

---

## **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

<b>1</b>	<b>Napajanje</b>	<b>3</b>
1.1	Napetostni potencial . . . . .	4
1.2	Napetost . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Krmilnik Arduino Nano</b>	<b>7</b>
2.1	Testni program "BLINK.ino" . . . . .	7
2.2	Napajanje krmilnika Arduino Nano . . . . .	8
2.3	Model semaforja . . . . .	10
2.4	Analiza vezja . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Uporaba tipke</b>	<b>13</b>
3.1	Priključitev tipke na digitalni vhod . . . . .	14
3.2	Priključitev tipke z uporom proti napajanju . . . . .	15
3.3	Uporaba uporov vezanih proti napajanju v mikrokrmilniku . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Uporaba potenciometra</b>	<b>17</b>
4.1	Uporaba analognega vhoda na krmilniku . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Nelinearni upori in senzorji</b>	<b>21</b>
5.1	Izbira referenčnega upora . . . . .	22
<b>6</b>	<b>Umiritev senzorja temperature</b>	<b>25</b>
<b>7</b>	<b>Polprevodniška dioda</b>	<b>27</b>
7.1	Pol-valni usmernik . . . . .	27
7.2	Glajenje izhodne napetosti . . . . .	29
<b>8</b>	<b>Dodatki in pogosta vprašanja</b>	<b>31</b>
8.1	Barvno kodiranje upornosti . . . . .	31

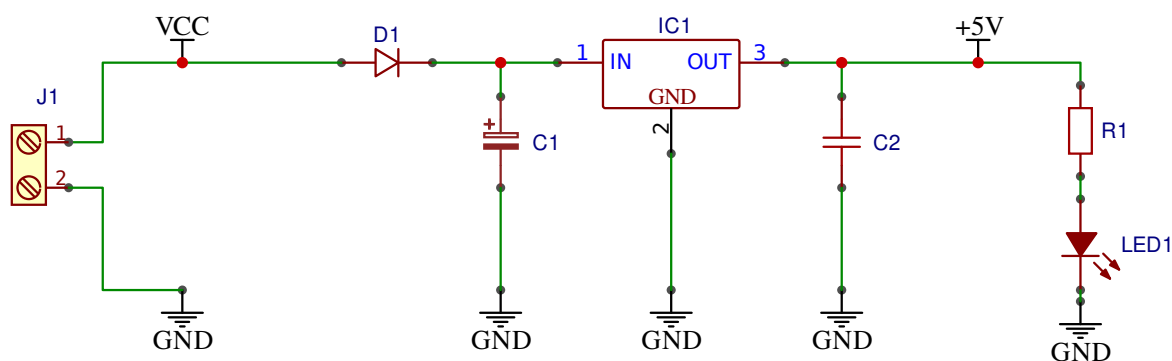


# 1 Napajanje

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.

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.



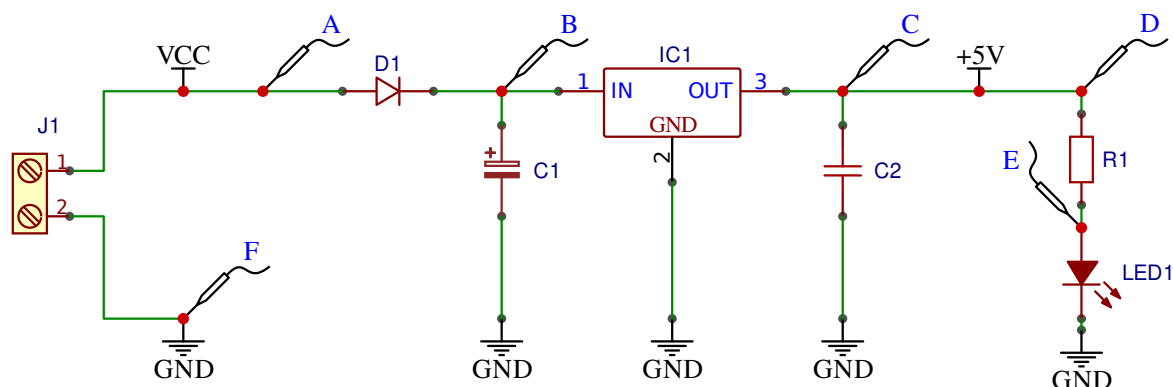
**Slika 1.2:** Skica realnega vezja.

