

Frekvencijske karakteristike analognih i digitalnih voltmetara

Kunčak, Hrvoje

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:479774>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-23**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Stručni studij

**FREKVENCIJSKE KARAKTERISTIKE ANALOGNIH I
DIGITALNIH VOLTMETARA**

Završni rad

Hrvoje Kunčak

Osijek, 2020.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek, 20.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za završni ispit
na preddiplomskom stručnom studiju**

Ime i prezime studenta:	Hrvoje Kunčak
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A 4374, 23.09.2019.
OIB studenta:	35978149418
Mentor:	Dr.sc. Venco Ćorluka
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Mr.sc. Dražen Dorić
Član Povjerenstva 1:	Dr.sc. Venco Ćorluka
Član Povjerenstva 2:	Doc. dr. sc. Goran Rozing
Naslov završnog rada:	Frekvencijske karakteristike analognih i digitalnih voltmetara
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada	
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Dobar (3)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 1 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 1 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	20.09.2020.
<i>Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:</i>	Potpis:
	Datum:



FERIT

IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA

Osijek, 12.10.2020.

Ime i prezime studenta:

Hrvoje Kunčak

Studij:

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika

Mat. br. studenta, godina upisa:

A 4374, 23.09.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

6%

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Frekvencijske karakteristike analognih i digitalnih voltmetara**

izrađen pod vodstvom mentora Dr.sc. Venco Ćorluka

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ:

1. UVOD.....	1
1.1. Zadatak završnog rada	1
2. ANALOGNI I DIGITALNI MJERNI INSTRUMENTI	2
2.1. Analogni instrumenti	2
2.1.1. Instrument s pomičnim svitkom i stalnim magnetom	2
2.1.2. Instrument s pomičnim željezom	4
2.1.3. Instrument s unakrsnim svitcima	5
2.1.4. Elektrodinamički instrumenti.....	6
2.2. Digitalni instrumenti	7
2.2.1. A/D pretvornik	8
3. KARAKTERISTIKE MJERNIH UREĐAJA.....	10
3.1. Voltcraft VC-2030 A.....	10
3.2. Voltcraft VC250	11
3.3. Voltcraft VC-440 E TRMS.....	12
3.4. Siglent SDG 1025	13
4. POGREŠKE U MJERENJU	14
4.1. Faktori utjecaja na pogreške mjerenja	14
4.2. Vrste pogrešaka	15
4.2.1. Ljudske pogreške	15
4.2.2. Sistemske pogreške	15
4.2.3. Slučajne pogreške	16
4.2.4. Pogreške prilikom primjene uređaja	16
4.3. Pogreške povećanja frekvencije.....	16
5. UTJECAJ FREKVENCIJE NA MJERENJE NAPONA	18
5.1. Voltcraft VC-2030 A.....	18
5.2. Voltcraft VC250	22
5.3. Voltcraft VC-440 E TRMS.....	25
6. ZAKLJUČAK	28

LITERATURA	30
SAŽETAK	31
ABSTRACT	31
ŽIVOTOPIS	32

1. UVOD

Voltmetar je mjerni instrument koji se rabi za mjerenje električnog napona. Spaja se paralelno u strujni krug zbog svoje visoke vrijednosti unutarnjeg otpora. Dije se na analogne i digitalne. Svaki od pojedinih vrsta ima svoje prednosti i nedostatke, ali se u moderno doba češće koriste digitalni zbog svoje preciznosti.

1.1. Zadatak završnog rada

Svaki instrument bilo analogni ili digitalni ima svoje mjerno frekvencijsko područje. U radu potrebno je opisati načelo rada ovih instrumenata, navesti njihove karakteristike, opisati pogreške, posebnu pažnju posvetiti na pogreške zbog utjecaja frekvencije. Na tri različita instrumenta, analogni voltmetar, digitalni voltmetar na odziv srednju ispravljenu vrijednost i digitalni voltmetar na odziv efektivnu vrijednost, provjeriti njihovu točnost za frekvencije od 0 Hz do 1 kHz za tri različita valna oblika: sinusni, pravokutni i trokutasti valni oblik. Rezultate prikazati grafički i za svako mjerenje odrediti pogreške na određenim frekvencijama.

2. ANALOGNI I DIGITALNI MJERNI INSTRUMENTI

2.1. Analogni instrumenti

Analogni univerzalni mjerni instrumenti su instrumenti koji rabe elektromehanički mehanizam, kazaljku te skalu za prikaz mjernih veličina. Mogu se koristiti kao ampermetar ili voltmetar te za mjerenje izmjeničnih i istosmjernih veličina. Za mjerenje istosmjernih veličina najčešće se koristi instrument s pomičnim svitkom uz dodatak otpornika, a za izmjenične vrijednosti se dodaje ispravljač. Također, mogu se koristiti kao ommetar, odnosno za mjerenje otpora. [1]

Razlikujemo nekoliko vrsti analognih mjerni instrumenata: instrument s pomičnim svitkom, instrument s križnim svitcima, instrument s pokretnim željezom, elektrodinamički instrument, itd. [1]

Sam instrument nije kompliciran za uporabu, na njemu se nalaze svega tri priključnice, od kojih je jedna uvijek zajednička (uzemljenje strujnog kruga), a druge dvije biramo ovisno o veličini koju želimo mjeriti. Priključnice sa oznakom „V“ i „Ω“ služe nam za mjerenje napona (uobičajeni opseg od 50mV do 500V) i otpora (od $10^{-2} \Omega$ do 100Ω). Dok utičnica sa oznakom „A“ i „mV“ služi za mjerenje struje (od $1\mu\text{A}$ do 10A) te napona manjih od 50mV. [1]

2.1.1. Instrument s pomičnim svitkom i stalnim magnetom

Najčešće korišteni analogni instrument je onaj sa pomičnim svitkom i permanentnim magnetom. To je zapravo mehanizam za mjerenje struje. Princip rada ovog mehanizma prikazan je na slici 2.1. gdje je vidljivo da protjecanjem struje kroz svitak u homogenom magnetskom polju javlja se zakretni moment koji pomiče kazaljku u odnosu na skalu, a istu moment opruge pokušava vratiti u početno stanje. [1]

Magnetsko polje indukcije B koje zahvaća uzdužne stranice svitka duljine l kroz koji protječe struja i , te svitak ima N zavoja, na svitak polumjera r djelovat će moment:

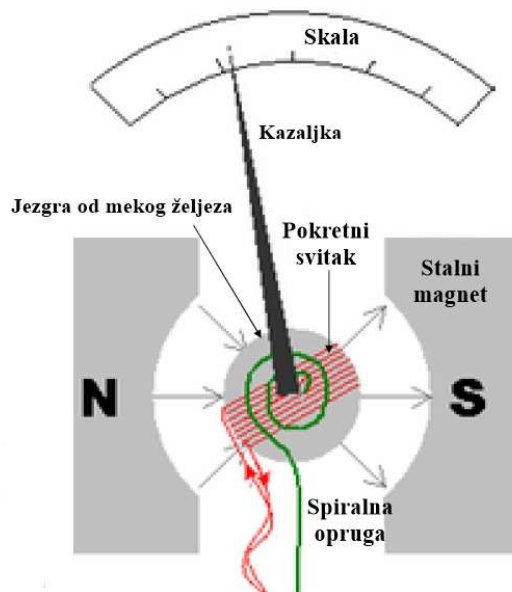
$$M_1 = B \cdot 2 \cdot N \cdot l \cdot i \cdot r \quad (1-1)$$

njemu se protivi moment opruge :

$$M_2 = -D\alpha. \quad (1-2)$$

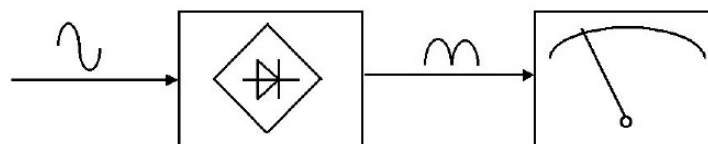
Izjednačavanjem tih momenta dolazimo izraza za kut zakretanja:

$$\alpha = \frac{2B \cdot N \cdot l \cdot r \cdot i}{D} \quad (1-3)$$



Slika 2.1. – Princip rada instrumenta s pomičnim svitkom i stalnim magnetom

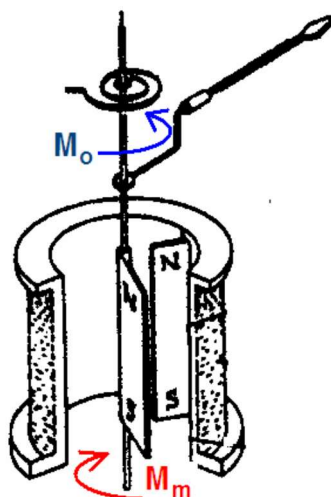
Instrumenti za mjerenje izmjeničnih veličina mjere srednju, vršnu ili efektivnu vrijednost periodičnog signala, a njihovo pokazivanje može se podesiti na bilo koju od te tri veličine. Ipak, najčešće se mjeri efektivna vrijednost. Ukoliko se mjeri efektivna vrijednost instrumenta s pomičnim svitkom i stalnim magnetom, potrebno je dodavanje punovalnog ispravljača.. Tad instrument mjeri srednju ispravljenu vrijednost, a skala se može kalibrirati u efektivnu vrijednost. [2]



