
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	3
1.0.1	NALOGA: FOTOUPOR	3
1.0.2	NALOGA: TERMISTOR	4
1.1	Umeritev senzorja	4
1.1.1	NALOGA: UMERITEV SENZORJA TEMPERATURE	5
2	Kondenzator v izmeničnih tokokrogih	7
2.0.1	NALOGA: NAPETOSTI V IZMENIČNIH TOKOKROGIH	7
2.0.2	NALOGA: PREVERITE 2. KIRCHHOFFOV IZREK	8
2.0.3	NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (osciloskop)	8
2.0.4	NALOGA: ČASOVNI POTEK NAPETOSTI (simulacija)	8
2.0.5	NALOGA: KARAKTERISTIČNE VREDNOSTI IZMENIČNE NAPETOSTI	9
2.1	Fazni zamik količin v izmeničnih tokokrogih	10
2.1.1	NALOGA: KAZALČNI DIAGRAM	11
2.2	Tok v izmeničnih tokokrogih s kapacitivnim bremenom	11
2.2.1	NALOGA: TOK V IZMENIČNEM KROGU S KAPACITIVNIM BREMENOM	12
2.2.2	NALOGA: IMPEDANCA KONDENZATORJA	12
2.2.3	NALOGA: FAZNI ZAMIK MED TOKOM IN NAPETOSTJO	13
3	TOK IN NAPETOST V IZMENIČNIH TOKOKROGIH Z INDUKTIVNIM BREMENOM	15
3.0.1	NALOGA: NAPETOST V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM	15
3.0.2	NALOGA: TOK V IZMENIČNEM TOKOKROGU Z INDUKTIVNIM BREMENOM	16
3.1	NAVIDEZNA, DELOVNA IN JALOVA MOČ	16
3.1.1	NALOGA: NAVIDEZNA MOČ	17
3.1.2	NALOGA: DELOVNA MOČ	17
3.2	JALOVA MOČ	17
3.2.1	NALOGA: JALOVA MOČ	18
3.2.2	NALOGA: KOMPENZACIJA JALOVE MOČI	18

1 Nelinearni upori in senzorji

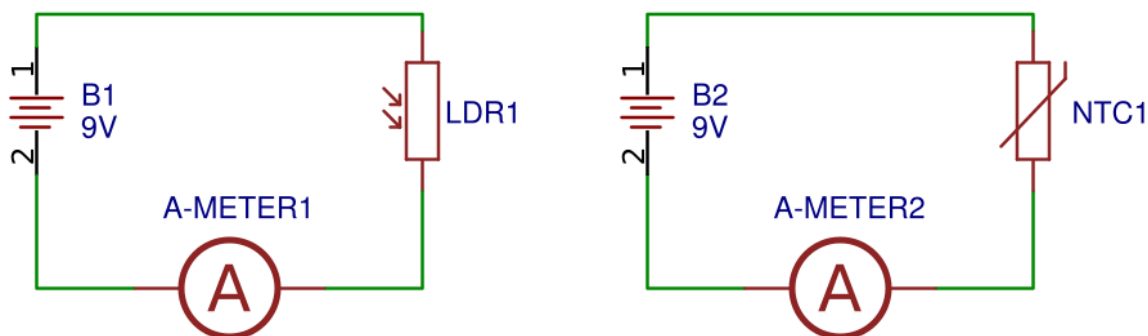
Med nelinearne upore sodijo tudi upori, katerih upornost se spreminja v odvisnosti od neke fizikalne količine. Tako poznamo tudi upore, katerih upornost se spreminja v odvisnosti od:

- 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.

