeno karakteristiko v zaporni smeri. Izmerimo jo lahko z vezjem, ki ga prikazuje sl. 8.1.



Slika 8.1: Merjenje karakteristike zenerjeve diode v zaporni smeri.

8.0.1 NALOGA: KARAKTERISTIKA ZENERJEVE DIODE

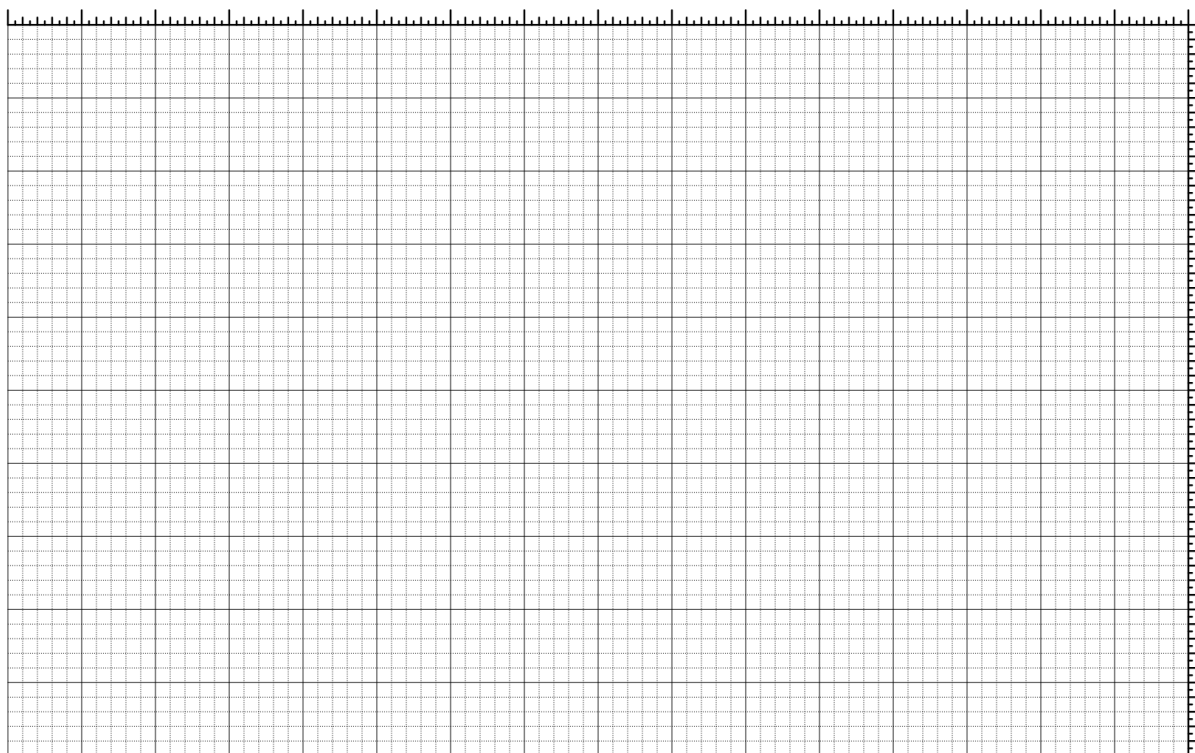
1. Sestavite vezje, ki je prikazano na sl. 8.1 in izmerite karakteristiko $I(U)$ zenerjeve diode v zaporni smeri. Menjajte upor R_X tako, da boste na zenerjevi diodi ustvarili različne napetosti.
2. Nakažite vsaj en izračun električnega toka, ki teče skozi zenerjevo diodo, če merimo le napetost na zenerjevi diodi.
3. Zabeležite si ključne podatke (napajalno napetost in nazivno zenerjevo napetost):

$U_{CC} = \text{_____ V}$

$U_{Z0} = \text{_____} \text{ V}$

Tabela 8.1: Meritve karakteristike zenerjeve diode.

N	$R_X [k\Omega]$	$U_Z [V]$	$I_Z [mA]$	N	$R_X [k\Omega]$	$U_Z [V]$	$I_Z [mA]$
1				6			
2				7			
3				8			
4				9			
5				10			



Slika 8.2: Karakteristika zenerjeve diode $I(U)$ v zaporni smeri.

