

---

# **ELEKTROTEHNIKA**

Zbirka laboratorijskih vaj za študente Univerze v Ljubljani,  
Pedagoške Fakultete

dr. David Rihtaršič

2023-February



# Kazalo

<b>1 OHMOV ZAKON</b>	<b>1</b>
1.1 Odvisnost električnih količin . . . . .	1
1.1.1 NALOGA: OHMOV ZAKON - MERITVE . . . . .	1
1.1.2 NALOGA: I(U) KARAKTERISTIKA LINEARNEGA UPORA . . . . .	2
<b>2 KIRCHHOFFOVA IZREKA</b>	<b>5</b>
2.1 1. Kirchhoffov izrek . . . . .	5
2.1.1 NALOGA: SUMACIJSKA TOČKA EL. TOKOV . . . . .	5
2.2 2. Kirchhoffov izrek . . . . .	6
2.2.1 NALOGA: NAPETOSTNI POTENCIAL V TOKOKROGU . . . . .	6
<b>3 NADOMEŠTNA IN NOTRANJA UPORNOST</b>	<b>7</b>
3.1 Zaporedna vezava uporov . . . . .	7
3.1.1 NALOGA: Nadomestna upornost zaporedne vezave . . . . .	7
3.2 Vzporedna vezava uporov . . . . .	7
3.2.1 NALOGA: Nadomestna upornost vzporedne vezave . . . . .	7
3.3 Notranja upornost V-metra . . . . .	8
3.3.1 NALOGA: Delilnik napetosti . . . . .	8
<b>4 NAPETOSTNI VIRI</b>	<b>9</b>
4.1 Notranja upornost vira napetosti . . . . .	9
4.1.1 NALOGA: Notranja upornost baterije . . . . .	9
4.2 Izmenični napetostni viri . . . . .	10
4.2.1 NALOGA: Časovni potek izmenične napetosti . . . . .	10
4.2.2 NALOGA: AMPLITUDNA IN EFEKTIVNA NAPETOST . . . . .	11
4.2.3 NALOGA: Merjenje napetostnih potencialov in napetosti z osciloskopom. . . . .	11
<b>5 NELINEARNI UPORI IN SENZORJI</b>	<b>13</b>
5.0.1 NALOGA: ELEKTRIČNI TOK SKOZI ŽARNICO PRI ZAP. VEZAVI . . . . .	13
5.0.2 NALOGA: I(U) KARAKTERISTIKA ŽARNICE . . . . .	14
5.1 FOTOUPO in RTERMISTOR . . . . .	14
5.1.1 NALOGA: FOTOUPOR . . . . .	14

5.1.2 NALOGA: TERMISTOR . . . . .	15
5.2 Umeritev senzorja . . . . .	15
5.2.1 NALOGA: UMERITEV SENZORJA TEMPERATURE . . . . .	16
<b>6 KONDENZATOR V IZMENIČNIH TOKOKROGIH</b>	<b>17</b>
6.0.1 NALOGA: NAPETOSTI V IZMENIČNIH TOKOKROGIH . . . . .	17
6.0.2 NALOGA: PREVERITE 2. KIRCHHOFFOV IZREK . . . . .	18
6.0.3 NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (osciloskop) . . . . .	18
6.0.4 NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (simulacija) . . . . .	19
6.0.5 NALOGA: KARAKTERISTIČNE VREDNOSTI IZMENIČNE NAPATOSTI . . . . .	20
6.1 Fazni zamik količin v izmeničnih tokokrogih . . . . .	20
6.1.1 NALOGA: KAZALČNI DIAGRAM . . . . .	22
6.2 Tok v izmeničnih tokokrogih s kapacitivnim bremenom . . . . .	22
6.2.1 NALOGA: TOK V IZMENIČNEM KROGU S KAPACITIVNIM BREMENOM . . . . .	22
6.2.2 NALOGA: IMPEDANCA KONDENZATORJA . . . . .	22
6.2.3 NALOGA: FAZNI ZAMIK MED TOKOM IN NAPETOSTJO . . . . .	23
<b>7 TOK IN NAPETOST V IZMENIČNIH TOKOKROGIH Z INDUKTIVNIM BREMENOM</b>	<b>25</b>
7.0.1 NALOGA: NAPETOST V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM	25
7.0.2 NALOGA: TOK V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM . . . . .	26
7.1 NAVIDEZNA, DELOVNA IN JALOVA MOČ . . . . .	26
7.1.1 NALOGA: NAVIDEZNA MOČ . . . . .	27
7.1.2 NALOGA: DELOVNA MOČ . . . . .	27
7.2 JALOVA MOČ . . . . .	27
7.2.1 NALOGA: JALOVA MOČ . . . . .	28
7.2.2 NALOGA: KOMPENZACIJA JALOVE MOČI . . . . .	28
<b>8 KRMILJENJE SERVO-MOTORJEV</b>	<b>29</b>
8.1 Preskušanje delovanja servo-motorja . . . . .	30
8.1.1 NALOGA: PROGRAMSKO KRMILJENJE SERVO-MOTORJA . . . . .	30
8.1.2 NALOGA - KRMILENJE SERVOMOTORJA . . . . .	31
<b>9 KRMILJENJE KORAČNIH MOTORJEV</b>	<b>33</b>
9.1 Uni-/Bi- polarni koračni motorji . . . . .	33
9.2 Načini krmiljenja koračnega motorja . . . . .	34
9.2.1 NALOGA: DOLOČITEV VEZAVE STATORJA KORAČNEGA MOTORJA . . . . .	35
9.2.2 NALOGA: KRMILJENJA KORAČNEGA MOTORJA . . . . .	35
9.2.3 NALOGA: KRMILJENJE V POLNO- IN POL- KORAČNEM NAČINU . . . . .	36
9.3 Priloge . . . . .	36

---

<b>10 ENOSMERNI MOTOR</b>	<b>37</b>
10.1 KONSTANTA MOTORJA . . . . .	37
10.1.1 NALOGA: KONSTANTA MOTORJA . . . . .	38
<b>11 IZKORISTEK ENOSMERNEGA MOTORJA</b>	<b>39</b>
11.1 Merjenje izkoristka enosmernega motorja z reduktorjem . . . . .	39
11.1.1 Naloga: Izmerite izkoristek enosmernega motorja . . . . .	40
11.1.2 Naloga: Grafični prikaz . . . . .	43
<b>12 MERJENJE IZKORISTKA ENOSMERNEGA GENERATORJA</b>	<b>45</b>
12.0.1 Naloga: Merjenje izkoristka enosmernega generatorja . . . . .	47
<b>13 ELEKTRIČNI DALJNOVODI</b>	<b>51</b>
13.1 DALJNOVOD brez uporabe transformatorja . . . . .	51
13.1.1 NALOGA: IZKORISTEK DALJNOVODA . . . . .	51
13.2 DALJNOVOD S TRANSFORMATORSKO POSTAJO . . . . .	53
13.2.1 NALOGA: IZKORISTEK DALJNOVODA S TRANSFORMATORSKO POSTAJO . . . . .	53
<b>14 ELEKTRIČNA INŠTALACIJA</b>	<b>55</b>
14.1 VKLOP LUČI . . . . .	55
14.1.1 NALOGA: VKLOP LUČI IZ ENEGA MESTA . . . . .	55
14.2 VEZAVA SERIJSKEGA STIKALA . . . . .	56
14.2.1 NALOGA: SERIJSKO STIKALO . . . . .	56
14.3 VKLOP LUČI IZ DVEH MEST . . . . .	57
14.3.1 NALOGA: VKLOP LUČI IZ DVEH MEST . . . . .	57
14.4 VKLOP LUČI IZ TREH ALI VEČ MEST . . . . .	57
14.4.1 NALOGA: VKLOP LUČI IZ TREH ALI VEČ MEST . . . . .	57
<b>15 MAGNETNI UČINEK ELEKTRIČNEGA TOKA</b>	<b>59</b>
15.1 ZVOČNIK . . . . .	60
15.1.1 NALOGA: Izdelava zvočnika . . . . .	61



# 1 OHMOV ZAKON

Osnovni princip premikanja elektronov v električnih vezjih je opredeljen z Ohmovim zakonom, ki ga zelo enostavno zapišemo z en. 1.1:

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.1)$$

Kljub enostavnosti enačbe en. 1.1 imajo učenci/dijaki/študentje precej težav s samo uporabo enačbe. Saj se količine kot so tok, napetost in upornost v elektrotehniki znajdejo prav povsod po vezju in je potrebno dobro razumevanje področja, za uporabo dotičnih vrednosti.

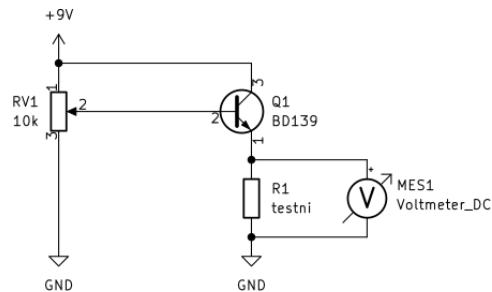
## 1.1 Odvisnost električnih količin

Danes lahko enostavno pokažemo linearno odvisnost električnega toka skozi nek prevodnik s konstantno upornostjo (npr. upor). V času Georga Simona Ohma pa je bilo to precej težko, saj v letu 1826 ni razpolagal ne z zanesljivimi napetnostnimi viri, niti s priročnimi merilnimi napravami.

### 1.1.1 NALOGA: OHMOV ZAKON - MERITVE

Sestavite poljubno vezje, v katerega boste vključili:

- napetostni vir, ki mu lahko nastavljamo izhodno napetost (sestavite po sl. 1.1),



**Slika 1.1:** Preprost nastavljiv vir napetosti.

- 3 ali več uporov različnih upornosti ( $R_{1..4} = 100\Omega..10k\Omega$ ),

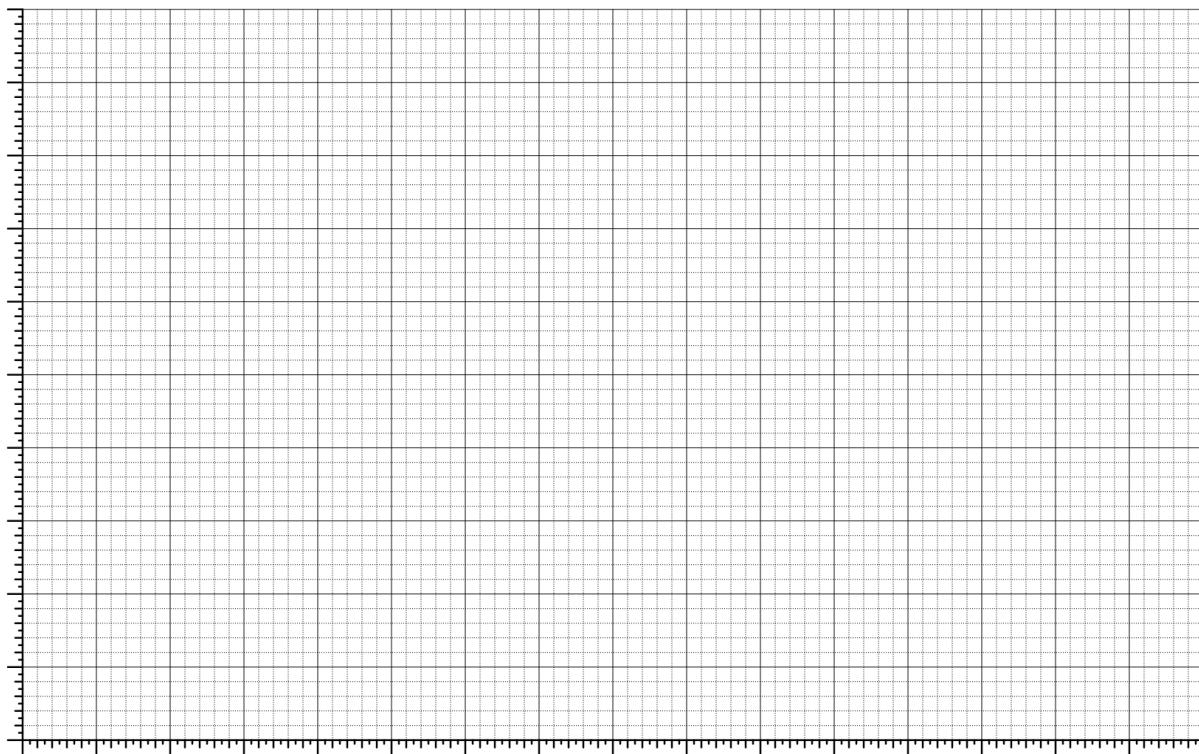
Na to za vse te upore izmerite: napetost na uporu in tok, ki teče skozi upor pri vsaj petih različnih napajalnih napetostih. Izpolnite tuditbl. 1.1.

**Table 1.1:** Relacija električnega toka in napetosti na uporu.

upor	$R_1$		$R_2$		$R_3$		
	$U_R[V]$	$I_R[mA]$	$R_R$		$U_R[V]$	$I_R[mA]$	$R_R$

### 1.1.2 NALOGA: I(U) KARAKTERISTIKA LINEARNEGA UPORA

Na isti grafi narišite vse tri I(U) karakteristike uporov.



**Slika 1.2:**  $I(U)$  karakteristike uporov.



## 2 KIRCHHOFOVA IZREKA

Omenili smo že, da pri reševanju elektrotehniških problemov, zelo pogosto uporabljamo Ohmov zakon. Prav tako pogosto, pa nam prideta prav še oba Kirchhoffova izreka.

### 2.1 1. Kirchhoffov izrek

Prvi Kirchhoffov izrek govori, da je **vsota električnih tokov v izbranem vozlišču enaka nič**. Ta izrek lahko predstavimo z en. 2.1

$$I_1 + I_2 + (-I_3) + \dots = 0 \quad (2.1)$$

in nakazuje, da se naboje ne more kopičiti v vodnikih. To pomeni, da če po neki žici nabolj priteče v vozlišče, ga bo od tam tudi prav toliko odteklo. Za en. 2.1 velja, da smo vse pritekajoče tokove v sumacijsko točko definirali kot pozitivne. Medtem ko imajo odtekajoči tokovi negativen predznak (npr.:  $I_3$ ).

#### 2.1.1 NALOGA: SUMACIJSKA TOČKA EL. TOKOV

Sestavite električno vezje s poljubno napajalno napetostjo. V to vezje vključi 3 upore različnih upornosti (npr.:  $R_{1..3} = 100\Omega..10k\Omega$ ) - izberete lahko isto električno vezje iz 1. vaje o Ohmovem zakonu. Vezava naj bo neka kombinacija vzporednih in zaporednih vezav. Za vsaj dva različna primera napajalnih napetosti predstavite, da velja 1. Kirchhoffov izrek. Odgovor naj vsebuje:

1. električno shemo vezja s ključnimi el. veličinami,
2. označite (kompleksnejšo) poljubno sumacijsko točko v vezju,
3. izmerite vse pritekajoče in odtekajoče tokove sumacijske točke in
4. pravilno zapišite en. 2.1 z vstavljenimi podatki.

## 2.2 2. Kirchhoffov izrek

Drugi Kirchhoffov izrek predpostavlja, da je **vsota vseh razlik napetostnih potencialov v zaključenem električnem tokokrogu enaka 0**. Za primer žepne svetilke, bi ta izrek lahko zapisali tudi z en. 2.2

$$U_{G_1} + U_{G_2} + U_{G_3} + (-U_R) + (-U_{LED}) = 0 \quad (2.2)$$

pri čemer velja, da će se napetostni potencial v izbrani smeri poveča, je razlika pozitivna in negativna, če se napetostni potencial v izbrani smeri zmanjša (npr.: napetost na žarnici  $U_{LED}$ ).

Ta isti izrek boste večkrat našli zapisan tudi tako, da je: **vsota vseh goničnih napetosti v zaključenem električnem krogu enaka vsoti vseh razlik napetostnih potencialov na porabnikih**. Ko imamo v vezju le en napetostni vir (v večini primerih), bi ta izrek lahko predstavili z en. 2.3:

$$U_{G_1} = U_{R_1} + U_{R_2} + \dots \quad (2.3)$$

### 2.2.1 NALOGA: NAPETOSTNI POTENCIAL V TOKOKROGU

Na primeru vezja iz prejšnje naloge nastavi poljubno znano napajalno napetost (novo, ki je še nisi preskusil) :

1. sestavi zapise enačb 2. Kirchhoffovega izreka za vse tokokroge v vezju,
2. sestavite zapise enačb za vse sumacijske točke v vezju,
3. za vse upore sestavite enačbo Omovega
4. rešite sistem enačb ter izračunajte napetosti in tokove skozi vse elemente ter
5. jih primerjajte z izmerjenimi vrednostmi.

## 3 NADOMESTNA IN NOTRANJA UPORNOST

O notranji upornosti govorimo predvsem takrat, ko neko napravo priključimo v neko vezje in bo tako s svojimi lastnostmi vplivala na električne veličine v prvotnem vezju. Ker je veliko teh naprav sestavljenih zelo kompleksno, jih pogosto predstavimo z nekim nadomestnim uporom, ki bi povzročil enake električne vplive.