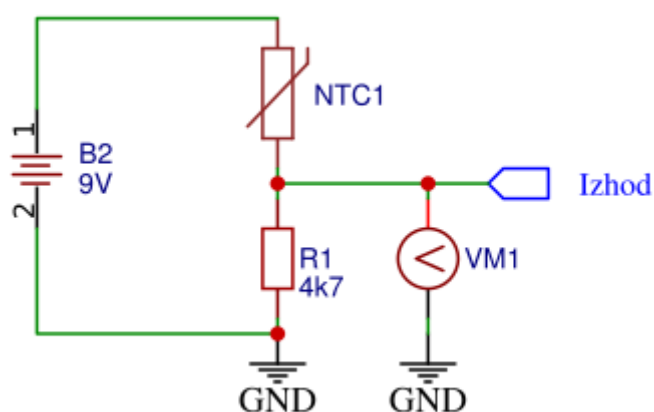
1.0.2 NALOGA: TERMISTOR

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.

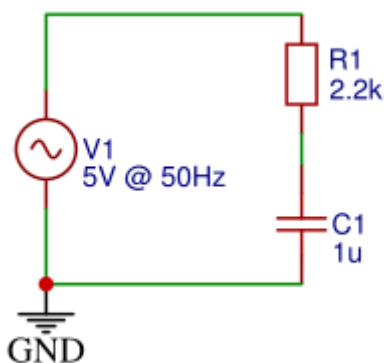
1.1.1 NALOGA: UMERITEV SENZORJA TEMPERATURE

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.

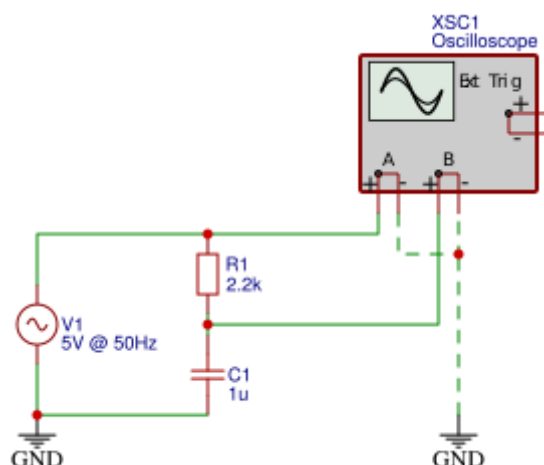
Tabela 2.1: Izmerjene efektivne vrednosti napetosti na elementih v izmeničnem tokokrogu.

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,

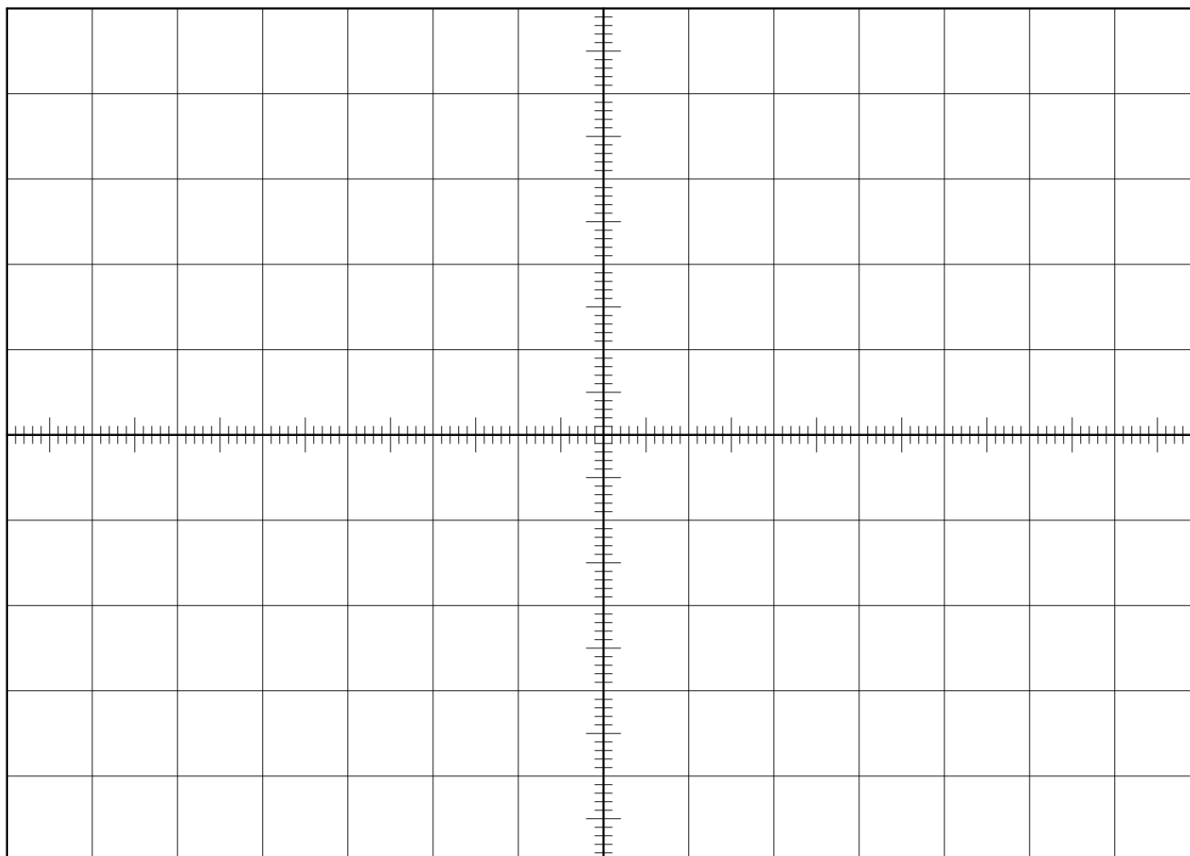
2. časovni potek napetosti na kondenzatorju in