8.0.2 NALOGA: DELOVNA TOČKA ZENERJEVE DIODE

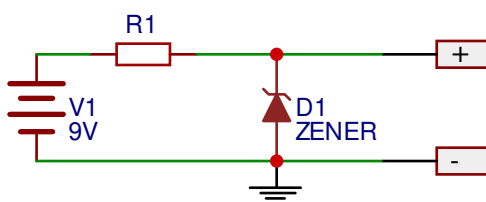
1. Iz grafa na sl. 8.2 odčitajte delovno točko zenerjeve diode. To je točka na $I(U)$ karakteristiki zenerjeve diode, pri kateri teče skozi zenerjevo diodo delovni tok I_{Z0} in je na njej ravno njena nazivna napetost U_{Z0} .

$I_{Z0} =$ _____ mA

$U_{Z0} =$ _____ V

9 REFERENČNI VIR Z ZENERJEVO DIODO

Referenčni napetostni vir, naj bi bil vir napetosti, ki bi zagotavljal neko določeno napetost (oz. kar se da konstantno). Ker pa je lahko njegovo delovanje odvisno od več spremenljivk (napajanje vira, različni porabniki) je lahko stabilnost te napetosti vprašljiva. Kako bi si skonstruirali tak vir, si pogledjmo na naslednjem primeru. Referenčni vir bomo napajali z 9 V. Zenerjeva dioda je vezana v delilnik napetosti z uporom R_1 , s katerim nastavimo ustrezne pogoje delovanja zenerjeve diode (glej: delovna točka zenerjeve diode iz prejšnje naloge).



Slika 9.1: Referenčni vir z zenerjevo diodo.

9.0.1 NALOGA: REFERENČNI VIR Z ZENERJEVO DIODO

Sestavite referenčni vir z zenerjevo diodo, kot prikazuje slika. Upor R_1 izberite tako, da bo zen. dioda delovala pri njeni delovni točki.

Izračun tudi nakažite.

Sedaj lahko preverite kako je s stabilnostjo vašega referenčnega vira. Na primer, da se po nekaj urah naš akumulator izprazni in namesto 9 V voltov zagotavlja le še 5 V. Če kljub temu na izhodu ne zaznamo znatne spremembe napetosti je vir dober oz. ima velik faktor stabilnosti. Faktor stabilnosti napetostnega vira je definirana kot kvocient med relativnima spremembama vhodne in izhoden napetosti:

$$S = \frac{\frac{\Delta U_G}{U_G}}{\frac{\Delta U_{IZ}}{U_{IZ}}} = \frac{\Delta U_G \overline{U_{IZ}}}{\overline{U_G} \Delta U_{IZ}} \quad (9.1)$$

9.0.2 NALOGA: STABILNOST REFERENČNEGA VIRA.

Ustvarite take pogoje, da boste lahko faktor stabilnosti tudi izračunali.

Na primer, da spremenite vhodno napetost za cca 1-2 V. Tako lahko izmerite vse podatke za izračun stabilnosti.

