
ELEKTROTEHNIKA - zbirka vaj

Ta zbirka vaj je namenjena študentom Pedagoške fakultete,
Univerze v Ljubljani.

dr. David Rihtaršič

2020-03-15

Kazalo

1	Nelinearni upori in senzorji	5
1.0.1	NALOGA: FOTOUPOR	5
1.0.2	NALOGA: TERMISTOR	6
1.1	Umeritev senzorja	6
1.1.1	NALOGA: UMERITEV SENZORJA TEMPERATURE	7
2	Kondenzator v izmeničnih tokokrogih	9
2.0.1	NALOGA: NAPETOSTI V IZMENIČNIH TOKOKROGIH	9
2.0.2	NALOGA: PREVERITE 2. KIRCHHOFFOV IZREK	10
2.0.3	NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (osciloskop)	10
2.0.4	NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (simulacija)	10
2.0.5	NALOGA: KARAKTERISTIČNE VREDNOSTI IZMENIČNE NAPATOSTI	11
2.1	Fazni zamik količin v izmeničnih tokokrogih	12
2.1.1	NALOGA: KAZALČNI DIAGRAM	13
2.2	Tok v izmeničnih tokokrogih s kapacitivnim bremenom	13
2.2.1	NALOGA: TOK V IZMENIČNEM KROGU S KAPACITIVNIM BREMENOM	14
2.2.2	NALOGA: IMPEDANCA KONDENZATORJA	14
2.2.3	NALOGA: FAZNI ZAMIK MED TOKOM IN NAPETOSTJO	15
3	TOK IN NAPETOST V IZMENIČNIH TOKOKROGIH Z INDUKTIVNIM BREMENOM	17
3.0.1	NALOGA: NAPETOST V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM	17
3.0.2	NALOGA: TOK V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM	18
3.1	NAVIDEZNA, DELOVNA IN JALOVA MOČ	18
3.1.1	NALOGA: NAVIDEZNA MOČ	19
3.1.2	NALOGA: DELOVNA MOČ	19
3.2	JALOVA MOČ	19
3.2.1	NALOGA: JALOVA MOČ	20
3.2.2	NALOGA: KOMPENZACIJA JALOVE MOČI	20

4	Krmiljenje servo-motorjev	21
4.1	Preskušanje delovanja servo-motorja	22
4.1.1	NALOGA: PROGRAMSKO KRMILJENJE SERVO-MOTORJA	22
4.1.2	NALOGA - KRMILENJE SERVOMOTORJA	23
5	Krmiljenje koračnih motorjev	25
5.1	Uni-/Bi- polarni koračni motorji	25
5.2	Načini krmiljenja koračnega motorja	26
5.2.1	NALOGA: DOLOČITEV VEZAVE STATORJA KORAČNEGA MOTORJA	27
5.2.2	NALOGA: KRMILJENJA KORAČNEGA MOTORJA	27
5.2.3	NALOGA: KRMILJENJE V POLNO- IN POL- KORAČNEM NAČINU	28
6	ENOSMERNI MOTOR	29
6.1	KONSTANTA MOTORJA	29
6.1.1	NALOGA: KONSTANTA MOTORJA	30
7	ELEKTRIČNI DALJNOVODI	31
7.1	DALJNOVOD brez uporabe transformatorja	31
7.1.1	NALOGA: IZKORISTEK DALJNOVODA.	31
7.2	DALJNOVOD S TRANSFORMATORSKO POSTAJO	33
7.2.1	NALOGA: IZKORISTEK DALJNOVODA S TRANSFORMATORSKO POSTAJO.	34
8	Nelinearni upori in senzorji	35
8.0.1	NALOGA: FOTOUPOR	35
8.0.2	NALOGA: TERMISTOR	35
8.1	Umeritev senzorja	35
8.1.1	NALOGA: UMERITEV SENZORJA TEMPERATURE	35
9	Kondenzator v izmeničnih tokokrogih	37
9.0.1	NALOGA: NAPETOSTI V IZMENIČNIH TOKOKROGIH	37
9.0.2	NALOGA: PREVERITE 2. KIRCHHOFFOV IZREK	37
9.0.3	NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (osciloskop)	37
9.0.4	NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (simulacija)	37
9.0.5	NALOGA: KARAKTERISTIČNE VREDNOSTI IZMENIČNE NAPATOSTI	38
9.1	Fazni zamik količin v izmeničnih tokokrogih	38
9.1.1	NALOGA: KAZALČNI DIAGRAM	38
9.2	Tok v izmeničnih tokokrogih s kapacitivnim bremenom	38
9.2.1	NALOGA: TOK V IZMENIČNEM KROGU S KAPACITIVNIM BREMENOM	38
9.2.2	NALOGA: IMPEDANCA KONDENZATORJA	39

9.2.3	NALOGA: FAZNI ZAMIK MED TOKOM IN NAPETOSTJO	39
10	TOK IN NAPETOST V IZMENIČNIH TOKOKROGIH Z INDUKTIVNIM BREMENOM	41
10.0.1	NALOGA: NAPETOST V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM	41
10.0.2	NALOGA: TOK V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM	41
10.1	NAVIDEZNA, DELOVNA IN JALOVA MOČ	41
10.1.1	NALOGA: NAVIDEZNA MOČ	41
10.1.2	NALOGA: DELOVNA MOČ	42
10.2	JALOVA MOČ	42
10.2.1	NALOGA: JALOVA MOČ	42
10.2.2	NALOGA: KOMPENZACIJA JALOVE MOČI	42
11	Krmiljenje servo-motorjev	43
11.1	Preskušanje delovanja servo-motorja	43
11.1.1	NALOGA: PROGRAMSKO KRMILJENJE SERVO-MOTORJA	43
11.1.2	NALOGA - KRMILENJE SERVOMOTORJA	43
12	ELEKTRIČNI DALJNOVODI	45
12.1	DALJNOVOD brez uporabe transformatorja	45
12.1.1	NALOGA: IZKORISTEK DALJNOVODA.	45
12.2	DALJNOVOD S TRANSFORMATORSKO POSTAJO	45
12.2.1	NALOGA: IZKORISTEK DALJNOVODA S TRANSFORMATORSKO POSTAJO.	45

1 Nelinearni upori in senzorji

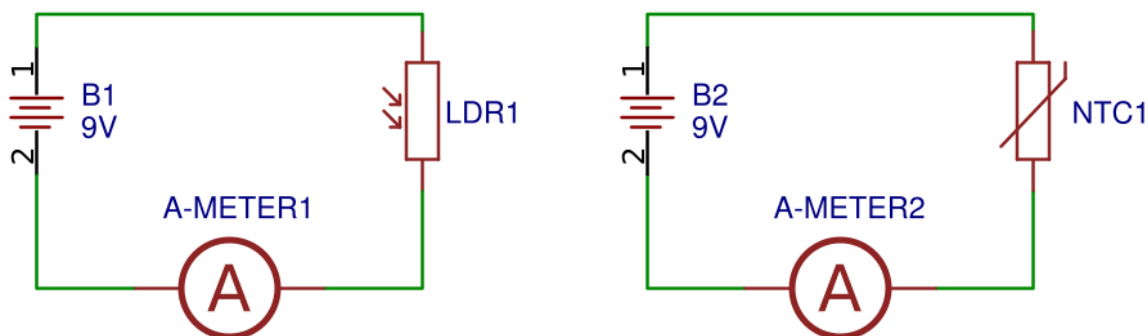
Med nelinearne upore sodijo tudi upori, katerih upornost se spreminja v odvisnosti od neke fizikalne količine. Tako poznamo tudi upore, katerih upornost se spreminja v odvisnosti od:

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

1.0.1 NALOGA: FOTOUPOR

Sestavite vezje, ki ga prikazuje sl. 1.1 - levo. Nato spreminjajte osvetljenost elementa in opazujte kako se spreminja električni tok skozi element. Ugotovitev tudi napišite.

Nato na podlagi teh ugotovitev utemeljite kako se spreminja upornost elementa glede na njegovo osvetljenost.



Slika 1.1: Priključitev fotoupora in termistorja.

