

---

## **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

2023-May



# Kazalo

<b>1</b>	<b>NAPAJANJE</b>	<b>3</b>
1.1	ZAGOTAVLJANJE STABILNE NAPAJALNE NAPETOSTI . . . . .	3
1.1.1	NALOGA: SESTAVITE VEZJE NA PROTOTIPNI PLOŠČICI . . . . .	3
1.2	NAPETOSTNI POTENCIAL . . . . .	4
1.2.1	NALOGA: IZMERITE NAPETOSTNE POTENCIALE . . . . .	4
1.3	NAPETOST . . . . .	5
1.3.1	NALOGA: IZRAČUNAJTE NAPETOSTI . . . . .	5
<b>2</b>	<b>KRMILNIK ARDUINO NANO</b>	<b>7</b>
2.1	TESTNI PROGRAM "BLINK.INO" . . . . .	7
2.1.1	NALOGA: PREIZKUS KRMILNIKA ARDUINO NANO. . . . .	8
2.2	NAPAJANJE KRMILNIKA ARDUINO NANO . . . . .	8
2.2.1	NALOGA: VEZAVA KRMILNIKA ARDUINO NANO NA PROTOTIPNI PLOŠČICI. . . . .	9
2.3	MODEL SEMAFORJA . . . . .	10
2.3.1	NALOGA: MODEL SEMAFORJA. . . . .	11
2.3.2	NALOGA: BERLJIVA PROGRAMSKA KODA . . . . .	12
2.4	ANALIZA VEZJA . . . . .	12
2.4.1	NALOGA: IZRAČUNAJTE ELEKTRIČNI TOK . . . . .	13
<b>3</b>	<b>UPORABA TIPKE</b>	<b>15</b>
3.1	VEZAVA TIPKE V DELILNIK NAPETOSTI . . . . .	15
3.1.1	NALOGA: VEZAVA TIPKE V DELILNIK NAPETOSTI . . . . .	15
3.2	PRIKLJUČITEV TIPKE NA DIGITALNI VHOD . . . . .	16
3.2.1	NALOGA: PRIKLJUČITEV TIPKE NA DIGITALNI VHOD . . . . .	16
3.3	PRIKLJUČITEV TIPKE Z UPOROM PROTI NAPAJANJU . . . . .	17
3.3.1	NALOGA: UPOR VEZAN PROTI NAPAJANJU . . . . .	17
3.4	UPORABA UPOROV VEZANIH PROTI NAPAJANJU V MIKROKRMILNIKU . . . . .	18
3.4.1	NALOGA: UPORABA UPOROV VEZANIH PROTI NAPAJANJU V MIKROKRMILNIKU . . . . .	18

<b>4</b>	<b>Uporaba potenciometra</b>	<b>19</b>
4.1	PORAZDELITEV NAPETOSTNEGA POTENCIALA NA POTENCIOMETRU . . . . .	19
4.1.1	NALOGA: MERJENJE NAPETOSTNEGA POTENCIALA NA POTENCIOMETRU. . . . .	19
4.2	UPORABA ANALOGNEGA VHODA NA KRMILNIKU . . . . .	20
4.2.1	NALOGA: ODČITAVANJE NAPETOSTNEGA POTENCIALA S KRMILNIKOM . . . . .	20
4.2.2	NALOGA: PRETVORBA ADC VREDNOSTI V NAPETOST . . . . .	21
4.2.3	NALOGA: VU-METER . . . . .	21
<b>5</b>	<b>NELINEARNI UPORI IN SENZORJI</b>	<b>23</b>
5.1	PREPROST SENZOR TEMPERATURE . . . . .	23
5.1.1	NALOGA: SENZOR TEMPERATURE - vezje [vezje]. . . . .	23
5.1.2	NALOGA: SENZOR TEMPERATURE - delovanje . . . . .	24
5.2	IZBIRA REFERENČNEGA UPORA . . . . .	24
5.2.1	NALOGA: DOLOČITEV REFERENČNEGA UPORA . . . . .	24
5.2.2	NALOGA: IZRAČUN REFERENČNEGA UPORA . . . . .	25
<b>6</b>	<b>UMERITEV SENZORJA TEMPERATURE</b>	<b>27</b>
6.1	TEMPERATURNO OBMOČJE . . . . .	27
6.1.1	NALOGA: SESTAVITE VEZJE . . . . .	27
6.1.2	NALOGA: UMERITEV SENZORJA . . . . .	27
6.1.3	NALOGA: KARAKTERISTIKA NTC TERMISTORJA . . . . .	28
<b>7</b>	<b>POLPREVODNIŠKA DIODA</b>	<b>31</b>
7.1	POL-VALNI USMERNIK . . . . .	31
7.1.1	NALOGA: POLVALNI USMERNIK . . . . .	32
7.2	Glajenje izhodne napetosti . . . . .	33
7.2.1	NALOGA: GLAJENJE IZHODNE NAPETOSTI . . . . .	33
7.2.2	NALOGA: GLAJENA IZHODNA NAPETOST . . . . .	34
<b>8</b>	<b>ZENERJEVA DIODA</b>	<b>35</b>
8.1	UPORABA ZENERJEVE DIODE . . . . .	35
8.1.1	NALOGA: KARAKTERISTIKA ZENERJEVE DIODE . . . . .	35
8.1.2	NALOGA: DELOVNA TOČKA ZENERJEVE DIODE . . . . .	37
<b>9</b>	<b>REFERENČNI VIR Z ZENERJEVO DIODO</b>	<b>39</b>
9.1	NAČRTOVANJE REFERENČNEGA NAPETOSTNEGA VIRA . . . . .	39
9.1.1	NALOGA: REFERENČNI VIR Z ZENERJEVO DIODO . . . . .	39
9.1.2	NALOGA: STABILNOST REFERENČNEGA VIRA. . . . .	40

9.2	OBREMENILNI PRESKUS REFERENČNEGA VIRA . . . . .	40
9.2.1	NALOGA: OBREMENILNI PRESKUS REFERENČNEGA VIRA . . . . .	40
<b>10</b>	<b>TRANZISTOR</b>	<b>43</b>
10.1	TRANZISTOR KOT OKJAČEVALNIK MOČI . . . . .	43
10.1.1	NALOGA: REFERENČNI NAPETOSTNI VIR Z OJAČEVALNIKOM MOČI . . . . .	43
10.2	TRANZISTOR KOT STIKALO . . . . .	44
<b>11</b>	<b>OPERACIJSKI OJAČEVALNIK</b>	<b>45</b>
11.1	KOMPARATOR NAPETOSTI . . . . .	45
11.1.1	NALOGA: VKLOP ŽARNICE . . . . .	46
11.2	INVERTIRAJOČI OJAČEVALNI SISTEM . . . . .	46
11.2.1	NALOGA: PRIPRAVA VHODNEGA SIGNALA . . . . .	47
11.2.2	NALOGA: INVERTIRAJOČI OJAČEVALNI SISTEM . . . . .	47
11.2.3	NALOGA: NAPETOSTNI PREMİK OPERACIJSKEGA OJAČEVALNIKA . . . . .	48
11.2.4	NALOGA: UTEMELJITE . . . . .	48
11.3	ELEKTROMETRSKI OJAČEVALNI SISTEM . . . . .	49
11.3.1	NALOGA: UMERITEV TEMPERTURNEGA SENZORJA Z ELEKTROMETRSKIM OJAČEVALNIM SISTEMOM . . . . .	49
11.4	SEŠTEVALNI IN ODŠTEVALNI SISTEMI Z OPERACIJSKIM OJAČEVALNIKOM . . . . .	51
11.4.1	NALOGA: SEŠTEVALNI SISTEM . . . . .	52
11.4.2	NALOGA: ODŠTEVALNI SISTEM . . . . .	52
<b>12</b>	<b>ELEKTRIČNA SITA</b>	<b>55</b>
12.1	NIZKO PREPUSTNO RC SITO . . . . .	55
12.2	KARAKTERISTIKA NIZKO PREPUSTNEGA SITA . . . . .	55
12.2.1	NALOGA: KARAKTERISTIKA NIZKO PREPUSTNEGA SITA . . . . .	56
<b>13</b>	<b>DODATKI IN POGOSTA VPRAŠANJA</b>	<b>59</b>
13.1	BARVNO KODIRANJE UPORNOSTI . . . . .	59
13.2	Pogoste zmotne predstave v elektroniki . . . . .	60
13.2.1	Baterija zagotavlja vedno enak tok. . . . .	60
13.2.2	Ohmov zakon je $U = R \cdot I$ . . . . .	60
13.2.3	Ohmov zakon velja le lokalno. . . . .	60
13.2.4	$U_{2off}$ odčitamo na x osi. . . . .	61



# Kazalo





# 1 NAPAJSANJE

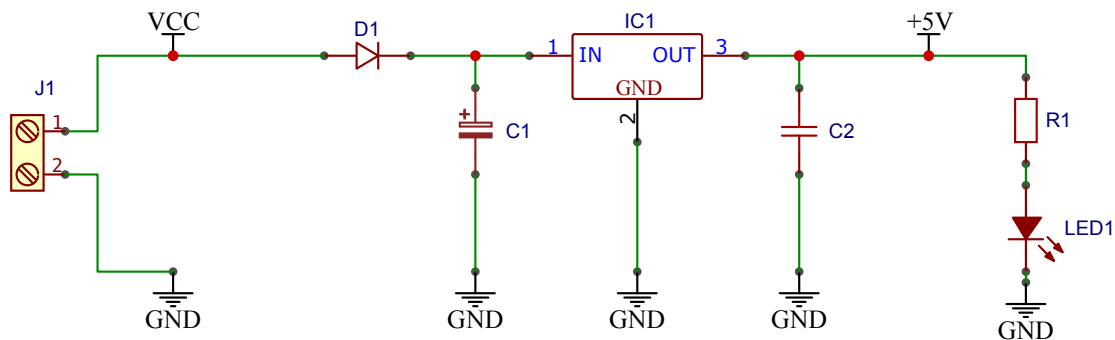
Vsako električno vezje potrebuje napajanje. Pogosto vezja napajamo z baterijami (prenosne električne naprave) ali pa z uporabo omrežnega napajanja. Za današnje vezje bomo uporabili omrežno napajanje.