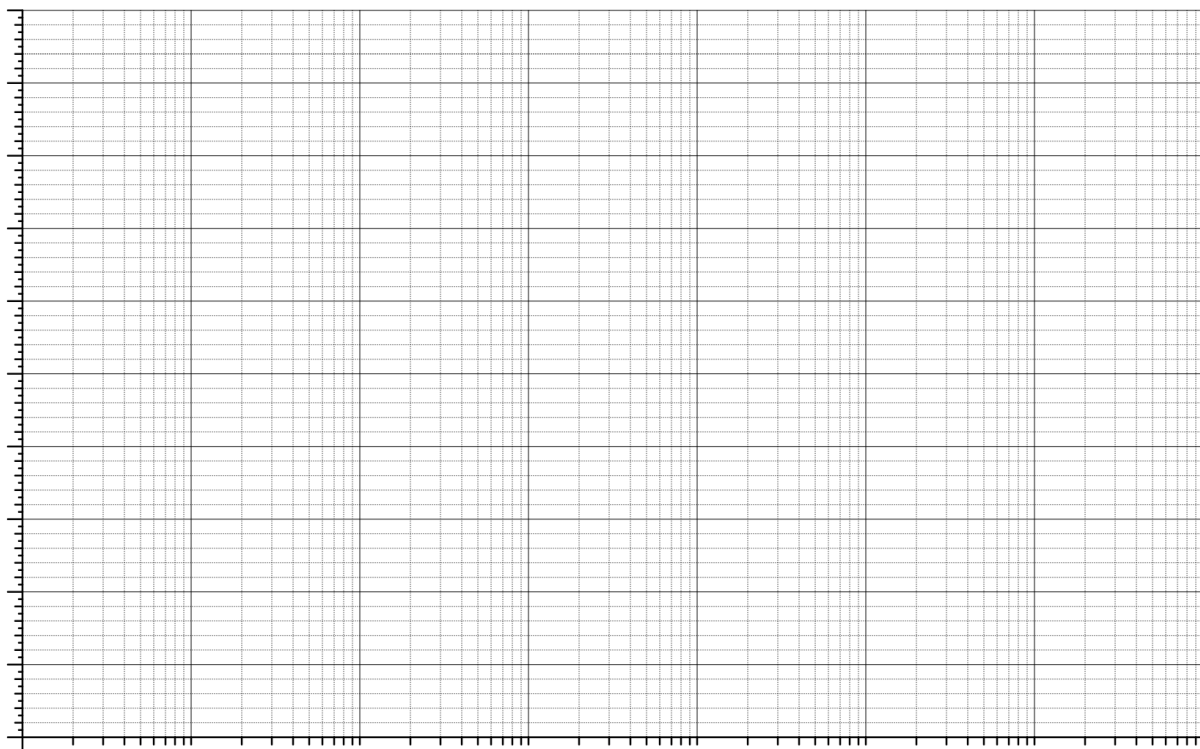
9.1 OBREMENILNI PRESKUS REFERENČNEGA VIRA

9.1.1 NALOGA: OBREMENILNI PRESKUS REFERENČNEGA VIRA

Nato naredite obremenilni preskus referenčnega vira v širokem spektru bremenskih upornosti [10 Ohmov .. 1 Mohm]. Napajalna napetost referenčnega vira naj bo zopet 9 V. Rezultate obremenilnega preskusa grafično predstavite v grafu $U_{IZ}(R_B)$. Graf naj ima vodoravno os v logaritemskem merilu.

Tabela 9.1: Obremenilni preskus referenčnega vira.

N	$R_B[k\Omega]$	$U_{IZ}[V]$	N	$R_B[k\Omega]$	$U_{IZ}[V]$
1			6		
2			7		
3			8		
4			9		
5			10		



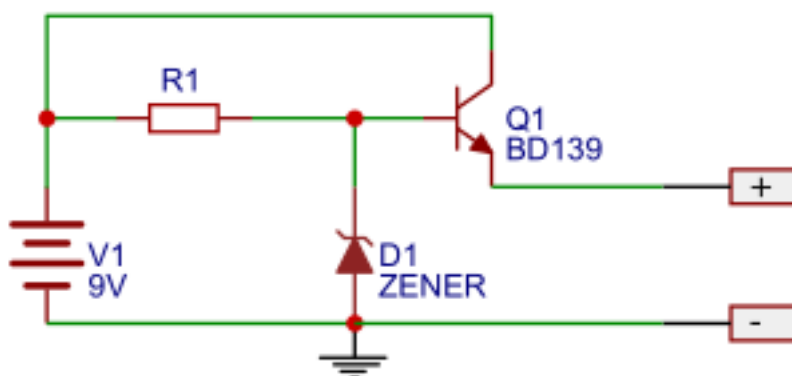
Slika 9.2: Graf obremenilnega preskusa.

10 TRANZISTOR

V prejšnji vaji smo lahko izmerili, da referenčni vir z zenerjevo diodo zagotavlja stabilno napetost le večjim bremenskim upornostim. Ob manjših bremenskih upornostih pa se napetost precej zmanjša, saj je izhodna upornost referenčnega vira z zenerjevo diodo precej velika in tako ne more zagotavljati potrebnega toka.

10.1 TRANZISTOR KOT OKJAČEVALNIK MOČI

To pomanjkljivost lahko izboljšamo, če izhodu referenčnega vira z zenerjevo diodo dodamo NPN tranzistor v funkciji sledilnika napetosti, kot to prikazuje sl. 10.1.