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 $t = 15\text{ms}$.

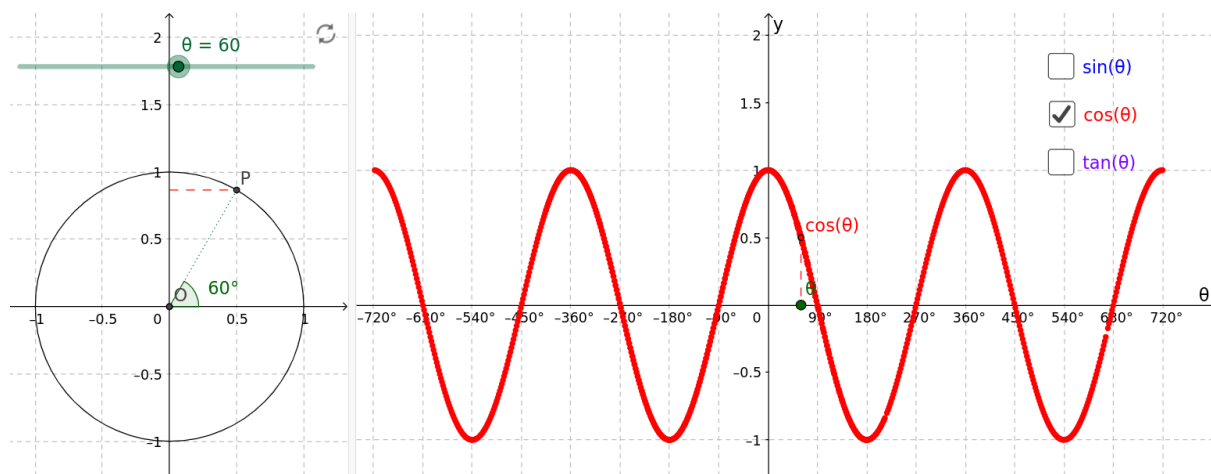
^aGlej naslednji naslov - FAZNI PREMIK. Fazni premik izračunamo tako, da najprej odčitamo časovno razliko med dvema začetnima točkama dveh krivulj. Tako dobimo Δt . Nato moramo odčitati še čas dolžine periode (t_0), ki je v našem primeru $t_0 = 20\text{ms}$. To je čas, po katerem se fizikalni pojav ponavlja.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