Slika 2.2. – Blok shema instrumenta s pomičnim svitkom i punovalnog ispravljača

2.1.2. Instrument s pomičnim željezom

Instrument s pomičnim željezom za svoja mjerenja koristi efekt magnetskog polja koji nastaje zbog protjecanja struje u svitku. U polju koje stvara struja pokreće se meko željezo na koje je pričvršćena kazaljka. Zakretanje kazaljke je rezultat odbijanja istosmjernih polova magneta (jedan magnet je pričvršćen za svitak, a drugi je pokretan). Meko željezo postaje magnet, a opruga osigurava uravnoteženje koristeći konstrukciju kao kod instrumenata s pomičnim svitkom. Ovakav tip instrumenta najčešće je rješenje u industriji zbog svoje cijene, robusnosti i otpornosti na preopterećenja.



Slika 2.3. – Princip rada uređaja sa pomičnim željezom

Na slici 2.1.3. vidljivo je da se kut zakretanja može dobiti iz dva karakteristična momenta. Magnetski moment, onaj koji zakreće kazaljku računa se izrazom:

$$M_m = \frac{I^2 \cdot dL}{2 \cdot d\alpha} \quad (1-4)$$

Zbog promjene kuta između magneta i zakretnog željeza dolazi do promjene momenta opruge:

$$M_0 = -D \cdot \alpha \quad (1-5)$$

Suma ova dva momenta rezultira jednačbom kojom se računa kut zakretanja: [1]

$$M_m + M_0 = \frac{I^2 \cdot dL}{2 \cdot d\alpha} - D\alpha \quad (1-6)$$

$$\alpha = \frac{I^2 \cdot dL}{2D \cdot d\alpha} \quad (1-7)$$

Kod mjerenja izmjeničnih vrijednosti struja momentalne vrijednosti m_1 momenta mijenja se vrlo brzo u ovisnosti o momentalnoj vrijednosti struje. Zbog tromosti pomični organ ne može slijediti tako brze promjene, nego zauzima položaj određen srednjom vrijednosti momenta M_1 [1]

$$M_1 = \frac{1}{T} \int_0^T m_1 dt \quad (1-8)$$

Ukoliko svitku instrumenta dodamo u seriju djelatni otpor, toliko velik da struja i svitak budu razmjerni ulaznom naponu ($i = \frac{u}{R_v}$), tada će pomični organ zauzet položaj određen efektivnom vrijednošću napona. [1]

2.1.3. Instrument s unakrsnim svitcima

Instrument s unakrsnim svitcima ostvaruje moment i protumoment pomoću dva čvrsto povezana svitka koja su međusobno zakrenuta za kut 2δ . Svitci su smješteni u rasporedu između polnih nastavaka permanentnih magneta. Momenti svitka ovise o strujama I_1 i I_2 koje teku kroz njih, o položaju svitka, o različitoj širini rasporedu koji je obično na krajevima širi nego u sredini. Različita širina rasporedu rezultira različitoj gustoći magnetskog toka koja je veća u sredini nego na krajevima. Na mjernu kazaljku djeluju samo električni momenti, a ona će se zaustaviti tamo gdje su moment i protumoment jednaki ($M_1 + M_2 = 0$), odnosno: [1]

$$M_1 = k_1 I_1 f_1(\alpha) \quad (1-9)$$

$$M_2 = k_2 I_2 f_2(\alpha) \quad (1-10)$$

$$\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right) \quad (1-11)$$

Otklon instrumenta je funkcija omjera struja koje teku svitcima pa se ovakvi instrumenti nazivaju još i kvocjentni instrumenti. [1]

2.1.4. Elektrodinamički instrumenti

Elektrodinamički instrumenti su instrumenti izrađeni od dva svitka. Osnovna razlika u odnosu na prijašnje opisane instrumente je što u ovom slučaju magnetski moment potječe od utjecaja dva polja, oba nastala kao posljedica promjene struje u zavojnicama. Zakretni svitak kroz koji protječe struja I_2 smješten je u magnetskom polju nepomičnog svitka kroz koji protječe struja I_1 . Magnetsku indukciju B u sredini nepomičnog svitka možemo odrediti iz broja zavoja N_1 , struje i_1 i duljine l_1 nepomičnog svitka: [1]

$$B = \mu_0 \frac{i_1 N_1}{l_1} \quad (1-12)$$

Da bi se odredio moment M_1 koji djeluje na pomični svitak potrebno je poznavati struju i_2 , broj zavoja N_2 , srednju površinu zavoja bh i kut β nagiba pomičnog svitka prema uzdužnoj osi nepomičnog svitka: [1]

$$M_1 = bhN_2i_2B\cos\beta = \mu_0 \frac{bh}{l_1} N_2i_2N_1i_1\cos\beta \quad (1-13)$$

Protumoment M_2 nastaje zbog spiralne opruge: [1]

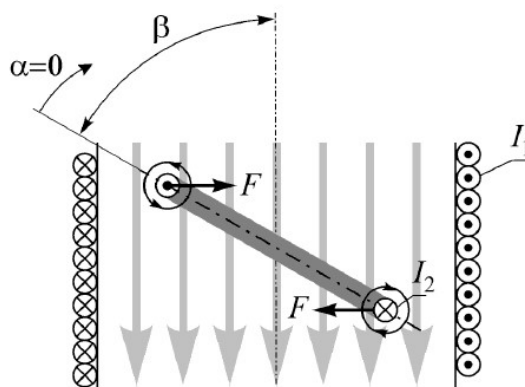
$$M_2 = -D\alpha \quad (1-14)$$

mjerna kazaljka će se zaustaviti pri odklonu α gdje su ova dva momenta jednaka ($M_1 + M_2 = 0$): [1]

$$\alpha = \frac{\mu_0 bh}{D l_1} N_2i_2N_1i_1\cos\beta \quad (1-15)$$

Kod mjerenja izmjeničnih veličina pomični svitak, zbog tromosti, ne slijedi trenutne vrijednosti momenta, već se otklanja ovisno o njegovoj srednjoj vrijednosti. Poznato je da srednja vrijednost umnoška struja I_1 i I_2 iznosi jednako kao umnožak efektivnih struja I_1 i I_2 i kosinusa kuta njihovog faznog pomaka ψ , tj.: [1]

$$M_1 = \frac{dM}{d\alpha} I_1 I_2 \cos\psi \quad (1-16)$$



Slika 2.4. – Princip rada elektrodinamičkog instrumenta

2.2. Digitalni instrumenti

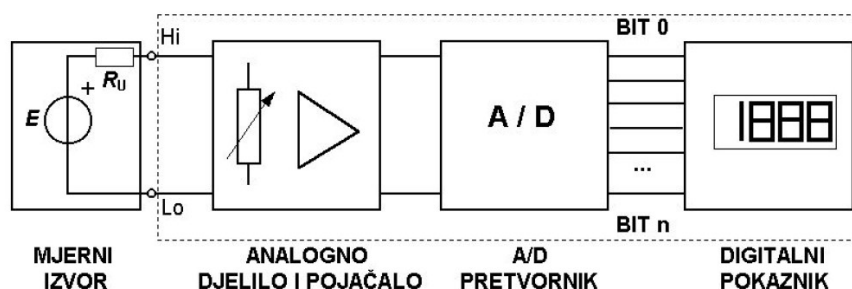
Digitalni mjerni uređaji rezultate mjerenja prikazuju na digitalnom indikator u odnosu na analogne koji koriste mjernu skalu i kazaljku. Rezultati prikazani u digitalnom obliku imaju mnoštvo prednosti:

- Jednostavnije i brže očitavanje, jednoznačno očitavanje (svaki korisnik očitati će isti rezultat)
- Povećanje ponovljivosti mjerenja (imaju automatsko prepoznavanje predznaka, a često i mjernog područja)
- Rezultat u digitalnom obliku je raspoloživ za pohranu i daljnju računalnu obradu

No za razliku od analognih, ovi uređaji su osjetljiviji na smetnje tako da je moguća pojava šumova prilikom rada na mreži frekvencije 50 Hz [1]

Većina digitalnih mjernih uređaja ima nekoliko osnovnih elemenata koji su zajednički za sve digitalne uređaje. Za pogon digitalnog indikatora najčešće treba binarnim brojem izraženu veličinu signala pretvoriti u dekadski broj, za što je potreban dekodler. Kako se binarni signali koji dolaze iz brojila brzo mijenjaju, potrebna je i kratkotrajna memorija, koja za kratko vrijeme pamti broj i prikazuje ga na digitalnom indikatoru. Mnogi digitalni mjerni uređaji sadrže i analogni veći ili manji dio. U analogni dio najčešće spadaju pretvornici koji neelektričnu veličinu pretvaraju u električnu, pojačala, pretvornici izmjenične u istosmjernu veličinu, sklopovi za linearizaciju itd. Digitalni dio obično pretvara u binaran broj pojačani napon koji se mjeri ili napon koji je

proporcionalan nekoj neelektričnoj veličini, a ovaj se opet dekodira u dekadski broj za upravljanje dekadskim indikatorom.



