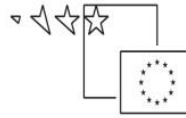




REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA ŠOLSTVO IN ŠPORT



Naložba v vašo prihodnost
OPERACIJO DELNO FINANCIRA EVROPSKA UNIJA
Evropski socialni sklad

MERITVE

Delovni zvezek za laboratorijske vaje za vsebine elektrotehnike

JANEZ MARN

Višješolski strokovni program: Mehatronika
Delovni zvezek: Meritve
Gradivo za 1. letnik

Avtor:

Janez Marn, univ. dipl. inž.
Tehniški šolski center Kranj
Višja strokovna šola



Strokovni recenzent:
doc.dr. Iztok Humar

Lektorica:
Dragica Debeljak prof. slov. j.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

621.317(075.8)(0.034.2)

MARN, Janez

Meritve. Delovni zvezek za laboratorijske vaje za vsebine elektrotehnike [Elektronski vir] : gradivo za 1. letnik / Janez Marn. - El. knjiga. - Ljubljana : Zavod IRC, 2008. - (Višješolski strokovni program Mehatronika / Zavod IRC)

Način dostopa (URL): http://www.zavod-irc.si/docs/Skriti_dokumenti/Meritve_Delovni_zvezek_za_laboratorijske_vaje_za_vsebine_elektrotehnike-Marn.pdf. - Projekt Impletum

ISBN 978-961-6820-48-6
249247232

Izdajatelj: Konzorcij višjih strokovnih šol za izvedbo projekta IMPLETUM
Založnik: Zavod IRC, Ljubljana.
Ljubljana, 2008

Strokovni svet RS za poklicno in strokovno izobraževanje je na svoji 120. seji dne 10. 12. 2009 na podlagi 26. člena Zakona o organizaciji in financiranju vzgoje in izobraževanja (Ur. l. RS, št. 16/07-ZOFVI-UPB5, 36/08 in 58/09) sprejel sklep št. 01301-6/2009 / 11-3 o potrditvi tega učbenika za uporabo v višješolskem izobraževanju.

© Avtorske pravice ima Ministrstvo za šolstvo in šport Republike Slovenije.

Gradivo je sofinancirano iz sredstev projekta Impletum 'Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju 2008-11'.

Projekt oz. operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007-2013, razvojne prioritete 'Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja' in prednostne usmeritve 'Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja'.

Vsebina tega dokumenta v nobenem primeru ne odraža mnenja Evropske unije. Odgovornost za vsebino dokumenta nosi avtor.

KAZALO VSEBINE

PREGOVOR	3
1 OSNOVNI POSTOPKI IZVAJANJA MERITEV V LABORATORIJU	5
1.1 UVOD.....	5
1.2 MERILNO VEZJE – POVEZOVANJE ELEMENTOV	5
1.3 POGOSTO UPORABLJENA MERILNA OPREMA IN NEKATERE OSNOVNE VEZAVE	6
1.3.1 Napajalni izvori	6
1.3.2 Osnovna vezja z drsnimi upori	8
1.4 ODČITAVANJE PRIKAZANIH VREDNOSTI NA MERILNIH INSTRUMENTIH	10
1.4.1 Analogni instrumenti	10
1.4.2 Digitalni instrumenti.....	11
1.5 DOLOČANJE POGREŠKOV MERJENJA.....	12
1.5.1 Analogni instrumenti	12
1.5.2 Digitalni instrumenti.....	13
1.5.3 Posredno merjenje	14
1.6 UPORABA VIRTUALNIH INSTRUMENTOV	15
1.6.1 Osnovne informacije o osciloskopih	15
1.6.2 Virtualni instrumenti v simulacijskih programih.....	16
1.7 POVZETEK	17
2 PREDLOGE ZA VAJE.....	18
2.1 UVOD.....	18
2.1.1 Uvod za vajo št. 1	19
2.1.2 Uvod za vajo št. 2	24
2.1.3 Uvod za vajo št. 3	29
2.1.4 Uvod za vajo št. 4	34
2.1.5 Uvod za vajo št. 5	39
2.1.6 Uvod za vajo št. 6	44
2.1.7 Uvod za vajo št. 7	48
2.1.8 Uvod za vajo št. 8	54
2.1.9 Uvod za vajo št. 9	58
2.2 POVZETEK	62
3 VAJE S PODROČJA UPORABE RAČUNALNIKA PRI MERITVAH – PROGRAM LabVIEW	63
3.1 UVOD V LabVIEW	63
3.2 PRIMERI OSNOVNIH FUNKCIJ.....	65
3.2.1 Uporaba numeričnih kontrol in indikatorjev	65
3.2.2 Uporaba funkcij	65
3.2.3 Uporaba programskih struktur.....	66
3.2.4 Uporaba logičnih elementov.....	67
3.2.5 Delo s teksti	68
3.2.6 Ikona VI (virtualnega instrumenta)	71
3.3 GENERIRANJE IN MERJENJE VIRTUALNIH SIGNALOV	72
3.3.1 Virtualni instrumenti na osnovi predloge (VI from Template)	72
3.3.2 Odpiranje primerov v NI Example Finder.....	73
3.4 UPORABA KARTICE DAQ	73
3.4.1 Uporaba digitalnih vhodov	74
3.4.2 Uporaba digitalnih izhodov	74

3.4.3	Krmiljenje digitalnih izhodov s signali z digitalnih vhodov.....	74
3.4.4	Uporaba analognega vhoda.....	75
3.4.5	Uporaba analognega izhoda.....	77
3.5	POVZETEK.....	79
4	SEZNAM LITERATURE	80

PREDGOVOR

Pri višješolskem študiju mehatronike so meritve eden izmed obveznih predmetov modula Mehatronika 1. Program višješolskega študija daje velik poudarek na praktičnih znanjih in veščinah, zato je več kot polovico kontaktnih ur namenjenih laboratorijskim vajam. Za kvalitetno in učinkovito delo študentov pri laboratorijskih vajah je potrebno teoretično znanje, ustrezna priprava in seznanitev z vsebinami pred začetkom dela v laboratoriju. Vsebina tega dela se nanaša na električne meritve, ki predstavljajo večinski del meritev na področju meritev v mehatroniki.

V višješolski študij mehatronike se vključujejo študenti iz večine srednješolskih programov, zato je njihovo predhodno znanje na področju meritev zelo različno.

Tako so v uvodnem poglavju obravnavani nekateri osnovni merilni postopki in veščine. Predstavljeni so nekateri osnovni elementi in naprave, s katerimi se srečajo študenti pri izvajanju vaj. V drugem delu so podane predloge za vaje. Na osnovi predlog študenti izdelajo merilna poročila. Tretji del je namenjen programu LabVIEW.

Ker je vsaka meritev izpostavljena različnim pogreškom, si moramo pred meritvijo določiti cilj, kaj pravzaprav želimo izmeriti, razmisliti, katero metodo bomo uporabili, kakšen je vpliv okolice in kakšne so posledice vključitve instrumentov. Veliko vlogo ima tudi izbira instrumentov, pri kateri pa smo pogosto omejeni z razpoložljivo opremo. Cilj izvajanja laboratorijskih vaj v šoli ni v doseganju vrhunskih rezultatov merjenja, pač pa v spoznavanju merilnih metod in osvajanju veščin za izvedbo meritev v danih pogojih. Pri meritvi neke veličine je seveda osnovni cilj določiti njeno vrednost, nič manj pa ni pomembno določiti pogrešek merjenja. V vsakdanjih situacijah so običajno pogreški merjenja majhni in težje zaznavni, v nekaterih obravnavanih primerih pa so elementi in vrednosti veličin namenoma izbrani tako, da se bodo pogreški pojavili izraziteje.

Pri delu z izvori električne napetosti oziroma toka se pojavi tudi vprašanje varnosti za izvajalca meritev. Pri izvajanju v nadaljevanju predstavljenih vaj so predvideni samo taki merilni izvori, merjenci, oprema in izbrane take vrednosti merjenih veličin, ki ne povzročijo neposredne nevarnosti za izvajalca meritev. Izvajalec mora upoštevati varnostne predpise in navodila učitelja, ki vodi laboratorijske vaje.

Avtor

1 OSNOVNI POSTOPKI IZVAJANJA MERITEV V LABORATORIJU

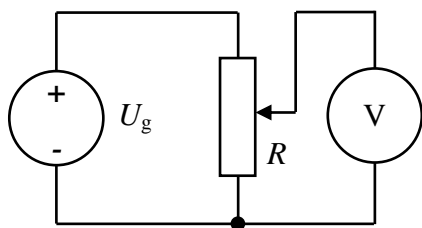
1.1 UVOD

V prvem poglavju so predstavljeni osnovni postopki in primeri, ki omogočajo študentom uspešno delo pri laboratorijskih vajah. Na več slikah so prikazani pogosto uporabljeni elementi in merilna oprema, kar omogoča študentom konkretno predstavo. Prikazana je razlika med električno shemo, povezovalno shemo in fizičnim vezjem. Razloženi so načini in postopki za grobo in fino nastavitev nekaterih merjenih veličin. Na konkretnem primeru je razložen postopek in prikazana razlika v odčitavanju na analognem in digitalnem instrumentu. Prav tako je na primeru razložen postopek določanja točnosti merjenja z analognim in digitalnim instrumentom. Samostojnemu utrjevanju in preverjanju znanja študentov so namenjeni primeri s podanimi rezultati. Za samostojno spoznavanje uporabe in za razvijanje spretnosti študentov pri delu z osciloskopi je obravnavana simulacija delovanja osciloskopa HAMEG HM 203–6. Delo z drugimi virtualnimi instrumenti je možno v simulacijskem programu Multisim.

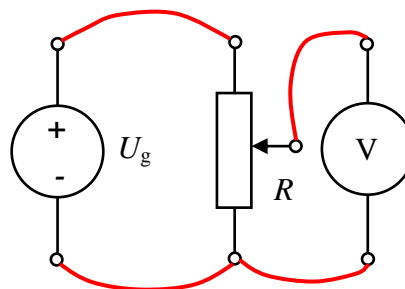
Pri izvajanju laboratorijskih vaj uporabljamo različne izvore (generatorje), pasivne in aktivne električne in elektronske komponente in vezja ter raznovrstne instrumente in merilne naprave, vključno z računalniki. Pri predstavitvi medsebojnih povezav med komponentami in instrumenti uporabljamo električne simbole le-teh, načrte povezav pa imenujemo električne sheme oziroma vezalne načrte.

1.2 MERILNO VEZJE – POVEZOVANJE ELEMENTOV

Kako zgradimo merilno vezje, si najlažje ogledamo na konkretnem primeru povezave drsnega upora, voltmetra in generatorja napetosti.



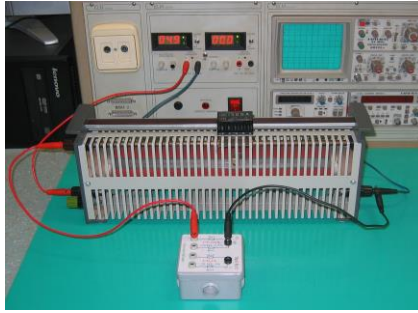
Slika 1: Električna shema



Slika 2: Povezovalna shema

Razlika med električno in povezovalno shemo je v tem, da imamo na povezovalni prikazane priključne sponke vseh elementov in prikazane povezovalne vodnike (rdeča barva), kar omogoča lažjo fizikalno predstavo.

Na sliki 3 pa so prikazani elementi in fizične povezave.



Slika 3: Elementi in povezave
Vir: Lasten

Pri povezavi elementov v vezje in izvajanju meritev moramo upoštevati nekatera pravila, ki omogočajo preglednost in kvalitetne spoje.

1. Uporabljene elemente vezja smiselno razporedimo na delovni površini. Če imamo več enakih ali podobnih elementov je priporočljivo, da jih označimo. S tem preprečimo medsebojne zamenjave odčitkov na instrumentih.
2. Običajno najprej povežemo tokovne veje. Uporabiti moramo vodnike (merilne vezi) ustreznega preseka in dolžine, da preprečimo nepotrebne izgube in prekomerno segrevanje. Sledijo napetostne veje, pri katerih običajno zadostuje manjši presek vodnikov, s tem da pazimo na primerno robustnost (mehansko trdnost) povezav.
3. S smiselno uporabo barve merilnih vezi lahko izboljšamo preglednost vezja. Ena od možnosti je, da za različne tokokroge uporabimo različno barvo ali da pri enosmernih vezjih uporabimo, na primer, rdečo za pozitivne potenciale in modro za negativne.
4. Pozabiti ne smemo tudi na kontaktne površine, ki morajo biti čiste in dovolj velike, da je prehodna upornost spoja nizka in stabilna. Spreminjajoča prehodna upornost lahko povzroči spremembe v vezju in s tem spreminjanje prikazanih vrednosti na instrumentih.
5. Povezavo elementov naj vedno izvaja samo en študent, drugi pa opravi kontrolo. Pred vključitvijo izvorov mora vezje kontrolirati nadzorni učitelj ali laborant. S tem preprečimo grobe napake in možno preobremenitev in poškodbo merilne opreme. Pred vklopom nastavimo izhode na minimum, območja in druge nastavitve merilnih instrumentov pa na predvidene (predpisane) vrednosti. Po vklopu počasi povečujemo izhodne vrednosti izvorov in sproti opazujemo prikazane vrednosti.
6. Pri izvajanju meritev nastavljamo ustrezne vrednosti, odčitavamo prikaze na instrumentih, po potrebi spremenimo merilna območja in pazimo, da ne preobremenimo izvorov, merilnih elementov in merjencev.
7. Po končanih meritvah najprej znižamo napajalne vire na vrednost nič, jih izklopimo in šele nato pospravimo vezi in uporabljeno merilno opremo.

1.3 POGOSTO UPORABLJENA MERILNA OPREMA IN NEKATERE OSNOVNE VEZAVE

1.3.1 Napajalni izvori

Pri meritvah pogosto uporabljamo različne izvore napetosti oziroma toka, ki se razlikujejo glede na vrsto električne veličine, obliko, velikost izhodne vrednosti območja in finosti nastavitve izhodne vrednosti itd.

V teoriji delimo izvore na idealne in realne vire. Pri idealnih je njihova izhodna vrednost stalno enaka ne glede na obremenitev in lahko zavzame poljubno vrednost. Za realne vire pa

običajno pri analizi napetostnih generatorjev dodamo še zaporedno notranjo upornost in pri tokovnih virih vzporedno notranjo prevodnost.

Pri izvori, ki jih uporabljamo v praksi, pa moramo računati ne le z notranjo upornostjo oziroma prevodnostjo, pač pa smo omejeni tudi z maksimalno izhodno vrednostjo. Izhod je lahko stalen ali nastavljiv, stopenjsko ali zvezno, grobo ali grobo in fino.

Pogosto srečamo tudi **enosmerne** stabilizirane izvore, ki postanejo z uporabo povratne vezave skoraj idealni, delujejo pa lahko v napetostnem ali tokovnem režimu. Vsebujejo tudi elektronsko zaščito pred preobremenitvijo.

Pri meritvah s **sinusno izmenično** napetostjo omrežne frekvence pridejo v poštev transformatorji za galvansko ločitev, ki imajo stalno ali nastavljivo izhodno napetost (variak). Izhod je običajno zaščiten s taljivo ali avtomatsko varovalko. Upoštevati moramo maksimalno dopustno obremenitev.

Nekaj standardnih izvorov je prikazanih na slikah 4, 5 in 6.



Slika 4: Nastavljiva izvora izmenične napetosti
Vir: Lasten



Slika 5: Nastavljiva stabilizirana izvora enosmerne napetosti
Vir: Lasten



Slika 6: Stalni izvori enosmerne in izmenične napetosti
Vir: Lasten

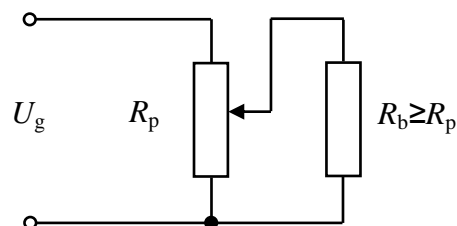
Kadar merilno vezje zahteva napajanje z izmenično napetostjo spremenljive frekvence ali pa tudi nesinusno obliko, uporabimo **funkcijske** generatorje. Pri njih je možno poleg velikosti izhodne napetosti spreminjati tudi frekvenco in obliko v širokih mejah oziroma uporabiti dodatne funkcije. Pozabiti ne smemo, da ima izhod standardizirano notranjo upornost $50\ \Omega$ ali $600\ \Omega$ ali pa obe možnosti. Notranja upornost povzroči nižanje izhodne napetosti pri povečevanju obremenitve. Posledično je maksimalni izhodni tok funkcijskih generatorjev majhen, saj niso namenjeni napajanju vezij, pač pa vzbujanju vezij s signali, ki jih proizvajajo. Če potrebujemo večjo moč, kot jo omogoča funkcijski generator, priključimo na njegov izhod ustrezen ojačevalnik.



Slika 7: Funkcijski generator
Vir: Lasten

1.3.2 Osnovna vezja z drsnimi upori

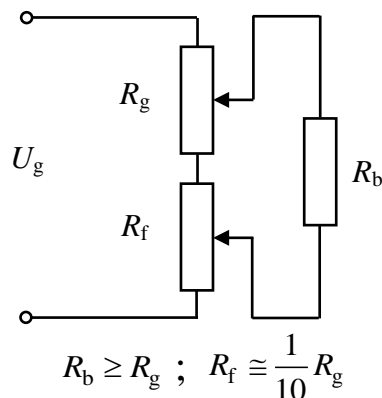
Kadar imamo na razpolago nenastavljiv izvor napetosti ali izvor s pregrado nastavitvijo, moč porabnika pa je majhna in nas slab izkoristek ne moti, uporabimo drsni upor v potenciometriški vezavi, ki jo prikazuje slika 8.



Slika 8: Potenciometriška vezava
Vir: Bergelj et al., 2005, 3

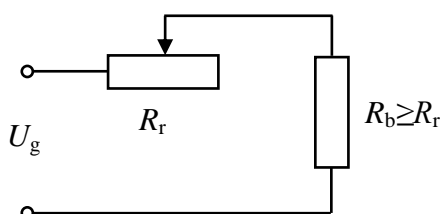
V tem primeru lahko spreminjamo napetost na bremenu od nič do vhodne napetosti, linearnost nastavitve pa je odvisna od razmerja upornosti bremena in drsnega upora. Linearnost je tem boljša, čim večja je upornost bremena glede na drsni upor. V praksi dopustna najnižja upornost bremena je enaka upornosti drsnega upora.

Če potrebujemo grobo in fino nastavitvev, uporabimo dva drsna upora. Upornost drsnega upora za fino nastavitvev naj bo približno desetkrat manjša od upornosti grobega, bremenska upornost pa naj bo večja ali kvečjemu enaka upornosti drsnega upora za grobo nastavitvev.



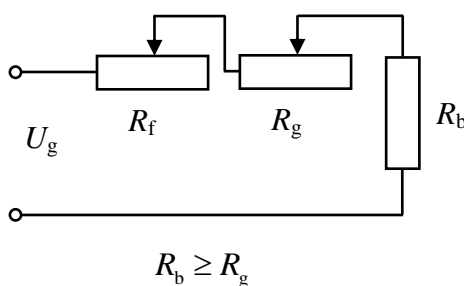
Slika 9: Groba in fina nastavitvev
Vir: Bergelj et al., 2005, 3

Za nastavljanje toka na bremenu je običajna zaporedna vezava drsnega upora z bremenom. Dober izkoristek in precejšnjo linearnost dobimo v primeru, da je upornost drsnega upora manjša ali kvečjemu enaka upornosti bremena. To vezavo imenujemo reostatska, prikazuje pa jo slika 10.

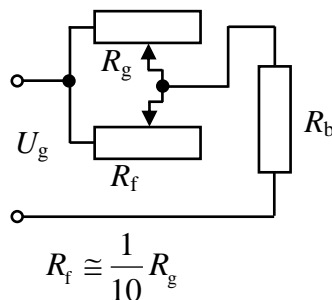


Slika 10: Nastavitev toka
Vir: Bergelj et al., 2005, 2

Za grobo in fino nastavitvev imamo na razpolago dve vezavi, predstavljeni na sliki 11 in 12. Pri drugi vezavi moramo paziti, da nobena od upornosti ni nastavljena na nič, ker s tem izključimo (premostimo) tudi drugo.

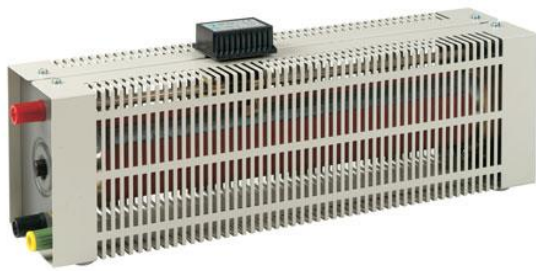


Slika 11: Groba in fina nastavitvev toka
Vir: Bergelj et al., 2005, 2



Slika 12: Groba in fina nastavitvev toka
Vir: Bergelj et al., 2005, 2

Običajna nazivna vrednost upornosti žičnih drsnih uporov je od 1Ω do $10 \text{ k}\Omega$ in moč nekaj 10 W do 500 W . Običajna podatka na drsnih uporih sta nazivna upornost in nazivni tok. Drsnni upori so izdelani iz običajnih uporovnih materialov, zato se pri segrevanju vrednost upornosti delno spreminja. Nekaj drsnih uporov je prikazanih na slikah 13 in 14.



Slika 13: Drsnni upor

Vir: labocharlemagne.free.fr/notices/materiel_phys...



Slika 14: Drsnni upori

Vir: www.pef.uni-lj.si/gorani/fizika9.r.html

Poleg drsnih uporov so pogosto v uporabi tudi stopenjsko nastavljive upornosti ali uporovne dekade. Pri njih lahko nastavljamo upornosti do približno $10\text{ M}\Omega$, nazivna moč je majhna, standardna toleranca upornosti pa je 1 % do 2 %.

Poleg uporovnih dekad so v uporabi tudi kapacitivne in induktivne dekade, pri katerih moramo poleg podatkov za vrednost, obremenitev in toleranco upoštevati tudi podano frekvenčno področje uporabe.

Primer uporovne, kapacitivne in induktivne dekade prikazuje slika 15:



Slika 15: R, L, C dekade

Vir: nakup.metrel.si/izdelki/oprema-za-laboratorij...

1.4 ODČITAVANJE PRIKAZANIH VREDNOSTI NA MERILNIH INSTRUMENTIH

1.4.1 Analogni instrumenti

Imajo skalo in kazalec, ki s svojim položajem pokaže izmerjeno vrednost. Ker želimo odčitati vrednosti čim točneje, moramo biti pri tem pazljivi in upoštevati podatke in nastavitve na instrumentu. Pri odčitavanju prikazane vrednosti analognega instrumenta je priporočljivo, da določimo in uporabljamo konstanto skale instrumenta. Konstanto določimo tako, da merilni doseg delimo s številom razdelkov skale. Vrednost merjene veličine dobimo tako, da na skali odčitamo odklon v razdelkih, ki ga kaže kazalec, in pomnožimo s konstanto.



Slika 16: Prikaz na analognem instrumentu
Vir: Lasten

Kot primer analizirajmo postopek odčitavanja na instrumentu s slike 16.

1. Merilni doseg instrumenta je 10V enosmerne vrednosti napetosti.
2. Na zgornji (najdaljši) skali imamo označenih 50 razdelkov.

$$3. \text{ Določimo konstanto skale: } k = \frac{M_D(\text{V})}{n(\text{rd})} = \frac{10 \text{ V}}{50 \text{ rd}} = 0,2 \text{ V/rd} \quad (1)$$

4. Odčitamo odklon, ki je 31 rd.

$$5. \text{ Izračunamo napetost: } U(\text{V}) = k(\text{V/rd}) \cdot \alpha(\text{rd}) = 0,2 \text{ V/rd} \cdot 31 \text{ rd} = 6,2 \text{ V} \quad (2)$$

Pri odčitavanju na analognih instrumentih moramo paziti še na to, da na kazalec gledamo točno z vrha in s tem preprečimo paralakso. Pomagamo si z zrcalom, ki se nahaja pod kazalcem. Odčitamo vrednost odklona, ko se slika kazalca v zrcalu točno pokrije s kazalcem.

Primeri za reševanje:

- a) Določite konstanto skale za A-meter, ki ima merilni doseg 5 A in skalo s 100 razdelki.

Rezultat: 0,05 A/rd

- b) Določite konstanto skale za W-meter, ki ima napetostni merilni doseg 125 V, tokovni merilni doseg 5 A in skalo s 100 razdelki. Določite prikazano moč pri odklonu 75 razdelkov.

Rezultata: 6,25 W/rd; 468,75 W

1.4.2 Digitalni instrumenti

Izmerjeno vrednost najpogosteje dobimo tako, da preberemo številčni prikaz na zaslonu. V redkih primerih je potrebno določiti konstanto enako kot pri odčitavanju na analognih instrumentih s tem, da nimamo razdelkov, temveč vrednost v digitih. Običajno so konstante pri digitalnih instrumentih že podane. Zapisane so na samem instrumentu in v tehnični dokumentaciji.



Slika 17: Prikaz na digitalnem instrumentu

Vir: Lasten

Kot primer vzemimo prikaz na instrumentu s slike 17.

1. Iz položajev preklopnikov ugotovimo, da je instrument uporabljen kot V-meter z enosmernim merilnim dosegom 20 V.
2. Prikazana vrednost je 6,20 V.

1.5 DOLOČANJE POGREŠKOV MERJENJA

1.5.1 Analogni instrumenti

Pri analognih instrumentih se podaja točnost z razredom, ki je največkrat podan na merilni doseg ali merilni razpon (če je ničla nekje vmes na skali ali če ničle ni na skali instrumenta), redkeje pa na vsakokratno vrednost in zelo redko na dolžino skale. Razred instrumenta dobimo tako, da največji absolutni pogrešek delimo z merilnim dosegom ali merilnim razponom ali vsakokratno vrednostjo ali z dolžino skale in pomnožimo s 100.