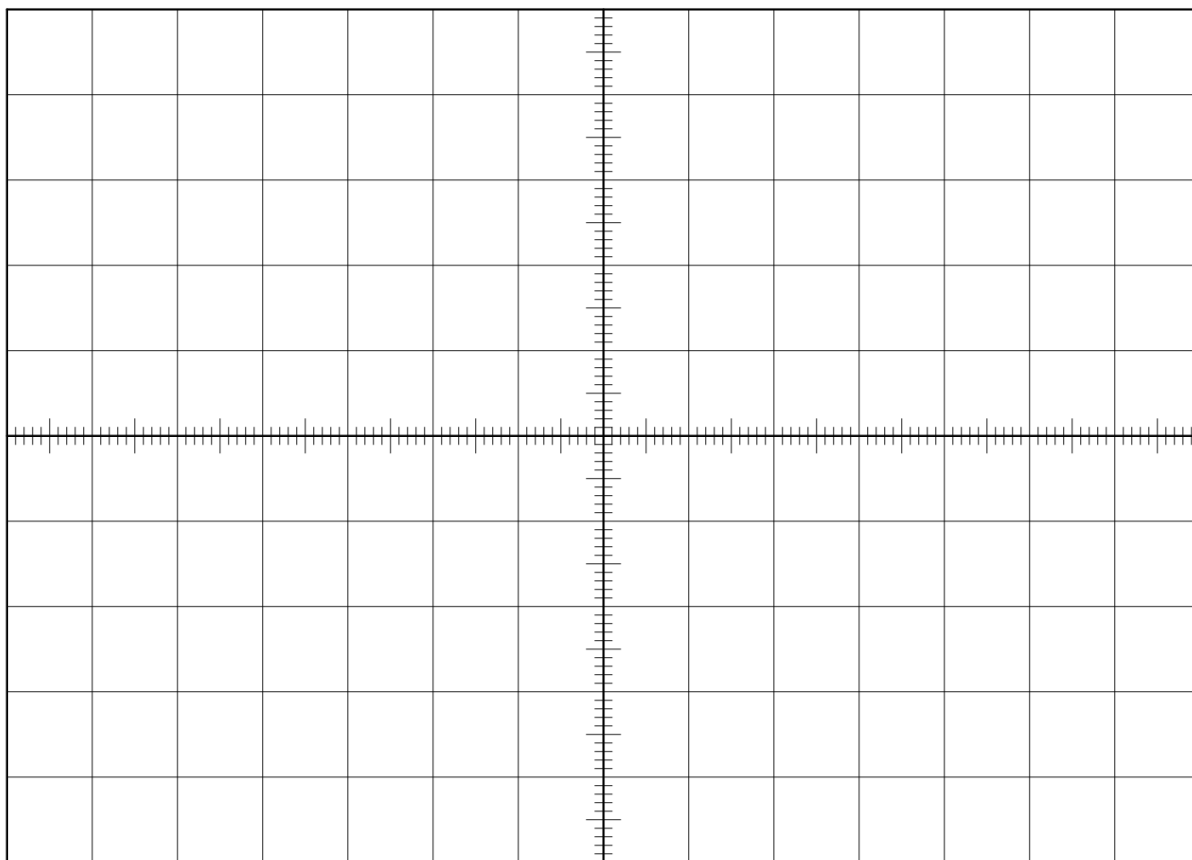
V graf na sl. 2.3 vrišite (prerišite) tudi napetost na kondenzatorju.

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

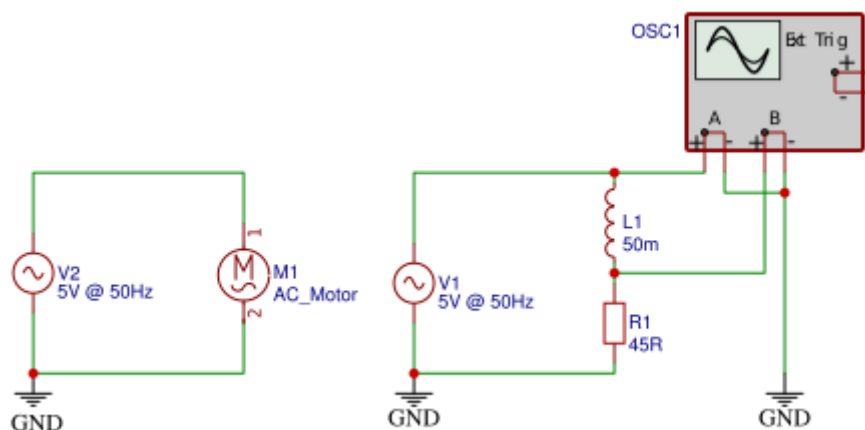
Iz grafa na sl. 2.5 odčitajte časovno razliko Δt med amplitudo toka in amplitudo napetosti na kondenzatorju in izračunajte fazni zamik φ .