### 3.1 Zaporedna vezava uporov

#### 3.1.1 NALOGA: Nadomestna upornost zaporedne vezave

Sestavite preprosto vezje s:

1. poljubnim napetostnim virom,
2. na katerega priključite dva zaporedno vezana upora.

Z 2. Kirchhoff-ovim izrekom utemeljite izračun za nadomestno upornost obeh zaporedno vezanih uporov.

Rezultat preverite v simulaciji z zamenjavo obeh uporov z nadomestnim in preverite, če so vrednosti električnih veličin enake.

### 3.2 Vzporedna vezava uporov

#### 3.2.1 NALOGA: Nadomestna upornost vzporedne vezave

Sestavite preprosto vezje s:

1. poljubnim napetostnim virom,
2. na katerega priključite dva vzporedno vezana upora.

S 1. Kirchhoff-ovim izrekom uteheljite izračun za nadomestno upornost obeh vzporedno vezanih uporov.

Rezultat preverite v simulaciji z zamenjavo obeh uporov z nadomestnim in preverite, če so vrednosti električnih veličin enake.

### 3.3 Notranja upornost V-metra

Pogosto predpostavimo, da je notranja upornost V-metra neskončna. Čeprav seveda to ni res in je le zelo velika - tolikšna, da znatno ne vpliva na vezje, kamor ga priključimo. Preskusimo dve situaciji, kjer lahko notranjo upornost V-metra zanemarimo in ko jo moramo upoštevati.

#### 3.3.1 NALOGA: Delilnik napetosti

Seatavite vezje s:

1. poljubnim napetostnim virom in
2. dvema zaporedno vezanima uporoma manjših upornosti  $R = [100\Omega..1k\Omega]$ .

Izračunajte napetosti na uporih  $R_1$  in  $R_2$  ter izračune preverite z realnim V-metrom (simulirajte tako, da vzporedno vežete  $R_{V-meter} = 1M\Omega$ ).

Nato spremenite vrednost uporov  $R_1 \text{ in } R_2 = [100k\Omega..1M\Omega]$ .

Ponovno izračunajte napetosti na uporih  $R_1$  in  $R_2$  ter izračune preverite z realnim V-metrom (simulirajte tako, da vzporedno vežete  $R_{V-meter} = 1M\Omega$ ).

Z zakoni in izreki uteheljite razliko v meritvah med obema delilnikoma napetosti.

## 4 NAPETOSTNI VIRI

Inštrumenti pa niso edine naprave, pri katerih moramo biti pozorni na njihove notranje upornosti. Medtem, ko pri merilnih inštrumentih izpostavljamo njihovo vhodna notranja upornost, tako nas pri baterijah ali drugih napetostnih virih zanima njihova izhodna notranja upornost.

Zaradi izhodne notranje upornosti (ki bi morala biti nič, pa ni) nek vir napetosti ne more zagotavljati neskončnega velikega toka prav zaradi svoje lastne notranje upornosti. Na primer notranja upornost avtomobilskih akumulatorjev je le nekaj  $m\Omega$ , medtem ko je notranja upornost baterijskih vložkov okoli  $R_B = 0.5\Omega$ . Tako je kratkostični tok pri akumulatorjih lahko tudi do  $I_{MAX} = 500A$  ali več, medtem ko s polnilnimi vložki dosegamo tokove okoli 20A.

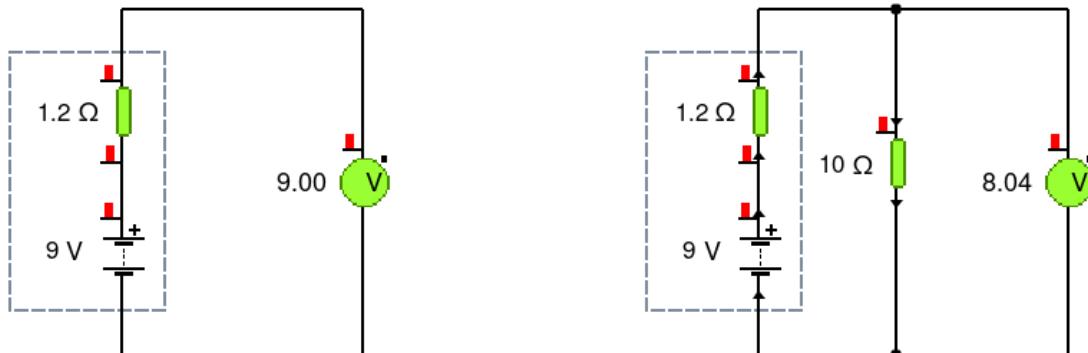
Naj na tem mestu omenimo še eno zanimivost, ki se je pripetila podjetju Sony, ki je leta 2006 poslal na trg prenosne računalnike z Li-ionskimi baterijami, na katerih je bilo nekaj kovinskih ostružkov. Ti so povzročili kratek stik in baterija se je začela prazniti z velikim tokom. Ker se na vsakem uporu skozi katerega teče tok sprošča toplota (in z notranjem uporom ni nič drugače), se je baterija začela tako segrevati, da je celo eksplodirala.

### 4.1 Notranja upornost vira napetosti

S poskusi lahko opazimo, da realni napetostni viri ne zagotavljajo konstantne napetosti na njihovih priključkih. Na primer, če na baterijo prikličimo porabnik z manjšo upornostjo, lahko ugotovimo, da se napetost na priključkih baterije nekoliko zmanjša. Raziščimo zakaj.

#### 4.1.1 NALOGA: Notranja upornost baterije

Ker je notranja uporans predvsem posledica same konstrukcije baterije, samega notranjega upora ne moremo neposredno izmeriti.



**Slika 4.1:** Notranja upornost baterije.

Lahko pa ga izmerimo posredno tako, da opazujemo spremembo napetosti na priključkih napetostnega vira ob različnih tokovih:

1. Izmeri napetost neobremenjene baterije  $U_{B_0}$ .
2. Nato baterijo obremenite z manjšim uporom ( npr.:  $R_1 = 10\Omega$  ) in ponovno izmerite napetost  $U_B = U_{R_1}$ .
3. Narišite simbolno električno shemo poskusa in izračunajte notranjo upornost baterije  $R_B$ .

## 4.2 Izmenični napetostni viri

Kadar se izhodna napetost vira spreminja tako, da se smer toka v vezju spremeni, govorimo o izmeničnem napetostnem viru. Večinoma bomo govorili o taki izmenični napetosti, katere amplituda se s časom spreminja po enačbi:  $U(t) = \hat{U} \sin(\omega t)$ .

### 4.2.1 NALOGA: Časovni potek izmenične napetosti

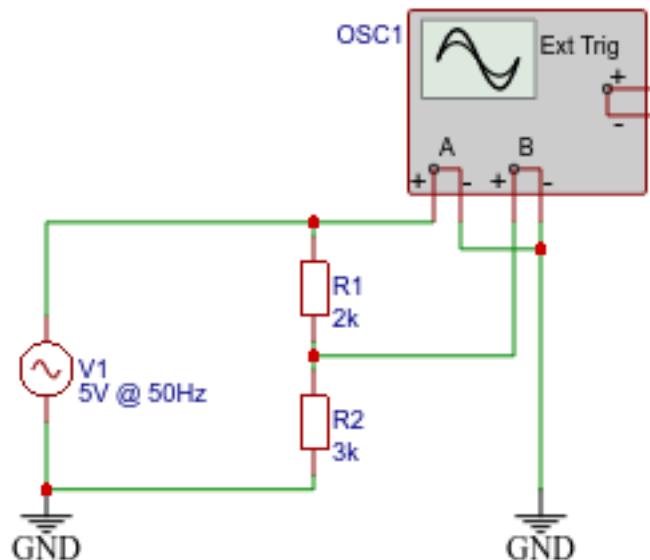
1. Sestavite poljubno vezje s:
  - poljubnim izmeničnim virom in
  - dvema zaporedno vezanima uporoma.
2. Na vir priključite osciloskop in izmerite časovni potek napetosti. Graf  $U(t)$  tudi ustrezno narišite in odčitajte naslednje parametre :

- Amplitudno napetost  $\hat{U}_G =$
  - čas periode  $t_0 =$
  - frekvenco izhodne napetosti  $f_G =$
  - krožilno frekvenco nap.  $\omega_G =$
3. Iz izmerjenih podatkov in grafa  $U(t)$  narišite kazalčni diagram, ki prikazuje pogoje pri  $t = 0, 15s$ .

#### 4.2.2 NALOGA: AMPLITUDNA IN EFEKTIVNA NAPETOST

1. Na vir priključite V-meter in izmerite efektivno napetost vira. Utemeljite zakaj se efektivna in amplitudna napetost izmeničnega vira razlikujeta.
2. Z V-metrom preverite veljavnost 2. Kirchhoffovega izreka.

Izdredno pazljivi pa moramo biti pri meritvah napetostnih potencialov z osciloskopom.



**Slika 4.2:** Meritev napetostnih potencialov in napetosti z osciloskopom.

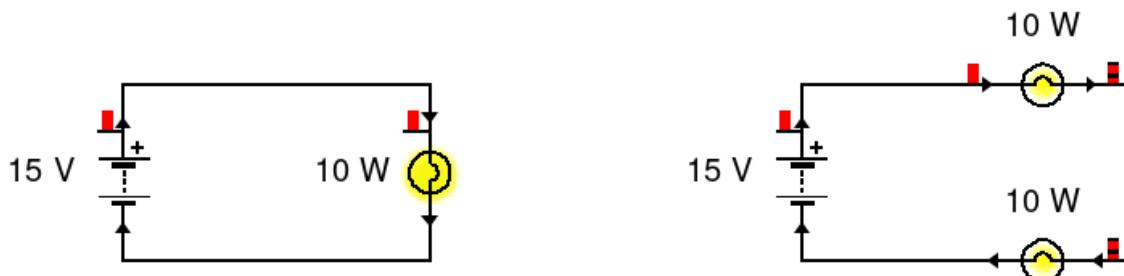
#### 4.2.3 NALOGA: Merjenje napetostnih potencialov in napetosti z osciloskopom.

Z osciloskopom izmerite:

- Amplitudo vira napetost (=napetostni potencial)  $U_G =$
- Amplitudo napetosti (=napetostni potencial) na  $R_2$  in
- Amplitudo napetosti (= napetost) na  $R_1$ .

## 5 NELINEARNI UPORI IN SENZORJI

Med nelinearne upore sodijo upori, katerih  $I(U)$  karakteristika ni linearna. Tipičen tak primer lahko opazimo pri žarnici. Ker se žarilna nitka zelo segreje in atomi kovinske rešetke bistveno bolj vibrirajo, s tem tudi bolj onemogočajo prehajanje elektronov skozi to žarilno nitko. Tako ne moremo potrditi linearne odvisnosti električnega toka pri vezavi na sl. 5.1.



**Slika 5.1:** Nelinearna odvisnost toka pri ratličnih vezavah.

### 5.0.1 NALOGA: ELEKTRIČNI TOK SKOZI ŽARNICO PRI ZAP. VEZAVI

Sestavi vezje po sl. 5.1 in izmerite:

1. napetosti na žarnicah ter,
2. tokove skozi žarnice.

Kako se rezultati razlikujejo od pričakovanj, če bi bila žarnica linearen upor. Utemeljite z zakoni in izreki, ter se navežite na (ne-)linearnost upornosti.

Pri teh uporih moramo izredno pazljivo uporabljati Ohmov zakon. Le-ta še vedno velja, vendar se moramo zavedati, da se upornost nelinearnih elementov lahko ob nekih pogojih spremeni in tako vpliva tudi na nelinearno  $I(U)$  karakteristiko.

### 5.0.2 NALOGA: I(U) KARAKTERISTIKA ŽARNICE

1. Izmerite I(U) karakteristiko žarnice in podatke uredite v tabeli.
2. Graf I(U) karakteristike tudi narišite.

## 5.1 FOTOUPO in RTERMISTOR

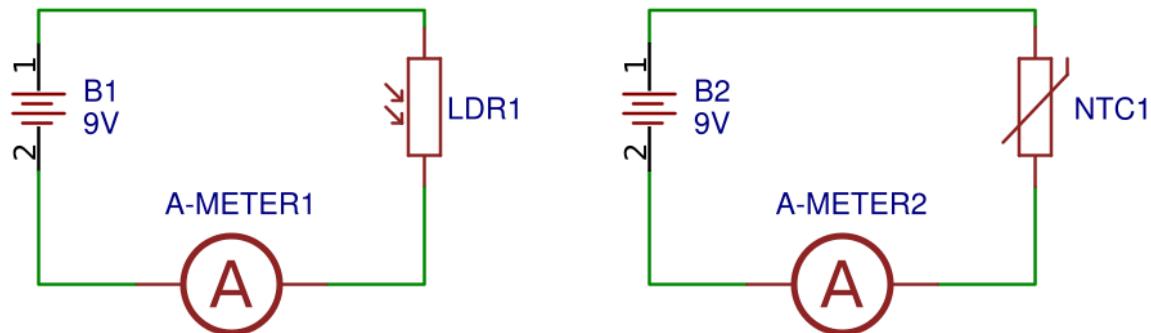
Med nelinearne upore sodijo tudi upori, katerih upornost se spreminja v odvisnosti od neke fizikalne količine. Tako poznamo tudi upore, katerih upornost se spreminja v odvisnosti od:

- osvetljenosti (npr.: fotoupor),
- temperature (termistorji).

### 5.1.1 NALOGA: FOTOUPOR

Sestavite vezje, ki ga prikazuje sl. 5.2 - levo. Nato spremojte osvetljenost elementa in opazujte kako se spreminja električni tok skozi element. Ugotovitev tudi napišite.

Nato na podlagi teh ugotovitev utemeljite kako se spreminja upornost elementa glede na njegovo osvetljenost (osvetljenost  $\rightarrow$  el. tok  $\rightarrow$  upornost).



**Slika 5.2:** Priključitev fotoupora in termistorja.

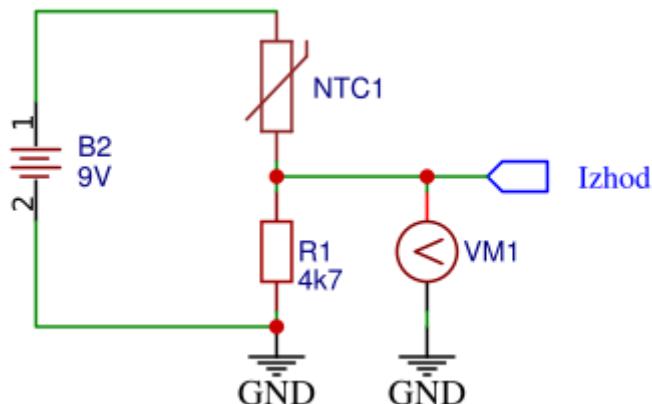
### 5.1.2 NALOGA: TERMISTOR

Sestavite vezje, ki ga prikazuje sl. 5.2 - desno. Nato spremojte temperaturo elementa in opazujte kako se spreminja električni tok skozi element. Ugotovitev tudi napišite.

Nato na podlagi teh ugotovitev utemeljite kako se spreminja upornost elementa glede na njegovo temperaturo (temperatura -> el. tok -> upornost).

## 5.2 Umeritev senzorja

Senzor je elektronski element, katerega izhodna električna količina je odvisna od neke fizikalne količine. V našem primeru bomo sestavili senzor temperature. V delilnik napetosti bomo vezali termistor in upor s konstantno upornostjo, kot prikazuje sl. 5.3.



**Slika 5.3:** Sestava preprostega temperaturnega senzorja.

Premislimo, kako lahko razumemo delovanje senzorja:

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  $I' = \frac{U_B}{R'}$ .
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. Prav to napetost pa tudi merimo z volt-metrom  $V_{M1}$ .
5. Zaključimo lahko, da se napetostni potencial na izhodnem priključku poveča, če se je tudi temperatura povečala.

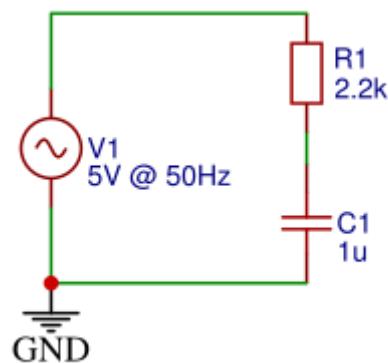
**5.2.1 NALOGA: UMERITEV SENZORJA TEMPERATURE**

Sestavite senzor temperature, kot je predstavljen na sl. 5.3. Spreminjajte temperaturo termistorja in beležite izhodno napetost. Meritve uredite tudi v tabeli. Nato iz dobljenih meritev lahko narišete graf  $U_{izh}(T)$ .

Za tem iz dobljenih meritev izračunajte še upornost  $R_{NTC}$  za vsako izmerjeno situacijo in narišite graf  $R_{NTC}(T)$ .

## 6 KONDENZATOR V IZMENIČNIH TOKOKROGIH

Sestavite vezje, ki je predstavljeno na sl. 6.1. Na levi strni imamo vir napetosti amplitude  $\hat{U} = 5V$  in nanj smo zaporedno priključili upor  $R = 2,2k\Omega$  in kondenzator  $C_1 = 1\mu F$ . Preverite napetosti na posameznih elementih.



**Slika 6.1:** Shema priključitve zaporedne vezave upora in kondenzatorja na izmenični vir napetosti.

### 6.0.1 NALOGA: NAPETOSTI V IZMENIČNIH TOKOKROGIH

Sestavite vezje na sl. 6.1 in z V-metrom izmerite napetosti na elementih in jih vpišite v tabelo. V shemo vključite tudi priključitev vseh treh V-metrov.

**Table 6.1:** Izmerjene efektivne vrednosti napetosti na elementih v izmeničnem tokokrogu.

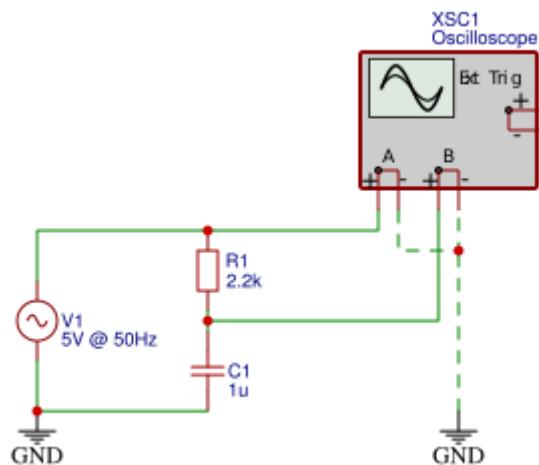
element	$\tilde{U}[V]$
V1	
R1	

element	$\tilde{U}[V]$
C1	

### 6.0.2 NALOGA: PREVERITE 2. KIRCHHOFOV IZREK

Kaj lahko ugotovite glede 2. Kirchhoffovega izreka. Ugotovitve zapišite.

Če želimo prikazati časovno odvisnost napetostnega potenciala ( $\tilde{U}(t)$ ) lahko uporabimo merilni instrument, ki ga imenujemo osciloskop. Priključiti ga moramo tako, kot to prikazuje sl. 6.2.



**Slika 6.2:** Priključitev osciloskopa v vezje.

### 6.0.3 NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (osciloskop)

V vezje priključite osciloskop, kot kaže sl. 6.2.

Nato pravilno nastavite osciloskop (na ekranu naj bo vidna le ena perioda) in odčitajte ter prerišite vse tri poteke napetosti:

1. Časovni potek napetostnega potenciala, ki ga generira vir napetosti (A).
2. Časovni potek napetosti na kondenzatorju (B).
3. Napetost na uporu, ki jo lahko prikažemo z matematično funkcijo A-B.

#### 6.0.4 NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (simulacija)

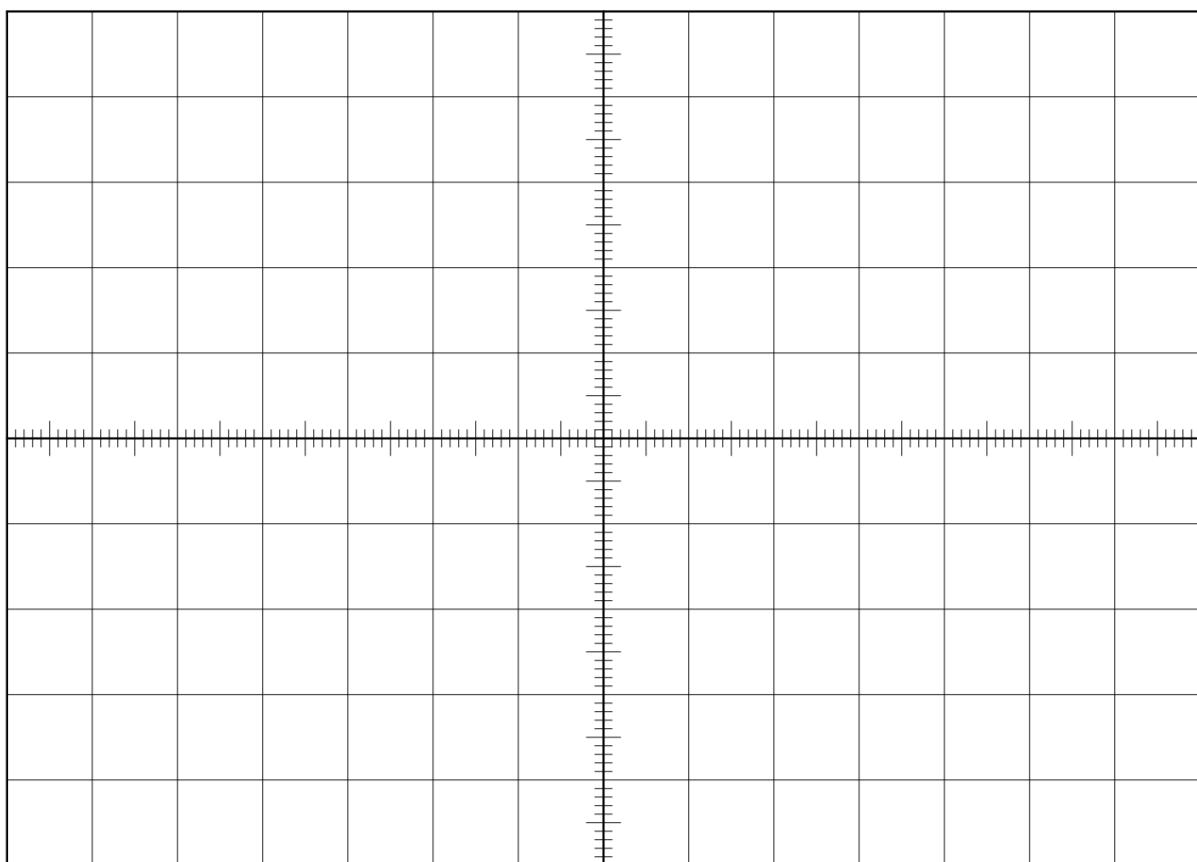
Na isti graf  $U(t)$  prikazujte:

1. Časovni potek napetosti vira,
2. časovni potek napetosti na kondenzatorju in
3. časovni potek napetosti na uporu.

Na graf lahko dodate več krivulj tako, da:

označite graf -> desni klik -> Properties... -> Traces -> []Show trace X

Graf naj bo velik, pregleden in na njem naj bo le ena perioda.



**Slika 6.3:** Graf čarovne odvisnosti napetosti vira, napetosti na uporu in na kondenzatorju.

### 6.0.5 NALOGA: KARAKTERISTIČNE VREDNOSTI IZMENIČNE NAPATOSTI

Iz predhodno izmerjenega grafa odčitajte naslednje količine in jih vpišite v tabelo. Kjer je:

- $\hat{U}$  - amplitudna napetost - največji odmak krivulje od srednje vrednosti in
- $t_{\hat{U}}$  - čas, pri katerem se pojavi amplitudna napetost.
- $\varphi$  - fazni premik med napetostmi, pri čemer smo za orientacijo vzeli napetost na uporu.<sup>a</sup>
- $U_{t=konst.}$  - napetost na elementu ob istem trenutku za vse tri krivulje. Na primer napetost na elementu pri času  $t = 15ms$ .

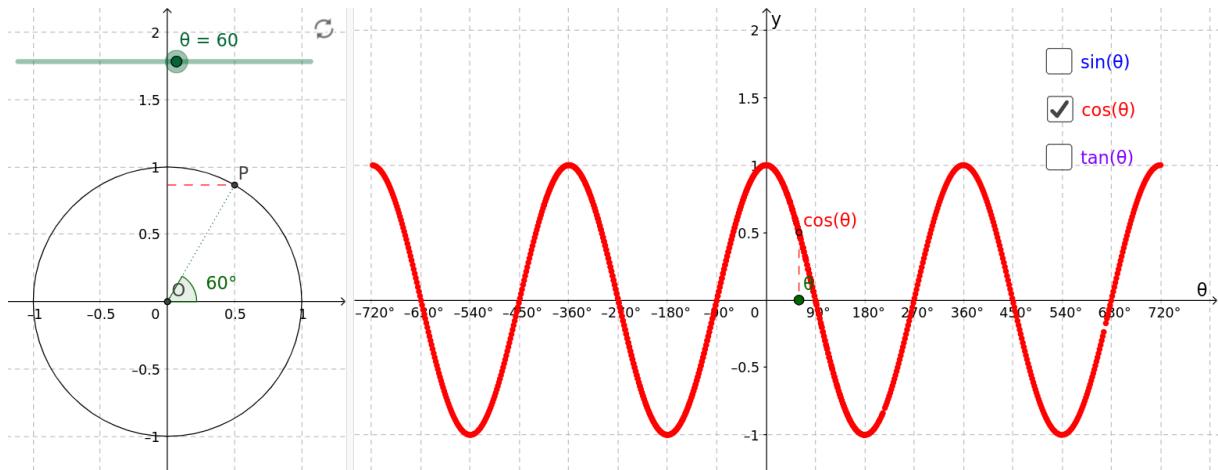
<sup>a</sup>Glej naslednji naslov - FAZNI PREMIK. Fazni premik izračunamo tako, da najprej odčitamo časovno razliko med dvema začetnima točkama dveh krivulj. Tako dobimo  $\Delta t$ . Nato moramo odčitati še čas dolžine periode ( $t_0$ ), ki je v našem primeru  $t_0 = 20ms$ . To je čas, po katerem se fizikalni pojav ponavlja. Če ta čas predstavlja  $360^\circ$ , potem je  $\Delta t$  iskani fazni premik  $\varphi$ .

**Table 6.2:** Izmerjene karakteristične vrednosti časovnega poteka napetosti.

element	$\hat{U}[V]$	$t_{\hat{U}}[ms]$	$\varphi[^{\circ}]$	$U_{t=konst.}[V]$
V1				
R1			0.0	
C1				

### 6.1 Fazni zamik količin v izmeničnih tokokrogih

Za boljšo predstavitev kako lahko razložimo uporabo kazalčnega diagrama (ali faznega diagrama) si odprite primer razlage kosinusne krivulje na enotski krožnici ([povezava](https://www.geogebra.org/m/cNEtsbvC) <https://www.geogebra.org/m/cNEtsbvC>), ki je prikazan na sl. 6.4...



**Slika 6.4:** Razlaga kosinusne krivulje na enotski krožnici.

... in sledite naslednjim razmislekom:

1. Zamislite si, da graf na desni strani predstavlja časovni potek napetosti  $U(t)$ . Enote na  $x$  osi bi morali zamenjati s časovnimi enotami tako, da bi na mesto  $360^\circ$  postavili čas ene periode  $t_0 = 20ms$ . Enote na  $y$  osi pa z napetostjo, kjer bi 1 predstavljala največjo napetost = amplitudno napetost  $\hat{U}$ .
2. Ta graf na desni strani sl. 6.4 prikazuje "realne" izmerjene podatke, bodisi z osciloskopom ali pa kot ste jih dobili v grafu v simulaciji.
3. Graf na levi strani sl. 6.4 pa prikazuje namišljen matematični prostor, ki nam služi za izračunavanje napetosti in tokov v izmeničnih tokokrogih. Ta prostor je sestavljen iz  $Re$  - realne x osi in  $Im$  - imaginarno y osi. Le vrednosti na  $Re$  osi (rdeča črtkana črta) se odrazijo v realnem svetu in jih je mogoče izmeriti.
4. V ta prostor vstavimo vektor (kazalec) amplitude napetosti  $\vec{\hat{U}}$  in predstavljajte si, da se le-ta vrvi v matematični smeri po tem prostoru (kot v animaciji). Ta vektor opravi celoten obvod v času ene periode, kar je v našem primeru  $t_0 = 20ms$ , nato se pojavi ponavlja.
5. Torej, na nek način celotnih  $\varphi_0 = 360^\circ$  v tem namišljenem prostoru - predstavlja  $t_0 = 20ms$  v realnem svetu.
6. In prav tako vsakršna poljubna realna časovna razlika  $\Delta t$  ustreza faznemu zamiku  $\Delta\varphi$  v kazalčnem diagramu.

### 6.1.1 NALOGA: KAZALČNI DIAGRAM

Najprej preverite 2. Kirchhoffov izrek, vendar vzemite meritve vseh treh napetosti ob istem času iz tbl. 6.2. Kaj ugotovite? Ugotovitev utemeljite v navezavi z meritvami iz tbl. 6.1.

V kazalčni diagram vrišite vse tri vektorje amplitudnih napetosti ( $\vec{U_{V_1}}, \vec{U_{R_1}} \text{ in } \vec{U_{C_1}}$ ) in preverite veljavnost 2. Kirchhoffovega izreka še v tej vektorski obliki. Ugotovitev zapišite.

## 6.2 Tok v izmeničnih tokokrogih s kapacitivnim bremenom

Iz prejšnjih meritev napetosti na elementih v izmeničnem tokokrogu smo ugotovili, da so napetosti fazno zamaknjene. Vendar, ker so elementi zaporedno vezani, iz 2. Kirchhoffovega izreka vemo, da je tok enak skozi vse elemente in tako fazno usklajen.

Ker je zveza med tokom in napetostjo na uporu linearna (Ohmov zakon), lahko iz poteka napetosti na uporu sklepamo na potek toka skozi ta element.

$$I(t) = \frac{1}{R} \hat{U}_R \cos(\omega t) \quad (6.1)$$

Tako lahko iz prejšnjih podatkov o napetosti na uporu sklepamo na tok, ki teče v vezju.

### 6.2.1 NALOGA: TOK V IZMENIČNEM KROGU S KAPACITIVNIM BREMENOM

Iz časovne odvisnosti  $U_R(t)$  iz prejšnje naloge izračunajte tok skozi vezje (vsako točko napetosti delite z upornostjo upora) in tok vrišite v graf na sl. 6.5.

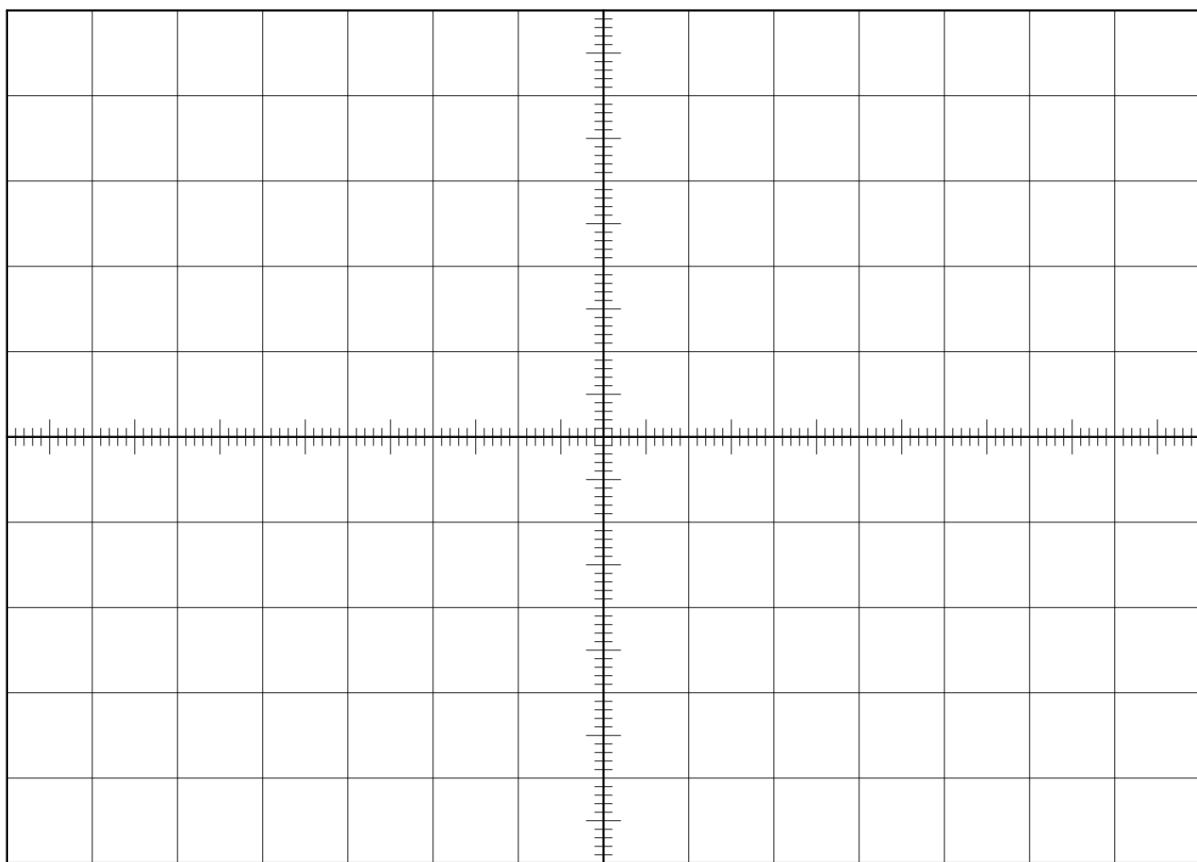
V graf na sl. 6.5 vrišite (prerišite) tudi napetost na kondenzatorju.

Časovni zamik med napetostjo in tokom nam tako namiguje na impedanco kondenzatorja v kompleksni obliki:

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} \quad (6.2)$$

### 6.2.2 NALOGA: IMPEDANCA KONDENZATORJA

Izračunajte impedanco kondenzatorja in nato še njegovo kapacitivnost. Izračune dosledno nakažite.



**Slika 6.5:** Časovni potek napetosti na kondenzatorju in tok skozenj.

### 6.2.3 NALOGA: FAZNI ZAMIK MED TOKOM IN NAPETOSTJO

Iz grafa na sl. 6.5 odčitajte časovno razliko  $\Delta t$  med amplitudo toka in amplitudo napetosti na kondenzatorju in izračunajte fazni zamik  $\varphi$ .

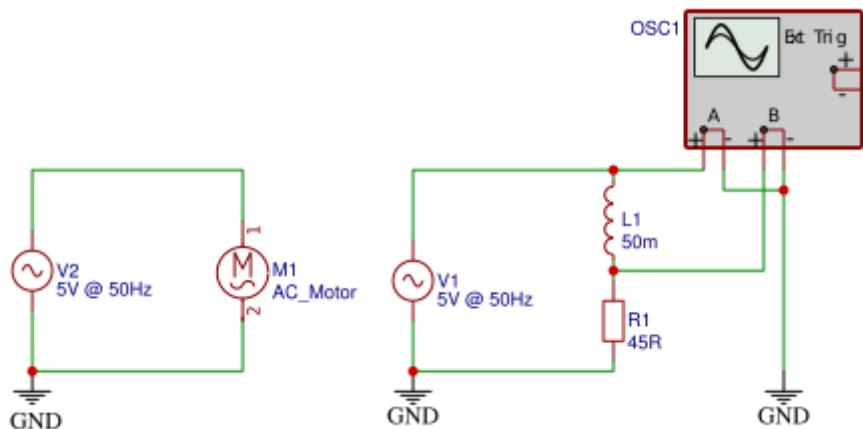
Narišite kazalčni diagram z vektorjema amplitude toka in napetosti.



## 7 TOK IN NAPETOST V IZMENIČNIH TOKOKROGIH Z INDUKTIVNIM BREMENOM

Večina porabnikov električne energije, priključenih na električno omrežje, ima ohmski ali ohmsko induktivni značaj, zato ima električno omrežje kot celota, ki je priključena na elektrarno, ohmsko induktivni značaj.

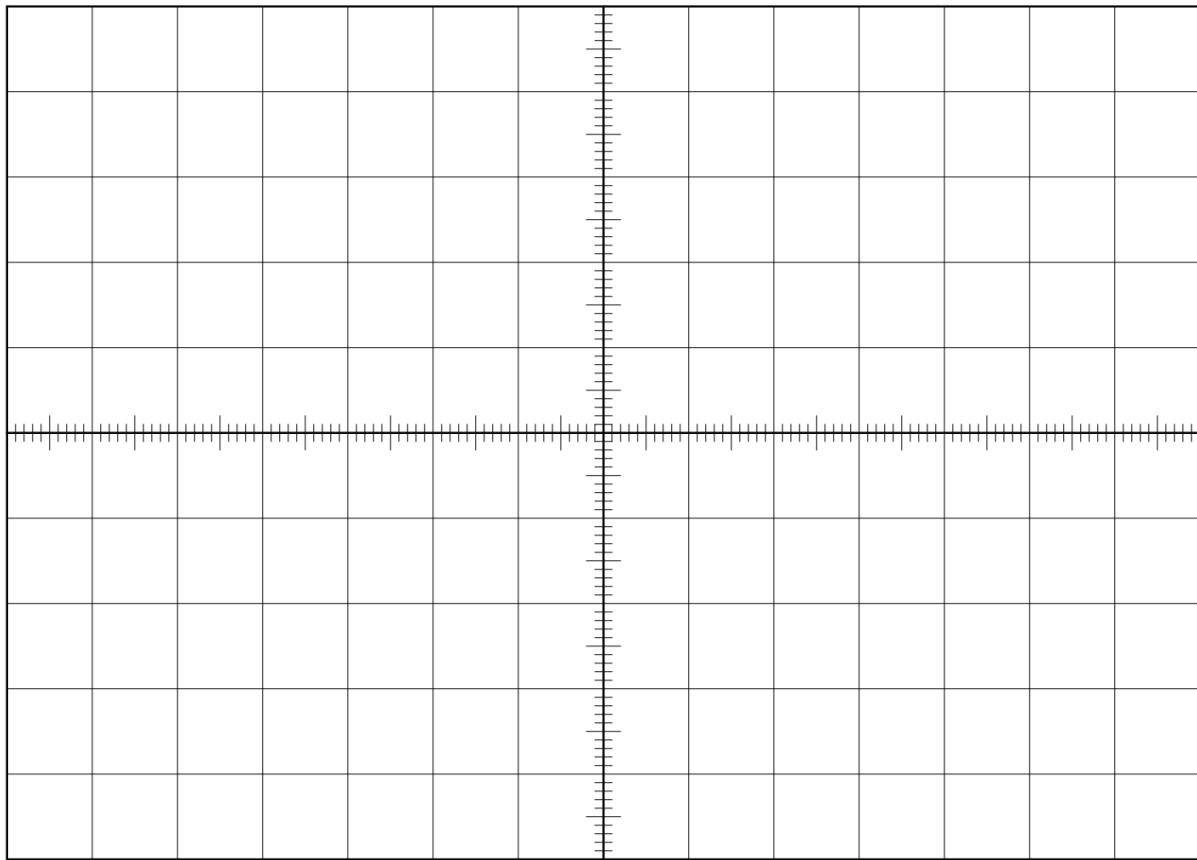
Poglejmo si primer, če bi na izmenično napetost priključili neko induktivno breme, lahko si predstavljamo, da je to motor, kot ga prikazuje sl. 7.1-levo. Le-tega lahko prikažemo z nadomestno shemo zaporedne vezave induktivnega in omskega bremena – tuljava predstavlja navitje motorja, upor pa omsko upornost žic tega navitja sl. 7.1.



**Slika 7.1:** Shema priklučitve induktivnega bremena na izmenični vir napetosti.

### 7.0.1 NALOGA: NAPETOST V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM

Sestavite vezje na sl. 7.1-desno in v graf na sl. 7.2 vršite potek napetosti gonilnega vira ( $U_G(t) \rightarrow CH_A$ ), napetost ( $U_{R_1}(t) \rightarrow CH_B$ ) in razliko teh dveh napetosti, ki nam poda napetost na tuljavi ( $U_T(t) \rightarrow CH_A - CH_B$ ) na tuljavi.



**Slika 7.2:** Graf časovnega poteka napetosti na tuljavi, uporu in vira.

#### 7.0.2 NALOGA: TOK V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM

Na grafu sl. 7.2 označite katera od krivulj lahko predstavlja tudi tok, ki teče skozi to vezje ( $I(t)$ ) in na desno stran grafa dorišite novo skalo za tok, ki jo prilagodite tej krivulji.

## 7.1 NAVIDEZNA, DELOVNA IN JALOVA MOČ

Če na elementu izmerimo efektivne vrednosti toka in napetosti, lahko izračunamo navidezno električno moč tega elementa po en. 7.1:

$$P_n = \widetilde{U_{ef}} \widetilde{I_{ef}} \quad (7.1)$$

### 7.1.1 NALOGA: NAVIDEZNA MOČ

Za tokokrog na sl. 7.1 izmerite efektivne vrednosti toka in napetosti za vsak element v vezju. Vrednosti izmerite z Volt- in Ampere-metrom z nastavijo za izmenične vrednosti (RMS). Izpolnite tbl. 7.1 za  $\widetilde{U}_{ef}$ ,  $\widetilde{I}_{ef}$  in  $P_n[mW]$ .

**Table 7.1:** Efektivne vrednosti in navidezna moč elementov.

element	$\widetilde{U}_{ef}[V]$	$\widetilde{I}_{ef}[mA]$	$P_n[mW]$	$\Delta t$	$\Delta\varphi$	$P_d$	$P_j$
$U_1$							
$L_1$							
$R_1$							

Vendar, ker tok in napetost nista fazno usklajena v izmeničnih tokokrogih z induktivnim značajem, je povprečna moč na nekaterih elementih manjša (moč vira in moč na tuljavi). Tej moči pravimo delovna moč in jo lahko ozračunamo po en. 7.2, kjer upoštevamo fazni zamik med napetostjo in tokom  $\varphi$ :

$$P_d = P_n \cos(\Delta\varphi) \quad (7.2)$$

### 7.1.2 NALOGA: DELOVNA MOČ

Iz sl. 7.2 odčitajte tudi časovne razlike med zamiki napetosti in tokom za vsak element in meritev vpišite v tbl. 7.1. Glede na ta podatek, izračunajte tudi fazni zamik  $\Delta\varphi$  in po en. 7.2 izračunajte tudi  $P_d$ .

## 7.2 JALOVA MOČ

Kot lahko opazite, se delovna in navidezna moč na tuljavi (in tudi na viru) razlikujeta. Razliko imenujemo jalova moč in jo lahko izračunamo kot vektorsko razliko  $\vec{P}_n - \vec{P}_d$ . Kot med tema dvema vektorjem pa je enak faznemu premiku med napetostjo in tokom  $\Delta\varphi$  ali z enačbo en. 7.3.

$$P_j = P_n \sin(\Delta\varphi) \quad (7.3)$$

### 7.2.1 NALOGA: JALOVA MOČ

Izračunajte kolikšno jalovo moč lahko pričakujemo na posameznih elementih iz sl. 7.1 in jo vpišite v tbl. 7.1.

Čeprav vir napetosti v povprečju deluje le z delovno močjo  $P_d$  se po vodnikih pretaka tudi jalova energija in jo vir napetosti v nekem trenutku zagotavlja v drugem pa prejema. Ker v praksi tako "pretakanje" jalove energije povzroča precej izgub na distribucijskem omrežju, je zaželeno, da jalovo moč kompenziramo.

Ker v praksi povzročajo jalovo moč predvsem motorji, ki jih uporabljamo v gospodinjstvu in industriji, imamo opravka predvsem z jalovo močjo, ki jo povzročajo induktivna bremena. Tako kompenzacijo izvedemo tako, da vzporedno k induktivnemu bremenu vežemo kondenzator, ki bo kompenziral to jalovo moč.

Jalovo moč, ki jo lahko s kondenzatorjem kompenziramo, lahko izračunamo po en. 7.4:

$$Q_C = \frac{\widetilde{U}_C^2}{X_C} = \widetilde{U}_C^2 \omega C \quad (7.4)$$

### 7.2.2 NALOGA: KOMPENZACIJA JALOVE MOČI

Izračunajte primeren kondenzator  $C_K$  za kompenzacijo jalove moči v vašem vezju.

Še naprej z osciloskopom opazujte električne napetosti v tokokrogu na sl. 7.1 in hkrati merite tok skozi vir napetosti.

Nato vzporedno k viru vežite kondenzator za kompenzacijo jalove moči  $C_K$  in opazujte:

- Ali se je tok skozi vir spremenil, ča da, kako?
- Ali so se razmere v tokokrogu  $U_G - L_1 - R_1$  kaj spremenile, če da, kako?

## 8 KRMILJENJE SERVO-MOTORJEV

Servo-motorji se večinoma uporabljajo v modelarstvu, predvsem pri radijsko vodenih modelih, kjer se uporabljajo za zagotavljanje lege različnih mehanskih komponent, kot so krmilo avtomobila, lopute na letalu, ali krmilo čolna.



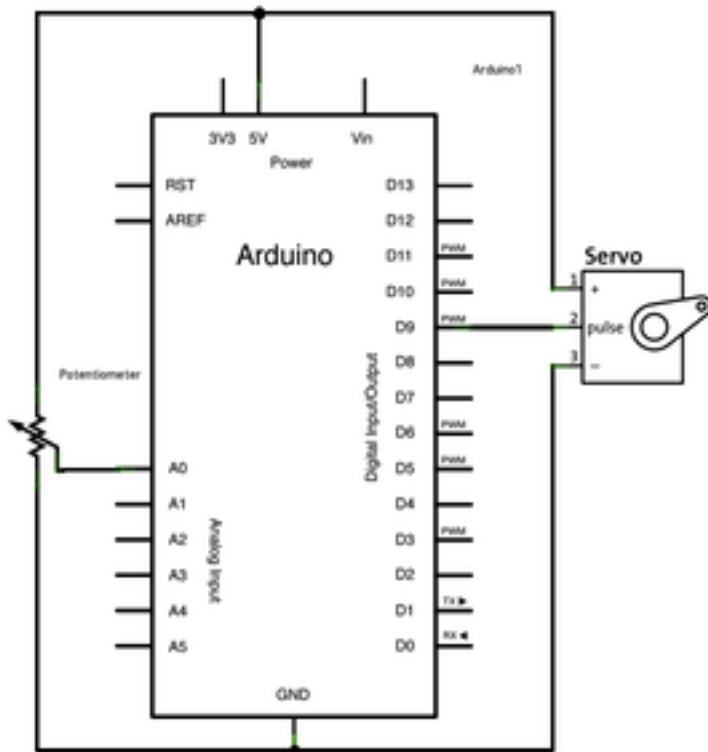
**Slika 8.1:** Primer modelarskega servomotorja

Servomotor, ki ga vidimo na sliki 8.1 je sestavljen iz enosmernega motorja, katerega gred je povezana z zobiškim prenosom (reduktorjem) na končno gred servomotorja. Zobniki so vzporedno povezani še s potenciometrom, ki služi kot povratna informacija o orientaciji gredi. Za pravilo deluje pa skrbi preprosta elektronika, ki je tudi sestavni del servomotorja.

Servomotor priključimo s tremi žicami. Dve sta potrebni za napajanje, ena pa je namenjena krmilnemu signalu. Le-ta je pulzno-širinsko moduliran, kar pomeni, da je informacija o kotu, predstavljena s dolžino pulza logične enice tega signala. Naprimer veljalo naj bi, da če je pulz logične enice dolg  $1.5ms$ , naj bi se gred servomotorja nahajala v *nevtralni* poziciji  $0^\circ$ ; pri dolžini pulza  $1.25ms$  bi se gred obrnila na  $-90^\circ$ , ko pa je dolžina enice  $1.75ms$  pa na  $+90^\circ$ . Tak pulz logične enice pa mora motor dobiti na vsaj vsakih  $20ms$ , lahko pa tudi nekoliko bolj pogosto. Napajalne napetosti se gibljejo nekje med 4 in  $7.5V$ , seveda je tudi ta podatek različen od motorja do motorja.

## 8.1 Preskušanje delovanja servo-motorja

Servomotor bomo krmili z Arduino (Arduino) krmilnikom. Program zanj bomo napisali v programskem okolju ArduinolIDE (Arduino). Še prej pa ga moramo pravilno povezati na krmilnik. To storimo tako, kot prikazuje slika 8.2 (Arduino).



**Slika 8.2:** Prikljucitev servo-motorja

Na sliki vidimo 8.2, da je priključen tudi potenciometer, ki nam bo zagotavljal napetostni signal, na podlagi katerega bo krmilnik zagotavljal primeren signal za servo-motor.

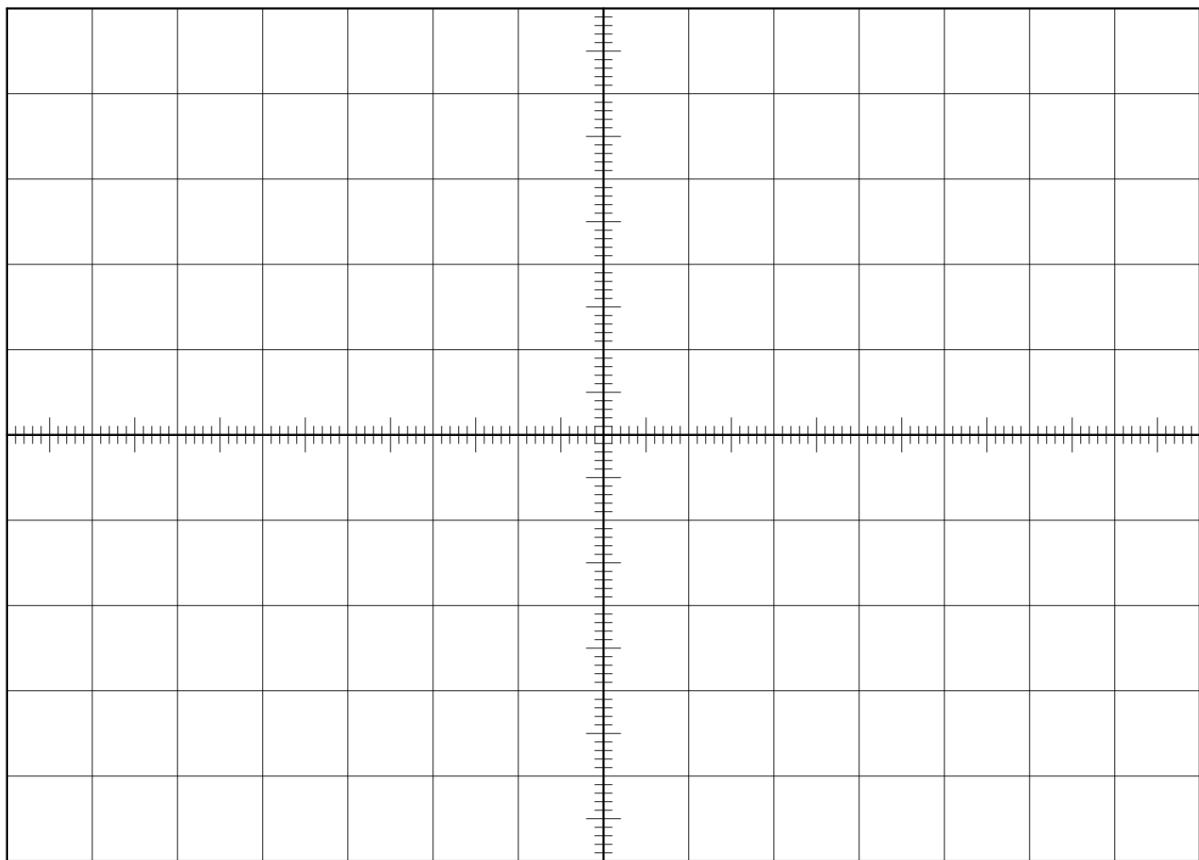
### 8.1.1 NALOGA: PROGRAMSKO KRMILJENJE SERVO-MOTORJA

V programskem okolju ArduinolIDE naložite naslednji program in ga preskusite:

```
1 #include <Servo.h>
2 Servo myservo
3 int potpin = 0
4 int val
5
6 void setup() {
7     myservo.attach(9)
8 }
9
10 void loop() {
11     val = analogRead(potpin)
12     val = map(val, 0, 1023, 0, 180)
13     myservo.write(val)
14     delay(15)
15 }
```

### 8.1.2 NALOGA - KRMILENJE SERVOMOTORJA

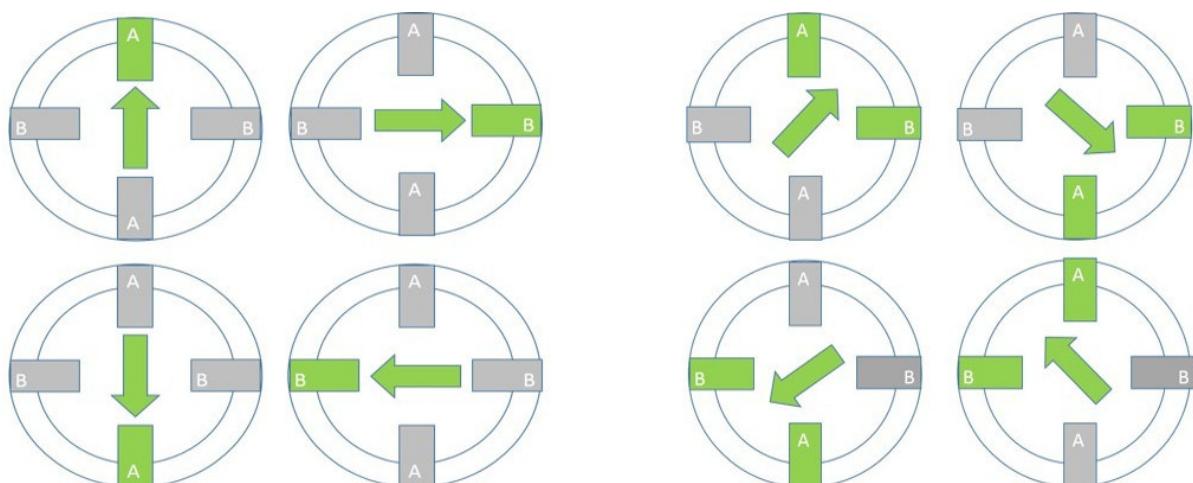
Preskusite program tako, da premikate srednji priključek potenciometra in spremljajte odziv servomotorja. Nato z osciloskopom posnemite oba signala (na potenciometru in signal za krmiljenje servo-motorja) in napetostna signala narišite za vsaj **3 različne situacije**.



**Slika 8.3:** Slika signalov.

## 9 KRMILJENJE KORAČNIH MOTORJEV

Koračni motorji so brezkrtačni sinhronski elektromotorji, katerih en vrtljaj gredi sestavlja več (cca 180) korakov. Rotacijo gredi lahko krmilimo tako, da ustvarjamo magnetna polja na različnih navitijih statorja v pravilnem zaporedju. Slika 9.1 (“Stepper Motors and Drives, What Is Full Step, Half Step and Microstepping?”) prikazuje eno od možnosti takega krmiljenja.



**Slika 9.1:** Koraki krmiljenja koračnega motorja.

### 9.1 Uni-/Bi- polarni koračni motorji

Čeprav je princip delovanja koračnih motorjev preprost in podoben v vseh različicah, je potrebno omeniti, da poznamo unipolarne in bipolarne koračne motorje. Razlikujejo se po vezavi statorja.

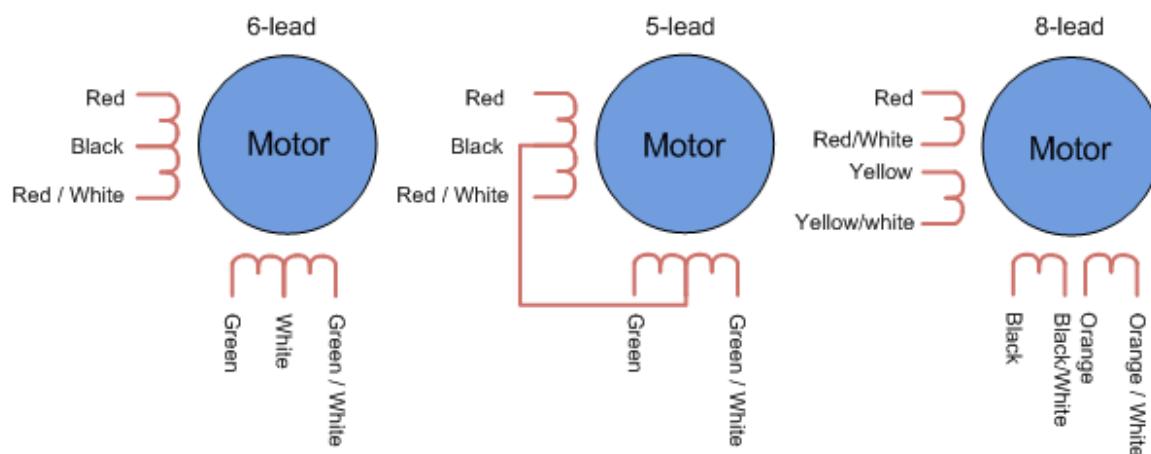
#### Unipolarni koračni motorji

Unipolarni koračni motorji imajo na enem mestu dve navitji, ki sta si po smereh različni tako, da lažje ustvarjamo magnetno polje v eni in drugi smeri. S tem pridobimo na enostavnosti elektronike, ki je potrebna za krmiljenje tega motorja. Pogosto v tem primeru uporabimo le nek mikrokrmilnik in en tranzistor (kot stikalo) za vsako navitje. Shemo tega koračnega motorja predstavlja spodnja slika 9.2 (“Unipolar Stepper Motor Vs Bipolar Stepper Motors”). Pogosto so povezave, ki so skupne tuljavam

na posameznih mestih združene v eno samo. Tako bi imel ta motor iz prejšnje slike na ohišju le 5 priključkov.

### Bipolarni koračni motor

Bipolarni koračni motorji imajo na enem mestu le eno navitje (tuljavo). Torej moramo tok krmiliti v obe strani, da lahko menjamo smer magnetnega polja. Kar pomeni, da mora krmilna elektronika to omogočati. Navadi to rešimo z integriranimi vezji - t.i. H-krmilji, en predstavnik teh je L293. Na ta način imamo v vseh korakih uporabljeni vsa navitja in tako imajo ti motorji večje navore pri isti velikosti od unipolarnih koračnih motorjev.



**Slika 9.2:** Različne izvedbe koračnih motorjev.

## 9.2 Načini krmiljenja koračnega motorja

Najbolj idealno bi bilo, da bi koračni motor krmili s sinusno napetostjo. Vendar je digitalno krmiljenje mnogo enostavnnejše realizirati, zato se ta motor skoraj praviloma krmili z digitalnimi pulzi. Da bi se približali najboljšemu delovanju, pa obstaja nekaj različnih načinov krmiljenja.

### Valovni način krmiljenja

Valovni način krmiljenja koračnega motorja je njenostavnejši. V pravilnih zaporedjih ustvarjamo magnetno polje v posameznih tuljavah tako, da je magnetno polje prisotno samo v eni tuljavi naenkrat. Rotor koračnega motorja pa sledi le-tem. Tako delovanje prikazuje slika 9.1 - levo.

### Polno-koračni način

Tak način krmiljenja je najbolj pogost način in tudi najbolj podoben valovnemu. Razlika je ta, da sedaj magnetno polje določata dve tuljavi naenkrat. Tudi število korakov ostaja enako. Pridobimo pa na tem,

da je magnetno polje skoraj še enkrat večje in s tem tudi večji navor na rotor motorja. Tako delovanje prikazuje slika 9.1 - desno.

### Pol-koračni način

Dosežemo z izmenično kombinacijo obeh prej naštetih načinov. Torej da med smeri magnetnega polja, ki jih povzroči ena sama tuljava dodamo še magnetno polje, ki ga ustvarita dve sosednji tuljavi. Tudi ta način ne zagotavlja polnega navora, vendar s tem pridobimo še enkrat več korakov kar pomeni, da motor lahko krmilimo bolj točno.

#### 9.2.1 NALOGA: DOLOČITEV VEZAVE STATORJA KORAČNEGA MOTORJA

Z uporabo Ohm-metra (merilnika upornosti) ugotovite, kateri konci žic navitja statorja motorja pripadajo istim tuljavam. Skicirajte shemo in jo primerno označite.

#### 9.2.2 NALOGA: KRMILJENJA KORAČNEGA MOTORJA

Povežite koračni motor na krmilnik in preskusite spodnji program. Po potrebi popravite vezavo motorja, saj ne morete vedeti za smer vezave tuljave v motorju.

```
1 int t = 10;
2 void setup() {
3     pinMode(7, OUTPUT);
4     pinMode(6, OUTPUT);
5     pinMode(5, OUTPUT);
6     pinMode(4, OUTPUT);
7 }
8 void loop() {
9     //step 1
10    PORTD=0b00010000;
11    delay(t);
12    //step 2
13    PORTD=0b00100000;
14    delay(t);
15    //step 3
16    PORTD=0b01000000;
17    delay(t);
18    //step 4
19    PORTD=0b10000000;
20    delay(t);
21 }
```

### 9.2.3 NALOGA: KRMILJENJE V POLNO- IN POL- KORAČNEM NAČINU

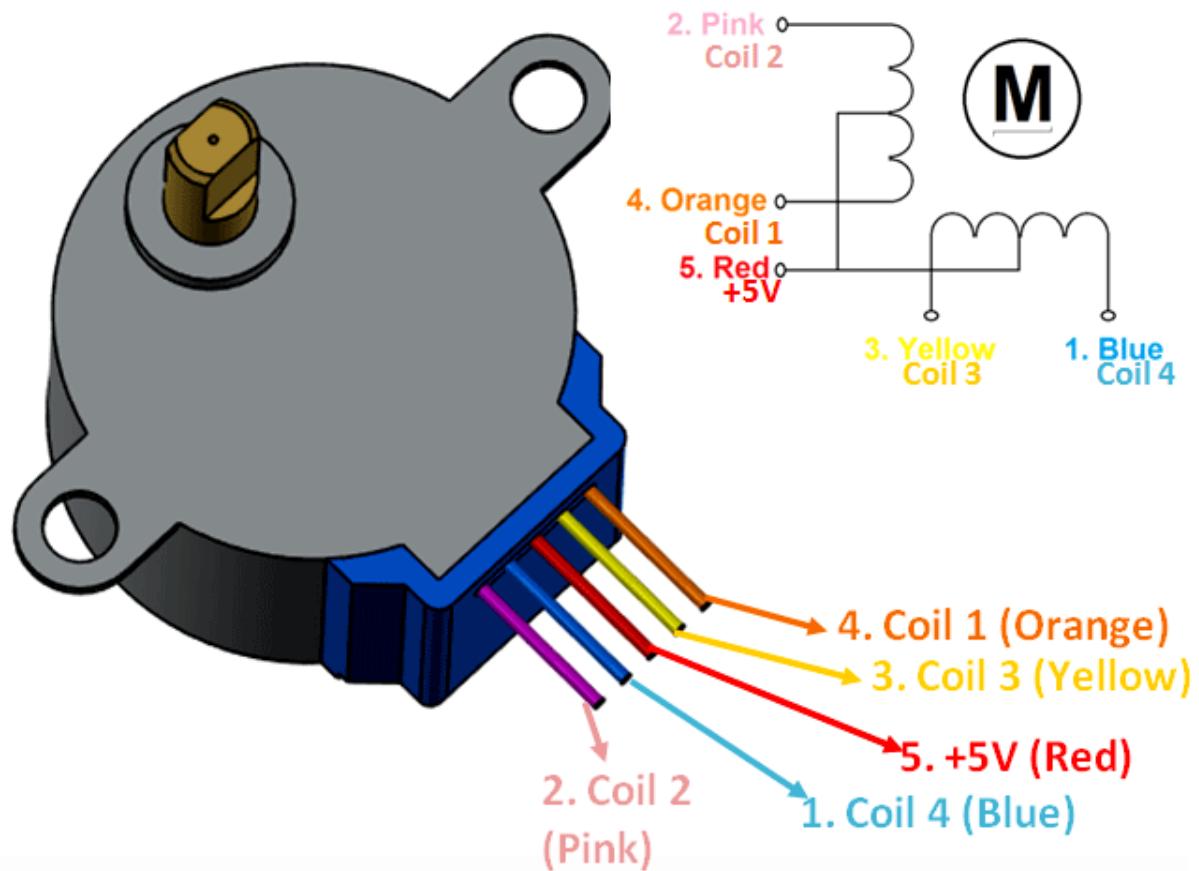
Nato program dopолните tako, da boste lahko motor krmilili v:

- **polno-koračnen** načinu in nato še v
- **pol-koračnen** načinu.

Priložite obe programske kodi.

## 9.3 Priloge

Vezava zelo popularnega koračnega motorja, ki ga najdete v kitajskih zbirkah je vidna na sl. 9.3



**Slika 9.3:** Vezava tuljav statorja v koračnem motorju 24BYJ

## 10 ENOSMERNI MOTOR

Navor enosmernega motorja je premo sorazmeren s tokom skozi navitje motorja in ga lahko predstavimo z en. 10.1:

$$M = k_T I, \quad (10.1)$$

kjer je  $M$  navor na gredi motorja,  $I$  tok skoz navitje motorja in  $k_T$  konstanta motorja, ki podaja razmerje med navorom in tokom. Prav tako je premo sorazmerna povezava med vrtilno hitrostjo gredi motorja in inducirano napetostjo, ki se pojavi na navitju. To razmerje podaja en. 10.2

$$\omega = \frac{U_i}{k_V}, \quad (10.2)$$

kjer je  $\omega$  vrtilna hitrost (v rad/s),  $U_i$  inducirana napetost in  $k_V$  ta konstanta. Izkaže se, da sta konstanti  $k_T$  in  $k_V$  identični, a jih proizvajalci pogosto podajajo ločeno zaradi namena in praktičnosti uporabe (Moog, n.d.).

V teoretičnih opisih delovanja enosmernega motorja pa sta ti dve konstanti predstavljeni z en. 10.3

$$k_T = k_V = k_M \Phi_m, \quad (10.3)$$

kjer je  $k_M$  - konstanta motorja,  $\Phi_m$  pa magnetni pretok skozi zanke navitja. Če poznamo konstanto  $k_T$  lahko izračunamo konstanto motorja  $k_M$  po en. 10.4

$$k_M = \frac{k_T}{\sqrt{R_n}}, \quad (10.4)$$

kjer je  $R_n$  omska upornost navitja.

### 10.1 KONSTANTA MOTORJA

### 10.1.1 NALOGA: KONSTANTA MOTORJA

Za več različnih DC motorjev izmerite potrebne meritve, da boste lahko določili konstanto motorja  $k_M$ . Potrebne meritve vpišite v tbl. 10.1 in jih označite z \* tako, da se bodo izmerjene vrednosti ločile od izračunanih. Račune tudi nakažite vsaj za en primer motorja.

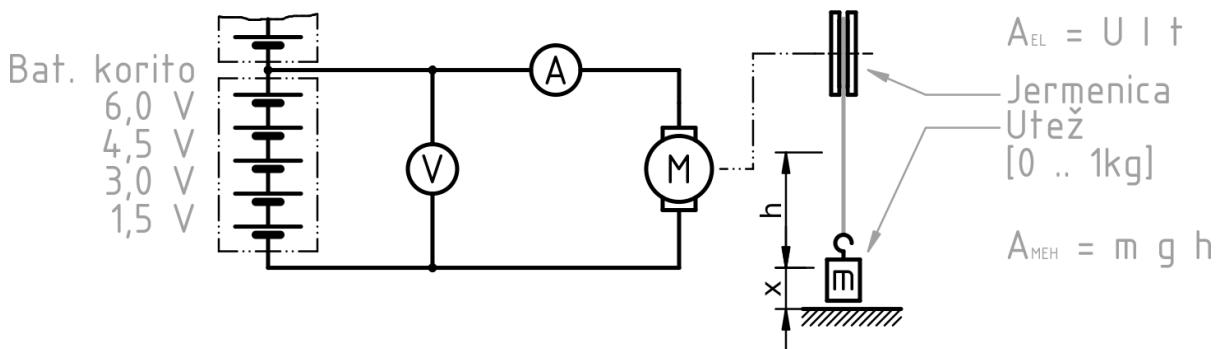
**Table 10.1:** Meritve osnovnih karakteristik motorja.

	DC Motor 1	DC Motor 2	DC Motor 3
opis motorja ->			
$R_n[\Omega]$			
$U_0[V]$			
$I_R[A]$			
$[vrt/min]$			
$\omega[rd/s]$			
$I_0[A]$			
$k_V[\frac{V}{rd/s}]$			
$k_T[\frac{Nm}{A}]$			
$M[Nm]$			
$k_M[Nm/sqrt{W}]$			
$P_M[W]$			
$P_E[W]$			
$\eta[\%]$			

Pri meritvah in izračunu naj vam bodo v pomoč enačbe v študijskem gradivu Elektrotehnika (Kocijančič 2018)

## 11 IZKORISTEK ENOSMERNEGA MOTORJA

Vaja je namenjena meritvam izkoristka enosmernega motorja, ki jo je možno izpeljati z učenci v osnovni šoli. Že s preprostim sklepom lahko ugotovimo, da moramo motor obremeniti ravno prav, da motor deluje z največjim izkoristkom ( $\eta$ ). Če motor ne obremenimo, ne opravlja mehanskega dela in je tako  $\eta = 0$ ; če ga obremenimo preveč in se ne more premakniti je prav tako  $\eta = 0 \dots$  nekje vmes pa je pravšnja delovna obremenitev motorja. To bomo preskusili s postavitvijo, ki jo prikazuje sl. 11.1.



**Slika 11.1:** Postavitev vaje za izkoristek enosmernega motorja.

### 11.1 Merjenje izkoristka enosmernega motorja z reduktorjem

Izkoristek motorja nam pove, kolikšen del električnega dela smo uspeli pretvoriti v mehansko delo, ki ga je motor opravil. Na primer pri dvigovanju uteži iz ene na drugo višino opravi delo:

$$A_{meh} = mgh \quad (11.1)$$

kjer je m – masa dvigovanega telesa, g - gravitacijski pospešek in h višinska razlika.

Pri meritvah bodite pozorni, da odčitujete vrednosti takrat, ko se utež dviga enakomerno. Kajti v začetku utež pospešuje, zato pričnite z odčitevanjem, ko je utež že kakih 10 cm od tal. Električno delo, ki smo ga dovedli motorju, pa lahko izračunamo:

$$A_{el} = UIt \quad (11.2)$$

kjer je  $U$  - napetost,  $I$  - tok skozi motor in  $t$  - čas, ki smo ga potrebovali za dvigvanje uteži. Torej izkoristek ni težko izračunati:

$$\eta = \frac{A_{meh}}{A_{el}} \quad (11.3)$$

### 11.1.1 Naloga: Izmerite izkoristek enosmernega motorja

Izmerite izkoristek enosmernega motorja. Pri različnih delovnih napetostih (3V, 4.5V, 6V in 7.5V) motor različno obremenite (tako da dvigujete različne uteži) in izmerite izkoristek. Za vsako od naštetih napetosti ... pri osmih različnih obremenitvah (obremenitev naj bo enakomerno razdeljena med najlažjo utež in utež, ki jo motor še komaj dvigne.). Pametno je izračunati prvi izkoristek za orientacijo, če je poskus pravilno nastavljen. Pričakovani izkoristek naj bi bil nekje okoli 20%.

n	$U[V]$	$I[mA]$	$t[s]$	$A_{el}[J]$	$m[kg]$	$h[m]$	$A_{meh}[J]$	$\eta[\%]$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

n	$U[V]$	$I[mA]$	$t[s]$	$A_{el}[J]$	$m[kg]$	$h[m]$	$A_{meh}[J]$	$\eta[\%]$
1								
2								

n	$U[V]$	$I[mA]$	$t[s]$	$A_{el}[J]$	$m[kg]$	$h[m]$	$A_{meh}[J]$	$\eta[\%]$
3								
4								
5								
6								
7								
8								

n	$U[V]$	$I[mA]$	$t[s]$	$A_{el}[J]$	$m[kg]$	$h[m]$	$A_{meh}[J]$	$\eta[\%]$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

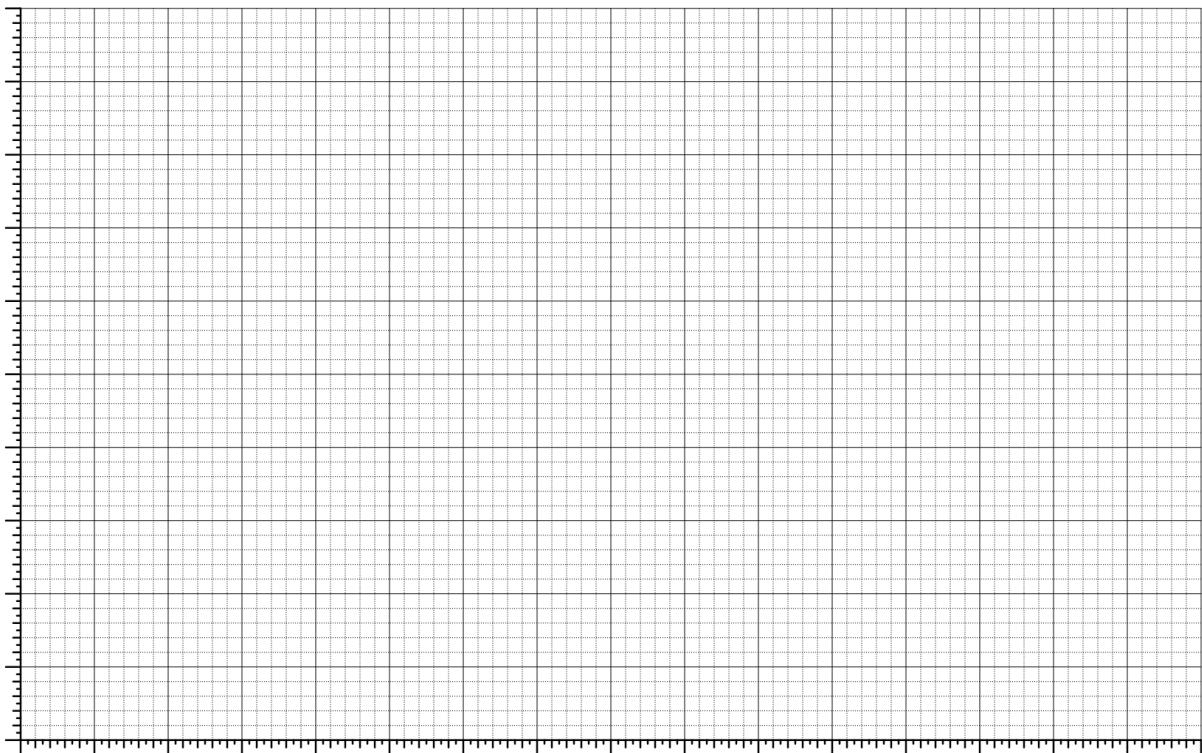
---

n	$U[V]$	$I[mA]$	$t[s]$	$A_{el}[J]$	$m[kg]$	$h[m]$	$A_{meh}[J]$	$\eta[\%]$
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

---

**11.1.2 Naloga: Grafični prikaz**

Vse 4 krivulje narišite v isti graf, ki prikazuje kako je izkoristek odvisen od obremenitve. Graf naj prikazuje izkoristek motorja v odvisnosti od navora.

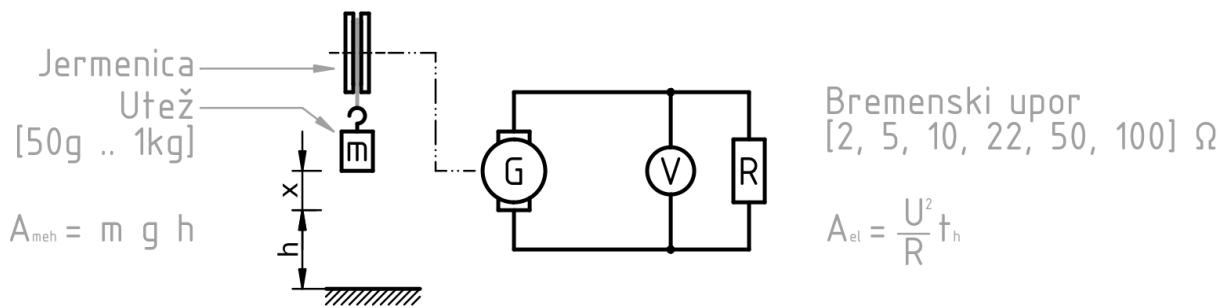


**Slika 11.2:** Graf izkoristka motorja v odvisnosti od navora



## 12 MERJENJE IZKORISTKA ENOSMERNEGA GENERATORJA

Če proces izvajamo v obratni smeri tako, da mi poganjmo enosmerni motor, ga izrabljamo kot generator električne energije in poganjamo tok skozi nek porabnik. Izkoristek generatorja nam pove, kolikšen del mehanskega dela smo pretvorili v električno delo, ki se bo trošila na uporu (na nekem porabniku). Slika sl. 12.1 prikazuje vezavno shemo, ki jo potrebujemo za ta poskus.



**Slika 12.1:** Simbolična shema vezave preskusa.

Generator pretvori mehansko delo v električno tako, da inducira napetost. Ta pa poganja tok skozi upor. Na ta način se električno delo na uporu troši v obliki toplote, zato se upor tudi malenkostno segreje. Električno delo lahko izračunamo enostavno preko napetosti:

$$A_{el} = \frac{U^2}{R} t_h \quad (12.1)$$

kjer je  $U$  - napetost,  $R$  - upornost upora in  $t$  - čas, ko je utež opravljala delo. Mehansko delo na generatorju bo opravljala utež in poganjala generator. Mehansko delo tako lahko izračunam:

$$A_{meh} = mgh \quad (12.2)$$

kjer je  $m$  - masa telesa,  $g$  - gravitacijski pospešek in  $h$  višinska razlika. Pri meritvah bodite pozorni, da odčitujete vrednosti takrat, ko se utež giblje enakomerno. Kajti v začetku utež pospešuje, zato pričnite z odčitevanjem, ko je utež že prepotovala kakih 10 cm.

Tako izkoristek ni težko izračunati, saj je to razmerje med vloženim delom in delom, ki se je potrošil na uporu:

$$\eta = \frac{A_{el}}{A_{meh}} \quad (12.3)$$

### 12.0.1 Naloga: Merjenje izkoristka enosmernega generatorja

Izmerite izkoristek enosmernega generatorja. Pri različnih bremenskih upornostih ( $2\Omega$ ,  $5\Omega$ ,  $10\Omega$ ,  $22\Omega$ ,  $50\Omega$  in  $100\Omega$ ) in pri različne navorih generatorja.

R=2

$\Omega$	$U[V]$	$t[s]$	$A_{el}[J]$	$m[kg]$	$h[m]$	$A_{meh}[J]$	$\eta[\%]$
1							
2							
3							
4							
5							
6							

R=5

$\Omega$	$U[V]$	$t[s]$	$A_{el}[J]$	$m[kg]$	$h[m]$	$A_{meh}[J]$	$\eta[\%]$
1							
2							
3							
4							
5							
6							

R=10

$\Omega$	$U[V]$	$t[s]$	$A_{el}[J]$	$m[kg]$	$h[m]$	$A_{meh}[J]$	$\eta[\%]$
1							
2							

---

R=10

$\Omega$	$U[V]$	$t[s]$	$A_{el}[J]$	$m[kg]$	$h[m]$	$A_{meh}[J]$	$\eta[\%]$
3							
4							
5							
6							

---

---

R=22

$\Omega$	$U[V]$	$t[s]$	$A_{el}[J]$	$m[kg]$	$h[m]$	$A_{meh}[J]$	$\eta[\%]$
1							
2							
3							
4							
5							
6							

---

R=50

$\Omega$	$U[V]$	$t[s]$	$A_{el}[J]$	$m[kg]$	$h[m]$	$A_{meh}[J]$	$\eta[\%]$
1							
2							
3							
4							
5							
6							

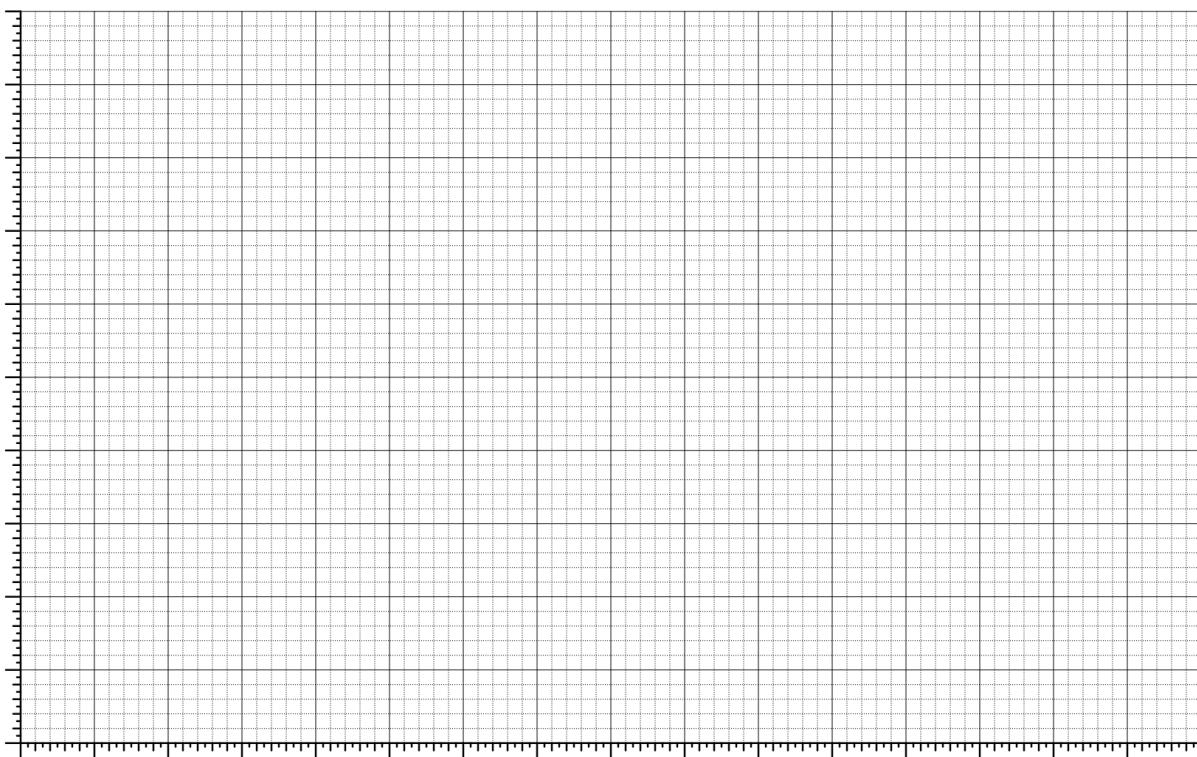
---

R=100

$\Omega$	$U[V]$	$t[s]$	$A_{el}[J]$	$m[kg]$	$h[m]$	$A_{meh}[J]$	$\eta[\%]$
1							
2							
3							
4							
5							
6							

---

V isti graf  $\eta(M)$  narišite 6 krivulj za vsako bremensko upornost svojo krivuljo.



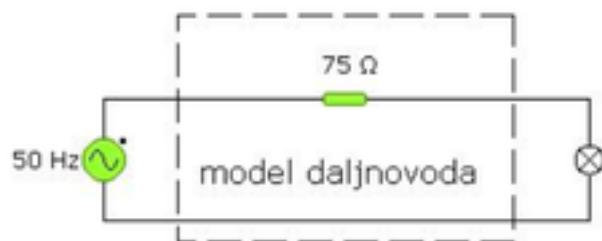
-

## 13 ELEKTRIČNI DALJNOVODI

Električno energijo najpogosteje prenašamo po električnih daljnovodih, saj je ta način razmeroma gospodarna rešitev. Električni tok teče od elektrarne do porabnika (in nazaj) po jeklenih žicah, ki so oblečene v aluminijast plašč (jeklo omogoča dobro nosilno obremenitev, aluminij pa poskrbi za manjši upor vodnika), premera okoli  $2\frac{1}{2}$  cm in z upornostjo manjšo od  $2 \Omega$  za vsak kilometer (Janez 2002). Nedvomno tudi tako majhna upornost vodnikov distributerju električne energije predstavlja neke izgube, ki jih že vrsto let zmanjšujejo. Ena najučinkovitejših izboljšav je uporaba transformatorja, s katerim lahko povečamo napetost in zmanjšamo tok v daljnovodih pri prenosu enake električne moči in s tem zagotovimo manjše izgube na vodnikih.

### 13.1 DALJNOVOD brez uporabe transformatorja

Sestavimo model daljnovoda v katerem bomo kilometre dolge žice ponazorili z uporom. Uporabili bomo izmenično napetost, ki jo dobite na ŠMI vmesnikih v konzoli. Nastavili jo bomo na 6 V. Nato pa priključili naš model daljnovoda in ga povezali z žarnico na drugi strani tako, kot prikazuje sl. 13.1.



**Slika 13.1:** Vezava shema modela daljnovoda brez uporabe transformatorja.

#### 13.1.1 NALOGA: IZKORISTEK DALJNOVODA.

Izračunajte izkoristek daljnovoda po enačbi en. 13.1. Izkoristke izračunajte za primere različno dolgih daljnovodov tako, da dolžino daljnovoda simulirate z različnimi upori daljnovodih žic  $R_D$ . Rezultate vpišite v tbl. 13.1 in izkoristek daljnovoda v odvisnosti od te upornosti (razdalje) vrišite

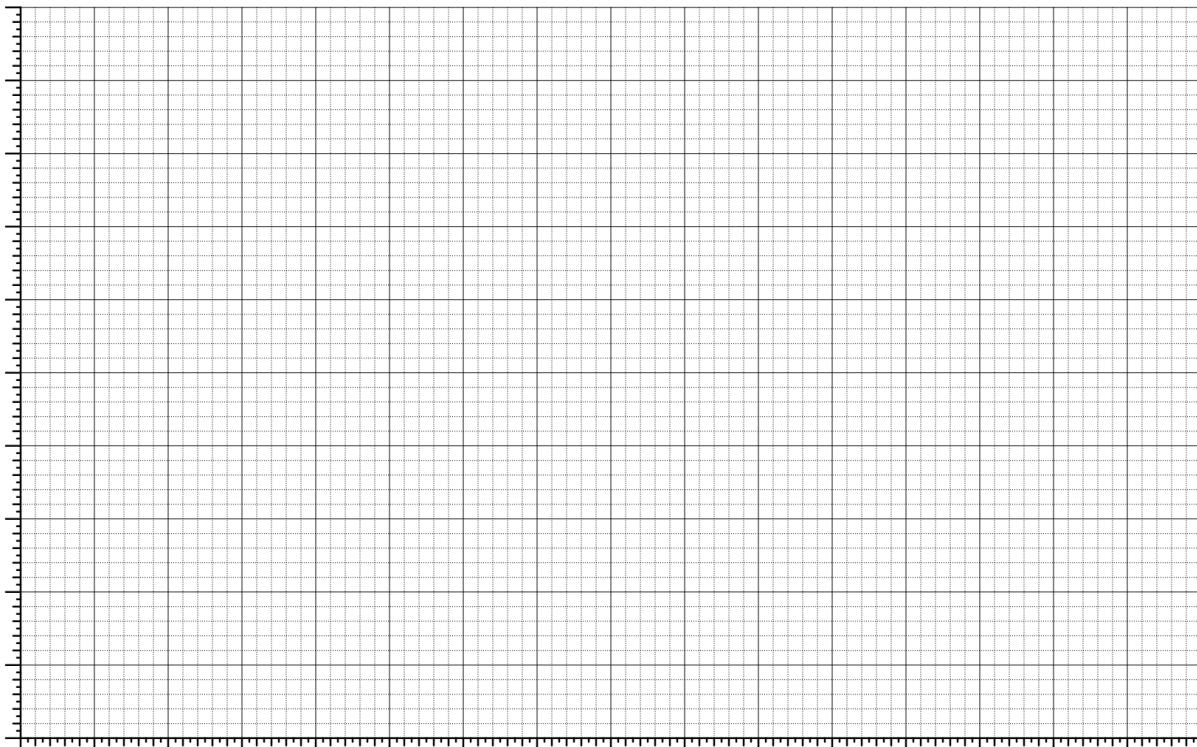
v sl. 13.2.

$$\mu = \frac{P_{BR}}{P_{BR} + P_{RD}} \quad (13.1)$$

Kjer je  $P_{BR}$  - moč, ki se troši na bremenu (na žarnici),  $P_{RD}$  - moč, ki se troši na samih žicah daljnovoda.

**Table 13.1:** Izkoristek daljnovoda brez uporabe transformatorja.

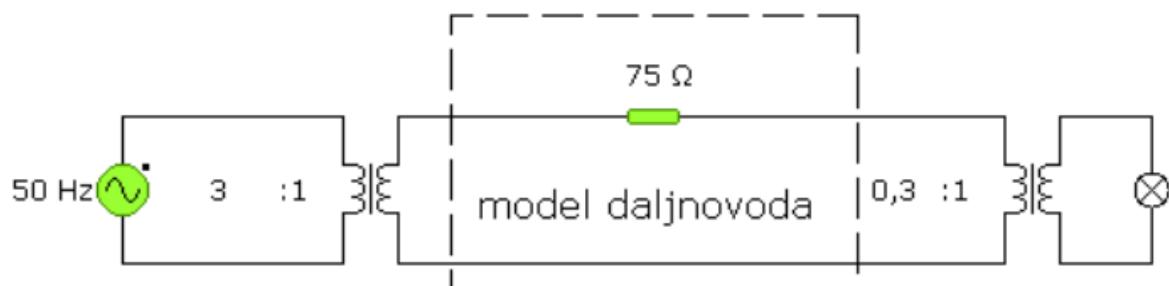
$R_D [\Omega]$	$U_{RD} [V]$	$I_{RD} [mA]$	$P_{RD} [W]$	$U_{RBR} [V]$	$I_{RBR} [mA]$	$P_{RBR} [W]$	$\mu [\%]$
2							
5							
10							
22							
50							
100							



**Slika 13.2:** Izkoristek daljnovoda v odvisnosti od upornosti dolnovodnih žic.

## 13.2 DALJNOVOD S TRANSFORMATORSKO POSTAO

Sestavite podobno vezje le, da dodate dve transformatorski postaji. Eno dodajte pred "daljnovod" in eno za njega. Nato na enak način izmerite moč, ki se troši na "žicah daljnovoda" in moč, ki jo uspemo dovesti do žarnice ali bremena. Bodite pozorni, da boste pravilno obrnili transformatorja (kot prikazuje sl. 13.3). V daljnovodu mora biti napetost višja, da dobimo pri istih močeh manjše tokove, kar izkorisčamo za manjše izgube v daljnovodih. Nato moramo zopet napetost zmanjšati nazaj na prejšnjo vrednost.



**Slika 13.3:** Model daljnovoda z uporabo transformatorja.

### 13.2.1 NALOGA: IZKORISTEK DALJNOVODA S TRANSFORMATORSKO POSTAO.

Izračunajte izkoristek daljnovoda po enačbi en. 13.1 (kot v prejšnji nalogi). Izkoristke izračunajte za primere različno dolgih daljnovodov tako, da dolžino daljnovoda simulirate z različnimi upori daljnovodih žic  $R_D$ . Rezultate vpišite v tbl. 13.2 in izkoristek daljnovoda v odvisnosti od te upornosti (razdalje) vrišite v istigraf na sl. 13.2, ter jih primerjajte.

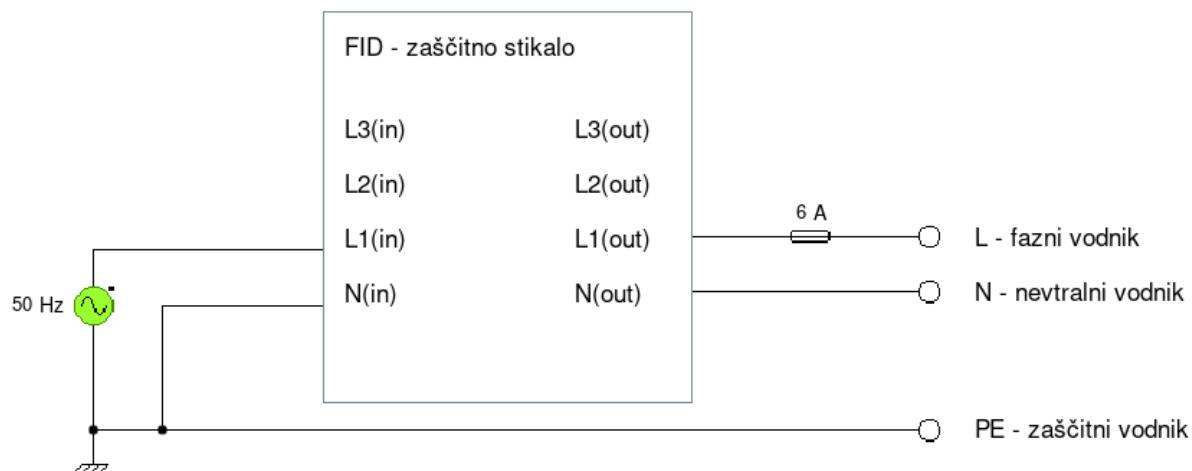
**Table 13.2:** Izkoristek daljnovoda z uporabo transformatorja.

$R_D [\Omega]$	$U_{RD} [V]$	$I_{RD} [mA]$	$P_{RD} [W]$	$U_{RB_R} [V]$	$I_{RB_R} [mA]$	$P_{RB_R} [W]$	$\mu [\%]$
2							
5							
10							
22							
50							

$R_D[\Omega]$	$U_{R_D}[V]$	$I_{R_D}[mA]$	$P_{R_D}[W]$	$U_{R_{BR}}[V]$	$I_{R_{BR}}[mA]$	$P_{R_{BR}}[W]$	$\mu[\%]$
100							

## 14 ELEKTRIČNA INŠTALACIJA

Na modelu za hišno napeljavo bomo izvedli nekaj primerov hišne napeljave. Predno se lotimo povezovanja različnih vezav si moramo pripraviti električno napajanje s katerim bomo simulirali fazni, ničelni in zaščitni vodnik. Napajalno napetost nam bo zagotavljal ŠMI od katerega bomo koristili 12 V izmenični vir napetosti. En priključek tega vira izberite za fazni (L) vodnik, drugega pa za nevtralnega (N). Na nevtralni vodnik priključite tudi zaščitni (PE) vodnik in šele nato povežite napetostne potenciale na FID varovalo in 6 A varovalko, kot kaže sl. 14.1.

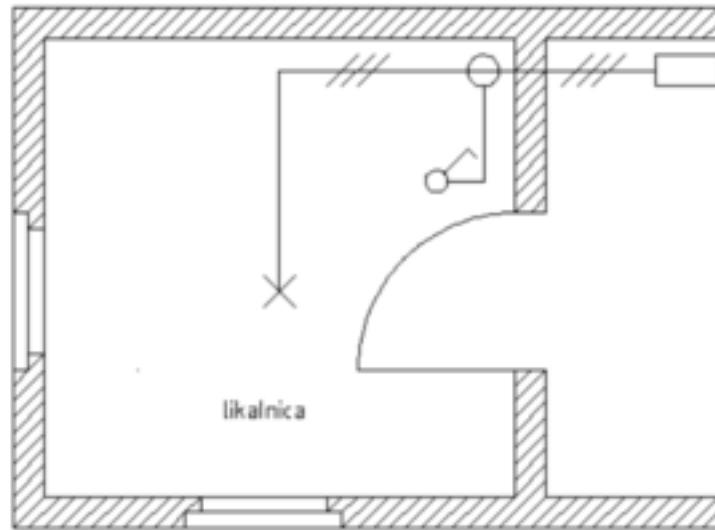


**Slika 14.1:** Razvod napetostnih potencialov.

### 14.1 VKLOP LUČI

#### 14.1.1 NALOGA: VKLOP LUČI IZ ENEGA MESTA

Zvezite navadno stikalo za vklop luči iz enega mesta po naslednji enopolni shemi na sl. 14.2 in dorišite elektrotehniško shemo.

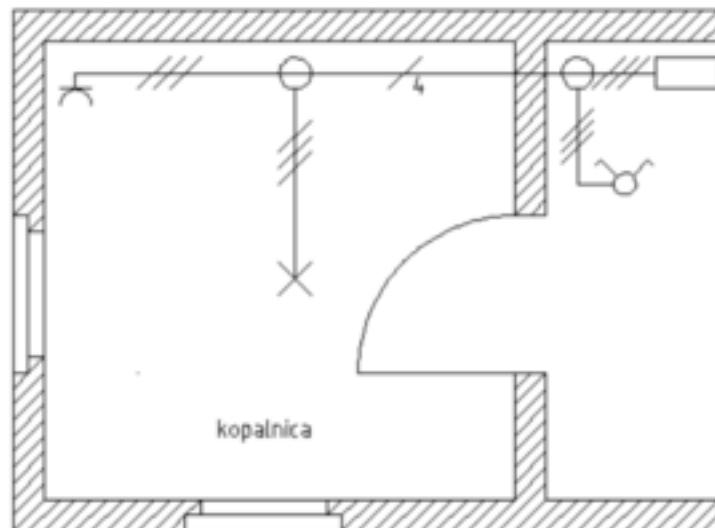


**Slika 14.2:** Enopolna shema vklopa luči iz enega mesta.

## 14.2 VEZAVA SERIJSKEGA STIKALA

### 14.2.1 NALOGA: SERIJSKO STIKALO

Povežite serijsko stikalo za vklop luči in vključitev fazne napetosti v vtičnici kopalnice, kot prikazuje sl. 14.3.

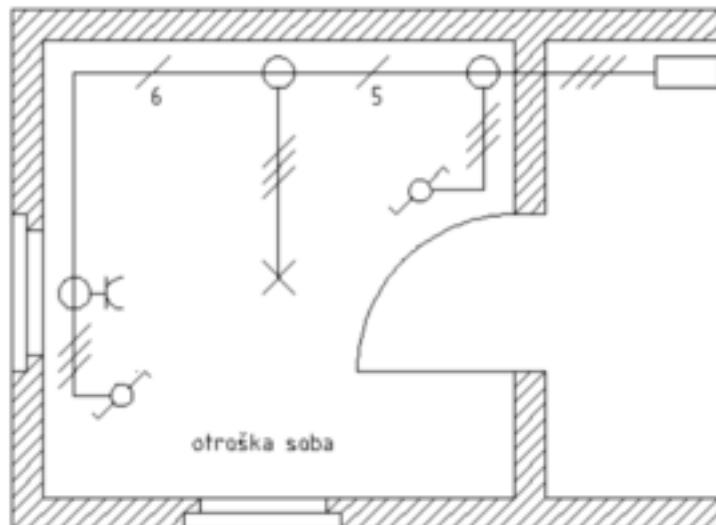


**Slika 14.3:** Enopolna shema električne napeljave v kopalnici

## 14.3 VKLOP LUČI IZ DVEH MEST

### 14.3.1 NALOGA: VKLOP LUČI IZ DVEH MEST

Povežite električno inštalacijo v otroški sobi, kot jo prikazuje enopolna shema na sl. 14.4. V tej sobi je mogoče vključiti luč iz dveh mest z dvema menjalnima stikaloma.

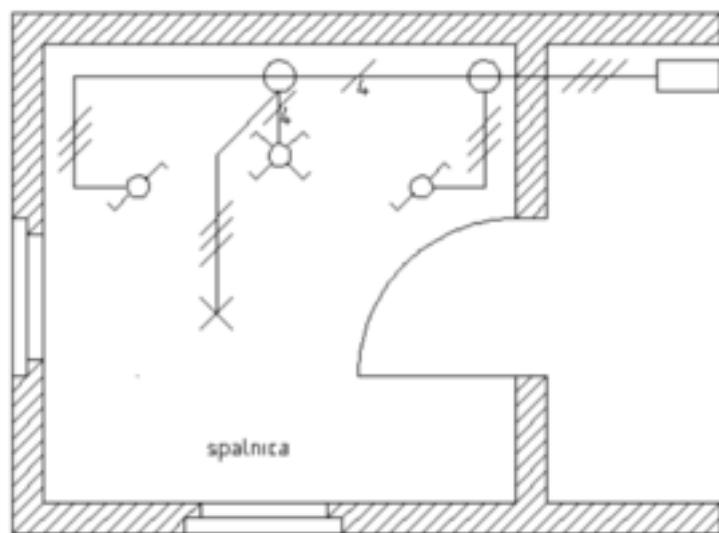


**Slika 14.4:** Enopolna shema električne vezave v otroški sobi.

## 14.4 VKLOP LUČI IZ TREH ALI VEČ MEST

### 14.4.1 NALOGA: VKLOP LUČI IZ TREH ALI VEČ MEST

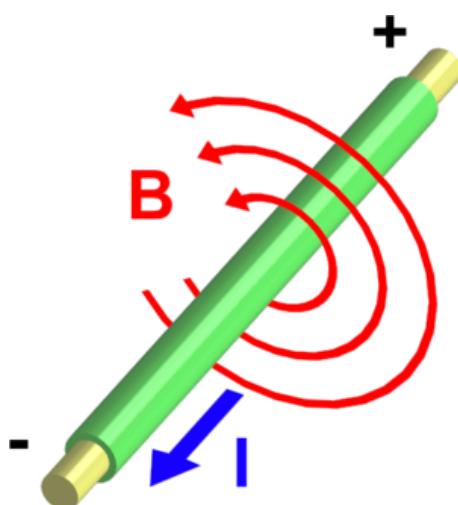
Povežite električno inštalacijo za primer spalnice, kjer je luč možno vključiti in izključiti iz treh mest kot prikazuje shema na sl. 14.5.



**Slika 14.5:** Enopolna shema električne vezave v spalnici.

## 15 MAGNETNI UČINEK ELEKTRIČNEGA TOKA

Najosnovnejša vrsta elektromagneta je navit kos žice. Tuljava (navitje) v obliki spirale, kjer se konca srečata, imenujemo toroid. Veliko močnejše magnetno polje nastane, če jedro iz paramagnetnega ali feromagnetnega materiala (navadno železa) vstavimo v tuljavo. Polje, ki ga ustvarja navitje, povzroči, da se jedro namagneti in ustvari lastno polje. To polje je lahko več sto ali tisočkrat močnejše od tistega, ki ga ustvarja navitje samo ([Wikipedija](#)).



**Slika 15.1:** Tok, ki teče skozi žico, ustvarja magnetno polje  $B$ .

Zelo pogosto ta pojav predstavimo učencem tako, da na kak žebelj ovijemo kos žice in ga priključimo na baterijo, kot prikazuje sl. 15.2

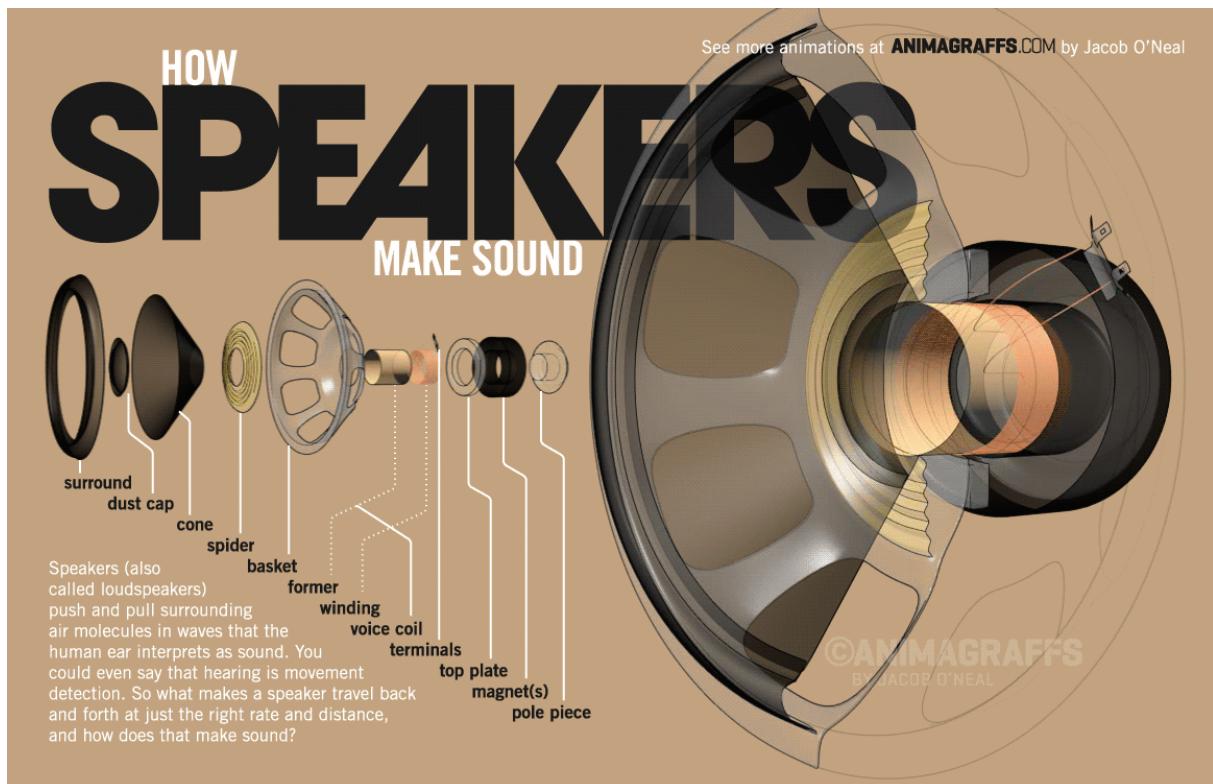


**Slika 15.2:** Izdelava preprostega elektromagneta.

... vendar pojdimo korak dlje.

## 15.1 ZVOČNIK

Sestava pravih zvočnikov je lahko nekoliko bolj zapletena in je prikazana na sl. 15.3.



**Slika 15.3:** Sestava zvočnika.

Vendar je zvočnik v osnovi sestavljen zelo podobno kot elektromagnet, le da se navitje lahko giblje. Na to navitje je pritrjena opna, ki to gibanje pretvarja v zvok in je tako tak "elektromagnet" bistveno bolj zanimiv za učence. Zato izdelajmo zvočnik.

Zvočnik lahko razdelimo na dva dela:

1. tuljava elektromagneta z magnetom in
2. opno zvočnika.

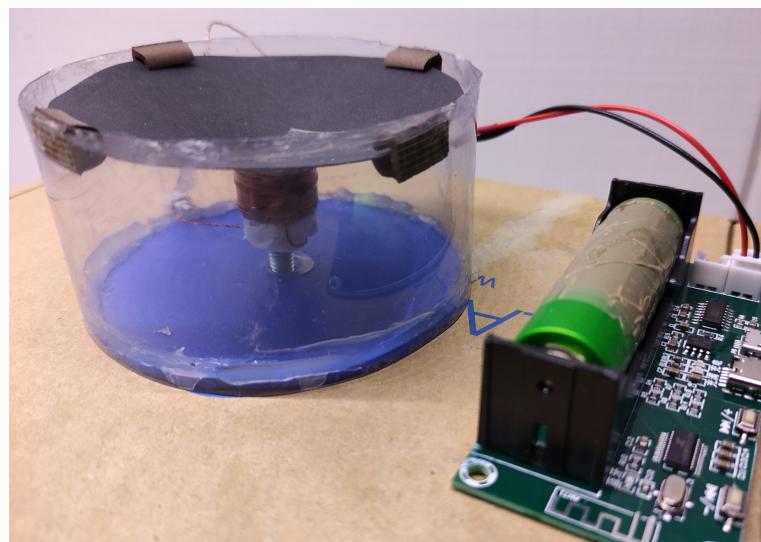
Tuljava se nahaja v magnetnem polju, ki ga ustvarja trajni magnet. Ko skozi tuljavo steče električni tok, se v tuljavi ustvari magnetno polje in se tako ustvari magnetna sila, ki tuljavo privlači v magnetno polje trajnega magneta. Ko pa skozi tuljavo steče električni tok v obratni smeri, pa se tuljava odmakne stran od magnetnega polja trajnega magneta.

Na tulec tuljave je pritrjena opna zvočnika, ki s premikanjem ustvarja tlačne razlike v zraku ter tako proizvaja zvok. Delovanje zvočnika je zelo nazorno prikazano na [How speakers make sound](#).

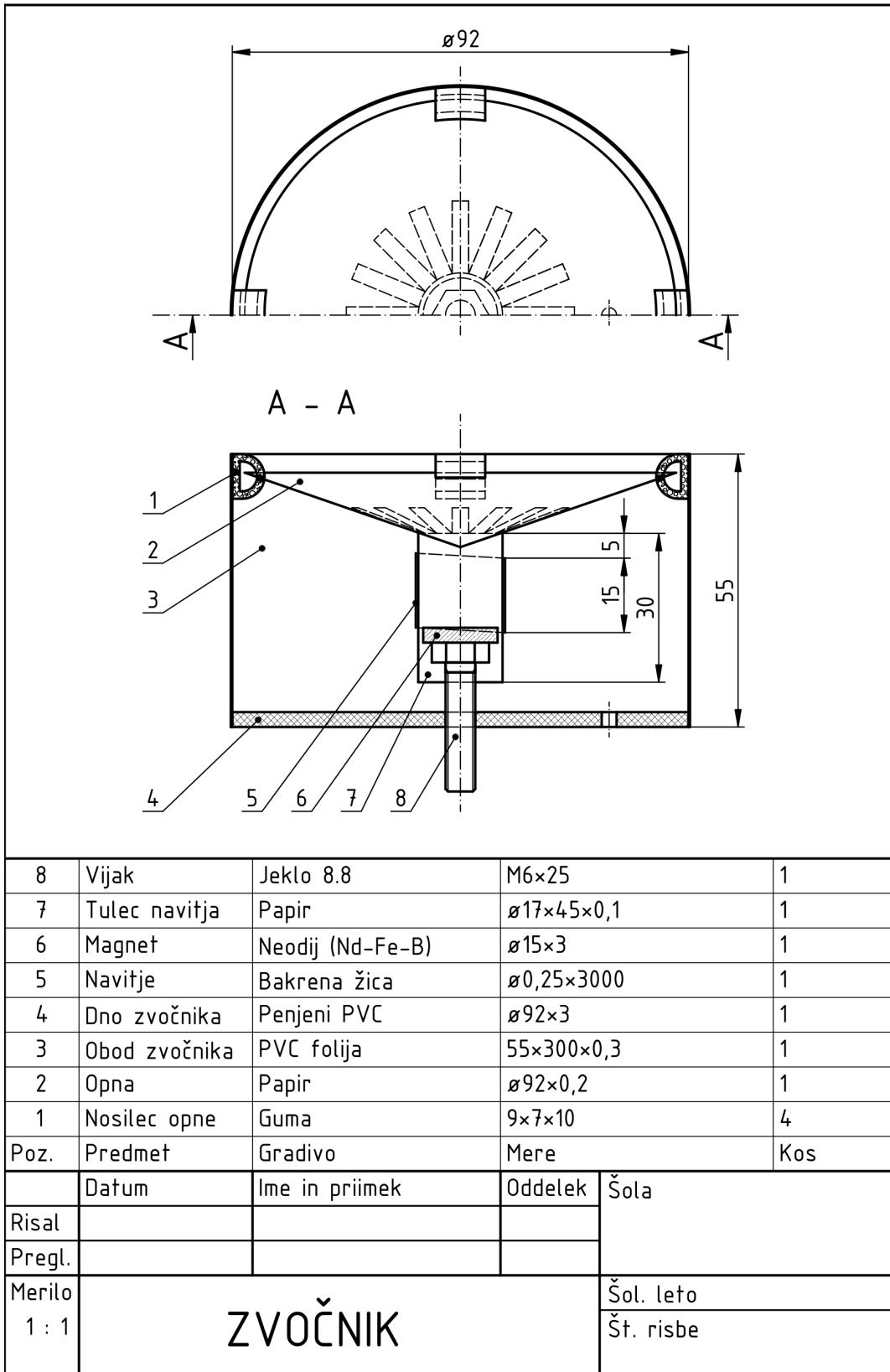
#### **15.1.1 NALOGA: Izdelava zvočnika**

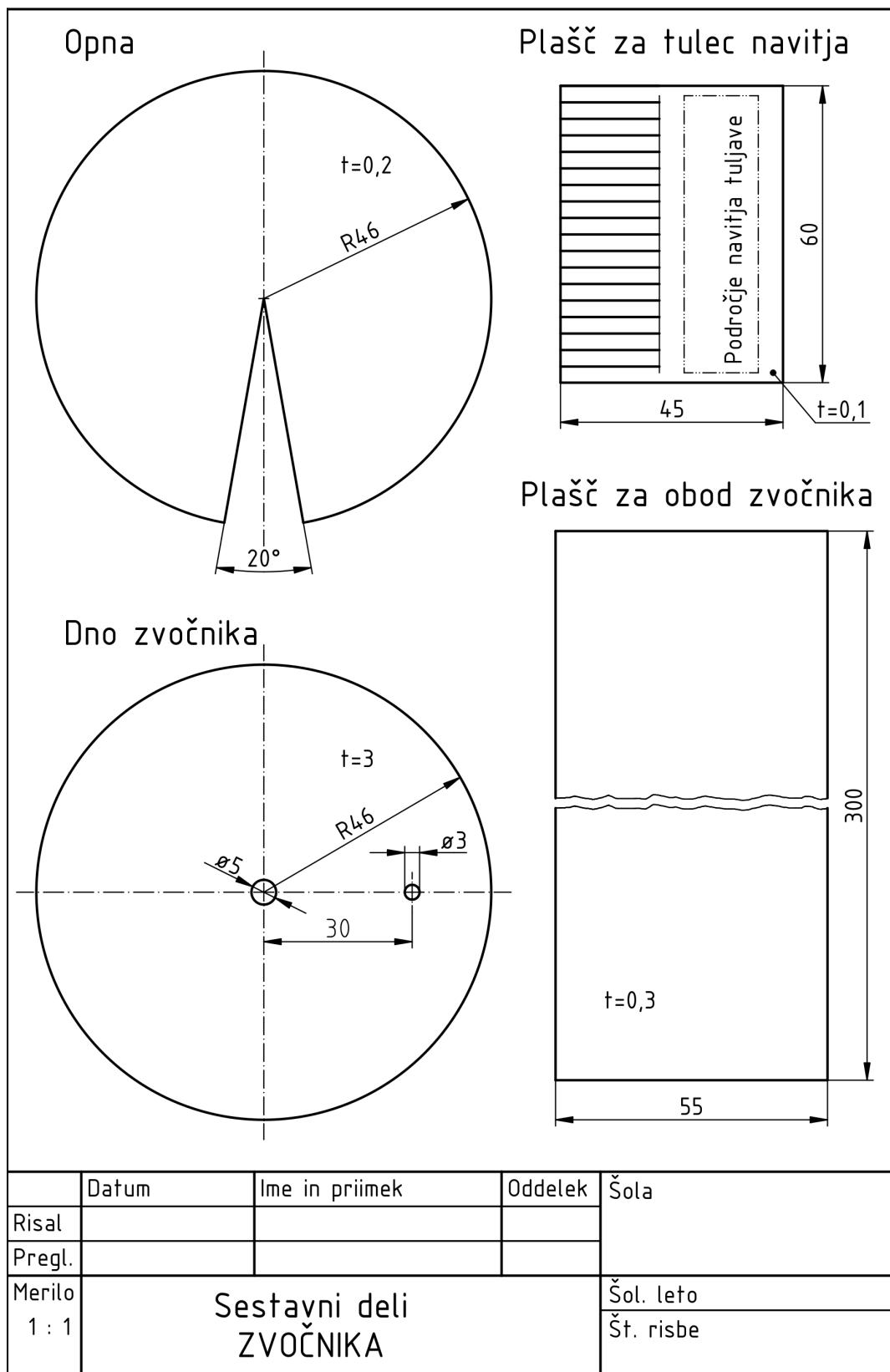
Po navodilih in načrtu izdelajte zvočnik, ter ga preskusite. V poročilo dodajte opis delovanja vašega zvočnika in vaše komentarje ter prilepite vašo fotografijo izdelanega zvočnika.

1. Najprej si naredite opno zvočnika tako, da naredite zelo top stožec iz pisarniškega papirja. Premer opne naj bo  $\Phi = 92mm$ .
2. Nato izdelajte tuljavo zvočnika. Na AA baterijo (ali drug valj) nalepite papirni trak širine  $A = 45mm$ . Tako boste dobili valj, na katerega boste navili tuljavo.
3. Med valj in baterijo vstavite papirni distančnik (manjši trak širine 0,5 cm) zato, da boste na koncu lažje odstranili papirnati valj s tuljavo iz baterije.
4. Nato na papirni valj navijte 3 - 4 m tanke bakrene žice. Žico navijte v spodnji 1 cm valja in mesto navitja na papirnem valju predhodno namažite z lepilom v stiku. Žico nepremično prilepite (dodatno z lepilnim trakom), odstranite distančnike in snemite tulec iz baterije.
5. Tuljavo zvočnika prilepite na opno tako, da na zgornji strani tulec razrežete na trakove široke  $D = 5mm$  in dolge  $L = 20mm$ . Te lističe namažete z lepilom in jih prilepite na opno zvočnika.
6. Žice tuljave povežite na glasbeni ojačevalnik in tuljavo postavite v magnetno polje.



**Slika 15.4:** Izdelan zvočnik.





- Arduino. "Arduino - Home." <https://www.arduino.cc/>.
- . "Arduino - Knob." <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Knob>.
- . "Arduino - Software." <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.
- Janez, Strnad. 2002. "Ptice Na Daljnovodu." Presek, zv. 28, št. 6.
- Kocijančič, Slavko. 2018. "Elektrotehnika."
- Moog, Inc. n.d. *Permanent Magnet DC Motors*.
- "Stepper Motors and Drives, What Is Full Step, Half Step and Microstepping?" <https://www.rs-online.com/designspark/stepper-motors-and-drives-what-is-full-step-half-step-and-microstepping>.
- "Unipolar Stepper Motor Vs Bipolar Stepper Motors." <https://www.circuitspecialists.com/blog/unipolar-stepper-motor-vs-bipolar-stepper-motors/>.