## 1.1 Napetostni potencial

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

**NALOGA: IZRAČUNAJTE NAPETOSTI**

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

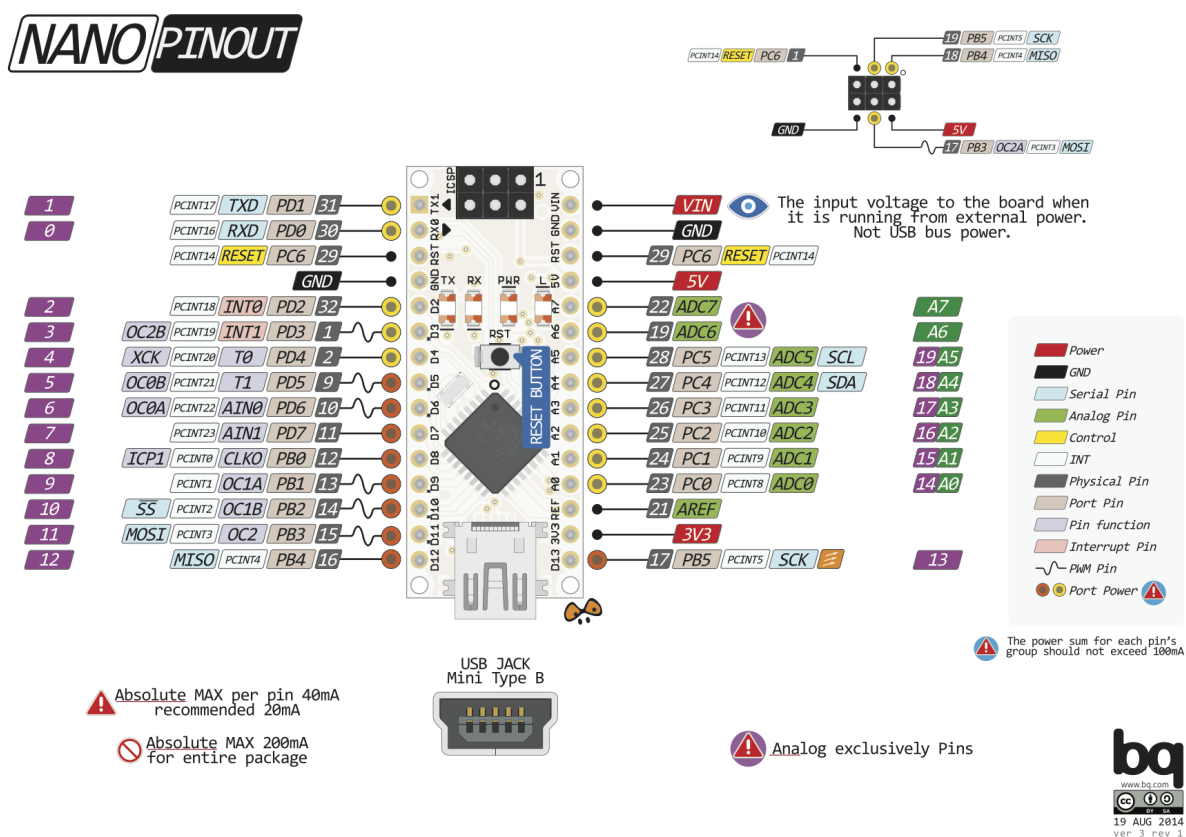
Element	$U_{izr}[V]$	$U_{izm}[V]$
D1		
C1		
C2		
R1		
LED1		





## 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 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.

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 primerer 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.