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.

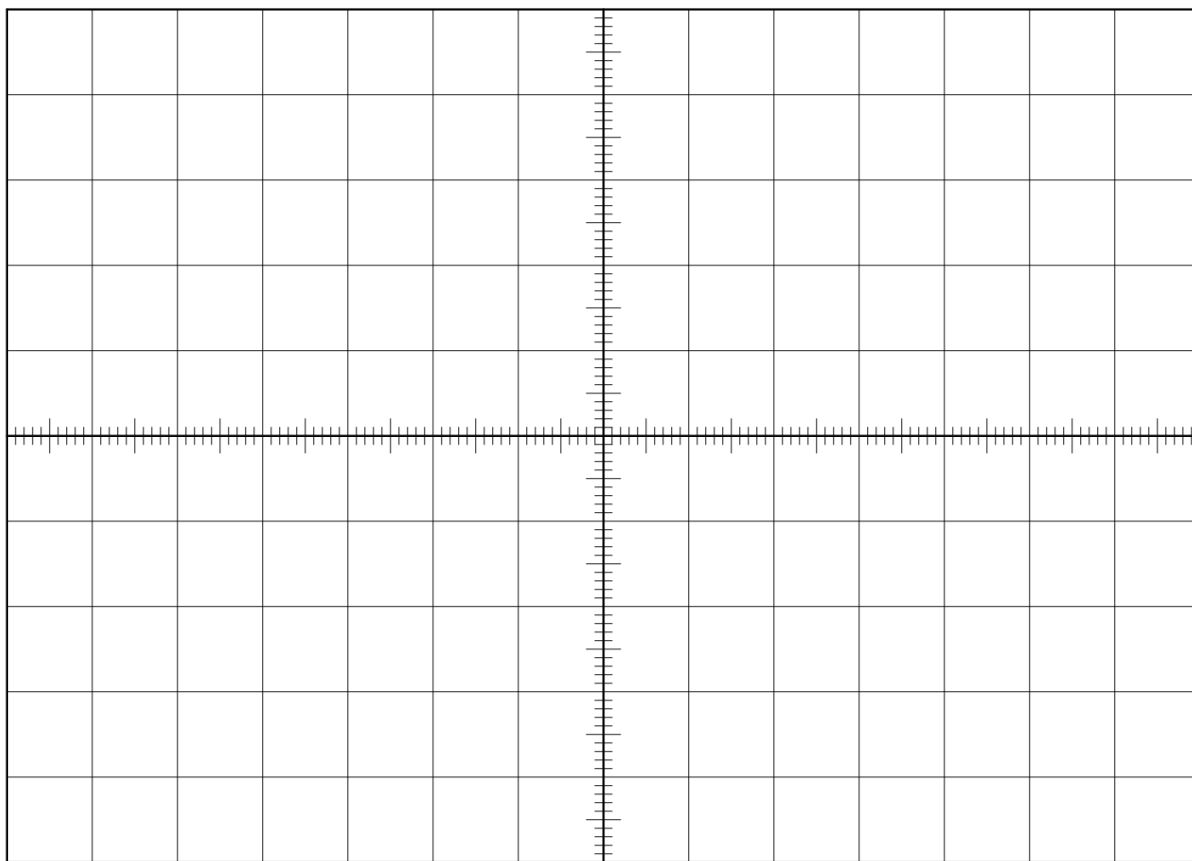


Slika 3.1: Shema priključitve induktivnega bremena na izmenični vir napetosti.

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.

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

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?