

LABORATORIJSKE VEŽBE IZ ELEKTRIČNIH MERENJA

Predrag Pejović

dr Predrag Pejović, redovni profesor
e-mail: peja@etf.rs
URL: <http://tnt.etf.rs/~peja/>

Laboratorijske vežbe iz električnih merenja
elektronski udžbenik

Recenzenti:
dr Milan Bjelica, vanredni profesor
dr Nadica Miljković, docent

Nastavno-naučno veće Elektrotehničkog fakulteta odobrilo je objavljivanje ovog elektronskog udžbenika odlukom broj 2551/4 od 26.02.2018. godine.

Izdavač:
Predrag Pejović, Beograd

Štampa: Predrag Pejović, Beograd, 2018.
Tiraž: 50 primeraka

ISBN: 978-86-920133-0-0

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

621.317(075.8)(076)(0.034.2)

ПЕЈОВИЋ, Предраг, 1966-

Laboratorijske vežbe iz električnih merenja [Elektronski izvor] :
[elektronski udžbenik] / Predrag Pejović. - Beograd : P. Pejović, 2018
(Beograd : P. Pejović). - 1 elektronski optički disk (DVD) ; 12 cm

Sistemski zahtevi: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. -
Tiraž 50. - Sadrži bibliografiju.

ISBN 978-86-920133-0-0

a) Електрична мерења - Вежбе
COBISS.SR-ID 258821900



This work is licensed under a
Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

„Најважнија ствар у сваком мерењу јесте честитост.”

Владислав Ђ. Јовановић,
„ВЕЖБЕ У ЛАБОРАТОРИЈИ ЗА ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЊА”,
десето неизмењено издање, страна 3, Научна књига, Београд, 1967.

Sadržaj

Bezbednost i pravila ponašanja u laboratoriji za elektroniku	1
Instrumenti i oprema u Laboratoriji za elektroniku	3
Multimetri	3
Fluke 111 True RMS Multimeter	3
DT-838 Digital Multimeter	4
Multimetar RTO-1035N	4
Izvor jednosmernog napona	4
Generator signala	5
Osciloskopi	6
Osciloskop Tektronix TDS 1002	6
Osciloskop Tektronix TBS 1052B-EDU	8
Protobord	8
Računar	10
Softver za vežbe	10
1 Multimetar, izvor jednosmernog napona i protobord	14
1.1 Potrebni instrumenti i pribor	14
1.2 Opis i ciljevi vežbe	14
1.3 Zadatak	14
1.3.1 Povezanost na protobordu i zvučna indikacija kontakta kod multimetra .	14
1.3.2 Unutrašnja otpornost voltmetra	16
1.3.3 Otpornost kratke i otvorene veze	16
1.3.4 Unutrašnja otpornost ampermetra	17
1.3.5 Izvor za napajanje i poređenje voltmetara	18
1.3.6 Merenje otpornosti merenjem struje i napona i ommetrom	21
1.3.7 Dokumentovanje rezultata merenja	24
2 Osciloskop i generator signala	26
2.1 Potrebni instrumenti i pribor	26
2.2 Opis i ciljevi vežbe	26
2.3 Napomene	26
2.4 Zadatak	26
2.4.1 Dokumentovanje rezultata pomoću računara	26
2.4.2 Sinusoidalni napon	28
2.4.3 VAŽNO: Sinusoidalni napon, DC i AC sprega	28
2.4.4 Pravougaoni napon	29
2.4.5 Merenje perioda i faktora ispunjenosti impulsa korišćenjem pokazivača .	29
2.4.6 Testerasti napon	30
2.4.7 Merenje naponskih nivoa korišćenjem pokazivača	30
2.4.8 Merenje efektivne i vršne vrednosti napona, perioda i frekvencije	30
2.4.9 VAŽNO: Merenja parametara sinusoidalnog napona, DC i AC sprega .	31
2.4.10 Sinhronizacija osciloskopa na mrežni napon	31
2.4.11 Naponski impulsi	32
2.4.12 Generator šuma	33
2.4.13 Posmatranje prelaznih procesa u kolu i merenje kapacitivnosti	34
2.4.14 Merenje kapacitivnosti primenom automatizovanih merenja uzlazne i si- lazne ivice	35
2.4.15 Dokumentovanje rezultata merenja	35

3 Upravljanje instrumentima pomoću računara, automatizovana merenja i statistička obrada rezultata merenja	38
3.1 Potrebni instrumenti i pribor	38
3.2 Opis i ciljevi vežbe	38
3.3 Zadatak	38
3.3.1 Povezivanje generatora signala i računara preko TCP/IP	38
3.3.2 Upravljanje generatorom signala preko web servera, Firefox	39
3.3.3 Upravljanje generatorom signala, SCPI, Python, TCP/IP, vxi11	39
3.3.4 Povezivanje generatora signala i računara preko USB	43
3.3.5 Upravljanje generatorom signala, SCPI, Python, USB, usbtmc	43
3.3.6 Upravljanje osciloskopom, SCPI, Python, modul usbtmc	47
3.3.7 Upravljanje osciloskopom, SCPI, Python, modul osc	48
3.3.8 Statistička obrada rezultata merenja	49
3.3.9 Uvod u automatizovana merenja	50
3.3.10 Dokumentovanje rezultata merenja	51
4 Merenje impedanse pomoću osciloskopa	54
4.1 Potrebni instrumenti i pribor	54
4.2 Opis i ciljevi vežbe	54
4.3 Napomene	56
4.4 Zadatak	57
4.4.1 Merenje otpornosti	57
4.4.2 Snimanje zavisnosti struje otpornika od napona na otporniku i određivanje otpornosti metodom najmanjih kvadrata	58
4.4.3 Statistička obrada rezultata ponovljenih merenja otpornosti	58
4.4.4 Merenje kapacitivnosti	60
4.4.5 Snimanje dijagrama struje i napona kondenzatora	60
4.4.6 Zavisnost nanelektrisanja na kondenzatoru od napona i određivanje parametara kondenzatora obradom odbiraka napona i struje	61
4.4.7 Statistička obrada rezultata ponovljenih merenja kapacitivnosti	62
4.4.8 Merenja nepoznatih kapacitivnosti	63
4.4.9 Merenje induktivnosti	63
4.4.10 Snimanje dijagrama struje i napona kalema	64
4.4.11 Zavisnost fluksa kalema od struje i određivanje parametara kalema obradom odbiraka napona i struje	65
4.4.12 Merenje nepoznatih induktivnosti	66
4.4.13 Merenje međusobne induktivnosti i koeficijenta sprege	66
4.4.14 Merenje modula, argumenta, realnog dela i imaginarnog dela impedanse .	68
4.4.15 Dokumentovanje rezultata merenja	69
5 Snimanje karakteristika nelinearnih elemenata pomoću osciloskopa	72
5.1 Potrebni instrumenti i pribor	72
5.2 Opis i ciljevi vežbe	72
5.3 Napomene	73
5.4 Zadatak, prvi deo vežbe	73
5.4.1 Snimanja karakteristike magnećenja feromagnetskih jezgara	73
5.4.2 Merenje inkrementalne međusobne induktivnosti	75
5.5 Zadatak, drugi deo vežbe	76
5.5.1 Snimanje karakteristike diode	76
5.5.2 Pojačavač sa zajedničkim emitorom	78

5.5.3	Pojačavač snage u klasi B	80
5.5.4	Dokumentovanje rezultata merenja	81
6	Frekvencijske karakteristike	84
6.1	Potrebni instrumenti i pribor	84
6.2	Opis i ciljevi vežbe	84
6.3	Napomene	85
6.4	Zadatak, prvi deo vežbe	87
6.4.1	Frekvencijske karakteristike impedanse otpornika	87
6.4.2	Frekvencijske karakteristike impedanse kalema	88
6.4.3	Frekvencijske karakteristike impedanse kondenzatora	89
6.4.4	Frekvencijske karakteristike impedanse elektrolitskog kondenzatora	90
6.4.5	Frekvencijske karakteristike impedanse osculatornih kola	91
6.4.6	Frekvencijske karakteristike impedanse zvučnika	91
6.5	Zadatak, drugi deo vežbe	92
6.5.1	Filter propusnik signala niskih frekvencija	92
6.5.2	Filter propusnik signala visokih frekvencija	93
6.5.3	Filter propusnik opsega	93
6.5.4	Kolo za ilustrovanje uprošćenog frekvencijskog modela kondenzatora	93
6.5.5	RLC filter propusnik opsega	94
6.5.6	RLC filter nepropusnik opsega	94
6.5.7	Frekvencijska karakteristika sprežnog filtra osciloskopa	95
6.6	Dokumentovanje rezultata merenja	95
7	Merenje parametara naizmeničnih veličina	98
7.1	Potrebni instrumenti i pribor	98
7.2	Opis i ciljevi vežbe	98
7.3	Zadatak	99
7.3.1	Voltmetri za naizmenični napon	99
7.3.2	Osciloskop, merenja u okviru ekrana i merenja u okviru perioda	100
7.3.3	Voltmetar sa jednostranim ispravljanjem	100
7.3.4	Voltmetar sa dvostranim ispravljanjem	102
7.3.5	Ampermetar sa dvostranim ispravljanjem	104
7.3.6	Ampermetar sa jednostranim ispravljanjem	106
7.3.7	Merenje vršne vrednosti napona	107
7.3.8	Detektor envelope	109
7.3.9	Dokumentovanje rezultata merenja	110
8	Merenja na kolima sa raspodeljenim parametrima	112
8.1	Potrebni instrumenti i pribor	112
8.2	Opis i ciljevi vežbe	112
8.3	Napomene	113
8.4	Zadatak	113
8.4.1	Prostiranje talasa po vodu	113
8.4.2	Kvarovi na vodu	116
8.4.3	Refleksija na otvorenom vodu	117
8.4.4	Refleksija na vodu u kratkom spoju	118
8.4.5	Određivanje dužine voda	119
8.4.6	Vod zatvoren neprilagođenom impedansom	120
8.4.7	Frekvencijska zavisnost ulaznog napona na otvorenom vodu	121
8.4.8	Frekvencijska zavisnost ulaznog napona na vodu u kratkom spoju	122

8.4.9	Frekvencijska zavisnost ulaznog napona na vodu koji je zatvoren svojom karakterističnom impedansom	123
8.4.10	Dokumentovanje rezultata merenja	124
9	Mostovi	126
9.1	Potrebni instrumenti i pribor	126
9.2	Opis i ciljevi vežbe	127
9.3	Napomene	127
9.4	Zadatak	129
9.4.1	Naponska osetljivost Vitstonovog mosta	129
9.4.2	Strujna osetljivost Vitstonovog mosta	131
9.4.3	Trožično merenje otpornosti	133
9.4.4	Sotijev most za merenje kapacitivnosti	135
9.4.5	Maksvelov most za merenje induktivnosti	140
9.4.6	Vinov most za merenje frekvencije	141
9.4.7	Dokumentovanje rezultata merenja	142
Literatura		143

Predgovor

Tehnologija računara, industrijska revolucija u svetu ideja, nepovratno je promenila svet. Pogodnostima koje nudi, iz dana u dan se nametala i ulazila u naše živote automatizujući poslove za koje smo smatrali da samo ljudi mogu da ih obavljaju, misleći da je za njihovo izvršavanje potrebna inteligenicja svojstvena ljudima. Ispostavilo se da je istina drugačija, da su mnogi od tih poslova algoritamski, da se svode na izvršavanje niza jednostavnih zadataka prema skupu unapred definisanih pravila. Takve poslove su preuzeли računari i na njima su se pokazali kao mnogo brži, tačniji i efikasniji od ljudi. Oblast električnih merenja, nekada tradicionalno analogna, vezna za stvarni ili prividni kontinuum fizičkog sveta koji nas okružuje, u procesu digitalizacije nije bila izuzetak. Nekada karakterisana mukotrpnim radom koji je zahtevao vredne i uporne, nakon automatizacije vrednoće i upornosti oblast merenja je postala zanimljiva i za drugačiji tip ljudi. Ideje su postale važnije od mukotrpног rada, postalo je lako realizovati ih pošto je mukotrpni rad preuzeo računar.

Kvantni skok u razvoju računarske tehnologije je predstavljalo umrežavanje koje je nastalo kao rezultat povezivanja računarstva sa telekomunikacijama. Računari su dobili mogućnost da međusobno razmenjuju podatke, postali su moćniji jer su počeli da sarađuju. Umreženi računari su danas osnov svih savremenih mernih sistema. Rezulat merenja je podatak, a sve podatke ljudi danas čuvaju i obrađuju u svom računaru; merni uređaj je danas računar, on u digitalnoj formi prezentuje rezultat merenja. Da li je potrebno da čovek prekucava rezultat merenja sa displeja u računar? Taj posao, lišen svake kreativnosti, može biti automatizovan, a ljudski rad usmeren na kreativne poslove analize i primene rezultata merenja. Društvenih otpora svakako ima i biće ih, istorija nas uči da je početkom 19. veka postojao ludistički pokret [1], grupa ljudi se uvek buni kada razvoj tehnologije narušava njihove trenutne interese.

Velike tehnološke promene u načinu obrade podataka su oblast merenja učinile još značajnijom. Merenja su veza analognog sveta koji nas okružuje sa digitalnim svetom računara, koji u osnovi jedino što može da radi je obrada celih brojeva u binarnom zapisu, ma kakvu interpretaciju im dali, poput „floating point“ ili simboličkog zapisu $\sqrt{2}$. Da bi računari mogli da obrađuju podatke, potrebni su im podaci, a oni su rezultat merenja. Tako su merenja postala prisutnija i značajnija nego ikada, kao veza između fizičkog sveta i podataka o njemu, koje sve više, po sve manjoj ceni, obrađuju računari. Računari su merenjima dali nov kvalitet, metodi koji nisu mogli biti primenjeni ranije se sada rutinski koriste, pošto je obrada podataka automatizovana, drastično ubrzana i postala jeftina. Snimanje frekvencijske zavisnosti impedanse zvučnika koje obuhvata četiri miliona merenja napona i obradu dobijenih podataka se danas automatski obavi za desetak minuta. Na ljudima je da smisle algoritam, razumeju i iskoriste rezultat. Težak, dosadan, nekreativan posao su preuzeли računari. Ljudi za te poslove više nisu potrebnii.

U svetu svih ovih promena, valjalo je promeniti i laboratorijske vežbe iz predmeta Električna merenja i prilagoditi ih vremenu u kome živimo i radimo. Laboratorijske vežbe koje su pred vama su rezultat takvog napora. Vežbe su prilagođene opremi koja je dostupna u Laboratoriji za elektroniku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, koja se u našim uslovima može smatrati za savremenu i sasvim dovoljnju da se uspešno ilustruju svi principi savremenih merenja. Gde je to opravdano, obrada podataka se obavlja primenom računara uz isključivu primenu slobodnog softvera. Vežbe su koncipirane tako da studenti ovladaju ne samo električnim merenjima, već i nizom propratnih veština neophodnih za uspešan rad u laboratoriji, poput povezivanja kola i rada na računaru. Osim toga, nastojano je da predmet Električna merenja prati predmet Teorija električnih kola i ilustruje na fizičkim objektima koncepte koji se tamo predaju. Očekuje se da će ovakva sprega doneti nov kvalitet i oba predmeta učiniti zanimljivijim.

Ovaj priručnik za laboratorijske vežbe je predviđen za čitanje na elektronskim uređajima, kada su svi hyperlinks [2] aktivni, pa se stoga štampanje ne preporučuje, osim u svrhe doku-

mentovanja kada se štampanje zahteva.

U izradi teksta je korišćen isključivo slobodni softver [3], pre svega procesor teksta L^AT_EX [4]. Električne šeme su nacrtane koristeći program XCircuit [5]. Za crtanje dijagrama je uglavnom korišćena biblioteka matplotlib za programski jezik Python [6], dok je za izradu pojedinih slika korišćen i program gnuplot [7], kada je to bilo primereno.

U skladu sa softverom koji je korišćen i stavom da poslovne modele proizvodnje materijalnih objekata nije dobro generalizovati na sve oblike ljudskog stvaralaštva, ovaj priručnik je izdat pod Creative Commons [8] Autorstvo — Deliti pod istim uslovima (Attribution-ShareAlike — CC BY-SA) licencom [9]. Dakle, priručnik je slobodno i besplatno dostupan svima koji žele da uče, u nadi da će ih stečena znanja radovati i učiniti sposobnijim.

Sadržaj ovog priručnika je dostupan na sajtu predmeta Električna merenja, za koji je namenjen, u formi podeljenoj po vežbama. U takvoj formi će na sajtu i ostati, u takvoj formi će ga studenti i koristiti. Izdanje u jednom volumenu je nastalo iz potrebe za arhiviranjem i administrativnim dokumentovanjem sadržaja.

Za realizaciju ovih laboratorijskih vežbi pre svih treba da se zahvalim koleginicama Aleksandri Pavasović i Jeleni Popović-Božović, koje su tri godine svoje karijere posvetile Tempus JEP 17028-02 projektu koji je u najvećoj meri oblikovao sadašnju Laboratoriju za elektroniku i obezbedio neophodnu opremu. Takođe, veliku zahvalnost dugujem i kolegama Dušanu Ćurapovu i Vladanu Božoviću, koji su vrednim i savesnim radom omogućili da se formirana Laboratorija za elektroniku održi i koji su kroz rad sa studentima obezbeđivali povratnu informaciju o rezultatima nastave koju držim i davali sugestije za unapređenja. Osim toga, kolega Vladan Božović je velikim angažovanjem u svojstvu rukovodioca Laboratorije za elektroniku presudno uticao na očuvanje i obnavljanje laboratorijske opreme. Izuzetnu zahvalnost dugujem i kolegi Milanu Bjelici, s kojim sam imao niz korisnih razgovora i uspešnu saradnju na temu primene računara u električnim merenjima i koji je inspirisao i delom koncipirao vežbu broj 8. Sličnu vežbu kolega Bjelica ima u nastavnom planu predmeta Telekomunikaciona merenja koji drži na Modulu za telekomunikacije. Osim toga, kolega Bjelica mi je skrenuo pažnju na mogućnosti Python modula vxi11. Posebnu zahvalnost dugujem i kolegi Lazaru Saranovcu, koji mi je u jednom razgovoru skrenuo pažnju na administrativnu mogućnost da odvojim predavanja i laboratorijske vežbe na Modulu za elektroniku i time neometano izvodom nastavu u skladu sa svojim mišljenjem i ubeđenjima, bez kompromisa kojima nikada nisam bio sklon.

U Beogradu, 19.01.2018. godine,

Autor

Bezbednost i pravila ponašanja u laboratoriji za elektroniku

Ovaj priručnik moramo da započnemo ne naročito popularnom i zanimljivom, ali izuzetno važnom temom: bezbednošću na radu u laboratoriji. Ova tema je stavljena na prvo mesto zato što i jeste uvek na prvom mestu, mnogo pre tačnih rezultata i uspešnih eksperimenata: **najvažnije je da rad u laboratoriji bude bezbedan.**

U okviru mera za bezbedan rad u laboratoriji od studenata se ne očekuje veliko predznanje. Osnovno što se očekuje je da se studenti ponašaju pristojno i razumno, da slede uputstva, da budu odgovorni, razmišljaju o bezbednosti, imaju u vidu da u laboratoriji nisu sami, ne dižu buku i ne uz nemiravaju kolege od kojih neki možda rade na uređajima sa visokim naponom. Rad u laboratoriji počinje samim ulaskom u laboratoriju, prolaskom kroz vrata prostorije 39. Od studenata se očekuje da vode računa o sebi i drugima.

Posebna uputstva u oblastima za koje se prepostavlja da se studenti sa njima prvi put sreću i/ili u njima nemaju dovoljno iskustva će studentima dati dežurni koji rukovode radom u laboratoriji. Njihova uputstva su studenti dužni da slede. Dežurni će studentima skrenuti pažnju na potencijalne opasnosti.

Bezbednost rada na fakultetu je regulisana i sledećim dokumentima:

1. Pravilnikom o bezbednosti i zdravlju na radu [10]
2. Pravilnikom o organizaciji zaštite od požara [11]
3. Pravilnikom o disciplinskoj odgovornosti studenata Univerziteta u Beogradu [12].

Osim navedenih dokumenata, pravila rada u Laboratoriji za elektroniku i obaveštenja vezana za laboratorijske vežbe se mogu naći na sajtu Laboratorije za elektroniku [13], gde pre svega treba proučiti Pravila o bezbednosti i ponašanju u laboratoriji [14]. Takođe, na sajtu Laboratorije za elektroniku se mogu naći i neka uputstva za korišćenje raspoloživih instrumenata na srpskom jeziku.

I da zaključimo: **najvažnije je da rad u laboratoriji bude bezbedan.**

Instrumenti i oprema u Laboratoriji za elektroniku

U ovom poglavlju će biti ukratko opisani osnovni instrumenti i oprema sa kojima će se studenti sretati u Laboratoriji za elektroniku tokom izrade laboratorijskih vežbi iz predmeta Električna merenja. Za sve navedene instrumete je moguće na Internetu pronaći uputstva proizvođača. Uputstva su obimna, tipično nekoliko stotina stranica, pa se ne očekuje da ih studenti detaljno čitaju, ali predstavljaju izvor iz koga će ponekad biti potrebno uzeti neki podatak. Od studenata se očekuje da se prema instrumentima odgovorno odnose.

Multimetri

Multimetri su univerzalni instrumenti za merenje napona, struje i električne otpornosti. Neki multimetri imaju dodatne mogućnosti poput zvučne indikacije postojanja kontakta, merenja napona na direktno polarisanom pn spoju, merenja kapacitivnosti, merenja strujnog pojačanja bipolarnih tranzistora, pa čak i merenja temperature. U predmetu Električna merenja studenti će koristiti multimetre Fluke 111 i DT-838.

Fluke 111 True RMS Multimeter

Multimetar Fluke 111 je prikazan na slici 1, a na Internetu je dostupno i njegovo originalno uputstvo za upotrebu [15]. Multimetar Fluke 111 može da se koristi za merenje jednosmernog i naizmeničnog napona, jednosmerne i naizmenične struje, električne otpornosti, kapacitivnosti, frekvencije, ispitivanje povezanosti (uz zvučnu indikaciju) i ispitivanje pn spojeva. Rezultat merenja je jedan broj koji se očitava sa displeja ili jedan bit informacije u slučaju ispitivanja povezanosti. Multimetar ima automatsko podešavanje opsega za merenje struje, napona i električne otpornosti, mada je moguće i ručno specificirati opseg na kome se merenje vrši. Za neke primene u predmetu Električna merenja ovaj instrument ima nedovoljnu rezoluciju i tačnost merenja malih jednosmernih struja, pa će u tim slučajevima biti korišćeni drugi instrumenti.



Slika 1: Multimetar Fluke 111.



Slika 2: Multimetar DT-838.

DT-838 Digital Multimeter

Multimetar DT-838 je prikazan na slici 2, a kratko uputstvo za upotrebu je moguće pronaći indirektno, na sajtu prodavca [16]. Multimetar DT-838 može da se koristi za merenje jednosmernog napona, naizmeničnog napona, jednosmerne struje, električne otpornosti, ispitivanje pn spojeva, zvučnu indikaciju povezanosti, temperature i strujnog pojačanja (h_{FE}) bipolarnih tranzistora. Kod ovog instrumenta se opseg merenja podešava ručno, a instrument nema mogućnost merenja naizmeničnih struja. U cilju proširenja opsega instrumenta, u vežbi 6 će biti obrađeni ispravljači.

Multimetar RTO-1035N

Multimetar Multimetar RTO-1035N je prikazan na slici 3. Multimetar RTO-1035N može da se koristi za merenje jednosmernog napona, naizmeničnog napona, jednosmerne struje, električne otpornosti, ispitivanje pn spojeva i strujnog pojačanja (h_{FE}) bipolarnih tranzistora. Za razliku od multimetra DT-838, nema mogućnost za zvučnu indikaciju povezanosti, ni mogućnost za merenje temperature. I kod ovog instrumenta se opseg merenja podešava ručno, a instrument nema mogućnost merenja naizmeničnih struja. Po funkcionalnosti je sličan digitalnom multimetru DT-838, pa će se za laboratorijske vežbe iz Električnih merenja ovi instrumenti koristiti kao ekvivalentni jedan drugom, a konkretna postavka vežbe će zavisiti od raspoloživosti pojedinih instrumenata.

Izvor jednosmernog napona

U Laboratoriji za elektroniku na svakom radnom stolu je dostupan izuzetno kvalitetan izvor jednosmernog napajanja Agilent E3630A, prikazan na slici 4. Uredaj u sebi sadrži tri nezavisna izvora napajanja, jedan napona do približno (\approx) +6 V, jedan napona do \approx +20 V i jedan napona od \approx -20 V do 0 V. Sva tri izvora su vezana na zajedničku tačku referentnog potencijala (masu), a ona je dostupna na crnoj priključnici (buksni) na instrumentu, vidljivoj na slici 4. Na zelenoj priključnici je izvedeno uzemljenje na koje je uređaj povezan preko kabla kojim se dovodi naizmenično napajanje. Na tri crvene priključnice se nalaze pristupi samim izvorima za



Slika 3: Multimetar RTO-1035N.

napajanje. Na instrumentu su vidljiva i tri potenciometra kojima se regulišu naponski nivoi. Naponski nivo izvora do $\approx +6$ V se reguliše direktno, dok se dva izvora $\approx \pm 20$ V simultano regulišu po apsolutnoj vrednosti okretanjem potenciometra označenog sa ± 20 V. Osim toga, izvor napajanja -20 V je moguće podešavati potenciometrom **Tracking ratio** u opsegu od nule, čemu odgovara krajnji levi položaj, do vrednosti specificirane potenciometrom za zajedničku regulaciju (± 20 V) čemu odgovara krajnji desni zaključani položaj (locked position). Uređaj u sebi sadrži i voltmeter i ampermetar koji izborom odgovarajućeg prekidača (push button) prikazuje napon i struju izabranog izvora. Takođe, uređaj u sebi sadrži i strujnu zaštitu koja ograničava izlaznu struju na oko 1 A na izvoru od $+6$ V i na oko 0.6 A na izvorima od ± 20 V. Detaljno uputstvo [17] za opisani uređaj se može naći na Internetu, na priloženom linku.

Generator signala

Na slici 5 je prikazan generator signala Agilent 33220A koji je dostupan na svakom radnom stolu u Laboratoriji za elektroniku. Instrument služi kao izvor napona različitih talasnih oblika, frekvencije u rasponu od jednosmernog napona do 20 MHz. Detaljno uputstvo [18] se može naći na priloženom linku.

Generator signala Agilent 33220A na prednjoj ploči ima displej na kome se prikazuju izabrani parametri, niz specijalizovanih tastera, kao i niz multifunkcionalnih tastera čija je funkcija uslovljena kontekstom i stanjem u kome se generator u datom trenutku nalazi, a označena je na displeju. Na prednjoj ploči se nalaze i dva BNC [19] priključka, jedan označen sa **Output** preko koga se pristupa izlaznom signalu generatora i **Sync** preko koga se može pristupiti signalu za eksternu sinhronizaciju osciloskopa, što će biti korišćeno u više vežbi. Generator signala ima unutrašnju otpornost od 50Ω , što treba imati u vidu kod očitavanja vrednosti napona koje se prikazuju na displeju. Naime, moguće je na displeju prikazati dve vrednosti napona, u zavisnosti od impedanse koja je priključena na izlaz. Ukoliko je izabrana opcija **HIZ** (high impedance) prikazana je vrednost napona na idealnom naponskom izvoru koji je deo generatora, na red sa kojim je povezana izlazna otpornost od 50Ω . Ta vrednost odgovara izlaznom naponu samo ako je struja kojom se izvor opterećuje mala, tako da izlazna struja pomožena sa 50Ω daje



Slika 4: Izvor jednosmernog napona.

napon koji je zanemariv u poređenju sa generisanim naponom. Ukoliko je izabrana opcija za impedansu potrošača od 50Ω , tada se na displeju prikazuje stvaran napon na potrošaču, ali samo pod pretpostavkom da je impedansa kojom se opterećuje izlaz generatora 50Ω . Ta vrednost je dva puta manja od vrednosti koja se prikazuje u HiZ slučaju.

Izbor tipa generisanog signala se vrši pritiskom na taster za izbor odgovarajućeg signala, opcije su **Sine**, **Square**, **Ramp**, **Pulse**, **Noise** ili **Arb(bitrary)**. Izabranu opciju označava pozadinsko osvetljenje odgovarajućeg tastera. Takođe, pritiskom na taster **Output** je moguće isključiti i uključiti generator izlaznog signala. Izbor parametara generisanih signala se vrši multifunkcionalnim tasterima koji se nalaze neposredno ispod displeja i čija funkcija zavisi od konteksta. Same numeričke vrednosti parametara se mogu uneti preko numeričke tastature (bolja opcija imajući u vidu trajnost generatora) ili preko obrtnog multifunkcionalnog dugmeta (točkića) (u malo verovatnom slučaju da je još uvek u funkciji) i dva tastera za izbor cifre koji se nalaze neposredno ispod njega, na desnoj strani prednje ploče instrumenta.

Osim navedenih osnovnih funkcija, generator signala ima i niz dodatnih mogućnosti, poput generisanja modulisanih signala, od kojih će neke biti korištene u laboratorijskim vežbama.

Valja napomenuti da je opisanim generatorom signala moguće upravljati preko računara. U tom cilju instrument na zadnjoj ploči ima priključke za USB, LAN i GPIB interfejse. Takođe, instrument je u saglasnosti sa LXI [20] standardom i podržava SCPI [21] komande, o čemu će biti više reči u vežbi broj 3.

Osciloskopi

Osciloskop Tektronix TDS 1002

Prethodnih godina je na svakom radnom stolu u Laboratoriji za elektroniku bio dostupan digitalni osciloskop Tektronix TDS 1002 opremljen modulom za komunikaciju sa računaram i odgovarajućim sondama, prikazan na slici 6. Uvođenjem novih osciloskopa, TDS 1002 se zadržao na nekim stolovima i stoga je potrebno poznavati i rad sa ovim osciloskopom. Detaljno



Slika 5: Generator signala.



Slika 6: Osciloskop Tektronix TDS 1002.

uputstvo za primenu osciloskopa i detaljno uputstvo za programiranje je moguće naći na sajtu proizvođača, kao i na alternativnim univerzitetskim sajtovima, gde se mogu naći uputstvo za upotrebu [22] i uputstvo za programiranje [23].

Izučavanje principa rada i primene osciloskopa je važan deo kursa iz Električnih merenja, čemu je posvećen poseban priručnik [24] u kome je ova tema detaljno razrađena.

Osciloskop Tektronix TBS 1052B-EDU

Od školske 2017/2018 godine, laboratorijske vežbe iz predmeta Električna merenja se izvode na stolovima na kojima je postavljen osciloskop Tektronix TBS 1052-EDU. Komande su veoma slične komandama prethodno korišćenog osciloskopa Tektronix TDS 1002, programiranje je gotovo identično, a dodatne mogućnosti se ogledaju u znatno bržoj komunikaciji sa računarom, prvenstveno u pogledu prenosa slike sa ekrana osciloskopa. Osciloskop Tektronix TBS 1052-EDU je prikazan na slici 7, a uputstvo je moguće pronaći na sajtu proizvođača ili na alternativnom univerzitetском sajtu [25]. Slično, detaljno uputstvo za programiranje je moguće naći na sajtu proizvođača ili na alternativnom univerzitetском sajtu [23].

Raspored komandi kod osciloskopa TBS 1052-EDU je veoma sličan rasporedu komandi osciloskopa TDS 1002, princip rada je isti, a osnovna razlika u komandama je postojanje višenamenskog **Multipurpose** dugmeta vidljivog na slici 7 u gornjem levom uglu table sa komandama. U slučaju pojave menija sa više opcija na ekranu osciloskopa, željena opcija se bira okretanjem **Multipurpose** dugmeta, a potvrđuje se pritiskom na njega.

Protobord

Protobord (protoboard, breadboard, eksperimentalna šasija) je objekat namenjen lakom povezivanju električnih kola u cilju brze i jeftine provere njihovog funkcionisanja. Široko se koristi na svim laboratorijskim vežbama koje se odvijaju u Laboratoriji za elektroniku. Tipičan protobord koji se u laboratoriji koristi je prikazan na slici 8. Sastoji se od plastične ploče (ploče od izolacionog materijala) u kojoj se nalaze otvor i spod kojih se nalaze šine koje prihvataju



Slika 7: Osciloskop Tektronix TBS 1052B-EDU.

krajeve elektronskih komponenata i međusobno povezuju neke od otvora. Takođe, na protobordu se nalaze i priključnice (buksne) preko kojih se dovode napajanje i potrebni signali iz generatora signala. Takođe, priključnice se mogu koristiti i za izvođenje pristupa pojedinim čvorovima u kolu.

Povezanost otvora na protobordu je tipičan primer problema koji je težak za opisivanje rečima, a lak za pokazivanje na samom objektu. Stoga je utvrđivanje povezanosti otvora jedan od zadataka u vežbi broj 1, a pomoć u utvrđivanju povezanosti će studentima pružiti i dežurni na laboratorijskim vežbama.

Računar

Važan uređaj za modernizaciju laboratorijskih vežbi iz Električnih merenja je računar koji se koristi za obradu podataka i za upravljanje instrumentima. Za potrebe predmeta Električna merenja je usled ograničenja uslovljenih dostupnom računarskom opremom za operativni sistem izabran Linux Mint [26] sa grafičkim okruženjem MATE [27]. Ovakav izbor je napravljen imajući u vidu da se na predmetu Softverski alati u elektronici koristi operativni sistem Ubuntu [28], koji je GNU/Linux distribucija iz koje je izведен Linux Mint, sa kojom je veoma srođan. Osim toga, Linux Mint ima klasičan korisnički interfejs (desktop environment) sa kakvim su studenti već navikli da rade. Izgled korisničkog interfejsa Linux Mint MATE operativnog sistema je prikazan na slici 9.

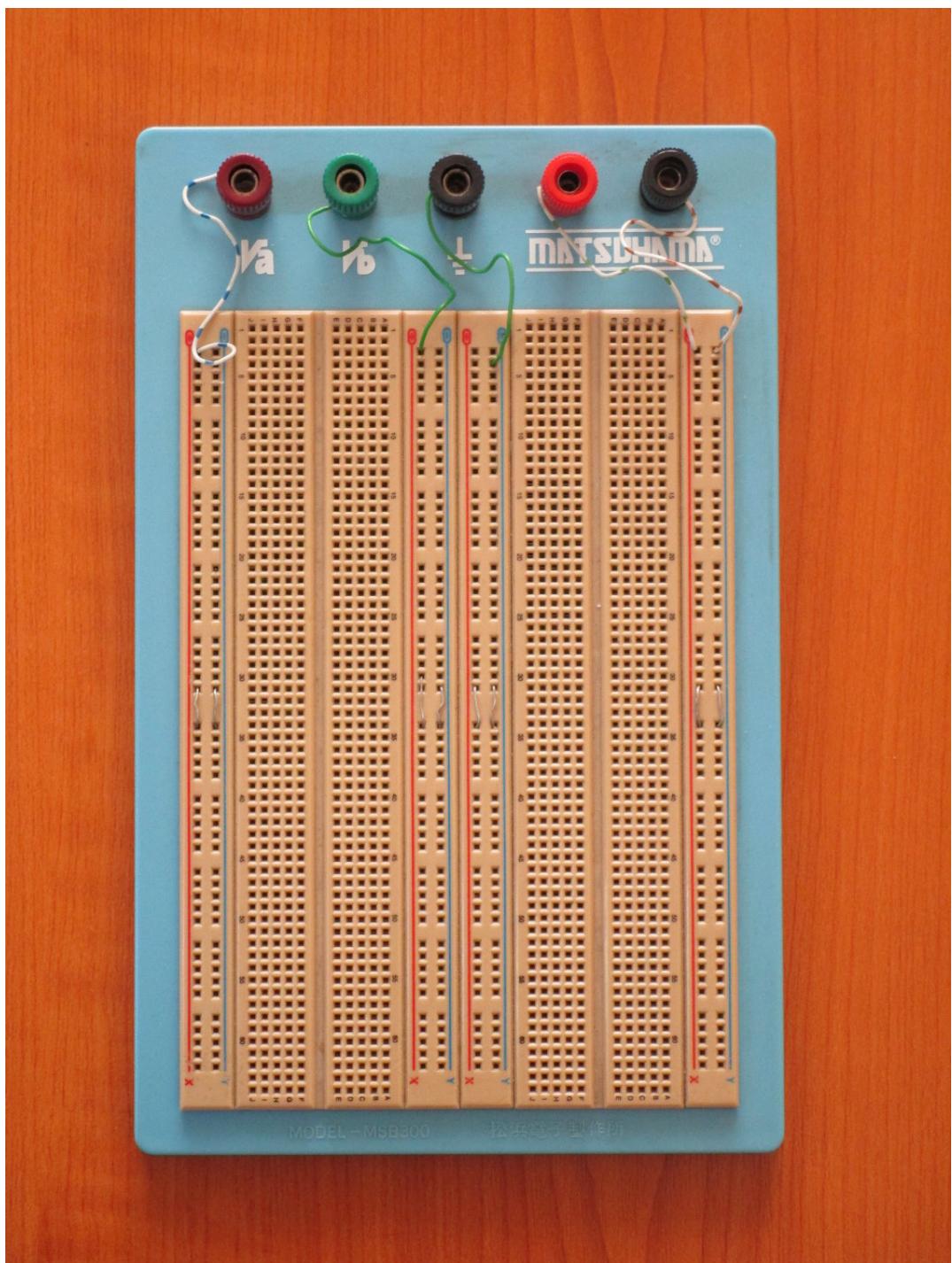
Osim operativnog sistema, u okviru predmeta Električna merenja će se koristiti programski paket LibreOffice [29] za dokumentovanje i obradu rezultata i programski jezik Python [6] sa modulima koje uključuje PyLab [30] okruženje, kao i moduli koji podržavaju komunikaciju sa instrumentima, python-usbtmc [31] koji podržava komunikaciju preko USB porta korišćenjem usbtmc protokola [32] i modul python-vxi11 [33] koji podržava komunikaciju po LXI [20] protokolu. O svemu ovome će više reći biti u vežbi broj 3, kada će biti obrađene i SCPI komande [21] za komunikaciju sa instrumentima i automatizaciju merenja. Potrebno je napomenuti da su SCPI komande javno dostupni nizovi ASCII [34] znaka, pa je za komunikaciju sa instrumentima moguće koristiti bilo koji programski jezik. Za potrebe ovog predmeta je izabran Python, jer se izvršava u interpretatoru, pa nije potrebno prevodenje, jednostavan je, moderan, popularan, a sam interpretator i svi moduli koji se koriste su slobodan softver. Za potrebe predmeta Električna merenja detaljno poznavanje programskog jezika Python nije potrebno, a zainteresovani studenti mogu naći više materijala na sajtu predmeta Softverski alati u elektronici [35].

Od studenata se očekuje da ne menjaju podešene parametre operativnog sistema, koji su uglavnom postavljeni na default settings. Neka opcija koja nekom od studenata odgovara, ne odgovara nužno i nekom drugom, pošto je to stvar ukusa, a o ukusima ne treba raspravljati. Dakle, bez ikakve rasprave: **ne menjajte postavljena podešavanja**.

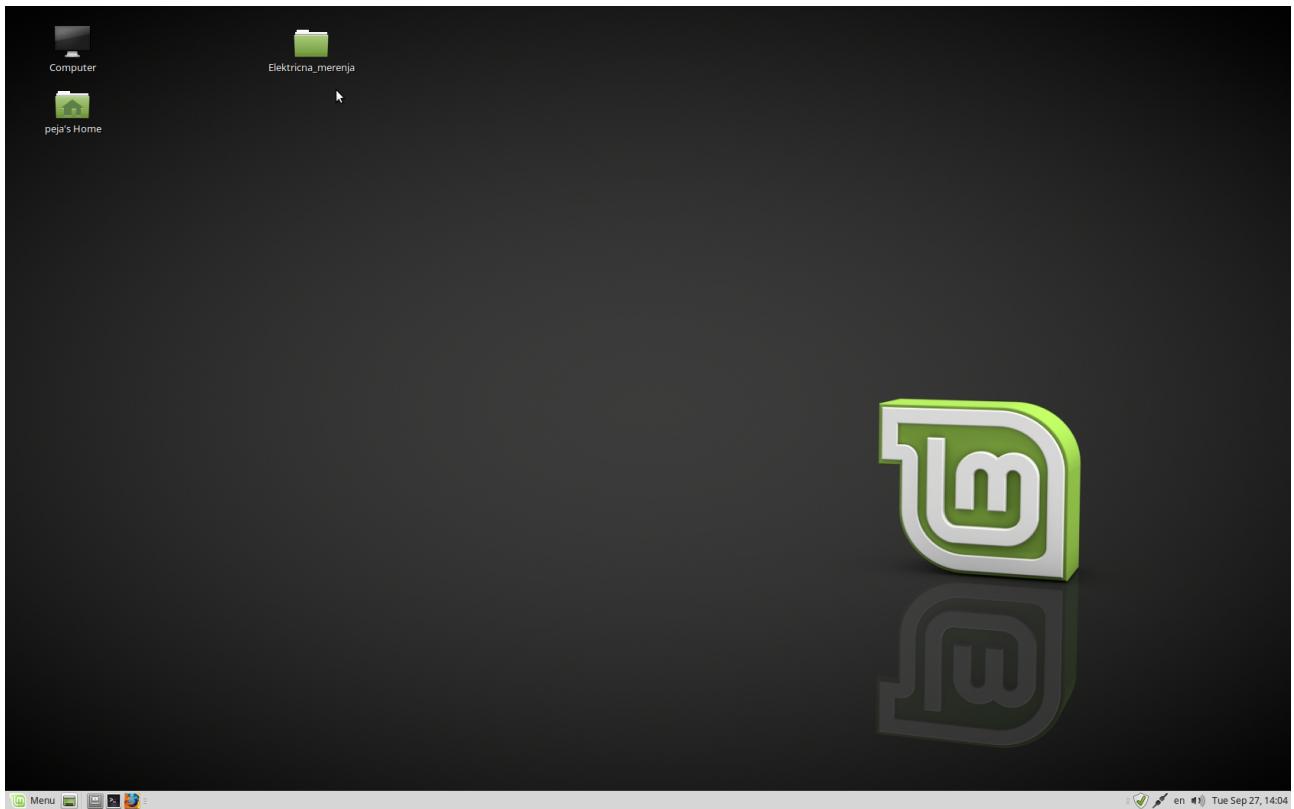
Softver za vežbe

Kako je već naglašeno, u laboratorijskim vežbama naglasak je stavljen i na primenu računara za akviziciju i obradu rezultata merenja, kao i za automatizaciju pojedinih mernih postupaka. Softver za vežbe je napisan u programskom jeziku Python [6], a izdat je pod licencom GPLv3, [36, 37], pa je slobodan softver [3]. Softver za vežbe se može naći na:

1. softver za vežbu 1: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-1.zip> [38]
2. softver za vežbu 2: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-2.zip> [39]
3. softver za vežbu 3: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-3.zip> [40]
4. softver za vežbu 4: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-4.zip> [41]



Slika 8: Protobord.



Slika 9: Linux Mint MATE, desktop.

5. softver za vežbu 5: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-5.zip> [42]
6. softver za vežbu 6: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-6.zip> [43]
7. softver za vežbu 7: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-7.zip> [44]
8. softver za vežbu 8: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-8.zip> [45]
9. softver za vežbu 9: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-9.zip> [46].

Osim softvera za vežbe, na sajtu predmeta su dostupne i dve klase za komunikaciju sa osciloskopima, putem USB veze (koristi se trenutno na vežbama) i putem RS-232 veze (koristilo se ranije na vežbama), koje mogu biti od koristi studentima u daljem radu:

1. klasa za komunikaciju sa osciloskopom Tektronix TBS 1052B-EDU korišćenjem USB veze: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/oscusb.py> [47]
2. klasa za komunikaciju sa osciloskopima Tektronix TDS 210, TDS 220, TDS 1002, TPS 2024, ... korišćenjem RS-232 veze: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/oscrs232.py> [48].

Takođe, dostupan je i shell script za instalaciju softvera koji podržava komunikaciju po usbtmc [32] protokolu primenom programskog jezika Python: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/usbtmcinstall.zip> [49].

Za uspešnu realizaciju vežbi, od studenata se očekuje elementarno poznavanje programa Calc iz programskog paketa LibreOffice [29].