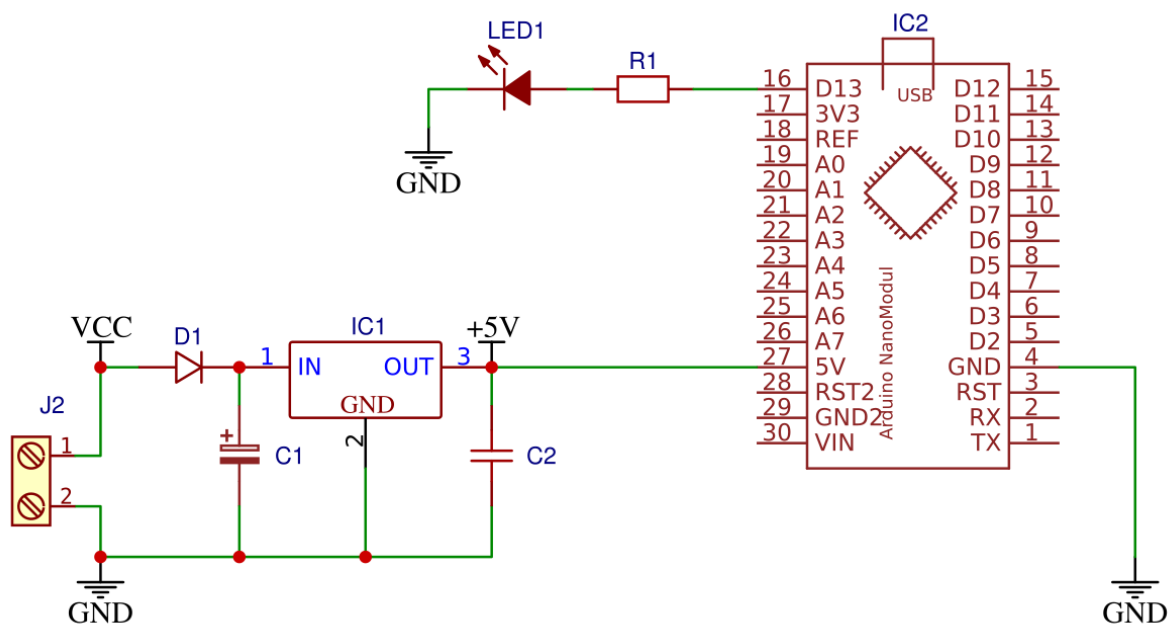
```
1  void setup() {  
2      // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.  
3      pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);  
4  }  
5  
6  // the loop function runs over and over again forever  
7  void loop() {  
8      digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);    // turn the LED on (HIGH is the  
9         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

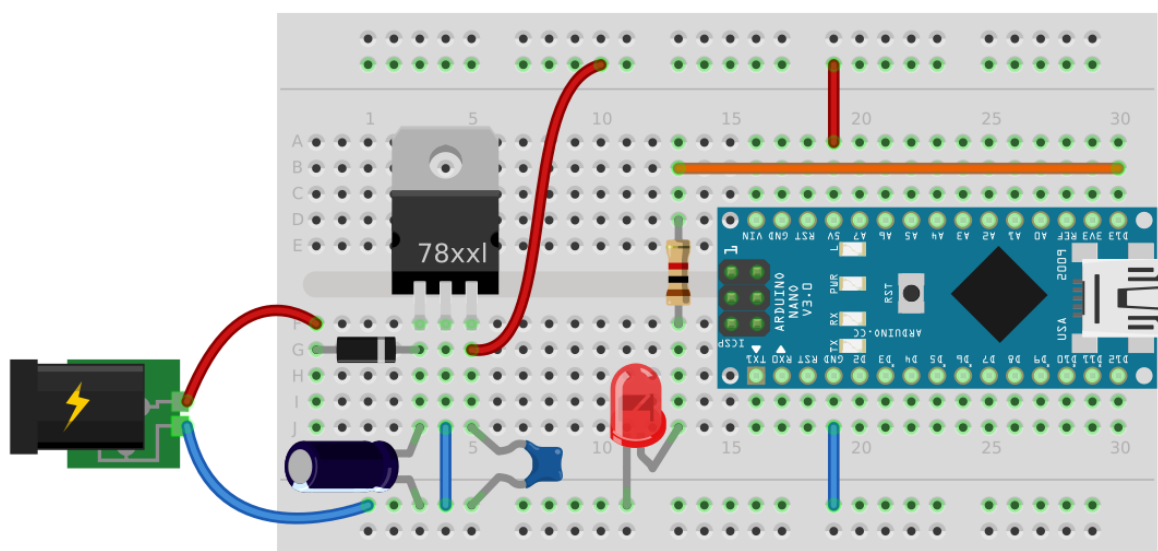
Krmilnik Arduino Nano lahko vstavimo tudi v prototipno ploščico in ga napajamo z zunanjim napajanjem.

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.



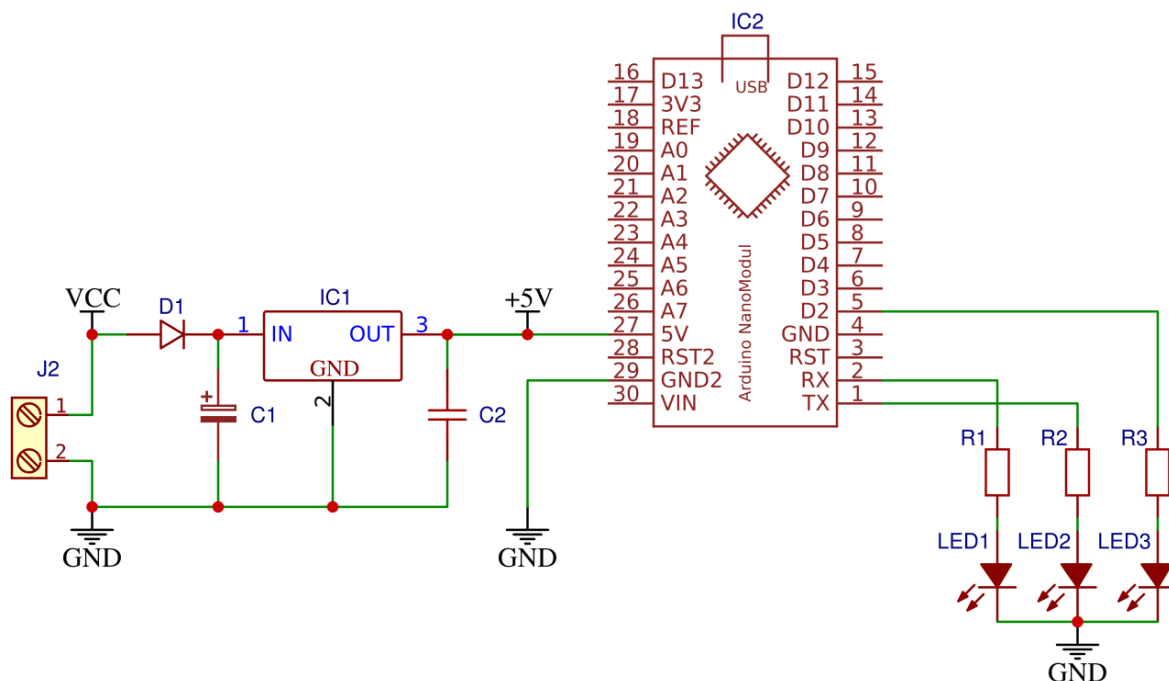
**Slika 2.2:** Priključitev napajanja in dodatne LED na izhodni priključek.



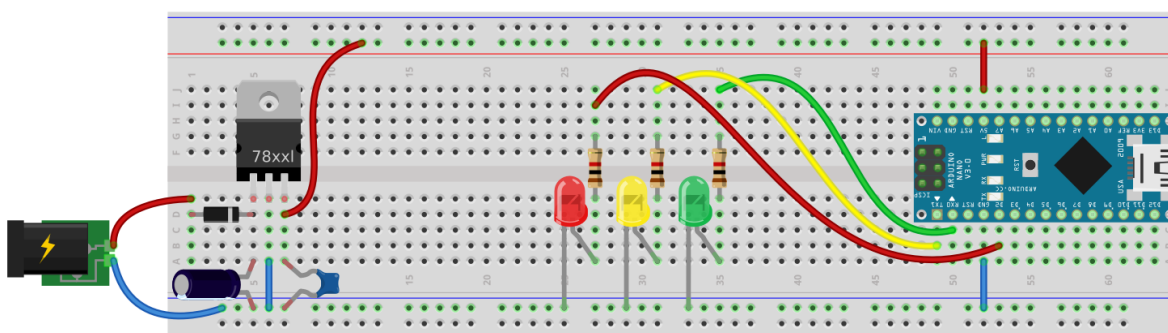
