

**ELEKTRIČNA MERENJA**  
— laboratorijske vežbe —

**Vežba broj 5**

**Snimanje karakteriska nelinearnih elemenata pomoću osciloskopa**

ime i prezime: \_\_\_\_\_

broj indeksa: \_\_\_\_\_

grupa: \_\_\_\_\_

datum: \_\_\_\_\_

vreme: \_\_\_\_\_

ocena: \_\_\_\_\_

dežurni: \_\_\_\_\_

# 1 Snimanje karakteriska nelinearnih elemenata pomoću osciloskopa

## 1.1 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  $100\ \Omega$ , 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. otpornik  $100\ \text{k}\Omega$ , 5%, 2 komada
16. kondenzator  $100\ \text{nF}$ , 1 komad
17. kondenzator  $1\ \mu\text{F}$ , 1 komad
18. provodnici sa bananskim utikačima, 3 komada
19. računar sa softverom za vežbu broj 5
20. **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 se vrše merenja karakteristika magnetskih komponenata sa feromagnetnim 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 inductivnosti 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 odrađene 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.

### 1.3 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, šant  $R_S$  i elementi analognih integratora  $R_i$  i  $C_i$  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 dioda i 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.

### 1.4 Zadatak, prvi deo vežbe

#### 1.4.1 Teorijski osnovi snimanja krive magnetizacije

Pod krivom magnetizacije feromagnetskog materijala podrazumeva se zavisnost magnetske indukcije  $B = |\vec{B}|$  od jačine magnetskog polja  $H = |\vec{H}|$ , funkcija  $B(H)$ . Strogo matematički gledano, kriva  $B(H)$  nije funkcija, jer jednoj vrednosti  $H$  odgovara više vrednosti  $B$ , zavisno od istorije magnećenja posmatranog materijala, kriva ispoljava histerezis. Osim toga, ni magnetska indukcija  $B$ , ni jačina magnetskog polja  $H$ , nisu dostupne neposrednom merenju, pa je potrebno obezbediti njihovo posredno merenje pomoću osciloskopa, svodeći merenje ovih fizičkih veličina na merenje napona.

Osim snimanja krive magnetizacije feromagnetskog materijala, od značaja je i snimanje karakteristike magnećenja feromagnetskog jezgra namotajem od  $n$  navojaka,  $\lambda(i)$ , gde je  $\lambda = n A_{Fe} B$  ukupan fluks u namotaju,  $A_{Fe}$  je površina poprečnog preseka jezgra, a  $i$  je struja koja magneti jezgro,  $i = l_e H/n$ , gde je  $l_e$  dužina „srednje linije“ posmatranog jezgra. Dakle, uz poznavanje broja navojaka  $n$ , površine poprečnog preseka jezgra  $A_{Fe}$  i dužine srednje linije jezgra  $l_e$ , merenje karakteristike magnećenja feromagnetskog materijala se svodi na merenje karakteristike magnećenja feromagnetskog jezgra od koga je napravljeno.

Posmatrajmo jezgro na kome je namotan namotaj sa  $n$  navojaka. Magnetopobudna sila koju namotaj proizvodi je

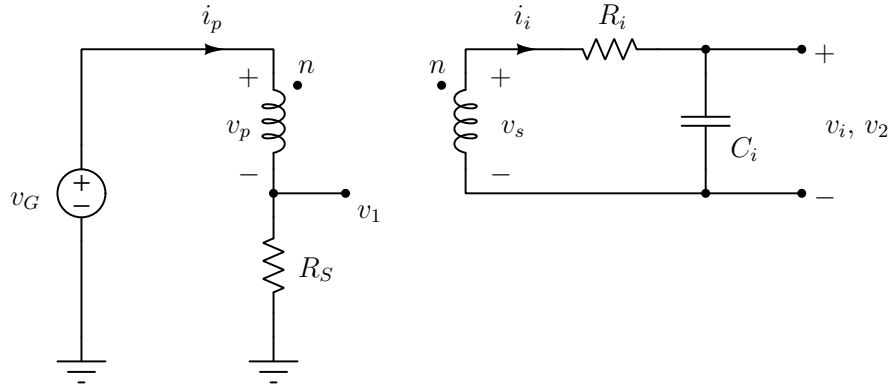
$$F = n i = l_e H$$

odakle je jačina magnetskog polja

$$H = \frac{n}{l_e} i.$$

Prema Faradejevom zakonu, indukovana elektromotorna sila u namotaju je

$$v = \frac{d\lambda}{dt} = n \frac{d\Phi}{dt} = n A_{Fe} \frac{dB}{dt}$$



Slika 1: Kolo za snimanje karakteristike magnećenja primenom analognog integratora.