Standardizirane vrednosti razredov so: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5.

$$r = \frac{|E_{\max}|}{M_D} \cdot 100 \quad (3)$$

r – razred E_{\max} – maksimalni absolutni pogrešek M_D – merilni doseg

Absolutna meja pogreška:

$$E_{\max} = \pm \frac{r}{100} \cdot M_D \quad (4)$$

Relativna meja pogreška:

$$e_{\max} = \pm \frac{E_{\max}}{M_i} = \pm \frac{r \cdot M_D}{100 \cdot M_i} \quad M_i - \text{izmerjena vrednost} \quad (5)$$

Iz enačbe (5) za relativni pogrešek vidimo, da se ta večja z nižanjem izmerjene vrednosti, zato se pri analognih instrumentih priporoča uporaba v zadnji tretjini skale, izogibamo pa se uporabi v prvi tretjini.

Primer izračuna pogreškov za prikaz na analognem instrumentu s slike 16:

Podatki: $U_{MD} = 10 \text{ V}$; $r = 2,5$; $U_i = 6,2 \text{ V}$

$$E_U = \pm \frac{r}{100} \cdot U_D = \pm \frac{2,5}{100} \cdot 10 \text{ V} = \pm 0,25 \text{ V}; \quad e_U = \pm \frac{E_U}{U_i} = \pm \frac{0,25 \text{ V}}{6,2 \text{ V}} = \pm 0,04; \quad e_U(\%) = \pm 4 \%$$

Primeri za reševanje:

a) Določite absolutni, relativni in relativni pogrešek v odstotkih za A-meter, ki ima razred 1,5 in merilni doseg 4 A, ter skalo s 100 razdelki, če je prikazana vrednost 75 razdelkov.

Rezultati: $\pm 0,06$ A; $\pm 0,02$; 2 %

b) Določite absolutni, relativni in relativni pogrešek v odstotkih za W-meter, ki ima razred 0,5, tokovni merilni doseg 4 A, napetostni merilni doseg 150 V ter skalo s 125 razdelki, če je prikazana vrednost 50 razdelkov.

Rezultati: ± 3 W; $\pm 0,0125$; $\pm 1,25$ %

1.5.2 Digitalni instrumenti

Pogrešek podajajo proizvajalci običajno v odstotkih izmerjene vrednosti, ki mu dodamo še podatek v številu digitov ali pa odstotek merilnega dosega. Na ta način je možno ločeno podati točnost digitalnega instrumenta glede na merjeno veličino, merilno območje itd. V tabeli 1 so podani podatki o točnosti za instrument digimer 30.

Tabela 1: Podatki točnosti instrumenta digimer 30

Dosegi	Vhod	Zaščita	Maksimalni pogrešek merjenja 16...30 °C $p_n = \pm$ (št. % od rezultata + število digitov)			Opomba*	
V $\overline{\text{---}}$ 200 mV ... 1000 V	Ri = 10 M Ω	1000 V $\overline{\text{---}}$ 1000 V maks	0,5 % R + 1D			CMV = 500 V CMR > 100 dB NMR > 45 dB	
V \sim 200 mV 2 V 20 V 200 V 650 V	Ri = 10 M Ω C < 100 pF	250 V \approx	50 ... 1000 Hz	1 ... 2 kHz	2 ... 4 kHz	CMV = 500 V CMR > 60 dB	
		1000 V $\overline{\text{---}}$ 1000 V maks 750 V \sim	1 % R + 2D	2 % R + 3D ni spec.	5 % R + 5D ni spec.		
A \approx 200 μ A 2 mA 20 mA 200 mA 2 A 10 A	Rsh	Silicijeve diode in stalilna varovalka 2 A/250 V F2E po DIN 41571 ni zaščite	A $\overline{\text{---}}$	A \sim 50 ... 1000 Hz	A \sim 1 ... 4 kHz		
	1000 Ω 100 Ω 10 Ω 1 Ω 0,1 Ω 0,01 Ω		ca. 0,13 Ω maks. 0,2 Ω	1 % R + 2D	2 % R + 2D 15 % R + 2D		2 % R + 10D
				2 % R + 2D			
Ω 200 Ω ... 2000 k Ω 20 M Ω	0 \leq R $\overline{\text{X}}$ \leq ∞ 0 \leq U $\overline{\text{RX}}$ \leq 1,3 V	250 V \approx	0,5 % R + 3D				
			2 % R + 2D				

Vir: Iskra Otoče, DIGIMER 30, Tehnično navodilo, Tehnični podatki

Enačbi za izračun absolutne meje pogreška:

$$E_{\text{mak}} = \pm (a(\%) \cdot M_i + b(\text{digit})) \quad \text{ali} \quad E_{\text{mak}} = \pm (a(\%) \cdot M_i + b(\%) \cdot M_D) \quad (6)$$

Digit (D) je podatek za vrednost merjene veličine, ki ustreza najnižjemu decimalnemu mestu na izbranem območju instrumenta in je enak ločljivosti. Zato se vrednost enega digita s spreminjanjem merilnega območja spreminja.

Enačba za izračun relativnega pogreška je enaka kot pri analognem instrumentu:

$$e_{\text{mak}} = \pm \frac{E_{\text{mak}}}{M_i} \quad (7)$$

Primer izračuna pogreškov za prikaz na digitalnem instrumentu s slike 17:

Podatki: $U_{\text{MD}} = 20$ V; $a(\%) = 0,5$ %; $b(\text{digit}) = 1\text{D}$; $U_i = 6,20$ V

$$E_U = \pm (a (\%) \cdot U_i + b (\text{digit})) \quad (8)$$

$$E_U = \pm (0,5(\%) \cdot 6,20 \text{ V} + 1\text{D}) = \pm (0,005 \cdot 6,20 \text{ V} + 1 \cdot 0,01 \text{ V}) = \pm (0,031 \text{ V} + 0,01 \text{ V}) = \pm 0,041 \text{ V}$$

$$e_U = \pm \frac{E_U}{U_i} = \pm \frac{0,041 \text{ V}}{6,20 \text{ V}} = \pm 0,0066; \quad e_U (\%) = \pm 0,66 \%$$

Izračun pokaže, da se z zniževanjem izmerjene vrednosti relativni pogrešek povečuje zaradi dodatne napake podane v digitih, zato se izogibamo uporabe digitalnega instrumenta na začetku merilnega območja.

Primeri za reševanje:

a) Določite absolutni pogrešek, relativni pogrešek in relativni pogrešek v odstotkih izmerjene napetosti za podatke merjenja napetosti z digitalnim merilnim instrumentom.

Podatki instrumenta: merilni doseg 200 V, maksimalno število digitov 1999, prikazana vrednost je 76,0 V, podatek točnosti instrumenta je 0,5 % prikazane vrednosti + 2digita.

Rezultati: $\pm 0,58 \text{ V}; \pm 0,0076, \pm 0,76 \%$

b) Določite absolutni pogrešek, relativni pogrešek in relativni pogrešek v odstotkih za podatke merjenja upornosti z digitalnim Ω -metrom. Podatki instrumenta: merilni doseg 40 k Ω , maksimalno število digitov 3999, prikazana vrednost je 12,00 k Ω , podatek točnosti instrumenta je 1 % prikazane vrednosti + 3digite.

Rezultati: $\pm 0,15 \text{ k}\Omega; \pm 0,0125; \pm 1,25 \%$

1.5.3 Posredno merjenje

Pri posrednem merjenju je merjena veličina dobljena na osnovi izračuna iz dveh ali več rezultatov merjenih veličin.

Tipični primeri določanja relativnega pogreška pri posrednem merjenju:

Legenda: M_i – rezultat dveh ali več izmerjenih vrednosti

M_{i1} – prva izmerjena vrednost

M_{i2} – druga izmerjena vrednost

$$\text{Seštevanje: } M_i = M_{i1} + M_{i2} \quad e_{M_i} = \pm \frac{|e_{M_{i1}} \cdot M_{i1}| + |e_{M_{i2}} \cdot M_{i2}|}{M_{i1} + M_{i2}} \quad (9)$$

$$\text{Odštevanje: } M_i = M_{i1} - M_{i2} \quad e_{M_i} = \pm \frac{|e_{M_{i1}} \cdot M_{i1}| + |e_{M_{i2}} \cdot M_{i2}|}{M_{i1} - M_{i2}} \quad (10)$$

$$\text{Množenje: } M_i = M_{i1} \cdot M_{i2} \quad e_{M_i} = \pm (|e_{M_{i1}}| + |e_{M_{i2}}|) \quad (11)$$

$$\text{Deljenje: } M_i = \frac{M_{i1}}{M_{i2}} \quad e_{M_i} = \pm (|e_{M_{i1}}| + |e_{M_{i2}}|) \quad (12)$$

$$\text{Potenciranje: } M_i = M_{i1}^n \quad e_{M_i} = \pm |n \cdot e_{M_{i1}}| \quad (13)$$

$$\text{Korenjenje: } M_i = M_{i1}^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{M_{i1}} \quad e_{M_i} = \pm \left| \frac{1}{n} \cdot e_{M_{i1}} \right| \quad (14)$$

(Mikola, 2004, 11)

Z uporabo takega izračuna relativnega pogreška pri posrednem merjenju dobimo rezultate za najbolj neugoden primer.

Spletne strani o merilnih instrumentih:

Na podanih spletnih naslovih si oglejte podatke o analognih in digitalnih merilnih instrumentih slovenskih in tujih proizvajalcev in trgovcev. Poiščite in si oglejte še druge spletne strani o električnih merilnih instrumentih.

<http://www.iskra-mis.si/katalog/20071212152244/20071212153028/>

<http://nakup.metrel.si/>

<http://www.belmet.si/>

<http://www.micom-electronics.si/>

<http://www.siherdoo.com/primerjalna%20tabela.htm>

http://en.wikipedia.org/wiki/Measuring_instrument

<http://www.educypedia.be/electronics/multimeter.htm>

1.6 UPORABA VIRTUALNIH INSTRUMENTOV

1.6.1 Osnovne informacije o osciloskopih

Osciloskop je naprava, ki poleg opazovanja omogoča tudi odčitavanje in obdelavo podatkov o spreminjajočih se pojavih, ki so običajno električne veličine. Prav tako omogoča posredno opazovanje in delo z neelektričnimi veličinami, če jih pretvorimo v električne. Vhodni signal pri osciloskopu je vedno napetost, ki lahko zavzame vrednosti velikostnega reda nekaj mV do nekaj V, z uporabo merilnih sond pa to območje lahko še razširimo. Po obliki je lahko opazovana napetost konstantna enosmerna vrednost, lahko se spreminja počasneje ali hitreje do zgornje frekvenčne meje osciloskopa, ki se giblje ob nekaj MHz do več 100 MHz. Z običajnimi osciloskopi opazujemo signale v realnem času, s pomnilnimi pa lahko tudi še krajši ali daljši čas po času zajema signala. Več podatkov o osciloskopih si lahko ogledate na spletnih straneh:

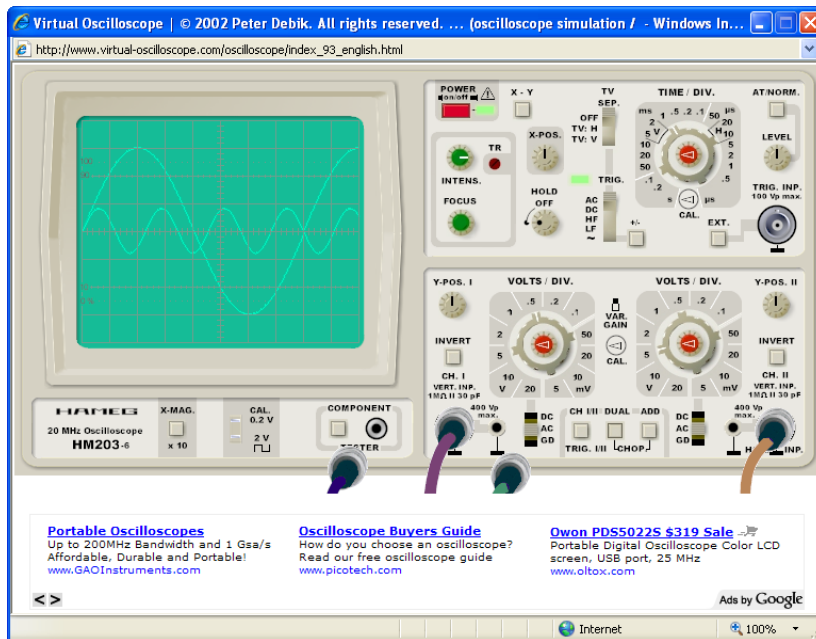
<http://bs.wikipedia.org/wiki/Osciloskop>

<http://www.educypedia.be/electronics/measurementosc.htm>

Naloga za samostojno delo:

Obisk spletne strani, ki omogoča simulacijo delovanja osciloskopa HAMEG HM 203–6.

Omenjeni tip osciloskopa je skoraj popolnoma enak, kot so osciloskopi, ki so vgrajeni v merilne mize v laboratoriju, kjer študenti izvajajo meritve. Prednost uporabe simulacije je, da jo študent lahko izvaja na poljubnem računalniku, ne pojavljajo se okvare zaradi nepravilnega delovanja, čas uporabe ni omejen. Pri delu s simulacijo lahko izbiramo med štirimi vhodnimi signali. Z miško se postavimo na izbrani kabel, pritisnemo LT in povlečemo kabel na vhod osciloskopa. Nato z miško lahko pritiskamo na stikala ali premikamo preklopnike osciloskopa. Pri vsaki spremembi nastavitve se prikaže sprememba na zaslonu osciloskopa. Simulacijo v delovanju prikazuje slika 18. Prikazana sta dva sinusna signala.

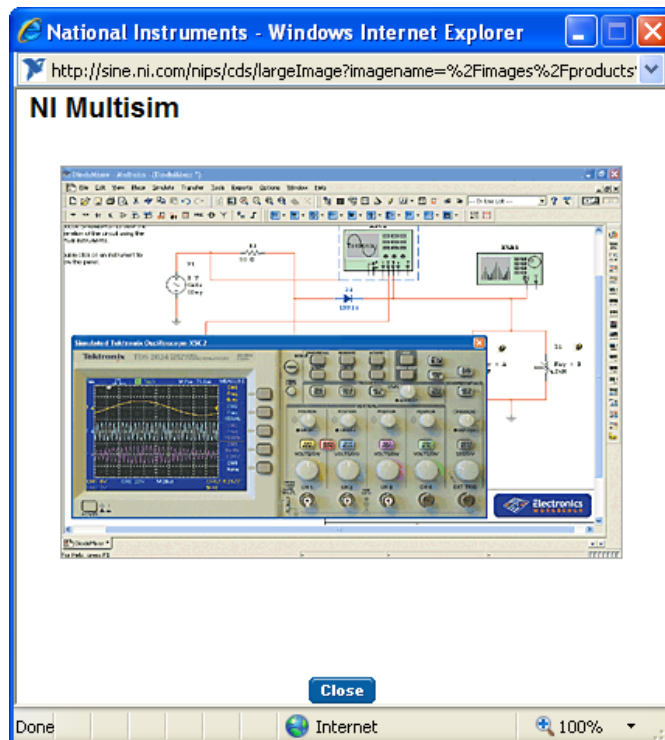


Slika 18: Virtualni osciloskop

Vir: <http://www.virtual-oscilloscope.com/simulation.html#>

1.6.2 Virtualni instrumenti v simulacijskih programih

Nekatere vsebine elektrotehnike in delovanje električnih vezij je možno učinkovito izvajati z uporabo simulacijskih programov. V nekaterih programih so za prikaz rezultatov analize uporabljene simulacije električnih merilnih instrumentov, ki so povzete po realnih instrumentih. Take instrumente je možno vključiti v simulacijo delovanja vezja in s tem osvajati veščine, ki bi jih sicer pridobili z uporabo resničnih instrumentov. Slika 19 prikazuje simulacijo delovanja štirikanalnega osciloskopa Tektronix.



Slika 19: Primer virtualnega osciloskopa

Vir: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/201800>

Naloga za samostojno delo:

Na spletnih straneh si oglejte podatke o simulacijskih programih. Preizkusite delovanje prostih 30-dnevnih verzij. Največ pozornosti namenite delu z virtualnimi instrumenti.

Na podanih spletnih naslovih si oglejte podatke o osciloskopih in drugih merilnih napravah.

<http://www.hameg.com/products.0.html>

<http://www.tek.com/>

<http://www.lecroy.com/homepage/default.aspx>

1.7 POVZETEK

V tem poglavju študenti obnovijo in poglobijo osnovna znanja in izkušnje s področja meritev. Največja novost in nadgradnja srednješolskega znanja je predvsem na področju določanja merilnih pogreškov. Bistvenega pomena je spoznanje, da ni nobena meritev brez pogreška in da je podajanje točnosti merjenja enakega pomena kot podajanje rezultata merjenja. To znanje je nujno potrebno pri izvajanju meritev in izdelavi merilnih poročil, ki so predmet naslednjega poglavja. Pomembno je tudi spoznanje, da je merilne instrumente možno simulirati z uporabo ustreznih programov in s tem razvijati veščine, ki so potrebne pri uporabi fizičnih instrumentov v praksi.

2 PREDLOGE ZA VAJE

2.1 UVOD

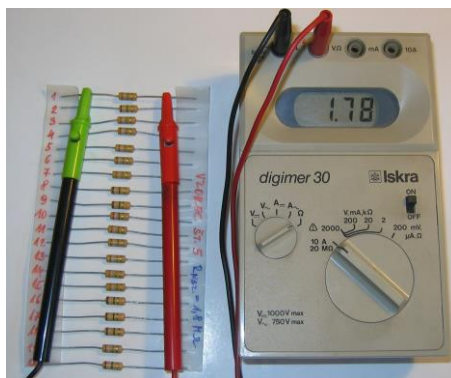
V drugem poglavju so predstavljeni delovni listi za nekaj tipičnih vaj s področja elektrotehnike. Delovni listi omogočajo študentom lažje in uspešnejše delo pri izvajanju meritev na merjencih in pripravi merilnega poročila. Poročilo vodi študente od ene faze izvajanja do druge, kar omogoča razvoj sistematičnega pristopa k meritvam. Pred delovnimi listi za posamezno vajo je v uvodu predstavljen pomen vsebin vaje in povezava s praktičnimi primeri. Na slikah pa so prikazani merjenci, na katerih študenti izvajajo vaje. Merjenci posameznih vaj so v osnovi enaki, zato da omogočajo izvajanje enakih meritev, vgrajeni pa so elementi različnih vrednosti, zato so tudi rezultati meritev različni.

2.1.1 Uvod za vajo št. 1

Vaja se povezuje s praktičnim primerom, ko želimo poznati lastnosti velike količine uporov. V takem primeru bi natančne podatke dobili z merjenjem vseh elementov. V praksi si tega ne moremo privoščiti zaradi predolgotrajnega postopka in zaradi stroškov, ki bi pri tem nastali. Zato se odločimo za merjenje dovolj velikega števila vzorcev in na osnovi rezultatov meritev ocenimo lastnosti celotne populacije. To lahko trdimo na osnovi statistike, če so izpolnjeni trije pogoji:

- da je vzorec dovolj velik,
- da je bil uporabljen pravilen postopek vzorčenja in
- da predpostavljamo normalno porazdelitev vzorca.

Pri vaji se študenti naučijo uporabiti digitalni instrument za merjenje ohmske upornosti. Rezultati merjenja so realni podatki, ki jih uporabijo za statistično obdelavo. Pri tem uporabijo program Excel, ki omogoča potrebno matematično podporo. Z obdelavo konkretnih podatkov spoznajo in osvojijo postopek obdelave in predstavitev večjega števila podobnih rezultatov merjenja. Rezultate predstavijo tabelarično in v histogramu. Ta nam pokaže, kako so elementi porazdeljeni okrog izračunane srednje vrednosti. Pri odgovorih na zastavljena vprašanja na koncu poročila razmislijo o vsebini vaje in povzamejo ključne ugotovitve. Slika 20 prikazuje primer merjencev za prvo vajo.



Slika 20: Digitalni ohm meter in merjenci

Vir: Lasten

POROČILO O MERITVI

Vaja št. 1: Merjenje populacije uporov in statistična obdelava rezultatov

Šolsko leto: Datum: Ime in priimek:
 Pregledal: Ocena: Študent sodelavec:

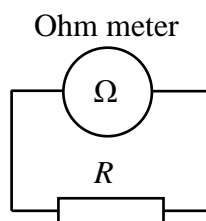
VSEBINA POROČILA

- | | |
|--|--|
| 1. Besedilo naloge | 4. Opis poteka meritve |
| 2. Vezalni načrt | 5. Izračuni in rezultati meritve |
| 3. Seznam merilnih instrumentov in pripomočkov | 6. Analiza opravljene vaje in rezultatov |

1. BESEDILO NALOGE

- Z uporabo digitalnega merilnega instrumenta natančno izmerite ohmsko upornost populacije uporov.
- Dobljene rezultate uredite po naraščajočih izmerjenih vrednostih.
- Izračunajte povprečno vrednost meritev.
- Izračunajte razliko med posameznimi vrednostmi in srednjo vrednostjo.
- Izračunajte kvadrat razlik posamezne meritve in srednje vrednosti.
- Izračunajte standardno deviacijo izmerjenega vzorca uporov.
- Rezultate predstavite še v tabeli frekvenc in v histogramu, če rezultate razdelite v pet enako velikih razredov.
- Na osnovi Studentove porazdelitve izračunajte interval zaupanja aritmetične sredine enkrat z verjetnostjo 50 % in enkrat z verjetnostjo 95 %.
- Ugotovite, ali se nazivna vrednost upornosti nahaja v katerem od izračunanih intervalov zaupanja.

2. VEZALNI NAČRT



Vezava za merjenje upornosti

3. SEZNAM MERILNIH INSTRUMENTOV IN PRIPOMOČKOV

Ω-meter: Tip: digimer30 Št.: Upori: $R_{NAZ.} =$ Št. kosov:

4. OPIS POTEKA MERITVE

Za točko **a** skladno z vezalnim načrtom izmerimo ohmsko upornost populacije uporov. Merilno območje instrumenta moramo izbrati tako, da dobimo prikaz na največjem možnem številu mest.

Pri izračunu standardne deviacije se moramo zavedati, da je število meritev relativno majhno, zato bosta srednja vrednost in standardna deviacija delno odstopali od μ in σ , ki bi ju dobili

pri neskončno velikem vzorcu. Zaradi tega izračunamo interval zaupanja in s tem ugotovimo, med katerimi vrednostmi bi dobili μ , če bi obravnavali neskončno populacijo. Interval zaupanja aritmetične sredine izračunamo po navedeni enačbi, v katero vnesemo parameter t , ki ga dobimo v tabeli. Za s vstavljamo izračunano standardno deviacijo, n pa je število meritev. Izračun opravimo za verjetnost 50 % in 95 %. Širino razreda določimo tako, da od največje vrednosti odštejemo najmanjšo in delimo s številom razredov.

5. IZRAČUNI IN REZULTATI MERITEV

Izračuni: (v enačbo vpišete prvi primer)

$$\text{Povprečna vrednost: } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i =$$

$$\text{Izračun kvadrata razlik: } (x_i - \bar{x})^2 =$$

$$\text{Izračun standardne deviacije: } s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} =$$

$$\text{Izračun intervala zaupanja: } x = \bar{x} \pm \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} ;$$

$$x_{\text{SP}} = \bar{x} - \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} =$$

$$x_{\text{ZG}} = \bar{x} + \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} =$$

$$\text{Širina razreda za tabelo frekvenc: } r = \frac{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}}{5} =$$

Tabela s podatki za parameter t pri Studentovi porazdelitvi:

N	$P = 50\%$	$P = 68,3\%$	$P = 95\%$	$P = 99\%$
3	0,82	1,32	4,30	9,92
4	0,76	1,20	3,18	5,84
5	0,74	1,15	2,78	4,60
6	0,73	1,11	2,57	4,03
7	0,72	1,09	2,46	3,71
8	0,71	1,08	2,37	3,50
9	0,71	1,07	2,31	3,35
10	0,70	1,06	2,26	3,25
20	0,69	1,03	2,09	2,86
50	0,68	1,01	2,00	2,77
100	0,68	1,00	1,98	2,66
200	0,68	1,00	1,97	2,66

Vir: Bergelj, 1995, 45

Tabela za vnos rezultatov meritev in izračunov:

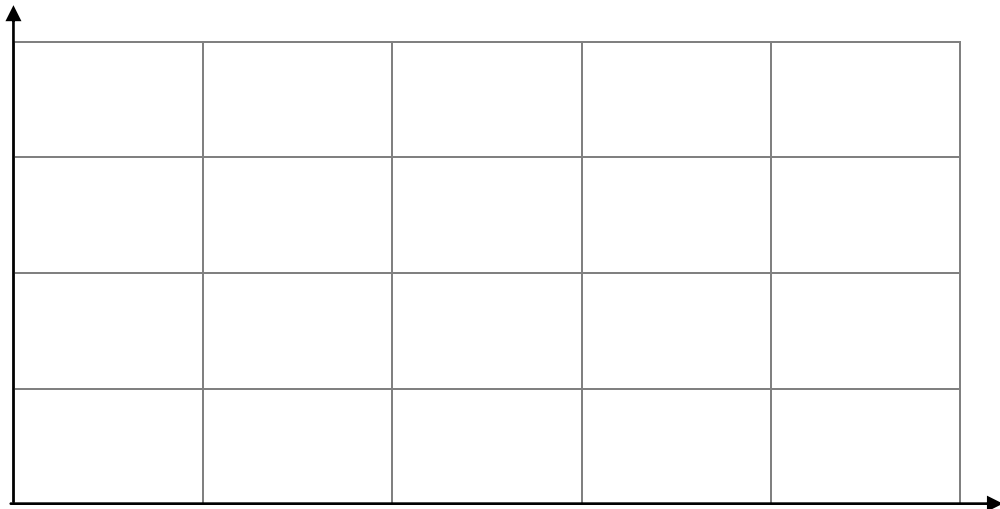
N	x k Ω , M Ω	x (po vrednostih) k Ω , M Ω	$x - \bar{x}$ Ω , k Ω	$(x - \bar{x})^2$ Ω^2 , k Ω^2	Razred 1 do 5
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
Σ			-----		
	$\Sigma (x - \bar{x})^2 =$		$s =$		
	$X_{sp}(P = 50\%) =$		$X_{zg}(P = 50\%) =$		
	$X_{sp}(P = 95\%) =$		$X_{zg}(P = 95\%) =$		

Tabela frekvenc:

k (št. razreda)	$R_{k,sp}$ (k Ω), (M Ω)	$R_{k,zg}$ (k Ω), (M Ω)	f	f/n
1				
2				
3				
4				
5				

Legenda: f – frekvenca, to je število meritev v posameznem razredu
 k – številka razreda
 $R_{k,sp}$ – spodnja meja razreda
 $R_{k,zg}$ – zgornja meja razreda
 f/n – relativna frekvenca (n število meritev)

Histogram izmerjenih vrednosti upornosti ($f(R)$) razvrščenih v razrede:
Na vodoravni osi označite tudi \bar{x} , X_{sp} in X_{zg} za $P = 50\%$ in $P = 95\%$.



