

VISOKA TEHNIČKA ŠKOLA
STRUKOVNIH STUDIJA
SUBOTICA

Mr. Gal Đula

PRIRUČNIK
ZA LABORATORIJSKE VEŽBE
IZ PREDMETA:
MERENJE-ELEKTRO

RUKOPIS
Preradio: dr. Nađ Karolj

Subotica, 2015.

Predgovor

Predmet Merenje veoma je obiman i sastoji se od više oblasti. U okviru ovog predmeta studenti se susreću sa mnogo novih, do sada nepoznatih ili manje poznatih terminologija. Da bi studenti što lakše i bolje savladali gradivo, nastava se izvodi u okviru teorijskih predavanja, auditornih, računarskih i laboratorijskih vežbi.

Laboratorijski praktikum nastao je kao rezultat potrebe da se poboljša kvalitet laboratorijskih vežbi iz predmeta Merenje koji se na Višoj tehničkoj školi sluša u trećem semestru na smerovima Automatika i Elektronika. Sadržaj vežbi usklađen je sa nastavnim planom i programom ovoga predmeta i raspoloživom instrumentacijom. Svaka vežba sadrži cilj, zadatak, merne šeme sa kratkim objašnjenjem rada, specifikaciju merne opreme i materijala, te tabele i dijagrame pripremljene za obradu i prezentaciju rezultata merenja. Vežbe su koncipirane tako da kod studenata razviju smisao za praktičan i samostalan rad.

Zahvalnost za niz korisnih sugestija autor duguje Mr. Nađ Karolju, kao i kolegama koji su pokazali interesovanje za izdavanje Praktikuma..

Subotica, 2013.

Autor

PRAVILNIK LABORATORIJE ZA MERENJE

1. Osnovna pravila

1. U laboratoriji može da radi, odnosno vrši merenja, samo student koji je proučio pravilnik laboratorije za merenje i pismeno se izjasnio da prihvata ta pravila.
2. Studenti treba da pripreme gradivo iz "Priručnika za laboratorijske vežbe". Studenti koji se nisu adekvatno pripremili, ne mogu da prisustvuju laboratorijskim vežbama.
3. U slučaju izostanka propuštene vežbe moraju se nadoknaditi.
4. Sve kvarove koje se primete u toku merenja treba odmah prijaviti laborantu.
5. Za štetu na instrumentima i priboru nastalu usled nemarnosti, materijalno odgovara onaj koji je štetu prouzrokovao.
6. U slučaju nastanka štete potrebno je napisati izveštaj i predati ga laborantu.
7. U toku merenja u laboratoriji mora da vlada tišina. Razgovarati se može samo u meri koliko je potrebno za rad.
8. Nakon merenja spremiti pribor i radno mesto.

2. Postupak merenja i izrada zapisnika o merenju

1. Merenje obavlja cela grupa zajedno.
2. Prilikom popunjavanja izveštaja:
 - Uneti tražene lične podatke,
 - Nabrojati instrumente i ostali pribor. Radi identifikacije i ponovljivosti merenja napisati: naziv instrumenta, klasu tačnosti proizvođački broj...
 - Rezultate merenja, očitane konstante i izračunate podatke uneti u odgovarajuću tabelu.
 - Rasipanje mernih tačaka, poznavajući zakonitosti fizike, odstraniti ucrtavanjem središnje krive.
 - Na osnovu rezultata merenja izvući zaključke i izvršiti analizu rezultata merenja.
3. Obaveštenja, koja se odnose na to: da li zapisnik o merenju treba izraditi u toku merenja ili kod kuće, samostalno ili cela grupa zajedno, daje laborant. Rok predaje zapisnika takođe određuje laborant.
4. Vežba se može smatrati završenim tek kada laborant prihvati zapisnik.
5. Studenti nakon završetka merenja dobijaju ocene. Ocenjivanje se vrši na osnovu pripremljenosti studenta, aktivnosti tokom vežbe i načinu izrade izveštaja merenja.

3. Bezbednosna pravila

1. U laboratoriji se radi i sa naponom opasnim po život, stoga treba voditi računa da se metalni delovi predmeta koji su pod naponom ne dodiruju!
2. Instrumente i pribor za merenje priključiti, uključiti napon ili komprimovani vazduh samo nakon odobrenja laboranta!
3. Instrumente i pribor treba smestiti tako, da se delovi koji su pod naponom ne mogu slučajno dodirivati!
4. Priključke kablova dobro pričvrstiti, odnosno zategnuti!
5. Nakon povezivanja instrumenata i pribora laborant mora prekontrolisati veze. Tek nakon provere smeju se merni priključci i instrumenti staviti pod napon!
6. Ne sme se stajati u neposrednoj blizini mašina koje imaju rotirajuće delove! Voditi računa da rotirajući delovi slučajno ne zgrabe deo odeće!
7. U slučaju udara struje ili neke druge opasnosti, treba prvo isključiti uređaje. Posle toga daje se prva pomoć nastradalim licama.
8. U slučaju požara treba odmah obavestiti laboranta i vatrogasce (po potrebi), a nakon toga upotrebiti aparate za gašenje požara koji se nalaze u zgradi.

4. Delovanje električne struje na organizam čoveka

Rad u laboratoriji je tako zamišljen da studenti ne moraju dodirivati delove pod naponom. Spajanja i raspajanja mernih sklopova obavljaju se u beznaponskom stanju. Ipak, može se dogoditi, da zbog oštećenja izolacije, ljudske greške i slično delovi merne opreme kojima se rukuje ili su izloženi dodiru (kućište) budu pod naponom. Prilikom dodira tog dela struja prolazi kroz telo čoveka i izaziva električni udar (šok).

Delovanje električne struje na organizam čoveka je veoma kompleksno. Prolazeći kroz organizam struja izaziva termičke manifestacije, elektrolitičko delovanje kao i biološko delovanje. Elektrolitičkim delovanjem električne struje razlažu se organske materije i tečnosti što stvara ozbiljne poremećaje u njihovom sastavu. Biološko delovanje el. struje izražava se u narušavanju unutrašnjih bioloških procesa u organizmu koji su tesno povezani sa njegovim funkcijama.

Delovanje električne struje na organizam čoveka zavisi od niza činilaca od kojih su najvažniji intenzitet struje, dužina trajanja proticanja električne struje, putanja prolaska struje kroz telo, vrsta i frekvencija struje i drugo.

Jačina električne struje ima znatan uticaj na ishod povrede. Kolika će biti vrednost struje koja protiče kroz čoveka, ne zavisi samo od napona nego i od električnog otpora tela. Otpor tela zavisi od niza faktora kao što su pol, starosna dob, fizička kondicija i drugo. Za živo tkivo karakterističan je i tzv psihogalvanski refleks, to jest smanjenje otpora tela usled emocija, nadražaja i slično. Na primer strah da uskoro kroz telo može proteći struja izaziva smanjenje otpora tela i pre nego je kroz telo prošla struja.

Ipak, treba navesti približno kakve efekte stvaraju pojedine vrednosti struje.

-do 0.5 mA čovek ne oseća delovanje električne struje (bezopasna struja). To je ona vrednost električne struje koja može proticati kroz organizam čoveka bez posledica;

-do 1.5 mA čovek počinje osećati delovanje struje. Delovanje naizmenične struje se manifestuje laganim peckanjem, a jednosmerne zagrevanjem. Ove struje ne izazivaju nikakvo oštećenje organizma, osim ako njihovo delovanje traje dugo;

-5 -10 mA čovek oseća grčenje šake. Sa povećanjem struje bol postaje sve veća i nastaje grčenje ruke;

-15 mA čovek zbog grčenja ne može da otpusti provodnik (neotpuštajuća struja);

-20 - 25 mA čovek oseća otežano disanje. Pri većoj struji to delovanje se povećava;

-30 - 80 mA nastaje grč disajnih mišića i prestanak disanja usled dužeg proticanja struje kroz organizam;

-0,1 A - 5 A proticanje električne struje uzrokuje fibrilaciju srca. Fibrilacija je haotično i nejednoliko grčenje srčanog mišića pri čemu srce prestaje da radi kao pumpa, odnosno počinje da treperi;

-preko 5 A ova vrednost struja ne izaziva fibrilaciju srca, međutim pri velikim strujama čak i kod kratkotrajnog delovanja nastupa paraliza disajnih organa.

Vrlo veliki uticaj na posledice, koje će nastupiti delovanjem električne struje na čoveka, ima vreme trajanja njenog proticanja. Povećanjem vremena proticanja električne struje raste lokalno razaranje, narušavaju se funkcije nekih organa i slično. Ti faktori se zbrajaju te se njihov uticaj na organizam povećava.

Put struje kroz telo čoveka ima značajnu ulogu na ishod povrede. Ako se na putu struje nađu vitalni organi (srce, pluća i mozak) onda je opasnost veoma velika. Najopasnije putanje su one koje na svom putu imaju srce (ruka – ruka i ruka – noga). Činjenica je da postoji i mnogo teža putanja koja, pored srca, na svom putu ima i mozak ali one su vrlo retke i smatra se da pri normalnom radu do njih praktično ne može i doći. Najmanja opasnost je na putanji noga – noga. U tom slučaju kroz srce čoveka prolazi cca 0,4 % ukupne struje.

Eksperimentalno je pokazano da ova ovisnost važi za frekvencije 0 – 60 Hz. Daljim povećanjem frekvencije smanjuje se opasnost od električne struje. S druge strane, istosmerne struje su 4 – 5 puta bezopasnije od naizmenične struje frekvencije 50 Hz. Ova uporedba važi za napone 200– 300 V, dok se kod većih napona opasnost od istosmerne struje povećava.

5. Pružanje prve pomoći pri udaru električne struje

Glavno načelo pri pružanju prve pomoći pri udaru električne struje je brzina akcije. To znači da treba, što je moguće pre, osloboditi ozleđenog od delovanja struje, a nakon toga odmah početi oživljavanje, ako ozleđeni ne diše ili mu srce ne kuca.

Oslobađanje ozleđenog pre svega treba pokušati isključenjem napona pomoću prekidača, osigurača i dr. Ako to nije moguće odvaja se ozleđeni od dodira napona pomoću prikladnog izoliranog predmeta ili se ozleđeni izvuče preko njegove odeće. Tom prilikom spasilac stane na suhu dasku, krpu odeće, starih novina i sl. te izbegava dodirivanje zidova konstrukcije ili drugog pomoćnika.

Nakon oslobađanja od delovanja električne struje treba utvrditi zdravstveno stanje unesrećenog, a pre svega da li krvvari, da li diše i da li mu radi srce. Ako ozleđeni krvvari prvo treba zaustaviti krvarenje.

Ako je povređeni pri svesti, bar trenutno mu ne pretila opasnost zbog prestanka disanja ili rada srca. Potrebno je znati da kod povreda od električne struje nesvestica može da nastupi tek kasnije, pa povređenog treba neprekidno posmatrati i poduzimati potrebne mere.

Ako se utvrdi da ozleđeni ne diše treba na samom mestu nesreće početi sa primenom oživljavanja putem umetnog disanja. Oživljavanje ima izgleda na uspeh samo ako prestanak disanja nije trajao duže od desetak minuta.

Ako se utvrdi da ozleđenom ne radi srce treba hitno otpočeti sa vanjskom masažom srca. To se može osetiti po tome da se kod ozleđenog ne može napipati puls, a zenice su proširene i ne reaguju na svetlost.

U slučaju prestanka disanja i prestanka rada srca treba kombinovati veštačko disanje i masažu srca. Poželjno je da to rade dve osobe.

Treba znati da čoveku u slučaju prestanka rada srca i prestanka disanja (klinička smrt) pomoć treba pružiti hitno. Trajanje kliničke smrti obično iznosi 4 – 6 minuta, a kod zdravog čoveka i do 7 – 8 minuta. Ako se u periodu trajanja kliničke smrti čoveku adekvatno pruži prva pomoć može mu se spasiti život. U protivnom, nastupa biološka smrt koja je nepovratna pojava.

U svim slučajevima potrebno je obavestiti zdravstvenu ustanovu i ozleđenog prevesti u zdravstvenu ustanovu iako izgleda da se ozleđeni potpuno oporavio.

5.1. Postupak oživljavanja

Ako se utvrdi da je to potrebno treba na samom mestu nesreće započeti sa oživljavanjem ozleđenog:

- umetno disanje u slučaju prestanka disanja,
- vanjsku masažu srca u slučaju prestanka rada srca,
- kombinovanu metodu oživljavanja u slučaju kliničke smrti (prestanak rada srca i prestanak disanja).

Treba znati da nakon nekoliko minuta nastupaju u mozgu nepopravljiva oštećenja pa oživljavanje treba hitno primeniti da bi imalo izgleda na uspeh.

5.1.1. Umetno disanje

Od metoda umetnog disanja najbolje je primeniti umetno disanje usta na nos ili usta na usta jer se ta metoda pokazala najuspešnijom.

Umetno disanje treba izvoditi brzo i određenim redosledom.

1. Ozleđenog treba položiti na leđa i brzim manevrom srednjeg prsta proveriti prohodnost usne šupljine i ždrijela.
2. Ako se ustanovi da su usta začepljena krvlju ili stranim predmetima glava se okrene u stranu, a usna šupljina se pročisti kažiprstom omotanim gazom.
3. Spasilac klekne pored glave ozleđenog, jednom rukom potisne vilicu ozleđenog napred i prema gore tako da donji zubi budu ispred gornjih a usne stisnute da ne propuštaju vazduh. Drugu ruku staviti na teme i glavu ozleđenog zabaciti što više natrag. Takav položaj glave zadržavati celo vreme umetnog disanja da bi se sprečilo upadanje jezika u ždrijelo.
4. Duboko udahnuvši spasilac obuhvati usnama nos ozleđenog i snažno mu uduva u nosnice udahnuti vazduh. Promatrati da li se prsni koš ozlećenog širi i kad to ustanovi odmaknuti svoja usta da bi ozleđeni izdahnuo vazduh prirodnim stezanjem grudnog koša.
5. Ako se prilikom uduvanja prsni koš ne širi znači da zrak ulazi u želudac. Čim se to primeti trbuh ozleđenog treba pritisnuti rukama da bi zrak izašao iz želuca.
6. Prvih deset uduvanja izvede se brzo i uzastopno, a zatim se uduvanje produži ravnomerno u ritmu normalnog disanja.
7. Umetno disanje mora se provoditi tako dugo dok se ne uspostavi prirodno disanje ili do dolaska lekara.
8. Zbog zamora treba zameniti osobu koja izvodi umetno disanje i to tako da se pri tom ne poremeti ritam umetnog disanja.

5.1.2. Vanjska masaža srca

Vanjsku masažu srca treba započeti odmah čim prestane ili jako oslabi rad srca. To se može ustanoviti po tome što se ne može napipati puls na arterijama vrata ili ruke, a ozleđenom se prošire zenice i ima mrtvački izgled.

Vanjsku masažu srca izvoditi na sledeći način:

1. Položiti ozlećenog leđima na tvrdi podlogu i kleknuti do njega sa njegove desne strane.
2. Preklopiti dlan jedne ruke preko nadlanice druge ruke i položiti ih na donji deo prsne kosti.
3. Svake sekunde pritisnuti tolikom snagom (bez udarca) da se prsni koš ulegne 3 – 5 cm. Nakon pritiska ruke opustiti čime se omogućava širenje grudnog koša i punjenje srca krvlju.
4. Vanjska masaža izvodi se od 5 do 10 minuta i ako se za to vreme ne uspostavi normalan rad srca izgledi za uspeh oživljavanja su vrlo mali
5. U toku masaže se povremenim pipanjem pulsa na vratu proverava je li uspostavljen rad srca.

5.1.3. Kombinovana metoda oživljavanja

U slučaju istovremenog prestanka disanja i rada srca treba primeniti kombinovanu metodu, što znači da treba vršiti umetno disanje i vanjsku masažu srca. Poželjno je da oživljavanje izvede dve osobe od kojih jedna izvodi umetno disanje a druga vanjsku masažu srca.

Najpre se povređeni položi na leđa i izvedu se 3 do 4 puta uduvanje vazduha kako je navedeno u uputstvu za umetno disanje. Zatim se izvede 15 do 20 pritisaka na grudni koš. Postupak se ponavlja dok se ne uspostavi normalan rad srca i disanje.

Posle završenog oživljavanja ozleđeni često ostaje u nesvesnom stanju pa mu prete smetnje u disanju i radu srca. Od tih opasnosti štitimo se postavljanjem ozleđenog u poseban položaj na bok. Jedna ruka ozleđenog se stavi pod glavu savijena u laktu, dok druga ruka slobodno leži pored tela. Jedna noga ostaje ispružena dok se druga savije u kolenu i koleno se osloni na podlogu.

LABORATORIJSKA VEŽBA BR.1

**MERENJE UNUTRAŠNJE OTPORNOSTI IZVORA
JEDNOSMERNOG NAPONA**

STUDENT

BR. INDEKSA

DATUM

VEŽBU PREGLEDAO

DATUM

OCENA

CILJ VEŽBE

Cilj vežbe je snimanje statičke karakteristike i određivanje unutrašnje otpornosti laboratorijskog izvora jednosmerne struje.

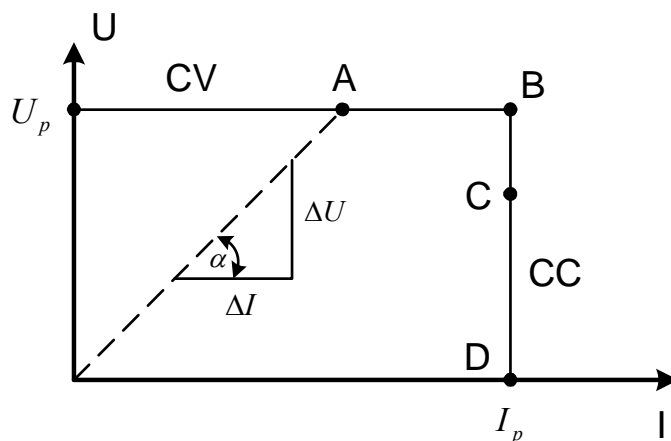
Kratak uvod iz teorije

Pod laboratorijskim izvorima podrazumevamo izvore struja, koji se koriste pri merenju i ispitivanju, bilo za napajanje samog mernog kruga, bilo za dobijanje pomoćnih napona potrebnih u raznim mernim sklopovima, uređajima i instrumentima.

Za napajanje mernog kruga i pomoćnih uređaja upotrebljavaju se na području jednosmerne struje baterije, akumulatori, ispravljači, stabilizirani izvori jednosmerne struje i jednosmerni generatori.

Stabilizirani izvori jednosmerne struje izrađuju se kao naponski (*CV Constans Voltage*) ili strujni (*CC Constans Current*) izvori raznih izlaznih snaga, retko iznad 500 W, za napone od nekoliko volti do nekoliko kilovolti i struje od nekoliko miliampera do više desetina ampera.

U većini primena neophodno je da se iznos izlaznog napona U_p stabiliziranog izvora jednosmernog napona može menjati kontinuirano. Često se traži i kontinuirano menjanje granice strujnog ograničenja I_p . Osnovni zahtev je, da izlazni napon bude stabilan tj., da se vremenski ne menja. Na *slici 1.1.* prikazana je idealna statička karakteristika izvora jednosmernog napona.



Slika 1.1. Idealna statička UI karakteristika izvora jednosmernog napona

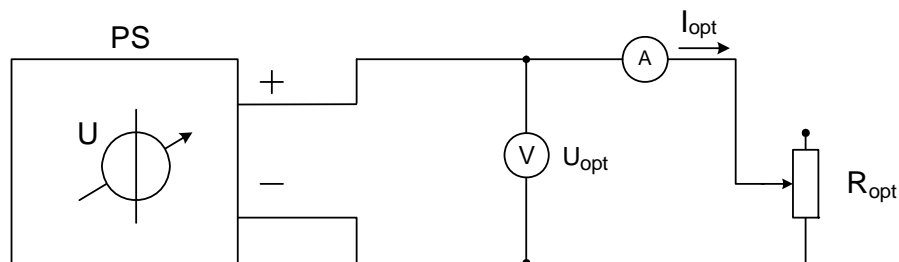
Specifikacija merne opreme

- Stabilizirani izvor jednosmernog napona PS :
- Hemijski izvor jednosmernog napona (baterija) BT:
- Univerzalni instrument :
- Regulacioni otpornik R_{opt} :
- Otporna dekada (opterećenje) R :

1. Zadatak

Snimanje statičke karakteristike stabiliziranog izvora jednosmernog napona

Potencijetrom U na izvoru podesiti napon praznog hoda ($R_{opt} = \infty$) na vrednost $U_p = \dots\dots\dots V$, a potencijetrom I pri kratkom spoju ($R_{opt}=0$) podesiti granicu strujnog ograničenja na $I_p = \dots\dots\dots mA$. Nakon toga spojiti stabilizirani izvor jednosmernog napona i instrumente, kao što je prikazano na slici 1.2.



Slika 1.2. Snimanje statičke karakteristike stabiliziranog izvora jednosmernog napona

Uz korišćenje regulacionog otpornika (opterećenje) R_{opt} podešavati struju opterećenja I_{opt} u opsegu od $0.1I_p$ do I_p . Očitati vrednosti pripadajućih napona U_{opt} . Rezultate merenja uneti u tabelu 1.

Na osnovu izvršenih merenja izračunati vrednosti za ΔU , R_u i uneti u tabelu 1.1.