odakle je

$$\frac{dB}{dt} = \frac{1}{n A_{Fe}} v.$$

Kako se pad napona na namotaju kojim se magneti jezgro, namotaju kroz koji protiče struja  $i$ , sastoji od indukovane elektromotorne sile i pada napona na otpornosti namotaja, na koju je postupak merenja jako osetljiv, povoljno je da se umesto jednog koriste dva bifilarno motana namotaja, istovremeno motana sa dve međusobno upredene žice. Primarni namotaj (indeks  $p$ ) se koristi za magnećenje jezgra, a sekundarni namotaj kroz koji ne protiče struja (indeks  $s$ ) za merenje indukovane elektromotorne sile. Tako je jačina magnetskog polja

$$H = \frac{n}{l_e} i_p$$

dok je izvod magnetske indukcije po vremenu

$$\frac{dB}{dt} = \frac{1}{n A_{Fe}} v_s. \quad (1)$$

Kolo za snimanje karakteristike magnećenja primenom analognog integratora prikazano je na slici 1. Osim transformatora sa dva bifilarno motana namoraja od po  $n$  navojaka, sastoji se od otpornika  $R_S$  kojim se struja primara pretvara u napon koji se neposredno meri,

$$v_1 = R_S i_p$$

i analognog integratora koji čine otpornik  $R_i$  i kondenzator  $C_i$ . Pod pretpostavkom da je  $v_s \gg v_i$ , a kolo će biti projektovano tako da ta pretpostavka važi,

$$i_i \approx \frac{v_s}{R_i}$$

i kako je

$$i_i = C_i \frac{dv_i}{dt}$$

dobija se

$$v_s = R_i C_i \frac{dv_i}{dt}.$$

Zamenom u (1) se dobija

$$\frac{dB}{dt} = \frac{R_i C_i}{n A_{Fe}} \frac{dv_i}{dt}$$

odakle je

$$B = \frac{R_i C_i}{n A_{Fe}} v_i + B_0$$

gde je  $B_0$  konstanta integracije koju ovim metodom nije moguće jednoznačno odrediti. Međutim, ako je pobuda jezgra simetrična, a jezgro inicijalno nije bilo namagnetisano, ako je srednja vrednost struje koja magneti jezgro jednaka nuli, onda je i srednja vrednost indukcije u jezgru jednaka nuli (pitanja za ozbiljno razmišljanje: zašto i pod kojim uslovima?) pa je

$$B = \frac{R_i C_i}{n A_{Fe}} v_i$$

odnosno indukcija u jezgru je srazmerna naponu na izlazu integratora. Konačno, za kolo povezano prema šemi sa slike 1, jačina magnetskog polja u jezgru je

$$H = \frac{n}{l_e R_S} v_1$$

dok je indukcija u jezgru

$$B = \frac{R_i C_i}{n A_{Fe}} v_2$$

čime je snimanje zavisnosti  $B(H)$  svedeno na merenje napona  $v_1$  i  $v_2$ .

Kako je  $\lambda = n A_{Fe} B$ , ukupan fluks namotaja je

$$\lambda = R_i C_i v_i = R_i C_i v_2$$

dok je struja magnetizacije

$$i = i_p = \frac{v_1}{R_S}$$

pa je i snimanje karakteristike magnećenja jezgra namotajem od  $n$  navojaka svedeno na merenje napona  $v_1$  i  $v_2$ .