6. ANALIZA OPRAVLJENE VAJE IN REZULTATOV

Pri analizi vaje opišite in pojasnite naslednje:

1. Razložite, kako ste izbrali merilno območje Ω -metra in zakaj.
2. Komentirajte rezultate za spodnjo in zgornjo mejo zaupanja pri verjetnosti 50 % in 95 %.
3. Komentirajte histogram izmerjenih vrednosti.
4. Kaj se zgodi s histogramom, če meje razredov ožimo proti nič in močno povečamo število meritev?
5. Opišite ostale posebnosti, težave in ugotovitve pri meritvah.

Odgovori:

1.

2.

3.

4.

2.1.2 Uvod za vajo št. 2

Za mnoge tehnične naprave velja, da se jim lastnosti s časom spreminjajo oziroma da se starajo. Enako velja tudi za električne merilne instrumente. Vzroki za to so različni: od nihanja temperature, vlage, vibracij, zračnega tlaka do preobremenitev ipd. Zakon o meroslovju zato določa, da je potrebno merilne instrumente in naprave občasno preveriti, če še izpolnjujejo lastnosti glede točnosti in ostalih tehničnih podatkov. Če odstopajo, jih je možno istočasno servisirati ali pa samo kalibrirati. Postopek overjanja in kontrole se lahko izvaja le v ustreznih prostorih z ustrežno opremo in pri zagotovljenih referenčnih pogojih. Izvajalec mora biti strokovno usposobljen. Rezultat izpolnjevanja vseh zahtev je akreditacija za določeno področje meritev.

Pri tej vaji se izhaja iz uporabnega primera v praksi, ko je potrebno preveriti točnost nekega merila. Pri tem se študenti naučijo izpeljati merilni postopek, ki je za to potreben. Pri delu uporabijo predhodno pridobljeno znanje v prvem poglavju o določanju pogreškov pri analognih in digitalnih instrumentih. Pred začetkom meritev preverijo pogoj o točnosti primerjalnega instrumenta. Na osnovi meritev določijo razred analognega merilnega instrumenta in ugotovijo, ali se merjeni instrument še nahaja v podanem točnostnem razredu. Ugotovijo tudi, kakšen je vpliv trenja v ležajih instrumenta in vpliv lege, ki je referenčna veličina analognega instrumenta. Spoznajo korekcijo in njeno uporabo v praksi. Pri odgovorih zaokrožijo novo pridobljeno znanje in povzamejo ključne ugotovitve. Slika 21 prikazuje primer analognega in digitalnega instrumenta za drugo vajo.



Slika 21: Analogni in digitalni instrument
Vir: Lasten

POROČILO O MERITVI

Vaja št. 2: Merjenje pogreška in določitev razreda analognega merilnega instrumenta

Šolsko leto: Datum: Ime in priimek:
 Pregledal: Ocena: Študent sodelavec:

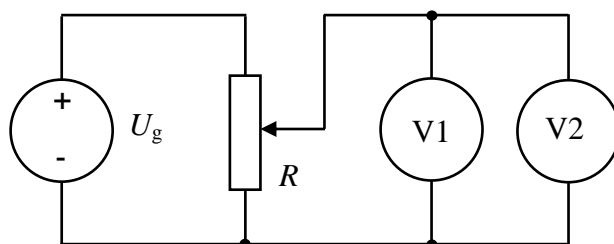
VSEBINA POROČILA

- | | |
|--|--|
| 1. Besedilo naloge | 4. Opis poteka meritve |
| 2. Vežalni načrt | 5. Izračuni in rezultati meritve |
| 3. Seznam merilnih instrumentov in pripomočkov | 6. Analiza opravljene vaje in rezultatov |

1. BESEDILO NALOGE

- Izmerite odstopanje analognega merilnega instrumenta od digitalnega.
- Ugotovite absolutni, relativni in odstotni pogrešek analognega instrumenta.
- Ugotovite razred analognega instrumenta in ga primerjajte z deklariranim razredom.
- Narišite korekcijsko krivuljo.
- Meritve izvedite za eno enosmerno napetostno merilno območje, ko je instrument v vodoravni in navpični legi.
- Meritve ponovite še za eno izmenično merilno območje.

2. VEZALNI NAČRT



Vežje za merjenje točnosti analognega instrumenta

3. SEZNAM MERILNIH INSTRUMENTOV IN PRIPOMOČKOV

Merilna miza :		Tip:	Št.:
V-meter 1 :	Analogni	Tip:	Št.:
V-meter 2:	Digitalni	Tip:	Št.:
R-nas. upornost		Tip:	Št.:
Št vezi:		6	

4. OPIS POTEKA MERITVE

Na izbranem merilnem območju nastavljam napetost od 0 V v 10 korakih do maksimalne vrednosti v enakomernih presledkih vzdolž skale analognega instrumenta. Vsakokrat, ko dosežemo izbrano vrednost na skali analognega instrumenta, odčitamo še vrednost na digitalnem instrumentu. Postopek ponovimo še v nasprotni smeri, tako da odklon analognega instrumenta nižamo proti 0. Pred vklopom vezja moramo obvezno preveriti ustreznost nastavitvev preklopnikov na obeh instrumentih. Drsnik drsnega upora nastavimo na tako vrednost, da dobimo dovolj fino nastavitvev napetosti. Napetost lahko spreminjamo z gumbom

na izvoru ali s premikanjem gumba drsnega upora. Paziti moramo, da se pri prvem delu odklon na instrumentu stalno samo povečuje, pri drugem delu pa samo znižuje. Pogreške izračunamo po podanih enačbah. Razred instrumenta določimo na osnovi maksimalnega absolutnega pogreška preračunanega na merilni doseg. Pri tem moramo upoštevati tudi pogrešek digitalnega instrumenta. Dobljen rezultat zaokrožimo na standardno višjo vrednost. Korekcijsko krivuljo narišemo v graf kot negativno vrednost absolutnega pogreška.

5. IZRAČUNI IN REZULTATI MERITEV

Izračuni: (V enačbo vpišete prvi primer.)

Legenda:

- U_A – napetost na anal. V-metru U_D – napetost na dig. V-metru U_{md} – merilni doseg
- k – konstanta skale E – absolutni pogrešek e – relativni pogrešek
- $e\%$ – odstotni pogrešek K – korekcija r – razred instrumenta
- n – število razdelkov na skali α – odklon instrumenta v rd.

$$k \text{ (V/rd)} = \frac{U_{md} \text{ (V)}}{n \text{ (rd)}} = \dots = \dots \quad U_A \text{ (V)} = k \text{ (V/rd)} \cdot \alpha \text{ (rd)} = \dots$$

$$E \text{ (V)} = U_A \text{ (V)} - U_D \text{ (V)} = \dots \quad e = \frac{E}{U_D} = \dots \quad e \text{ (\%)} = e \cdot 100 \% = \dots$$

$$K = -E = \dots \quad r = \frac{(|E| + |E_D|)_{max}}{U_{md}} \cdot 100 = \dots = \dots$$

$$|E_D| = (\text{št. \% od rezultata} + \text{število digitov v (V)}) = \dots$$

Tabeli izmerjenih vrednosti:

Vodoravna lega naraščanje odklona												
N	Analogni V meter				Dig.V meter		Pogreški in korekcija					
	U_{md}	k	α	U_A	U_{md}	U_D	E	e	$e\%$	$ E_D $	$ E + E_D $	K
	V	V/rd	rd	V	V	V	mV	-	%	mV	mV	mV
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
Deklarirani r =				Izmerjeni r =				Podatek točnosti dig. ins.				

N	Vodoravna lega nižanje U			Navpična lega višanje U			Navpična lega nižanje U		
	U_A	U_D	E	U_A	U_D	E	U_A	U_D	E
	V	V	mV	V	V	mV	V	V	mV
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									

Diagram absolutnega pogreška za vodoravno lego pri naraščanju odklona:

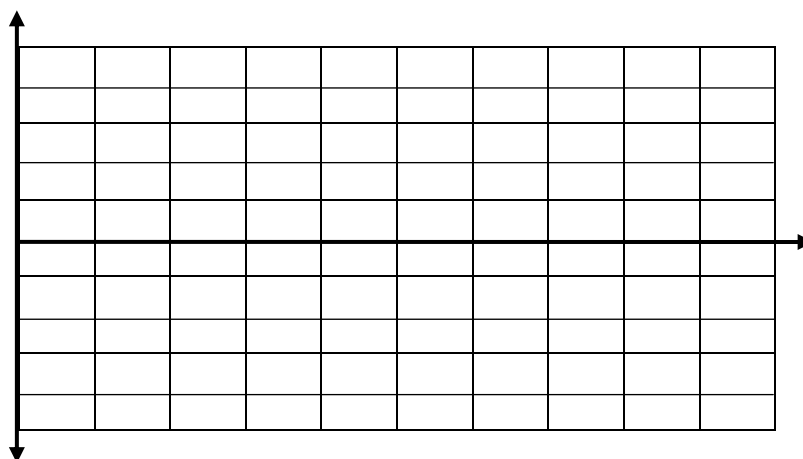
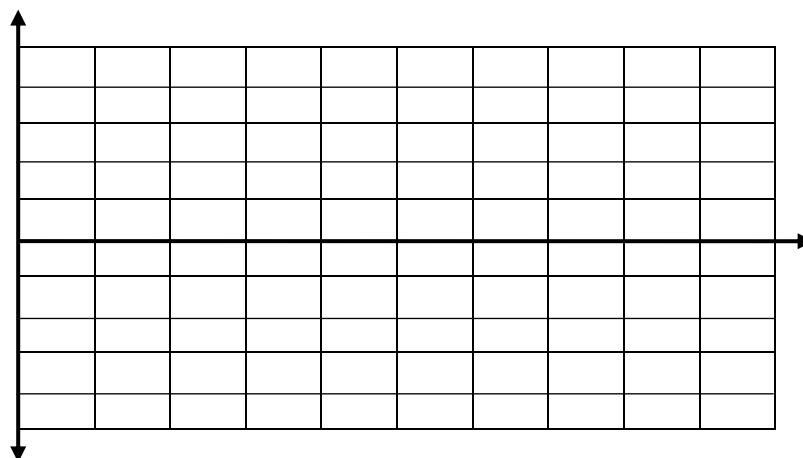


Diagram korekcije za vodoravno lego pri naraščanju odklona:



6. ANALIZA OPRAVLJENE VAJE IN REZULTATOV

Pri analizi vaje opišite in pojasnite naslednje:

1. Razložite, kako se absolutni in relativni pogrešek spreminjata vzdolž skale analognega merilnega instrumenta.
2. Razložite, čemu je namenjena korekcija in kako jo uporabimo.
3. Komentirajte rezultat izmerjenega razreda glede na deklariran razred.
4. Komentirajte rezultate pri naraščanju in nižanju odklona za vodoravno in navpično lego.
5. Opišite ostale posebnosti, težave in ugotovitve pri meritvah.

Odgovori:

1.

2.

3.

4.

2.1.3 Uvod za vajo št. 3

Ohmska upornost je zelo pogosta veličina, ki jo moramo poznati v praksi. Na področju mehatronike se srečamo z manjšimi upornostmi, če obravnavamo navitja pri elektromotorjih, transformatorjih, kabljih, prehodne upornosti kontaktov in ozemljitvene upornosti, kakor tudi z večjimi pri različnih elektronskih vezjih in zelo velikimi na področju izolacijskih materialov. Preko merjenja upornosti je možno meriti linearne in rotacijske pomike. Na področju merjenja in regulacije temperature se v praksi uporabljajo razni uporovni senzori kot so upori PTC in NTC, merilni senzori PT100, pri katerih preko merjenja upornosti, ugotavljamo temperaturo. S posebnimi uporovnimi senzori je možno meriti gostoto magnetnega pretoka, z uporovnimi merilnimi trakovi (strain gauges), ki jih nalepimo na predmet, pa lahko merimo sile, tlak in maso. Na osnovi izmerjene upornosti je možno določiti specifično upornost snovi kot tudi kemijsko čistost nekaterih kovin. Na osnovi merjenja upornosti hladnega in segretega navitja elektromotorja ali transformatorja lahko določimo temperaturo navitja. Večinoma se pri merjenju upornosti uporablja enosmerna napetost oziroma tok, zato da se izognemo vplivu reaktanc, v posebnih primerih, na primer pri merjenju upornosti elektrolitov, pa je potrebno uporabiti izmenično napajanje zato, da odpravimo vpliv polarizacije elektrod.

Namen tretje vaje je, da študenti preizkusijo uporabnost različnih metod za merjenje upornosti in spoznajo prednosti ter slabosti kakor tudi uporabnost najpomembnejših med njimi. Pri določanju točnosti merjenja uporabijo predhodno pridobljeno znanje v prvem poglavju o določanju pogreškov pri analognih in digitalnih instrumentih. Praktično preizkusijo vpliv priključitve instrumentov in ugotovijo, kdaj je potrebno upoštevati sistematski pogrešek merilne metode in kdaj ne. Naučijo se uporabljati Wheatstonov mostiček, spoznajo prednosti in slabosti.

Slika 22 prikazuje pripomoček za tretjo vajo, slika 23 pa Wheatstonov mostiček.



Slika 22: Merilni pripomoček
Vir: Lasten



Slika 23: Wheatstonov mostiček
Vir: Lasten

POROČILO O MERITVI

Vaja št. 3: Merjenje ohmske upornosti po različnih merilnih metodah

Šolsko leto: Datum: Ime in priimek:
 Pregledal: Ocena: Študent sodelavec:

VSEBINA POROČILA

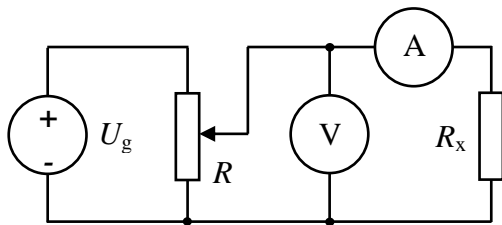
- | | |
|--|--|
| 1. Besedilo naloge | 4. Opis poteka meritve |
| 2. Vežalni načrt | 5. Izračuni in rezultati meritve |
| 3. Seznam merilnih instrumentov in pripomočkov | 6. Analiza opravljene vaje in rezultatov |

1. BESEDILO NALOGE

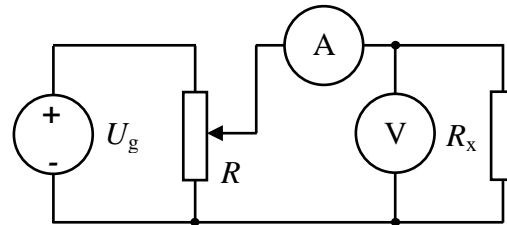
Izmerite dve ohmski upornosti po naslednjih merilnih metodah:

- Direktno merjenje z digitalnim Ω -metrom.
- Metoda *UI*: V-meter je vezan pred A-metrom (brez in z upoštevanjem lastne porabe instrumentov).
- Metoda *UI*: V-meter je vezan za A-metrom (brez in z upoštevanjem lastne porabe instrumentov).
- Napetostna primerjalna metoda.
- Tokovna primerjalna metoda.
- Z Wheatstonovim mostičem.
- Pri vseh meritvah podajte poleg rezultata še točnost merjenja.

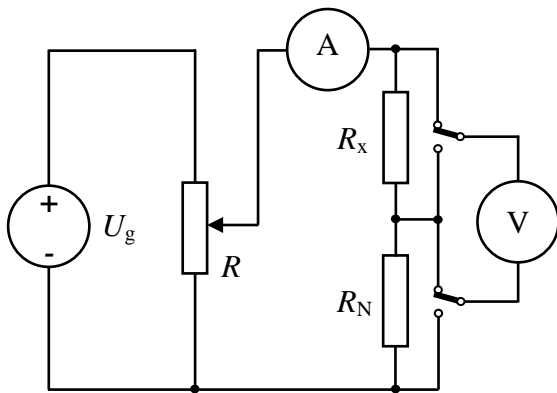
2. VEZALNI NAČRTI



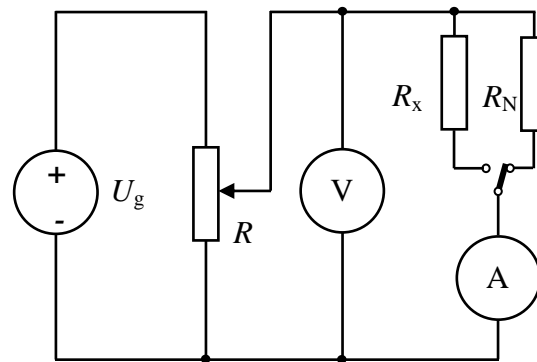
Vežje za metodo *UI*: V-meter pred A-metrom



Vežje za metodo *UI*: A-meter pred V-metrom



Vežje napetostna primerjalna metoda



Vežje tokovna primerjalna metoda

3. SEZNAM MERILNIH INSTRUMENTOV IN PRIPOMOČKOV

Enosmerni izvor:	Tip:	Št.:
Digitalni inst.:	Tip:	Št.:
Dig. ali analog. inst.:	Tip:	Št.:
R – nas. upornost	Tip:	Št.:
Neznana upornost:	R_{x1} :	Št.:
Neznana upornost:	R_{x2} :	Št.:
Št vezi:	8	

4. OPIS POTEKA MERITVE

Meritev najprej izvedemo z digitalnim Ω -metrom. Z upoštevanjem podatkov merilnika rezultat opremimo s pogreškom. Na osnovi tega rezultata lahko s podatka za moč ali tok neznane upornosti določimo maksimalno U ali I na R_x pri ostalih merilnih metodah. Pri metodi UI se vedno pojavi sistematski pogrešek merilne metode, ker V-meter meri še padec na A-metru ali pa A-meter meri še tok V-metra. Ta sistematski pogrešek moramo upoštevati, razen v primeru, ko je ta desetkrat manjši od pogreška merjenja upornosti. Pri UI metodi neznano upornost dobimo tako, da skozi R_x nastavimo primerno vrednost toka (upoštevamo dovoljeno obremenitev) in odčitamo napetost. Upornost pa izračunamo po poenostavljeni ali nepoenostavljeni enačbi.

Pri napetostni primerjalni metodi nastavimo konstantno vrednost toka skozi R_x in R_N (paziti moramo na dovoljeno obremenitev obeh upornosti). Nato najprej izmerimo napetost U_N , nato pa U_x . Če se pri preklopu V-metra tok spremeni, ga nastavimo nazaj na enako vrednost. Potem ponovno preverimo U_N , ki mora biti enaka kot pri prvi meritvi, če hočemo, da je meritev veljavna. V nasprotnem primeru moramo postopek v celoti ponoviti.

Pri tokovni primerjalni metodi najprej izračunamo maksimalno dovoljeno napetost glede na dovoljeno obremenitev R_N in R_x . Upoštevati moramo manjšo vrednost! Z A-metrom izmerimo tok skozi tisto upornost, ki je manjša (R_x , R_N ali pa R_N , R_x). Za meritev moramo uporabiti isto merilno območje A-metra, da zagotovimo enake pogoje za obe meritvi. Med merjenjem se napetost na V-metru ne sme spremeniti. Če smo uporabili pomožno nastavljivo upornost R in se je pri preklopu A-metra napetost spremenila, jo popravimo nazaj na prejšnjo vrednost.

5. IZRAČUNI IN REZULTATI MERITEV

Izračuni: (V enačbo vpišete prvi primer.)

Legenda: E_{Rx} – absolutna napaka R_x e_{Rx} – relativna napaka R_x

1. Pogrešek merjenja upornosti z digitalnim Ω -metrom:

$$E_{Rx} = \pm (\text{št. \% od rezultata} + \text{število digitov (v } \Omega)) \quad E_{Rx} =$$

$$e_{Rx} = E_{Rx} / R_x \quad e_{Rx} =$$

$$\text{Rezultat podamo v obliki: } R_x = R_x \cdot (1 \pm e_{Rx}) =$$

2. UI metoda V-meter pred A-metrom:

$$R_x = \frac{U_V}{I_A} = \quad R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_V - U_A}{I_A} = \frac{U_V - I_A \cdot R_A}{I_A} = \frac{U_V}{I_A} - R_A =$$

$$E_{DIG.} = \pm (\text{št. \% od rezultata} + \text{število digitov (v V ali A)}) =$$

$$E_{ANAL.} = \pm (M_D \cdot r / 100) =$$

$$e_U = \pm E_U / U = \quad e_I = \pm E_I / I =$$

$$e_{Rx} = \pm (|e_U| + |e_I|) = \quad E_{Rx} = \pm e_{Rx} \cdot R_x =$$

3. UI metoda A-meter pred V-metrom:

$$R_x = \frac{U_V}{I_A} = \quad R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{I_A - \frac{U_V}{R_V}} =$$

Pogrešek določimo enako, kot če je V-meter pred A-metrom.

4. Napetostna primerjalna metoda:

$$R_x = R_N \cdot \frac{U_x}{U_N} = \quad R_x = \frac{U_x \cdot R_N \cdot R_V}{U_N \cdot (R_N + R_V) - U_x \cdot R_N} =$$

V idealnem primeru, če bi bil R_x enak R_N in bi nastavili točno enake odklone, instrumenta s svojima napakama ne bi vplivala na točnost. Praktično se odkloni vedno razlikujejo, zato namesto pogreška instrumenta podamo občutljivost merjenja. K pogrešku R_N dodamo še občutljivost merjenja toka in občutljivost merjenja U_N in U_x .

Občutljivost pri digitalnem V-metru dobimo tako, da 1 digit delimo s številom prikazanih digitov. Občutljivost pri analognem instrumentu pa dobimo tako, da najmanjši opazni premik kazalca delimo s prikazanim številom razdelkov. Če za V-meter uporabimo digitalni, za A-meter pa analogni instrument izračunamo občutljivosti po naslednjih enačbah:

$$|\delta_{U_x}| = 1 \text{ dig./št.dig.}(U_x) = \quad |\delta_{U_N}| = 1 \text{ dig./št.dig.}(U_N) =$$

Občutljivost pri analognem A-metru je: $|\delta_I| = 0,1 \text{ razd./št.razd.} =$

$$e_{R_x} = \pm (|e_{R_N}| + |\delta_I| + |\delta_{U_x}| + |\delta_{U_N}|) =$$

5. Tokovna primerjalna metoda:

$$R_x = R_N \cdot \frac{I_N}{I_x} = \quad R_x = (R_N + R_A) \cdot \frac{I_N}{I_x} - R_A =$$

Pogrešek določimo podobno kot pri napetostni primerjalni metodi. Za A-meter uporabimo digitalni, za V-meter pa analogni instrument. Občutljivosti izračunamo po sledečih enačbah:

$$|\delta_{I_x}| = 1 \text{ dig./št.dig.}(I_x) = \quad |\delta_{I_N}| = 1 \text{ dig./št.dig.}(I_N) =$$

Občutljivost pri analognem V-metru je: $|\delta_U| = 0,1 \text{ razd./št.razd.} =$

$$e_{R_x} = \pm (|e_{R_N}| + |\delta_U| + |\delta_{I_x}| + |\delta_{I_N}|) =$$

Tabele izmerjenih vrednosti:

Merjenje R_x z Ω -metrom							
R_{x1}				R_{x2}			
R_{md}	R_x	E_{R_x}	e_{R_x}	R_{md}	R_x	E_{R_x}	e_{R_x}
k Ω	k Ω	k Ω	–	Ω	Ω	Ω	–

Merjenje R_x z UI metodo V-meter pred A-metrom										
	U_{md}	U_V	I_{md}	I_A	R_x	R_x	e_U	e_I	e_{R_x}	E_{R_x}
	V	V	mA	mA	k Ω/Ω	k Ω/Ω	–	–	–	k Ω/Ω
R_{x1} (k Ω)										
R_{x2} (Ω)										

Merjenje R_x z UI metodo A-meter pred V-metrom										
	U_{md}	U_V	I_{md}	I_A	R_x	R_x	e_U	e_I	e_{R_x}	E_{R_x}
	V	V	mA	mA	k Ω/Ω	k Ω/Ω	–	–	–	k Ω/Ω
R_{x1} (k Ω)										
R_{x2} (Ω)										

Merjenje R_x z napetostno primerjalno metodo													
	R_N	R_V	U_x	U_N	I_A	R_x	R_x	e_{RN}	δ_I	δ_{U_x}	δ_{UN}	e_{Rx}	E_{Rx}
	k Ω/Ω	M Ω	V	V	mA	k Ω/Ω	k Ω/Ω	–	–	–	–	–	k Ω/Ω
R_{x1} (k Ω)													
R_{x2} (Ω)													

Merjenje R_x s tokovno primerjalno metodo													
	R_N	I_x	I_N	R_A	U_V	R_x	R_x	e_{RN}	δ_U	δ_{I_x}	δ_{IN}	e_{Rx}	E_{Rx}
	k Ω/Ω	mA	mA	Ω	V	k Ω/Ω	k Ω/Ω	–	–	–	–	–	k Ω/Ω
R_{x1} (k Ω)													
R_{x2} (Ω)													

Merjenje R_x z Wheatstonovim mostičem							
R_{x1}				R_{x2}			
R_{md}	R_x	E_{Rx}	e_{Rx}	R_{md}	R_x	E_{Rx}	e_{Rx}
k Ω	k Ω	k Ω	–	Ω	Ω	Ω	–

6. ANALIZA OPRAVLJENE VAJE IN REZULTATOV

Pri analizi vaje opišite in pojasnite naslednje:

1. Na osnovi rezultatov meritev razložite, katera ali katere merilne metode so primerne za merjenje R_{x1} in katere za R_{x2} .
2. Presodite, kdaj lahko uporabimo pri UI -metodi poenostavljeno enačbo za računanje R_x .
3. Za kakšne upornosti sta primerni U in I primerjalna metoda?
4. Katera metoda (metode) so primerne za merjenje nizkih upornosti?
5. Katera lastnost instrumentov je pomembna pri UI in katera pri primerjalni metodi?
6. S katero merilno metodo ste najtočneje izmerili R_{x1} in s katero R_{x2} ?
7. Opišite ostale posebnosti, težave in ugotovitve pri meritvah.