Slika 10.1: Referenčni napetostni vir z ojačevalnikom moči.

10.1.1 NALOGA: REFERENČNI NAPETOSTNI VIR Z OJAČEVALNIKOM MOČI

Sestavite vezje na sliki 9.1 in izmerite obremenilni preskus referenčnega vira v širokem spektru bremenskih upornosti [10 Ohmov .. 1 Mohm]. Napajalna napetost referenčnega vira naj bo zopet 9 V. Rezultate obremenilnega preskusa grafično predstavite v grafu $U_{IZ}(R_B)$ na isti graf iz prejšnje vaje na sl. ??.

10.2 TRANZISTOR KOT STIKALO

Vaja je del naslednje vaje z operacijskim ojačevalnikom...

11 OPERACIJSKI OJAČEVALNIK

Tranzistorje smo v preteklosti uporabljali kot ojačevalnike ali celo v nekih bolj kompleksnih krmilnih elementih. Te funkcije danes pretežno opravljamo z integriranimi vezji kot so operacijski ojačevalniki, ker so precej bolj enostavni za uporabo. Z uporabo operacijskega ojačevalnika in le nekaj dodatnih elementov lahko z njimi sestavimo vrsto različnih vezij, kot so različni ojačevalniki, pretvorniki, sita, seštevalniki, odštevalniki množilniki itd.

11.1 KOMPARATOR NAPETOSTI

Najbolj preprosta vezava operacijskega ojačevalnika je komparator napetosti. To vezje primerja vhodni napetosti. Torej napetosti, ki sta na invertirajočem (označen z “-”) in neinvertirajočem (označen s “+”) priključku komparatorja. Če je napetost na neinvertirajočem vhodu večja, bo vezje na izhodnem opiključku imelo najvišji možen napetostni potencial - **zgornje nasičenje**. Če pa je situacija obratna torej, da je na invertirajočem vhodu večja napetost, pa bo vezje imelo na izhodu **spodnje nasičenje**.

NAPAJANJE OPERACIJSKIH OJAČEVALNIKOV

Pri tako enostavnih vezjih navadno lahko uporabljamo kar baterijsko napajanje (9V ali 4.5V), vendar moramo biti pri operacijskih ojačevalnikih bolj pozorni. V taki situaciji (uni- polarno napajanje = le dva potenciala eden za 9V in drugi za 0 V) lahko uporabljamo z o.o. z oznako 358 ali temu podobnimi. Operacijski ojačevalnik z oznako 741 pa lahko deluje tudi z bipolarnim napajanjem (npr.: +5V, -5V in 0V). Napajalnih napetostnih potencialov pogosto v električne sheme ne rišemo, saj so načeloma določene in bi zmanjševale preglednost shem.

IZHODNA NAPETOST PRI KOMPARATORJU NAPETOSTI

Izhodna napetost komparatorja je vedno v enem nasičenju (v zgornjem ali spodnjem). To pomeni, da je izhodna napetost odvisna od napajalne napetosti. Omeniti pa moramo, da se o.o. razlikujejo tudi v tej lastnosti, saj nekateri od njih lahko izhodno napetost (=nasičenje) čisto približajo napajalni napetosti; medtem, ko je pri drugih le-ta lahko različna tudi do 1.5 V.

I

11.1.1 NALOGA: VKLOP ŽARNICE

Sestavite elektronsko vezje, ki bo vključilo žarnico, ko bomo na to vezje posvetili z drugim svetlobnim telesom. Tako vezje bo delovalo kot navadna sveča, ki jo moramo prižgati z vžigalico. To vezje lahko razdelimo na štiri osnovne sestavne dele, ki jih najdete v regulacijskih vezjih:

1. Senzorski del: v katerem imamo senzor osvetljenosti za detekcijo tujega svetlobnega telesa.
2. Nastavitveni člen: s katerim nastavimo referenčno napetost na katero se ozira primerjalna logična enota.
3. Komparator napetosti: ki bo primerjal napetost senzorja z napetostjo nastavitvenega člena.
4. Močnostna elektronika: ki bo na podlagi izhodnega napetostnega potenciala komparatorja poskrbela za vklop žarnice.

Vsak sestavni del najprej načrtujte in ga nato realizirajte v fizični obliki. Narišite sheme vsakega sestavnega dela posebej, ga preizkusite in povežite v celoto.