## 1.1 ZAGOTAVLJANJE STABILNE NAPAJSALNE NAPETOSTI

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.

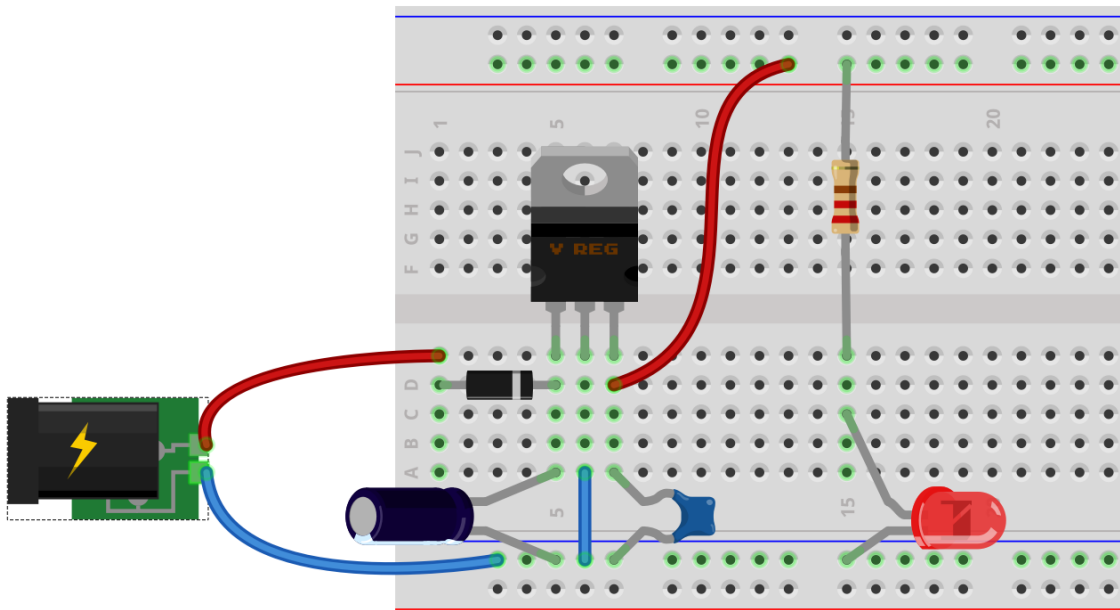
### 1.1.1 NALOGA: SESTAVITE VEZJE NA PROTOTIPNI PLOŠČICI

Sestavite 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.



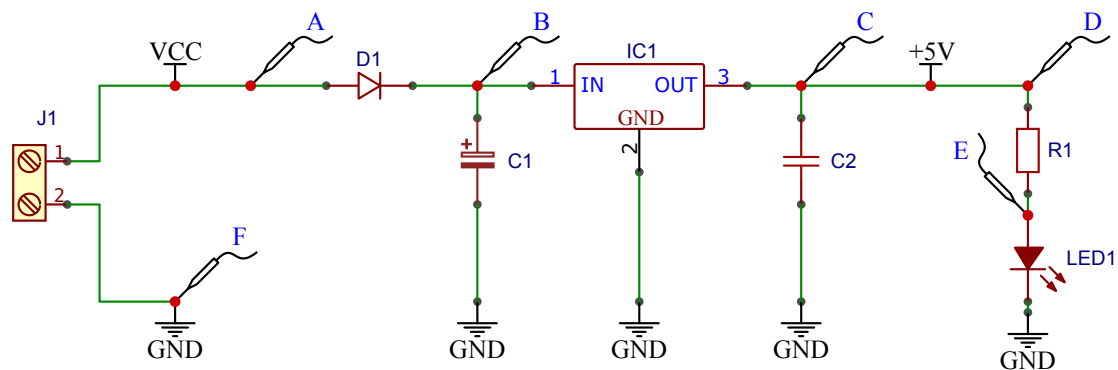
Slika 1.2: Skica realnega vezja.

## 1.2 NAPETOSTNI POTENCIAL

### 1.2.1 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.

## 1.3 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

### 1.3.1 NALOGA: IZRAČUNAJTE NAPETOSTI

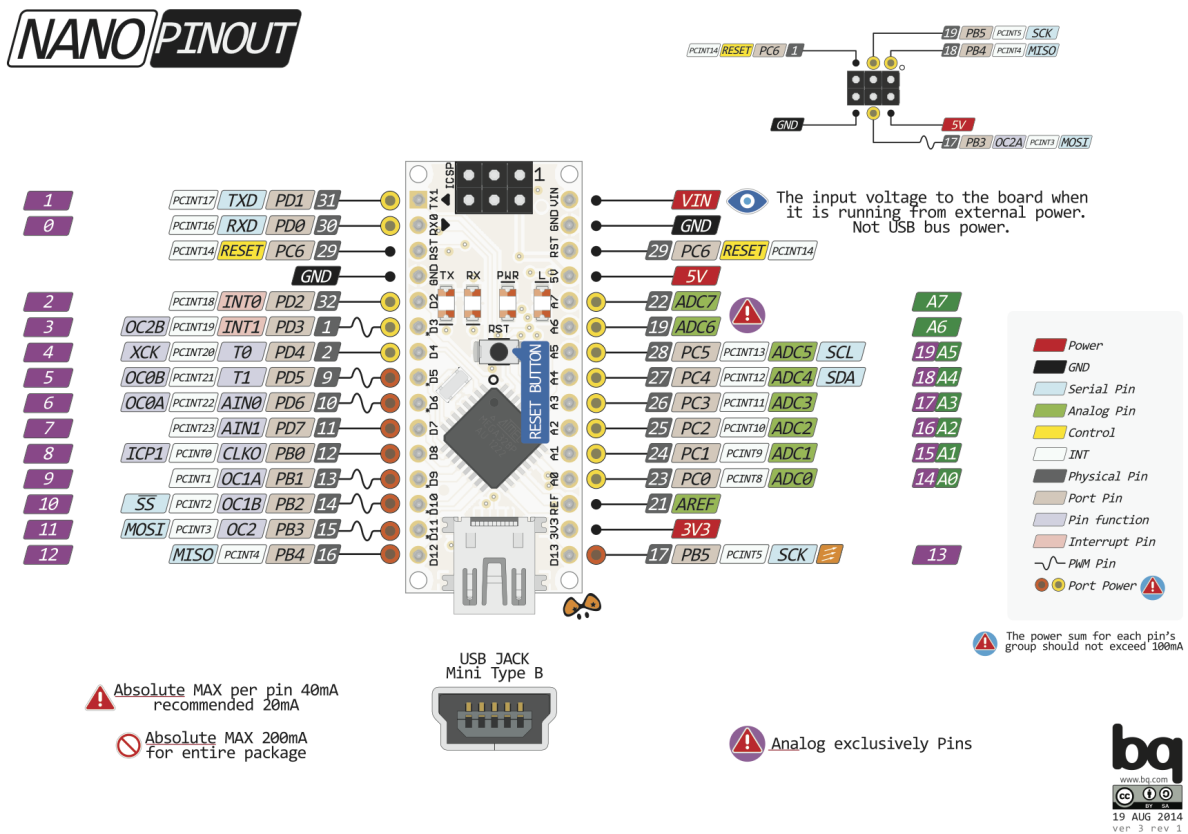
Za vse našteje elemente najprej izračunajte kolikšna napetost je na njih, nato pa izračun preverite z inštrumentom.

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 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.