ELEKTRIČNA MERENJA
— laboratorijske vežbe —

Vežba broj 1

Multimetar, izvor jednosmernog napona i protobord

ime i prezime: _____

broj indeksa: _____

grupa: _____

datum: _____

vreme: _____

ocena: _____

dežurni: _____

1 Multimetar, izvor jednosmernog napona i protobord

1.1 Potrebni instrumenti i pribor

1. Fluke 111 True RMS Multimeter (Fluke 111 A)
2. Fluke 111 True RMS Multimeter (Fluke 111 B)
3. digitalni multimetar RTO-1035N
4. izvor jednosmernog napona Agilent E3630A
5. računar, operativni sistem Linux Mint, LibreOffice, Python, PyLab, softver za vežbu 1
6. protobord
7. otpornik $4.7\text{ k}\Omega$
8. provodnici sa bananskim utikačima, 6 komada
9. žice za povezivanje na protobordu, 3 komada
10. studenti treba da imaju USB flash drive kako bi sačuvali rezultate merenja

1.2 Opis i ciljevi vežbe

Vežba sadrži nekoliko zadataka: utvrđivanje povezanosti na protobordu, međusobno merenje karakteristika multimetara, poređenje voltmetara i merenje otpornosti. Studenti treba da ustanove povezanost otvora na protobordu, izmere unutrašnju otpornost voltmetra i ampermetera, mere napon primenom četiri voltmetra i uoče da oni ne pokazuju iste vrednosti iako mere isti napon, da korelišu pokazivanja voltmetara, da mere otpornost merenjem struje i napona i odrede otpornost metodom najmanjih kvadrata prepostavljajući linearnu vezu između struje i napona, kao i da mere električnu otpornost omjetrom. Deo vežbe koji se odnosi na obradu podataka obuhvata korišćenje programa LibreOffice Calc za unošenje podataka u tabele, kao i primenu gotovih programa za modelovanje zavisnosti dve promenljive primenom linearne regresije. Teorijski osnovi za ovu vežbu su obrađeni u prethodnim kursevima fizike i osnova elektrotehnike, a u samoj vežbi je naglasak na praktičnom radu i upoznavanju sa konkretnim instrumentima i njihovim osobinama.

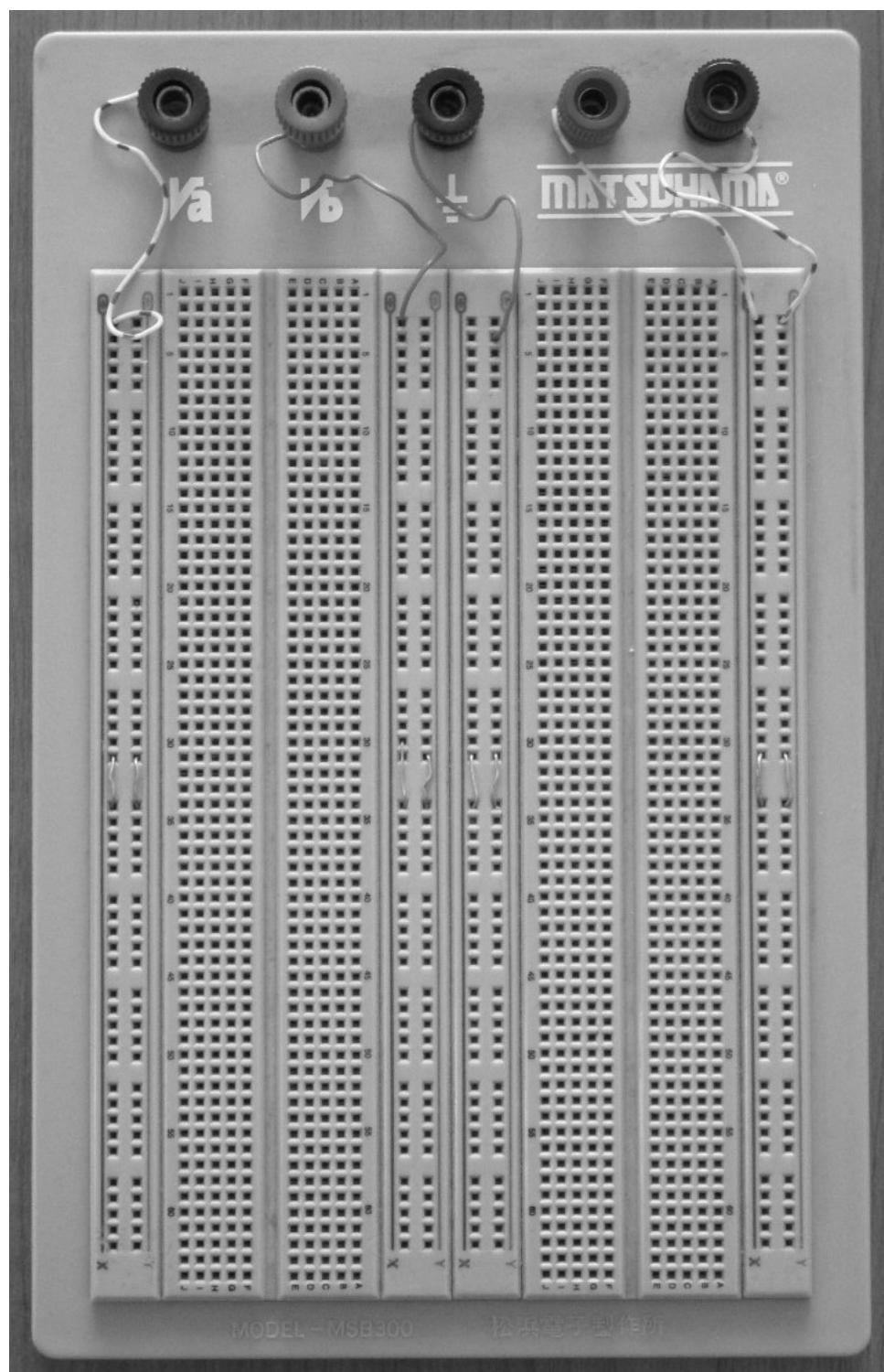
Aktivnosti koje daju rezultat koji se dokumentuje označene su sa , gde treba staviti oznaku kada je aktivnost završena.

1.3 Zadatak

1.3.1 Povezanost na protobordu i zvučna indikacija kontakta kod multimetra

Multimetar Fluke 111 postavljanjem preklopnika za izbor funkcije postaviti na zvučnu indikaciju kontakta. Pomoću dva provodnika sa bananskim utikačima povezati instrument i protobord. Napomena: provodnike koji su već postavljeni na protobordu i povezuju priključnice (buksne) i protobord, kao i već postavljene neizolovane provodnike koji povezuju pojedine pinove na protobordu, smatrati sastavnim delom protoborda i ne pomerati ih! U nekoliko eksperimenata proveriti povezanost otvora na protobordu. Kod dežurnog proveriti zaključke. Skicirati povezanost otvora na slici 10 .

U ovom delu vežbe je potrebno imati u vidu i koja je namena protoborda zbog koje je način povezivanja otvora nužno jednostavan i intuitivan. Metod grube sile (“brute force method”) bi dao egazaktan odgovor o povezanosti, ali bi zahtevaо velik broj merenja. Pitanje za



Slika 10: Protobord.

Tabela 1: Unutrašnja otpornost voltmetra

instrument	opseg	Fluke 111 A	Fluke 111 B	RTO-1035N
Fluke 111 A	DCV	—		
	ACV	—		
Fluke 111 B	DCV		—	
	ACV		—	
RTO-1035N	DCV 200 m			—
	DCV 2			—
	DCV 20			—
	DCV 200			—
	DCV 600			—
	ACV 200			—
	ACV 600			—

razmišljanje: ako je svaki otvor povezan sam sa sobom i ako je relacija povezanosti „relacija ekvivalencije“ (ako je otvor A povezan sa otvorom B, onda je i otvor B povezan sa otvorom A, što ne treba proveravati), koliko je merenja potrebno za dati protobord da bi se u potpunosti eksperimentalno verifikovala povezanost otvora? Ako svako merenje traje 5 sekundi, koliko je radnog vremena potrebno da se povezanost u potpunosti eksperimentalno proveri?

1.3.2 Unutrašnja otpornost voltmетra

U ovom delu vežbe potrebno je izmeriti unutrašnju otpornost svakog od multimetara na svakom od raspoloživih opsega za merenje napona koristeći preostala dva raspoloživa multimetra kao om metre. Rezultate treba prikazati u tabeli 1 □. Posmatrati pokazivanje na voltmetrima tokom merenja njihove unutrašnje otpornosti. Pitanje za razmišljanje: šta to pokazivanje predstavlja?

1.3.3 Otpornost kratke i otvorene veze

Jednim provodnikom sa bananskim utikačima kratko spojiti pristupe multimetru koji se koriste za merenje otpornosti. Izmeriti otpornost takve veze (R_{01}) i zapisati je u tabeli 2 za sva tri multimetra □.

Postaviti dva provodnika sa bananskim utikačima na pristupe za merenje otpornosti multimetra tako da se sa ta dva provodnika može pristupati otpornicima i meriti otpornost. Slobodne krajeve provodnika kratko spojiti. Izmeriti otpornost takve veze (R_{02}) i zapisati je u tabeli 2 za sva tri multimetra □. Pitanje za razmišljanje: da li su za R_{02} dobijene očekivane vrednosti

Tabela 2: Otpornost kratke i otvorene veze

	Fluke 111 A	Fluke 111 B	RTO-1035N
R_{01}			
R_{02}			
R_∞			

Tabela 3: Unutrašnja otpornost ampermetra

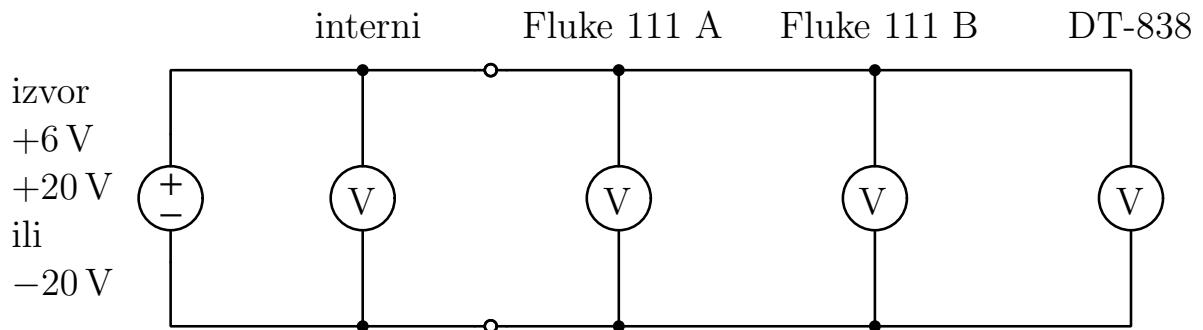
instrument	opseg	Fluke 111 A	Fluke 111 B	RTO-1035N
Fluke 111 A	DCA	—		
	ACA	—		
Fluke 111 B	DCA		—	
	ACA		—	
RTO-1035N	DCA 200μ			—
	DCA 2 m			—
	DCA 20 m			—
	DCA 200 m			—
	DCA 10 A			—

imajući u vidu rezultat merenja R_{01} ? Zašto?

Raskinuti kratku vezu između slobodnih krajeva pristupnih provodnika multimetra iz prethodnog merenja i držati rukama te krajeve. Zabeležiti izmerenu otpornost (R_∞) u tabeli 2 za sva tri multimetra □. Ako izmerena otpornost nije stabilna, zabeležiti najmanju opaženu vrednost. Pitanje za razmišljanje: ako izmerena otpornost nije stabilna (menja se) zašto do ove pojave dolazi i od čega zavisi izmerna vrednost?

1.3.4 Unutrašnja otpornost ampermetra

Za svaki od multimetara za svaki od opsega merenja struje izmeriti unutrašnju otpornost ampermetra očitavanjem sa ommetra i rezultate uneti u tabelu 3 □. Posmatrati pokazivanje na ampermetrima tokom merenja njihove unutrašnje otpornosti. Pitanje za razmišljanje: šta to pokazivanje predstavlja?



Slika 11: Poređenje voltmetara

Tabela 4: Poređenje voltmetara, opseg do +6 V, korak $\approx 1 \text{ V}$

lokalni	Fluke 111 A	Fluke 111 B	RTO-1035N

1.3.5 Izvor za napajanje i poređenje voltmetara

Povezati multimetre paralelno i povezati ih na izvor +6 V, prema šemsi sa slike 11. Pokrenuti program LibreOffice Calc. Uključiti izvor za napajanje i počevši od nule u koracima od oko 1 V menjati napon generatora do maksimalno moguće vrednosti. Zapisati rezultate merenja napona u tabelu tako da u prvoj koloni bude pokazivanje voltmetra na izvoru za napajanje, u drugoj koloni pokazivanje na multimetru Fluke 111 A, u trećoj koloni pokazivanje na multimetru Fluke 111 B i u četvrtoj koloni pokazivanje na multimetru RTO-1035N, kako je predviđeno u tabeli 4, koju treba popunjavati paralelno sa popunjavanjem tabele u programu Calc. Popuniti tabelu 4 □. Podatke iz tabele formirane u programu Calc sačuvati u fajlovima 6V.ods u ods formatu i 6V.csv u csv formatu u direktorijumu vezba-1 na desktopu, u kome se nalaze i programi za obradu podataka, \home\elmer\Desktop\vezba-1 □. Uočiti razlike u pokazivanju instrumenata koji mere isti napon. Pitanje za razmišljanje: šta uzrokuje ove razlike?

Ponoviti postupak za izvor +20 V. Popuniti tabelu 5 □ i njoj odgovarajuću tabelu korišćenjem programa Calc. Tabelu dobijenu korišćenjem programa zapisati u fajlove 20V.ods u ods formatu i 20V.csv u csv formatu u direktorijumu vezba-1 □.

Ponoviti postupak za izvor -20 V. Popuniti tabelu 6 □ i njoj odgovarajuću tabelu korišćenjem programa Calc. Tabelu dobijenu korišćenjem programa zapisati u fajlove -20V.ods u ods formatu i -20V.csv u csv formatu u direktorijumu vezba-1 □.

Tabela 5: Poređenje voltmetara, opseg do +20 V, korak ≈ 1 V

Tabela 6: Poređenje voltmetara, opseg od -20 V , korak $\approx 1\text{ V}$

Tabela 7: Korelisanje pokazivanja, parametar k , izvor 6 V

	lokalni	Fluke 111 A	Fluke 111 B	RTO-1035N
lokalni	1			
Fluke 111 A		1		
Fluke 111 B			1	
RTO-1035N				1

Napomena: ako smatrate da je prikupljanje podataka dosadan i mukotrpan posao, to je dobra motivacija za vežbu 3. Ipak, svaka automatizacija merenja počinje manuelnim početnim merenjima tokom kojih se formira algoritam, kada se napravi lista koraka koji se ponavljaju.

Obrada podataka: primenom linearne regresije korelisati pokazivanja voltmetara za sva tri merenja i rezultate prikazati u tabelama od tabele 7 do tabele 12 \square . Koristiti program `lrv.py`. Program se nalazi u radnom direktorijumu `vezba-1` koji se nalazi u `Desktop` direktorijumu ispod `home` direktorijuma korisnika i pristupa mu se pokretanjem programa `terminal` u kome se unese komanda

```
cd ~/Desktop/vezba-1
```

nakon koje se pokreće program komandom

```
python lrv.py
```

koji korisnika pita za ime fajla koji treba da obradi.

Pogledati slike `6V.pdf`, `20V.pdf` i `-20V.pdf` sa grafičkim prezentacijama rezultata merenja koje program `lrv.py` generiše i ustanoviti da li su u skladu sa očekivanjima \square .

Pitanja za razmišljanje:

1. Kakva je međusobna saglasnost parametara regresije u tri posmatrana slučaja?
2. Da li se na osnovu odgovora na prethodno pitanje može argumentovano pretpostaviti da sistem za merenje napona u izvoru za napajanje ima jedan voltmetar koji se prema potrebi prevezuje na odgovarajući izlaz, ili ima tri nezavisna voltmetra?

1.3.6 Merenje otpornosti merenjem struje i napona i ommetrom

Koristeći protobord povezati kolo prema šemi sa slike 12. Pogodnim povezivanjem i podešavanjem izvora obezbediti vrednosti V_{IN} od -20 V do $+20\text{ V}$ u koracima po 1 V . Pokrenuti program LibreOffice Calc i formirati tabelu pokazivanja tako da u prvoj koloni bude pokazivanje voltmetra Fluke 111 A, u drugoj koloni pokazivanje ampermetra Fluke 111 B i u trećoj koloni pokazivanje ampermetra RTO-1035N. Dobijenu tabelu zapisati u fajlove `om.ods` i `om.csv`, u `ods` i `csv` formatu \square .

Obrada podataka: primenom linearne regresije odrediti otpornost R_{X1} u slučaju da je podatak za struju očitavanje instrumenta Fluke 111 A i R_{X2} u slučaju da je podatak za struju očitavanje instrumenta RTO-1035N \square . Koristiti program `om.py` za izračunavanje i grafičko predstavljanje rezultata. Program se nalazi u radnom direktorijumu. Pristup komandnoj liniji i programu se vrši pokretanjem programa `terminal`, promenom radnog direktorijuma i pokretanjem programa u dve komandne linije:

Tabela 8: Korelisanje pokazivanja, parametar n , izvor 6 V

	lokalni	Fluke 111 A	Fluke 111 B	RTO-1035N
lokalni	0			
Fluke 111 A		0		
Fluke 111 B			0	
RTO-1035N				0

Tabela 9: Korelisanje pokazivanja, parametar k , izvor 20 V

	lokalni	Fluke 111 A	Fluke 111 B	RTO-1035N
lokalni	1			
Fluke 111 A		1		
Fluke 111 B			1	
RTO-1035N				1

Tabela 10: Korelisanje pokazivanja, parametar n , izvor 20 V

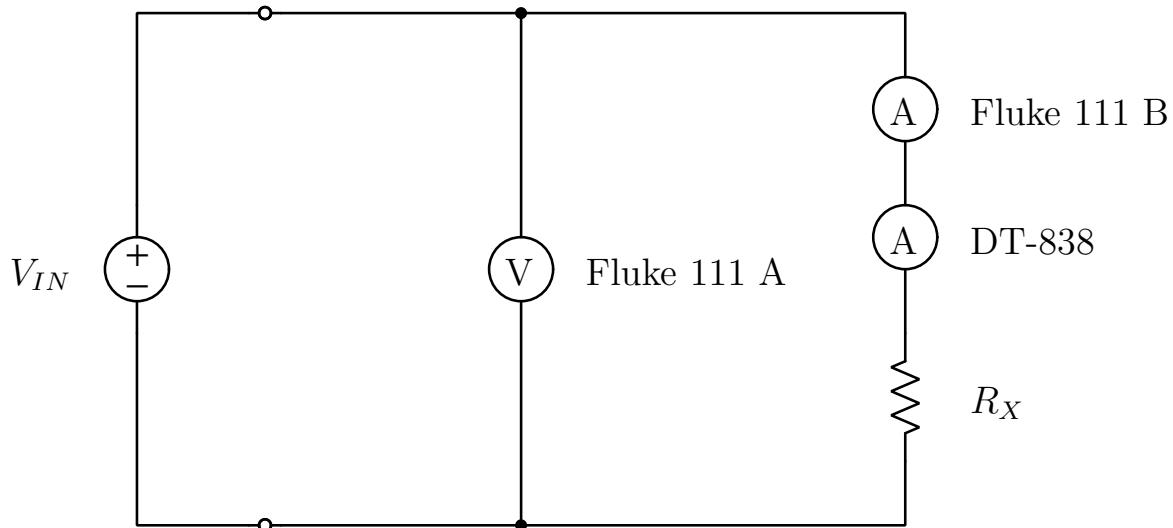
	lokalni	Fluke 111 A	Fluke 111 B	RTO-1035N
lokalni	0			
Fluke 111 A		0		
Fluke 111 B			0	
RTO-1035N				0

Tabela 11: Korelisanje pokazivanja, parametar k , izvor -20 V

	lokalni	Fluke 111 A	Fluke 111 B	RTO-1035N
lokalni	1			
Fluke 111 A		1		
Fluke 111 B			1	
RTO-1035N				1

Tabela 12: Korelisanje pokazivanja, parametar n , izvor -20 V

	lokalni	Fluke 111 A	Fluke 111 B	RTO-1035N
lokalni	0			
Fluke 111 A		0		
Fluke 111 B			0	
RTO-1035N				0



Slika 12: Merenje otpornosti.

Tabela 13: Merenje otpornosti ommetrom

	Fluke 111 A	Fluke 111 B	RTO-1035N
R_X			

```
cd ~/Desktop/vezba-1
python om.py
```

Pogledati sliku `om.pdf` sa grafičkom prezentacijom rezultata merenja koju program `om.py` generiše i ustanoviti da li je u skladu sa očekivanjima .

Pitanje za razmišljanje: da li je moguće višestrukim merenjima struje i napona izmeriti otpornost R_X čak i pomoću instrumenta Fluke 111 B sa malom rezolucijom očitavanja struje? Argumentovati odgovor.

Primenom ommetra izmeriti otpornost otpornika R_X koristeći sva tri raspoloživa instrumenta. Popuniti tabelu 13 .

1.3.7 Dokumentovanje rezultata merenja

Direktorijum `vezba-1` i njegov sadržaj iskopirati na USB flash drive i sačuvati do polaganja ispita .

ELEKTRIČNA MERENJA
— laboratorijske vežbe —

Vežba broj 2
Osciloskop i generator signala

ime i prezime: _____

broj indeksa: _____

grupa: _____

datum: _____

vreme: _____

ocena: _____

dežurni: _____

2 Osciloskop i generator signala

2.1 Potrebni instrumenti i pribor

1. osciloskop Tektronix TBS 1052B-EDU sa USB kablom
2. BNC-to-BNC kabl, 2 komada
3. sonde za osciloskop, 2 komada
4. generator signala Agilent 33220A
5. protobord
6. kondenzator kapacitivnosti $\approx 22 \text{ nF}$
7. otpornik otpornosti $10 \text{ k}\Omega$
8. žice za povezivanje na protobordu, 3 komada
9. računar sa softverom za vežbu broj 2
10. studenti treba da imaju USB flash drive kako bi sačuvali rezultate merenja

2.2 Opis i ciljevi vežbe

U vežbi se od studenata zahteva da podeše različite parametre signala na izlazu generatora i izvrše različita merenja na dobijenim signalima primenom osciloskopa. Dobijeni rezultati se dokumentuju prenošenjem podataka na računar korišćenjem odgovarajućih programa. U drugom delu vežbe od studenata se očekuje da povežu jednostavno kolo sa otpornikom i kondenzatorom i da posmatraju prelazne procese u tom kolu. Na osnovu merenja na vremenskom dijagramu napona na kondenzatoru potrebno je odrediti njegovu kapacitivnost. Cilj vežbe je da studenti ovlađaju podešavanjem generatora signala, da ovlađaju korišćenjem osciloskopa, sinhronizacijom slike, merenjima pomoću osciloskopa, kao i da steknu dodatno iskustvo u povezivanju jednostavnih kola na protobordu.

Aktivnosti koje daju rezultat koji se dokumentuje naznačene su sa \square , gde treba staviti oznaku kada je aktivnost završena.

2.3 Napomene

Na generatoru signala uočiti taster Output u donjem desnom delu prednje ploče. Taj taster služi za aktiviranje i deaktiviranje izlaza generatora signala, izlaz je aktivan kada svetli pozadinsko svetlo tastera. Tokom podešavanja generatora signala, izlaz treba da bude neaktivovan. Kada je podešavanje završeno, izlaz generatora signala treba aktivirati.

Zadavanje numeričkih parametara signala generatoru treba vršiti preko numeričke tastature u desnom delu prednje ploče.

2.4 Zadatak

2.4.1 Dokumentovanje rezultata pomoću računara

U tačkama koje slede, koristiće se dokumentovanje dijagrama sa ekrana osciloskopa, najčešće u obliku pdf fajla sa slikom ili crtežom dobijenih dijagrama. U tom cilju je prvo potrebno

pokrenuti program `terminal`, za šta je jedan od načina kliktanje na ikonu terminala u donjem levom uglu ekrana. Potom je potrebno prebaciti se u radni direktorijum, što se čini komandom
`cd Desktop/vezba-2`

Uspesnost promene direktorijuma se može proveriti analizom komandnog prompta ili komandom
`pwd`

Nakon što je postavljen radni direktorijum, potrebno je pokrenuti program `ipython` koji predstavlja interaktivno Python okruženje komandom

```
ipython --pylab
```

kojom se ujedno i importuju moduli PyLab okruženja.

U ovom delu vežbe od studenata se očekuje da uspostave komunikaciju sa osciloskopom i da prenesu po jednu sliku sa ekrana korišćenjem svakog od opisanih metoda.

Nakon što je pokrenut `ipython`, u cilju uspostavljanja komunikacije sa osciloskopom potrebno je importovati `oscusb` modul, koji definiše klasu `Oscilloscope`. Ovo se postiže komandom

```
from oscusb import *
```

Na kraju procesa inicijalizacije, potrebno je formirati objekt osciloskopa, u našem slučaju neka bude dodeljen promenljivoj `o`

```
o = Oscilloscope()
```

nakon čega će se osciloskop identifikovati ako je inicijalizacija uspešno izvršena, javljanjem identifikacione poruke poput

```
TEKTRONIX,TBS 1052B-EDU,C041038,CF:91.1CT FV:v4.06
```

Vezu sa osciloskopom je po potrebi moguće proveriti komandom

```
o.ask('*idn?')
```

ili ekvivalentnom komandom

```
o.id()
```

koja od osciloskopa zahteva da se identificuje. Više o komandama i komunikaciji sa osciloskopom će biti reči u vežbi 3.

Kada je uspostavljena veza sa osciloskopom, slika sa osciloskopa se može snimiti u pdf [50] fajl primenom metoda `getpdf` nad objektom `o` komandom

```
o.getpdf()
```

□. Rezultat izvršenja komande je fajl u radnom direktorijumu čije ime sadrži datum i vreme uzimanja slike. Preuzimanje slike sa ekrana osciloskopa je proces koji traje oko tri sekunde. Preneta slika u potpunosti odgovara kompletном sadržaju ekrana osciloskopa.

Osim pdf formata, podržani su i formati png [51], komandom

```
o.getpng()
```

□, jpeg [52], komandom

`o.getjpg()`
□ i `bmp` [53] komandom

`o.getbmp()`
□. Vreme akvizicije je malo zavisno od formata slike i iznosi oko tri sekunde po slici.

Drugi metod za prenošenje slike sa ekrana osciloskopa je crtanje peuzetih odbiraka, što se postiže primenom metoda `drawfig` nad objektom `o` komandom

`o.drawfig()`

Rezultat izvršenja ove komande su dva fajla, jedan koji sadrži dijagram sa ekrana osciloskopa i čije ime sadrži datum i vreme uzimanja snimka i drugi koji sadrži osnovna podešavanja osciloskopa, što je tekst fajl čije ime se završava sa `_settings`. Ovaj metod zahteva oko 2.5 sekundi po kanalu koji se prenosi, ali ne dokumentuje ceo ekran osciloskopa, već samo dijagrame i osnovna podešavanja. Najčešće je ovo sasvim dovoljno da se merenje dokumentuje na zadovoljavajući način.

2.4.2 Sinusoidalni napon

Podelu naponske ose osciloskopa postaviti na oba kanala na 5 V/div. Podelu vremenske ose postaviti na 10 μ s/div. Nulti nivo za kanal 1 postaviti na 2 div, za kanal 2 na -3 div. BW Limit na oba kanala postaviti na OFF. Proveriti da li su na oba kanala sonde postavljenje na naponske, sa prenosnim odnosom 1 : 1 (`Attenuation 1X`). Obezbediti da sprega na oba kanala bude DC. Izlaz generatora signala dovesti na kanal 1, izlaz za sinhronizaciju na kanal 2. Tip signala postaviti na sinusoidalni, amplitudu signala na 10 V peak-to-peak, frekvenciju signala na 20 kHz, nivo jednosmerne komponente na 0. Synchronizaciju osciloskopa postaviti na kanal 2, na ulaznu ivicu, spregu sinhronizacionog signala na DC, nivo za sinhronizaciju na 50% pritiskom na obrtno dugme `Level` (nije jasno označeno, funkcioniše poput `Multipurpose` dugmeta). Uključiti izlaz generatora signala pritiskom na dugme `Output`. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metode `getpdf` □ i `drawfig` □.

2.4.3 VAŽNO: Sinusoidalni napon, DC i AC sprega

Spregu na kanalu 1 ostaviti na DC. Podelu naponske ose na kanalu 1 postaviti na 1 V/div. Nulti nivo kanala 1 ostaviti na centralnoj osi graduacije ekrana. Podesiti podelu vremenske ose na 10 μ s/div. Na generatoru signala podesiti frekvenciju na 20 kHz, amplitudu signala na 20 mV peak-to-peak (20 mVpp), jednosmernu komponentu signala (`Offset`) na 2 V. Uključiti izlaz generatora signala i snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metod `getpdf` □.

Spregu na kanalu 1 postaviti na AC. Podelu naponske ose postaviti na 5 mV/div. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metod `getpdf` □.

Spregu na kanalu 1 vratiti na DC.

Pitanja za razmišljanje:

1. Vidi li se u prvom slučaju (DC) naizmenična komponenta signala?
2. Ako se naizmenična komponenta signala ne vidi, zašto se ne vidi?
3. Vidi li se u drugom slučaju (AC) naizmenična komponenta signala?
4. Vidi li se u drugom slučaju jednosmerna komponenta signala?
5. Da li je u slučajevima nalik ovde datom primeru signala moguće istovremeno posmatrati i jednosmernu i naizmeničnu komponentu signala na jednom kanalu osciloskopa? Zašto?

Tabela 14: Merenje intervala vremena pomoću pokazivača

	T	T_1	T_0	D
izmereno				

2.4.4 Pravougaoni napon

Podelu naponske ose osciloskopa postaviti na oba kanala na 2 V/div. Podelu vremenske ose postaviti na $1 \mu\text{s}/\text{div}$. Nulti nivo za kanal 1 i kanal 2 postaviti na 0 div. BW Limit na kanalu 1 postaviti na OFF. Isključiti kanal 2. Izlaz generatora signala dovesti na kanal 1, izlaz za sinhronizaciju na Ext Trig. Tip signala postaviti na pravougaoni (Square), minimalnu vrednost signala na 0 V, maksimalnu vrednost signala na 5 V, frekvenciju signala na 200 kHz, faktor ispunjenosti impulsa (Duty Cycle) na 60%. Sinhronizaciju osciloskopa postaviti na eksterni ulaz, na uzlaznu ivicu, spregu sinhronizacionog signala na DC, nivo za sinhronizaciju na 50% pritiskom na dugme Level. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metode `getpdf` `drawfig` .

BW Limit na kanalu 1 postaviti na ON. Ponoviti dokumentovanje rezultata za ovaj slučaj .
BW Limit na kanalu 1 vratiti na OFF.

Podelu vremenske ose postaviti na 10 ns/div. Frekvenciju generisanog signala postaviti na 20 MHz. Ponoviti merenje i dokumentovanje rezultata za oba slučaja, kada je BW Limit na kanalu 1 na OFF i kada je na ON . BW Limit na kanalu 1 vratiti na OFF .

Pitanja za razmišljanje:

1. Kakav efekat BW Limit ima na posmatrani signal u ovom slučaju?
2. Zašto su efekti u posmatrana dva slučaja bitno različiti?

2.4.5 Merenje perioda i faktora ispunjenosti impulsa korišćenjem pokazivača

Postaviti frekvenciju signala na 200 kHz, sve ostale parametre signala ostaviti istim. Postaviti podelu vremenske ose na $1 \mu\text{s}/\text{div}$. Uključiti pokazivače (kursore) pritiskom na dugme Cursor. Multifunkcionalnim tasterima sa desne strane ekrana i Multipurpose dugmetom postaviti da se pokazivači odnose na signal sa kanala 1 i na vremensku osu. Selektovanjem pokazivača (prvi ili drugi pokazivač) multifunkcionalnim tasterima sa desne strane ekrana i pomeranjem pokazivača okretanjem Multipurpose dugmeta, postaviti pokazivače da označe jedan period signala. Izmeriti period kao razliku pozicija pokazivača, što se očitava u desnom delu ekrana. Dobijenu vrednost T uneti u tabelu 14 . Koristeći metod `getpdf` dokumentovati rezultat .

Pokazivače postaviti tako da označe trajanje impulsa, što je trajanje logičke jedinice. Izmeriti ovaj interval vremena, dobijenu vrednost T_1 uneti u tabelu 14 . Koristeći metod `getpdf` dokumentovati rezultat .

Pokazivače postaviti tako da označe trajanje pauze, što je trajanje logičke nule. Izmeriti ovaj interval vremena, dobijenu vrednost T_0 uneti u tabelu 14 . Koristeći metod `getpdf` dokumentovati rezultat .

Izračunati faktor ispunjenosti impulsa D koji se definiše kao odnos trajanja impulsa i perioda, $D = T_1/T$ i čija vrednost se prema definiciji mora nalaziti u opsegu $0 \leq D \leq 1$, dobijenu vrednost uneti u tabelu 14 .

Isključiti pokazivače.

Tabela 15: Merenje naponskih nivoa pomoću pokazivača

	$\max(v_1)$	$\min(v_1)$	$\max(v_1) - \min(v_1)$
izmereno			

2.4.6 Testerasti napon

Podelu naponske ose osciloskopa postaviti na oba kanala na 2 V/div. Podelu vremenske ose postaviti na $1 \mu\text{s}/\text{div}$. Nulti nivo za kanal 1 postaviti na 0 div, nulti nivo za kanal 2 postaviti na -3 div . BW Limit na oba kanala postaviti na OFF. Izlaz generatora signala dovesti na kanal 1, izlaz za sinhronizaciju na kanal 2. Prikazati signale sa oba kanala na ekranu osciloskopa. Tip signala postaviti na testerasti (Ramp), minimalnu vrednost signala na 0 V, maksimalnu vrednost signala na 5 V, frekvenciju signala na 200 kHz. Sinhronizaciju osciloskopa postaviti na kanal 2, na uzlaznu ivicu, spregu sinhronizacionog signala na DC, nivo za sinhronizaciju na 50% pritiskom na dugme Level. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metode `getpdf` i `drawfig` .

2.4.7 Merenje naponskih nivoa korišćenjem pokazivača

Uključiti pokazivače (kursore) pritiskom na dugme Cursor. Multifunkcionalnim tasterima sa desne strane ekrana i Multipurpose dugmetom postaviti da se pokazivači odnose na signal sa kanala 1 i na naponsku osu. Selektovanjem pokazivača (prvi ili drugi pokazivač) multifunkcionalnim tasterima sa desne strane ekrana i pomeranjem pokazivača okretanjem Multipurpose dugmeta, postaviti pokazivače da označe minimalnu i maksimalnu vrednost testerastog signala. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metod `getpdf` . Očitati maksimalnu vrednost signala, minimalnu vrednost signala i njihovu razliku. Popuniti tabelu 15 . Isključiti pokazivače.

2.4.8 Merenje efektivne i vršne vrednosti napona, perioda i frekvencije

Podelu naponske ose osciloskopa na kanalu 1 postaviti na 0.5 V/div. Isključiti pokazivanje sa kanala 2. Podelu vremenske ose postaviti na $10 \mu\text{s}/\text{div}$. Nulti nivo za kanal 1 postaviti na 0 div, BW Limit postaviti na OFF. Izlaz generatora signala dovesti na kanal 1, izlaz za sinhronizaciju na Ext Trig. Tip signala postaviti na pravougaoni (Square), minimalnu vrednost signala na -1 V , maksimalnu vrednost signala na 1 V, frekvenciju signala na 20 kHz, faktor ispunjenosti impulsa (Duty Cycle) na 50%. Sinhronizaciju osciloskopa postaviti na eksterni ulaz, na uzlaznu ivicu, spregu sinhronizacionog signala na DC, nivo za sinhronizaciju na 50% (pritiskom na dugme Level). Pritiskom na dugme Measure uključiti merenja, obezbetiti da je Gating podešen na Off. Za signal sa kanala 1, primenom Multipurpose dugmeta uključiti merenja efektivne vrednosti napona (Cycle RMS), peak-to-peak value (Peak-Peak), perioda signala (Period), i frekvencije signala (Frequency). Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metod `getpdf` . Zapisati očitanu efektivnu vrednost napona u tabelu 16 .

Promeniti oblik signala na testerasti (Ramp). Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metod `getpdf` . Zapisati očitanu efektivnu vrednost napona u tabelu 16 .

Promeniti oblik signala na sinusoidalni (Sine). Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metod `getpdf` . Zapisati očitanu efektivnu vrednost napona u tabelu 16 .

Pitanja za razmišljanje:

1. Da li su merenja dala očekivane rezultate?

Tabela 16: Efektivne vrednosti napona

	pravougaoni	testerasti	sinusoidalni
izmereno			
teorijski	1 V	0.57735 V	0.70711 V

2. Zašto Peak-Peak merenje kod nekih signala daje veće očitavanje od očekivanog? Kod kojih signala?

2.4.9 VAŽNO: Merenja parametara sinusoidalnog napona, DC i AC sprega

Spregu na kanalu 1 ostaviti na DC. Podelu naponske ose na kanalu 1 postaviti na 1 V/div. Nulti nivo kanala 1 ostaviti na centralnoj osi graduacije ekrana. Podesiti podelu vremenske ose na $10 \mu\text{s}/\text{div}$. Na generatoru signala podesiti tip signala na sinusoidalni, frekvenciju na 20 kHz, amplitudu signala na 20 mV peak-to-peak (20 mVpp), jednosmernu komponentu signala (**Offset**) na 2 V. Uključiti merenja srednje vrednosti signala (**Mean**), amplitude peak-to-peak (**Peak-Peak**) i frekvencije (**Frequency**) na kanalu 1, kako je to objašnjeno u prethodnom zadatku. Sinhronizaciju ostaviti kao u prethodnom zadatku.

Uključiti izlaz generatora signala i snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metod `getpdf` . Zapisati izmerene vrednosti u tabelu 17. Uočiti da se na ekranu osciloskopa nalaze dva podatka o frekvenciji. U tabelu 17 treba uneti podatak koji se odnosi na rezultat merenja na signalu sa kanala 1.

Spregu na kanalu 1 postaviti na AC. Podelu naponske ose postaviti na 5 mV/div. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metod `getpdf` .

Na generatoru signala promeniti frekvenciju sa 20 kHz na 5 Hz. Podelu vremenske ose osciloskopa podesiti na 50 ms/div. Zapisati izmerene vrednosti u tabelu 17.

Isključiti merenja na kanalu 1.

Pitanja za razmišljanje:

- Pri sprezi DC, naizmenična komponenta signala se ne vidi. Odakle potiču podaci o frekvenciji prikazani na ekranu osciloskopa?
- Pri sprezi AC, izmerena srednja vrednost signala je bliska nuli. Ima li merenje srednje vrednosti signala smisla kada je sprega AC? Kolika je stvarna srednja vrednost signala priključenog na kanal 1?
- Pri smanjenju frekvencije signala sa 20 kHz na 5 Hz na generatoru signala je ostavljena ista amplituda. Zašto je amplituda izmerena pomoću osciloskopa bitno drugačija?

2.4.10 Sinhronizacija osciloskopa na mrežni napon

Podelu naponske ose osciloskopa na kanalu 1 postaviti na 0.5 V/div. Isključiti pokazivanje sa kanala 2. Podelu vremenske ose postaviti na 5 ms/div. Nulti nivo za kanal 1 postaviti na 0 div, BW Limit postaviti na OFF. Izlaz generatora signala dovesti na kanal 1. Tip signala postaviti na sinusoidalni, minimalnu vrednost signala na -1 V , maksimalnu vrednost signala na 1 V , frekvenciju signala na 50 Hz. Sinhronizaciju osciloskopa postaviti na AC Line, na uzlaznu

Tabela 17: Parametri sinusoidalnog signala

	Mean	Peak-Peak	Frequency
DC, 20 kHz			
AC, 20 kHz			
AC, 5 Hz			

Tabela 18: Frekvencija mreže

	f_1 [Hz]	f_2 [Hz]
izmereno		

ivicu, nivo za sinhronizaciju na 50%. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metod `getpdf` Uočiti da je slika na ekranu osciloskopa skoro stabilna, ali da beži u jednu stranu.

Pitanja za razmišljanje:

1. Zašto dolazi do bežanja slike?
2. Može li se iz smera bežanja slike (na levo ili na desno) zaključiti da li je frekvencija generatora signala manja ili veća od frekvencije mreže?
3. Može li se na prethodno pitanje dati odgovor kratkim eksperimentom, bez razmišljanja i analize?
4. Nakon nekog vremena, slika na ekranu osciloskopa se ponovi, na primer situacija kada kroz centar graduacije ekrana sinusoida uzlazno prolazi. Kako se merenjem vremena proteklog između dva sukscesivna ponavljanja slike može odrediti razlika između frekvencija dva izvora?

Preciznim podešavanjem frekvencije generatora signala stabilizovati sliku na ekranu osciloskopa. Smatruјући pokazivanje frekvencije generatora signala za referentno, odrediti frekvenciju mreže, f_1 . Uporediti rezultat sa očitavanjem merenja frekvencije koje vrši sam osciloskop, f_2 . Zapisati rezultate u tabelu 18 .

2.4.11 Naponski impulsi

Prikazati signale sa oba kanala na ekranu osciloskopa. Podelu naponske ose osciloskopa postaviti na oba kanala na 2 V/div. Podelu vremenske ose postaviti na $2.5 \mu\text{s}/\text{div}$. Nulti nivo za kanal 1 postaviti na 0 div, nulti nivo za kanal 2 postaviti na -3 div. BW Limit na oba kanala postaviti na OFF. Izlaz generatora signala dovesti na kanal 1, izlaz za sinhronizaciju na kanal 2. Tip signala postaviti na impulsni (Pulse), minimalnu vrednost signala na 0 V, maksimalnu vrednost signala na 5 V, period signala na $10 \mu\text{s}$, trajanje impulsa na 100 ns, trajanje ivica na 5 ns. Sinhronizaciju osciloskopa postaviti na kanal 2, na uzlaznu ivicu, spregu sinhronizacionog signala na DC, nivo za sinhronizaciju na 50%. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metode `getpdf` i `drawfig` .

Tabela 19: Trajanje uzlazne i silazne ivice impulsa

	Rise Time [ns]	Fall Time [ns]
BW Limit Off		
BW Limit On		

Podesiti podelu vremenske ose na 25 ns/div. Horizontalnim pozicioniranjem slike podesiti trenutak sinhronizacije koji se očitava u gornjem desnom uglu ekrana osciloskopa, iznad graduacije, to je broj iza oznake **M Pos:** na 75 ns. Trenutak sinhronizacije je označen i stelicom koja pokazuje na dole neposredno ispod gornje linije graduacije ekrana, i **M Pos:** 75 ns odgovara trenutku sinhronizacije $t_{trigger} = -75$ ns u koordinatnom sistemu sa centrom u centru graduacije ekrana. Pritiskom na taster **Measure** uključiti sistem za merenje i podesiti da merenja budu na kanalu 1 i da se meri trajanje uzlazne ivice signala (**Rise Time**) i trajanje silazne ivice signala (**Fall Time**). Definicija trajanja uzlazne ivice je da je to vreme koje protekne dok signal poraste od 10% do 90% razlike između početne i krajnje vrednosti u posmatranom prelaznom procesu sa logičkog 0 na logičko 1. Definicija silazne ivice je da je to vreme koje protekne dok signal ne padne sa 90% na 10% razlike između početne i krajnje vrednosti signala u posmatranom prelaznom procesu sa logičkog 1 na logičko 0. Snimiti dobijenu sliku koristeći metode **getpdf** i **drawfig** . Zapisati izmerene vrednosti za trajanje uzlazne ivice signala i trajanje silazne ivice signala u tabelu 19 .

Na oba kanala postaviti **BW Limit** na **ON**. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metode **getpdf** i **drawfig** . Zapisati izmerene vrednosti za trajanje uzlazne ivice signala i trajanje silazne ivice signala u tabelu 19 . Vratiti **BW Limit** na **OFF**.