Odgovori:

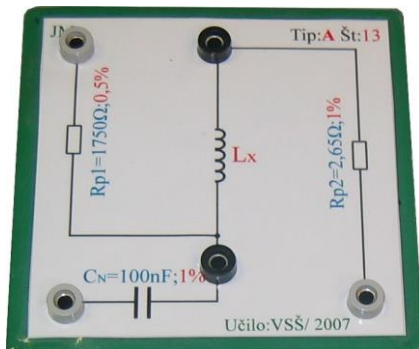
- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.

2.1.4 Uvod za vajo št. 4

Induktivnost je snovno geometrijska lastnost, ki se v praksi v večji ali manjši meri vedno pojavlja tako kot upornost. V praksi induktivnost izdelamo v obliki tuljave, ki je lahko zračna, ali pa s feromagnetnim jedrom. Na področju mehatronike se srečamo z večjimi induktivnostmi, če obravnavamo navitja pri različnih motorjih, transformatorjih in gladilnih dušilkah, kakor tudi z manjšimi pri kablji za povezavo, elektronskih vezjih in podobno. Zračne tuljave najdemo najpogosteje v elektronskih vezjih, kretnicah za zvočnike in lahko tudi v filtrih. Induktivnost tuljav koristno uporabimo pri dušilkah v fluorescentnih sijalkah, v varčnih žarnicah, pri indukcijskih pečeh, indukcijskih štedilnikih ipd. Pri daljnovodih, telefonskih linijah in kabljiha induktivnost lahko predstavlja problem.

Namen četrte vaje je, da študenti preizkusijo uporabnost različnih metod za merjenje induktivnosti in spoznajo prednosti ter slabosti, kakor tudi uporabnost nekaterih med njimi. Tudi pri tem merjenju ne smemo pozabiti na točnost, ki je lahko nekaj odstotkov, kadar uporabimo odčitke z osciloskopa. Pri delu z osciloskopom študenti delno uporabijo predhodno pridobljeno znanje v prvem poglavju, delno pa pridobijo nova znanja pri uporabi osciloskopa kot indikator resonance nihajnega kroga. Študenti se naučijo tudi priključiti in uporabiti transformator za galvansko ločitev mase generatorja in osciloskopa. Naučijo se tudi meriti induktivnost z merilnikom induktivnosti.

Slika 24 prikazuje pripomoček za četrto vajo, slika 25 pa elektronski merilnik induktivnosti.



Slika 24: Merilni pripomoček
Vir: Lasten



Slika 25: Merilnik induktivnosti
Vir: <http://www.hameg.com/138.0.html>

POROČILO O MERITVI

Vaja št. 4: Merjenje induktivnosti tuljave po različnih merilnih metodah

Šolsko leto: Datum: Ime in priimek:
 Pregledal: Ocena: Študent sodelavec:

VSEBINA POROČILA

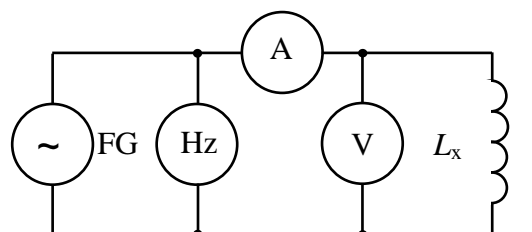
- | | |
|--|--|
| 1. Besedilo naloge | 4. Opis poteka meritve |
| 2. Vezalni načrt | 5. Izračuni in rezultati meritve |
| 3. Seznam merilnih instrumentov in pripomočkov | 6. Analiza opravljene vaje in rezultatov |

1. BESEDILO NALOGE

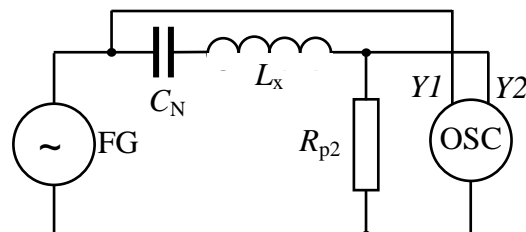
Izmerite induktivnost tuljave po naslednjih merilnih metodah:

- Metoda merjenja napetosti, toka in frekvence;
- Resonančna merilna metoda;
- Metoda inducirane napetosti;
- Metoda opazovanja elipse na osciloskopu;
- Direktno merjenje z merilnikom induktivnosti.

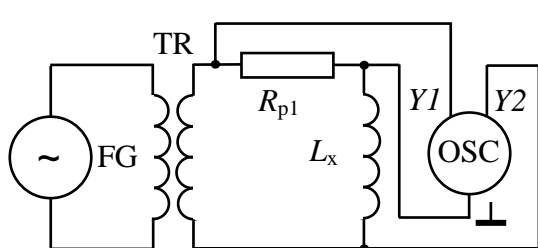
2. VEZALNI NAČRTI



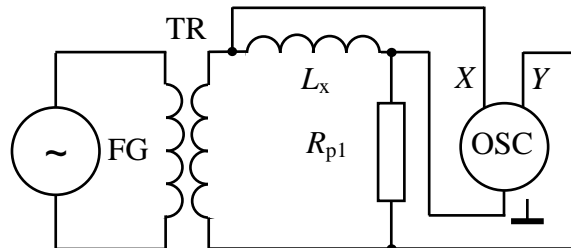
Vezje za merjenje L z merjenjem U , I in f



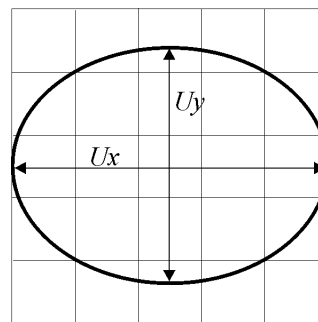
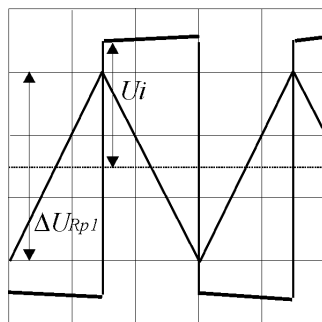
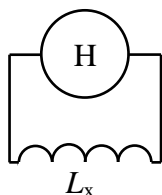
Vezje za resonančno metodo



Vezje za metodo inducirane napetosti



Vezje za metodo opazovanja elipse



Merjenje z merilnikom induk. Prikaz na zaslonu pri točki c: Prikaz na zaslonu pri točki č:

3. SEZNAM MERILNIH INSTRUMENTOV IN PRIPOMOČKOV

Funkcijski generator :	Tip:	Št.:	Točnost $f: 5 \times 10^{-5} + 1D$
Digitalni inst.:	Tip:	Št.:	
Analogni inst.:	Tip:	Št.:	
Merilnik L :	Tip:	Št.:	
Neznana induktivnost:	L_x :	Št.:	
Osciloskop Hameg:	Tip:	Št.:	
Št. vezi: 4	Št. sond: 3		

4. OPIS POTEKA MERITVE

- a) Z digitalnim Ω -metrom najprej izmerimo ohmsko upornost neznane induktivnosti. Pri prvi metodi merjenja L_x izberemo tako frekvenco (**1 kHz**) na funkcijskem generatorju, da bo točnost merjenja instrumentov čim boljša. Na generatorju izberemo **sinusno** obliko napetosti, merimo pa tok in napetost na L_x . Induktivnost izračunamo po enačbi.
- b) Pri resonančni metodi spreminjamo frekvenco **sinusne** napetosti na generatorju. Na osciloskopu opazujemo vhodno in napetost na R_{p2} . En vhod množimo z -1 (invertiramo) in opazujemo, kdaj nastopi resonanca. Vezje je v resonanci takrat, ko sta vhodna napetost in napetost na R_{p2} točno v protifazi. Za izračun L_x potrebujemo resonančno frekvenco in kapacitivnost C_N .
- c) Pri metodi inducirane napetosti uporabimo transformator za galvansko ločitev mase osciloskopa in funkcijskega generatorja, na katerem izberemo **trikotno** obliko napetosti in zaporedno z L_x vežemo večjo vrednost pomožne upornosti R_{p1} . Na enem kanalu osciloskopa opazujemo napetost na R_{p1} , na drugem pa na L_x . Ker je vsiljen tok tuljave trikotne oblike (določa ga generator in večja pomožna upornost), na tuljavi dobimo pravokotno obliko inducirane napetosti. Če ohmska upornost tuljave ni zanemarljiva, dobimo rahlo naraščanje inducirane napetosti, ki ga pri odčitku napetosti ne upoštevamo. Za inducirano napetost vzamemo samo pozitivno vrednost napetosti na L_x , spremembo U_g in časa pa lahko vzamemo samo v pozitivni smeri ali pa tudi v negativni (oboje enako). L_x izračunamo po podani enačbi.
- č) Pri metodi opazovanja elipse moramo uporabiti transformator za galvansko ločitev mase osciloskopa in funkcijskega generatorja. Uporabimo večjo pomožno upornost R_{p1} in **sinusno** napetost dovolj visoke frekvence, da je napetost na tuljavi dovolj velika. Frekvenco in amplitudo generatorja izberemo tako, da je na zaslonu čim večja slika elipse. Krivulja elipse ni popolnoma gladka zaradi odstopanja oblike napetosti od idealne sinusne oblike. Če ohmska upornost tuljave ni zanemarljiva v primerjavi z induktivno upornostjo tuljave, jo moramo upoštevati v izračunu, slika elipse na zaslonu pa je nagnjena za določen kot. Za boljšo točnost odčitamo maksimalni vrednosti napetosti U_x in U_y .
- d) Na merilnik induktivnosti priključimo tuljavo, izberemo ustrezno merilno območje in odčitamo rezultat.

5. IZRAČUNI IN REZULTATI MERITEV

Izračuni: (V enačbo vpišete prvi primer.)

6. Izračuni pri točki a):

$$Z = \frac{U_{Lx}}{I_{Lx}} = \quad X_L = \sqrt{Z^2 - R_L^2} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_x = \quad L_x = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} =$$

$$e_{Lx} = \pm (|e_U| + |e_I| + |e_f|) = \quad E_{Lx} = e_{Lx} \cdot L_x =$$

$e_f = 1 \text{ dig}/\text{število dig.} + \text{toč. čas. baze} =$

Rezultat podamo v obliki: $L_x = L_x(1 \pm e_{Lx}) =$

7. Izračuni pri resonančni metodi (točka b):

$$f_{\text{RES}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_x \cdot C_N}} \quad L_x = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot C_N} =$$

$$e_{Lx} = \pm (|e_{C_N}| + 2 \cdot |e_f|) = \quad E_{Lx} = e_{Lx} \cdot L_x = \quad L_x = L_x(1 \pm e_{Lx}) =$$

8. Metoda inducirane napetosti (točka c):

$$\Delta i_{Lx} = \frac{\Delta U_{Rp1}}{R_{p1}} \quad U_i = L_x \cdot \frac{\Delta i_{Lx}}{\Delta t} \quad L_x = \frac{U_i \cdot \Delta t}{\Delta i_{Lx}} = \frac{U_i \cdot \Delta t \cdot R_{p1}}{\Delta U_{Rp1}} = \frac{U_i \cdot R_{p1}}{2 \cdot f \cdot \Delta U_{Rp1}} =$$

Pri tem je U_i samo pozitivna vrednost, ΔU_{Rp1} pa je vzeta od vrha do vrha!

$$e_{Lx} = \pm (|e_{Rp1}| + |e_{U_i}| + |e_{\Delta U_{Rp1}}| + |e_f|) = \quad E_{Lx} = e_{Lx} \cdot L_x = \quad L_x = L_x(1 \pm e_{Lx}) =$$

9. Metoda opazovanja elipse:

Če smo izbrali, da je U_{Lx} na X vhodu, U_{Rp1} pa na Y vhodu osciloskopa, veljajo enačbe:

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{U_X}{\frac{U_Y}{R_{p1}}} = \frac{U_X \cdot R_{p1}}{U_Y} = \quad X_{Lx} = \sqrt{Z^2 - R_L^2} =$$

$$\text{ali } X_{Lx} = Z, \text{ če lahko } R_L \text{ zanemarimo.} \quad L_x = \frac{X_{Lx}}{2 \cdot \pi \cdot f} =$$

$$e_{Lx} = \pm (|e_{Rp1}| + |e_{U_X}| + |e_{U_Y}| + |e_f|) = \quad E_{Lx} = e_{Lx} \cdot L_x = \quad L_x = L_x(1 \pm e_{Lx}) =$$

Tabele izmerjenih vrednosti:

Merjenje L_x z merjenjem U in I : Rezultat merjenja: $L_x = L_x(1 \pm e_{Lx}) =$								
R_{Lx}	U_{Lx}	I_{Lx}	f	Z	X_{Lx}	L_x	e_{Lx}	E_{Lx}
Ω	V	mA	kHz	Ω	Ω	mH	-	μH

Merjenje L_x z resonančno metodo: Rezultat merjenja: $L_x = L_x(1 \pm e_{Lx}) =$								
U_g	R_{Lx}	C_N	R_{p2}	U_{Rp2}	f_{RES}	L_x	e_{Lx}	E_{Lx}
V	Ω	nF	Ω	mV	kHz	mH	-	μH
≈ 1								

Merjenje L_x z metodo inducirane U : Rezultat merjenja: $L_x = L_x(1 \pm e_{L_x}) =$								
R_{L_x}	ΔU_g	f	R_{p1}	U_i	Δt	L_x	e_{L_x}	E_{L_x}
Ω	V	kHz	Ω	mV	μs	mH	-	μH

Merjenje L_x z metodo elipse: Rezultat merjenja: $L_x = L_x(1 \pm e_{L_x}) =$									
R_{L_x}	R_{p1}	$U_{L_x} = U_x$	$U_{R_{p1}} = U_y$	Z	X_{L_x}	f	L_x	e_{L_x}	E_{L_x}
Ω	Ω	V	V	Ω	Ω	kHz	mH	-	μH

Merjenje L_x z merilnikom L : Rezultat merjenja: $L_x = L_x(1 \pm e_{L_x}) =$							
R_{L_x}	L_{MD}	ΔL (ločljivost)	Točnost	Točnost	L_x	e_{L_x}	E_{L_x}
Ω	mH	mH	%	Digitov	mH	-	μH

6. ANALIZA OPRAVLJENE VAJE IN REZULTATOV

Pri analizi vaje opišite in pojasnite naslednje:

1. Na osnovi rezultatov meritev razložite, katera ali katere merilne metode so primerne za merjenje podane neznane induktivnosti.
2. Primerjajte rezultate izmerjene neznane induktivnosti.
3. Pri kateri merilni metodi je pogrešek merjenja najmanjši in zakaj?
4. Komentirajte merjenje L z merilnikom induktivnosti.
5. Opišite ostale posebnosti, težave in ugotovitve pri meritvah.

Odgovori:

1.

2.

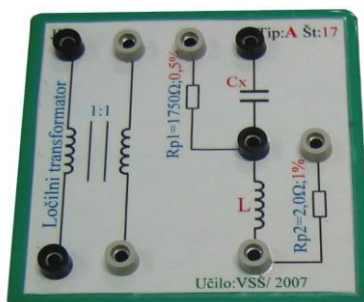
3.

4.

2.1.5 Uvod za vajo št. 5

Podobno kot induktivnost je tudi kapacitivnost veličina, ki se v praksi v večji ali manjši meri vedno pojavlja tako kot upornost ali induktivnost, ki sta že bili obravnavani v 3. in 4. vaji. Tudi kapacitivnosti so lahko v praksi koristne ali pa škodljive. Na področju mehatronike se srečamo z večjimi kapacitivnostmi, če obravnavamo gladilne in blokirne kondenzatorje kot tudi zagonke kondenzatorje enofaznih asinhronih elektromotorjev. Poleg tega so pogost element pri elektronskih vezjih. Večje kondenzatorje uporabimo tudi pri sistemih za izboljšanje $\cos\varphi$ v omrežjih, v enak namen pa kondenzatorje uporabimo tudi v fluorescentnih svetilkah. Z večjimi kondenzatorji za nizko napetost lahko zagotovimo neprekinjeno napajanje elektronskih vezij pri kratkotrajnih izpadih omrežne napetosti. Škodljiv vpliv v praksi pa predstavljajo parazitne kapacitivnosti na vseh elektronskih instrumentov kakor tudi kapacitivnosti daljnovodov in telefonskih linij.

Namen pete vaje je, da študenti preizkusijo uporabnost različnih metod za merjenje kapacitivnosti in spoznajo prednosti ter slabosti kakor tudi uporabnost nekaterih med njimi. Tudi pri tem merjenju ne smemo pozabiti na točnost, ki je velikostnega reda nekaj odstotkov, kadar uporabimo odčitke z osciloskopa. Pri delu z osciloskopom študenti uporabijo predhodno pridobljeno znanje v prvem poglavju kakor tudi pridobljene izkušnje pri 4. vaji. Študenti ponovno uporabijo transformator za galvansko ločitev mase generatorja in osciloskopa. Naučijo se meriti kapacitivnost z merilnikom kapacitivnosti. Slika 26 prikazuje pripomoček za peto vajo, slika 27 pa merilnik kapacitivnosti.



Slika 26: Merilni pripomoček
Vir: Lasten



Slika 27: Merilnik kapacitivnosti

Vir:

http://www.micom.si/index.php?option=com_content&task=blogsection&id=9&Itemid=47&limit=9&limitstart=18

POROČILO O MERITVI

Vaja št. 5: Merjenje kapacitivnosti kondenzatorja po različnih merilnih metodah

Šolsko leto: Datum: Ime in priimek:
 Pregledal: Ocena: Študent sodelavec:

VSEBINA POROČILA

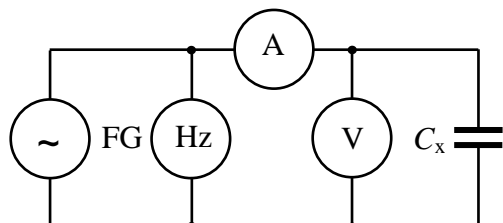
- | | |
|--|--|
| 1. Besedilo naloge | 4. Opis poteka meritve |
| 2. Vezalni načrt | 5. Izračuni in rezultati meritve |
| 3. Seznam merilnih instrumentov in pripomočkov | 6. Analiza opravljene vaje in rezultatov |

1. BESEDILO NALOGE

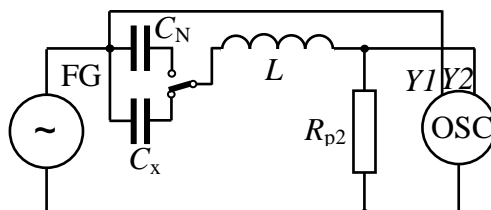
Izmerite kapacitivnost kondenzatorja po naslednjih merilnih metodah:

- Metoda merjenja napetosti, toka in frekvence;
- Resonančna zamenjalna merilna metoda;
- Metoda integracije toka;
- Metoda opazovanja elipse na osciloskopu;
- Direktno merjenje z merilnikom kapacitivnosti.

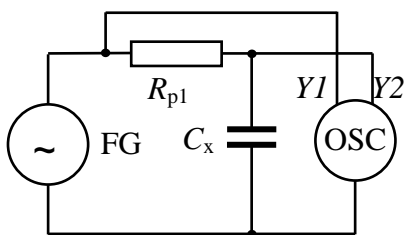
2. VEZALNI NAČRTI



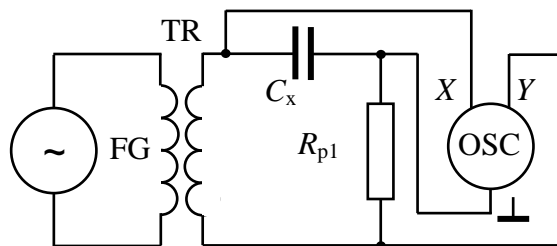
Vezje za merjenje C z merjenjem U , I in f



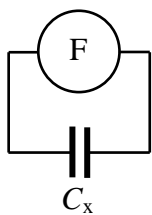
Vezje za resonančno metodo



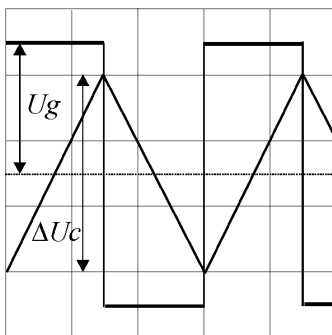
Vezje za metodo integracije toka



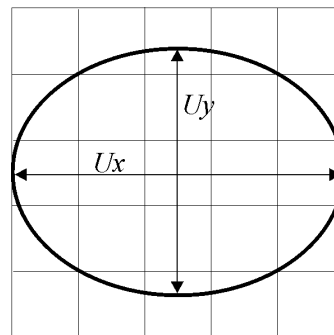
Vezje za metodo opazovanja elipse



Merjenje z merilnikom kapac.



Prikaz na zaslonu pri točki c:



Prikaz na zaslonu pri točki č:

3. SEZNAM MERILNIH INSTRUMENTOV IN PRIPOMOČKOV

Funkcijski generator :	Tip:	Št.:	Točnost $f: 5 \times 10^{-5} + 1D$
Digitalni inst.:	Tip:	Št.:	
Digitalni inst. merilnik C :	Tip:	Št.:	
Pomožna kapacitivnost:	Tip:	Št.:	
Neznana kapacitivnost:	C_x :	Št.:	
Osciloskop Hameg:	Tip:	Št.:	
Št. vezi: 4	Št. sond: 3		

4. OPIS POTEKA MERITVE

a) Pri prvi metodi merjenja C_x izberemo tako frekvenco na funkcijskem generatorju, da bo točnost merjenja čim boljše (**1 kHz**). Pri meritvi na generatorju izberemo **sinusno** obliko napetosti, izmerimo pa tok in napetost na C_x . Kapacitivnost izračunamo po enačbi.

b) Pri resonančni metodi spreminjamo frekvenco **sinusne** napetosti na generatorju. Na osciloskopu opazujemo vhodno napetost in napetost na R_{p2} . En vhod množimo z -1 (invertiramo) in opazujemo, kdaj nastopi resonanca (okvirno od **5 kHz** do **30 kHz** odvisno od vezja). Vezje je v resonanci takrat, ko sta vhodna napetost in napetost na R_{p2} točno v protifazi. Nato preklopimo na znano kapacitivnost C_N , ki jo pri nespremenjeni frekvenci generatorja spreminjamo tako dolgo, da ponovno dobimo resonanco. Neznana kapacitivnost je potem enaka znani C_N .

c) Pri metodi integracije toka izberemo **pravokotno** obliko napetosti (okvirna frekvenca **15 kHz** do **30 kHz** odvisno od vezja) in zaporedno z C_x vežemo večjo vrednost pomožne upornosti R_{p1} . Na enem kanalu osciloskopa opazujemo napetost na C_x , na drugem pa napetost na izhodu generatorja. Ker je vsiljen tok skozi kondenzator skoraj konstanten (določa ga generator in pomožna upornost), dobimo na kondenzatorju trikotno obliko napetosti (integral toka). Za izračun toka vzamemo amplitudo napetosti U_g , spremembo U_{C_x} in časa pa lahko vzamemo samo v pozitivni smeri ali pa tudi v negativni (oboje enako). C_x izračunamo po podani enačbi.

č) Pri metodi opazovanja elipse uporabimo transformator za **galvansko ločitev** mase osciloskopa in funkcijskega generatorja. Uporabimo večjo pomožno upornost in **sinusno** napetost (okvirna frekvenca 3 kHz do 6 kHz odvisno od vezja), da je napetost na kondenzatorju dovolj velika. Krivulja elipse je popolnoma gladka v primerjavi z merjenjem induktivnosti, zato ker zaradi integracijskega delovanja ni vpliva popačenja napetosti. Ker so izgube v kondenzatorju bistveno manjše kot pri tuljavi, dobimo elipso vedno v vodoravni ali vertikalni smeri za razliko pri tuljavi, ko je lahko elipsa tudi nagnjena zaradi ohmske upornosti žice.

d) Na merilnik kapacitivnosti priključimo kondenzator, izberemo ustrezno merilno območje in odčitamo rezultat.