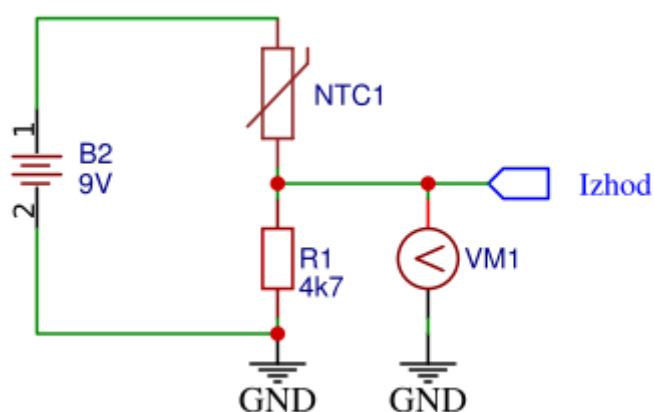
1.0.2 NALOGA: TERMISTOR

Sestavite vezje, ki ga prikazuje sl. 1.1 - desno. Nato spreminjajte temperaturo elementa in opazujte kako se spreminja električni tok skozi element. Ugotovitev tudi napišite.

Nato na podlagi teh ugotovitev utemeljite kako se spreminja upornost elementa glede na njegovo temperaturo.

1.1 Umeritev senzorja

Senzor je elektronski element, katerega izhodna električna količina je odvisna od neke fizikalne količine. V našem primeru bomo sestavili senzor temperature. V delilnik napetosti bomo vezali termistor in upor s konstantno upornostjo, kot prikazuje sl. 1.2.



Slika 1.2: Sestava preprostega temperaturnega senzorja.

Premislimo, kako lahko razumemo delovanje senzorja:

1. Če se temperatura poveča, se bo upornost termistorja R_{NTC} zmanjšala.
2. Ker se skupna upornost $R' = R_{NTC} + R_1$ zmanjša, bo tok, ki teče po tem vezju večji $I' = \frac{U_B}{R'}$.
3. Ker je sedaj tok skozi vezje večji in le-ta teče tudi skozi upor R_1 bo na njem napetost večja $U_{R_1} = R_1 I'$.
4. Prav to napetost pa tudi merimo z volt-metrom $VM1$.
5. Zaključimo lahko, da se napetostni potencial na izhodnem priključku poveča, če se je tudi temperatura povečala.

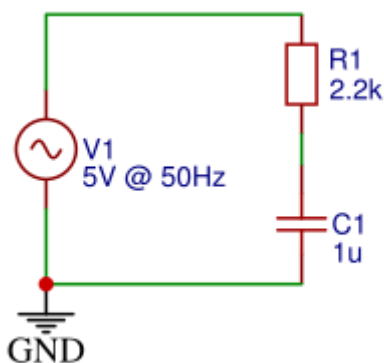
1.1.1 NALOGA: UMERITEV SENZORJA TEMPERATURE

Sestavite senzor temperature, kot je predstavljen na sl. 1.2. Spreminjajte temperaturo termistorja in beležite izhodno napetost. Meritve uredite tudi v tabeli. Nato iz dobljenih meritev lahko narišete graf $U_{izh}(T)$.

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

2 Kondenzator v izmeničnih tokokrogih

Sestavite vezje, ki je predstavljeno na sl. 2.1. Na levi strani imamo vir napetosti amplitude $\hat{U} = 5V$ in nanj smo zaporedno priključili upor $R = 2,2k\Omega$ in kondenzator $C_1 = 1\mu F$. Preverite napetosti na posameznih elementih.



Slika 2.1: Shema priključitve zaporedne vezave upora in kondenzatorja na izmenični vir napetosti.

2.0.1 NALOGA: NAPETOSTI V IZMENIČNIH TOKOKROGIH

Sestavite vezje na sl. 2.1 in z V-metrom izmerite napetosti na elementih in jih vpišite v tabelo. V shemo vključite tudi priključitev vseh treh V-metrov.

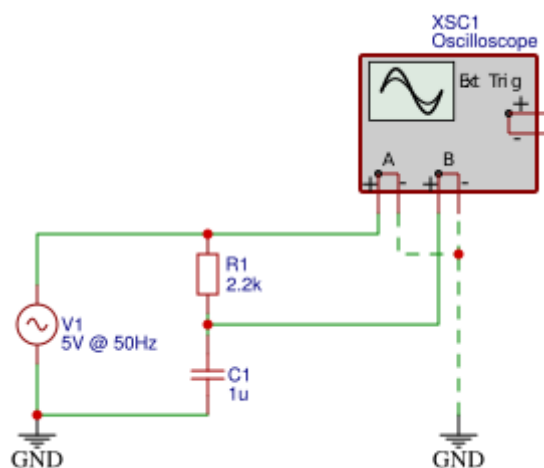
Tabela 2.1: Izmerjene efektivne vrednosti napetosti na elementih v izmeničnem tokokrogu.

element	$\tilde{U}[V]$
V1	
R1	
C1	

2.0.2 NALOGA: PREVERITE 2. KIRCHHOFFOV IZREK

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

Če želimo prikazati časovno odvisnost napetostnega potenciala ($U(t)$) lahko uporabimo merilni inštrument, ki ga imenujemo osciloskop. Priključiti ga moramo tako, kot to prikazuje sl. 2.2.



Slika 2.2: Priključitev osciloskopa v vezje.

2.0.3 NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (osciloskop)

V vezje priključite osciloskop, kot kaže sl. 2.2.

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

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

2.0.4 NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (simulacija)

Na isti graf $U(t)$ prikazujte:

1. Časovni potek napetosti vira,

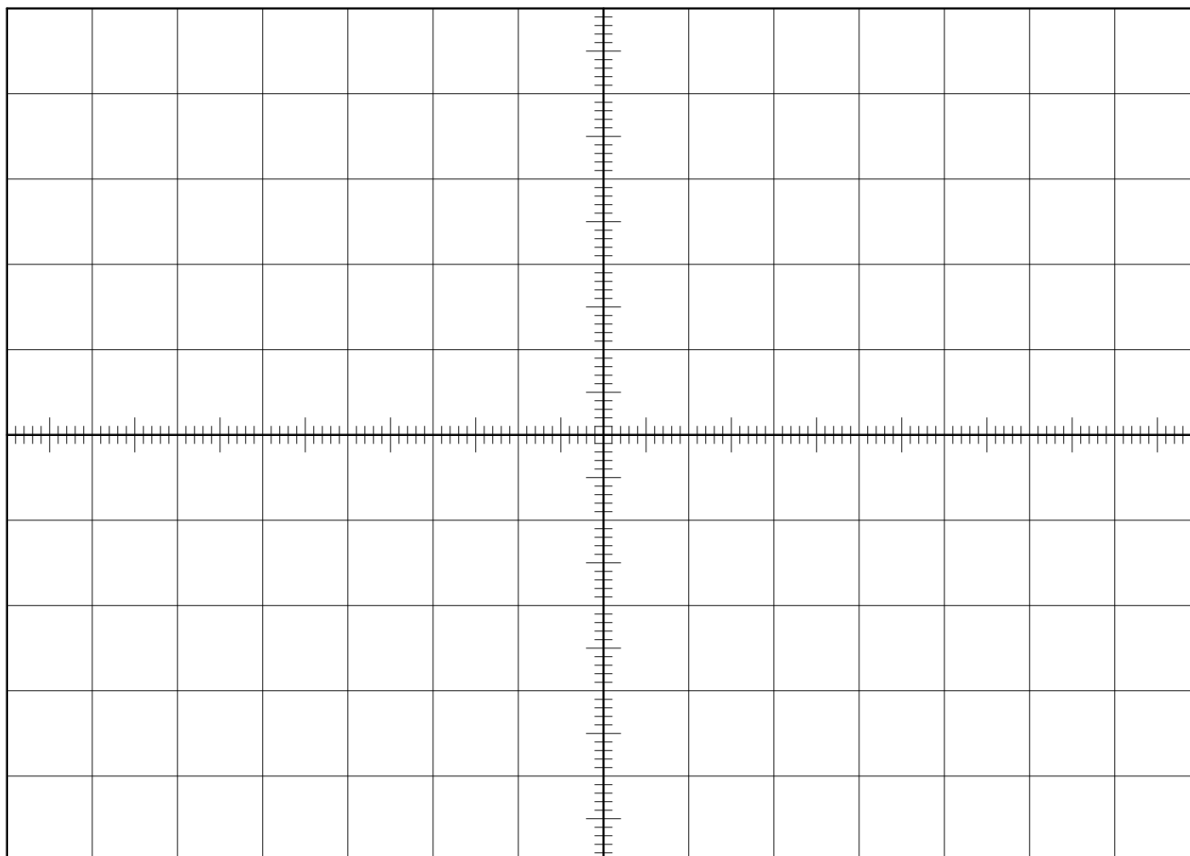
2. časovni potek napetosti na kondenzatorju in

3. časovni potek napetosti na upor.

Na graf lahko dodate več krivulj tako, da:

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

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



Slika 2.3: Graf čarovne odvisnosti napetosti vira, napetosti na upor in na kondenzatorju.

2.0.5 NALOGA: KARAKTERISTIČNE VREDNOSTI IZMENIČNE NAPATOSTI

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

- \hat{U} - amplitudna napetost - največji odmik krivulje od srednje vrednosti in
- $t_{\hat{U}}$ - čas, pri katerem se pojavi amplitudna napetost.
- φ - fazni premik med napetostmi, pri čemer smo za orientacijo vzeli napetost na upor.^a
- $U_{t=konst.}$ - napetost na elementu ob istem trenutku za vse tri krivulje. Na primer napetost na

elementu pri času $t = 15\text{ms}$.

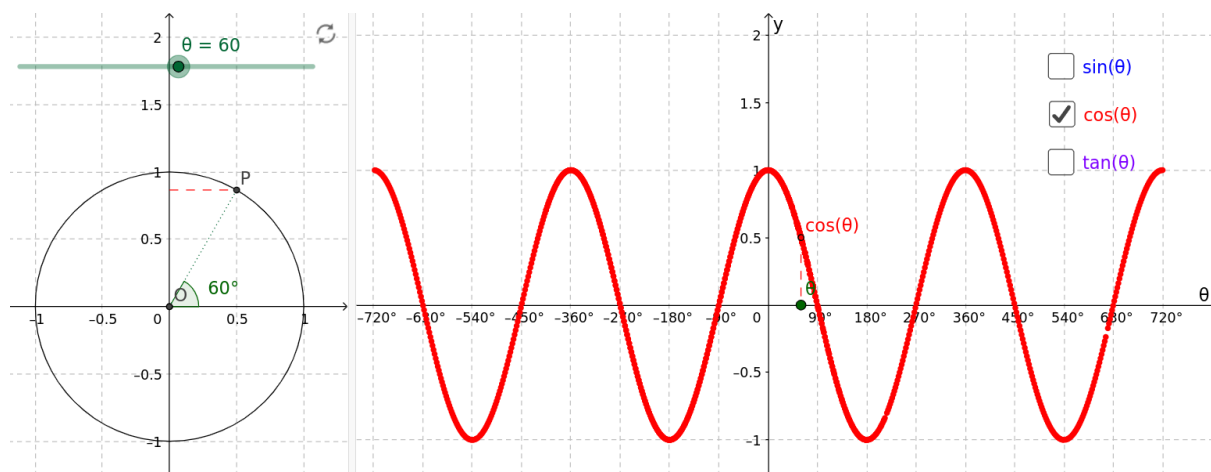
^aGlej naslednji naslov - FAZNI PREMIK. Fazni premik izračunamo tako, da najprej odčitamo časovno razliko med dvema začetnima točkama dveh krivulj. Tako dobimo Δt . Nato moramo odčitati še čas dolžine periode (t_0), ki je v našem primeru $t_0 = 20\text{ms}$. To je čas, po katerem se fizikalni pojav ponavlja. Če ta čas predstavlja 360° , potem je Δt iskani fazni premik φ .

Tabela 2.2: Izmerjene karakteristične vrednosti časovnega poteka napetosti.

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

2.1 Fazni zamik količin v izmeničnih tokokrogih

Za boljšo predstavitev kako lahko razložimo uporabo kazalčnega diagrama (ali faznega diagrama) si odprite primer razlage kosinusne krivulje na enotski krožnici (povezava <https://www.geogebra.org/m/cNEtsbvC>), ki je prikazan na sl. 2.4...



Slika 2.4: Razlaga kosinusne krivulje na enotski krožnici.

... in sledite naslednjim razmislekom:

1. Zamislite si, da graf na desni strani predstavlja časovni potek napetosti $U(t)$. Enote na x osi

- bi morali zamenjati s časovnimi enotami tako, da bi na mesto 360° postavili čas ene periode $t_0 = 20ms$. Enote na y osi pa z napetostjo, kjer bi 1 predstavljala največjo napetost = amplitudno napetost \hat{U} .
2. Ta graf na desni strani sl. 2.4 prikazuje "realne" izmerjene podatke, bodisi z osciloskopom ali pa kot ste jih dobili v grafu v simulaciji.
 3. Graf na levi strani sl. 2.4 pa prikazuje namišljen matematični prostor, ki nam služi za izračunavanje napetosti in tokov v izmeničnih tokokrogih. Ta prostor je sestavljen iz Re - realne x osi in Im - imaginarne y osi. Le vrednosti na Re osi (rdeča črtna črta) se odrazijo v realnem svetu in jih je mogoče izmeriti.
 4. V ta prostor vstavimo vektor (kazalec) amplitude napetosti \vec{U} in predstavljajte si, da se le-ta vrti v matematični smeri po tem prostoru (kot v animaciji). Ta vektor opravi celoten obhod v času ene periode, kar je v našem primeru $t_0 = 20ms$, nato se pojav ponavlja.
 5. Torej, na nek način celotnih $\varphi_0 = 360^\circ$ v tem namišljenem prostoru - predstavlja $t_0 = 20ms$ v realnem svetu.
 6. In prav tako vsakršna poljubna realna časovna razlika Δt ustreza faznemu zamiku $\Delta\varphi$ v kazalčnem diagramu.

2.1.1 NALOGA: KAZALČNI DIAGRAM

Najprej preverite 2. Kirchhoffov izrek, vendar vzemite meritve vseh treh napetosti ob istem času iz tbl. 2.2. Kaj ugotovite? Ugotovitev utemeljite v navezavi z meritvami iz tbl. 2.1.

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

2.2 Tok v izmeničnih tokokrogih s kapacitivnim bremenom

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

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

$$I(t) = \frac{1}{R} \hat{U}_R \cos(\omega t) \quad (2.1)$$

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

2.2.1 NALOGA: TOK V IZMENIČNEM KROGU S KAPACITIVNIM BREMENOM

Iz časovne odvisnosti $U_R(t)$ iz prejšnje naloge izračunajte tok skozi vezje (vsako točko napetosti delite z upornostjo upora) in tok vrišite v graf na sl. 2.5.

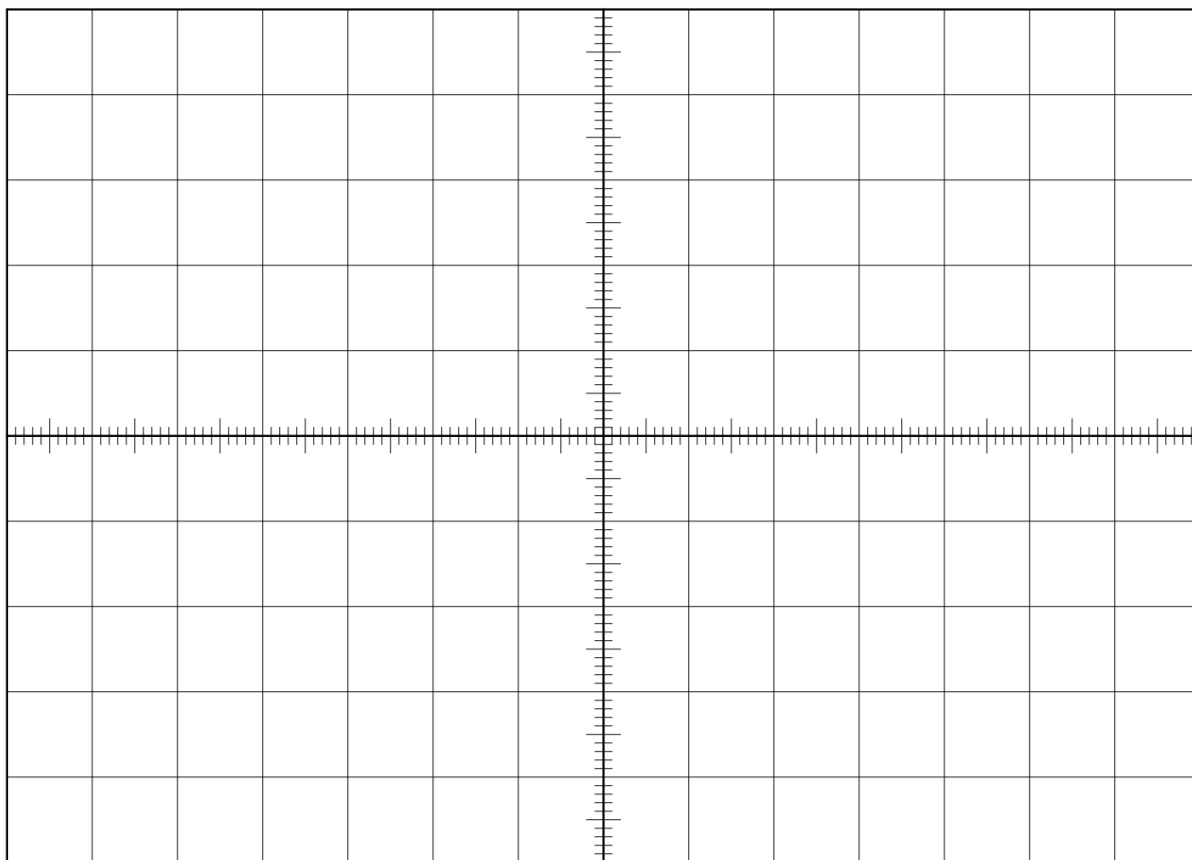
V graf na sl. 2.3 vrišite (prerišite) tudi napetost na kondenzatorju.

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

$$X_C = \frac{1}{j\omega C} \quad (2.2)$$

2.2.2 NALOGA: IMPEDANCA KONDENZATORJA

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



Slika 2.5: Časovni potek napetosti na kondenzatorju in tok skozenj.

2.2.3 NALOGA: FAZNI ZAMIK MED TOKOM IN NAPETOSTJO

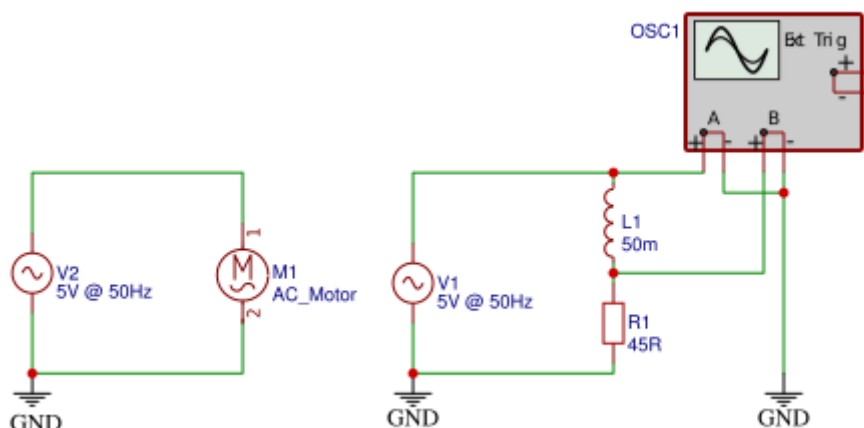
Iz grafa na sl. 2.5 odčitajte časovno razliko Δt med amplitudo toka in amplitudo napetosti na kondenzatorju in izračunajte fazni zamik φ .

Narišite kazalčni diagram z vektorjema amplitude toka in napetosti.

3 TOK IN NAPETOST V IZMENIČNIH TOKOKROGIH Z INDUKTIVNIM BREMENOM

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

Poglejmo si primer, če bi na izmenično napetost priključili neko induktivno breme, lahko si predstavljamo, da je to motor, kot ga prikazuje sl. 3.1-levo. Le-tega lahko prikažemo z nadomestno shemo zaporedne vezave induktivnega in omskega bremena – tuljava predstavlja navitje motorja, upor pa omsko upornost žic tega navitja sl. 3.1.

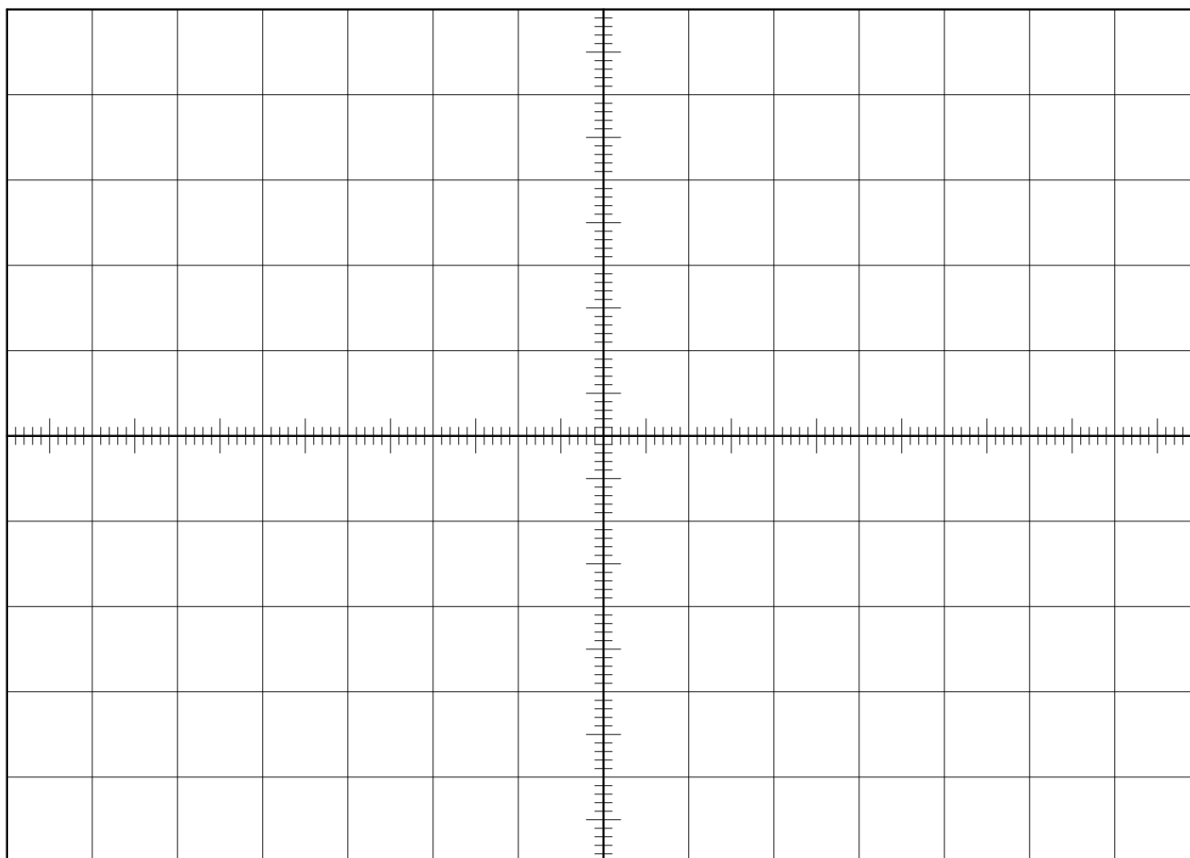


Slika 3.1: Shema priključitve induktivnega bremena na izmenični vir napetosti.

3.0.1 NALOGA: NAPETOST V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM

Sestavite vezje na sl. 3.1-desno in v graf na sl. 3.2 vrišite potek napetosti gonilnega vira ($U_G(t) \rightarrow CH_A$), napetost ($U_{R_1}(t) \rightarrow CH_B$) in razliko teh dveh napetosti, ki nam poda napetost na tuljavi

$(U_T(t) \rightarrow CH_A - CH_B)$ na tuljavi.



Slika 3.2: Graf časovnega poteka napetosti na tuljavi, upor in vira.

3.0.2 NALOGA: TOK V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM

Na grafu sl. 3.2 označite katera od krivulj lahko predstavlja tudi tok, ki teče skozi to vezje ($I(t)$) in na desno stran grafa dorišite novo skalo za tok, ki jo prilagodite tej krivulji.

3.1 NAVIDEZNA, DELOVNA IN JALOVA MOČ

Če na elementu izmerimo efektivne vrednosti toka in napetosti, lahko izračunamo navidezno električno moč tega elementa po 3.1:

$$P_n = \widetilde{U}_{ef} \widetilde{I}_{ef} \quad (3.1)$$

3.1.1 NALOGA: NAVIDEZNA MOČ

Za tokokrog na sl. 3.1 izmerite efektivne vrednosti toka in napetosti za vsak element v vezju. Vrednosti izmerite z Volt- in Ampere-metrom z nastavitvijo za izmenične vrednosti (RMS). Izpolnite tbl. 3.1 za \widetilde{U}_{ef} , \widetilde{I}_{ef} in $P_n[mW]$.

Tabela 3.1: Efektivne vrednosti in navidezna moč elementov.

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

Vendar, ker tok in napetost nista fazno usklajena v izmeničnih tokokrogih z induktivnim značajem, je povprečna moč na nekaterih elementih manjša (moč vira in moč na tuljavi). Tej moči pravimo delovna moč in jo lahko ozračunamo po 3.2, kjer upoštevamo fazni zamik med napetostjo in tokom φ :

$$P_d = P_n \cos(\Delta\varphi) \quad (3.2)$$

3.1.2 NALOGA: DELOVNA MOČ

Iz sl. 3.2 odčitajte tudi časovne razlike med zamiki napetosti in tokom za vsak element in meritev vpišite v tbl. 3.1. Glede na ta podatek, izračunajte tudi fazni zamik $\Delta\varphi$ in po 3.2 izračunajte tudi P_d .

3.2 JALOVA MOČ

Kot lahko opazite, se delovna in navidezna moč na tuljavi (in tudi na viru) razlikujeta. Razliko imenujemo jalova moč in jo lahko izračunamo kot vektorsko razliko $\vec{P}_n - \vec{P}_d$. Kot med tema dvema vektorjema pa je enak faznemu premiku med napetostjo in tokom $\Delta\varphi$ ali z enačbo 3.3.

$$P_j = P_n \sin(\Delta\varphi) \quad (3.3)$$

3.2.1 NALOGA: JALOVA MOČ

Izračunajte kolikšno jalovo moč lahko pričakujemo na posameznih elementih iz sl. 3.1 in jo vpišite v tbl. 3.1.

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

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

Jalovo moč, ki jo lahko s kondenzatorjem kompenziramo, lahko izračunamo po 3.4:

$$Q_C = \frac{\widetilde{U}_C^2}{X_C} = \widetilde{U}_C^2 \omega C \quad (3.4)$$

3.2.2 NALOGA: KOMPENZACIJA JALOVE MOČI

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

Še naprej z osciloskopom opazujte električne napetosti v tokokrogu na sl. 3.1 in hkrati merite tok skozi vir napetosti.

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

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

4 Krmiljenje servo-motorjev

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



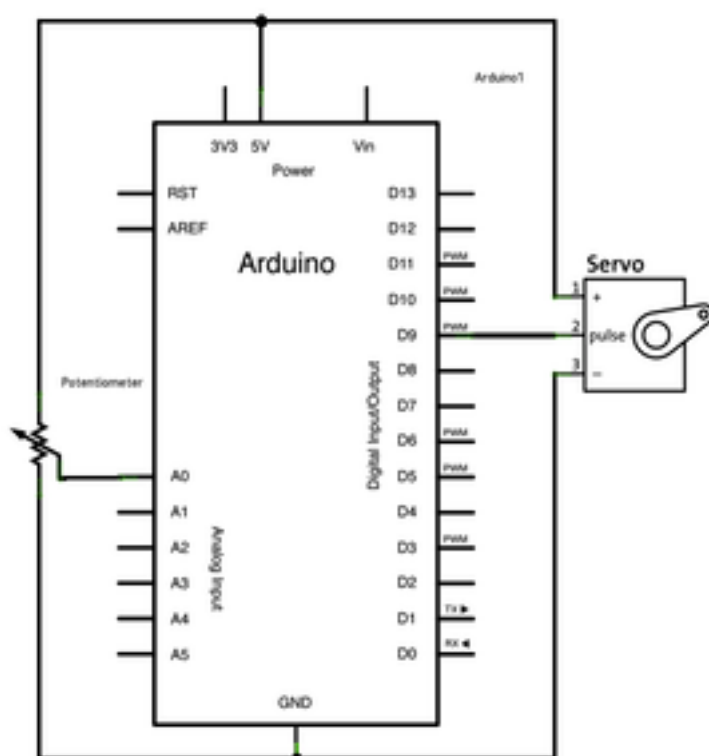
Slika 4.1: Prmer modelarskega servomotorja

Servomotor, ki ga vidimo na sliki 4.1 je sestavljen iz enosmernega motorja, katerega gred je povezana z zobniškim prenosom (reduktorjem) na končno gred servomotorja. Zobniki so vzporedno povezani še s potenciometrom, ki služi kot povratna informacija o orientaciji gredi. Za pravilo delovaje pa skrbi preprosta elektronika, ki je tudi sestavni del servomotorja.

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

4.1 Preskušanje delovanja servo-motorja

Servomotor bomo krmilili z Arduino („Arduino - Home“, b. d.) krmilnikom. Program zanj bomo napisali v programskem okolju ArduinoIDE („Arduino - Software“, b. d.). Še prej pa ga moramo pravilno povezati na krmilnik. To storimo tako, kot prikazuje slika 4.2 („Arduino - Knob“, b. d.).



Slika 4.2: Priključitev servo-motorja

Na sliki vidimo 4.2, da je priključen tudi potenciometer, ki nam bo zagotavljal napetostni signal, na podlagi katerega bo krmilnik zagotavljal primeren signal za servo-motor.

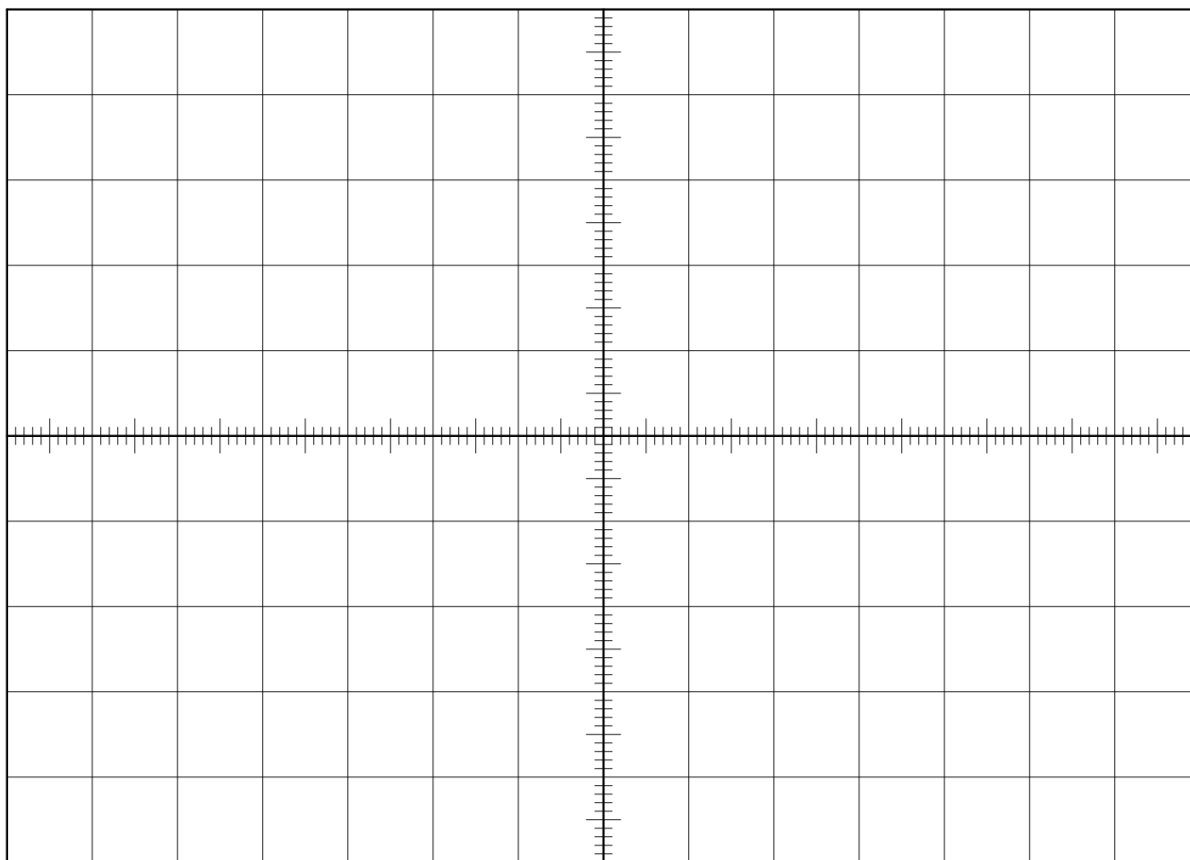
4.1.1 NALOGA: PROGRAMSKO KRMILJENJE SERVO-MOTORJA

V programskem okolju ArduinoIDE naložite naslednji program in ga preskusite:


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

4.1.2 NALOGA - KRMILENJE SERVOMOTORJA

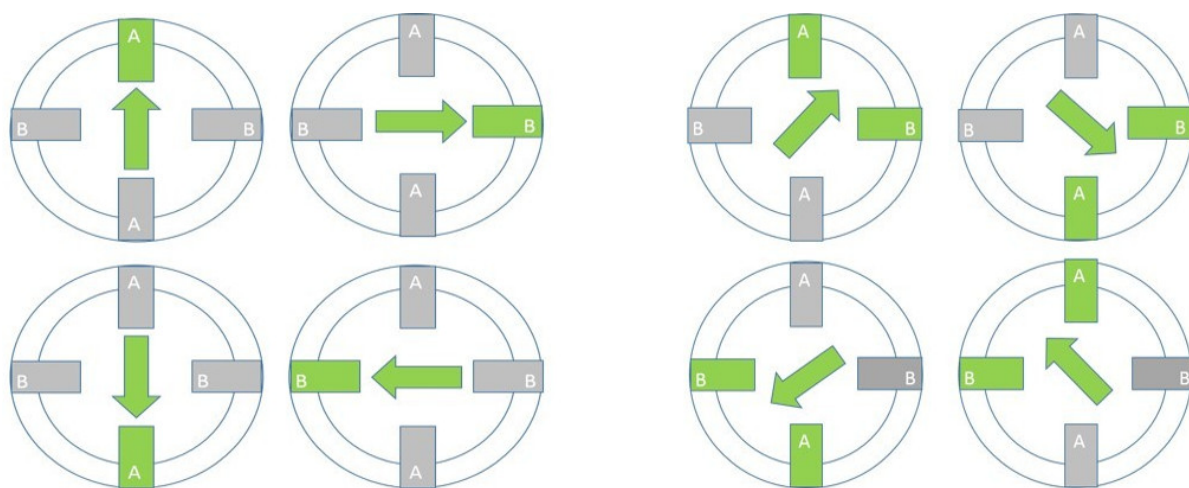
Preskusite program tako, da premikate srednji priključek potenciometra in spremljajte odziv servomotorja. Nato z osciloskopom posnemite oba signala (na potenciometru in signal za krmiljenje servo-motorja) in napetostna signala narišite za vsaj **3 različne situacije**.



Slika 4.3: Slika signalov.

5 Krmiljenje koračnih motorjev

Koračni motorji so brezkrtačni sinhronski elektromotorji, katerih en vrtljaj gredi sestavlja več (cca 180) korakov. Rotacijo gredi lahko krmilimo tako, da ustvarjamo magnetna polja na različnih navitjih statorja v pravilnem zaporedju. Slika 5.1 (???) prikazuje eno od možnosti takega krmiljenja .



Slika 5.1: Koraki krmiljenja koračnega motorja.

5.1 Uni-/Bi- polarni koračni motorji

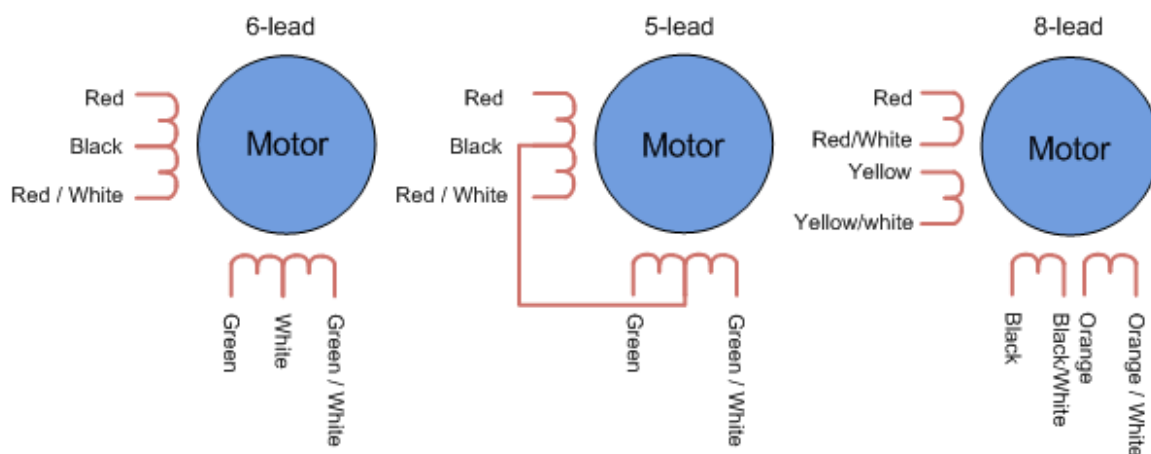
Čeprav je princip delovanja koračnih motorjev preprost in podoben v vseh različicah, je potrebno omeniti, da poznamo unipolarne in bipolarne koračne motorje. Razlikujejo se po vezavi statorja.

Unipolarni koračni motorji

Unipolarni koračni motorji imajo na enem mestu dve navitji, ki sta si po smereh različni tako, da lažje ustvarjamo magnetno polje v eni in drugi smeri. S tem pridobimo na enostavnosti elektronike, ki je potrebna za krmiljenje tega motorja. Pogosto v tem primeru uporabimo le nek mikrokrmilnik in en tranzistor (kot stikalo) za vsako navitje. Shema tega koračnega motorja predstavlja spodnja slika 5.2 (???) . Pogosto so povezave, ki so skupne tuljavam na posameznih mestih združene v eno samo. Tako bi imel ta motor iz prejšnje slike na ohišju le 5 priključkov.

Bipolarni koračni motor

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



Slika 5.2: Različne izvedbe koračnih motorjev.

5.2 Načini krmiljenja koračnega motorja

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

Valovni način krmiljenja

Valovni način krmiljenja koračnega motorja je najenostavnejši. V pravih zaporedjih ustvarjamo magnetno polje v posameznih tuljavah tako, da je magnetno polje prisotno samo v eni tuljavi naenkrat. Rotor koračnega motorja pa sledi le-tem. Tako delovanje prikazuje slika 5.1 - levo.

Polno-koračni način

Tak način krmiljenja je najbolj pogost način in tudi najbolj podoben valovnemu. Razlika je ta, da sedaj magnetno polje določata dve tuljavi naenkrat. Tudi število korakov ostaja enako. Pridobimo pa na tem, da je magnetno polje skoraj še enkrat večje in s tem tudi večji navor na rotor motorja. Tako delovanje prikazuje slika 5.1 - desno.

Pol-koračni način

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

5.2.1 NALOGA: DOLOČITEV VEZAVE STATORJA KORAČNEGA MOTORJA

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

5.2.2 NALOGA: KRMILJENJA KORAČNEGA MOTORJA

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

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

5.2.3 NALOGA: KRMILJENJE V POLNO- IN POL- KORAČNEM NAČINU

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

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

Priložite obe programske kodi.

6 ENOSMERNI MOTOR

Navor enosmerne motorja je premo sorazmeren s tokom skozi navitje motorja in ga lahko predstavimo z 6.1:

$$M = k_T I, \quad (6.1)$$

kjer je M navor na gredi motorja, I tok skozi navitje motorja in k_T konstanta motorja, ki podaja razmerje med navorom in tokom. Prav tako je premo sorazmerna povezava med vrtilno hitrostjo gredi motorja in inducirano napetostjo, ki se pojavi na navitju. To razmerje podaja 6.2

$$\omega = \frac{U_i}{k_V}, \quad (6.2)$$

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

V teoretičnih opisih delovanja enosmerne motorja pa sta ti dve konstanti predstavljeni z 6.3

$$k_T = k_V = k_M \Phi_m, \quad (6.3)$$

kjer je k_M - konstanta motorja, Φ_m pa magnetni pretok skozi zanke navitja. Če poznamo konstanto k_T lahko izračunamo konstanto motorja k_M po 6.4

$$k_M = \frac{k_T}{\sqrt{R_n}}, \quad (6.4)$$

kjer je R_n omska upornost navitja.

6.1 KONSTANTA MOTORJA

6.1.1 NALOGA: KONSTANTA MOTORJA

Za več različnih DC motorjev izmerite potrebne meritve, da boste lahko določili konstanto motorja k_M . Potrebne meritve vpišite v tbl. 6.1 in jih označite z * tako, da se bodo izmerjene vrednosti ločile od izračunanih. Račune tudi nakažite vsaj za en primer motorja.

Tabela 6.1: Meritve osnovnih karakteristik motorja.

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

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

7 ELEKTRIČNI DALJNOVODI

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

7.1 DALJNOVOD brez uporabe transformatorja

Sestavimo model daljnovoda v katerem bomo kilometre dolge žice ponazorili z uporom. Uporabili bomo izmenično napetost, ki jo dobite na ŠMI vmesnikih v konzoli. Nastavili jo bomo na 6 V. Nato pa priključili naš model daljnovoda in ga povezali z žarnico na drugi strani tako, kot prikazuje sl. 7.1.



Slika 7.1: Vezavna shema modela daljnovoda brez uporabe transformatorja.

7.1.1 NALOGA: IZKORISTEK DALJNOVODA.

Izračunajte izkoristek daljnovoda po enačbi 7.1. Izkoristke izračunajte za primere različno dolgih daljnovodov tako, da dolžino daljnovoda simulirate z različnimi upori daljnovodnih žic R_D . Rezultate vpišite v tbl. 7.1 in izkoristek daljnovoda v odvisnosti od te upornosti (razdalje) vrišite v

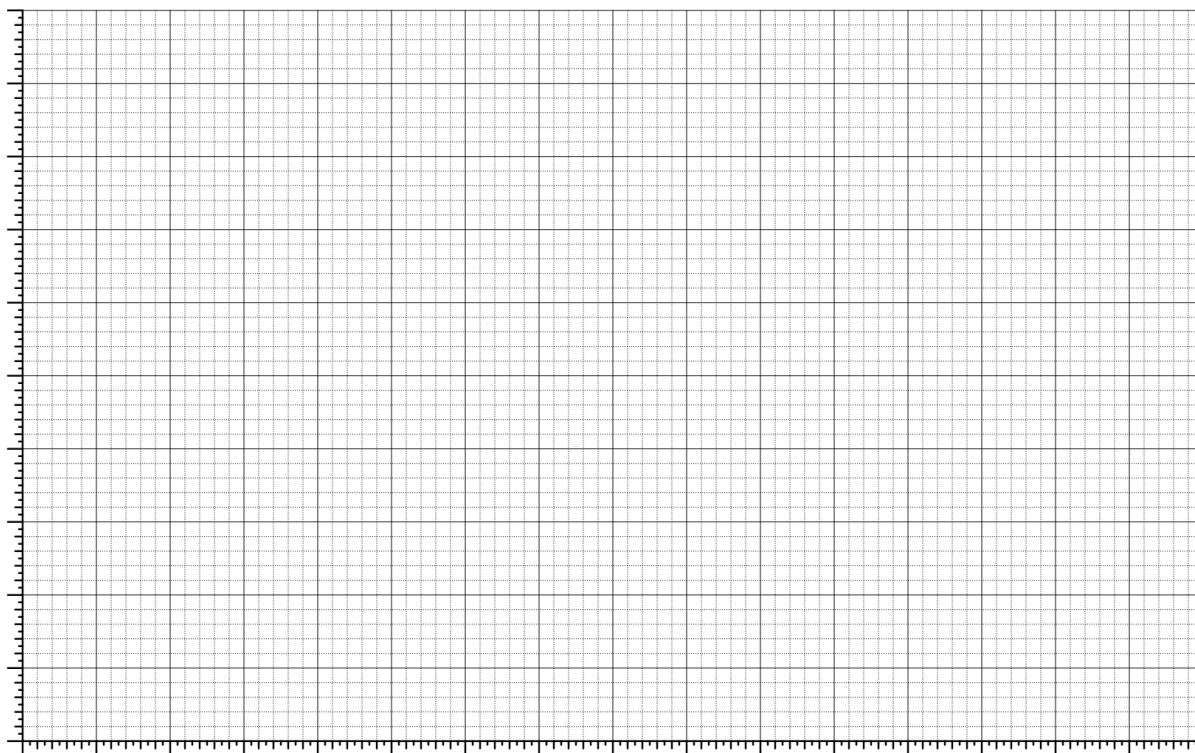
sl. 7.2.

$$\mu = \frac{P_{BR}}{P_{BR} + P_{RD}} \quad (7.1)$$

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

Tabela 7.1: Izkoristek daljnovoda brez uporabe transformatorja.

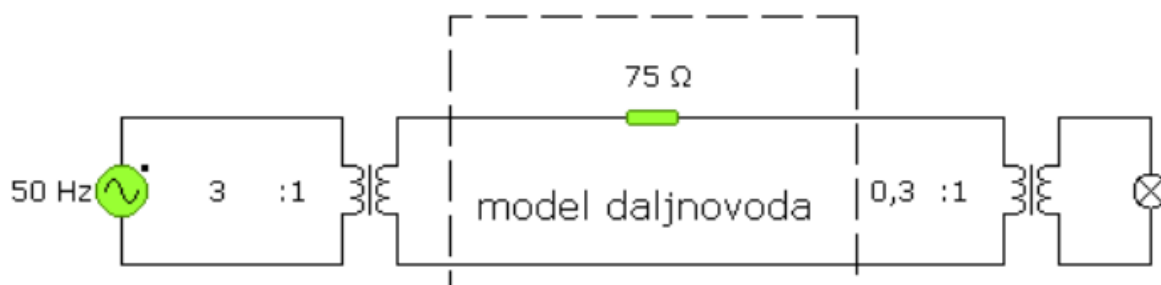
$R_D[\Omega]$	$U_{RD}[V]$	$I_{RD}[mA]$	$P_{RD}[W]$	$U_{BR}[V]$	$I_{BR}[mA]$	$P_{BR}[W]$	$\mu[\%]$
2							
5							
10							
22							
50							
100							



Slika 7.2: Izkoristek dalnovoda v odvisnosti od upornosti dolnovodnih žic.

7.2 DALJNOVOD S TRANSFORMATORSKO POSTAJO

Sestavite podobno vezje le, da dodate dve transformatorski postaji. Eno dodajte pred “daljnovod” in eno za njega. Nato na enak način izmerite moč, ki se troši na “žicah daljnovoda” in moč, ki jo uspemo dovesti do žarnice ali bremena. Bodite pozorni, da boste pravilno obrnili transformatorja (kot prikazuje sl. 7.3). V daljnovodu mora biti napetost višja, da dobimo pri istih močeh manjše tokove, kar izkoriščamo za manjše izgube v daljnovodih. Nato moramo zopet napetost zmanjšati nazaj na prejšnjo vrednost.



Slika 7.3: Model daljnovoda z uporabo transformatorja.

7.2.1 NALOGA: IZKORISTEK DALJNOVODA S TRANSFORMATORSKO POSTAJO.

Izračunajte izkoristek daljnovoda po enačbi 7.1 (kot v prejšnji nalogi). Izkoristke izračunajte za primere različno dolgih daljnovodov tako, da dolžino daljnovoda simulirate z različnimi upori daljnovodnih žic R_D . Rezultate vpišite v tbl. 7.2 in izkoristek daljnovoda v odvisnosti od te upornosti (razdalje) vrišite v istigraf na sl. 7.2, ter jih primerjajte.

Tabela 7.2: Izkoristek daljnovoda z uporabo transformatorja.

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

8 Nelinearni upori in senzorji

8.0.1 NALOGA: FOTOUPOR

Sestavite vezje, ki ga prikazuje sl. 1.1 - levo. Nato spreminjajte osvetljenost elementa in opazujte kako se spreminja električni tok skozi element. Ugotovitev tudi napišite.

Nato na podlagi teh ugotovitev utemeljite kako se spreminja upornost elementa glede na njegovo osvetljenost.

8.0.2 NALOGA: TERMISTOR

Sestavite vezje, ki ga prikazuje sl. 1.1 - desno. Nato spreminjajte temperaturo elementa in opazujte kako se spreminja električni tok skozi element. Ugotovitev tudi napišite.

Nato na podlagi teh ugotovitev utemeljite kako se spreminja upornost elementa glede na njegovo temperaturo.

8.1 Umeritev senzorja

8.1.1 NALOGA: UMERITEV SENZORJA TEMPERATURE

Sestavite senzor temperature, kot je predstavljen na sl. 1.2. Spreminjajte temperaturo termistorja in beležite izhodno napetost. Meritve uredite tudi v tabeli. Nato iz dobljenih meritev lahko narišete graf $U_{izh}(T)$.

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

9 Kondenzator v izmeničnih tokokrogih

9.0.1 NALOGA: NAPETOSTI V IZMENIČNIH TOKOKROGIH

Sestavite vezje na sl. 2.1 in z V-metrom izmerite napetosti na elementih in jih vpišite v tabelo. V shemo vključite tudi priključitev vseh treh V-metrov.

9.0.2 NALOGA: PREVERITE 2. KIRCHHOFFOV IZREK

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

9.0.3 NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (osciloskop)

V vezje priključite osciloskop, kot kaže sl. 2.2.

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

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

9.0.4 NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (simulacija)

Na isti graf $U(t)$ prikazujte:

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

Na graf lahko dodate več krivulj tako, da:

označite graf -> desni klik -> Properties... -> Traces -> [] Show trace X
 Graf naj bo velik, pregleden in na njem naj bo le ena perioda.

9.0.5 NALOGA: KARAKTERISTIČNE VREDNOSTI IZMENIČNE NAPATOSTI

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

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

^aGlej naslednji naslov - FAZNI PREMIK. Fazni premik izračunamo tako, da najprej odčitamo časovno razliko med dvema začetnima točkama dveh krivulj. Tako dobimo Δt . Nato moramo odčitati še čas dolžine periode (t_0), ki je v našem primeru $t_0 = 20ms$. To je čas, po katerem se fizikalni pojav ponavlja. Če ta čas predstavlja 360° , potem je Δt iskani fazni premik φ .

9.1 Fazni zamik količin v izmeničnih tokokrogih

9.1.1 NALOGA: KAZALČNI DIAGRAM

Najprej preverite 2. Kirchhoffov izrek, vendar vzemite meritve vseh treh napetosti ob istem času iz tbl. 2.2. Kaj ugotovite? Ugotovitev utemeljite v navezavi z meritvami iz tbl. 2.1.

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

9.2 Tok v izmeničnih tokokrogih s kapacitivnim bremenom

9.2.1 NALOGA: TOK V IZMENIČNEM KROGU S KAPACITIVNIM BREMENOM

Iz časovne odvisnosti $U_R(t)$ iz prejšnje naloge izračunajte tok skozi vezje (vsako točko napetosti delite z upornostjo upora) in tok vrišite v graf na sl. 2.5.

V graf na sl. 2.3 vrišite (prerišite) tudi napetost na kondenzatorju.

9.2.2 NALOGA: IMPEDANCA KONDENZATORJA

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

9.2.3 NALOGA: FAZNI ZAMIK MED TOKOM IN NAPETOSTJO

Iz grafa na sl. 2.5 odčitajte časovno razliko Δt med amplitudo toka in amplitudo napetosti na kondenzatorju in izračunajte fazni zamik φ .

Narišite kazalčni diagram z vektorjema amplitude toka in napetosti.

10 TOK IN NAPETOST V IZMENIČNIH TOKOKROGIIH Z INDUKTIVNIM BREMENOM

10.0.1 NALOGA: NAPETOST V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM

Sestavite vezje na sl. 3.1-desno in v graf na sl. 3.2 vrišite potek napetosti gonilnega vira ($U_G(t) \rightarrow CH_A$), napetost ($U_{R1}(t) \rightarrow CH_B$) in razliko teh dveh napetosti, ki nam poda napetost na tuljavi ($U_T(t) \rightarrow CH_A - CH_B$) na tuljavi.

10.0.2 NALOGA: TOK V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM

Na grafu sl. 3.2 označite katera od krivulj lahko predstavlja tudi tok, ki teče skozi to vezje ($I(t)$) in na desno stran grafa dorišite novo skalo za tok, ki jo prilagodite tej krivulji.

10.1 NAVIDEZNA, DELOVNA IN JALOVA MOČ

10.1.1 NALOGA: NAVIDEZNA MOČ

Za tokokrog na sl. 3.1 izmerite efektivne vrednosti toka in napetosti za vsak element v vezju. Vrednosti izmerite z Volt- in Ampere-metrom z nastavitvijo za izmenične vrednosti (RMS). Izpolnite tbl. 3.1 za $\widetilde{U_{ef}}$, $\widetilde{I_{ef}}$ in $P_n[mW]$.

10.1.2 NALOGA: DELOVNA MOČ

Iz sl. 3.2 odčitajte tudi časovne razlike med zamiki napetosti in tokom za vsak element in meritev vpišite v tbl. 3.1. Glede na ta podatek, izračunajte tudi fazni zamik $\Delta\varphi$ in po 3.2 izračunajte tudi P_d .

10.2 JALOVA MOČ

10.2.1 NALOGA: JALOVA MOČ

Izračunajte kolikšno jalovo moč lahko pričakujemo na posameznih elementih iz sl. 3.1 in jo vpišite v tbl. 3.1.

10.2.2 NALOGA: KOMPENZACIJA JALOVE MOČI

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

Še naprej z osciloskopom opazujte električne napetosti v tokokrogu na sl. 3.1 in hkrati merite tok skozi vir napetosti.

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

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

11 Krmiljenje servo-motorjev

11.1 Preskušanje delovanja servo-motorja

11.1.1 NALOGA: PROGRAMSKO KRMILJENJE SERVO-MOTORJA

V programskem okolju ArduinoIDE naložite naslednji program in ga preskusite:

```
#include <Servo.h>
```

11.1.2 NALOGA - KRMILENJE SERVOMOTORJA

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

12 ELEKTRIČNI DALJNOVODI

12.1 DALJNOVOD brez uporabe transformatorja

12.1.1 NALOGA: IZKORISTEK DALJNOVODA.

Izračunajte izkoristek daljnovoda po enačbi 7.1. Izkoristke izračunajte za primere različno dolgih daljnovodov tako, da dolžino daljnovoda simulirate z različnimi upori daljnovodnih žic R_D . Rezultate vpišite v tbl. 7.1 in izkoristek daljnovoda v odvisnosti od te upornosti (razdalje) vrišite v sl. 7.2.

12.2 DALJNOVOD S TRANSFORMATORSKO POSTAJO

12.2.1 NALOGA: IZKORISTEK DALJNOVODA S TRANSFORMATORSKO POSTAJO.

Izračunajte izkoristek daljnovoda po enačbi 7.1 (kot v prejšnji nalogi). Izkoristke izračunajte za primere različno dolgih daljnovodov tako, da dolžino daljnovoda simulirate z različnimi upori daljnovodnih žic R_D . Rezultate vpišite v tbl. 7.2 in izkoristek daljnovoda v odvisnosti od te upornosti (razdalje) vrišite v istigraf na sl. 7.2, ter jih primerjajte.

„Arduino - Home“. b. d. <https://www.arduino.cc/>.

„Arduino - Knob“. b. d. <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/Knob>.

„Arduino - Software“. b. d. <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>.

Janez, Strnad. 2002. „Ptice na daljnovodu“. Presek, zv. 28, št. 6.