11.2 INVERTIRAJOČI OJAČEVALNI SISTEM

Napetostne signale pogosto ojačamo zato, da jih ustrezno prilagodimo našim potrebam. Ena taka situacija je naprimer, ko želimo ojačati napetostni signal, ki ga dobimo iz izhoda električne kitare. Primer tega signala je prikazan na sl. 11.1.



Slika 11.1: Primer izhodnega napetostnega signala električne kitare pri zaigrani "struni A".

Iz sl. 11.1 lahko vidimo, da je amplituda tega signala v velikostnem redu 100 mV in ga moramo ojačati do nekaj voltov, da bi ga lahko slišali preko zvočnikov. Za to nalogo bi nam lahko prišel prav invertirajoči ojačevalni sistem.

11.2.1 NALOGA: PRIPRAVA VHODNEGA SIGNALA

Sestavite vezje s katerim boste lahko poljubno nastavljali napetostni signal v območju napetostni, ki ga orisuje sl. 11.1 ($U_{IZ} = \pm 250 \text{ mV}$). Vezje je lahko preprost delilnik napetostni s potenciometrom in napajano z bipolarnim napajanjem +9V in -9V. Shemo vezja tudi narišite.

11.2.2 NALOGA: INVERTIRAJOČI OJAČEVALNI SISTEM

Sestavite invertirajoči ojačevalni sistem z ojačanjem $|A'| \approx 50$.

Nato ojačajte napetostni signal prejšnjega vezja in izmerite celotno prenosno funkcijo ($U_2(U_1)$) ojačevalnega sistema, ki podaja odvisnost izhodne napetosti U_2 od vhodne napetosti U_1 . Ne pozabite izmeriti tudi področje v že nasičenem območju (vsaj 2 meritvi).

Meritve s pozitivnimi vhodnimi napetostmi U_1 vpisujte v tbl. 11.1 in meritve z negativnimi vhodnimi napetostmi v tbl. 11.2...

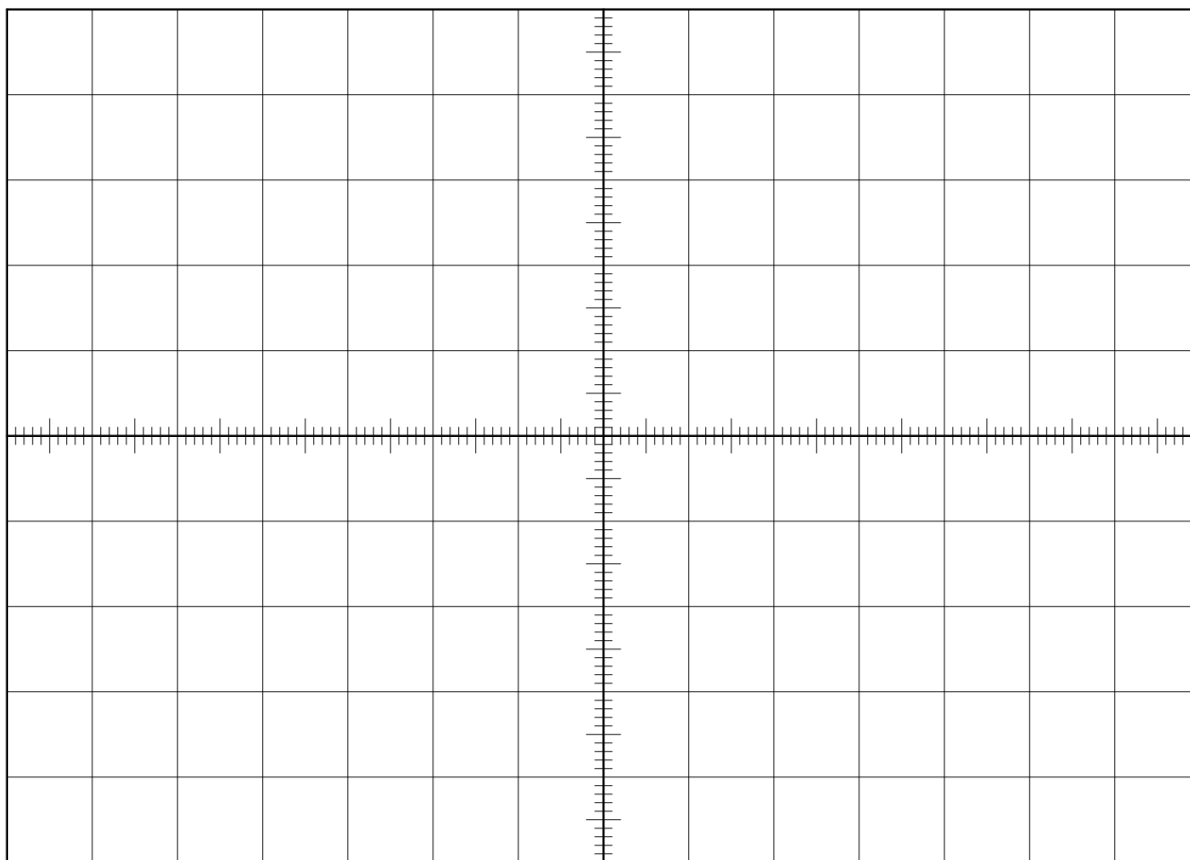
... ter rezultate meritev predstavite v grafični obliki $U_2(U_1)$ v grafu na sl. 11.2