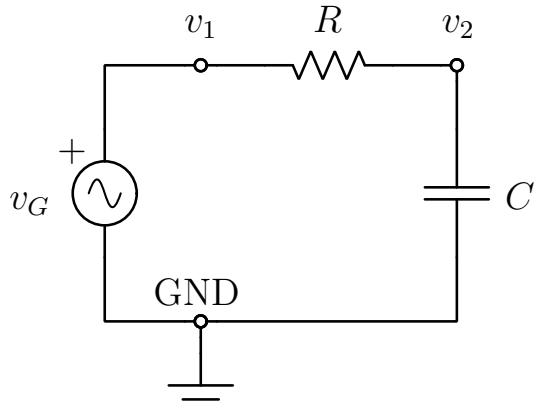
Podesiti podelu vremenske ose na 5 ns/div. Horizontalnim pozicioniranjem slike podesiti trenutak sinhronizacije na 25 ns. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metode **getpdf** i **drawfig** . Na oba kanala postaviti **BW Limit** na **ON**. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metode **getpdf** i **drawfig** . Vratiti **BW Limit** na **OFF**.

Pitanja za razmišljanje:

1. Kako propusni opseg osciloskopa utiče na izmereno trajanje uzlazne ivice i silazne ivice posmatranog signala?
2. Na generatoru signala je zadato trajanje ivica od 5 ns. Zašto je izmereno trajanje ivica uvek značajno veće od zadatog?

2.4.12 Generator šuma

Podelu naponske ose osciloskopa postaviti na kanalu 1 postaviti na 0.5 V/div, na kanalu 2 na 2 V/div. Podelu vremenske ose postaviti na 10 μ s/div. Nulti nivo za kanal 1 postaviti na 0 div, za kanal 2 na -3 div. **BW Limit** na oba kanala postaviti na **OFF**. Horizontalnim pozicioniranjem slike podesiti trenutak sinhronizacije na 0. Izlaz generatora signala dovesti na kanal 1, izlaz za sinhronizaciju na kanal 2. Tip signala postaviti na Noise, maksimalnu vrednost signala na 1 V, minimalnu vrednost signala na -1 V. Sinhronizaciju osciloskopa postaviti na kanal 2, na uzlaznu ivicu, spregu sinhronizacionog signala na DC, nivo za sinhronizaciju na 50%. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metode **getpdf** i **drawfig** . Snimiti odbirke signala sa prvog kanala koristeći



Slika 13: Merenje kapacitivnosti.

`o.savesamples(1)`

i potom

`o.savesamples(1, dataformat = 'txt')`

Snimljeni odbirci će biti analizirani u predmetu Softverski alati u elektronici.

Promeniti podelu vremenske ose na $1 \mu\text{s}/\text{div}$. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metod `drawfig` . Promeniti podelu vremenske ose na $100 \text{ ns}/\text{div}$. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metod `drawfig` . Promeniti podelu vremenske ose na $10 \text{ ns}/\text{div}$. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa koristeći metod `drawfig` .

Pitanje za razmišljanje: zašto kod generisanja šuma izostaje sinhronizacioni signal?

2.4.13 Posmatranje prelaznih procesa u kolu i merenje kapacitivnosti

Koristeći potrebne komponente, sastaviti na protobordu kolo sa slike 13. Priklučiti naponske sonde na osciloskop, na oba kanala podesiti da sonde imaju slabljenje od 10 puta. Postaviti podelu naponske ose osciloskopa na $2 \text{ V}/\text{div}$ na oba kanala, nulti nivo signala za oba kanala postaviti na 0 div. Postaviti podelu vremenske ose na $1 \text{ ms}/\text{div}$. Sinhronizaciju postaviti na kanal 1, spregu sinhronizacionog signala na DC, podesiti nivo sinhronizacionog signala na 50%, sinhronizovati se na uzlaznu ivicu signala. Napon v_1 označen na slici 13 dovesti na kanal 1, napon v_2 na kanal 2. Generator signala podesiti tako da oblik signala bude pravougaoni, minimalna vrednost napona -5 V , maksimalna vrednost napona 5 V , frekvencija 200 Hz . Dokumentovati dijagram sa ekrana osciloskopa metodom `getpdf` . Uočiti da je signal sa generatora izabran tako da 10% raspona na -2 div , a da je 90% raspona na 2 div .

Postaviti podelu vremenske ose na $100 \mu\text{s}/\text{div}$. Uključiti pokazivače u skladu sa zadatkom 2.4.5 i izmeriti trajanje uzlazne ivice, t_r . Po potrebi podesiti `Horizontal Position`. Dokumentovati rezultat korišćenjem metoda `getpdf` .

Promeniti nagib ivice sinhronizacionog signala pri kojoj se sinhronizacija vrši na silazni. Koristeći pokazivače izmeriti trajanje silazne ivice, t_f . Po potrebi podesiti `Horizontal Position`. Dokumentovati rezultat korišćenjem metoda `getpdf` .

Kako je

$$\Delta t = R C \ln 9$$

gde je Δt trajanje uzlazne ivice t_r ili trajanje silazne ivice t_f , odrediti kapacitivnost kondenzatora C prema

$$C = \frac{\Delta t}{R \ln 9}$$

Tabela 20: Merenje kapacitivnosti

	uzlazna	silazna
Δt		
C		

Tabela 21: Merenje kapacitivnosti, automatizovano

	uzlazna	silazna
Δt		
C		

Popuniti tabelu 20, smatrujući da je $R = 10 \text{ k}\Omega$.

Pitanje za razmišljanje: zašto je veza između R , C i Δt data gornjim formulama? Izvesti formule.

2.4.14 Merenje kapacitivnosti primenom automatizovanih merenja uzlazne i silazne ivice

Merenja izvršena u prethodnoj tački moguće je jednostavnije realizovati primenom automatizovanih merenja trajanja uzlazne i silazne ivice signala sa kanala 2. Uključiti na kanalu 2 merenja trajanja uzlazne (**Rise Time**) i silazne (**Fall Time**) ivice signala.

Podesiti osciloskop tako da je precizno merenje uzlazne ivice signala moguće (zahteva malo razmišljanja). Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa korišćenjem metoda `getpdf` . Dobijeni rezultat uneti u tabelu 21 .

Podesiti osciloskop tako da je precizno merenje silazne ivice signala moguće. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa korišćenjem metoda `getpdf` . Dobijeni rezultat uneti u tabelu 21.

Izračunati kapacitivnost kondenzatora. Isključiti merenja na kanalu 2.

2.4.15 Dokumentovanje rezultata merenja

Direktorijum vezba-2 i njegov sadržaj iskopirati na USB flash drive i sačuvati do polaganja ispita .

ELEKTRIČNA MERENJA
— laboratorijske vežbe —

Vežba broj 3

**Upravljanje instrumentima pomoću računara, automatizovana
merenja i statistička obrada rezultata merenja**

ime i prezime: _____

broj indeksa: _____

grupa: _____

datum: _____

vreme: _____

ocena: _____

dežurni: _____

3 Upravljanje instrumentima pomoću računara, automatizovana merenja i statistička obrada rezultata merenja

3.1 Potrebni instrumenti i pribor

1. osciloskop Tektronix TBS 1052B-EDU sa USB kablom
2. generator signala Agilent 33220A sa USB kablom
3. izvor jednosmernog napona Agilent E3630A
4. crossover UTP kabl za povezivanje računara i generatora signala
5. BNC-to-BNC kabl, 1 komad
6. BNC kablovi sa bananskim utikačima, 3 komada
7. protobord
8. provodnici sa bananskim utikačima, 2 komada
9. otpornici otpornosti $470\text{ k}\Omega$, 2 komada
10. žice za povezivanje na protobordu, 3 komada
11. računar sa softverom za vežbu broj 3
12. studenti treba da imaju USB flash drive kako bi sačuvali rezultate merenja

3.2 Opis i ciljevi vežbe

U vežbi se od sudenata zahteva da uspostave komunikaciju između računara i dva instrumenta koji podržavaju SCPI [21] komande: generatora signala Agilent 33220A i osciloskopa Tektronix TBS 1052B-EDU. Generator signala je instrument koji podržava komunikaciju preko USB [54] primenom usbtmc [32] protokola, ali i komunikaciju po TCP/IP [55] primenom LXI [20] standarda. Osciloskop podržava USB komunikaciju primenom usbtmc protokola. U svim slučajevima će način komunikacije sa instrumentom biti sličan, svodiće se na razmenu ascii poruka, što je i smisao SCPI standarda. Studenti će preko računara zadavati parametre signala generatoru i očitavati merenja koja vrši osciloskop. Na kraju vežbe će stečena znanja biti integrisana u automatizovane sisteme merenja. Instrumentima će biti upravljano primenom programskog jezika Python, ali poznavanje tog programskog jezika nije neophodno za uspešnu realizaciju vežbe.

Aktivnosti koje daju rezultat koji se dokumentuje naznačene su sa , gde treba staviti oznaku kada je aktivnost završena.

3.3 Zadatak

3.3.1 Povezivanje generatora signala i računara preko TCP/IP

Uključiti generator signala. Pritiskom na dugme Utility i izborom opcija I/O, LAN, IP Setup, IP Address doći do podatka o IP adresi generatora. Zapisati očitanu IP adresu

IP Address: _____ .

Pokrenuti program terminal. Proveriti povezanost generatora signala i računara komandom

```
ping <IP_Address>
```

gde je `<IP_Address>` prethodno zapisana IP adresa generatora □. Trebalo bi da `ping` ima odziv ispod 1 ms. Proces prekinuti pritiskom na `Ctrl/c`. Ako komanda `ping` ne daje odziv (javlja da je „host unreachable“) zatražiti pomoć dežurnog.

3.3.2 Upravljanje generatorom signala preko web servera, Firefox

Pokrenuti *browser*, u našem slučaju je to Firefox, ikona za brzo pokretanje (*quick launch icon*) se nalazi u donjem levom uglu ekrana. Kao ciljnu adresu za prikazivanje zadati IP adresu određenu u prethodnoj tački. Na ekranu bi trebalo da se pojavi odziv web servera generatora signala. Od opcija na levoj strani ekrana izabrati tab *Browser Web Control*. Mišem kliknuti *Update Display* dugme ispod slike generatora signala i po potrebi kliknuti sliku dugmeta *Output*, kako bi ostavili izlaz generatora signala u neaktivnom stanju.

Povezati izlaz generatora signala i ulaz za kanal 1 osciloskopa BNC-to-BNC kablom. U terminalu komandom

```
cd Desktop/vezba-3
```

promeniti radni direktorijum na `vezba-3` na desktopu, pa zatim pokrenuti

```
ipython --pylab
```

i inicijalizovati komunikaciju sa osciloskopom

```
from oscusb import *
o = Oscilloscope()
```

Na osciloskopu uključiti samo kanal 1, podesiti spregu (*coupling*) na DC, podelu naponske ose na 2 V/div, podelu vremenske ose na 2.5 μ s/div.

Korišćenjem miša, u programu Firefox koristeći web server generatora signala postaviti tip signala na sinusoidalni, amplitudu na 5 V, frekvenciju na 100 kHz, aktivirati izlaz generatora. Podesiti sinhronizaciju osciloskopa tako da se na ekranu dobije stabilna slika, u skladu sa naučenim u vežbi 2. Kada se na ekranu osciloskopa pojavi očekivani talasni oblik, koristeći program *Take Screenshot* snimiti aktivni prozor u kome radi Firefox i dobijenu sliku zapisati u direktorijum `vezba-3` □. Koristeći `o.getpdf()` sačuvati sliku sa ekrana osciloskopa □.

Podesiti oblik signala na *Pulse*, *HiLevel* na 5 V, *LoLevel* na 0 V, *Width* na 100 ns, *Edge Time* na 5 ns, frekvenciju ostaviti na 100 kHz. Obezbediti da slika na ekranu osciloskopa bude stabilna, u skladu sa naučenim u vežbi 2. Koristeći *Take Screenshot* snimiti aktivni prozor u kome radi Firefox i dobijenu sliku zapisati u direktorijum `vezba-3` □. Koristeći `o.getpdf()` sačuvati sliku sa ekrana osciloskopa □.

Podesiti oblik signala na *Noise*, *HiLevel* na 5 V, *LoLevel* na -5 V. Koristeći *Take Screenshot* snimiti aktivni prozor u kome radi Firefox i dobijenu sliku zapisati u direktorijum `vezba-3` □. Koristeći `o.getpdf()` sačuvati sliku sa ekrana osciloskopa □.

3.3.3 Upravljanje generatorom signala, SCPI, Python, TCP/IP, vxi11

U prozoru koji koristi terminal i u kome je već pokrenut ipython, importovati modul `vxi11` za komunikaciju sa LXI (LAN eXtensions for Instrumentation) [20] instrumentima,

```
import vxi11
```

Potom, inicijalizovati komunikaciju sa generatorom signala u skladu sa IP adresom generatora. Ako je IP adresa 192.168.1.51, komunikacija se inicijalizuje sa

```
g = vxi11.Instrument('192.168.1.51')
```

Proveriti komunikaciju sa instrumentom komandom

```
g.ask('*idn?')
```

Ako se instrument odaziva, prikazati identifikaciju instrumenta sa

```
print g.ask('*idn?')
```

i zapisati je

□.

Ako se instrument ne odaziva, potražiti pomoć dežurnog.

Napomena: komanda ***idn?** je SCPI komanda (Standard Commands for Programmable Instruments) [21] za identifikaciju instrumenta i imaju je implementiranu svi programibilni instrumenti koji podržavaju SCPI standard; u našem slučaju, imaće je implementiranu i osciloskop. Puna specifikacija SCPI standarda se može naći na (link [56]).

Komande za upravljanje generatorom signala su navedene u njegovom uputstvu (link [18]), a u ovoj vežbi ćemo obraditi samo osnovne.

Izvršite potpuni prenos kontrole sa komandne ploče osciloskopa na računar komandom

```
g.write('system:remote')
```

pa potom ispišite na ekranu poruku komandom

```
g.write('display:text "Elektricna merenja"')
```

Prebaciti aktivni prozor na Firefox, uradite **Update Display** i snimite Firefox prozor korišteći **Take Screenshot** u direktorijumu **vezba-3** □.

Obrisati poruku sa ekrana komandom

```
g.write('display:text:clear')
```

i vratiti mogućnost lokalne kontrole komandom

```
g.write('system:local')
```

Na osciloskopu zadržati prethodno postavljena podešavanja i u skladu sa naučenim u vežbi 2 uključiti merenja na kanalu 1 tako da jedno merenje bude **Period**, drugo merenje **Frequency**, treće merenje **Peak-Peak**, četvrto merenje **Mean**, peto merenje **Cycle Mean** i šesto merenje **Cycle RMS**.

Deaktivirati izlaz generatora komandom

```
g.write('output off')
```

Potvrditi stanje izlaza generatora komandom

```
print g.ask('output?')
```

Očekivani odgovor je 0; u slučaju drugačijeg odgovora zatražiti pomoć dežurnog.

Zadati da izlazni napon generatora signala bude jednosmeran, komandom

```
g.write('function dc')
```

i postaviti vrednost napona na 4.5 V komandom

```
g.write('voltage:offset 4.5')
```

Aktivirati izlaz generatora signala komandom

```
g.write('output on')
```

Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa komandom

```
o.getpdf()
```

□.

Pitanja za razmišljanje:

1. Šta predstavlja merenje Pk-Pk?
2. Zašto merenja frekvencije i perioda ne daju očekivane rezultate?
3. Zašto su očitavanja za frekvenciju i period jako nestabilna?
4. Zašto merenja sa prefiksom Cycle često kao rezultat daju ? ?

Deaktivirati izlaz generatora komandom

```
g.write('output off')
```

Postaviti tip signala na sinusoidalni, komandom

```
g.write('function sinusoid')
```

Postaviti frekvenciju na 200 kHz komandom

```
g.write('frequency 200e3')
```

Postaviti minimalnu vrednost napona na -1 V komandom

```
g.write('voltage:low -1')
```

Postaviti maksimalnu vrednost napona na 3 V komandom

```
g.write('voltage:high 3')
```

Aktivirati izlaz generatora signala komandom

```
g.write('output on')
```

Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa komandom

```
o.getpdf()
```

□. Pročitati amplitudu generisanog napona komandom

```
g.ask('voltage:amplitude?')
```

i zapisati dobijenu vrednost

□.

Pročitati offset generisanog napona komandom

```
g.ask('voltage:offset?')
```

i zapisati dobijenu vrednost

□.

Deaktivirati izlaz generatora komandom

```
g.write('output off')
```

Pitanje za razmišljanje: šta predstavlja odgovor na pitanje o amplitudi generisanog napona?

Postaviti tip generisanog signala na pravougaoni komandom

```
g.write('function square')
```

Postaviti amplitudu generisanog napona na 4 V komandom

```
g.write('voltage:amplitude 8')
```

Postaviti ofset generisanog napona na -1 V komodom

```
g.write('voltage:offset -1')
```

Postaviti frekvenciju generisanog napona na 100 kHz komandom

```
g.write('frequency 100e3')
```

Aktivirati izlaz generatora signala komandom

```
g.write('output on')
```

Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa komandom

```
o.getpdf()
```

□. Pročitati minimalnu vrednost generisanog napona komandom

```
g.ask('voltage:low?')
```

i zapisati dobijenu vrednost

□.

Pročitati maksimalnu vrednost generisanog napona komandom

```
g.ask('voltage:high?')
```

i zapisati dobijenu vrednost

□.

Zadati maksimalnu vrednost izlaznog napona od 5 V komandom

```
g.write('voltage:high 5')
```

Zadati minimalnu vrednost izlaznog napona od -5 V komandom

```
g.write('voltage:low -5')
```

Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa komandom

```
o.getpdf()
```

□. Deaktivirati izlaz generatora komandom

```
g.write('output off')
```

Izaći iz IPython okruženja komandom `exit` ili pritiskom Ctrl/d.

3.3.4 Povezivanje generatora signala i računara preko USB

Komandom `lsusb` u prozoru koji kontroliše program terminal, izlistati uređaje koji su preko USB povezani na računar. U listi u kojoj svaka linija teksta odgovara jednom uređaju, pronaći generator signala, ključna reč za pretraživanje je ime proizvođača (prodavca) **Agilent**. U konkretnom slučaju je lako identifikovati generator pošto je lista kratka, ali u slučaju pretraživanja veće liste korisno bi bilo primeniti

```
lsusb | grep Agilent
```

što će izdvojiti samo one linije teksta koje sadrže ključnu reč **Agilent**.

Kada je pronađena linija teksta koja odgovara generatoru signala, potrebno je zapasti identifikacione podatke instrumenta, to su dva broja u heksadecimalnom zapisu odvojena dvotačkom, navedena posle ID. Prvi od ta dva broja je identifikator proizvođača (prodavca) (*vendor*), a drugi identifikator proizvoda (*product*). Zapisati dobijene identifikatore:

Vendor ID: _____ □

Product ID: _____ □.

3.3.5 Upravljanje generatorom signala, SCPI, Python, USB, usbtmc

U prozoru koji koristi terminal pokrenuti `ipython` komandom

```
ipython --pylab
```

```
i importovati modul usbtmc
```

```
import usbtmc
```

Potom, inicijalizovati komunikaciju sa generatorom signala u skladu sa prethodno očitanim identifikacionim parametrima generatora

```
g = usbtmc.Instrument(0x0957, 0x0407)
```

Proveriti komunikaciju sa instrumentom komandom

```
g.ask('*idn?')
```

Ako se instrument odaziva, prikazati identifikaciju instrumenta sa

```
print g.ask('*idn?')
```

i zapisati je

□.

Ako se instrument ne odaziva, potražiti pomoć dežurnog.

Identifikacioni brojevi instrumenta su zadati u heksadecimalnom formatu. Pokušati

```
g = usbtmc.Instrument(2391, 1031)
```

a potom zatražiti identifikaciju instrumenta

```
print g.ask('*idn?')
```

Da li je dobijena ista identifikacija instrumenta kao i u slučaju specifikacije u heksadecimalnom zapisu (zaokružiti odgovor)?

DA NE

Prebacite upravljanje instrumentom na računar komandom

```
g.write('system:remote')
```

Ispišite na ekranu poruku komandom

```
g.write('display:text "USB veza"')
```

Prebacite aktivni prozor na Firefox, uradite Update Display i snimite Firefox prozor koristeći Take Screenshot u direktorijum vezba-3 .

Obrišite poruku sa ekrana komandom

```
g.write('display:text:clear')
```

i vratite upravljanje instrumentom na lokalno komandom

```
g.write('system:local')
```

Na osciloskopu zadržati prethodno postavljena podešavanja, uključujući i merenja. Deaktivirati izlaz generatora komandom

```
g.write('output off')
```

Povjeriti stanje izlaza generatora komandom

```
print g.ask('output?')
```

Zadati da izlazni napon generatora signala bude jednosmeran, komandom

```
g.write('function dc')
```

i postaviti vrednost napona na 5 V komandom

```
g.write('voltage:offset 5')
```

Aktivirati izlaz generatora signala komandom

```
g.write('output on')
```

Učitati modul oscusb komandom

```
from oscusb import *
```

i inicijalizovati objekt za komunikaciju sa osciloskopom komandom

```
o = Oscilloscope()
```

Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa komandom

```
o.getpdf()
```

Deaktivirati izlaz generatora komandom

```
g.write('output off')
```

Postaviti tip signala na sinusoidalni, komandom

```
g.write('function sinusoid')
```

Postaviti frekvenciju na 500 kHz komandom

```
g.write('frequency 500e3')
```

Postaviti offset napona na 2 V komandom

```
g.write('voltage:offset 2')
```

Postaviti amplitudu generisanog napona komandom

```
g.write('voltage:amplitude 2')
```

Aktivirati izlaz generatora signala komandom

```
g.write('output on')
```

Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa komandom

```
o.getpdf()
```

□. Pročitati minimalnu vrednost generisanog napona komandom

```
g.ask('voltage:low?')
```

i zapisati dobijenu vrednost

□.

Pročitati maksimalnu vrednost generisanog napona komandom

```
g.ask('voltage:high?')
```

i zapisati dobijenu vrednost

□.

Deaktivirati izlaz generatora komandom

```
g.write('output off')
```

Ponovljeno pitanje za razmišljanje: šta predstavlja odgovor na pitanje o amplitudi generisanog napona?

Postaviti tip generisanog signala na pravougaoni komandom

```
g.write('function square')
```

Postaviti amplitudu generisanog napona na 2.5 V komandom

```
g.write('voltage:amplitude 5')
```

Postaviti offset generisanog napona na 2.5 V komandom

```
g.write('voltage:offset 2.5')
```

Postaviti frekvenciju generisanog napona na 100 kHz komandom

```
g.write('frequency 100e3')
```

Aktivirati izlaz generatora signala komandom

```
g.write('output on')
```

Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa komandom

```
o.getpdf()
```

□. Pročitati minimalnu vrednost generisanog napona komandom

```
g.ask('voltage:low?')
```

i zapisati dobijenu vrednost

□.

Pročitati maksimalnu vrednost generisanog napona komandom

```
g.ask('voltage:high?')
```

i zapisati dobijenu vrednost

□.

Zadati maksimalnu vrednost izlaznog napona od 4 V komandom

```
g.write('voltage:high 4')
```

Zadati minimalnu vrednost izlaznog napona od -4 V komandom

```
g.write('voltage:low -4')
```

Zadati da oblik signala bude testerasti, komandom

```
g.write('function ramp')
```

Podesiti simetriju testerastog signala na 50% komandom

```
g.write('function:ramp:symmetry 50')
```

Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa komandom

```
o.getpdf()
```

□. Podesiti simetriju testerastog signala na 0% komandom

```
g.write('function:ramp:symmetry 0')
```

Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa komandom

```
o.getpdf()
```

□. Podesiti simetriju testerastog signala na 100% komodom

```
g.write('function:ramp:symmetry 100')
```

Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa komandom

```
o.getpdf()
```

□. Deaktivirati izlaz generatora komodom

```
g.write('output off')
```

Izaći iz IPython okruženja komandom `exit` ili pritiskom `Ctrl/d`.

3.3.6 Upravljanje osciloskopom, SCPI, Python, modul usbtmc

Komunikacija sa osciloskopom TBS 1052B-EDU se obavlja preko USB veze. Osnovnu podršku za takvu komunikaciju u programskom jeziku Python pruža modul `usbtmc`. Komande za komunikaciju sa osciloskopom su SCPI, a dokumentovane su u uputstvu za „programiranje“ osciloskopa (“Programmer Manual” [57]).

U prozoru koji kontroliše program terminal komandom `lsusb` izlistati uređaje koji su preko USB povezani na računar. U listi pronaći osciloskop, ključna reč za pretraživanje je ime proizvođača (prodavca) **Tektronix**. U slučaju pretraživanja veće liste korisno bi bilo primeniti

`lsusb | grep Tektronix`

što će izdvojiti samo one linije teksta koje sadrže ključnu reč **Tektronix**.

Kada je pronađena linija teksta koja odgovara osciloskopu, potrebno je zapasti identifikacione podatke instrumenta, to su dva broja u heksadecimalnom zapisu odvojena dvotačkom, navedena posle ID. Prvi od ta dva broja je identifikator proizvođača (prodavca) (*vendor*), a drugi identifikator proizvoda (*product*). Zapisati dobijene identifikatore:

Vendor ID: _____ □

Product ID: _____ □.

Pokrenuti `ipython` komandom

`ipython --pylab`

Importovati modul `usbtmc` komandom

`import usbmrc`

Inicijalizovati objekt za USB komunikaciju sa osciloskopom komandom

`os = usbtmc.Instrument(0x0699, 0x0368)`

Radi provere uspostavljenosti komunikacije, tražiti od osciloskopa da se identificuje komandom

`print os.ask('*idn?')`

Zapisati dobijenu identifikaciju osciloskopa

_____ □.

Ukoliko komunikacija sa osciloskopom ne radi, zatražiti pomoć dežurnog.

Zatražiti informacije o podešavanjima naponske ose prvog kanala osciloskopa komandom

`print os.ask('ch1?')`

Zapisati dobijenu listu podešavanja

_____ □.

Pojedinačna podešavanja je moguće dobiti „preciznijim“ upitima poput

`print os.ask('ch1:scale?')`

Zapisati dobijenu podelu naponske ose

□.

Podelu naponske ose je moguće postaviti na 5 V/div komandom

```
os.write('ch1:scale 5')
```

Vertikalnu poziciju nule naponske ose je moguće dobiti komandom

```
print os.ask('ch1:position?')
```

Zapisati dobijenu poziciju nule

□.

Vertikalnu poziciju nule naponske ose je moguće postaviti na -1 div komandom

```
os.write('ch1:position -1')
```

3.3.7 Upravljanje osciloskopom, SCPI, Python, modul osc

Modul `usbtmc` je modul opšte namene za podršku USB komunikaciji sa instrumentima, kao što ste videli isti modul se koristi i za komunikaciju sa generatorom signala i za komunikaciju sa osciloskopom. Nedostatak za primenu u komunikaciji sa osciloskopom je što se komande unose pojedinačno, pa za složenije zadatke, poput preuzimanja slike sa ekrana osciloskopa, potrebno je unositi niz komandi. Stoga, formiran je modul `oscusb`, sa kojim ste se već sretali, koji podržava komunikaciju sa osciloskopom primenom `usbtmc` modula i osim toga automatizuje niz standardnih zadataka koji se izvršavaju pomoću osciloskopa, poput dokumentovanja slika, prenosa odbiraka, snimanja odbiraka, dodavanja vremena kada su rezultati prikupljeni primenom modula `time`, konverziju formata slika korišćenjem modula `os` i programa `convert` itd.

Obrisati objekt `os` komandom

```
del os
```

Importovati modul `oscusb` komandom

```
from oscusb import *
```

i inicijalizovati objekat za komunikaciju sa osciloskopom komandom

```
o = Oscilloscope()
```

Pročitati vertikalnu poziciju nule naponske ose prvog kanala komandom

```
o.ask('ch1:position?')
```

i zapisati dobijenu vrednost

□.

Postaviti nulu naponske ose prvog kanala na nulu komandom

```
o.write('ch1:position 0')
```

Postaviti podelu naponske ose prvog kanala na 2 V/div komandom

```
o.write('ch1:scale 2')
```

Simiti sliku sa ekrana osciloskopa komandom `o.getpdf()`. Postaviti podelu naponske ose prvog kanala na 5 V/div komandom

```
o.write('ch1:scale 5')
```

Uključiti izvor za napajanje i na izlazu +6V podesiti napon na 3V. Povezati kanal 1 osciloskopa na izvor za napajanje +6V primenom koaksijalnog kabla sa bananskim utikačima na jednom kraju. Podesiti osciloskop da neposredno meri srednju vrednost napona na kanalu 1 komandom

```
o.write('measure:immed:source ch1; type mean')
```

Izmeriti napon pomoću osciloskopa komandom

```
o.ask('measure:immed:value?')
```

i zapisati dobijenu vrednost

□.

3.3.8 Statistička obrada rezultata merenja

Ponoviti merenje napona pomoću osciloskopa deset puta i rezultate uneti u tabelu 22. Odrediti srednju vrednost rezultata merenja za $n = 10$ prema formuli

$$\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$$

i proceniti standardnu devijaciju prema formuli

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}$$

kao i standardnu devijaciju srednje vrednosti prema formuli

$$s_m = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Zapisati dobijene vrednosti i označiti jedinice mere

$\bar{v} =$ _____ □

$s =$ _____ □

$s_m =$ _____ □.

Cilj ovog primera je da studenti steknu osećaj da su ponovljena merenja, makar u veoma ograničenom obimu, naporna, dosadna i podložna greškama usled gubljenja koncentracije. Stoga ih valja automatizovati.

Tabela 22: Rezultati ponovljenog merenja napona

i	v_i [V]
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Tabela 23: Rezultati automatizovanog ponovljenog merenja napona

n	\bar{v}	s	s_m
10			
100			
1000			

3.3.9 Uvod u automatizovana merenja

Izaći iz ipython okruženja komandom `exit` ili sa Ctrl/d.

Pokrenuti program `repeated.py` komandom

`python repeated.py`

i zadati vrednost $n = 10 \square$. Rezultate za \bar{v} , s i s_m uneti u tabelu 23. Rezultati bi trebalo da budu slični rezultatima dobijenim u prethodnoj tački. Program osim rezultata za srednju vrednost rezultata merenja, standardnu devijaciju i standardnu devijaciju srednje vrednosti daje i dijagram zavisnosti rezultata merenja od rednog broja merenja (`values_...`) i histogram rezultata merenja (`hist_...`).

Ponoviti postupak za $n = 100$ i rezultate za \bar{v} , s i s_m uneti u tabelu 23 \square .

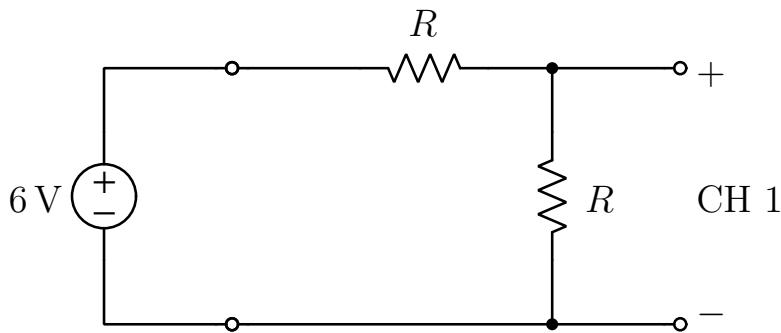
Ponoviti postupak za $n = 1000$ i rezultate za \bar{v} , s i s_m uneti u tabelu 23 \square .

Pitanja za razmišljanje:

1. U čemu se razlikuju rezultati dobijeni u ova tri slučaja?
2. Liči li dobijeni histogram na histogram slučajne promenljive sa normalnom raspodelom?

Sastaviti kolo prema šemi sa slike 14. Postaviti napon izvora na 6 V. Pokrenuti program `repeated.py` za

1. $n = 10 \square$



Slika 14: Razdelnik napona, $R = 470 \text{ k}\Omega$.

2. $n = 100$

3. $n = 1000$.

Pitanja za razmišljanje:

1. Razlikuju li se dobijeni rezultati merenja u odnosu na direktna (bez razdelnika, očitavanje sa izvora) merenja napona izvora jednosmernog napona?
2. Ako razlike ima, zašto do nje dolazi?

Uместо izvora za napajanje u kolu sa slike 14 povezati generator signala (ovo znači: isključiti izvor za napajanje; razvezati izvor za napajanje; povezati generator signala; uključiti generator signala), kako bi se dobilo kolo sa slike 15. Povezati kanal 2 osciloskopa tako da prikazuje/meri napon na generatoru signala. Pokrenuti program `divider.py` komandom

`python divider.py`

Program preko generatora signala zadaje napon od -10 V do $+10 \text{ V}$ u koracima po 0.5 V . Merenjem napona na kanalima 1 i 2 i obradom rezultata primenom metoda najmanjih kvadrata program određuje parametre k i n pretpostavljene linearne veze napona v_1 i v_2

$$v_1 = k v_2 + n$$

Zapisati dobijene vrednosti parametara

$$k = \underline{\hspace{2cm}} \quad \square$$

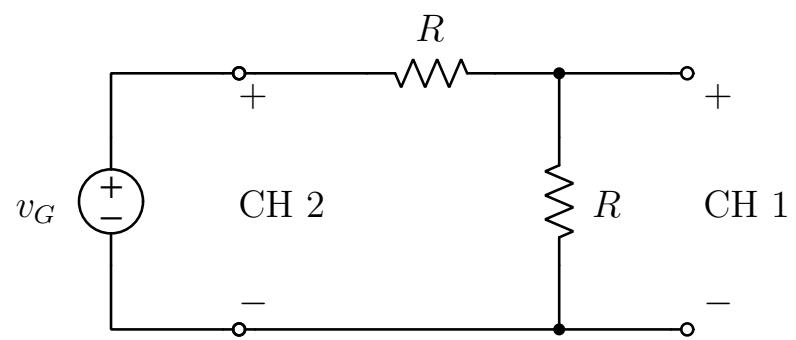
$$n = \underline{\hspace{2cm}} \quad \square$$

i pogledati dobijeni dijagram `divider.pdf`.

Pitanje za razmišljanje: da li su dobijeni rezultati i dijagram u skladu sa očekivanjima?

3.3.10 Dokumentovanje rezultata merenja

Direktorijum vezba-3 i njegov sadržaj iskopirati na USB flash drive i sačuvati do polaganja ispita



Slika 15: Razdelenik napona, snimanje zavisnosti $v_1 (v_2)$, $R = 470 \text{ k}\Omega$

ELEKTRIČNA MERENJA
— laboratorijske vežbe —

Vežba broj 4
Merenje impedanse pomoću osciloskopa

ime i prezime: _____

broj indeksa: _____

grupa: _____

datum: _____

vreme: _____

ocena: _____

dežurni: _____

4 Merenje impedanse pomoću osciloskopa

4.1 Potrebni instrumenti i pribor

1. generator signala Agilent 33220A sa USB kablom
2. BNC-to-BNC kabl, 1 komad
3. BNC kablovi sa bananskim utikačima, 3 komada
4. osciloskop Tektronix TBS 1052B-EDU sa USB kablom
5. protobord
6. žice za povezivanje na protobordu, 3 komada
7. etalonski otpornik R otpornosti $1\text{k}\Omega$
8. otpornik R_X otpornosti $\approx 470\Omega$
9. kondenzator $C_X = C_1$ kapacitivnosti $\approx 680\text{nF}$
10. kondenzator C_2 , nepoznate kapacitivnosti
11. kondenzator C_3 , nepoznate kapacitivnosti
12. kondenzator C_4 , nepoznate kapacitivnosti
13. kalem L_1 , nepoznate induktivnosti
14. kalem L_2 , nepoznate induktivnosti
15. kalem L_3 , nepoznate induktivnosti
16. bifilarno motani transformator prenosnog odnosa 1:1, T1
17. transformator prenosnog odnosa 1:1 sa slabom spregom, T2
18. računar sa softverom za vežbu broj 4
19. studenti treba da imaju USB flash drive kako bi sačuvali rezultate merenja

4.2 Opis i ciljevi vežbe

U ovoj vežbi vršiće se merenja parametara elemenata električnih kola koja se uglavnom svode na merenje modula impedanse metodom merenja struje i napona. Struja posmatranog elementa će biti određena posredno, merenjem potencijala na krajevima etalonskog otpornika R , prema šemi sa slike 16, gde je nepoznata impedansa označena sa Z_X . Potencijal v_1 , koji se neposredno meri osciloskopom, je napon na nepoznatoj impedansi. Njena struja se određuje posredno, preko izmerenih potencijala v_1 i v_2 kao

$$i_X = \frac{v_2 - v_1}{R}$$

kada je u pitanju trenutna vrednost struje. Primena kola sa slike 16 je uobičajen metod za određivanje trenutnih vrednosti napona i struje porta pomoću osciloskopa. Ako su struje i

naponi u kolu sinusoidalni, sa istom frekvencijom, prethodna jednačina zadržava isti oblik za kompleksne fazore struja i napona

$$\underline{I}_X = \frac{\underline{V}_2 - \underline{V}_1}{R}.$$

Kako je nepoznata impedansa

$$\underline{Z}_X = \frac{\underline{V}_1}{\underline{I}_X}$$

određivanje nepoznate impedanse se svodi na merenje fazora dva napona i poznavanje otpornosti etalonskog otpornika

$$\underline{Z}_X = R \frac{\underline{V}_1}{\underline{V}_2 - \underline{V}_1}$$

Primena gornje jednačine zahteva poznavanje amplitude ili efektivne vrednosti za potencijale v_1 i v_2 , kao i njihovog međusobnog faznog stava. Međutim, ako je nepoznata impedansa rezistivna, $\underline{Z}_X = R_X$, povoljnije je koristiti „razdelnik napona”

$$\frac{\underline{V}_1}{\underline{V}_2} = \frac{\underline{Z}_X}{R + \underline{Z}_X} = \frac{R_X}{R + R_X}$$

odakle je

$$R_X = R \frac{V_1}{V_2 - V_1}$$

gde V_1 i V_2 predstavljaju efektivne vrednosti ili amplitude (saglasno, za oba potencijala isto) potencijala v_1 i v_2 . Slično, ako je nepoznata impedansa čisto imaginarna, $\underline{Z}_X = jX_X$, korišćenjem razdelnika napona dobijamo

$$\frac{\underline{V}_1}{\underline{V}_2} = \frac{\underline{Z}_X}{R + \underline{Z}_X} = \frac{jX_X}{R + jX_X}$$

odakle je

$$\frac{|\underline{V}_1|^2}{|\underline{V}_2|^2} = \frac{V_1^2}{V_2^2} = \frac{X_X^2}{R^2 + X_X^2}$$

što kao rezultat daje nepoznatu reaktansu

$$X_X = R \frac{V_1}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}.$$

Na ovaj način je moguće meriti otpornost, kapacitivnost, induktivnost i međusobnu induktivnost bez određivanja faznog stava, merenjem samo efektivnih vrednosti ili amplituda napona, jer u navedenim slučajevima posmatrana impedansa je ili čisto realna, ili čisto imaginarna.

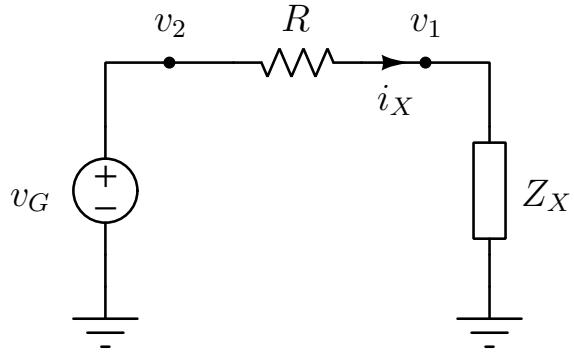
Metod se može dopuniti merenjem koje će odrediti fazni stav između posmatranih napona ili merenjem aktivne snage i prividne snage nepoznate impedanse, čime se impedansa posmatranog linearног elementa određuje u potpunosti.

Primenom totalnog diferencijala u slučaju merenja otpornosti $\underline{Z}_X = R_X$ za grešku rezultata merenja u funkciji grešaka u poznavanju R , V_1 i V_2 se dobija

$$\Delta R_X \approx \frac{V_1}{V_2 - V_1} \Delta R + R \frac{V_2}{(V_2 - V_1)^2} \Delta V_1 - R \frac{V_1}{(V_2 - V_1)^2} \Delta V_2$$

što se izraženo u formi relativne greške svodi na

$$\frac{\Delta R_X}{R_X} \approx \frac{\Delta R}{R} + \frac{V_2}{V_2 - V_1} \left(\frac{\Delta V_1}{V_1} - \frac{\Delta V_2}{V_2} \right)$$



Slika 16: Merenje impedanse

Iz gornjih jednačina se vidi da nije povoljno da V_1 i V_2 budu bliski, tj. da je potrebno propustiti neku struju kroz element da bi merenje imalo smisla. U granicama mogućnosti, povoljno je da struja elementa prilikom merenja makar po redu veličine odgovara struji za koju se pretpostavlja da će sa njom element uglavnom raditi. Sa druge strane, potrebno je i da napon V_1 bude dovoljno velik da se može meriti sa zadovoljavajućom tačnošću. Dodatna napomena je da je povoljno da podela naponske ose za merenje V_1 i V_2 bude ista, kako bi se efekti konačnog propusnog opsega osciloskopa potirali. Kako će merenja u ovoj vežbi biti na frekvencijama dosta nižim od propusnog opsega osiloskopa, preporuka o istim podelama naponskih osa neće biti poštovana. Slični zaključci se mogu izvesti i u slučaju merenja čisto imaginarnе impedanse.

Kroz vežbu studenti treba da ovladaju merenjem struje i napona elementa (grane, porta) pomoću osciloskopa i merenjem impedanse. Takođe, naučiće da procene da li je posmatrani element linearan ili ne. Merenja će omogućiti određivanje otpornosti, kapacitivnosti, induktivnosti, međusobne induktivnosti i koeficijenta sprege. Na kraju vežbe, studenti će naučiti da mere moduo, argument, relani deo i imaginarni deo impedanse. Osim ovoga, studenti će steći dodatno iskustvo u povezivanju kola, analizi linearnih kola, organizovanju eksperimenata i susreće se sa realnim elementima elektronskih uređaja.

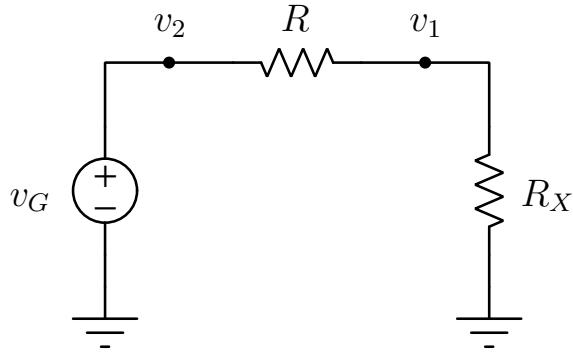
Aktivnosti koje daju rezultat koji se dokumentuje naznačene su sa \square , gde treba staviti oznaku kada je aktivnost završena.

4.3 Napomene

Komponente potrebne za vežbu su već postavljene na protobordu i **ne treba ih pomerati**. Takođe, sonde osciloskopa i generator signala su već povezani na etalonski otpornik R , tako da studenti jedino treba da povežu odgovarajući element na odgovarajući način, zavisno od zadatka. Synchronizacija osciloskopa će biti izvedena prema synchronizacionom izlazu generatora signala koristeći eksterni ulaz za synchronizaciju osciloskopa. Od studenata se očekuje da su sposobni da synchronizuju osciloskop i podese zahtevane parametre za merenja pomoću osciloskopa. **Dakle, jedine promene povezivanja na protobordu su u povezanosti elementa koji se meri, ništa drugo!** U vežbi je podrazumevano da je sprege na oba kanala podešena na DC, *bandwidth limit* da je isključen. Pre početka merenja treba podesiti u meniju **MEASURE** (obradeno u prethodnoj vežbi) da se na kanalu 1 mere Frequency, Peak-Peak i Cycle RMS, a da se na kanalu 2 mere Peak-Peak i Cycle RMS. Ovakvo podešavanje treba da ostane tokom većeg dela vežbe, sve do poslednje tačke.