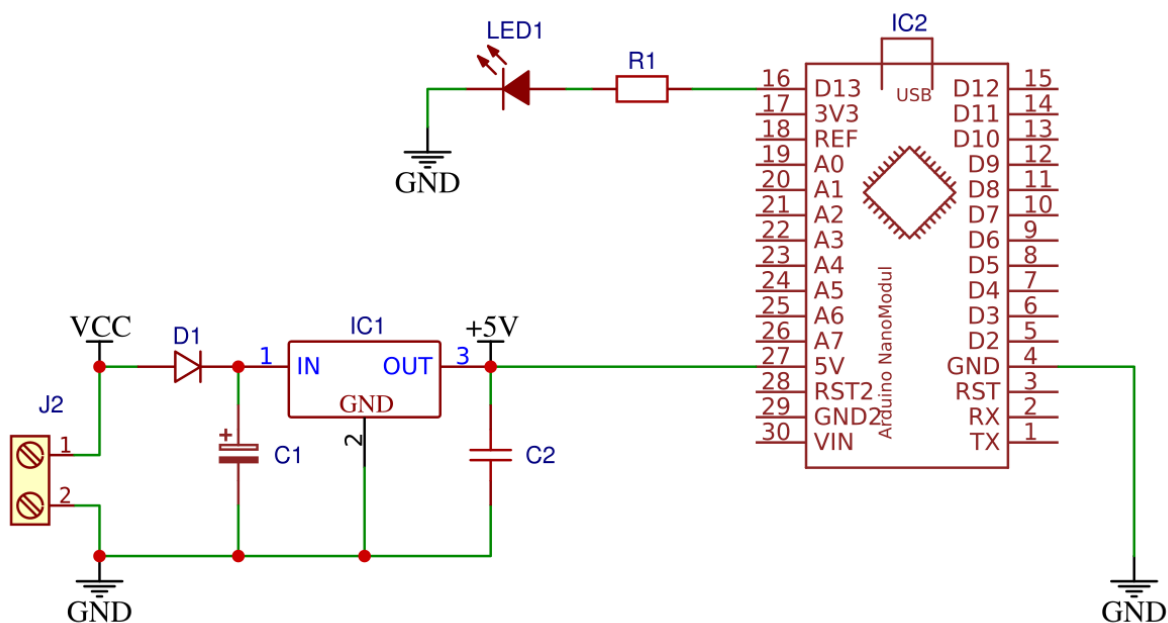
```
1 void setup() {
2     // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
3     pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
4 }
5
6 // the loop function runs over and over again forever
7 void loop() {
8     digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the
9         voltage level)
10    delay(1000);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

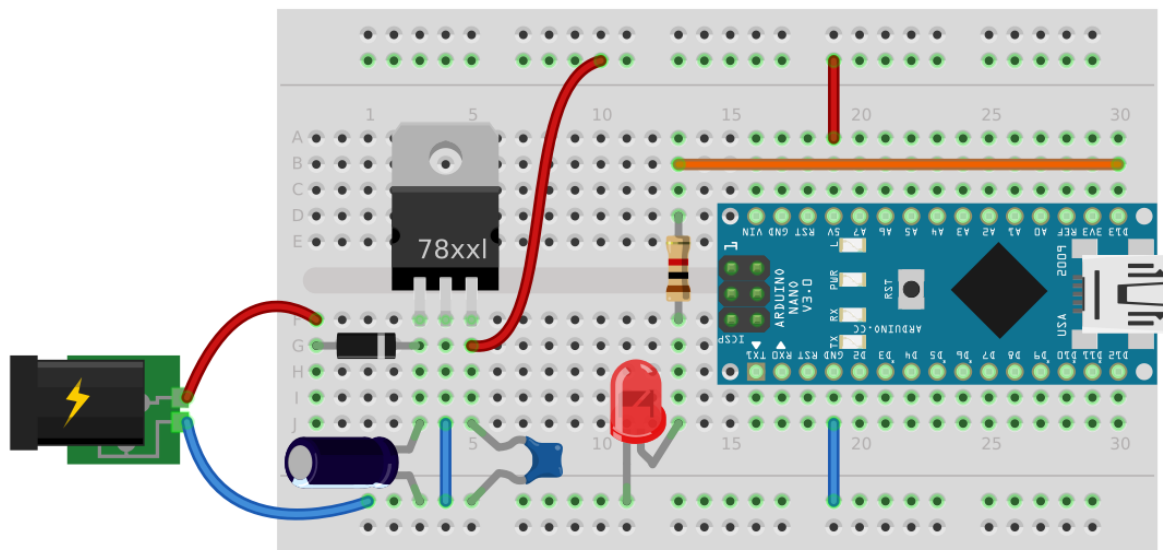
Krmilnik Arduino Nano lahko vstavimo tudi v prototipno ploščico in ga napajamo z zunanjim napajanjem.

### 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.

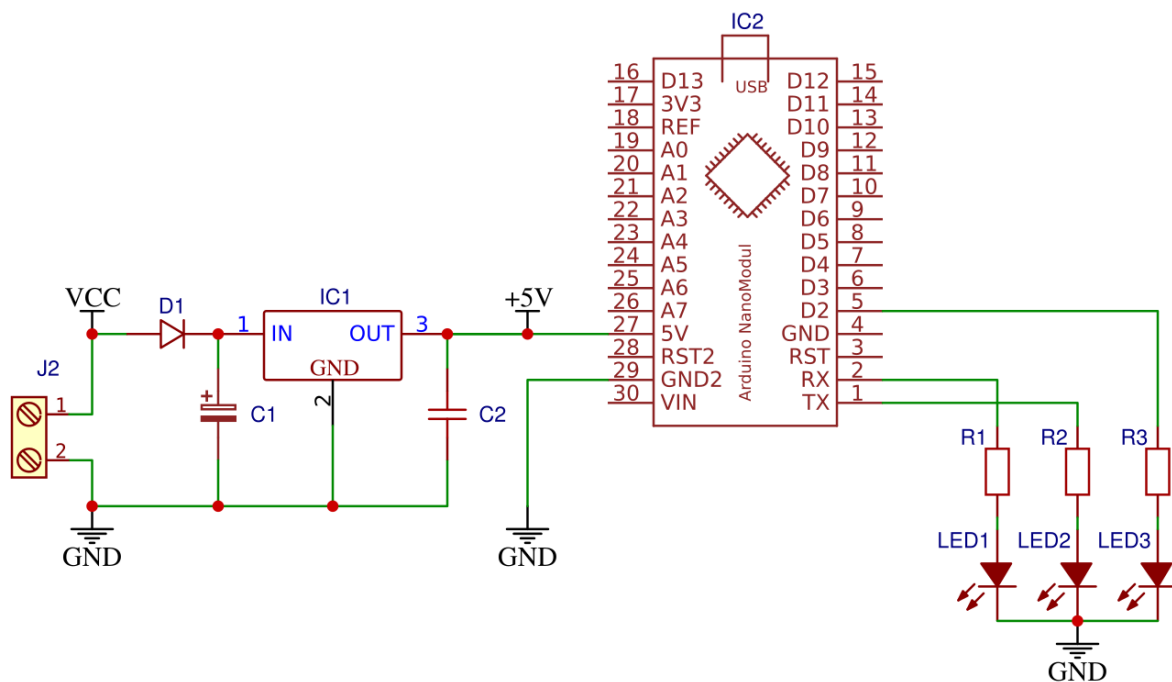


**Slika 2.3:** Shema vezave krmilnika Arduino Nano na prototipni ploščici.

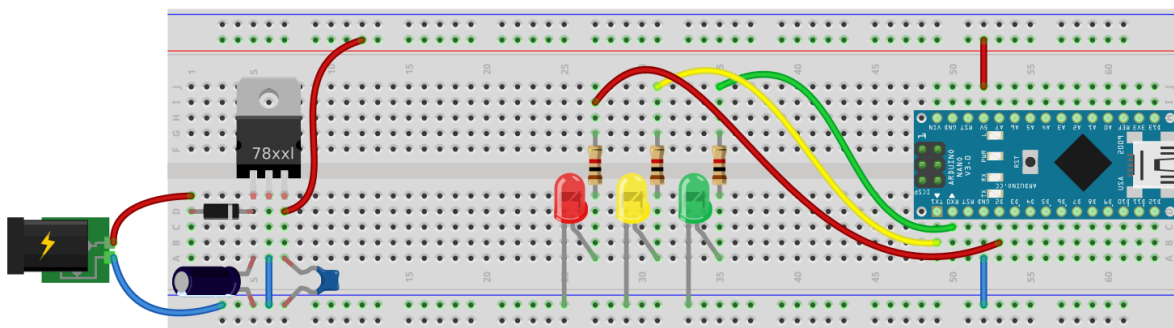
## 2.3 MODEL SEMAFORJA

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 }
```

### 2.3.2 NALOGA: BERLJIVA PROGRAMSKA KODA

Programsko kodo preoblikujte tako, da bo koda enostavno berljiva in razumljiva. Predvsem storite naslednje:

1. programske stavke s skupnim namenom združite v funkcije, 2. dodajte komentarje, kjer je to potrebno in 3. uporabite razlagalne konstante in spremenljivke

V pomoč vam je lahko vsebina iz [Začetne Robotike](#)

## 2.4 ANALIZA VEZJA

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

Naprimera: 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 najpogosteje 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.

### 3.1 VEZAVA TIPKE V DELILNIK NAPETOSTI

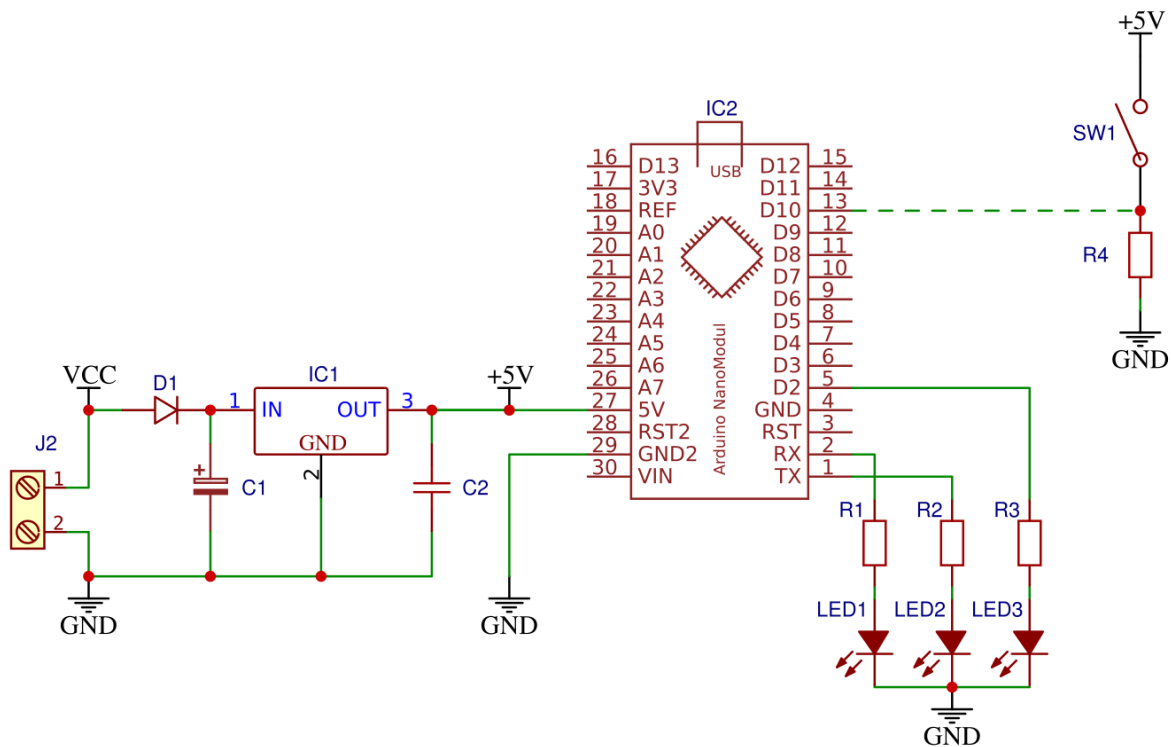
Zaznavanje pritiska tipke najbolj pogosto izvedemo tako, da izmerimo napetost na enem od njenih priključkov. Zato moramo tipko vedno vezati v delilnik napetosti.