Tabela 11.1: Meritve pozitivnih vhodnih napetosti.

N	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
$U_1[\text{mV}]$										
$U_2[\text{V}]$										

Tabela 11.2: Meritve negativnih vhodnih napetosti.

N	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
$U_1[\text{mV}]$										
$U_2[\text{V}]$										



Slika 11.2: Graf odvisnosti izhodne napetosti U_{IZ} od napetosti na vhodu invertirajočega ojačevalnega sistema U_{VH} .

11.2.3 NALOGA: NAPETOSTNI PREMIK OPERACIJSKEGA OJAČEVALNIKA

Iz grafa odčitajte in označite napako tega sistema - preostalo napetost U_{2OFF} in izračunajte napako operacijskega ojačevalnika, ki jo imenujemo **napetostni premik** in označimo z U_{OFF} . Izračun tudi predstavite.

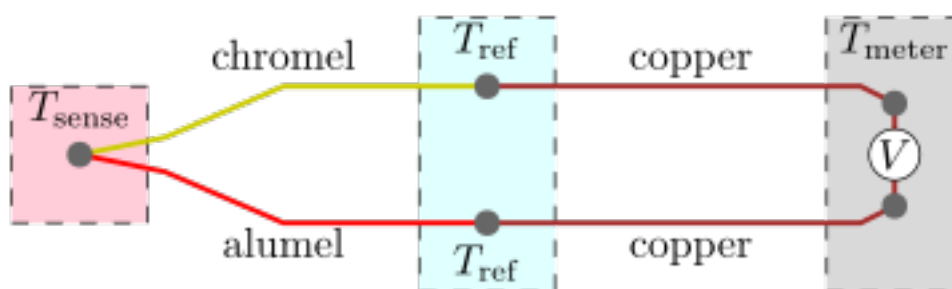
11.2.4 NALOGA: UTEMELJITE

Zakaj se izhodna napetost delilnika napetosti zmanjša v trenutku, ko priključek povežemo na vhod invertirajočega ojačevalnega sistema.

11.3 ELEKTROMETRSKI OJAČEVALNI SISTEM

Pogosto lahko naletimo na boljše termometre, ki za merjenje temperature uporabljajo termočlen. Termočlen sestavljata dve različni kovini, ki sta spojeni med seboj. Vsak spoj med neenakimi kovinami proizvede električni potencial, ki je odvisen od temperature. Če imamo dva taka spoja, lahko med njima zaznamo napetost, le-ta pa je premo-sorazmerna s temperaturno razliko obeh spojev(???)

Na sl. 11.3 vidimo tak primer merilnega sistema, kjer merimo izhodno napetost U_s , ki se pojavi, ob temperaturni razliki $\Delta T = T_{sense} - T_{ref}$.



Slika 11.3: Simbolična sestava merilnega sistema temperature s termočlenom.