Slika 2.5. – Blok shema istosmjernog digitalnog voltmetra

Da bi se omogućilo mjerenje izmjeničnog napona, na ulazu digitalnog voltmetra nalazi se izmjenično-istosmjerni pretvornik. Taj pretvornik mora biti što točniji, jer o njemu kao najmanje točnom elementu ovisi točnost voltmetra u cjelini. Zato se odabiru izvedbe izmjenično-istosmjerni pretvornik koji se radi povećanja točnosti služe operacijskim pojačalima s negativnom povratnom vezom. Usprkos dosta velikoj točnosti pretvaranja izmjeničnog napona u istosmjerni, pri mjerenju izmjeničnih napona točnost se digitalnog voltmetra smanjuje za red veličine. Digitalni elektronički voltmetri za mjerenje izmjeničnih napona obično nisu točniji od 0,1%. Izmjenično-istosmjerni pretvornik obično ima odziv na srednju vrijednost napona, dok se nešto manje upotrebljavaju izvedbe ispravljača s odzivom na efektivnu vrijednost napona. Iako se danas svi digitalni voltmetri pri mjerenju izmjeničnog napona koriste na ulazu izmjenično-istosmjerni pretvornikom nakon prethodnog pojačanja izmjeničnim pojačalom, ipak postoje izvedbe koje omogućuju direktno mjerenje izmjeničnog napona digitalnim voltmetrom. [5]

2.2.1. A/D pretvornik

Većina mjernih pojava po prirodi je kontinuirano promjenjiva stoga su mjerljive digitalnim mjernim metodama samo ako se pretvore u digitalni oblik. Za takvu pretvorbu najpogodnija analogna veličina je istosmjerni napon pa se razne električne i neelektrične veličine prethodno svode na isti. Pretvaranje u digitalni oblik najčešće se ostvaruje pretvaranjem istosmjernog napona u vrijeme i frekvenciju ili pomoću stupnjevitih pretvornika, a uređaj za pretvorbu se naziva analogno-digitalni (A/D) pretvornik.

Analogno-digitalni pretvornici klasificirani su prema rezoluciji ili broju bitova. Prema brzini postizanja te rezolucije razlikuju se nekoliko tipova pretvarača:

Pretvarač sa sukcesivnom aproksimacijom je brzi pretvarač za svoj radi koristi još D/A pretvarač, ali je binarno brojilo zamijenjeno registrom sukcesivne aproksimacije. Pretvorba se obavlja postupkom binarnog pretraživanja. Brzina pretvorbe do 5 Ms/s, a razlučivost 8 – 16 bitova.

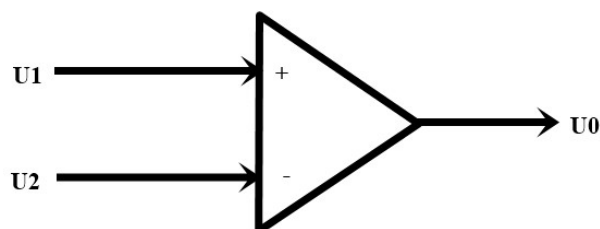
Paralelni pretvarač najbrži i najjednostavniji pretvornik jer se pretvorba obavlja u jednom koraku. Referentni napon se dijeli otpornicima. Kako analogni ulazni napon premašuje referentni napon na svakom komparatoru, izlaz iz komparatora će postupno preći u „visoko“ stanje. Jedina mana mu je broj potrebnih komparatora. Za n-bitovni pretvornik potrebno je 2^n komparatora.

Integracijski pretvarač naziva se još pretvarač sa vremenskim ekvivalentom. Kod ovog pretvarača pretvorba se odvija u dva koraka. Prvo se transformira ulazni napon u vremenski interval, a zatim se dobiveni vremenski interval kvantizira.

Delta-sigam pretvarač ostvaruje visoku rezoluciju kombiniranjem puno manjih rezolucija pretvorbe u jednu veliku rezoluciju. Brzina pretvorbe mu je do 1Ms/s, a razlučivost 14-20 bitova.

Cjevovodni pretvarač nakon završetka pretvorbe na određenom stupnju ostatak uzorka signala prenosi dalje, a taj stupanj je slobodan za sljedeći uzorak. Brzina pretvorbe mu je približno 200 Ms/s dok mu je razlučivost 8-16 bita.

Glavni dio A/D pretvarača je analogni uspoređivač, tj. komparator. Komparatoru se na ulaz dovedu dva napona U_1 i U_2 koji svojom usporedbom daju izlazni napon U_0 . U slučaju da je U_1 veći ili jednak nego li U_2 uspoređivač na izlazu daje signal visoke razine (logička jedinica), dok u slučaju kada je U_2 veći od U_1 daje signal niske razine (logička nula)



Slika 2.6. - Komparator

3. KARAKTERISTIKE MJERNIH UREĐAJA

U praktičnom djelu završnog rada zadatak je bio izmjeriti te grafički prikazati frekvencijsku karakteristiku mjernih instrumenata. Korištena su tri različita mjerna uređaja proizvođača Voltcraft, od kojih je jedan bio analogni (VC-2030 A), a dva digitalna (VC-440 E i VC-250).

3.1. Voltcraft VC-2030 A

Voltcraft VC-2030 A je analogni ručni multimetar. Priključnice ovog mjernog uređaja zaštićene su sigurnosnim diodama dok zaštitu od preopterećenja omogućuju osigurači velike prekidne moći.

- Napon: mjerni opseg napona za istosmjerno i izmjenično mjerenje je od 0,2 V do 500 V uz pogrešku od $\pm 5\%$
- Frekvencija: frekvencijski raspon ovog uređaja je između 50 i 400 Hz



Slika 3.1. – Voltcraft VC-2030

3.2. Voltcraft VC250

Voltcraft VC250 je digitalni ručni multimetar sa odzivom na srednju ispravljenu vrijednost opremljen digitalnim pokaznikom koji prikazuje 2000 znakova.

- Napon: mjerni opseg napona je od 0,2 V do 600 V uz pogrešku kod istosmjernog napona od $\pm (0,8\% + 3)$, dok je za izmjenični pogreška $\pm (1,3\% + 10)$
- Frekvencija: frekvencijski raspon ovog uređaja je između 40 i 400 Hz



Slika 3.2. – Voltcraft VC250

3.3. Voltcraft VC-440 E TRMS

Voltcraft VC-440 E TRMS je digitalni ručni multimeter s digitalnim pokaznikom koji prikazuje 6000 znakova. Oznaka TRMS (True Root Mean Square) znači da će uređaj pokazivati pravu efektivnu vrijednost mjerene veličine bez obzira na valni oblik.

- Napon: mjerni opseg napona je od 0,6 V do 1000 V uz pogrešku od kod istosmjernog mjerenja od $\pm(0,8\% + 3)$ te $\pm(1,3\% + 5)$ kod izmjeničnog mjerenja
- Frekvencija: frekvencijski raspon uređaja je između 40 i 400 Hz



Slika 3.3. – Voltcraft VC-440 E

3.4. Siglent SDG 1025

Siglent SDG 1025 je funkcijski generator korišten za induciranje napona te promjenu frekvencije. Generator ima mogućnosti generiranja sinusnog, pravokutnog i trokutastog valnog oblika. Raspon frekvencije uređaja je od 1 μ Hz do 25 MHz za sinusni i pravokutni valni oblik te od 1 μ Hz do 300 kHz za trokutasti valni oblik. Pogreška koju uređaj radi je 0,0005%.