#### 3.1.1 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.

## 3.2 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.

### 3.2.1 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).

### 3.3 PRIKLJUČITEV TIPKE Z UPOROM PROTI NAPAJANJU

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

#### 3.3.1 NALOGA: UPOR VEZAN PROTI NAPAJANJU

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

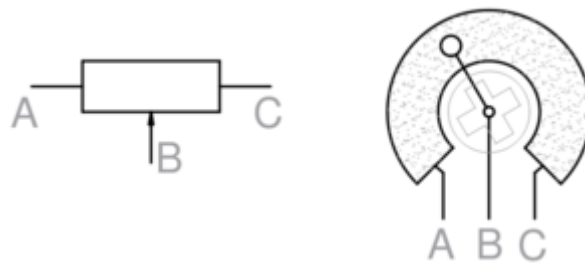
Popravite program tako, da bo LED utripala, ko boste tipko držali. Utemeljite zakaj je sedaj napetostni potencial na vhodnem priključku krmilnika D10 enak 5 V, ko tipka ni pritisnjena (Utemeljitev podprite z Ohm-ovim zakonom in Kirchoff-ovima izrekoma).





## 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.

### 4.1 PORAZDELITEV NAPETOSTNEGA POTENCIALA NA POTENCIOMETRU

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.

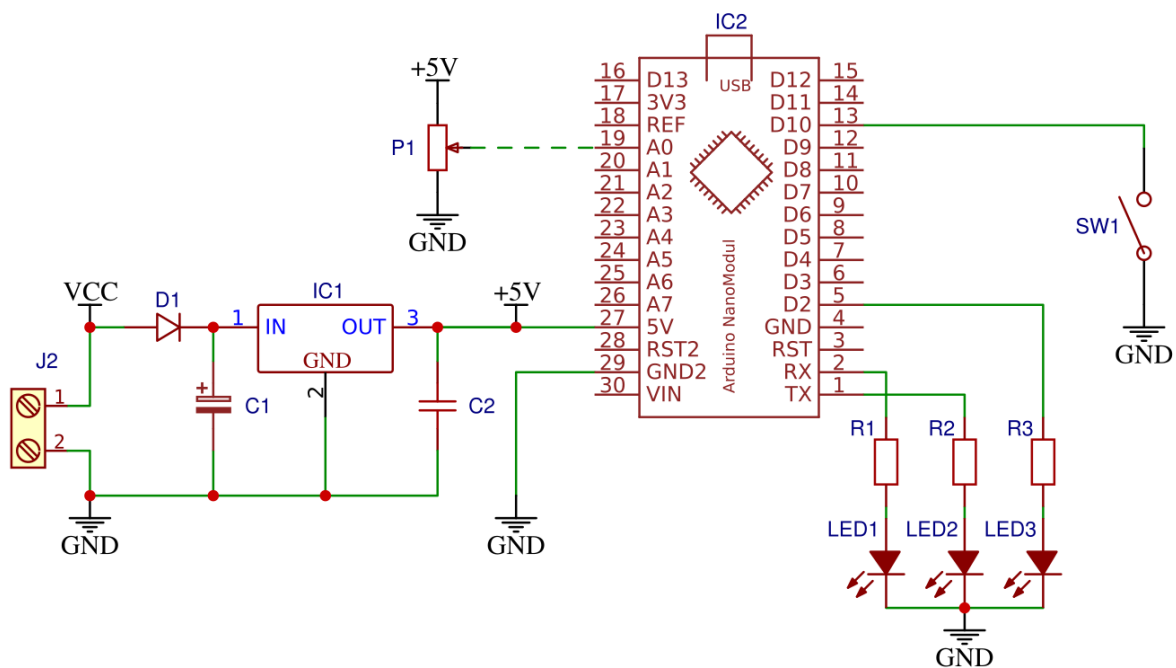
#### 4.1.1 NALOGA: MERJENJE NAPETOSTNEGA POTENCIALA NA POTENCIOMETRU.

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 potenciomtra.

## 4.2 UPORABA ANALOGNEGA VHODA NA KRMILNIKU

Na krmilniku imamo možnost odčitavanja napetostnega potenciala v analogni obliki z analognimi vhodi. Vsi analogni vhodi so na krmilniku označeni s črko "A" in zaporedno številko npr.: A0, A1 .. A7.



**Slika 4.2:** Priključitev potenciomtra.

### 4.2.1 NALOGA: ODČITAVANJE NAPETOSTNEGA POTENCIALA S KRMILNIKOM

Povežite srednji priključek potenciomtra 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 številske 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.

#### 4.2.2 NALOGA: PRETVORBA ADC VREDNOSTI V NAPETOST

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

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

#### 4.2.3 NALOGA: VU-METER

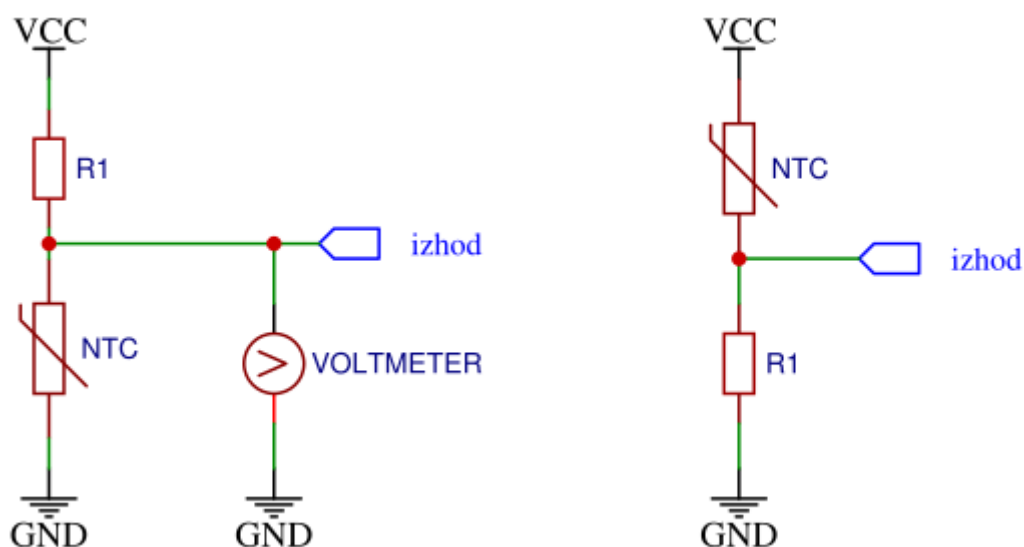
Program preoblikujte tako, da ko boste s potenciometrom nastavili večjo napetost, naj se vključi vač LED. Podobno kot je to na VU-metru na glasbenih stolpih. Kodo programa tudi priložite.



## 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.

### 5.1 PREPROST SENZOR TEMPERATURE



**Slika 5.1:** Temperaturni senzor.

#### 5.1.1 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.

### 5.1.2 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		
$R_{NTC}$		
$I'$		
$U_{R_1}$		
$U_{IZHOD}$		

## 5.2 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**.

### 5.2.1 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.

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

Iz prejšnje naloge ste verjetno opazili, da je odziv sensorja 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  $\Delta U(R_{Ref})$ .

### 5.2.2 NALOGA: IZRAČUN REFERENČNEGA UPORA

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

<sup>a</sup>Upornost termistorja pri temperaturi  $T_1$  je različna od uporanosti pti  $T_2$ , zato jih morate ločiti in označiti drugače, npr.:  $R_{NTC-T_1}$  in  $R_{NTC-T_2}$ .





## 6 UMERITEV SENZORJA TEMPERATURE

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

### 6.1 TEMPERATURNO OBMOČJE

Pred umeritvenim postopkom moramo poznati temperaturno območje, v katerem bomo senzor uporabljali. Zato si zadajmo nalogo, da bomo senzor uporabljali v območje  $T = [20^{\circ}C .. 40^{\circ}C]$ .

#### 6.1.1 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:

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

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

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

<sup>a</sup>Za izračun vzemite izpeljano enačbo iz prejšnje naloge.