Sorazmernostni koeficient med napetostjo in ΔT imenujemo koeficient termoelektrične napetosti. Poznamo več vrst termočlenov, ki se razlikujejo le v tem, kateri dve kovini sta spojeni med seboj. Naš primer termočlena je sestavljen iz bakra in konstantana (zlitina bakra 57%, niklja 41%, železa 1% in mangana 1%), znan tudi kot termočlen tipa T, njegov koeficient termoelektrične napetosti pa je $k_T = 43 \cdot 10^{-6} \text{ V}/^\circ\text{C}$.

Ker so te napetosti zelo majhne, jih moramo ojačati z velikim A' . A ker bi imeli težavo z znatno vhodno notranjo upornostjo invertirajočega ojačevalnega sistema, bomo raje izbrali elektrometrski ojačevalni sistem.

11.3.1 NALOGA: UMERITEV TEMPERTURNEGA SENZORJA Z ELEKTROMETRSKIM OJAČEVALNIM SISTEMOM

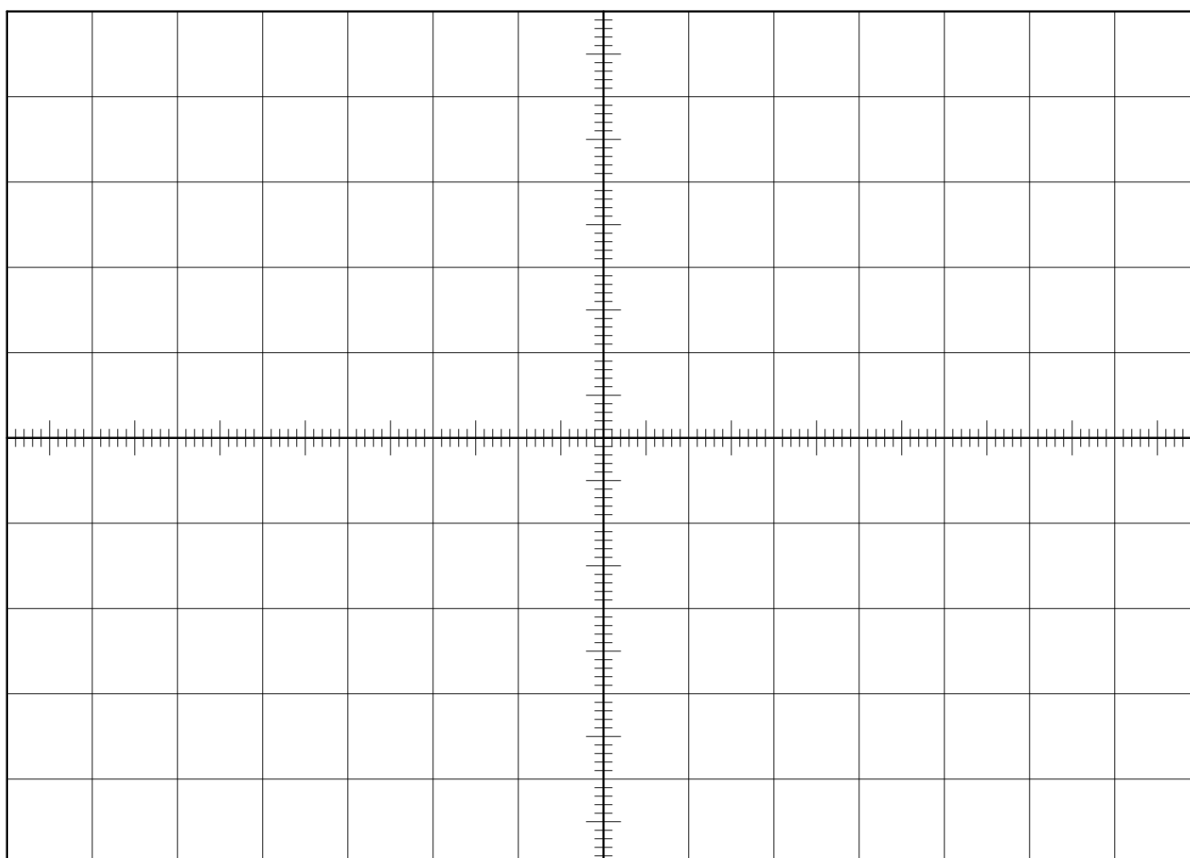
Skonstruirajte (narišite shemo) elektrometrskega ojačevalnega sistema z ojačenjem okoli 2326. Pri tem ojačanju, boste dobili izhodno napetost enako $1/10 \Delta T$ (npr.: $25^\circ\text{C} - 2.5 \text{ V}$). Kot vhodno napetost uporabite napetost termočlena, katero dobite, če oba konca termočlena postavite na različni temperaturi. Umerite cel sistem tako, da boste izmerili temperature obeh spojev in izhodno napetost ter te meritve vpisali v tbl. 11.3.