Slika 3.4. – Siglent SDG 1025

4. POGREŠKE U MJERENJU

Mjerenje je proces uspoređivanja nepoznate veličine sa prihvaćenom standardiziranom veličinom. U svakom mjerenju postoje i faktori koji rezultiraju pogreškama. Pogreške se događaju zbog nekoliko razloga, a neki od njih su: nepreciznost, nepravilno rukovanje mjernim uređajima te ljudska pogreška. Pogreška je razlika, odnosno odstupanje izmjerene veličine i stvarne vrijednosti mjerene veličine. [3]

4.1. Faktori utjecaja na pogreške mjerenja

Postoje devet faktora utjecaja na pogreške mjerenja:

- Točnost – točnost mjerenja se odnosi na to koliko se izmjerena veličina slaže sa stvarnom veličinom mjerene veličine. Za električne uređaje točnost je uglavnom definirana kao postotak potpunog zakretanja kazaljke na mjernoj skali. [3]
- Preciznost – preciznost znači koliko se precizno s mjernog uređaja može pročitati. Također, označava koliko će biti približno jednaki svako sljedeće mjerenje koje izvršimo ukoliko radimo više mjerenja iste veličine. [3]
- Rezolucija mjerenja – rezolucija predstavlja najmanju promjenu u mjernoj veličini na koju će instrument reagirati. Za analogne instrumente rezolucija ovisi o pomaku kazaljke po jedinici unosa. Za digitalne instrumente rezolucija ovisi o broju znamenki na pokazniku. [3]
- Mjerni opseg i širina mjernog područja – mjerni opseg uređaja odnosi se na najmanju te najveću vrijednost ulazne varijable za koju je napravljen. Mjerni opseg treba biti izabran tako da je moguće što preciznije očitavanje s uređaja. Širina mjernog područja je razlika između najmanje i najveće frekvencije za koju je uređaj napravljen. Ako je mjereni signal izvan širine mjernog područja, na mjernom uređaju nećemo moći pratiti promjene ukoliko se mjerenje vrši više puta. [3]
- Osjetljivost – osjetljivost je stupanj odziva mjernog uređaja na promjene ulaznog mjerenog signala. Osjetljivost instrumenta je definirana kao omjer izlaznog signala i ulaznog signala, odnosno mjerene veličine. [3]
- Nesigurnost – nesigurnost je procjena mogućih pogrešaka u mjerenju. Točnije, to je raspon vrijednosti koji sadrži stvarnu mjerenu vrijednost uz utvrđenu vjerojatnost. [3]

- Ponovljivost – ponovljivost je definirana kao stupanj slaganja između nezavisnih mjerenja neke veličine pod istim uvjetima. [3]
- Reproductivnost – reproductivnost mjerenja je sličnost između rezultata istog mjerenja, ali pri mjerenjima drugih ljudi na drugoj lokaciji koristeći iste tehnike mjerenja u sličnim uvjetima. [3]

4.2. Vrste pogrešaka

Vrste pogrešaka mogu se podijeliti na : ljudske pogreške, sistemske, slučajne pogreške i pogreške prilikom primjene uređaja. [3]

4.2.1. Ljudske pogreške

Ljudske greške uglavnom se odnose na greške osobe koja koristi mjerni uređaj. Nastaju netočnim očitavanjem instrumenta, netočnim zapisivanjem mjerenih podataka te nepravilnim rukovanjem mjernog uređaja. Ako se vrši više mjerenja, netočan rezultat odstupat će od ostalih te će se vrlo lako uočiti. Ljudske greške mogu se umanjiti praksom, kontinuiranim učenjem te usavršavanjem osobe koja koristi mjerni uređaj. [3]

4.2.2. Sistemske pogreške

Sistemske pogreške nastaju zbog nedostataka samih mjernih uređaja, okoline mjerenja te pogrešnog promatrača. Pogreške u instrumentu mogu nastati zbog nedostataka kao što su istrošeni ležajevi ili nepravilne napetosti opruge na analognim uređajima. Uz to moguće je i nepravilno kalibriranje mjernog uređaja. Pogreške okoline mjerenja nastaju zbog izlaganja mjernog uređaja neprihvatljivim uvjetima okoline. To se može dogoditi kod visokih temperatura, vlažnosti i tlaka ili jakog elektrostatskog ili elektromagnetskog polja. Pogreške promatrača su najčešće pogreške paralakse ili prilikom procjene neke veličine na mjernoj skali. Ovaj tip pogreške može se smanjiti i ukloniti provjerom mjernih uređaja te poboljšavanjem istih. [3]

4.2.3. Slučajne pogreške

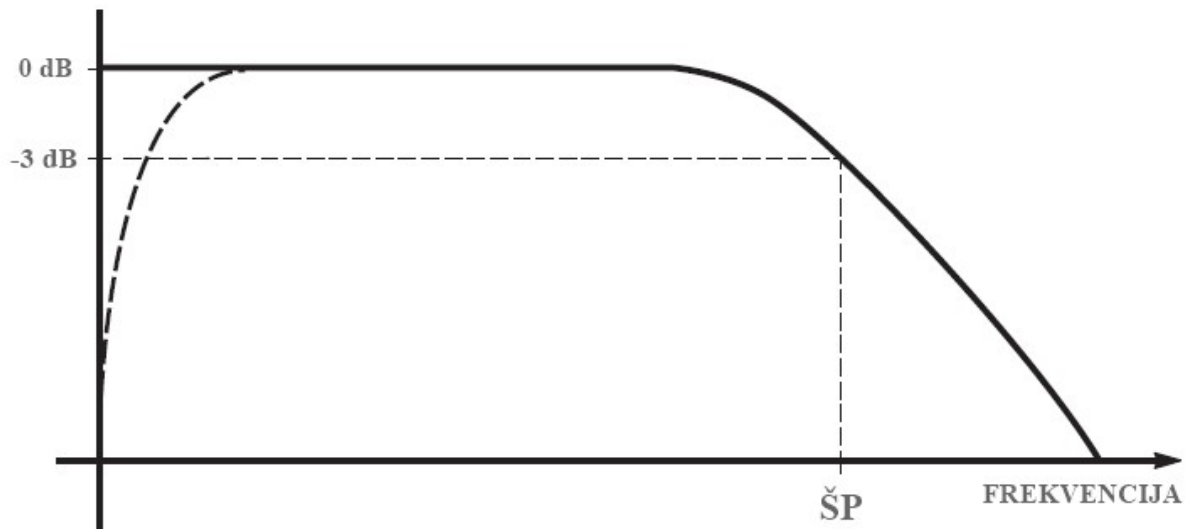
Slučajne pogreške su nepredvidive i događaju se kad su sve poznate greške uračunate. Ove pogreške se uglavnom događaju zbog buke i faktora okoline te radi nesavršenosti promatrača i mjernih uređaja. Moguće ih je umanjiti usavršavanjem okoline i uređaja, ali ih nije moguće u potpunosti ukloniti. [3]

4.2.4. Pogreške prilikom primjene uređaja

Pogreške prilikom primjene uređaja događaju se prilikom korištenja uređaja za mjerenje onoga za što uređaj nije predviđen. Događaju se ukoliko koristimo mjerni uređaj za mjerenje nekog signala van njegovog raspona ili korištenje uređaja kojemu je unutarnji otpor usporediv sa vrijednosti strujnog kruga kojeg se mjeri. Ovakve pogreške mogu se ukloniti samo ako smo u potpunosti svjesni mogućnosti mjernog uređaja. [3]

4.3. Pogreške povećanja frekvencije

Instrumenti koji mjere izmjenične veličine generalno imaju maksimalnu frekvenciju iznad koje je preciznost mjerenja smanjena. To se naziva širina pojasa frekvencije i definira se kao frekvencija na kojoj je odziv smanjen za 3 decibela. Decibeli (dB) se nekada koriste kako bi se izrazile električne veličine u prikladnom obliku. Amplituda tada iznosi oko 0,7 svoje početne veličine. Klasičan takav primjer prikazan je na slici 4.1. Na istoj je vidljivo da se odziv nakon 3dB kreće smanjivati što znači da će i dalje pokazivati mjerenu veličinu, ali uz pogrešku. U konačnici širina pojasa mjernog instrumenta mora biti veća od frekvencije valnog oblika koji mjerimo. [4]