Promena napona izvora zbog opterećenja (ΔU) za svaku ispitivanu tačku se računa kao:

$$\Delta U = U_p - U_{opt} .$$

Unutrašnji otpor izvora R_u za svaku tačku ispitivanja se računa kao:

$$R_u = \frac{\Delta U}{I_{opt}}$$

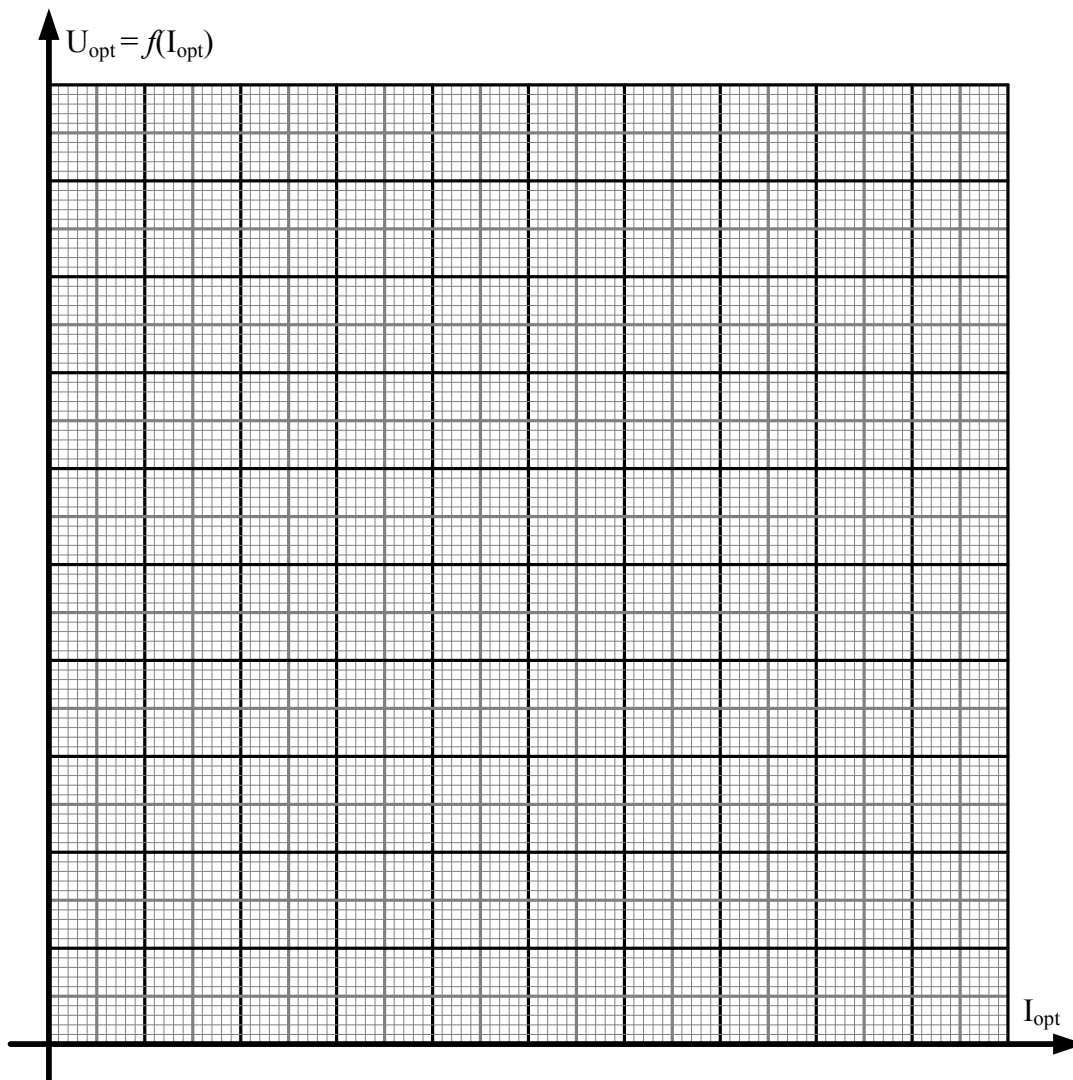
$$U_p = \dots\dots\dots V$$

$$I_p = \dots\dots\dots mA$$

Redni broj merenja	I_{opt} [mA]	U_{opt} [V]	ΔU [V]	R_u [Ω]
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Tabela 1.1. Rezultati ispitivanje stabiliziranog izvora jednosmernog napona

Na osnovu dobijenih rezultata nacrtati statičku karakteristiku izvora jednosmernog napona $U_{opt} = f(I_{opt})$ na slici 1.3 (naznačiti razmeru).



Slika 1.3. Statička UI karakteristika stabiliziranog izvora jednosmernog napona

Razmera :

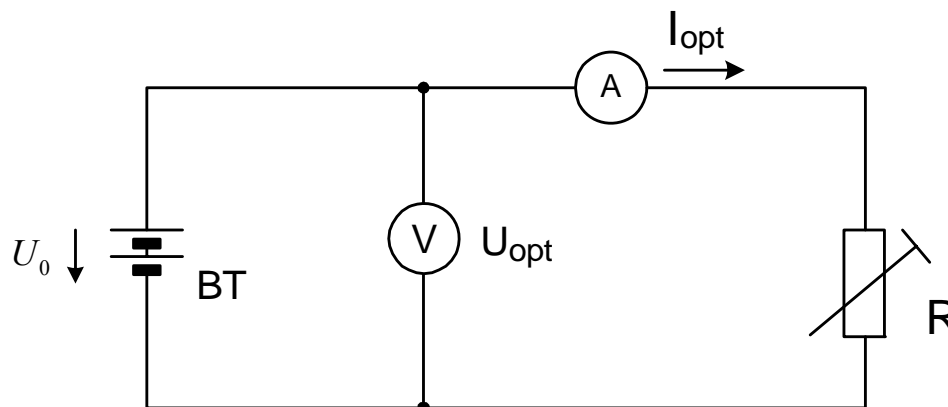
1mm =V

1mm =mA

2. Zadatak

Merenje unutrašnje otpornosti baterije

Spojiti hemijski izvor jednosmernog napona (bateriju) $U_0 = \dots\dots\dots V$, merne instrumente i pribor kao na slici 1.4.



Slika 1.4. Merenje unutrašnje otpornosti baterije

Izmeriti unutrašnju otpornost baterije za deset različitih vrednosti otpora opterećenja R , odnosno za deset različitih vrednosti struje opterećenja I_{opt} . Rezultate uneti u tabelu 1.2.

$U_0 = \dots\dots\dots V$

Redni broj merenja	R [Ω]	I_{opt} [mA]	U_{opt} [V]	ΔU [V]	R_u [Ω]
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

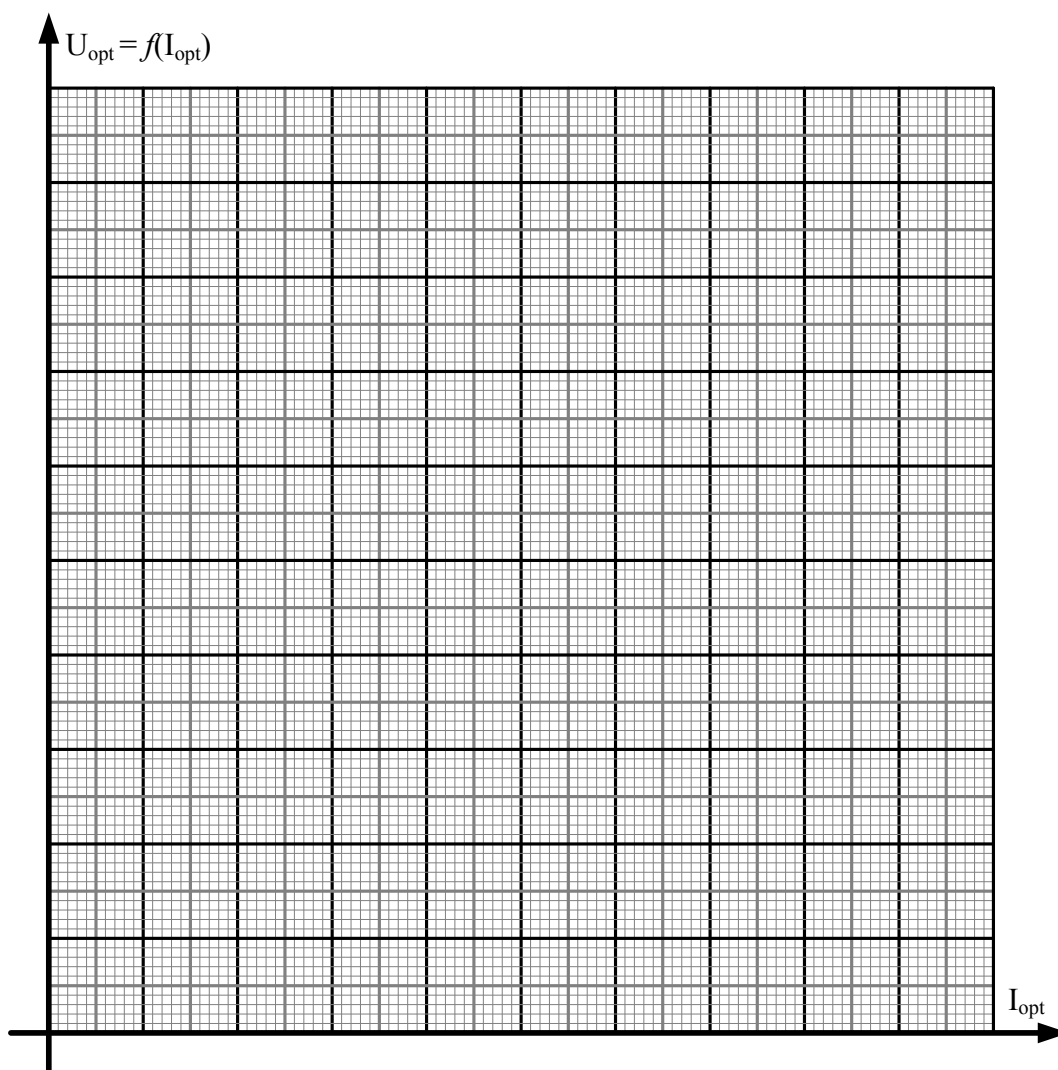
Tabela 1.2. Rezultati merenja unutrašnje otpornosti baterije

Na osnovu izvršenih merenja izračunati vrednosti za ΔU , R_u i uneti u tabelu 1.2. Za računanje istih koristiti izraze :

$$\Delta U = U_0 - U_{opt}$$

$$R_u = \frac{\Delta U}{I_{opt}}$$

Nacrtati **UI** dijagram na slici 1.5 (naznačiti razmeru).



Slika 1.5. Statička UI karakteristika baterije

Razmera:

1mm = V

1mm =mA

Zaključak

.....

.....

.....

.....

LABORATORIJSKA VEŽBA BR.2

**PROŠIRIVANJE MERNOG OPSEGA I ODREĐIVANJE
ULAZNE OTPORNOSTI AMPERMETRA I VOLTMETRA**

STUDENT

BR. INDEKSA

DATUM

VEŽBU PREGLEDAO

DATUM

OCENA

CILJ VEŽBE

Cilj vežbe je proširivanje mernog opsega analognog ampermetra pomoću paralelnog (šent) otpornika R_p , proširivanje opsega voltmetra pomoću serijskog otpornika (predotpornika) R_v te merenje ulazne otpornosti ovih instrumenata.

Kratak uvod iz teorije

Otklon instrumenta sa pokretnim kalemom zavisi od jednosmerne struje koja teče kroz njega. Ta struja je vrlo mala i da bi se postigao pun otklon, retko je potrebno više od 20 mA. Međutim, merni opseg može se proširiti upotrebom paralelno spoljenih otpornika (šent otpornika). Instrumenti sa pokretnim kalemom omogućavaju i merenja jednosmernog napona, jer se merenje napona može uz pomoć Omovog zakona svesti na merenje struje. Tu se odgovarajući merni opseg postiže pomoću predotpornika.

Specifikacija merne opreme

- Izvor jednosmernog napona PS :
- Instrument A1 :
- Instrument A2 :
- Otpornik R :

1. Zadatak

Proširivanje mernog opsega ampermetara

- Spojiti merne instrumente i pribor kao što je prikazano na slici 2.1. Paralelno sa ampermetrom (indikacionim instrumentom) A1 čiji je merni opseg $I_A = \dots$ mA a unutrašnja otpornost $R_A = \dots$ Ω priključen je šent otpornik R_p radi proširivanja mernog opsega na vrednost I , tako da je:

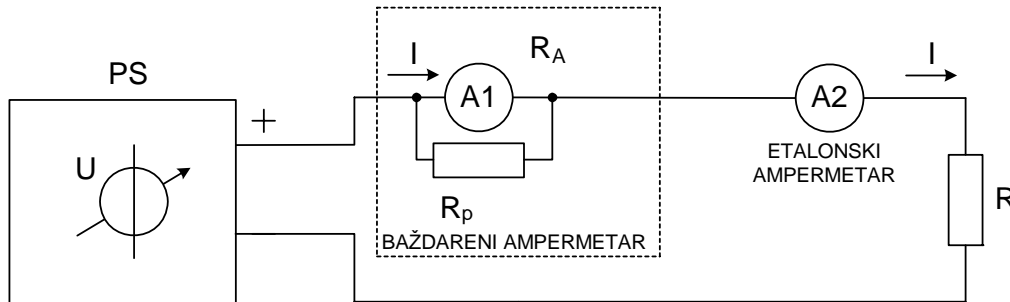
$$I \cdot \frac{R_A \cdot R_p}{R_A + R_p} = I_A \cdot R_A$$

Iz predhodne jednačine dobija se da je faktor proširenja opsega ampermetra:

$$n = \frac{I}{I_A} = \frac{R_A + R_p}{R_p}$$

- Za datu otpornost šenta $R_p = \dots$ Ω faktor opsega je $n = \dots$
- Kalibraciju pokazivanja α ampermetra A1 sa proširenim mernim opsegom provesti sa vrednostima struje $0 - I_{\max}$ koje se mere etalonskim ampermetrom A2. Jačina struje podešava se pomoću otpornika R (potencijometar ili kutija sa

dekadnim otpornicima), pri konstantnom naponu na laboratorijskom izvoru jednosmernog napona. Potrebna jačina struje može da se dobije i podešavanjem napona na izvoru, pri konstantnoj vrednosti R koja limitira I_{\max} u kolu. Rezultate merenja upisati u *tabelu 2.1*.



Slika 2.1. Proširivanje mernog opsega ampermetara

Redni broj merenja	Skretanje α ampermetra A1 [podeoka]	Pokazivanje ampermetra A2 [mA]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Tabela 2.1. Kalibracija ampermetra sa proširenim opsegom

2. Zadatak

Proširivanje mernog opsega voltmetra

- Spojiti mernu šemu kao na *slici 2.2*. Ampermetrom A sa mernim opsegom $I_A = \dots$ mA i unutrašnjom otpornošću $R_A = \dots \Omega$ može da se meri napon do $U = I_A \cdot R_A = \dots$ mV. Radi proširivanja opsega merenja napona na vrednost U priključen je serijski spojen predotpornik (dekada otpornika) R_s , tako da je:

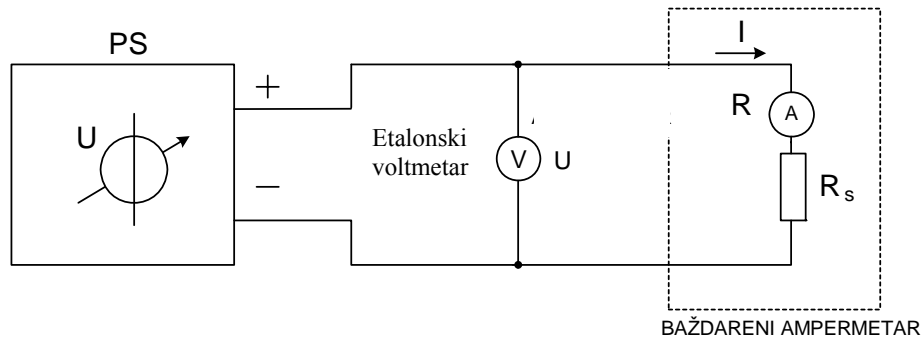
$$I_A = \frac{U}{R + R_s}$$

Iz predhodne jednačine dobija se:

$$R_s = R_A \left(\frac{U}{I_A \cdot R_A} - 1 \right) = R_A (m - 1).$$

- Odrediti otpornost R_s tako da faktor proširenja mernog opsega bude $m = \dots\dots\dots$ $R_s = \dots\dots\dots \Omega$
- Kalibrisati pokazivanje α ampermetra A za vrednosti proširenog mernog opsega $0 - U$.
- Rezultate merenja upisati u *tabelu 2.2*.

MERNA ŠEMA



Slika 2.2. Proširivanje mernog opsega voltmetara

Redni broj merenja	Skretanje α ampermetra A [podeoka]	Pokazivanje voltmetra U [V]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Tabela 2.2. Kalibracija ampermetra sa proširenim opsegom za merenje napona

3. Zadatak

Određivanje ulazne otpornosti voltmetara

Priključiti voltmetar kao na *slici 2.3*. Kada je prekidač u položaju 1 izmeriti napon:

$$I_1 \cdot R_V = U_1 = U$$

Zatim izmeriti isti napon kada je prekidač u položaju 2:

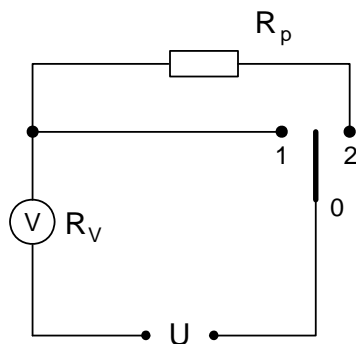
$$I_2(R_V + R_p) = U_2 + I_2 R_V \frac{R_p}{R_V} = U_2 \left(1 + \frac{R_p}{R_V}\right) = U$$

Iz gornjih jednačina se dobija da je ulazna otpornost voltmetra:

$$U_2 \left(1 + \frac{R_p}{R_V}\right) = U_1 \quad \Rightarrow U_2 + U_2 \frac{R_p}{R_V} = U_1$$

$$\Rightarrow U_2 \frac{R_p}{R_V} = U_1 - U_2 \quad \Rightarrow R_p = R_V \frac{U_1 - U_2}{U_2}$$

$$\Rightarrow R_V = R_p \frac{U_2}{U_1 - U_2}$$



Slika 2.3. Merenje ulazne otpornosti voltmetra

REZULTATI MERENJA

$$U_1 = \dots\dots\dots$$

$$U_2 = \dots\dots\dots$$

$$R_p = \dots\dots\dots$$

$$R_V = R_p \cdot \frac{U_2}{U_1 - U_2} = \dots\dots\dots \Omega$$

4. Zadatak

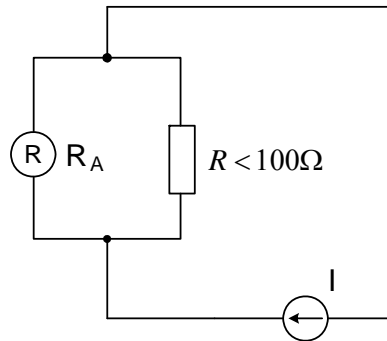
Određivanje ulazne otpornosti ampermetara

Priključiti ampermetar na strujni izvor kao na *slici 2.4*. Iz jednakosti napona

$$I \frac{R \cdot R_A}{R + R_A} = I_A R_A$$

dobija se da je ulazna (unutrašnja) otpornost ampermetra:

$$R_A = \frac{I - I_A}{I_A} R$$



Slika 2.4. merenje ulazne otpornosti ampermetra

REZULTATI MERENJA

$$I = \dots\dots\dots$$

$$I_A = \dots\dots\dots$$

$$R = \dots\dots\dots$$

$$R_A = \frac{I - I_A}{I_A} R = \dots\dots\dots \Omega$$

LABORATORIJSKA VEŽBA BR.3
STATISTIČKA OBRADA REZULTATA MERENJA

STUDENT

BR. INDEKSA

DATUM

VEŽBU PREGLEDAO

DATUM

OCENA

CILJ VEŽBE

Cilj vežbe je statistička analiza rezultata merenja radi procene stvarne vrednosti merene veličine i merne nesigurnosti.

Kratak uvod iz teorije

U toku proizvodnje objekta merenja (otpornika, kondenzatora induktiviteta itd.) zbog uticaja različitih faktora njihova prava vrednost se razlikuje od nominalne (naznačene) vrednosti, odstupanje se zove *tolerancija* i izražena je u procentima.

Zadatak

Pomoću ommetra izmeriti otpornost $n = 27$ otpornika jednake nominalne otpornosti R_n i rezultate merenja upisati u tabelu 3.1. Smatrajući, da su pri merenju otklonjene sve sistematske greške i da su prisutne samo slučajne greške. Odrediti:

1. aritmetičku sredinu rezultata merenja
2. standardnu devijaciju rezultata merenja
3. relativnu standardnu devijaciju rezultata merenja
4. eventualne grube greške po kriterijumu 3σ
5. standardnu devijaciju aritmetičke sredine
6. relativnu standardnu devijaciju aritmetičke sredine
7. granice intervala poverenja (statističku sigurnost) određene sa : $\pm\sigma, \pm2\sigma, \pm3\sigma$, srednju, verovatnu prosečnu i maksimalnu grešku
8. granice intervala poverenja aritmetičke sredine za $\pm\sigma, \pm2\sigma, \pm3\sigma$
9. grupisati rezultate merenja u tabeli 3.2 i na slici 3.1 nacrtati histogram merenja. Na osnovu histograma na istoj slici prikazati približan izgled Gausove (normalne) raspodele.

Specifikacija merne opreme

- Otpornici, 25 komada jednake nominalne otpornosti R_n :
- Digitalni univerzalni merni instrument

i	x_i	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
I.Σ			
II.Σ			
III.Σ			

Tabela 3.1. Rezultati merenja

1. Aritmetička sredina rezultata n merenja

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \dots\dots\dots$$

2. Procena standardne devijacije rezultata merenja

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \dots\dots\dots$$

3. Procena relativne standardne devijacije rezultata merenja

$$r = \frac{s}{\bar{x}} = \dots\dots\dots \quad \text{ili} \quad r = \frac{s}{\bar{x}} 100\% = \dots\dots\dots$$

4. Ocena grube greške

- po kriterijumu 3σ (smatrati da je $\sigma = s$)

$$\bar{x} - 3\sigma \leq x \leq \bar{x} + 3\sigma$$
$$\dots\dots\dots \leq x \leq \dots\dots\dots$$

Prema tome

U slučaju, da među pojedinačnim rezultatima merenja postoje one, koje verovatno sadrže grubu grešku eliminisati ih, i izračunati nove vrednosti aritmetičke sredine i standardne devijacije rezultata merenja.

5. Procena standardne devijacije aritmetičke sredine

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \dots\dots\dots$$

6. Procena relativne standardne devijacije aritmetičke sredine

$$r_{\bar{x}} = \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}} = \dots\dots\dots \quad \text{ili} \quad r_{\bar{x}} = \frac{s_{\bar{x}}}{\bar{x}} 100\% = \dots\dots\dots$$

7. Granice poverenja rezultata merenja (smatrati da je $\sigma = s$)

- $\bar{x} \pm \sigma = \dots\dots\dots$ verovatnoća 68,3%
- $\bar{x} \pm 2\sigma = \dots\dots\dots$ verovatnoća 95,43%
- $\bar{x} \pm 3\sigma = \dots\dots\dots$ verovatnoća 99,73%
- $\bar{x} \pm$ srednja greška ($m = \sigma$)..... verovatnoća 68,3%
 $\bar{x} \pm m = \dots\dots\dots$
- $\bar{x} \pm$ verovatna greška ($\rho = 0.674\sigma$)=..... verovatnoća 50%
 $\bar{x} \pm \rho = \dots\dots\dots$
- $\bar{x} \pm$ prosečna greška ($t = 0.798\sigma$)=..... verovatnoća 57,6%
 $\bar{x} \pm t = \dots\dots\dots$
- $\bar{x} \pm$ maksimalna greška ($= 3\sigma$)=..... verovatnoća 99,73%
 $\bar{x} \pm 3\sigma = \dots\dots\dots$

8. Granice poverenja aritmetičke sredine

- $\bar{x} \pm \frac{s}{\sqrt{n}} = \dots\dots\dots$ granice poverenja sa verovatnoćom 68,3%
 $\bar{x} \pm \frac{s}{\sqrt{n}} = \dots\dots\dots$
- $\bar{x} \pm \frac{2s}{\sqrt{n}} = \dots\dots\dots$ granice poverenja sa verovatnoćom 95,43%
 $\bar{x} \pm \frac{2s}{\sqrt{n}} = \dots\dots\dots$
- $\bar{x} \pm \frac{3s}{\sqrt{n}} = \dots\dots\dots$ granice poverenja sa verovatnoćom 99,73%
 $\bar{x} \pm \frac{3s}{\sqrt{n}} = \dots\dots\dots$

9. Grupisanje pojedinačnih rezultata merenja

Ako je pojedinačnih rezultata mnogo, često grupišemo približno iste rezultate merenja. Grupisanje provodimo tako, da područje u kojem se rasipaju rezultati, podelimo na više jednakih delova (grupa). Obično se odabire neparan broj grupa, a njihov broj k zavisi od broja pojedinačnih rezultata merenja n .