Tokom vežbe, generator signala će uvek generisati sinusoidalni napon, bez offseta (offset postavljen na nulu), amplituda generisanog signala će najčešće biti 10 V *peak-to-peak*, a frekvencija će se menjati. **Prilikom povezivanja elemenata u kolu i prilikom menjanja parametara generatora signala, izlaz generatora treba isključiti (deaktivirati)!**

Elementi su na protobordu raspoređeni tako što je gore levo postavljen etalonski



Slika 17: Merenje otpornosti

Tabela 24: Merenje otpornosti

tip merenja	V_1 [V]	V_2 [V]	R_X [Ω]
Pk-Pk			
CycRMS			

otpornik R , u levoj koloni su postavljeni redom: R_X , potom $C_X = C_1, C_2, C_3, C_4, L_1, L_2$ i L_3 . U desnoj koloni su transformator sa slabom spregom T1 i bifilarno motani transformator T2.

Pre prelaska na merenja potrebno je pokrenuti terminal i postaviti da radni direktorijum bude `~/Desktop/vezba-4`.

4.4 Zadatak

4.4.1 Merenje otpornosti

Povezati kolo sa slike 17. Postaviti amplitudu generatora signala na 10 V *peak-to-peak*, frekvenciju na 1 kHz, offset generatora na nulu. Podesiti podelu naponske ose osciloskopa na 500 mV/div na kanalu 1 i na 2 V/div na kanalu 2, spregu na DC, Bandwidth Limit na OFF, vertikalnu poziciju na nulu (centralna linija graduacije ekrana). Podesiti podelu horizontalne ose na 250 μ s/div, horizontalnu poziciju (trenutak sinhronizacije) na nulu. Aktivirati izlaz generatora i očitati merenja efektivne vrednosti (Cyc RMS) i amplitude (Pk-Pk) na osciloskopu. Dobijene vrednosti uneti u tabelu 24 □. Izračunati posredno izmerene vrednosti R_X prema

$$R_X = R \frac{V_1}{V_2 - V_1}$$

i uneti ih u tabelu 24 □. Pokrenuti program `getfig.py` sa komandne linije

```
python getfig.py
```

što će dokumentovati merenje snimanjem ekrana u pdf formatu □.

Pitanja za razmišljanje:

1. Da li se dobijene vrednosti otpornosti R_X razlikuju?
2. Ako se dobijene vrednosti otpornosti razlikuju, zašto se razlikuju kada podaci potiču od istih vremenskih dijagrama?

Tabela 25: Merenje otpornosti, program

tip merenja	$R_X [\Omega]$
LSQ	
Pk-Pk	
CycRMS	

4.4.2 Snimanje zavisnosti struje otpornika od napona na otporniku i određivanje otpornosti metodom najmanjih kvadrata

Pokrenuti program `r1.py` komandom

`python r1.py`

koji će postaviti podelu vremenske ose osciloskopa na $100 \mu\text{s}/\text{div}$ i prikupiti odbirke potencijala v_1 i v_2 i na osnovu njih izračunati struju otpornika. Dobijeni odbirci napona i struje na otporniku će biti prikazani na slici `vr-ir_yyyy-mm-dd_hh-mm-ss.pdf`. Na osnovu njih će biti izračunate vrednosti otpornosti dobijene: konstruisanjem optimalne prave kroz dobijeni skup tačaka (metod najmanjih kvadrata), metodom merenja peak-to-peak vrednosti napona i struje i metodom merenja efektivne vrednosti napona i struje. Zapisati dobijene vrednosti u tabelu 25 □. Uočiti da je merenje primenom programa sa tačke gledišta korisnika postalo neposredno, on više ne meri napone i ne računa vrednost otpornosti. Suštinski, postupak merenja je ostao posredan, mere se odbirci dva napona, ukupno 5000 odbiraka.

Pitanja za razmišljanje:

1. Zašto su tačke na krajevima snimljene krive gušće raspoređene nego u centru?
2. Šta bi trebalo uraditi kako bi tačke bile uniformno raspoređene?
3. Kako bi trebalo modifikovati program `r1.py` da se dobije dijagram sa uniformno raspoređenim tačkama?
4. Da li se dobijeni rezultati razlikuju? Ako da, zašto se razlikuju kada potiču od istih odbiraka potencijala v_1 i v_2 ?
5. Koji je od razmatranih metoda najbolji, „optimalan” i po čemu, zašto?

4.4.3 Statistička obrada rezultata ponovljenih merenja otpornosti

Dopunom programa `r1.py` dobijen je program `r2.py` koji ponavlja merenje otpornosti n puta po sva tri opisana metoda, određuje srednju vrednost i standardnu devijaciju dobijenih rezultata merenja i crta odgovarajuće histograme. Komandom

`python r2.py`

pokrenuti program i zadati $n = 10$. Prikupljanje podataka traje oko 7 sekundi po merenju. Po dobijanju rezultata zapisati srednje vrednosti i standardne devijacije u tabelu 26 □.

Pogledati dobijene histograme, tri pojedinačna i jedan združeni. Pitanje za razmišljanje: u koji rezultat imate najviše poverenja?

Ukoliko raspoloživo vreme dopušta (pitati dežurnog za odluku) ponoviti pokretanje programa `r2.py` za $n = 50$. Popuniti tabelu 27 □. Uporediti rezultate iz tabela 26 i 27. Pitanje za razmišljanje: da li je imalo efekta petostruko uvećanje broja ponovljenih merenja?

Tabela 26: Ponovljena merenja otpornosti, spor program, $n = 10$

tip merenja	$\overline{R_X}$ [Ω]	$\sigma(R_X)$ [Ω]
LSQ		
Pk-Pk		
CycRMS		

Tabela 27: Ponovljena merenja otpornosti, spor program, $n = 50$

tip merenja	$\overline{R_X}$ [Ω]	$\sigma(R_X)$ [Ω]
LSQ		
Pk-Pk		
CycRMS		

U cilju ubrzavanja postupka ponovljenih merenja i izbegavanja dugotrajnog postupka prebacivanja odbiraka sa osciloskopa, program `r2.py` je modifikovan tako da koristi rezultat neposrednog merenja osciloskopa. Time je dobijen program `r3.py` koji ne podržava metod najmanjih kvadrata, ali radi znatno brže. Komandom

`python r3.py`

pokrenuti program i zadati $n = 100$ ponovljenih merenja. Dobijene rezultate za srednju vrednost i standardnu devijaciju upisati u tabelu 28 \square . Pogledati dobijene histograme.

Pitanja za razmišljanje:

1. Jesu li rezultati programa `r3.py` saglasni sa rezultatima programa `r2.py`?
2. Koji od dva raspoloživa metoda za brzo merenje je bolji i zašto?
3. Da li dobijeni histogrami ukazuju na normalnu raspodelu rezultata merenja?
4. Ako neki od histograma ne ukazuje na normalnu raspodelu rezultata merenja, zašto je to tako?

Ukoliko raspoloživo vreme dopušta (pitati dežurnog za odluku) ponoviti pokretanje programa `r3.py` za $n = 500$. Upisati dobijene rezultate u tabelu 29 \square . Pogledati dobijene histograme.

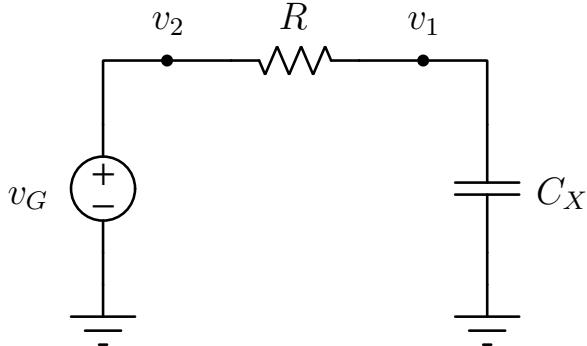
Pitanje za razmišljanje: da li je imalo efekta petostruko uvećanje broja ponovljenih merenja?

Tabela 28: Ponovljena merenja otpornosti, brz program, $n = 100$

tip merenja	$\overline{R_X}$ [Ω]	$\sigma(R_X)$ [Ω]
Pk-Pk		
CycRMS		

Tabela 29: Ponovljena merenja otpornosti, brz program, $n = 500$

tip merenja	$\overline{R_X} [\Omega]$	$\sigma(R_X) [\Omega]$
Pk-Pk		
CycRMS		



Slika 18: Merenje kapacitivnosti

4.4.4 Merenje kapacitivnosti

Reaktansa kondenzatora je data sa

$$X_X = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

pa se na osnovu prethodnog kapacitivnost kondenzatora iz rezultata merenja V_1 i V_2 računa kao

$$C_X = \frac{1}{2\pi f R} \frac{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1}.$$

Kako bi relativna greška merenja kapacitivnosti bila prihvatljiva, analizom preko totalnog diferencijala se i u ovom slučaju može pokazati da V_1 i V_2 ne treba da budu bliski, kao ni da V_1 ne treba da bude blizak nuli. Sugestija za samostalni rad: preko totalnog diferencijala izvedite izraze za apsolutnu i relativnu grešku merenja kapacitivnosti u funkciji grešaka neposredno merenih veličina.

Povezati kondenzator C_1 u šemu sa slike 18. Postaviti frekvenciju generatora signala na 1 kHz, amplitudu na 10 V *peak-to-peak*, ofset na nulu. Podesiti podelu vremenske ose osciloskopa na 250 μ s/div tako da osciloskop „vidi“ više od jednog perioda signala, pa može da meri efektivnu vrednost, amplitudu i frekvenciju. Izmeriti napone V_1 i V_2 i uneti ih u tabelu 30 \square . Izmeriti frekvenciju generatora i zapisati je

$$f = \underline{\hspace{2cm}} \text{. } \square$$

Izračunati vrednosti kapacitivnosti C_1 i uneti ih u tabelu 30 \square . Pokrenuti program `getfig.py` i dokumentovati merenje snimanjem ekrana \square .

4.4.5 Snimanje dijagrama struje i napona kondenzatora

Uključiti prikazivanje MATH talasnog oblika pritiskom na crveno dugme označeno sa MATH. Primenom multifunkcionalnog dugmeta podesiti da prikazani talasni oblik bude CH2 - CH1. Isključiti prikazivanje talasnog oblika sa kanala 2 osciloskopa. Na dobijenom dijagramu žuti trag predstavlja napon kondenzatora, a crveni trag struju kondenzatora. Podešavanjem horizontalne

Tabela 30: Merenje kapacitivnosti, C_1

tip merenja	V_1 [V]	V_2 [V]	C_1 [nF]
Pk-Pk			
CycRMS			

pozicije postaviti da žuti trag odgovara funkciji sinus. Snimiti dijagram sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa `getfig.py` \square . Vratiti horizontalnu poziciju pritiskom na dugme za horizontalno pozicioniranje (okreće se, ali i pritisak na dugme ima efekat koji treba da uočite). Isključiti prikazivanje MATH talasnog oblika.

Pitanja za razmišljanje:

1. Da li su dobijeni dijagrami struje i napona očekivani?
2. Da li fazno prednjači struja ili napon?
3. Na osnovu čega ste zaključili koji signal fazno prednjači?

4.4.6 Zavisnost nanelektrisanja na kondenzatoru od napona i određivanje parametara kondenzatora obradom odbiraka napona i struje

U direktorijumu `vezba-4` nalazi se program `c1.py` koji uzima odbirke napona v_1 i v_2 i njihovom obradom dobija odbirke struje i_C , čijim se numeričkim integraljenjem i uklanjanjem jednosmerne komponente izračunavaju odbirci nanelektrisanja na kondenzatoru prema formulama

$$q_{C0}[k] = \Delta t \sum_0^k i_C[k]$$

za $k \in \{1, \dots, n-1\}$

$$q_0 = \frac{1}{n} \sum_0^{n-1} q_{C0}[k]$$

i konačno

$$q_C[k] = q_{C0}[k] - q_0$$

gde je $n = 2500$ broj odbiraka koje osciloskop prikuplja po slici, a $\Delta t = 1 \text{ ms}/n$ rastojanje između dva odbirka, pošto se na ekranu prikazuje jedan period signala koja u datom slučaju traje 1 ms.

Na osnovu izmerenih i izračunatih odbiraka napona, struje i nanelektrisanja kondenzatora, program `c1.py` računa kapacitivnost kondenzatora na pet načina: postavljanjem optimalne prave kroz dijagram odbiraka nanelektrisanja kondenzatora u funkciji napona na kondenzatoru, C_{Xlsqq} , računanjem odnosa amplituda nanelektrisanja i amplituda napona, $C_{Xpk2pkq}$, računanjem odnosa efektivne vrednosti nanelektrisanja i efektivne vrednosti napona, C_{Xrmsq} , i na dva načina preko računanja impedanse kondenzatora: preko amplitude napona i struje, C_{Xpk2pk} i preko efektivne vrednosti napona i struje C_{Xrms} . Osim ovoga, program računa i snagu disipiranu na kondenzatoru, P_{CX} i ekvivalentnu serijsku otpornost kondenzatora $\text{esr}(C_X)$.

U ovom delu vežbe je potrebno pokrenuti program `c1.py` pet puta i zabeležiti rezultate merenja parametara kondenzatora. Popuniti tabele 31 i 32 \square . Pitanje za razmišljanje: da li su rezultati merenja ponovljivi?

Pogledati dijagrame zavisnosti nanelektrisanja od napona na kondenzatoru \square . Pitanje za razmišljanje: da li su zavisnosti u skladu sa očekivanjima?

Tabela 31: Merenje kapacitivnosti preko odbiraka napona, struje i naelektrisanja

r. br.	C_{Xlsqq} [nF]	$C_{Xpk2pkq}$ [nF]	C_{Xrmsq} [nF]	C_{Xpk2pk} [nF]	C_{Xrms} [nF]
1					
2					
3					
4					
5					

Tabela 32: Merenje disipacije na kondenzatoru i određivanje ekvivalentne serijske otpornosti kondenzatora

redni broj	P_{CX} [μ W]	$\text{esr}(C_X)$ [Ω]
1		
2		
3		
4		
5		

4.4.7 Statistička obrada rezultata ponovljenih merenja kapacitivnosti

U cilju ubrzavanja ponovljenih merenja kapacitivnosti, razvijen je program `c2.py` koji koristi neposredna merenja efektivne vrednosti napona i frekvencije dobijena pomoću osciloskopa. Pokrenuti program komandom

`python c2.py`

i zadati broj ponavljanja od $n = 100$. Upisati dobijene rezultate za srednju vrednost

$$\overline{C_1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ nF } \square$$

i standardnu devijaciju

$$\sigma(C_1) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ nF } \square.$$

Pogledati dobijeni histogram.

Pitanja za razmišljanje:

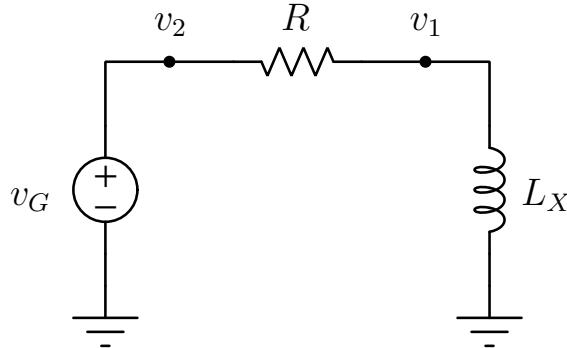
1. Da li su dobijeni rezultati u skladu sa prethodnim rezultatima?
2. Da li histogram ukazuje na normalnu raspodelu?
3. Ako je slaganje sa normalnom raspodelom dobro, zašto je to u ovom slučaju tako?

Ukoliko raspoloživo vreme dopušta (pitati dežurnog za odluku) ponoviti pokretanje programa `c2.py` za $n = 500$. Upisati dobijene rezultate za srednju vrednost

$$\overline{C_1} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ nF } \square$$

Tabela 33: Merenje nepoznatih kapacitivnosti

kondenzator	f [kHz]	V_1 [V]	V_2 [V]	C_X [nF]
C_2				
C_3				
C_4				



Slika 19: Merenje induktivnosti

i standardnu devijaciju

$$\sigma(C_1) = \text{_____} \text{ nF } \square.$$

Uporediti rezultate za $n = 100$ i $n = 500$. Pitanje za razmišljanje: da li je imalo efekta petostruko uvećanje broja ponovljenih merenja?

4.4.8 Merenja nepoznatih kapacitivnosti

U ovom delu vežbe se od studenata očekuje da budu sposobni da sami procene potrebnu frekvenciju generatora signala kako bi uspešno izvršili merenje. Merenje nepoznatih kapacitivnosti treba da bude posredno, neposredno će se meriti efektivne vrednosti napona v_1 i v_2 , kao i frekvencija generatora signala. Amplituda signala sa generatora treba da bude 10 V *peak-to-peak*, offset treba da bude nula. Potrebno je redom povezati kondenzatore C_2 , C_3 i C_4 u šemu sa slike 18, za svaki od njih proceniti frekvenciju na kojoj treba vršiti merenje, izmeriti efektivne vrednosti V_1 i V_2 i izračunati nepoznatu kapacitivnost. Popuniti tabelu 33. Za svako od merenja pokrenuti program `getfig.py` i dokumentovati merenje snimanjem ekrana u pdf formatu \square .

4.4.9 Merenje induktivnosti

Za merenje induktivnosti potrebno je nepoznatu induktivnost vezati u kolo prema slici 19. Kako je reaktansa kalema

$$X_X = \omega L = 2\pi f L$$

induktivnost L se iz merenja napona V_1 i V_2 izračunava kao

$$L = \frac{R}{2\pi f} \frac{V_1}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}.$$

Tabela 34: Merenje induktivnosti, L_1

amplituda Pk-Pk	V_1 [V]	V_2 [V]	L_1 [mH]
10 V			
1 V			

Postaviti frekvenciju generatora signala na 4 kHz, amplitudu na 10 V *peak-to-peak*, ofset na nulu. Postaviti podelu vremenske ose osciloskopa na 50 μ s/div. Očitati efektivne vrednosti napona V_1 i V_2 i uneti ih u tabelu 34 □. Za frekvenciju koristiti podatak o zadatoj frekvenciji generatora signala. Pitanje za razmišljanje: koji je podatak o frekvenciji tačniji, sa generatora signala ili sa osciloskopa?

Merenje dokumentovati pokretanjem programa `getfig.py` □. Pogledati oblik napona v_1 . Da li je oblik napona izobličen, ukazuje li na nelinearnost kalema?

Smanjiti amplitudu napona deset puta, na 1 V *peak-to-peak*. Smanjiti podelu naponske ose osciloskopa deset puta na oba kanala. Pokrenuti program `getfig.py` □. Izmeriti efektivne vrednosti napona V_1 i V_2 i popuniti tabelu 34 □.

Pitanja za razmišljanje:

1. Jesu li rezultati merenja pri dve amplitude napona generatora međusobno saglasni?
2. Da li je smanjenje amplitude signala uticalo na smanjenje izobličenja?
3. Jesu li izobličenja posledica zasićenja jezgra ili histerezisa?
4. Na osnovu čega se može dati odgovor na prethodno pitanje?

Vratiti amplitudu generatora na 10 V i povećati podelu naponske ose deset puta na oba kanala.

4.4.10 Snimanje dijagrama struje i napona kalema

Uključiti prikazivanje MATH talasnog oblika pritiskom na crveno dugme označeno sa MATH. Primenom multifunkcionalnog dugmeta podesiti da prikazani talasni oblik bude CH2 - CH1. Isključiti prikazivanje talasnog oblika sa kanala 2 osciloskopa. Na dobijenom dijagramu žuti trag predstavlja napon kalema, a crveni trag struju kalema. Podešavanjem horizontalne pozicije postaviti da žuti trag odgovara funkciji sinus. Snimiti dijagram sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa `getfig.py` □. Vratiti horizontalnu poziciju pritiskom na dugme za horizontalno pozicioniranje. Isključiti prikazivanje MATH talasnog oblika.

Pitanja za razmišljanje:

1. Da li su dobijeni dijagrami struje i napona očekivani?
2. Da li fazno prednjači struja ili napon?
3. Da li je dobijena fazna razlika očekivana ili ima malo odstupanje?
4. Šta izaziva odstupanje u fazi od očekivane vrednosti?
5. Kako se uočeno odstupanje uklapa u pretpostavke uvedene tokom izvođenja formule pomoću koje se izračunava induktivnost kalema?

Tabela 35: Merenje induktivnosti preko odbiraka struje, napona i fluksa, program 11.py

r. br.	L_{Xlsql} [mH]	$L_{Xpk2pkl}$ [mH]	L_{Xrmsl} [mH]	L_{Xpk2pk} [mH]	L_{Xrms} [mH]
1					
2					
3					
4					
5					

Tabela 36: Merenje disipacije na kalemu i određivanje ekvivalentne paralelne otpornosti kalema, program 11.py

redni broj	P_{LX} [μ W]	epr(L_X) [$k\Omega$]
1		
2		
3		
4		
5		

4.4.11 Zavisnost fluksa kalema od struje i određivanje parametara kalema obrazom odbiraka napona i struje

Analogno programu c1.py napravljen je program 11.py koji prikuplja odbirke napona v_1 i v_2 , računa odbirke struje kalema, integrali napon na kalemu i računa odbirke fluksa kalema. Obradom podataka o struji kalema i fluksu kalema računa induktivnosti L_{Xlsql} metodom najmanjih kvadrata, $L_{Xpk2pkl}$ metodom odnosa amplituda i L_{Xrmsl} metodom odnosa efektivnih vrednosti. Obradom podataka o naponu i struji kalema i poznavanjem frekvencije generatora, program računa induktivnosti L_{Xpk2pk} koristeći amplitude i L_{Xrms} koristeći efektivne vrednosti. Takođe, program računa disipaciju na kalemu i na osnovu nje i efektivne vrednosti napona računa ekvivalentnu paralelnu otpornost kalema koja modeluje gubitke u jezgru.

Pokrenuti program 11.py pet puta i dobijene rezultate uneti u tabele 35 i 36 \square .

U cilju analize nelinearnih efekata, modifikovan je program 11.py tako što je pobuda smanjena deset puta, čime je dobijen program 12.py. Pokrenuti program 12.py pet puta i dobijene rezultate uneti u tabele 37 i 38 \square .

Pogledati dobijene zavisnosti napona na kalemu od struje kalema i fluksa kalema od struje kalema.

Pitanja za razmišljanje:

1. Da li model kondenzatora ili model kalema bolje odgovara realnoj komponenti?
2. Da li „petlja” u zavisnosti fluksa od struje kalema potiče od histerezisa ili od vrtložnih struja ili su oba efekta zastupljena?
3. Kojim bi dodatnim eksperimentom moglo da se utvrди da li vrtložne struje imaju značajan efekat?

Tabela 37: Merenje induktivnosti preko odbiraka struje, napona i fluksa, program 12.py

r. br.	L_{Xlsql} [mH]	$L_{Xpk2pkl}$ [mH]	L_{Xrmsl} [mH]	L_{Xpk2pk} [mH]	L_{Xrms} [mH]
1					
2					
3					
4					
5					

Tabela 38: Merenje disipacije na kalemu i određivanje ekvivalentne paralelne otpornosti kalema, program 12.py

redni broj	P_{LX} [μ W]	epr(L_X) [$k\Omega$]
1		
2		
3		
4		
5		

4.4.12 Merenje nepoznatih induktivnosti

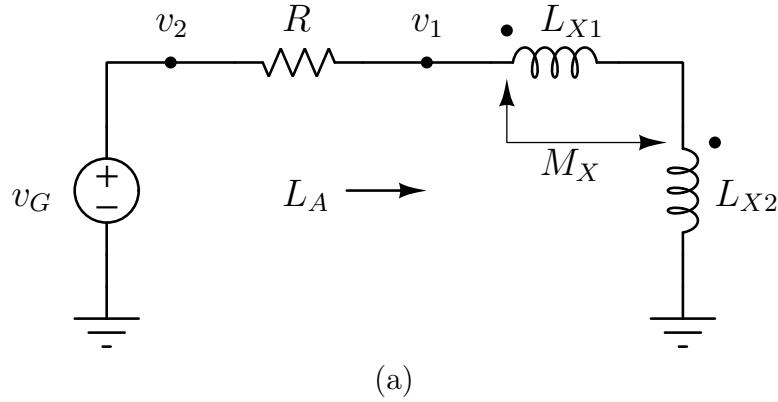
U ovom delu vežbe se od studenata očekuje da budu sposobni da sami procene potrebnu frekvenciju generatora signala kako bi uspešno izvršili merenje. Zbog gubitaka u jezgru kalema frekvencija treba da bude manja od 100 kHz. Merenje nepoznatih induktivnosti treba svesti na merenje efektivne vrednosti napona v_1 i v_2 i poznavanje frekvencije generatora signala. Amplituda signala sa generatora treba da bude 10 V *peak-to-peak*, ofset treba da bude nula. Potrebno je redom povezati kalemove L_2 i L_3 u šemu sa slike 19, za svaki od njih proceniti frekvenciju na kojoj treba vršiti merenje, izmeriti efektivne vrednosti V_1 i V_2 i izračunati nepoznatu induktivnost. Popuniti tabelu 39. Za svako od merenja pokrenuti program `getfig.py` i dokumentovati merenje snimanjem ekrana u pdf formatu \square .

4.4.13 Merenje međusobne induktivnosti i koeficijenta sprege

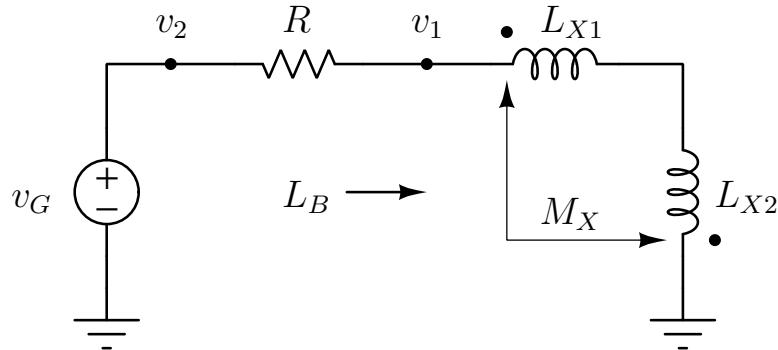
Međusobna induktivnost, posledično i koeficijent sprege spregnutih namotaja se mogu odrediti svođenjem na merenje induktivnosti. Prvo treba odrediti induktivnosti namotaja L_{X1} i L_{X2} , na način kako je merena induktivnost u prethodnoj tački. Prilikom merenja induktivnosti jednog namotaja, drugi namotaj treba da bude otvoren. Potom treba izmeriti induktivnost L_A

Tabela 39: Merenje nepoznatih induktivnosti

kalem	f [kHz]	V_1 [V]	V_2 [V]	L_X [mH]
L_2				
L_3				



(a)



(b)

Slika 20: Merenje međusobne induktivnosti, L_A (a) i L_B (b)Tabela 40: Merenje međusobne induktivnosti i koeficijenta sprege, L_{X1} , L_{X2} , L_A i L_B , transformator T1

induktivnost	V_1 [V]	V_2 [V]	rezultat [μH]
L_{X1}			
L_{X2}			
L_A			
L_B			

njihove redne veze, slika 20(a) i induktivnost njihove „anti-redne” veze L_B , slika 20(b). **Sva merenja treba vršiti pri istoj frekvenciji signala**, koja zbog karakteristika feromagnetskog jezgra treba da bude manja od 20 kHz, ali i dovoljno velika da reaktansa namotaja bude merljiva. Zapisati izabranu frekvenciju

$$f = \underline{\hspace{10mm}} \text{ kHz } \square.$$

Svako merenje treba dokumentovati pokretanjem programa `getfig.py` \square . Popuniti tabelu 40 \square .

Na osnovu podataka iz tabele 40 popuniti tabelu 42 \square koristeći

$$M = \frac{L_A - L_B}{4}$$

i

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_{X1} L_{X2}}}.$$

Tabela 41: Merenje međusobne induktivnosti i koeficijenta sprege, L_{X1} , L_{X2} , L_A i L_B , transformator T2

induktivnost	V_1 [V]	V_2 [V]	rezultat [μH]
L_{X1}			
L_{X2}			
L_A			
L_B			

Tabela 42: Izračunavanje međusobne induktivnosti i koeficijenta sprege

transformator	M [μH]	k
T1		
T2		

Sugestija za samostalni rad: izvesti formulu za računanje međusobne induktivnosti M iz L_A i L_B .

Ponoviti postupak za transformator T2. Zapisati izabranu frekvenciju

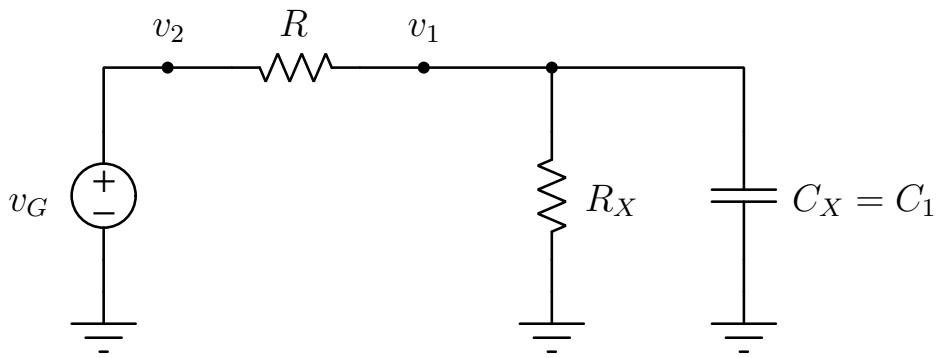
$$f = \underline{\hspace{10mm}} \text{ kHz } \square.$$

Svako merenje treba dokumentovati pokretanjem programa `getfig.py` \square . Popuniti tabele 41 i 42 \square .

4.4.14 Merenje modula, argumenta, realnog dela i imaginarnog dela impedanse

Koristeći otpornik R_X i kondenzator $C_X = C_1$ povezati kolo sa slike 21. Podesiti amplitudu generatora na 10 V *peak-to-peak*, frekvenciju na 400 Hz. Kod osciloskopa podesiti podelu naponske ose na 1 V/div na kanalu 1, na 2 V/div na kanalu 2, podelu vremenske ose na 500 $\mu\text{s}/\text{div}$. Na ekranu prikazati kanal 1, isključiti prikazivanje kanala 2, prikazati MATH „kanal”, izabrati prikazivanje CH2 - CH1. Sada je napon na CH1 (žuti trag) napon na nepoznatoj impedansi, a napon na MATH „kanalu” (crveni trag) napon na etalonском otporniku, proporcionalan struji impedanse. Uključiti merenje Cycle RMS na CH1 i na MATH kanalu. Uključiti pokazivače i podešiti da mere vreme od uzlaznog prolaska kroz nulu talasnog oblika napona do uzlaznog prolaska kroz nulu talasnog oblika struje. Dokumentovati merenje pokretanjem programa `getfig.py` \square . Izmeriti:

1. amplitudu na CH1, $V_Z = \underline{\hspace{10mm}}$ V \square
2. amplitudu na MATH $V_R = \underline{\hspace{10mm}}$ V \square
3. frekvenciju $f = \underline{\hspace{10mm}}$ Hz \square (zapisati podatak sa generatora signala)
4. vreme proteklo od uzlaznog prolaska kroz nulu na CH1 do uzlaznog prolaska kroz nulu MATH $\Delta t = \underline{\hspace{10mm}}$ μs \square . Voditi računa o znaku Δt , ako struja prednjači znak Δt je negativan.



Slika 21: Merenje modula, realnog dela, imaginarnog dela i argumenta impedanse

Isključiti prikazivanje MATH talasnog oblika.

Moduo impedanse je dat sa

$$Z_X = R \frac{V_Z}{V_R}$$

argument impedanse je

$$\varphi = 2\pi \frac{\Delta t}{T} = 2\pi f \Delta t$$

realni deo impedanse je

$$R_Z = Z_X \cos \varphi$$

dok je imaginarni deo impedanse

$$X_Z = Z_X \sin \varphi.$$

Odrediti navedene veličine i zapisati ih:

$$Z_X = \underline{\hspace{10em}} \Omega \square$$

$$\varphi = \underline{\hspace{10em}} \text{rad} \square$$

$$R_Z = \underline{\hspace{10em}} \Omega \square$$

$$X_Z = \underline{\hspace{10em}} \Omega \square.$$

Pitanja za razmišljanje:

1. Zašto je Δt negativno ako struja fazno prednjači?
2. Da li R_Z i X_Z odgovaraju otpornosti R_X i reaktansi kondenzatora $\frac{1}{2\pi f C_X}$?
3. Ako je odgovor na prethodno pitanje negativan, zašto je rezultat takav?

4.4.15 Dokumentovanje rezultata merenja

Direktorijum vezba-4 i njegov sadržaj iskopirati na USB flash drive i sačuvati do polaganja ispita

ELEKTRIČNA MERENJA
— laboratorijske vežbe —

Vežba broj 5

Snimanje karakteristika nelinearnih elemenata pomoću osciloskopa

ime i prezime: _____

broj indeksa: _____

grupa: _____

datum: _____

vreme: _____

ocena: _____

dežurni: _____

5 Snimanje karakteristika nelinearnih elemenata pomoću osciloskopa

5.1 Potrebni instrumenti i pribor

1. generator signala Agilent 33220A sa USB kablom
2. BNC-to-BNC kabl, 1 komad
3. BNC kablovi sa bananskim utikačima, 3 komada, **svi sa masom**
4. osciloskop Tektronix TBS 1052B-EDU sa USB kablom
5. protobord
6. žice za povezivanje na protobordu 6 komada
7. otpornici otpornosti 100Ω , 5%, dva komada
8. transformator T1 za snimanje karakteristike magnećenja, sa torusnim jezgrom
9. transformator T2 za snimanje karakteristike magnećenja, sa E jezgrom
10. dioda 1N4148
11. tranzistor BC337
12. tranzistor BC327
13. otpornik $1\text{k}\Omega$, 5%, 1 komad
14. otpornik $10\text{k}\Omega$, 5%, 2 komada
15. provodnici sa bananskim utikačima, 3 komada
16. računar sa softverom za vežbu broj 5
17. studenti treba da imaju USB flash drive kako bi sačuvali rezultate merenja

5.2 Opis i ciljevi vežbe

Vežba se sastoji iz dva dela. U prvom delu vežbe se vrše merenja karakteristika magnetskih komponenata sa feromagnetskim jezgrima. Na primeru dva jezgra će biti snimljena karakteristika magnećenja pri različitim amplitudama i frekvencijama pobudnog signala i na osnovu snimljenih dijagrama će biti nacrtana normalna kriva magnetizacije i zavisnost gubitaka u jezgru od maksimalne vrednosti magnetizacione struje i maksimalne vrednosti fluksa u jezgru. Takođe, na primeru jednog jezgra će biti prikazano merenje zavisnosti inkrementalne međusobne induktivnosti od jednosmerne struje polarizacije pobudnog namotaja jezgra. Ovaj deo vežbe je dominantno zasnovan na pokretanju odgovarajućih programa koji merenja vrše, a od studenata se očekuje da sagledaju i razumeju dobijene rezultate.

Drugi deo vežbe se sastoji iz povezivanja tri nelinearna rezistivna kola i snimanja njihovih prenosnih karakteristika. Karakteristike će biti snimane pri različitim frekvencijama, sa ciljem da se sagleda do koje frekvencije se kolo može smatrati za rezistivno. U ovom delu vežbe naglasak je na samostalnom povezivanju kola koje studenti vrše.

Očekuje se da posle uspešno odrđene vežbe studenti steknu dublje razumevanje feromagnetskih materijala i ovladaju metodama merenja njihovih parametara. Studenti će unaprediti

svoje veštine u povezivanju električnih kola i snimiće karakteristike tri jednostavna nelinearna rezistivna kola. Takođe, biće u prilici da sagledaju ograničenja pretpostavke da je određeno kolo rezistivno.

Aktivnosti koje daju rezultat koji se dokumentuje naznačene su sa \square , gde treba staviti oznaku kada je aktivnost završena.

5.3 Napomene

Pre prelaska na merenja potrebno je pokrenuti terminal i postaviti da radni direktorijum bude `~/Desktop/vezba-5`. U tom direktorijumu, koji je osnovni za ovu vežbu, nalazi se niz poddirektorijuma u kojima se rade pojedini delovi vežbe. Prilikom promena podešavanja generatora signala potrebno je isključiti („disejblovati“) njegov izlaz. Transformatori T1 i T2 i šant R_S su već postavljeni na levoj strani protoborda i ne treba ih pomerati. Za drugi deo vežbe treba koristiti desni deo protoborda, na kome su već postavljeni bipolarni tranzistori koje ne treba pomerati. Posebnu pažnju u drugom delu vežbe treba posvetiti povezivanju jednosmernog izvora za napajanje. Izvor za napajanje ne treba uključivati pre nego što to odobri dežurni.

5.4 Zadatak, prvi deo vežbe

5.4.1 Snimanja karakteristike magnećenja feromagnetskih jezgara

Kolo za snimanje karakteristike magnećenja feromagnetskog jezgra je prikazano na slici 22. Generator v_G je generator signala, jezgro koje je predmet ispitivanja je iskorišćeno da se od njega napravi transformator koji je za oba transformatora koji se koriste u ovoj vežbi prenosnog odnosa 1 : 1. Šant za merenje struje, R_S , ima otpornost 50Ω i realizovan je kao paralelna veza dva otpornika od 100Ω . Synchronizaciju osciloskopa treba postaviti na synchronizacioni izlaz generatora signala preko eksternog ulaza za synchronizaciju na osciloskopu. Povezati osciloskop tako da je v_1 na kanalu 1 i v_2 na kanalu 2. **Napomena:** prilikom povezivanja kanala 2, sondu vezati direktno na sekundarni namotaj, bez zajedničke mase. Parazitne otpornosti mogu bitno uticati na rezultat.

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/1a`. Povezati transformator T1 u kolo sa slike 22. Pokrenuti program `hloopa.py` komandom

```
python hloopa.py
```

\square . Program će postaviti frekvenciju generatora signala na 1 kHz , menjati amplitudu generatora signala i sakupljati odbirke napona v_1 i v_2 . Struja pobudnog namotaja je

$$i = \frac{v_1}{R_S} = \frac{v_1}{50\Omega}.$$

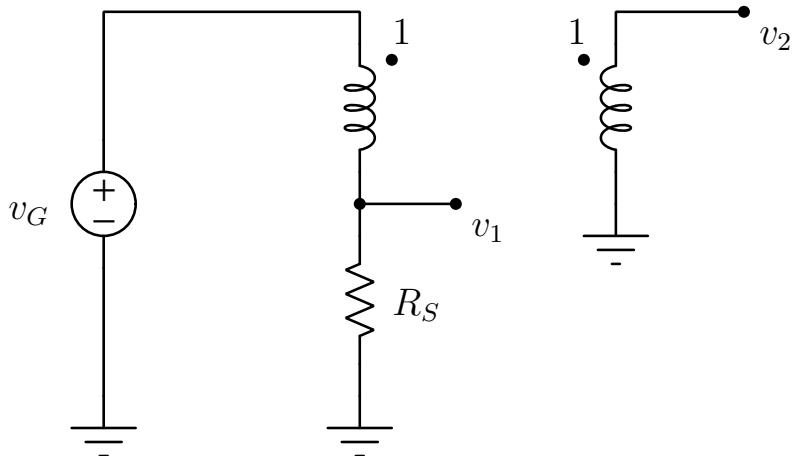
Napon v_2 se numerički integrali kako bi se dobio fluks na namotaju, λ ,

$$\frac{d\lambda}{dt} = v_2$$

u skladu sa metodima numeričke integracije primjenjenim u vežbi 4. Veza $\lambda(i)$ je karakteristika magnećenja jezgra. Karakteristike magnećenja jezgra program iscrtava i zapisuje u pdf i png formatu. Izabrane krive magnećenja crta na zajedničkom dijagramu. Na osnovu snimljenih dijagrama, program konstruiše normalnu krivu magnetizacije koja je određena tačkama u kojima magnetopobudna sila i fluks u jezgru dostižu maksimume prilikom snimanja krivih magnećenja za zadate amplitude pobude. Takođe, program meri i gubitke u jezgru i generiše zavisnost gubitaka u jezgru od maksimuma magnetizacione struje i od maksimuma fluksa u jezgru.

Pogledati dobijene dijagrame \square .

Pitanja za razmišljanje:



Slika 22: Kolo za snimanje karakteristike magnećenja..

1. Da li su dobijeni rezultati očekivani?
2. Pri kojoj magnetopobudnoj sili i kom fluksu jezgro ide u zasićenje?
3. Da li je normalna kriva magnećenja simetrična?
4. Šta je potrebno uraditi da bi se na osnovu dobijenih rezultata odredila kriva magnećenja feromagnetskog materijala $B(H)$?

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/1b`. Pokrenuti program `hloopb.py` Program snima karakteristike magnećenja pri frekvenciji od 100 Hz. Snimanje pri različitim frekvencijama se vrši kako bi se razdvojili efekti vrtložnih struja od efekata histerezisa feromagnetskog materijala. Pogledati dobijene dijagrame.

Pitanja za razmišljanje:

1. Koliko su dobijeni rezultati saglasni sa prethodnim rezultatima?
2. U čemu su razlike?
3. Od čega potiču razlike?

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/1c`. Pokrenuti program `hloopc.py` Program snima karakteristike magnećenja pri frekvenciji od 4 kHz. Snimanje pri različitim frekvencijama se vrši kako bi se razdvojili efekti vrtložnih struja od efekata histerezisa feromagnetskog materijala, ovim merenjem dobijamo još jedan izvor informacija. Pogledati dobijene dijagrame

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/1d`. Povezati kolo sa slike 22 koristeći transformator T2. Pokrenuti program `hloopd.py` Program snima karakteristike magnećenja pri frekvenciji od 400 Hz. Pogledati dobijene dijagrame.

Pitanja za razmišljanje:

1. U čemu su sličnosti, a u čemu razlike u odnosu na krivu magnećenja prethodno analiziranog jezgra?
2. Pri kojoj struji magnećenja i pri kom fluksu jezgro ide u zasićenje?

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/1e`. Pokrenuti program `hlope.py` Program snima karakteristike magnećenja pri frekvenciji od 40 Hz. Pogledati dobijene dijagrame.

Pitanja za razmišljanje:

1. U čemu su sličnosti, a u čemu razlike u odnosu na prethodno snimljene krive magnećenja?
2. Pri kojoj struji magnećenja i pri kom fluksu jezgro ide u zasićenje?
3. Imaju li uočeni efekti sličnosti sa efektima uočenim kod prethodno razmatranog jezgra?

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/1f`. Pokrenuti program `hloopf.py`

Program snima karakteristike magnećenja pri frekvenciji od 1 kHz. Pogledati dobijene dijagrame .

Pitanja za razmišljanje:

1. Ima li značajnih (uočljivih) efekata vrtložnih struja u opsegu frekvencija od 40 Hz do 1 kHz?
2. U slučaju da ih ima, gde se vidi efekat vrtložnih struja?

5.4.2 Merenje inkrementalne međusobne induktivnosti

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/1g`.

Napon na sekundaru transformatora u kolu sa slike 22 je dat sa

$$v_2 = M \frac{di_1}{dt}$$

Ako je

$$i_1(t) = I_1 + I_{1m} \sin(\omega t)$$

gde je I_{1m} mala amplituda, zbog nelinearnih efekata u jezgru se dobija da je

$$v_2(t) = \omega M (I_1) \cos(\omega t)$$

Cilj ovog dela vežbe je snimanje zavisnosti $M (I_1)$ za transformator sa torusnim jezgrom, T1. U tom cilju, treba povezati kolo sa slike 22 sa transformatorom T1, za amplitudu generatora signala treba postaviti 1 V *peak-to-peak*. Frekvenciju treba postaviti na 4 kHz, a offset generatora signala treba menjati u skladu sa zahtevima iz tabele 43. Za svaku tačku na kanalu 1 treba izmeriti jednosmernu komponentu napona, V_1 i efektivnu vrednost naizmenične komponente V_{1mrms} , odakle se izračunavaju jednosmerne komponente struje polarizacije jezgra i efektivna vrednost njene naizmenične komponente

$$I_1 = \frac{V_1}{R_S} = \frac{V_1}{50 \Omega}$$

i

$$I_{1mrms} = \frac{V_{1mrms}}{R_S} = \frac{V_{1mrms}}{50 \Omega}.$$

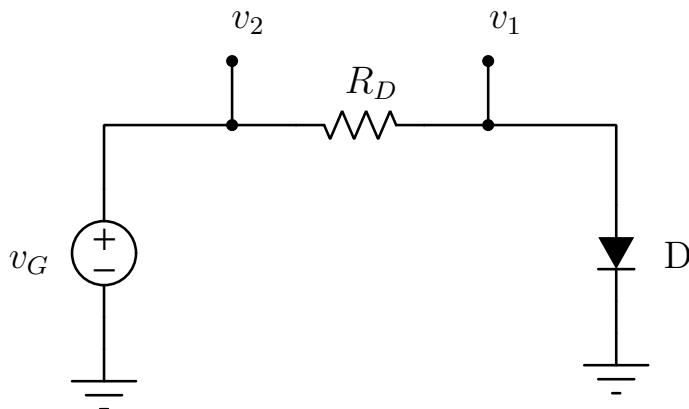
Na sekundarnoj strani treba meriti samo efektivnu vrednost naizmenične komponente napona, V_{2mrms} . Za navedena tri merenja treba koristiti **Measure** opciju osciloskopa i uključiti odgovarajuća merenja u skladu sa naučenim u ranijim vežbama. Na kanalu 1 je potrebno menjati spregu sa DC na AC i prilagođavati podelu naponske ose u skladu sa potrebama. Na kraju se inkrementalna međusobna induktivnost računa kao

$$M = \frac{V_{2mrms}}{2\pi f I_{1mrms}}$$

Popuniti tabelu 43 .

Tabela 43: Zavisnost $M(I)$

offset	V_1	V_{1mrms}	V_{2mrms}	I_{1mrms}	I_1	$M(I_1)$
-9 V						
-5 V						
0 V						
5 V						
9 V						



Slika 23: Kolo za snimanje karakteristike diode.

Za crtanje krive $M(I_1)$ u velikom broju tačaka, gornji postupak bi bio suviše naporan, pa je napravljen program za automatizaciju merenja. Automatizovano merenje koje je programirano vrši dva prolaska preko svake tačke, kada I_1 raste i kada opada.

Pokrenuti program `incrementalM1.py` i pogledati rezultujući dijagram \square .

Povezati kolo sa slike 22 sa transformatorom T2. Pokrenuti program `incrementalM2.py` i pogledati rezultujući dijagram \square .

Pitanja za razmišljanje:

1. Gde se u dobijenim dijagramima vidi histerezis feromagnetskog jezgra?
2. Da li je granica zasićenja jezgra jasno definisana?

5.5 Zadatak, drugi deo vežbe

5.5.1 Snimanje karakteristike diode

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/2diode`. Povezati kolo sa slike 23 u kome je $R_D = 1\text{ k}\Omega$. Na generatoru signala podesiti oblik signala na Ramp, simetriju na 50%, amplitudu na 2 V *peak-to-peak*, frekvenciju na 100 Hz, ofset na nulu.

Uključiti izlaz generatora signala i podesiti sliku na osciloskopu tako da nula na oba kanala bude na centralnoj liniji graduacije ekrana, a podela po vertikalnoj osi takva da se posmatrani dijagram vidi u najkrupnijoj razmeri pri kojoj ceo staje u ekran. Podelu vremenske ose podesiti tako da se na ekranu prikažu oko dva perioda signala. Tek kada ste se uverili da je slika na ekranu podešena i smislena predite na dokumentovanje rezultata.

Pokrenuti program `diode.py` \square komandom

```
python diode.py s1
```

gde je **s1** početak imena fajla u koji se smeštaju rezultujući dijagrami □. Program generiše dva dijagrama, od kojih jedan na kraju imena sadrži slovo **q** i dobijen je tako što su pikazani samo rezultati merenja tačkama, bez međusobnog povezivanja tačaka, kako bi se ilustrovala kvantizacija kod digitalnih merenja. Pogledati dobijene dijagrame.

Povećati amplitudu na 4 V *peak-to-peak*. Pokrenuti program **diode.py** □ komandom

```
python diode.py s2
```

Povećati amplitudu na 10 V *peak-to-peak*. Pokrenuti program **diode.py** □ komandom

```
python diode.py s5
```

Povećati amplitudu na 20 V *peak-to-peak*. Pokrenuti program **diode.py** □ komandom

```
python diode.py s10
```

Vratiti amplitudu generatora signala na 2 V *peak-to-peak*.

Promeniti frekvenciju generatora signala na 100 kHz. Podelu vremenske ose podesiti tako da se na ekranu prikažu oko dva perioda signala. Pokrenuti program **diode.py** □ komandom

```
python diode.py f1
```

gde je **f1** početak imena fajla u koji se smešta rezultujući dijagram □. Pogledati dobijeni dijagram.

Povećati amplitudu na 4 V *peak-to-peak*. Pokrenuti program **diode.py** □ komandom

```
python diode.py f2
```

Povećati amplitudu na 10 V *peak-to-peak*. Pokrenuti program **diode.py** □ komandom

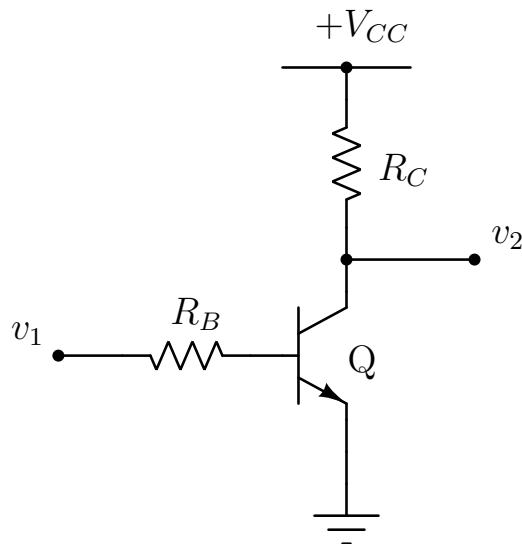
```
python diode.py f5
```

Povećati amplitudu na 20 V *peak-to-peak*. Pokrenuti program **diode.py** □ komandom

```
python diode.py f10
```

Pitanja za razmišljanje:

1. Zašto karakteristika diode u oblasti inverzne polarizacije opisuje petlju pri visokoj frekvenciji pobudnog signala?
2. Šta očekujete da bi se dogodilo sa petljom ako bi frekvencija pobudnog signala bila 1 MHz?
Za ovu frekvenciju bi oblik pobudnog signala bilo neophodnodno prebaciti na sinusoidalni.
Zašto? Ukoliko raspoloživo vreme dopušta, pokušajte ovo merenje, u nazivima fajlova umesto **f** unesite **ff**.



Slika 24: Pojačavač sa zajedničkim emitorom.

5.5.2 Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/2ce`. Povezati kolo sa slike 24 u kome je Q BC337, $R_B = R_C = 10\text{ k}\Omega$ i $V_{CC} = 10\text{ V}$. Na generatoru signala postaviti tip signala na Ramp, minimalnu vrednost LoLevel na nulu, maksimalnu vrednost HiLevel na 1 V, simetriju na 50%. Podesiti frekvenciju signala na 100 Hz.

Uključiti izvor za napajanje i uključiti izlaz generatora signala. Podesiti sliku na osciloskopu tako da nula na oba kanala bude na -3 div, a podela po vertikalnoj osi takva da se posmatrani dijagram vidi u najkrupnijoj razmeri pri kojoj ceo staje u ekran. Podelu vremenske ose podesiti tako da se na ekranu prikažu oko dva perioda signala, **što treba činiti pri svakoj promeni frekvencije**. Tek kada ste se uverili da je slika na ekranu podešena i smislena predite na dokumentovanje rezultata.

Pokrenuti

```
ipython --pylab
from oscusb import *
o = Oscilloscope()
```

Snimiti vremenske dijagrame □ i prenosnu karakteristiku □ komandama

```
o.drawfig(filename = 'w100')
o.drawxy(filename = 'xy100')
```

Podesiti frekvenciju signala na 1 kHz. Snimiti vremenske dijagrame □ i prenosnu karakteristiku □ komandama

```
o.drawfig(filename = 'w1k')
o.drawxy(filename = 'xy1k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 4 kHz. Snimiti vremenske dijagrame □ i prenosnu karakteristiku □ komandama

```
o.drawfig(filename = 'w4k')
o.drawxy(filename = 'xy4k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 10 kHz. Snimiti vremenske dijagrame □ i prenosnu karakteristiku □ komandama

```
o.drawfig(filename = 'w10k')
o.drawxy(filename = 'xy10k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 20 kHz. Snimiti vremenske dijagrame \square i prenosnu karakteristiku \square komandama

```
o.drawfig(filename = 'w20k')
o.drawxy(filename = 'xy20k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 40 kHz. Snimiti vremenske dijagrame \square i prenosnu karakteristiku \square komandama

```
o.drawfig(filename = 'w40k')
o.drawxy(filename = 'xy40k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 100 kHz. Snimiti vremenske dijagrame \square i prenosnu karakteristiku \square komandama

```
o.drawfig(filename = 'w100k')
o.drawxy(filename = 'xy100k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 200 kHz. Snimiti vremenske dijagrame \square i prenosnu karakteristiku \square komandama

```
o.drawfig(filename = 'w200k')
o.drawxy(filename = 'xy200k')
```

Pošto generator signala ne može da generiše testeraste signale frekvencije veće od 200 kHz, promeniti oblik signala na sinusoidalni. Podesiti frekvenciju signala na 400 kHz. Snimiti vremenske dijagrame \square i prenosnu karakteristiku \square komandama

```
o.drawfig(filename = 'w400k')
o.drawxy(filename = 'xy400k')
```

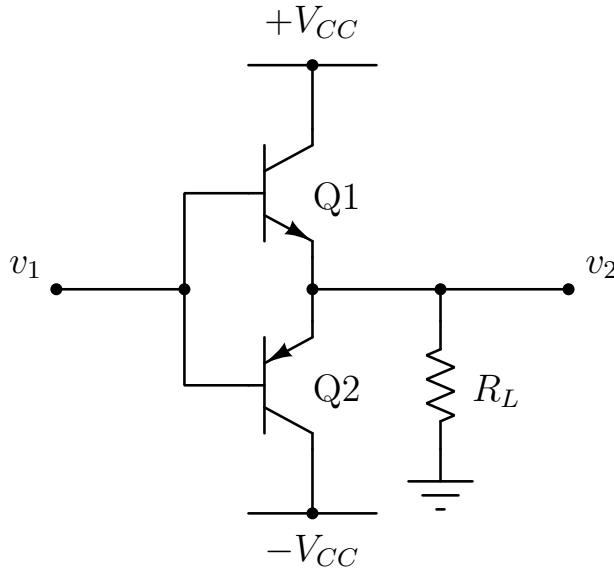
Podesiti frekvenciju signala na 1 MHz. Snimiti vremenske dijagrame \square i prenosnu karakteristiku \square komandama

```
o.drawfig(filename = 'w1M')
o.drawxy(filename = 'xy1M')
```

Izaći iz ipython okruženja sa ctrl/d.

Pitanja za razmišljanje:

1. Do koje frekvencije se kolo može smatrati za rezistivno?
2. Šta je osobina prenosne karakteristike koja ukazuje da se kolo više ne može analizirati kao rezistivno?
3. Da li je neophodno da signal bude testerastog oblika kako bi snimili prenosnu karakteristiku?



Slika 25: Pojačavač snage u klasi B.

5.5.3 Pojačavač snage u klasi B

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/2classB`. Pokrenuti

```
ipython --pylab
from oscusb import *
o = Oscilloscope()
```

Povezati kolo sa slike 25 u kome je Q1 BC337, Q2 BC327, $R_L = 10\text{k}\Omega$ i $V_{CC} = 10\text{V}$. Na generatoru signala postaviti tip signala na Ramp, amplitudu na 4 V peak-to-peak, ofset na nulu, simetriju na 50%. Podesiti frekvenciju signala na 100 Hz.

Uključiti izvor za napajanje i uključiti izlaz generatora signala. Podesiti sliku na osciloskopu tako da nula na oba kanala bude na centralnoj osi graduacije ekrana, a podela po vertikalnoj osi takva da se posmatrani dijagram vidi u najkrupnijoj razmeri pri kojoj ceo staje u ekran. Podelu vremenske ose podesiti tako da se na ekranu prikažu oko dva perioda signala, **što treba činiti pri svakoj promeni frekvencije**. Tek kada ste se uverili da je slika na ekranu podešena i smislena predite na dokumentovanje rezultata.

Snimiti vremenske dijagrame i prenosnu karakteristiku sa

```
o.drawfig(filename = 'w100')
o.drawxy(filename = 'xy100')
```

Podesiti frekvenciju signala na 1 kHz. Snimiti vremenske dijagrame i prenosnu karakteristiku sa

```
o.drawfig(filename = 'w1k')
o.drawxy(filename = 'xy1k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 10 kHz. Snimiti vremenske dijagrame i prenosnu karakteristiku sa

```
o.drawfig(filename = 'w10k')
o.drawxy(filename = 'xy10k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 40 kHz. Snimiti vremenske dijagrame i prenosnu karakteristiku sa

```
o.drawfig(filename = 'w40k')
o.drawxy(filename = 'xy40k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 100 kHz. Snimiti vremenske dijagrame i prenosnu karakteristiku sa

```
o.drawfig(filename = 'w100k')
o.drawxy(filename = 'xy100k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 200 kHz. Snimiti vremenske dijagrame i prenosnu karakteristiku sa

```
o.drawfig(filename = 'w200k')
o.drawxy(filename = 'xy200k')
```

Promeniti tip signala na sinusoidalni. Podesiti frekvenciju signala na 400 kHz. Snimiti vremenske dijagrame i prenosnu karakteristiku sa

```
o.drawfig(filename = 'w400k')
o.drawxy(filename = 'xy400k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 1 MHz. Snimiti vremenske dijagrame i prenosnu karakteristiku sa

```
o.drawfig(filename = 'w1M')
o.drawxy(filename = 'xy1M')
```

Promeniti vrednost R_L na $1\text{ k}\Omega$. Vratiti frekvenciju signala na 100 kHz, zadržati sinusoidalni oblik signala. Snimiti vremenske dijagrame i prenosnu karakteristiku sa

```
o.drawfig(filename = 'w100k1k')
o.drawxy(filename = 'xy100k1k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 200 kHz. Snimiti vremenske dijagrame i prenosnu karakteristiku sa

```
o.drawfig(filename = 'w200k1k')
o.drawxy(filename = 'xy200k1k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 400 kHz. Snimiti vremenske dijagrame i prenosnu karakteristiku sa

```
o.drawfig(filename = 'w400k1k')
o.drawxy(filename = 'xy400k1k')
```

Podesiti frekvenciju signala na 1 MHz. Snimiti vremenske dijagrame i prenosnu karakteristiku sa

```
o.drawfig(filename = 'w1M1k')
o.drawxy(filename = 'xy1M1k')
```

Izaći iz ipython okruženja sa `ctrl/d`.

Pitanja za razmišljanje:

1. Do koje frekvencije se pojačavač snage u klasi B može smatrati za rezistivno kolo?
2. Kako na tu frekvenciju utiče otpornost potrošača?

5.5.4 Dokumentovanje rezultata merenja

Direktorijum vezba-5 i njegov sadržaj iskopirati na USB flash drive i sačuvati do polaganja ispita .

ELEKTRIČNA MERENJA
— laboratorijske vežbe —

Vežba broj 6
Frekvencijske karakteristike

ime i prezime: _____

broj indeksa: _____

grupa: _____

datum: _____

vreme: _____

ocena: _____

dežurni: _____

6 Frekvencijske karakteristike

6.1 Potrebni instrumenti i pribor

1. generator signala Agilent 33220A sa USB kablom
2. BNC-to-BNC kabl
3. BNC kablovi sa bananskim utikačima, 3 komada, svi sa masom
4. osciloskop Tektronix TBS 1052B-EDU sa USB kablom
5. protobord
6. žice za povezivanje na protobordu
7. otpornici otpornosti $100\ \Omega$, dva komada, 5%
8. otpornici otpornosti $1\ k\Omega$, dva komada, 5%
9. otpornici otpornosti $10\ k\Omega$, dva komada, 5%
10. otpornici otpornosti $100\ k\Omega$, dva komada, 5%
11. kalem induktivnosti $10\ mH$
12. kalem induktivnosti $1\ mH$
13. kalem induktivnosti $100\ \mu H$
14. kalem na torusnom jezgru
15. kondenzator kapacitivnosti $100\ nF$
16. kondenzatori kapacitivnosti $10\ nF$, dva komada
17. kondenzator kapacitivnosti $1\ nF$
18. elektrolitski kondenzator kapacitivnosti $470\ \mu F$
19. zvučnik
20. računar sa softverom za vežbu broj 6
21. studenti treba da imaju USB flash drive kako bi sačuvali rezultate merenja

6.2 Opis i ciljevi vežbe

Vežba se sastoji iz dva dela. U prvom delu vežbe studenti snimaju frekvencijske karakteristike (amplitudsku i faznu) impedanse različitih elemenata i spojeva elemenata. Od studenata se očekuje da su savladali merenje modula i faze impedanse obrađeno u vežbi 4, utvrđeno na kolokvijumskoj vežbi, kao i da znaju kako absolutna vrednost i faza impedanse idealnog otpornika, idealnog kalema i idealnog kondenzatora zavise od frekvencije. Prvo se snimaju frekvencijske karakteristike impedanse otpornika, potom kalema, potom kondenzatora, da bi na kraju bila snimljena zavisnost impedanse zvučnika od frekvencije i prikazan uticaj elektromehaničke rezonanse membrane na impedansu zvučnika. Iz niza razloga vezanih za prirodu odziva linearnih

kola i za računanje sa funkcijama prenosa, frekvencijske karakteristike se obično prikazuju u logaritamskoj razmeri po frekvenciji i po amplitudi, a u linearnoj razmeri po fazi.

U drugom delu vežbe se snimaju prenosne karakteristike različitih linearnih električnih kola, amplitudska i fazna, da bi se ovaj deo vežbe završio snimanjem frekvencijske karakteristike ulaznog filtra osciloskopa.

Cilj vežbe je da se na fizičkim objektima ilustrije znanje stečeno u predmetima Osnovi elektrotehnike 1 i 2 i Teorija električnih kola, kao i da se studenti upoznaju sa realnim karakteristikama elemenata i parazitnim efektima koji prate i elemente i postupak merenja. Takođe, cilj vežbe je i da studenti dalje unaprede svoje sposobnosti u povezivanju električnih kola na protobordu, primeni osciloskopa i generatora signala.

Aktivnosti koje daju rezultat koji se dokumentuje naznačene su sa \square , gde treba staviti oznaku kada je aktivnost završena.

6.3 Napomene

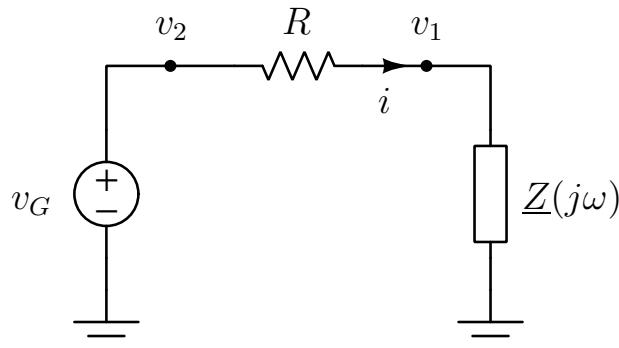
U svim delovima vežbe sinhronizacija osciloskopa je izvedena preko sinhronizacionog izlaza generatora signala i eksternog sinhronizacionog ulaza osciloskopa.

Na protobordu se nalazi postavljen kalem. Ne treba ga pomerati, već samo žicama povezati u kolo u skladu sa potrebama.

Iako je merenje impedanse pomoću osciloskopa obrađeno u vežbi broj 4, ovde ćemo ukratko ponoviti osnovne principe merenja impedanse. Impedansa se meri povezivanjem nepoznate impedanse Z u kolo sa slike 26, u kome je R etalonski otpornik čija otpornost je povoljno da bude istog reda veličine kao i nepoznata impedansa. U svakom slučaju, nepohodno je da otpornost R bude dovoljno velika da se v_1 i v_2 merljivo razlikuju, kako bi bila izmerena struja nepoznate impedanse,

$$i = \frac{v_2 - v_1}{R} \quad (1)$$

koja se obično prikazuje na ekranu osciloskopa kao Math dijagram, koji je za dati osciloskop na ekranu prikazan tragom crvene boje. Napon na nepoznatoj impedansiji je potencijal koji meri prvi kanal osciloskopa, v_1 , koji je za dati osciloskop prikazan tragom žute boje. Napon generatora je prikazan tragom svetlo plave boje i prikazuje se samo zbog potreba akvizicije podataka, inače nije od neposrednog značaja u vizuelnoj analizi tipa impedanse (kapacitivna ili induktivna). Dakle, žuti trag predstavlja napon na impedansi, crveni struju impedanse, iz njihovog međusobnog faznog stava se može zaključiti da li je impedansa pretežno kapacitivna (crveni trag prednjači) ili pretežno induktivna (crveni trag kasni).



Slika 26: Merenje impedanse.

Apsolutna vrednost impedanse se meri kao odnos efektivne vrednosti napona v_1 , V_{1RMS} i

efektivne vrednosti struje i , I_{RMS}

$$Z = |\underline{Z}| = \frac{V_{1RMS}}{I_{RMS}}. \quad (2)$$

ako se merenje vrši manuelno, za merenje efektivne vrednosti pomoću osciloskopa se može koristiti merenje **Cycle RMS** ako je na ekranu nije prikazan tačno ceo broj perioda posmatranih signala (npr. 2.6 perioda) ili merenje **RMS** ako je na ekranu prikazan tačno ceo broj perioda (npr. 1, 2 ili 3 perioda) posmatranih signala. Pitanja za razmišljanje:

1. Zašto **Cycle RMS**, u čemu se razlikuje od **RMS**?
2. Šta se dobija ako merenja nemaju prefiks **Cycle**, pojednostavljuje li to proces merenja?

Fazni stav impedanse je fazni stav napona u odnosu na struju i on je pozitivan ako struja kasni za naponom, a negativan ako struja žuri u odnosu na napon. Merenje faze je obrađeno u vežbi 4 i na kolokvijumskoj vežbi.

Za potrebe ove vežbe, za merenje frekvencijske zavisnosti impedanse napravljen je program **Zf.py** koji je dat na sajtu predmeta i koji na osnovu odbiraka signala napona v_1 i v_2 računa struju, a potom i moduo i argument impedanse digitalnom obradom prikupljenih odbiraka napona v_1 i v_2 . Izuzetak predstavlja program **electrolytic.py** koji meri impedansu elektrolitskog kondenzatora i treba da obezbedi adekvatnu jednosmernu polarizaciju kondenzatora jednosmernom komponentom napona v_2 , pa je zbog te dodatne mogućnosti nastao modifikovanjem programa **Zf.py**.

Merenje prenosne karakteristike linearnih kola pomoću osciloskopa je jednostavnije od merenja impedanse. Potrebno je analizirano kolo povezati u skladu sa šemom sa slike 27, te kako je

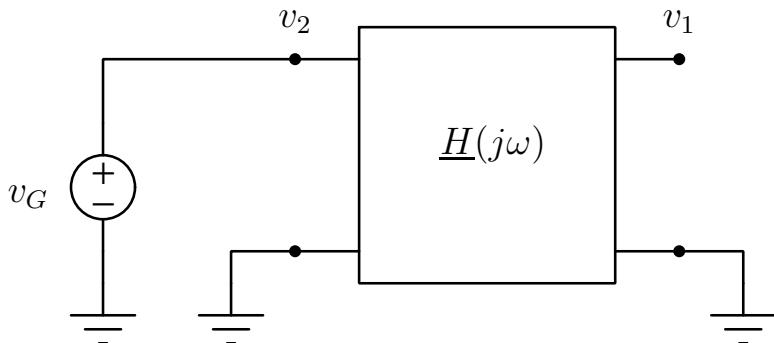
$$\underline{V}_1 = \underline{H} \underline{V}_2 \quad (3)$$

moduo funkcije prenosa se određuje kao

$$H = |\underline{H}| = \frac{V_{1RMS}}{V_{2RMS}} \quad (4)$$

dok se fazni stav određuje kao fazni stav napona v_1 u odnosu na v_2 i negativan je ako v_1 fazno kasni, a pozitivan je ako v_1 fazno prednjači. Amplitudska frekvencijska karakteristika se često prikazuje u logaritamskoj „jedinici mere” decibel (dB) [58] definisanoj za funkcije prenosa kao

$$h(\omega) = 20 \log |\underline{H}(j\omega)|. \quad (5)$$



Slika 27: Merenje funkcije prenosa.

Za potrebe ove vežbe, za merenje funkcija prenosa napravljen je program **Hf.py** koji meri moduo i argument funkcije prenosa digitalnom obradom odbiraka signala prikupljenih pomoću

osciloskopa. Izuzetak je program `acdc.py` koji snima frekvencijski zavisnu funkciju prenosa sprežnog filtra osciloskopa, a koji je zbog specifičnosti sprezanja kanala nastao modifikovanjem programa `Hf.py`.

Frekvencijske karakteristike predstavljaju zavisnost merene impedanse ili funkcije prenosa od frekvencije, kako po amplitudi, tako i po fazi, pa imamo amplitudsko-frekvencijsku karakteristiku i fazno-frekvencijsku karakteristiku. Frekvencijske karakteristike nose u sebi mnogo informacija i sugerisu modele realnih komponenata koji se sastoje iz veze nekoliko idealnih komponenata, što će biti ilustrovano u ovoj vežbi. Sa frekvencijskim karakteristikama ćete se sretati u daljem radu kako u elektronici, tako i u sistemima automatskog upravljanja i u telekomunikacijama.

Tokom snimanja frekvencijske karakteristike, koje tipično traje oko četiri minute, studenti treba da pogledaju prethodno snimljenu frekvencijsku karakteristiku i uporede je sa teorijskim očekivanjem, kao i da povremeno prate rezultate koje program tokom merenja ispisuje.

6.4 Zadatak, prvi deo vežbe

Postaviti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-6/Z`.

6.4.1 Frekvencijske karakteristike impedanse otpornika

Ovo merenje je kalibraciono merenje i služi da sagledamo ograničenja primjenjenog metoda primenom na slučaj sa unapred poznatim očekivanim rezultatom i ponekad neočekivanim rezultatom merenja.

Od studenata se očekuje da znaju frekvencijsku zavisnost impedanse idealnog otpornika (pomoć: $Z = R$, ne zavisi od frekvencije) i njenog faznog ugla (pomoć: $\varphi = 0$).

Sastaviti kolo sa slike 28 sa $R = 100 \Omega$. Pokrenuti program `Zf.py` komandom `python Zf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 1 \text{ MHz}$, $n_{points} = 17$, $R = 100 \Omega$, $V_{gm} = 5 \text{ V}$, i početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude `R_100`. Na ekranu računara ovo izgleda poput:

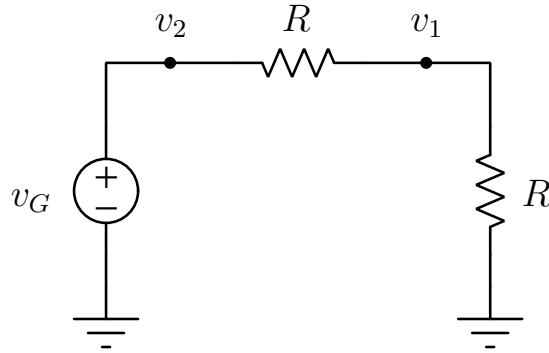
```
fmin [Hz] = 100
fmax [Hz] = 1e6
npoints = 17
R [ohm] = 100
Vgm [V] = 5
file first name = R_100
```

i ovako je prikazano kako bi studenti uočili mogućnost primene eksponencijalnog zapisa u zadanju f_{max} . Pogledati dobijeni pdf fajl sa dijagramima amplitudske i fazne karakteristike impedanse otpornika. Pitanje za razmišljanje: da li je dobijeni rezultat očekivan?

Sastaviti kolo sa slike 28 sa $R = 1 \text{k}\Omega$. Pokrenuti program `Zf.py` sa istim vrednostima parametara kao u prethodnom slučaju, izuzev $R = 1 \text{k}\Omega$ i početka imena fajlova koje je sada `R_1k`. Pogledati dobijeni pdf fajl sa dijagramima amplitudske i fazne karakteristike impedanse otpornika. Pitanje za razmišljanje: da li je dobijeni rezultat očekivan?

Sastaviti kolo sa slike 28 sa $R = 10 \text{k}\Omega$. Pokrenuti program `Zf.py` sa istim vrednostima parametara kao u prethodnom slučaju, izuzev $R = 10 \text{k}\Omega$ i početka imena fajlova koje je sada `R_10k`. Pogledati dobijeni pdf fajl sa dijagramima amplitudske i fazne karakteristike impedanse otpornika. Pitanje za razmišljanje: da li je dobijeni rezultat očekivan?

Sastaviti kolo sa slike 28 sa $R = 100 \text{k}\Omega$. Pokrenuti program `Zf.py` sa istim vrednostima parametara kao u prethodnom slučaju, izuzev $R = 100 \text{k}\Omega$ i početka imena fajlova koje je



Slika 28: Merenje impedanse otpornika.

sada $R_100k \square$. Pogledati dobijeni pdf fajl sa dijagramima amplitudske i fazne karakteristike impedanse otpornika. Pitanje za razmišljanje: da li je dobijeni rezultat očekivan?

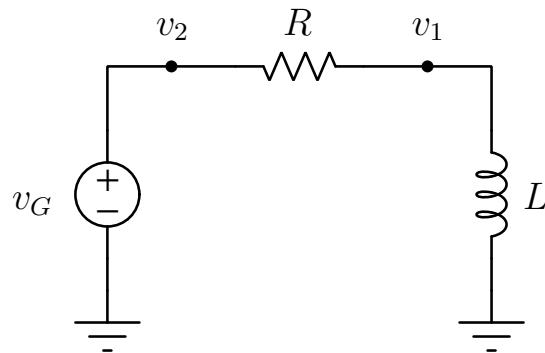
Pitanja za razmišljanje:

1. Zašto sa rastom otpornosti dobijeni dijagram sve više odstupa od očekivanog, idealnog?
2. Ako primjenjeni otpornici imaju identične impedanse, kakav bi bio dijagram frekvencijske zavisnosti impedanse bez obzira na samu impedansu?
3. Da li promena mesta otpornika dovodi (bi dovela) do promene merene frekvencijske zavisnosti impedanse?
4. Ima li veze dobijena frekvencijska zavisnost sa impedansom otpornika ili je u pitanju uticaj sistema za merenje?
5. Kakva je ulazna impedansa osciloskopa i da li ona utiče na dobijeni rezultat?

6.4.2 Frekvencijske karakteristike impedanse kalema

Od studenata se očekuje da znaju frekvencijsku zavisnost modula impedanse idealnog kalema (pomoć: $Z = 2\pi fL$) i faznog ugla impedanse idealnog kalema (pomoć: $\varphi = 90^\circ$).

Sastaviti kolo sa slike 29 sa $R = 100 \Omega$ i $L = 10 \text{ mH}$. Pokrenuti program `Zf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 1 \text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $R = 100 \Omega$, $V_{gm} = 2 \text{ V}$, početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude `L_10mH` \square . Pogledati dobijeni dijagram. Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima? Pitanje za razmišljanje: šta su uzroci uočenih odstupanja?



Slika 29: Merenje impedanse kalema.

Sastaviti kolo sa slike 29 sa $R = 100 \Omega$ i $L = 1 \text{ mH}$. Pokrenuti program `Zf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 1 \text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $R = 100 \Omega$, $V_{gm} = 5 \text{ V}$, početak imena

svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude L_1mH \square . Pogledati dobijeni dijagram. Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima? Pitanje za razmišljanje: šta su uzroci uočenih odstupanja?

Sastaviti kolo sa slike 29 sa $R = 100 \Omega$ i $L = 100 \mu\text{H}$. Pokrenuti program `Zf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 1 \text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $R = 100 \Omega$, $V_{gm} = 5 \text{ V}$, početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude L_100uH \square . Pogledati dobijeni dijagram. Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima? Pitanje za razmišljanje: šta su uzroci uočenih odstupanja?

Sastaviti kolo sa slike 29 sa $R = 100 \Omega$ i kalemom na torusnom jezgru. Pokrenuti program `Zf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 1 \text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $R = 100 \Omega$, $V_{gm} = 0.5 \text{ V}$, početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude L_ring \square . Pogledati dobijeni dijagram. Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima? Pitanje za razmišljanje: šta su uzroci uočenih odstupanja? Da li je kalem na torusnom jezgru na niskim frekvencijama bolji ili gori kalem od prethodno merenih gotovih kalemoveva?

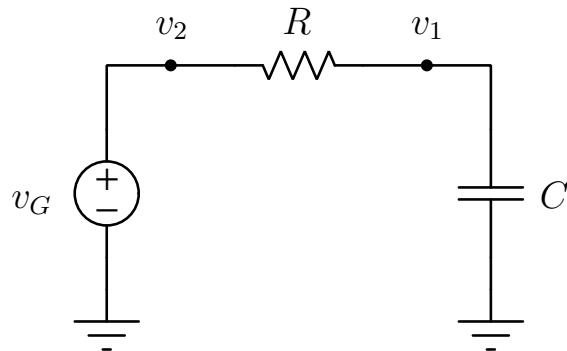
Pitanja za razmišljanje:

1. U kom frekvencijskom opsegu se mereni realni kalemovi približno ponašaju kao idealni kalem i na osnovu čega to zaključujete?
2. U kom frekvencijskom opsegu se mereni realni kalemovi približno ponašaju kao idealni otpornici i na osnovu čega to zaključujete?
3. U kom frekvencijskom opsegu se mereni realni kalemovi približno ponašaju kao idealni kondenzatori i na osnovu čega to zaključujete?

6.4.3 Frekvencijske karakteristike impedanse kondenzatora

Od studenata se očekuje da znaju frekvencijsku zavisnost modula impedanse idealnog kondenzatora (pomoć: $Z = \frac{1}{2\pi f C}$) i faznog ugla impedanse idealnog kondenzatora (pomoć: $\varphi = -90^\circ$).

Sastaviti kolo sa slike 30 sa $R = 1 \text{k}\Omega$ i $C = 100 \text{nF}$. Pokrenuti program `Zf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 1 \text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $R = 1000 \Omega$, $V_{gm} = 5 \text{ V}$, početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude C_100nF \square . Pogledati dobijeni dijagram. Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima?



Slika 30: Merenje impedanse kondenzatora.

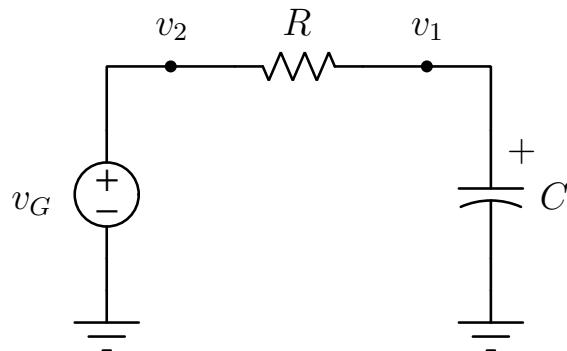
Sastaviti kolo sa slike 30 sa $R = 10 \text{k}\Omega$ i $C = 10 \text{nF}$. Pokrenuti program `Zf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 1 \text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $R = 10 \text{k}\Omega$, $V_{gm} = 5 \text{ V}$, početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude C_10nF \square . Pogledati dobijeni dijagram. Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima? Šta je uslovilo izbor otpornosti R ?

Sastaviti kolo sa slike 30 sa $R = 10\text{ k}\Omega$ i $C = 1\text{ nF}$. Pokrenuti program `Zf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100\text{ Hz}$, $f_{max} = 1\text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $R = 10\text{ k}\Omega$, $V_{gm} = 5\text{ V}$, početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude `C_1nF` □. Pogledati dobijeni dijagram. Pitanja za razmišljanje:

1. Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima?
2. Šta je uslovilo izbor otpornosti R ?
3. Koje kompromise izbor R treba da zadovolji?
4. Da li bi bilo dobro imati različite vrednosti R za različite delove frekvencijskog opsega u kome se merenje vrši?
5. U kom frekvencijskom opsegu ne verujete dobijenom dijagramu?

6.4.4 Frekvencijske karakteristike impedanse elektrolitskog kondenzatora

Sastaviti kolo sa slike 31 sa $R = 100\Omega$ i elektrolitskim kondenzatorom $C = 470\mu\text{F}$. Elektrolitski kondenzatori se koriste kada je potrebno ostvariti veliku kapacitivnost u maloj zapremini i više o njima se može naći u članku na Vikipediji (link) [59]. Osim velike kapacitivnosti i velike zapremske gustine kapacitivnosti, elektrolitski kondenzatori imaju izražene parazitne efekte koji će u ovom delu vežbe biti prikazani. Potrebno je voditi računa o polaritetu elektrolitskog kondenzatora, negativan pol treba vezati za masu, offset koji se zadaje tada mora da bude pozitivan, veći od amplitute primenjene naizmenične komponente napona.



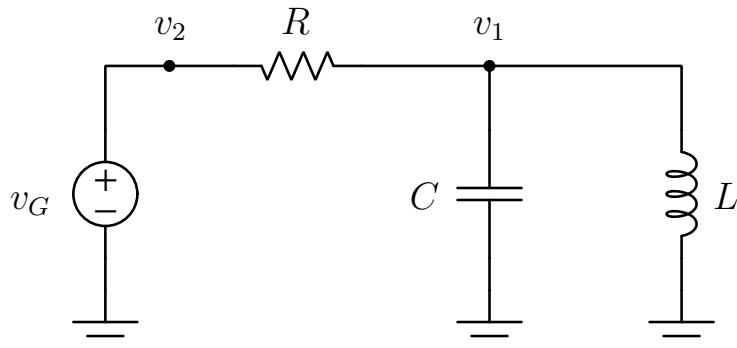
Slika 31: Merenje impedanse elektrolitskog kondenzatora.

Pokrenuti program `electrolytic.py` sa parametrima $f_{min} = 100\text{ Hz}$, $f_{max} = 1\text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $R = 100\Omega$, $V_{gm} = 1\text{ V}$, $V_{offset} = 5\text{ V}$ □, ime fajlova treba da počinje sa `CE_470uF`. Pogledati dobijeni dijagram. Pitanja za razmišljanje:

1. U kom frekvencijskom opsegu se elektrolitski kondenzator kapacitivno ponaša i šta na to ukazuje?
2. U kom frekvencijskom opsegu se elektrolitski kondenzator ponaša kao otpornik i šta na to ukazuje?
3. U kom frekvencijskom opsegu se elektrolitski kondenzator ponaša kao kalem i šta na to ukazuje?

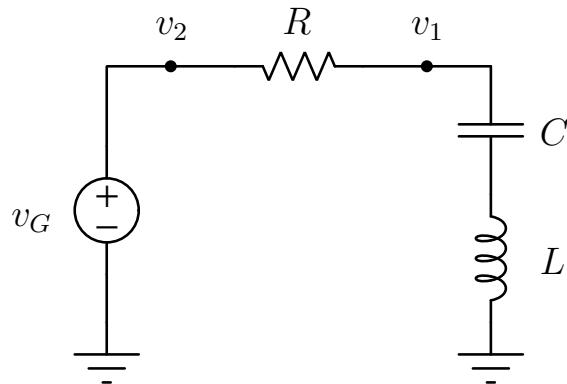
6.4.5 Frekvencijske karakteristike impedanse oscilatornih kola

Sastaviti kolo sa slike 32 sa $R = 100 \Omega$, $L = 10 \text{ mH}$ i $C = 10 \text{ nF}$. Pokrenuti program Zf.py i zadati parametre $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 1 \text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $R = 100 \Omega$, $V_{gm} = 5 \text{ V}$, početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude LCP □. Pogledati dobijeni dijagram.



Slika 32: Merenje impedanse paralelnog oscilatornog kola.

Sastaviti kolo sa slike 33 sa $R = 10 \text{ k}\Omega$, $L = 10 \text{ mH}$ i $C = 10 \text{ nF}$. Pokrenuti program Zf.py i zadati parametre $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 1 \text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $R = 10 \text{ k}\Omega$, $V_{gm} = 5 \text{ V}$, početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude LCR □. Pogledati dobijeni dijagram.



Slika 33: Merenje impedanse rednog oscilatornog kola.

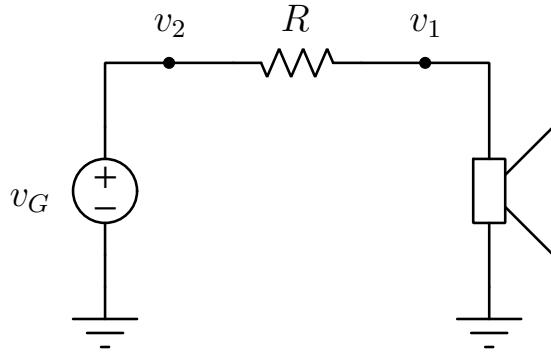
Pitanja za razmišljanje:

1. Kako izgledaju očekivani dijagrami impedanse sklopljenih oscilatornih kola, dobijeni pod pretpostavkom da su primenjeni elementi idealni?
2. Kolika su odstupanja od očekivanih dijagrama i u kojim frekvencijskim opsezima?
3. Šta su uzroci odstupanja od očekivanih dijagrama?

6.4.6 Frekvencijske karakteristike impedanse zvučnika

Napomena: tokom merenja impedanse zvučnika membranu zvučnika ne treba dodirivati, to bitno remeti uslove i rezultat merenja!

Sastaviti kolo sa slike 34 sa $R = 100 \Omega$. Postavivši zvučnik tako da je membrana okrenuta na gore, pokrenuti program Zf.py i zadati parametre $f_{min} = 20 \text{ Hz}$, $f_{max} = 20 \text{ kHz}$, $n_{points} = 61$,



Slika 34: Merenje impedanse zvučnika.

$R = 100 \Omega$, $V_{gm} = 1 \text{ V}$, početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude **zvucnik-gore** \square . Pogledati dobijeni dijagram i uočiti postojanje rezonanse na reda 500 Hz.

Postavivši zvučnik tako da je membrana okrenuta na dole, prema stolu, pokrenuti program `Zf.py` i zadati parametre $f_{min} = 20 \text{ Hz}$, $f_{max} = 20 \text{ kHz}$, $n_{points} = 61$, $R = 100 \Omega$, $V_{gm} = 1 \text{ V}$, početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude **zvucnik-dole** \square . Pogledati dobijeni dijagram i uočiti nepostojanje rezonanse na oko 500 Hz.

Pitanja za razmišljanje:

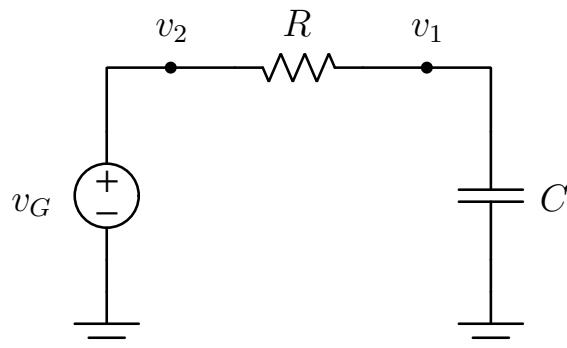
1. Može li se zvučnik smatrati rezistivnim elementom?
2. Šta uzrokuje pojavu rezonanse na oko 500 Hz i njeno odsustvo kada je zvučnik okrenut na dole?

6.5 Zadatak, drugi deo vežbe

Postaviti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-6/H`.

6.5.1 Filter propusnik signala niskih frekvencija

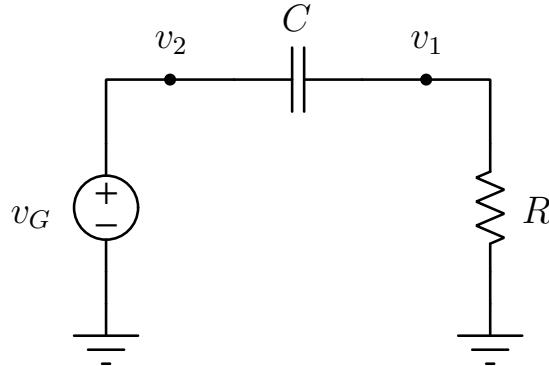
Sastaviti kolo sa slike 35 sa $R = 1 \text{ k}\Omega$ i $C = 10 \text{ nF}$. Pokrenuti program `Hf.py` komandom `python Hf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 1 \text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $V_{gm} = 5 \text{ V}$, i početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude **NF** \square . Pogledati dobijeni dijagram. Da li se dijagram slaže sa teorijskim očekivanjima?



Slika 35: Filter propusnik signala niskih frekvencija.

6.5.2 Filter propusnik signala visokih frekvencija

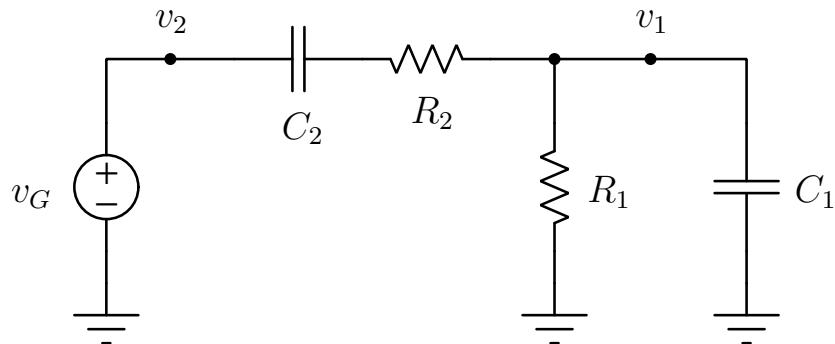
Sastaviti kolo sa slike 36 sa $R = 1\text{k}\Omega$ i $C = 10\text{nF}$. Pokrenuti program `Hf.py` komandom `python Hf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100\text{Hz}$, $f_{max} = 1\text{MHz}$, $n_{points} = 41$, $V_{gm} = 5\text{V}$, i početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude `VF` . Pogledati dobijeni dijagram. Da li se dijagram slaže sa teorijskim očekivanjima?



Slika 36: Filter propusnik signala visokih frekvencija.

6.5.3 Filter propusnik opsega

Sastaviti kolo sa slike 37 sa $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$, $C_1 = 1\text{nF}$ i $C_2 = 100\text{nF}$. Pokrenuti program `Hf.py` komandom `python Hf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100\text{Hz}$, $f_{max} = 1\text{MHz}$, $n_{points} = 41$, $V_{gm} = 5\text{V}$, i početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude `P0` . Pogledati dobijeni dijagram. Da li se dijagram slaže sa teorijskim očekivanjima?



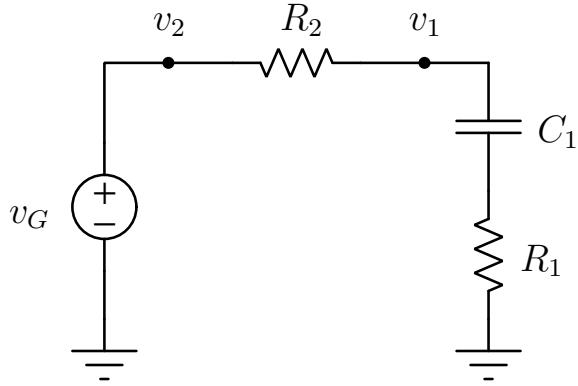
Slika 37: Filter propusnik opsega.

Sastaviti kolo sa slike 37 sa $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$ i $C_1 = C_2 = 10\text{nF}$. Pokrenuti program `Hf.py` komandom `python Hf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100\text{Hz}$, $f_{max} = 1\text{MHz}$, $n_{points} = 41$, $V_{gm} = 5\text{V}$, i početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude `P0_Wien` . Pogledati dobijeni dijagram. Da li se dijagram slaže sa teorijskim očekivanjima?

6.5.4 Kolo za ilustrovanje uprošćenog frekvencijskog modela kondenzatora

Sastaviti kolo sa slike 38 sa $R_1 = R_2 = 1\text{k}\Omega$ i $C = 10\text{nF}$. Pokrenuti program `Hf.py` komandom `python Hf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100\text{Hz}$, $f_{max} = 1\text{MHz}$, $n_{points} = 41$, $V_{gm} = 5\text{V}$, i početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude `primer` . Pogledati dobijeni dijagram. Da li se dijagram slaže sa teorijskim očekivanjima?

Pitanja za razmišljanje:

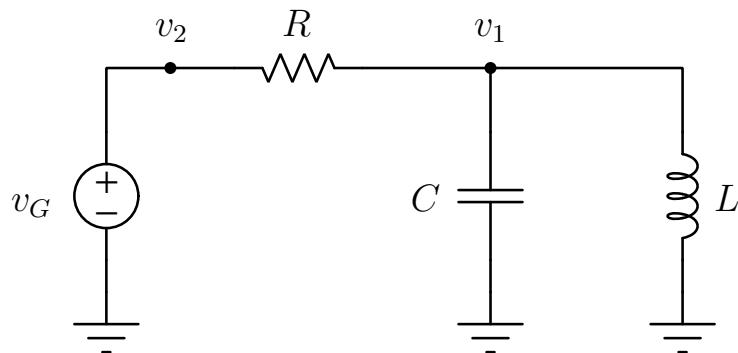


Slika 38: Kolo za ilustrovanje uprošćenih modela kondenzatora.

1. U kom frekvencijskom opsegu se kondenzator može aproksimirati otvorenom vezom i zašto?
2. U kom frekvencijskom opsegu se kondenzator može aproksimirati kratkom vezom i zašto?
3. Postoji li opseg frekvencija u kome se kondenzator ne može adekvatno predstaviti ni otvorenom ni kratkom vezom i ako postoji koji je to opseg i čime je određen?
4. Uočavate li neke anomalije na samom kraju snimljenih krivih i čime su one uzrokovane?

6.5.5 RLC filter propusnik opsega

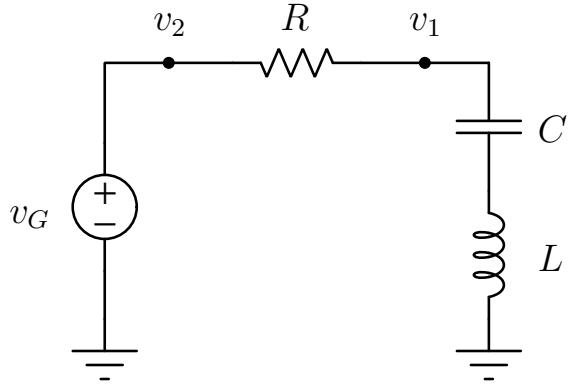
Sastaviti kolo sa slike 39 sa $R = 1 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ nF}$ i $L = 10 \text{ mH}$. Pokrenuti program `Hf.py` komandom `python Hf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 1 \text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $V_{gm} = 5 \text{ V}$, i početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude **RLC-propusnik** Pogledati dobijeni dijagram. Da li se dijagram slaže sa teorijskim očekivanjima? Uočavate li neke anomalije na niskim frekvencijama, pretežno od 100 Hz do 1 kHz i čime su one uzrokovane?



Slika 39: RLC filter propusnik opsega.

6.5.6 RLC filter nepropusnik opsega

Sastaviti kolo sa slike 40 sa $R = 1 \text{ k}\Omega$, $C = 10 \text{ nF}$ i $L = 10 \text{ mH}$. Pokrenuti program `Hf.py` komandom `python Hf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 1 \text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $V_{gm} = 5 \text{ V}$, i početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude **RLC-nepropusnik** Pogledati dobijeni dijagram. Da li se dijagramslaže sa teorijskim očekivanjima? Uočavate li neke anomalije na samom kraju posmatranog frekvencijskog opsega i čime su one uzrokovane?



Slika 40: Filter nepropusnik opsega.

6.5.7 Frekvencijska karakteristika sprežnog filtra osciloskopa

Merenje frekvencijske karakteristike sprežnog filtra osciloskopa se vrši tako što se signal sa generatora dovede na oba kanala osciloskopa istovremeno, pri čemu se na jednom kanalu posmatra sa spregom AC, a na drugom sa spregom DC. Kanal u sprezi DC meri pobudu filtra (v_2), a kanal u sprezi AC odziv (v_1).

Za merenje frekvencijske karakteristike sprežnog filtra osciloskopa potrebno je povezati oba kanala osciloskopa na generator signala i pokrenuti program `acdc.py`. Za snimanje dijagrama zadati parametre $f_{min} = 2 \text{ Hz}$, $f_{max} = 200 \text{ Hz}$, $n_{points} = 41$, $V_{gm} = 5 \text{ V}$, početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude `acdc` . Pogledati dobijeni dijagram.

Pitanja za razmišljanje:

1. Liči li dobijeni dijagram na frekvencijsku karakteristiku filtra propusnika visokih frekvencija?
2. Koliko polova ima funkcija prenosa sprežnog filtra osciloskopa i na osnovu čega to možete da prepostavite?
3. Koja je frekvencija pola sprežnog filtra osciloskopa i na osnovu čega možete da je odredite?

U cilju boljeg razumevanja efekata koje unosi sprežni filter osciloskopa na niskim frekvencijama, potrebno je popuniti tabelu 44. Kako bi se dobili podaci na zahtevanim frekvencijama potrebno je program `acdc.py` pokrenuti tri puta sa parametrima:

1. $f_{min} = 2 \text{ Hz}$, $f_{max} = 200 \text{ Hz}$, $n_{points} = 3$
2. $f_{min} = 4 \text{ Hz}$, $f_{max} = 40 \text{ Hz}$, $n_{points} = 2$
3. $f_{min} = 10 \text{ Hz}$, $f_{max} = 100 \text{ Hz}$, $n_{points} = 2$

pri $V_{gm} = 5 \text{ V}$ i nebitnom početku imena fajlova i prepisati podatke koje program na terminalu daje.

6.6 Dokumentovanje rezultata merenja

Direktorijum vezba-6 i njegov sadržaj iskopirati na USB flash drive i sačuvati do polaganja ispita

Tabela 44: Frekvencijska karakteristika sprežnog filtra osciloskopa

f [Hz]	$ H(j\omega) $	$\varphi(j\omega)$
2		
4		
10		
20		
40		
100		
200		

ELEKTRIČNA MERENJA
— laboratorijske vežbe —

Vežba broj 7
Merenje parametara naizmeničnih veličina

ime i prezime: _____

broj indeksa: _____

grupa: _____

datum: _____

vreme: _____

ocena: _____

dežurni: _____

7 Merenje parametara naizmeničnih veličina

7.1 Potrebni instrumenti i pribor

1. generator signala Agilent 33220A sa USB kablom
2. BNC-to-BNC kabl
3. BNC kablovi sa bananskim utikačima, 3 komada, svi sa masom
4. osciloskop Tektronix TBS 1052B-EDU sa USB kablom
5. protobord
6. žice za povezivanje na protobordu
7. diode 1N4148, 4 komada
8. otpornici otpornosti $100\text{ k}\Omega$, 5%, dva komada
9. otpornik otpornosti $1\text{ k}\Omega$, 5%, jedan komad
10. otpornik otpornosti $4.7\text{ k}\Omega$, 5%, jedan komad
11. kondenzatori kapacitivnosti 100 nF , 2 komada
12. kondenzator kapacitivnosti 1 nF , 1 komad
13. instrument Fluke 111, 1 komad
14. instrument RTO-1035N, 1 komad
15. kablovi sa bananskim utikačima, 2 komada
16. računar sa softverom za vežbu broj 6
17. studenti treba da imaju **USB flash drive** kako bi sačuvali rezultate merenja

7.2 Opis i ciljevi vežbe

U ovoj vežbi od studenata se očekuje da povežu šest jednostavnih električnih kola koja imaju funkciju ispravljača i izvrše niz merenja na njima. Četiri ispravljača su nelinearna rezistivna kola, od kojih su dva jednostrani ispravljači, za struju i napon, a dva dvostrani ispravljači, opet jedan za struju, drugi za napon. Preostala dva kola su nelinearna kola koja sadrže reaktivne elemente koji vrše filtriranje, to su detektor minimalne i maksimalne vrednosti signala i detektor envelope ili amplitudski detektor, koji je u suštini isto kolo sa drugačijom namenom. U ovoj vežbi se podrazumeva da su studenti već dobro ovladali korišćenjem osciloskopa, pa sva podešavanja neće biti navedena, od studenata se očekuje da budu sposobni da donešu odluku kako treba podesiti osciloskop kako bi se dobro izvršilo merenje ili jasno prikazala pojava koja se posmatra. Saglasno, za generator signala neće biti navođeno koji taster treba pritisnuti, već će biti opisan željeni oblik signala, a studenti treba da budu sposobni da takav signal realizuju tako što će sami doneti odluke koje komande treba aktivirati. To znači da postavljeni zadaci imaju više mogućih rešenja. Ovakva situacija je slična situacijama u praksi, kada se od inženjera očekuje da bude sposoban da doneše odluku i da reši problem, a ne samo da ponovi unapred definisani algoritam, za šta je dovoljno imati računar i program koji algoritam izvršava, što je poslodavcu bitno jeftinije od inženjera.

Cilj vežbe je da studenti unaprede svoje sposobnosti u povezivanju električnih kola na protobordu, primeni osciloskopa, generatora signala i univerzalnih instrumenata, kao i da se upoznaju sa primenom ispravljača u električnim merenjima. Ispravljačka kola koja sadrže kondenzatore će detaljno biti analizirana u predmetu Analogna elektronika, sledeće godine, sada će samo biti prikazana njihova funkcija.

Aktivnosti koje daju rezultat koji se dokumentuje naznačene su sa , gde treba staviti oznaku kada je aktivnost završena.

7.3 Zadatak

7.3.1 Voltmetri za naizmenični napon

Na generatoru signala podesiti frekvenciju na 50 Hz, ofset na nulu, efektivnu vrednost napona na 5 V (podesiti amplitudu na 5 V RMS). Tokom povezivanja izlaz generatora signala treba da bude neaktivan, tek kada je povezivanje i podešavanje instrumenata završeno i provedeno treba aktivirati izlaz. Povezati izlaz generatora signala paralelno na instrument Fluke 111, instrument RTO-1035N i na kanal 1 osciloskopa. Na osciloskopu na kanalu 1 uključiti merenja Peak-Peak, Mean, Cycle Mean, RMS i Cycle RMS. Podelu vremenske ose osciloskopa podesiti na 2.5 ms/div, podelu naponske ose prvog kanala na 2 V/div, sve talasne oblike osim prvog kanala isključiti.

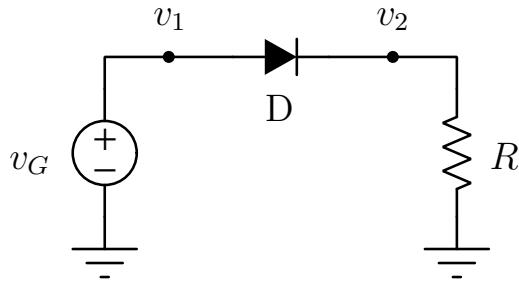
Podesiti oblik signala generatora na sinusoidalni i uključiti izlaz. Očitavanja instrumenata uneti u tabelu 45 . Promeniti oblik generisanog signala na pravougaoni. Očitavanja instrumenata uneti u tabelu 45 . Promeniti oblik signala na trougaoni. Podelu naponske ose osciloskopa podesiti na 5 V/div (Zašto?). Očitavanja instrumenata uneti u tabelu 45 . Isključiti instrumente Fluke 111 i RTO-1035N i razvezati ih iz kola, ostaviti povezane samo generator signala i osciloskop.

Tabela 45: Merenje naizmeničnog napona

instrument	sinusoidalni	pravougaoni	trougaoni
Fluke 111			
RTO-1035N			
Osciloskop, Mean			
Osciloskop, Cycle Mean			
Osciloskop, RMS			
Osciloskop, Cycle RMS			
Osciloskop, Peak-Peak			

Pitanja za razmišljanje:

1. Koji parametar naizmeničnog napona meri instrument Fluke 111?
2. Koji parametar naizmeničnog napona meri instrument RTO-1035N?
3. Koliko se međusobno slažu dobijeni rezultati za efektivnu vrednost napona na različitim instrumentima?
4. Kom instrumentu najmanje verujete i zašto?
5. Kom instrumentu najviše verujete i zašto?



Slika 41: Voltmetar sa jednostranim ispravljanjem.

7.3.2 Osciloskop, merenja u okviru ekrana i merenja u okviru perioda

Vratiti oblik signala na sinusoidalni. Isključiti Peak-Peak merenje na kanalu 1 osciloskopa. Podelu vremenske ose osciloskopa zadržati na 2.5 ms/div. Pomeranjem dugmeta za horizontalno pozicioniranje postaviti trenutak sinhronizacionog impulsa (strelica sa oznakom T na gornjoj liniji ekrana osciloskopa) na poziciju zahtevanu u tabeli 46 i izvršiti odgovarajuća očitavanja zahtevana u tabeli 46. Popuniti tabelu 46 kada je to moguće, a ako osciloskop ne može da izmeri zahtevanu veličinu upisati „?“.

Tabela 46: Mean, Cycle Mean, RMS i Cycle RMS

pozicija	-2 div	-1 div	0 div	1 div	2 div
Mean					
Cycle Mean					
RMS					
Cycle RMS					

Pitanja za razmišljanje:

1. Koja je razlika između Mean i Cycle Mean merenja kod osciloskopa?
2. Koja je razlika između RMS i Cycle RMS merenja kod osciloskopa?

7.3.3 Voltmetar sa jednostranim ispravljanjem

Povezati kolo sa slike 41, $R = 100 \text{ k}\Omega$. Na generatoru signala postaviti tip signala na sinusoidalni, ofset na nulu, frekvenciju na 50 Hz.

Povezati osciloskop tako da v_1 bude prikazan na kanalu 1, v_2 na kanalu 2.

Pokrenuti terminal. Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-7/a`.

Postaviti amplitudu generisanog napona na $V_m = 10 \text{ V}$, što je $20 \text{ V peak-to-peak}$. Podesiti osciloskop da se na ekranu vide oko dva perioda signala i da podela naponske ose bude ista za oba kanala u maksimalno mogućoj rezoluciji.

Snimiti sliku sa osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py jednostrani-c-fig
```

- Snimiti dijagram sa osciloskopa pokretanjem programa

```
python drawfig.py jednostrani-c-yt
```

- Snimiti prenosnu karakteristiku voltmetra pokretanjem programa

```
python drawxy.py jednostrani-c-xy
```

□.

Pogledati dobijene slike. Pitanje za razmišljanje: jesu li dobijeni dijagrami u skladu sa teorijskim očekivanjima?

Postaviti amplitudu generisanog napona na $V_m = 5\text{ V}$, što je 10 V *peak-to-peak*. Podesiti osciloskop da se na ekranu vide oko dva perioda signala i da podela naponske ose bude ista za oba kanala.

Snimiti sliku sa osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py jednostrani-b-fig
```

□. Snimiti dijagram sa osciloskopa pokretanjem programa

```
python drawfig.py jednostrani-b-yt
```

□. Snimiti prenosnu karakteristiku voltmetra pokretanjem programa

```
python drawxy.py jednostrani-b-xy
```

□.

Postaviti amplitudu generisanog napona na $V_m = 0.5\text{ V}$, što je 1 V *peak-to-peak*. Podesiti osciloskop da se na ekranu vide oko dva perioda signala i da podela naponske ose bude ista za oba kanala.

Snimiti sliku sa osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py jednostrani-a-fig
```

□. Snimiti dijagram sa osciloskopa pokretanjem programa

```
python drawfig.py jednostrani-a-yt
```

□. Snimiti prenosnu karakteristiku voltmetra pokretanjem programa

```
python drawxy.py jednostrani-a-xy
```

□.

Pogledati dobijene slike. Pitanja za razmišljanje:

1. Jesu li dobijeni dijagrami i u ovom slučaju u skladu sa teorijskim očekivanjima?
2. Možete li da procenite napon direktne polarizacije pri kome dioda počinje da provodi?

Pokrenuti program `traces1-nofig.py` komandom

```
python traces1-nofig.py
```

koji će snimiti dijagram `traces-1.pdf` □.

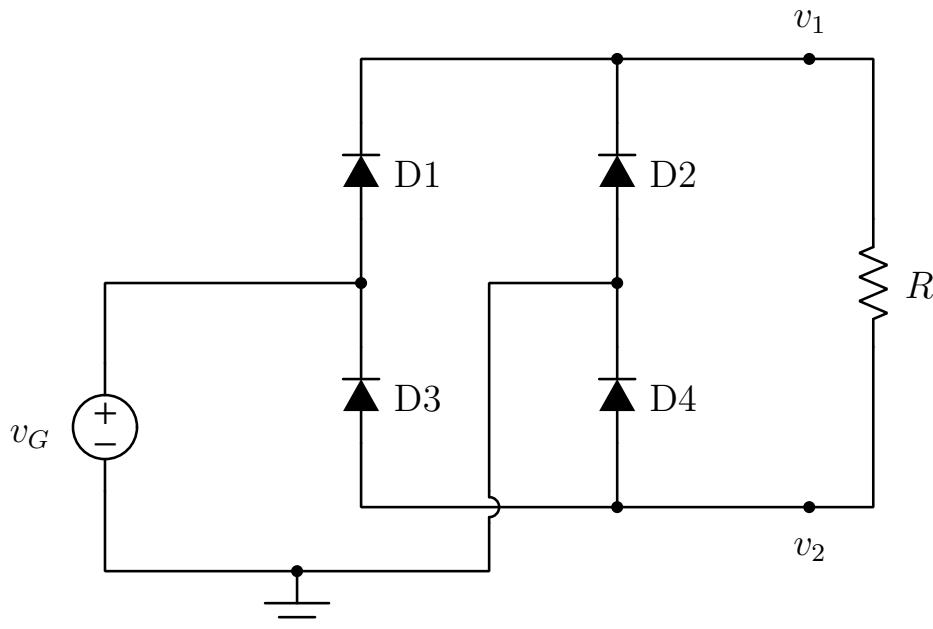
Pitanja za razmišljanje:

1. Da li srednja vrednost napona v_2 zavisi od oblika posmatranog signala?
2. Može li se uspostaviti korespondencija između efektivne vrednosti posmatranog napona sinusoidalnog oblika i srednje vrednosti napona v_2 ?
3. Može li ispravljач sa slike 41 da se iskoristi za merenje efektivne vrednosti naizmeničnih napona sinusoidalnog oblika male amplitude?

Ukoliko na kraju vežbe ostane vremena, možete pokrenuti program `traces1.py` komandom

```
python traces1.py
```

koji će snimiti niz ekrana osciloskopa i kompletno dokumentovati merenje □.



Slika 42: Voltmetar sa dvostranim ispravljanjem.

7.3.4 Voltmetar sa dvostranim ispravljanjem

Povezati kolo sa slike 42, sa $R = 100 \text{ k}\Omega$. Povezati osciloskop da v_1 bude prikazan na kanalu 1, a v_2 na kanalu 2. Postaviti frekvenciju na generatoru signala na 50 Hz, oblik signala na sinusoidalni, offset na nulu. Postaviti merenja na osciloskopu tako da prvo merenje bude srednja vrednost napona na kanalu 1 (Cycle Mean), drugo merenje srednja vrednost napona na kanalu 2 (Cycle Mean). Ostala merenja nisu potrebna. Podesiti podelu horizontalne ose osciloskopa da se na ekranu osciloskopa vidi malo više od dva perioda signala.

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-7/b`.

Postaviti amplitudu napona na generatoru signala na 1 V *peak-to-peak*. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py dvostrani-v1v2-a-fig
```

Snimiti dijagram sa osciloskopa pokretanjem programa

```
python drawfig.py dvostrani-v1v2-a-yt
```

Uključiti Math prikazivanje i izabrati da se na ekranu osciloskopa prikazuje CH1-CH2. **Napomena:** Pre uključivanja Math signala treba pogledati vremenske dijagrame na oba kanala i podesiti njihovu podelu naponske ose kako ni jedan od kanala ne bi bio u zasićenju, niti sa suviše velikom podelom koja dovodi do izražene kvantizacije. Isključiti prikazivanje sa kanala 1 i sa kanala 2, potrebno je da se vidi samo trag Math „signala“. Podesiti podelu naponske ose Math dijagrama. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py dvostrani-vout-a-math
```

.

Postaviti amplitudu napona na generatoru signala na 2 V *peak-to-peak*. Isključiti Math signal i uključiti CH1 i CH2. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py dvostrani-v1v2-b-fig
```

□. Snimiti dijagram sa osciloskopa pokretanjem programa

```
python drawfig.py dvostrani-v1v2-b-yt
```

□. Uključiti Math prikazivanje i izabrati da se na ekranu osciloskopa prikazuje CH1-CH2. Isključiti prikazivanje sa kanala 1 i sa kanala 2. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py dvostrani-vout-b-math
```

□.

Postaviti amplitudu napona na generatoru signala na 10 V *peak-to-peak*. Isključiti Math signal i uključiti CH1 i CH2. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py dvostrani-v1v2-c-fiq
```

□. Snimiti dijagram sa osciloskopa pokretanjem programa

```
python drawfig.py dvostrani-v1v2-c-yt
```

□. Uključiti Math prikazivanje i izabrati da se na ekranu osciloskopa prikazuje CH1-CH2. Isključiti prikazivanje sa kanala 1 i sa kanala 2. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py dvostrani-vout-c-math
```

□.

Postaviti amplitudu napona na generatoru signala na 20 V *peak-to-peak*. Isključiti Math signal i uključiti CH1 i CH2. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py dvostrani-v1v2-d-fiq
```

□. Snimiti dijagram sa osciloskopa pokretanjem programa

```
python drawfig.py dvostrani-v1v2-d-yt
```

□. Uključiti Math prikazivanje i izabrati da se na ekranu osciloskopa prikazuje CH1-CH2. Isključiti prikazivanje sa kanala 1 i sa kanala 2. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py dvostrani-vout-d-math
```

□.

Posle ovog dela vežbe od studenata se očekuje da su potpuno ovladali prikazivanjem Math dijagrama.

Pokrenuti program `traces2-nofig.py` komandom

```
python traces2-nofig.py
```

koji će snimiti dijagram `traces-2.pdf` □.

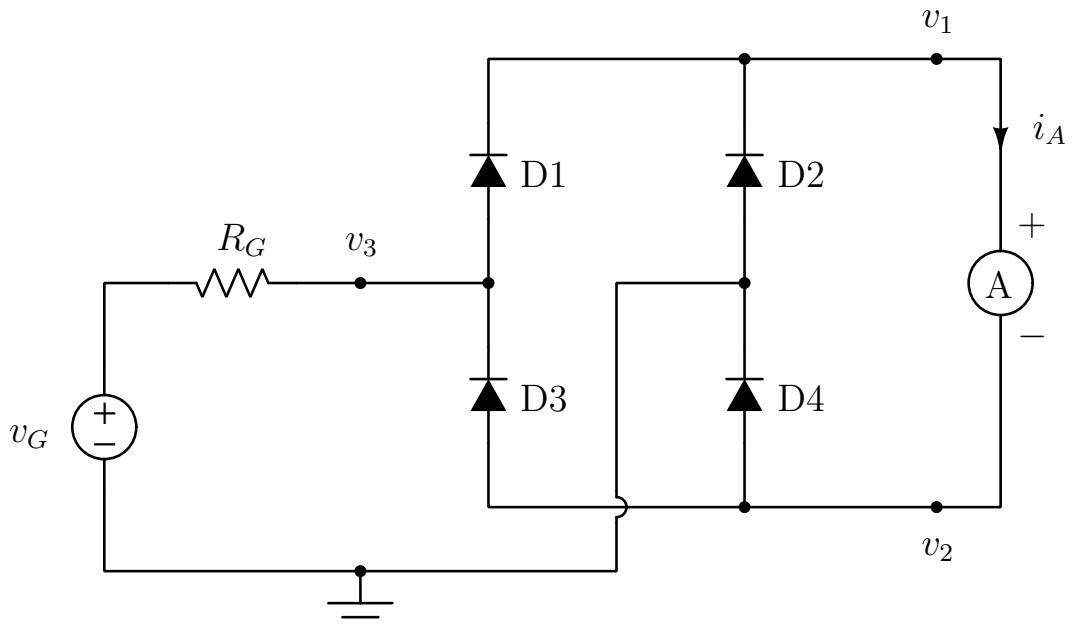
Pitanja za razmišljanje:

1. Koji od voltmetara sa slika 41 i 42 ima veću osetljivost za merenje velikih napona?
2. Koji od voltmetara sa slika 41 i 42 može da izmeri napon manje amplitude?

Ukoliko na kraju vežbe ostane vremena, možete pokrenuti program `traces2.py` komandom

```
python traces2.py
```

koji će snimiti niz ekrana osciloskopa i kompletno dokumentovati merenje □.



Slika 43: Ampermetar sa dvostranim ispravljanjem.

7.3.5 Ampermetar sa dvostranim ispravljanjem

Povezati kolo sa slike 43 u kome je $R_G = 1 \text{ k}\Omega$, a ampermetar je instrument RTO-1035N.

Na generatoru signala postaviti tip signala na sinusoidalni, offset na nulu, frekvenciju na 50 Hz.

Povezati osciloskop i podesiti da se na ekranu prikazuje samo napon v_3 na kanalu 1.

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-7/c`.

Postaviti amplitudu napona na generatoru signala na 20 V *peak-to-peak*. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py dvostraniAm-ulaz`

□.

Povezati osciloskop tako da je napon generatora na kanalu 2, a napon na ulazu ispravljača (v_3) na kanalu 1. Uključiti oba kanala. Na oba kanala podesiti podelu naponske ose na 5 V/div. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py dvostraniAm-oba`

□.

Uključiti Math prikazivanje, izabrati prikazivanje CH2 - CH1. Isključiti prikazivanje sa oba kanala. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py dvostraniAm-math-10V`

□. Od studenata se očekuje da su razumeli da je snimljeni napon proporcionalan struji kroz ampermetar, dva puta je taj koncept merenja struje već bio korišćen na vežbama.

Smanjiti amplitudu generatora na 10 V *peak-to-peak*. Podešavanjem podela naponskih osa kanala i podele naponske ose Math talasnog oblika obezbediti kvalitetan snimak za Math talasni oblik. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py dvostraniAm-math-5V`

Tabela 47: Ampermetar sa dvostranim ispravljanjem.

I_m	I_{DC} [mA]
10 mA	
8 mA	
6 mA	
4 mA	
2 mA	
1 mA	

□.

Smanjiti amplitudu generatora na 4 V *peak-to-peak*. Podešavanjem podela naponskih osa kanala i podele naponske ose Math talasnog oblika obezbediti kvalitetan snimak za Math talasni oblik. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py dvostraniAm-math-2V`

□.

Smanjiti amplitudu generatora na 2 V *peak-to-peak*. Podešavanjem podela naponskih osa kanala i podele naponske ose Math talasnog oblika obezbediti kvalitetan snimak za Math talasni oblik. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py dvostraniAm-math-1V`

□.

Označimo sa V_m amplitudu napona na generatoru signala, ona je $\frac{1}{2}$ *peak-to-peak* vrednosti. Za velike amplitude V_m amplituda struje u kolu sa slike 43 je

$$I_m \approx \frac{V_m}{R_G}$$

Pitanje za razmišljanje: na osnovu prethodno snimljenih dijagrama, kada ova aproksimacija važi, pri velikim ili pri malim amplitudama napona generatora? Zašto?

Promenom V_m menjati I_m i popuniti tabelu 47, gde je I_{DC} pokazivanje ampermetra za jednosmernu struju.

Pitanja za razmišljanje:

1. Da li ovakav ampermetar značajno utiče na napone i struje u posmatranom kolu, da li bi bili drugačiji da je umesto ampermetra kratak spoj?
2. Od čega zavisi uticaj ovakvog ampermetra na kolo u kome se struja meri? Kada je uticaj veći, ako je napon na potrošaču čija se struja meri veliki ili mali?
3. Kako bi proverili da li je struja kroz otpornik R_G zaista sinusoidalna? Proverite. Pomoć: setite se šta je rađeno u vežbi 4.
4. Ako bi struja kroz ampermetar bila $1 \text{ A} \sin(\omega_0 t)$, proceniti snagu koja bi se razvijala na ampermetru sa slike 43.
5. Koliko procenata amplitude napona v_G iznosi amplituda napona sa slike snimljene na početku ovog dela vežbe (`dvostraniAm-math-10V`)?

6. Koliko procenata amplituda napona v_G iznosi amplituda napona sa slike snimljene na kraju ovog dela vežbe (dvostraniAm-math-1V)?
7. Da li je funkcija koja povezuje srednju vrednost struje ampermetra za jednosmernu struju i efektivne vrednosti struje ampermetra za naizmeničnu struju linearan?

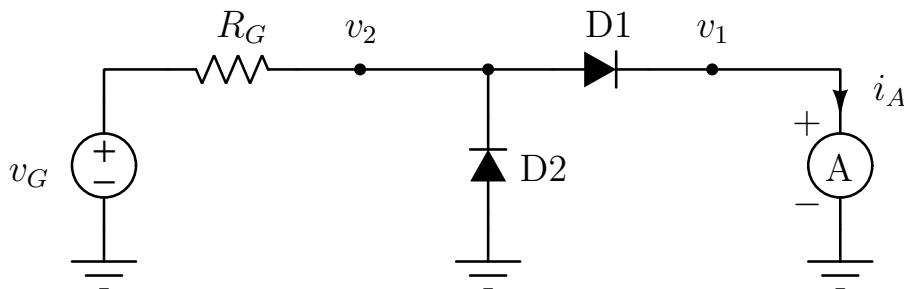
7.3.6 Ampermetar sa jednostranim ispravljanjem

Povezati kolo sa slike 44 u kome je $R_G = 1 \text{ k}\Omega$, a ampermetar je instrument RTO-1035N.

Na generatoru signala postaviti tip signala na sinusoidalni, offset na nulu, frekvenciju na 50 Hz.

Povezati osciloskop i podešiti da se na ekranu prikazuje samo napon v_2 .

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-7/d`.



Slika 44: Ampermetar sa jednostranim ispravljanjem.

Postaviti amplitudu napona na generatoru signala na 20 V *peak-to-peak*. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py jednostraniAm`

□.

Označimo sa V_m amplitudu napona na generatoru signala, ona je $\frac{1}{2}$ *peak-to-peak* vrednosti. Za velike amplitude V_m amplituda struje u kolu sa slike 44 je

$$I_m \approx \frac{V_m}{R_G}$$

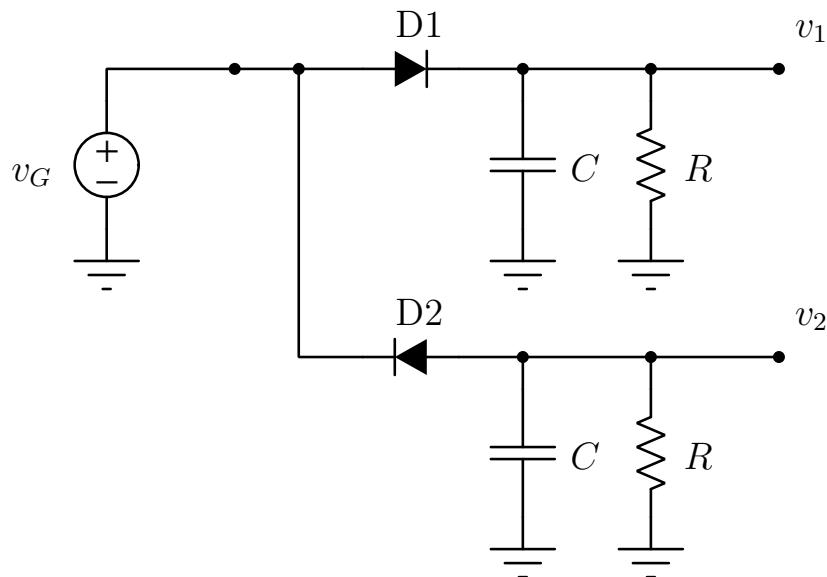
Promenom V_m menjati I_m i popuniti tabelu 48, gde je I_{DC} pokazivanje ampermetra za jednosmernu struju.

Pitanja za razmišljanje:

1. Zašto je dijagram sa slike snimljene na početku ovog dela vežbe nesimetričan?
2. Možete li iz dijagrama i amplitude napona v_G da procenite unutrašnju otpornost ampermetra za jednosmernu struju?
3. Procenite unutrašnju otpornost ampermetra za jednosmernu struju.
4. Koji od ampermetara sa slika 43 i 44 više utiče na kolo u koje se povezuje i zašto?
5. Koji od ampermetara sa slika 43 i 44 ima veću osetljivost i zašto?

Tabela 48: Ampermetar sa jednostranim ispravljanjem.

I_m	I_{DC} [mA]
10 mA	
8 mA	
6 mA	
4 mA	
2 mA	
1 mA	
0.5 mA	



Slika 45: Detektor vršne vrednosti napona.

7.3.7 Merenje vršne vrednosti napona

Povezati kolo sa slike 45 sa $R = 100 \text{ k}\Omega$ i $C = 100 \text{ nF}$. Povezati osciloskop da v_1 bude doveden na kanal 1, v_2 na kanal 2. Na generatoru signala postaviti napon na sinusoidalni, amplitudu 10 V *peak-to-peak*. Na osciloskopu podesiti vertikalnu poziciju nule na oba kanala na centralnu osu graduacije ekrana, merenja podesiti da se na oba kanala mere Mean i Cycle Mean. Otvoriti LibreOffice Calc. Pokrenuti terminal i postaviti radni direktorijum na ~/Desktop/vezba-7/e.

Postaviti frekvenciju na generatoru signala na 10 Hz. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py a-10Hz-fig
```

Snimiti dijagrame sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python drawfig.py a-10Hz-yt
```

Pročitati srednje vrednosti napona v_1 i v_2 i uneti ih u prvu i drugu kolonu tabele koju formirate u programu Calc, prva vrsta.

Postaviti frekvenciju na generatoru signala na 100 Hz. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py b-100Hz-fig
```

Snimiti dijagrame sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python drawfig.py b-100Hz-yt
```

Pročitati srednje vrednosti napona v_1 i v_2 i uneti ih u prvu i drugu kolonu tabele koju formirate u programu **Calc**, druga vrsta.

Postaviti frekvenciju na generatoru signala na 1 kHz. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py c-1kHz-fig
```

Snimiti dijagrame sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python drawfig.py c-1kHz-yt
```

Pročitati srednje vrednosti napona v_1 i v_2 i uneti ih u prvu i drugu kolonu tabele koju formirate u programu **Calc**, treća vrsta.

Postaviti frekvenciju na generatoru signala na 10 kHz. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py d-10kHz-fig
```

Snimiti dijagrame sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python drawfig.py d-10kHz-yt
```

Pročitati srednje vrednosti napona v_1 i v_2 i uneti ih u prvu i drugu kolonu tabele koju formirate u programu **Calc**, četvrta vrsta.

Postaviti frekvenciju na generatoru signala na 100 kHz. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py e-100kHz-fig
```

Snimiti dijagrame sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python drawfig.py e-100kHz-yt
```

Pročitati srednje vrednosti napona v_1 i v_2 i uneti ih u prvu i drugu kolonu tabele koju formirate u programu **Calc**, peta vrsta.

Postaviti frekvenciju na generatoru signala na 1 MHz. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

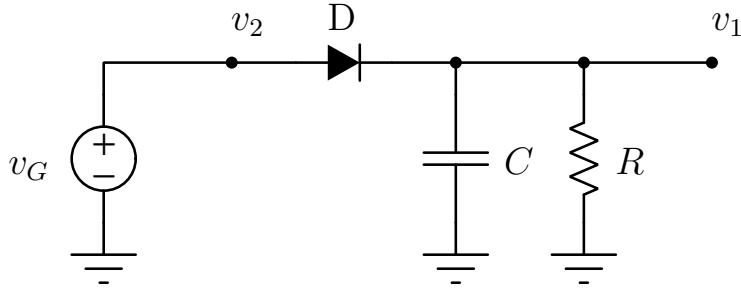
```
python getfig.py f-1MHz-fig
```

Snimiti dijagrame sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python drawfig.py f-1MHz-yt
```

Pročitati srednje vrednosti napona v_1 i v_2 i uneti ih u prvu i drugu kolonu tabele koju formirate u programu **Calc**, šesta vrsta.

Zapisati tabelu iz programa **Calc** u **.ods** formatu pod imenom **outputs.ods** i u **.csv** pod imenom **outputs.csv** Pokrenuti program **outputs.py** komandom



Slika 46: Detektor anvelope.

`python outputs.py`

i pogledati dobijenu frekvencijsku zavisnost izlaza detektora minimalne i maksimalne vrednosti napona, slike `outputs.pdf` □.

Pitanja za razmišljanje:

1. Zašto pokazivanje detektora minimalne i maksimalne vrednosti napona zavisi od frekven-cije posmatranog signala?
2. U kom opsegu frekvencija kolo sa slike 45 dobro detektuje minimalnu i maksimalnu vred-nost posmatranog signala?
3. Zašto je detektovana maksimalna vrednost posmatranog signala za oko 0.7 V manja od stvarne maksimalne vrednosti i zašto je detektovana minimalna vrednost signala za oko 0.7 V veća od stvarne maksimalne vrednosti posmatranog signala?
4. Da li kolo ispravno detektuje maksimalnu vrednost signala ako je ona manja od nule i minimalnu vrednost signala ako je ona veća od nule?

Pokrenuti program `fresponse.py` i pogledati slike `fresponse.pdf` i `fresponseloglog.pdf` koje on daje kao izlaz □.

Pitanja za razmišljanje:

1. U čemu se slika `fresponse.pdf` razlikuje od slike `outputs.pdf`?
2. Da li razlika utiče na zaključak o frekvencijskom ospsegu u kome detektori minimalne i maksimalne vrednosti signala prihvatljivo rade?
3. U čemu se sve slika `fresponseloglog.pdf` razlikuje od slike `fresponse.pdf`?

7.3.8 Detektor anvelope

Sastaviti kolo sa slike 46 kod koga je $C = 1\text{nF}$ i $R = 4.7\text{k}\Omega$. Ovo kolo je amplitudski detektor ili detektor anvelope i imalo je istorijski značaj u radio komunikacijama, to je bio prvi prijemnik za konvencionalno amplitudski modulisan (KAM) signal.

Povezati osciloskop tako da v_1 bude prikazan na kanalu 1, v_2 na kanalu 2.

Podesiti signal generatora tako da mu amplituda generisanog signala bude 8 V *peak-to-peak*, ofset nula, frekvencija 1 MHz. Uključiti modulaciju (taster Mod), tip modulacije treba da bude AM, izvor modulacionog signala treba da bude interni, indeks modulacije (AM Depth) treba da bude 40%, frekvencija modulišućeg signala 400 Hz, oblik modulacionog signala sinusoidalni. Ovakav signal odgovara sistemima za radio prenos zvuka na srednjim talasima.

Sinhronizaciju osciloskopa podesiti na signal sa kanala 1, nivo sinhronizacije na 50% priti-skom na dugme Level. Podesiti podelu vremenske ose na 500\mu s/div . Podesiti perzistenciju slike na beskonačno (Utility, Display, Persist, Infinite).

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-7/f`. Preuzeti sliku sa ekrana pokretanjem programa

`python getfig.py a-400Hz`

- Promeniti frekvenciju modulišućeg signala na 1 kHz. Radi brisanja slike akumulisane beskonačnom perzistencijom, moguće je vratiti perzistenciju kratkotrajno na `Off`, a potom je postaviti na `Infinite`. Isti efekat se postiže kratkotrajnom promenom podele naponske ili vremenske ose i vraćanjem na staro podešavanje, što je lakši način. Preuzeti sliku sa ekrana pokretanjem programa

`python getfig.py b-1kHz`

- Promeniti frekvenciju modulišućeg signala na 4 kHz. Obrisati perzistencijom memorisani sliku. Preuzeti sliku sa ekrana pokretanjem programa

`python getfig.py c-4kHz`

-

Vratiti `Persist` na `Off`. Isključiti modulaciju na generatoru signala. Sinhronizaciju osciloskopa vratiti na eksterni signal, `Ext`, podesiti nivo sinhronizacije na 50%. Na oba kanala podesiti podelu naponske ose na 2 V/div. Podesiti podelu vremenske ose na 500 ns/div. Preuzeti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py d-nomod`

- Pogledati dobijeni dijagram.

Pitanja za razmišljanje:

1. Šta radi detektor envelope?
2. Koje su sličnosti detektora envelope i detektora vršne vrednosti signala?
3. Kako, koliko i da li frekvencija modulišućeg signala utiče na amplitudu napona v_1 ?
4. Da li poslednji dijagram snimljen u ovoj vežbi (`d-nomod`) objašnjava razliku između napona na izlazu detektora envelope i envelope modulisanog signala?

7.3.9 Dokumentovanje rezultata merenja

Direktorijum `vezba-7` i njegov sadržaj iskopirati na USB flash drive i sačuvati do polaganja ispita .

ELEKTRIČNA MERENJA
— laboratorijske vežbe —

Vežba broj 8
Merenja na kolima sa raspodeljenim parametrima

ime i prezime: _____

broj indeksa: _____

grupa: _____

datum: _____

vreme: _____

ocena: _____

dežurni: _____

8 Merenja na kolima sa raspodeljenim parametrima

8.1 Potrebni instrumenti i pribor

1. generator signala Agilent 33220A sa USB kablom
2. BNC-to-BNC kabl za sinhronizaciju
3. osciloskop Tektronix TBS 1052B-EDU sa USB kablom
4. tri koaksijalna BNC-to-BNC kabla dužine po nekoliko metara, $Z_C = 50 \Omega$
5. koaksijalni BNC-to-BNC kabl dužine oko 1 m, $Z_C = 50 \Omega$
6. T-elementi za povezivanje koaksijalnih kablova, 3 komada
7. elementi za produžavanje koaksijalnih kablova, 2 komada
8. završetak (terminacija) koaksijalnog kabla karakterističnom impedansom $Z_C = 50 \Omega$
9. završetak (terminacija) koaksijalnog kabla kratkim spojem
10. završetak (terminacija) koaksijalnog kabla sa izvodima za protobord
11. protobord
12. otpornik otpornosti 22Ω , 5%, 1 komad
13. otpornik otpornosti 100Ω , 5%, 1 komad
14. kondenzator kapacitivnosti 1 nF , 1 komad
15. kondenzator kapacitivnosti 100 nF , 1 komad
16. žica za protobord, kratka
17. žica za protobord, dugačka
18. računar sa softverom za vežbu broj 8
19. studenti treba da imaju USB flash drive kako bi sačuvali rezultate merenja

8.2 Opis i ciljevi vežbe

U ovoj vežbi se ilustruju efekti karakteristični za kola sa raspodeljenim parametrima kod kojih u model kola ulaze i prostorne dimenzije kola, a ne samo električni parametri kola i vreme. U vežbi će biti razmatran najjednostavniji slučaj kada je jedina prostorna dimenzija koja je od značaja dužina voda. Studenti treba da uoče efekte prostriranja signala po vodu: kašnjenje i slabljenje. Takođe, studenti treba da uoče kako se posmatranjem reflektovanog talasa i merenjima na njemu može identifikovati i ustanoviti gde je na vodu došlo do prekida ili kratkog spoja. Biće ilustrovani efekti refleksije kada vod nije zatvoren karakterističnom impedansom. Na kraju vežbe će biti ilustrovani efekti frekvencijske zavisnosti ulazne impedanse otvorenog i kratko spojenog voda koja ispoljava beskonačno mnogo rezonansi iz kojih je moguće odrediti dužinu voda.

Očekuje se da studenti kroz vežbu steknu iskustvo u povezivanju kola sa raspodeljenim parametrima i unaprede svoje veštine u izboru odgovarajućih parametara za prikazivanje slike na ekranu osciloskopa i merenju vremenskih intervala i naponskih nivoa. Takođe, studenti

će steći osećaj da je merenje prostiranja signala brzinama bliskim brzini svetlosti moguće i relevantno, da se na u laboratoriji ostvarivim frekvencijama otvoren vod može ponašati kao kratak spoj i obrnuto, kratko spojen vod kao otvorena veza. Štaviše, iz takvih merenja je moguće odrediti dužinu voda.

Teme obrađene u ovoj vežbi imaju teorijsku podlogu obrađenu u predmetu Teorija električnih kola. Stoga, studentima se preporučuje da pre vežbe prouče teorijske osnove obrađene u ovom predmetu.

Aktivnosti koje daju rezultat koji se dokumentuje naznačene su sa \square , gde treba staviti oznaku kada je aktivnost završena.

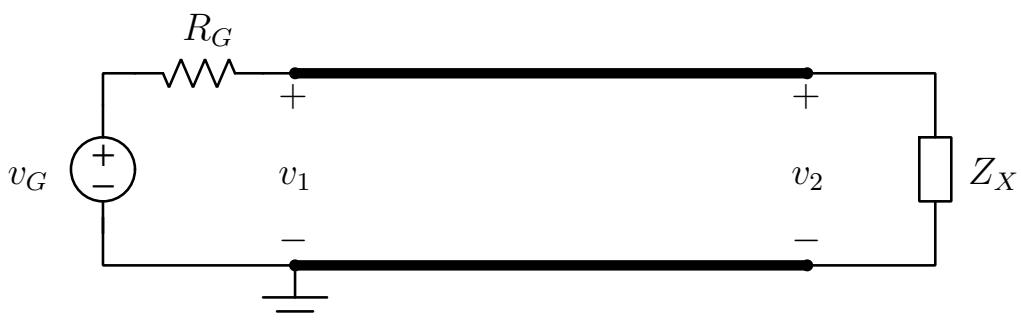
8.3 Napomene

U svim delovima vežbe sinhronizacija osciloskopa je izvedena preko sinhronizacionog izlaza generatora signala i eksternog sinhronizacionog ulaza osciloskopa.

U svim delovima vežbe sprega po kanalima osciloskopa treba da bude DC.

Sistem koji će biti razmatran u vežbi je prikazan na slici 47. Razmatrani vod ima karakterističnu impedansu $Z_C = 50 \Omega$ kolika je (prema specifikaciji proizvođača [18]) i unutrašnja otpornost generatora signala, $R_G = Z_C$, tako da refleksije na strani generatora ne može biti. Tokom vežbe će biti menjana dužina voda nadovezivanjem tri segmenta, biće menjana završna impedansa Z_X i biće proučavani efekti ovih promena.

Generator signala se na dostupnom priključku može predstaviti rednom vezom idealnog naponskog izvora v_G i otpornika $R_G = 50 \Omega$, slika 47. Na generatoru signala je moguće podešiti otpornost potrošača koja utiče na način zadavanja napona idealnog naponskog izvora (komande Utility, Output Setup, Load, potom izbor otpornosti potrošača). U zavisnosti od izabrane otpornosti potrošača, idealni naponski izvor v_G realizuje napon potreban da se na potrošaču postigne zadata vrednost napona, v_1 na slici 47. U slučaju da podešena otpornost potrošača ne odgovara stvarnoj, realizovani napon v_1 na potrošaču neće biti jednak zadatom.



Slika 47: Vod.

8.4 Zadatak

8.4.1 Prostiranje talasa po vodu

Pokrentuti terminal. Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/a`.

Podesiti podrazumevanu otpornost potrošača na 50Ω komandama Utility, Output Setup, Load, 50Ω . Podesiti frekvenciju generatora signala na 1 MHz. Podesiti tip signala na Pulse, minimalnu vrednost signala na nulu, maksimalnu vrednost na 1 V, trajanje impulsa na 20 ns, trajanje ivica na 5 ns. Ovakva pobuda u datom kontekstu verno predstavlja povorku Dirakovih impulsa.

Na stolu je već povezan generator signala kratkim koaksijalnim kablom na kanal 1 osciloskopa preko T-elementa. Takođe, prvi segment koaksijalnog kabla je povezan na taj T-element. Ostali segmenti kabla koji su međusobno vezani na red preko elemenata za nastavljanje voda. Na kraju, preko T-elementa kabl je povezan na kanal 2 osciloskopa, a na izlazni kraj T-elementa je povezan element za završavanje voda karakterističnom impedansom (terminacija). **Početno povezivanje je da su sva tri segmenta vezana na red u skladu sa rastućim rednim brojevima** i na to povezivanje ćemo se pozivati u daljem tekstu vežbe.

Na ekranu osciloskopa treba prikazati signale sa kanala 1 i kanala 2 tako da je nula kanala 1 postavljena na -3 div , a nula kanala 2 osciloskopa postavljena na 0 div . Podela napona ose treba da bude 0.5 V/div na oba kanala. Tokom vežbe potrebno je podešavati podelu vremenske ose i horizontalnu poziciju slike kako bi na ekranu bili prikazani željeni efekti.

Prilikom merenja kašnjenja i vršne vrednosti impulsa u oba slučaja kurzor treba da bude vremenskog tipa, pošto prikazani podaci obuhvataju i vreme i trenutnu vrednost označene tačke signala. Kod merenja vremena propagacije i vršne vrednosti poslatog impulsa, izvor podataka za kurzor treba da bude kanal 1. Kod merenja vršne vrednosti primljenog impulsa, izvor podataka za kurzor treba da bude kanal 2. Za računanje razlike u vršnim vrednostima signala moguće je koristiti program Calc.

U prvom delu vežbe treba dokumentovati kašnjenje signala i slabljenje signala snimanjem odgovarajućih dijagrama za svih sedam mogućih kombinacija povezivanja segmenata voda specificiranih u tabeli 49.

Tabela 49: Prostiranje signala po vodu

kombinacija	segment 1	segment 2	segment 3	Δt [ns]	Δv [mV]
1	✓	✓	✓		
2	✓	✓			
3	✓		✓		
4		✓	✓		
5			✓		
6		✓			
7	✓				

Na stolu je već povezana kombinacija 1 iz tabele 49. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt , tip kurzora vreme, izvor podataka kanal 1. Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 49 Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py k1dt`

Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa, prebaciti izvor podataka za kursore na kanal 2. Izračunati razliku vršnih vrednosti i zapisati dobijenu vrednost u tabelu 49 Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py k1dv`

.

Povezati kombinaciju 2 iz tabele 49. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt . Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 49 Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py k2dt`

- . Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa. Zapisati dobijenu vrednost u tabelu 49 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py k2dv`

□.

Povezati kombinaciju 3 iz tabele 49. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt . Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 49 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py k3dt`

- . Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa. Zapisati dobijenu vrednost u tabelu 49 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py k3dv`

□.

Povezati kombinaciju 4 iz tabele 49. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt . Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 49 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py k4dt`

- . Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa. Zapisati dobijenu vrednost u tabelu 49 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py k4dv`

□.

Povezati kombinaciju 5 iz tabele 49. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt . Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 49 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py k5dt`

- . Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa. Zapisati dobijenu vrednost u tabelu 49 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py k5dv`

□.

Povezati kombinaciju 6 iz tabele 49. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt . Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 49 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py k6dt`

- . Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa. Zapisati dobijenu vrednost u tabelu 49 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py k6dv`

□.

Povezati kombinaciju 7 iz tabele 49. Postaviti pokazivače za merenje kašnjenja impulsa Δt . Zapisati izmerenu vrednost u tabelu 49 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py k7dt
```

- . Postaviti pokazivače za merenje razlike u vršnoj vrednosti napona poslatog i primljenog impulsa. Zapisati dobijenu vrednost u tabelu 49 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py k7dv
```

- .

8.4.2 Kvarovi na vodu

U ovom delu vežbe cilj je da se ilustruju efekti kakve kvarovi, prekidi i kratki spojevi na vodu, izazivaju na ulaznom i na izlaznom portu voda. Studenti treba da uoče da kvar na vodu izaziva prekid prenosa signala ka izlaznom portu voda, ali i pojavi reflektovanog talasa na ulaznom portu voda prema čijem obliku i kašnjenju je moguće ustanoviti tip i mesto kvara na vodu („reflektometrija”).

Povezati početnu konfiguraciju voda. Podešavanja generatora treba ostaviti kao u prethodnoj tački. Kod osciloskopa nivo nule prvog kanala treba da bude na 2 div, a nivo nule drugog kanala na -2 div. Podela naponske ose na oba kanala treba da bude 500 mV/div. Podelu vremenske ose i horizontalnu poziciju slike treba podešavati po potrebi. Isključiti pokazivače.

Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/b`.

U cilju ilustrovanja normalnog prenosa signala po vodu, snimiti dijagram poslatog i primljenog signala bez kvarova pokretanjem programa

```
python getfig.py ok
```

- . Uočiti prisustvo signala na izlazu, kašnjenje usled propagacije, kao i odsustvo refleksije na ulazu voda.

Prekinuti („odspojiti”) vod na kraju segmenta 3. Snimiti rezultujući dijagram pokretanjem programa

```
python getfig.py 3o
```

- . Uočiti da signal sa izlaza nestaje, a da se pojavljuje reflektovani talas na ulazu voda.

Na kraju segmenta 3 kratko spojiti vod primenom završetka u kratkom spoju. Snimiti rezultujući dijagram pokretanjem programa

```
python getfig.py 3s
```

- . Uočiti da se pojavljuje reflektovani talas na ulazu, različit u odnosu na slučaj kada je vod u prekidu. Prema obliku reflektovanog talasa moguće je ustanoviti da li je vod u kratkom spoju ili u prekidu. Ukloniti završetak u kratkom spoju i povezati kraj trećeg segmenta voda na kanal 2 osciloskopa.

Prekinuti („odspojiti”) vod na kraju segmenta 2. Snimiti rezultujući dijagram pokretanjem programa

```
python getfig.py 2o
```

- . Uočiti da signal sa izlaza nestaje, a da se pojavljuje reflektovani talas na ulazu nakon kašnjenja koje je kraće nego kada je prekid bio na izlazu trećeg segmenta voda.

Umesto segmenta za nastavljanje vodova povezati T-element i tako povezati vod na kraju segmenta 2 sa početkom segmenta 3. Kratko spojiti vod na tom mestu povezivanjem završetka u kratkom spoju na T-element. Snimiti rezultujući dijagram pokretanjem programa

```
python getfig.py 2s
```

- . Uočiti da signal sa izlaza nestaje, a da se pojavljuje reflektovani talas na ulazu koji ukazuje na kratak spoj, dok kašnjenje reflektovanog talasa ukazuje na mesto na kome je kratak spoj nastao. T-element sa završetkom za kratko spajanje zameniti elementom za produžavanje voda.

Prekinuti vod na kraju segmenta 1. Snimiti rezultujući dijagram pokretanjem programa

```
python getfig.py 1o
```

- . Uočiti da signal sa izlaza nestaje, a da se pojavljuje reflektovani talas na ulazu, nakon malog kašnjenja koje odgovara bliskom prekidu.

Povezati vod na kraju segmenta 1 primenom T-elementa sa završetkom u kratkom spoju umesto elementa za produžavanje voda. Snimiti rezultujući dijagram pokretanjem programa

```
python getfig.py 1s
```

- . Uočiti da signal sa izlaza nestaje, a da se pojavljuje reflektovani talas na ulazu koji ukazuje na kratak spoj na malom rastojanju, zbog malog kašnjenja.

Da zaključimo: prekidanje ili kratko spajanje voda na bilo kom mestu dovodi do nestanka signala na kraju voda i do pojave reflektovanog talasa na početku voda. Po obliku reflektovanog talasa moguće je zaključiti da li je na vodu nastao prekid ili kratak spoj. Po kašnjenju reflektovanog talasa moguće je zaključiti gde je kvar nastao. Sledeći deo vežbe se bavi određivanjem mesta i tipa kvara na vodu na osnovu merenja parametara reflektovanog talasa.

8.4.3 Refleksija na otvorenom vodu

Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/c`.

U prethodnoj tački su kvalitativno analizirani efekti koje proizvodi presecanje (otvaranje) voda ili kratko spajanje voda. U ovoj i sledećoj tački će biti kvantitativno analizirani ti efekti. Kako prekidanje ili kratko spajanje voda isključuje izlaz, u ovom i u sledećem delu vežbe treba isključiti prikazivanje signala na kanalu 2, sva merenja će se obavljati na kanalu 1.

Povezati sistem na početnu konfiguraciju. Prekinuti vod na kraju segmenta 3 rastavljanjem na T-elementu. Podesiti osciloskop tako da je moguće izmeriti vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Podesiti pokazivače da mere vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa (vremenski tip pokazivača). Izmeriti ovo vreme i upisati ga u tabelu 50 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 3ot
```

- . Podesiti pokazivače da mere vršne vrednosti pobudnog i reflektovanog impulsa (naponski tip pokazivača). Izmeriti razliku ove dve vrednosti i upisati je u tabelu 50 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 3oa
```

□.

Prekinuti vod na kraju segmenta 2 rastavljanjem. Podesiti osciloskop tako da je moguće izmeriti vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Podesiti pokazivače da mere vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti ovo vreme i upisati ga u tabelu 50 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 2ot
```

- . Podesiti pokazivače da mere vršne vrednosti pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti razliku ove dve vrednosti i upisati je u tabelu 50 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 2oa
```

□.

Prekinuti vod na kraju segmenta 1 rastavljanjem. Podesiti osciloskop tako da je moguće tačno i precizno izmeriti vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Podesiti pokazivače da mere vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti ovo vreme i upisati ga u tabelu 50 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 1ot
```

□. Podesiti pokazivače da mere vršne vrednosti pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti razliku ove dve vrednosti i upisati je u tabelu 50 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 1oa
```

□.

Tabela 50: Refleksija na otvorenom vodu

kombinacija	segment 1	segment 2	segment 3	Δt [ns]	Δv [mV]
1	✓	✓	✓		
2	✓	✓			
7	✓				

8.4.4 Refleksija na vodu u kratkom spoju

Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/d`.

U ovom delu vežbe će biti kvantitativno analizirani efekti refleksije na kratko spojenom vodu. Do sada su u vežbi pokazivači korišćeni za merenje kašnjenja i slabljenja signala na dva načina. Sada će biti ilustrovan treći način, u kome osciloskop računa vremensku razliku i meri nivoe vrhova pobudnog i reflektovanog impulsa, a kako bi očitavanje bilo stabilnije koristi se usrednjavanje slike. Podesite usrednjavanje koristeći `Acquire`, `Average`, podesiti usrednjavanje na 128.

Povezati sistem na početnu konfiguraciju, bez povezivanja na kanal 2. Kratko spojiti vod na kraju segmenta 3 postavljanjem završetka u kratkom spoju. Podesiti osciloskop tako da je moguće izmeriti vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Podesiti pokazivače vremenskog tipa na vrhove pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti ovo vreme i upisati ga u tabelu 51 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 3s
```

□. Izračunati razliku apsolutnih vrednosti vrhova pobudnog i reflektovanog impulsa (program `Calc`) i upisati je u tabelu 51 □.

Ukloniti završetak u kratkom spoju sa kraja segmenta 3 voda. Rastaviti vod na spoju segmenata 2 i 3 i kratko spojiti vod na kraju segmenta 2 postavljanjem završetka u kratkom spoju. Podesiti osciloskop tako da je moguće izmeriti vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Podesiti pokazivače na vrhove pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti ovo vreme i upisati ga u tabelu 51 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py 2s
```

- . Izračunati razliku apsolutnih vrednosti vrhova pobudnog i reflektovanog impulsa i upisati je u tabelu 51 □.

Ukloniti završetak u kratkom spoju sa kraja segmenta 2 voda. Rastaviti vod na spoju segmenata 1 i 2 i kratko spojiti vod na kraju segmenta 1 postavljanjem završetka u kratkom spoju. Podesiti osciloskop tako da je moguće izmeriti vreme između pobudnog i reflektovanog impulsa. Podesiti pokazivače na vrhove pobudnog i reflektovanog impulsa. Izmeriti ovo vreme i upisati ga u tabelu 51 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py 1s`

- . Izračunati razliku apsolutnih vrednosti vrhova pobudnog i reflektovanog impulsa i upisati je u tabelu 51 □.

Isključiti usrednjavanje slike koristeći `Acquire`, `Sample`. Isključiti pokazivače.

Tabela 51: Refleksija na vodu u kratkom spoju

kombinacija	segment 1	segment 2	segment 3	Δt [ns]	Δv [mV]
1	✓	✓	✓		
2	✓	✓			
7	✓				

8.4.5 Određivanje dužine voda

Za vodove koji nisu zatvoreni karakterističnom impedansom moguće je odrediti dužinu voda merenjem vremena koje protekne između polaska pobudnog i dolaska reflektovanog talasa, imajući u vidu da se talasi po vodu prostiru brzinom

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}.$$

Imajući u vidu da je $\mu_r \approx 1$ za materijale od kojih se prave vodovi, brzina prostiranja se svodi na

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

gde je $c \approx 3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, a ϵ_r je relativna permitivnost dielektrika voda. U konkretnom slučaju voda koji se koristi na vežbama $\epsilon_r \approx 2.25$, pa je brzina prostiranja signala po vodu

$$v \approx 2 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0.2 \frac{\text{m}}{\text{ns}} = 20 \frac{\text{cm}}{\text{ns}}.$$

Poznavanje brzine prostiranja talasa po vodu i kašnjenja i oblika reflektovanog signala koristi se u reflektometriji da se odredi mesto i tip kvara na vodu.

Koristeći poznatu brzinu prostiranja talasa po vodu i rezultate merenja izvršenih u prvoj tački, 8.4.1, kao i u prethodne dve tačke, 8.4.3 i 8.4.4, odrediti dužine pojedinih segmenata kabla. Popuniti tabelu 52.

Pitanja za razmišljanje:

1. Po kojim formulama ste izračunali dužine zahtevane u tabeli 52?
2. Koliko su međusobno saglasni rezultati zasnovani na merenju propagacije, merenjima na otvorenom vodu i merenjima na vodu u kratkom spoju?
3. Imajući u vidu ograničenja raspoložive opreme, koja merenja dužine voda imaju manju mernu nesigurnost: merenja zasnovana na reflektovanom talasu iza tačaka 8.4.3 i 8.4.4 ili merenja zasnovana na prostiranju talasa iz tačke 8.4.1?

Tabela 52: Dužine segmenata voda

segment(i)	dužina [m], zavisno od metoda		
	propagacija	otvoren vod	vod u kratkom spoju
1 + 2 + 3			
1 + 2			
1			
2			
3			

8.4.6 Vod zatvoren neprilagođenom impedansom

Povezati sva tri segmenta koaksijalnog voda na red (početna konfiguracija) i zatvoriti vod završetkom koji omogućava vezu sa protobordom. Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/e`.

Na ekranu osciloskopa posmatrati samo kanal 1.

Zatvoriti vod otpornošću od 100Ω . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py t100ohm
```

.

Zatvoriti vod otpornošću od 22Ω . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py t22ohm
```

.

Zatvoriti vod kondenzatorom kapacitivnosti 1nF . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py t1nF
```

.

Zatvoriti vod kondenzatorom kapacitivnosti 100nF . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py t100nF
```

.

Zatvoriti vod kratkom žicom za protobord, efektivno praveći kratak spoj. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py tshort
```

.

Zatvoriti vod dugačkom žicom za protobord tako da žica napravi najveću moguću petlju, ali i dalje efektivno praveći kratak spoj. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py tlong
```

.

Pitanja za razmišljanje:

1. Može li se na osnovu reflektovanog talasa proceniti otpornost otpornika kojim je zatvoren vod?
2. Može li se na osnovu reflektovanog talasa odrediti mesto na kome je vod zatvoren?
3. Da li se kondenzatori koji zatvaraju vod ponašaju nalik otvorenoj ili nalik kratkoj vezi?
4. Da li se žice kojima se kratko spaja vod preko protoborda ponašaju kao dobar kratak spoj?

8.4.7 Frekvencijska zavisnost ulaznog napona na otvorenom vodu

Cilj ovog i sledećeg dela vežbe je da ilustruje efekte izazvane raspodeljenim parametrima voda. Ako bi kolo sa slike 47 bilo sa koncentrisanim parametrima, $Z_X \rightarrow \infty$ bi uslovilo $v_1 = v_G$, dok bi $Z_X = 0$ uslovilo $v_1 = 0$. Ovo će na niskim frekvencijama zaista i biti tako, ali na višim frekvencijama će se električno ponašanje voda menjati tako da će se na portu gde se meri v_1 videti impedansa koja se menja od približno otvorene do približno kratke veze, zavisno od frekvencije i zavisno od toga da li je vod otvoren ili kratko spojen na svom kraju.

Merenja frekvencijske zavisnosti efektivne vrednosti napona v_1 u kolu sa slike 47 se vrše u 400 tačaka, u opsegu frekvencija od 50 kHz do 20 MHz na svakih 50 kHz. Ovakva merenja ne bi bilo moguće izvršiti na vežbama ručno u razumnom roku, pa su merenja automatizovana, a od studenata se očekuje da razumeju dobijene dijagrame i identifikuju parametre na njima.

Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/f`. Obezbediti da su sva tri segmenta voda vezana na red, a da je na kraju vod otvoren. Pokrenuti program za snimanje frekvencijske zavisnosti komandom

```
python fresponseopen.py
```

Program će javljati koliko procenata merenja je završeno, koja je trenutna frekvencija generatora i koje je trenutno očitavanje efektivne vrednosti napona v_1 , kao i grafičku indikaciju nivoa očitanog napona. Potrebno je sačekati da program završi rad i pogledati dobijeni dijagram `open.pdf`. Na dijagramu ustanoviti na kojim frekvencijama se vod ponaša približno kao kratak spoj. Identifikovane frekvencije uneti u tabelu 53 Ukoliko želite da tačnije očitate frekvencije pri kojima ulazni napon ima lokalni minimum, izlaz programa možete zapisati u fajl koristeći redirekciju izlaza

```
python fresponseopen.py > open.dat
```

i potom pretražiti podatke u fajlu `open.dat`.

Tabela 53: Frekvencije na kojima se otvoren vod na ulazu ponaša kao kratak spoj

	f [MHz]
f_1	
f_2	
f_3	

Imajući u vidu da razlika dve uzastopne frekvencije na kojima se vod ponaša kao kratak spoj odgovara polovini talasne dužine talasa koji se prostire po vodu brzinom $v \approx 2 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, proceniti dužinu voda na kome je merenje vršeno (pomoć: $l = \frac{100 \text{ m MHz}}{\Delta f}$). Procenjena dužina voda je

$$l = \underline{\hspace{1cm}} \quad \square.$$

Kako bi se dobio kvalitetniji dijagram zavisnosti ulaznog napona voda od frekvencije pokrenuti program

`python fresponseopen-autorange.py`

koji koristi automatsko podešavanje podele naponske ose i time tačnije meri niske napone, ali radi sporije (potrebno mu je oko 2.5 minuta da završi merenje) i teže je na ekranu vizuelno pratiti rad programa.

8.4.8 Frekvenčijska zavisnost ulaznog napona na vodu u kratkom spoju

Podesiti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-8/g`. Obezbediti da su sva tri segmenta voda vezana na red, a da je na kraju vod zatvoren završetkom u kratkom spoju. Pokrenuti program za snimanje frekvenčijske zavisnosti komandom

`python fresponseshort.py`

Program će javljati koliko procenata merenja je završeno, koja je trenutna frekvencija generatora i koje je trenutno očitavanje efektivne vrednosti napona v_1 , kao i grafičku indikaciju nivoa očitanog napona. Potrebno je sačekati da program završi rad (oko minut) i pogledati dobijeni dijagram `short.pdf`. Na dijagramu ustanoviti na kojim frekvencijama se vod ponaša približno kao kratak spoj. Identifikovane frekvencije uneti u tabelu 54 Ukoliko želite da tačnije očitate frekvencije pri kojima ulazni napon ima lokalni minimum, izlaz programa možete zapisati u fajl koristeći redirekciju izlaza

`python fresponseshort.py > short.dat`

i potom pretražiti podatke u fajlu `short.dat`.

Tabela 54: Frekvencije na kojima se kratko spojen vod na ulazu ponaša kao kratak spoj

	f [MHz]
f_1	
f_2	
f_3	
f_4	

Imajući u vidu da razlika dve uzastopne frekvencije na kojima se vod ponaša kao kratak spoj odgovara polovini talasne dužine talasa koji se prostire po vodu brzinom $v \approx 2 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, proceniti dužinu voda na kome je merenje vršeno (pomoć: $l = \frac{100 \text{ m MHz}}{\Delta f}$). Procenjena dužina voda je

$$l = \underline{\hspace{1cm}} \quad \square.$$

Kako bi se dobio kvalitetniji dijagram zavisnosti ulaznog napona voda od frekvencije pokrenuti program

`python fresponseshort-autorange.py`

- koji koristi automatsko podešavanje podele naponske ose i time tačnije meri niske napone, ali radi sporije (potrebno mu je oko 2.5 minuta da završi merenje) i teže je na ekranu vizuelno pratiti rad programa.

Pitanja za razmišljanje:

1. Koliko se merenje dužine voda na osnovu merenja razlike uzastopnih frekvencija na kojima se vod ponaša kao kratak spoj slaže sa rezultatom merenja dužine voda na osnovu merenja vremena prostiranja talasa izvršenog u tački 8.4.1 i merenja vremena proteklog od slanja pobudnog do prijema reflektovanog talasa, vršenog u tačkama 8.4.3 i 8.4.4?
2. Koliko međusobno nezavisnih informacija o dužini voda daju merenja iz tačke 8.4.7, a koliko merenja iz tačke 8.4.8?
3. Kako bi izvršili agregaciju rezultata merenja iz tačaka 8.4.7 i 8.4.8 u jedinstven rezultat za dužinu voda? Zašto bi to činili? Pomoć: primeniti metod najmanjih kvadrata.
4. Od svih navedenih metoda za merenje dužine voda merenjima električnih karakteristika na ulaznom portu voda, kom metodu najviše verujete i zašto?
5. Kom vremenu propagacije odgovara najveća nesaglasnost dobijenih rezultata? (Pomoć: talas po posmatranom vodu propagira sa 20 cm/ns.)
6. Da li je na osnovu rezultata merenja u tačkama 8.4.7 i 8.4.8 moguće proceniti koeficijent slabljenja voda?
7. Da li je moguće odrediti dužinu voda merenjem razlike uzastopnih frekvencija na kojima se vod ponaša kao otvorena veza? Zašto ta mogućnost u vežbi nije korišćena?
8. Zašto automatska regulacija podele naponske ose popravlja kvalitet snimljene zavisnosti ulaznog napona voda od frekvencije?

8.4.9 Frekvencijska zavisnost ulaznog napona na vodu koji je zatvoren svojom karakterističnom impedansom

Podesiti radni direktorijum na ~/Desktop/vezba-8/h. Obezbediti da su sva tri segmenta voda vezana na red, a da je na kraju vod zatvoren karakterističnom impedansom. Pokrenuti program za snimanje frekvencijske zavisnosti komandom

```
python fresponseZc.py
```

- Program će javljati koliko procenata merenja je završeno, koja je trenutna frekvencija generatora i koje je trenutno očitavanje efektivne vrednosti napona v_1 , kao i grafičku indikaciju nivoa očitanog napona. Potrebno je sačekati da program završi rad (oko minut) i pogledati dobijeni dijagram Zc.pdf.

Kako bi se dobio kvalitetniji dijagram zavisnosti ulaznog napona voda od frekvencije pokrenuti program