Kako se biraju vrednosti elemenata u integratoru,  $R_i$  i  $C_i$ ? Sekundarni namotaj se koristi kako bi se eliminisao uticaj pada napona na otpornosti namotaja usled proticanja struje, pošto struja magnetizacije mora da bude značajna, pa je uveden sekundarni namotaj kojim bi se merila indukcija u jezgru bez proticanja velike struje namotaja. Stoga,  $R_i$  treba izabrati tako da struja sekundarnog namotaja bude mala, da pad napona na otpornosti namotaja bude zanemariv prema naponu na  $R_i$ . Kako je otpornost namotaja reda veličine  $1 \Omega$ , izbor za  $R_i$  reda  $100 \text{ k}\Omega$  se smatra dobrim, očekivana struja sekundara će biti reda  $10 \mu\text{A}$ . Osim ovog uslova, do sada je naglašen uslov  $v_s \gg v_i$  koji je korišćen u izvođenju kako bi se pojednostavila funkcija prenosa analognog integratora. Stvarna funkcija prenosa analognog integratora sa slike 1 je

$$\frac{V_i(j\omega)}{V_s(j\omega)} = \frac{1}{1 + j\omega R_i C_i}$$

dok je uvedena pretpostavka svodila gornju funkciju prenosa na funkciju prenosa idealnog integratora

$$\frac{V_i(j\omega)}{V_s(j\omega)} = \frac{1}{j\omega R_i C_i}$$

Kako bi aproksimacija važila, potrebno je da  $\omega R_i C_i \gg 1$ , odnosno da je  $R_i C_i \gg 1/(2\pi f)$  na frekvenciji pri kojoj snimamo karakteristiku magnećenja. U ovoj primeni se u praksi smatra da je za važenje  $\gg$  dovoljna razlika od oko dva reda veličine. Ovo će za posledicu dati napon  $v_i = v_2$  koji je oko dva reda veličine manji od napona na sekundaru,  $v_s$ , pa je zadovoljena pretpostavka  $v_s \gg v_i$ . U skladu sa navedenim su birane vrednosti za  $R_i$  i  $C_i$  u primerima koji slede.

### 1.4.2 Snimanja karakteristike magnećenja torusnog jezgra primenom analognog integratora

Postaviti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/1a`.

Povezati kolo sa slike 1 koristeći transformator T1 sa torusnim jezgrom, sa  $R_i = 100\text{ k}\Omega$  i  $C_i = 100\text{ nF}$ . Šant za merenje struje,  $R_S$ , ima otpornost  $50\ \Omega$  i realizovan je kao paralelna veza dva otpornika od  $100\ \Omega$ . Sinhronizaciju osciloskopa treba postaviti na sinhronizacioni izlaz generatora signala preko eksternog ulaza za sinhronizaciju na osciloskopu. **Napomena: prilikom povezivanja kanala 2, sondu vezati direktno na kondenzator  $C_i$ , bez zajedničke mase. Parazitne otpornosti mogu bitno uticati na rezultat.**

Postaviti slabljenje sonde na oba kanala na  $\times 1$ . Postaviti podelu naponske ose prvog kanala na  $2\text{ V/div}$ , podelu naponske ose drugog kanala na  $10\text{ mV/div}$ . Na oba kanala sprega treba da bude na DC, a ograničavanje propusnog opsega na  $20\text{ MHz}$  uključeno, BW Limit treba da bude na `0n`. Postaviti prikazivanje na ekranu osciloskopa na međusobnu zavisnost dva napona izborom `Utility, Display, Format, XY`. Postaviti podelu vremenske ose na  $50\ \mu\text{s/div}$ , što se može očitati na sredini donje linije ekrana. Podesiti akviziciju signala tako da se na ekranu prikazuje srednja vrednost 128 snimljenih talasnih oblika izborom `Acquire, Average, 128`. Na generatoru signala postaviti oblik signala na sinusoidalni, frekvenciju na  $4\text{ kHz}$ , amplitudu na  $20\text{ V peak-to-peak}$ , ofset na nulu. Uključiti izlaz generatora signala. Ukoliko se na ekranu pojavi histerezisna kriva, snimiti je pokretanjem programa

```
python3 getfig.py average
```

Ukoliko se na ekranu ne pojavi histerezisna kriva, zatražiti pomoć dežurnog.

