

CORELA

# CORELA vaje

*Navodila za uporabo*





## Kazalo

<b>I. Uvod</b> .....	5
<b>II. Električne veličine v tokokrogu</b> .....	6
1. Teoretične naloge (vsi dijaki) .....	6
2. Izračun električnih veličin (dijak 1) .....	7
2.1 Upori v zaporednem električnem tokokrogu .....	7
2.2 Upori v vzporednem električnem tokokrogu .....	9
2.3 Upori v sestavljeni vezavi električnega tokokroga .....	11
2.4 Primerjava rezultatov .....	14
3. Simulacija z izobraževalno platformo CORELA (dijak 2) .....	14
3.1 Simulacija zaporednega električnega tokokroga .....	14
3.2 Simulacija vzporednega električnega tokokroga .....	20
3.3 Simulacija sestavljenega električnega tokokroga .....	21
3.4 Primerjava rezultatov .....	21
4. Meritev električnih količin (dijak 3) .....	21
4.1 Merjenje električne upornosti .....	21
4.2 Upori v zaporednem električnem tokokrogu .....	22
4.3 Upori v vzporednem električnem tokokrogu .....	24
4.4 Upori v sestavljeni vezavi električnega tokokroga .....	26
4.5 Primerjava rezultatov .....	28
<b>III. Merjenje impedance</b> .....	29
1. Uvod .....	29
2. Teoretični del naloge (vsi dijaki) .....	30
3. Računanje impedance (dijak 1) .....	31
3.1 Izračuni .....	31
3.2 Primerjava rezultatov .....	33
4. Določitev impedance s simulacijo (dijak 2) .....	33
4.1 Aktiviranje vaje .....	33
4.2 Izbira vrste električnega tokokroga in branje rezultatov .....	34
4.3 Beleženje podatkov in pošiljanje podatkov na izobraževalno platformo .....	36
5. Merjenje impedance (dijak 3) .....	36
5.1 Potek dela .....	37
5.2 Primerjava rezultatov .....	40
6. Zapis in pošiljanje podatkov na izobraževalno platformo .....	40



<b>IV. Statična <i>I-U</i> karakteristika usmerniške diode .....</b>	<b>46</b>
1. Uvod .....	46
2. Teoretični del naloge (vsi dijaki).....	47
3. Izračun vrednosti toka diode 1N4001 glede na napetost (dijak 1) .....	47
4. Simulacija merjenja statične karakteristike diode z uporabo funkcij, implementiranih v platformi CORELA (dijak 2) .....	50
5. Praktična izvedba in merjenje (dijak 3) .....	55
<b>V. Logične funkcije .....</b>	<b>61</b>
1. Teoretične naloge (vsi dijaki).....	61
1.1 Realizacija logične funkcije.....	61
1.2 Realizacija logične funkcije z NAND vrati .....	64
1.3 Poenostavitev logične funkcije z uporabo pravil Boolove algebre .....	65
1.4 Poenostavitev logične funkcije z uporabo Veitchevega diagrama .....	67
2. CORELA simulacijska izobraževalna platforma (dijak 2) .....	69
2.1 Realizacija logične funkcije.....	69
2.2 Realizacija logične funkcije z NAND vrati .....	72
2.3 Poenostavitev logične funkcije z uporabo pravil Boolove algebre .....	74
2.4 Poenostavitev logične funkcije z uporabo veitchevega diagrama .....	76
3. Laboratorijske prakse (dijak 3) .....	78
3.1 Realizacija logične funkcije.....	78
3.2 Realizacija logične funkcije z NAND vrati .....	83
3.3 Poenostavitev logične funkcije z uporabo pravil Boolove algebre .....	84
3.4 Poenostavitev logične funkcije z uporabo Veitchevega diagrama .....	86
<b>VI. Krmiljenje enosmernega motorja PWM .....</b>	<b>89</b>
1. Uvod .....	89
2. Krmiljenje PWM za enosmerni motor (dijak 1) .....	90
2.1 Vpis in pošiljanje podatkov na izobraževalno platformo .....	91
3. Simulacija krmiljenja PWM za enosmerni motor (dijak 2) .....	92
3.1 Primerjava rezultatov.....	94
4. Praktična izvedba in merjenje (dijak 3) .....	95
4.1 Primerjava rezultatov.....	97
5. Postopek pisanja in pošiljanja podatkov na izobraževalno platformo (Moodle) .....	97
<b>VII. Maksimalni prenos moči.....</b>	<b>101</b>
1. Uvod .....	101



---

2.	Izračun največjega prenosa moči (dijak 1) .....	102
2.1	Primerjava rezultatov.....	103
3.	Simulacija največjega prenosa moči (dijak 2) .....	103
3.1	Primerjava rezultatov.....	105
4.	Praktična izvedba meritve (dijak 3) .....	106
4.1	Primerjava rezultatov.....	108
5.	Postopek vpisa in pošiljanja podatkov na izobraževalno platformo (Moodle) .....	108



## I. Uvod

Razvita platforma je produkt projekta Erasmus + CORELA. Cilj projekta je razviti skupno platformo za tehnično poklicno izobraževanje in usposabljanje (PIU). Platforma CORELA ima podaljšek z integriranimi RVL in je posebej razvita za elektrotehniške visokošolske ustanove. Platforma ponuja sodelovanje z drugimi učenci ali skupinami v smislu izmenjave znanja, izkušenj ali primerjave dobljenih rezultatov iz različnih metodologij. Končne ali vmesne rezultate lahko dobite na platformi Massive Open Online Course (MOOC). Platforma MOOC lahko rezultate predstavi kot prosto nalogo vsem učencem kot nit foruma za nadaljnjo razpravo ali rezultate zasebnih / končnih nalog, ki jih ima na voljo samo učitelj.

Predstavljena platforma lahko deluje v treh različnih načinih. V prvem načinu platforma omogoča analitično računanje. Analitični izračun je usmerjen v teoretične naloge brez vključevanja resničnih parametrov in elementov. Drugi način predstavlja simulacijsko okolje. Simulacija vključuje preizkušanje različnih vrst realnih scenarijev, kot so odstopanje parametrov, neuskkljenost modela merilne negotovosti itd. Simulacija je vmesni korak med analitičnimi izračuni in dejanskimi poskusi z realnimi komponentami in merilnimi orodji. Tretji način delovanja platforme je sprotni eksperiment z meritvami in komponentami v realnem času. Glavna podprta naprava za pridobivanje je kartica DAQ. DAQ se lahko uporablja kot digitalni in analogni vhodno/izhodni vmesnik. Platforma ponuja različne povezave z različnimi merilnimi orodji. Platforma podpira tudi standardno serijsko komunikacijo, ki širi funkcionalnost na prilagojene poskuse in merilno opremo. Vse podatke v realnem času lahko shranite za kasnejšo analizo in pregled. Vsi trije načini delovanja platforme ponujajo povezavo s sistemom MOOC, kjer so lahko predstavljeni vsi podatki in parametri izračuna, simulacije ali poskusov v realnem času. Glede na vsebino in metodologijo poučevanja lahko predstavljene rezultate uporabimo za skupno učenje in interakcijo z različnimi skupinami študentov ali samo za avtomatizirane platforme za zbiranje podatkov za nadzor učiteljev.

V nadaljevanju podanega besedila je predstavljenih šest vaj z različnih področij elektrotehnike v treh načinih: analitični izračun, simulacija na platformi in eksperiment. V vsako vajo je vključen tudi postopek predstavitve rezultatov na platformi MOOC. Za boljši uvod v vse tri delovne načine so na koncu vsake vaje podane povezave do video materialov.



Spoštovani dijaki /študentje.

Pred začetkom praktičnega dela oziroma reševanja vaje pozorno preberite navodila. Upoštevajte pravila in nasvete glede zdravja in varstva pri delu.

## II. Električne veličine v tokokrogu

### 1. Teoretične naloge (vsi dijaki)

1.1) Določite vrednosti treh uporov glede na uporovno barvno kodo (Resistor Colour Code).

Upor 1 ( $R_1$ ): rjava, zelena, črna, rjava, rdeča

Upor 2 ( $R_2$ ): rjava, črna, črna, rjava, rdeča

Upor 3 ( $R_3$ ): zelena, črna, rjava, rdeča

upor	številске vrednosti (zapis) *	električna upornost $R$ [ $\Omega$ ]	absolutni pogrešek $p$ [ $\Omega$ ]	minimum $R_{\min}$ [ $\Omega$ ]	maksimum $R_{\max}$ [ $\Omega$ ]
$R_1$	1 5 0 x 10 $\Omega$ +/- 2 %	1500 $\Omega$	30 $\Omega$	1470 $\Omega$	1530 $\Omega$
$R_2$	1 0 0 x 10 $\Omega$ +/- 2 %	1000 $\Omega$	20 $\Omega$	980 $\Omega$	1020 $\Omega$
$R_3$	5 0 x 10 $\Omega$ +/- 2 %	500 $\Omega$	10 $\Omega$	490 $\Omega$	510 $\Omega$

Tabela 1: Vrednosti uporov

\*številске vrednosti:

cifra\_cifra\_cifra x dekada [ $\Omega$ ] +/- toleranca [%] ali cifra\_cifra x dekada [ $\Omega$ ] +/- toleranca [%]

1.2 Zapišite **Ohmov zakon** (definicijo) in napišite enačbo, ki matematično ponazarja Ohmov zakon.

$$U = R \cdot I \qquad I = \frac{U}{R} \qquad R = \frac{U}{I}$$

1.3) Opišite **lastnosti zaporednega električnega tokokroga**. Lastnosti ponazorite z enačbo.

1.4) Opišite **lastnosti vzporednega električnega tokokroga**. Lastnosti ponazorite z enačbo.

1.5) Kaj je **napetostna zanka**? Opišite in z enačbo ponazorite **zakon napetostne zanke**.

1.6) Kaj je **tokovno vozlišče**? Opišite in z enačbo ponazorite **zakon tokovnega vozlišča**.

1.7) Kako se meri električna napetost?

a) Navedite merilni inštrument.

b) Opišite vstavev merilnega inštrumenta v vezje oz. k merjenemu elementu.

c) Narišite shemo (vezavo) merjenja električne napetosti



1.8) Kako se meri električni tok?

- Navedite merilni inštrument.
- Opišite vstavitve merilnega inštrumenta v vezje oz. k merjenemu elementu.
- Narišite shemo (vezavo) merjenja električnega toka.

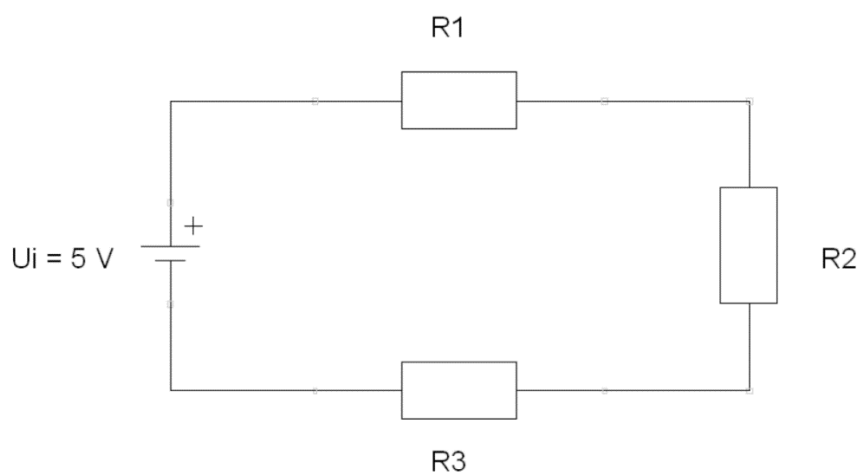
1.9) Kako se meri električna upornost?

- Navedite merilni inštrument.
- Opišite vstavitve merilnega inštrumenta v vezje oz. k merjenemu elementu.
- Narišite shemo (vezavo) merjenja električne upornosti.

## 2. Izračun električnih veličin (dijak 1)

### 2.1 Upori v zaporednem električnem tokokrogu

2.1.1) Trije upori so vezani zaporedno in priključeni na vir enosmerne električne napetosti. Shemo zaporednega električnega tokokroga prikazuje slika 2.1.



Slika 2.1: Upori v zaporednem električnem tokokrogu.

2.1.2) Izračunajte nadomestno upornost  $R_N$ , minimalno nadomestno upornost  $R_{Nmin}$  in maksimalno nadomestno upornost  $R_{Nmax}$  zaporednega tokokroga glede na vrednosti uporov določene z uporovno barvno kodo.

a) Nadomestna upornost  $R_N$ :

$$R_N = R_1 + R_2 + R_3 = 1500 \, \Omega + 1000 \, \Omega + 500 \, \Omega = 3000 \, \Omega$$

b) Minimalna nadomestna upornost  $R_{Nmin}$ :

$$R_{Nmin} = R_{1min} + R_{2min} + R_{3min} = 1470 \, \Omega + 980 \, \Omega + 490 \, \Omega = 2940 \, \Omega$$

c) Maksimalna nadomestna upornost  $R_{Nmax}$ :



$$R_{N\max} = R_{1\max} + R_{2\max} + R_{3\max} = 1530 \Omega + 1020 \Omega + 510 \Omega = 3060 \Omega$$

2.1.3) Enosmerna napajalna napetost oz. napetost izvora  $U_i$  je 5 V DC. Izračunajte napajalni tok oz. tok izvora  $I_i$ .

$$U_i = 5 \text{ V DC}$$

$$I_i = \frac{U_i}{R_N} = \frac{5 \text{ V}}{3000 \Omega} = 0,00167 \text{ A} = 1,67 \text{ mA}$$

2.1.4) Izračunajte vrednosti električnih veličin v električnem tokokrogu. Izpolnite tabelo 2.1; zapišite izračunane vrednosti za vsak upor.

*Pompa: Pri računanju električnih količin zapišite ustrezne enačbe oz. formule.*

element	električni tok $I$ [mA]	električna napetost $U$ [V]	električna upornost $R_m$ [ $\Omega$ ] *
Upor 1			
Upor 2			
Upor 3			

Tabela 2.1: Izračunane vrednosti električnih veličin v zaporednem električnem tokokrogu.

\* Kopirajte določene vrednosti iz Tabele 1.

$$I_1 = I_i = 0,00167 \text{ A} \rightarrow U_1 = R_1 \cdot I_1 = 1500 \Omega \cdot 0,00167 \text{ A} = 2,5 \text{ V}$$

$$I_2 = I_i = 0,00167 \text{ A} \rightarrow U_2 = R_2 \cdot I_2 = 1000 \Omega \cdot 0,00167 \text{ A} = 1,67 \text{ V}$$

$$I_3 = I_i = 0,00167 \text{ A} \rightarrow U_3 = R_3 \cdot I_3 = 500 \Omega \cdot 0,00167 \text{ A} = 0,835 \text{ V}$$

2.1.5) Izračunajte vsoto padcev napetosti na uporih. Primerjajte izračunano vsoto z vrednostjo napajalne napetosti oz. napetosti izvora  $U_i$ .

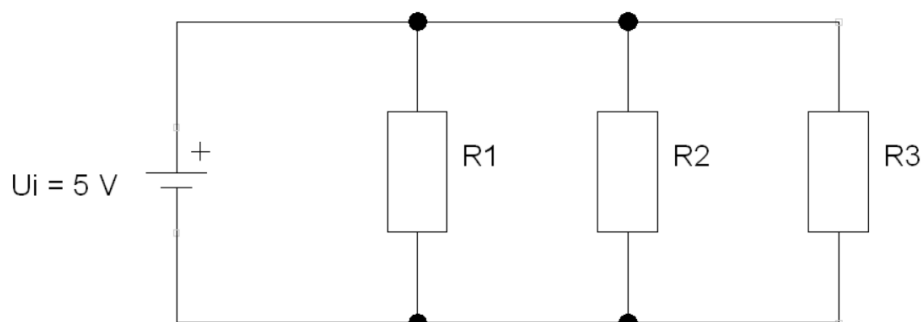
$$U_1 + U_2 + U_3 = 2,5 \text{ V} + 1,67 \text{ V} + 0,835 \text{ V} = 5 \text{ V} = U_i$$





## 2.2 Upori v vzporednem električnem tokokrogu

2.2.1) Trije upori so vezani vzporedno in priključeni na vir enosmerne električne napetosti. Shemo vzporednega električnega tokokroga prikazuje slika 2.2.



Slika 2.2: Upori v vzporednem električnem tokokrogu.

2.2.2) Izračunajte nadomestno upornost  $R_N$ , minimalno nadomestno upornost  $R_{Nmin}$  in maksimalno nadomestno upornost  $R_{Nmax}$  vzporednega tokokroga glede na vrednosti uporov določene z uporovno barvno kodo.

a) Nadomestna upornost  $R_N$ :

$$G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{1500 \Omega} = 0,00066667 \text{ S}$$

$$G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{1000 \Omega} = 0,001 \text{ S}$$

$$G_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{500 \Omega} = 0,002 \text{ S}$$

$$G_N = G_1 + G_2 + G_3 = 0,00066667 \text{ S} + 0,001 \text{ S} + 0,002 \text{ S} = 0,00366667 \text{ S}$$

$$R_N = \frac{1}{G_N} = \frac{1}{0,00366667 \text{ S}} = 272,73 \Omega = 273 \Omega$$

Izračun s formulo za nadomestno upornost:

$$R_N = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} =$$

$$R_N = \frac{1500 \Omega \cdot 1000 \Omega \cdot 500 \Omega}{1500 \Omega \cdot 1000 \Omega + 1500 \Omega \cdot 500 \Omega + 1000 \Omega \cdot 500 \Omega} =$$

$$R_N = \frac{750\,000\,000 \Omega^3}{1\,500\,000 \Omega^2 + 750\,000 \Omega^2 + 500\,000 \Omega^2} = \frac{750\,000\,000 \Omega^3}{2\,750\,000 \Omega^2} = 272,73 \Omega = 273 \Omega$$

b) Minimalna nadomestna upornost  $R_{Nmin}$ :

$$G_{1min} = \frac{1}{R_{1min}} = \frac{1}{1470 \Omega} = 0,00068027 \text{ S}$$



CORELA

$$G_{2\min} = \frac{1}{R_{2\min}} = \frac{1}{980 \Omega} = 0,00102041 \text{ S}$$

$$G_{3\min} = \frac{1}{R_{3\min}} = \frac{1}{490 \Omega} = 0,00204082 \text{ S}$$

$$G_{N\min} = G_{1\min} + G_{2\min} + G_{3\min} =$$

$$G_{N\min} = 0,00068027 \text{ S} + 0,00102041 \text{ S} + 0,00204082 \text{ S} = 0,0037415 \text{ S}$$

$$R_{N\min} = \frac{1}{G_{N\min}} = \frac{1}{0,0037415 \text{ S}} = 267,27 \Omega = 267 \Omega$$

Izračun s formulo za nadomestno upornost:

$$R_{N\min} = \frac{R_{1\min} \cdot R_{2\min} \cdot R_{3\min}}{R_{1\min} \cdot R_{2\min} + R_{1\min} \cdot R_{3\min} + R_{2\min} \cdot R_{3\min}} =$$

$$R_{N\min} = \frac{1470 \Omega \cdot 980 \Omega \cdot 490 \Omega}{1470 \Omega \cdot 980 \Omega + 1470 \Omega \cdot 490 \Omega + 980 \Omega \cdot 490 \Omega} =$$

$$R_{N\min} = \frac{705\,894\,000 \Omega^3}{1\,440\,600 \Omega^2 + 720\,300 \Omega^2 + 480\,200 \Omega^2} = \frac{705\,894\,000 \Omega^3}{2\,641\,100 \Omega^2} = 267,27 \Omega = 267 \Omega$$

c) Maksimalna nadomestna upornost  $R_{N\max}$ :

$$G_{1\max} = \frac{1}{R_{1\max}} = \frac{1}{1530 \Omega} = 0,00065359 \text{ S}$$

$$G_{2\max} = \frac{1}{R_{2\max}} = \frac{1}{1020 \Omega} = 0,00098039 \text{ S}$$

$$G_{3\max} = \frac{1}{R_{3\max}} = \frac{1}{510 \Omega} = 0,00196078 \text{ S}$$

$$G_{N\max} = G_{1\max} + G_{2\max} + G_{3\max} =$$

$$G_{N\max} = 0,00065359 \text{ S} + 0,00098039 \text{ S} + 0,00196078 \text{ S} = 0,00359476 \text{ S}$$

$$R_{N\max} = \frac{1}{G_{N\max}} = \frac{1}{0,00359476 \text{ S}} = 278,18 \Omega = 278 \Omega$$

Izračun s formulo za nadomestno upornost:

$$R_{N\max} = \frac{R_{1\max} \cdot R_{2\max} \cdot R_{3\max}}{R_{1\max} \cdot R_{2\max} + R_{1\max} \cdot R_{3\max} + R_{2\max} \cdot R_{3\max}} =$$

$$R_{N\max} = \frac{1530 \Omega \cdot 1020 \Omega \cdot 510 \Omega}{1530 \Omega \cdot 1020 \Omega + 1530 \Omega \cdot 510 \Omega + 1020 \Omega \cdot 510 \Omega} =$$

$$R_{N\max} = \frac{795\,906\,000 \Omega^3}{1\,560\,600 \Omega^2 + 780\,300 \Omega^2 + 520\,200 \Omega^2} = \frac{795\,906\,000 \Omega^3}{2\,861\,100 \Omega^2} = 278,18 \Omega = 278 \Omega$$

2.2.3) Enosmerna napajalna napetost oz. napetost izvora  $U_i$  je 5 V DC. Izračunajte napajalni tok oz. tok izvora  $I_i$ .

$$U_i = 5 \text{ V DC}$$



$$I_i = \frac{U_i}{R_N} = \frac{5 \text{ V}}{273 \Omega} = 0,018 \text{ A} = 18 \text{ mA}$$

2.2.4) Izračunajte vrednosti električnih veličin v električnem tokokrogu. Izpolnite tabelo 2.2; zapišite izračunane vrednosti za vsak upor.

*Opomba: Pri računanju električnih količin zapišite ustrezne enačbe oz. formule.*

element	električni tok $I$ [mA]	električna napetost $U$ [V]	električna upornost $R_m$ [ $\Omega$ ] *
Upor 1			
Upor 2			
Upor 3			

Tabela 3.2: Izračunane vrednosti električnih veličin v vzporednem električnem tokokrogu.

\* Kopirajte določene vrednosti iz Tabele 1

$$U_1 = U_i = 5 \text{ V} \rightarrow I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{5 \text{ V}}{1500 \Omega} = 0,0033 \text{ A} = 3,3 \text{ mA}$$

$$U_2 = U_i = 5 \text{ V} \rightarrow I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{5 \text{ V}}{1000 \Omega} = 0,005 \text{ A} = 5 \text{ mA}$$

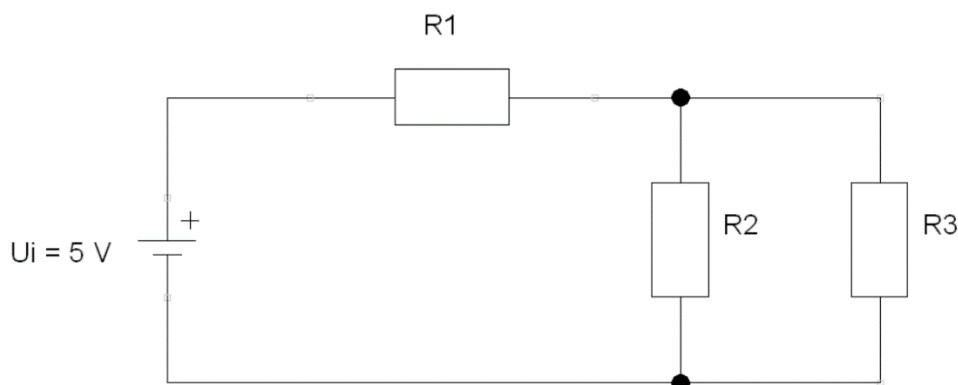
$$U_3 = U_i = 5 \text{ V} \rightarrow I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{5 \text{ V}}{500 \Omega} = 0,01 \text{ A} = 10 \text{ mA}$$

2.2.5) Izračunajte vsoto tokov skozi upore. Primerjajte izračunano vsoto z vrednostjo napajalnega toka oz. toka izvora  $I_i$ .

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0,0033 \text{ A} + 0,005 \text{ A} + 0,01 \text{ A} = 0,0183 \text{ A} \cong 0,018 \text{ A} = I_i$$

## 2.3 Upori v sestavljeni vezavi električnega tokokroga

2.3.1) Trije upori so vezani v sestavljeno vezavo in priključeni na vir enosmerne električne napetosti. Shemo sestavljenega električnega tokokroga prikazuje slika 2.3.



Slika 2.3: Sestavljena vezava uporov v električnem tokokrogu.



2.3.2) Izračunajte nadomestno upornost  $R_N$ , minimalno nadomestno upornost  $R_{Nmin}$  in maksimalno nadomestno upornost  $R_{Nmax}$  sestavljenega tokokroga glede na vrednosti uporov določene z uporovno barvno kodo.

a) Nadomestna upornost  $R_N$ :

$$G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{1000 \Omega} = 0,001 \text{ S}$$

$$G_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{500 \Omega} = 0,002 \text{ S}$$

$$G_{23} = G_2 + G_3 = 0,001 \text{ S} + 0,002 \text{ S} = 0,003 \text{ S}$$

$$R_{23} = \frac{1}{G_{23}} = \frac{1}{0,003 \text{ S}} = 333,33 \Omega = 333 \Omega$$

$$R_N = R_1 + R_{23} = 1500 \Omega + 333,33 \Omega = 1833,33 \Omega = 1833 \Omega$$

Izračun s formulo za nadomestno upornost:

$$\begin{aligned} R_N &= R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = 1500 \Omega + \frac{1000 \Omega \cdot 500 \Omega}{1000 \Omega + 500 \Omega} = 330 \Omega + \frac{500\,000 \Omega^2}{1\,500 \Omega} \\ &= 1500 \Omega + 333,33 \Omega = 1833,33 \Omega = 1833 \Omega \end{aligned}$$

b) Minimalna nadomestna upornost  $R_{Nmin}$ :

$$G_{2min} = \frac{1}{R_{2min}} = \frac{1}{980 \Omega} = 0,00102041 \text{ S}$$

$$G_{3min} = \frac{1}{R_{3min}} = \frac{1}{490 \Omega} = 0,00204082 \text{ S}$$

$$G_{23min} = G_{2min} + G_{3min} = 0,00102041 \text{ S} + 0,00204082 \text{ S} = 0,00306123 \text{ S}$$

$$R_{23min} = \frac{1}{G_{23min}} = \frac{1}{0,00306123 \text{ S}} = 326,66 \Omega = 327 \Omega$$

$$R_{Nmin} = R_{1min} + R_{23min} = 1470 \Omega + 326,66 \Omega = 1796,66 \Omega = 1797 \Omega$$

Izračun s formulo za nadomestno upornost:

$$\begin{aligned} R_{Nmin} &= R_{1min} + \frac{R_{2min} \cdot R_{3min}}{R_{2min} + R_{3min}} = 1470 \Omega + \frac{980 \Omega \cdot 490 \Omega}{980 \Omega + 490 \Omega} = 1470 \Omega + \frac{480\,200 \Omega^2}{1\,470 \Omega} \\ &= 1470 \Omega + 326,67 \Omega = 1796,67 \Omega = 1797 \Omega \end{aligned}$$

c) Maksimalna nadomestna upornost  $R_{Nmax}$ :

$$G_{2max} = \frac{1}{R_{2max}} = \frac{1}{1020 \Omega} = 0,00098039 \text{ S}$$

$$G_{3max} = \frac{1}{R_{3max}} = \frac{1}{510 \Omega} = 0,00196078 \text{ S}$$

$$G_{23max} = G_{2max} + G_{3max} = 0,00098039 \text{ S} + 0,00196078 \text{ S} = 0,00294117 \text{ S}$$



$$R_{23\max} = \frac{1}{G_{23\max}} = \frac{1}{0,00294117 \text{ S}} = 340,00 \Omega = 340 \Omega$$

$$R_{N\max} = R_{1\max} + R_{23\max} = 1530 \Omega + 340 \Omega = 1870 \Omega$$

Izračun s formulo za nadomestno upornost:

$$\begin{aligned} R_{N\max} &= R_{1\max} + \frac{R_{2\max} \cdot R_{3\max}}{R_{2\max} + R_{3\max}} = 1530 \Omega + \frac{1020 \Omega \cdot 510 \Omega}{1020 \Omega + 510 \Omega} = 1530 \Omega + \frac{520\,200 \Omega^2}{1\,530 \Omega} \\ &= 1530 \Omega + 340 \Omega = 1870 \Omega \end{aligned}$$

2.3.3) Enosmerna napajalna napetost oz. napetost izvora  $U_i$  je 5 V DC. Izračunajte napajalni tok oz. tok izvora  $I_i$ .

$$U_i = 5 \text{ V DC}$$

$$I_i = \frac{U_i}{R_N} = \frac{5 \text{ V}}{1833 \Omega} = 0,0027 \text{ A} = 2,7 \text{ mA}$$

2.3.4) Izračunajte vrednosti električnih veličin v električnem tokokrogu. Izpolnite tabelo 2.3; zapišite izračunane vrednosti za vsak upor.

*Opomba: Pri računanju električnih količin zapišite ustrezne enačbe oz. formule.*

element	električni tok $I$ [mA]	električna napetost $U$ [V]	električna upornost $R_m$ [ $\Omega$ ] *
Upor 1			
Upor 2			
Upor 3			

Tabela 4.3: Izračunane vrednosti električnih veličin v sestavljenem električnem tokokrogu.

\* Kopirajte določene vrednosti iz Tabele 1.

$$I_1 = I_i = 0,0027 \text{ A} \quad \rightarrow \quad U_1 = R_1 \cdot I_1 = 1500 \Omega \cdot 0,0027 \text{ A} = 4,05 \text{ V} = 4,1 \text{ V}$$

$$I_{23} = I_i = 0,0027 \text{ A} \quad \rightarrow \quad U_{23} = R_{23} \cdot I_{23} = 333 \Omega \cdot 0,0027 \text{ A} = 0,9 \text{ V}$$

$$\text{ali} \quad U_i = U_1 + U_{23} \quad \rightarrow \quad U_{23} = U_i - U_1 = 5 \text{ V} - 4,1 \text{ V} = 0,9 \text{ V}$$

$$U_2 = U_{23} = 0,9 \text{ V} \quad \rightarrow \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{0,9 \text{ V}}{1000 \Omega} = 0,0009 \text{ A} = 0,9 \text{ mA}$$

$$U_3 = U_{23} = 0,9 \text{ V} \quad \rightarrow \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{0,9 \text{ V}}{500 \Omega} = 0,0018 \text{ A} = 1,8 \text{ mA}$$

$$\text{ali} \quad I_{23} = I_2 + I_3 \quad \rightarrow \quad I_3 = I_{23} - I_2 = 0,0027 \text{ A} - 0,0009 \text{ A} = 0,0018 \text{ A} = 1,8 \text{ mA}$$

2.3.5) Izračunajte vsoto padcev napetosti v napetostni zanki zaporedne vezave. Primerjajte izračunano vsoto z vrednostjo napajalne napetosti oz. napetosti izvora  $U_i$ .

$$U_1 + U_{23} = 4,1 \text{ V} + 0,9 \text{ V} = 5 \text{ V} = U_i$$

2.3.6) Izračunajte vsoto tokov v tokovnem vozlišču vzporedne vezave. Primerjajte izračunano vsoto z vrednostjo napajalnega toka oz. toka izvora  $I_i$ .

$$I_2 + I_3 = 0,0009 \text{ A} + 0,0018 \text{ A} = 0,0027 \text{ A} = I_1 = I_i$$



## 2.4 Primerjava rezultatov

Rezultate objavite oz. shranite na izobraževalno platformo *Moodle*.

Primerjajte rezultate teoretičnih izračunov, rezultate laboratorijskih meritev in rezultate simulacije CORELA platforme.

## 3. Simulacija z izobraževalno platformo CORELA (dijak 2)

Izvedite simulacijo vseh treh električnih tokokrogov z uporabo CORELA izobraževalne platforme.

Inštalacija, struktura in uporaba platforme so predstavljeni v **CORELA Education Platform User Manual**.

### 3.1 Simulacija zaporednega električnega tokokroga

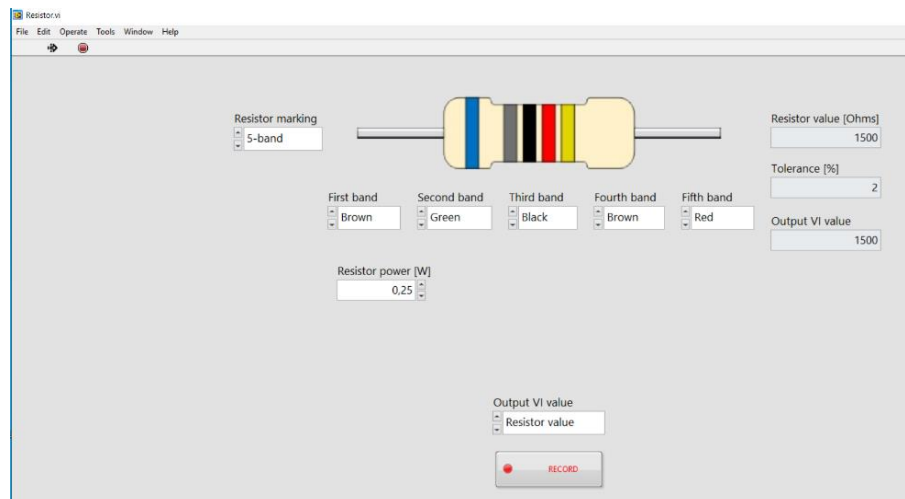
Uporabite platformo CORELA za določitev in izračun električnih količin elementov v zaporednem električnem tokokrogu.

Navodila/koraki za izvedbo simulacije (glede na CORELA Education Platform User Manual) so navedeni spodaj.

1. Open the CORELA platform and sign in.
2. Set-up the resistance value.
  - 2.1 *Function list – Electronic components – Pasive – Resistor* – click.
  - 2.2 Click on the selected square in the *Function Workspace* (e.g. Resistor 1: row 1, column 1).
  - 2.3 *Resistor.vi* pop-out window appears.
  - 2.4 In *Resistor making* field choose the *5-bend* option.
  - 2.5 In fields named *First band, Second bend...* choose suitable values or colours.
  - 2.6 In *Resistor power* field select or write in value 0,25 W.
  - 2.7 In *Output IV value* choose *Resistor value* option.
  - 2.8 Click on *Record* button. *Resistor.vi* pop-out window disappears.
  - 2.9 Save the value of the Resistor1: *Function list - Controls and indicators – local variables – Write – Write-VAR-1* – click.
  - 2.10 Click on the square to the right of the resistor square in the *Function Workspace* (e.g. row 1, column 2).
3. Repeat the same procedure to set up the value of the Resistor 2.  
Resistor 2: row 2, column 1. Saved value (Write-VAR-2): row 2, column 2.
4. Repeat the same procedure to set up the value of the Resistor 3.  
4.2 Resistor 3: row 3, column 1. Saved value (Write-VAR-3): row 3, column 2.

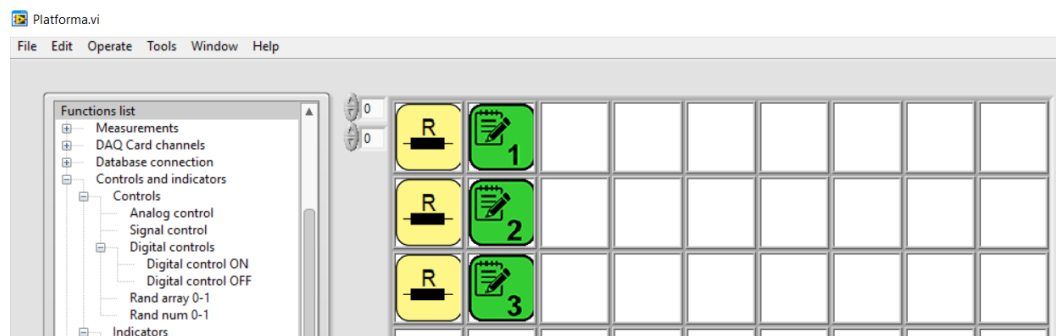


The resistor value set-up in the *Function Workspace* is shown in the Figure 3.1.



Slika 3.1: Določanje vrednosti upora.

Values of electric resistors saved as local variables in the *Function Workspace* are shown in the Figure 3.2.



Slika 3.2: Vrednosti električnih uporov, shranjene kot lokalne spremenljivke.

5. Calculate the total electric resistance of the electric circuit.

5.1 Read the saved value of the Resistor 1: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-VAR-1 – click.*

5.2 Click on the selected square in the *Function Workspace* (e.g. row 5, column 1).

5.3 Read the saved value of the Resistor 2: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-VAR-2 – click.*

5.4 Click on the square below the “Read-VAR-1” square in the *Function Workspace* (e.g. row 6, column 1).

5.5 Add up the selected (read) values: *Function list - Math - Arithmetics – Add – click.*

5.6 Click on the square to the right of the “Read-VAR-1” square in the *Function Workspace* (e.g. row 5, column 2).

5.7 Read the saved value of the Resistor 3: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-VAR-3 – click.*

5.8 Click on the square below the “Add” square in the *Function Workspace* (e.g. row 6, column 2).

5.9. Add up the previous sum (square “Add”) and the Resistor 3 value (square “Read-VAR-3”): *Function list - Math - Arithmetics – Add – click.*

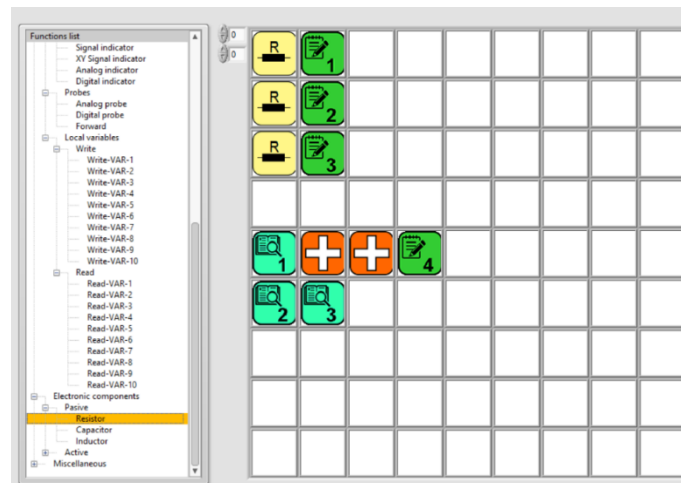


5.10. Click on the square to the right of the “Add” square in the *Function Workspace* (e.g. row 5, column 3).

5.11 Save the value of the total sum: *Function list - Controls and indicators – local variables – Write – Write-VAR-4 – click.*

5.12 Click on the square to the right of the second “Add” square in the *Function Workspace* (e.g. row 5, column 4).

The total resistance calculation in the *Function Workspace* is shown in the Figure 3.3.



Slika 3.3: Določitev skupnega električnega upora  $R_N$  zaporednega električnega vezja

6. Set-up the value of the voltage supply and save it.

6.1 Function list -Controls and indicators – Controls – Analog control – click.

6.2 Click on the selected square in the *Function Workspace* (e.g. row 8, column 1).

6.3 *Analog control.avi* pop-out window appears.

6.4 Write in or select value “5”.

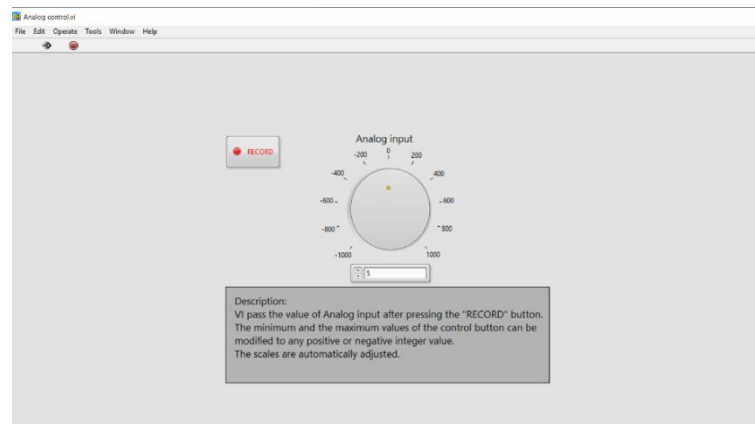
6.5 Click on *Record* button. *Analog control.avi* pop-out window disappears.

6.6 Save the value of the voltage supply: *Function list - Controls and indicators – local variables – Write – Write-VAR-5 – click.*

6.7 Click on the square to the right of the voltage value square in the *Function Workspace* (e.g. row 8, column 2).

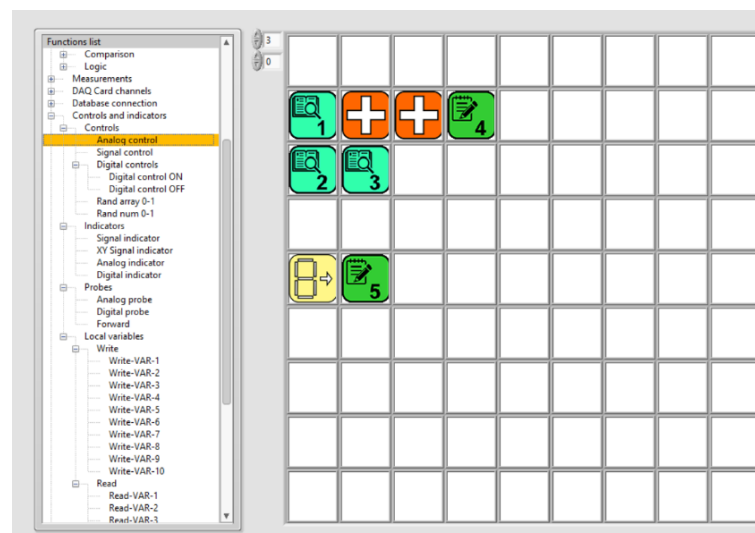
The voltage supply set-up in the *Function Workspace* is shown in the Figure 3.4.





Slika 3.4: Določanje vrednosti napetostnega vira

Value of voltage source saved as local variables in the *Function Workspace* is shown in the Figure 3.5

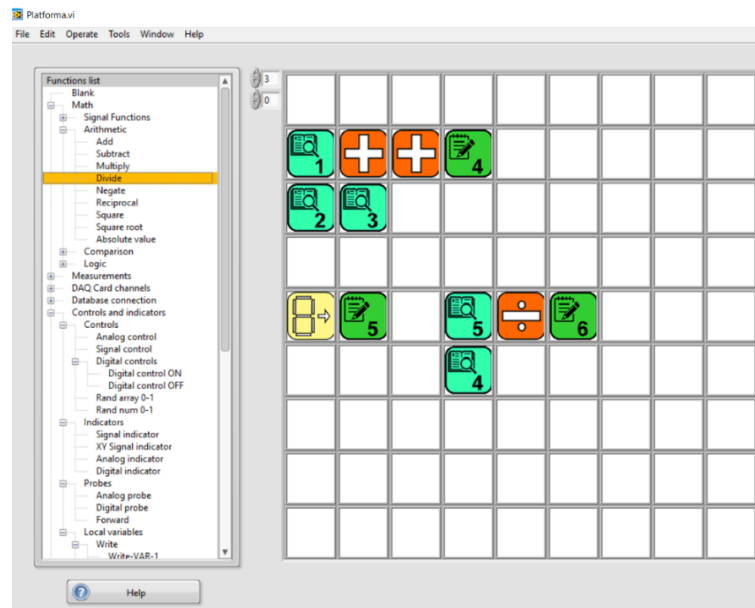


Slika 3.5: Vrednost električne napetosti, shranjena kot lokalna spremenljivka

7. Calculate the current supply: voltage supply value divided with total resistance value.
  - 7.1 Read the saved value of the voltage supply: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-VAR-5 – click.*
  - 7.2 Click on the selected square in the *Function Workspace* (e.g. row 8, column 4).
  - 7.3 Read the saved value of the total resistance: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-VAR-4 – click.*
  - 7.4 Click on the square below the voltage value or “Read-VAR-5” square in the *Function Workspace* (e.g. row 9, column 4).
  - 7.5 Divide the selected (read) values: *Function list - Math - Arithmetics – Divide – click.*
  - 7.6 Click on the square to the right of voltage value or “Read-VAR-5” square in the *Function Workspace* (e.g. row 8, column 5).
  - 7.7 Save the value of the current supply: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-VAR-6 – click.*
  - 7.8 Click on the square to the right of the “Divide” square in the *Function Workspace* (e.g. row 8, column 6).



The current supply calculation in the *Function Workspace* is shown in the Figure 3.6.



Slika 3.6: Izračun vrednosti električnega toka

8. Calculate the voltage drop on the Resistor 1.

8.1 Read the saved value of the Resistor 1: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-Var-1 – click.*

8.2 Click on the selected square in the *Function Workspace* (e.g. row 11, column 1).

8.3 Read the saved value of the current supply: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-Var-6 – click.*

8.4 Click on the square below the “Read-Var-1” square in the *Function Workspace* (e.g. row 12, column 1).

8.5 Multiply the selected (read) values: *Function list - Math - Arithmetics – Multiply – click.*

8.6 Click on the square to the right of the “Read-Var-1” square in the *Function Workspace* (e.g. row 11, column 2).

8.7 Save the value of the voltage drop 1: *Function list - Controls and indicators – local variables – Write – Write -Var-7 – click.*

8.8 Click on the square to the right of the “Multiply” square in the *Function Workspace* (e.g. row 11, column 3).

9. Calculate the voltage drop on the Resistor 2.

9.1 Read the saved value of the Resistor 2: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-Var-2 – click.*

9.2 Click on the selected square in the *Function Workspace* (e.g. row 11, column 5).

9.3 Read the saved value of the current supply: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-Var-6 – click.*

9.4 Click on the square below the “Read-Var-2” square in the *Function Workspace* (e.g. row 12, column 5).

9.5 Multiply the selected (read) values: *Function list - Math - Arithmetics – Multiply – click.*

9.6 Click on the square to the right of the “Read-Var-1” square in the *Function Workspace* (e.g. row 11, column 6).



8.7 Save the value of the voltage drop 2: *Function list - Controls and indicators – local variables –*

Write – Write -VAR-8 – click.

8.8 Click on the square to the right of the “Multiply” square in the *Function Workspace* (e.g. row 11, column 7).

10. Calculate the voltage drop on the Resistor 3.

10.1 Read the saved value of the Resistor 3: *Function list - Controls and indicators – local variables –*

Read – Read-VAR-3 – click.

10.2 Click on the selected square in the *Function Workspace* (e.g. row 11, column 9).

10.3 Read the saved value of the current supply: *Function list - Controls and indicators – local variables –* Read – Read-VAR-6 – click.

10.4 Click on the square below the “Read-VAR-3” square in the *Function Workspace* (e.g. row 12, column 9).

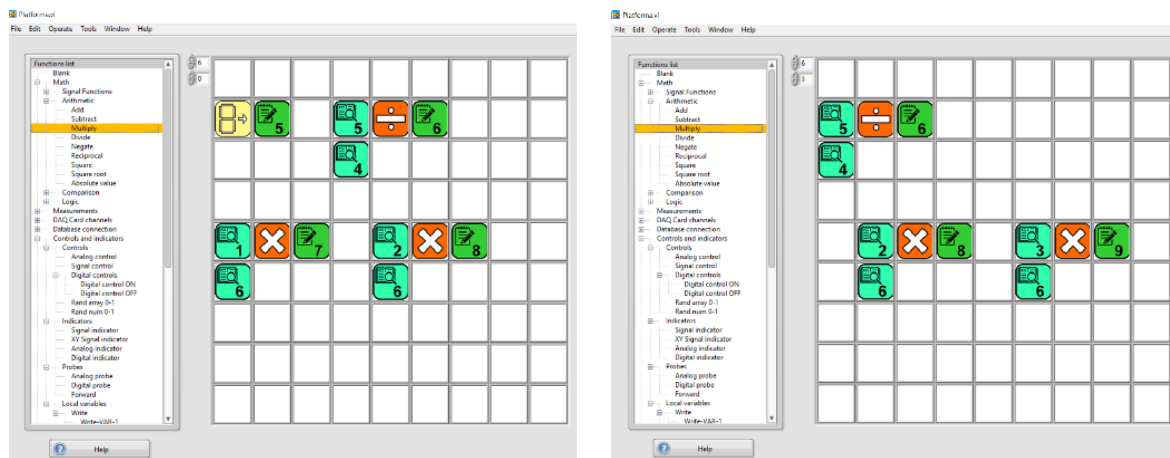
10.5 Multiply the selected (read) values: *Function list - Math - Arithmetics – Multiply –* click.

10.6. Click on the square to the right of the “Read-VAR-3” square in the *Function Workspace* (e.g. row 11, column 10).

10.7 Save the value of the voltage drop 3: *Function list - Controls and indicators – local variables –* Write – Write -VAR-9 – click.

10.8 Click on the square to the right of the “Multiply” square in the *Function Workspace* (e.g. row 11, column 11).

The voltage drops calculation in the *Function Workspace* is shown in the Figure 3.7.



Slika 3.7: Določanje vrednosti padcev napetosti

11. Calculate the sum of the voltage drops of the resistors.

11.1 Read the saved value of the voltage drop 1: *Function list - Controls and indicators – local variables –* Read – Read-VAR-7 – click.

11.2 Click on the selected square in the *Function Workspace* (e.g. row 14, column 1).

11.3 Read the saved value of the voltage drop 2: *Function list - Controls and indicators – local variables –* Read – Read-VAR-8 – click.

11.4 Click on the square below the voltage drop 1 or “Read-VAR-7” square in the *Function Workspace* (e.g. row 15, column 1).

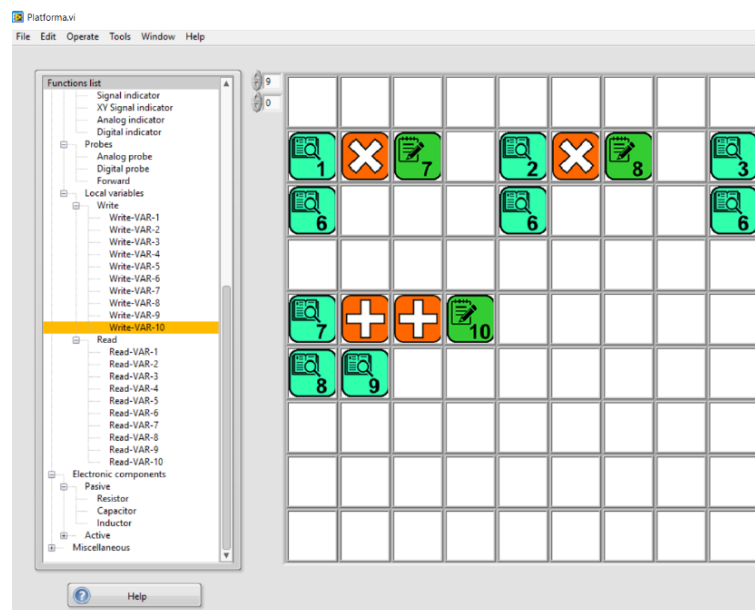
11.5 Add up the selected (read) values: *Function list - Math - Arithmetics – Add –* click.

11.6 Click on the square to the right of the voltage drop 1 or “Read-VAR-7” square in the *Function Workspace* (e.g. row 14, column 2).



- 11.7 Read the saved value of the voltage drop 3: *Function list - Controls and indicators – local variables – Read – Read-VAR-8 – click.*
- 11.8 Click on the square below the “Add” square in the *Function Workspace* (e.g. row 15, column 2).
- 11.9 Add up the previous sum (square “Add”) and the voltage drop 3 value (square “Read-VAR-9”): *Function list - Math - Arithmetics – Add – click.*
- 11.10 Click on the square to the right of the second “Add” square in the *Function Workspace* (e.g. row 14, column 3).
- 11.11 Save the value of the total sum: *Function list - Controls and indicators – local variables – Write – Write-VAR-10 – click.*
- 11.12 Click on the square to the right of the second “Add” square in the *Function Workspace* (e.g. row 14, column 4).

The sum of the voltage drops of resistors in the *Function Workspace* is shown in the Figure 3.8.



Slika 3.8: Izračun vsote padcev napetosti

12. Compare the value of the voltage supply and the value of the calculated sum of the voltage drops across resistors.

12.1 Explain the difference in compared values.

### 3.2 Simulacija vzporednega električnega tokokroga

Uporabite platformo CORELA za določitev in izračun električnih količin elementov v vzporednem električnem tokokrogu.

Navodila/koraki za izvedbo simulacije (glede na CORELA Education Platform User Manual) so podobni navodilom v poglavju 3.1.



### 3.3 Simulacija sestavljenega električnega tokokroga

Uporabite platformo CORELA za določitev in izračun električnih količin elementov v sestavljenem električnem tokokrogu.

Navodila/koraki za izvedbo simulacije (glede na CORELA Education Platform User Manual) so podobni navodilom v poglavju 3.1.

### 3.4 Primerjava rezultatov

Rezultate objavite oz. shranite na izobraževalno platformo *Moodle*.

Primerjajte rezultate teoretičnih izračunov, rezultate laboratorijskih meritev in rezultate simulacije CORELA platforme.

## 4. Meritev električnih količin (dijak 3)

### 4.1 Merjenje električne upornosti

Izmerite električno upornost vsakega upora z **multimetrom – ohmmetrom**; uporabite **neposredno metodo merjenja**. Izmerjene vrednosti vpišite v tabelo 4.1.

*Opomba: S stikalom multimetra izberite ustrezno veličino in merilno območje.*

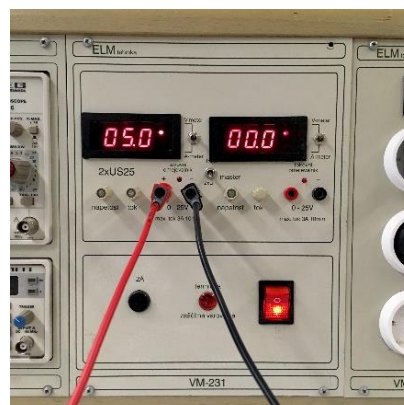
Ali je izmerjena električna upornost vsakega upora znotraj meja toleranc (med minimalno in maksimalno vrednostjo) glede na uporovno barvno kodo (Tabela 1)?

element	izmerjena upornost $R_m$ [ $\Omega$ ] (neposredna meritev)	minimalna upornost $R_{min}$ [ $\Omega$ ]	maksimalna upornost $R_{max}$ [ $\Omega$ ]	ustreznost meritve (DA / NE)
Upor 1		1470 $\Omega$	1530 $\Omega$	
Upor 2		980 $\Omega$	1020 $\Omega$	
Upor 3		490 $\Omega$	510 $\Omega$	

Tabela 4.1: Meritve električne upornosti



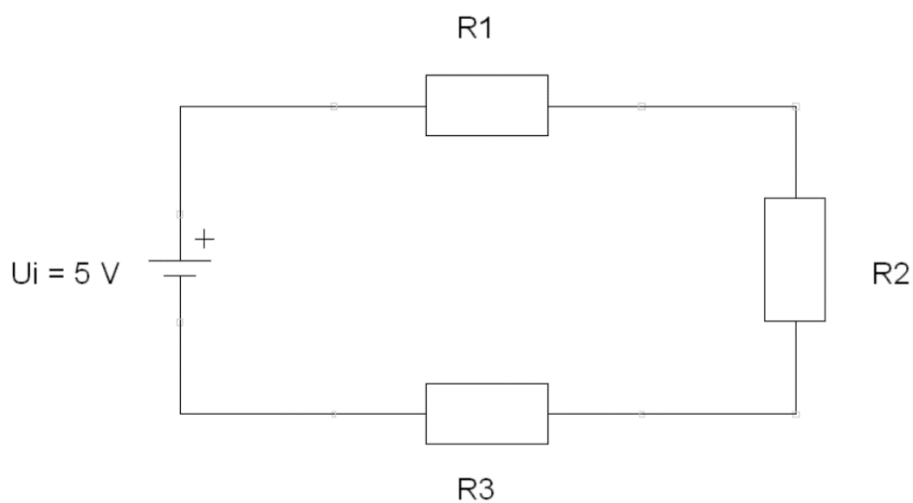
Slika 4.1.1: Multimeter



Slika 4.1.2: Vir napetosti (usmernik)

## 4.2 Upori v zaporednem električnem tokokrogu

4.2.1) Trije upori so vezani zaporedno in priključeni na vir enosmerne električne napetosti. Shemo zaporednega električnega tokokroga prikazuje slika 4.2.



Slika 4.2: Upori v zaporednem električnem tokokrogu.

4.2.2) Na testni plošči *protoboard* realizirajte oz. sestavite zaporedno vezavo električnega tokokroga. Izmerite nadomestno upornost  $R_{N-izm}$  tokokroga.

**Opomba: S stikalom multimetra izberite ustrezno veličino in merilno območje.**

$$R_{N-m} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

Ali je izmerjena nadomestna električna upornost  $R_{N-m}$  znotraj meja toleranc (med minimalno izračunano vrednostjo  $R_{Nmin} = 2940 \Omega$  in maksimalno izračunano vrednostjo  $R_{Nmax} = 3060 \Omega$ )?



4.2.3) Pripravite napetostni napajalnik (usmernik); enosmerni izvor napetosti nastavite na vrednost  $U_i = 5 \text{ V DC}$ . Z multimetrom – voltmetrom izmerite vrednost napajalne napetosti.

*Opomba: S stikalom multimetra izberite ustrezno vrsto veličine (AC / DC) in merilno območje.*

$$U_{i-m} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

4.2.4) Zaporedni električni tokokrog priključite na vir enosmerne napajalne napetosti  $U_i = 5 \text{ V DC}$ . Z multimetrom – ampermetrom izmerite vrednost napajalnega toka.

*Opomba: S stikalom multimetra izberite ustrezno vrsto veličine (AC / DC) in merilno območje.*

$$I_{i-m} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

4.2.5) Izmerite vrednosti električnih veličin v električnem tokokrog. Izpolnite tabelo 4.2; zapišite izmerjene vrednosti za vsak upor.

*Opomba: S stikalom multimetra izberite ustrezno vrsto veličine (AC / DC) in merilno območje.*

4.2.5.1) Izmerite padec napetosti vsakega upora v električnem tokokrog.

4.2.5.2) Izmerite tok skozi vsak upor v električnem tokokrog.

4.2.5.3) S posredno  $U$ - $I$  metodo določite (izračunajte) upornost vsakega upora (glede na izmerjen padec napetosti in izmerjen tok).

element	električni tok $I_m$ [mA]	električna napetost $U_m$ [V]	električna upornost $R_m$ [ $\Omega$ ] posredna meritev	električna upornost $R_m$ [ $\Omega$ ] neposredna meritev*
Upor 1				
Upor 2				
Upor 3				

Tabela 4.2: Izmerjene vrednosti električnih veličin v zaporednem električnem tokokrog.

\* Kopirajte izmerjene vrednosti iz Tabele 4.1.

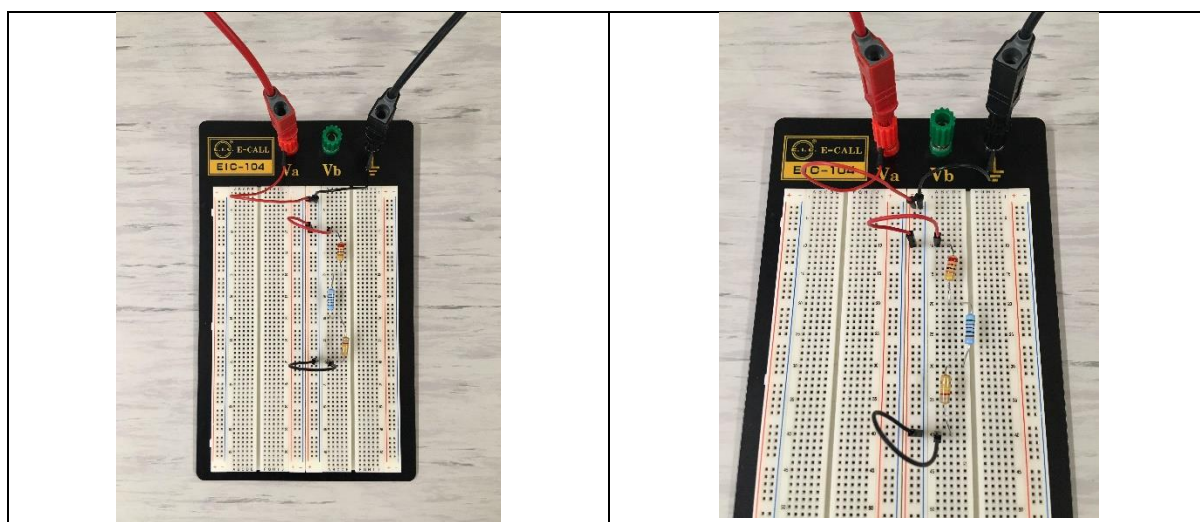
$$R_{1m} = \frac{U_{1m}}{I_{1m}} =$$

$$R_{2m} = \frac{U_{2m}}{I_{2m}} =$$

$$R_{3m} = \frac{U_{3m}}{I_{3m}} =$$

4.2.6) Izračunajte vsoto izmerjenih padcev napetosti na uporih. Primerjajte izračunano vsoto z izmerjeno napajalno napetostjo oz. virom napetosti  $U_{i-m}$ .

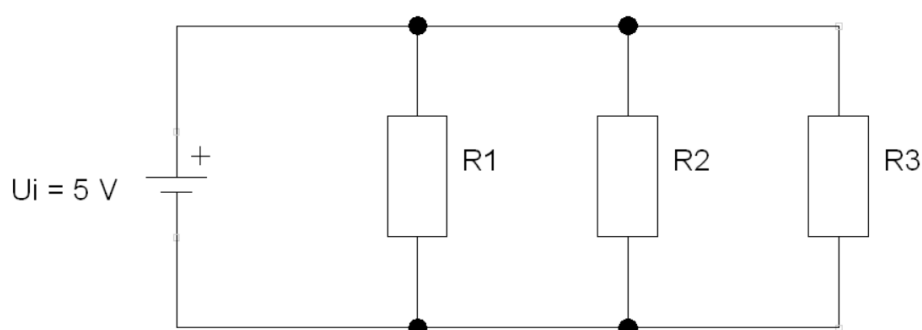
$$U_{1m} + U_{2m} + U_{3m} =$$



Slika 4.3: Zaporedni električni tokokrog na protoboardu

### 4.3 Upori v vzporednem električnem tokokrogu

4.3.1) Trije upori so vezani vzporedno in priključeni na vir enosmerne električne napetosti. Shemo vzporednega električnega tokokroga prikazuje slika 4.3.



Slika 4.4: Upori v vzporednem električnem tokokrogu.

4.3.2) Na testni plošči *protoboard* realizirajte oz. sestavite vzporedno vezavo električnega tokokroga. Izmerite nadomestno upornost  $R_{N-izm}$  tokokroga.

*Opomba: S stikalom multimetra izberite ustrezno veličino in merilno območje.*

$$R_{N-m} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

Ali je izmerjena nadomestna električna upornost  $R_{N-m}$  znotraj meja toleranc (med minimalno izračunano vrednostjo  $R_{Nmin} = 267 \Omega$  in maksimalno izračunano vrednostjo  $R_{Nmax} = 278 \Omega$ )?

4.3.3) Pripravite napetostni napajalnik (usmernik); enosmerni izvor napetosti nastavite na vrednost  $U_i = 5 \text{ V DC}$ . Z multimetrom – voltmetrom izmerite vrednost napajalne napetosti.

*Opomba: S stikalom multimetra izberite ustrezno vrsto veličine (AC / DC) in merilno območje.*





$$U_{i-m} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

4.1.4) Vzporedni električni tokokrog priključite na vir enosmerne napajalne napetosti  $U_i = 5 \text{ V DC}$ . Z multimetrom – ampermetrom izmerite vrednost napajalnega toka.

*Opomba: S stikalom multimetra izberite ustrezno vrsto veličine (AC / DC) in merilno območje.*

$$I_{i-m} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

4.3.5) Izmerite vrednosti električnih veličin v električnem tokokrog. Izpolnite tabelo 4.3; zapišite izmerjene vrednosti za vsak upor.

*Opomba: S stikalom multimetra izberite ustrezno vrsto veličine (AC / DC) in merilno območje.*

4.3.5.1) Izmerite padec napetosti vsakega upora v električnem tokokrog.

4.3.5.2) Izmerite tok skozi vsak upor v električnem tokokrog.

4.3.5.3) S posredno  $U$ - $I$  metodo določite (izračunajte) upornost vsakega upora (glede na izmerjen padec napetosti in izmerjen tok).

element	električni tok $I_m$ [mA]	električna napetost $U_m$ [V]	električna upornost $R_m$ [ $\Omega$ ] posredna meritev	električna upornost $R_m$ [ $\Omega$ ] neposredna meritev*
Upor 1				
Upor 2				
Upor 3				

Tabela 4.3: Izmerjene vrednosti električnih veličin v vzporednem električnem tokokrog.

\* Kopirajte izmerjene vrednosti iz Tabele 4.1.

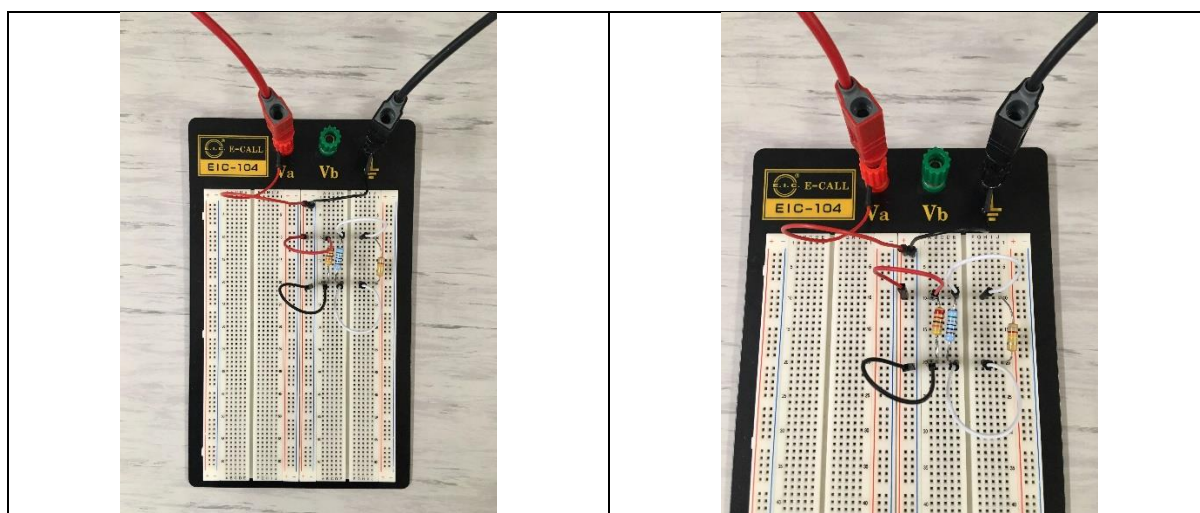
$$R_{1m} = \frac{U_{1m}}{I_{1m}} =$$

$$R_{2m} = \frac{U_{2m}}{I_{2m}} =$$

$$R_{3m} = \frac{U_{3m}}{I_{3m}} =$$

4.3.6) Izračunajte vsoto izmerjenih tokov skozi upore. Primerjajte izračunano vsoto z izmerjenim napajalnim tokom oz. tokom izvora  $I_{i-m}$ .

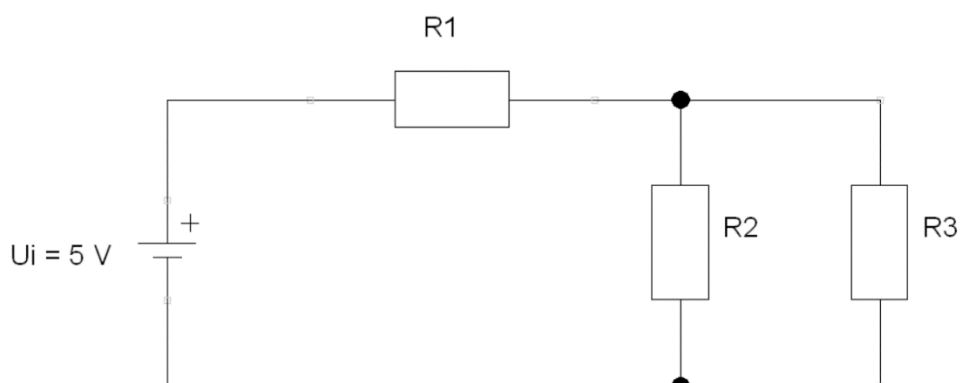
$$I_{1m} + I_{2m} + I_{3m} =$$



Slika 4.5: Vzoredni električni tokokrog na protoboardu

#### 4.4 Upori v sestavljeni vezavi električnega tokokroga

4.4.1) Trije upori so vezani v sestavljeno vezavo in priključeni na vir enosmerne električne napetosti. Shemo sestavljenega električnega tokokroga prikazuje slika 4.4.



Slika 4.6: Sestavljena vezava uporov v električnem tokokrogu.

4.4.2) Na testni plošči *protoboard* realizirajte oz. sestavite sestavljeno vezavo električnega tokokroga. Izmerite nadomestno upornost  $R_{N-izm}$  tokokroga.

*Opomba: S stikalom multimetra izberite ustrezno veličino in merilno območje.*

$$R_{N-m} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

Ali je izmerjena nadomestna električna upornost  $R_{N-m}$  znotraj meja toleranc (med minimalno izračunano vrednostjo  $R_{Nmin} = 1797 \Omega$  in maksimalno izračunano vrednostjo  $R_{Nmax} = 1870 \Omega$ )?

4.4.3) Pripravite napetostni napajalnik (usmernik); enosmerni izvor napetosti nastavite na vrednost  $U_i = 5 \text{ V DC}$ . Z multimetrom – voltmetrom izmerite vrednost napajalne napetosti.

*Opomba: S stikalom multimetra izberite ustrezno vrsto veličine (AC / DC) in merilno območje.*

$$U_{i-m} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$



4.4.4) Sestavljeni električni tokokrog priključite na vir enosmerne napajalne napetosti  $U_i = 5 \text{ V DC}$ . Z multimetrom – ampermetrom izmerite vrednost napajalnega toka.

*Opomba: S stikalom multimetra izberite ustrezno vrsto veličine (AC / DC) in merilno območje.*

$$I_{i-m} = \text{_____} \text{ A} = \text{_____} \text{ mA}$$

4.4.5) Izmerite vrednosti električnih veličin v električnem tokokrog. Izpolnite tabelo 4.4; zapišite izmerjene vrednosti za vsak upor.

*Opomba: S stikalom multimetra izberite ustrezno vrsto veličine (AC / DC) in merilno območje.*

4.4.5.1) Izmerite padec napetosti vsakega upora v električnem tokokrog.

4.4.5.2) Izmerite tok skozi vsak upor v električnem tokokrog.

4.4.5.3) S posredno  $U$ - $I$  metodo določite (izračunajte) upornost vsakega upora (glede na izmerjen padec napetosti in izmerjen tok).

element	električni tok $I_m$ [mA]	električna napetost $U_m$ [V]	električna upornost $R_m$ [ $\Omega$ ] posredna meritev	električna upornost $R_m$ [ $\Omega$ ] neposredna meritev*
Upor 1				
Upor 2				
Upor 3				

Tabela 4.4: Izmerjene vrednosti električnih veličin v sestavljenem električnem tokokrog.

\* Kopirajte izmerjene vrednosti iz Tabele 4.1.

$$R_{1m} = \frac{U_{1m}}{I_{1m}} =$$

$$R_{2m} = \frac{U_{2m}}{I_{2m}} =$$

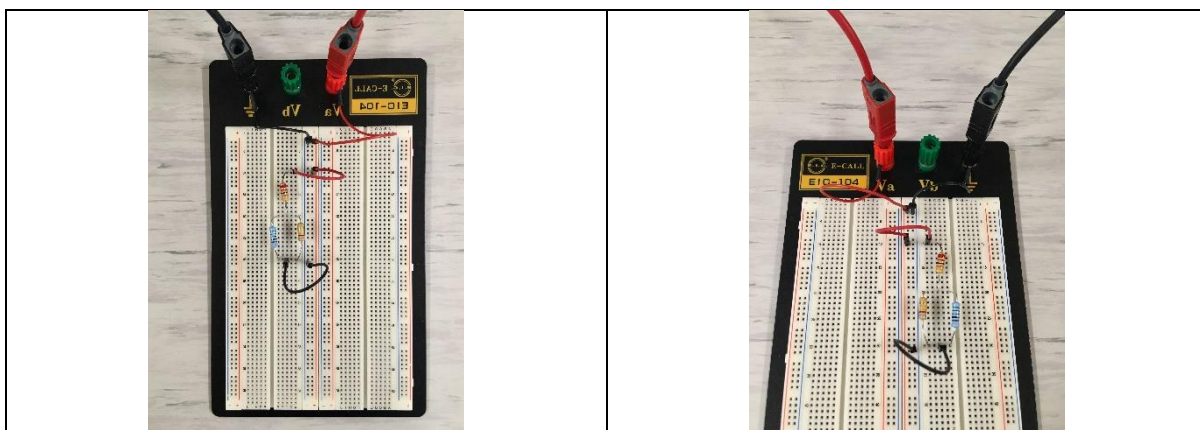
$$R_{3m} = \frac{U_{3m}}{I_{3m}} =$$

4.4.6) Izračunajte vsoto izmerjenih padcev napetosti v napetostni zanki zaporedne vezave. Primerjajte izračunano vsoto z izmerjeno napajalno napetostjo oz. virom napetosti  $U_{i-m}$ .

$$U_{1m} + U_{23m} =$$

4.4.7) Izračunajte vsoto izmerjenih tokov v tokovnem vozlišču vzporedne vezave. Primerjajte izračunano vsoto z vrednostjo napajalnega toka oz. toka izvora  $I_{i-m}$ .

$$I_{2m} + I_{3m} =$$



Slika 4.5: Zaporedno-vzporedni električni tokokrog na protoboardu

#### 4.5 Primerjava rezultatov

Rezultate objavite oz. shranite na izobraževalno platformo *Moodle*.

Primerjajte rezultate teoretičnih izračunov, rezultate laboratorijskih meritev in rezultate simulacije CORELA platforme.

#### Video material:

<https://www.youtube.com/watch?v=8P3Clw4ZEHk&feature=youtu.be>

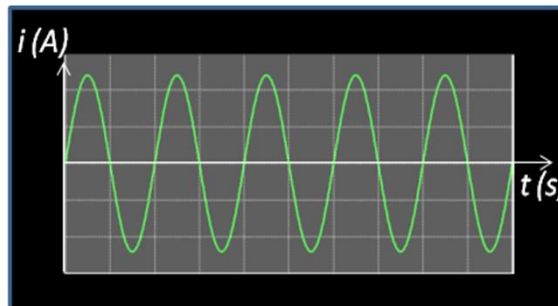


### III. Merjenje impedance

#### 1. Uvod

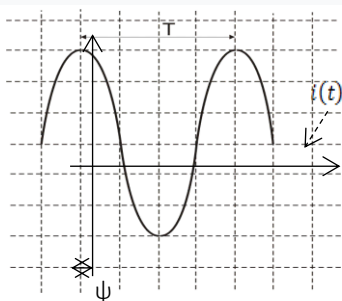
Vir izmenične napetosti v električnem tokokrogu ustvarja izmenični tok. Ta tok se spreminja v času, tako njegova jakosti kot tudi smeri (Slika 1.1).

V elektrotehniki je izmenični tok običajno sinusne oblike.



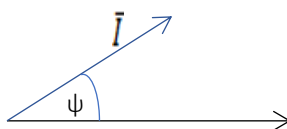
Izmenične količine lahko predstavimo na tri načine (Slike 1.2, 1.3 in 1.4):

Slika 1.1: Sinusna oblika izmeničnega toka

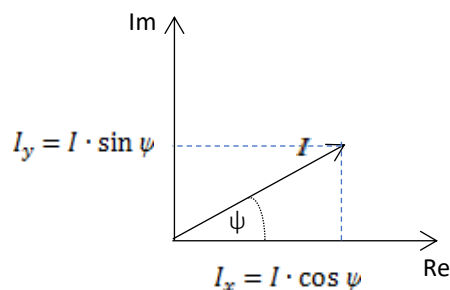


$$i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi) [A]$$

Slika 1.2  
Časovni diagram  
(trigonometrična)



Slika 1.3  
Kazalčni diagram  
(geometrijska)



$$I = I \cdot \cos \psi + jI \cdot \sin \psi$$

Slika 1.4  
Kompleksni zapis  
(aritmetična)

Vrednosti sinusnega valovanja v določeni točki lahko določimo z naslednjimi enačbami:

$$i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t + \psi) [A]$$

$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \theta) [V]$$

$I_m, U_m$  - amplituda ali temenska vrednost izmeničnega toka oz. napetosti;

$\omega$  - kotna frekvenca izmeničnih spremenljivk ( $\omega = 2\pi f \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$ );

$f$  - frekvenca izmeničnih spremenljivk [Hz];

$\psi, \theta$  - fazni kot izmeničnih spremenljivk v trenutku  $t = 0$  [rad];

$\varphi$  - fazni zamik med napetostjo in tokom ( $\varphi = \theta - \psi$ ) [rad].



Z ampermetri in voltmetri merimo efektivno vrednost izmeničnega toka in napetosti.

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 \cdot I_m \text{ [A]}$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707 \cdot U_m \text{ [V]}$$

$I, U$  - efektivna vrednost izmeničnega toka oziroma napetosti.

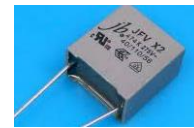
### Elementi v vezjih izmeničnega toka



Ohmski upor



Tuljava



Kondenzator

Izračun impedanca v izmeničnem tokokrogu je odvisen od vrste in števila elementov ter od načina njihove medsebojne povezanosti.

Impedanco je mogoče določiti tudi na praktičen način z merjenjem efektivnih vrednosti napetosti in toka z uporabo metode  $UI$ :

$$Z = \frac{U}{I} \text{ [\Omega]}$$

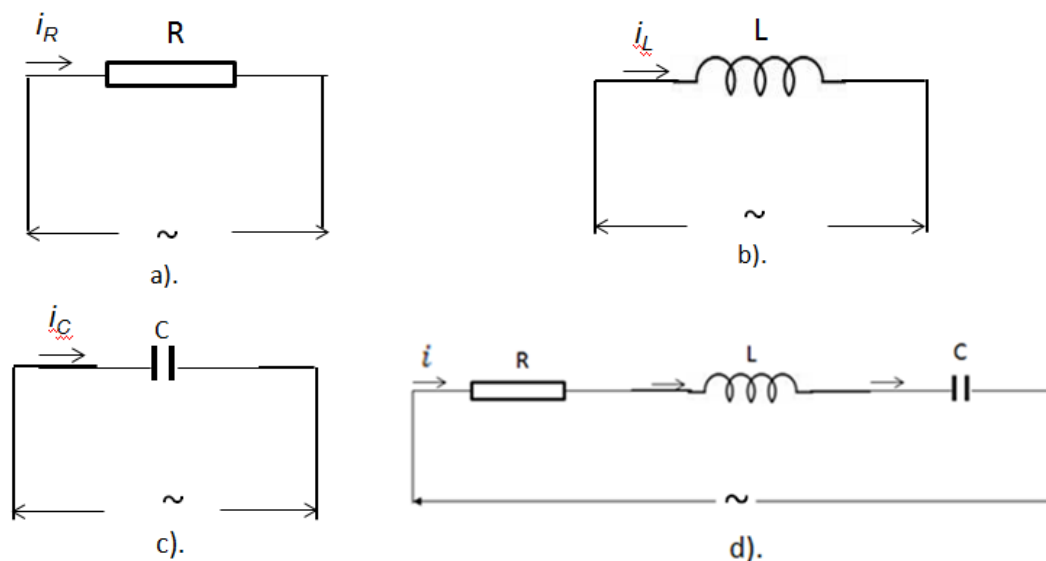
$Z$  - impedanca oz. polna upornost vezja;

$U, I$  - efektivne vrednosti napetosti in toka v tokokrogu.

## 2. Teoretični del naloge (vsi dijaki)

Določite impedanco za različne frekvence izmeničnega vira napajanja na sliki 2, ko je priključen na vezje, sestavljeno iz:

- Ohmski upor  $R = 470 \text{ }\Omega$  (Slika 2a)
- Tuljava z induktivnostjo  $L = 1 \text{ mH}$  (Slika 2b)
- Kondenzator s kapacitivnostjo  $C = 0,47 \text{ }\mu\text{F}$  (Slika 2c)
- Zaporedna vezava vseh treh elementov (Slika 2d)



Slika 2: Električna vezja

### 3. Računanje impedance (dijak 1)

#### 3.1 Izračuni

**Impedanco izračunamo za vsako električno vezje na sliki 2 in za izmenično napetost različnih frekvenc.**

- a. Vezje izmeničnega toka z ohmskim uporom je prikazano na sliki 2.a. Impedanca v vezju se izračuna po formuli:

$$Z = R \text{ } [\Omega]$$

Izračunane vrednosti so zapisane v Tabeli 1a.

- b. Vezje izmeničnega toka s tuljavo je prikazano na sliki 2.b. Impedanca v vezju se izračuna po formuli:

$$Z = X_L \text{ } [\Omega] \quad X_L = \omega \cdot L \text{ } [\Omega] \quad \omega = 2\pi f \text{ } \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right]$$

kjer je  $X_L$  induktivna upornost tuljave  $[\Omega]$

Izračunane vrednosti so zapisane v Tabeli 1b.

- c. Vezje izmeničnega toka s kondenzatorjem je prikazano na sliki 2.c. Impedanca v vezju se izračuna po formuli:

$$Z = X_C \text{ } [\Omega]$$



kjer je  $X_C$  kapacitivni upor kondenzatorja [ $\Omega$ ]

$$X_C = \frac{1}{\omega C} [\Omega]$$

Izračunane vrednosti so zapisane v Tabeli 1c.

d. Vezje izmeničnega toka v katerem so upor, tuljava in kondenzator (zaporedno vezje  $RLC$ ) je prikazano na sliki 2.d. Impedanca v vezju se izračuna po formuli:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} [\Omega]$$

$R$  – aktivni (omski) upor v vezju [ $\Omega$ ]

$X$  – reaktivni upor v vezju

$$X = X_L - X_C [\Omega]$$

Izračunane vrednosti so zapisane v Tabeli 1d.

Značaj tokogroga z zaporedno vezavo  $RLC$ , se spreminja glede na spodnje kriterije:

kadar je  $X_L > X_C$  je vezje induktivno;

kadar je  $X_L < X_C$  je vezje kapacitivno;

kadar je  $X_L = X_C$  je vezje ohmsko.

**Izračunane vrednosti zapišite v tabelo.**

$f$ (Hz)	100	1000	10000	100000
$Z$ ( $\Omega$ )				

*Tabela 1 a: Ohmski upor v električnem tokokrogu*

$f$ (Hz)	5000	10000	50000	100000
$Z$ ( $\Omega$ )				

*Tabela 1 b: Tuljava v električnem tokokrogu*

$f$ (Hz)	100	200	500	1000
$Z$ ( $\Omega$ )				

*Tabela 1 c: Kondenzator v električnem tokokrogu*

$f$ (Hz)	100	1000	10000	100000
$Z$ ( $\Omega$ )				

*Tabela 1 d: Zaporedna vezava  $RLC$*





**Vprašanje 1:** Kako sprememba frekvence vpliva na kapacitivna upornost?

**Vprašanje 2:** Kako se s povečevanjem frekvence spreminja induktivna upornost?

**Vprašanje 3:** Kakšen značaj ima električni krog z zaporedno RLC vezavo iz naloge?

### 3.2 Primerjava rezultatov

Prijavite se v platformo CORELA, da vnesete vrednosti.

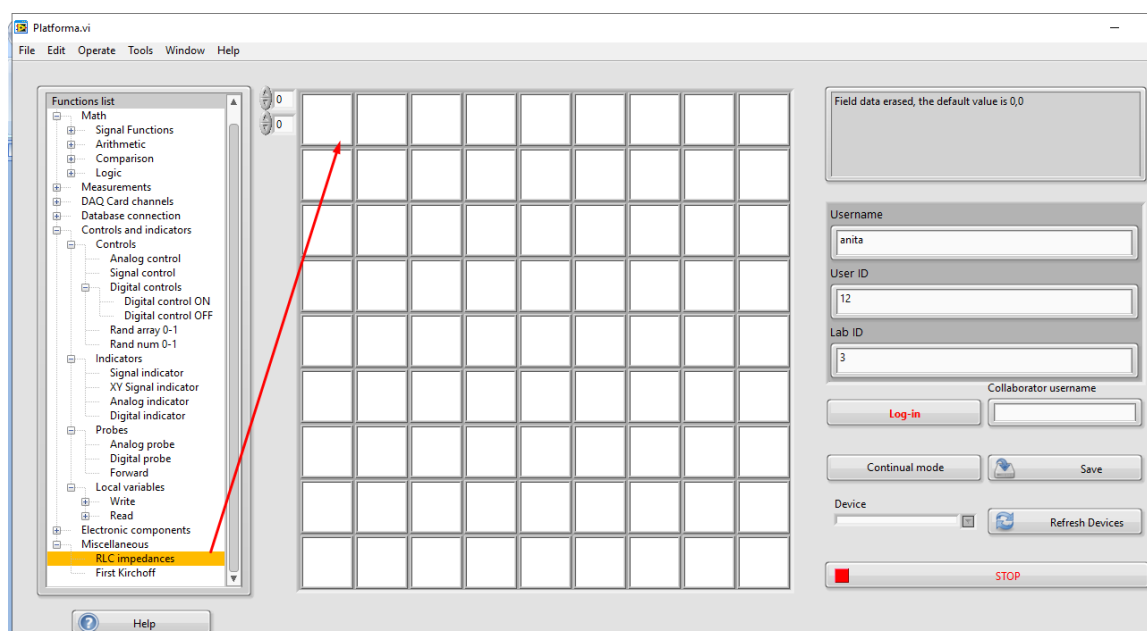
Vrednosti frekvenc in impedanc se vnesejo in pošljejo na izobraževalno platformo v skladu s postopkom, pojasnjenim v točki 4 tega priročnika.

Pridobljene podatke o impedanci naj primerjata dijak 2 in dijak 3.

## 4. Določitev impedance s simulacijo (dijak 2)

### 4.1 Aktiviranje vaje

Po prijavi na platformo Corela iz seznama funkcij "Razno (Miscellaneous)" izberite vajo "RLC impedance". Kliknite levi klik ij jo prenesite v polje namizja, kot je prikazano na sliki 3.1.



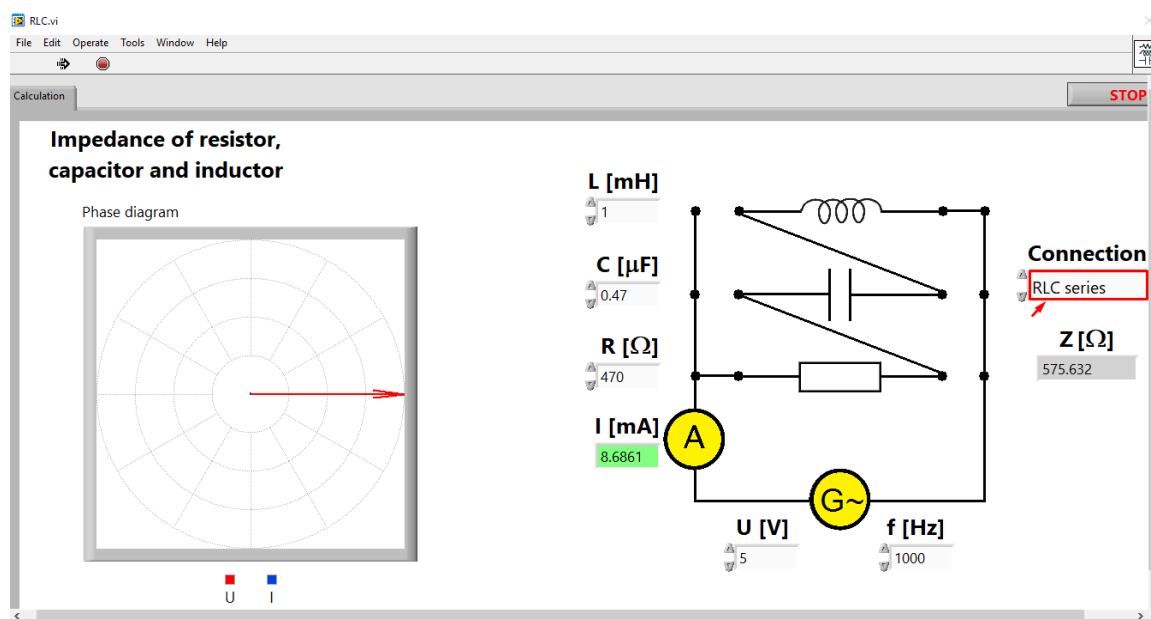
Slika 4.1: Nastavitev vaje na namizju

Na zaslonu se prikaže pojavno okno z vajo "RLC impedance" kot je prikazano na sliki 4.2.



## 4.2 Izbira vrste električnega tokokroga in branje rezultatov

Vrsta električnega tokokroga je izbrana v polju "Povezava (Connection)"



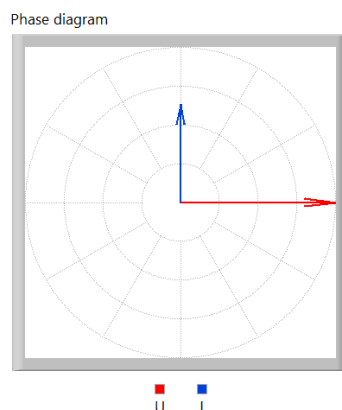
Slika 4.2: Izbira vrste električnega tokokroga

Simulacija meritev se izvede ločeno za vsak električni tokokrog v skladu z vrstnim redom na sliki 2.

Po izbiri zahtevanega električnega tokokroga v ustrezno polje delovne površine vnesete efektivno vrednost izmenične napetosti  $U = 5$  V in frekvence  $f$ . V ustrezna polja vnesete še vrednosti za elemente določene v nalogi: upornost upora  $R$ , induktivnosti tuljave  $L$  in kapacitivnosti kondenzatorja  $C$ .

Za vsak električni tokokrog zvedete več meritev za različne frekvenčne vrednosti, podane v ustreznih tabelah. Vrednosti toka in impedance, ki se spreminjajo s spremembo frekvence odčitajte in vnesete v ustrezne tabele (2a, 2b, 2c in 2d).

Fazna razlika  $\varphi$  med napetostjo in tokom je razvidna iz faznega diagrama, narisane na levi strani zaslona (slika 4.3).



Slika 4.3: Kazalčni diagram električnega kroga s kondenzatorjem



V predvideni prostor na desni strani tabel zapišite fazno razliko ( $\varphi$ ) med napetostjo in tokom za vezje z idealno tuljavo (slika 2b) in za vezje z idealnim kondenzatorjem (slika 2c).

$f$ (Hz)	100	1000	10000	100000
$I$ (A)				
$Z$ ( $\Omega$ )				

Tabela 2 a: Ohmski upor v električnem tokokrogu

$f$ (Hz)	5000	10000	50000	100000
$I$ (A)				
$Z$ ( $\Omega$ )				

$\varphi = \text{-----}$

Tabela 2 b: Tuljava v električnem tokokrogu

$f$ (Hz)	100	200	500	1000
$I$ (A)				
$Z$ ( $\Omega$ )				

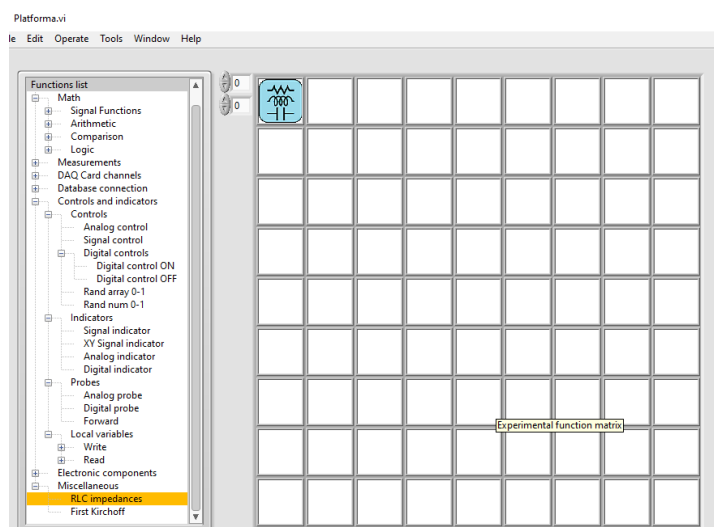
$\varphi = \text{-----}$

Tabela 2 c: Kondenzator v električnem tokokrogu

$f$ (Hz)	100	1000	10000	100000
$I$ (A)				
$Z$ ( $\Omega$ )				

Tabela 2 d: Zaporedna vezava RLC

Po branju in zapisovanju izmerjenih vrednosti za  $I$  in  $Z$  se za vsa štiri električna vezja s pritiskom na gumb "STOP" zapre pojavno okno in na namizju se prikaže ikona vaje (slika 4.4).



Slika 4.4: Namizje po simulacijski meritvi



**Vprašanje 1:** Kakšna je fazna razlika med napetostjo in tokom v električnem krogu z idealno tuljavo (slika 2b)?

**Vprašanje 2:** Kakšna je fazna razlika med napetostjo in tokom v električnem krogu z idealnim kondenzatorjem (slika 2c)?

**Vprašanje 3:** Kako se vrednost impedance spreminja s spremembo frekvence v električnem krogu na sliki 2b?

**Vprašanje 4:** Kako se vrednost impedance spreminja s spremembo frekvence v električnem krogu na sliki 2c?

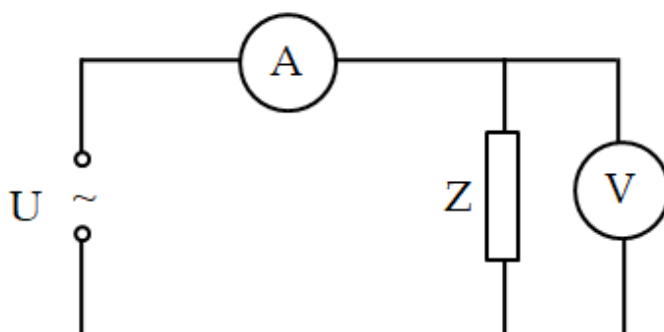
#### 4.3 Beleženje podatkov in pošiljanje podatkov na izobraževalno platformo

Vrednosti za frekvence in vrednosti impedance za vsa štiri električna vezja iz vaje vnesete v platformo Corela in pošljete na izobraževalno platformo v skladu s postopkom, pojasnjenim v priročniku pod točko 4.

Pridobljene rezultate o impedanci primerjajte s podatki dijaka 1 in dijaka 3.

#### 5. Merjenje impedance (dijak 3)

S praktičnimi meritvami toka pri različnih frekvencah določite impedanco.



Slika 5.1: Električni tokokrog za merjenje impedance

Za merjenje potrebujete naslednjo opremo:

- funkcijski generator (Slika 5.2 a)
- Osciloskop (Slika 5.2 b)
- Vežalna plošča (Slika 5.2 s) z naslednjimi elementi:



- Upor  $R = 470 \Omega$
- Tuljava  $L = 1 \text{ mH}$
- Kondenzator  $C = 0,47 \mu\text{F}$
- Digitalni multimeter - izmenična napetost ( Slika 3.6 d)
- Kartica za zajem podatkov NI-myDAQ (Slika 3.6 e)
- Vodniki



a.

b.



c.



d.



e.

Slika 5.2: Oprema za merjenje impedance (a. Funkcijski generator; b. osciloskop; c. Vežalna plošča; d. digital multimeter; e. kartica za zajem podatkov)

## 5.1 Potek dela

Praktična izvedba vaje poteka po naslednjih korakih:

Korak 1. Povežite funkcijski generator in osciloskop. Izberite sinusno obliko signala in nastavite efektivno vrednost napetosti  $U = 5 \text{ V}$ .

Korak 2. Elementi na sliki 5.2 c so povezani z vodniki, ki tvorijo različna električna vezja z različnimi impedancami, prikazanih na sliki 2.

Korak 3. Kartica za zajem podatkov NI-myDAQ je v vezje priključena kot ampermeter za merjenje efektivne vrednosti izmeničnega toka z merilnim območjem  $200 \text{ mA}$ .

**Opomba:** *Bodite previdni pri povezovanju kartice za zajem podatkov NI myDAQ. Da bi se izognili trajnim poškodbam opreme, je treba paziti, da pravilno priključite njene sponke in izberete merilno območje. Omenjeno kartico se uporablja kot ampermeter z merilnim območjem  $200 \text{ mA}$ .*

Korak 4. Funkcijski generator je povezan z vezjem z vnaprej nastavljenno efektivno vrednostjo napetosti. Med merjenjem prilagodimo vrednosti frekvence v skladu z navodili v nalogi.

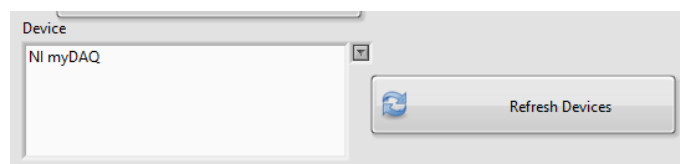


Naslednji koraki so povezani z merjenjem električnega toka v tokokrogu.

*Opomba: Med izvajanjem vaje se prepričajte, da tok skozi posamezne elemente v električnem krogu ne presega dopustne vrednosti v skladu z lastnostmi električnih elementov.*

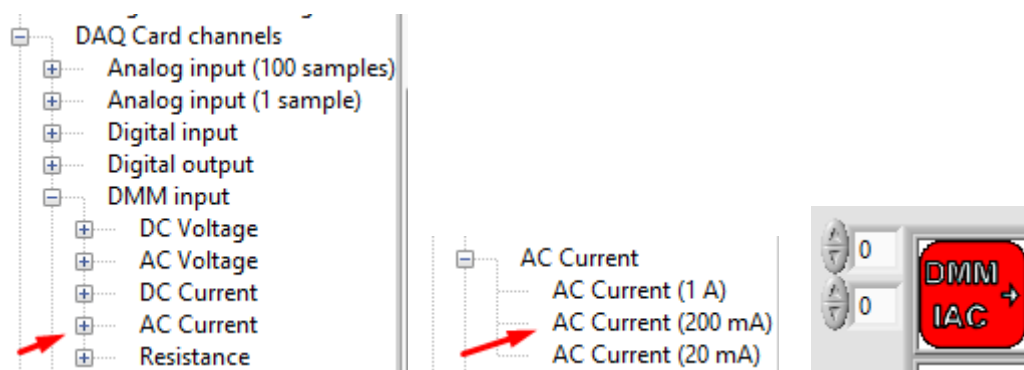
*Iz teh razlogov je treba za elemente, katerih podatki so navedene v vaji, meritve  $Z$  in  $I$  za električna vezja na sliki 2b in sliki 2c opraviti samo za frekvenčne vrednosti podane v tabelah.*

**Korak 5.** Po prijavi v platformo Corela v oknu za izbiro zunanje naprave izberite NI myDAQ (slika 3.7). Če se v oknu ne prikaže nobena naprava, pritisnite nadzorni gumb »Osveži naprave (Refresh Devices)«



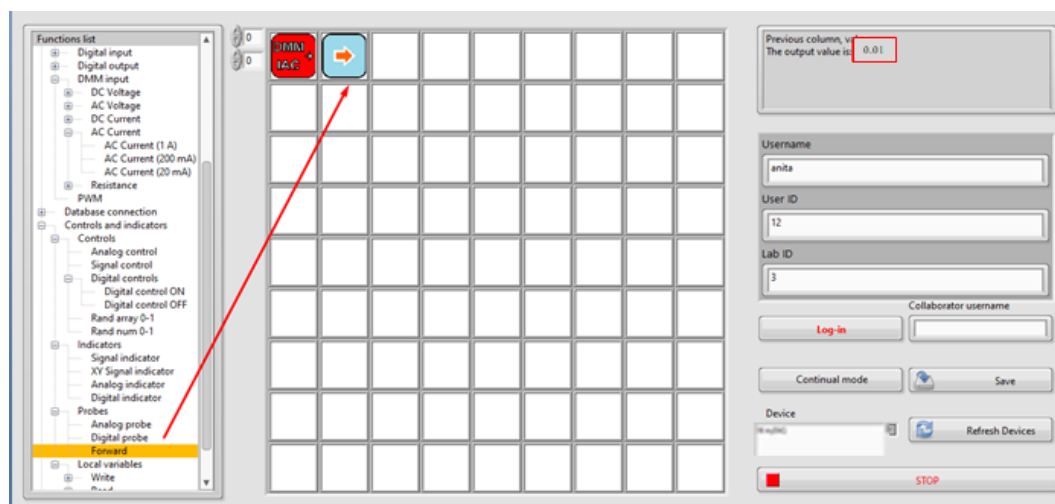
Slika 5.3: Izbira kartice za zajem podatkov

Da lahko preko izbrane kartice izmerite efektivno vrednost izmeničnega toka, morate aktivirati funkcijo kanalov DAQ Card. Na seznamu funkcij "DMM input" izberite ampermeter za izmenični tok in merilno območje 200 mA (slika 5.4).



Slika 5.4: Aktiviranje digitalnega ampermetra z merilnim območjem 200mA

**Korak 6.** Izmerjeno efektivno vrednost toka odčitamo tako, da na namizje poleg digitalnega ampermetra postavimo funkcijo "naprej (Forward)" (slika 5.5).



Slika 5.5: Odčitavanje izmerjene vrednosti toka

Postopek iz 6. koraka se ponovi za vsako vrednost frekvence, navedeno v tabelah, v skladu z izbranim električnim tokokrogom.

Izmerjene tokove so vnesemo v tabelo 3 (a; b; c; d).

$f$ (Hz)	100	1000	10000	100000
$I$ (A)				
$Z$ ( $\Omega$ )				

Tabela 3 a: Ohmski upor v električnem tokokrogu

$f$ (Hz)	5000	10000	50000	100000
$I$ (A)				
$Z$ ( $\Omega$ )				

Tabela 3 b: Tuljava v električnem tokokrogu

$f$ (Hz)	100	200	500	1000
$I$ (A)				
$Z$ ( $\Omega$ )				

Tabela 3 c: Kondenzator v električnem tokokrogu

$f$ (Hz)	100	1000	10000	100000
$I$ (A)				
$Z$ ( $\Omega$ )				

Tabela 3 d: Zaporedna vezava RLC



Impedanco  $Z$  za vsako od danih frekvenc v tabelah izračunamo po formuli:

$$Z = \frac{U}{I} [\Omega]$$

**Vprašanje 1:** Kako se spreminja tok ko povečujemo frekvenco v električnem krogu na sliki 2b?

**Vprašanje 2:** Kako se spreminja tok ko povečujemo frekvenco v električnem krogu na sliki 2c?

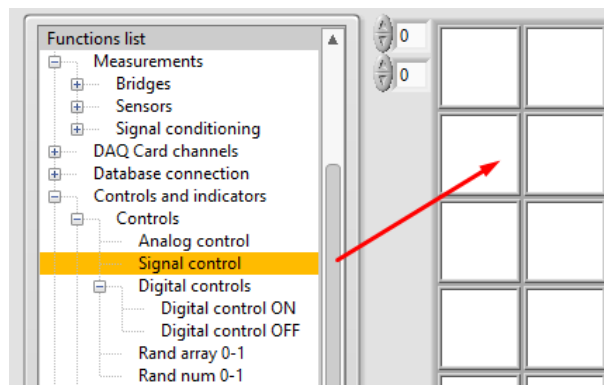
## 5.2 Primerjava rezultatov

Vrednosti za frekvenco in impedanco vpišete v platformo Corela in pošljete na izobraževalno platformo v skladu s postopkom, opisanim v 4. točki priročnika.

## 6. Zapis in pošiljanja podatkov na izobraževalno platformo

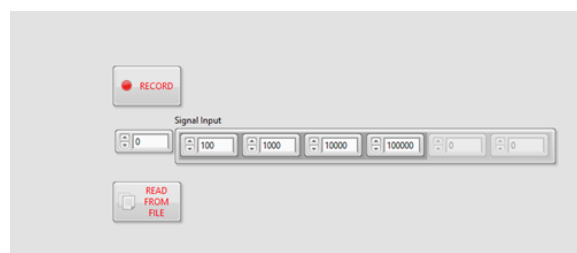
**Korak 1:** Vpišite podatek in ga shranite

S seznama funkcij iz "Povezave z bazo podatkov (Database connection)" izberemo funkcijo "Nadzor signala (Signal control)" in z levim klikom miške na prazno polje na namizju nastavimo funkcijo.



Slika 4.1: Nastavitev funkcije "Nadzor signala (Signal Control)"

Odpre se pojavno okno, kjer vnesemo vrednosti frekvence v obliki matrice (slika 4.2).

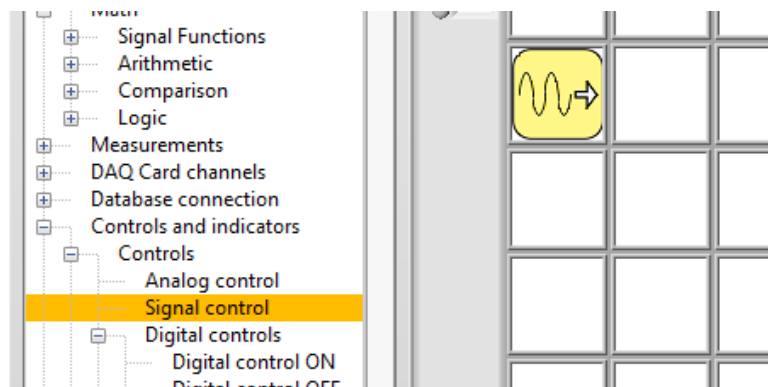


Slika 4.2: Vnos podatkov





Podatke shranimo s pritiskom na gumb "Record" (Slika 4.2).

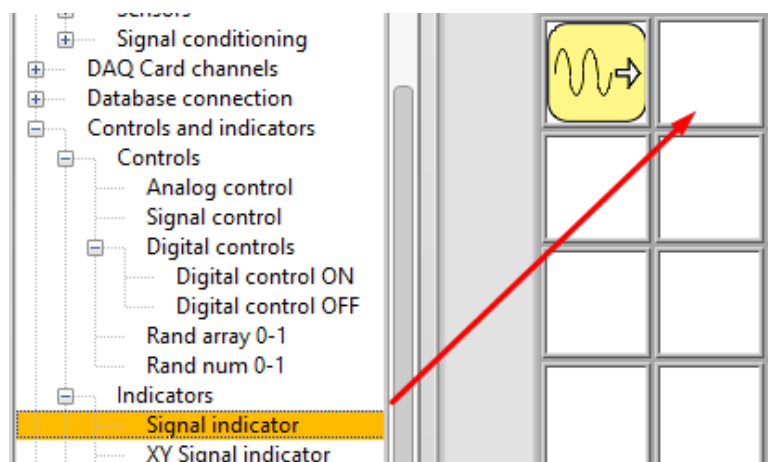


Slika 4.3: Izgled zaslona po zajemu podatkov

#### Korak 2: Pregled shranjenih podatkov

Z nastavitvijo funkcije "Signal indikator" lahko v polju desno poleg funkcije "Signal Control" (slika 4.4) dostopate do podatkov, vnesenih na platformi CORELA.

Z nastavitvijo funkcije "Signal indikator" lahko v polju desno poleg funkcije "Signal Control" (slika 4.4) dostopate do podatkov, vnesenih na platformi CORELA.



Slika 4.4: Nastavitev funkcije "Signal indikator"

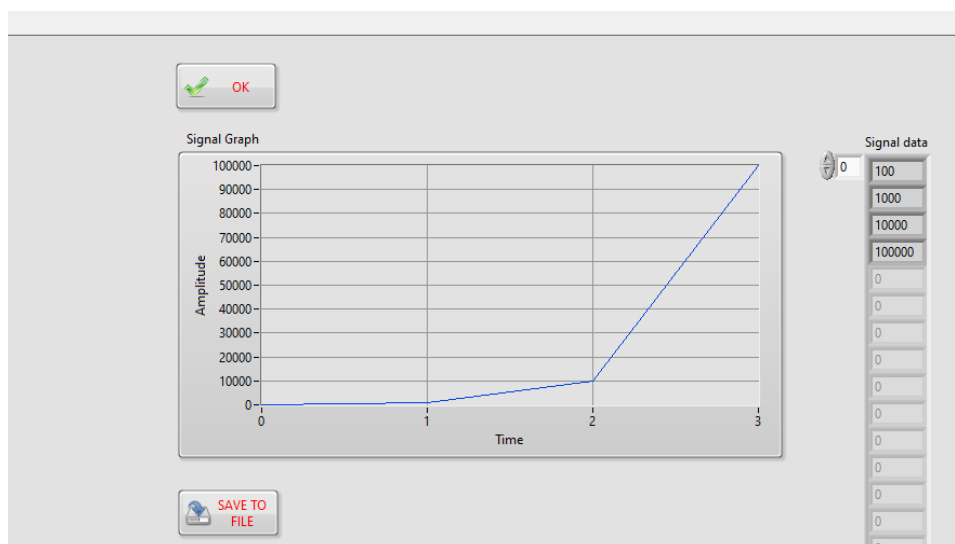
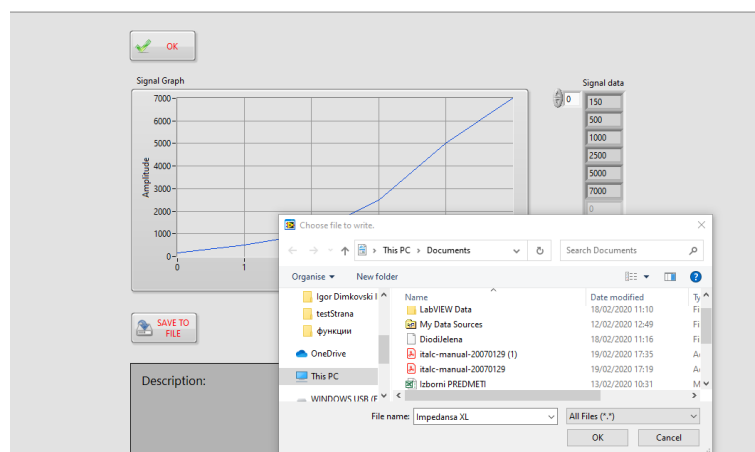


Figure 4.5: Grafični prikaz vnesenih vrednosti frekvence

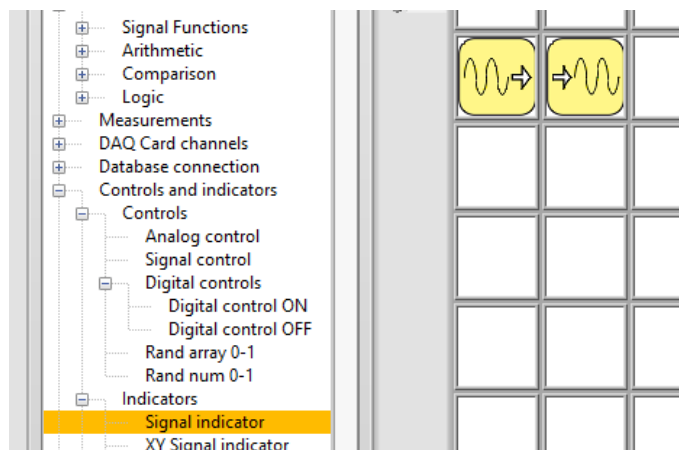
### Korak 3: Posnete podatke shranite v dokument

Izbira izhodne funkcije "Signal Indicator" in pritisk na gumb "SHRANI V DATOTEKO" rezultate zapiše v ločen dokument, ki ga je mogoče nadalje uporabiti za primerjavo in obdelavo (Slika 4.6).



Slika 4.6: Rezultate zapišite v ločen dokument

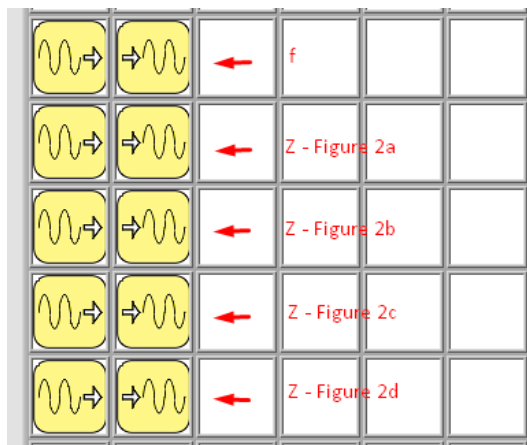
Nato pritisnite gumb »OK« in se vrnite na namizje (slika 4.7).



Slika 4.7: Namizje po nastavitvi funkcije "Indikator signala (Signal indicator)"

**Korak 4 : Vnesite podatke o impedanci**

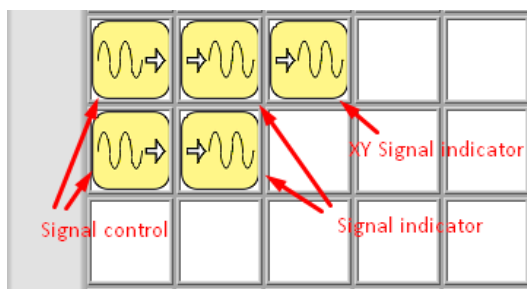
Postopek ponovite za vnos izračunanih vrednosti impedanc. Z nastavitvijo novih funkcij "Signal control" in "Signal indicator" na namizju platforma Corela beleži in pregleduje podatke o impedanci za vsa štiri električna vezja iz naloge (slika 4.8).



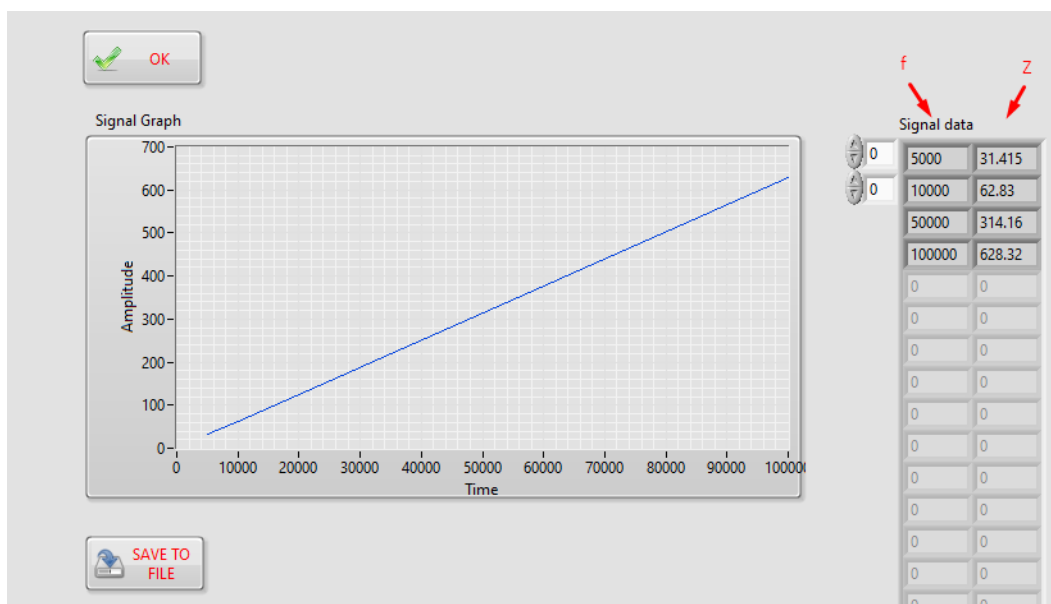
Sliak 4.8: Prikaz vnosa podatkov naloge platforme CORELA

**Korak 5: Grafični prikaz odvisnosti impedance od spremembe frekvence (neobvezno)**

Za grafični prikaz odvisnosti ene od impedanc od frekvence je treba vnesti podatke tako o frekvenci kot o impedanci, nato pa nastaviti funkcijo indikatorja signala XY (slika 4.9).



Slika 4.9: Zaporedje funkcij za grafični prikaz odvisnosti med dvema veličinama



Slika 4.10: Grafični prikaz odvisnosti impedance od frekvence za električni tokokrog z idealno tuljavo

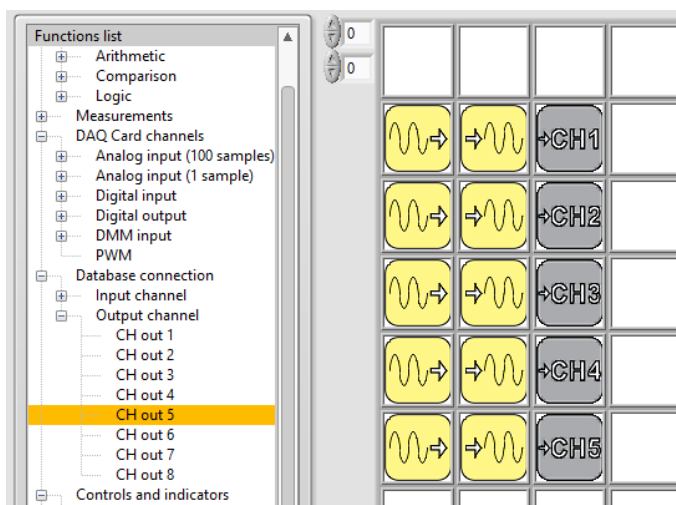
#### Korak 6: Pošiljanje podatkov na izobraževalno platformo

Pošiljanje podatkov na izobraževalno platformo (Moodle) poteka s funkcijo "Povezava z bazo podatkov (Database connection)" (slika 4.11), tako da izberete izhodne kanale iz "Izhodnega kanala (Output channel)". Če želite poslati podatke o frekvenci, izberite CH out 1.



Slika 4.11: Pošiljanje podatkov na izobraževalno platformo

Podatki o impedanci iz vseh štirih vrst električnih vezij v nalogi se pošljejo na izobraževalno platformo prek preostalih izhodnih kanalov (CH out2, CH out3, ...).



Slika 4.12: Zaslón po pošiljanju rezultatov na izobraževalni platformi



Po opravljeni nalogi vstopite v „klepetalnico (chat room)“.

**Med seboj primerjajte rezultate pridobljene na tri načine:**

1. Izračunana vrednost (dijak 1)
2. Vrednost pridobljena s simulacijo (dijak 2)
3. Vrednost pridobljena z merjenjem (dijak 3)

**Video material:**

[https://youtu.be/sW\\_nFX7Ka-k](https://youtu.be/sW_nFX7Ka-k)

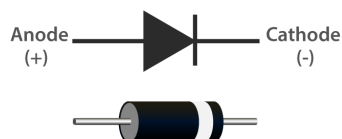


## IV. Statična $I$ - $U$ karakteristika usmerniške diode

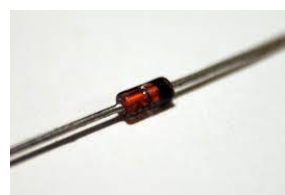
Merjenje statične tokovno-napetostne karakteristike usmerniške diode.

### 1. Uvod

Diode so elektronski polprevodniški elementi z enim PN – spojem in dvema priključkoma: anodo in katodo.

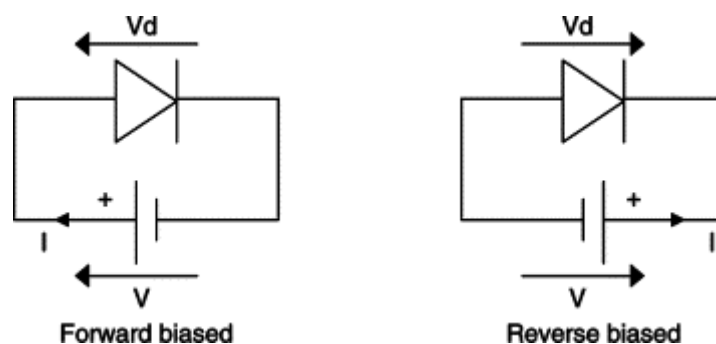


Slika 1.1: Simbol diode



Slika 1.2: Dioda

Odvisno od tega, ali ima anoda večji ali nižji potencial kot katoda, je dioda lahko polarizirana v prevodni ali zaporni smeri.



Slika 1.3: Dioda polarizirana v prevodni in zaporni smeri

Vrednost diodnega toka lahko izračunamo z naslednjimi enačbami:

$$i_D = I_s \left[ e^{\frac{v_d}{nV_T}} - 1 \right]$$

$$V_T = \frac{kT}{q} \approx 26mV$$

$$i_D \approx I_s e^{\frac{v_d}{nV_T}}$$

$I_D$  in  $V_D$  sta tok in napetost diode.  $I_s$  je inverzni nasičeni tok diode v območju  $10^{-12}$  A.  $n$  je 1 za germanijevo diodo, za silicijevo diodo pa je  $n$  enak 2.  $V_T$  je ekvivalent napetosti za temperaturo.

Graf diodnega toka in napetosti je prikaz odvisnosti toka od napetosti tako za diodo polarizirano v prevodni smeri kot za diodo polarizirano v zaporni smeri.



Slika 1.4 prikazuje statično tokovno-napetostno karakteristiko diode 1N4001.

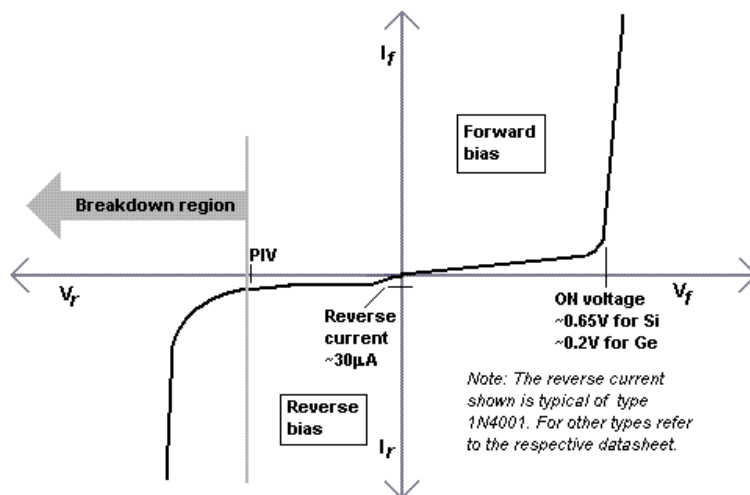


Figure 1.4: Statična I-U karakteristika diode 1N4001

## 2. Teoretični del naloge (vsi dijaki)

Na grafu statičnih karakteristik diode označite značilne parametre in razložite izraze:

- mejna napetost  $U_T$  (preklopna napetost),
- tok nasičenja diode in
- prebojna napetost diode v zaporni smeri  $U_{BR}$ .

## 3. Izračun vrednosti toka diode 1N4001 glede na napetost (dijak 1)

S pomočjo vezja, prikazanega na sliki 2.1, zapišite značilnost statične I-U karakteristike diode v primeru:

- A) polarizirane diode v prevodni smeri (kratek stik v položaju ks1),
- B) polarizirane diode v zaporni smeri (short circuit at position ks2),

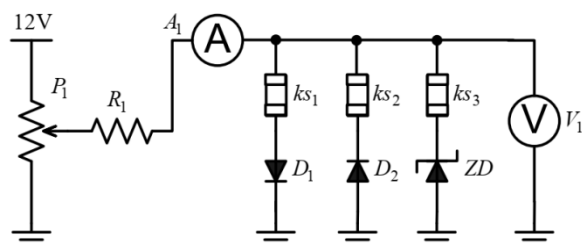


Figure 2.1: Električni krog za merjenje statične I-U karakteristike diode

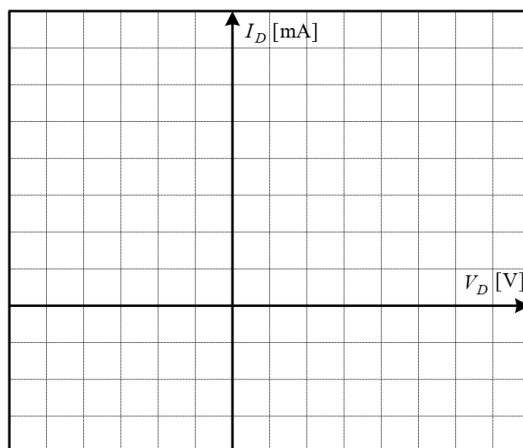


V Tabela 1 vnesite izračunane vrednosti toka, pri različnih vrednostih napajalne napetosti v primeru diode polarizirane v prevodni smeri.

$V_d$ [V]	0.30	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.7
$I_d$ [mA]								

Tabela 3.1: Tok diode polarizirane v prevodni smeri

Grafično predstavite izračunane vrednosti priloženem koordinatnem sistemu na sliki 3.1.1 in skicirajte karakteristiko trenutne napetosti za diodo polarizirano v prevodni in zaporni smeri.



Slika 3.1.1: I-U karakteristika diode 1N4001

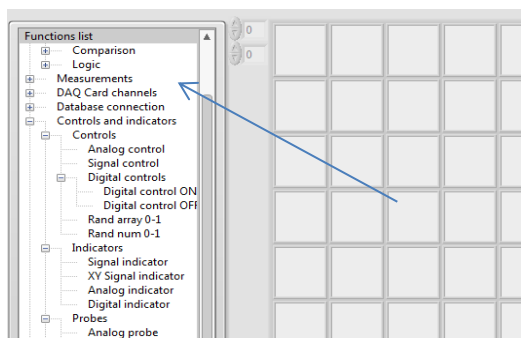
Na grafu označite vrednost mejne napetosti  $U_T$  in prebojne napetosti v zaporni smeri  $U_{BR}$ .

$$U_T = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$U_{invp} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Zapišite privzete vrednosti za napetost  $V_d$  in izračunane vrednosti za trenutni  $I_d$  na platformi Moodle. V ta namen se morate prijaviti na platformo CORELA.

Z izbiro funkcije "Signal control" iz menija na levi strani izobraževalne platforme kot je prikazano na slikah 3.1.2 A in 3.1.2 B, rezultate vnesete kot niz vrednosti, prikazanih na sliki 3.1.3, ena matrika za  $V_d$  in druga za  $I_d$ .

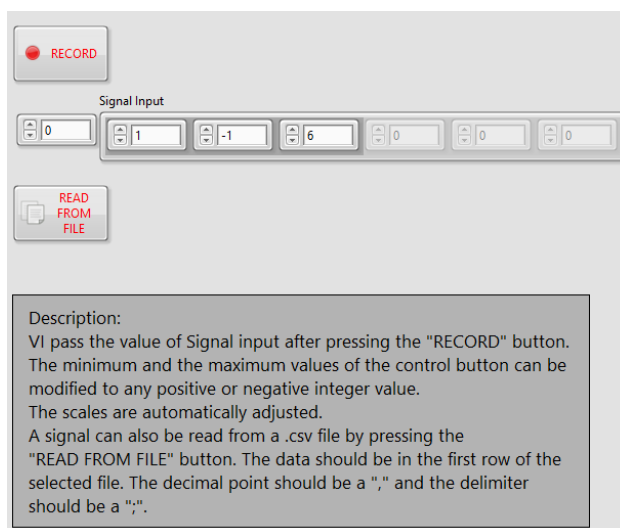


Slika 3.1.2 A



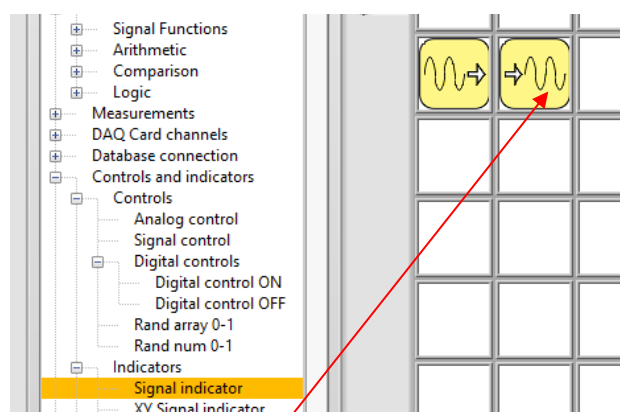
Slika 3.1.2 B





Slika 3.1.3: Vnos podatkov kot niza vrednosti

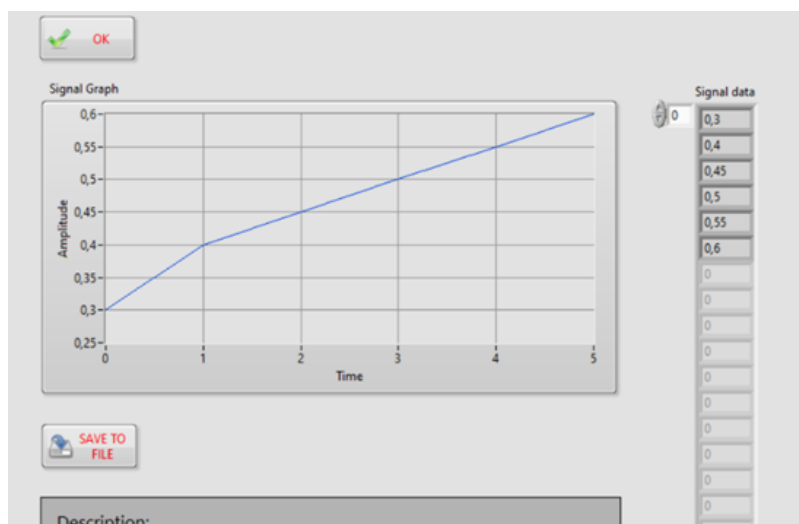
Z nastavitvijo funkcije "Signal indicator" lahko v polju desno poleg funkcije "Signal Control" dostopate do vnesenih podatkov na platformi CORELA. Odpre se pojavno okno z grafičnim prikazom vnesenih vrednosti napetosti, to je toka skozi diodo.



Slika 3.1.4: Dostop do podatkov vnešenih s funkcijo "Signal indicator"

Funkcija "Signal indicator" omogoča grafični prikaz vnesenih podatkov kot časovno funkcijo, slika 3.1.5.

**Pozor: Grafični prikaz podatkov s funkcijo "Signal indicator" se ne nanašajo an to vajo!**



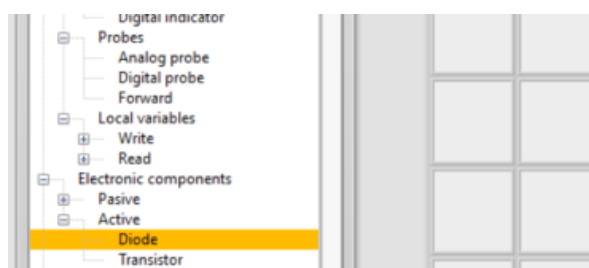
Slika 3.1.5: Prikaz vnesenih podatkov s funkcijo "Signal indicator"

- Iz izobraževalne platforme narišite trenutno napetostno karakteristiko diode s pomočjo funkcije indikatorja signala XY, kot je opisano v poglavju 3.2.
- Da bodo rezultati vidni drugim uporabnikom, jih je treba postaviti na izobraževalno platformo. To dosežemo s pomočjo povezave z bazo podatkov "Database connection" → "Output channel" → CH out x, kjer je x- eden od izhodnih kanalov.
- Pojasnite odvisnost toka od napetosti diode polarizirane v prevodni in zaporni smeri.

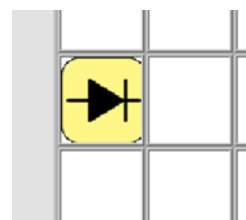
#### 4. Simulacija merjenja statične karakteristike diode z uporabo funkcij, implementiranih v platformi CORELA (dijak 2)

Prijavite se z dodeljenim uporabniškim imenom in številko ID in izberite številko vaje, ki jo želite izvesti.

Iz seznama funkcij "Function List" izberite → "Electronic components" → "Active", aktivirajte funkcijo "Diode" Slika 3.2.1A in jo z levim klikom miške postavite v polje na namizju platforme, kot je prikazano na sliki 3.2.1 B.



Slika 3.2.1 A

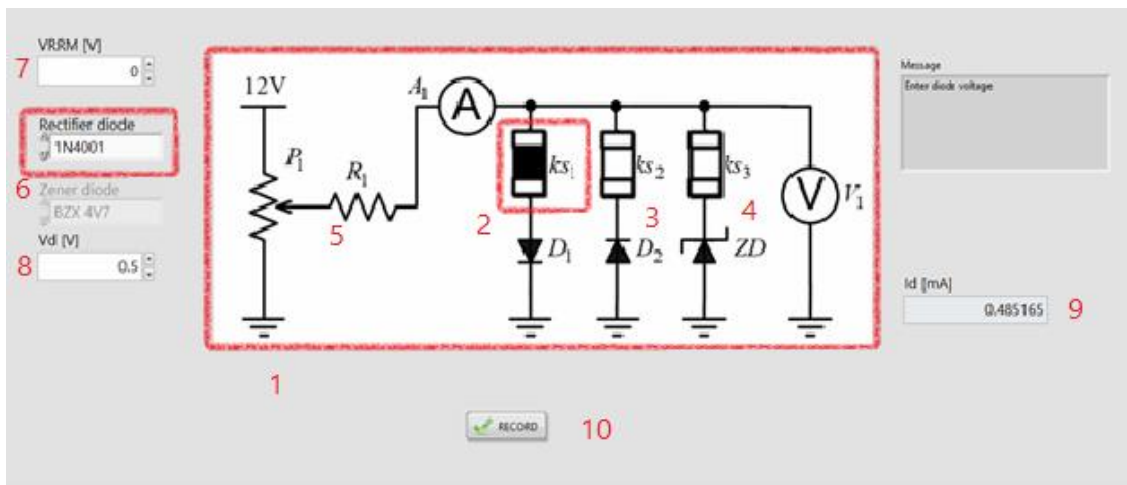


Slika 3.2.1 B

Slika 3.2.1: Oznaka diode nameščena na namizju



Komponente funkcije "Diode" so prikazani na sliki 3.2.2.



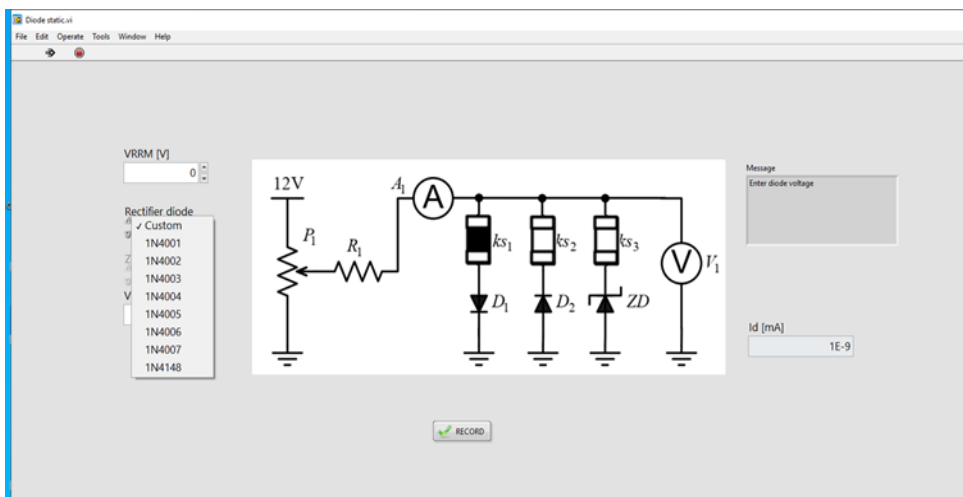
Slika 3.2.2: Komponente funkcije "Diode"

Opis komponent funkcije "Diode":

1. električni tokokrog za preizkušanje karakteristik tokovne napetosti diode
2. stikalo ks1 za polarizacijo diode v prevodni smeri
3. stikalo ks2 za polarizacijo diode v zaporni smeri
4. stikalo ks3, za konfiguracijo Zener diode
5. upor z upornostjo  $R_1 = 470 \Omega$
6. dioda usmernika - polje za izbiro vrste diode
7. polje za določanje napetosti (samo, če je izbira diode "Custom type"). V drugih primerih izberite vrednost iz kataloga v Prilogi 1 glede na vrsto diode.
8. polje za vnos napetostnih vrednosti  $V_d$
9. polje za branje trenutnih vrednosti  $I_d$
10. gumb za snemanje, ko kliknete nanj, je simulacija končana.

Potek vaje:

- Z nastavitvijo funkcije "Diode" se na namizju odpre okno, kot je prikazano na sliki 3.2.2.
- Z izbiro enega od stikal ks izberete konfiguracijo vezja, torej vrsto polarizacije diode. Z izbiro stikala ks1 se izmeri tok, odvisno od napetosti polarizirane diode.
- Izberite vrsto diode; za to vajo gre za diodo 1N4001 (slika 3.2.3).



Slika 3.2.3: Izbira vrste diode za snemanje statičnih karakteristike polarizirane diode

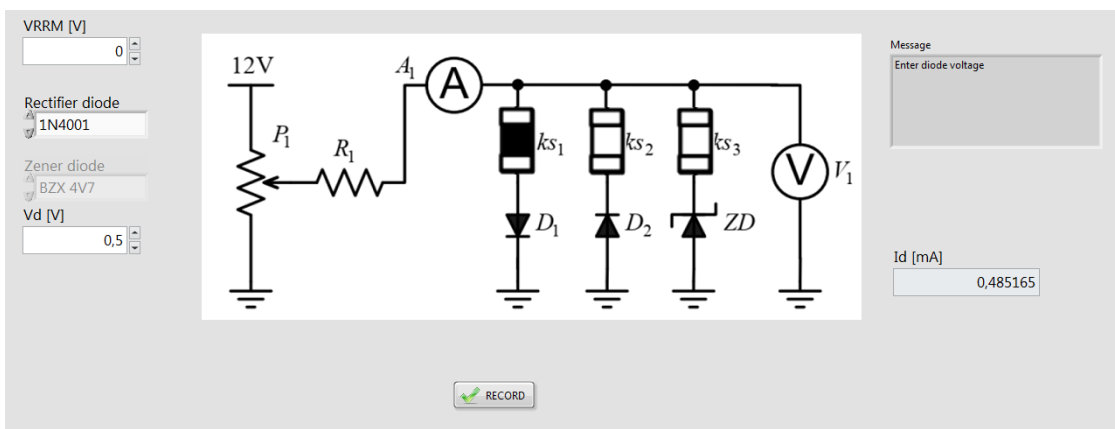
- V skladu s katalogom v Dodatku 1 je določena  $V_{rrm}$  diode.
- Vrednosti  $V_d$  so določene v tabeli 3.2.1.

$V_d$ [V]	0.30	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
$I_d$ [mA]						

Tabela 3.2.1: Vrednosti  $I_d$ , pridobljene glede na  $V_d$ , za diodo polarizirano v prevodni smeri

**Pozor:** Pri napetosti 0,7 V dioda prebije.

- Za vsako vrednost napetosti  $V_d$ , s pritiskom na RECORD dobimo vrednost trenutnega  $I_d$ . Dobljene rezultate za trenutni  $I_d$  bomo prebrali na zaslonu (slika 3.2.4) in bo vpisan v tabelo 3.2.1.



Slika 3.2.4: Simulacija trenutne meritve tokovno-napetostne karakteristike diode polarizirane v prevodni smeri

Enak postopek se uporablja za diodo polarizirano v zaporni smeri z izbiro ks 2. Vnesite trenutne vrednosti diode v tabelo 3.2.2.



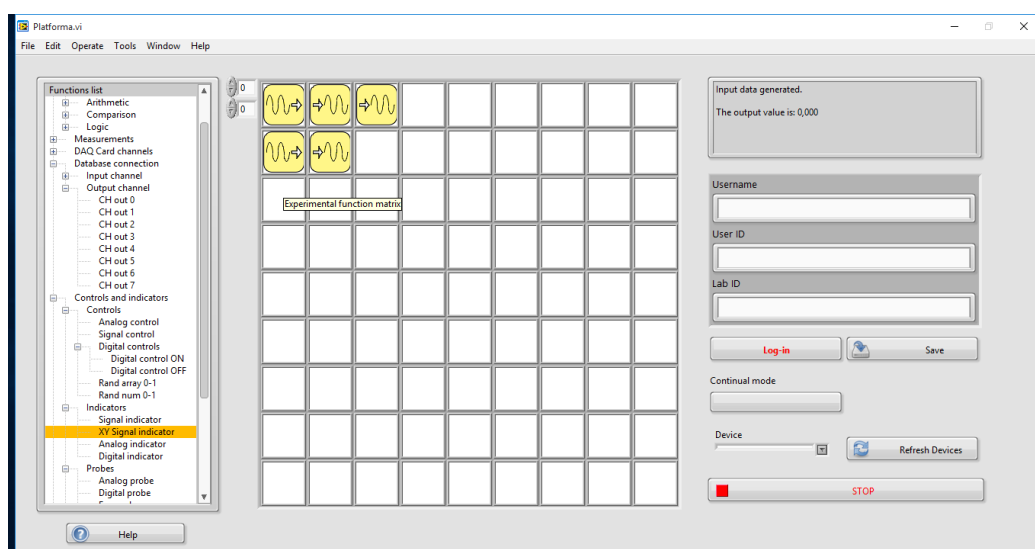
$V_d$ [V]	-2	-4	-6	-8	-10
$I_d$ [ $\mu$ A]					

Tabela 3.2.2: Vrednosti  $I_d$ , pridobljene glede na  $V_d$ , za diodo polarizirano v zaporni smeri

**Naloga:** Trenutno odvisnost od napetosti diode, tj. napetostno-karakteristično značilnost diode, predstavite z **2D grafom!**

To dosežete v naslednjem vrstnem redu:

- Z izbiro funkcije "Signal Control" (slika 3.2.5) se odpre okno, kjer so zapisane vrednosti napetosti  $V_d$  (slika 3.2.6).
- S pomočjo funkcije "Signal Indicator", ki je nameščena na namizju poleg "Signal Control" (slika 3.2.5) dostopate do vnesenih podatkov na platformi Corela. Postopek ponovimo za vrednosti diodnega toka, sliki 3.2.5 in 3.2.7
- Z izbiro funkcije "XY- Signal indicator" in njegovo namestitvijo na delovno površino (slika 3.2.5) se na zaslonu prikaže kakšna je odvisnost med tokom in napetostjo (slika 3.2.8).



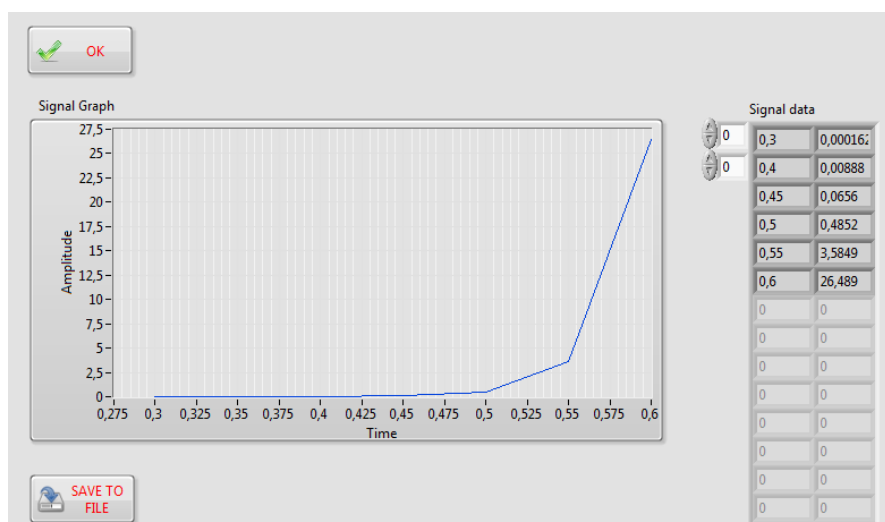
Slika 3.2.5: Izbira "XY - Signal indicator"



Slika 3.2.6: Vnašanje vrednosti za  $V_d$



Slika 3.2.7: Vnašanje vrednosti za  $I_d$



Slika 3.2.8: I-U karakteristika prikazana na 2D grafu s funkcijo "XY Signal indicator"

**Naloga:** V dobljenem grafu določite prag prevodnosti diode, prebojno napetost in inverzno napetost preboja diode.

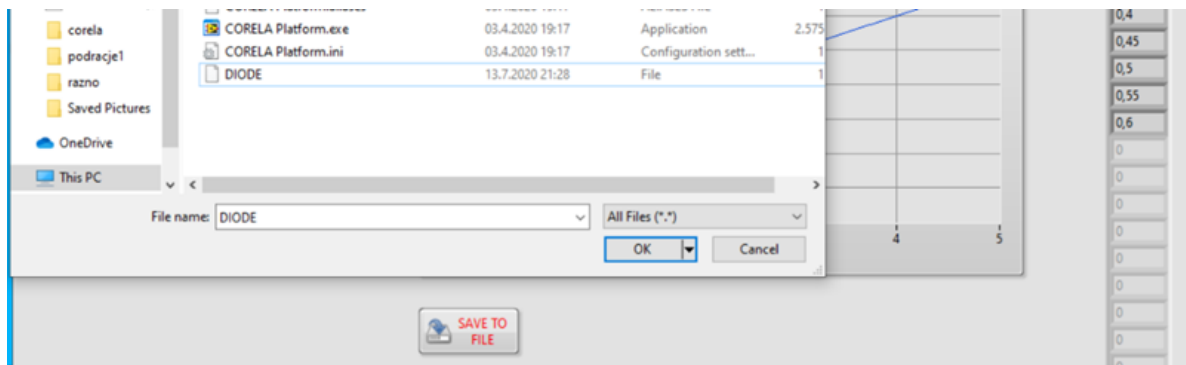
Podatke je mogoče prenesti na izobraževalno platformo s pomočjo funkcije "Database connection" (slika 3.2.9) z izbiro izhodnih kanalov iz "Output channel".



Slika 3.2.9: Prenos izmerjenih vrednosti na izobraževalno platformo

**Pozor:** Vsaka skupina dijakov naj za svoje podatke uporablja različne kanale. Platforma ponuja 8 vhodnih in 8 izhodnih kanalov.

Na sliki 3.2.10. vidimo kako z izbiro izhodne funkcije "Signal Indicator" in gumba "SAVE TO FILE" lahko rezultate zapišemo v dokument in jih nato uporabimo za primerjavo in obdelavo.



Slika 3.2.10: Snemanje rezultatov v dokumentu

S pritiskom na gumb "OK" se vrnete na namizje.

## 5. Praktična izvedba in merjenje (dijak 3)

Pripomočki potrebni za praktično izvedbo vaje:

- Upor  $R_1 = 470 \Omega$
- Dioda 1N4001
- Nastavljivi enosmerni napajalnik, slika 3.3.1
- Kartica za zajem podatkov NI myDAQ, Slika 3.3.2
- Digitalni multimeter

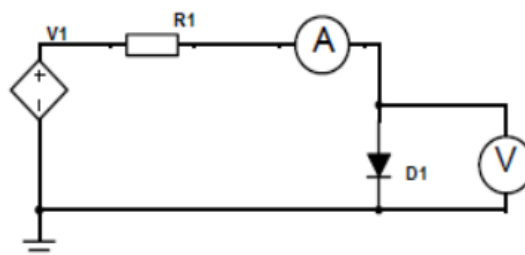


Slika 3.3.1: Nastavljivi enosmerni napajalnik

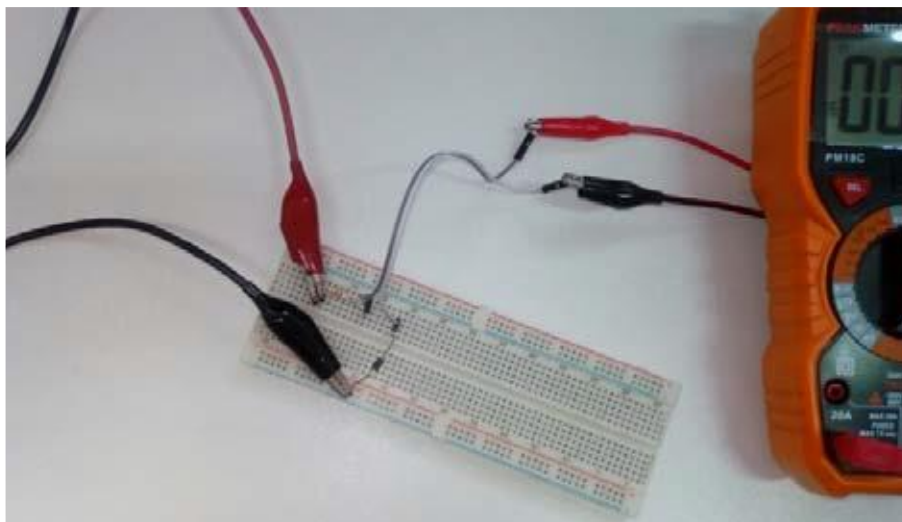


Slika 3.3.2: NI myDAQ naprava

Priključite električni tokokrog v skladu s shemo, prikazano na sliki 3.3.3.

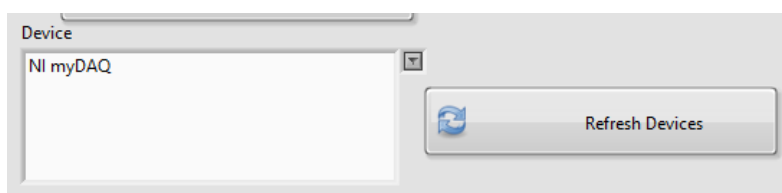


Slika 3.3.3: Shema električnega vezja



Slika 3.3.4: Električno vezje za praktično izvedbo vaje

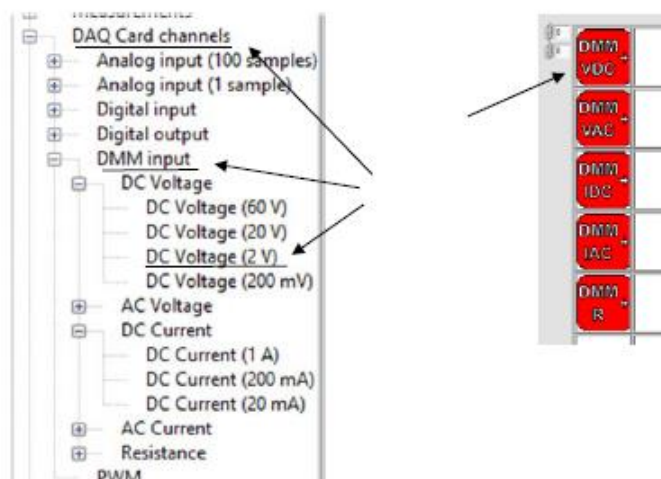
1. Priključite napajanje z enosmernim tokom v skladu z električnim tokokrogom na sliki 3.3.3.  
*Pozor: Bodite previdni pri polariteti sponk enosmernega napajanja. Na pozitivni pol je vezana rdeči vodnik in je priključen na upor  $R_1$ , na negativni pol je vezan črn vodnik, ki je priključen na GND.*
2. Digitalni multimeter, ki se uporablja kot ampermeter, je povezan zaporedno z elementi vezja. Uporablja se za merjenje toka skozi diodo: slika 3.3.3 in slika 3.3.4.
3. Z uporabo platforme Corela se napetost na diodnih sponkah meri z voltmetrom z zajemno kartico NI myDAQ. Njegovi priključki so nastavljeni vzporedno z diodo, na mestu, označenem za voltmeter V. Funkcije "DMM input" se uporabljajo za merjenje napetosti - enosmerna napetost z vhoda DMM, slika 3.3.6.
4. Ko naredite vse potrebne povezave elementov in naprav in ko vklopite naprave, se prijavite na platformo Corela. V izbirnem oknu zunanje naprave "Device window" izberite kartico NI myDAQ (slika 3.3.5). Če se v oknu ne prikaže nobena naprava, pritisnite nadzorni gumb "Refresh Devices".



Slika 3.3.5: Izbira kartice za zajem podatkov

Če želite izmeriti napetost diode skozi zajemno kartico, morate aktivirati funkcijo kanalov DAQ Card. Na seznamu funkcij "DMM input" izberite DC napetost z merilnim območjem 2V, slika 3.3.6.



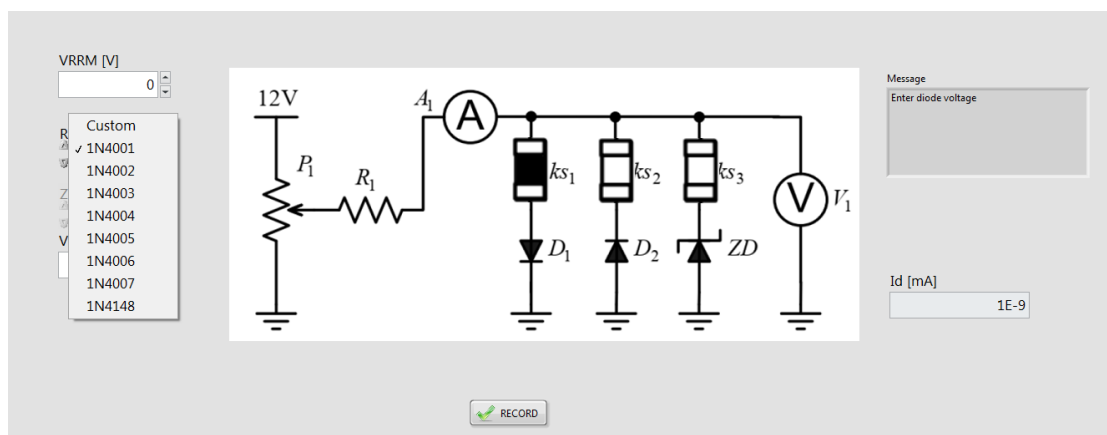


Slika 3.3.6: "DMM input" Videz ikone v izbranem polju

**Pozor:** Uporabite ustrezne priključne sponke kartice za zajem NI myDAQ. Bodite previdni pri njihovi polariteti, povezavi in merilnem območju.

Ko ste sestavili električni tokokrog, nadaljujte z merjenjem toka, ki teče skozi diodo. Sledite navodilom za merjenje toka:

5. Aktivirajte zavihek "Diode" navideznega instrumenta. Prikaže se naslednja sprednja plošča:



Slika.3.3.7: Sprednja plošča, če je iz navideznega instrumenta izbran zavihek "Diode"

6. S spreminjanjem napetosti enosmernega napajanja vhodno napetost  $V_d$  prilagajajte vrednostim iz tabele 3.1 in izmerite rezultate z virtualnim instrumentom.

The measured voltage value is read from the message box by setting the "Forward" function to desktop, next to the digital voltmeter, Figure 3.3.8.

Izmerjeno vrednost napetosti preberete iz okna za sporočila tako, da funkcijo "Forward" namestite poleg namizja digitalnega voltmetra, slika 3.3.8.

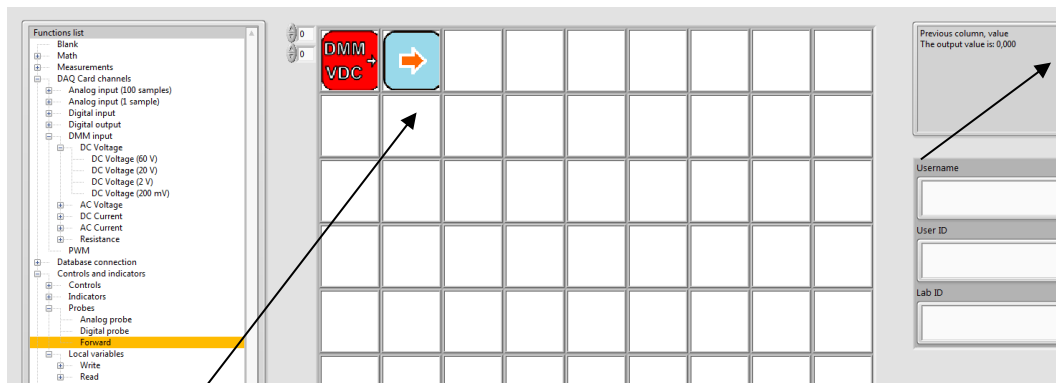
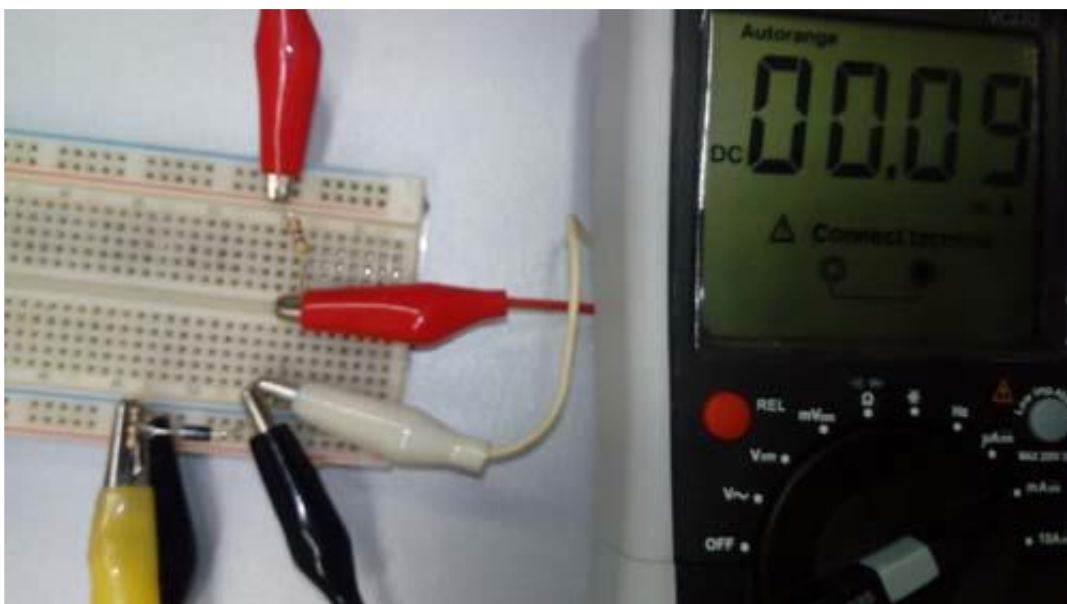


Figure 3.3.8: Odčitavanje izmerjene vrednosti napetosti iz okenca za sporočila

Izmerite vrednost diodnega toka  $I_d$  z digitalnim multimetrom, ki se uporablja kot ampermetrom (slika 3.3.9) in ga zapišite v tabelo 3.1.



Slika 3.3.9: Merjenje diodnega toka z digitalnim multimetrom / ampermetrom

$V_d$ [V]	0.30	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60
$I_d$ [mA]						

Tabela 3.1 Trenutne vrednosti za diodo polarizirano v prevodni smeri

8. Koraki 5, 6 in 7 se ponovijo za vsako od danih napetostnih vrednosti  $V_d$  v tabeli 3.1.

9. Primerjajte rezultate izvedenih meritev diodnega toka s teoretičnimi izračuni iz 1. dela in simulacijami iz 2. dela vaje!

Zgoraj opisani postopek ponovite za diodo polarizirano v zaporni smeri, ko je stikalo ks2 iz električnega vezja na sliki 2.1 zaprto. Vrednosti trenutnega  $I_d$  za dane napetostne vrednosti  $V_d$  so zapisane v tabeli 3.2.



$V_d$ [V]	-2	-4	-6	-8	-10
$I_d$ [ $\mu$ A]					

Table 3.2 Trenutne vrednosti za diodo polarizirano v zaporni smeri

10. Pošljite izmerjene podatke na izobraževalno platformo!

11. S pomočjo funkcije "XY Signal Indicator" z izobraževalne platforme narišite  $I$ - $U$  karakteristiko diode.

**Vprašanja:**

**Vprašanje 1:** Ali je izmerjena tokovno-napetostna karakteristika diode enaka vrednostim pridobljenim v simulaciji?

**Vprašanje 2:** Če tokovno-napetostna karakteristika diode nista enaki, kaj je razlog za to?

**Vprašanje 3:** Kako lahko dosežemo, da so izmerjene in simulirane tokovno-napetostne karakteristike diode med seboj čim bolj enake?

**Vprašanje 4:** Na katere težave in probleme ste naleteli med izvajanjem te vaje?

**Video material:**

<https://www.youtube.com/watch?v=nSKkV7USLFA&feature=youtu.be>



## Dodatek 1: Kataloške vrednosti za diode, uporabljene na platformi

Table 1: Diodes

Symbol	$U_{RRM}$ [V]	$I_{FAV}$ [A]	$I_{FSM}$ [A]	$U_F$ [V] at $I_{FAV}$ , $T = 25^\circ\text{C}$	$I_R$ [ $\mu\text{A}$ ] at $U_{RRM}$ , $T = 25^\circ\text{C}$
1N4001	50	1	30	1	5
1N4002	100	1	30	1	5
1N4003	200	1	30	1	5
1N4004	400	1	30	1	5
1N4005	600	1	30	1	5
1N4006	800	1	30	1	5
1N4007	1000	1	30	1	5
1N4148	100	0,15	2	75	$0,025/U_R=20\text{V}$
custom					

Table 2: Zener diodes

Symbol	$U_z$ [V] min	$U_z$ [V] max	$I_z$ [mA]	$I_{zmax}$ [mA]	$r_z(\text{max})$ [ $\Omega$ ]
BZX 4V7	4,4	5,0	45	215	13
BZX 5V6	5,2	6,0	45	190	7,0
BZX 6V8	6,4	7,2	35	155	3,5
BZX 7V5	7,0	7,9	35	140	3,0
BZX 8V2	7,7	8,7	25	130	5,0
BZX 9V1	8,5	9,6	25	120	5,0
BZX 10V	9,4	10,6	25	105	7,5
BZX 11V	10,4	11,6	20	97	8,0
BZX 12V	11,4	12,7	20	88	9,0
BZX 13V	12,4	14,1	20	79	10,0
BZX 15V	13,8	15,6	15	71	15,0
BZX 18V	16,8	19,1	15	62	20,0
BZX 20V	18,8	21,2	10	56	24,0
BZX 22V	20,8	23,3	10	52	25,0
BZX 24V	22,8	25,6	10	47	25,0
BZX 27V	25,1	28,9	8	41	30,0
BZX 30V	28,0	32,0	8	36	30,0



## V. Logične funkcije

Dragi dijaki.

Na začetku reševanja teoretičnih nalog in pred praktičnim delom natančno preberite navodila. Upoštevajte navodila in nasvete glede zdravja in varnosti pri delu.

### 1. Teoretične naloge (vsi dijaki)

#### 1.1 Realizacija logične funkcije

1.1.1 Naprava mora začeti delovati, ko se hkrati aktivirata senzor A in senzor B ali če je senzor C deaktiviran.

a) Zapišite ustrezno logično funkcijo.

Y =

REŠITEV:

$$Y = (A \cdot B) + \bar{C}$$

b) Izpolnite pravilnostno tabelo logične funkcije.

Pravilnostna tabela:

REŠITEV:

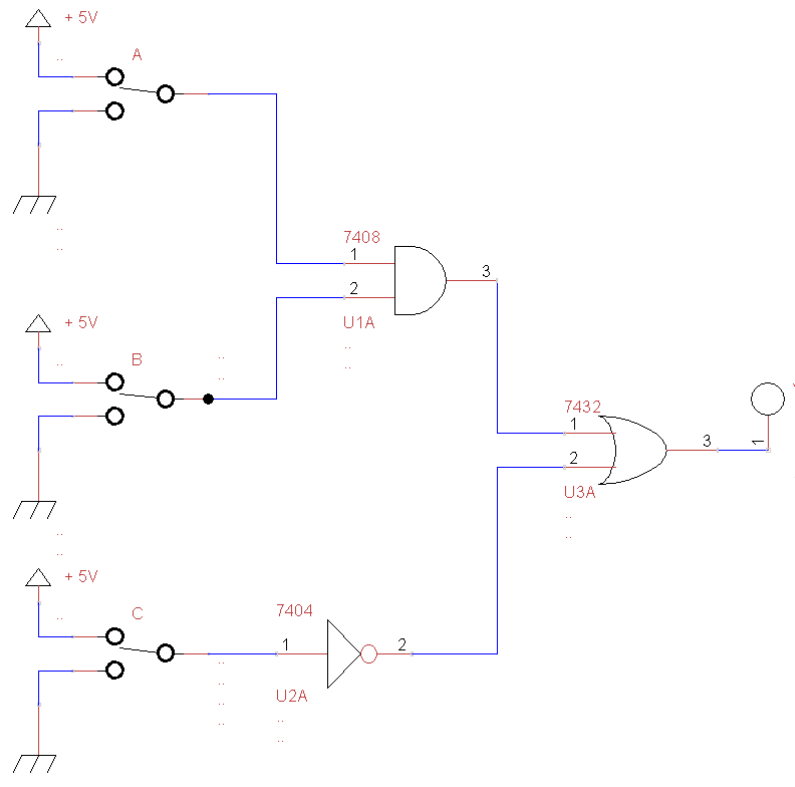
A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

c) S programskim okoljem TinyCAD narišite shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja.

Izvedite simulacijo logične funkcije in elektronskega vezja s programskim okoljem TinkerCad.

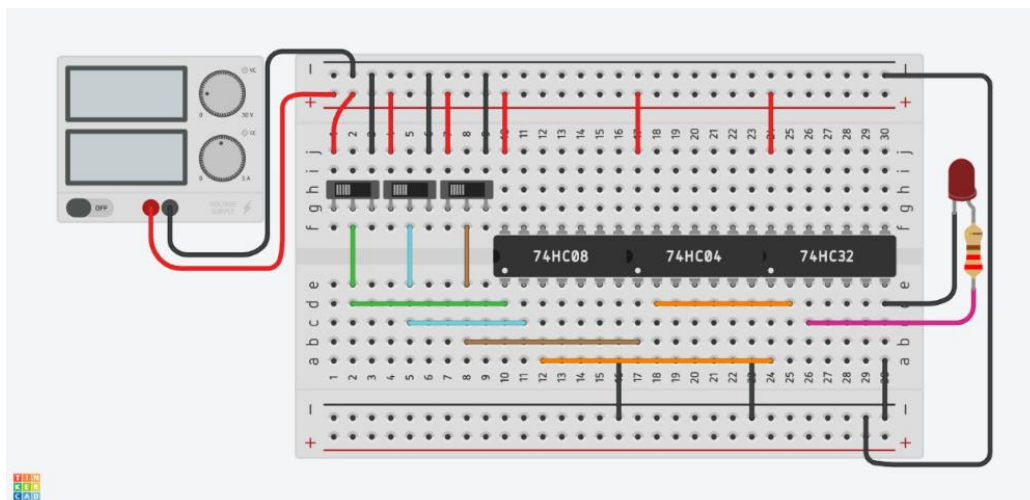
Koliko čipov ste uporabili? Katere vrste čipov ste uporabili?

c) REŠITEV: 3 vrste čipov, 7432, 7408, 7404



Slika 1.1.1: Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja.

Slika



1.1.2: Shema električnega vezja v simulatorju Tinkercad.

1.1.2 Pretvorite logično funkcijo v obliko z NAND vrati.

*Nasvet: Uporabite dvojno negacijo in De Morganov izrek.*

$$Y = \overline{A + B} = \overline{A} * \overline{B}$$

De Morganov izrek

a)

REŠITEV:

$$Y = \overline{\overline{AB} + \overline{C}} = \overline{\overline{AB} * \overline{C}} = \overline{\overline{AB} * C}$$

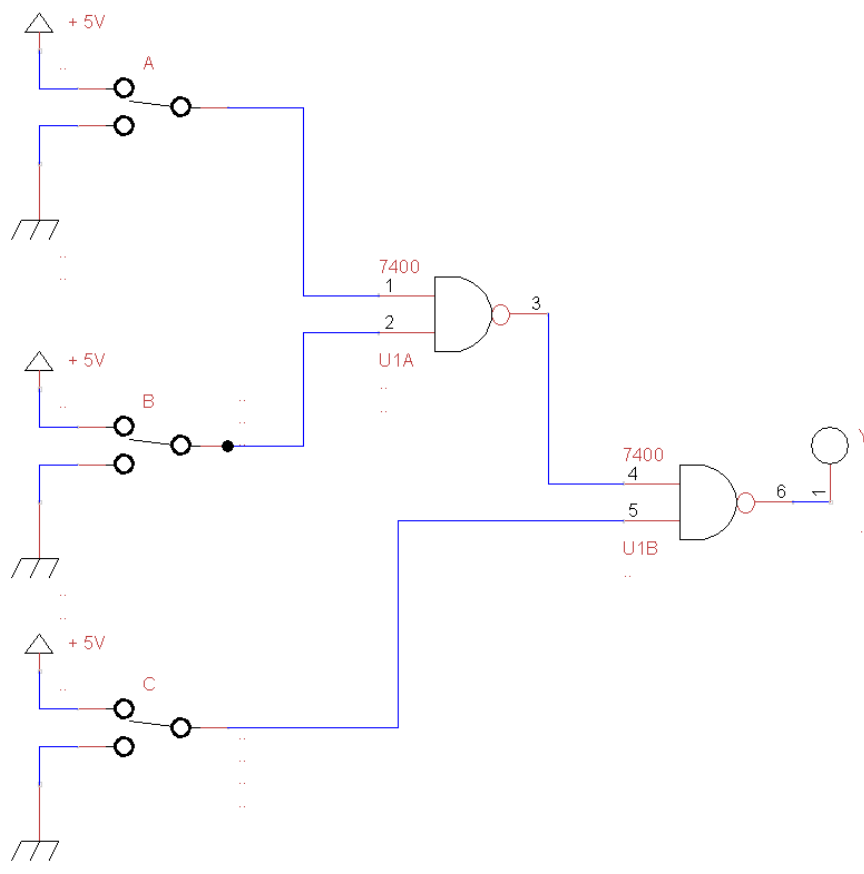


b) S programskim okoljem TinyCAD narišite shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki.

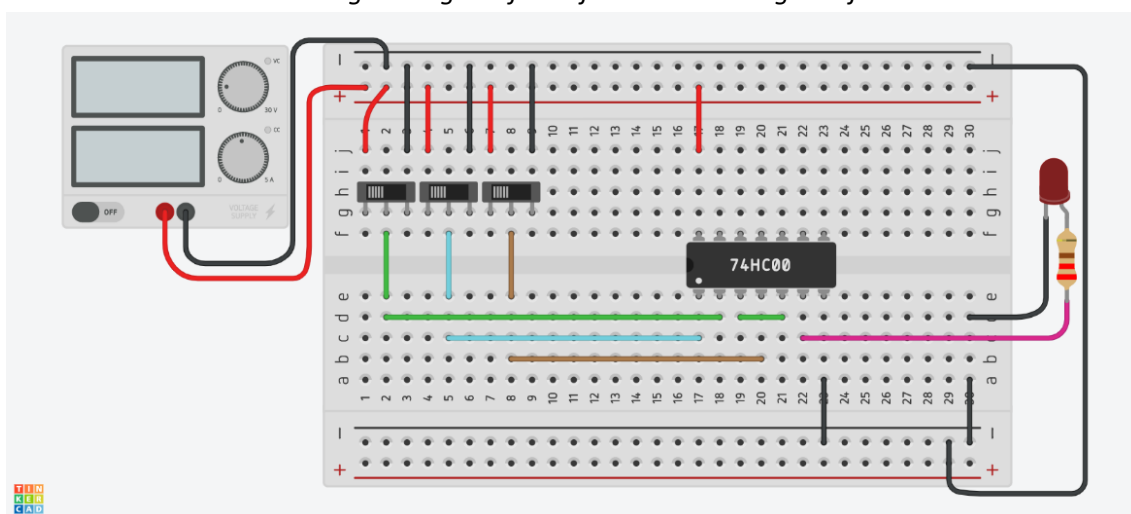
Izvedite simulacijo logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki s programskim okoljem TinkerCad.

Koliko čipov ste uporabili? Katere vrste čipov ste uporabili?

b) REŠITEV: 1 čip, 7400



Slika 1.1.3: Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki.



Slika 1.1.4: Shema električnega vezja v simulatorju Tinkercad.



## 1.2 Realizacija logične funkcije z NAND vrati

### 1.2.1 Logična funkcija je opisana z naslednjo enačbo:

$$Y = \bar{A}B + C$$

Izpolnite pravilnostno tabelo logične funkcije.

Pravilnostna tabela:

REŠITEV:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

### 1.2.2) Pretvorite logično funkcijo v obliko z NAND vrati.

*Nasvet: Uporabite dvojno negacijo in De Morganov izrek.*

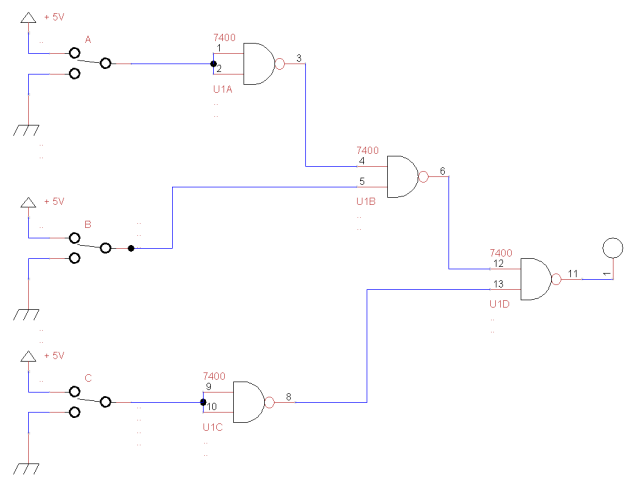
REŠITEV:

$$a) \quad Y = \overline{\overline{\bar{A}B + C}} = \overline{\overline{\bar{A}B} * \bar{C}}$$

S programskim okoljem TinyCAD narišite shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki.

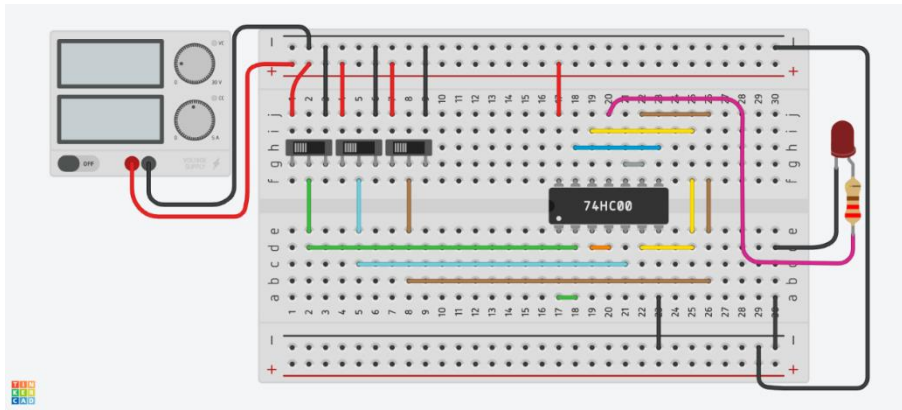
Izvedite simulacijo logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki s programskim okoljem TinkerCad.

REŠITEV:



Slika 1.2.1: Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki.

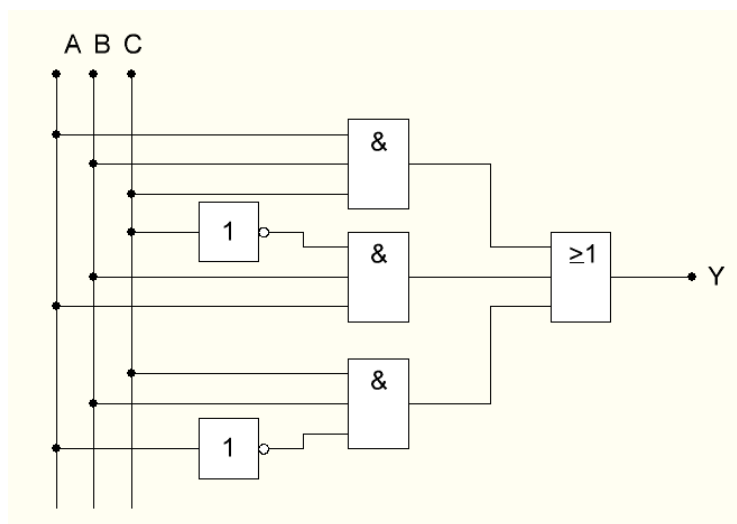




1.2.2: Shema električnega vezja v simulatorju Tinkercad.

### 1.3 Poenostavitev logične funkcije z uporabo pravil Boolove algebre

1.3.1) Zapišite ustrezno logično enačbo za naslednje logično vezje.



Slika 1.3.1: Shematski diagram logične funkcije.

REŠITEV:

$$Y = A B C + A B \bar{C} + \bar{A} B C$$

Izpolnite pravilnostno tabelo logične funkcije.

Pravilnostna tabela:



REŠITEV:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

1.3.2) Poenostavite logično funkcijo z uporabo pravil Boolove algebre.

$$Y = A B C + A B \bar{C} + \bar{A} B C$$

REŠITEV:

$$Y = BA + BC$$

1.3.3) Pretvorite logično funkcijo v obliko z NAND vrati.

*Nasvet: Uporabite dvojno negacijo in De Morganov izrek.*

REŠITEV:

$$Y = \overline{\overline{B A} + \overline{B C}} = \overline{(\overline{B A}) * (\overline{B C})}$$

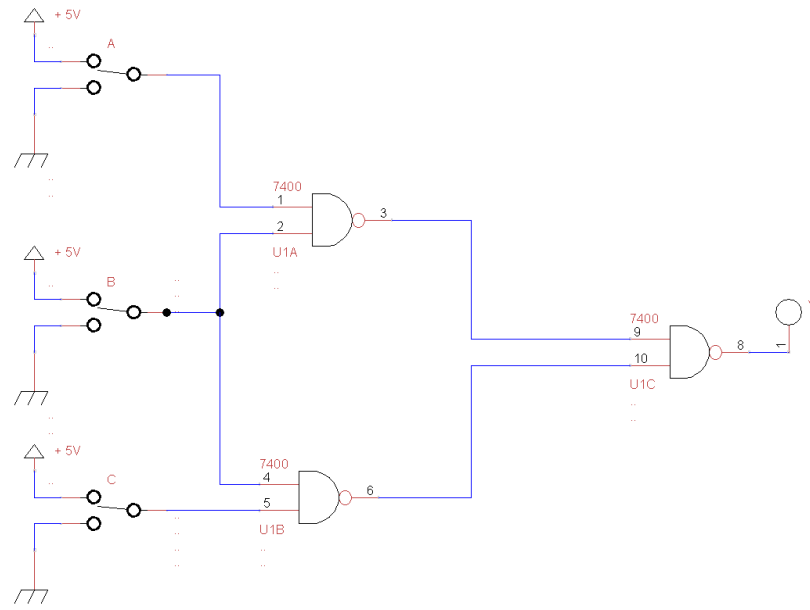
S programskim okoljem TinyCAD narišite shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki.

Izvedite simulacijo logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki s programskim okoljem TinkerCad.

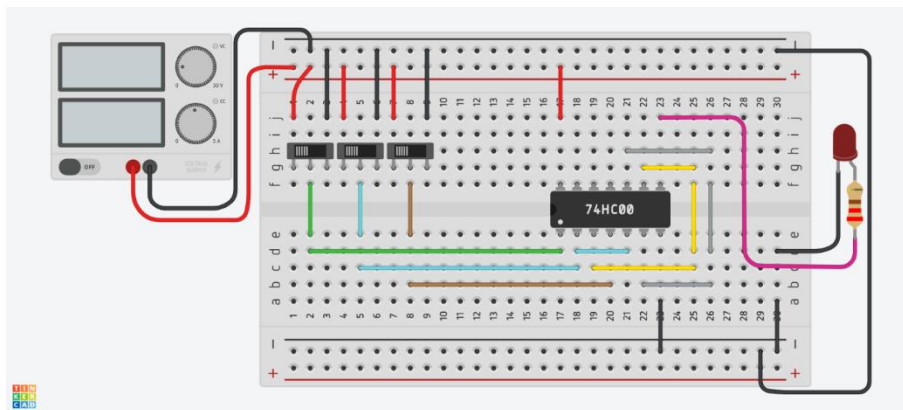
Katere tipe in koliko čipov ste uporabili za izvedbo logične funkcije v prvotni obliki?

e) REŠITEV:

3 logična vrata , 1 čip 7400



Slika 1.3.2: Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki.



Slika 1.3.2: Shema električnega vezja v simulatorju Tinkercad.

## 1.4 Poenostavitev logične funkcije z uporabo Veitchevega diagrama

1.4.1) Podana je pravilnostna tabela:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1



1.4.2) Minimiziraj logično funkcijo z uporabo Veitchevega diagrama.

REŠITEV:

		A			
B			1		
	1	1	1	1	
		C			

1.4.3) Zapišite popolno disjunktivno normalno obliko. Logično funkcijo poenostavite z uporabo pravil Boolove algebre.

REŠITEV:

$$Y = A C + \bar{B}$$

1.4.4) Pretvorite logično funkcijo v obliko z NAND vrati.

*Nasvet: Uporabite dvojno negacijo in De Morganov izrek.*

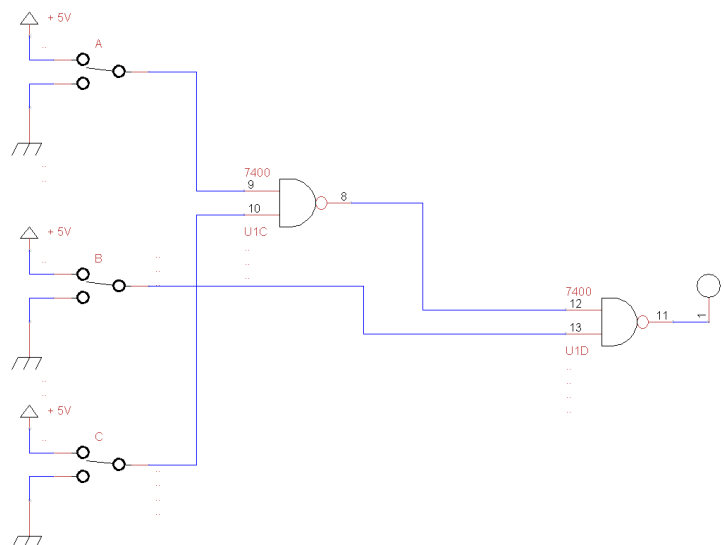
REŠITEV:

$$Y = \overline{\overline{A C + \bar{B}}} = \overline{(\overline{A C}) * (\overline{\bar{B}})}$$

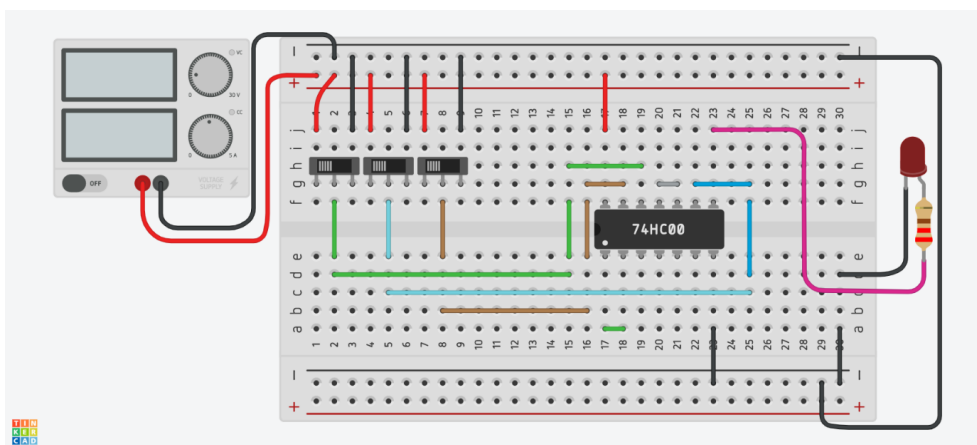
S programskim okoljem TinyCAD narišite shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v popolni disjunktivni normalni obliki, izvedeno v čisti NAND obliki.

Izvedite simulacijo logične funkcije in elektronskega vezja v popolni disjunktivni normalni obliki, izvedeno v čisti NAND obliki, s programskim okoljem TinkerCad.

REŠITEV:



Slika 1.4.1: Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v popolni disjunktivni normalni obliki, izveden v čisti NAND-obliki.



Slika 1.4.2: Shema električnega vezja v simulatorju Tinkercad.

## 2. CORELA simulacijska izobraževalna platforma (dijak 2)

Izvedite simulacijo vseh petih električnih vezij z izobraževalno platformo CORELA.

Namestitev, struktura in uporaba platforme so predstavljeni v uporabniškem priročniku za izobraževalno platformo CORELA.

### 2.1 Realizacija logične funkcije

2.1.1) Naprava mora začeti delovati, ko se hkrati aktivirata senzor A in senzor B ali če je senzor C deaktiviran.

Logična funkcija je določena s spodnjo enačbo in pravilnostno tabelo.

REŠITEV:

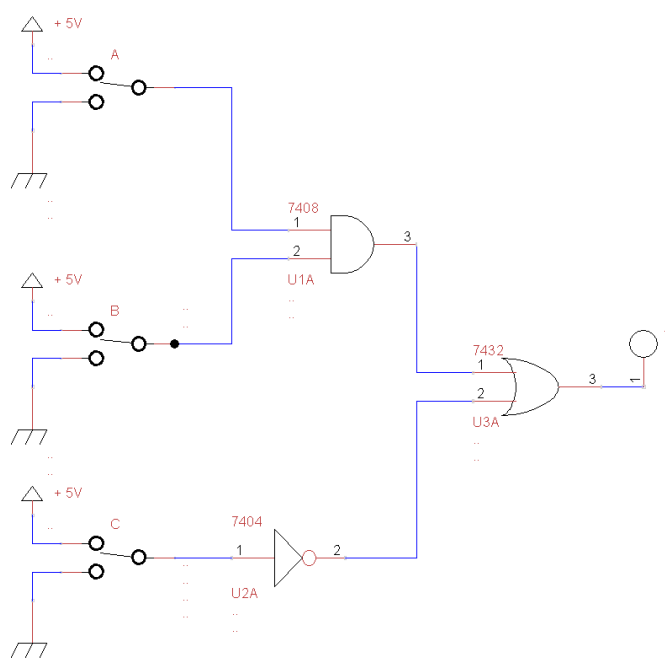
$$Y = (A \cdot B) + \bar{C}$$

Pravilnostna tabela:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1



Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja je prikazan na sliki 2.1.1.



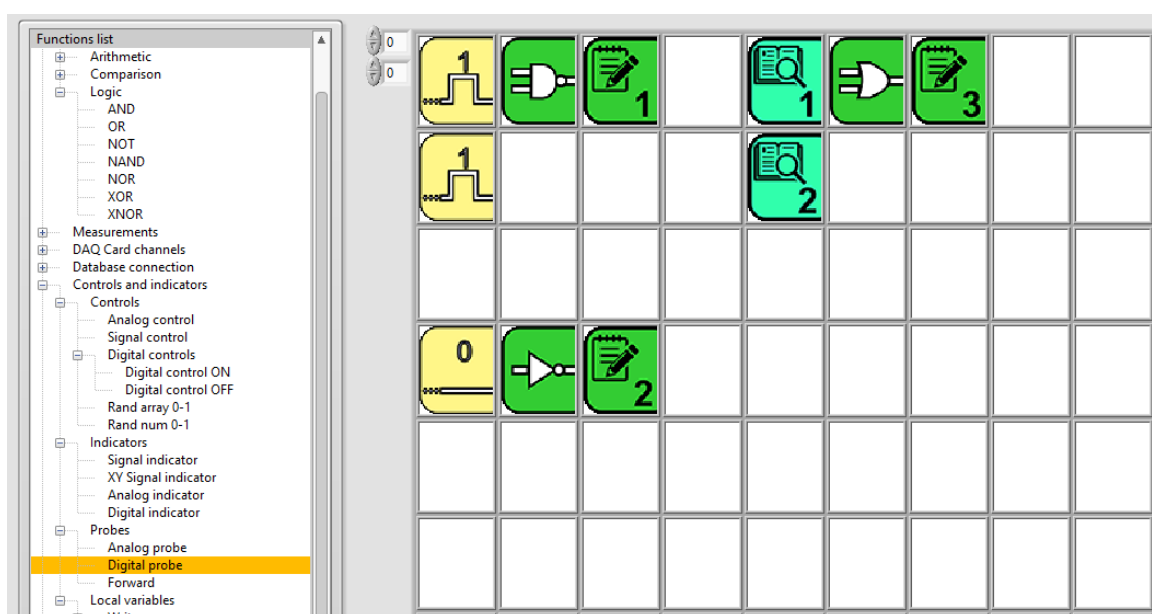
Slika 2.1.1: Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja.

2.1.2) Izvedite simulacijo opisane logične funkcije v platformi CORELA.

V urejevalniku Corela platforme sestavi vezje po sliki 2.1.1: (Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja).

Pri tem upoštevaj, da je potrebno preizkusiti vse kombinacije iz logične tabele iz točke 2.1.1, korak za korakom in preveriti rezultate. To pomeni, da naredite simulacijska vezja za kombinacije vhodnih spremenljivk od 000, 001, 010 do 111.

Primer za kombinacijo 110 je na sliki 2.1.2.



Slika 2.1.2: Zapis logične funkcije v Corela urejevalniku za simulacijo.



2.1.3) Logična funkcija v čisti NAND obliki je določena s spodnjo pravilnostno tabelo.

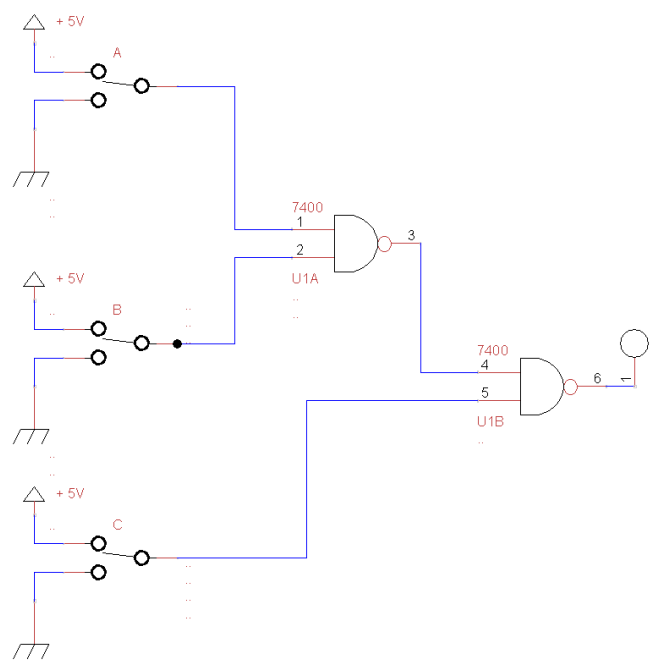
REŠITEV:

$$Y = \overline{\overline{AB} + \overline{C}} = \overline{\overline{AB} * \overline{C}} = \overline{\overline{AB} * C}$$

Pravilnostna tabela:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki je prikazan na sliki 2.1.3.



Slika 2.1.3: Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki.

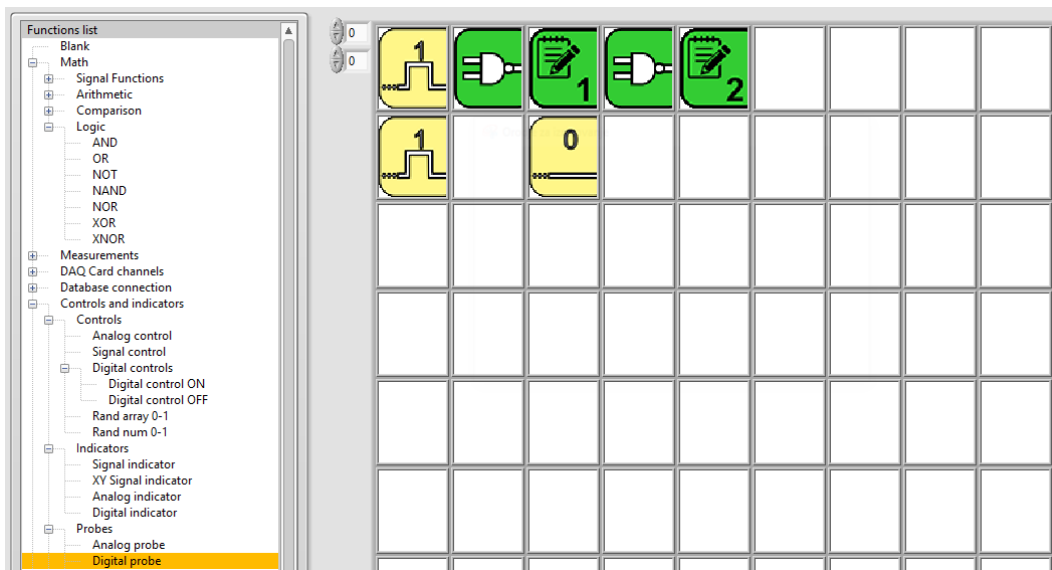
2.1.4) Izvedite simulacijo opisane logične funkcije v platformi CORELA.

V urejevalniku Corela platforme sestavi vezje po sliki 2.1.3: (Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki).

Pri tem upoštevaj, da je potrebno preizkusiti vse kombinacije iz logične tabele iz točke 2.1.3, korak za korakom in preveriti rezultate. To pomeni, da naredite simulacijska vezja za kombinacije vhodnih spremenljivk od 000, 001, 010 do 111.



Primer za kombinacijo 110 je na sliki 2.1.4.



Slika 2.1.4: Zapis logične funkcije v Corela urejevalniku za simulacijo.

## 2.2 Realizacija logične funkcije z NAND vrati

2.2.1) Logična funkcija je opisana z naslednjo enačbo in pravilnostno tabelo:

Enačba:

$$Y = \bar{A} B + C$$

Pravilnostna tabela:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

2.2.2) Logična funkcija v čisti NAND obliki je določena s spodnjo enačbo.

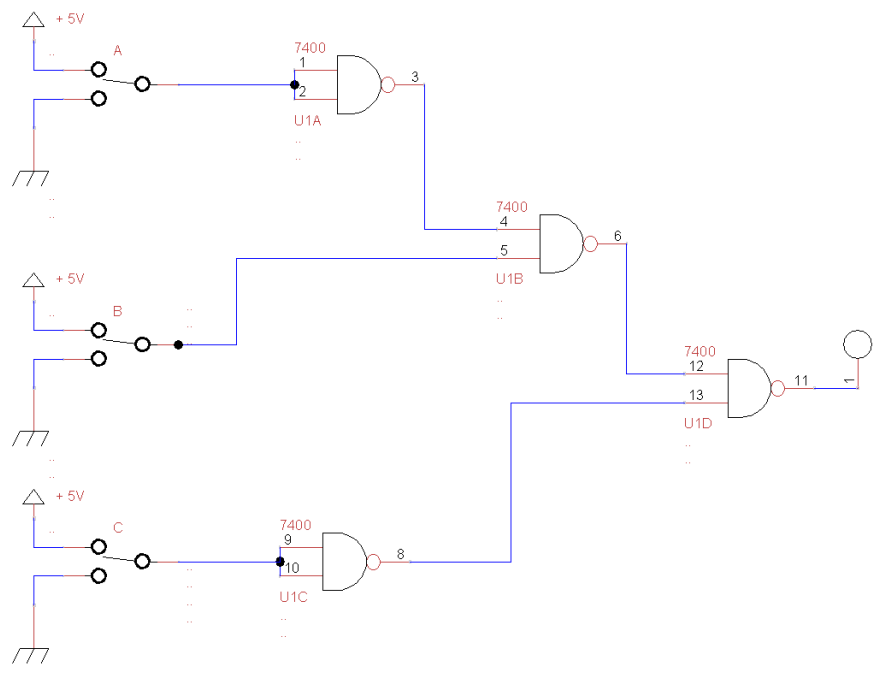
Enačba:

$$Y = \overline{\overline{\bar{A} B + C}} = \overline{\overline{\bar{A} B} * \bar{C}}$$





Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki je prikazan na sliki 2.2.1.



Slika 2.2.1: Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki.

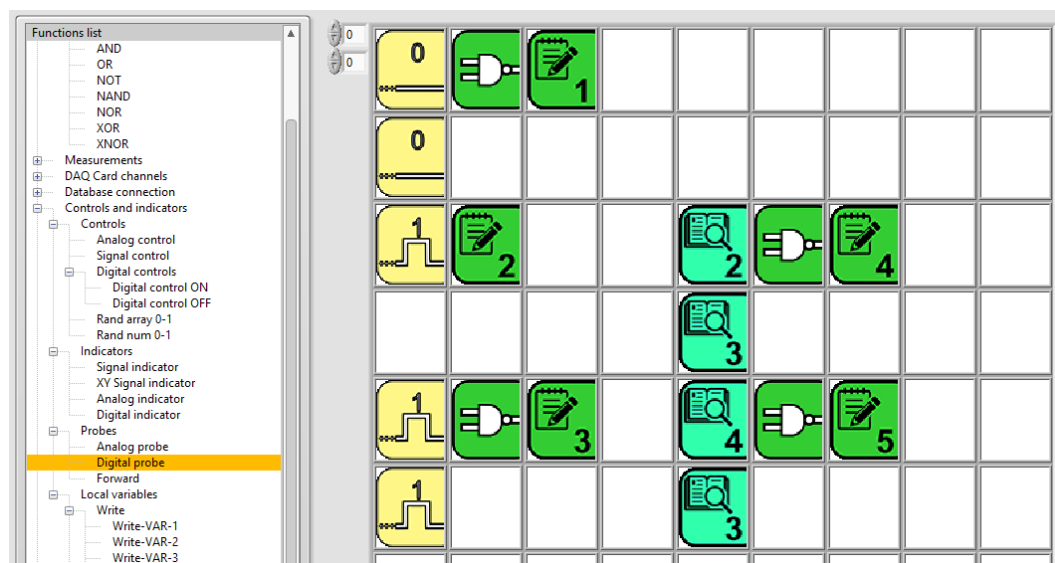
2.2.3) Izvedite simulacijo opisane logične funkcije v čisti NAND obliki v platformi CORELA.

V urejevalniku Corela platforme sestavi vezje po sliki 2.2.1: (Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki).

Pri tem upoštevaj, da je potrebno preizkusiti vse kombinacije iz logične tabele iz točke

2.2.1, korak za korakom in preveriti rezultate. To pomeni, da naredite simulacijska vezja za kombinacije vhodnih spremenljivk od 000, 001, 010 do 111.

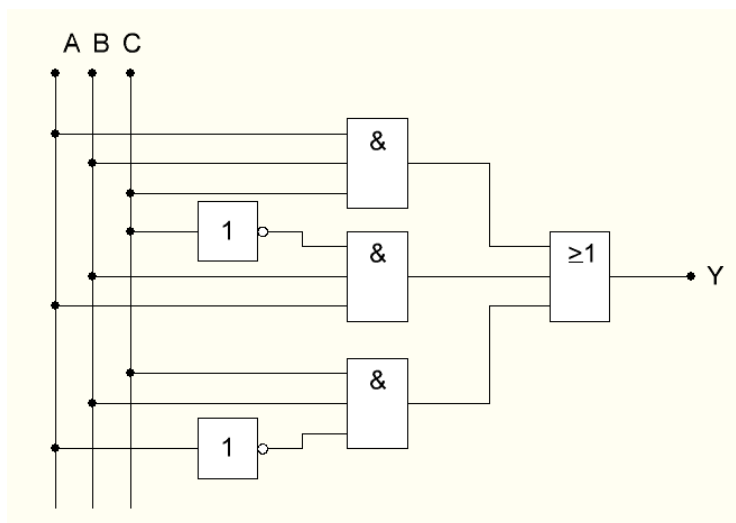
Primer za kombinacijo 011 je na sliki 2.2.2.



Slika 2.2.2: Zapis logične funkcije v Corela urejevalniku za simulacijo.

## 2.3 Poenostavitev logične funkcije z uporabo pravil Boolove algebre

### 2.3.1) Shematski diagram logične funkcije je prikazan na sliki 2.3.1.



Slika 2.3.1: Shematski diagram logične funkcije.

Logična funkcija, predstavljena v shematskem diagramu, prikazanem na sliki 2.3.1, je opisana z naslednjo enačbo in pravilnostno tabelo:

Enačba:

$$Y = A B C + A B \bar{C} + \bar{A} B C$$



Pravilnostna tabela:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

2.3.2) Poenostavljena logična funkcija je določena z naslednjo enačbo.

Enačba:

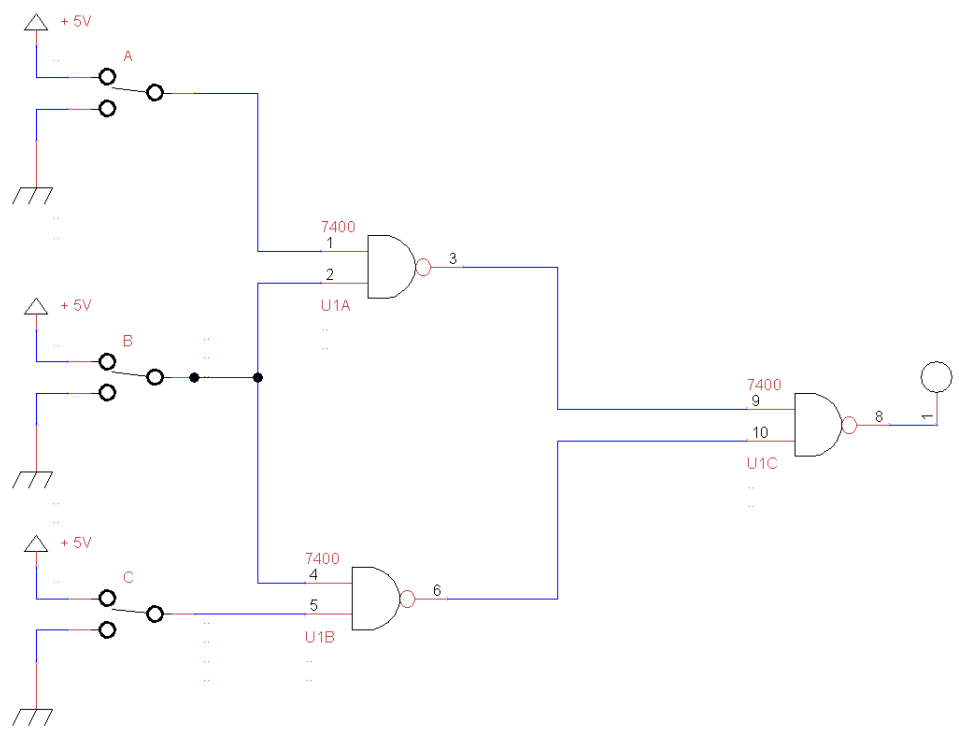
$$Y = BA + BC$$

2.3.3) Poenostavljena logična funkcija v čisti NAND obliki je določena s spodnjo enačbo.

Enačba:

$$Y = \overline{\overline{B} \overline{A} + \overline{B} \overline{C}} = \overline{(\overline{B} \overline{A}) * (\overline{B} \overline{C})}$$

Shematski diagram poenostavljene logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki je prikazan na sliki 2.3.2.



Slika 2.3.2: Shematski diagram poenostavljene logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki.

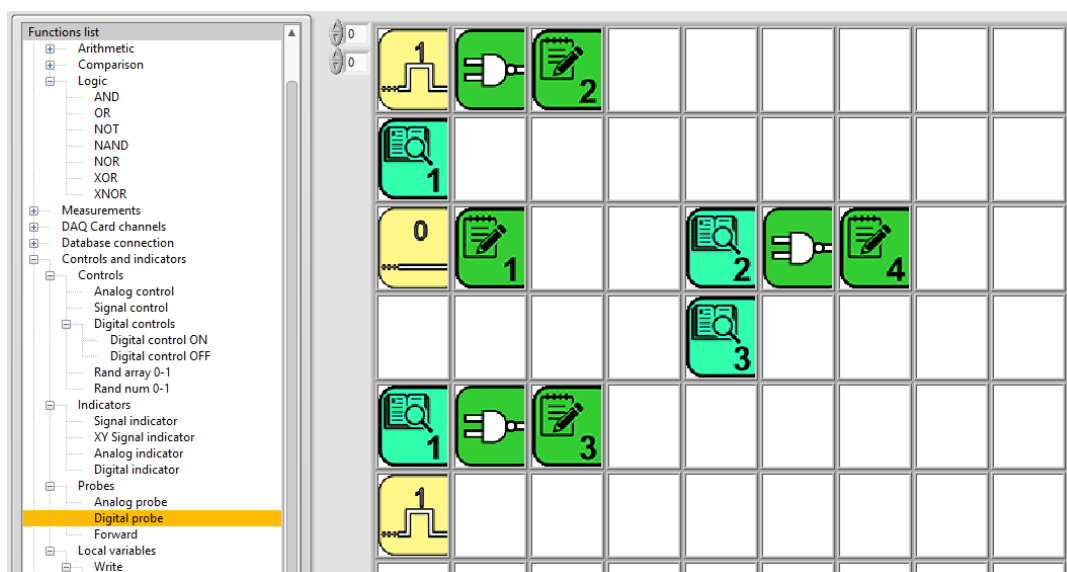


2.3.3) Izvedite simulacijo opisane logične funkcije v čisti NAND obliki v platformi CORELA.

V urejevalniku Corela platforme sestavi vezje po sliki 2.3.2: (Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki).

Pri tem upoštevaj, da je potrebno preizkusiti vse kombinacije iz logične tabele iz točke 2.3.1, korak za korakom in preveriti rezultate. To pomeni, da naredite simulacijska vezja za kombinacije vhodnih spremenljivk od 000, 001, 010 do 111.

Primer za kombinacijo 101 je na sliki 2.3.3.



Slika 2.3.3: Zapis logične funkcije v Corela urejevalniku za simulacijo.

## 2.4 Poenostavitev logične funkcije z uporabo veitchevega diagrama

2.4.1) Logična funkcija je določena v naslednji pravilnostni tabeli:

Pravilnostna tabela:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1



## 2.4.2) Veitchov diagram logične funkcije:

	A			
B	1	1	1	1
	1	1	1	1
	C			

## 2.4.3) Popolna disjunktivna normalna oblika logične funkcije:

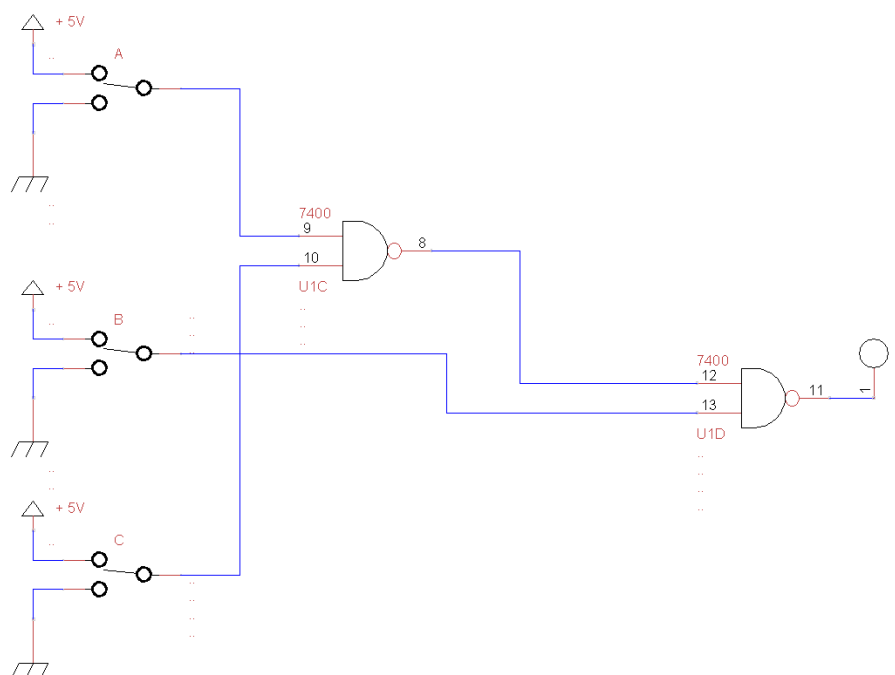
Enačba:

$$Y = A C + \bar{B}$$

2.4.4) Popolna disjunktivna normalna oblika logične funkcije, izvedene v čisti NAND obliki, je določena s spodnjo enačbo.

$$Y = \overline{\overline{A C + \bar{B}}} = \overline{\overline{A C}} * \overline{\overline{\bar{B}}} = \overline{\overline{A C}} * B$$

Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v popolni disjunktivni normalni obliki, izveden v čisti NAND obliki, je prikazan na sliki 2.4.1.



Slika 2.4.1: Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v popolni disjunktivni normalni obliki, izveden v čisti NAND obliki.

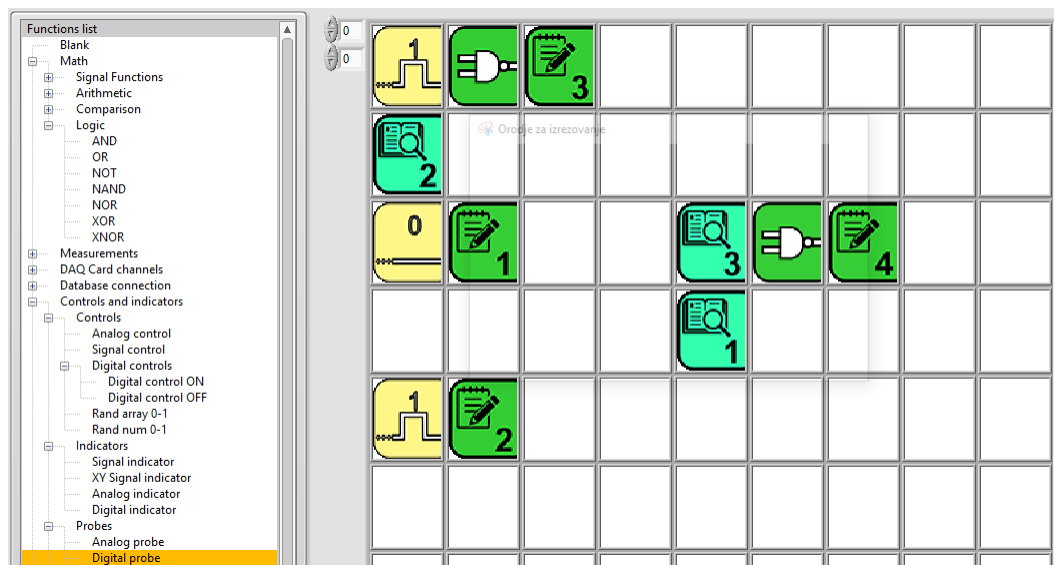
## 2.4.5) Izvedite simulacijo opisane logične funkcije v čisti NAND obliki, v platformi CORELA.

V urejevalniku Corela platforme sestavi vezje po sliki 2.4.1: (Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja, v popolni disjunktivni normalni obliki, izveden v čisti NAND obliki.).

Pri tem upoštevaj, da je potrebno preizkusiti vse kombinacije iz logične tabele iz točke 2.4.1, korak za korakom in preveriti rezultate. To pomeni, da naredite simulacijska vezja za kombinacije vhodnih spremenljivk od 000, 001, 010 do 111.



Primer za kombinacijo 101 je na sliki 2.4.2.



Slika 2.4.2: Zapis logične funkcije v Corela urejevalniku za simulacijo.

### 3. Laboratorijske prakse (dijak 3)

#### 3.1 Realizacija logične funkcije

##### 3.1.1) Naprava mora začeti delovati, ko se hkrati aktivirata senzor A in senzor B ali če je senzor C deaktiviran..

Logična funkcija je določena z enačbo in spodnjo pravilnostno tabelo.

Enačba:

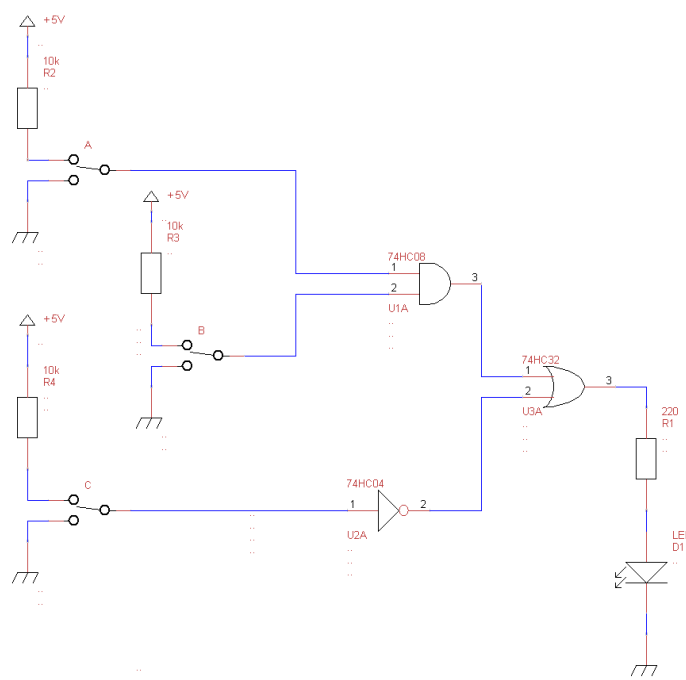
$$Y = (A B) + \bar{C}$$

Pravilnostna tabela:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1



Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja je prikazan na sliki 3.1.1.

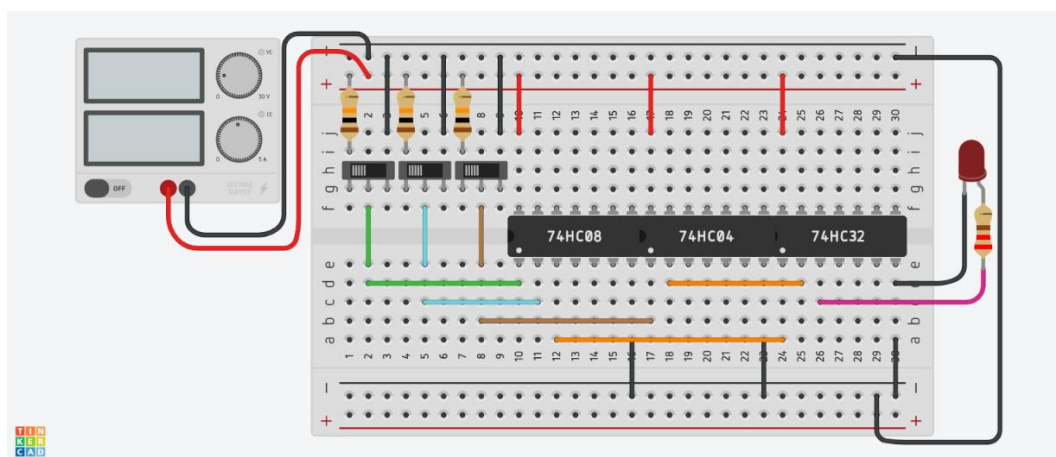


Slika 3.1.1: Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja.

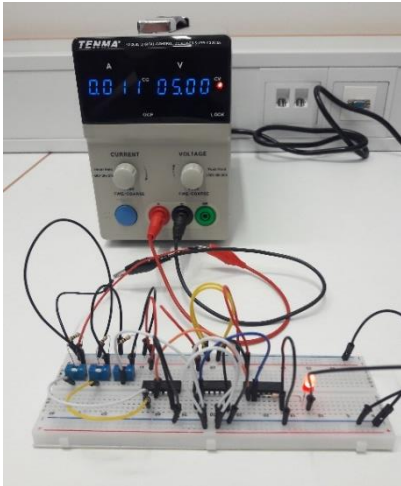
Izdelajte opisano logično funkcijo in elektronsko vezje na preiskusni plošči; uporabite ustrezne čipe in druge električne elemente.

Elementi:

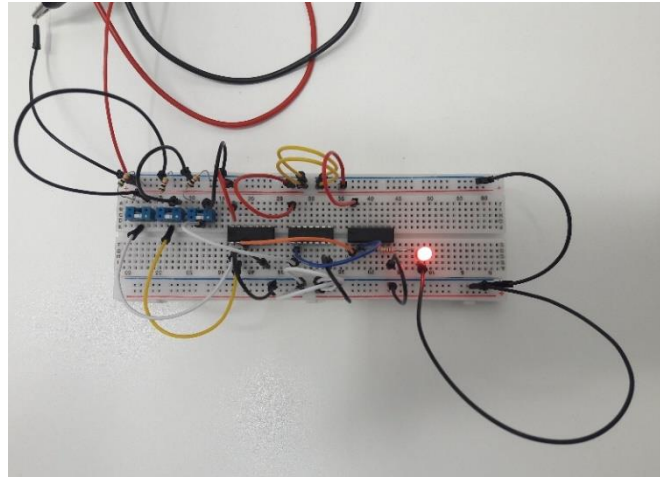
- preiskusna plošča (protoboard),
- Vrsta čipov: IC 74HC08, 74HC04, 74HC32,
- 3 x 3 polno drsno stikalo,
- 3 x upor 10 k $\Omega$ ,
- upor 220  $\Omega$ ,
- LED (led dioda),
- povezovalne žice,
- DC napetostni napajalnik (5 V).



Slika 3.1.2: Shema električnega tokokroga na preiskusni plošči.



Slika 3.1.3: Napajanje z enosmerno napetostjo in električni tokokrog na preiskusni plošči.



Slika 3.1.4: Električni tokokrog na preiskusni plošči.

3.1.2) Logična funkcija v čisti NAND obliki je določena s spodnjo enačbo in pravilnostno tabelo.

Enačba:

$$Y = \overline{\overline{AB} + \overline{C}} = \overline{\overline{AB} * \overline{C}} = \overline{\overline{AB} * C}$$

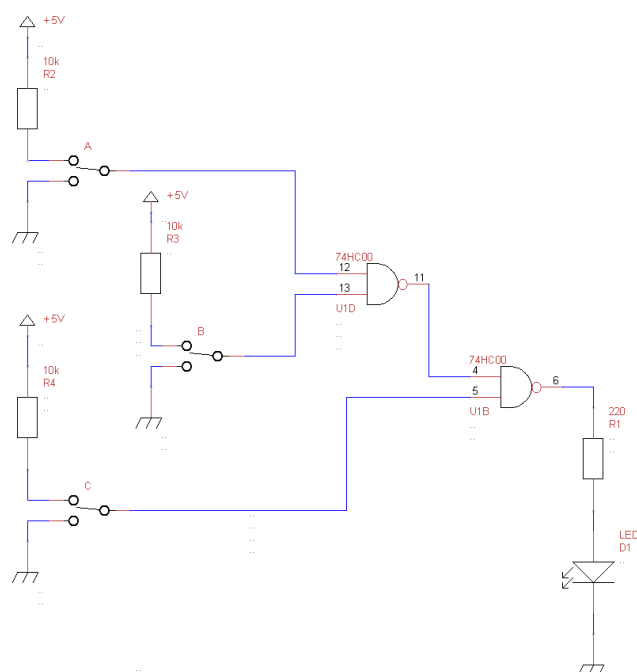
Pravilnostna tabela:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1





Shematski diagram logične funkcije in elektronsko vezje v čisti NAND obliki je prikazan na sliki 3.1.2.

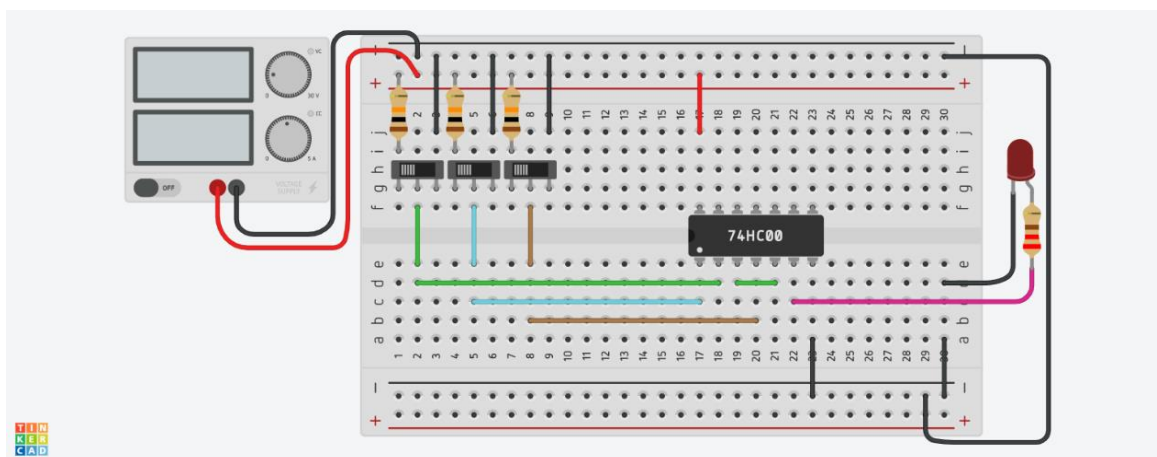


Slika 3.1.2: Shematski diagram logične funkcije in elektronsko vezje v čisti NAND obliki.

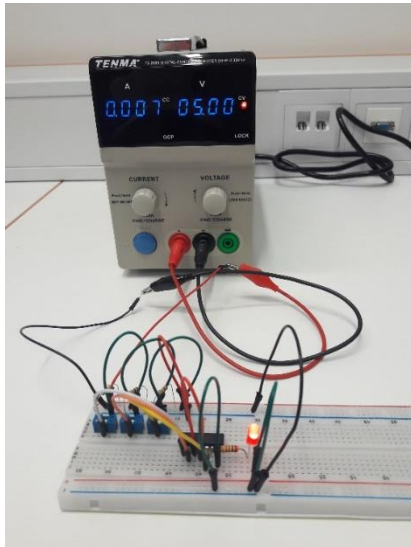
Izdelajte logično funkcijo in elektronsko vezje v čisti NAND obliki na preiskusni plošči; uporabite ustrezne čipe in druge električne elemente.

Elementi:

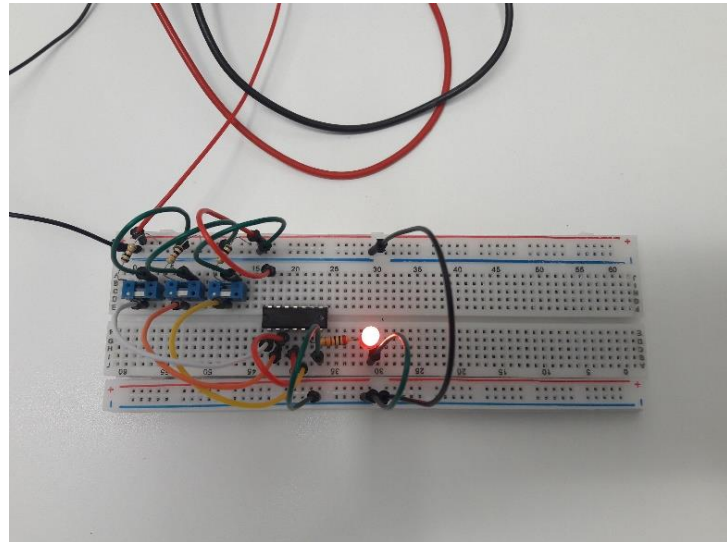
- preiskusna plošča (protoboard),
- Vrsta čipa: IC 74HC00,
- 3 x 3 polno drsno stikalo,
- 3 x upor 10 k $\Omega$ ,
- upor 220  $\Omega$ ,
- LED (led dioda),
- povezovalne žice,
- DC napetostni napajalnik (5 V).



Slika 3.1.2: Shema električnega tokokroga na preiskusni plošči.



*Slika 3.1.3: Napajanje z enosmerno napetostjo in električni tokokrog na preiskusni plošči.*



*Slika 3.1.4: Električni tokokrog na preiskusni plošči.*



### 3.2 Realizacija logične funkcije z NAND vrati

3.2.1) Logična funkcija je opisana v naslednji enačbi in pravilnostni tabeli:

Enačba:

$$Y = \bar{A} B + C$$

Pravilnostna tabela:

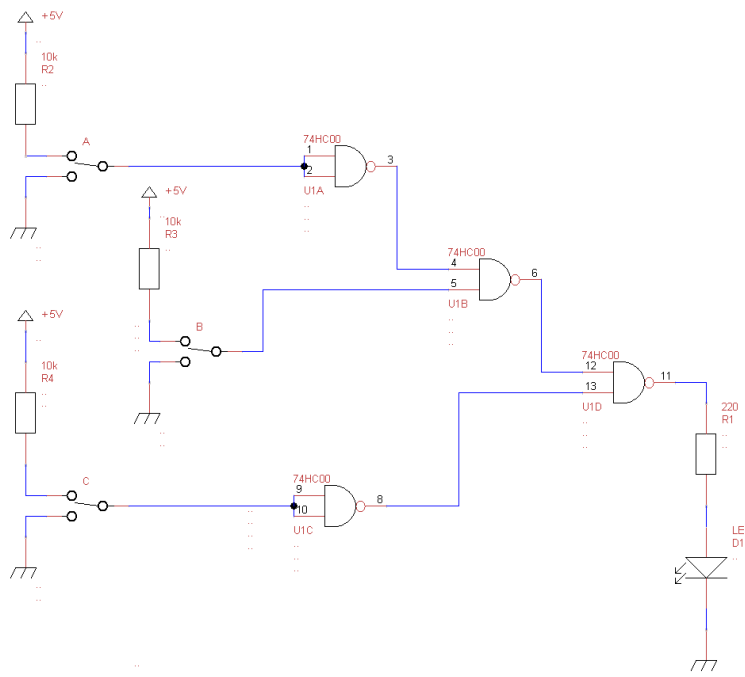
A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

3.2.2) Logična funkcija v čisti NAND obliki je določena s spodnjo enačbo.

Enačba:

$$Y = \overline{\overline{\bar{A} B + C}} = \overline{\bar{A} B} * \bar{C}$$

Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki je prikazan na sliki 3.2.1.



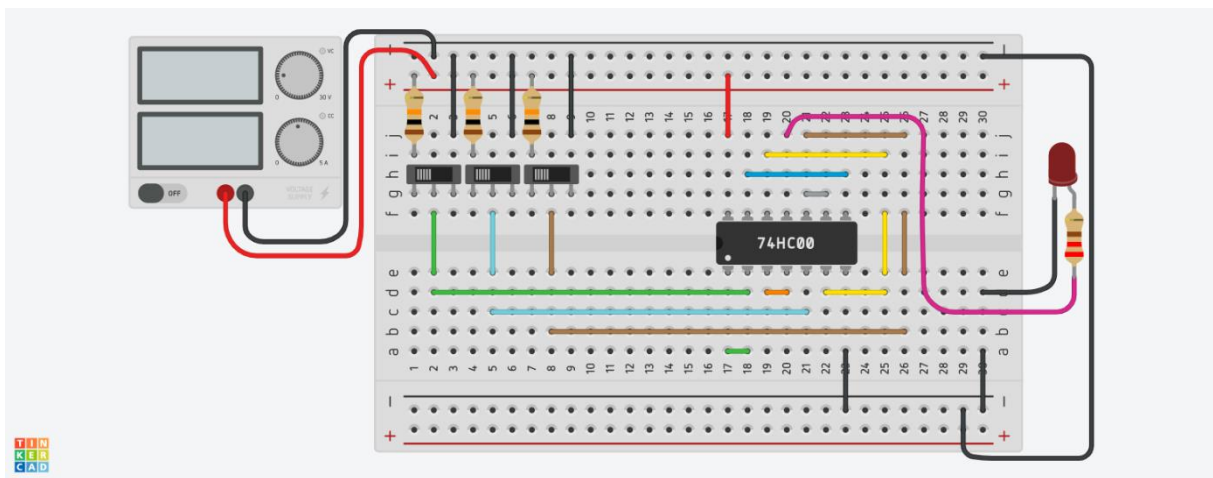
Slika 3.2.1: Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki.



Izdelajte logično funkcijo in elektronsko vezje v čisti NAND obliki na preiskusni plošči; uporabite ustrezne čipe in druge električne elemente.

Elementi:

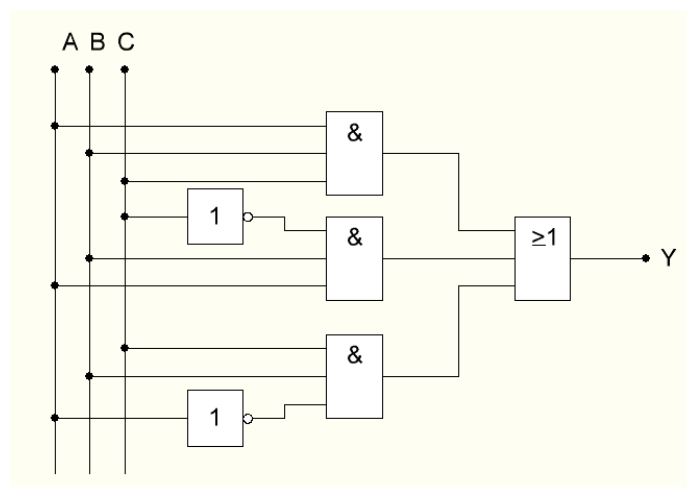
- preiskusna plošča (protoboard),
- Vrsta čipa: IC 74HC00,
- 3 x 3 polno drsno stikalo,
- 3 x upor 10 k $\Omega$ ,
- upor 220  $\Omega$ ,
- LED (led dioda),
- povezovalne žice,
- DC napetostni napajalnik (5 V).



Slika 3.2.2: Shema električnega tokokroga na preiskusni plošči.

### 3.3 Poenostavitev logične funkcije z uporabo pravil Boolove algebre

3.3.1) Shematski diagram logične funkcije je prikazan na sliki 3.3.1.



Slika 3.3.1: Shematski diagram logične funkcije.



Logična funkcija, predstavljena v shematskem diagramu, prikazanem na sliki 3.3. , je opisana z naslednjo enačbo in pravilnostno tabelo:

Enačba:

$$Y = A B C + A B \bar{C} + \bar{A} B C$$

Pravilnostna tabela:

A	B	C	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

3.3.2) Poenostavljena logična funkcija je določena z naslednjo enačbo.

Enačba:

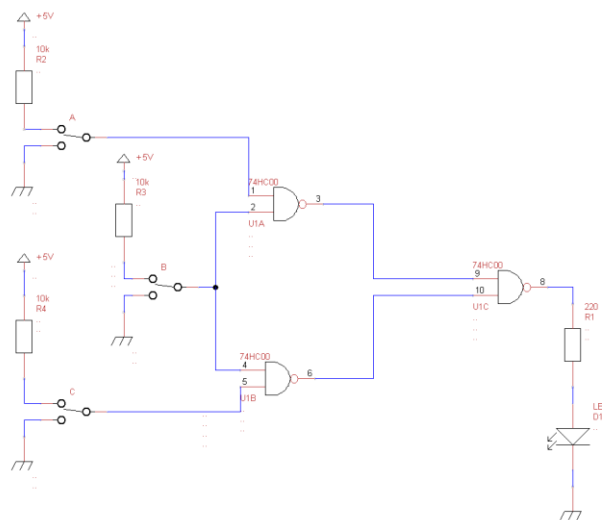
$$Y = B A + B C$$

3.3.3) Poenostavljena logična funkcija v čisti NAND obliki je določena s spodnjo enačbo.

Enačba:

$$Y = \overline{\overline{B A} + \overline{B C}} = \overline{(\overline{B A}) * (\overline{B C})}$$

Shematski diagram poenostavljene logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki je prikazan na sliki 3.3.2.



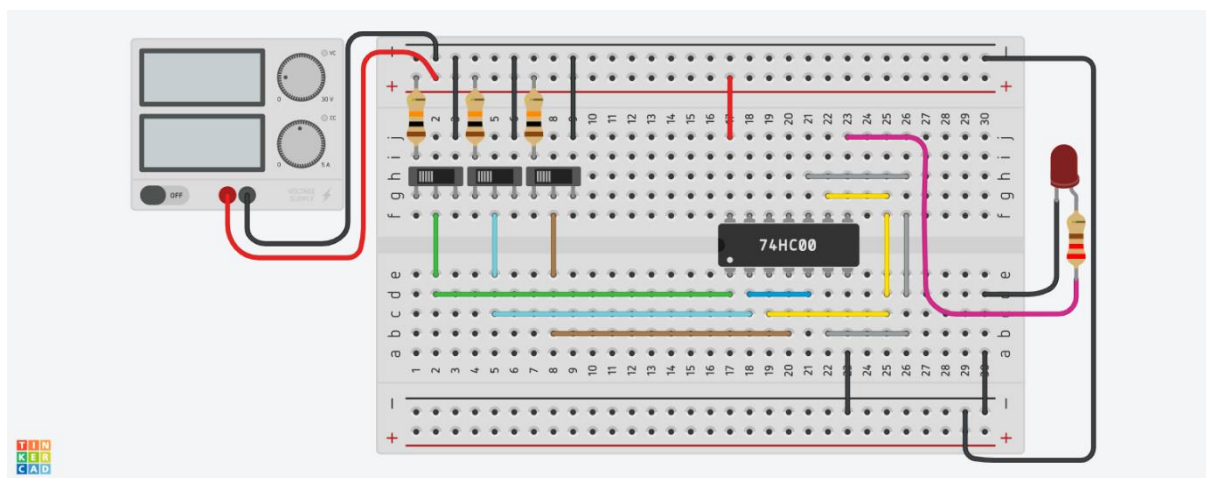
Slika 3.3.2: Shematski diagram poenostavljene logične funkcije in elektronskega vezja v čisti NAND obliki.



Izdelajte logično funkcijo in elektronsko vezje v čisti NAND obliki na preiskusni plošči; uporabite ustrezne čipe in druge električne elemente.

Elementi:

- preiskusna plošča (protoboard),
- Vrsta čipa: IC 74HC00,
- 3 x 3 polno drsno stikalo,
- 3 x upor 10 k $\Omega$ ,
- upor 220  $\Omega$ ,
- LED (led dioda),
- povezovalne žice,
- DC napetostni napajalnik (5 V).



Slika 3.3.3: Shema električnega tokokroga na preiskusni plošči.

### 3.4 Poenostavitev logične funkcije z uporabo Veitchevega diagrama

3.4.1) Logična funkcija je določena v naslednji pravilnostni tabeli:

Pravilnostna tabela:

A	B	C	Y
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1



## 3.4.2) Veitchov diagram logične funkcije:

	A			
B	1	1	1	1
	1	1	1	1
		C		

## 3.4.3) Popolna disjunktivna normalna oblika logične funkcije:

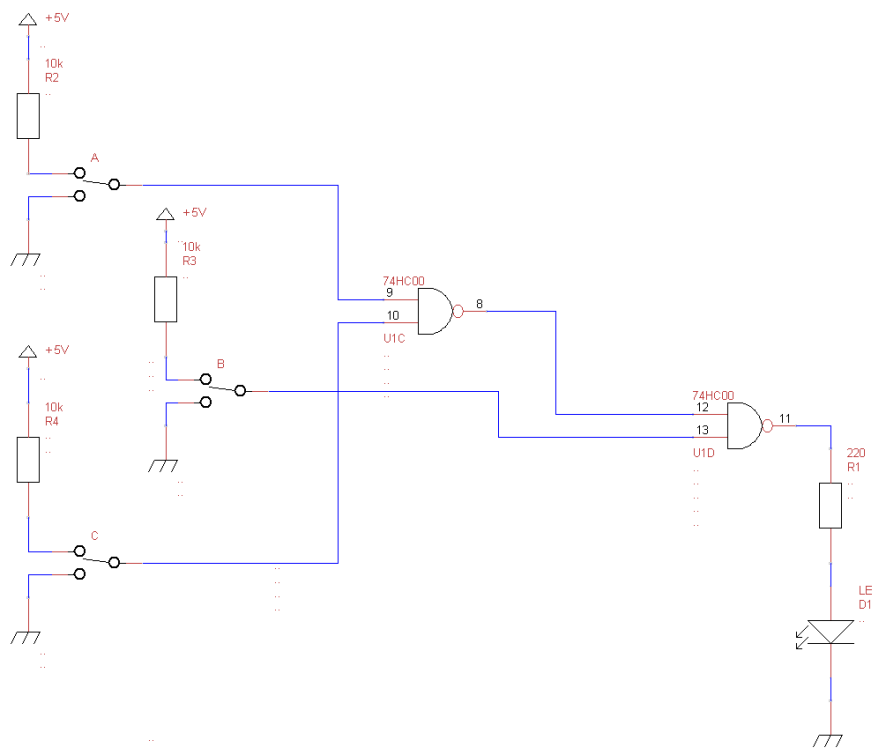
Enačba:

$$Y = A C + \bar{B}$$

3.4.4) Popolna disjunktivna normalna oblika logične funkcije, izvedene v čisti NAND obliki, je določena s spodnjo enačbo.

$$Y = \overline{\overline{A C + \bar{B}}} = \overline{\overline{A C}} * \overline{\overline{\bar{B}}} = \overline{\overline{A C}} * B$$

Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v popolni disjunktivni normalni obliki, izveden v čisti NAND obliki, je prikazan na sliki 3.4.1.



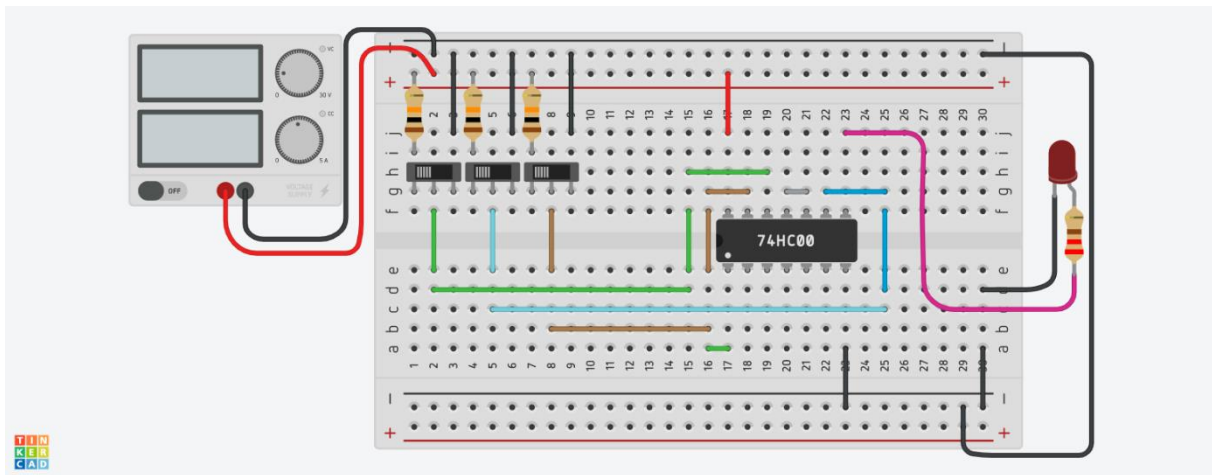
Slika 3.4.1: Shematski diagram logične funkcije in elektronskega vezja v popolni disjunktivni normalni obliki, izveden v čisti NAND obliki.

Izdelajte logično funkcijo in elektronsko vezje v čisti NAND obliki na preiskusni plošči; uporabite ustrezne čipe in druge električne elemente.



## Elementi:

- preiskusna plošča (protoboard),
- Vrsta čipa: IC 74HC00,
- 3 x 3 polno drsno stikalo,
- 3 x upor 10 k $\Omega$ ,
- upor 220  $\Omega$ ,
- LED (led dioda),
- povezovalne žice,
- DC napetostni napajalnik (5 V).



Slika 3.4.2: Shema električnega tokokroga na preiskusni plošči.

## Video material:

[https://youtu.be/V51SY7u6\\_6s](https://youtu.be/V51SY7u6_6s)

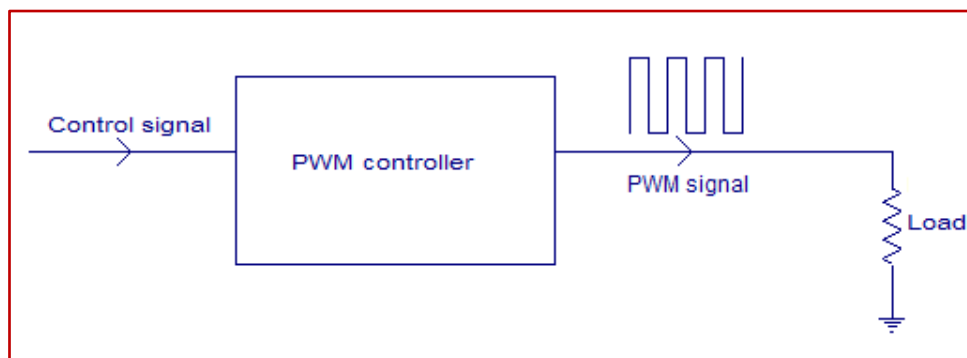




## VI. Krmiljenje enosmernega motorja PWM

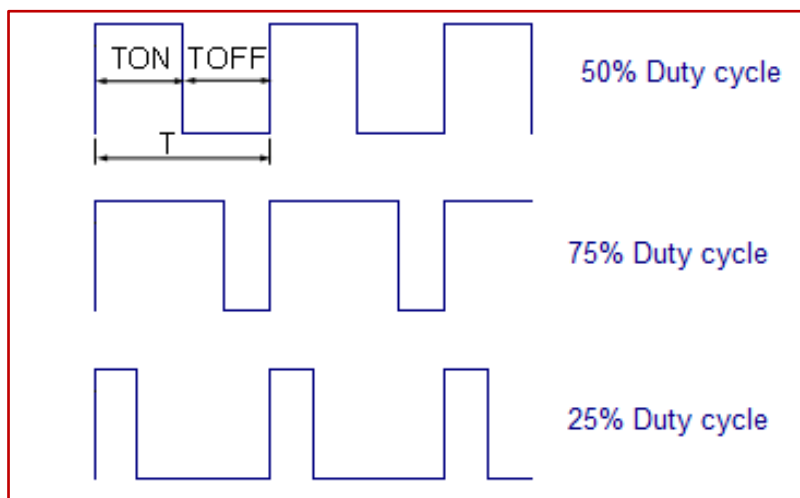
### 1. Uvod

PWM (PulseWidth Modulation) je zelo pogosta metoda nadzora oskrbe potrošnikov z električno energijo, ki je zelo enostavna za izvajanje in ima visoko stopnjo učinkovitosti. PWM signal je v bistvu pravokotna visokofrekvenčna oblika (običajno 1 kHz ali več). Vodilni faktor (obratovalni cikel -  $D$  spodaj) pravokotne oblike se spremeni in s tem se spremeni tudi količina dobavljene električne energije potrošniku. Vodilni faktor je običajno izražen v odstotkih po formuli:  $D [\%] = (TON / (TON + TOFF)) * 100$ , kjer je  $TON$  čas, za katerega je pravokotna oblika v "visokem" stanju,  $TOFF$  pa čas, za katerega je pravokotna oblika napetosti v "nizkem" stanju. Ko se faktor prevodnosti poveča, se energija, dobavljena potrošniku, poveča, ko pa se faktor prevodnosti zmanjša, se oddana energija zmanjša. Blokovni diagram tipične krmilne naprave s PWM je prikazan na naslednjem diagramu (Slika 1.1).



Slika 1.1

Nadzorni signal je tisto, kar damo krmilniku PWM kot vhod. To je lahko analogni ali digitalni signal glede na zasnovo krmilnika PWM. Krmilni signal vsebuje informacije o tem, koliko moči je treba uporabiti za obremenitev. Krmilnik PWM sprejme krmilni signal in prilagodi delovni cikel signala PWM glede na zahteve. PWM valovi z različnim delovnim ciklom so prikazani na Sliki 1.2.



Slika 1.2



V zgornjih oblikah valov lahko vidite, da je frekvenca enaka, čas vklopa in čas izklopa pa se razlikujeta.

## 2. Krmiljenje PWM za enosmerni motor (dijak 1)

Naloga je določiti čas  $TON$  in  $TOFF$  ter skupni čas  $TON + TOFF = T$ , kjer je  $T$  obdobje pravokotne valovne oblike s frekvenco 1000 Hz. Določeni intervali morajo biti določeni za  $D_{25}[\%] = 25$  in  $D_{75}[\%] = 75$  celotnega pravokotnega vala.

Naloga je izračunati vrednosti analognega napetostnega krmilnega signala ( $U_D$ ) o na podlagi katerega krmilna naprava PWM gradi signal PWM, če je napetostno območje analognega krmilnega signala 0-5 V, kjer napetost 5 V označuje  $D[\%] = 100$ . Tudi napetost 0-5 V po analogno-digitalni pretvorbi (10 bitov) se pretvori v številčni interval 0-1023.

**Opomba:** Zaradi različnih vrst enosmernih motorjev ne moremo določiti splošne formule za odvisnost njihove hitrosti od količine vodilnega faktorja, lahko pa rečemo, da višji vodilni faktor pomeni tudi večjo hitrost motorja.

**Opomba:** Platforma CORELA nadzoruje modul ARDUINO, funkcija <PWM> pa nadzor izhodov PWM modula. V to funkcijo prenesemo količino kontrolnega faktorja in funkcija sama opravi preostalo delo, da bi dobila pravilno valovno obliko PWM krmilnega signala.

Naloga je narisati valovne oblike signala PWM za oba potrebna primera z navedenima časoma  $TON$  in  $TOFF$  ( $\mu s$ ).

Za podan signal 1kHz PWM je formula za določanje periode ( $T$ ):

$$T = \frac{1}{f} \cdot 10^6 [\mu s]$$

Čas  $TON$  in  $TOFF$  se izračunata po enačbah:

$$TON = \frac{D[\%]}{100} \cdot T [\mu s]$$

$$TOFF = T - TON [\mu s]$$

Vhodna napetost krmilnega signala se izračuna po formuli:

$$U_D = 5 V \cdot \frac{D[\%]}{100} = [V]$$

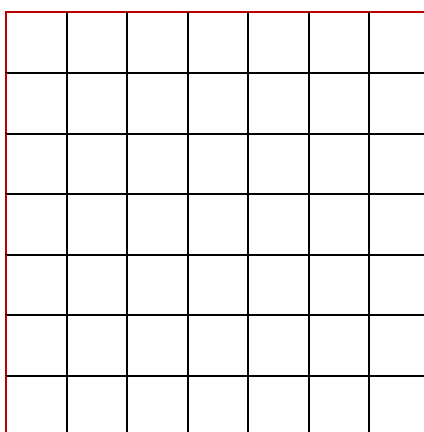
**Izpolnite tabelo 1 z izračunanimi podatki.**

$D$ [%]	$T$ [ $\mu s$ ]	$TON$ [ $\mu s$ ]	$TOFF$ [ $\mu s$ ]	$U_D$ [V]
25				
50				

Tabela 1: Parametri PWM signala

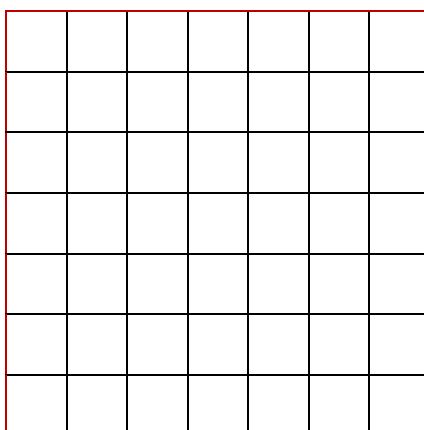


Za faktor prevodnosti 25 % narišite valovno obliko signala PWM s časi, navedenimi v *Mreži 1*.



*Mreža 1*

Za 75-odstotni prevodni faktor narišite valovno obliko signala PWM s časi, navedenimi v *Mreži 2*.



*Mreža 2*

**Vprašanje 1:** Kako je dobavljena električna energija potrošniku odvisna od faktorja prevodnosti signala PWM?

**Vprašanje 2:** Kakšno vrednost signala PWM izmeri voltmeter v enosmernem načinu?

## 2.1 Vpis in pošiljanje podatkov na izobraževalno platformo

Prijavite se v platformo CORELA, da vnesete vrednosti. Vnesite vrednosti *TON* in *TOFF* ter srednje vrednosti krmilne napetosti in jih pošljite na izobraževalno platformo v skladu s postopkom, opisanim v poglavju 5 tega priročnika.

Pridobljene vrednosti primerjajte z vrednostmi dijaka 2 in dijaka 3.



### 3. Simulacija krmiljenja PWM za enosmerni motor (dijak 2)

Sintaksa, uporabljena v preostalem priročniku:

<XXX> ime razpoložljive izvršljive funkcije v platformi CORELA ali ključ

<XXX> ime izvršljive funkcije v platformi CORELA, ko je postavljena na namizje

[XXX.YY] hierarhična pot do razpoložljivih izvršljivih funkcij na platformi CORELA

V tem delu vaje bomo izvedli simulacijo idealnega elektronskega vezja.

Cilj simulacije je preveriti teoretične izračune iz 2. poglavja. Simulacija je bila izvedena z uporabo virtualne platforme CORELA.

Na začetku vnaprej pripravljeno (ASRL4 :: INSTR) elektronsko ploščo ARDUINO UNO preko USB povezave povežemo z računalnikom.

Zaženite aplikacijo in pritisnite tipko <Continual mode>.

Nato na namizje vstavite <Analog control> ki ga najdete v [Functions list->Controls and indicators->Controls]. Zapomnite si številčno vrednost 6 za PWM kanal samega krmiljenja (enega od kanalov PWM na plošči ARDUINO UN).

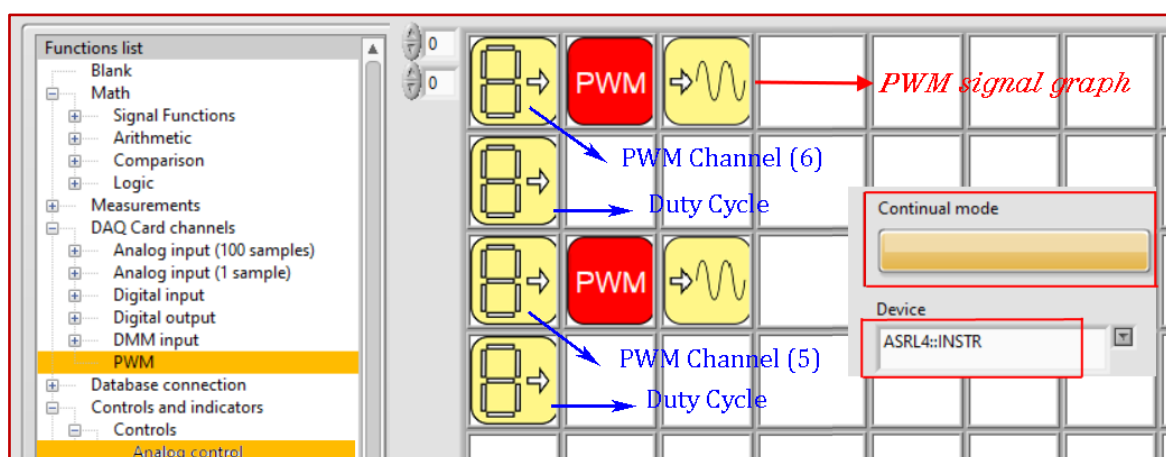
Ponovno vstavite <Analog control> . pod prejšnjega in si zapomnite številčno vrednost 0,25 za VODILNI FAKTOR (D).

Vstavite funkcijo <PWM> iz menija [Functions list->DAQ card channels] na svoje mesto v skladu s sliko. Ta nadzor potrebuje dva vhoda, predhodno shranjena v dveh <Analog control>.

Desno od funkcije <PWM> vstavite indikator <Signal indicator>, iz menija [Functions list->Controls and indicators->Indicators].

Ponovite celoten postopek v skladu s sliko in spremenite samo vrednost <Analog control> za PWM kanal na številko 5.

Postavitev v aplikaciji je prikazana na *sliki 3.1*.

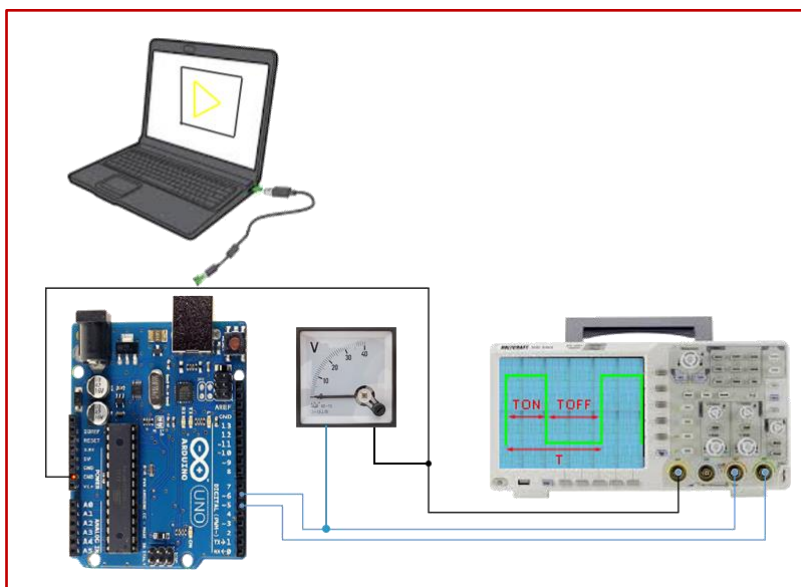


Slika 3.1



Osciloskop povežite z izbranimi kanali PWM (5 in 6) na plošči UNO. Priključite voltmeter v skladu s shemo povezav.

Slika 3.2 prikazuje shematski diagram za izvedbo simulacije.

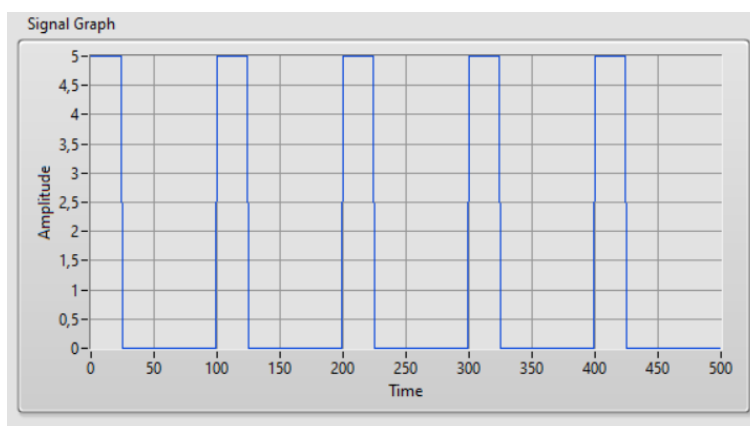


Slika 3.2

#### Korak 1

Primerjajte valvno obliko iz grafa 1 z obliko, prikazano v mreži 1 v poglavju 2. Glede na valvno obliko na zaslonu osciloskopa določite čase  $T$ ,  $T_{ON}$  in  $T_{OFF}$  in jih vnesite v *Tabelo 2*.

V *Tabelo 2* vnesite tudi odčitke napetosti na voltmetru ( $U_D$ ).

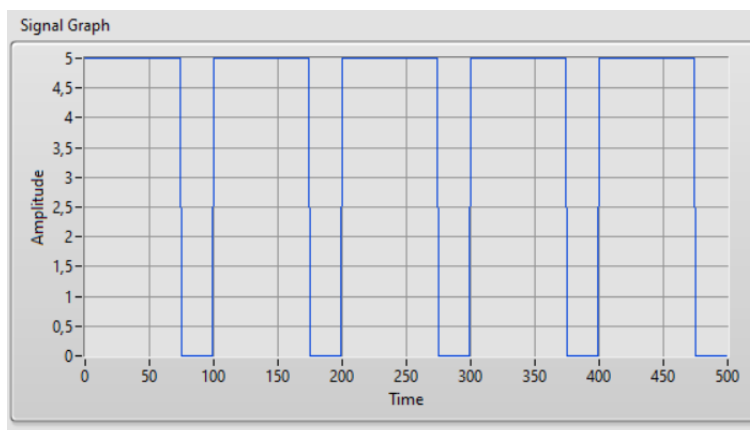


Graf 1



## Korak 2

Spremenite vrednost obeh analognih krmilnikov za DRIVE FACTOR na 0,75. Primerjajte valovno obliko *grafa 2* z obliko, narisano v *mreži 2* v poglavju 2. Glede na valovno obliko na zaslonu osciloskopa določite čase  $T$ ,  $TON$  in  $TOFF$  in jih vnesite v *tabelo 2*. V *tabelo 2* vnesite tudi odčitke napetosti na voltmetru ( $U_b$ ).



Graf 2

$D$ [%]	$T$ [ $\mu\text{s}$ ]	$TON$ [ $\mu\text{s}$ ]	$TOFF$ [ $\mu\text{s}$ ]	$U_b$ [V]
25				
50				

Tabela 2: Parametri signala PWM

**Vprašanje 1:** Zakaj moramo čas  $T$ ,  $TON$  in  $TOFF$  določiti na zaslonu osciloskopa in ne na izhodnem grafu funkcije PWM?

**Vprašanje 2:** Zakaj delujoči motor ne upošteva pravokotne oblike napetostnega signala PWM namesto enosmerne napetosti konstantne ravni?

## 3.1 Primerjava rezultatov

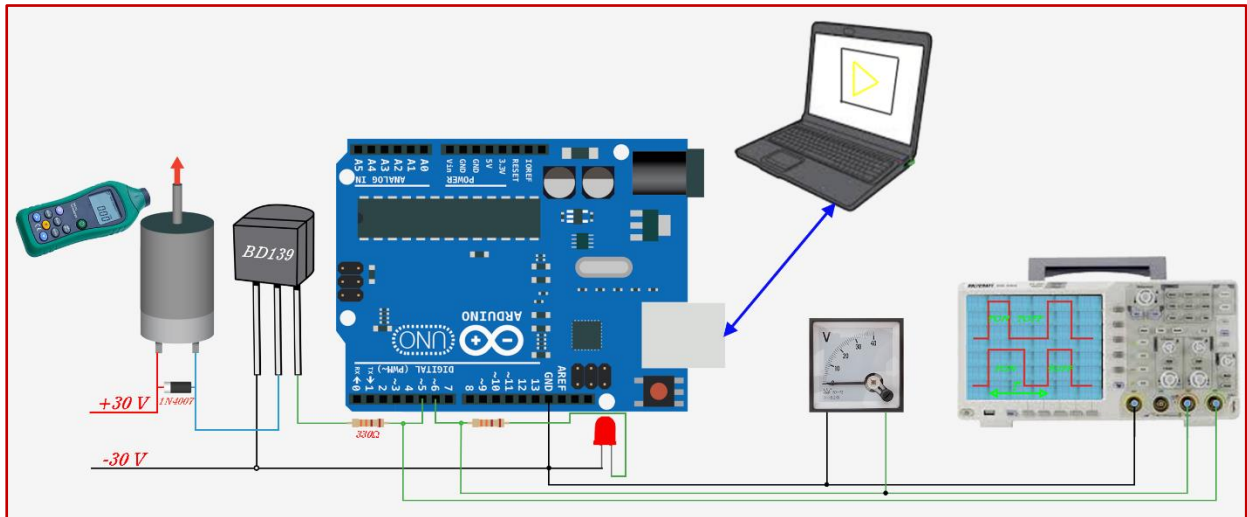
Prijavite se v platformo CORELA, da vnesete vrednosti. Vnesite vrednosti  $TON$  in  $TOFF$  ter srednje vrednosti krmilne napetosti in jih pošljite na izobraževalno platformo v skladu s postopkom, opisanim v poglavju 5 tega priročnika.

Pridobljene vrednosti primerjajte z vrednostmi dijaka 1 in dijaka 3.



#### 4. Praktična izvedba in merjenje (dijak 3)

Ta del vaje je povezan s praktično izvedbo električnega tokokroga in izvajanjem realističnih meritev. Cilj je še enkrat preizkusiti nadzor PWM, vendar tokrat v realnih razmerah. Za izvajanje vaje uporabljamo platformo ARDUINO in opremo, prikazano na *sliki 4.1*.



Slika 4.1

Za izvedbo poskusa se uporablja naslednja strojna in programska oprema:

1. Preizkusna plošča
2. DC napajalnik (0-30 V)
3. Arduino UNO / NANO s platformo Corela
4. Električni upor 330  $\Omega$  x 2
5. Tranzistor BD139 / 2N2222 ( $I_{cmax} = 1,5 \text{ A} / 800 \text{ mA}$ )
6. Dioda 1N4007
7. Enosmerni motor 30 V / maks. 200 mA / nazivna hitrost 1000 vrt / min
8. LED rdeča
9. Merilnik enosmerne napetosti
10. Osciloskop
11. Elektronski števec revolute
12. Računalnik z virtualno platformo CORELA

**Opomba:** Frekvenca signala PWM je 1000 Hz. Dodana je bila LED za vizualizacijo nadzora s PWM signalom.



## Korak 1

Na začetku vnaprej pripravljeno (ASRL4 :: INSTR) elektronsko ploščo ARDUINO UNO preko USB povezave povežemo z računalnikom.

Zaženite aplikacijo in pritisnite tipko <Continual mode>.

Nato na namizje vstavite <Analog control> izbrani iz menija [Functions list->Controls and indicators->Controls]. Preberite številčno vrednost 6 za PWM kanal samega krmiljenja (enega od PWM kanalov na plošči ARDUINO UNO).

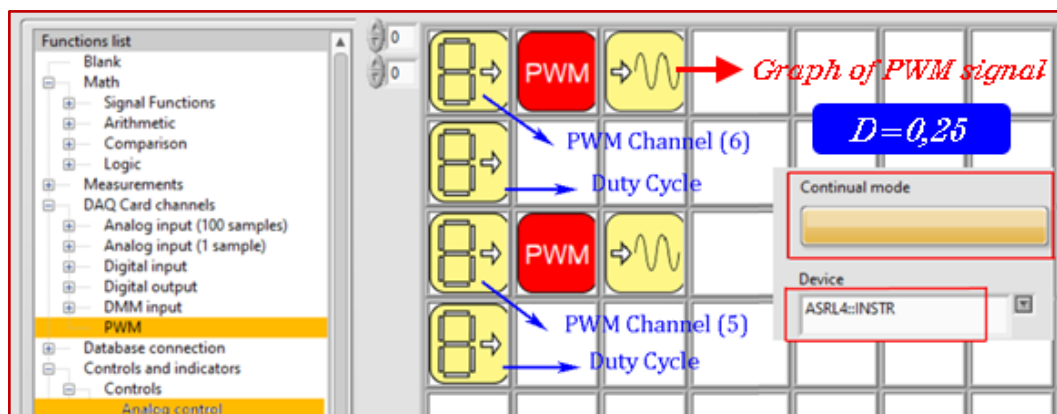
Ponovno vstavite <Analog control>. pod prejšnjega preberite številčno vrednost 0,25 za VODILNI FAKTOR (D).

Vstavite funkcijo <PWM> iz menija [Functions list->DAQ card channels] na svoje mesto v skladu s sliko. Ta funkcija potrebuje dva vhoda, predhodno shranjena v dveh <Analog control>.

Desno od funkcije <PWM> vstavite <Signal indicator> iz menija [Functions list->Controls and indicators->Indicators].

Ponovite celoten postopek v skladu s sliko in spremenite samo vrednost <Analog control> za PWM kanal na številko 5.

Postavitve v aplikaciji je prikazana na *sliki 4.2*.



Slika 4.2

Preberite hitrost ( $v_D$ ) na elektronskem števcu in jo vnesite v *Tabelo 3*.

V *tabelo 3* vnesite odčitke napetosti ( $U_D$ ) na voltmetru.

Določite čase  $T$ ,  $T_{ON}$  in  $T_{OFF}$  glede na valovno obliko na zaslonu osciloskopa in jih vnesite v *tabelo 3*.

## Korak 2

V Coreli spremenite samo vrednost obeh analognih kontrol za delovni cikel na 0,75.

Preberite hitrost ( $v_D$ ) na elektronskem števcu in jo vnesite v *Tabelo 3*.

V *tabelo 3* vnesite odčitke napetosti ( $U_D$ ) na voltmetru.

Določite čase  $T$ ,  $T_{ON}$  in  $T_{OFF}$  glede na valovno obliko na zaslonu osciloskopa in jih vnesite v *tabelo 3*.



D [%]	$T$ [ $\mu$ s]	$TON$ [ $\mu$ s]	$TOFF$ [ $\mu$ s]	$U_D$ [V]	$v_D$ [o/min]
25					
75					

Tabela 3: Krmiljenje PWM motorja

**Vprašanje 1:** Ali je sprememba hitrosti vrtenja sorazmerna s spremenjenimi vrednostmi vodilnega faktorja?

**Vprašanje 2:** Napišite formule za določanje hitrosti enega enosmernega motorja s serijskim in enega enosmernega motorja z vzporednim vzbujanjem in jih povežite z odgovorom na 1. vprašanje.

#### 4.1 Primerjava rezultatov

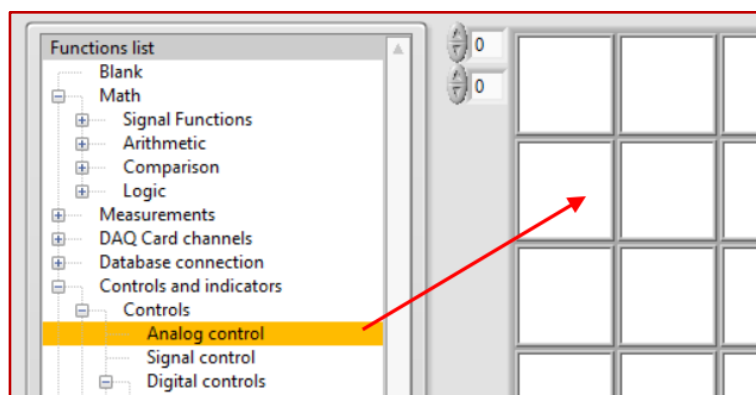
Za registracijo in prenos podatkov se prijavite v platformo CORELA. Vnesite vrednosti periode,  $TON$  in  $TOFF$  ter srednje vrednosti krmilne napetosti in jih pošljite na izobraževalno platformo v skladu s postopkom, opisanim v poglavju 5 tega priročnika.

Pridobljene vrednosti primerjajte z vrednostmi dijaka 1 in dijaka 2.

## 5. Postopek pisanja in pošiljanja podatkov na izobraževalno platformo (Moodle)

### 1. korak: Vnesite in shranite podatke

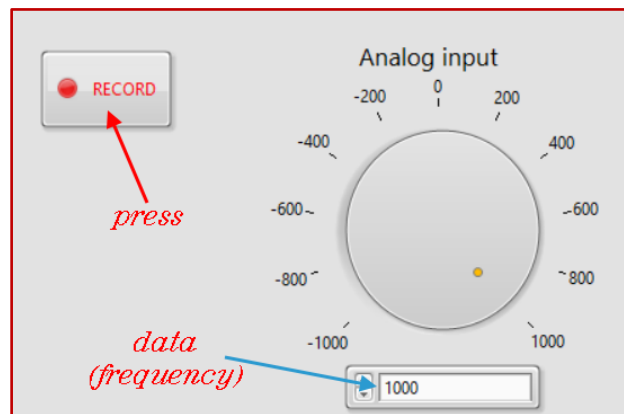
Iz menija [Functions list->Controls and indicators->Controls] izberite <Analog control>in ga z levim klikom na miški postavite na prazno polje namizja.



Slika 5.1 Nastavitev <Analog control>

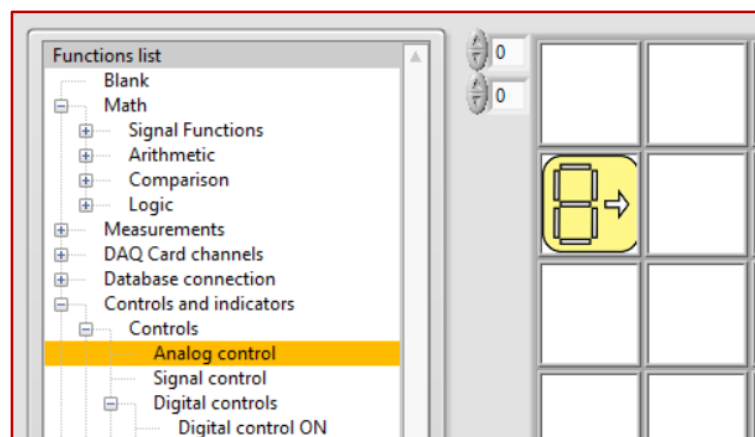


Odpre se pojavno okno, kjer vnesemo vrednost frekvence signala PWM (Slika 5.2).



Slika 5.2 Vnos podatkov

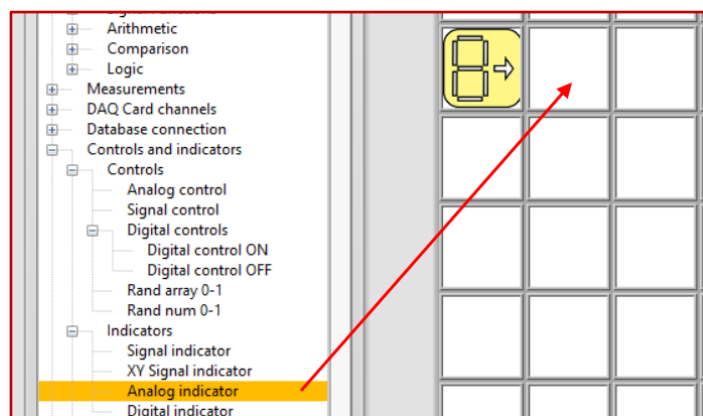
Podatki se shranijo s pritiskom na tipko <Record> (Slika 5.2).



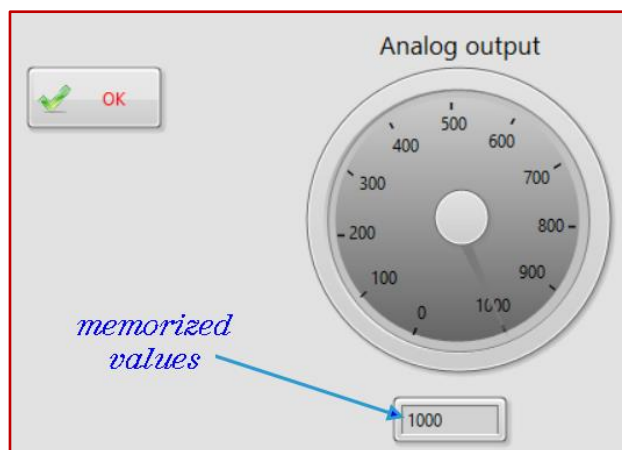
Slika 5.3 Videz zaslona po shranjevanju podatkov

## 2. korak: Pregled shranjenih podatkov

Z nastavitvijo <Analog indikator> v polju desno poleg gumba <Analog control> (Slika 5.4), lahko dostopate do podatkov, vnesenih na platformi Corela.

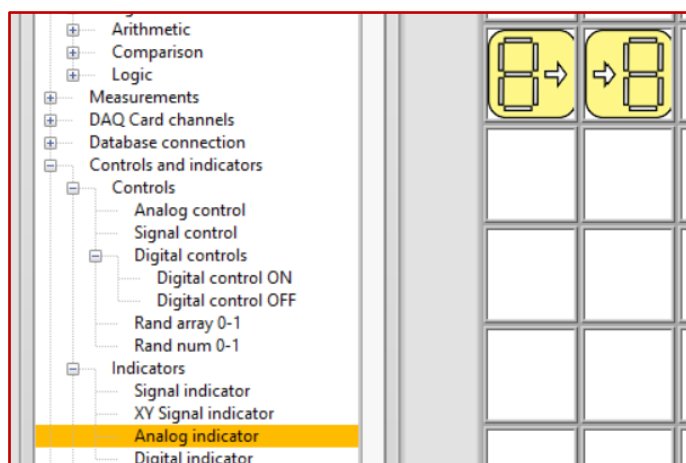


Slika 5.4 Nastavitev <Analog indikator>



Slika 5.5 Prikaz vnosa frekvenčnih vrednosti

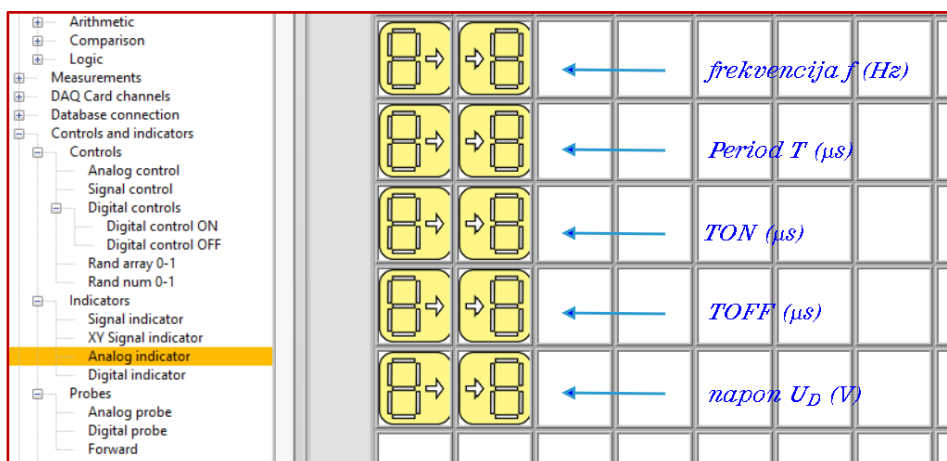
Nato pritisnite gumb <OK> in se vrnite na namizje (slika 5.6).



Slika 5.6 Postavitev zaslona po nastavitvi < Analog indicator>i

3. korak: Vnesite čas  $T$ ,  $TON$ ,  $TOFF$  in srednje vrednosti napetosti  $U_D$

Ponovite postopek za vnos  $T$ ,  $TON$ ,  $TOFF$  in  $U_D$ . Z nastavitvijo novega kontrolnika <Analog control> in novega namizja <Analog indicator> za vsako od naštetih velikosti si jih bo platforma Corela zapomnila za nadaljnjo uporabo (slika 5.7)

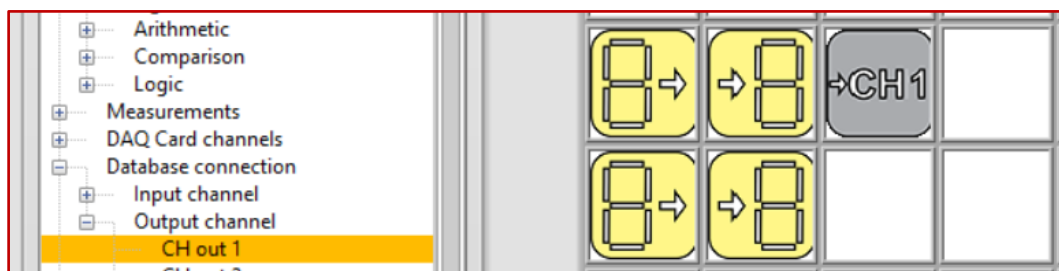


Slika 5.7 Prikaz naloge vnosa podatkov platforme CORELA



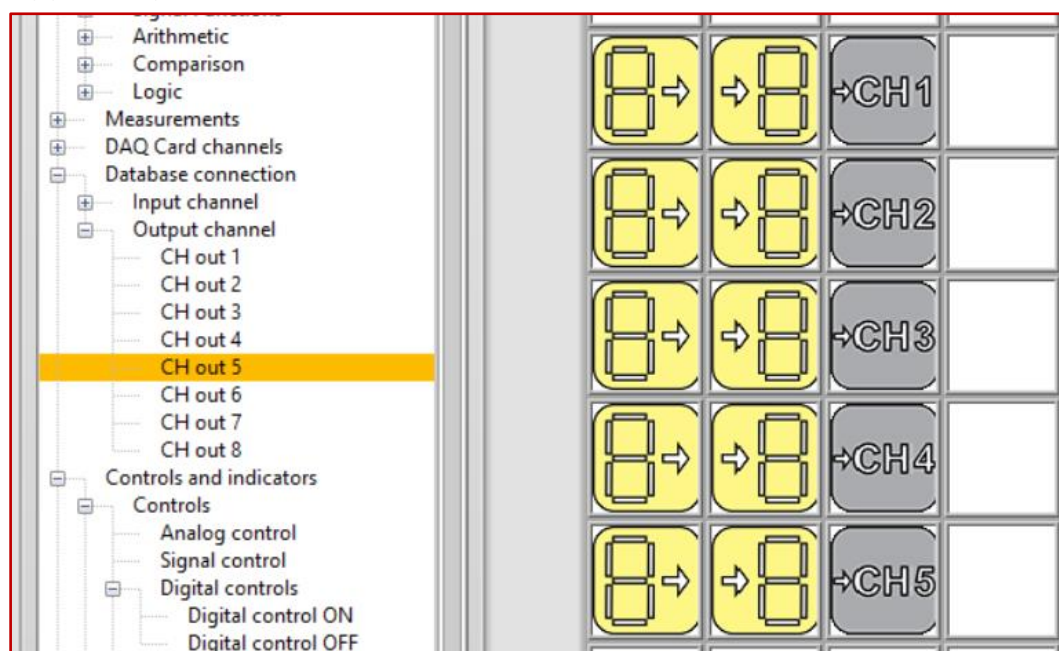
#### 4. korak: Pošiljanje podatkov na izobraževalno platformo

Pošiljanje podatkov na izobraževalno platformo (Moodle) se izvede z izbiro enega od izhodnih kanalov v meniju [Functions list->Database connection->Output channel]. Če želite poslati frekvenčne podatke, izberite <CH out 1> (slika 5.8).



Slika 5.8 Pošiljanje podatkov na izobraževalno platformo

Vsi drugi podatki se pošiljajo na izobraževalno platformo po drugih izhodnih kanalih (<CH out2>, <CH out3>, ...) (slika 5.9).



Slika 5.9 Videz zaslona po pošiljanju rezultatov na izobraževalno platformo

**Po opravljeni nalogi odprite "klepetalnico" - „chat room“.**

**Dobljene rezultate primerjajte in komentirajte na tri načine:**

6. Z izračunom (dijak 1)
7. S simulacijo (dijak 2)
8. Z merjenjem (dijak 3)

**Video material:**

<https://www.youtube.com/watch?v=DWw8bTcjo8s>



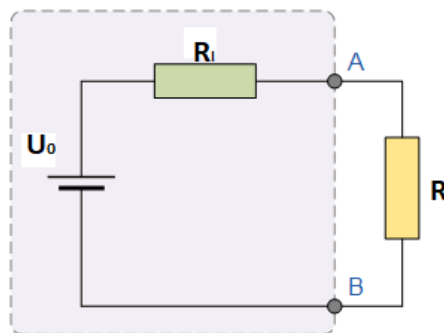
## VII. Maksimalni prenos moči

### 1. Uvod

S priključitvijo obremenitvene upornosti  $R$  prek priključkov za napajanje se impedanca obremenitve spreminja od stanja odprtega kroga do stanja kratkega stika. Moč obremenitve je odvisna od impedance vira energije. Da se lahko največja možna moč prenese na breme, jo je treba "uskladiti" z impedanco napajalnika in to je osnova največjega prenosa moči.

Izrek o največjem prenosu moči je uporabna metoda analize vezja, s katero zagotovimo, da največjo količino moči razprši obremenitveni upor  $R$ , ko je vrednost upornosti obremenitve natanko enaka uporu  $R_i$  vira energije. Razmerje med impedanco obremenitve in notranjo impedanco vira energije določa moč pri obremenitvi.

Oglejte si sliko vezja.



Slika 1.1: Nadomestno vezje realnega vira z obremenitvijo

Primer maksimalnega prenosa moči

$$U_0 = 100 \text{ V}$$

$$R_i = 25 \Omega$$

$R$  je spremenljiv upor  
(0 – 100  $\Omega$ )

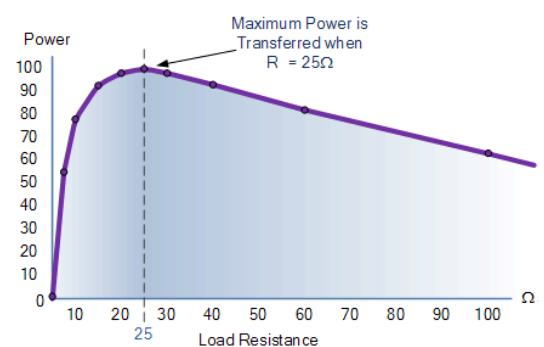
Z uporabo Ohmovega zakona:

$$I = \frac{U_0}{R + R_i} \quad \text{in} \quad P = I^2 R$$

lahko izpolnimo tabelo, iz katere razberemo vrednost toka in moči v odvisnosti od upornosti obremenitve.

$$P = \frac{U_0^2}{(R + R_i)^2} R$$

$R$ ( $\Omega$ )	$I$ (A)	$P$ (W)
0	4.0	0
5	3.3	55
10	2.8	78
15	2.5	93
20	2.2	97
25	2.0	100
30	1.8	97
40	1.5	94
60	1.2	83
100	0.8	64



Slika 1.2: Graf odvisnosti oddane moči od upornosti obremenitve



## 2. Izračun največjega prenosa moči (dijak 1)

Dijak bo analiziral električni tokokrog, sestavljen iz realnega vira in spremenljivega upora (slika 2.1).

Naloga je izračunati moč  $P$  nastavljivega upora  $R$  s pomočjo vrednosti, ki so navedene v tabeli.

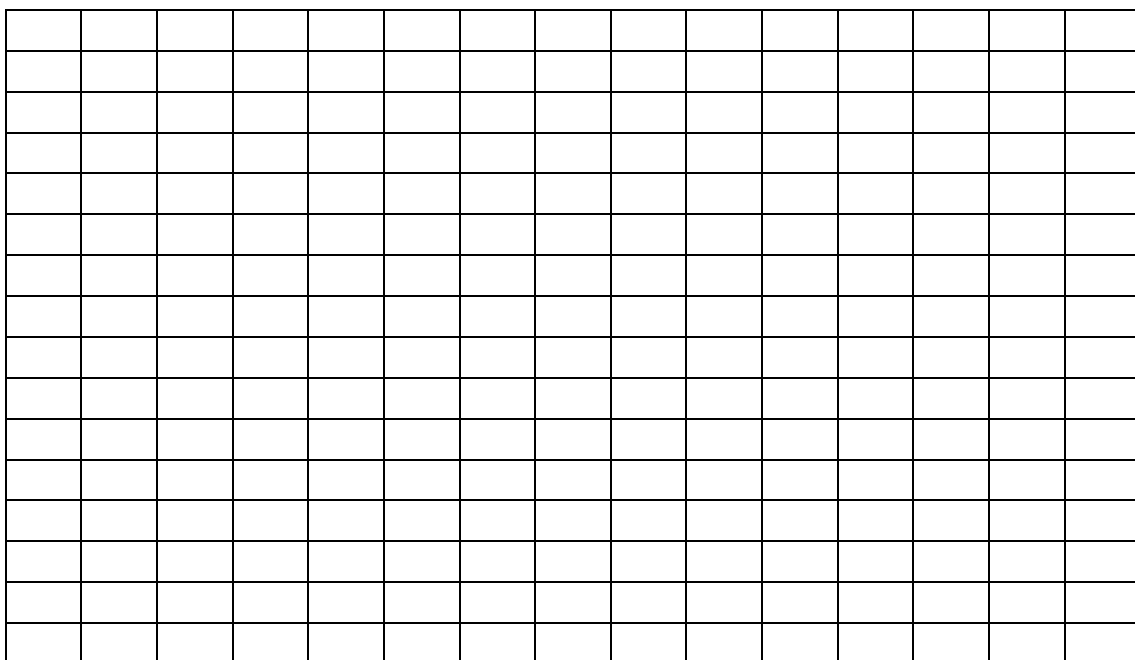
Vrednosti vira sta  $U_0 = 12\text{ V}$  in  $R_i = 10\ \Omega$  (te podatke poda dijak 3, ki izvaja meritve z realnim virom).



Slika 2.1 Vezje za analizo največje moči prenosa

$R\ (\Omega)$	$P\ (\text{W})$
1	
2	
4	
6	
8	
10	
12	
14	
16	
20	
24	
30	
40	
60	
100	

Druga del naloge je narisati graf odvisnosti moči od upornosti bremena.





## 2.1 Primerjava rezultatov

Prijavite se v platformo za oddajo podatkov CORELA. Vnesite vrednosti največje moči in ustreznega upora in jih pošljite na vadbeno platformo (glejte navodila v 5. poglavju).

Dobljene vrednosti primerjajte z vrednostmi, ki sta jih pridobila dijaka 2 in dijak 3.

## 3. Simulacija največjega prenosa moči (dijak 2)



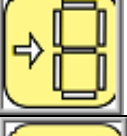




V tem delu vaje izvedemo simulacijo idealnega električnega vezja.

Namen simulacije je preveriti teoretične izračune iz 2. poglavja. Simulacija električnega vezja je izvedena z navidezno platformo CORELA.

Zato bomo z blokovnim diagramom prikazali naslednji izraz.

$$P = \frac{U_0^2}{(R + R_i)^2} R$$

Zaženite aplikacijo in izberite Analog control, ki je na seznamu funkcij v meniju Controls and indicators->Controls. Zapišite analogno vrednost 12 ( $U_0 = 12$  V). Na drugo pozicijo vnesite funkcijo Square (Math->Arithmetic). Upoštevajte naslednja navodila.

1.		Controls and indications->Controls->Analogcontrol	Zapišite analogno vrednost $U_0 = 12$ V
2.		Math->Arithmetic->Square	
3.		Controls and indications->Probes->Analog probe	Dobimo rezultat za $U_0^2$
4.		Controls and indications->Controls->Signal control	Velikost upora $R$
5.		Math->Arithmetic->Multiply	
6.		Controls and indications->Indicators->Signal indicator	Rezultat za $U_0^2 \times R$
7.		Controls and indications->Local variables->Write-VAR	Local variables 1 – vrednost števca Local variables 2 – vrednosti $R$



Tako smo dobili vrednosti šteevca.



Slika 3.1 Razpored funkcij

Sledi navodilo za blokovni diagram imenovalca.

1.		Controls and indications->Local variables->Read- VAR	Vrne vrednosti za local variables 2.
2.		Controls and indications->Controls->Analog control	Zapišite upornosti vira $R_i = 10 \Omega$
3.		Math->Arithmetic->Add	
4.		Controls and indications->Indicators->Signal indicator	1. Dobimo rezultat za $R + R_i$ 2. Dobimo rezultat za $(R + R_i)^2$
5.		Math->Arithmetic->Square	
6.		Controls and indications->Local variables->Write- VAR	Localvariables 3 – velikost imenovalca

Na ta način smo dobili vrednosti imenovalca.



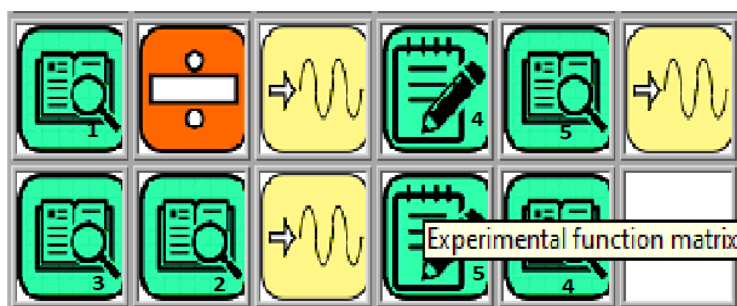
Slika 3.2 Razpored funkcij





Na koncu z delitvijo obeh vrednosti, števca in imenovalca, dobimo rezultat. Električna moč  $P$  je podana kot funkcija upornosti obremenitve  $R$ .

1.		Controls and indications->Local variables->Read-VAR	Bere vrednosti local variables 3. Bere vrednosti local variables 1. Bere vrednosti local variables 2.
2.		Math->Arithmetic->Divide	
3.		Controls and indications->Indicators-> Signal indicator	1. vrednost $P$ . 2. vrednost $R$ .
4.		Controls and indications->Local variables->Write-VAR	Local ariables 4 – vrednosti $P$ Local variables 5 – vrednosti $R$
5.		Controls and indications->Indicators->XY Signal indicator	Graf prikazuje odvisnost moči od upora: $P = f(R)$



Slika 3.3 Razpored funkcij

### 3.1 Primerjava rezultatov

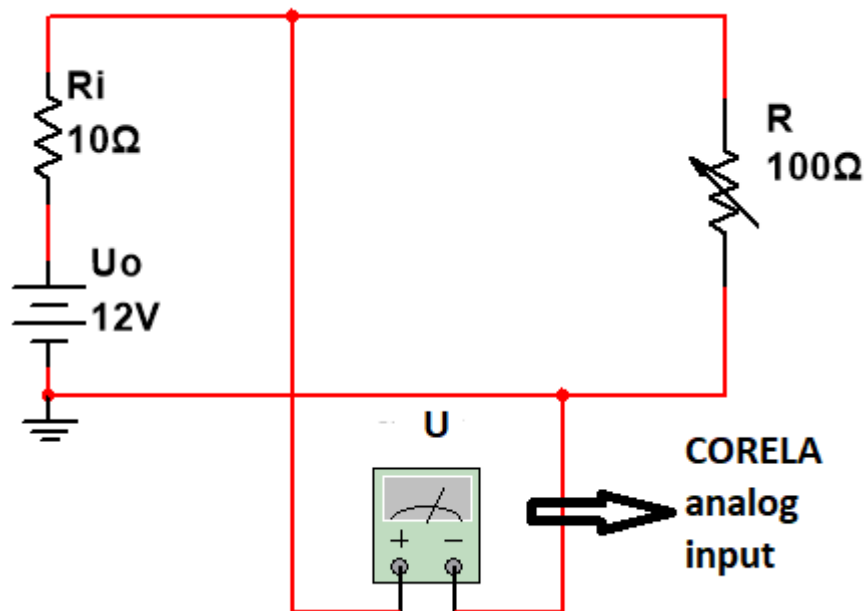
Prijavite se v platformo za oddajo podatkov CORELA. Preberite vrednost največje moči in upornosti iz grafa, in jih vnesite na izobraževalni platformo (glejte navodila v poglavju 5).

Primerjajte dobljene vrednosti z vrednostmi dijaka 1 in 3.



#### 4. Praktična izvedba meritve (dijak 3)

V tem delu vaje naredimo realno vezje in na njem izvedemo meritve. Namen vaje je opazovati največji prenos moči v realnih pogojih. Za izvedbo poskusa uporabimo načrt, ki ga najdete na sliki 4.1



Slika 4.1 Načrt vezave za praktično vajo

Imamo vir napetosti za katerega poznamo  $U_0$  in  $R_i$  ter spremenljiv upor  $R$ . S spreminjanjem vrednosti upornosti  $R$  bomo določili, kdaj pride do največjega prenosa moči.  $R$  in  $R_i$  tvorita napetostni delilnik napetost, kjer velja:

$$\frac{R}{R_i} = \frac{U}{U_{R_i}} = \frac{U}{U_0 - U}$$

Z merjenjem napetosti lahko izračunamo:

$$R = \frac{R_i \cdot U}{U_0 - U} \quad \text{in} \quad P = \frac{U^2}{R}$$

Napetost  $U$  bomo v aplikacijo CORELA vnesli s funkcijo analog input (če imamo kartico za zajem podatkov / kartico DAQ), sicer pa uporabimo voltmeter in funkcijo Signal control, izračun pa bomo izvedli na naslednji način:



Izračun upornosti  $R$ .

1.		Controls and indications->Controls->Analogcontrol	1. Posname vrednost $U_0 = 12\text{ V}$ . 2. Posname vrednost $R_i = 10\ \Omega$ . 3. $R$ posname vrednost $R$ .
2.		DAQ card channels->Analog input	Izmeri napetost $U$ .
3.		Math->Arithmetic->Subtract	
4.		Math->Arithmetic->Multiply	
5.		Math->Arithmetic->Divide	
6.		Controls and indications->Probes->Analog probe	1. Vrednost $U_0 - U$ . 2. Vrednost $R_i \times U$ . 3. Vrednost $U^2$ .
7.		Math->Arithmetic->Square	
8.		Controls and indications->Local variables->Write-VAR	Local variables1 – vrednost imenovalca. Localvariables2 – vrednost števc. Localvariables3 – vrednost $R$ . Localvariables4 – vrednost $P$ .



Slika 4.3 Izračun moči  $P$



Slika 4.2 izračun upornosti  $R$



#### 4.1 Primerjava rezultatov

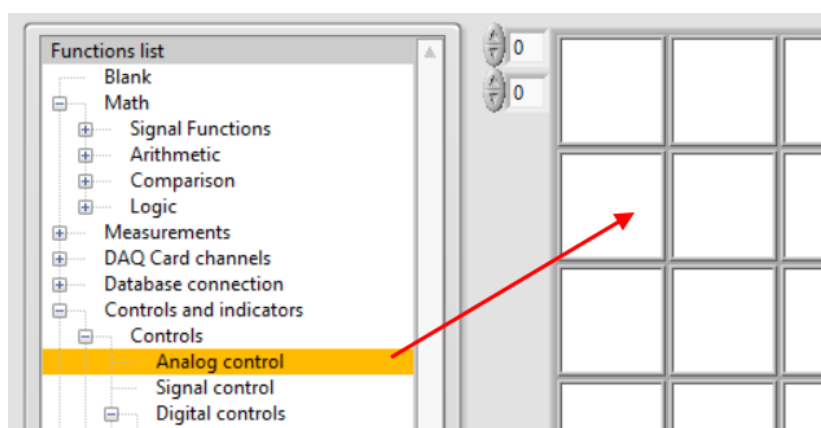
Prijavite se v platformo za oddajo podatkov CORELA. Vnesite največjo moč in s tem povezane vrednosti upora ter jih pošljite na izobraževalno platformo (glejte navodila v poglavju 5).

Dobljene vrednosti primerjajte z vrednostmi, pridobljenimi od dijaka 1 in dijaka 2.

### 5. Postopek vpisa in pošiljanja podatkov na izobraževalno platformo (Moodle)

#### 1. korak: Vnesite in shranite podatke

V meniju <Functions list-> Controls and indicators-> Controls> izberite analog control <Analog control> in jo z levim klikom na miški postavite na prazno polje na namizju.

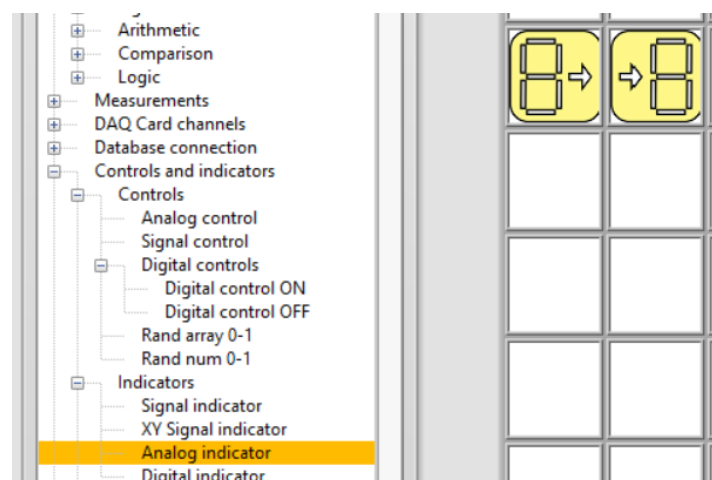


Slika 5.1 Nastavitev funkcije <Analog control>

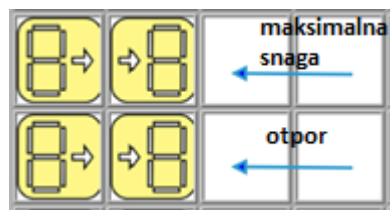
Odpre se pojavno okno, kjer vnesemo vrednost, ki jo želimo nastaviti na platformi CORELA. Ker imamo dva podatka, največjo moč in vrednost upora, isto funkcijo uporabimo dvakrat.

#### 2. korak: Pregled shranjenih podatkov

Z namestitvijo <Analog indicator> v polje desno od že nastavljenega analognega krmilnika <Analog control> (Slika 5.2) so na voljo podatki, vneseni v platformo CORELA.



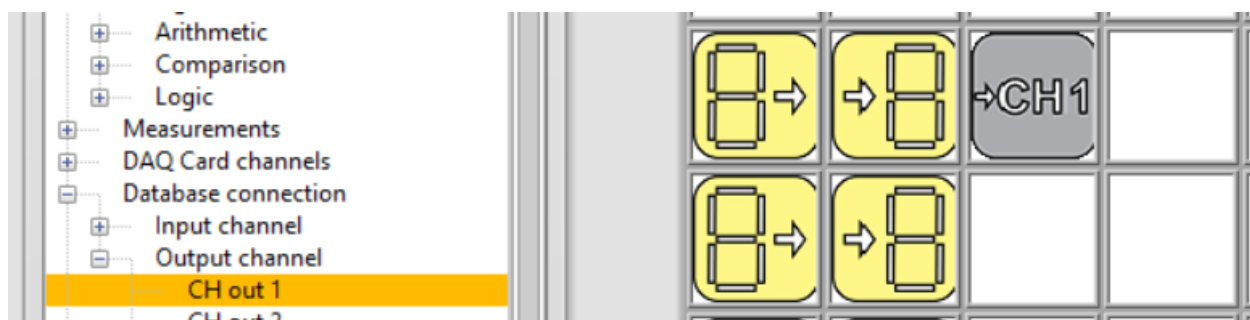
Slika 5.2 Postavitev zaslona po nastavitvi funkcije <Analog indicator>



Slika 5.3 Prikaz nalog vnosa podatkov platforme CORELA

3. korak: Pošljite podatke na izobraževalno platformo

V meniju s seznamom funkcij <Functions list->Database connection-> Output channel>izberite izhodni kanal 1 <CH out 1> za prve podatke ali izhodni kanal 2 <CH out 2> za druge podatke.



Slika 5.4 Pošiljanje podatkov na izobraževalno platformo

Video material:

[https://youtu.be/HE4i\\_2nEbDc](https://youtu.be/HE4i_2nEbDc)