5. IZRAČUNI IN REZULTATI MERITEV

Izračuni: (V enačbo vpišete prvi primer)

10. Izračuni pri točki a): (Izgube kondenzatorja so majhne in jih zanemarimo.)

$$Z = \frac{U_{C_x}}{I_{C_x}} = \quad X_{C_x} = Z = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_x} \quad C_x = \frac{1}{X_{C_x} \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} =$$

$$e_{C_x} = \pm (|e_U| + |e_I| + |e_f|) = \quad E_{C_x} = e_{C_x} \cdot C_x =$$

$$e_f = 1 \text{ dig} / \text{število dig.} + \text{toč. čas. baze} =$$

Rezultat podamo v obliki: $C_x = C_x(1 \pm e_{C_x}) =$

11. Izračuni pri resonančni zamenjalni metodi (točka b):

$$f_{RES} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C_x}} \quad f_{RES} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C_N}} \quad C_x = C_N =$$

$$e_{C_x} = \pm (e_{C_N}) = \quad E_{C_x} = e_{C_x} \cdot C_x = \quad C_x = C_x(1 \pm e_{C_x}) =$$

12. Metoda integracije toka (točka c):

$$I_{C_x} = \frac{U_{R_{p1}}}{R_{p1}}; \Delta U_{C_x} = \frac{1}{C_x} \cdot I_{C_x} \cdot \Delta t; C_x = \frac{I_{C_x} \cdot \Delta t}{\Delta U_{C_x}} = \frac{U_g \cdot \Delta t}{\Delta U_{C_x} \cdot R_{p1}} = \frac{U_g}{\Delta U_{C_x} \cdot R_{p1} \cdot 2 \cdot f} =$$

Za padec napetosti na R_{p1} ugotovimo, da je približno enak napetosti generatorja, pri kateri vzamemo samo pozitivno vrednost, ΔU_{C_x} pa je vzeta od vrha do vrha.

$$e_{C_x} = \pm (e_{R_{p1}} + e_{\Delta U_{C_x}} + e_{U_g} + e_f) = \quad E_{C_x} = e_{C_x} \cdot C_x = \quad C_x = C_x(1 \pm e_{C_x}) =$$

13. Metoda opazovanja elipse:

Če smo izbrali, da je U_{C_x} na X vhodu, $U_{R_{p1}}$ pa na Y vhodu osciloskopa, veljajo enačbe:

$$Z = X_{C_x} = \frac{U}{I} = \frac{U_x}{\frac{U_y}{R_{p1}}} = \frac{U_x \cdot R_{p1}}{U_y} =$$

(Ker so izgube majhne, smo vzeli, da je $X_{C_x} = Z$)

$$\text{Dobimo enačbo: } C_x = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_{C_x}} =$$

$$e_{C_x} = \pm (e_{R_{p1}} + e_{U_x} + e_{U_y} + e_f) =$$

$$E_{C_x} = e_{C_x} \cdot C_x = \quad C_x = C_x(1 \pm e_{C_x}) =$$

Tabele izmerjenih vrednosti:

Merjenje C_x z merjenjem U in I : Rezultat merjenja: $C_x = C_x(1 \pm e_{C_x}) =$							
U_{C_x}	I_{C_x}	f	Z	X_{C_x}	C_x	e_{C_x}	E_{C_x}
V	mA	kHz	Ω	Ω	nF	-	pF

Merjenje C_x z resonančno metodo: Rezultat merjenja: $C_x = C_x(1 \pm e_{C_x}) =$							
U_g	R_{p2}	$U_{R_{p2}}$	f_{RES}	C_N	C_x	e_{C_x}	E_{C_x}
V	Ω	mV	kHz	nF	nF	-	pF
$\approx 1(\sin)$							

Merjenje C_x z metodo integracije I : Rezultat merjenja: $C_x = C_x(1 \pm e_{C_x}) =$								
$U_{g(\text{prav.})}$	f	Δt	R_{p1}	$U_{R_{p1}}$	ΔU_{C_x}	C_x	e_{C_x}	E_{C_x}
V	kHz	μs	Ω	V	mV	nF	-	pF

Merjenje C_x z metodo elipse: Rezultat merjenja: $C_x = C_x(1 \pm e_{C_x}) =$								
R_{p1}	$U_{C_x} = U_x$	$U_{R_{p1}} = U_y$	Z	X_{C_x}	f	C_x	e_{C_x}	E_{C_x}
Ω	V	V	Ω	Ω	kHz	nF	-	pF

Merjenje C_x z merilnikom C: Rezultat merjenja: $C_x = C_x(1 \pm e_{C_x}) =$						
C_{MD}	ΔC (ločljivost)	Točnost	Točnost	C_x	e_{C_x}	E_{C_x}
nF	pF	%	digitov	nF	–	pF

6. ANALIZA OPRAVLJENE VAJE IN REZULTATOV

Pri analizi vaje opišite in pojasnite naslednje:

1. Na osnovi rezultatov meritev razložite, katera ali katere merilne metode so primerne za merjenje podane neznane kapacitivnosti.
2. Primerjajte rezultate izmerjene neznane kapacitivnosti.
3. Pri kateri merilni metodi je pogrešek merjenja najmanjši in zakaj?
4. Komentirajte merjenje C z merilnikom kapacitivnosti.
5. Opišite ostale posebnosti, težave in ugotovitve pri meritvah.

Odgovori:

1.

2.

3.

4.

2.1.6 Uvod za vajo št. 6

Merjenje moči kot tudi energije je dokaj pogosta meritev v mehatronskih sistemih in širše. Na področju gospodinjstvih strojev imamo porabnike delovne moči, kot sta štedilnik in grelnik vode, kakor tudi porabnike delovne in jalove moči, kot so hladilnik, pralni in pomivalni stroj. V mehatronskih sistemih uporabljamo različne komponente, kot so: razni napajalniki, elektromotorni pogoni, transformatorji in podobno, ki porabljajo delovno in jalovo moč.

Pri tej vaji se zato študenti naučijo meriti delovno in navidezno moč ter računati jalovo moč in fazni kot. Spoznajo medsebojne odvisnosti med močmi, naučijo se uporabljati merilnik moči W-meter v enosmernem in izmeničnem tokokrogu. Iz izmerjenih podatkov določijo fazni premik v vezju in faktor delavnosti toka $\cos\varphi$. Izmerjene rezultate predstavijo tabelarično in grafično. Pri določanju pogreškov merjenja uporabijo predhodno pridobljeno znanje in upoštevajo pravila za določitev pogreškov pri posrednem merjenju. Na osnovi opazovanja oblike toka ugotovijo morebitno nasičenje dušilke in posledice na kazanje uporabljenih merilnikov.

Slika 28 prikazuje ferodinamični kazalčni, slika 29 elektrodinamični W-meter s svetlobno značko in slika 30 merilni center.



Slika 28: Kazalčni W-meter
Vir: Lasten



Slika 29: W-meter s svetlobno značko
Vir: Lasten



Slika 30: Merilni center

Vir: <http://www.iskra-mis.si/katalog/20071212152244/20071212153028/20071212153288/>

POROČILO O MERITVI

Vaja št. 6: Merjenje delovne in navidezne moči ter faznega kota na kompleksnem bremenu

Šolsko leto: Datum: Ime in priimek:
 Pregledal: Ocena: Študent sodelavec:

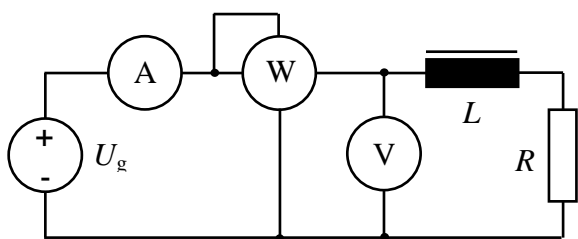
VSEBINA POROČILA

1. Besedilo naloge
2. Vezalni načrt
3. Seznam merilnih instrumentov in pripomočkov
4. Opis poteka meritve
5. Izračuni in rezultati meritve
6. Analiza opravljene vaje in rezultatov

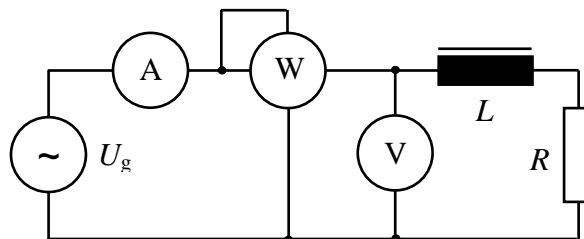
1. BESEDILO NALOGE

- a) Izmerite delovno moč na kompleksnem bremenu pri enosmerni in izmenični napetosti za dve vrednosti toka.
- b) Ugotovite izgube na reaktanci bremena in jih razdelite na ohmske in magnetilne.
- c) Določite fazni kot in $\cos \varphi$ kompletnega bremena in samo za dušilko.
- č) V merilu narišite kazalčna diagrama.

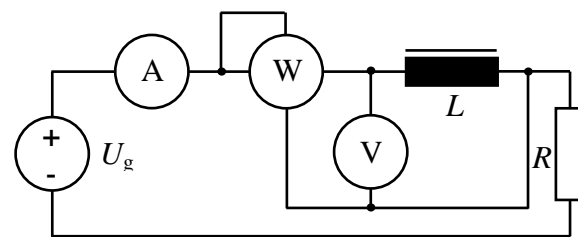
2. VEZALNI NAČRT



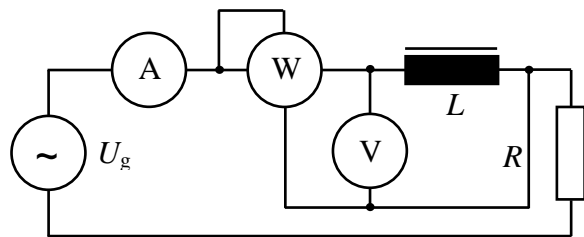
Veze za merjenje moči pri enosmernem toku



Veze za merjenje moči pri izmeničnem toku



Merjenje moči na dušilki pri enosmernem toku



Merjenje moči na dušilki pri izmeničnem toku

3. SEZNAM MERILNIH INSTRUMENTOV IN PRIPOMOČKOV

Merilna miza :		Tip:	Št.:
A-meter :	Analogni	Tip:	Št.:
V-meter:	Digitalni	Tip:	Št.:
W-meter:		Tip:	Št.:
Reostat:		Tip:	Št.:
Dušilka:		Tip:	Št.:
Št vezi:		9	

4. OPIS POTEKA MERITVE

Meritve izvedemo pri dveh vrednostih toka, enkrat z enosmernim, potem pa še z izmeničnim izvorom napetosti. Obakrat nastavimo enako vrednost toka. Pri prvi vezavi uporabimo enosmerni generator, zato lahko merimo delovno moč na bremenu z W-metrom in s produktom napetosti in toka. Glede na priključitev instrumentov in njihove lastnosti ugotovimo, ali je potrebno upoštevati sistematsko napako merjenja. Pri drugi vezavi pa uporabimo izmenični generator, zato lahko merimo delovno moč na bremenu samo z W-metrom, produkt napetosti in toka pa je navidezna moč. Pri spodnjih dveh vezavah pa merimo omenjene veličine na enak način samo za dušilko. Iz rezultata enosmerne meritve napetosti in toka lahko izračunamo tudi ohmsko upornost žice. Delovna moč na dušilki pri meritvi z izmenično napetostjo pa je sestavljena iz ohmskih izgub na žici in iz magnetilnih izgub feromagnetnega jedra. Fazni kot in $\cos \varphi$ pa določimo na dva načina. Pri prvem načinu določimo $\cos \varphi$ na osnovi meritve delovne in navidezne moči pri izmeničnem napajanju, po drugem načinu pa upoštevamo rezultate meritev pri enosmernem in izmeničnem napajanju (uporabimo ustrezne enačbe).

5. IZRAČUNI IN REZULTATI MERITEV

Izračuni: (V enačbo vpišete prvi primer.)

$$k_w(\text{W/rd}) = \frac{U_{\text{md}}(\text{V}) \cdot I_{\text{md}}(\text{A})}{n(\text{rd})} = \text{-----} = \text{-----}$$

$$P(\text{W}) = k_w(\text{W/rd}) \cdot \alpha(\text{rd}) = \text{-----}$$

$$P_{\text{DC}} = U \cdot I = \qquad \qquad \qquad P_{\text{AC}} = U \cdot I \cdot \cos \varphi \qquad S = U_{\text{AC}} \cdot I_{\text{AC}} =$$

$$e_{P_{\text{AC}}} = \frac{M_{\text{D}} \cdot r}{100} = \qquad \qquad \qquad e_{P_{\text{AC}}} = \frac{E_{P_{\text{AC}}}}{P_{\text{AC}}} =$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = \sqrt{S^2 - P^2} =$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{S} = \qquad \qquad \qquad e_{\varphi_1} = e_{P_{\text{AC}}} + e_U + e_I =$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_{\text{AC}} \cdot U_{\text{DC}}}{P_{\text{DC}} \cdot U_{\text{AC}}} =$$

$$P_{\text{DC}} = P_R \qquad P_M = P_{\text{AC}} - P_R =$$

Tabele izmerjenih vrednosti:

Celotno RL breme (zgornji vezavi)													
I_{DC}	U_{DC}	P_{DC}	I_{AC}	U_{AC}	P_{AC}	S	Q	$\cos \varphi_1$	φ_1	$\cos \varphi_2$	φ_2	$e_{P_{\text{AC}}}$	e_{φ_1}
A	V	W	A	V	W	VA	VA _r	–	°	–	°	%	%
1			1										
2			2										

Breme je samo dušilka (spodnji vezavi)													
I_{DC}	U_{DC}	R	P_{DC}	I_{AC}	U_{AC}	P_{AC}	P_M	S	Q	$\cos \varphi_1$	φ_1	$\cos \varphi_2$	φ_2
A	V	Ω	W	A	V	W	W	VA	VA _r	–	°	–	°
1				1									
2				2									

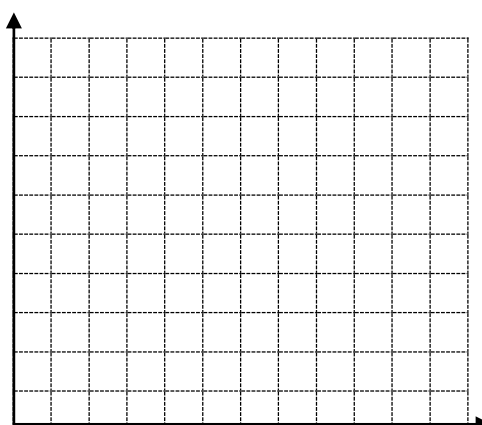
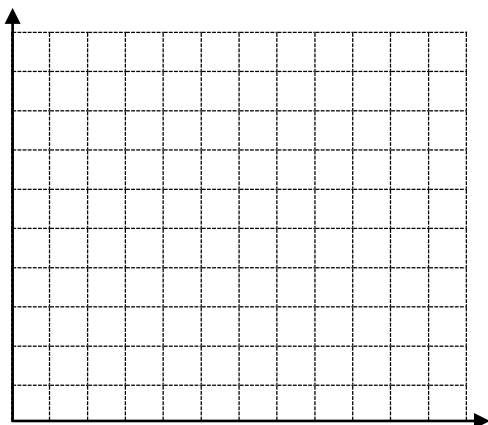
Breme je samo dušilka (spodnji vezavi)							
R_N	I_{AC}	U_{AC}	Z	X_L	f	ω	L
Ω	A	V	Ω	Ω	Hz	Hz	H
	1						
	2						

R_N – navidezna upornost

$$R_N = \frac{P_{AC}}{I^2} =$$

$$X_L = \sqrt{Z^2 - R_N^2} =$$

Kazalčni diagram moči za celotno breme za tok 2 A in kazalčni diagram impedanc za dušilko za 2 A:



6. ANALIZA OPRAVLJENE VAJE IN REZULTATOV

Pri analizi vaje opišite in pojasnite naslednje:

1. Kateri merilni instrument prinese največji del pogreška pri merjenju kota? Kako bi zmanjšali pogrešek merjenja kota?
2. Ocenite, koliko so približne vrednosti sistematskih pogreškov zaradi vezave in ali jih je potrebno upoštevati.
3. Ali je dušilka pri toku 2 A še v linearnem delu, blizu nasičenja ali v nasičenju? Kako bi to ugotovili? Opišite in izpeljite postopek.
4. Komentirajte razmerje med ohmskimi in magnetilnimi izgubami pri toku 1 A in 2 A.
5. Opišite ostale posebnosti, težave in ugotovitve pri meritvah.

Odgovori:

1.

2.

3.

4.

2.1.7 Uvod za vajo št. 7

Osciloskop je zelo uporabna in koristna elektronska naprava. Uporabljamo ga lahko pri različnih merilnih postopkih na različnih področjih tehnike. Nepogrešljiv je tudi na področju mehatronskih meritev. Na zaslonu osciloskopa dobimo prikazano sliko nekega pojava. Pri izmenični napetosti omogoča odčitavanje maksimalne vrednosti, periode, frekvence in faznega kota. Vidimo tudi popačitev signala na primer pri magnetilnem toku. Z osciloskopom ugotavljamo časovne zakasnitve, opazujemo medsebojno odvisnost dveh veličin ipd. Dva kanala omogočata hkratno opazovanje vhodnega in izhodnega signala pri četveropolnih vezjih. Primer opazovanja medsebojne odvisnosti dveh veličin je opazovanje karakteristike diode ali tranzistorja oziroma drugih dvopolnih elementov kot tudi histerezne zanke. Pri tem ploščina prikazane krivulje predstavlja moč. Osciloskop je uporaben za opazovanje in posredno merjenje drugih električnih ali neelektričnih veličin, zato je zelo uporaben tudi na področju mehatronike.

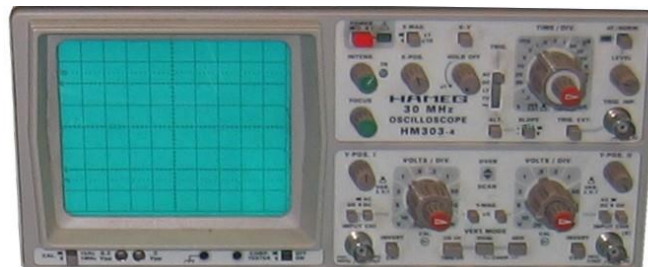
Pri tej vaji študenti razširijo in poglobijo znanje s področja uporabe osciloskopa. Najprej preizkusijo delovanje vseh funkcij osciloskopa in poglobijo znanje s področja uporabe. Nadaljujejo z merjenjem točnosti vertikalnega in horizontalnega kanala ter rezultate primerjajo z deklariranimi podatki v dokumentaciji. Študenti se naučijo uporabe osciloskopa za opazovanje časa vzpona in upada impulzov. Na merjencu določijo fazni kot na dva načina. Naučijo se postopka kompenzacije merilnih sond.

Pripomoček za sedmo vajo je prikazan na sliki 31, osciloskop pa na sliki 32.



Slika 31: Merilni pripomoček

Vir: Lasten



Slika32: Analogni osciloskop

Vir: Lasten

POROČILO O MERITVI

Vaja št. 7: Meritve z osciloskopom

Šolsko leto: Datum: Ime in priimek:
 Pregledal: Ocena: Študent sodelavec:

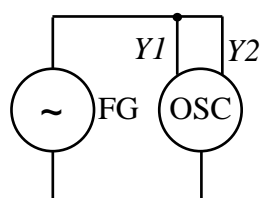
VSEBINA POROČILA

- | | |
|--|--|
| 1. Besedilo naloge | 4. Opis poteka meritve |
| 2. Vežalni načrt | 5. Izračuni in rezultati meritve |
| 3. Seznam merilnih instrumentov in pripomočkov | 6. Analiza opravljene vaje in rezultatov |

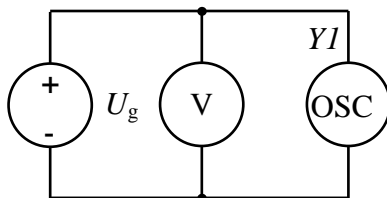
1. BESEDILO NALOGE

- Preizkusite in preverite nastavitve in delovanje analognega osciloskopa.
- Izmerite točnost vertikalnega kanala.
- Določite efektivno vrednost sinusne trikotne in pravokotne izmenične napetosti.
- Izmerite točnost horizontalnega dela (časovne baze).
- Ugotovite spodnjo frekvenčno mejo pri vhodni izmenični povezavi.
- Izmerite čas vzpona in upada pravokotnega signala FG.
- Izmerite fazni kot RC in CR vezja.
- Preizkusite delovanje delilne sonde 10:1 in nastavite frekvenčno kompenzacijo.
- Preverite delovanje zunanjega proženja in proženja z omrežja.

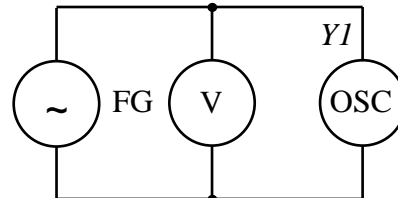
2. VEZALNI NAČRTI



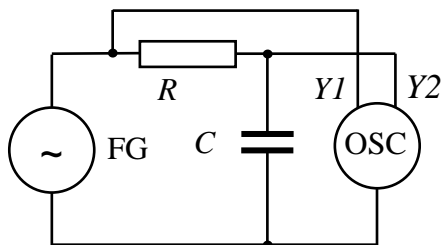
Vežje: 1



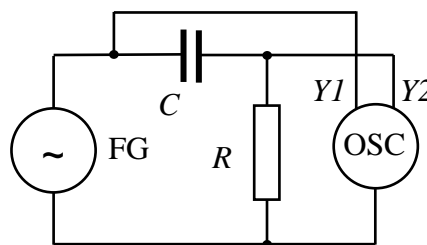
Vežje: 2



Vežje: 3



Vežje: 4



Vežje: 5

3. SEZNAM MERILNIH INSTRUMENTOV IN PRIPOMOČKOV

Merilna miza :		Tip:	Št.:
Osciloskop :	Analogni	Tip:	Št.:
FG generator		Tip:	Št.:
V-meter	Digitalni	Tip:	Št.:
RC vezje		Tip:	Št.:
Št. sond:	3	Št. vezi: 2	

4. OPIS POTEKA MERITVE

Pri točki a) uporabite vezje 1, s katerim preverite in preizkusite v tabeli iz točke 5. napisane funkcije osciloskopa. Za vsako funkcijo ali gumb kratko napišite, kako vpliva na sliko na zaslonu.

POZOR! Preden začnemo meritve točnosti, moramo vse gumbе za zvezne nastavitve postaviti v položaj kalibrirano (zaklenjeno).

Pri točki b) uporabite vezje 2. Na osciloskopu nastavite žarek v sredino in izberite $k_Y=1$ V/rd. Napetost nastavite na tako vrednost, da dobite maksimalen odklon 4 rd, napetost pa odčitata še na V-metru. Po znanem postopku izračunajte pogrešek merjenja.

Pri točki c) uporabite vezje 3 in nastavite maksimalno napetost 4 V pri vseh treh oblikah in izračunajte efektivno vrednost, ki jo primerjate s prikazom na instrumentu.

Pri točki č) uporabite vezje 3 in nastavite primerno veliko sliko v vertikalni smeri, v vodoravni smeri pa nastavite proženje tik pred začetkom pozitivne polperiode, nato pa s pozicijo za vodoravno smer presečišče s srednjo linijo zaslona nastavite točno na začetek. Frekvenco generatorja spreminjate tako dolgo, da dobite točno eno periodo preko celega zaslona. Pri tej nastavitvi odčitata frekvenco na FG, lahko pa jo izmerite še s števcem. Po znanem postopku izračunate pogrešek merjenja.

Pri točki d) uporabite vezje 3 in vhodno povezavo nastavite na izmenično (AC) in nastavite maksimalno veliko sliko na zaslonu pri frekvenci 50 do 100 Hz. Nato frekvenco generatorja tako dolgo nižate, da se velikost slike zmanjša na 70,7 % prejšnje vrednosti. Dobljena frekvenca je spodnja frekvenčna meja.

Pri točki e) uporabite vezje 3 in na FG izberite pravokotno obliko napetosti frekvence 1 MHz in amplitude približno 2,5 V. Na osciloskopu nastavite sliko po označbah od 0 % do 100 %. Sliko v vodoravni smeri raztegnete z gumbom (X-MAG. x10). Čas vzpona ali upada impulza odčitata med 10 % in 90 % za vzpon in med 90 % in 10 % za upad impulza. Ker se k meritvi prišteva še čas vzpona osciloskopa, le-tega upoštevate pri izračunu po podani enačbi.

Pri točki f) uporabite vezje 4 in vezje 5. Na FG izberite sinusno obliko napetosti frekvence 5 kHz in amplitude 4 V. Fazni kot izmerite na dva načina. Podrobnejša predstavitev je pri tabeli z rezultati.

Pri točki g) uporabite vezje 3 in izberite na FG pravokotno obliko napetosti frekvence 1 kHz in amplitude 1 do 2 V. Sonda je pravilno nastavljena, ko dobite nepopačeno pravokotno obliko (brez prevzpona ali podvzpona). Kompenzacijo sonde nato preverite še pri frekvenci 1 MHz.

Pri točki h) povežite izhod za proženje na FG z vhodom za proženje na osciloskopu in nastavite ustrezen nivo proženja. Proženje z omrežja se uporablja pri opazovanju signalov v vezju, ki se napaja z omrežno napetostjo in omogoča, da se vsi opazovani signali začnejo v istem trenutku.

5. IZRAČUNI IN REZULTATI MERITEV

Tabela preizkušanja funkcij osciloskopa: (točka a)

Opis gumba	Funkcija oziroma učinek na sliko
POWER	
INTENS.	
TR	
FOCUS	
X – MAG. x10	
X – POS.	
HOLD OFF	
XY	
TRIG.	
TR (LED)	
ALT.	
SLOPE +/-	
TIME/DIV	
Variable timebase	
TRIG. EXT.	
AT/NORM.	
LEVEL	
TRIG. INP.	
CAL.	
0.2–2V	
COMP. TES. 20	
COMP. (gumb)	
Y – POS. I	
GD – AC – DC	
INPUT CH I	
INVERT CH I	
VOLTS/DIV.	
VAR. GAIN	
CH I/II TRIG.I/II	
Y MAG.x5	
DUAL	
CHOP	
ADD	
OVERSCAN	
VAR.GAIN	
VOLTS/DIV.	
INVERT CH II	
AC – DC – GD 36	
INPUT CH II	
Y – POS. II	

Izračuni: (V enačbo vpišete prvi primer.)