Broj grupa k treba da bude između 5-25 i računa se pomoću sledećeg izraza :

$$k \approx \sqrt{n}.$$

Svaka grupa je obeležena sa rednim brojem $m=1,2,\dots,k$.

Širina grupa d se određuje na osnovu raspona između najmanjeg $x_{i\min}$ i najvećeg $x_{i\max}$ rezultata merenja

$$d = \frac{x_{i\max} - x_{i\min}}{k}$$

$$\bar{x}_m = \frac{x_{md} + x_{mg}}{2}$$

i zajedno donjom x_{md} i gornjom granicom x_{mg} grupe uneti u tabelu 3.2. Za svaku merenu vrednost iz tabele 3.1. utvrditi kojoj grupi pripada i dodati jednu vertikalnu crticu u četvrtoj koloni tabele. Za svaki peti rezultat merenja koji pripada toj grupi dodati horizontalnu crticu. Sabiranjem broja crtica za svaku grupu određuje se *apsolutna frekvencija grupe* f_i , odnosno broj rezultata merenja u grupi. Suma svih frekvencija grupa, jednaka je broju merenja

$$\sum_{i=1}^m f_i = n.$$

Relativna frekvencija grupe f_r računa se kao odnos apsolutne frekvencije f_i i broj rezultata merenja.

$$f_r = \frac{f_i}{n}$$

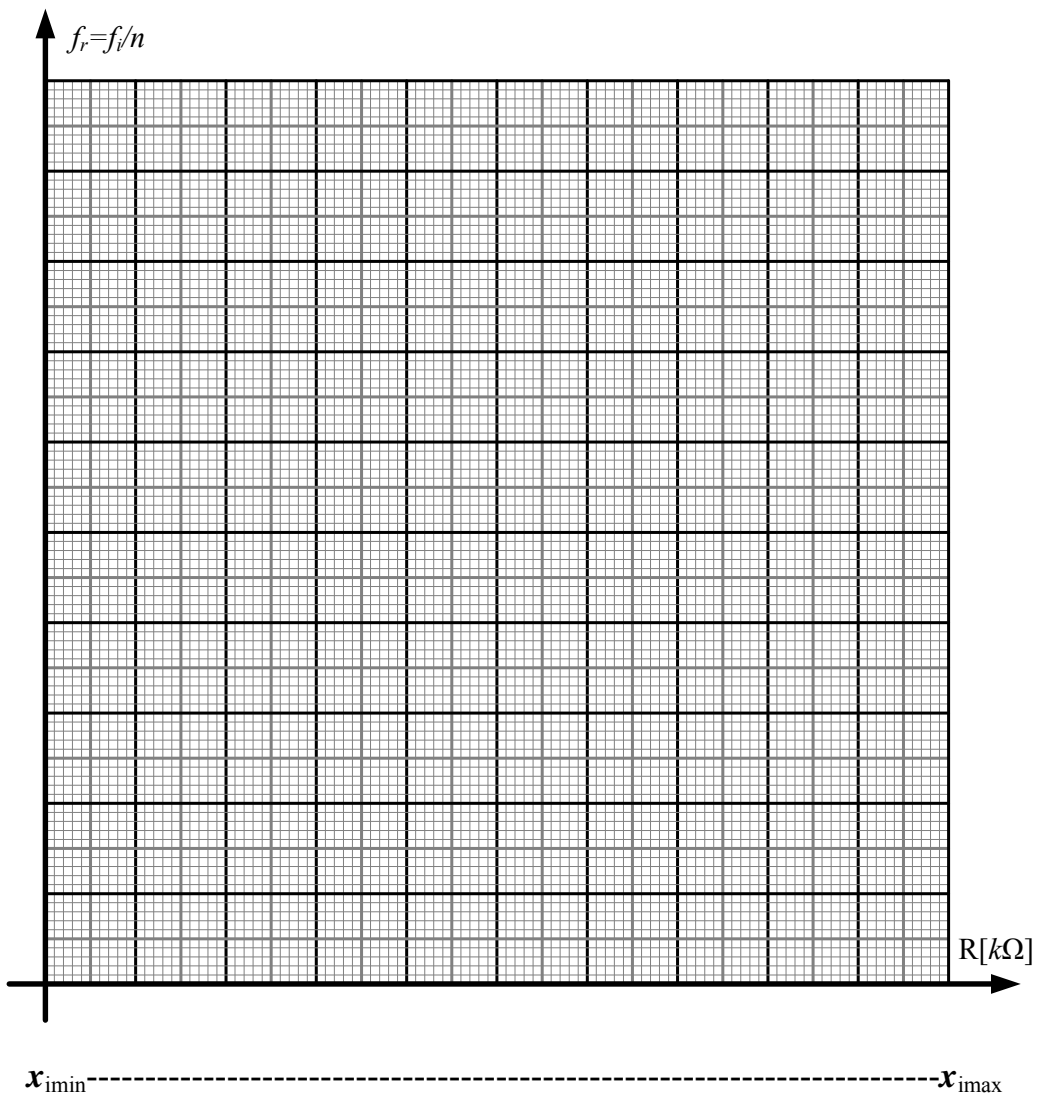
Suma svih relativnih frekvencija mora biti jednaka jedinici

$$\sum_{i=1}^m f_r = 1$$

Ako u pravougaonom kordinatnom sistemu na apscisu nanosimo merenu veličinu x_i i označimo sredine i širine grupa, a na ordinatu se nanosi pripadajuća relativna frekvencija, dobija se *histogram* merenja (slika 3.1).

m	\bar{x}_m	$x_{md} + x_{mg}$	Broj elemenata u grupi	f_i	f_r
1					
2					
3					
4					
5					
			Σ	25	1

Tabela 3.2. Grupisani rezultati pojedinačnih merenja



Slika 3.1. Histogram i normalna raspodela rezultata merenja otpornosti

LABORATORIJSKA VEŽBA BR.4
BAŽDARENJE INSTRUMENATA

STUDENT

BR. INDEKSA

DATUM

VEŽBU PREGLEDAO

DATUM

OCENA

CILJ VEŽBE

Cilj ove vežbe je upoznavanje sa metodama baždarenja instrumenata i klasifikacija prema klasi tačnosti. Pravilno prikazivanje rezultata merenja (grafički) i eliminacija sistematske greške korekcijom.

Kratak uvod iz teorije

Nijedan merni instrument nije u stanju da obavlja merenje bez greške. Greška mernog instrumenta je njegova najvažnija metrološka karakteristika i sigurno je da instrument sa malom greškom merenja poseduje visok kvalitet i svih drugih metroloških karakteristika.

Apsolutna greška mernog instrumenta jednaka je razlici između pokazivanja mernog instrumenta i prave vrednosti merene veličine

$$G_a = x - x_0$$

gde je:

x izmerena vrednost merene veličine,
 x_0 prava vrednost merene veličine

Relativna greška mernog instrumenta jednaka je odnosu apsolutne greške mernog instrumenta i prave vrednosti merene veličine:

$$G_r = \frac{G_a}{x_0} = \frac{x - x_0}{x_0}$$

Ako smo do dogovorene prave vrednosti merene veličine došli pomoću aritmetičke sredine niza merenja, onda imamo sledeće relacije za apsolutnu i relativnu grešku mernog instrumenta

$$G_a = x_i - \bar{x}$$

$$G_r = \frac{G_a}{\bar{x}} = \frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}}$$

gde je:

x_i jedan od rezultata iz niza ponovljenih merenja,
 \bar{x} aritmetička sredina rezultata merenja.

Uobičajeno je da se relativna greška mernog instrumenta izražava u procentima kao

$$G_r(\%) = \frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}} \cdot 100$$

Iz apsolutne greške mernog instrumenta može se izračunati **korekcija mernog instrumenta** k_r koja je po iznosu jednaka ovoj greški, ali je suprotnog predznaka:

$$k_r = -G_a$$

Linearnost mernog instrumenta je sposobnost mernog instrumenta da generiše odziv kao linearnu funkciju ulaznog signala.

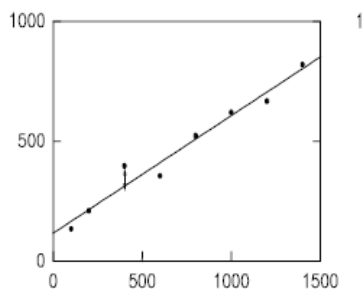
Greška linearnosti je maksimalno odstupanje odziva mernog instrumenta od optimalne prave, dobijene povlačenjem kroz merne tačke kalibracije. Greška linearnosti se određuje maksimalnim odstupanjem od optimalne prave i definiše se kao:

$$G_L(\%) = \frac{\max |y_i - (ax_i + b)|}{y_{\max}} \cdot 100$$

U poslednjoj jednačini je y_i izmerena i -ta vrednost za x_i ulaz, y_{\max} najveća vrednost izlaza koja može da se izmeri instrumentom, a a i b nagib i odsečak optimalne prave. Optimalna prava (linearna regresija) se dobija izračunavanjem parametara (nagib a i odsečak b) koristeći metod najmanje kvadratne greške:

$$\min \sum_{i=1}^N \varepsilon_i = \min \sum_{i=1}^N [y_i - (ax_i + b)]^2$$

ε_i – Kvadrat greške u odnosu na optimalnu pravu



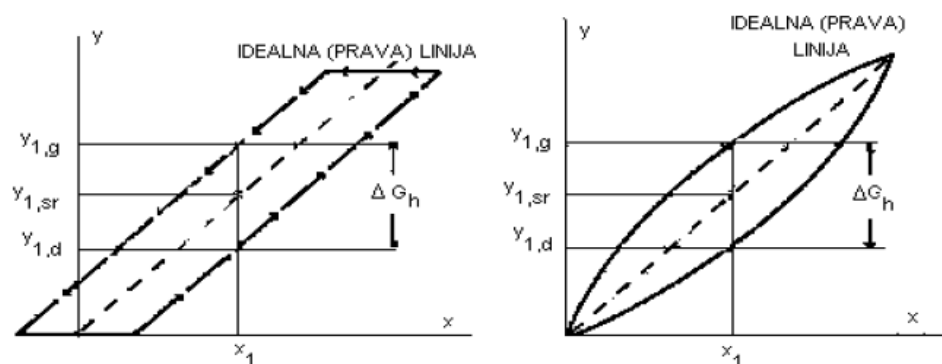
Slika 4.a Ilustracija optimalne prave

Histerezis mernog instrumenta je osobina mernog instrumenta da njegov odziv na dati ulazni signal zavisi od redosleda prethodnih ulaznih signala.

Histerezis je pojava koja dovodi do nepovoljnog pokazivanja instrumenta u zavisnosti od načina promene ulazne veličine pri merenju. Mera histerezisa je maksimalna razlika izlaznih vrednosti koje se dobijaju za istu ulaznu vrednost.

$$G_{H(\%)} = \frac{y_g - y_d}{y_{\max}} \cdot 100$$

gde su y_g i y_d izmerene vrednosti za isti ulazni signal.



Slika 4.b Ilustracija za određivanje greške histerezisa

Svedena relativna greška mernog instrumenta jednaka je odnosu apsolutne greške mernog instrumenta i *jedne određene* x_{DV} (dogovorene) vrednosti:

$$G_{SV(\%)} = \frac{x - x_0}{X_{DV}} \cdot 100$$

Dogovorena vrednost je, za pokazne instrumente sa nulom na početku skale, jednaka gornjoj granici mernog opsega. Za instrumente sa nulom u sredini skale ova vrednost jednaka je sumi apsolutnih vrednosti gornje i donje granice mernog opsega. Za instrumente sa nulom izvan skale ova vrednost jednaka je razlici gornje i donje granice mernog opsega.

Svedena relativna greška prihvaćena je kao najčešći kriterij za klasifikaciju analognih mernih instrumenata u pogledu tačnosti. Prema IEC propisima merni instrumenti se svrstavaju u osam *klasa tačnosti K* sa sledećim oznakama:

0,05 ; 0,1 ; 0,2 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2,5 ; 5

Kada se instrument upotrebi unutar svog mernog opsega pri referentnim uslovima njegova svedena relativna greška ne sme prelaziti granice navedene u tabeli 4.1.

Klasa tačnosti K	0,05	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2,5	5
Granice greške G_{SV}	$\pm 0,05\%$	$\pm 0,1\%$	$\pm 0,2\%$	$\pm 0,5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 1,5\%$	$\pm 2,5\%$	$\pm 5\%$

Tabela 4.1.

Nakon duže upotrebe, instrumenti se overavaju (baždare) kako bi se proverile granice njihovih grešaka. Zavisno od klasa tačnosti instrumenti se baždare na sledeće načine:

- a) poređenjem sa instrumentom manje klase tačnosti,
- b) kalibratorima, to jest izvorima tačno poznatog napona, odnosno struje,
- c) kompenzatorima.

Instrumenti se baždare prema zahtevima iz važećih propisa, odnosno standarda. Pre baždarenja kontrolira se stanje ispravnosti instrumenta jer se neispravni instrumenti ne baždare.

Kod metode poređenja sa instrumentom manje klase tačnosti treba voditi računa da etalonski instrument ima bar za dva do tri reda bolju klasu tačnosti i da se merni opsezi poređenih instrumenta ne razlikuju više od 25 %.

Zadatak

Metodom poređenja sa etalon instrumentom ispitati tačnost datog ampermetra i voltmetra.

Specifikacija merne opreme

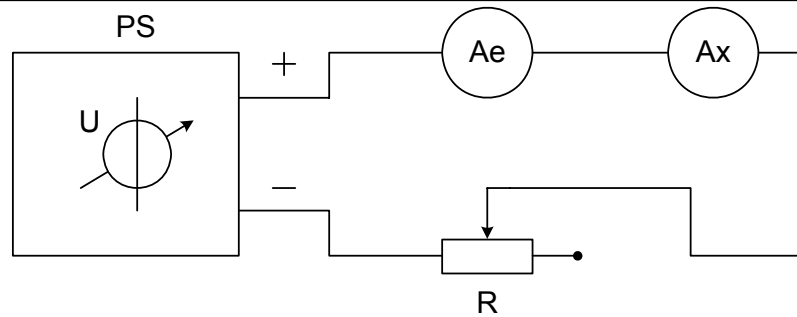
- Laboratorijski izvor jednosmernog napona PS :
- Instrument Ae :
- Instrument Ax :
- Instrument Ve :
- Instrument Vx :
- Regulacioni otpornik:

Baždarenje ampermetra

Izvršiti baždarenje ampermetra **Ax** pri čemu se baždari samo, jedan *merni opseg* MO_{Ax} (npr. 50mA). Prema tome, odrediti pogodni merni opseg etalon ampermetra **Ae** i odrediti konstatu baždarenog instrumenta **Ax**. Proveriti da li instrument **Ax** pokazuje nulu? Ako je potrebno, podesiti nulu. Izvršiti spoljašnji pregled ispitivanog instrumenta i zahtevane podatke uneti u *tabelu 4.2*.

Podaci o instrumentima	Ax	Ae
Vrsta instrumenta		
Jedinica merene veličine (simbol)		
Naziv ili znak proizvođača		
Oznaka tipa		
Fabrički broj		
Oznaka klase		
Vrsta struje		
Merni sistem (simbol)		
Merni opseg		
Položaj upotrebe		
Ispitni napon (simbol)		

Tabela 4.2. Osnovi podaci o ampermetrima



Slika 4.1. Ispitivanje ampermetra poređenjem

Postaviti ručicu regulacionog otpornika R u položaj maksimalne otpornosti. Pomoću otpornika R polako povećavati struju, sve dok kazaljka ampermetra Ax ne dostigne prvu glavnu marku skale (10% od mernog opsega MO_{Ax}). Voditi računa da se označenoj vrednosti prilazi sa leve strane i da se struja menja tako polako, da ne dođe do oscilovanja kazaljke. Očitati pokazivanje etalon instrumenta i uneti ga u kolonu $\uparrow I_e$ u tabeli 4.3. Opisani postupak ponoviti za svaku glavnu marku na skali ispitivanog ampermetra Ax . Zadržati struju na maksimalnoj vrednosti 5 minuta. Ponoviti opisano ispitivanje, ali sada polako smanjujući struju prilazeći glavnim markama skale ispitivanog ampermetra isključivo sa desne strane. Odgovarajuća očitavanja etalon instrumenta unositi u kolonu $\downarrow I_e$ u tabelu 4.3.

Na osnovu izvršenih merenja izračunati i uneti u tabelu 4.3 vrednosti za \bar{I}_e , G_a , k_r , $G_{r(\%)}$ i $G_{sv(\%)}$.

Vrednosti u koloni \bar{I}_e su, aritmetička sredina odgovarajućih vrednosti iz kolona $\uparrow I_e$ i $\downarrow I_e$;

$$\bar{I}_e = \frac{\uparrow I_e + \downarrow I_e}{2}$$

Apsolutna greška G_a za svaku ispitivanu tačku skale se računa kao:

$$G_a = I_x - \bar{I}_e$$

Korekcija za svaku ispitivanu tačku se određuje kao:

$$k_r = -G_a$$

Procentualna relativna greška $G_{r(\%)}$ i svedena relativna greška $G_{sv(\%)}$ za ova ispitivanja se računaju kao:

$$G_r(\%) = \frac{I_x - \overline{I_e}}{\overline{I_e}} \cdot 100 \quad \text{i} \quad G_{SV}(\%) = \frac{I_x - \overline{I_e}}{I_{x \max}} \cdot 100$$

$I_{x \max}$ -Gornja granica odabranog merenog opsega instrumenta Ax

Konstanta očitavanja instrumenta C_{AX} određuje se kao odnos maksimalne merene veličine $I_{x \max}$ i maksimalnog otklona kazaljke $\alpha_{x \max}$, na datom mernom opsegu MO_{AX} .

$$C_{AX} = \frac{I_{x \max}}{\alpha_{x \max}}$$

Merena veličina I_x se određuje kao umnožak konstante očitavanja instrumenta C_{AX} i otklona kazaljke α_x

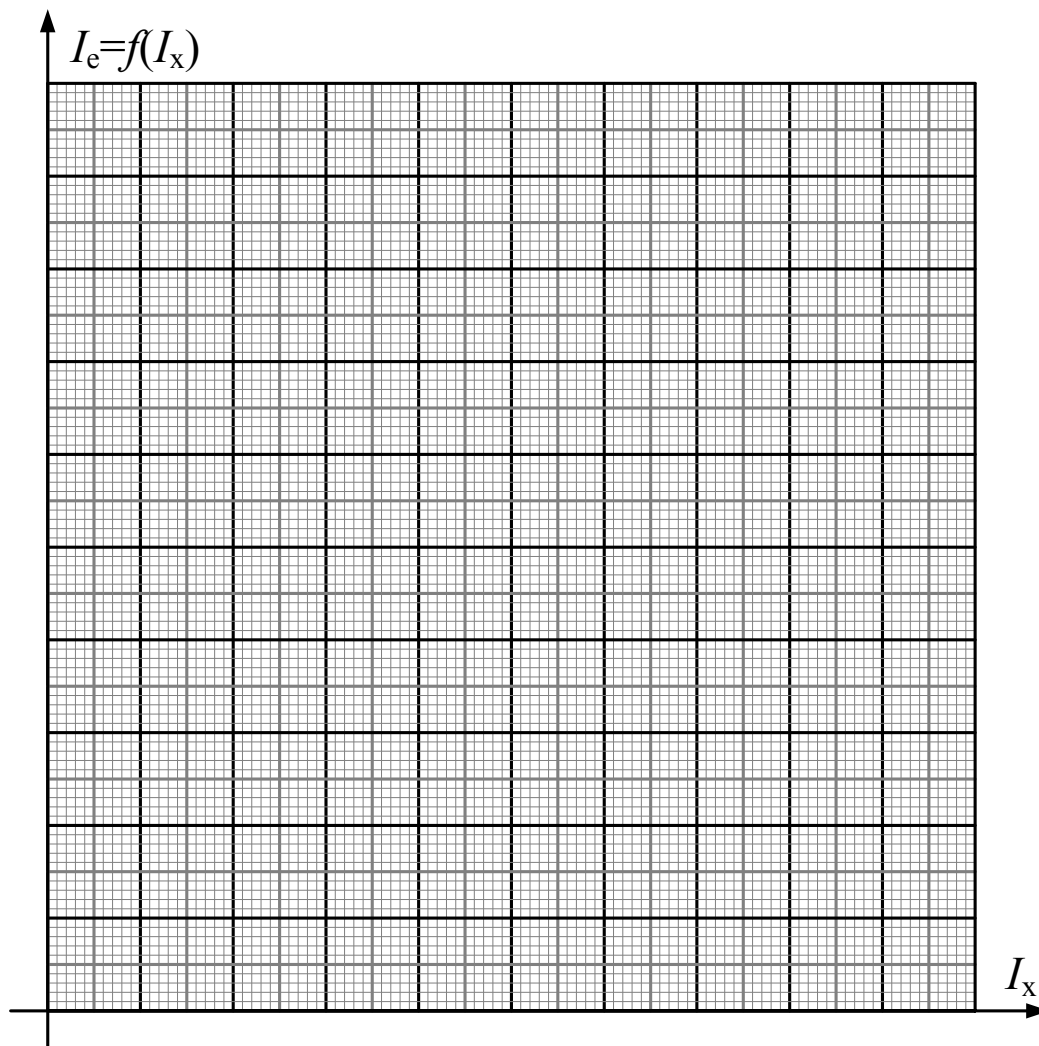
$$I_x = C_{AX} \cdot \alpha_x$$

Vrednost struje I_x za svaku tačku ispitivanja je procentualna vrednost mernog opsega MO_{AX} (%).

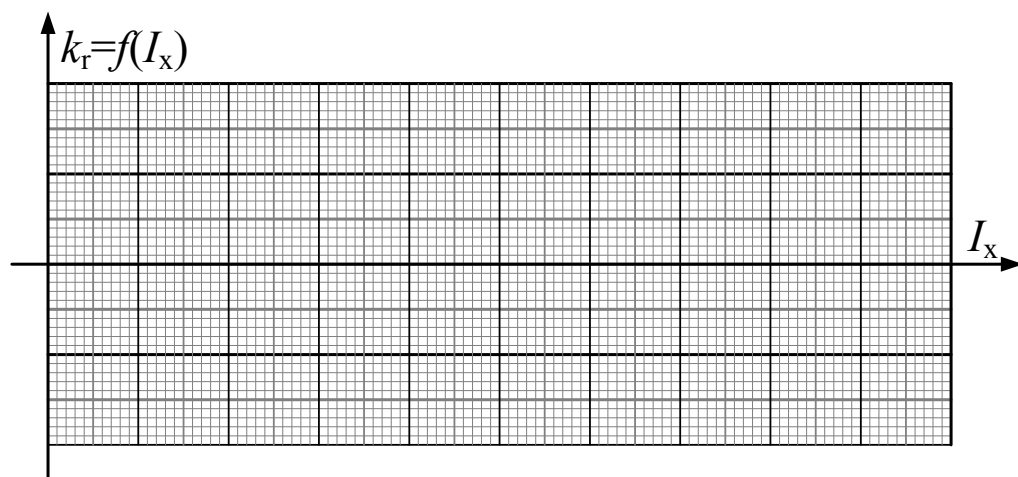
MO _{AX} [%]	Ax			Ae			G _a [mA]	G _r [%]	k _r [mA]	G _{SV} [%]
	C _{AX} [mA/pod]	α _x [pod]	I _x [mA]	↑ I _e [mA]	↓ I _e [mA]	$\overline{I_e}$ [mA]				
10										
20										
30										
40										
50										
60										
70										
80										
90										
100										

Tabela 4.3. Rezultati ispitivanja ampermetra

Na osnovu dobijenih rezultata, nacrtati baždareni dijagram $I_e = f(I_x)$ i dijagram korekcije $k_r = f(I_x)$ na slikama 4.2 i 4.3. (Za ove vrste dijagrama, tačke na dijagramima se spajaju pravim linijama)



Slika 4.2. Baždarni dijagram ampermetra



Slika 4.3. Dijagram korekcije baždarenog ampermetra

Linearnost

$$G_{L(\%)} = \frac{|I_x - \bar{I}_e|_{\max}}{I_{x \max}} \cdot 100 = \dots\dots\dots$$

.....

Histerezis

$$G_{H(\%)} = \frac{|\downarrow I_e - \uparrow I_e|_{\max}}{I_{x \max}} \cdot 100 = \dots\dots\dots$$

.....

Da li ispitivani instrument zadovoljava uslove u pogledu tačnosti?

.....

Zaključak

.....
.....
.....

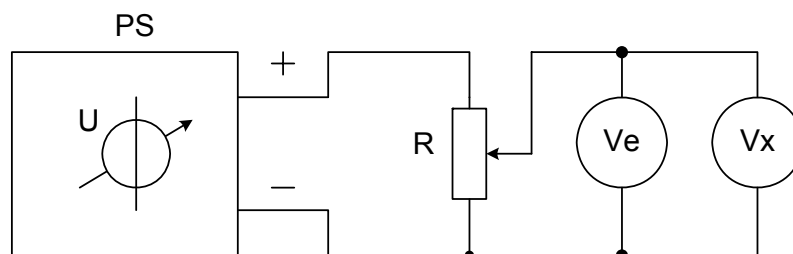
Baždarenje voltmetra

Izvršiti baždarenje voltmetra V_x pri čemu se baždari samo, jedan *merni opseg* MO_{V_x} (npr. 10V). Prema tome, odrediti pogodni merni opseg etalon voltmetra V_e i odrediti konstatu baždarenog instrumenta V_x . Proveriti da li instrument V_x pokazuje nulu? Ako je potrebno, podesiti nulu. Izvršiti spoljašnji pregled ispitivanog instrumenta i zahtevane podatke uneti u *tabelu 4.4*.

Podaci o instrumentima	V_x	V_e
Vrsta instrumenta		
Jedinica merene veličine (simbol)		
Naziv ili znak proizvođača		
Oznaka tipa		
Fabrički broj		
Oznaka klase		
Vrsta struje		
Merni sistem (simbol)		
Merni opseg		
Položaj upotrebe		
Ispitni napon (simbol)		

Tabela 4.4. Osnovi podaci o voltmetrima

Vezivanje opreme i instrumenata izvršiti prema *slici 4.4*. Kolo se napaja iz laboratorijskog izvora jednosmernog napona, podešenog na cca 12 V, a napon u kolu se menja promenom vrednosti otpora regulacionog otpornika R .



Slika 4.4. Ispitivanje voltmetra poređenjem

Postaviti ručicu regulacionog otpornika R tako, da napon na voltmetrima bude najmanji. Pomoću regulacionog otpornika R povećati napon sve dok kazaljka voltmetra V_x ne dostigne gornju granicu mernog opsega. Zadržati napon na maksimalnoj vrednosti 5 minuta. Smanjivati polako napon, tako da se postignu pokazivanja na svakoj glavnoj marki skale i to sve do donje granice *mernog opsega* MO_{V_x} ispitivanog instrumenta. Pri smanjivanju napona voditi računa da se

napon menja tako, da ne dođe do oscilovanja kazaljke. Očitati pokazivanje etalon instrumenta V_e i rezultat uneti u kolonu $\downarrow U_e$ u *tabeli 4.5*. Ponoviti opisano ispitivanje, ali sada polako uvećavajući napon i prilazeći glavnim markama na skali ispitivanog voltmetra isključivo sa leve strane. Odgovarajuća očitavanja etalon instrumenta unositi u kolonu $\uparrow U_e$ *tabele 4.5*.

Na osnovu izvršenih merenja izračunati i uneti vrednosti za $\overline{U_e}$, G_a , k_r , $G_{r(\%)}$ i $G_{SV(\%)}$ u *tabelu 4.5*.

Vrednosti u kolonui $\overline{U_e}$ su aritmetička sredina odgovarajućih vrednosti iz kolona $\uparrow U_e$ i $\downarrow U_e$;

$$\overline{U_e} = \frac{\uparrow U_e + \downarrow U_e}{2}$$

Apsolutna greška G_a za svaku ispitivanu tačku skale računa se kao:

$$G_a = U_x - \overline{U_e}$$

Korekcija za svaku ispitivanu tačku se određuje kao:

$$k_r = -G_a$$

Procentualna relativna greška $G_{r(\%)}$ i svedena relativna greška $G_{SV(\%)}$ za ova ispitivanja se računaju kao:

$$G_{r(\%)} = \frac{U_x - \overline{U_e}}{U_x} \cdot 100 \quad \text{i} \quad G_{SV(\%)} = \frac{U_x - \overline{U_e}}{U_{x \max}} \cdot 100$$

Konstanta očitavanja instrumenta C_{VX} određuje se kao odnos maksimalne merene veličine $U_{x \max}$ i maksimalnog otklona kazaljke $\alpha_{x \max}$, na datom mernom opsegu MO_{VX} .

$$C_{VX} = \frac{U_{x \max}}{\alpha_{x \max}}$$

Merena veličina U_x određuje se kao umnožak konstante očitavanja instrumenta C_{VX} i otklon kazaljke α_x

$$U_x = C_{VX} \cdot \alpha_x$$

Vrednost napona U_x za svaku tačku ispitivanja je procentualna vrednost mernog opsega MO_{V_x} (%)

MO_{V_x} [%]	V_x			V_e			G_a [V]	G_r [%]	k_r [V]	G_{sv} [%]
	C_{V_x} [V/pod]	α_x [pod]	U_x [V]	$\uparrow U_e$ [V]	$\downarrow U_e$ [V]	$\overline{U_e}$ [V]				
10										
20										
30										
40										
50										
60										
70										
80										
90										
100										

Tabela 4.5. Rezultati ispitivanja voltmetra

Na osnovu dobijenih rezultata, nacrtati baždareni dijagram $U_e = f(U_x)$ i dijagram korekcije $k_r = f(U_x)$ na slikama 4.5 i 4.6. (Za ove vrste dijagrama, tačke na dijagramima se spajaju pravim linijama)

Linearnost

$$G_{L(\%)} = \frac{|U_x - U|_{\max}}{U_{x \max}} \cdot 100 = \dots\dots\dots$$

Histerezis

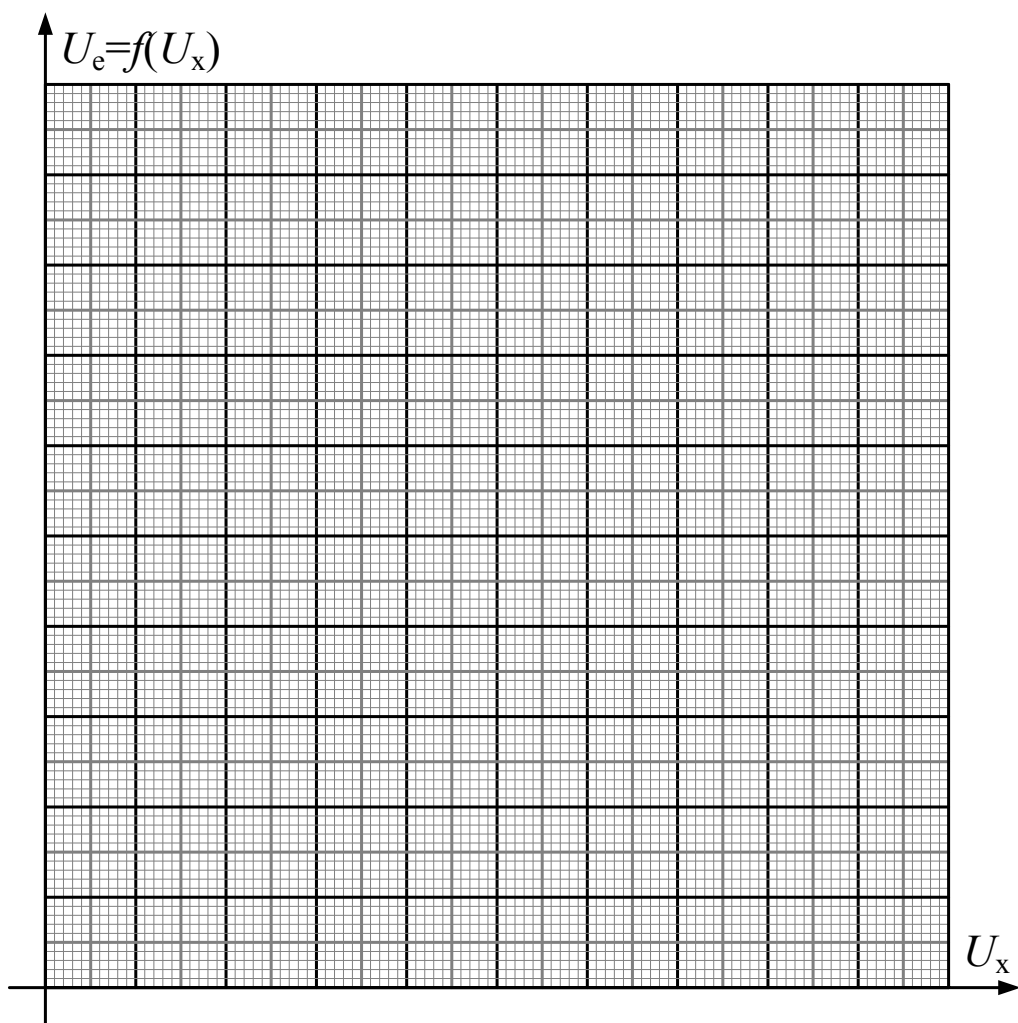
$$G_{H(\%)} = \frac{|\downarrow U_e - \uparrow U_e|_{\max}}{U_{x \max}} \cdot 100 = \dots\dots\dots$$

Da li ispitivani instrument zadovoljava uslove u pogledu tačnosti?

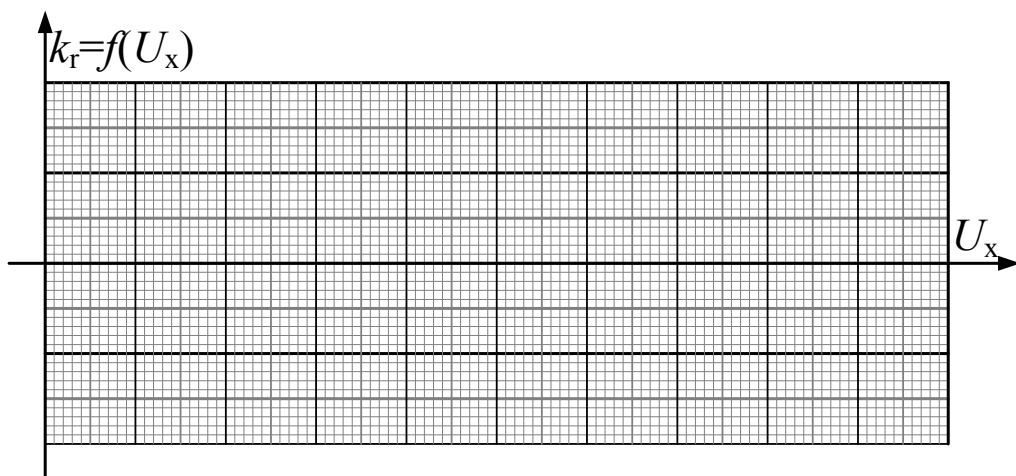
.....

Zaključak

.....



Slika 4.5. Baždarni dijagram voltmetra



Slika 4.6. Dijagram korekcije baždarenog voltmetra

LABORATORIJSKA VEŽBA BR.5
MERENJE OTPORNOSTI *UI* METODOM

STUDENT

BR. INDEKSA

DATUM

VEŽBU PREGLEDAO

DATUM

OCENA

CILJ VEŽBE

Cilj vežbe je merenje nepoznate otpornosti UI metodom tj. pomoću voltmetra i ampermetra.

Kratak uvod iz teorije

Merenje otpornosti UI –metodom zasniva se na primeni Omovog zakona. Ako je otpor vezan na izvor jednosmernog napona, onda kroz njega potiče struja $I=U/R$. Merenjem struje i napona možemo prema tome odrediti otpor. Međutim, ovde postoje dve mogućnosti vezivanja ampermetra i voltmetra.

U *naponskom spoju* voltmetar je priključen na stezaljke merenog otpornika R_x , pa je očitani napon U_m jednak naponu na otporniku. Ampermetar meri struju koja je, zbir struje otpornika i struje voltmetra.

U *strujnom spoju* ampermetar meri struju otpornika I_m , a voltmetar pad napona na ampermetru i merenom otporniku.

Ugalvnom se upotrebljava onaj spoj u kojem se može zanemariti potrošnja instrumenata i upotrebiti jednostavan izraz $R_x=U/I$. To znači, da ćemo pri malim otporima upotrebiti naponski spoj, jer voltmetar zbog svog velikog otpora troši neznatnu struju, najčešće zanemarljivu prema struji merenog otpornika. Pri velikim otporima upotrebljava se strujni spoj, jer se tada redovno može zanemariti mali otpor ampermetra.

Oba načina daju izvesnu grešku, pa se merenjem po ovoj metodi uvek čini sistematska greška.

Specifikacija merne opreme

- Laboratorijski izvor jednosmernog napona PS :
- Regulacioni otpornik R :
- Ampermetar A :
- Voltmetar V :
- Otpornik (šant) R_{x1} :
- Otpornik (šant) R_{x2} :
- Otpornik R_{x3} :
- Otpornik R_{x4} :

NAPOMENA : Podatke o R_A i R_V uzeti iz odgovarajućeg tehničkog uputstva instrumenata

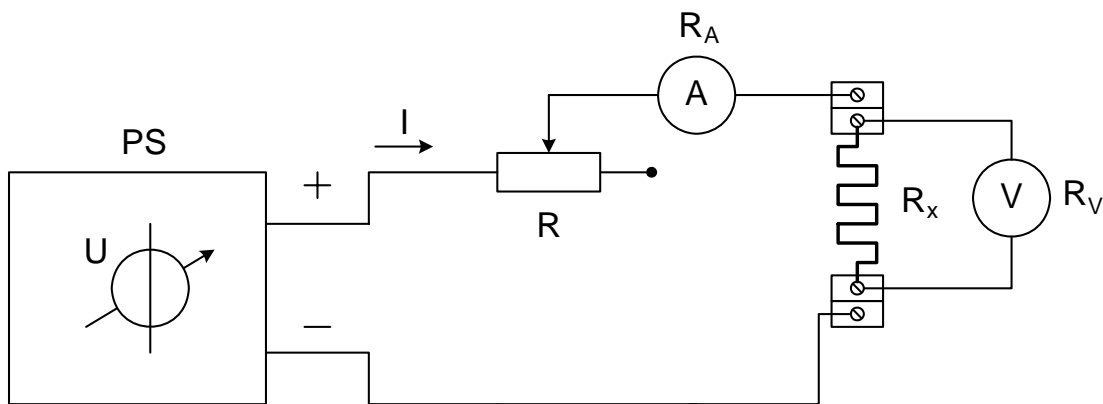
1.Zadatak

Merenje otpornosti naponskim spojem

Izmeriti otpor dva šanta. Šantovi koji predstavljaju nepoznati mali otpor R_x su :

1. 15A/75mV
2. 30A/75mV

Vezivanje opreme i instrumente izvršiti prema *slici 5.1*. Odabrati naponski merni opseg voltmetra $MO_V = 200 \text{ mV}$, strujni merni opseg ampermetra $MO_A=10 \text{ A}$. Uz korišćenje laboratorijskog izvora jednosmernog napona i regulacionog otpornika R podesiti struju I na 4 A. Pri tome voditi računa, da regulacioni otpornik nikada ne dobije vrednost nula.



Slika 5.1. Merenje otpornosti naponskim spojem

Rezultate merenja uneti u *tabelu 5.1*.

$$R_V = \dots\dots\dots \Omega$$

BROJ MERENJA	IZMERE NI NAPON	IZMERE NA STRUJA	IZMERE NA VREDNOST OTPORNOSTI	STVARNA VREDNOST OTPORNOSTI	APSOLUTNA GREŠKA	RELATIVNA GREŠKA
n	U_m [mV]	I_m [A]	R_m [mΩ]	R_x [mΩ]	G_a [mΩ]	G_r [%]
1						
2						
<i>Rezultati merenja istih otpornosti strujnim spojem</i>						
3						
4						

Tabela 5.1. Rezultati merenja otpornosti naponskim spojem

Na osnovu izvršenih merenja potrebno je izračunati vrednost za R_m , R_x , G_a , G_r i uneti u *tabelu 1.1*.

Merena vrednost otpornosti R_m određuje se primenom Omovog zakona:

$$R_m = \frac{U_m}{I_m} .$$

Stvarnu vrednost otpornosti R_x računamo kao :

$$R_x = \frac{R_m \cdot R_V}{R_V - R_m}$$

Apsolutna greška G_a računa se kao:

$$G_a = -\frac{R_x^2}{R_V + R_x}$$

Procentualna relativna greška G_r može se napisati u obliku :

$$G_r = -\frac{R_x}{R_V + R_x} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Zaključak

.....

.....

.....

.....

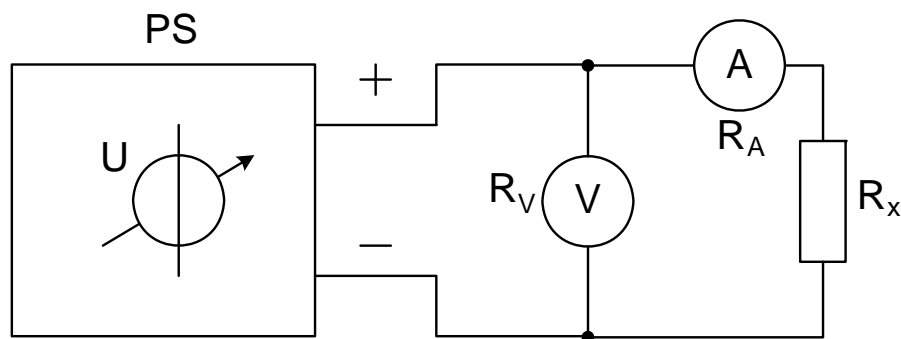
2.Zadatak

Merenje otpornosti strujnim spojem

Izmeriti otpor dva otpornika R_{x3} i R_{x4} . Nazivna vrednost otpornika označena je pomoću boja, u **DODATKU** dato je označavanje otpornika pomoću boja.

Na osnovu toga odrediti nazivnu vrednost otpornika i uneti u odgovarajući red *Specifikacije merne opreme*. Vezivanje opreme i instrumenata izvršiti prema *slici* 5.2.

Odabrati merni opseg ampermetra $MO_A=200 \mu A$. Merni opseg voltmetra MO_V menjati u toku merenja (u zavisnosti od otpora R_{x3} i R_{x4}) tako da pokazivanje instrumenta bude u gornjoj polovini mernog opsega. Podesiti napon laboratorijskog izvora napajanja na minimalnu vrednost. Posle uključenja postepenim povećavanjem napona podesiti struju $I \approx 190 \mu A$, i očitati vrednost pripadajućeg napona U . Po završetku merenja prvog otpornika (R_{x3}) smanjiti napon do minimalne vrednosti i isključiti laboratorijski izvor jednosmernog napona. Priključiti drugi otpornik (R_{x4}) i ponoviti postupak opisan za merenje prvog otpornika (R_{x3}).



Slika 5.2. Merenje otpornosti strujnim spojem

Rezultate merenja uneti u *tabelu* 5.2.

$R_A = \dots \dots \dots \Omega$

BROJ MERENJA	IZMERE NI NAPON U [V]	IZMERE NA STRUJA I [μA]	IZMERE NA VREDNOST OTPORNOSTI R_m [kΩ]	STVARNA VREDNOST OTPORNOSTI R_x [kΩ]	APSOLUTNA GREŠKA G_a [Ω]	RELATIVNA GREŠKA G_r [%]
n						
1						
2						
<i>Rezultati merenja istih otpornosti naponskim spojem</i>						
3						
4						

Tabela 5.2. Rezultati merenja otpornosti strujnim spojem

Na osnovu izvršenih merenja potrebno je izračunati vrednost za R_m , R_x , G_a , G_r i uneti u *tabelu 5.2.*

Merena vrednost otpornosti R_m određuje se primenom Omovog zakona :

$$R_m = \frac{U_m}{I_m}$$

Stvarnu vrednost otpornosti R_x računati kao :

$$R_x = R_m - R_A$$

Apsolutna greška G_a se računa kao:

$$G_a = R_A$$

Procentualna relativna greška G_r može se napisati u obliku :

$$G_r = \frac{R_A}{R_x} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Zaključak

.....

.....

.....

.....

LABORATORIJSKA VEŽBA BR.6

MERENJE SNAGE

STUDENT

BR. INDEKSA

DATUM

VEŽBU PREGLEDAO

DATUM

OCENA

CILJ VEŽBE

Cilj vežbe je merenje aktivne snage u kolima naizmjenične struje pomoću vatmetra direktnom i poluindirektnom metodom.

Kratak uvod iz teorije

Na području niskih frekvencija određuje se aktivna snaga jednofaznih tereta redovno pomoću vatmetara, najčešće elektrodinamičkog tipa. Zbog kontrole opterećenja strujne, odnosno naponske grane, zbog određivanja prividne i reaktivne snage, te faktora snage, meri se još obično ampermetrom i voltmetrom struja, odnosno napon tereta, kao na *slici 6.1*.

Merenje struje i snage instrumentima direktno uključenim u merni krug prikladno je samo kod manjih snaga. Veće merene struje zahtevaju snažne dovode do ampermetara i strujne grane vatmetara, a i konstrukcija tih instrumenata postaje neprikladna. Praktična granica merenja struje iznosi oko 50 A. Stoga se pri merenju većih snaga na nižim naponima koristi poluindirektna metoda, gde se strujne grane vatmetara i ampermetri priključuju preko strujnih transformatora koji velike merene struje smanjuju u određenom odnosu na prikladne vrednosti.

Na *slici 6.2* prikazano je poluindirektno merenje jednofaznog tereta. Strujna grana vatmetra i ampermetar su spojeni u seriju i priključeni na sekundarne stezaljke strujnog transformatora. Zbog ograničenja potencijalne razlike između strujnog i naponskog namotaja vatmetra koristi se potencijalna veza.

1.Zadatak

Direktno merenje aktivne snage vatmetrom

Izvršiti merenje aktivne snage jednofaznog potrošača P_t direktnom metodom pomoću vatmetra. Smatrati da su potrošnja ampermetra, voltmetra i vatmetra zanemarljivo mali. Spojiti merne instrumente i pribor kao što je prikazano na *slici 6.1*.

Regulacionim transformatorom postepeno povećati napon dok voltmetar ne pokaže 220V~. Ovim su određeni naponski merni opsezi vatmetra i voltmetra. Prateći pokazivanja ampermetra izabrati, najpovoljnije strujne merne opsege vatmetra i ampermetra.

Konstanta očitavanja ampermetra C_A određuje se kao odnos maksimalne merene veličine I_{\max} i maksimalnog otklona kazaljke α_{\max} , na datom mernom opsegu ampermetra MO_A :

$$C_A = \frac{I_{\max}}{\alpha_{\max}}$$

Merena struja I računa se kao umnožak konstante očitavanja instrumenta C_A i otklona kazaljke α_A :

$$I = C_A \cdot \alpha_A$$

Konstanta očitavanja voltmetra C_V određuje se kao odnos maksimalne merene veličine U_{\max} i maksimalnog otklona kazaljke α_{\max} , na datom mernom opsegu voltmetra MO_V :

$$C_V = \frac{U_{\max}}{\alpha_{\max}}$$

Mereni napon U računa se kao umnožak konstante očitavanja instrumenta C_V i otklona kazaljke α_V :

$$U = C_V \cdot \alpha_V$$

Konstanta očitavanja vatmetra C_W određuje se kao umnožak naponskog mernog opsega vatmetra MO_{WU} i strujnog mernog opsega vatmetra MO_{WI} podeljen sa maksimalnom otklonom kazaljke instrumenta α_{\max} :

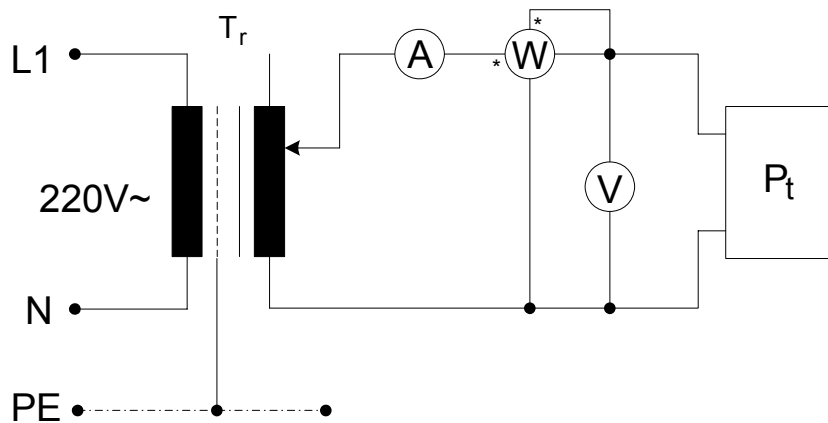
$$C_W = \frac{MO_{WU} \cdot MO_{WI}}{\alpha_{\max}}$$

Napomena: Kod određenih tipova vatmetara konstanta očitavanja instrumenta C_W naznačena je na skali instrumenta u funkciji od izabranog naponskog mernog opsega vatmetra MO_{WU} .

Merena aktivna snaga potrošača P određuje se kao umnožak konstante očitavanja instrumenta C_W i otklona kazaljke α_W :

$$P = C_W \cdot \alpha_W$$

Dobijene rezultate uneti u *tabelu 6.1*.



Slika 6.1. Direktno merenje aktivne snage vatmetrom

Specifikacija merne opreme

- Odvojni regulacioni transformator Tr :
- Potrošač P_t :
- Ampermetar A :
- Voltmetar V :
- Vatmetar W :

Na osnovu izvršenih merenja izračunati vrednost za S , Q i $\cos\varphi$ i uneti ih u tabelu 6.1.

Prividna snaga potrošača S se računa kao:

$$S = U \cdot I \quad \left(S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ [VA]}; \quad P = U \cdot I \cos \varphi \text{ [W]}; \quad Q = U \cdot I \sin \varphi \text{ [VAr]} \right)$$

Reaktivna snagu potrošača Q se određuje kao:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Faktor snage potrošača $\cos\varphi$ određuje se kao odnos aktivne snage P i prividne snage S :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Zaključak

.....

.....

.....

.....

FAKTOR SNAGE $\cos \varphi$			
REAKTIVNA SNAGA Q		[VAr]	
PRIVIDNA SNAGA S		[VA]	
VATMETAR	P	[W]	
	α_w	[pod]	
	C_w	[W/ pod]	
VOLTMETAR	U	[V]	
	α_v	[pod]	
	C_v	[V/ pod]	
AMPERMETAR	I	[A]	
	α_A	[pod]	
	C_A	[A/ pod]	
MERNI OPSEG VOLTMETRA MO_V		[V]	
MERNI OPSEG AMPERMETRA MO_A		[A]	
STRUJNI MERNI OPSEG VATMETRA MO_{wI}		[A]	
NAPONSKI MERNI OPSEG VATMETRA MO_{wU}		[V]	

Tabela 6.1. Rezultati merjenja snage direktnom metodom

2.Zadatak

Merenje aktivne snage poluindirektnom metodom

Izvršiti merenje aktivne snage jednofaznog potrošača P_t poluindirektnom metodom. Smatrati, da su potrošnja ampermetra, voltmetra i vatmetra zanemarljivo mali, i da je strujni merni transformator idealan. Nazivni napon napajanja potrošača P_t je 220V~. Uključiti dva grejača potrošača P_t . Ommetrom izmeriti otpornost potrošača:

$$R = \dots\dots\dots [\Omega].$$

Primenom Omovog zakona izračunati struju potrošača:

$$I = \frac{U}{R} = \dots\dots\dots [A].$$

Na osnovu računate vrednosti struje (I) potrošača P_t odabrati nazivnu primarnu struju I_{1n} strujnog mernog transformatora ($I_{1n} > I$).

Nazivna sekundarna struja strujnog mernog transformatora $I_{2n} = 5$ A.

Ovim su određeni naponski merni opsezi vatmetra i voltmetra kao i strujni merni opsezi vatmetra i ampermetra. Spojiti merne instrumente i pribor kao što je prikazano na slici 6.2.

Konstanta očitavanja ampermetra C_A određuje se kao odnos maksimalne merene veličine I_{max} i maksimalnog otklona kazaljke α_{max} , na datom mernom opsegu ampermetra MO_A :

$$C_A = \frac{I_{max}}{\alpha_{max}}$$

Merena struja I računa se kao umnožak konstante očitavanja instrumenta C_A i otklona kazaljke α_A :

$$I = C_A \cdot \alpha_A$$

Konstanta očitavanja voltmetra C_V određuje se kao odnos maksimalne merene veličine U_{max} i maksimalnog otklona kazaljke α_{max} , na datom mernom opsegu voltmetra MO_V :

$$C_V = \frac{U_{max}}{\alpha_{max}}$$

Mereni napon U računa se kao umnožak konstante očitavanja instrumenta C_V i otklona kazaljke α_V :

$$U = C_V \cdot \alpha_V$$

Konstanta očitavanja vatmetra C_W određuje se kao umnožak naponskog mernog opsega vatmetra MO_{WU} i strujnog mernog opsega vatmetra MO_{WI} podeljen sa maksimalnim otklonom kazaljke instrumenta α_{\max} :

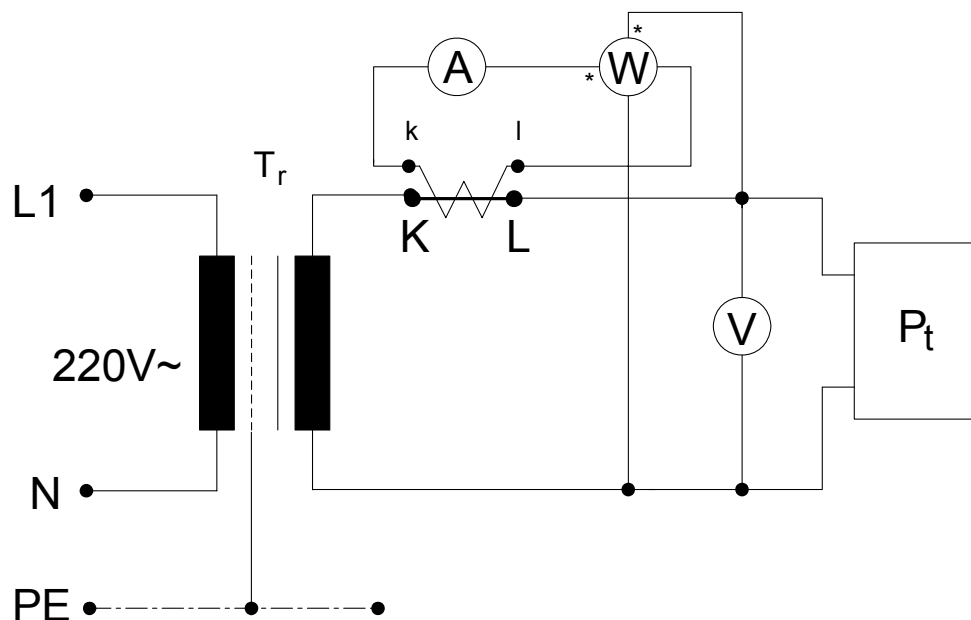
$$C_W = \frac{MO_{WU} \cdot MO_{WI}}{\alpha_{\max}}$$

Napomena: Kod određenih tipova vatmetara konstanta očitavanja instrumenta C_W naznačena je na skali instrumenta u funkciji od izabranog naponskog mernog opsega vatmetra MO_{WU} .

Merena aktivna snaga potrošača P određuje se kao umnožak konstante očitavanja instrumenta C_W i otklona kazaljke α_W :

$$P = C_W \cdot \alpha_W$$

Regulacionim transformatorom postepeno povećati napon, dok voltmetar ne pokaže 220V~. Dobijene rezultate uneti u tabelu 6.2.



Slika 6.2. Poluindirektno merenje aktivne snage vatmetrom

Specifikacija merne opreme

- Odvojni regulacioni transformator Tr :
- Strujni merni transformator Ti :
- Potrošač P_t :
- Ampermetar A :
- Voltmetar V :
- Vatmetar W :

Na osnovu izvršenih merenja izračunati vrednosti za a_i , I_s i P_s i uneti ih u tabelu 6.2.

Nazivni odnos transformacije strujnog mernog transformatora je:

$$a_i = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}$$

gde je :

I_{1n} – nazivna primarna struja strujnog mernog transformatora

I_{2n} – nazivna sekundarna struja strujnog mernog transformatora.

Stvarna struja potrošača I_s se računa kao

$$I_s = a_i \cdot I$$

gde je :

a_i – nazivni odnos transformacije strujnog mernog transformatora

I – merena struja

Stvarna aktivna snaga potrošača P_s se određuje kao

$$P_s = a_i \cdot P$$

gde je :

a_i – nazivni odnos transformacije strujnog mernog transformatora

P – merena aktivna snaga

Zaključak

.....

.....

.....

.....

.....

STVARNA SNAGA POTROŠAČA P_s		[W]	
STVARNA STRUJA POTROŠAČA I_s		[A]	
NAZIVNI ODNOS TRANSFORMACIJE STRUJNOG MERNOG TRANSFORMATORA a_i			
VATMETAR	P	[W]	
	α_w	[pod]	
	C_w	[W/ pod]	
VOLTMETAR	U	[V]	
	α_v	[pod]	
	C_v	[V/ pod]	
AMPERMETAR	I	[A]	
	α_A	[pod]	
	C_A	[A/ pod]	
MERNI OPSEG VOLTMETRA MO_v		[V]	
MERNI OPSEG AMPERMETRA MO_A		[A]	
STRUJNI MERNI OPSEG VATMETRA MO_{wI}		[A]	
NAPONSKI MERNI OPSEG VATMETRA MO_{wU}		[V]	

Tabela 6.2. Rezultati merenja snage poluindirektnom metodom

LABORATORIJSKA VEŽBA BR.7
MERENJE DVOKANALNIM OSCILOSKOPOM

STUDENT

BR. INDEKSA

DATUM

VEŽBU PREGLEDAO

DATUM

OCENA

Cilj

Cilj vežbe je upoznavanje sa principom rada, rukovanjem i merenjem sa standardnim analognim osciloskopom.

Kratak uvod iz teorije

Analogni osciloskop namenjen je za ispitivanje talasnih oblika, amplitudnih i vremenskih parametara jednog ili dva signala. Na slici 7.1 prikazana je principijelna blok-šema analognog osciloskopa.

1. Princip rada osciloskopa.

Princip rada osciloskopa može da se prati na osnovu blok šeme (slika 7.1) i funkcionalne blok šeme osciloskopa (slika 7.1B)

Vertikalni predpojačavač

Signal koji se prikazuje na ekranu katodne cevi, dovodi se na kanal 1 (CH1) ili na kanal 2 (CH2). Signali sa ulaza vode se na vertikalno predpojačalo. Oba predpojačala sadrže separirano unutrašnje vertikalno slabljenje, kontinualnu promenu vertikalnog slabljenja, balansiranje i podešavanje pojačanja.

Odvajач okidnog signala oba kanala, daje uzorak vertikalnog ulaznog signala za pojačalo okidnog signala preko okidnog kola i prekidača za izbor izvora okidnog signala (SOURCE).

Vertikalni prekidač

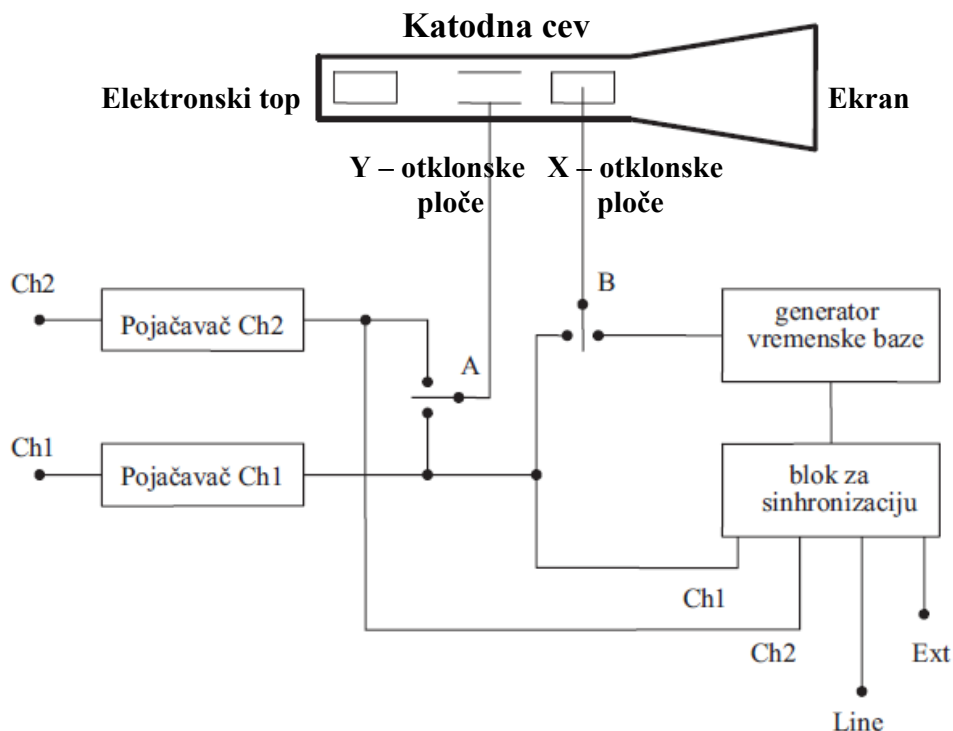
Prekidač za izbor moda rada vertikalnog pojačavača selektira koji kanal generiše okidni signal. Prilagođenje vertikalnog ulaznog signala vrši ulazni bafer pojačavača koji odvaja ulazno predpojačalo od linijskog pojačavača.

Izlaz oba ulaznog bafera spojen je sa ulazom linijskog pojačavača preko diodne kapije. Diodnu kapiju kontroliše prekidač za mod rada, tako se selektira koji kanal će biti prikazan. U dvokanalnom režimu rada upravljanje sa vertikalnim prekidačem vrši generator za raseckanje (Chop) ili generator za naizmenični mod (Alternate) u zavisnosti od odabrane vremenske baze (SEC/DIV).

Izlazni vertikalni pojačavač

Vertikalni ulazni signal preko linijskog pojačavača i linije za kašnjenje vodi se na izlazni vertikalni pojačavač. Linija za kašnjenje unosi približno 200 ns kašnjenje u vertikalni kanal. To omogućuje, da generator za horizontalni otklon startuje pre nego vertikalni signal stigne na vertikalne otklonske ploče.

Vertikalni pojačavač vrši krajno pojačanje vertikalnog signala za pobudu otklonske ploče. Taster za lociranje prikaza (BEAM FINDER) smanjuje pojačanje vertikalnog i horizontalnog pojačavača.



Slika 7.1. Principijelna blok-šema osciloskopa

Okidno kolo TRIGGERING

Okidno kolo generiše logički okidni signal za pokretanje vremenske baze. Okidni signal selektira pomoću prekidača za izbor izvora okidnog signala (SOURCE). Spoljni okidni signal (EXT) preko bufer pojačavača vodi se na prekidač, vertikalni ulazni signal (INT) od vertikalnog predpojačavača, a mrežni (LINE) signal od mrežnog transformatora.

Selektirani okidni signal se pojačava i invertira pomoću pojačavača za okidno kolo, izlazni signal kapacitivno spregnut sa komparatorom okidnog signala, koji određuje moment, kad će nastati okidanje. Polaritet (SLOPE) prekidač određuje predznak okidnog signala. Dva šmitova okidna kola generišu logički okidni signal: jedan za konvencionalno okidanje, a drugi za TV signal. Prekidač za izbor radnog moda (MODE) selektira koje šmitovo okidno kolo je aktivan.

Vremenska baza i horizontalni pojačavač

Vremenska baza ako je pokrenut od strane okidnog kola, generiše linearno rastući izlazni signal, koji se vodi na horizontalni pojačavač. Strmina signala se podešava pomoću preklopnika SEC/DIV. Kada napon dostigne odgovarajuću vrednost, kolo za brisanje (HOLD OFF) zaustavlja dalji rast signala i dovodi ga u početno stanje, istovremeno gasi mlaz katodne cevi (CRT) putem Z pojačavača i nakon određenog vremena dozvoljava početak novog ciklusa.

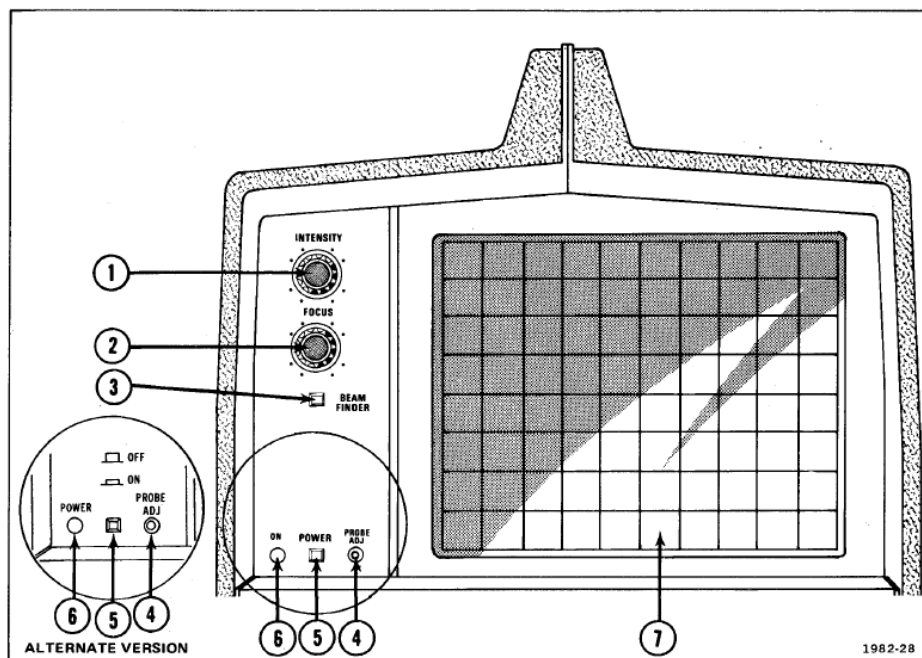
Izlazni signal vremenske baze pojačava se pomoću horizontalnog pojačavača i pojačani signal se vodi na horizontalne otklonske ploče katodne cevi. U X-Y režimu rada ulazni X signal preko ulaznog bafer pojačavača, vodi se na horizontalni pojačavač.

Napojna jedinica

Napojna jedinica obezbeđuje niskonaponsko napajanje potreban za rad instrumenta.

2.1 Uputstvo za rukovanje osciloskopom

Na slici 7.2. prikazani su upravljački elementi za osciloskop T922.



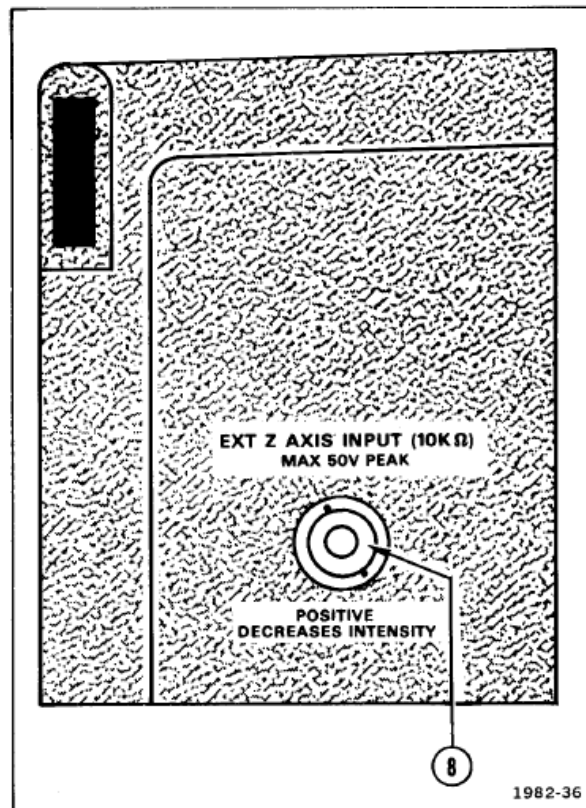
Slika 7.2. Upravljački elementi pored ekrana osciloskopa

1. **INTENSITY** - Podešava svetline traga na ekranu. Da bi se omogućio dugotrajni rad katodne cevi, podesiti vidljivost na što manju, ali preglednu vrednost.
2. **FOCUS** – Podešava optimalnu vidljivost traga na ekranu.
3. **BEAM FINDER** – Lociranje prikaza na ekranu. Vršiti kompresiju slike na ekranu da bi se mogla pratiti pozicija priključenog signala koji se želi prikazati na ekranu osciloskopa. Za lociranje traga na ekranu:
 - a) Podesiti POSITION i INTENSITY *potenciometre* na sredinu u odnosu na njihov maksimalni otklon. Ukoliko se ne uočava nikakav zapis, postepeno okretati POSITION (6. slika br 7.4) dugme u smeru kazaljke na satu.
 - b) Ako se zapis, ili tačka ne uočavaju, pritisnuti *dugme* sa natpisom BEAM FINDER i zadržati dugme pritisnutim. Pojaviće se komprimovana slika ili tačka. Ako se ne uoči promena, pomerati *dugme* INTENSITY dok se ne pojavi prikaz na ekranu. Ako se pojavi tačka ili vertikalna linija nije izvršeno okidanje tj. prilagođavanje signala za horizontalno skretanje. Postaviti mod okidanja *preklopnik* – MODE u položaj AUTO (2. slika br 7.5), da bi se slika pojavila. Koristiti *obrtno dugme* POSITION (6. slika br 7.4) za vertikalno i (8. slika br 7.5) horizontalno pomeranje prikaza na sredinu rastera ekrana. Otpustiti *dugme* BEAM FINDER i podesiti nivo okidanja, kako bi se dobila stabilna slika. Pri pojavljivanju komprimovane slike podesiti *obrtni preklopnik* – VOLTS/DIV (1. slika br 7.4) i *dugme* za horizontalno i vertikalno pozicioniranje POSITION tako, da se dobija stabilna slika na ekranu.
4. **PROBE ADJ** – Formira pravougaoni signal približno 0.5 V (negativni deo je poravnat sa nivoom GND) i približno 1 kHz radi kompenzacije sonde koje će se koristiti. To je izlazni priključak.
5. **POWER** – *Dugme* koje pri jednom pritisku (dugme unutra) uključuje uređaj, a pri sledećem pritisku isključuje (dugme istureno). Na pojedinim modelima uređaja se iznad pomenutog dumeta nalazi natpis ON-OFF.
6. **ON** – *Indikaciona lampica* svetli, kada je pritisnuto dugme POWER, a nema većeg odstupanja od 10 % u odnosu, na selektirani napon. Ako priključeni napon varira za više od 10 % od naznačene vrednosti, tada indikaciona lampica treperi. U okviru pojedinih verzija, iznad naznačene lampice nalazi se natpis ON.

7. **Internal graticule** (unutrašnji raster) - Eliminira paralaksu. Vreme uspona signala, amplituda i merne tačke se mogu pratiti lakše pomoću rastera.

2.2 Z – modulacija

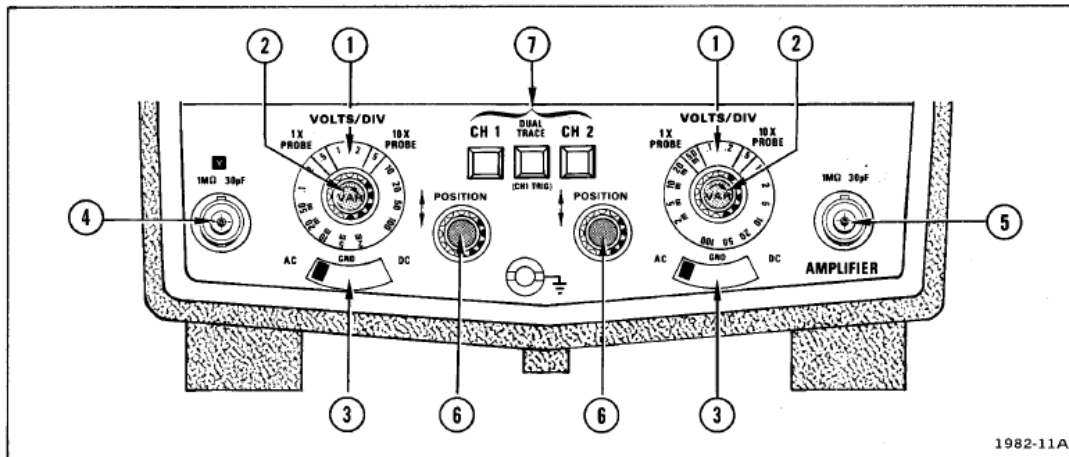
Modulacija intenziteta elektronskog mlaza (Z-modulacija) vrši se pomoću napona koji se dovodi na BNC konektor 8 na zadnjoj strani osciloskopa T922 (slika 7.5)



Slika 7.3. Priključak za Z - modulaciju

2.3 Vertikalno pojačalo

Raspored upravljačkih elemenata na prednjoj strani osciloskopa T922 za vertikalno pojačalo prikazano je na slici 7.4.



Slika 7.4. Vertikalno pojačalo

1. **VOLTS/DIV** – Višepoložajni prekidač sa kojim se bira faktor vertikalnog slabljenja po sekvencama 1-2-5 (VAR *dugme* mora biti u zadržci bez promene položaja, kako se ne bi uticalo na faktor slabljenja). Očitavati korektan faktor slabljenja za sondu 1X na poziciji 1X svetlije polje i za sondu 10X na polju 10X.
2. **VAR** – Potencijometar sa kojim se izaziva kontinualna promena nekalibrisanog faktora slabljenja između kalibracionih koraka, koji se podešavaju pomoću VOLTS/DIV preklopnika.
3. **Input coupling** Tropoložajni prekidač za unutrašnje sprezanje - bira način sprezanja ulaznih signala sa vertikalnim pojačalom signala.

Položaj - AC: Signali su spregnuti kapacitivno. Svaka DC komponenta je blokirana. Signali niskih frekvencija su oslabljeni (3 dB ako 1 Hz uz korišćenje 10X). AC sprezanje izaziva naginjanje pravougaonog impulsa frekvencije ispod 1 kHz.

Položaj - GND: Uzemljuje ulaz vertikalnog pojačala da bi se dobio referentni nivo. Povezuje ulaz sa uzemljenjem preko ulaznih spreznih kondenzatora i 1 MΩ otpornika i tada se kondenzatori nabijaju ulaznim signalom.

Položaj - DC: Sve komponente ulaznog signala prolaze do vertikalnog pojačavača.

4. **Channel 1 or Y input** - *Priključak* za prosleđivanje spoljašnjeg signala do sistema za vertikalno slabljenje ili Y ulaz u X-Y modu, kada je CH1 dugme za vertikalni mod pritisnuto.
5. **Channel 2 input** - *Priključak* za posleđivanje spoljašnjeg signala do vertikalnog sistema slabljenja.
6. **POSITION** – *Potenciometar* sa kojim se kontroliše vertikalni položaj traga na ekranu.
7. **Vertical Mode** – *Prekidači* sa kojima se bira mod rada vertikalnog pojačavača. (7 Slika 7.4)

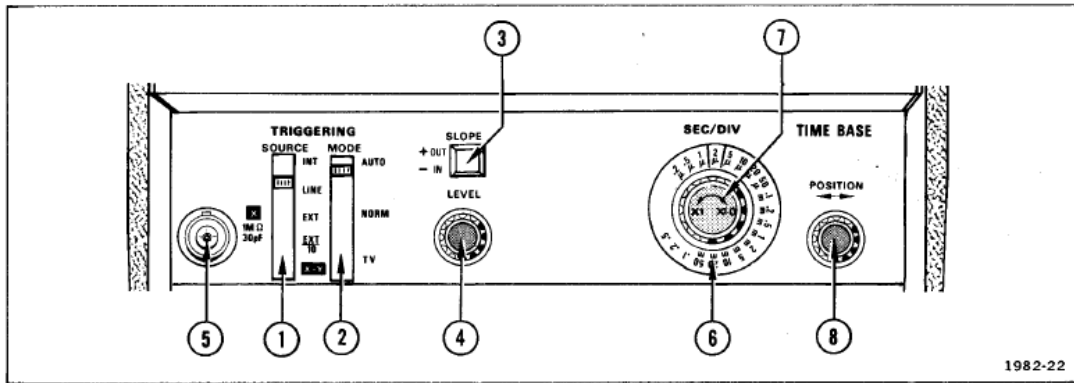
Pritisnuto dugme - CH1: Prikazuje samo signale spojene na ulaze priključke kanala 1 (CH1). Taster treba da bude aktiviran u X-Y režimu rada.

Pritisnuto dugme - CH2: Prikazuje samo signale spojene na ulazne priključke kanala 2 (CH2).

Pritisnuto dugme - DUAL TRACE: Prikazuje CH1 i CH2 ulazne signale naizmenično. Chop (rasecanje) ili Alternate (naizmenični mod) se odabira automatski pomoću preklopnika SEC/DIV. Za položaj SEC/DIV 1 ms ili sporije odabira se mod odsecanja (Chop), a za izbor 0.5 ms i brže odabira se naizmenični mod. U DUAL TRACE modu se okidajući signal izvodi sa kanala 1 (CH1). Kada su istovremeno pritisnuti dugmadi sa natpisima DUAL TRACE i CH2 okidajući signal dopire sa kanala 2 (CH2) umesto sa kanala 1 dok se dvomlazni signal prikazuje.

2.4 Vremenska baza

Raspored upravljačkih elemenata na prednjoj strani osciloskopa T922 za vremensku bazu prikazana je na slici 7.5.



Slika 7.5. Vremenska baza

1. **SOURCE** – Prekidač sa pet položaja sa kojim se vrši izbor izvora okidajućeg signala (1 slika 7.5).

Položaj - INT: Koristi uzorak signala koji se prikazuje na ekranu kao okidni signal, za određeni mod to može biti sa kanala 1 (CH1) ili sa kanala 2 (CH2). U DUAL TRACE modu okidni signal dopire sa kanala 1 (CH1). Ako su istovremeno pritisnuti sa natpisom DUAL TRACE i CH2 tada okidni signal dopire sa kanala 2 (CH2).

Položaj - LINE: Koristi uzorak signala mrežne frekvencije.

Položaj - EXT: Propušta okidajući signal za spoljašnje okidanje (X external trigger)

Položaj - EXT÷10: Spoljašni okidni signal je oslabljen 10 puta.

Položaj - X-Y: Pristup X-Y prikazu. X (horizontalni) ulaz se ostvaruje preko X ulaznog konektora. Y (vertikalni) ulaz se normalno dobija preko kanala 1 (CH1) ili Y ulaznog spoja (za vertikalni mod mora biti pritisnut taster CH1). Za specijalne namene, kao ulaz se može koristiti kanal 2 (CH2), pritisnut taster CH2, ili se mogu koristiti oba ulazna konektora (DUAL TRACE pritisnuto).

2. **MODE** - Prekidač sa tri položaja sa kojim se vrši izbor radnog moda za okidno kolo.

Položaj - AUTO: Uz korektno odabran položaj obrtnog dugmeta LEVEL (nivo) okidanje se vrši putem ponavljajućeg signala frekvencije oko 20 Hz. U odsustvu odgovarajućeg okidnog signala ili

pri nepodešenom nivou okidnog signala, dobija se frekvencija, koja omogućuje formiranje slike na ekranu.

Položaj – NORM: Primenjuje okidanje na prikazanom signalu, ali ako nije prisutan adekvatni okidni signal, ili nije podešen nivo okidanja, neće se pojaviti trag na zastoru. U tom slučaju postaviti SOURCE (izbor izvora okidanja) na poziciju LINE, a time će se dobiti i odgovarajući okidni signal.

Položaj – TV: Primenjuje za okidanje na televizijski signal (TV). Okidanje na frekvenciju TV slike vrši se ako SEC/DIV preklopnik postavi u položaj 0.1 ms ili sporije. Za okidanje na TV linijsku frekvenciju postaviti SEC/DIV preklopnik u položaj 50 μ s ili brže. Odabрати adekvatnu ivicu okidanja pomoću SLOPE prekidača.

3. **SLOPE** – *Dugme*, selektira negativnu ili pozitivnu ivicu za okidanje signala.

Položaj – +OUT: Okidanje se vrši na pozitivnoj-uzlaznoj ivici okidnog signala.

Položaj – -IN: Okidanje se vrši na negativnoj-silaznoj ivici okidnog signala.

4. **LEVEL** – *Potenciometar* za izbor tačke na amplitudi okidnog signala, pri kojoj će nastati okidanje. Obično se podešava prema odabranom prikazu uz izbor izvora okidnog signala SOURCE i odgovarajuće položaja dugmeta SLOPE.
5. **X (External Trigger)** – *Priključak* za prihvatanje ulaza spoljašnjeg okidnog signala ili signala za X osu pri X-Y modu.
6. **SEC/DIV** – *Višepoložajni prekidač* sa kojim se vrši izbor kalibrisane vremenske baze u sekvencama 1-2-5. Očitavanje parametra signala čiji zapis se uočava na ekranu, treba vršiti u direktnoj proporciji, ako je kontinualno podešavanje vremenske baze (7) u položaju X1.
7. **XI-X10** – *Potenciometar* sa kojim se vrši kontinualno podešavanje vremenske baze na pojačavanje horizontalnog pojačavača, a to ujedno utiče na brzinu otklona mlaza.
8. **POSITION** - *Potenciometar* sa kojim se kontroliše horizontalni položaj zapisa.

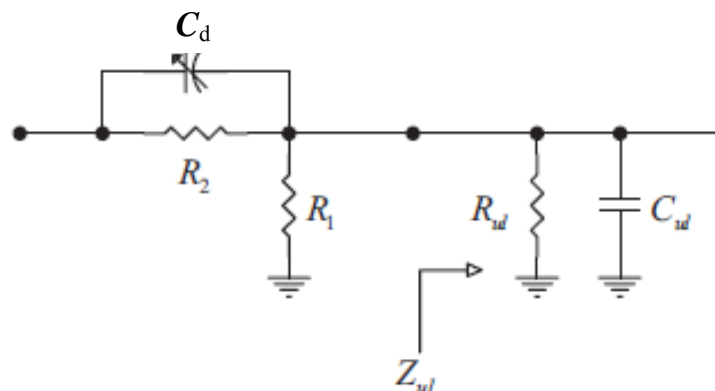
2.5 Osciloskopske sonde

Ulazna impedansa osciloscopa se može predstaviti paralelnom vezom otpornika R_{ul} i kondenzatora C_{ul} . Tipične vrednosti ulazne otpornosti su reda $M\Omega$, a ulazne kapacitivnosti reda pF.

Sonda osciloscopa treba da obezbedi lak pristup signalu, koji se posmatra i u većini slučajeva slabljenje tog signala. Najčešće se sreću sonde sa slabljenjem od 10 puta, a nešto ređe sonde sa slabljenjem od 100 puta. Električne karakteristike sonde se mogu predstaviti razdelnikom napona, predstavljenim otpornicima R_1 i R_2 na slici 7.6. Kako razdelnik napona sa ulaznom impedansom osciloscopa ne bi pravio filter propusnik niskih učestanosti, dodaje se promenljivi kondenzator C_d , koji treba da izravna amplitudno frekvencijsku karakteristiku prenosnog sistema od sonde do osciloscopa. Uslov pri kome je prenosna karakteristika frekvencijski nezavisna može se izraziti :

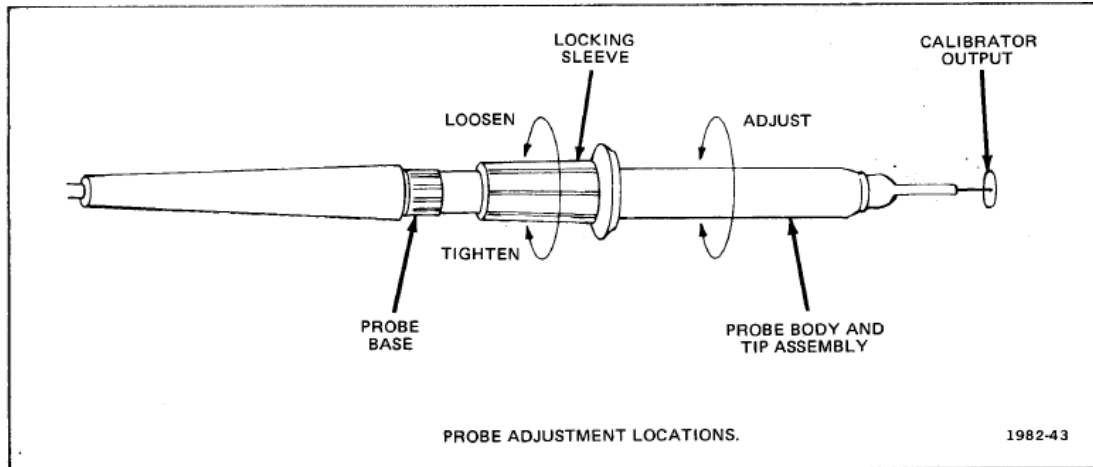
$$\frac{R_1 \parallel R_{ul}}{R_2 + R_1 \parallel R_{ul}} = \frac{C_d}{C_d + C_{ul}}$$

Kako ulazna impedansa varira od osciloscopa do osciloscopa, potrebno je izvršiti prilagođenje sonde na osciloskop. Prilagođenje se vrši podešavanjem kapacitivnosti promenljivog (trimer) kondenzatora C_d koji se nalazi u sondi. Ovo podešavanje se vrši, tako što se sonda priključi na izvor test signala PROBE ADJ. Test signal je povorka pravougaonih impulsa tipično amplitude 0.5 V i frekvencije 1 kHz. Ukoliko se na ekranu osciloscopa ne vidi povorka pravougaonih impulsa treba izvršiti podešavanje trimer kondenzatora C_d .



Slika 7.6. Sonda i ulazna impedansa osciloscopa

Na slici 7.7 prikazana je osciloskopska sonda sa odgovarajućim elementima za podešavanje.



Slika 7.7. Osciloskopska sonda

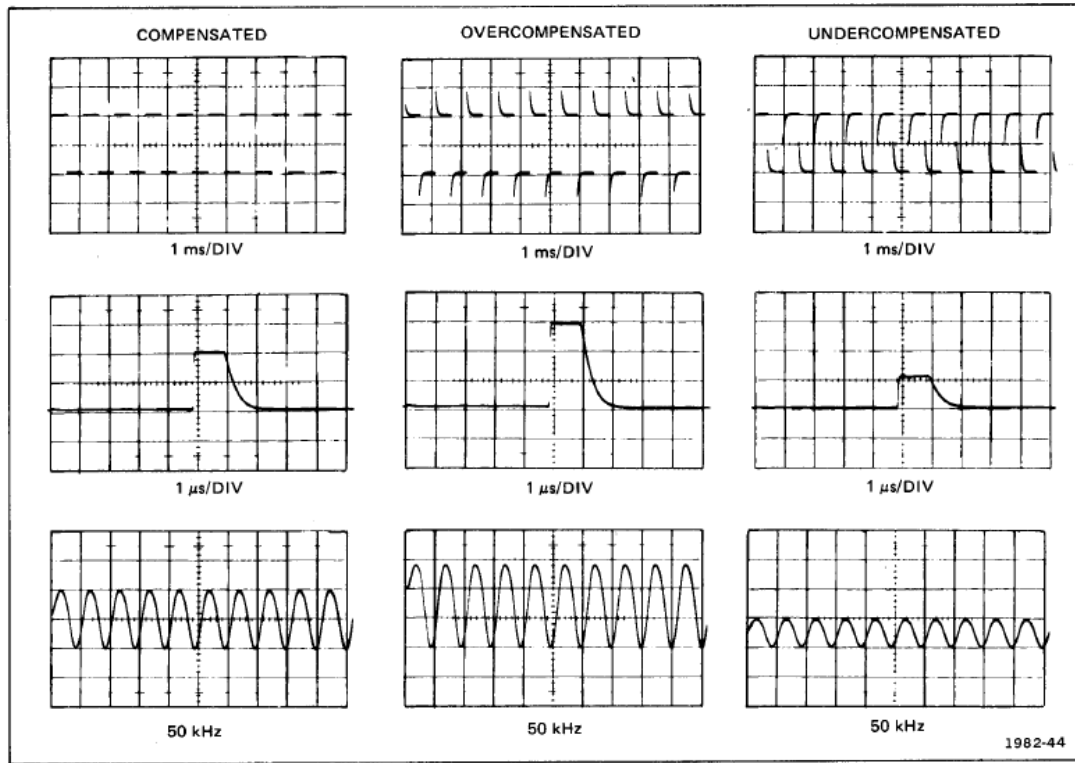
PROBE BASE - Osnova sonde.

LOCKING SLEEVE - Prsten za učvršćivanje podešenog položaja.

ADJUST - Podešavanje sonde (C_d).

CALIBRATOR OUTPUT - Izvor signala za podešavanje sonde (PROBE ADJ).

Na slici 7.8 su prikazani vremenski dijagrami test signala da je sonda ispravo kompenzovana (COMPENSATED), da je prekompenzovana (OVERCOMPENSATED) i da je podkompenzovana (UNDERCOMPENSATED).



Slika 7.8. Rezultati kompenzacije osciloskopske sonde

3. Merenja pomoću osciloscopa

Osciloskop je prvenstveno instrument za posmatranje signala i ne spada u najpreciznije merne instrumente. Greška merenja vremenskih intervala i napona primenom analognog osciloscopa je tipično reda 2 % i više. Ali i pored toga, osciloskop se veoma često koristi za razna merenja. Popularnost osciloscopa kao mernog instrumenta leži u nizu veoma raznovrsnih merenja, koja se njime mogu vršiti, kao i u prikazivanju fizičkih procesa koje osciloskop omogućava.

Merenje vremenskog intervala t

$$t = C_x \cdot X$$

gde je:

- t - vremenski interval [sec],
- C_x - konstanta horizontalne ose [SEC/DIV],
- X - broj podeoka horizontalne ose [DIV].

Merenje napona U

$$U = C_y \cdot Y$$

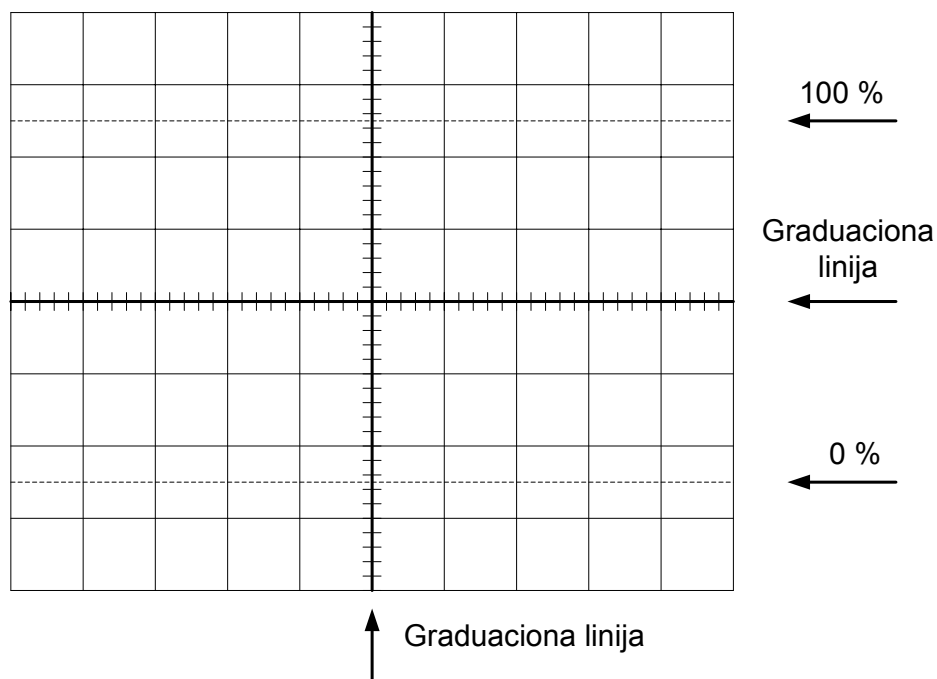
gde je:

- U - napon [V],
- C_y - konstanta vertikalne ose [V/DIV],
- Y - broj podeoka vertikalne ose [DIV].

3.1 Graduacija ekrana

Tipičan ekran osciloskopa, (slika 7.2), je izgraduisan na način kako je prikazano na slici 7.9. Graduacija je ucrtana na ekran osciloskopa sa unutrašnje strane, kako bi se izbegla greška usled paralakse. Merenja pomoću osciloskopa se svode na očitavanja rastojanja na slici formiranoj na ekranu osciloskopa. Osnovna jedinica rastojanja na ekranu jeste, podeok (division skraćeno div). Visina ekrana osciloskopa je tipično 8 podeoka, a širina 10 podeoka. Dve centralne linije su dodatno izgraduisane na rastojanja od po 0.2 podeoka. Takođe, za merenje trajanja usponske i silazne ivice digitalnih impulsa ucrtane su dve pomoćne tačkaste linije, koje označavaju 0 % i 100 % nivoa posmatranog signala. U tom slučaju horizontalna centralna linija je na 50 % posmatranog signala, druga horizontalna linija ispod centralne je na 10 %, a druga horizontalna linija iznad centralne linije je na 90 % posmatranog signala.

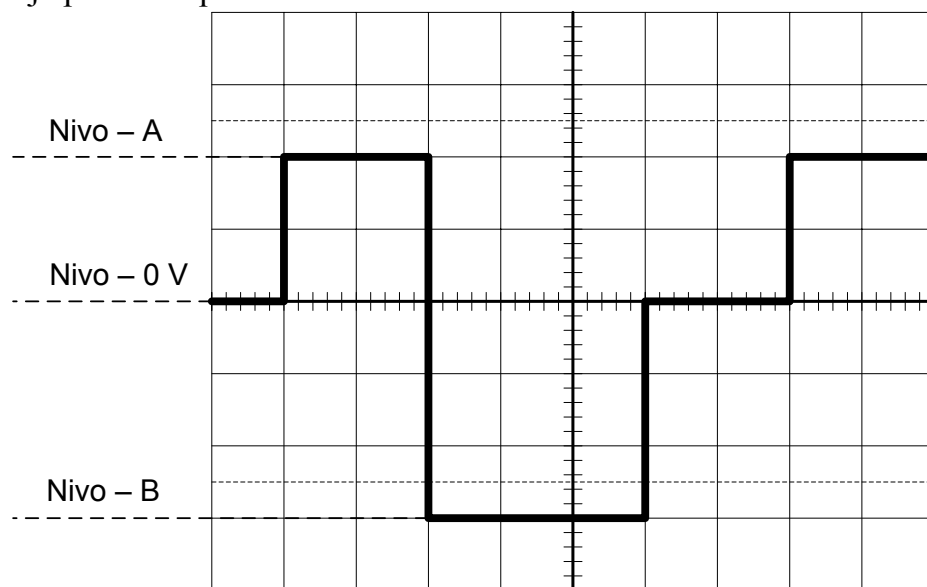
Za sva merenja koja će biti opisana podrazumevaće se da je sonda osciloskopa pravilno kompenzovana i da se potenciometri za kontinualnu promenu podele naponske i vremenske ose nalaze u kalibrisanom položaju izuzev, ako se drugačije izričito ne naglasi.



Slika 7.9. Graduacija ekrana osciloskopa

3.2 Merenje napona

Merenje naponskog nivoa se svodi na merenje rastojanja na ekranu osciloskopa pogodnim korišćenjem njegove graduacije. Da bi se odredili naponski nivoi, potrebno je znati gde se nalazi linija nultog potencijala i kolika je podela naponske ose.



Slika 7.10. Merenje napona pomoću osciloskopa

Podela naponske ose se može odrediti, ispravnim očitavanjem sa preklopnika za podelu, naponske ose specifičnog kanala (V/div). Dok se pozicija linije nultog potencijala može odrediti prebacivanjem preklopnika (VERTICAL MODE) za selekciju tipa prikazivanja u položaj GND. Na ekranu će se pojaviti horizontalna linija, koja označava liniju nultog potencijala. Podešavanjem potenciometra POSITION za vertikalno pomeranje (\updownarrow) moguće je dovesti liniju nultog potencijala, na pogodno mesto radi lakšeg očitavanja. Obično je to neka od linije graduacije ekrana. U slučaju, da se posmatraju samo pozitivni signali, pogodno je koristiti krajnu donju liniju. A za posmatranje stalnih negativnih signala krajna gornju. Naponski nivo se dobija množenjem rastojanja od linije nultog potencijala sa podelom naponske ose. Na slici 7.10 je prikazan je primer vremenskog oblika napona. Ukoliko je podela naponske ose 1 V/div i ako je linija nultog potencijala na centralnoj horizontalnoj liniji graduacije ekrana, naponski nivo **A** do koga od centralne linije ima 2 podeoka je 2 V, dok je naponski nivo **B** do koga od linije nultog napona ima 3 podeoka je 3 V.

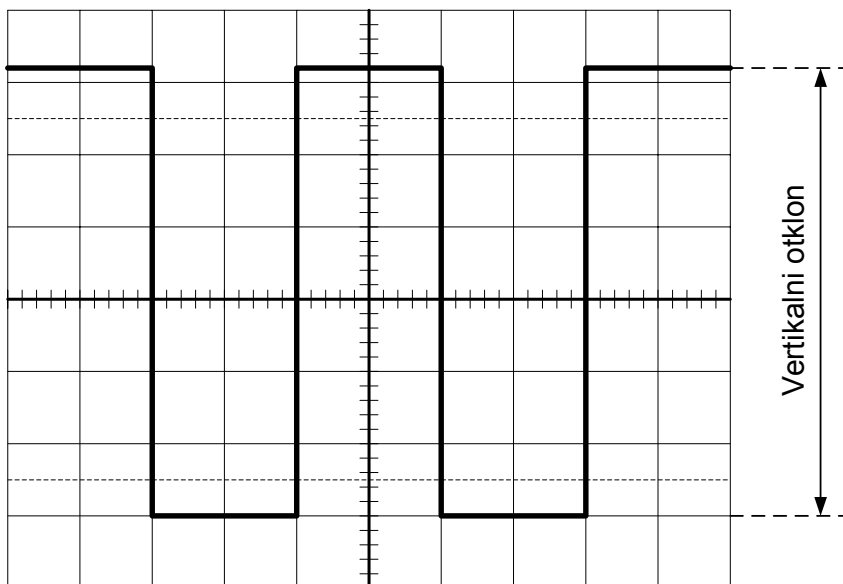
Radi preciznijeg očitavanja naponskih nivoa, pogodno je koristiti potenciometar za horizontalno pomeranje, (\leftrightarrow) kako bi se mereni naponski nivo doveo na centralnu vertikalnu liniju graduacije gde su označene podele od po 0.2 podeoka.

3.3 Merenje amplitude

Merenje amplitude je, u osnovi merenje naponskog nivoa. Kako bi se precizno izmerila amplituda naizmeničnog signala moguće je koristiti sledeći postupak :

1. Vertikalno pomeranjem slike pozicionira se slika tako, da minimalna vrednost signala leži na nekoj od horizontalnih linija, kao što je prikazano na slici 7.11.
2. Horizontalnim pomeranjem slike, pozicionira se maksimalna vrednost signala na centralnu vertikalnu liniju graduaciju, koja ima ucrtanu finu podelu naponske ose.
3. Očita se rastojanje od minimuma do maksimuma signala, u slučaju sa slike 7.11 to je 6.2 podeoka.

4. Izračuna se napon koji odgovara tom rastojanju, u slučaju da je podela naponske ose 5 V/div to je 31 V.
5. Izračuna se amplituda kao polovina vrednosti dobijene pod 4 u slučaju sa slike 7.11 to je 15.5 V.



Slika 7.11. Merenje amplitude

3.4 Merenje jednosmerne komponente naizmeničnih signala

Veoma često je potrebno izmeriti jednosmernu komponentu naizmeničnih signala, što predstavlja problem u slučaju, da je naizmenična komponenta složeno periodična. U takvom slučaju se koristi sledeći postupak:

1. Posmatrani signal se dovede na oba kanala osciloskopa i posmatra se sa istom podelom naponske ose i istom linijom potencijala.
2. Na kanalu 1 se prikaže vremenski dijagram vrednosti signala, preklopnik za način prikazivanja signala u položaju DC.
3. Na kanalu 2 se prikaže naizmenična komponenta signala, preklopnik za način prikazivanja signala u položaju AC.

4. Pomeranjem potenciometra za vertikalno pozicioniranje slike sa kanala 2 dovede se, do poklapanja obe slike.
5. Preklopnik za način prikazivanja signala kanala 2 se prebaci u položaj GND. Rastojanje od nivoa nultog potencijala kanala 1 do linije koju prikazuje kanal 2 u položaju GND odgovara jednosmernoj komponenti posmatranog signala.

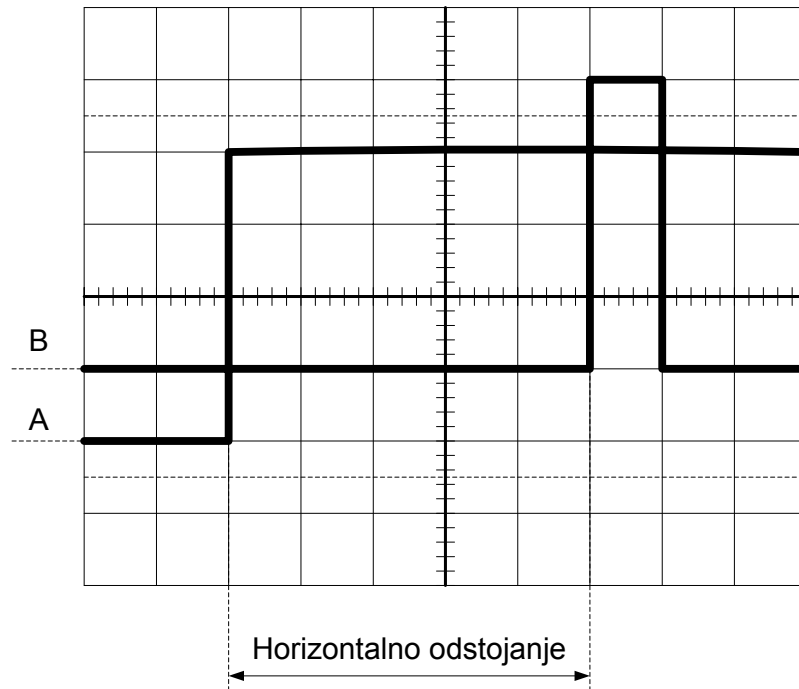
3.5 Merenje vremenskih intervala (Δt)

Potpuno analogno merenju naponskih nivoa, osciloskopom je moguće vršiti merenje vremenskih intervala. Ukoliko se meri intervali vremena na jednom signalu, merenje je potpuno analogno merenju naponskih nivoa, samo treba izmeriti horizontalno rastojanje između dve tačke, koje definišu mereni vremenski interval i preračunati ga u vreme u skladu sa podelom vremenske ose [SEC/DIV]. Pri tom treba proveriti da li je potenciometar za kontinualan promenu podele vremenske ose u kalibrisanom položaju, i u kome je položaju preklopnik za povećanje rezolucije vremenske ose?

U slučaju da se meri vremenski interval definisan karakterističnim tačkama na dva nezavisna signala treba biti izuzetno oprezan zbog mogućnosti različitih sinhronizacija. U ovakvom slučaju uvek treba imati jedinstveni sinhronizacioni signal, koji može biti doveden bilo sa kanala, 1 bilo sa kanala 2.

Procedura merenja vremenskih intervala definisanih na dva nezavisna signala, može formalizovati na sledeći način:

1. Postaviti izvor sinhronizacionog signala na INT, LINE, ili EXT.
2. Koristiti isti način prikazivanja ulaznog signala na oba kanala (bilo AC ili DC).
3. Kod merenja kratkih vremenskih intervala na oba kanala treba koristiti sonde sa identičnim kašnjenjem, najbolje identične sonde.



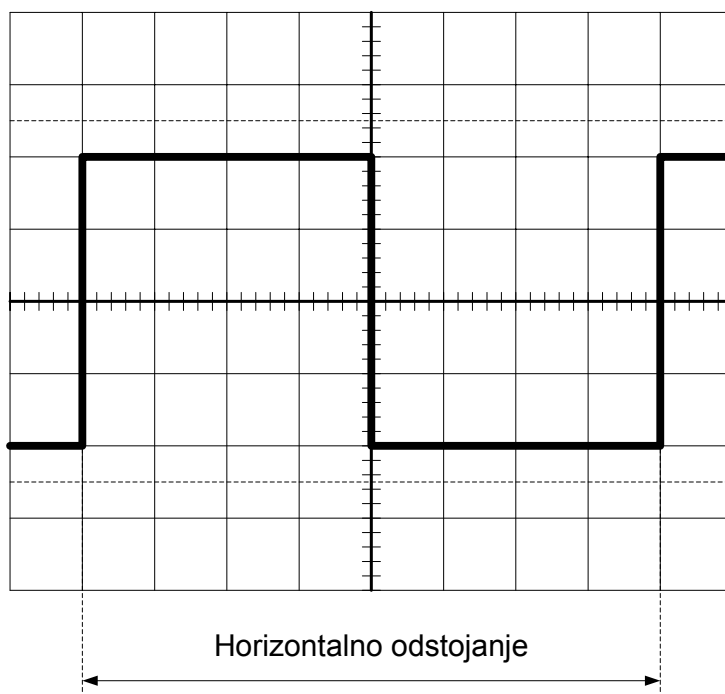
Slika 7.12. Merenje intervala vremena (Δt)

4. Podesiti podele naponske i vremenske ose tako, da se precizno može izvršiti očitavanje rastojanja.
5. Pogodnim horizontalnim i vertikalnim pozicioniranjem dovesti sliku u položaj, da se očitavanje može precizno izvršiti na centralnoj horizontalnoj liniji graduacije.
6. Očitati rastojanje između tačaka, koje definišu mereni interval vremena i preračunati ga u vreme u skladu, sa podelom vremenske ose.

Na slici 7.12 je dat primer merenja vremenskog intervala između uzlaznim ivicama dva nezavisna signala. Vremenski dijagrami oba signala su ispravno pozicionirani i sa tim se može izvršiti precizno očitavanje. Rastojanje između preseka uzlaznog dela signala, označenih sa A i B, sa horizontalnom (graduisanom) osom je 5 podeoka. Ako je podela vremenske ose bila na $50 \mu\text{s}/\text{DIV}$, mereni vremenski interval traje $250 \mu\text{s}$.

3.6 Merenje periode i frekvencije

Merenje periode se svodi na merenje vremenskog intervala na dijagramu posmatranog signala. Na ekranu osciloskopa treba obezbediti prikazivanje jedne cele periode signala. Treba očitati rastojanje između početka i kraja posmatrane periode (za ovu svrhu je pogodno koristiti presečne tačke sa centralnom horizontalnom linijom graduacije ekrana) i izmereno rastojanje preračunati u vreme u skladu sa podelom vremenske ose.



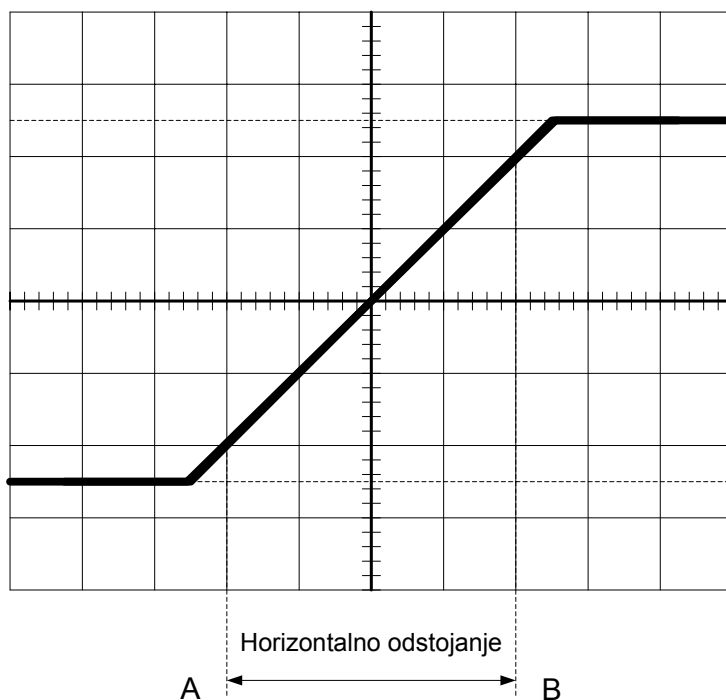
Slika 7.13. Merenje periode

Na slici 7.13 je prikazan primer merenja periode. Označeno je rastojanje koje definiše preiodu i ono iznosi 8 podeoka. U slučaju da je podela vremenske ose 2 ms/DIV, perioda signala traje 16 ms, što odgovara frekvenciji od 62.5 Hz. (fekvencija signala: $f = 1/T$)

3.7. Merenje trajanja usponske i silazne ivice digitalnih signala

Trajanje usponske ivice digitalnih impulsa se definiše kao vreme koje protekne dok signal promeni nivo sa 10 % na 90 % krajne vrednosti. Analogno se definiše trajanje silazne ivice.

Za merenje trajanja usponske i silazne ivice digitalnih signala pogodno je koristiti pomoćne (tačkaste) linije graduacije ekrana. Pre svega, na ekranu treba obezbediti stabilno prikazivanje signala na kome se vrši merenje (sinhronizovati sliku) i postaviti nivo logičke nule na donju pomoćnu liniju graduacije (tačkasta linija sa oznakom 0 %), a nivo logičke jedinice na gornju pomoćnu liniju (tačkasta linija sa oznakom 100 %). Kako bi se ovo postiglo potrebno je podešavati vertikalnu poziciju slike



Slika 7.14. Merenje trajanja usponske ivice

i koristiti kontinualnu podelu naponske ose (apsolutni nivoi napona nisu bitni, nego njihov odnos). Izborom sinhronizacije na usponsku ili na silaznu ivicu, podešavanjem nivoa praga za sinhronizaciju (trigger level) i izborom pogodne podele vremenske ose treba obezbediti sliku na ekranu osciloskopa sa koje je moguće izvršiti precizno očitavanje trajanja ivice. Primer ispravno pozicionirane slike i dobro određene podele vremenske ose je prikazan na slici 7.14.

Početak trajanja usponske ivice je označen trenutkom, kada signal dostigne 10 % svoje krajne vrednosti odnosno, presekom dijagrama posmatranog signala sa drugom horizontalnom linijom graduacije ispod centralne horizontalne linije. Radi lakšeg očitavanja, horizontalnim pozicioniranjem slike treba obezbediti, da ova tačka leži na nekoj od

vertikalnih linija graduacije ekrana, kako je to prikazano na slici 7.14, gde je tačkom, A označen početak trajanja usponske ivice.

Kraj trajanja usponske ivice je definisan trenutkom, kada signal dostigne 90 % svoje krajne vrednosti, odnosno, presekom dijagrama posmatranog signala sa drugom horizontalnom linijom graduacije iznad centralne horizontalne linije, što je označeno tačkom B na dijagramu sa slike 7.14. Kako bi se odredila trajanje usponske ivice treba odrediti horizontalno rastojanje između tačaka **A** i **B**, koje u primeru sa slike 7.14 iznosi 4 podeoka. Na kraju treba u skladu sa podelom vremenske ose preračunati rastojanje između tačaka **A** i **B** u vreme. U slučaju, da je podela vremenske ose u analiziranom primeru 0.5 $\mu\text{s}/\text{DIV}$, trajanje usponske ivice iznosi 2,0 μs .

Potpuno analogno merenju trajanja usponske ivice meri se trajanja silazne ivice. Najčešće je potrebno samo promeniti ivicu signala, na koju se sinhronizacija vrši. Izvršiti podešavanje horizontalne pozicije slike i očitati trajanje silazne ivice.

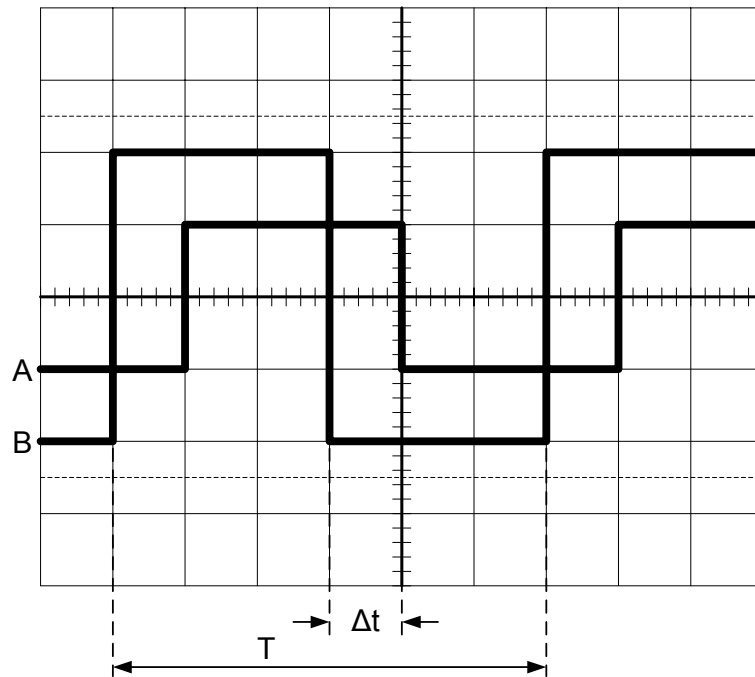
3.8. Merenje fazne razlike

Merenje fazne razlike između dva signala može se svesti, na merenje periode signala (**T**) i vremenske razlike između dva susedna uzlazna ili silazna prolaska kroz nulu tih signala (Δt), kako je to prikazano na slici 7.15. Postupci merenja ove dve veličine su objašnjeni u odeljcima 3.5 i 3.6. Fazna razlika se može izračunati kao:

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

Drugi način merenja fazne razlike je zasnovana na korišćenju potenciometra za kontinualnu promenu podele vremenske ose. Pre svega signale, čija se fazna razlika meri, potrebno je dovesti na ulaze osciloskopa korišćenjem sonde sa indentičnim kašnjenjem, prikazati ih na isti način (korišćenjem istog položaja preklopnika za način prikazivanja signala, bilo AC ili DC), sa istim nivoom nultog potencijala za oba kanala. Korišćenjem potenciometra za kontinualnu promenu podele vremenske ose, treba podesiti podelu vremenske ose tako, da jedna poluperioda posmatranih signala zauzima tačno 9 podeoka. Na taj način vrednost jednog podeoka horizontalne ose u faznom uglu iznosi:

$$\varphi = 180^\circ \cdot \frac{1}{9} = 20^\circ$$



Slika 7.15. Merenje fazne razlike

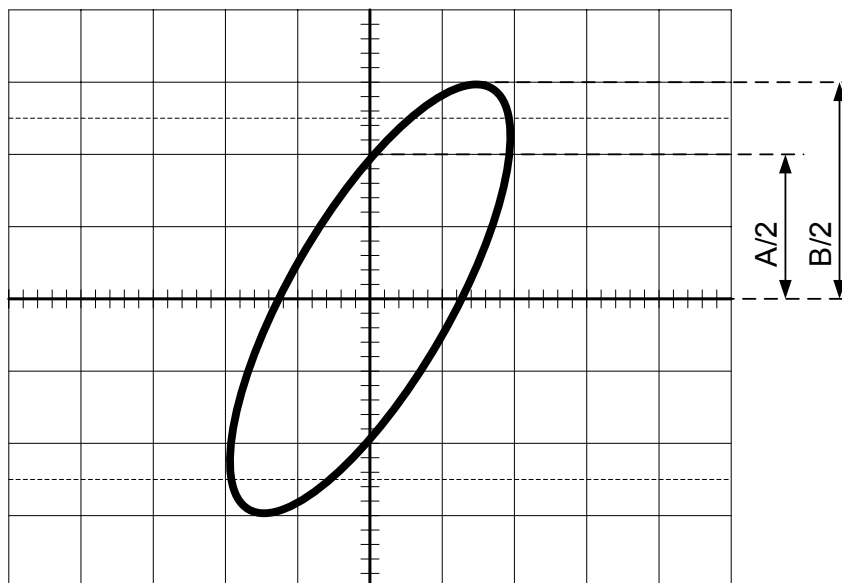
3.9. Merenje fazne razlike primenom Lisažuovih figura

Osciloskop se može koristiti za prikazivanje međusobne zavisnosti dva naponska signala prebacivanjem prekidača za izbor izvora okidajućeg signala SOURCE (1. slika 7.5) u X-Y položaj. Ovaj način formiranja slike na osciloskopu se koristi, za snimanje prenosne karakteristike nelinearnih kola, kao i merenje faznog stava i frekvencije primenom Lisažuovih figura (signal sa X ulaza (5. slika 7.5) vrši horizontalno pomeranje elektronskog mlaza).

Za određivanje fazne razlike dva sinusoidalna signala primenom Lisažuovih figura, potrebno je odrediti maksimalno skretanje elektronskog mlaza duž y ose (**B**) i presečnu tačku dobijene Lisažuove figure sa tom osom (**A**). Odnosno količnik rastojanja presečne tačke Lisažuove figure sa osom i maksimalnog skretanja mlaza duž te ose predstavlja, sinus merenog ugla fazne razlike.

Ugao faznog kasnjenja φ računa se kao:

$$\varphi = \arcsin \frac{A}{B}$$



Slika 7.16. Merenje fazne razlike primenom Lisažuovih figura

Na slici 7.16 je prikazana jedna Lisažuoova figura. Maksimalno skretanje mlaza duž y ose iznosi $B/2 = 3$ podeoka, dok je presečna tačka sa y osom iznosi $A/2 = 2$ podeoka. Na osnovu ovoga je sinus traženog ugla $2/3 = 0,667$, pa je izmerena fazna razlika posmatranih signala jednaka $\varphi = 41,8^\circ = 0,730 \text{ rad}$.

$$\varphi = \arcsin \frac{A}{B} = \arcsin \frac{2 \cdot 2}{2 \cdot 3} = \arcsin 0,667 = 41,8^\circ = 0,730 \text{ rad}$$

4. Zadaci

Cilj zadatka je praktično upoznavanje sa dvokanalnim analognim osciloskopom i izvršenje navedenih mernih zadataka pomoću tog osciloskopa.

Specifikacija merne opreme

- Osciloskop:.....
- Digitalni voltmetar:.....
- Generator signala sa pomoćnim izlazom:.....
- Generator signala sa DC offset:.....
- Digitalni frekvencmetar:.....
- Osciloskopska sonda:.....

4.1. Zadatak

Postavljanje upravljačkih elemenata u početni položaj

Uz proučavanje poglavlja 2. UPUTSTVA ZA RUKOVANJE OSCILOSKOPOM i posmatranjem osciloskopa, upoznati se, sa raspodelom i funkcijama upravljačkih elemenata.

- Uključiti napajanje, pritisnuti *prekidač* POWER (5) slika 7.2.
- Izabrati kanal koji se koristi CH1/CH2 (7) slika 7.4.
- *Preklopnik* - AC-GND-DC (3) slika 7.4 odabranog kanala postaviti u položaj GND.
- *Potenciometar* - POSITION (6) slika 7.4 (odabranog kanala CH1/CH2) za pomeranje po vertikali, postaviti u srednji položaj.
- *Potenciometar* - VAR (2) slika 7.4 postaviti u krajnji desni položaj CAL.
- *Preklopnik* - TRIGGER SOURCE (1) slika 7.5 postaviti u položaj INT
- *Preklopnik* - TRIGGER MODE (2) slika 7.5 postaviti u položaj AUTO.
- *Potenciometar* - LEVEL (4) slika 7.5 postaviti u srednji položaj.
- *Potenciometar* - SLOPE (3) slika 7.5 postaviti u položaj +
- *Potenciometre* INTENSITY (1) i FOCUS (2) slika 7.2 postaviti u srednji položaj, pritisnuti *taster* BEAM FINDER (3) slika 7.2 i pomoću *potenciometra* - POSITION (6) slika 7.4 odabranog kanala CH1/CH2 horizontalni zapis dovesti na centralnu gradiacionu X osu ekrana. Podesiti INTENSITY (1) i FOCUS (2) slika 7.2 u položaj najbolje definisane slike.

- Proceduru postavljanja upravljačkih elemenata u početni položaj izvršiti za oba kanala (CH1,CH2).

4.2. Zadatak

Podešavanje osciloskopske sonde

- Dovedi osciloskop u početno stanje.
- Odaberi kanal 1 (CH1) pomoću Vertical Mode prekidača 7, slika 7.4.
- Podesiti faktor vertikalnog slabljenja na vrednost 0.2 V/DIV (1, slika 7.4) u polju 10X.
- Priključiti BNC priključak sonde na ulaz 1. kanala (4, slika 7.4), drugi kraj sonde spojiti sa izlazom PROBE ADJ (4, slika 7.2).
- *Prekidač* - SOURCE postaviti u položaj INT (1, slika 7.5).
- *Prekidač* - MODE postaviti u položaj AUTO (2, slika 7.5).
- *Prekidač* - SLOPE postaviti u položaj +OUT (3, slika 7.5).
- *Potencijometar* - LEVEL podesiti u srednji položaj (4, slika 7.5).
- *Preklopnik* - SEC/DIV za izbor kalibrisane vremenske baze podesiti na vrednost 1 ms/DIV (6, slika 7.5).
- Otpustiti prsten za učvršćivanje (LOCKING SLEEVE, slika 7.7) i okretanjem ADJUST izvršiti kompenziranje sonde (COMPENSATED slika 7.8). Fiksirati kompenzovano stanje pomoću prstena LOCKING SLEEVE.

4.3. Zadatak

Merenje perioda sinusnog signala

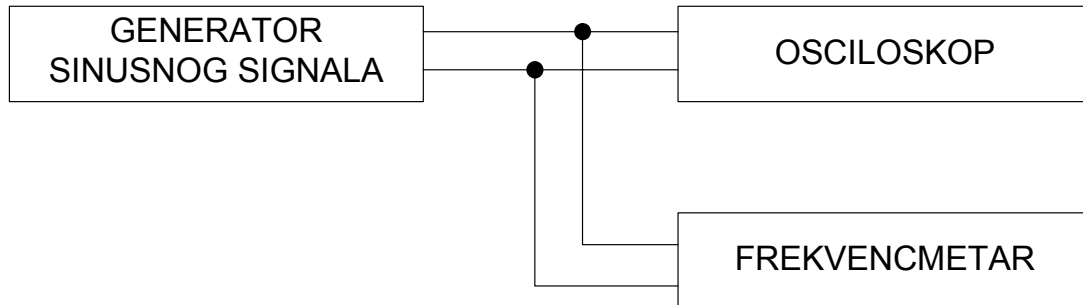
$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi) [V]$$

$$\omega = 2\pi \cdot f [Hz]$$

- Na izlaz generatora harmonijskog signala priključiti osciloskop i frekvencijometar (slika 7.17).
- Izmeriti periodu T_m sinusnog signala pomoću osciloskopa i izračunati frekvenciju signala $f_m = 1/T_m$. Izračunati relativnu grešku merenja frekvencije pomoću osciloskopa:

$$G_{r\%} = \frac{f_m - f_t}{f_t} \cdot 100[\%]$$

gde je f_m izračunata (posredno izmerena vrednost), a f_t tačna vrednost podešene frekvencije na generatoru signala izmerena pomoću frekvencmetra. Rezultate upisati u tabelu 7.1.



Slika 7.17. Merenje perioda sinusnog signala pomoću osciloskopa

Tačna vrednost frekvencije mer. frekvencmetr. f_t [kHz]	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Vrednost periode merene. osciloskopom T_m [s]									
Izrač. vredn. frekv. merene osciloskopom f_m [kHz]									
$G_{r\%} = \frac{f_m - f_t}{f_t} \cdot 100$ [%]									

Tabela 7.1. Rezultati merenja perioda sinusnog signala pomoću osciloskopa

4.4. Zadatak

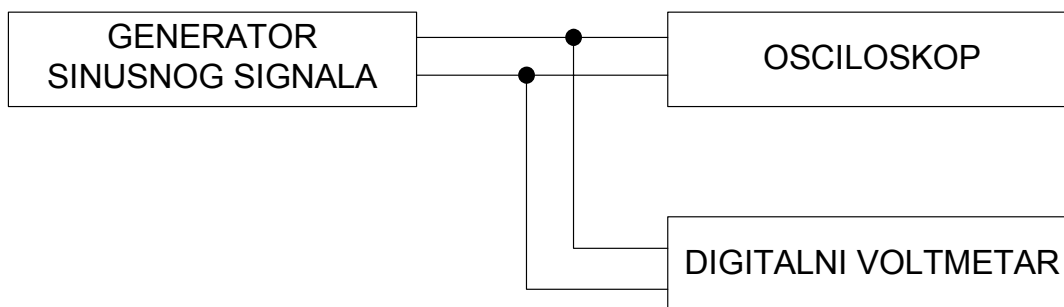
Merenje naizmeničnog napona (*parametri sinusnog signala*)

- Na izlaz generatora harmonijskog signala priljučiti osciloskop i digitalni voltmetar (slika 7.18).
- Na generatoru signala postaviti frekvenciju sinusnog signala na vrednost manju od 1 kHz, tako da za merenje efektivne vrednosti U_{eft} može da se upotrebi digitalni voltmetar. Pomoću osciloskopa izmeriti dvostuku vršnu vrednost napona, tj. vrednost od vrha do vrha U_{ppm} (peak to peak):

$$U_{ppm} = 2U_{\max}$$

i onda računski odrediti njenu efektivnu vrednost

$$U_{efm} = \frac{U_{ppm}}{2\sqrt{2}} = 0,355 \cdot U_{ppm}$$



Slika 7.18. Merenje parametara sinusnog signala

- Izmeriti tačnu efektivnu vrednost napona U_{eft} pomoću voltmetra.
- Izračunati relativnu grešku merenja efektivne vrednosti napona:

$$G_{r\%} = \frac{U_{efm} - U_{eft}}{U_{eft}} \cdot 100$$

- Postupak ponoviti za više različitih vrednosti napona. Rezultate merenja i računanja uneti u tabelu 7.2.

Napon izmeren voltmetrom U_{eft} [V]	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Napon izmeren osciloskopom U_{ppm} [V]									
Izračunata vrednost napona $U_{efm} = 0,355 \cdot U_{ppm}$ [V]									
Greška: $G_{r\%} = \frac{U_{efm} - U_{eft}}{U_{eft}} \cdot 100$ [%]									

Tabela 7.2. Rezultati merenja vršne i efektivne vrednosti sinusnog signala

4.5. Zadatak

Merenje jednosmernog napona potiskivanja pomoću osciloskopa

Spojiti memu šemu kao na slici 7.18. Ispitati napon potiskivanja (DC OFFSET), tj. Jednosmerni napon na generatoru funkcija (naizmenični signal jednak nuli). Smatrati da se pomoću digitalnog voltmetra meri tačna vrednost U_t , a da se pomoću osciloskopa meri vrednost U_m . Izračunati grešku merenja jednosmernog napona pomoću osciloskopa. Rezultate merenja upisati u tabelu 7.3.

Napon izmeren voltmetrom U_t [V]	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Napon izmeren osciloskopom U_m [V]									
Greška: $G_{r\%} = \frac{U_m - U_t}{U_t} \cdot 100$ [%]									

Tabela 7.3. Rezultati merenja jednosmernog napona potiskivanja pomoću osciloskopa

4.6. Zadatak

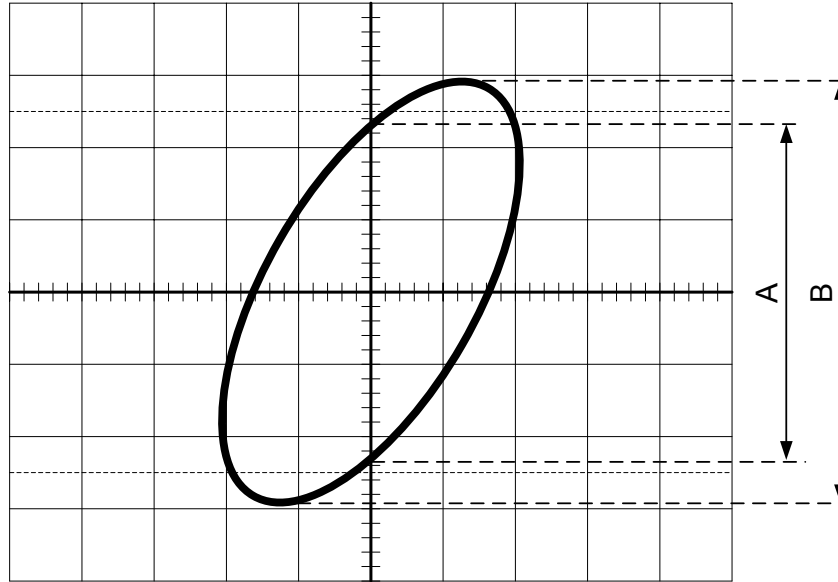
Određivanje fazne razlike pomoću Lisažuove elipse

- Preklopnik za izbor izvora okidajućeg signala SOURCE postaviti u X-Y položaj (1, slika 7.5).
- Podesiti svetlinu tačke pomoću INTENSITY potenciometra na pogodnu vrednost (1, slika 7.2).
- Odabrati kanal 1 (CH1).
- Pomoću potenciometra (6, slika 7.4) za vertikalnu i za horizontalnu poziciju (8, slika 7.5) dovesti u tačku u presek glavne vertikalne i horizontalne linije graduacije ekrana.
- Sa glavnog izlaza generatora signala (slika 7.20) dovesti prvi signal na ulaz kanala 1 (CH1 Y INPUT) (4, slika 7.4)
- Sa pomoćnog izlaza generatora signala (slika 7.20) drugi signal dovesti na X ulaz (X INPUT – EXTERNAL TRIGGER) (5, slika 7.5).
- Za dva harmonijska signala iste frekvencije odrediti faznu razliku na osnovu merenja parametara Lisažuove elipse (slika 7.19).

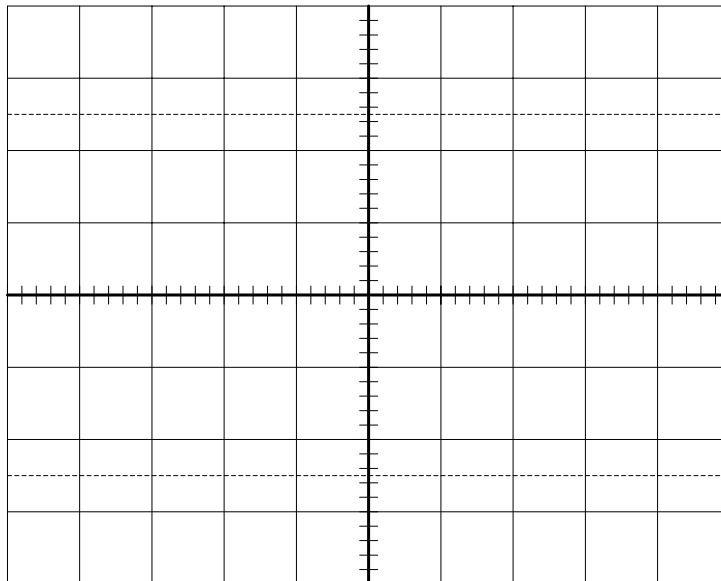
Ugao faznog kašnjenja:

$$\varphi = \arcsin \frac{A}{B}$$

$$f_x = f_y$$



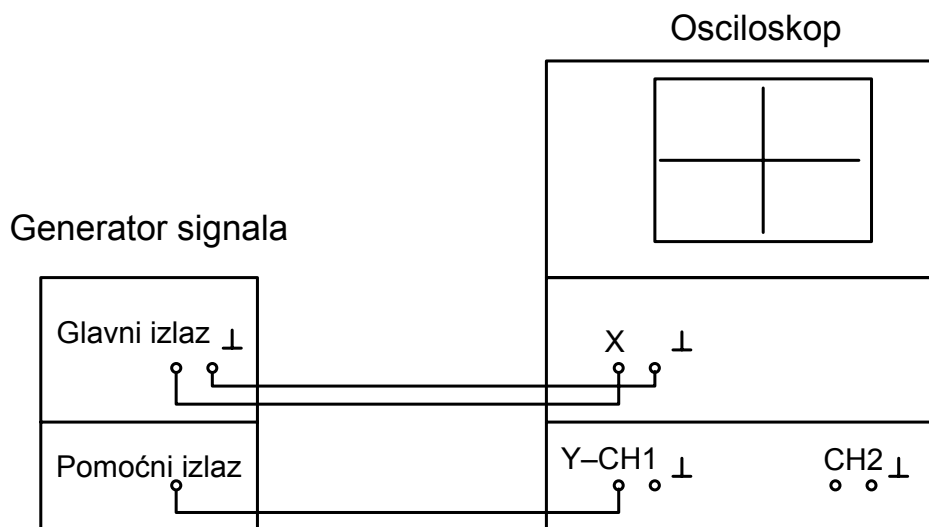
$$f_x = f_y = \dots\dots\dots[\text{Hz}]$$



Slika 7.19. Određivanje fazne razlike pomoću Lissajouve elipse

A =	[pod]
B =	[pod]
$\varphi =$	[°]

Tabela 7.4. Rezultati merenja Lisažuove elipse pomoću osciloskopa



Slika 7.20. Merna šema za određivanje fazne razlike pomoću Lisažuove elipse

X - kanal:

$$x(t) = u_1(t) = U_{1m} \sin(\omega t)$$

Y – CH1 kanal:

$$y(t) = u_{11}(t) = U_{11m} \sin(\omega t + \varphi)$$

LABORATORIJSKA VEŽBA BR.8
OSNOVNA MERENJA U NAIZMENIČNOM
TROFAZNOM SISTEMU

STUDENT

BR. INDEKSA

DATUM

VEŽBU PREGLEDAO

DATUM

OCENA

CILJ VEŽBE

Cilj vežbe je merenje napona, struja i određivanje redosleda faza u trofaznom sistemu.

Kratak uvod iz teorije

Grupa od tri naizmenična napona, koja imaju istu frekvenciju mogu da ostvare trofazni sistem. Sistem je simetričan ako su tri fazora jednaka i međusobno fazno pomereni za trećinu periode ($2\pi/3$ rad). Mreže sa četiri provodnika se priključuju na potrošač, koji je povezan u zvezdu. Tri fazna provodnika i nulprovodnik. