

Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Katedra za elektroniku

ELEKTRIČNA MERENJA
— laboratorijske vežbe —

Vežba broj 6
Frekvencijske karakteristike

ime i prezime: _____

broj indeksa: _____

grupa: _____

datum: _____

vreme: _____

ocena: _____

dežurni: _____

1 Frekvencijske karakteristike

1.1 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 $1\ \text{k}\Omega$, dva komada, 5%
9. otpornici otpornosti $10\ \text{k}\Omega$, dva komada, 5%
10. otpornici otpornosti $100\ \text{k}\Omega$, dva komada, 5%
11. kalem induktivnosti $10\ \text{mH}$
12. kalem induktivnosti $1\ \text{mH}$
13. kalem induktivnosti $100\ \mu\text{H}$
14. kalem na torusnom jezgru
15. kondenzator kapacitivnosti $100\ \text{nF}$
16. kondenzatori kapacitivnosti $10\ \text{nF}$, dva komada
17. kondenzator kapacitivnosti $1\ \text{nF}$
18. elektrolitski kondenzator kapacitivnosti $470\ \mu\text{F}$
19. zvučnik
20. računar sa softverom za vežbu broj 6
21. **studenti treba da imaju USB flash drive kako bi sačuvali rezultate merenja**

1.2 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 apsolutna vrednost i faza impedanse idealnog otpornika, idealnog kalema i idealnog kondenzatora zavise od frekvencije. Prvo se snimaju frekvencijske karakteristike impedanse otpornika, potom kalemova, kondenzatora, elektrolitskog 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 snimaju se 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 ilustruje 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.

1.3 Napomene

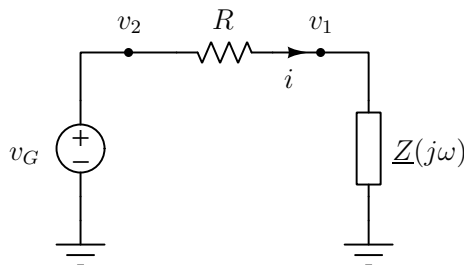
U svim delovima vežbe sinhronizacija osciloskopa je izvedena preko sinhronizacionog izlaza generatora signala i eksternog sinhronizacionog ulaza osciloskopa.

Na protobordu se nalazi postavljen kalem sa torusnim jezgrom. 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 \underline{Z} u kolo sa slike 1, 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 impedansi 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 fazno prednjači) ili pretežno induktivna (crveni trag fazno kasni).



Slika 1: 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 i u čemu?

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 2, te kako je

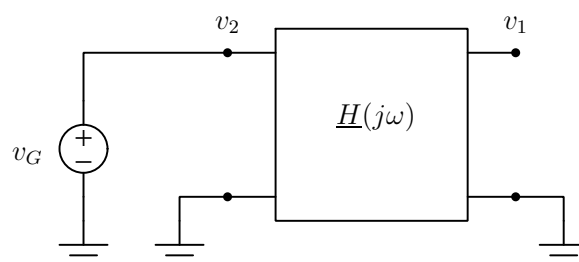
$$\underline{V}_1 = \underline{H} \underline{V}_2 \quad (3)$$

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) definisanoj za funkcije prenosa kao

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



Slika 2: 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 spreznog filtra osciloskopa, a koji je zbog specifičnosti spreznjanja 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 sugerišu modele realnih komponentata koji se sastoje iz veze nekoliko idealnih komponentata, 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 minuta, 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.

1.4 Zadatak, prvi deo vežbe

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

1.4.1 Frekvencijske karakteristike impedanse otpornika

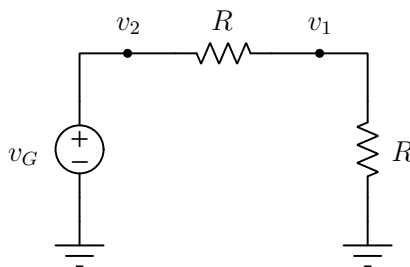
Ovo merenje je kalibraciono merenje i služi da sagledamo ograničenja primenjenog metoda primenom na slučaj sa unapred poznatim očekivanim rezultatom i ponekad neočekivanim rezultatom merenja.

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 3 sa $R = 100 \Omega$. Pokrenuti program `Zf.py` komandom `python3 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 png fajl sa dijagramima amplitudske i fazne karakteristike impedanse otpornika. Pitanje za razmišljanje: da li je dobijeni rezultat očekivan?



Slika 3: Merenje impedanse otpornika.

Sastaviti kolo sa slike 3 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 png fajl sa dijagramima amplitudske i fazne karakteristike impedanse otpornika. Pitanje za razmišljanje: da li je dobijeni rezultat očekivan?

Sastaviti kolo sa slike 3 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 png fajl sa dijagramima amplitudske i fazne karakteristike impedanse otpornika. Pitanje za razmišljanje: da li je dobijeni rezultat očekivan?

Sastaviti kolo sa slike 3 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 sada `R_100k`

□. Pogledati dobijeni png fajl sa dijagramima amplitudske i fazne karakteristike impedanse otpornika. Pitanje za razmišljanje: da li je dobijeni rezultat očekivan?

Pitanja za razmišljanje:

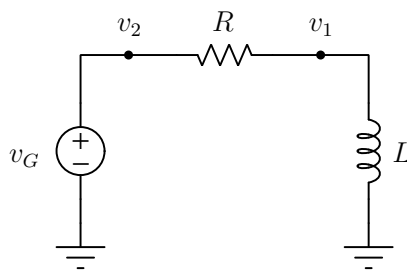
1. Zašto sa rastom otpornosti dobijeni dijagram sve više odstupa od očekivanog, idealnog?
2. Ako primenjeni otpornici imaju identične impedanse, kakav bi bio dijagram frekvencijske zavisnosti impedanse bez obzira na samu impedansu?
3. Da li promena mesta otpornika dovodi (bi dovela) do promene merene 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?

1.4.2 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 4 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`

□. Pogledati dobijeni dijagram. Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima? Pitanje za razmišljanje: šta su uzroci uočenih odstupanja?



Slika 4: Merenje impedanse kalema.

Sastaviti kolo sa slike 4 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`

□. Pogledati dobijeni dijagram. Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima? Pitanje za razmišljanje: šta su uzroci uočenih odstupanja?

Sastaviti kolo sa slike 4 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`

□. Pogledati dobijeni dijagram.

Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima? Pitanje za razmišljanje: šta su uzroci uočenih odstupanja?

Sastaviti kolo sa slike 4 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`. Pogledati dobijeni dijagram. Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima? Šta su uzroci uočenih odstupanja? Da li je kalem na torusnom jezgru na niskim frekvencijama bolji ili gori kalem od prethodno merenih gotovih kalemova?

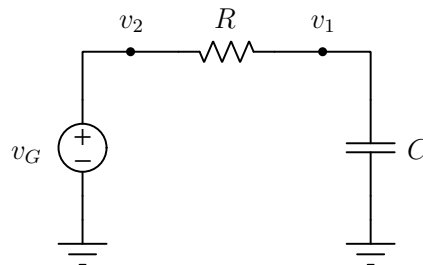
Pitanja za razmišljanje vezana za merenje impedanse kalemova:

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?

1.4.3 Frekvencijske karakteristike impedanse kondenzatora

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

Sastaviti kolo sa slike 5 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`. Pogledati dobijeni dijagram. Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima?



Slika 5: Merenje impedanse kondenzatora.

Sastaviti kolo sa slike 5 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`. Pogledati dobijeni dijagram. Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima? Šta je uslovalo ovakav izbor otpornosti R ?

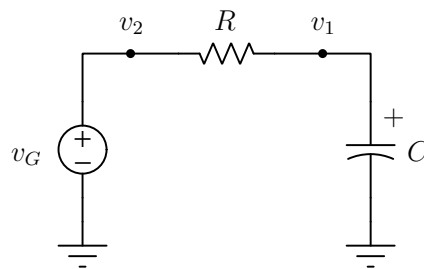
Sastaviti kolo sa slike 5 sa $R = 10 \text{ k}\Omega$ i $C = 1 \text{ nF}$. Pokrenuti program `Zf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100 \text{ Hz}$, $f_{max} = 1 \text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $R = 10 \text{ k}\Omega$, $V_{gm} = 5 \text{ V}$, početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja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

1. Da li je dobijeni dijagram u skladu sa očekivanjima?
2. Šta je uslovalo izbor otpornosti R ?
3. Koje kompromise izbor R treba da zadovolji?

4. Da li bi bilo dobro imati različite vrednosti R za različite delove frekventijskog opsega u kome se merenje vrši?
5. U kom frekventijskom opsegu ne verujete dobijenom dijagramu?

1.4.4 Frekventijske karakteristike impedanse elektrolitskog kondenzatora

Sastaviti kolo sa slike 6 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). Osim velike kapacitivnosti i velike zapreminske 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, ofset koji se zadaje tada mora da bude pozitivan, veći od amplitude primenjene naizmenične komponente napona.



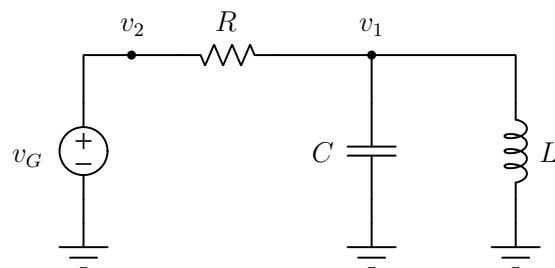
Slika 6: Merenje impedanse elektrolitskog kondenzatora.

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

1.4.5 Frekventijske karakteristike impedanse oscilatornih kola

Ovaj deo vežbe raditi samo ako raspoloživo vreme to dopušta, pitati dežurnog za odluku.

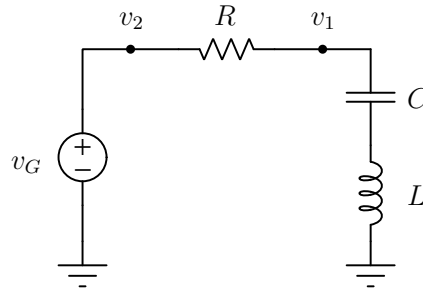


Slika 7: Merenje impedanse paralelnog oscilatornog kola.

Sastaviti kolo sa slike 7 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.

Sastaviti kolo sa slike 8 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 8: Merenje impedanse rednog oscilatornog kola.

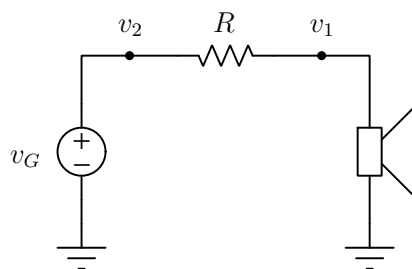
Pitanja za razmišljanje:

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?

1.4.6 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 9 sa $R = 100\ \Omega$. Postavivši zvučnik tako da je membrana okrenuta na gore, pokrenuti program Zf.py i zadati parametre $f_{min} = 20\text{ Hz}$, $f_{max} = 20\text{ kHz}$, $n_{points} = 61$, $R = 100\ \Omega$, $V_{gm} = 1\text{ V}$, početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude zvucnik-gore □. Pogledati dobijeni dijagram i uočiti postojanje rezonanse na reda 500 Hz.



Slika 9: Merenje impedanse zvučnika.

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 □. Pogledati dobijeni dijagram i uočiti nepostojanje rezonanse na oko 500 Hz.

Pitanja za razmišljanje:

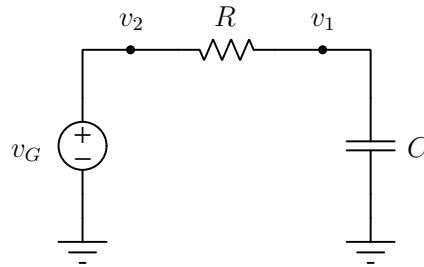
1. Može li se zvučnik smatrati rezistivnim elementom?
2. Šta uzrokuje pojavu rezonanse na oko 500 Hz i njeno odsustvo kada je zvučnik okrenut na dole?

1.5 Zadatak, drugi deo vežbe

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

1.5.1 Filter propusnik signala niskih frekvencija

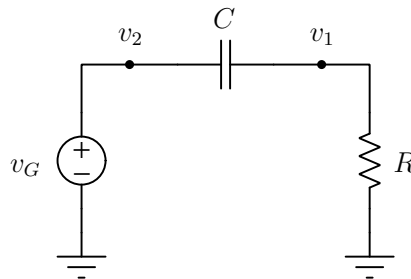
Sastaviti kolo sa slike 10 sa $R = 1\text{ k}\Omega$ i $C = 10\text{ nF}$. Pokrenuti program `Hf.py` komandom `python3 Hf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100\text{ Hz}$, $f_{max} = 1\text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $V_{gm} = 5\text{ V}$, i početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude `NF`. Pogledati dobijeni dijagram. Da li se dijagram slaže sa teorijskim očekivanjima?



Slika 10: Filter propusnik signala niskih frekvencija.

1.5.2 Filter propusnik signala visokih frekvencija

Sastaviti kolo sa slike 11 sa $R = 1\text{ k}\Omega$ i $C = 10\text{ nF}$. Pokrenuti program `Hf.py` komandom `python3 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?

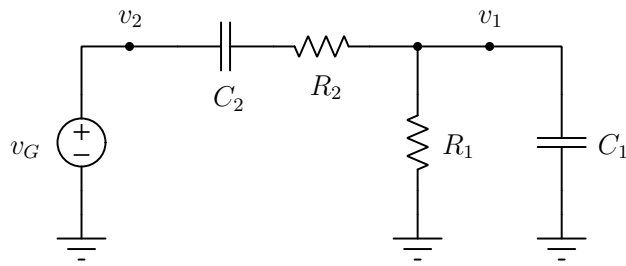


Slika 11: Filter propusnik signala visokih frekvencija.

1.5.3 Filter propusnik opsega

Sastaviti kolo sa slike 12 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 `python3 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 `PO`. Pogledati dobijeni dijagram. Da li se dijagram slaže sa teorijskim očekivanjima?

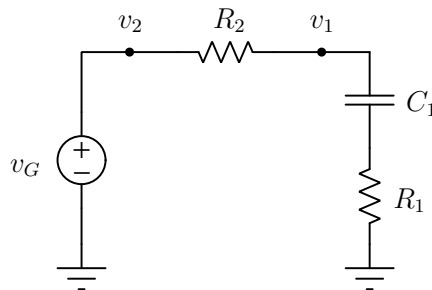
Sastaviti kolo sa slike 12 sa $R_1 = R_2 = 1\text{ k}\Omega$ i $C_1 = C_2 = 10\text{ nF}$. Pokrenuti program `Hf.py` komandom `python3 Hf.py` i zadati parametre $f_{min} = 100\text{ Hz}$, $f_{max} = 1\text{ MHz}$, $n_{points} = 41$, $V_{gm} = 5\text{ V}$, i početak imena svih fajlova koji sadrže rezultate merenja treba da bude `PO_Wien`. Pogledati dobijeni dijagram. Da li se dijagram slaže sa teorijskim očekivanjima?



Slika 12: Filter propusnik opsega.

1.5.4 Kolo za ilustrovanje uprošćenog frekvencijskog modela kondenzatora

Sastaviti kolo sa slike 13 sa $R_1 = R_2 = 1\text{ k}\Omega$ i $C = 10\text{ nF}$. Pokrenuti program `Hf.py` komandom `python3 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?



Slika 13: Kolo za ilustrovanje uprošćenih modela kondenzatora.

Pitanja za razmišljanje:

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?

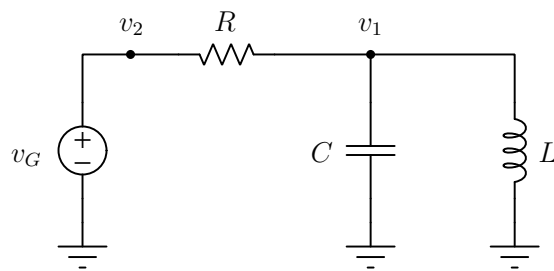
1.5.5 RLC filter propusnik opsega

Ovaj deo vežbe raditi samo ako raspoloživo vreme to dopušta, pitati dežurnog za odluku.

Sastaviti kolo sa slike 14 sa $R = 1\text{ k}\Omega$, $C = 10\text{ nF}$ i $L = 10\text{ mH}$. Pokrenuti program `Hf.py` komandom `python3 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?

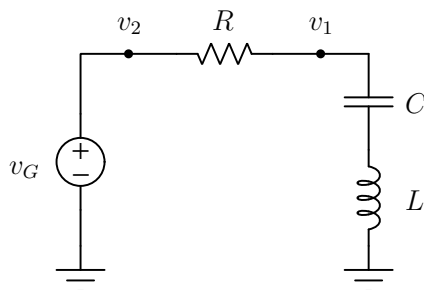
1.5.6 RLC filter nepropusnik opsega

Ovaj deo vežbe raditi samo ako raspoloživo vreme to dopušta, pitati dežurnog za odluku.



Slika 14: RLC filter propusnik opsega.

Sastaviti kolo sa slike 15 sa $R = 1\text{ k}\Omega$, $C = 10\text{ nF}$ i $L = 10\text{ mH}$. Pokrenuti program `Hf.py` komandom `python3 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 dijagram slaže sa teorijskim očekivanjima? Uočavate li neke anomalije na samom kraju posmatranog frekvencijskog opsega i čime su one uzrokovane?



Slika 15: Filter nepropusnik opsega.

1.5.7 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 pretpostavite?
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 1. Kako bi se dobili podaci na zahtevanim frekvencijama potrebno je program `acdc.py` pokrenuti tri puta sa parametrima:

Tabela 1: Frekvencijska karakteristika sprežnog filtra osciloskopa

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

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

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

1.6 Dokumentovanje rezultata merenja

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