Nato narišite graf na sl. 11.4 $U_{IZU}(\Delta T)$, kjer je $\Delta T = T_+ - T_{GND}$ temperaturna razlika med obema spojemata termočlena.

Iz grafa odčitajte smerni koeficient umeritvene krivulje s katerim lahko izračunate koeficient termoelektrične napetosti za termočlen tipa T. Izračune tudi nakažite.

Tabela 11.3: Meritve umeritvenega postopka.

N ->	no. #1	no. #2	no. #3	no. #4	no. #5	no. #6	no. #7	no. #8	no. #9	no. #10
$T_+ [^{\circ}C]$										
$T_{GND} [^{\circ}C]$										
$\Delta T [^{\circ}C]$										
$U_{IZ} [V]$										

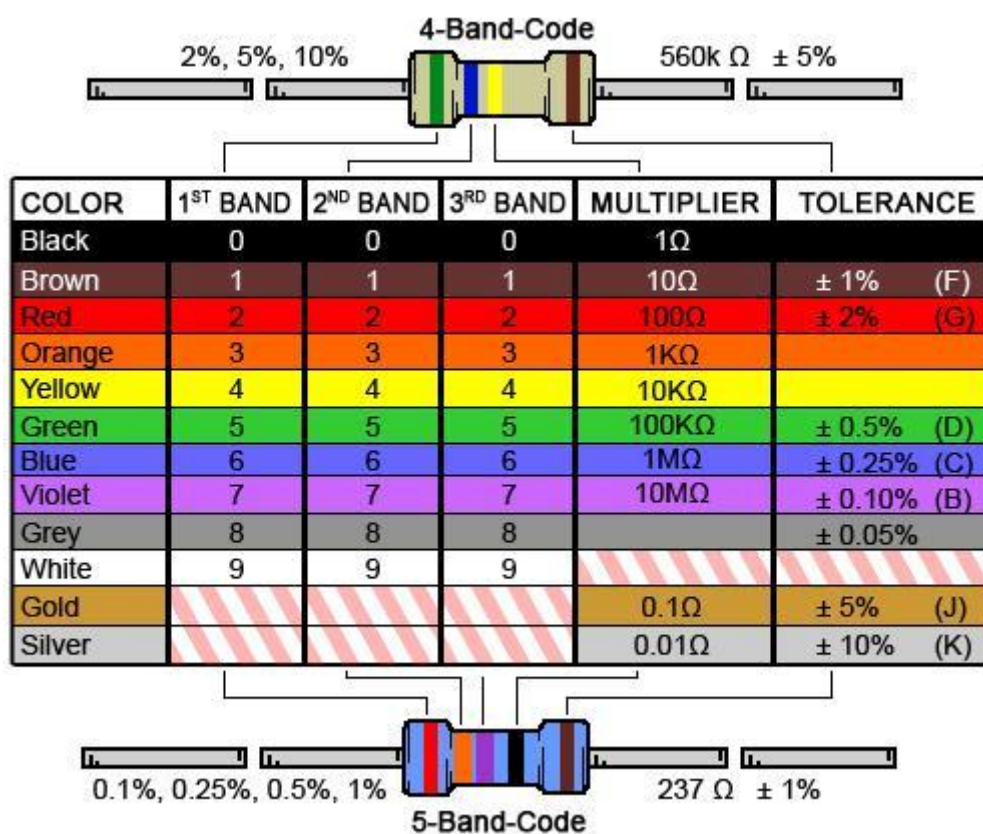


Slika 11.4: Graf umeritve senzorja s termočlenom in elektrometrskim ojačevalnim sistemom.

12 Dodatki in pogosta vprašanja

12.1 Barvno kodiranje upornosti

Upornosti na uporih so bravno kodirane kot jih prikazuje naslednja slika sl. 12.1



Slika 12.1: Bravno kodiranje vrednosti uporov.