Podesiti akviziciju signala na `Sample` izborom `Acquire, Sample`. Podesiti perzistenciju traga na ekranu osciloskopa na beskonačnu izborom `Utility, Display, Persist, Infinite`. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python3 getfig.py infinite
```

.

Podesiti perzistenciju traga na ekranu osciloskopa na nulu izborom `Utility, Display, Persist, Off`. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python3 getfig.py sample
```

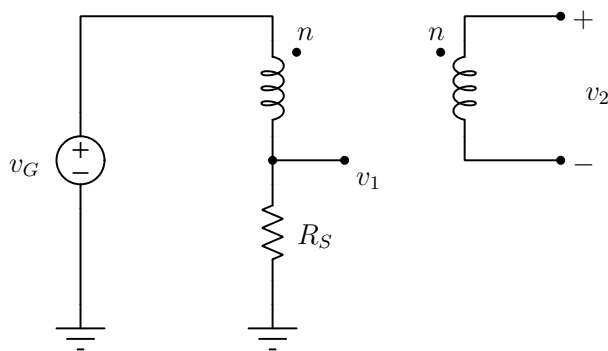
.

U cilju snimanja karakteristike magnećenja jezgra pri različitim amplitudama pobudnog signala, gornji postupak za `Average` akviziciju signala koja daje najjasniji dijagram se ponavlja pokretanjem programa

```
python3 hloopa0.py
```

Pogledati dobijene slike. Pitanja za razmišljanje:

1. Jesu li dobijene slike u skladu sa teorijskim očekivanjima?
2. Ako ne, u čemu nisu i zašto nisu?
3. Kako bi procenili relativnu permeabilnost posmatranog feromagnetskog materijala?
4. Zašto je u vežbi primenjeno ograničavanje propusnog opsega posmatranih signala? Kako bi dijagrami izgledali u slučaju da propuni opseg nije ograničen?
5. Kako bi dijagrami izgledali ako bi obe sonde osciloskopa bile vezane u zajedničko zvezdište? Šta je uzrok tog efekta?
6. Kako se razlikuju snimci dobijeni primenom različitih tipova akvizicije podataka i različite perzistencije traga na ekranu osciloskopa?



Slika 2: Kolo za snimanje karakteristike magnećenja primenom numeričke integracije.

### 1.4.3 Snimanja karakteristike magnećenja torusnog jezgra primenom numeričke integracije

U dosadašnjem toku vežbe histerezisna kriva je snimana primenom analognog integratora. Raspoloživa oprema omogućava i bolji način snimanja histerezisne krive, primenom numeričke integracije, što otvara i dodatne mogućnosti poput bolje dokumentacije, snimanja normalne krive magnećenja, računanja gubitaka u jezgru transformatora, a moguća su i dalja proširenja, poput računanja gubitaka u namotajima. Međutim, ovo zahteva program koji numerički integrali napon sa sekundara posmatranog transformatora.

Kolo za snimanje karakteristike magnećenja feromagnetskog jezgra primenom numeričke integracije je prikazano na slici 2. 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.**

Pokrenuti program `hloopa1.py` komandom

```
python3 hloopa1.py
```

□. Program će postaviti frekvenciju generatora signala na 4 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,  $\lambda$ ,

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

u skladu sa metodima numeričke integracije primenjenim u vežbi 4. Veza  $\lambda(i)$  je karakteristika magnećenja jezgra. Karakteristike magnećenja jezgra program iscrtava i zapisuje u 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 □.

Pitanja za razmišljanje:

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  $B(H)$ ?

#### 1.4.4 Snimanja karakteristike magnećenja E jezgra primenom analognog integratora

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

Povezati kolo sa slike 1 koristeći transformator T2 sa E jezgrom, sa  $R_i = 100\text{ k}\Omega$  i  $C_i = 1\text{ }\mu\text{F}$ .