Slika 4.1. – Tipična frekvencijska karakteristika mjernog uređaja

To se vrlo lako može razmotriti na primjeru linearnog mjernog sistema. Ako ulazni signal prikažemo izrazom

$$u_1 = \sum_{n=1}^{\infty} U_n \cos(\omega_n t + \varphi_n)$$

Gdje je $\omega_n = n \cdot \omega_1$, ω_1 je kružna frekvencija prvog harmonika, U_n je amplituda n-tog člana, φ_n fazni pomak n-tog harmonika. Izlazni napon tada se dobije izrazom

$$u_2 = \sum_{n=1}^{\infty} A(\omega_n) U_n \cos(\omega_n t + \varphi_n - \psi_n).$$

Iz izraza za izlazni napon u_2 vidljivo je da se za neki iznos $A(\omega_n)$ poveća ulazni signal u_1 i da je prema ulaznom signalu pomaknut za kut ψ_n . Uz to faktor povećanja A_n ovisi o vrijednosti frekvencije ω_n . Uglavnom se teži da to pojačanje bude konstantno, ali to nije moguće dobiti na svakoj frekvenciji. Zbog toga dolazi do izobličenja amplitude, tj. greške u mjerenju. [5]

5. UTJECAJ FREKVENCIJE NA MJERENJE NAPONA

Kao praktični dio završnog rada promatrano je ponašanje voltmetara promjenom frekvencije i valnog oblika ulaznog signala. Korištena su tri različita mjerna uređaja proizvođača Voltcraft te funkcijski generator Siglent SDG1025.

Pokus utjecaja frekvencije na mjerenje napona prikazan je koracima:

1. Na funkcijski generator priključe se mjerni uređaji
2. Na generatoru postavi se izlazni napon od 5 V, frekvencija od 10 Hz i sinusni oblik izlaznog signala
3. Povećavanje frekvencije do 1 kHz
4. Mijenja se oblik izlaznog signala u pravokutni ili trokutasti
5. Unošenje podataka u tablicu
6. Računanje pogreške i grafičko prikazivanje frekvencijske karakteristike

Pogreška je računata formulom:

$$P = \frac{U_m - U_u}{U_u} \cdot 100\% \quad (5-1)$$

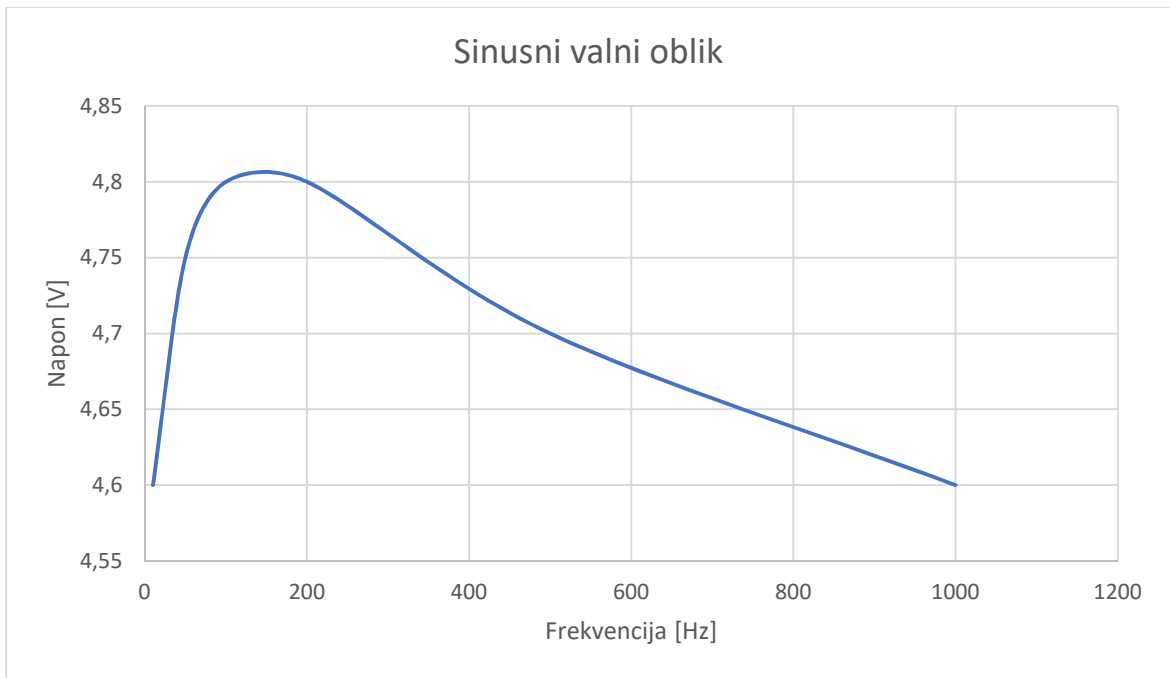
Gdje je U_m mjereni napon koji nam je prikazao voltmetar, a U_u je ulazni napon u voltmetar odnosno napon koji je generirao generator.

5.1. Voltcraft VC-2030 A

Mjerenja i frekvencijske karakteristike za analogni mjerni uređaj VC-2030 A.

Sinusni valni oblik						
f [Hz]	10	50	100	200	500	1000
U [V]	4,6	4,75	4,8	4,8	4,7	4,6
Pogreška [%]	-8	-5	-4	-4	-6	-8

Tablica 5.1. – Mjerenja za sinusni valni oblik

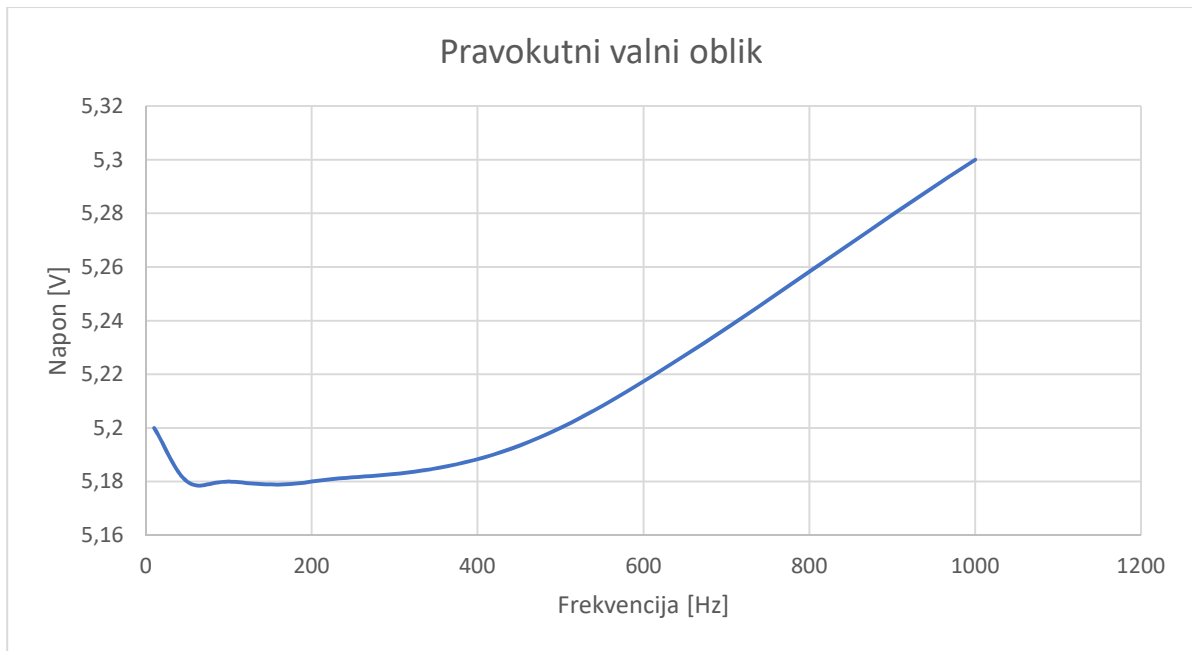


Slika 5.1. – Grafički prikaz frekvencijske karakteristike sinusnog valnog oblika

U ovom mjerenju korišten je analogni mjerni instrument širine pojasa frekvencije između 50 Hz i 400 Hz. Iz toga vidimo da je upravo najtočnije mjerenje i postignuto unutar tog raspora frekvencije

Pravokutni valni oblik						
f [Hz]	10	50	100	200	500	1000
U [V]	5,2	5,18	5,18	5,18	5,2	5,3
Pogreška [%]	4	3,6	3,6	3,6	4	6

Tablica 5.2. – Mjerenja za pravokutni valni oblik

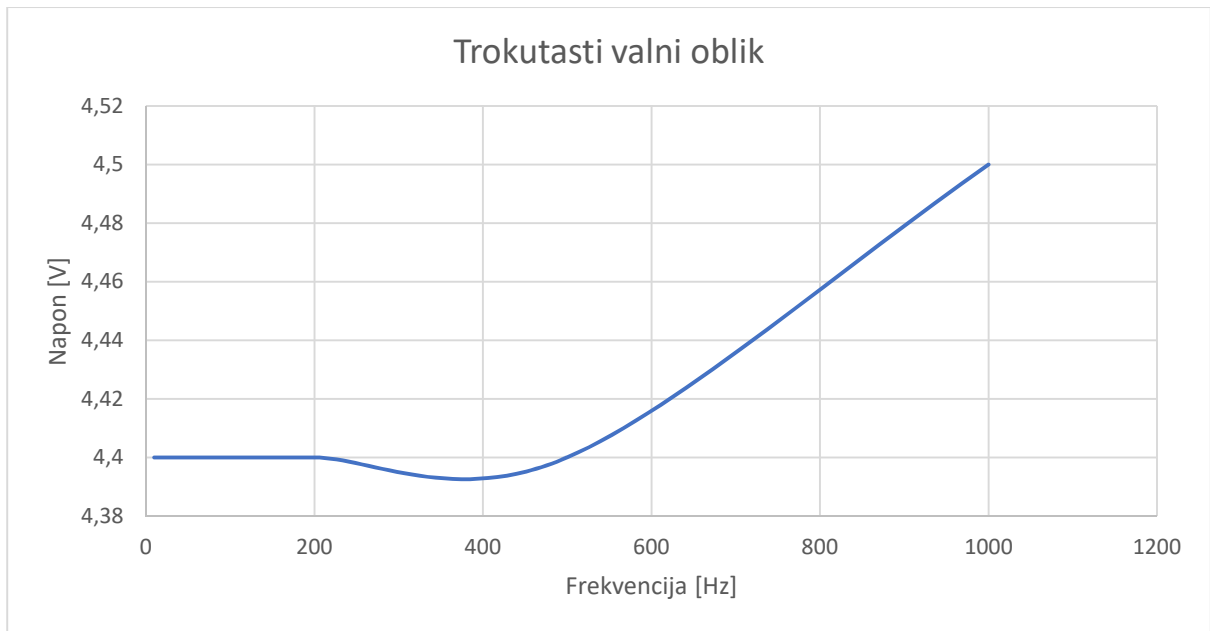


Slika 5.2. - Grafički prikaz frekvencijske karakteristike pravokutnog valnog oblika

U ovom mjerenju je samo promijenjen valni oblik u odnosu na prijašnje. Vidljivo je da je također kao i u prošlom najpreciznije mjerenje odrađeno u prirodnoj širini frekvencijskog pojasa tj. između 50 Hz i 400 Hz.

Trokutasti valni oblik						
f [Hz]	10	50	100	200	500	1000
U [V]	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,5
Pogreška [%]	-12	-12	-12	-12	-12	-10

Tablica 5.3. – Mjerenja za trokutasti valni oblik



Slika 5.3. - Grafički prikaz frekvencijske karakteristike trokutastog valnog oblika

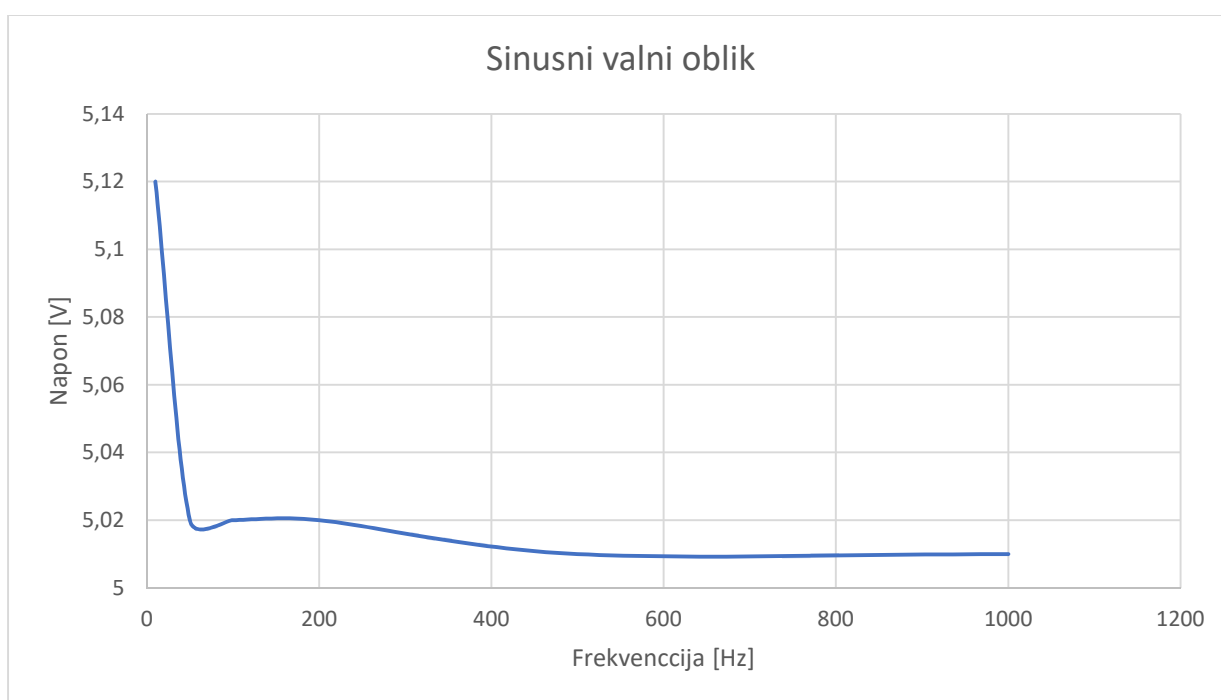
Posljednje mjerenje analognim uređajem vršeno je na trokutastom valnom obliku napona. U ovom mjerenju su izmjerene najveće pogreške u mjerenju napona koje su u nekom trenutku prelazile dopuštenu pogrešku i do nekoliko puta.

5.2. Voltcraft VC250

Mjerenja i frekvencijske karakteristike za digitalni ručni mjerni instrument VC250.

Sinusni valni oblik						
f [Hz]	10	50	100	200	500	1000
U [V]	5,12	5,02	5,02	5,02	5,01	5,01
Pogreška [%]	2,4	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2

Tablica 5.4. – Mjerenje sinusnog valnog oblika



Slika 5.4. – Grafički prikaz frekvencijske karakteristike sinusnog valnog oblika

U ovom mjerenju korišten je digitalni mjerni uređaj frekvencijske širine pojasa između 40 Hz i 400 Hz. Vidimo da smo uspjeli dobiti prilično ravnu frekvencijsku karakteristiku ako izuzmemo mjerenje koje je ispod granice mjerenja. Ovo nam pokazuje da je faktor povećanja za ovaj valni oblik poprilično konstantan.

Pravokutni valni oblik						
f [Hz]	10	50	100	200	500	1000
U [V]	5,56	5,52	5,55	5,58	5,65	5,75
Pogreška [%]	11,2	10,4	11	11,6	13	15

Tablica 5.5. - Mjerenje pravokutnog valnog oblika

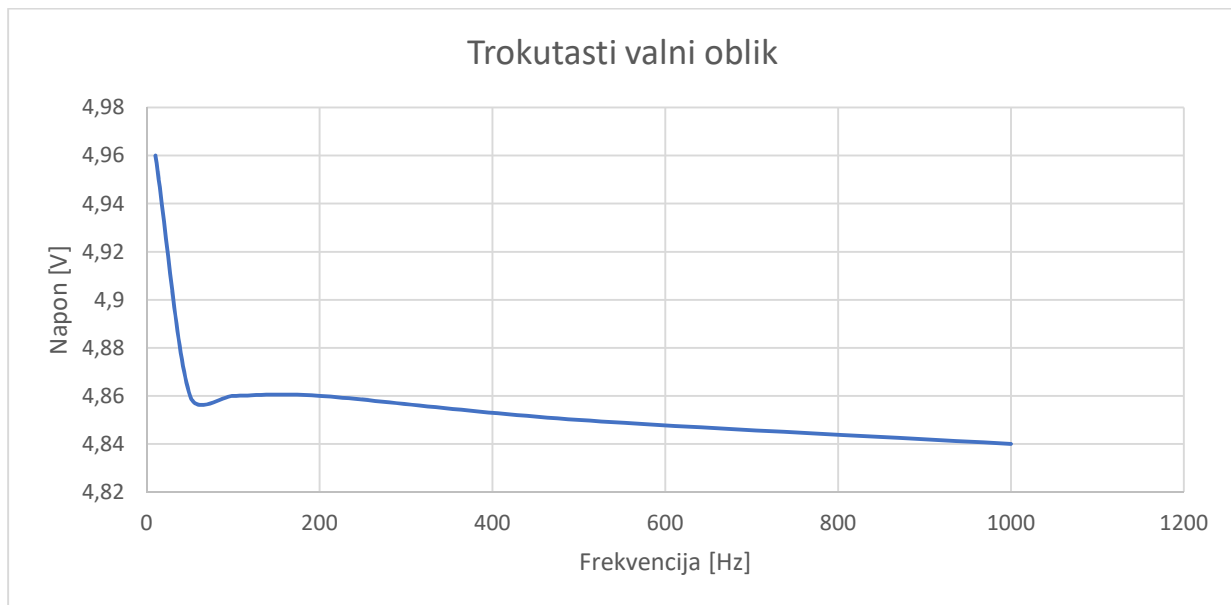


Slika 5.5. - Grafički prikaz frekvencijske karakteristike pravokutnog valnog oblika

Prilikom mjerenja pravokutnog valnog oblika vidljivo je da je odstupanje rezultata puno veće od dopuštene pogreške mjernog uređaja. To se događa zbog pojave viših harmonika u pravokutnom valnom obliku.

Trokutasti valni oblik						
f [Hz]	10	50	100	200	500	1000
U [V]	4,96	4,86	4,86	4,86	4,85	4,84
Pogreška [%]	-0,8	-2,8	-2,8	-2,8	-3	-3,2

Tablica 5.6. - Mjerenje trokutastog valnog oblika



Slika 5.6. - Grafički prikaz frekvencijske karakteristike trokutastog valnog oblika

U ovom mjerenju najtočniji rezultat nam je na 10 Hz. Ostali rezultati su prekoračili dopuštenu pogrešku. Također zbog pojave viših harmonika.

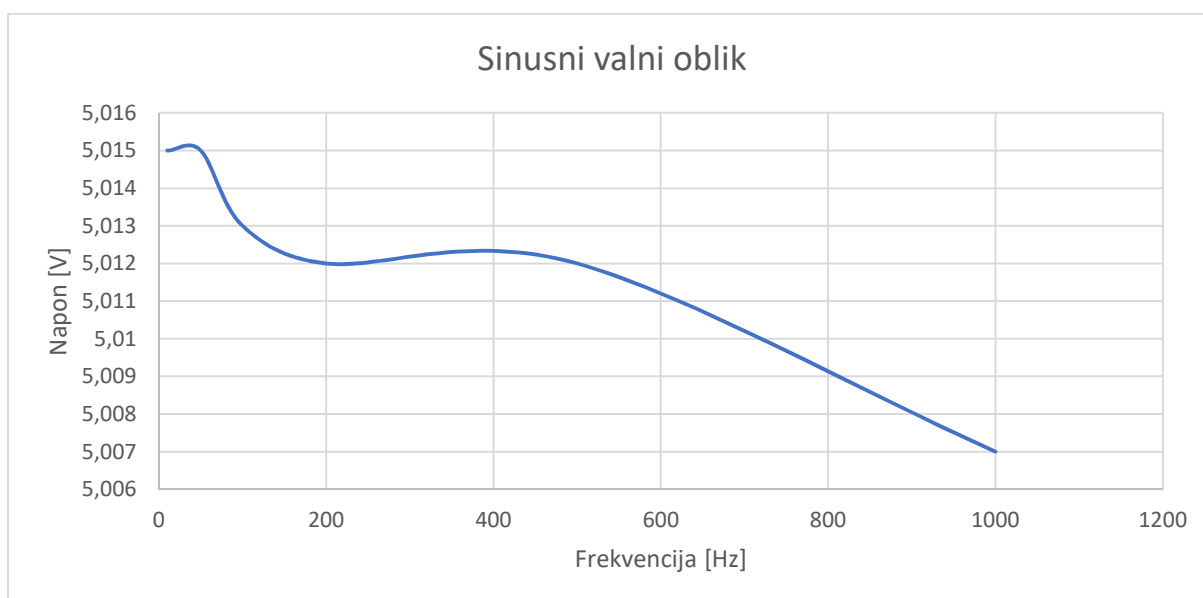
Vidljivo je da je ovaj uređaj namijenjen za mjerenja izmjeničnih veličina sinusnog valnog oblika te kako na njemu daje najtočnije rezultate.

5.3. Voltcraft VC-440 E TRMS

Mjerenja i frekvencijske karakteristike za digitalni ručni mjerni instrument sa TRMS-om VC-440 E.

Sinusni valni oblik						
f [Hz]	10	50	100	200	500	1000
U [V]	5,015	5,015	5,013	5,012	5,012	5,007
Pogreška [%]	0,3	0,3	0,26	0,24	0,24	0,14

Tablica 5.7. - Mjerenje sinusnog valnog oblika

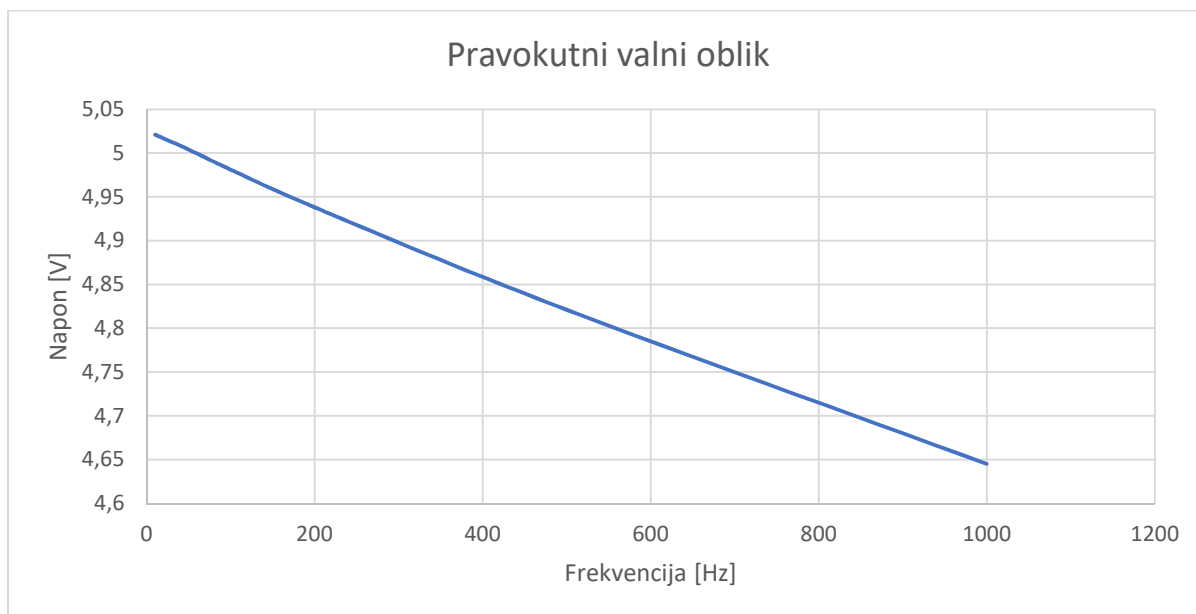


Slika 5.7. - Grafički prikaz frekvencijske karakteristike sinusnog valnog oblika

U ovom mjerenju korišten je digitalni mjerni uređaj koji mjeri srednju vrijednost. Prilikom mjerenja sinusnog valnog oblika nešto veću pogrešku je činio na manjim frekvencijama, ali je sve unutar granica normale. Graf karakteristike je približan onome kakav smo i očekivali.

