

<u>Tehnička škola Rudera Boškovića</u>	
<u>Elektronička instrumentacija</u>	
Ime i prezime	Obrazovni odjel
Ime i prezime partnera	Nadnevak
Opaska	Ocjena

ANALIZATOR HARMONIČKIH IZOBLIČENJA SIGNALA

U mjernoj tehnici se danas koristi mnogo instrumenata kojima se mogu analizirati različiti valni oblici.

Osim osciloskopa, danas se u praksi susreće još nekoliko specifičnih mjernih instrumenata za analizu signala. Tijekom ove vježbe će se razmotriti i upoznati jedan od osnovnih instrumenata:

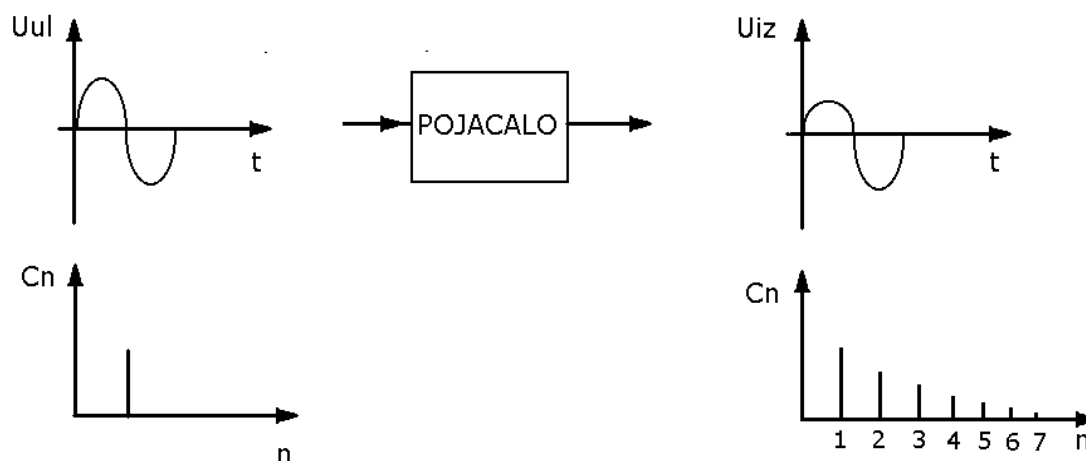
Analizator (mjerač) harmoničkih izobličenja:

To je instrument koji mjeri ukupnu vrijednost svih viših harmonika periodičkog signala istovremeno.

Uvod

Da bi se mogao shvatiti princip rada ove vrste mjernih instrumenata, potrebno je naprije upoznati osnovne pojmove o harmoničkom izobličenju. Poznato je da se periodički nesinusni signal može sastaviti (i rastaviti) na osnovni sinusni signal i njegove više harmonike. Instrument se još naziva analizator izobličenja; to potječe od engleskog naziva Distortion Analyzer.

Čak i uz pretpostavku da je moguće generirati idealni sinusni signal, njegovim prolaskom kroz razne elektroničke sklopove (pojačala i sl.) dolazi do izobličenja. Izobličenje može biti minimalno, ali do njega uvijek dolazi. Vjerni se prikaz, može se zamisliti kao na sl. 1.



Sl.1 -Harmoničko izobličenje izraženo spektrom ulaznog i izlaznog signala pojačala

Ulazni signal dovoden na pojačalo je idealni sinusni signal. Spektar tog signala prikazan je jednom spektralnom linijom (na položaju $n=1$). Prolaskom signala kroz pojačalo on se izobličava, jer aktivni elementi (elektronske cijevi, tranzistori, operacijska pojačala i sl.) u pojačalu nisu potpuno linearni. Kao rezultat to nelinearnosti na izlazu pojačala nastaje izobličen signal koji više nije sinusan.

Izlazni se signal sastoji od sinusnog signala osnovne frekvencije i viših harmonika, koji su višekratnici osnovne frekvencije (prikazani na njegovom amplitudnom spektru nizom spektralnih linija). Izobličenje signala (sl.1) poznato je kao harmoničko izobličenje. Vrlo pažljivom konstrukcijom pojačala može se postići vrlo malo izobličenje izlaznog signala. Ipak, važno je znati da će svako stvarno pojačalo (bez obzira koliko je truda uloženo pri konstrukciji i odabiranju njegovih sastavnih elemenata) izobličavati ulazni signal i neizbježno dovesti do pojave harmonika.

Harmoničko izobličenje se matematički izražava faktorom harmonijskih (nelinearnih) izobličenja koji se riječima definira kao:

$$\text{Faktor harmonijskih izobličenja} = \frac{\text{Efektivna vrijednost viših harmonika}}{\text{Efektivna vrijednost osnovnog harmonika}} 100\%$$

Efektivna vrijednost osnovnog harmonika nije problematična. Poznato da je ona jednaka 0,707 vršne (maksimalne) vrijednosti. Međutim kako odrediti mjerenjem efektivne vrijednosti svih ostalih viših harmonika?

Može se dokazati da bilo koji složeni periodički signal, koji se sastoji od harmoničkih komponenata različitih frekvencija, ima efektivnu vrijednost jednaku drugom korijenu zbroja kvadrata efektivnih vrijednosti pojedinačnih viših harmonika gdje su: U_2, U_3, U_4, \dots efektivne vrijednosti svake više harmoničke komponente.

Faktor harmoničkog izobličenja često se naziva klir-faktorom, koji predstavlja faktor čistoće valnog oblika i označava se sa D , a izražava se u %.

Izraz za faktor harmoničkog izobličenja može se, prema tome, napisati u obliku:

$$D = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} 100\% \quad (1)$$

Faktor izobličenja ili klir-faktor može se definirati i drukčije kao:

$$D^* = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}}{\sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}} 100\% \quad (2)$$

Ako, na primjer, na izlazu pojačala postoji izobličen signal čiji prvi harmonik ima efektivnu vrijednost 1 V, drugi 0,2 V i treći 0,1 V (ostali viša harmonici nisu izraženi), tada se ukupno izobličenje ili faktor harmoničkog izobličenja određuje se pomoću izraza.

$$D = \frac{\sqrt{0,2^2 + 0,1^2}}{1} 100\% = \frac{\sqrt{0,04 + 0,01}}{1} 100\% = \frac{\sqrt{0,05}}{1} 100\% = 22,36\%$$

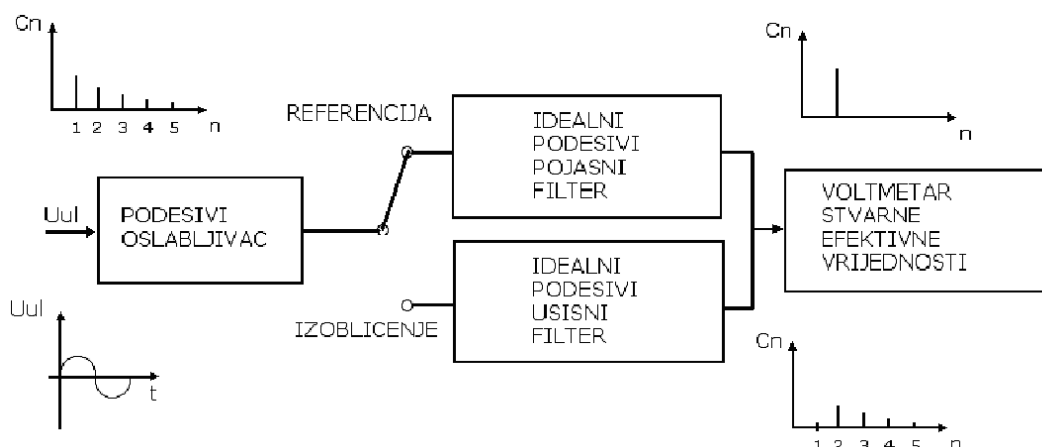
$$D^* = \frac{\sqrt{0,2^2 + 0,1^2}}{\sqrt{1 + 0,2^2 + 0,1^2}} 100\% = \frac{\sqrt{0,04 + 0,01}}{\sqrt{1 + 0,2^2 + 0,1^2}} 100\% = \frac{\sqrt{0,05}}{\sqrt{1,05}} 100\% = \sqrt{0,04762} \cdot 100\% = 21,82\%$$

Faktor harmoničkog izobličenja izražava se u postocima (%). Pri malim nelinearnim izobličenjima (do 15%) razlika između D i D^* je zanemarivo mala. Za veća izobličenja nalazi se da je:

$$D = \frac{D^*}{\sqrt{1 - D^{*2}}} 100\% \quad (3)$$

Izobličenje idealnog signala jedako je nuli, što je i razumljivo, jer u izrazu ne postoje viša harmonici (jednaki su nuli). S druge strane, signal s vrlo mnogo harmonika imat će i vrlo veliko harmoničko izobličenje. U praksi, kvalitetnija pojačala imaju mali faktor harmoničkog izobličenja (manji od 1%). Kako se na temelju upoznatog može napraviti mjerni instrument koji će mjeriti faktor harmoničkog izobličenja?

Prema izrazu vidi se da je potrebno mjeriti efektivnu vrijednost svih viših harmonika zajedno, a onda to vrijednost usporediti s efektivnom vrijednosti osnovnog harmonika. Idealni sistem za mjerenje harmoničkog izobličenja prikazan je na slici 2.



Sl.2 -Blok shema i spektar idealnog mjerača harmoničkog izobličenja

Ulazni signal koji se želi analizirati prvo prolazi kroz pojasnopropusni filter, koji se podešava tako da propušta samo osnovnu frekvenciju (osnovni harmonik- U_1). Dakle, kada je preklopnik u položaju REFERENCIJA, mjeri se samo osnovni harmonik. Atenuatorom i potencijetrom REFERENCIJA podešava se vrijednost ulaznog signala, tako da se voltmetrom može očitati. Neka je, na primjer, attenuator podešen tako da je očitana vrijednost 1 V. Na voltmetru za mjerenje efektivne vrijednosti očitana će vrijednost napona biti $U_1 = 1$ V ili 100 % ukoliko je mjerač umjeren u postocima. Nakon toga preklopnik se postavi u položaj IZOBLIČENJE i uključujemo **filter pojasnu branu** koji omogućava prolaz samo višim harmonicima (osnovni harmonik je maksimalno prigušen). Svi viši harmonici sada se dovode na voltmetar za mjerenje efektivne vrijednosti napona viših harmonika.

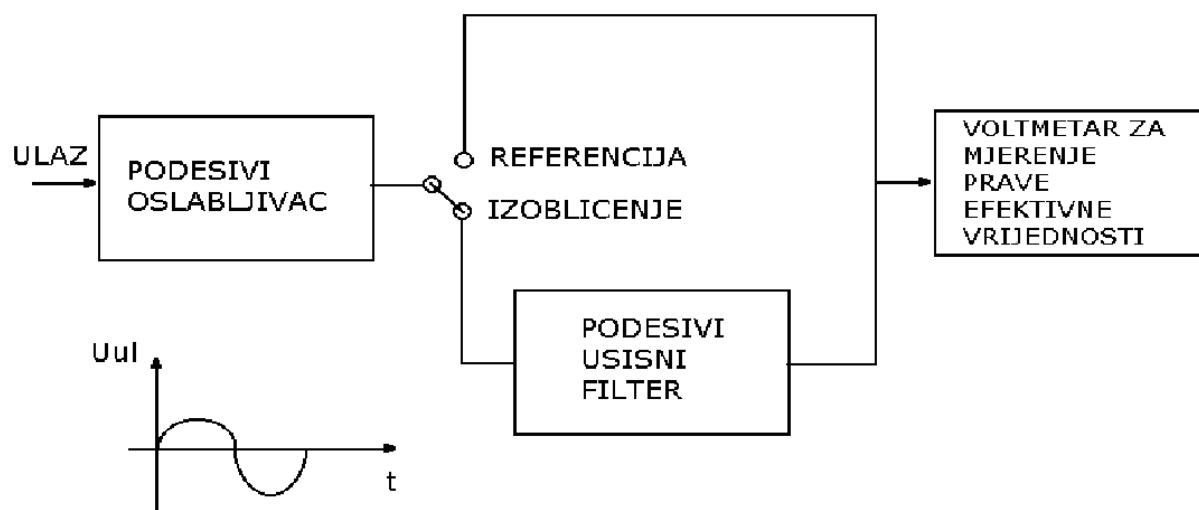
Dobije li se na skali voltmetra otklon od 0,2 V, znači da je to efektivna vrijednost svih viših harmonika signala koji se ispituju (odnosno 20 %).

Stvarni (komercijalni) instrumenti za mjerenje harmoničkog izobličenja koriste se osnovnim rješenjima idealnog tipa. Referentna vrijednost očitava se pri mjerenju osnovnog harmonika, a harmoničko izobličenje automatski se određuje pri mjerenju efektivne vrijednosti svih viših harmonika.

Engleski naziv za **filter pojasnu branu** je **Notch Filter**.

Ljestvica pokaznog dijela mjernog instruments može biti umjerena neposredno u efektivnim vrijednostima ili u postocima izobličenja, tako da se faktor izobličenja može neposredno očitati.

Na slici 3 prikazana je blok shema stvarnog mjerača harmoničkog izobličenja



Sl.3 -Blok shema mjerača harmoničkog izobličenja bez uskopojasnog filtra za očitavne referentne vrijednosti

Za razliku od idealnog mjerača (mjerač sa slike 2) sklop prikazan na slici (3) u položaju REFERENCIJA mjeri ukupnu efektivnu vrijednost svih harmonika signala koji se dovodi na ulaz mjerača harmoničkog izobličenja. Dakle, umjesto da se mjeri vrijednost U_1 , tj. efektivna vrijednost prvog harmonika, mjeri se efektivna vrijednost svih harmoničkih komponenti.

Prebaci li se preklopnik u položaj IZOBLIČENJE, tada će se očitati manje izobličenja nego što bi se očitalo na idealnom mjeraču harmoničkog izobličenja. Koliko će niže to očitavanje sada biti, ovisi o broju viših harmonika. Pogleda li se izraz (2), vidi se da je, u slučaju vrlo malih vrijednosti viših harmonika u odnosu na osnovni harmonik (U_1), referentna vrijednost (U_{ref}) vrlo blizu vrijednosti osnovnog harmonika. Pod ovim uvjetima bit će i očitavanje harmoničkog izobličenja vrlo blizu njihovim stvarnim vrijednostima. U tablici 1 prikazano je nekoliko slučajeva za stvarna i očitana harmonička izobličenja.

Iz tablice se vidi da je za vrijednost stvarnog izobličenja od 10 % očitana vrijednost izobličenja jednaka 9,95 %, tj. vrlo je blizu stvarnoj vrijednosti izobličenja. Čak je i za stvarno izobličenja od 30 % vrijednost dobivena na mjeraču harmoničkog izobličenja vrlo blizu stvarne vrijednosti, odnosno manja je od nje za 1,3 %. Međutim, za stvarno izobličenja od 100% i veće, razlika između stvarnog izobličenja i izobličenja koje se dobije očitavanjem s mjerača harmoničkog izobličenja vrlo je velika.

Izmjereno izobličenje[%]	Stvarno izobličenje[%]	k[%]
100	∞	
70,7	100	
28,7	30	
9,95	10	

Tablica 1. Nekoliko vrijednosti stvarnog izobličenja i odgovarajućeg harmoničkog izobličenja izmjerenog na mjernom instrumentu sa slike 3.

U praksi se najčešće susreću mjerači faktora izobličenja koji mjere do 30%.

Mjerači harmoničkog izobličenja za svakodnevnu praksu koriste sistem sa slike 3. On je potpuno zadovoljavajući, a korekcija je moguća prema izrazu (3).

Priprema za vježbu

1. Proučiti analizatore harmoničkih izobličenja signala. Što je to faktor kvalitete filtra Q ?

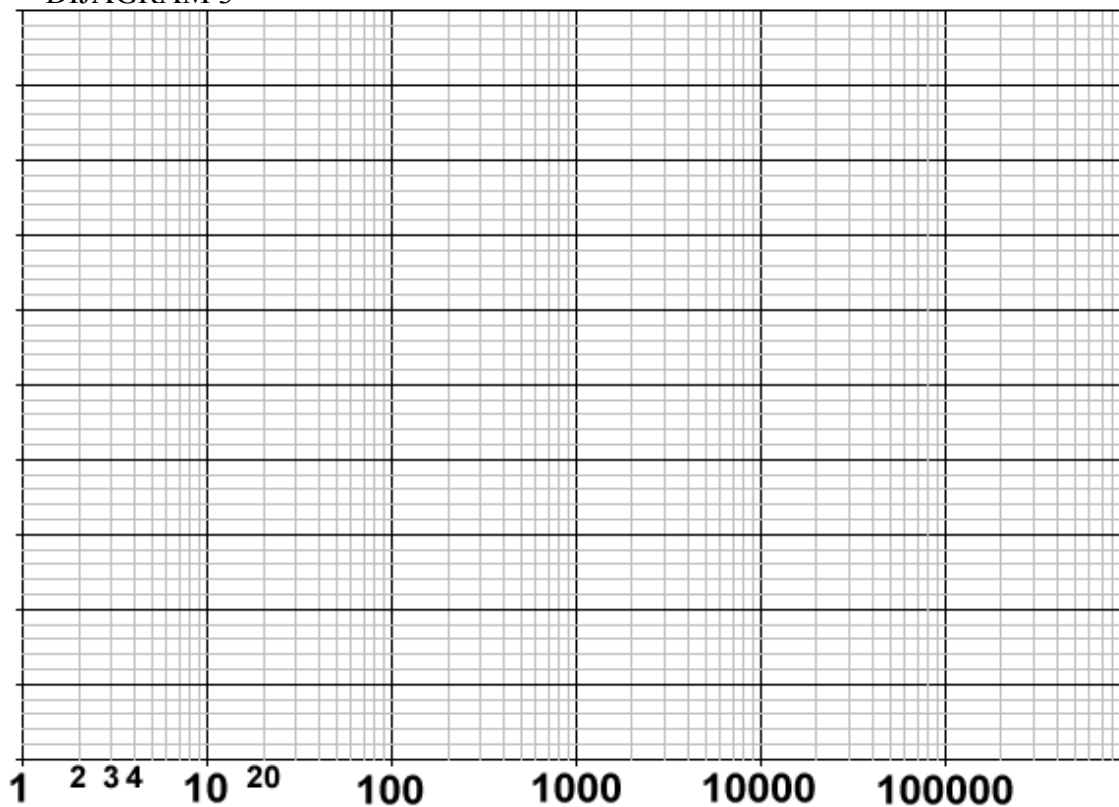
Odgovor

2. Koja je razlika između pojasne brane i pojasnog filtera? Skicirajte u dijagram 3. njihove frekvencijske karakteristike.

Odgovor

3. Izračunaj iznos korekcije za izmjerene vrijednosti faktora harmonijskih izobličenja prema tablici 1 i upiši ih u nju u stupac $k[\%]$.

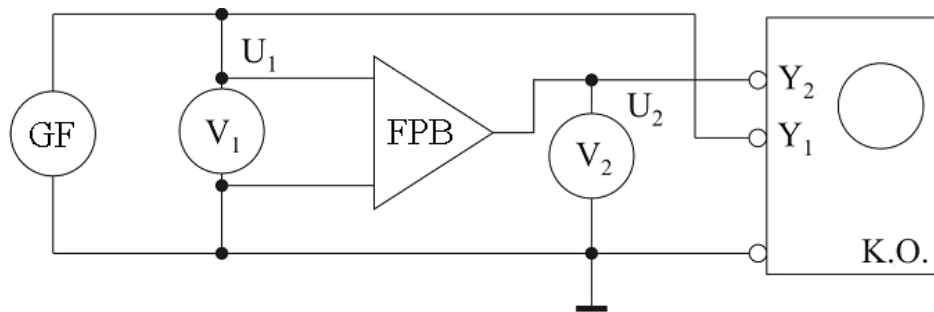
DIJAGRAM 3



Rad u Laboratoriju**1. MJERENJE SIGNALA FILTROM POJASNOM BRANOM****a. CILJ POKUSA**

Upoznavanje s metodom indirektnog mjerenja izobličenja u slučajevima kad nije pouzdano mjerenje osnovnog harmonika.

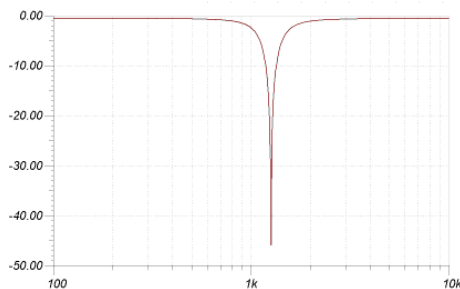
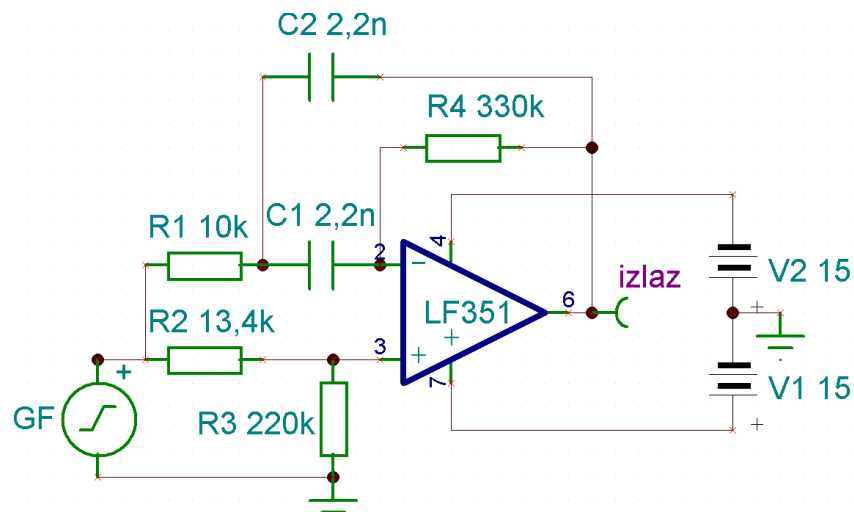
- SHEMA MJERENJA I POTREBNA OPREMA**



a) Mjerna shema

Potrebna oprema:

- osciloskop
- maketa filtra pojasne brane drugog reda jediničnog pojačanja
- generator signala



b) Električna shema filtra pojasne brane i njegova amplitudno frekvencijska karakteristika

Prikazana frekvencijska karakteristika filtra pojasne brane ima minimum pri 1,26 kHz a širinu frekvencijskog opsega 440 Hz što je u većini komercijalnih mjerača prevelika širina frekvencijskog opsega. Međutim zbog jednostavnosti sklop je pogodan za rad u laboratorju iako će se vrijednosti izmjerenog faktora razlikovati od onog izmjerenog laboratorijskim mjeračem. Potrebno je stoga dobro ugoditi minimum pojačanja filtra i frekvenciju minimalnog pojačanja dekadskim otpornikom R_2 .

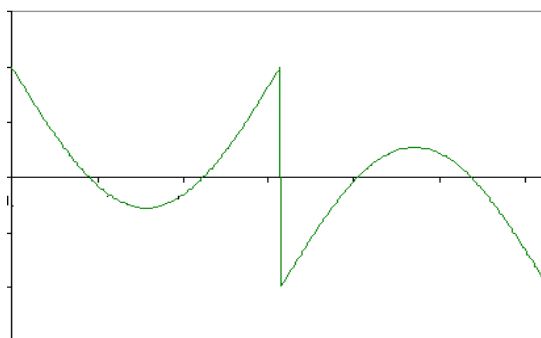
IZVOĐENJE MJERENJA**a) Mjerenje izobličenja**

1. Spojite mjernu shemu prema slici 1.a) i 1.b).
2. Na generatoru signala podesite pravokutni izmjenični napon frekvencije 500 Hz, vršne vrijednosti 1 V.
3. Pravokutni je signal sastavljen od neparnih harmonika osnovne frekvencije, dakle u našem slučaju od 500 Hz, 1500 Hz, 2500 Hz, 3500 Hz itd.
4. Promjenom frekvencije na generatoru signala, a ne mijenjajući amplitudu signala, ugodite ulazni signal tako da je potpuno potisnut osnovni harmonik.

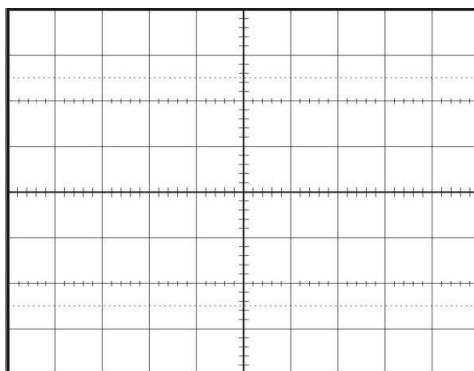
OPASKA: Cilj je ugoditi što točnije frekvenciju s generatora i frekvenciju maksimalnog gušenja filtra pojasne brane. U tom će slučaju pravokutnom signalu biti odstranjen osnovni harmonik pa će valni oblik izgledati kao na slici 1. Simetrija se ostvaruje podešavanjem dekadskog otpornika R_2 .

5. Izmjerite frekvenciju osnovnog harmonika f_{sr} i skicirajte u dijagram 1. dobivenu sliku na zaslonu osciloskopa.

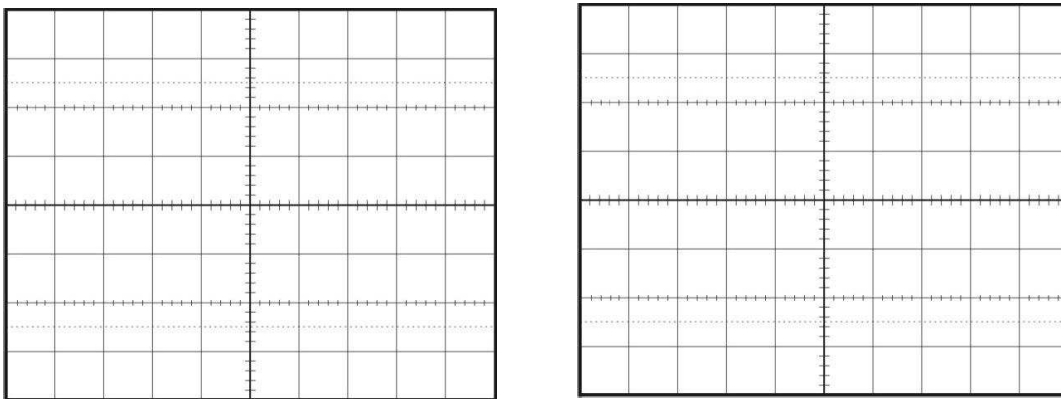
Slika 1.



Dijagram 1.



6. Izmjereni signal predstavlja faktor izobličenja D^* , a vi izračunajte osnovni faktor izobličenja D .
7. Izračunati osnovni faktor izobličenja:
8. Ponoviti mjerenje za pravokutni i trokutasti valni oblik.



Dijagram 2 i 3

7. Upišite rezultate mjerenja u tablicu 2.
8. Izračunati osnovni faktor izobličenja pravokutnog signala:
9. Izračunati osnovni faktor izobličenja trokutastog signala:
10. Nacrtajte odgovarajuće valne oblike

Valni oblik	U_{efizlaz}	$U_{\text{efviši harmonici}}$	D^*	D
Sinusni				
Trokutasti¹				
Pravokutni¹				

Izračuni:

Komentar:

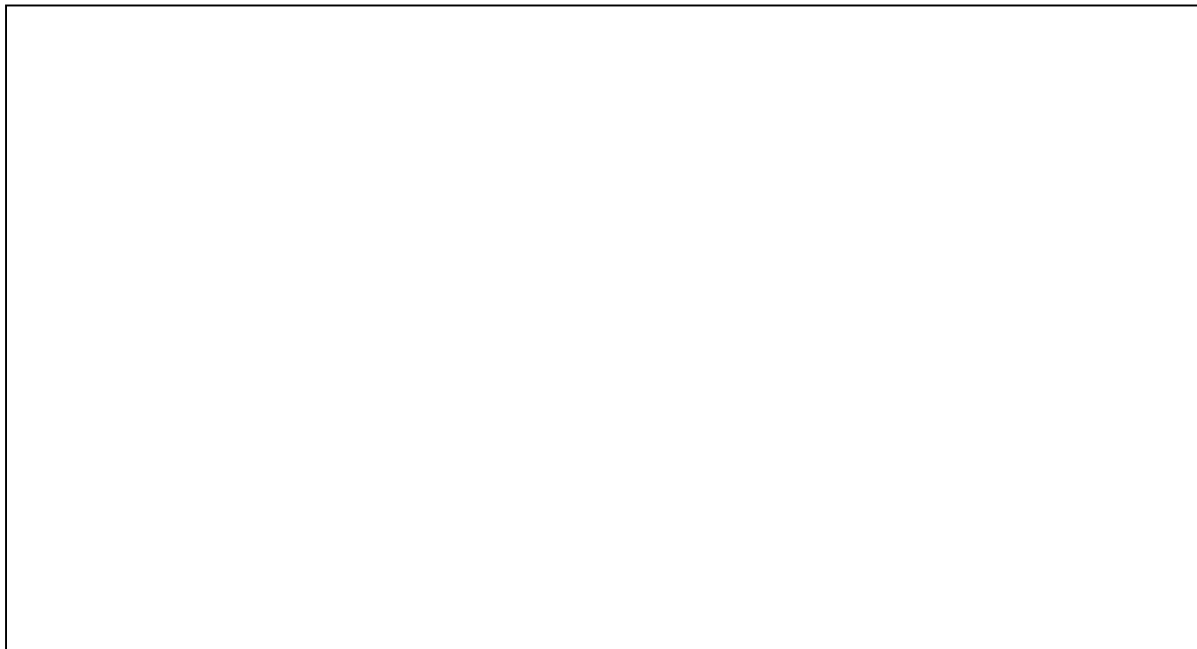
¹ Elektronički voltmetar korišten u ovoj vježbi ne mjeri pravu efektivnu vrijednost izmjeničnog signala za nesinusne valne oblike već ih mjeri s određenom pogreškom. Stoga će mjerenje izobličenja za pravokutni i trokutasti valni oblik biti samo kvalitativno (op. a.)

2. MJERENJE SIGNALA MJERAČEM IZOBLIČENJA **Hameg**

a. CILJ POKUSA

Isto kao i pod jedan samo korištenjem laboratorijskog mjerača izobličenja..

- **SHEMA MJERENJA I POTREBNA OPREMA**

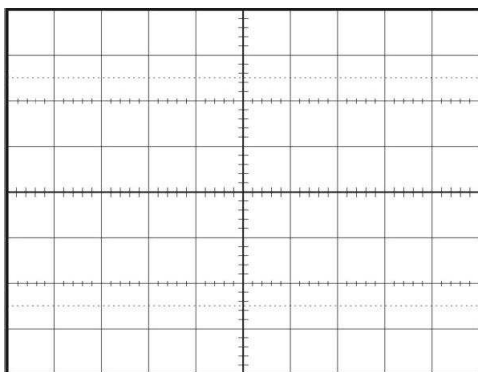


a) Mjerna shema

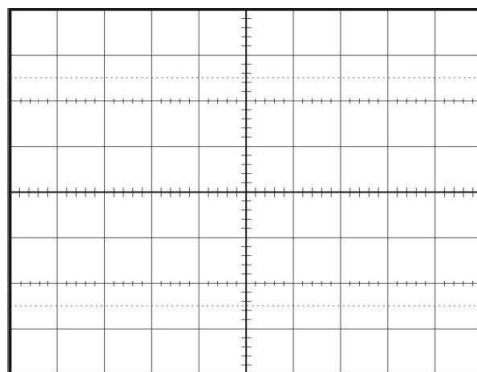
a) Mjerenje izobličenja

- Obratite se suradniku u nastavi za potrebno dokumentaciju (manual *Distorsion metera Hameg*
- Izvršite mjerenja izobličenja sinusnog, pravokutnog i trokutastog napona pri različitim frekvencijama i amplitudama.
- Opišite mjerne postupke.

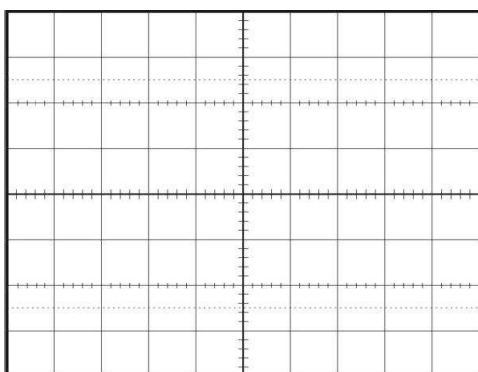
- Nacrtajte sve karakteristične valne oblike na izlazu filtra pojasne brane **Hamegovog** mjerača izobličenja.



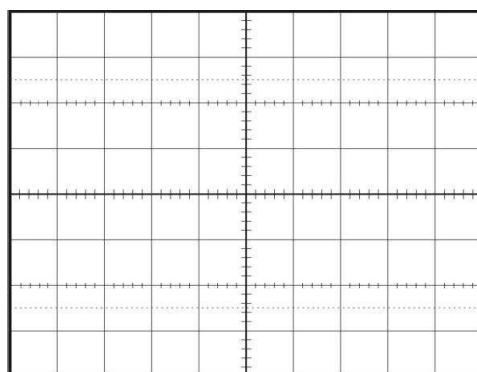
Dijagram 4.



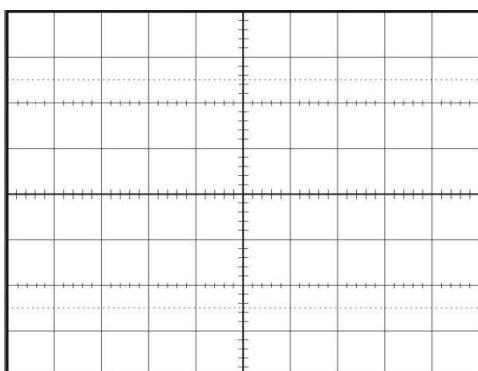
Dijagram 5.



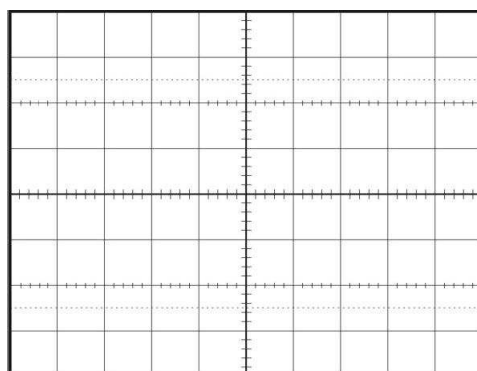
Dijagram 6.



Dijagram 7.



Dijagram 7.



Dijagram 8.

- a) Upišite iznose sve karakteristike **Hamegovog** mjerača izobličenja i usporedi s rezultatima dobivenim maketom.

Valni oblik	Sinusni		Trokutasti		Pravokutni		Izlaz iz pojačala	
U_{ef}								
frekvencija								
D								

Analiziraj mjerenje kroz pitanja:

a) Kako se odnose izračunate i izmjerene frekvencije?

b) Zašto nastaju odstupanja?

c) Kako izbor elemenata utječe na srednju frekvenciju?

d) Opiši ostale postupke, posebnosti i teškoće pri mjerenju.

e) Opiši na koji način treba odabrati elemente da se frekvencijski opseg smanji.