**Slika 2.3:** Shema vezave krmilnika Arduino Nano na prototipni ploščici.

## 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.

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.

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 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.

#### 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

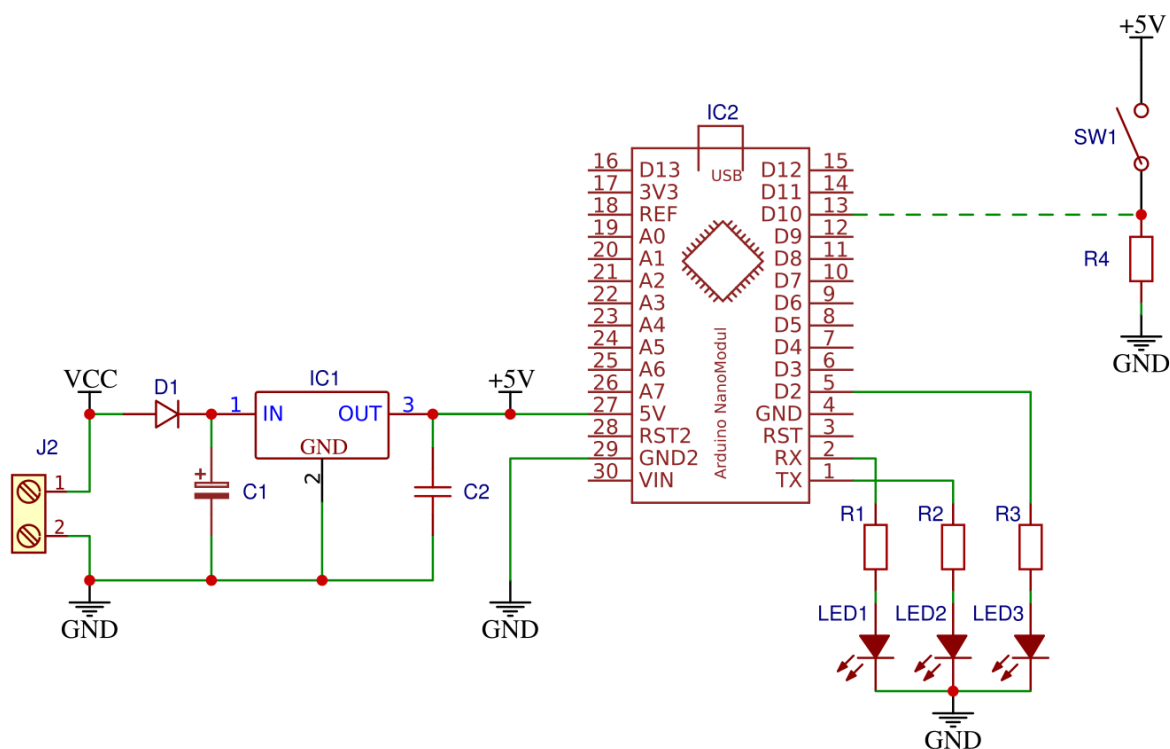
Tipka je element, ki je podoben stikalu. Prav tako kot pri stikalu, ob pritisku povežemo dva priključka med sabo, razlika pa je v tem, da se pri tipki ta povezava razklene ob prenehanju pritiska nanjo.

#### 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.

#### 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.

#### NALOGA: UPOR VEZAN PROTI NAPAČANJU

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).

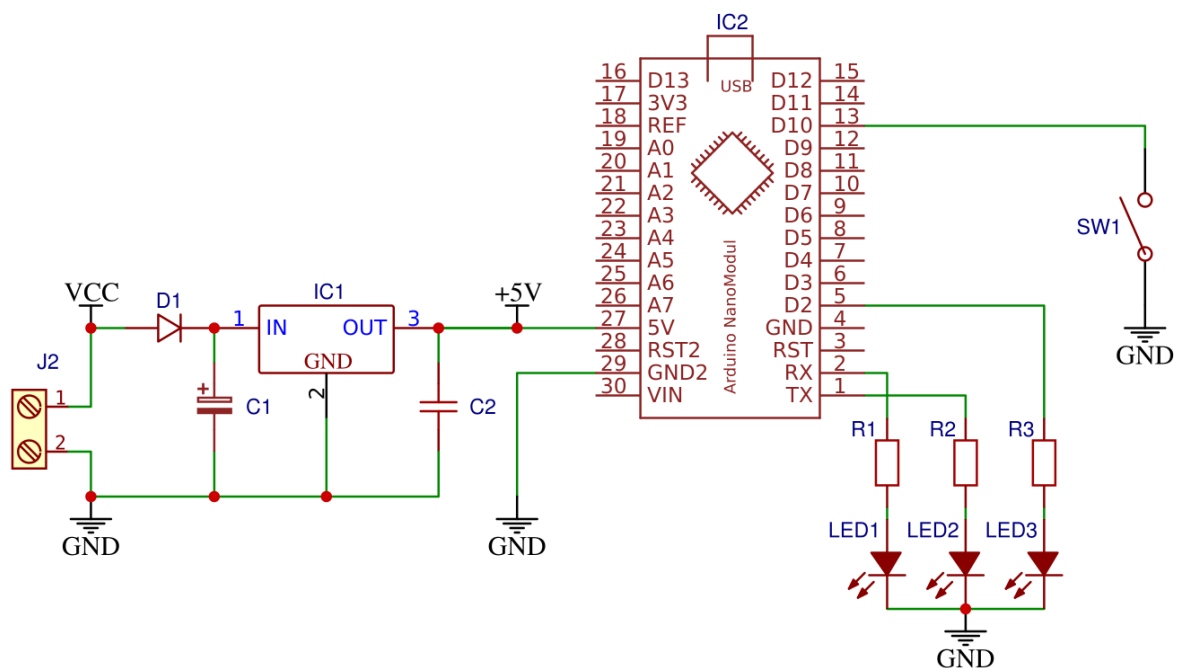
## 3.3 Uporaba uporov vezanih proti napajanju v mikrokrmilniku

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

## NALOGA: UPORABA UPOROV VEZANIH PROTI NAPAJANJU V MIKROKRMILNIKU

Odstranite upor iz vezja kakor veleva shema sl. 3.2 in

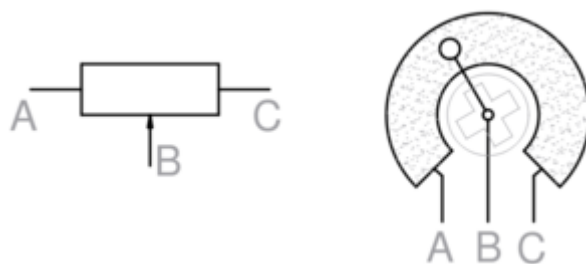
programsko vključite upor vezan proti napajanju na digitalnem vhodu D10.



**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:

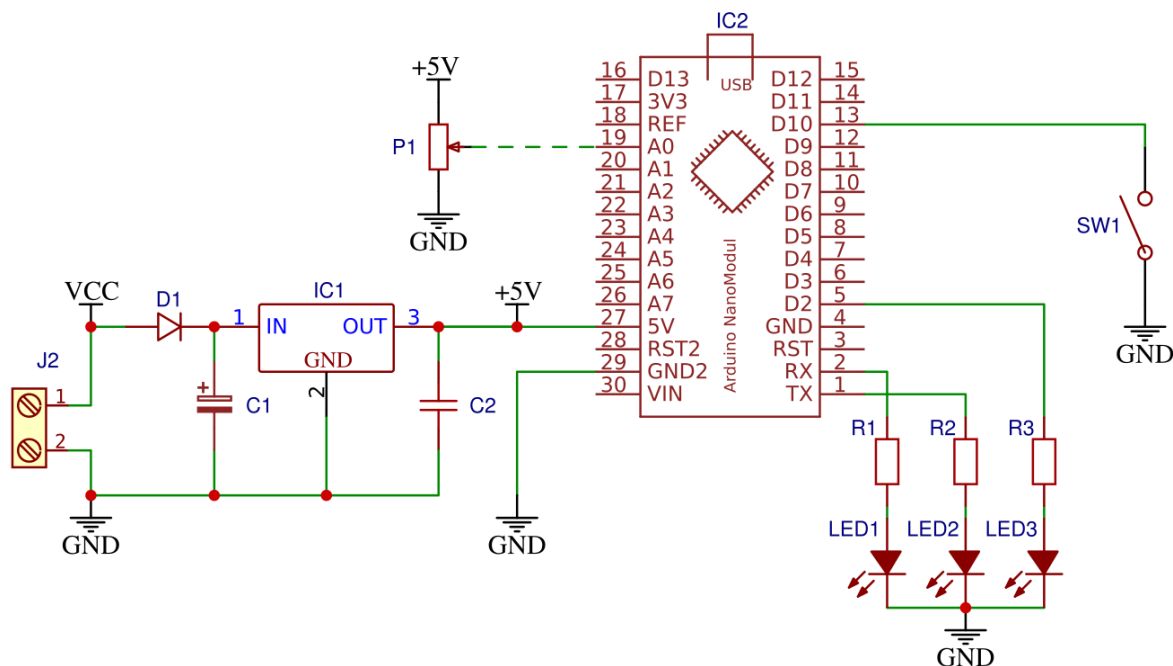
1. Če na priključka A in C priključimo neko napetost, se bo napetostni potencial enakomerno zmanjševal vzdolž uporovne plasti potenciometra. Tako je napetostni potencial na priključku B odvisen od njegove lege.
2. Lahko si zamislimo, da priključek B razdeli potenciometer na dva upora: (1)  $R_{AB}$ 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

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.

### NALOGA: ODČITAVANJE 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 številске vrednosti. Te vrednostiso

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.

#### 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...

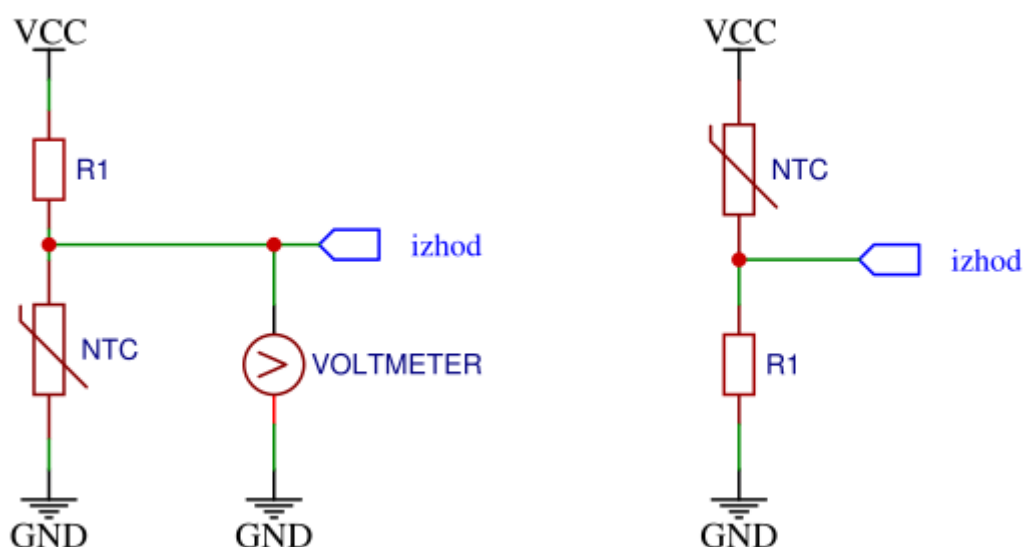
#### NALOGA: VU-METER

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.



**Slika 5.1:** Temperaturni senzor.

NALOGA: SENZOR TEMPERATURE - 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 upor  $R_1$  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.

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**.

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 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  $\Delta U(R_{Ref})$ .

#### 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 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  $T = [0^{\circ}\text{C} \dots 40^{\circ}\text{C}]$ .

### 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.

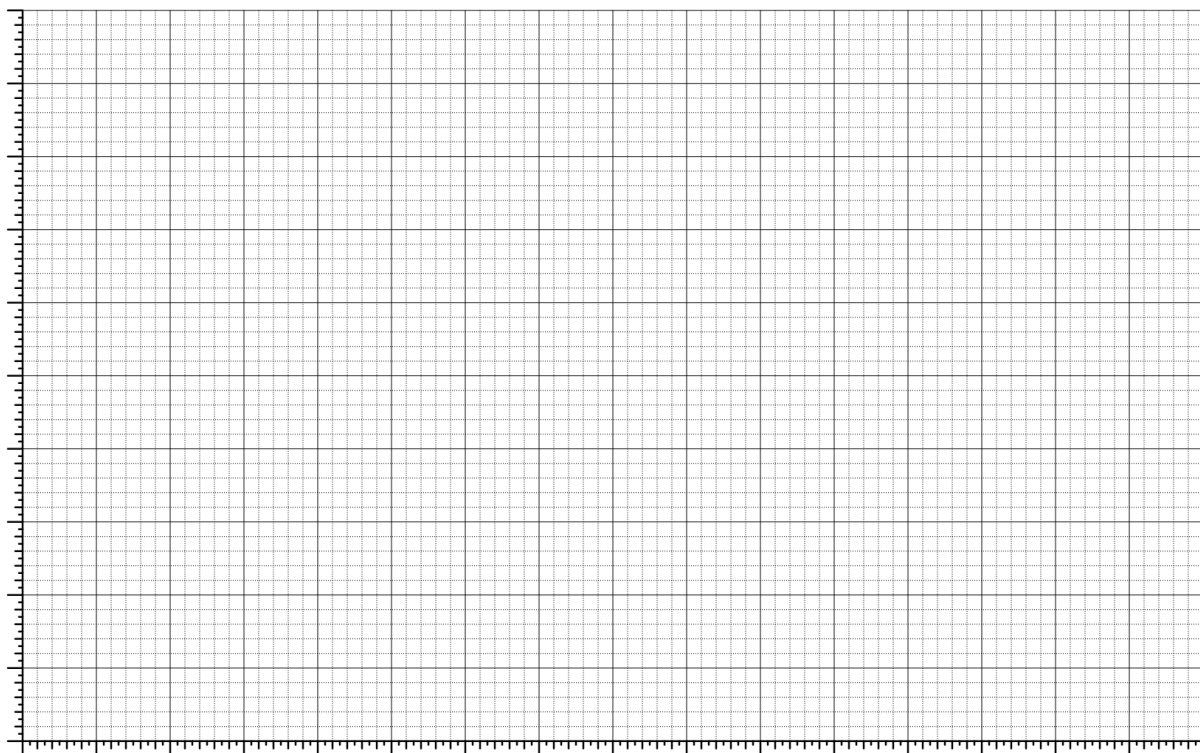
### NALOGA: UMERITEV SENZORJA

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:** Umiritev senzorja temperature.

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



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

#### 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. 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.

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

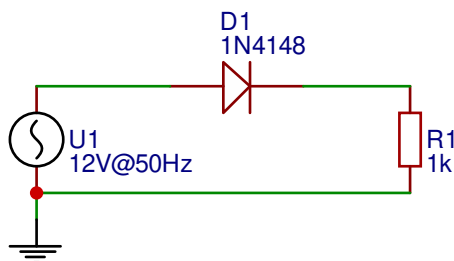
## 7 Polprevodniška dioda

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.

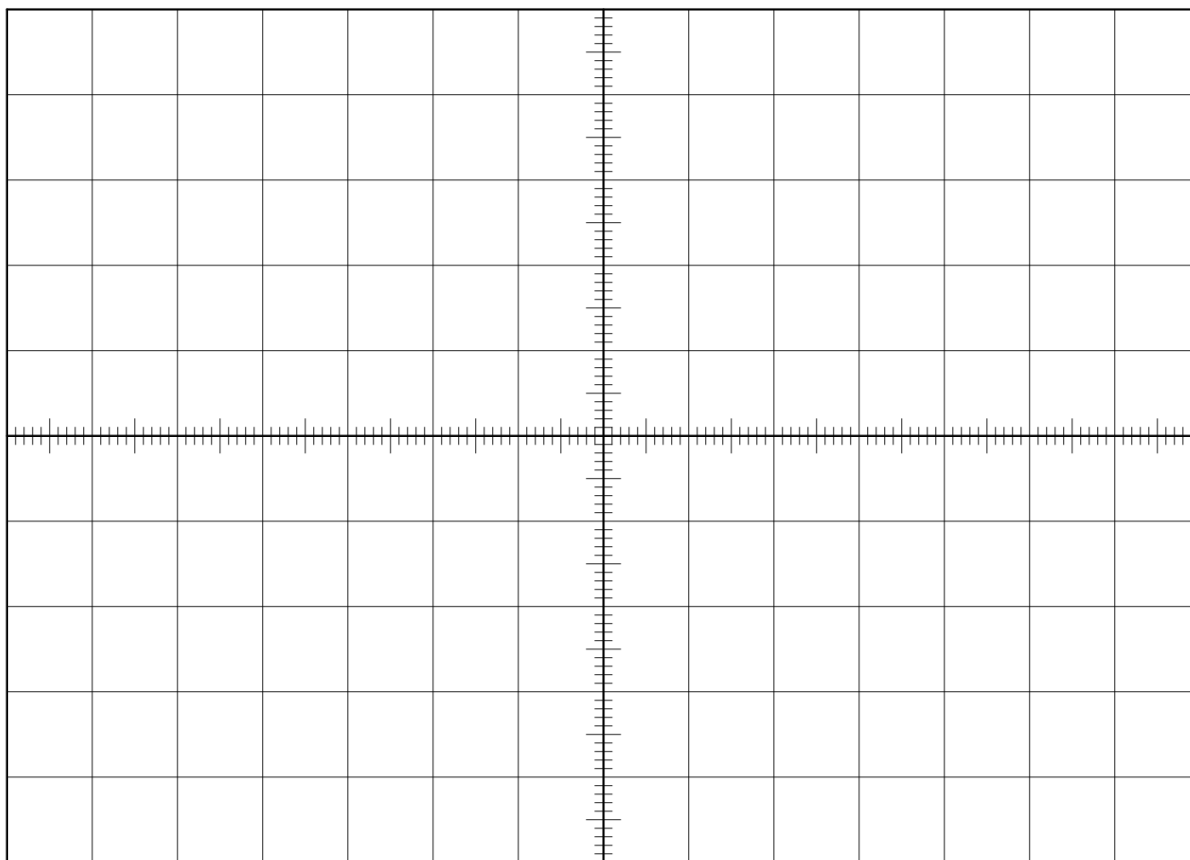
V času pozitivne napajalne napetosti dioda prevaja električni tok in je na njej je majhna napetost  $U_D = 0.7V$ , večji del napajalne napetosti pa je na upor  $R_1$ , ki omejuje tok skozi tokokrog. Največji tok, ki v našem vezju teče skozi diodo je:

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

V primeru negativne periode napajalne napetosti dioda ne prevaja. Skozi tokokrog teče zelo majhen zaporni tok  $I_S = 25 \text{ nA}$ , 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 ...

#### 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:

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

#### 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.

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

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

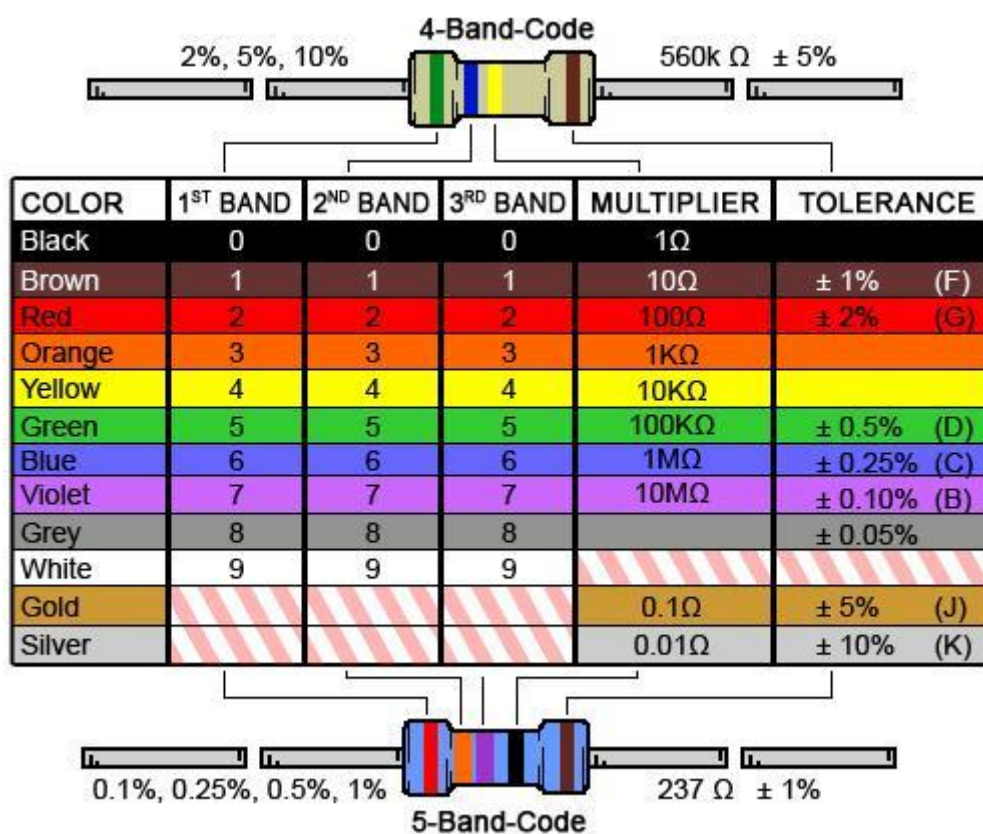
$C_1 = \text{_____} \mu F$ .



## 8 Dodatki in pogosta vprašanja

### 8.1 Barvno kodiranje upornosti

Upornosti na uporih so bravno kodirane kot jih prikazuje naslednja slika sl. 8.1



**Slika 8.1:** Bravno kodiranje vrednosti uporov.