**Napomena: prilikom povezivanja kanala 2, sondu vezati direktno na kondenzator  $C_i$ , bez zajedničke mase. Parazitne otpornosti mogu bitno uticati na rezultat.**

Postaviti podelu naponske ose prvog kanala na  $2\text{ V/div}$ , podelu naponske ose drugog kanala na  $5\text{ mV/div}$ . Na oba kanala sprema treba da bude na DC, a ograničavanje propusnog opsega na  $20\text{ MHz}$  uključeno, BW Limit treba da bude na On. Postaviti prikazivanje na ekranu osciloskopa na međusobnu zavisnost dva napona izborom Utility, Display, Format, XY. Postaviti podelu vremenske ose na  $2.5\text{ ms/div}$ , što se može očitati na sredini donje linije ekrana. Podesiti akviziciju signala tako da se na ekranu prikazuje srednja vrednost 128 snimljenih talasnih oblika izborom Acquire, Average, 128. Na generatoru signala postaviti oblik signala na sinusoidalni, frekvenciju na  $100\text{ Hz}$ , amplitudu na  $20\text{ V peak-to-peak}$ , ofset na nulu. Uključiti izlaz generatora signala. Snimiti dobijenu krivu pokretanjem programa

```
python3 getfig.py average
```

- Ukoliko se na ekranu ne pojavi histerezisna kriva, zatražiti pomoć dežurnog.

Podesiti akviziciju signala na Sample izborom Acquire, Sample. Podesiti perzistenciju traga na ekranu osciloskopa na beskonačnu izborom Utility, Display, Persist, Infinite. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python3 getfig.py infinite
```

- .

Podesiti perzistenciju traga na ekranu osciloskopa na nulu izborom Utility, Display, Persist, Off. Snimiti sliku sa ekrana osciloskopa pokretanjem programa

```
python3 getfig.py sample
```

- .

U cilju snimanja karakteristike magnećenja jezgra pri različitim amplitudama pobudnog signala, gornji postupak za Average akviziciju signala koja daje najjasniji dijagram se ponavlja pokretanjem programa

```
python3 hloopb0.py
```

- Pogledati dobijene slike.

#### 1.4.5 Snimanja karakteristike magnećenja E jezgra primenom numeričke integracije

Povezati kolo za snimanje karakteristike magnećenja feromagnetskog jezgra primenom numeričke integracije kako je prikazano na slici 2. 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.**

Pokrenuti program hloopb1.py . Program snima karakteristike magnećenja pri frekvenciji od  $100\text{ Hz}$ . Snimanje pri različitim frekvencijama se vrši kako bi se razdvojili efekti vrtložnih struja od efekata histerezisa feromagnetskog materijala. Pogledati dobijene dijagrame.



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`. Pokrenuti program `hloopd.py`  
. Program snima karakteristike magnećenja pri frekvenciji od 400 Hz. Pogledati dobijene dijagrame.

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

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/1f`. Pokrenuti program `hloopf.py` .  
Program snima karakteristike magnećenja pri frekvenciji od 1 kHz. Pogledati dobijene dijagrame .

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5`. Pokrenuti program `p.py` . Pogledati dobijene združene dijagrame gubitaka u jezgru.

Pitanja za razmišljanje:

1. Ima li značajnih (uočljivih) efekata vrtložnih struja u opsegu frekvencija od 40 Hz do 4 kHz?
2. Na osnovu čega ste to zaključili?
3. U slučaju da ih ima, gde se vidi efekat vrtložnih struja, na visokim ili na niskim frekvencijama?

#### 1.4.6 Merenje inkrementalne međusobne induktivnosti

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

Napon na sekundaru transformatora u kolu sa slike 2 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 E jezgrom, T2. U tom cilju, treba koristiti već povezano kolo sa slike 2 sa transformatorom T2, za amplitudu generatora signala treba postaviti 1 V *peak-to-peak*. Frekvenciju treba postaviti na 4 kHz, a ofset generatora signala treba menjati u skladu sa zahtevima iz tabele 1. Za svaku tačku na kanalu 1 treba izmeriti jednosmernu komponentu napona,  $V_1$  i efektivnu vrednost naizmenične komponente  $V_{1mrms}$ , odakle se izračunavaju jednosmerna komponenta struje polarizacije jezgra i efektivna vrednost njene naizmenične komponente

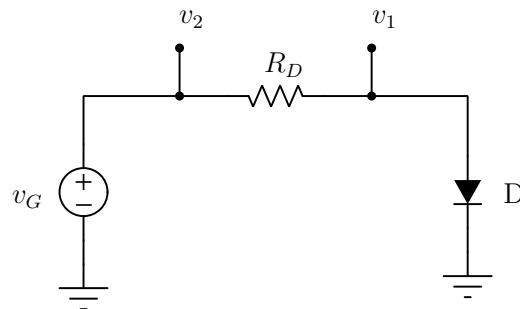
$$I_1 = \frac{V_1}{R_S} = \frac{V_1}{50 \Omega}$$

i

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

Tabela 1: 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 3: Kolo za snimanje karakteristike diode.

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 1 .

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 `incrementalM2.py` i pogledati rezultujući dijagram .

Ukoliko raspoloživo vreme to dopušta (pitati dežurnog) povezati kolo sa slike 2 sa transformatorom T1. Pokrenuti program `incrementalM1.py` i pogledati rezultujući dijagram .

Pitanja za razmišljanje:

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

## 1.5 Zadatak, drugi deo vežbe

### 1.5.1 Snimanje karakteristike diode

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/2diode`. Povezati kolo sa slike 3 u kome je  $R_D = 1 \text{ k}\Omega$ . Na generatoru signala podesiti oblik signala na **Ramp**, simetriju na 50%, amplitudu na  $2 \text{ V peak-to-peak}$ , frekvenciju na 100 Hz, ofset na nulu. **Kod osciloskopa postaviti spregu na oba kanala na DC.**

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 smisljena pređite na dokumentovanje rezultata.

Pokrenuti program `diode.py` □ komandom

```
python3 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 prikazani samo rezultati merenja tačkama, bez međusobnog povezivanja tačaka, kako bi se ilustrovala kvantizacija kod digitalnih merenja. Pogledati dobijene dijagrame.

Povećati amplitudu na  $4\text{ V}$  *peak-to-peak*. Pokrenuti program `diode.py` □ komandom

```
python3 diode.py s2
```

Povećati amplitudu na  $10\text{ V}$  *peak-to-peak*. Pokrenuti program `diode.py` □ komandom

```
python3 diode.py s5
```

Povećati amplitudu na  $20\text{ V}$  *peak-to-peak*. Pokrenuti program `diode.py` □ komandom

```
python3 diode.py s10
```

Vratiti amplitudu generatora signala na  $2\text{ V}$  *peak-to-peak*.

Promeniti frekvenciju generatora signala na  $100\text{ kHz}$ . Podelu vremenske ose podesiti tako da se na ekranu prikažu oko dva perioda signala. Pokrenuti program `diode.py` □ komandom

```
python3 diode.py f1
```

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

Povećati amplitudu na  $4\text{ V}$  *peak-to-peak*. Pokrenuti program `diode.py` □ komandom

```
python3 diode.py f2
```

Povećati amplitudu na  $10\text{ V}$  *peak-to-peak*. Pokrenuti program `diode.py` □ komandom

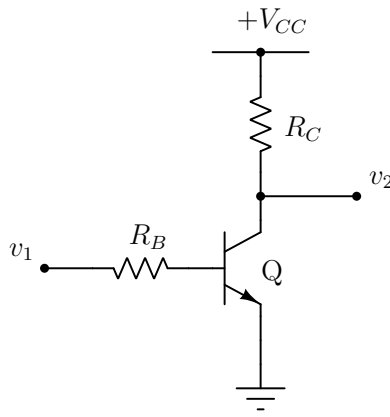
```
python3 diode.py f5
```

Povećati amplitudu na  $20\text{ V}$  *peak-to-peak*. Pokrenuti program `diode.py` □ komandom

```
python3 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  $1\text{ MHz}$ ? Za ovu frekvenciju bi oblik pobudnog signala bilo neophodno prebaciti na sinusoidalni. Zašto? Ukoliko raspoloživo vreme dopušta (pitati dežurnog), pokušajte ovo merenje, u nazivima fajlova umesto `f` unesite `ff`.



Slika 4: Pojačavač sa zajedničkim emitorom.

### 1.5.2 Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/2ce`. Povezati kolo sa slike 4 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  $-3\text{ div}$ , 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 smisljena pređite na dokumentovanje rezultata.

Pokrenuti

```
ipython3 --pylab
from oscusb3 import *
o = Oscilloscope()
```

Snimiti vremenske dijagrame  i prenosnu karakteristiku  komandama

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

Postaviti prikazivanje na ekranu osciloskopa na XY sekvencom Utility, Display, Format, XY. Po potrebi podesiti perzistenciju traga. Snimiti prenosnu karakteristiku komandom

```
o.getjpg(filename = 'xy100')
```

. Vratiti prikazivanje na YT i vratiti perzistenciju na Off ako je bila menjana.

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

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

Postaviti prikazivanje na ekranu osciloskopa na XY. Po potrebi podesiti perzistenciju traga. Snimiti prenosnu karakteristiku komandom

```
o.getjpg(filename = 'xy1k')
```

, vratiti prikazivanje na YT i vratiti perzistenciju na `Off` ako je bila menjana.

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

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

Postaviti prikazivanje na ekranu osciloskopa na XY. Po potrebi podesiti perzistenciju traga. Snimiti prenosnu karakteristiku komandom

```
o.getjpg(filename = 'xy10k')
```

, vratiti prikazivanje na YT i vratiti perzistenciju na `Off` ako je bila menjana.

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

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

Postaviti prikazivanje na ekranu osciloskopa na XY. Po potrebi podesiti perzistenciju traga. Snimiti prenosnu karakteristiku komandom

```
o.getjpg(filename = 'xy100k')
```

, vratiti prikazivanje na YT i vratiti perzistenciju na `Off` ako je bila menjana.

Pošto generator signala ne može da generiše testeraste signale frekvencije veće od 200 kHz, promeniti oblik signala na sinusoidalni. Podesiti frekvenciju signala na 1 MHz. Snimiti vremenske dijagrame  i prenosnu karakteristiku  komandama

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

Postaviti prikazivanje na ekranu osciloskopa na XY. Po potrebi podesiti perzistenciju traga. Snimiti prenosnu karakteristiku komandom

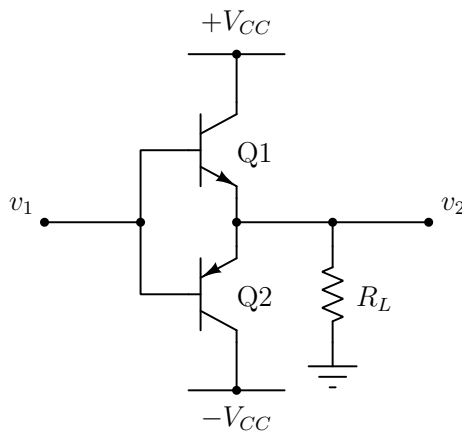
```
o.getjpg(filename = 'xy1k')
```

, vratiti prikazivanje na YT i vratiti perzistenciju na `Off` ako je bila menjana.

Izaći iz `ipython3` 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 5: Pojačavač snage u klasi B.

### 1.5.3 Pojačavač snage u klasi B

Ovaj deo vežbe raditi samo ako raspoloživo vreme to dopušta, pitati dežurnog za odluku. Promeniti radni direktorijum na `~/Desktop/vezba-5/2classB`. Pokrenuti

```
ipython3 --pylab
from oscusb3 import *
o = Oscilloscope()
```

Povezati kolo sa slike 5 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  $4\text{ V peak-to-peak}$ , 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 smisljena pređite 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 100 kHz. Snimiti vremenske dijagrame  i prenosnu karakteristiku  sa

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

Promeniti tip signala na sinusoidalni. 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 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 1 MHz. Snimiti vremenske dijagrame  i prenosnu karakteristiku  sa

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

Izaći iz ipython3 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?

#### 1.5.4 Dokumentovanje rezultata merenja

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