Pravokutni valni oblik						
f [Hz]	10	50	100	200	500	1000
U [V]	5,021	5,004	4,981	4,938	4,821	4,645
Pogreška [%]	0,42	0,08	-0,38	-1,24	-3,58	-7,1

Tablica 5.8. – Mjerenje pravokutnog valnog oblika

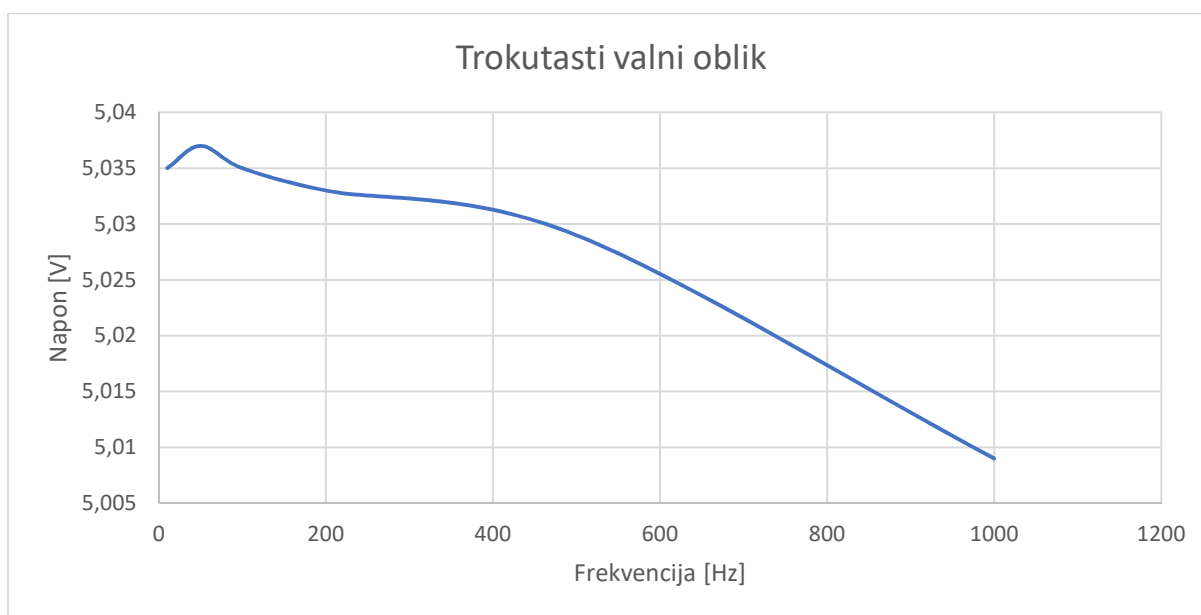


Slika 5.8. – Grafički prikaz frekvencijske karakteristike pravokutnog valnog oblika

Prilikom obavljanja mjerenja za pravokutni valni oblik dobivene su najveće pogreške zbog pojave viših harmonika. Vidljivo je kako porastom frekvencije točnost mjerenja opada upravo zbog nastanka istih.

Trokutasti valni oblik						
f [Hz]	10	50	100	200	500	1000
U [V]	5,035	5,037	5,035	5,033	5,029	5,009
Pogreška [%]	0,7	0,74	0,7	0,66	0,58	0,18

Tablica 5.9. - Mjerenje trokutastog valnog oblika



Slika 5.9. - Grafički prikaz frekvencijske karakteristike trokutastog valnog oblika

Posljednje mjerenje rađeno je za trokutasti valni oblik. Rezultati ovog mjerenja su prihvatljivi za rad te je karakteristika približna onoj tipičnoj koju bi i očekivali.

Ovaj uređaj nam je dao najtočnije rezultate. Uz to smo primijetili da će nam dati točne rezultate mjerenja i ostati unutar granica pogreške iako mu povećamo frekvenciju preko njegovog opsega.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog završnog rada bio je mjerenje frekvencijskih karakteristika digitalnih i analognih voltmetara. U radu su opisani analogni i digitalni mjerni instrumenti te njihov princip rada. Mjerenje je rađeno na tri različita mjerna instrumenta proizvođača Voltcraft. Korištena su dva digitalna mjerna uređaja, Voltcraft VC250 i Voltcraft VC-440 E, te jedan analogni, Voltcraft VC-2030 A. Mjerenje je proces uspoređivanja nepoznate veličine sa prihvaćenom standardiziranom veličinom. Pogreške koje se događaju tokom mjerenja su: ljudske pogreške, systemske, slučajne pogreške i pogreške prilikom primjene uređaja. Faktori koji utječu na spomenute pogreške su: točnost, preciznost, rezolucija mjerenja, mjerni opseg i širina mjernog područja, osjetljivost, nesigurnost, ponovljivost i reproduktivnost.

Da bi se prikazao utjecaj frekvencije na analogne i digitalne voltmetre izvedeno je nekoliko mjerenja. Pomoću funkcijskog generatora Siglent SDG1025, kojeg smo uzeli kao referenti uređaj te smo se oslonili na njegovu preciznost zbog vrlo velike točnosti, induciran je stalni napon od 5 V. Na stezaljke generatora spojeni su mjerni uređaji zatim se frekvencija povećavala te se mijenja valni oblik. Nakon mjerenja podaci su uneseni u tablicu, a na temelju podataka iz tablica izračunava se pogreška. U konačnici mjerenja se prikazuju grafički te dobivamo frekvencijsku karakteristiku mjernih instrumenata. Najtočnija mjerenja postignuta su s mjernim uređajem Voltcraft VC-440 E koji mjeri efektivnu vrijednost napona. Takva stvar ne treba začuditi s obzirom da je on i po svojim karakteristikama najtočniji od ova tri navedena te u konačnici i najskuplji. Ovaj mjerni uređaj najvećih je problema imao sa pravokutnim valnim oblikom dok su sinusni i pravokutni ostali unutar granica pogreške. Iza njega po preciznosti je također digitalni mjerni uređaj Voltcraft VC250. Također je kao i Voltcraft 440 E najbolja mjerenja odradio u sinusnom valnom obliku dok su najveće pogreške bile u pravokutnom valnom obliku zbog pojave viših harmonika. Najtočnija mjerenja je izmjerio u rasponu frekvencije od 50 Hz do 500 Hz, a za sinusni valni oblik je i na 1000 Hz pokazao točnost. Najneprecizniji mjerni uređaj je analogni mjerni uređaj Voltcraft VC-2030 A. Njegova mjerenja su bili najtočnija u rasponu frekvencije između 50 Hz i 500 Hz, ali za razliku od prijašnja dva mjerna uređaja najnetočnije rezultate je mjerio u trokutastom valnom obliku dok je najtočnija mjerenja pokazao u pravokutnom valnom obliku.

Iz konačnih rezultata vidljivo je da su najtočnija mjerenja u rasponu frekvencije između 50 Hz i 400 Hz što je zapravo i prirodno područje ovih mjernih instrumenata. Dobiveni rezultati pokazatelj

su točnosti već poznate činjenice, a to je da su digitalni mjerni instrumenti daleko precizniji od analognih.

LITERATURA

- [1] V. Bego, Mjerenja u elektrotehnici, GRAPHIS, Zagreb, 2003.
- [2] D. Dorić, Mjerenja u elektrotehnici – stručni studij laboratorijske vježbe, FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA, Osijek, 2017.
- [3] N. Kularatna, Digital and analogue instrumentation testing and measurement, THE INSTITUTE OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY, London, 2003.
- [4] R.A. Witte, Electronic Test Instruments: Analog and Digital Measurements, PEARSON TECHNOLOGY GROUP, 2002.
- [5] A. Šantić, Elektronička instrumentacija, ŠKOLSKA KNJIGA, Zagreb, 1982.

SAŽETAK

U završnom radu pobliže su opisani analogni i digitalni mjerni uređaji te njihovi principi rada. Zatim su predstavljeni Voltcraftovi mjerni uređaji, VC-2030 A, VC250 i VC-440 E, koji su korišteni u praktičnom djelu rada, njihovi rasponi mjerenja i pogreške. Objasnjene su pogreške koje se javljaju u mjeriteljstvu, kako do njih dolazi te kako ih ispraviti ili umanjiti. U posljednjem djelu je prikazan praktični rad u kojem se mjerila, a na posljetku i grafički prikazala frekvencijska karakteristika mjernih uređaja.

Ključne riječi: analogni uređaj, digitalni uređaj, Voltcraft, pogreške, frekvencija, frekvencijska karakteristika

ABSTRACT

This paper closer describes analogue and digital measurement instruments and how they work. After that introduces Voltcraft measurement instruments, VC-2030 A, VC250 and VC-440 E, whic have been used in practical work, their measurement span and errors. Errors thath occur in measurements are explained, how they happend and how to minimize and correct them. In last part of paper is shown practick work in which are measured, and later graphicali presented frequency characteristic of measurement instruments.

Key words: analogue instrument, digital instrument, Voltcraft, errors, frequency, frequency characteristic

ŽIVOTOPIS

Hrvoje Kunčak rođen je 21.10.1997. u Osijeku, gdje i danas živi. Pohađao je Osnovnu Školu „Vijenac“, Osijek. Nakon završene osnovne škole odlučuje upisati Elektrotehničku i prometnu školu Osijek, smjer elektrotehničar. Stekavši zvanje elektrotehničara odlučuje upisati Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku na preddiplomski stručni studij elektrotehnike, smjer elektroenergetika.