Točka b): Odčitavanje v vertikalni smeri: $U(V) = k_Y(V/\text{rd}) \cdot n(\text{rd}) =$

$$E = U_Y - U_V = \quad e_{\text{osc}} = \frac{E}{U_V} =$$

$$E_V = \text{št.}\% \cdot R + \text{št.}D = \quad e_V = \frac{E_V}{U_V} =$$

Vertikalni kanal enosmerna meritev									
kanal	k_Y	n	U_Y	U_V	E	e_{osc}	e_V	$e_{\text{osc}} + e_V$	$e_{\text{osc}} + e_V$
	V/rd	rd	V	V	mV	–	–	–	%
I	1								
II	1								
Vertikalni kanal enosmerna meritev VKLOP Y – MAG (x5)									
kanal	k_Y	n	U_Y	U_V	E	e_{osc}	e_V	$e_{\text{osc}} + e_V$	$e_{\text{osc}} + e_V$
	V/rd	rd	V	V	mV	–	–	–	%
I	1								
II	1								

Točka c): U_m – odčitamo na osciloskopu, U_V – odčitamo na V-metru

Izračun efektivne vrednosti (sinusna oblika): $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} =$ $U_V =$

Izračun efektivne vrednosti (trikotna oblika): $U = \frac{U_m}{\sqrt{3}} =$ $U_V =$

Izračun efektivne vrednosti (pravokotna oblika): $U = U_m =$ $U_V =$

Točka č): Odčitavanje v horizontalni smeri: $T(s) = k_X(s/\text{rd}) \cdot n(\text{rd}) =$

$$E = f_{\text{osc}} - f_{\text{FG}} = \quad e_{\text{osc}} = \frac{E}{f_{\text{FG}}} = \quad e_{\text{FG}} = 1D / \text{št.}D + 5 \cdot 10^{-5} =$$

Meritev točnosti časovne baze									
k_X	n	t_x	f_{osc}	f_{FG}	E	e_{osc}	e_{FG}	$e_{\text{osc}} + e_{\text{FG}}$	$e_{\text{osc}} + e_{\text{FG}}$
ms/rd	rd	ms/ μ s	Hz/kHz	Hz/kHz	Hz	–	–	–	%
2 ms/rd									
1 μ s/rd									
Meritev točnosti časovne baze VKLOP X – MAG (x10)									
k_X	n	t_x	f_{osc}	f_{FG}	E	e_{osc}	e_{FG}	$e_{\text{osc}} + e_{\text{FG}}$	$e_{\text{osc}} + e_{\text{FG}}$
ms/rd	rd	ms/ μ s	Hz/kHz	Hz/kHz	Hz	–	–	–	%
2 ms/rd									
1 μ s/rd									

Točka d):

Spodnja frekvenčna meja: $k_Y = 1 \text{ V/rd}$; $U_m(f= \quad \text{Hz}) = U_{70,7\%} = f_{sp}(\text{Hz}) =$

Točka e):

Čas vzpona (upada impulza): $t_{riz} = t_r = \sqrt{t_{riz}^2 - t_{osc}^2} =$

$t_{fiz} = t_f = \sqrt{t_{iz}^2 - t_{osc}^2} =$

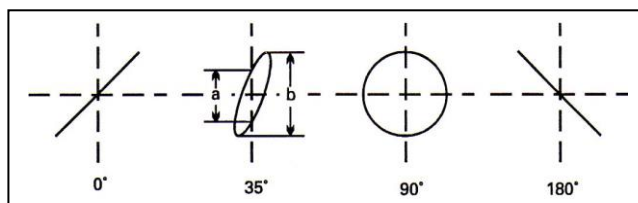
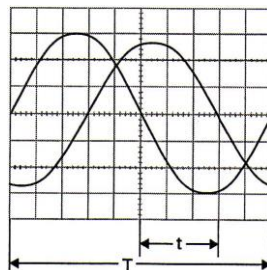
Podatek : $t_{osc} = 12 \text{ ns}$

Točka f): Meritev faznega kota:

$$\varphi(^{\circ}) = \frac{t}{T} \cdot 360^{\circ} =$$

$$\sin \varphi = \frac{a}{b} =$$

$$\varphi = \arcsin \frac{a}{b} =$$



t	T	φ_{RC}	φ_{CR}	a	b	$\sin \varphi_{RC}$	$\sin \varphi_{CR}$	φ_{RC}	φ_{CR}
μs	μs	$^{\circ}$	$^{\circ}$	rd	rd	-	-	$^{\circ}$	$^{\circ}$

6. ANALIZA OPRAVLJENE VAJE IN REZULTATOV

Pri analizi vaje opišite in pojasnite naslednje:

1. Komentirajte točnost vertikalnega in horizontalnega dela osciloskopa.
2. Opazujte pravokotni signal FG pri frekvenci 10 Hz pri vhodni DC in AC povezavi signala in komentirajte rezultat.
3. Opišite ostale posebnosti, težave in ugotovitve pri meritvah.

Odgovori:

1.

2.

2.1.8 Uvod za vajo št. 8

Kljub temu da klasični osciloskop omogoča različne možnosti uporabe, se v praksi pojavljajo primeri, ko si z njim ne moremo pomagati. Na področju mehatronike so to primeri počasi spreminjajočih se veličin in različni enkratni dogodki, kot so preklopi motilni signali ipd. Uporabimo ga lahko tudi za opazovanje počasnih premikov, če jih pretvorimo v električni signal, vibracij ipd.

Na začetku vaje študenti povežejo pomnilni osciloskop na funkcijski generator in se naučijo uporabljati pomnilno delovanje. Nato na vezju z relejem izmerijo čas preklopa kontakta v odvisnosti od napajalne napetosti. Ugotovijo tudi čas odskakovanja kontakta. Na navitju releja opazujejo pojav napetostne konice ob izklopu in vpliv diode za blokiranje.

Pripomoček za osmo vajo je prikazan na sliki 33, pomnilni osciloskop pa na sliki 34.



Slika 33: Merilni pripomoček

Vir: Lasten



Slika 34: Pomnilni osciloskop

Vir: Lasten

POROČILO O MERITVI

Vaja št. 8: Meritve s pomnilnim osciloskopom

Šolsko leto: Datum: Ime in priimek:
 Pregledal: Ocena: Študent sodelavec:

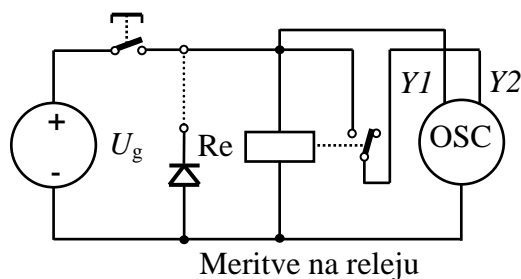
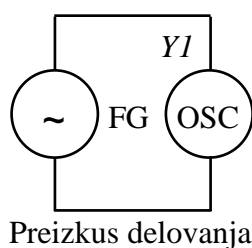
VSEBINA POROČILA

1. Besedilo naloge
2. Vežalni načrt
3. Seznam merilnih instrumentov in pripomočkov
4. Opis poteka meritve
5. Izračuni in rezultati meritve
6. Analiza opravljene vaje in rezultatov

1. BESEDILO NALOGE

- a) Preizkusite in preverite delovanje pomnilnega osciloskopa.
- b) Izmerite čas zakasnitve vklopa releja v odvisnosti od napetosti.
- c) Izmerite čas odskakovanja kontakta.
- č) Izmerite čas izklopa pri blokiranju navitja z diodo.
- d) Izmerite velikost in čas trajanja konice napetosti na navitju brez diode.
- e) Preizkusite in preverite delovanje osciloskopa z dvema časovnima bazama.

2. VEZALNA NAČRTA



3. SEZNAM MERILNIH INSTRUMENTOV IN PRIPOMOČKOV

Merilna miza :		Tip:	Št.:
Osciloskop :	Digitalni	Tip:	Št.:
Osciloskop :	Hung-Chang	Tip:	Št.:
FG generator		Tip:	Št.:
Vežje		Tip:	Št.:
Št vezi:		3	
Št sond:		2	

4. OPIS POTEKA MERITVE

Pri točki a) preverite in preizkusite pomnilno delovanje osciloskopa. Najprej na FG nastavite frekvenco od 1 do 10 kHz in nastavite sliko pri nepomnilnem delovanju. Nato preklopite na pomnilno delovanje, izklopite vhodni signal in preglejte, katere funkcije osciloskopa ste uporabili za shranjevanje slike. Nato na FG nastavite frekvenco od 1 do 10 Hz in opazujte sliko pri obeh načinih delovanja.

POZOR! Preden začnete odčitavati vrednosti z zaslona, morate vse gumbе za zvezne nastavitve postaviti v položaj kalibrirano (zaklenjeno).

Pri točki b) uporabite drugo vezavo, ki omogoča merjenje časov zakasnitve in preklopa releja. Pri merjenju časa zakasnitve vklopa s prvo sondo opazujte napetost na vzbujevalnem navitju releja in prožite časovno bazo. Z drugim kanalom pa opazujte čas zakasnitve preklopa kontakta glede na vzbujanje. Napajalno napetost spreminjate od minimalne vrednosti, ki omogoči prekop v par točkah, do nazivne napetosti, ki jo prekoračite še za 20 %. **Na osciloskopu izberite normalno proženje en prelet žarka in pri naklonu naraščanje signala.**

Pri točki c) pri nazivni napetosti opazujte signal in njegovo spreminjanje po preklopu kontakta. Čas odskakovanja se šteje od pojava napetosti do njene konstantne vrednosti.

Pri točki č) Čas izklopa merite pri nazivni napetosti prvič brez zaščitne diode, drugič pa z zaščitno diodo. **Na osciloskopu izberite normalno proženje en prelet žarka in pri naklonu padanje signala.**

Pri točki d) Konico napetosti na navitju releja opazujte na prvem kanalu. Pri tem morate izvesti ustrezne nastavitve vertikalnega kanala in časovne baze.

Pri točki e) uporabite osciloskop Hung–Chang. Drugo časovno bazo uporabljamo takrat, kadar želimo določen del slike na zaslonu raztegniti v vodoravni smeri. Običajno se ta način delovanja uporablja za merjenje časa vzpona ali upada impulzov, opazovanje konic in drugih kratkotrajnih pojavov.

5. IZRAČUNI IN REZULTATI MERITEV

Izračuni: (V enačbo vpišete prvi primer.)

Odčitavanje v vertikalni smeri: $U_Y(V) = k_Y(V/rd) \cdot n(rd) =$

Odčitavanje v horizontalni smeri: $t(s) = k_X(s/rd) \cdot n(rd) =$

Tabela preizkušanja pomnilnega delovanja osciloskopa:

Opis gumba	Funkcija oziroma učinek na sliko

Čas zakasnitve vklopa v odvisnosti od napajalne napetosti					
		minimalna	vmesna	nazivna	naz.+20 %
U	V	13	19	24	28
$t_{zakasnitve}$	ms				
$t_{odsk.}(U = 24V)$	ms				
$t_{izkl.}(U = 24V)$	ms	Brez diode			
$t_{izkl.}(U = 19V)$	ms	Brez diode			
$t_{izkl.}(U = 24V)$	ms	Z diodo			
$t_{izkl.}(U = 19V)$	ms	Z diodo			
$U_{konice}(U = 24V)$	V		t_{konice}	ms	
$U_{konice}(U = 19V)$	V		t_{konice}	ms	

Graf napetosti pri vklopu releja:
Narišete samo sliko poteka napetosti drugega kanala!

Graf napetosti pri izklopu releja:

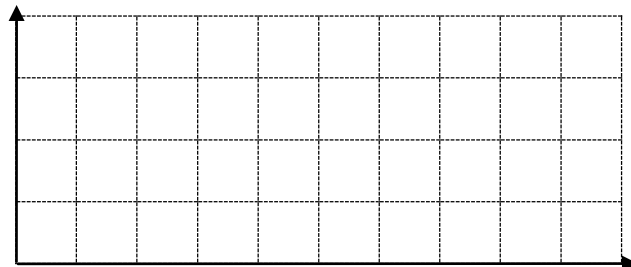
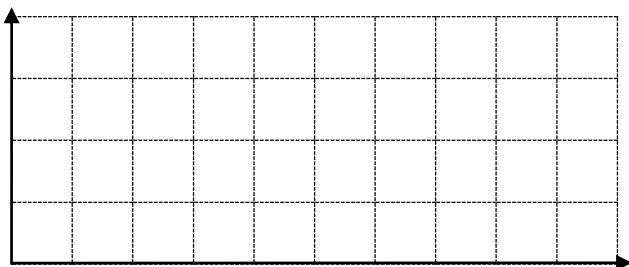


Tabela preizkušanja druge časovne baze osciloskopa (osciloskop Hung–Chang):

Opis gumba	Funkcija oziroma učinek na sliko

6. ANALIZA OPRAVLJENE VAJE IN REZULTATOV

Pri analizi vaje opišite in pojasnite naslednje:

1. Razložite prednosti pomnilnega delovanja osciloskopa.
2. Komentirajte obliko napetosti ob vklopu kontakta in ob izklopu.
3. Razložite čase izklopa releja brez in z diodo.
4. Razložite prednosti uporabe dveh časovnih baz osciloskopa.
5. Opišite ostale posebnosti, težave in ugotovitve pri meritvah.

Odgovori:

1.

2.

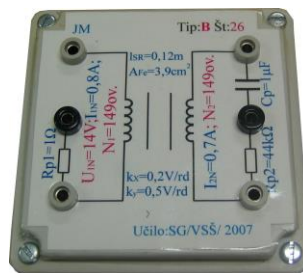
3.

4.

2.1.9 Uvod za vajo št. 9

Transformator je pogost element na področju elektrotehnike in s tem tudi mehatronike. Z njim transformiramo napetost in tok, uporaben je tudi za galvansko ločevanje tokokrogov in merilne namene. V praksi ga uporabimo tudi za transformiranje napetosti na malo napetost, ki jo uporabljamo pri ročnih orodjih, svetilkah ipd. S transformatorji lahko proizvajamo visoke napetostne impulze. Primer tega sta vžigalna tuljava in električni pastir. Posebne izvedbe transformatorjev najdemo v električnih varilnih aparatih za obločno in točkasto varjenje kovin. Transformatorji so nepogrešljivi na področju proizvodnje in prenosa električne energije. Posebnost je tudi Teslin transformator, pri katerem z uporabo iskrišča dobimo visokofrekvenčno visoko napetost. Na področju visokih frekvenc uporabljamo impulzne transformatorje v stikalnih napajalnikih, kot je napajalnik za računalnik. Prav zaradi pogoste uporabe ga mora poznati in znati izmeriti njegove osnovne karakteristike tudi mehatronik.

Študenti to osvojijo pri deveti vaji z merjenjem magnetilnega toka, prestavnega razmerja, napetosti kratkega stika in pri obremenitvi. Na osnovi rezultatov meritev določijo izkoristek. Opazujejo in skicirajo tudi histerezno zanko in dinamično magnetilno karakteristiko. Ugotovijo histerezne izgube in skicirajo magnetilni tok. Slika 35 prikazuje pripomoček za deveto vajo.



Slika 35: Merilni pripomoček
Vir: Lasten

POROČILO O MERITVI

Vaja št. 9: Meritve na transformatorju in histerezna zanka

Šolsko leto: Datum: Ime in priimek:
 Pregledal: Ocena: Študent sodelavec:

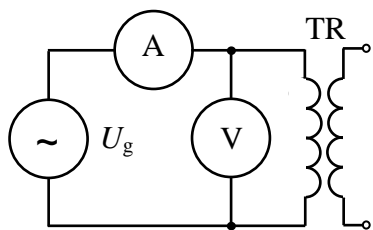
VSEBINA POROČILA

1. Besedilo naloge
2. Vežalni načrt
3. Seznam merilnih instrumentov in pripomočkov
4. Opis poteka meritve
5. Izračuni in rezultati meritve
6. Analiza opravljene vaje in rezultatov

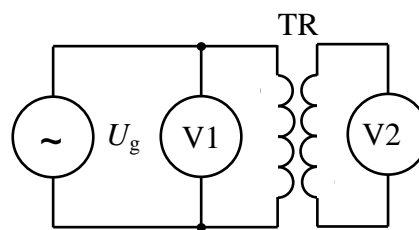
1. BESEDILO NALOGE

- a) Izmerite odvisnost magnetilnega toka transformatorja od priključene napetosti.
- b) Izmerite prestavno razmerje neobremenjenega transformatorja.
- c) Izmerite napetost kratkega stika.
- č) Izmerite karakteristike obremenjenega transformatorja.
- d) Narišite histerezno zanko, določite magnetilne izgube, skicirajte magnetilni tok.

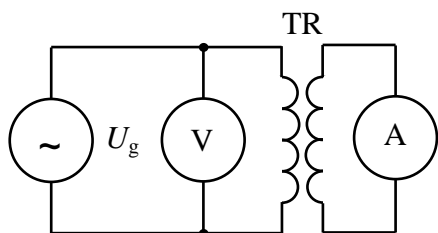
2. VEZALNI NAČRTI



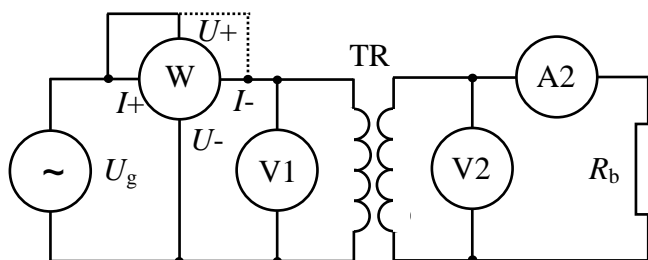
a: Merjenje magnetilnega toka



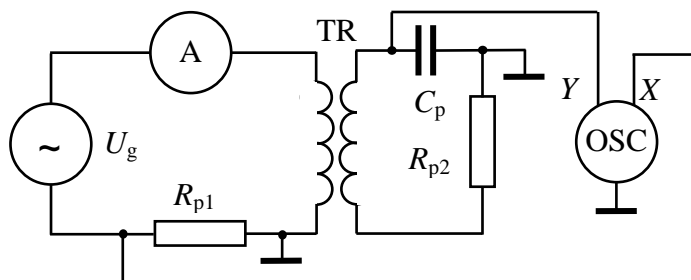
b: Merjenje prestave praznega teka



c: Merjenje napetosti kratkega stika



č: Merjenje obremenjenega transformatorja



d: Vezava za prikaz histerezne zanke

3. SEZNAM MERILNIH INSTRUMENTOV IN PRIPOMOČKOV

Merilna miza :		Tip:	Št.:	Breme R_b :	Tip:
Osciloskop :	Analogni	Tip:	Št.:	Št sond:	2 kosa
V-meter:	2 kosa	Tip:	Št.:	Št vezi:	10 kosov
A-meter:	1 kos	Tip:	Št.:		
Transformator:	Učilo	Tip:	Št.:		

Tabela oznak učil in pripadajočih W-metrov							
A	B	C	D	E	F	G	H
W3	W1	W2	W5	W4	W6	W7	W8

4. OPIS POTEKA MERITVE

Pri točki a) merite magnetilni tok v odvisnosti od napetosti. Pri tem upoštevajte podane maksimalne vrednosti. Medsebojno odvisnost prikažite v grafu.

Pri točki b) izmerite primarno in sekundarno napetost neobremenjenega transformatorja in izračunajte prestavno razmerje.

Pri točki c) previdno povečujte vhodno napetost, dokler na sekundarni strani ne dobite nazivnega toka na A-metru. Za to potrebna primarna napetost je napetost kratkega stika. Čim manjša je tem boljši je magnetni sklop med tuljavama.

Pri točki č) merite vrednosti obremenjenega transformatorja. Na V1 nastavite nazivno primarno napetost, nato pa z drsnim uporom nastavite polovični in nazivni sekundarni tok sekundarni tok, odčitajte vrednosti na instrumentih in izračunajte izkoristek.

Pri točki d) opazujte histerezo zanko. Na osnovi ploščine določite izgube v feromagnetnem materialu jedra. Histerezo zanko prerišete v graf pri U_{IN} in nato spreminjate vhodno napetost tako, da dobite različno velike histerezne zanke. Skrajne točke histereznih zank predstavljajo točke dinamične magnetilne krivulje.

POZOR! Preden začnemo odčitavati z osciloskopa moramo vse gumbke za zvezne nastavitve postaviti v položaj kalibrirano (zaklenjeno).

5. IZRAČUNI IN REZULTATI MERITEV

Izračuni: (V enačbo vpišete prvi primer.)

Prestavno razmerje: $p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} =$

Kratkostična napetost $U_K =$

Izkoristek transformatorja: $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 \cdot I_2}{U_1 \cdot I_1} = \frac{U_2 \cdot I_2}{P_1} = \text{-----} =$

Izgube v transformatorju: $P_{IZ} = P_1 - P_2 =$

Magnetna poljska jakost $H(\text{A/m/rd})$: $H = \frac{k_X \cdot N_1}{R_{p1} \cdot l_{SR}} =$

Gostota magnetnega pretoka $B(\text{T/rd})$: $B = \frac{R_{p2} \cdot C_p \cdot k_Y}{N_2 \cdot k_{Fe} \cdot A_{Fe}} =$

k_{Fe} – polnilni faktor železa (cca 0,95)

Histerezne izgube: $W_{Fe} (W/kg) = \frac{f (Hz) \cdot B (T/rd) \cdot H (A/m/rd) \cdot A_{Hz} (rd^2)}{\rho} =$

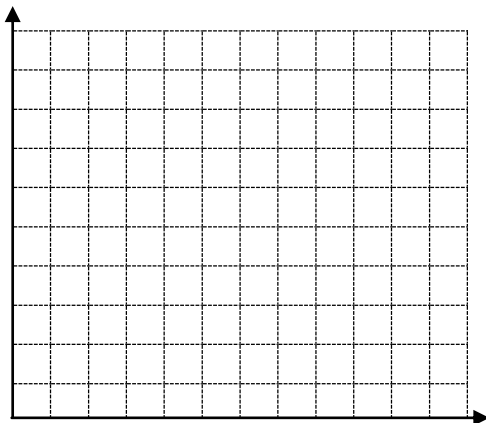
ρ – gostota: 7650 kg/m³

Tabeli izmerjenih vrednosti:

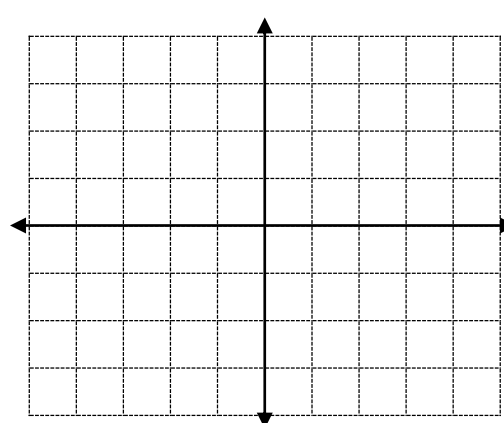
Merjenje magnetilnega toka v odvisnosti od primarne napetosti (Pazi na maksimalni primarni tok!)									
U_1	V								
$I_{mag.}$	mA								

Merjenje transformatorja pri obremenitvi									
N	U_1	I_1	U_2	I_2	p	P_1	P_2	P_{VZ}	η
	V	A	V	A	–	W	W	W	–
$I_{2N}/2$									
I_{2N}									

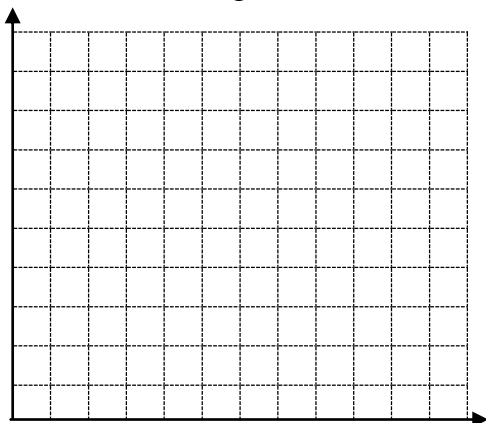
Diagram napetosti v odvisnosti od toka:



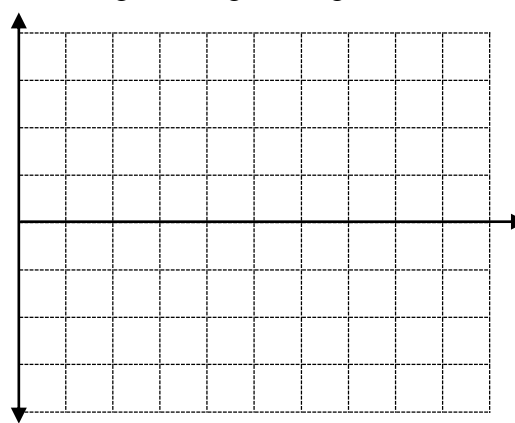
Skica histerezne zanke:



Dinamična magnetilna karakteristika:



Oscilogram magnetilnega toka:



6. ANALIZA OPRAVLJENE VAJE IN REZULTATOV

Pri analizi vaje opišite in pojasnite naslednje:

1. Primerjajte prestavno razmerje neobremenjenega in obremenjenega transformatorja.
2. Komentirajte kratkostično napetost in izkoristek.
3. Primerjajte podatke izmerjene magnetilne karakteristike s kataloškiimi.
4. Komentirajte merjenje magnetilnega toka z A-metrom.
5. Opišite ostale posebnosti, težave in ugotovitve pri meritvah.

Odgovori:

1.

2.

3.

4.

2.2 POVZETEK

Pri izvajanju v drugem poglavju obravnavanih vaj študenti pridobijo kompetence in osvojijo spretnosti za opravljanje pogostih meritev, ki so potrebne pri izgradnji, zagonu in servisiranju mehatronskih sistemov. Obvladajo merjenje z analognimi in digitalnimi merilnimi instrumenti. Naučijo se uporabljati osciloskope. Spoznajo električne in elektromehanske elemente, znajo izmeriti njihove lastnosti in znajo podati točnost merjenja. Osvojijo izdelavo merilnega protokola. Usposobijo se za samostojno uporabo električnih in elektronskih instrumentov.

3 VAJE S PODROČJA UPORABE RAČUNALNIKA PRI MERITVAH – PROGRAM LabVIEW

3.1 UVOD V LabVIEW

Osnovni podatki o uporabi programa v obliki brezplačnih učnih delavnic se nahajajo na spletni strani: http://www.ni.com/academic/lv_training/how_learn_lv.htm. Ta stran omogoča tudi povezavo na spletne strani, na katerih so predstavljeni rešeni primeri, in na spletne strani z literaturo o programu.