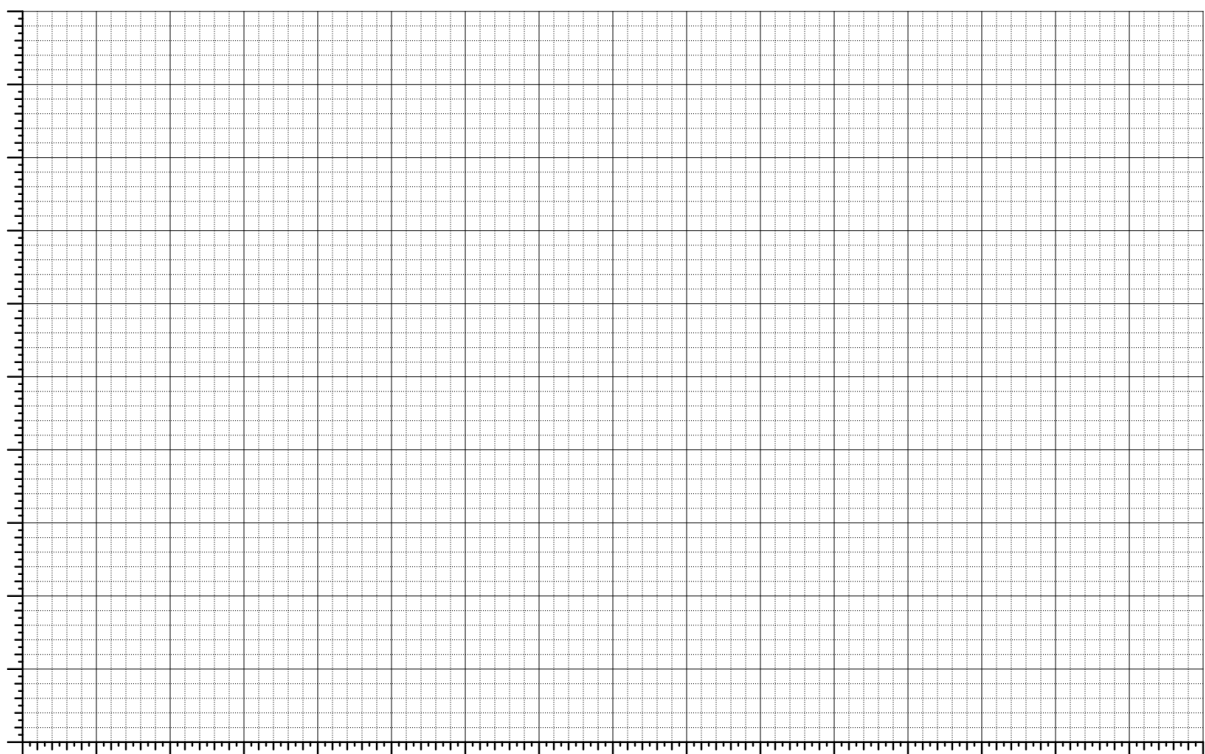
#### 6.1.2 NALOGA: UMERITEV SENZORJA

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

**Table 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.

### 6.1.3 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.

<sup>1</sup>Upornost 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.



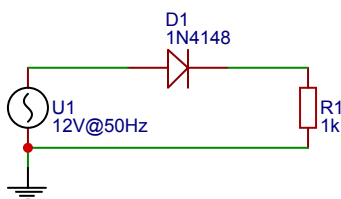
## 7 POLPREVODNIŠKA DIODA

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

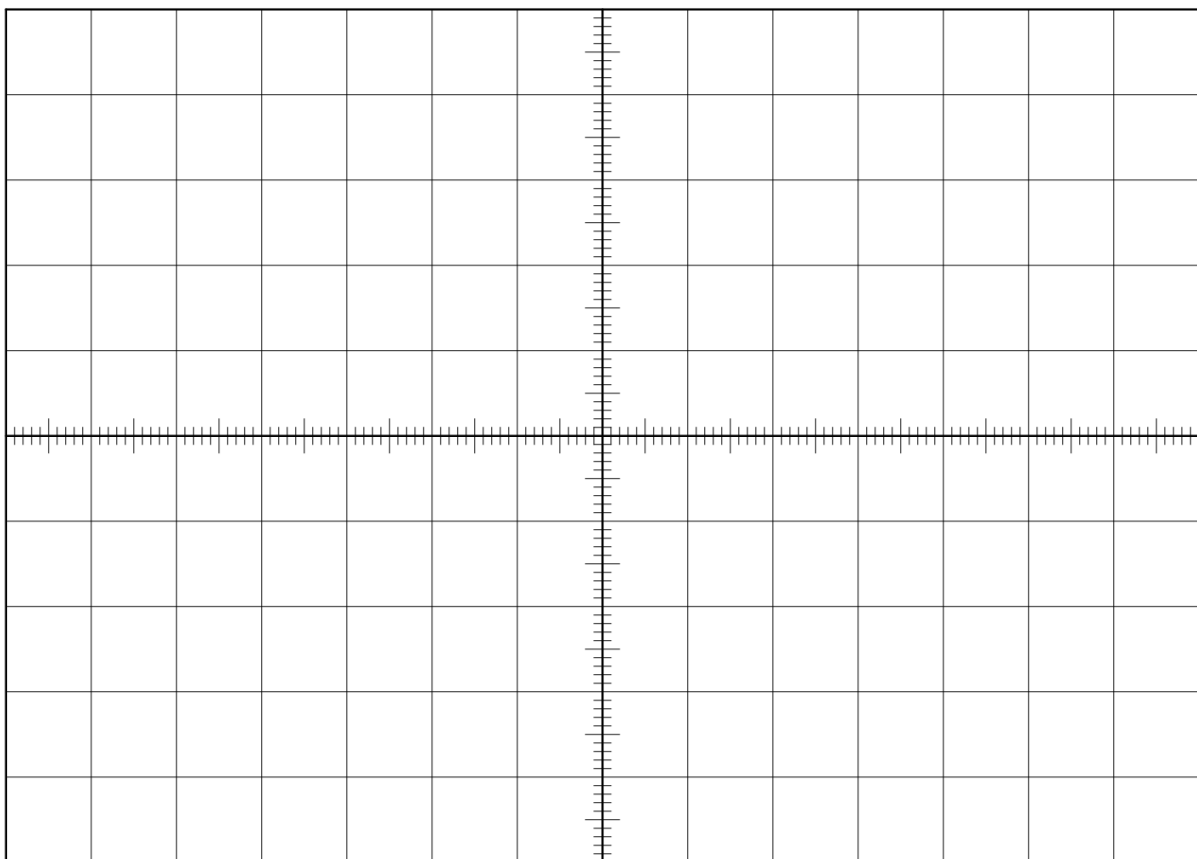
$U_D = 0.7V$ , večji del napajalne napetosti pa je na upor  $R_1$ , ki omejuje tok skozi tokokrog. Največji tok, ki v našem vezju teče skozi diodo je:

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

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 uporu 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 uporu  $U_{R1}(t)$ . 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  $\Delta U_{IZ}$  - 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.

**Table 7.1:** Stabilnost izhodne napetosti pri različnih bremenskih upornostih.

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

### 7.2.2 NALOGA: GLAJENA IZHODNA NAPETOST

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

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

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

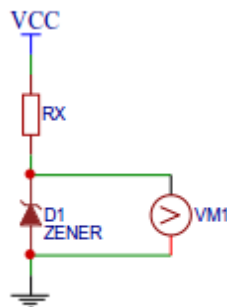


## 8 ZENERJEVA DIODA

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.

### 8.1 UPORABA ZENERJEVE DIODE

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.

#### 8.1.1 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 diodo ustvarili različne napetosti.

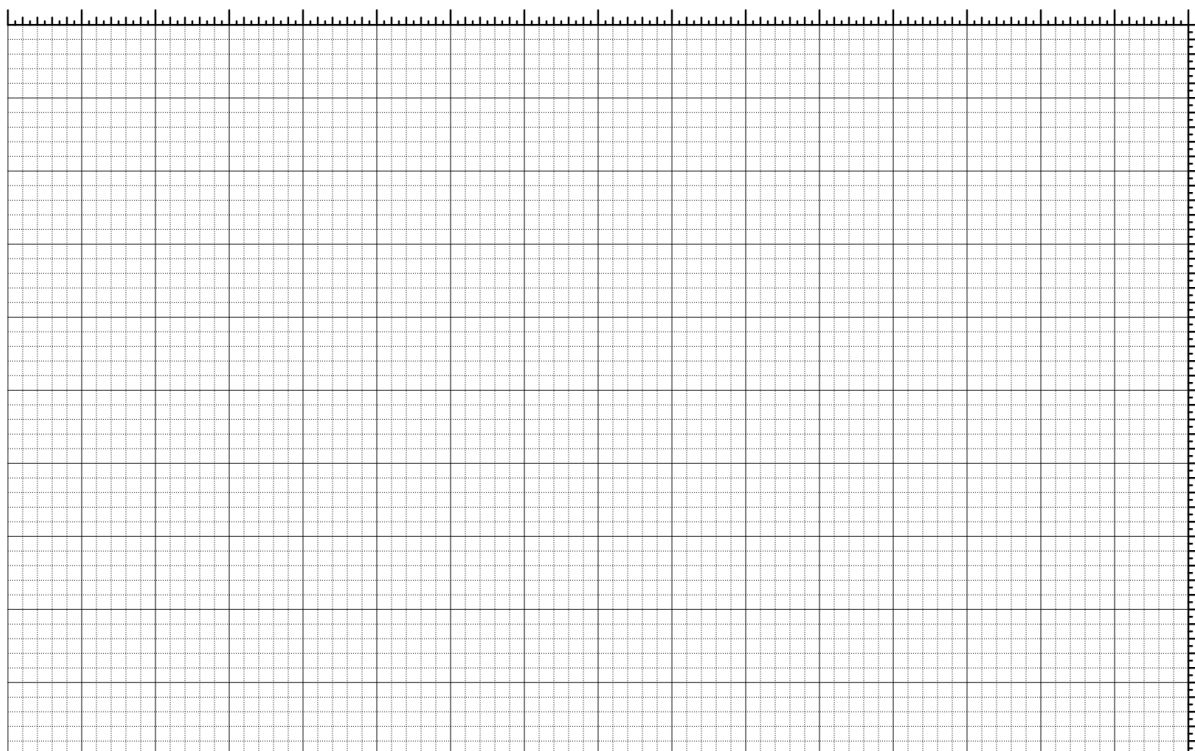
2. Nakažite vsaj en izračun električnega toka, ki teče skozi zenerjevo diodo, če merimo le napetost na zenerjevi diodi.
3. Zabeležite si ključne podatke (napajalno napetost in nazivno zenerjevo napetost):

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

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

**Table 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.

**8.1.2 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

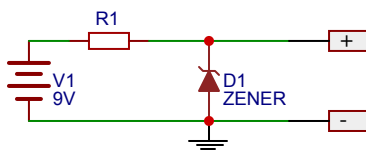


## 9 REFERENČNI VIR Z ZENERJEVO DIODO

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.

### 9.1 NAČRTOVANJE REFERENČNEGA NAPETOSTNEGA VIRA

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.