```
python fresponseZc-autorange.py
```

- koji koristi automatsko podešavanje podele naponske ose i time tačnije meri niske napone, ali radi sporije (potrebno mu je oko 2.5 minuta da završi merenje) i teže je na ekranu vizuelno pratiti rad programa.

Pitanja za razmišljanje:

1. Da li je dobijeni dijagram očekivan?
2. Smatrate li da su odstupanja od očekivanog dijagrama velika ili mala?
3. Šta uzrokuje odstupanja od očekivanog dijagrama?
4. Da li je automatska regulacija podele naponske ose u ovom slučaju popravila dijagram? Zašto?

8.4.10 Dokumentovanje rezultata merenja

Direktorijum vezba-8 i njegov sadržaj iskopirati na USB flash drive i sačuvati do polaganja ispita

ELEKTRIČNA MERENJA
— laboratorijske vežbe —

Vežba broj 9
Mostovi

ime i prezime: _____

broj indeksa: _____

grupa: _____

datum: _____

vreme: _____

ocena: _____

dežurni: _____

9 Mostovi

9.1 Potrebni instrumenti i pribor

1. generator signala Agilent 33220A sa USB kablom
2. crossover UTP kabl za povezivanje računara i generatora signala
3. BNC-to-BNC kabl za sinhronizaciju
4. osciloskop Tektronix TBS 1052B-EDU sa USB kablom
5. BNC kablovi sa bananskim utikačima, 3 komada, svi sa masom
6. izvor jednosmernog napona Agilent E3630A
7. kablovi sa bananskim utikačima, 4 komada
8. digitalni multimetar RTO-1035N
9. protobord
10. žice za povezivanje na protobordu
11. otpornici otpornosti 22Ω , 3 komada
12. otpornici otpornosti 33Ω , 3 komada
13. otpornik otpornosti 100Ω , 5%
14. otpornici otpornosti $1\text{k}\Omega$, 5%, tri komada
15. otpornik otpornosti $10\text{k}\Omega$, 5%
16. kondenzator kapacitivnosti 100nF , 2 komada
17. kondenzator kapacitivnosti 47nF
18. kondenzator kapacitivnosti 33nF
19. kondenzator kapacitivnosti 22nF
20. kondenzator kapacitivnosti 10nF
21. kondenzator kapacitivnosti 1nF
22. kalem nepoznate induktivnosti „crni”
23. dekadna ploča otpornosti
24. kablovi sa bananskim utikačima na jednoj i žicom za protobord na drugoj strani, 2 komada
25. potenciometar sa skalom
26. računar sa softverom za vežbu broj 9
27. studenti treba da imaju USB flash drive kako bi sačuvali rezultate merenja

9.2 Opis i ciljevi vežbe

Ova vežba se bavi merenjima parametara pasivnih elemenata i frekvencije pomoću mostova. I u ovoj vežbi se ilustruje na fizičkim objektima znanje stečeno u predmetima Osnovi elektrotehnike 1 i 2 i Teorija električnih kola.

Cilj vežbe je da studenti dalje unaprede svoje sposobnosti u povezivanju električnih kola na protobordu, primeni osciloskopa i generatora signala, kao i da osete pojam osetljivosti mosta i efekte kvantizacije na rezultat merenja.

Aktivnosti koje daju rezultat koji se dokumentuje naznačene su sa \square , gde treba staviti oznaku kada je aktivnost završena.

9.3 Napomene

U svim delovima vežbe sinhronizacija osciloskopa je izvedena preko sinhronizacionog izlaza generatora signala i eksternog sinhronizacionog ulaza osciloskopa.

Pre početka korišćenja generatora signala proveriti da li je podrazumevana impedansa potrošača podešena na beskonačnu, Utility, Output Setup, Load, High Z.

U nekim delovima vežbe se koristi dekadna ploča otpornosti. Dekadna ploča (kutija) otpornosti prikazana je na slici 48 i ponaša se kao otpornik čija se otpornost izborom položaja džampera J_2 , J_3 i J_4 može menjati u opsegu od 0Ω do 99900Ω u koracima po 100Ω prema formuli

$$R_{dec} = 10000\Omega J_4 + 1000\Omega J_3 + 100\Omega J_2$$

gde je R_{dec} otpornost koju dekadna ploča realizuje, a J_2 , J_3 i J_4 su pozicije odgovarajućih džampera. Kako svaki džamper ima 10 mogućih pozicija, dekadna ploča teorijski može da realizuje 1000 različitih otpornosti. U praksi, situacija je nešto lošija zbog tolerancija upotrebljenih otpornika, pošto tolerancija otpornika najveće upotrebljene otpornosti, $10\text{k}\Omega$, od 5% iznosi 500Ω , što je petostruka otpornost najmanjeg upotrebljenog otpornika.

U nekim delovima vežbe za uravnoteženje mosta će se koristiti potenciometar sa skalom prikazan na slici 49(a). Potenciometar je „linearni” tako da otpornosti od klizača do krajeva linearno zavise od ugla zakretanja α izraženog u normalizovanim jedinicama ($0 \leq \alpha \leq 1$), po kojima je puno skretanje u jednu stranu $\alpha = 0$, a u drugu stranu $\alpha = 1$. Skala potenciometra je označena u procentima pune skale p tako što je

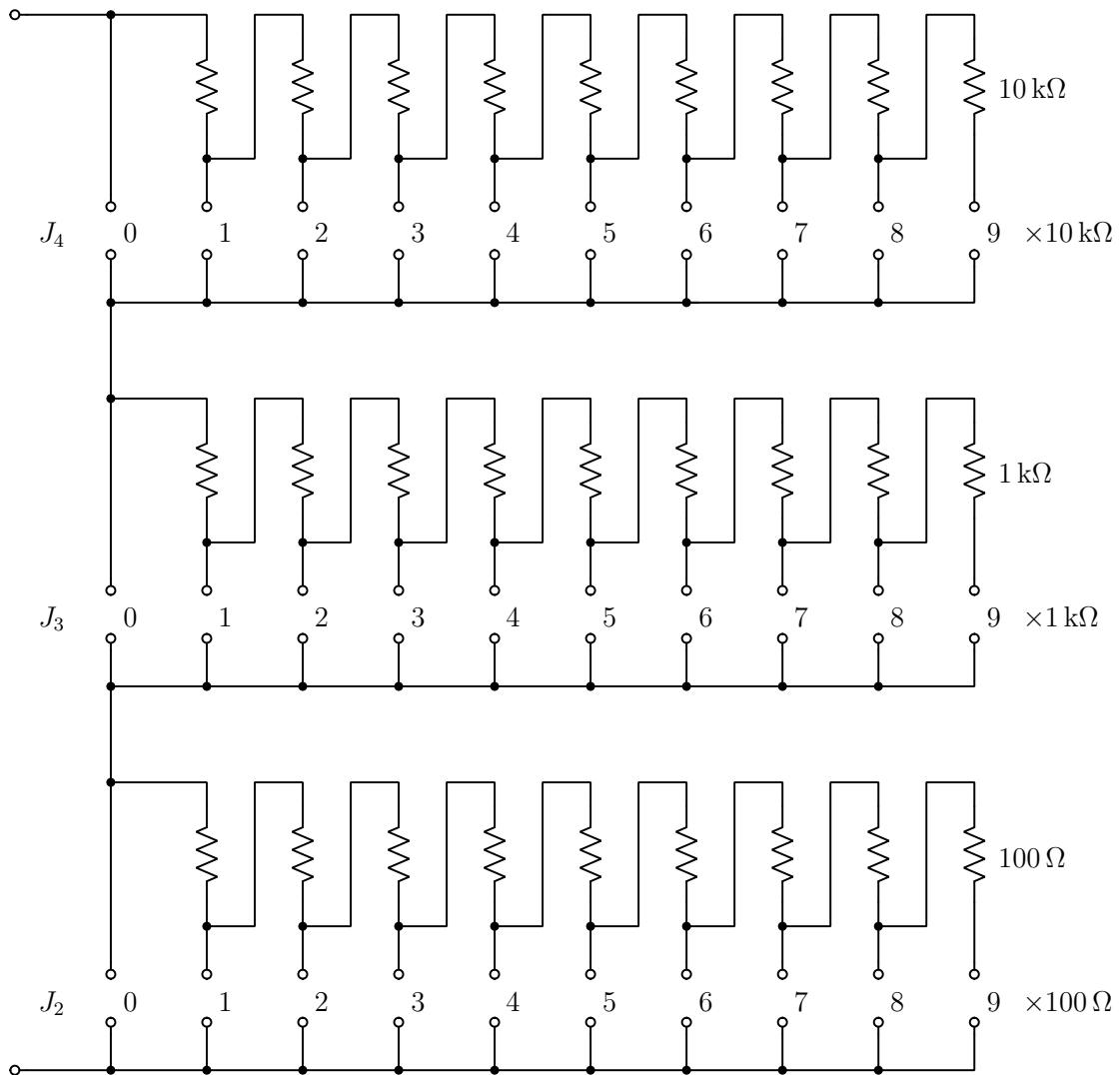
$$p = 100\alpha.$$

Obratite pažnju na označavanje izvoda potenciometra bojama: potenciometar koji se koristi na laboratorijskim vežbama ima klizač izведен crnom bojom, kraj koji odgovara $\alpha = 0$ žutom bojom i kraj koji odgovara $\alpha = 1$ belom bojom. Ako se potenciometar poveže na izvor napona v_P u skladu sa slikom 49(b), potencijal na klizaču v_K zavisi kao

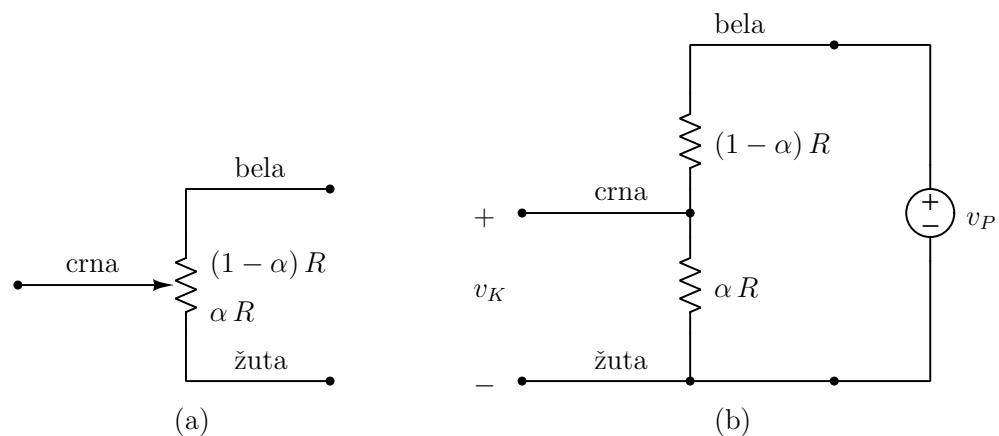
$$v_K = \frac{\alpha R}{(1 - \alpha)R + \alpha R} v_P = \alpha v_P$$

i ovaj odnos skaliranja ne zavisi od temperature potenciometra (predavanja). Za brzo uravnoteženje mosta će biti korišćen potenciometar, pri čemu je raspoloživa promena otpornosti kontinualna, za razliku od dekadne ploče otpornosti gde je diskretna. Međutim, skala na potenciometru ima označene podeoke na po 10%. Prilikom očitavanja, rezultat se može kvantovati do na 5%, što daje samo 21 moguću vrednost očitavanja, što je u primeni ekvivalentno diskretnoj promeni otpornosti.

Prilikom računanja za potrebe popunjavanja tabela možete koristiti program Calc, to preporučujemo, ali nije obaveza.



Slika 48: Dekadna ploča otpornosti.



Slika 49: Potenciometar.

9.4 Zadatak

9.4.1 Naponska osetljivost Vitstonovog mosta

Povezati Vitstonov most prema šemi sa slike 50. „Prazne tačke” na šemi predstavljaju buksne protoborda. Generator E koji pobuđuje most treba da bude doveden iz jednosmernog izvora za napajanje, izvor $+20\text{ V}$, koji pre povezivanja u kolo treba da bude podešen na $+5\text{ V}$, što je savladano u vežbi 1. Otpornici treba da budu $R_1 = R_2 = R_3 = 1\text{ k}\Omega$, dok je R_{dec} otpornost dekadne ploče. Kao indikator ravnoteže koristiti digitalni multimetar RTO-1035N koji treba da bude podešen da radi kao milivoltmetar. Kolo je povezano kako bi se eksperimentalno odredile naponska i strujna osetljivost mosta, pa je na mesto gde se obično nalazi otpornik nepoznate otpornosti postavljena dekadna ploča otpornosti kako bi se testirala reakcija indikatora ravnoteže na promene nepoznate otpornosti.

Dovesti most u ravnotežu, u granicama mogućnosti zbog diskretne prirode promene otpornosti R_{dec} . Zapisati otpornost R_{dec} koja uravnovežuje most:

$$R_{dec} = \underline{\hspace{2cm}} \quad \square.$$

Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 55, za $E = 5\text{ V}$, $\Delta R_{dec} = 0 \quad \square$.

Povećati R_{dec} za 100Ω . Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 55 \square .

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 55 \square .

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži.

Napon jednosmernog izvora povećati na $E = 10\text{ V}$.

Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 55 \square .

Povećati R_{dec} za 100Ω . Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 55 \square .

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 55 \square .

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži.

Napon jednosmernog izvora povećati na $E = 15\text{ V}$.

Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 55 \square .

Povećati R_{dec} za 100Ω . Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 55 \square .

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 55 \square .

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži.

Napon jednosmernog izvora povećati na $E = 20\text{ V}$.

Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 55 \square .

Povećati R_{dec} za 100Ω . Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 55 \square .

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmereni napon indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 55 \square .

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži. Vratiti napon jednosmernog izvora na $E = 5\text{ V}$.

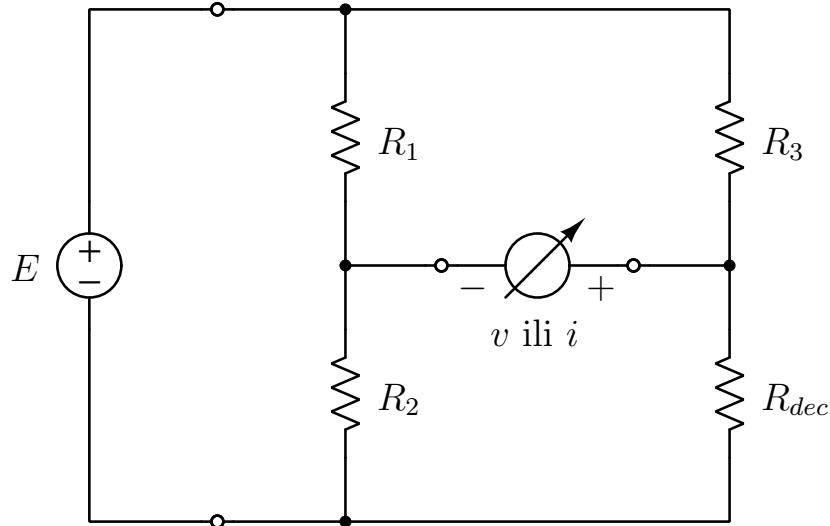
Na osnovu podataka iz tabele 55 popuniti tabelu 56 □. Da se podsetimo predavanja: naponska osetljivost mosta se definiše kao

$$S = R_X \frac{dv}{dR_X}$$

i na osnovu ove formule su dobijene formule iz prve vrste tabele 56 prelaskom sa diferencijala na konačne razlike.

Na osnovu podataka iz tabele 56 popuniti tabelu 57 □. Uočavate li neku pravilnost?

Ako ste koristili program Calc, fajl sa računom (.ods) možete sačuvati u direktorijumu ~/Desktop/vezba-9/a.



Slika 50: Vitstonov most.

Tabela 55: Naponska neravnoteža Vitstonovog mosta.

E	$\Delta_1 v, \Delta R_{dec} = 0$	$\Delta_2 v, \Delta R_{dec} = 100 \Omega$	$\Delta_3 v, \Delta R_{dec} = -100 \Omega$
5 V			
10 V			
15 V			
20 V			

Tabela 56: Naponska osetljivost Vitstonovog mosta.

E	$S_1 = 10 (\Delta_2 v - \Delta_1 v)$	$S_2 = -10 (\Delta_3 v - \Delta_1 v)$	$S_3 = 5 (\Delta_2 v - \Delta_3 v)$
5 V			
10 V			
15 V			
20 V			

Tabela 57: Normalizovana naponska osetljivost Vitstonovog mosta.

E	S_1/E	S_2/E	S_3/E
5 V			
10 V			
15 V			
20 V			

9.4.2 Strujna osetljivost Vitstonovog mosta

Podesiti digitalni multimetar RTO-1035N koji se koristi kao indikator ravnoteže da radi kao miliampерметар.

Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 58 □.

Povećati R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 58 □.

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 58 □.

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži.

Napon jednosmernog izvora povećati na $E = 10 \text{ V}$.

Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 58 □.

Povećati R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 58 □.

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 58 □.

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži.

Napon jednosmernog izvora povećati na $E = 15 \text{ V}$.

Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 58 □.

Povećati R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 58 □.

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 58 □.

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži.

Napon jednosmernog izvora povećati na $E = 20 \text{ V}$.

Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 58 □.

Povećati R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 58 □.

Smanjiti R_{dec} za 100Ω . Izmerenu struju indikatora ravnoteže uneti na odgovarajuće mesto u tabeli 58 □.

Vratiti R_{dec} na vrednost koja most drži najbliže ravnoteži. Vratiti napon jednosmernog izvora na $E = 5 \text{ V}$.

Na osnovu podataka iz tabele 58 popuniti tabelu 59 □. Sa predavanja: strujna osetljivost mosta se definiše kao

$$S_i = R_X \frac{di}{dR_X}$$

i na osnovu ove formule su dobijene formule iz prve vrste tabele 59 prelaskom sa diferencijala na konačne razlike.

Na osnovu podataka iz tabele 59 popuniti tabelu 60 \square . Uočavate li neku pravilnost? Uočavate li vezu sa normalizovanom naponskom osetljivošću?

Ako ste koristili program Calc, fajl sa računom (.ods) možete sačuvati u direktorijumu ~/Desktop/vezba-9/b.

Tabela 58: Strujna neravnoteža Vitstonovog mosta.

E	$\Delta_1 i, \Delta R_{dec} = 0$	$\Delta_2 i, \Delta R_{dec} = 100 \Omega$	$\Delta_3 i, \Delta R_{dec} = -100 \Omega$
5 V			
10 V			
15 V			
20 V			

Tabela 59: Strujna osetljivost Vitstonovog mosta.

E	$S_{i1} = 10 (\Delta_2 i - \Delta_1 i)$	$S_{i2} = -10 (\Delta_3 i - \Delta_1 i)$	$S_{i3} = 5 (\Delta_2 i - \Delta_3 i)$
5 V			
10 V			
15 V			
20 V			

Tabela 60: Normalizovana strujna osetljivost Vitstonovog mosta.

E	S_{i1}/E [mA/V]	S_{i2}/E [mA/V]	S_{i3}/E [mA/V]
5 V			
10 V			
15 V			
20 V			

Pitanja za razmišljanje:

1. Da li se rezultati za naponsku osetljivost mosta slažu sa teorijskim očekivanjima?
2. Koja je veza naponske osetljivosti i strujne osetljivosti?
3. Možete li da povežete naponsku i strujnu osetljivost primenom Tevenenove teoreme?
4. Ako bi otpornici u mostu bili otpornosti 100Ω umesto $1 \text{ k}\Omega$, da li bi strujna osetljivost mosta bila manja ili veća? Možete li da je predvidite?

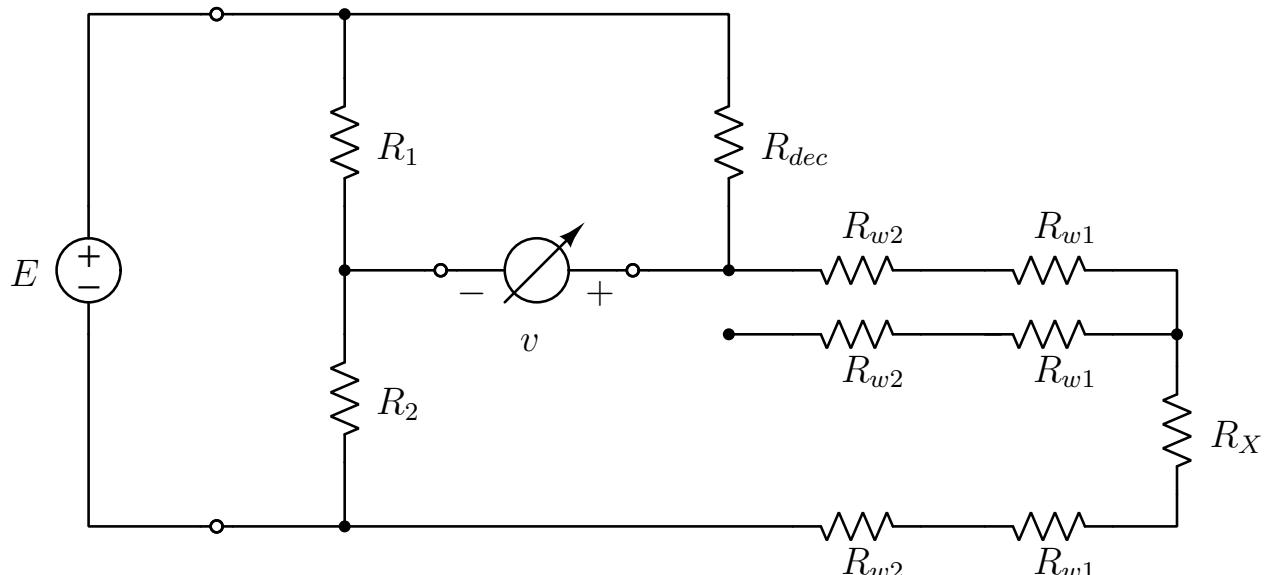
Tabela 61: Dvožično merenje otpornosti.

R_{w1}	R_{w2}	R_{dec} [kΩ]	v [mV]
$\cancel{R_{w1}}$	$\cancel{R_{w2}}$		
R_{w1}	$\cancel{R_{w2}}$		
$\cancel{R_{w1}}$	R_{w2}		
R_{w1}	R_{w2}		

9.4.3 Trožično merenje otpornosti

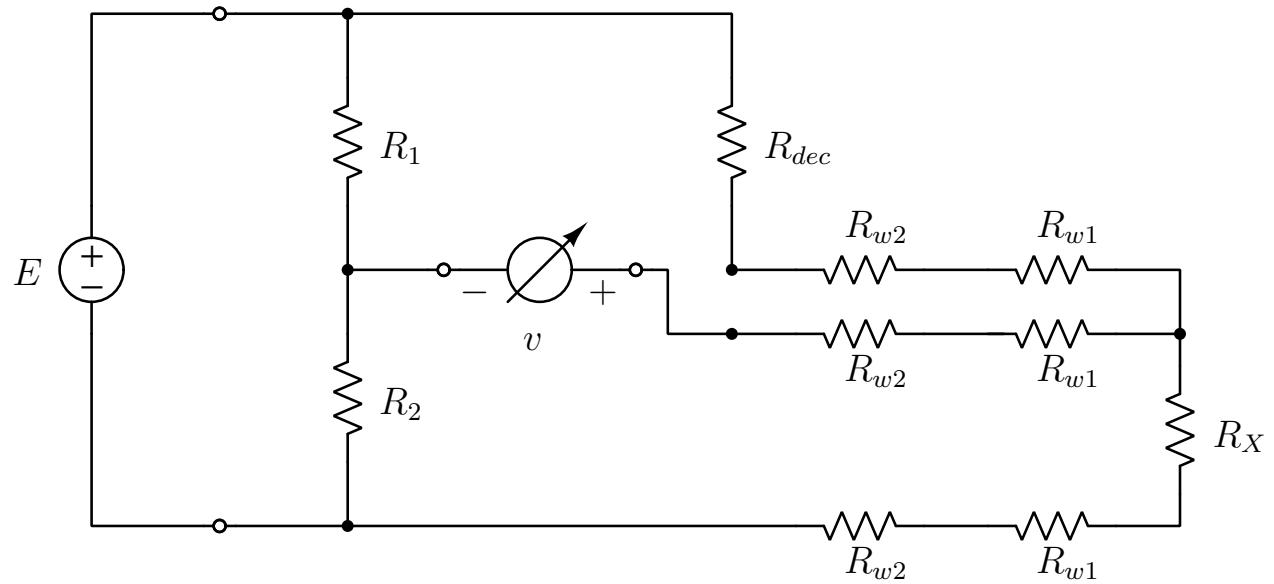
Kako bi sagledali prednosti trožičnog merenja otpornosti, prvo ćemo razmotriti kako kablovi koji vode do merene otpornosti utiču na rezultat merenja kod dvožične veze prikazane na slici 51 gde je detektor ravnoteže multimetar RTO-1035N podešen da radi kao milivoltmetar. U kolu sa slike 51 je $R_1 = R_2 = R_X = 1\text{k}\Omega$, R_{dec} je dekadna ploča otpornosti, $R_{w1} = 22\Omega$ i $R_{w2} = 33\Omega$, $E = 20\text{V}$. Kolo je projektovano da predstavi realan praktičan problem merenja otpornosti udaljenog Pt100 temperaturskog senzora, ali su zbog u laboratoriji raspoloživih otpornika sve otpornosti uvećane deset puta u odnosu na realan slučaj, baš kao i napon E . Otpornici $R_{w1} = 22\Omega$ i $R_{w2} = 33\Omega$ predstavljaju otpornosti kablova koje su realno 2.2Ω i 3.3Ω . Kolo treba sastaviti kako je prikazano na slici 51, bez obzira na granu koja nije u tom kolu povezana, cilj je da se minimalnom promenom veza kasnije poveže kolo sa slike 52.

Urvnotežavanjem mosta u granicama mogućnosti uslovijenim diskretnim vrednostima otpornosti raspoloživim preko dekadne ploče, popuniti tabelu 61 □. Situacije u kojima je neki od otpornika R_{w1} ili R_{w2} precrtan odgovaraju kratkom spajaju precrtanih otpornika.



Slika 51: Dvožično merenje otpornosti.

Sastaviti kolo sa slike 52. Popuniti tabelu 62 □.



Slika 52: Trožično merenje otpornosti.

Tabela 62: Trožično merenje otpornosti.

R_{w1}	R_{w2}	R_{dec} [kΩ]	v [mV]
$\cancel{R_{w1}}$	$\cancel{R_{w2}}$		
R_{w1}	$\cancel{R_{w2}}$		
$\cancel{R_{w1}}$	R_{w2}		
R_{w1}	R_{w2}		

Pitanja za razmišljanje:

1. Da li trožična veza u velikoj meri eliminiše uticaj kablova na rezultat merenja?
2. Da li trožična veza potpuno eliminiše uticaj kablova na rezultat merenja?
3. Ako kablovi i dalje utiču na rezultat merenja, šta je tome uzrok?
4. Kako bi prepostavku o uzročniku uticaja kablova na rezultat merenja eksperimentalno verifikovali?

9.4.4 Sotijev most za merenje kapacitivnosti

Postaviti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-9/c.`

U ovom delu vežbe će biti proveravane nominalne vrednosti kapacitivnosti različitih kondenzatora primenom nekoliko metoda. Kondenzatori različitih nominalnih vrednosti kapacitivnosti će biti označeni tako da:

1. $C_1 = 100 \text{ nF}$
2. $C_2 = 47 \text{ nF}$
3. $C_3 = 33 \text{ nF}$
4. $C_4 = 22 \text{ nF}$
5. $C_5 = 10 \text{ nF}$
6. $C_6 = 1 \text{ nF}.$

U nekim slučajevima će biti jako teško do nemoguće izmeriti zahtevanu kapacitivnost.

U ovom delu vežbe, prvo će se koristiti potenciometar sa skalom prikazan na slici 49(a). Obratite pažnju na označavanje izvoda potenciometra bojama: potenciometar koji se koristi na laboratorijskim vežbama ima klizač izveden crnom bojom, kraj koji odgovara $\alpha = 0$ žutom bojom i kraj koji odgovara $\alpha = 1$ belom bojom.

U prvom delu vežbe sa Sotijevim mostom će za brzo uravnoteženje mosta biti korišćen potenciometar. Skala na potenciometru ima označene podeoke na po 10%. Prilikom očitavanja, rezultat kvantovati na 5%, što daje 21 moguću vrednost očitavanja.

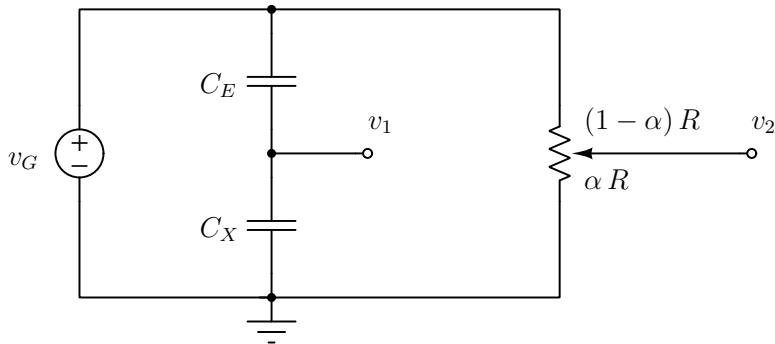
Povezati kolo sa slike 53 kod koga je $C_E = 100 \text{ nF}$. Na generatoru signala podesiti oblik signala na sinusoidalni, frekvenciju na 1 kHz, efektivnu vrednost na 1 V. Na kanal 1 osciloskopa dovesti v_1 , na kanal 2 dovesti v_2 . Uključiti Math kanal i na njemu prikazati Ch1-Ch2. Merenja na osciloskopu podesiti da se na kanalu 1 mere efektivna vrednost (Cycle RMS) i frekvencija, na kanalu 2 efektivna vrednost (Cycle RMS), na Math kanalu efektivna vrednost (Cycle RMS). Prilikom uravnotežavanja mosta koristiti rezultate merenja. Kada je most uravnotežen $v_1 = v_2$, pa je

$$C_X = \frac{100 - p}{p} C_E.$$

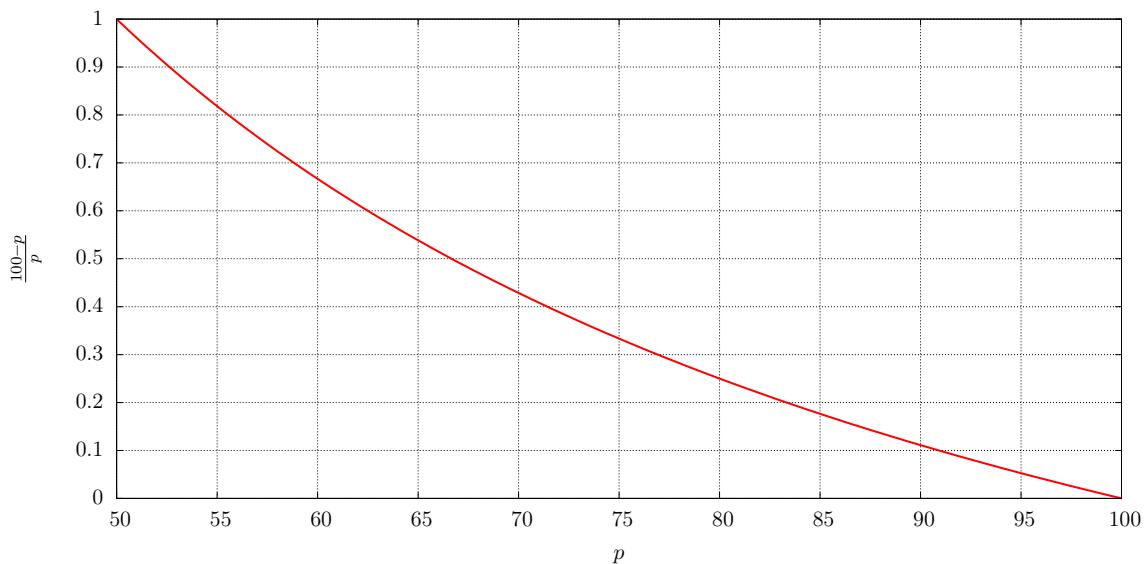
Zavisnost $\frac{100-p}{p}$ od p je u zoni od interesa za ovu vežbu grafički prikazana na slici 54. Za izračunavanja možete koristiti program `Calc`.

Povezati C_1 na mesto C_X . Uravnotežiti most. Zapisati p u tabeli 63 i izračunati odgovarajuću vrednost kapacitivnosti \square . Dokumentovati merenje pokretanjem programa

```
python getfig.py Sauty-pot-C1
```



Slika 53: Sotijev most sa potenciometrom.



Slika 54: Zavisnost $\frac{100-p}{p}$ od p .

Povezati C_2 na mesto C_X . Uravnotežiti most. Zapisati p u tabeli 63 i izračunati odgovarajuću vrednost kapacitivnosti \square .

Povezati C_3 na mesto C_X . Uravnotežiti most. Zapisati p u tabeli 63 i izračunati odgovarajuću vrednost kapacitivnosti \square .

Povezati C_4 na mesto C_X . Uravnotežiti most. Zapisati p u tabeli 63 i izračunati odgovarajuću vrednost kapacitivnosti \square .

Povezati C_5 na mesto C_X . Uravnotežiti most. Zapisati p u tabeli 63 i izračunati odgovarajuću vrednost kapacitivnosti \square .

Povezati C_6 na mesto C_X . Uravnotežiti most. Zapisati p u tabeli 63 i izračunati odgovarajuću vrednost kapacitivnosti \square .

Ako ste za izračunavanja koristili program **Calc**, dobijenu tabelu možete sačuvati u radnom direktorijumu `~/Desktop/vezba-9/c`.

Kada je već povezan Sotijev most, povoljno je probati i razdelnički metod merenja kapacitivnosti. Isključiti potenciometar iz kola sa slike 53 i povezati osciloskop tako da kanal 2 meri napon generatora v_G . U tom slučaju je

$$v_1 = \frac{C_E}{C_E + C_X} v_G$$

Tabela 63: Sotijev most uravnotežen potenciometrom

kondenzator	$p [\%]$	$C_X [nF]$
C_1		
C_2		
C_3		
C_4		
C_5		
C_6		

odakle za izmerene efektivne vrednosti napona v_1 i v_G označene sa V_1 i V_G sledi

$$C_X = C_E \frac{V_G - V_1}{V_1}$$

Povezati C_1 na mesto C_X i izmeriti napone V_1 i V_G . Izračunati kapacitivnost C_1 . Popuniti tabelu 64 □. Dokumentovati merenje pokretanjem programa

`python getfig.py Sauty-divider-C1`

Povezati C_2 na mesto C_X i izmeriti napone V_1 i V_G . Izračunati kapacitivnost C_2 . Popuniti tabelu 64 □.

Povezati C_3 na mesto C_X i izmeriti napone V_1 i V_G . Izračunati kapacitivnost C_3 . Popuniti tabelu 64 □.

Povezati C_4 na mesto C_X i izmeriti napone V_1 i V_G . Izračunati kapacitivnost C_4 . Popuniti tabelu 64 □.

Povezati C_5 na mesto C_X i izmeriti napone V_1 i V_G . Izračunati kapacitivnost C_5 . Popuniti tabelu 64 □.

Povezati C_6 na mesto C_X i izmeriti napone V_1 i V_G . Izračunati kapacitivnost C_6 . Popuniti tabelu 64 □.

Tabela 64: Merenje kapacitivnosti, metod razdelnika

kondenzator	$V_1 [V]$	$V_G [V]$	$C_X [nF]$
C_1			
C_2			
C_3			
C_4			
C_5			
C_6			

Skala potenciometra koji se koristi u vežbi omogućava procenu 21 različite vrednosti parametra p , što za dato C_E implicira mogućnost merenja 21 različite vrednosti kapacitivnosti, sa rezolucijom očitavanja p od 5%, kako je prikazano u tabeli 65. Preciznija merenja je u principu

Tabela 65: Uravnotežavanje potenciometrom, uticaj kvantizacije na 5%

p	α	$\frac{\alpha}{1-\alpha}$
0	0.00	0.00
5	0.05	0.05
10	0.10	0.11
15	0.15	0.18
20	0.20	0.25
25	0.25	0.33
30	0.30	0.43
35	0.35	0.54
40	0.40	0.67
45	0.45	0.82
50	0.50	1.00
55	0.55	1.22
60	0.60	1.50
65	0.65	1.86
70	0.70	2.33
75	0.75	3.00
80	0.80	4.00
85	0.85	5.67
90	0.90	9.00
95	0.95	19.00
100	1.00	∞

moguće vršiti pomoću potencimetra sa preciznijom skalom ili pomoću dekadne ploče (kutije) otpornosti, prikazane na slici 48. Kolo sa slike 48 se ponaša kao otpornik čija se otpornost izborom položaja džampera J_2 , J_3 i J_4 može menjati u opsegu od 0Ω do 99900Ω u koracima po 100Ω prema formuli

$$R_{dec} = 10000\Omega J_4 + 1000\Omega J_3 + 100\Omega J_2$$

gde je R_{dec} otpornost koju dekadna ploča realizuje, a J_2 , J_3 i J_4 su pozicije odgovarajućih džampera. Kako svaki džamper ima 10 mogućih pozicija, dekadna ploča teorijski može da realizuje 1000 različitih otpornosti, pa je rezolucija merenja mnogo bolja (oko 50 puta) nego kod potenciometra čiji kontinuum mogućih položaja rezultira sa dvadeset i jednim kvantovanim očitavanjem. U praksi, situacija je nešto lošija, zbog tolerancija upotrebljenih otpornika.

Povezati kolo sa slike 55 u kome je $R_E = 10\text{k}\Omega$ i $C_E = 100\text{nF}$. Postaviti frekvenciju generatora signala na 1kHz , efektivnu vrednost napona na 1V , ofset na nulu. Povezati osciloskop da v_1 bude prikazan na kanalu 1, v_2 na kanalu 2. Uključiti merenja da prvo merenje bude efektivna vrednost napona na kanalu 1, drugo merenje efektivna vrednost napona na kanalu 2. Prilikom merenja, držati istu podelu naponske ose na oba kanala.

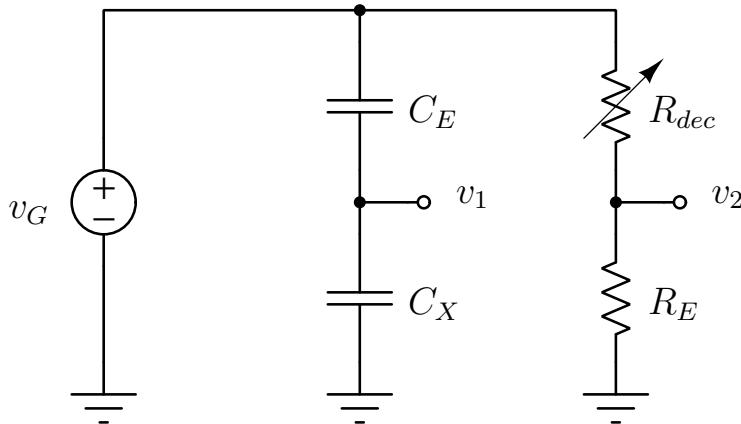
Most sa slike 55 je u ravnoteži kada je

$$C_X = C_E \frac{R_{dec}}{R_E}$$

pa je u konkretnom slučaju

$$C_X = 10\text{nF} \frac{R_{dec}}{1\text{k}\Omega}.$$

Prilikom uravnovešavanja mosta treba pratiti efektivne vrednosti napona v_1 i v_2 i imati u vidu da smanjenje R_{dec} dovodi do povećanja efektivne vrednosti v_2 . Prilikom promene R_{dec} treba početi od otpornosti jednake nuli i najznačajniju cifru povećavati dok efektivna vrednost v_2 ne postane manja od efektivne vrednosti v_1 . Potom se treba vratiti za jednu cifru unazad i preći na podešavanje sledeće cifre. Drugu cifru treba podesiti na isti način, potom preći na treću cifru i odabrati njenu vrednost tako da razlika u efektivnim vrednostima napona v_1 i v_2 bude najmanja moguća.



Slika 55: Sotijev most sa dekadnom pločom otpornosti.

Povezati C_1 na mesto C_X . Uravnotežiti most promenom R_{dec} . Očitati R_{dec} i zapisati vrednost u tabelu 66. Izračunati odgovarajuću vrednost C_1 i zapisati je u tabelu 66. Za izračunavanja možete koristiti program Calc i u tom slučaju dobijenu tabelu možete sačuvati u radnom direktorijumu `~/Desktop/vezba-9/c`. Dokumentovati merenje pokretanjem programa `python getfig.py Sauty-Rx-C1`

Povezati C_2 na mesto C_X . Uravnotežiti most promenom R_{dec} . Očitati R_{dec} i zapisati vrednost u tabelu 66. Izračunati odgovarajuću vrednost C_2 i zapisati je u tabelu 66.

Povezati C_3 na mesto C_X . Uravnotežiti most promenom R_{dec} . Očitati R_{dec} i zapisati vrednost u tabelu 66. Izračunati odgovarajuću vrednost C_3 i zapisati je u tabelu 66.

Povezati C_4 na mesto C_X . Uravnotežiti most promenom R_{dec} . Očitati R_{dec} i zapisati vrednost u tabelu 66. Izračunati odgovarajuću vrednost C_4 i zapisati je u tabelu 66.

Povezati C_5 na mesto C_X . Uravnotežiti most promenom R_{dec} . Očitati R_{dec} i zapisati vrednost u tabelu 66. Izračunati odgovarajuću vrednost C_5 i zapisati je u tabelu 66.

Povezati C_6 na mesto C_X . Uravnotežiti most promenom R_{dec} . Očitati R_{dec} i zapisati vrednost u tabelu 66. Izračunati odgovarajuću vrednost C_6 i zapisati je u tabelu 66.

Pitanja za razmišljanje:

1. Koji od opisanih metoda ima najveću, a koji najmanju rezoluciju?
2. Koji od metoda smatrate za najtačniji?
3. Kojim od metoda najbrže dolazite do rezultata?
4. Ako bi vam u praksi bila dostupna oprema kao u laboratoriji, koji metod biste izabrali za merenje nepoznate kapacitivnosti?
5. Da li je primena dekadne ploče otpornosti popravila rezoluciju i rezultat? Zašto?
6. Možete li da predložite promenu u kolu koja bi omogućila povećanje rezolucije merenja pomoću dekadne ploče otpornosti?

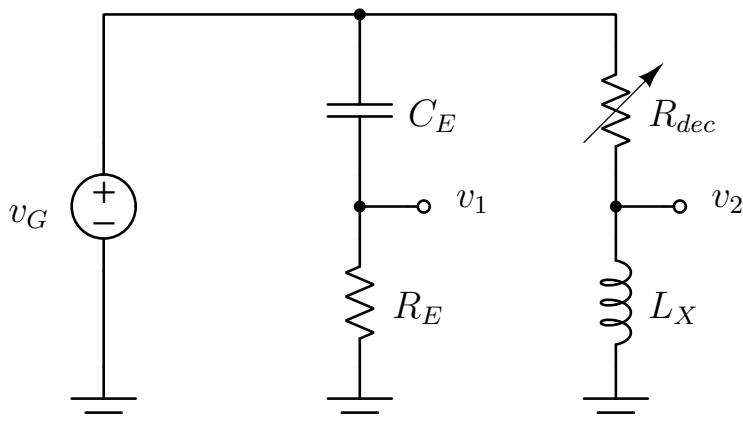
Tabela 66: Merenje kapacitivnosti, dekadna ploča otpornosti

kondenzator	$R_{dec} [\Omega]$	$C_X [nF]$
C_1		
C_2		
C_3		
C_4		
C_5		
C_6		

9.4.5 Maksvelov most za merenje induktivnosti

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-9/d`.

Povezati kolo sa slike 56 u kome je $C_E = 10 \text{ nF}$, $R_E = 1 \text{ k}\Omega$, R_{dec} je dekadna ploča otpornosti, L_X je crni kalem nepoznate induktivnosti. Podesiti generator signala tako da oblik signala bude sinusoidalni, efektivna vrednost napona 1 V , frekvencija 5 kHz . Na kanal 1 osciloskopa dovesti v_1 , na kanal 2 osciloskopa dovesti v_2 . Podelu naponske ose držati da bude ista na oba kanala.



Slika 56: Maksvelov most.

Maksvelov most je u ravnoteži kada je

$$L_X = C_E R_E R_{dec}$$

Promenom R_{dec} dovesti most u ravnotežu. Kao pomoć, koristiti merenja efektivne vrednosti napona. Snimiti dijagram sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py Maxwell-5kHz`

□. Izračunati induktivnost kalema L_X i zapisati dobijenu vrednost

$$L_X = \underline{\hspace{2cm}} \quad \square.$$

Promeniti frekvenciju generatora na 10 kHz . Dovesti most u ravnotežu i snimiti dijagram sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

`python getfig.py Maxwell-10kHz`

□.

Promeniti frekvenciju generatora na 1 kHz. Dovesti most u ravnotežu i snimiti dijagram sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py Maxwell-1kHz
```

□.

Promeniti amplitudu napona na generatoru na 2 V. Dovesti most u ravnotežu i snimiti dijagram sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py Maxwell-2V
```

□.

Promeniti amplitudu napona na generatoru na 5 V. Dovesti most u ravnotežu i snimiti dijagram sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python getfig.py Maxwell-5V
```

□.

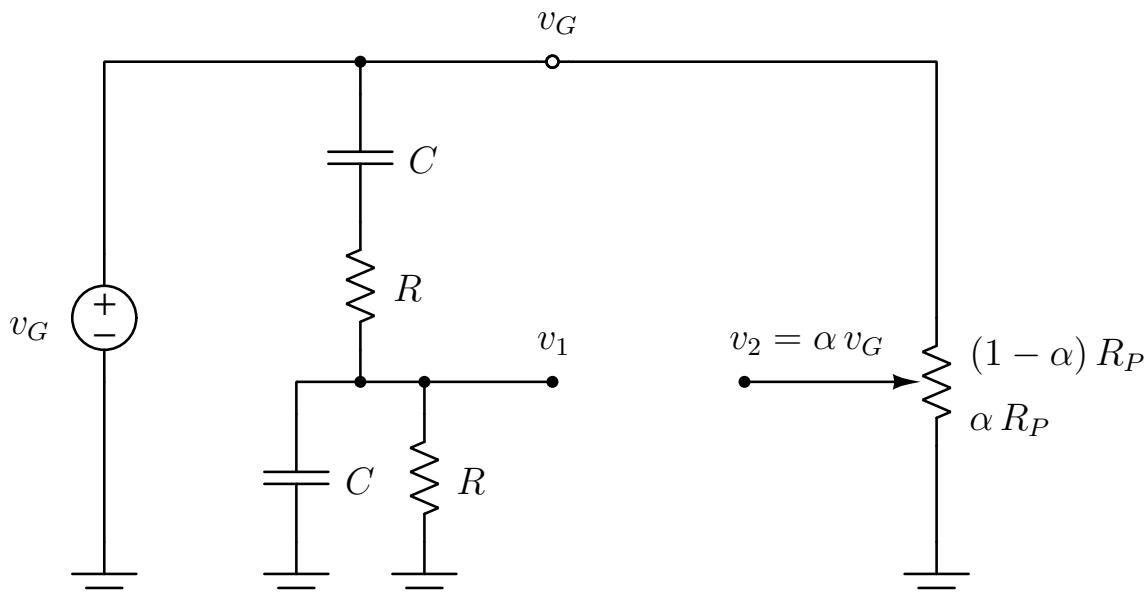
Pitanja za razmišljanje:

1. Da li ravnoteža Maksvelovog mosta zavisi od frekvencije?
2. Da li ravnoteža Maksvelovog mosta zavisi od amplitude napona pobudnog generatora?

9.4.6 Vinov most za merenje frekvencije

Postaviti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-9/e`.

Na slici 57 je prikazan Vinov most koji ima frekvencijski zavisan uslov ravnoteže. Ako uočimo da su naponi v_G i v_2 proporcionalni, dakle sa istim faznim stavom, ravnotežu mosta je moguće postići samo kada su v_G i v_1 u fazi. Ovo omogućava da se sa opremom kojom raspolažemo ravnoteža mosta ustanovi samo posmatranjem faze napona v_G i v_1 , pa potenciometar ne treba povezivati u kolo.



Slika 57: Vinov most.

Povezati kolo sa slike 57 koristeći $R = 1 \text{ k}\Omega$ i $C = 100 \text{ nF}$, bez povezivanja potenciometra. Povezati osciloskop tako da se na kanalu 1 prikaže v_1 , a na kanalu 2 prikaže v_G . Podesiti

podelu naponske ose osciloskopa da bude ista na oba kanala. Podesiti efektivnu vrednost napona generatora na 1 V. Promenom frekvencije generatora dovesti napone v_G i v_1 u fazu. **Za promenu frekvencije generatora koristiti pristup generatoru preko Firefox-a, kako je obradeno u vežbi 3.** Zapisati frekvenciju

$$f = \underline{\hspace{2cm}} \quad \square.$$

Obezbediti da merenja na osciloskopu budu efektivna vrednost napona na kanalu 1, frekvencija na kanalu 1 i efektivna vrednost napona na kanalu 2. Dokumentovati merenje snimanjem slike pokretanjem programa

`python getfig.py`

- Na osnovu merenja sa snimljenog dijagrama, izračunati vrednosti α i p potenciometra koje bi uravnotežile most

$$\alpha = \underline{\hspace{2cm}} \quad \square$$

$$p = \underline{\hspace{2cm}} \quad \square.$$

Ako je ostalo vremena do kraja vežbe, povežite i potenciometar, uravnotežite most, dokumentujte merenje pokretanjem programa

`python getfig.py extra_credit`

.

9.4.7 Dokumentovanje rezultata merenja

Direktorijum vezba-9 i njegov sadržaj iskopirati na USB flash drive i sačuvati do polaganja ispita .

Literatura

- [1] Luddite, <https://en.wikipedia.org/wiki/Luddite>, pristupljeno 19.01.2018.
- [2] Hyperlink, <https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperlink>, pristupljeno 19.01.2018.
- [3] Free software, https://en.wikipedia.org/wiki/Free_software, pristupljeno 19.01.2018.
- [4] LaTeX, <https://en.wikipedia.org/wiki/LaTeX>, pristupljeno 19.01.2018.
- [5] XCircuit, <http://opencircuitdesign.com/xcircuit/>, pristupljeno 19.01.2018.
- [6] Python, <https://www.python.org/>, pristupljeno 19.01.2018.
- [7] gnuplot homepage, <http://www.gnuplot.info/>, pristupljeno 19.01.2018.
- [8] Creative Commons Srbije, <http://creativecommons.org.rs/>, pristupljeno 19.01.2018.
- [9] Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0), <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>, pristupljeno 19.01.2018.
- [10] Pravilnik o bezbednosti i zdravlju na radu, https://www.etf.bg.ac.rs/uploads/files/Akta_fakulteta/Pravilnik_o_bezbednosti_i_zdravlju_na_radu.pdf, pristupljeno 19.01.2018.
- [11] Pravilnik o organizaciji zaštite od požara, https://www.etf.bg.ac.rs/uploads/files/Akta_fakulteta/Pravilnik_o_organizaciji_zastite_od_pozara.pdf, pristupljeno 19.01.2018.
- [12] Pravilnik o disciplinskoj odgovornosti studenata Univerziteta u Beogradu, https://www.etf.bg.ac.rs/uploads/files/Akta_fakulteta/PravilnikDisciplinskaOdgovornostStudenata2016.pdf, pristupljeno 19.01.2018.
- [13] Sajt Katedre za elektroniku, Laboratorijske vežbe, <http://tnt.etf.bg.ac.rs/lab/index.htm>, pristupljeno 19.01.2018.
- [14] Pravila o bezbednosti i ponašanju u laboratoriji, <http://tnt.etf.bg.ac.rs/lab/pravila1.pdf>, pristupljeno 19.01.2018.
- [15] Fluke, Models 110, 111 & 112 True RMS Multimeters, http://assets.fluke.com/manuals/11x_____umeng0200.pdf, pristupljeno 19.01.2018.
- [16] Operator's Instruction Manual, <http://www.farnell.com/datasheets/1932884.pdf>, pristupljeno 19.01.2018.
- [17] Triple Output Power Supply, Agilent Model E3630A, Operating and Service Manual, https://web.sonoma.edu/esee/manuals/E3630A_Operating_Manual.pdf, pristupljeno 19.01.2018.
- [18] Agilent 33220A 20 MHz Waveform Generator User's Guide, http://ecelabs.njit.edu/student_resources/33220_user_guide.pdf, pristupljeno 19.01.2018.
- [19] BNC connector, https://en.wikipedia.org/wiki/BNC_connector, pristupljeno 19.01.2018.
- [20] LAN eXtensions for Instrumentation, https://en.wikipedia.org/wiki/LAN_eXtensions_for_Instrumentation, pristupljeno 19.01.2018.

- [21] Standard Commands for Programmable Instruments, https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_Commands_for_Programmable_Instruments, pristupljeno 19.01.2018.
- [22] User Manual TDS1000- and TDS2000-Series Digital Storage Oscilloscope, <https://people.ece.cornell.edu/land/courses/ece4760/equipment/TEKtds1002.pdf>, pristupljeno 19.01.2018.
- [23] Programmer Manual TDS200, TDS1000/TDS2000, TDS1000B/TDS2000B, and TPS2000 Series Digital Oscilloscopes, http://sdphca.ucsd.edu/Lab_Equip_Manuals/tek_tds2000_programming_manual.pdf, pristupljeno 19.01.2018.
- [24] Predrag Pejović, Princip rada i primena osciloskopa, <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/osc.pdf>, pristupljeno 19.01.2018.
- [25] TBS1000B and TBS1000B-EDU Series Digital Storage Oscilloscopes User Manual, http://www.phys.uconn.edu/eyler/phys3150/R/TBS1052B_User_Manual.pdf, pristupljeno 19.01.2018.
- [26] Linux Mint, <https://www.linuxmint.com/>, pristupljeno 19.01.2018.
- [27] MATE (software), [https://en.wikipedia.org/wiki/MATE_\(software\)](https://en.wikipedia.org/wiki/MATE_(software)), pristupljeno 19.01.2018.
- [28] Ubuntu, <http://www.ubuntu.com/>, pristupljeno 19.01.2018.
- [29] LibreOffice, <https://www.libreoffice.org/>, pristupljeno 19.01.2018.
- [30] SciPy: PyLab, <http://scipy.github.io/old-wiki/pages/PyLab>, pristupljeno 19.01.2018.
- [31] Python-ivi/python-usbtmc, <https://github.com/python-ivi/python-usbtmc>, pristupljeno 19.01.2018.
- [32] Universal Serial Bus Test and Measurement Class Specification (USBTMC), http://sdpha2.ucsd.edu/Lab_Equip_Manuals/USBTMC_1_00.pdf, pristupljeno 19.01.2018.
- [33] python-ivi / python-vxi11, <https://github.com/python-ivi/python-vxi11>, pristupljeno 19.01.2018.
- [34] ASCII, <https://en.wikipedia.org/wiki/ASCII>, pristupljeno 19.01.2018.
- [35] Praktikum iz softverskih alata u elektronici, <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe4sae/>, pristupljeno 19.01.2018.
- [36] General Public License, Wikipedia članak, https://en.wikipedia.org/wiki/GNU_General_Public_License, pristupljeno 19.01.2018.
- [37] General Public License, Version 3, <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.en.html>, pristupljeno 19.01.2018.
- [38] Softver za vežbu broj 1: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-1.zip>, pristupljeno 19.01.2018.
- [39] Softver za vežbu broj 2: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-2.zip>, pristupljeno 19.01.2018.
- [40] Softver za vežbu broj 3: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-3.zip>, pristupljeno 19.01.2018.

- [41] Softver za vežbu broj 4: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-4.zip>, pristupljeno 19.01.2018.
- [42] Softver za vežbu broj 5: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-5.zip>, pristupljeno 19.01.2018.
- [43] Softver za vežbu broj 6: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-6.zip>, pristupljeno 19.01.2018.
- [44] Softver za vežbu broj 7: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-7.zip>, pristupljeno 19.01.2018.
- [45] Softver za vežbu broj 8: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-8.zip>, pristupljeno 19.01.2018.
- [46] Softver za vežbu broj 9: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/vezba-9.zip>, pristupljeno 19.01.2018.
- [47] Klasa za komunikaciju sa osciloskopom Tektronix TBS 1052B-EDU korišćenjem USB veze: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/oscusb.py>, pristupljeno 19.01.2018.
- [48] Klasa za komunikaciju sa osciloskopima Tektronix TDS 210, TDS 220, TDS 1002, TPS 2024, ... korišćenjem RS-232 veze: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/oscrs232.py>, pristupljeno 19.01.2018.
- [49] Shell script za instalaciju softvera koji podržava `usbtmc` protokol: <http://tnt.etf.bg.ac.rs/~oe2em/usbtmcinstall.zip>, pristupljeno 19.01.2018.
- [50] Portable Document Format, https://en.wikipedia.org/wiki/Portable_Document_Format, pristupljeno 19.01.2018.
- [51] Portable Network Graphics, https://en.wikipedia.org/wiki/Portable_Network_Graphics, pristupljeno 19.01.2018.
- [52] JPEG, <https://en.wikipedia.org/wiki/JPEG>, pristupljeno 19.01.2018.
- [53] BMP file format, https://en.wikipedia.org/wiki/BMP_file_format, pristupljeno 19.01.2018.
- [54] USB, <https://en.wikipedia.org/wiki/USB>, pristupljeno 19.01.2018.
- [55] Internet protocol suite, https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_protocol_suite, pristupljeno 19.01.2018.
- [56] Standard Commands for Programmable Instruments (SCPI), <http://www.ivifoundation.org/docs/scpi-99.pdf>, pristupljeno 19.01.2018.
- [57] TBS1000B, TBS1000, TDS200, TDS1000/2000, TDS1000B/2000B, TDS1000C-EDU/TDS2000C, TDS2024C, TPS2000/TPS2000B Series Manual, <https://www.tek.com/oscilloscope/tds1000-manual>, pristupljeno 19.01.2018.
- [58] Decibel, <https://en.wikipedia.org/wiki/Decibel>, pristupljeno 19.01.2018.
- [59] Electrolytic capacitor, https://en.wikipedia.org/wiki/Electrolytic_capacitor, pristupljeno 19.01.2018.