Forum o programu LabVIEW se nahaja na spletni strani:

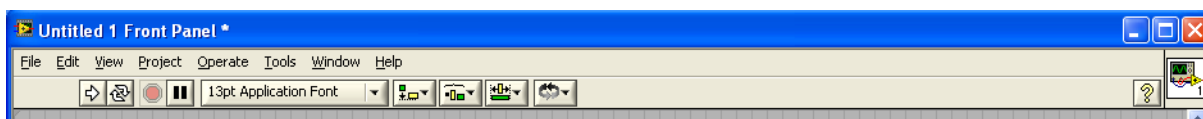
<http://forums.ni.com/ni/board?board.id=170>

LabVIEW je programsko orodje, v katerem:

- gradimo aplikacije;
- analiziramo pojave;
- komuniciramo z okolico;
- delamo s sistemom za zajemanje podatkov, ki omogoča povezavo med zunanjim svetom in računalnikom.

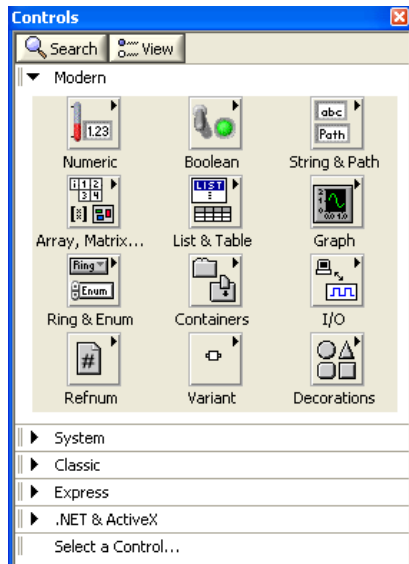
Program uporablja grafični programski jezik »G-jezik«. Na začetku je bil namenjen računalniškemu vodenju merilne opreme. Kasnejše razširitve pa omogočajo uporabo širokemu krogu uporabnikov na področju raziskav, razvoja, proizvodnje in spremljanju različnih procesov.

Pri uporabi programa uporabljamo dve osnovni okni. To sta okno »čelne plošče« in okno »blok diagrama«.



Slika 36: Okno čelna plošča

Okno čelna plošča je namenjeno razmestitvi in oblikovanju vhodno izhodnih elementov, ki jih dobimo v podoknu z imenom kontrolna paleta. Podokno odpremo s klikom na DT na čelni plošči.

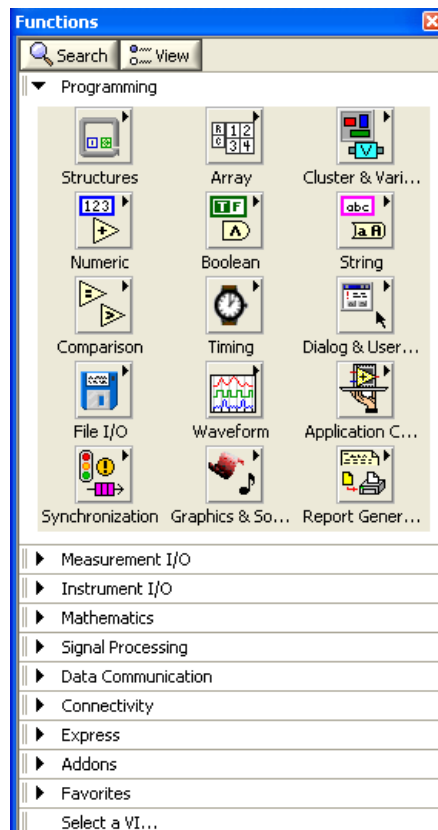


Slika 37: Kontrolna paleta



Slika 38: Okno blok diagram

Namenjeno je povezovanju med ikonami elementov s čelne plošče in dodajanju najrazličnejših funkcij, ki jih dobimo v podoknu z imenom funkcijska paleta. Podokno odpremo s klikom na DT na blok diagramu.



Slika 39: Funkcijska paleta

3.2 PRIMERI OSNOVNIH FUNKCIJ

3.2.1 Uporaba numeričnih kontrol in indikatorjev

V oknu čelne plošče kliknemo na DT, da se odpre okno kontrolna paleta, v katerem izberemo *Numeric* in nato izberemo *Numeric Control*. Nato postopek ponovimo in na koncu izberemo *Numeric Indicator*. V



Slika 40: Numerična kontrola in numerični indikator

V oknu *Block Diagram* za vsak element, ki ga postavimo na čelno ploščo, dobimo ustrezno ikono. V našem primeru sta to ikona numerične kontrole za vnos števila in ikona numeričnega indikatorja. Ikoni s klikom miške na priključek ikone povežemo in dobimo program, ki število, ki ga vpišemo v numerično kontrolo, prepíše v numerični indikator.



Slika 41: Povezava med ikonama numerične kontrole in numeričnega indikatorja

Pri zagonu delovanja programa s puščico (enkratni zagon) se vrednost iz numerične kontrole prenese v numerični indikator. Če nato vrednost spremenimo, ostane vrednost v numeričnem indikatorju nespremenjena. Pri stalnem zagonu (krožni puščici) pa se spremembe prenašajo.



Slika 42: Drsniki in gumbi za vnos

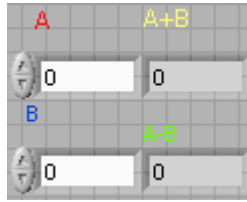


Slika 43: Instrumenti in številčnice za prikaz

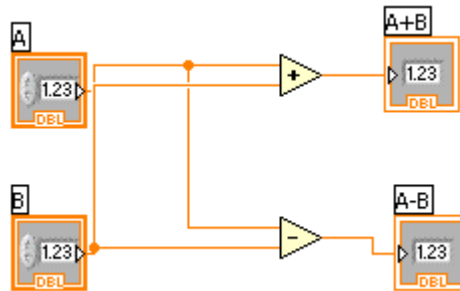
3.2.2 Uporaba funkcij

- Uporaba numeričnih funkcij

Uporabo numeričnih funkcij najlaže spoznamo na primeru seštevanja in odštevanja dveh števil. Na okno čelne plošče postavimo dve numerični kontroli in dva numerična indikatorja, kot prikazuje slika 44. Pripadajoče ikone pa povežemo v oknu blok diagrama, tako kot prikazuje slika 45. Elementa za seštevanje in odštevanje poiščemo v funkcijski paleti pod izbiro *Numeric*.



Slika 44: Numerični kontroli in numerična indikatorja

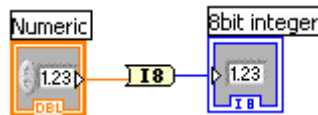


Slika 45: Program za seštevanje in odštevanje

Naslednji primer prikazuje, kako decimalno število pretvorimo v celoštevilčno vrednost. Če izberemo element za pretvorbo I8, je največja možna prikazana vrednost 127.



Slika 46: Numerična kontrola in indikator nas čelni plošči

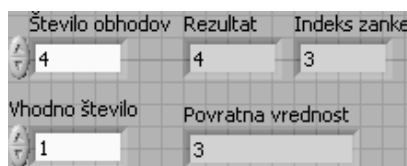


Slika 47: Program za pretvorbo decimalnega števila v celoštevilčno vrednost

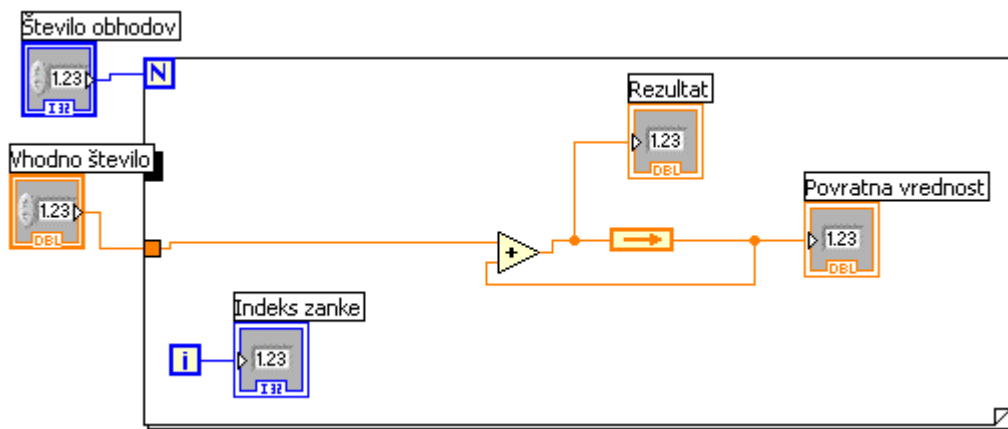
3.2.3 Uporaba programskih struktur

- Uporaba *For* zanke:

V *Block* diagramu položimo *For* zanko in vanjo namestimo seštevalnik, katerega en vhod je vnosno številčno polje, na drug vhod pa pripeljemo signal z izhoda. Dodamo še kontrolo za število izvajanj in indikator indeksa zanke.



Slika 48: Prikaz na čelni plošči za primer uporabe *For* zanke

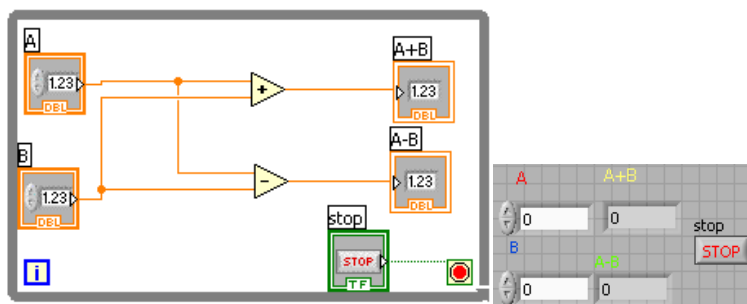


Slika 49: Program z uporabljenjo *For* zanko

Povratni element se generira avtomatično, ko povežemo vhod in izhod elementa za seštevanje.

- Uporaba *While* zanke:

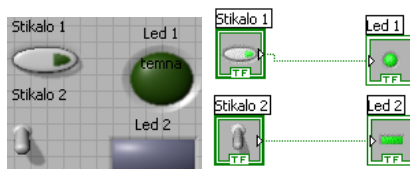
Uporabimo jo v primeru, ko želimo določeno aktivnost ponavljati tako dolgo, dokler ni izpolnjen logični pogoj na pogojnem priključku.



Slika 50: Primer programa in prikaza na čelni plošči z *While* zanko

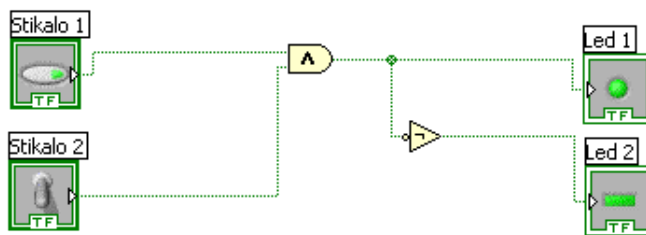
3.2.4 Uporaba logičnih elementov

Na čelno ploščo postavimo dve stikali in dve led diodi. V oknu blok diagrama povežemo ikone, kot je prikazano na sliki 51. Lastnosti elementov na čelni plošči lahko spremenimo tako, da na element kliknemo z DT in izberemo *Properties*. Pri led diodi lahko izberemo barvo, ko je vključena in ko je izključena ipd.



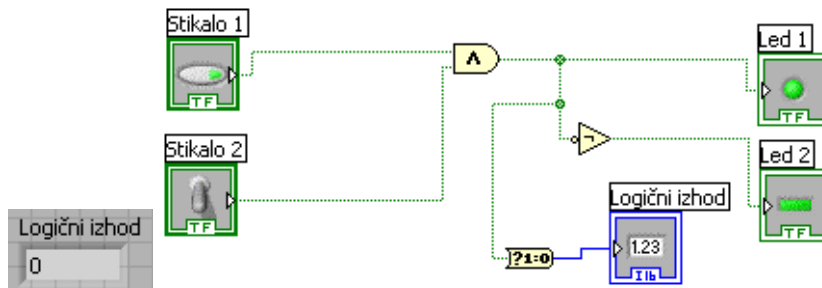
Slika 51: Elementi na čelni plošči in povezave v blok diagramu

Nato v oknu blok diagrama dodamo še logične elemente (vrata).



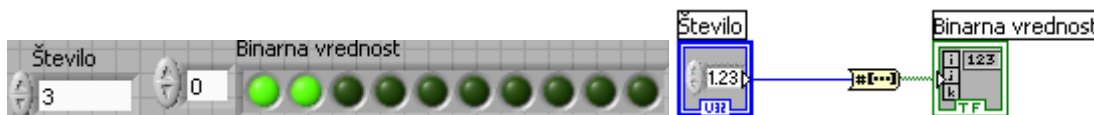
Slika 52: Primer blok diagrama z IN funkcijo in negatorjem

Dodamo še element za pretvorbo logičnega signala v številčni prikaz (0, 1).



Slika 53: Primer pretvornika logičnega signala in indikatorja

Pretvorbo števila v binarno vrednost naredimo z elementom *Num to Array*. Na vhod elementa povežemo numerično kontrolo, na izhod pa logični indikator.



Slika 54: Elementi na čelni plošči in povezavi v blok diagramu

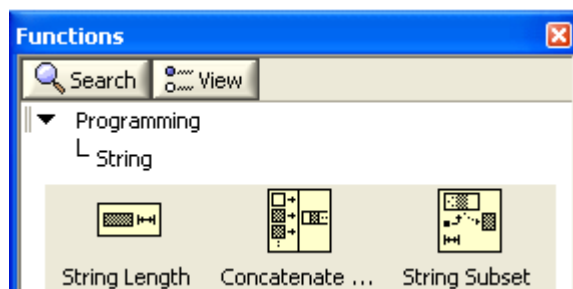
Za obratno pretvorbo iz binarne vrednosti v število pa uporabimo element *Array to Number*.



Slika 55: Elementi na čelni plošči in povezavi v blok diagramu

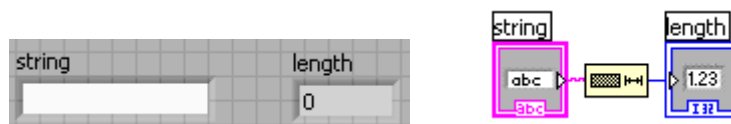
3.2.5 Delo s teksti

Osnovne postopke najlažje spoznamo na preprostih primerih. V oknu blok diagrama kliknemo na DT, da se odpre okno funkcijska paleta, v katerem izberemo *String* in nato izberemo *String Length*.



Slika 56: Elementi za delo s tekstom

Na vhodu izbranega elementa kreiramo element za vnos teksta *String Control*, na izhodu pa *Indicator*.



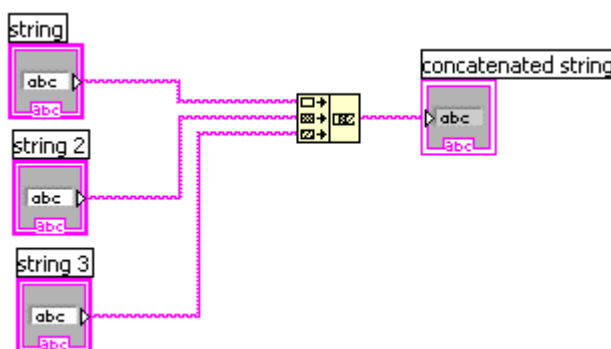
Slika 57: Elementa na čelni plošči in povezavi v blok diagramu

Napis *string* nad elementom za vnos teksta spremenimo v besedilo, napis *length* nad indikatorjem pa spremenimo v dolžino. V polje besedilo vtipkamo tekst in ko zaženemo izvajanje, se v polju dolžina izpiše število znakov teksta in presledkov.

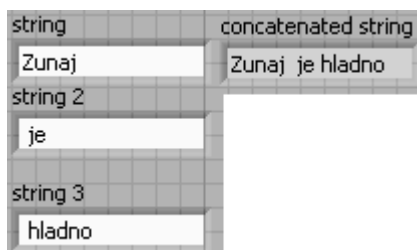


Slika 58: Prikaz na čelni plošči pri izvršitvi programa

V naslednjem primeru je prikazano povezovanje treh besedil.

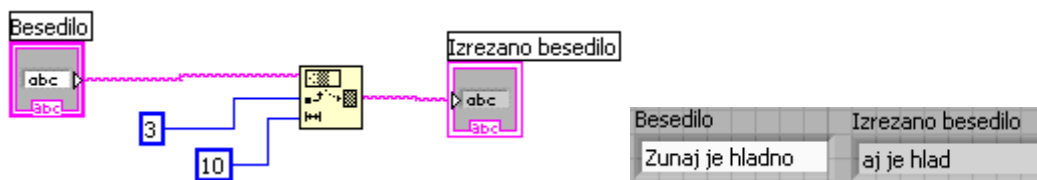


Slika 59: Elementi v blok diagramu



Slika 60: Elementi na čelni plošči

Naslednji primer prikazuje izrezovanje dela besedila.



Slika 61: Povezave v blok diagramu in elementa na čelni plošči

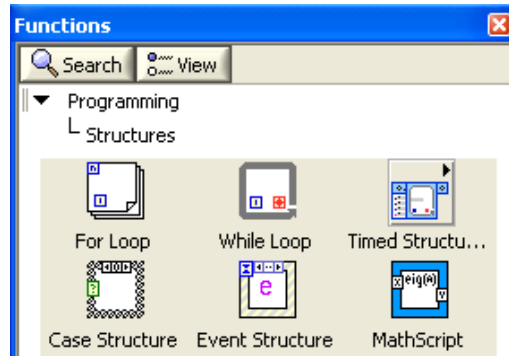
Primer programa, ki vključuje odločitven element *Case Structure*.

V oknu blok diagrama izberemo element za povezavo besedil, pri katerem na prvem vhodu generiramo polje za vnos teksta, na izhodu pa indikator, tako kot prikazuje slika 62.



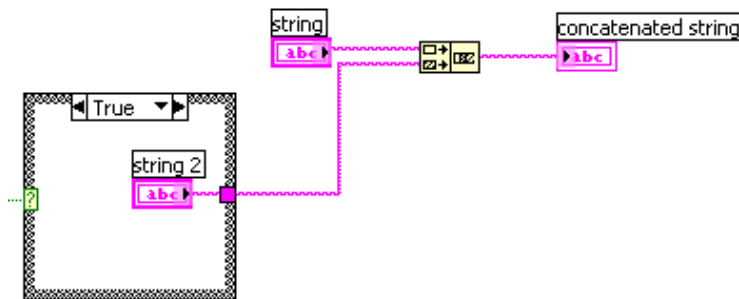
Slika 62: Začetni prikaz v oknu blok diagrama

Na drug vhod pripeljemo podatek iz *Case Structure*, ki ga dobimo v programskih strukturah, prikazanih na sliki 63.



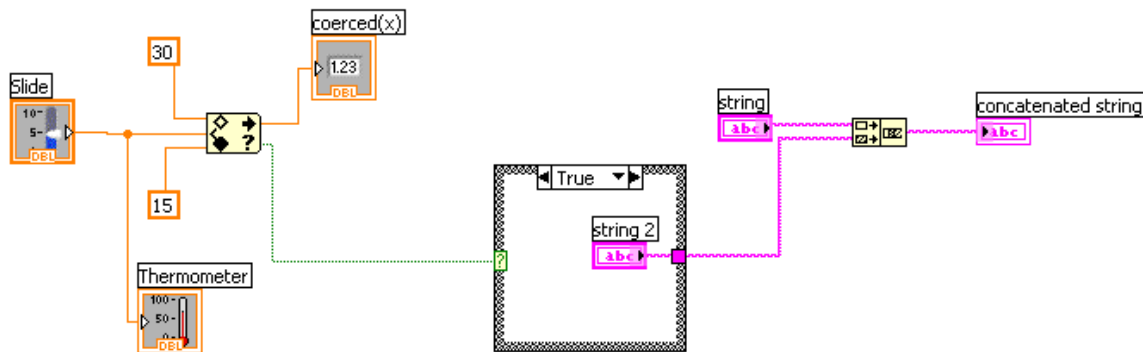
Slika 63: Programske strukture

Pri *Case Structure* imamo pravilno stanje *True* ali pa napačno *False*. V *Case Structure* pri obeh stanjih dodamo polje za vnos teksta. Pri pravilnem stanju vpišemo v polje ugodna, pri napačnem stanju pa neugodna.



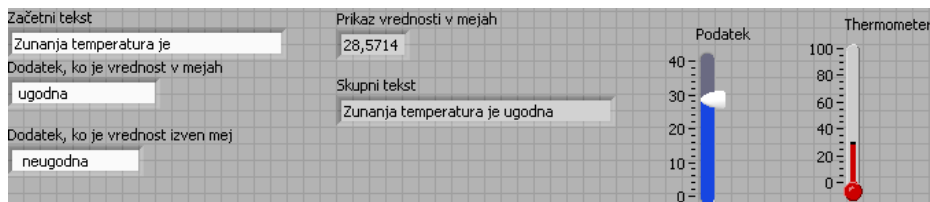
Slika 64: Prikaz v oknu blok diagrama, ko dodamo *Case Structure*.

Na vhod *Case Structure* dodamo element *In range and Coerce*, ki ga dobimo v *Programming in Comparison*. Dodamo še spodnjo in zgornjo mejo, vhodni drsnik in termometer, na izhod *Coerce* pa indikator, ki prikazuje vrednosti znotraj območja.



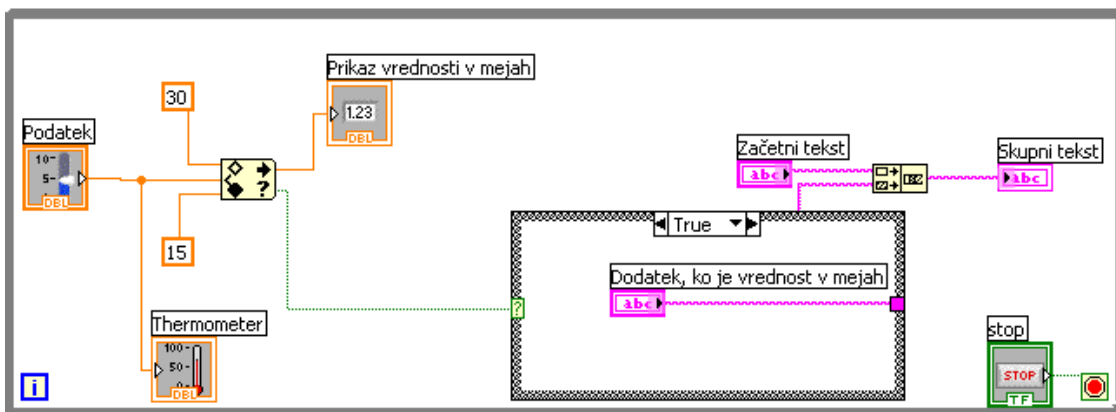
Slika 65: Prikaz v oknu blok diagrama, ko dodamo *In range and Coerce*.

Na čelni plošči popravimo napise tako, kot prikazuje slika 66.



Slika 66: Prikaz v oknu čelne plošče

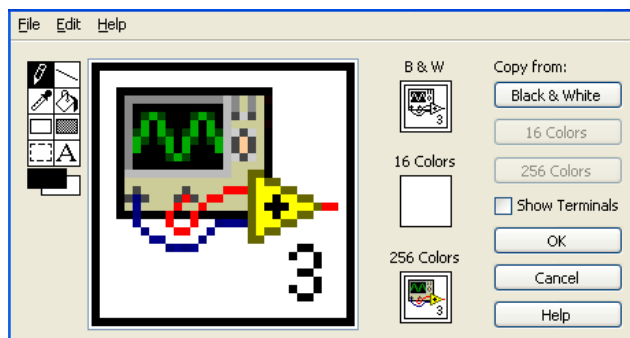
Preko elementov v blok diagramu postavimo *While* zanko (da se bo program izvajal toliko časa, kot želimo) in v njej gumb za stop.

Slika 67: Prikaz v oknu blok diagrama, ko dodamo *While* zanko

Sedaj zaženemo program in opazujemo izpise v prikaznih poljih na oknu čelne plošče, medtem ko spreminjamo vhodni podatek o temperaturi.

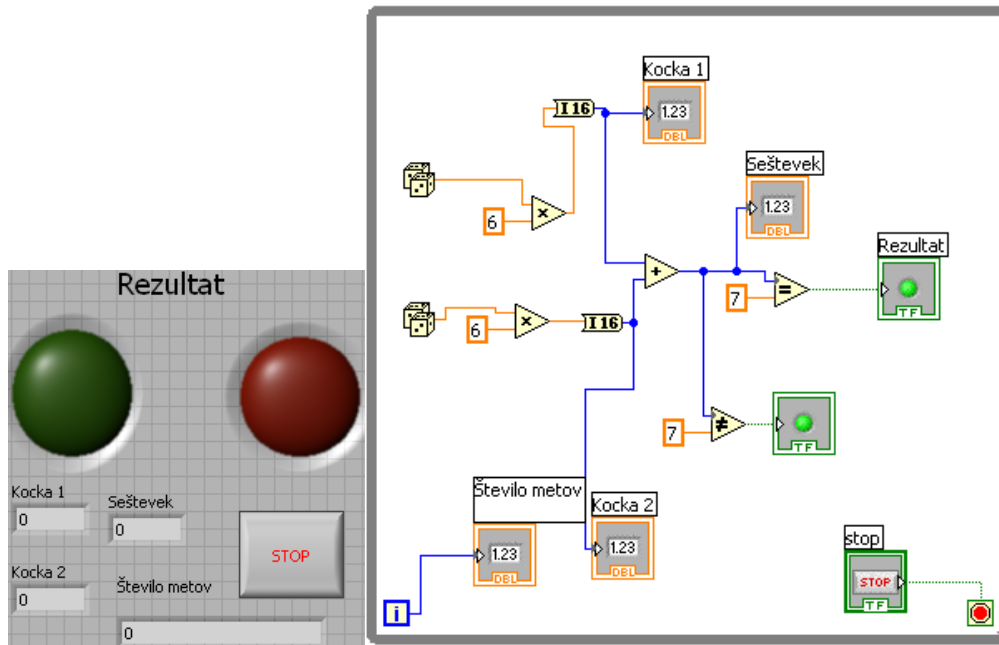
3.2.6 Ikona VI (virtualnega instrumenta)

Ikono VI-ja lahko po svoje oblikujemo. Povečano sliko ikone dobimo s klikom z DT na ikono in nato izberemo *edit icon*. Na levi strani ikone se nahajajo orodja, s katerimi lahko ikono spremenimo.