#### 9.1.1 NALOGA: REFERENČNI VIR Z ZENERJEVO DIODO

Sestavite referenčni vir z zenerjevo diodo, kot prikazuje slika. Upor  $R_1$  izberite tako, da bo zener. 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 zna-

ne 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:

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

### 9.1.2 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.

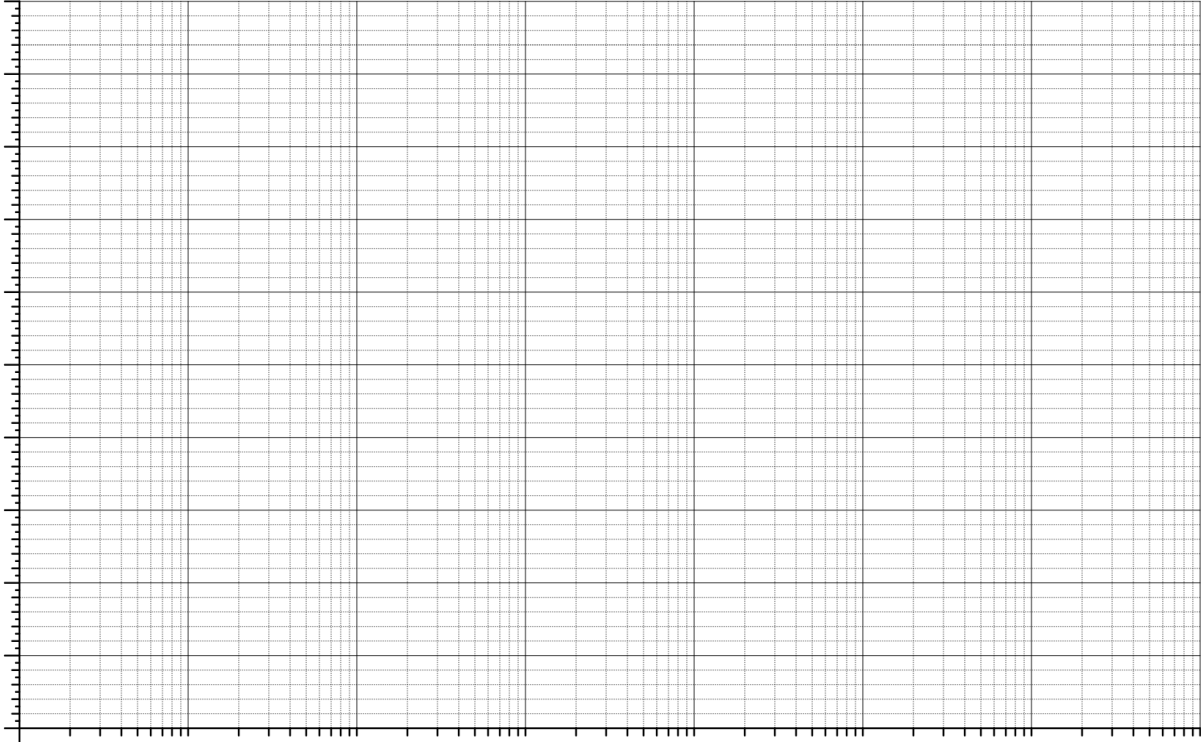
## 9.2 OBREMENILNI PRESKUS REFERENČNEGA VIRA

### 9.2.1 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.

**Table 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.



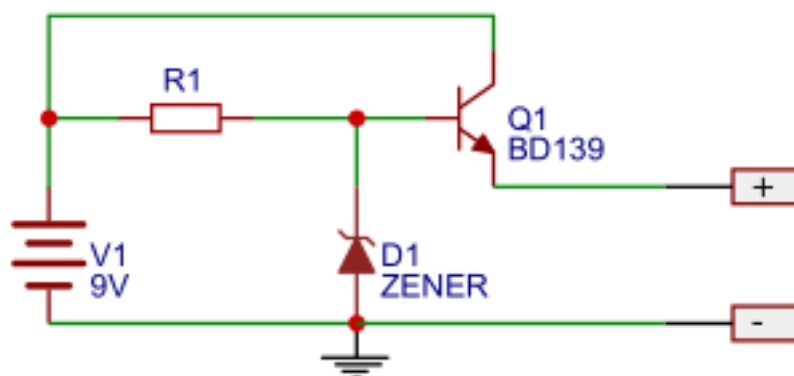


## 10 TRANZISTOR

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 delujejo 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.

■

### 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 sensorja 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...

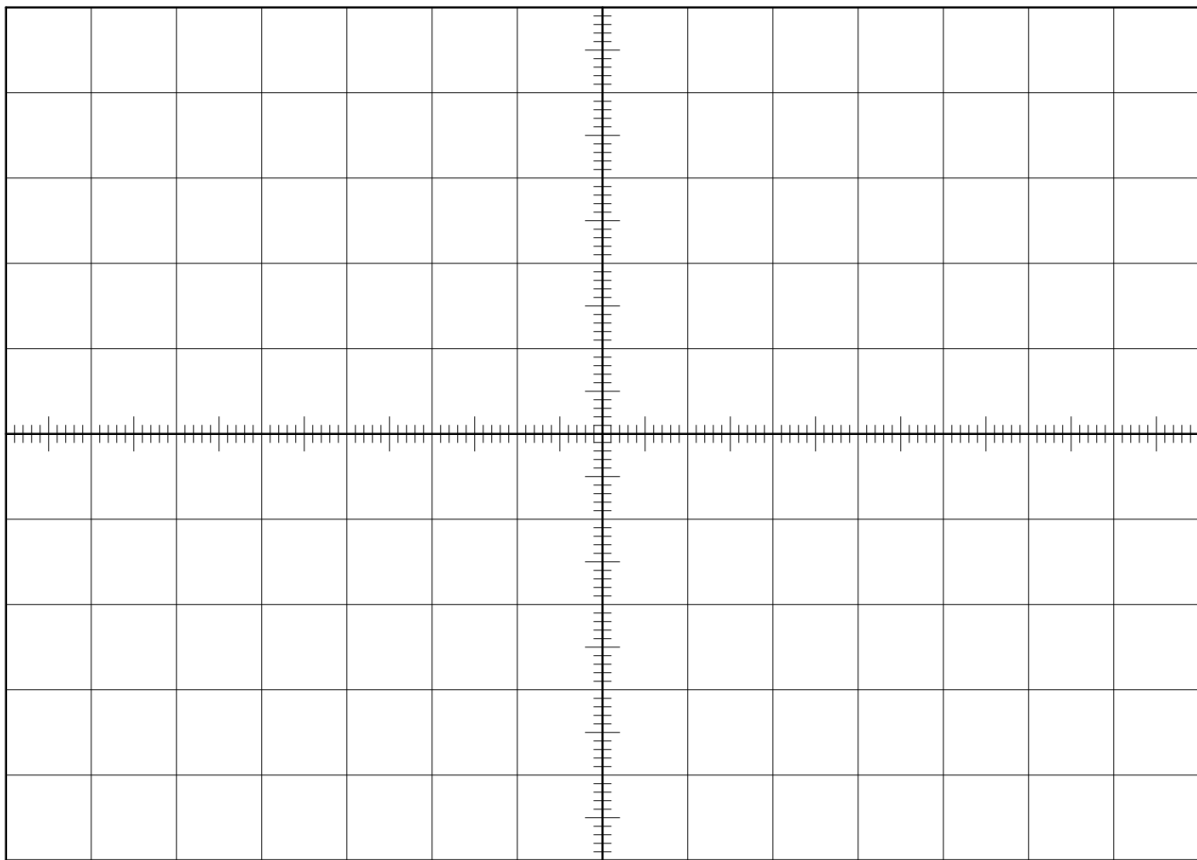
... ter rezultate meritev predstavite v grafični obliki  $U_2(U_1)$  v grafu na sl. 11.2

**Table 11.1:** Meritve pozitivnih vhodnih napetosti.

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

**Table 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 PREMİK 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.

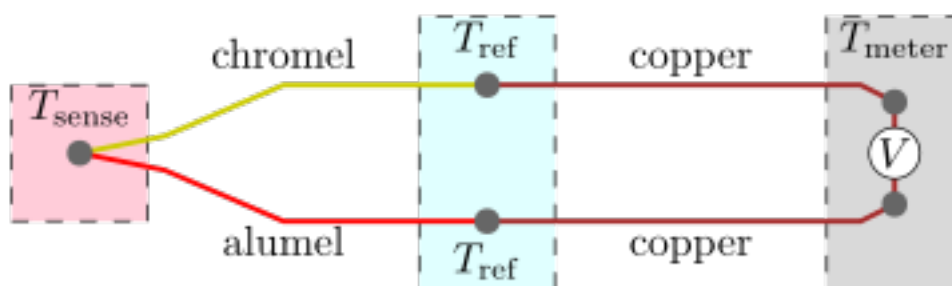
### 11.2.4 NALOGA: UTEMELJITE

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 [wiki\_thermocouple].

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  $\Delta T$  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.

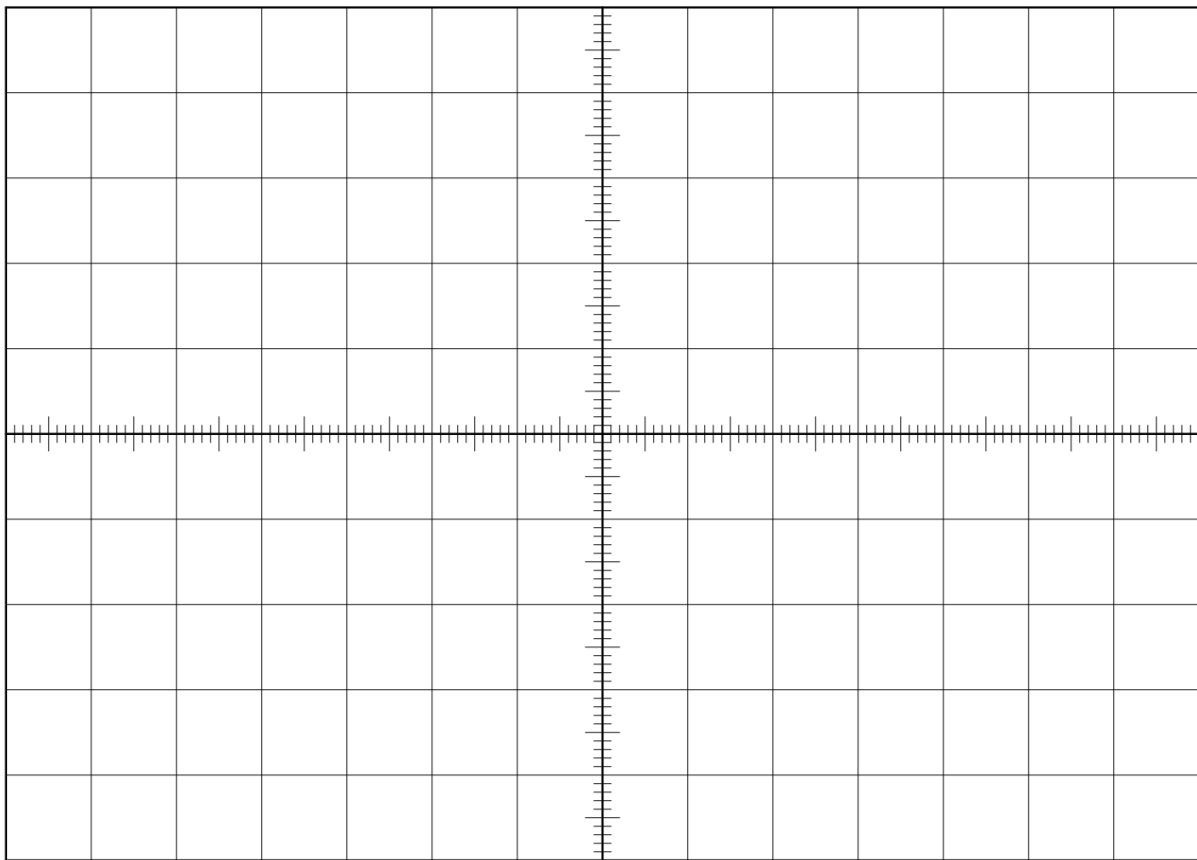
Nato narišite graf na sl. 11.4  $U_{IZU}(\Delta T)$ , kjer je  $\Delta T = T_+ - T_{GND}$  temperaturna razlika med obema spojema termočlena.

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

**Table 11.3:** Meritve umeritvenega postopka.

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





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

## 11.4 SEŠTEVALNI IN ODŠTEVALNI SISTEMI Z OPERACIJSKIM OJAČEVALNIKOM

Z operacijskimi ojačevalnimi sistemi lahko napetostne signale tudi logaritmiramo, integriramo, odvajamo, itd. Izvedemo lahko celo kako drugo matematično funkcijo, ki vključuje celo več napetostnih signalov, kot na primer: seštevanje, odštevanje, množenje ... Prednost takih sistemov pred programirljivo elektroniko je predvsem v hitrosti izvršene operacije, pri čemer ne potrebujemo žrtvovati procesorskega časa.

### PRIMER REGULACIJE TEMPERATURE V AVTOMOBILU:

Skoraj vsak današnji avtomobil ima v prostoru za potnike razporejenih več temperaturnih senzorjev. Najbolj pogosta lokacija njih je: v armaturni plošči, v stropnem delu poleg stropne osvetlitve in v prezračevalni konzoli za zadnjo klopo. Torej vsaj trije senzori merijo temperaturo prostora. Tako mora regulacijska tehnika upoštevati vrednosti vseh senzorjev.

### 11.4.1 NALOGA: SEŠTEVALNI SISTEM

Skonstruirajte vezje, ki bo izračunalo povprečno vrednost 3-h senzorjev temperature (npr.: v avtomobilski kabini). Prenosna funkcija tega vezja mora ustrezati en. 11.1

$$U_2 = \frac{1}{3}(U_{T_1} + U_{T_2} + U_{T_3}). \quad (11.1)$$

Izmerite nekaj vzorčnih primerov meritev, s katerimi lahko pokažete zanesljivo delovanje predlagane rešitve. Meritve vpišite v tbl. 11.4.

**Table 11.4:** Primeri meritev seštevalnega sistema.

No.#	$U_{T_1}[V]$	$U_{T_2}[V]$	$U_{T_3}[V]$	$U_2[V]$
1				
2				
3				
4				
5				

#### PRIMER MERJENJA POSAMEZNIH LI-ION AKUMULATORSKIH CELIC

Pri polnjenju Li-Ion akumulatorjev je priporočljivo spremljati napetost vsake celice posebej. Ker je za regulacijo polnjenja zadolžena elektronika taki regulacijski sestavi vsebujejo vezje, ki odšteje napetostna potenciala na vsaki strani akumulatorske celice in tako dobimo napetost na njej. Na primer, če je akumulator sestavljen iz 3-h zaporedno vezanih celic (t.i. razporeditev vezave 3S) nam to vezje lahko prikazuje napetost vsake celice posebej.

### 11.4.2 NALOGA: ODŠTEVALNI SISTEM

Skonstruirajte vezje, ki bo merilo napetosti posamezne akumulatorske celice v katerem so zaporedno vezane tri celice - 3S. Vezje naj ima 4 vhodne priključke  $U_{S_x}$  (GND, S1, S2 in S3) in 3 izhodne priključke  $U_{S_y}$  na katerih lahko izmerimo napetostni potencial, ki ustreza napetosti posamezne

celice. Torej napetosti na celici S1, napetost na S2 in S3. Izmerite nekaj vzorčnih primerov meritev, s katerimi lahko pokažete zanesljivo delovanje predlagane rešitve. Meritve vpišite v tbl. 11.4.

**Table 11.5:** Meritve napetosti akumulatorskih celic.

$S_x$	$U_{S_x} [V]$	$U_{S_y} [V]$
1		
2		
3		



## 12 ELEKTRIČNA SITA

Električna sita so električna vezja, ki boljše oz. slabše prevajajo napetostne signale glede na njihovo frekvenco. Lahko so skonstruirani kot preprosti RC delilniki napetosti, katerih izhodna napetost je odvisna od frekvence (v enačbi le-to pogosto predstavimo s krožilno frekvenco). Uporabljamo pa jih, ko želimo iz sestavljenega napetostnega signala (informacija, šum, motnje, inducirane napetosti...), ustvariti napetostni signal z le eno komponento.

### 12.1 NIZKO PREPUSTNO RC SITO

Nizko prepustno sito je zelo pogosto uporabljeno v električnih vezjih, kjer imamo opravka z relativno počasnimi spremembami, kot je to na primer pri napetostnih signalih temperaturnih senzorjev. Izhodna napetost preprostega RC nizko prepustnega sita je podana z en. 12.1

$$\hat{U}_2 = \hat{U}_1 \frac{1}{\sqrt{R^2\omega^2C^2 + 1}}, \quad (12.1)$$

pri čemer je  $R$  uporsnot upora v delilniku,  $C$  kapaciteta kondenzatorja,  $\omega$  krožilna frekvenca signala ali komponente le-tega, za katerega računamo amplitudo izhodne napetosti.

Tako sito vedno skonstruiramo glede na t.i. mejno frekvenco, ki jo lahko izračunamo po en. 12.2

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}. \quad (12.2)$$

### 12.2 KARAKTERISTIKA NIZKO PREPUSTNEGA SITA

Karakteristiko sita pogosto podajamo v razmerju  $\frac{U_2}{U_1}(\omega)$ , ali celo v decibelih, ki je definirano kot  $10\times$  logaritmskega razmerja (izhodne in vhodne) moči. Ker je električna moč sorazmerna kvadratu napetosti ( $P \propto U^2$ ) lahko zapišemo en. 12.3

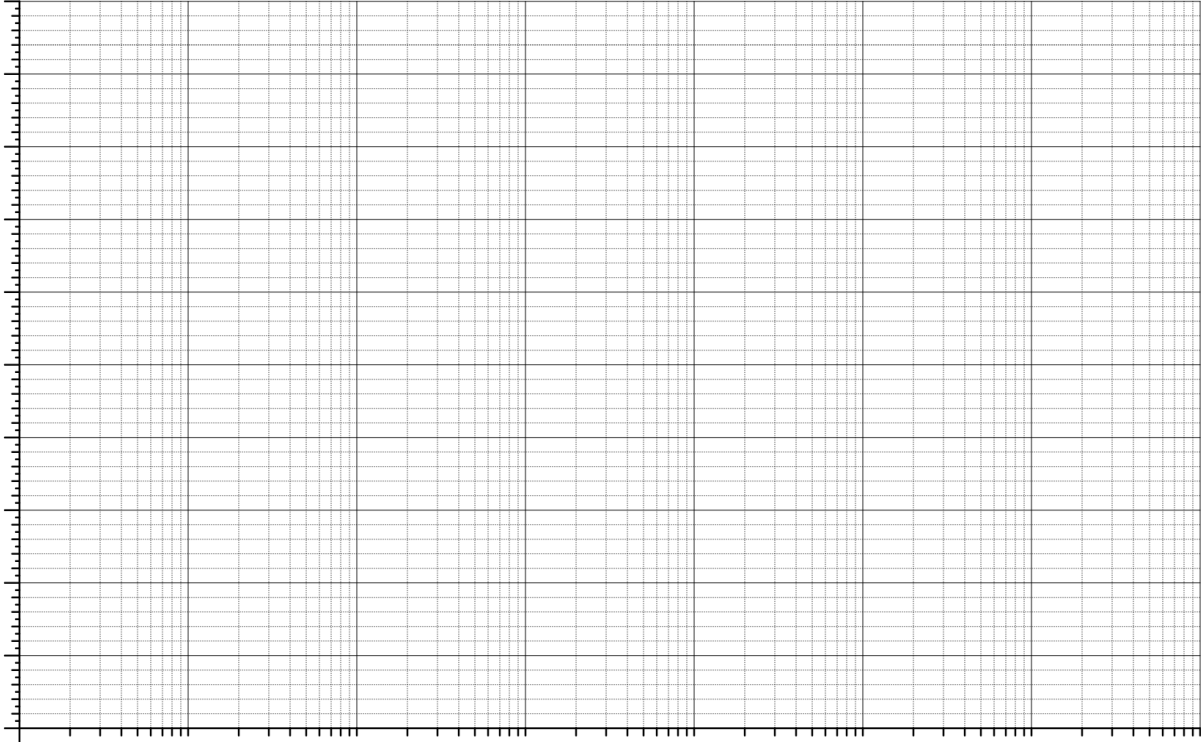
$$g[dB] = 10 \log \left( \frac{\hat{U}_2^2}{\hat{U}_1^2} \right) = 20 \log \left( \frac{\hat{U}_2}{\hat{U}_1} \right). \quad (12.3)$$

### 12.2.1 NALOGA: KARAKTERISTIKA NIZKO PREPUSTNEGA SITA

Skonstruirajte in narišite vezje nizko prepustnega sita, katerega mejna frekvenca naj bo  $100\text{Hz}$ . Nato naredite preskus, s katerim boste lahko izmerili podatke za izračun dveh karakteristik sita  $g(\nu)$  in  $\Delta\phi(\nu)$ . Meritve vpišite v tbl. 12.1 in nato narišite grafa  $g(\nu)$  in  $\Delta\phi(\nu)$  na sl. 12.1. X-os naj bo v logaritemski skali z osnovo 10. Na karakteristiki  $f(\nu)$  označite tudi premico v padajočem delu karakteristike in izračunajte njen smerni koeficient ter nakažite, da je  $\nu_0$  ničla te funkcije.

**Table 12.1:** Tabela meritev karakteristike nizko prepustnega sita.

$\nu_0$ [Hz]	$\hat{U}_1$ [V]	$\hat{U}_2$ [V]	$g$ [dB]	$t_0$ [ms]	$\Delta t$ [ms]	$\Delta\phi$



**Slika 12.1:** Karakteristika nizko prepustnega sita.

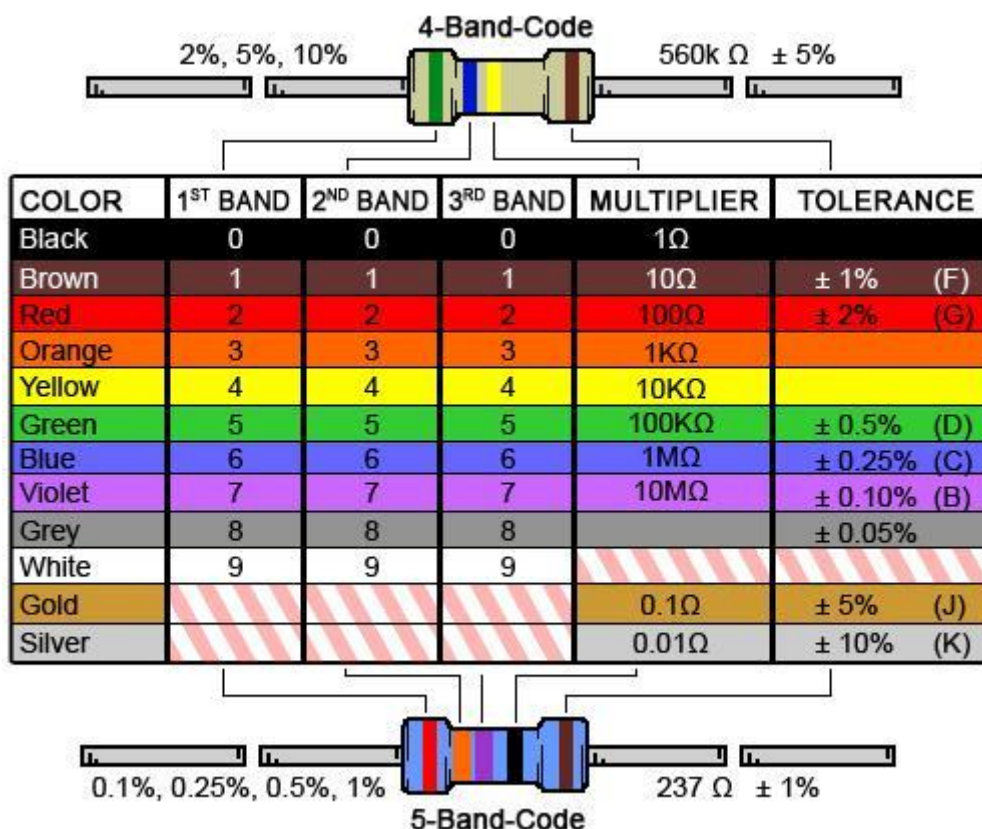




## 13 DODATKI IN POGOSTA VPRAŠANJA

### 13.1 BARVNO KODIRANJE UPORNOSTI

Upornosti na uporih so bravno kodirane kot jih prikazuje naslednja slika sl. 13.1



Slika 13.1: Bravno kodiranje vrednosti uporov.

## 13.2 Pogoste zmotne predstave v elektroniki

Poučevanje in učenje je vedno posreden proces. Kar pomeni, da učenec ne ponotranji vsebin v točno takšni obliki, kot mu jih poda učitelj. Vsebine, ki jih učenec prejme, vedno interpretira po svojih najboljših zmožnostih, ki temeljijo na njegovih preteklih izkušnjah. Zato je proces učenja bolj predvidljiv in učinkovit če:

- ima učenec veliko predhodnih izkušenj iz te tematike,
- so vsebine čim bolj konkretne in jih je možno zajeti s čim več čuti,
- je možna enostavna de-kompozicija problema (zožanje problema na eno spremenljivko),
- so vzročno-posledične situacije jasno predvidljive,
- lahko vsebino najprej obravnavamo s konkretnimi elementi in šele nato v abstraktni obliki.

Hitro lahko ugotovimo, da za področje elektronike prav nič od zgoraj naštetega ne velja in zato je učenje teh vsebin še posebej nepredvidljivo in si vsak posameznik interpretira podano znanje čisto po svoje. Tako je poučevanje in učenje elektronike zelo težaven proces. Mogoče vam bodo prišla prav izpostavljena nekatera pogosta napačna prepričanja s tega področja.

### 13.2.1 Baterija zagotavlja vedno enak tok.

Ne! **Baterija je napetostni vir**, kar pomeni, da zagotavlja vedno enako napetost (v idealnem primeru). Na primer 9 V baterija nam bo zagotavljala napajalno napetost 9 V vse dokler se ne "izprazne".

### 13.2.2 Ohmov zakon je $U = RI$ .

Enačbo  $U = RI$  si je res enostavno zapomniti, vendar ta enačba namiguje, da je napetost odvisna od toka  $U(I)$ . Kar pa ni res! **Tok je odvisen od napetosti** in prav tako je George Ohm zapisal svoj zakon:

$$I = \frac{1}{R}U \quad (13.1)$$

### 13.2.3 Ohmov zakon velja le lokalno.

Če se upornost nekega elementa spremeni, na primer da se poveča. Bo posledično skozenj tekel manjši električni tok. Vendar tu se zgodba ne konča! Manjši tok bo tekel tudi po ostalem delu vezja in električni tokovi in napetosti se bodo najverjetneje spremenili v celotnem vezju. Na zadnje bo manjši tok tekel iz baterije ali celo iz elektrarne, če ga napajamo preko vtičnice. Večino takih situacij rešujemo z uporabo:

1. Ohmovega zakona lokalno (na dotičnem elementu),
2. Ohmovega zakona globalno z upoštevanjem nadomestne upornosti in
3. obeh Kirchhoffovih izrekov (zlasti  $\sum_{n=1}^n U_n = 0V$ ).

### 13.2.4 $U_{2off}$ odčitamo na x osi.

Glavna naloga ojačevalnega sistema je, da ojača nek vhodni napetostni potencial  $U_1$  z izbranim faktorjem  $A'$  in ga ponudi na izhodu kot izhodni napetostni potencial  $U_2$ . Tako sledi, če bi na vhod priključili  $U_1 = 0V$ , bi na izhodu prav tako pričakovali  $U_2 = 0V$ . Vendar temu ni tako! V realnem vezju izmerimo:

$$U_2 = U_{2off} \quad \text{pri } U_1 = 0V. \quad (13.2)$$

$U_{2off}$  je napaka invertirajočega ojačevalnega sistema in jo sistem "podeduje" z napako operacijskega ojačevalnika, ki jo imenujemo preostala napetost in označujemo z  $U_{off}$ . Prenosna funkcija  $U_2(U_1)$  invertirajočega ojačevalnega sistema je v svojih mejah kar linearna funkcija, odvisna od vhodnega napetostnega potenciala  $U_1$ :

$$U_2 = A'U_1 + (-A' + 1)U_{off}, \quad (13.3)$$

kjer je  $U_1$  vhodni,  $U_2$  izhodni napetostni potencial,  $A' = -\frac{R_2}{R_1}$  je koeficient napetostnega ojačanja tega sistema in  $U_{off}$  napetostni premik operacijskega ojačevalnika. Zato en. 13.3 zelo spominja na linearno funkcijo  $y(x) = kx + n$ . **Enostavno lahko ugotovimo, da je  $(-A' + 1)U_{off}$  prosti člen funkcije v en. 13.3 in ga odčitamo na presečišču funkcije z y osjo.** Če združimo en. 13.2 in en. 13.3:

$$U_{2off} = (-A' + 1)U_{off}, \quad (13.4)$$

dobimo zvezo, ki nakazuje kako napaka operacijskega ojačevalnika  $U_{off}$  vpliva na napako celotnega ojačevalnega sistema  $U_{2off}$ .