Slika 68: Ikona virtualnega instrumenta

Primer: Program za naključno metanje dveh kock. Pri seštevku 7 se vklopi zelen indikator, v nasprotnem primeru pa rdeč. Generator naključnega števila se nahaja v *Programming – numeric*, element za pretvorbo decimalnega števila v celoštevilčno (Integer) I16 pa v *Mathematics– numeric– conversion*.

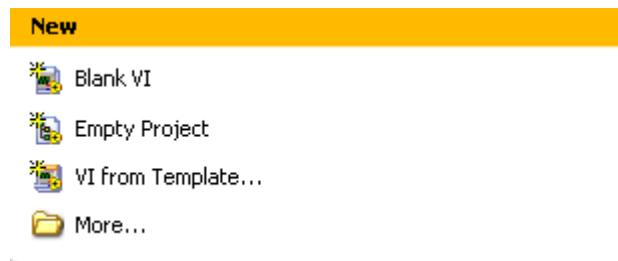


Slika 69: Čelna plošča in blok diagram programa za metanje kock

Naloga za študente: Analizirajte delovanje programa na osnovi korlačnega delovanja.

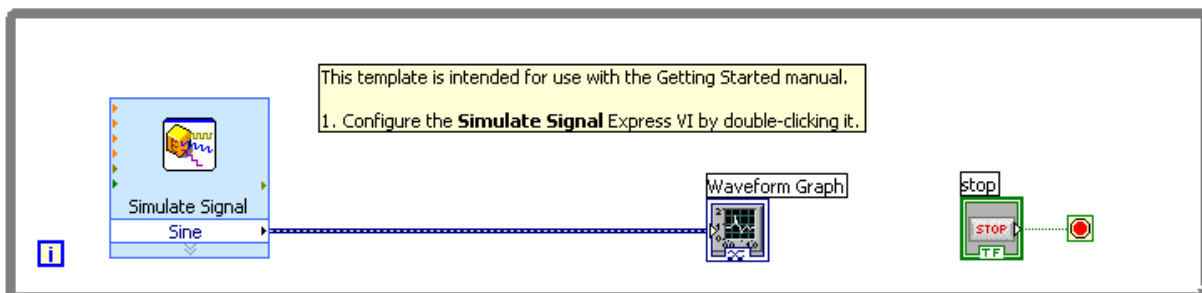
3.3 GENERIRANJE IN MERJENJE VIRTUALNIH SIGNALOV

3.3.1 Virtualni instrumenti na osnovi predloge (VI from Template)



Slika 70: Odpiranje virtualnega instrumenta na osnovi predloge

Najprej izberemo *VI from Template*, nato pa *Generate and Display*. V oknu čelne plošče dobimo grafični prikaz, okno blok diagrama pa je prikazano na sliki 71.

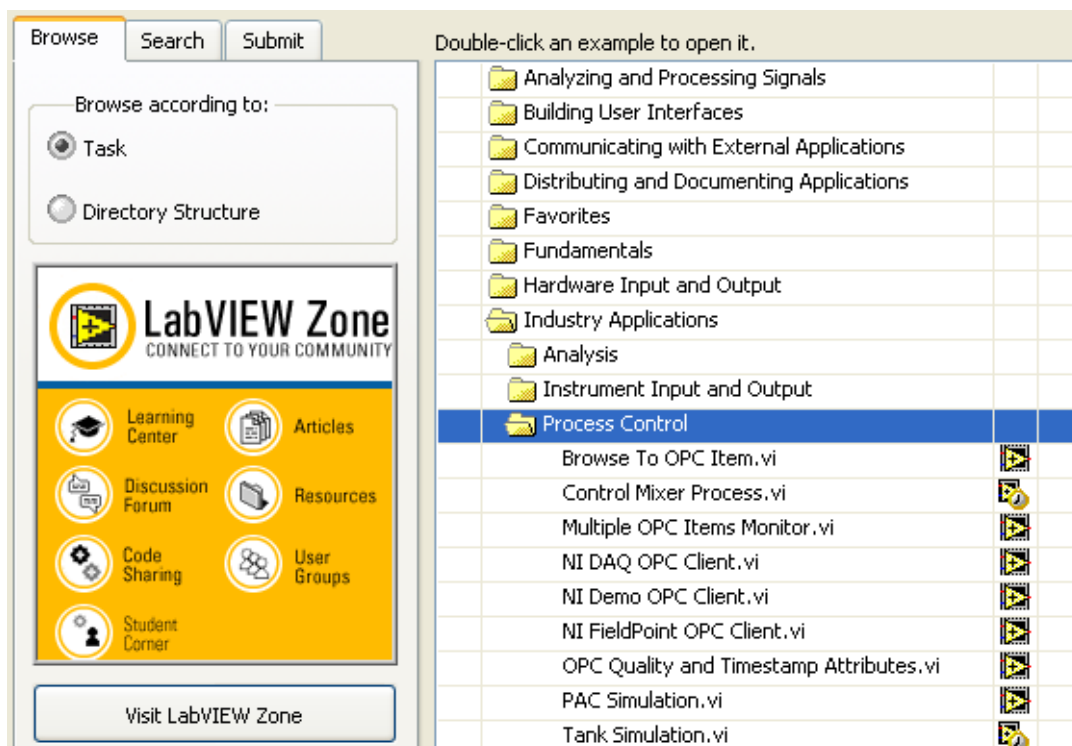


Slika 71: Prikaz v oknu blok diagrama

Na generatorju *Simulate Signal* lahko spreminjamo nastavitve, rezultate pa opazujemo na grafu.

Naloga za študente: Oglejte si virtualni instrument *Generate, Analyze and Display* na osnovi predloge in preverite delovanje merilnika RMS pri sinusni, trikotni in pravokotni obliki napetosti.

3.3.2 Odpiranje primerov v NI Example Finder



Slika 72: Prikaz odpiranja VI v NI Example Finder

Značilni mehatronski primeri v NI Example Finder se nahajajo pod *Process Control*, na primer *Tank Simulation.vi*, *Mixer Simulation.vi* itd.

3.4 UPORABA KARTICE DAQ

Na sliki 73 je kartica USB-6008, ki je vgrajena v dodatno ohišje, prikazano na sliki 74. Na njem so nameščene priključne sponke, stikali in LED diodi. Povezava na računalnik je preko vhoda USB. Podatke o tej kartici in tudi o drugih vmesnikih si lahko ogledate na spletnem naslovu: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14604>



Slika 73: Merilna kartica
Vir: Lasten



Slika 74: Merilni pripomoček s kartico
Vir: Lasten

3.4.1 Uporaba digitalnih vhodov

Odpremo prazen VI, nato pa v oknu blok diagrama s klikom z DT odpremo knjižnice. Izberemo *Expres* in na *Block diagram* postavimo *DAQ assistant*. Izberemo *Digital I/O* in *Line input*. Izberemo P0.0 in P0.1 kot vhoda. Na izhodu *DAQ Assistant* kliknemo z DT in izberemo *create indicator*.

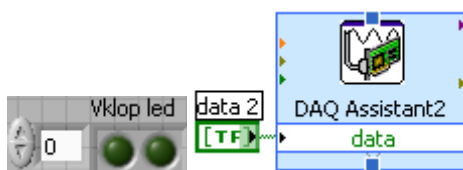


Slika 75: Prikaz na čelni plošči in blok diagramu pri digitalnem vhodu

Zaženemo program in preizkusimo vklop – izklop stikal na merilnem pripomočku. Pri tem se led diodi v oknu čelne plošče prižigata in ugašata.

3.4.2 Uporaba digitalnih izhodov

Odpremo nov *DAQ Assistant* in izberemo P1.2 in P1.3 za izhoda. Na vhodu *DAQ Assistant* kliknemo z DT in izberemo *create control*.

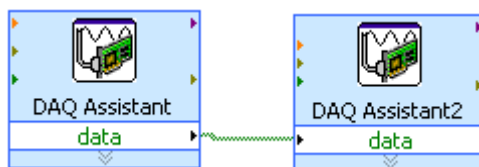


Slika 76: Prikaz na čelni plošči in blok diagramu pri digitalnem izhodu

Led diodi, ki predstavljata stikali v programu, moramo najprej izbrati, nato zaženemo delovanje in s klikom na stikalo (led) vklopimo oziroma izklopimo izhoda.

3.4.3 Krmiljenje digitalnih izhodov s signali z digitalnih vhodov

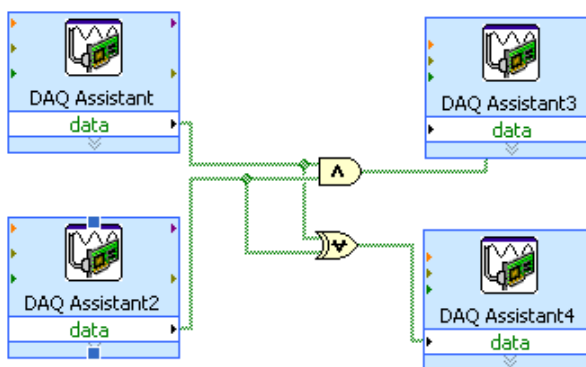
Odpremo *DAQ Assistant* in izberemo P0.0 in P0.1 kot vhoda ter še en *DAQ Assistant*, pri katerem pa izberemo P1.2 in P1.3 kot izhoda. Izhod prvega *DAQ Assistant* povežemo z vhodom drugega *DAQ Assistant2*.



Slika 77: Blok diagram povezuje digitalnih vhodov z izhodi

Zaženemo program in z vklopom stikal vklapljamo in izklopimo izhoda.

V naslednjem primeru uporabimo dva *DAQ Assistant* za digitalna vhoda in dva za izhoda, tako kot je prikazano na sliki 78. Med vhoda in izhoda dodamo še logični funkciji.



Slika 78: Blok diagram digitalna vhoda, digitalna izhoda in logični funkciji

3.4.4 Uporaba analognega vhoda

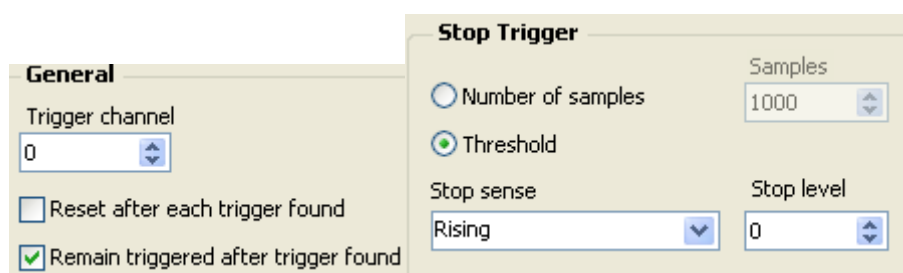
Na analogni vhod kartice priključimo funkcijski generator. Odpremo nov *DAQ Assistant* in izberemo analogni diferencialni vhod. Na izhodu generiramo grafični indikator.



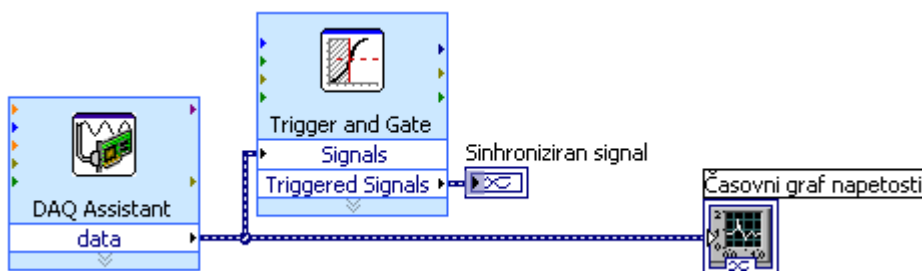
Slika 79: Blok diagram analogni vhod

Če je hitrost vzorčenja 1 ks/s, potem dobimo še primerno sliko do vhodne frekvence 100 Hz. Če pa povečamo vzorčenje na 10 ks/s, pa je zgornja meja okrog 1000 Hz. Nato spreminjamo obliko in frekvenco in opazujemo graf. Slika ni stabilna zaradi neujemanja trenutka vzorčenja s trenutkom začetka sinusoide.

- Dodamo element za proženje (sinhronizacijo).
Izberemo *Expres – signal manipulation* izbira *Trigger and gate*. Na izbranem elementu izberemo *Threshold* in *Remain triggered after trigger found*.



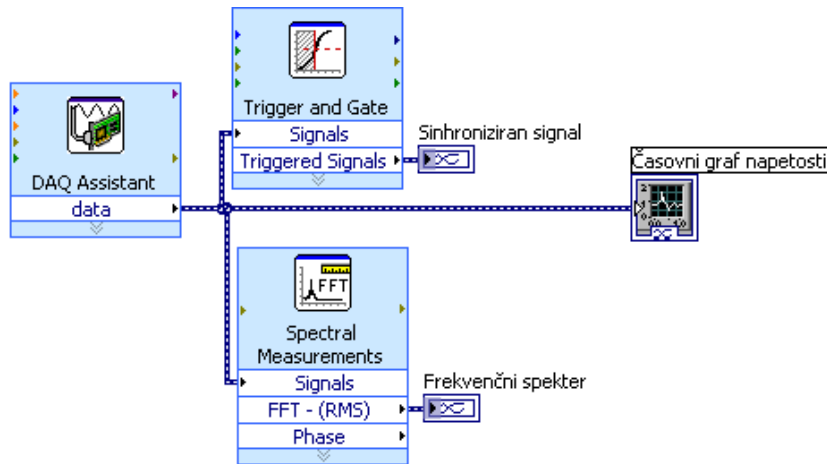
Slika 80: Nastavitve na elementu za proženje



Slika 81: Blok diagram z elementom za sinhronizacijo proženja

- Dodamo prikaz frekvenčnega spektra.

Izberemo *Signal processing* in *Wfm measurement in Spectral*. Nato povežemo vhod na *DAQ*, na izhodu generiramo graf.

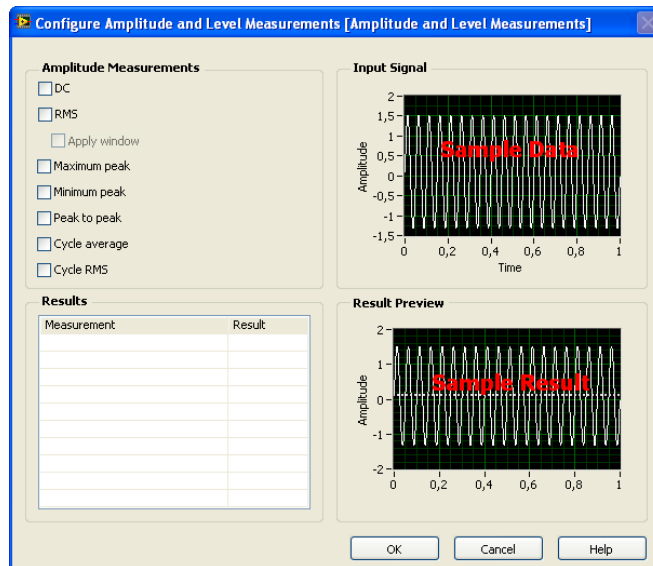


Slika 82: Blok diagram z elementom za spektralno analizo

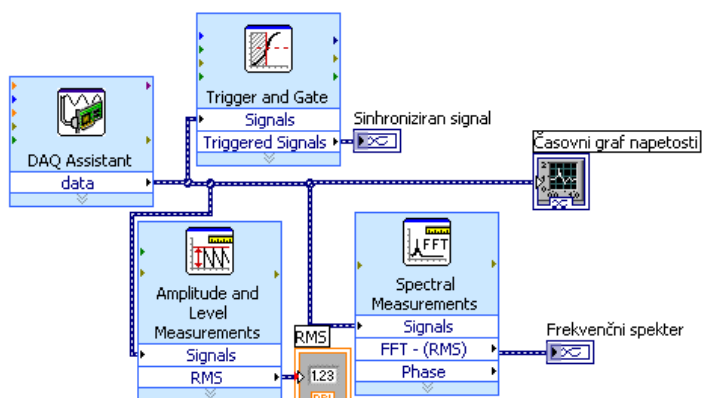
Zaženemo delovanje in spreminjamo nastavitve na funkcijskem generatorju ter opazujemo spekter za sinusno, trikotno in pravokotno obliko signala.

- Dodamo merilnik efektivne vrednosti.

Izberemo *Express– Signal Analysis* in *Ampl&Level Measurements*. Ko postavimo element *Ampl&Level Measurements* na blok diagram, se nam odpre okno, v katerem lahko izberemo meritve, ki jih potrebujemo (na primer RMS, DC itd).



Slika 83: Izbiranje vrste meritve

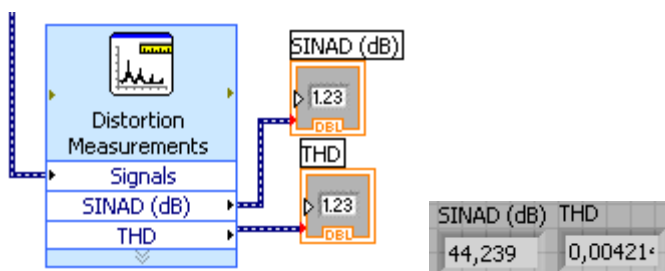


Slika 84: Blok diagram z elementom za meritve

Na izhodu merilnika RMS kliknemo z DT in izberemo *create indicator*, da dobimo numerični indikator za prikaz efektivne vrednosti.

- Dodamo merilnik popačenja.

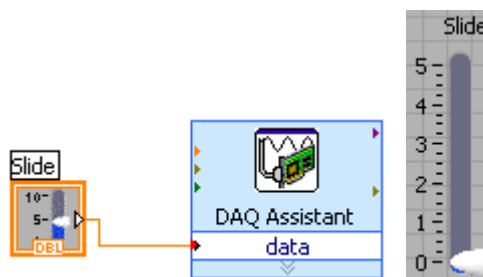
Izberemo *Signal Processing* in *Waveform measurements* ter *Distorzion*. Pri merilniku lahko izbiramo med merjenjem popačenja THD (total harmonic distorzion) in merjenjem popačenja SINAD, kar pomeni razmerje med signalom in šumom proti šumu. SINAD je prikazan v dB.



Slika 85: Element za merjenje popačenja in prikazana rezultata

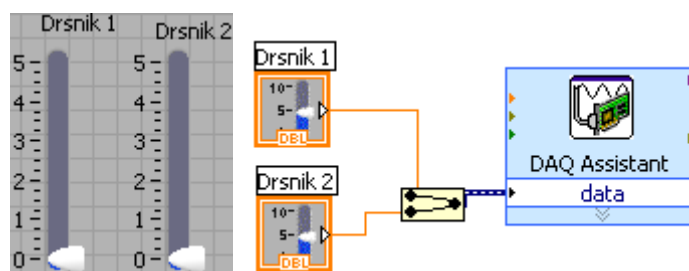
3.4.5 Uporaba analognega izhoda

Odpremo nov *DAQ Assistant* in izberemo analogni izhod. *Express – output DAQ* in *analog output* in *voltage* in *a0.0* in *finish*. Na vhodu generiramo numerično kontrolo, na primer drsnik, ki mu omejimo vrednosti od 0 do 5, kar pomeni 0–5 V. To je območje napetosti, ki ga pokriva DA pretvornik kartice.



Slika 86: Blok diagram in čelna plošča pri analognem izhodu

Zaženemo delovanje in na izhodu A0.0 na merilnem pripomočku z V–metrom izmerimo napetost. Če hočemo krmiliti dva izhoda, spremenimo nastavitve na *DAQ Assistant*, na vhod za podatke pa povežemo signal dveh drsnikov preko elementa za združevanje signalov.



Slika 87: Čelna plošča in blok diagram pri dveh analognih izhodih

Naloga za študente:

Na spletnih straneh National Instruments poiščite in preglejte podatke še o drugih karticah in jih primerjajte s podatki pri meritvah uporabljene kartice.

<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14604>

3.5 POVZETEK

Pri delu s programom LabVIEW študenti spoznajo značilnosti tega programa. Spoznajo osnovne gradnike in oblikovanje preproste aplikacije v oknu čelne plošče. Obvladajo lažje primere grafičnega programiranja v oknu *block* diagrama. Spoznajo uporabnost programa na področju meritev in nadzoru procesov. Seznanijo se z možnostmi matematične obdelave podatkov in prikazi rezultatov. Naučijo se izdelati preproste virtualne instrumente. Spoznajo možnosti generiranja in merjenja virtualnih signalov. Seznanijo se z uporabo primerov v *NI Example Finder*. Naučijo se priključiti merilne kartice na računalnik in povezave zunanjih signalov na merilno kartico. Ugotovijo zmogljivosti merilne kartice. Pridobijo občutek pomena uporabe računalnika na področju meritev.

4 SEZNAM LITERATURE

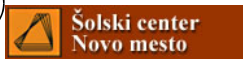
- Bergelj, F. *Meritve 1. del*. 5. izd. Ljubljana: FE in FRI, 2004.
- Bergelj, F. *Meritve 2. del*. 5. izd. Ljubljana: FE in FRI, 2005.
- Bergelj, F. *Osnove meritev*. 4. izd. Ljubljana: FE in FRI, 1995.
- Bergelj, F., et al. *Meritve laboratorijske vaje*. 14. izd. Ljubljana: FE in FRI, 2005.
- Iskra Otoče. *Digimer 30 tehnično navodilo*. 1985.
- Gorup, Ž. *Uvod v LabVIEW*. 1. izd. Ljubljana: FE, 2006.
- Mikola, L., in Golob, M. *Meritve merilne metode in laboratorijske vaje*. 3. izd. Maribor: FERI, 2004.
- National Instruments. *LabVIEW Basics I Introduction*, Austin: National Instruments Corporation, 2005.
- BELMET, *Proizvodi*. (online). (citirano 18.11.08). Dostopno na naslovu: <http://www.belmet.si/>
- Wikipedija. *Osciloskop–Wikipedija*. (online). 1.10.2008. (citirano 8.12.08). Dostopno na naslovu: <http://bs.wikipedia.org/wiki/Osciloskop>
- Educypedia. *Measurements with the oscilloscope*. (online). 20.11.2008. (citirano 8.12.08). Dostopno na naslovu: <http://www.educypedia.be/electronics/measurementosc.htm>
- Debik, P. *Virtual Oscilloscope*. (online). 2002. (citirano 16.11.08). Dostopno na naslovu: <http://www.virtual-oscilloscope.com/simulation.html#>
- Goran, I. *Fizika 9.r.2003*. (online). (citirano 18.11.08). Dostopno na naslovu: www.pef.uni-lj.si/gorani/fizika9.r.html
- HAMEG, *Products*. 2008 HAMEG Instruments GmbH. (online). (citirano 18.11.08). Dostopno na naslovu: <http://www.hameg.com/products.0.html>
- HAMEG, *HM8018*. 2008 HAMEG Instruments GmbH. (online). (citirano 9.12.08). Dostopno na naslovu: <http://www.hameg.com/138.0.html>
- Iskra MIS, *Katalog*. (online). (citirano 18.11.08). Dostopno na naslovu: <http://www.iskra-mis.si/katalog/20071212152244/20071212153028/>
- LeCroy, *LeCroy Digital Oscilloscopes and Protocol Analysers*. (online). 2008. (citirano 18.11.08). Dostopno na naslovu: <http://www.lecroy.com/homepage/default.aspx>
- Lycée Charlemagne. *Materiel de physique*. (online). 2006. (citirano 18.11.08). Dostopno na naslovu: labocharlemagne.free.fr/notices/materiel_phys...
- Metrel, *Nakup.metrel.si*. (online). 2002–2005. (citirano 18.11.08). Dostopno na naslovu: <http://nakup.metrel.si/>
- MICOM ELECTRONICS, *Micom group–Domov*. (online). (citirano 18.11.08). Dostopno na naslovu: <http://www.micom-electronics.si/>
- Micom group, *Servisni merilniki*. (online). (citirano 9.12.08). Dostopno na naslovu: http://www.micom.si/index.php?option=com_content&task=blogsection&id=9&Itemid=47&limit=9&limitstart=18
- National Instruments, *NI labVIEW*. (online). 2008. (citirano 18.11.08). Dostopno na naslovu: <http://www.ni.com/labview/>
- NI Multisim. *Products and Services*. National Instruments. (online). 2008. (citirano 18.11.08). Dostopno na naslovu: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/201800>
- SIHER d.o.o., *Multimetri*. (online). (citirano 18.11.08). Dostopno na naslovu: <http://www.siherdoo.com/primerjalna%20tabela.htm>
- Wikipedija. *Measuring instrument*. (online). 1.12.2008. (citirano 8.12.08). Dostopno na naslovu: http://en.wikipedia.org/wiki/Measuring_instrument
- Educypedia. *Measurement techniques, multimeter*. (online). 20.11.2008. (citirano 8.12.08). Dostopno na naslovu: <http://www.educypedia.be/electronics/multimeter.htm>

-
- Tektonix, *Tektronix Test and Measurement Equipment*. (online). (citirano 18.11.08). Dostopno na naslovu: <http://www.tek.com/>
- NI education. *How can I learn LabVIEW? - Academic*. National Instruments. (online). 2008. (citirano 8.12.08). Dostopno na naslovu: http://www.ni.com/academic/lv_training/how_learn_lv.htm
- LabVIEW. *NI Discussion Forums*. National Instruments. (online). 2008. (citirano 8.12.08). Dostopno na naslovu: <http://forums.ni.com/ni/board?board.id=170>
- NI USB-6008. *Products and Services*. National Instruments. (online). 2008. (citirano 8.12.08). Dostopno na naslovu: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/14604>

Projekt **Impletum**

Uvajanje novih izobraževalnih programov na področju višjega strokovnega izobraževanja v obdobju 2008–11

Konzorcijski partnerji:



Operacijo delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada ter Ministrstvo RS za šolstvo in šport. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa razvoja človeških virov za obdobje 2007–2013, razvojne prioritete Razvoj človeških virov in vseživljenjskega učenja ter prednostne usmeritve Izboljšanje kakovosti in učinkovitosti sistemov izobraževanja in usposabljanja.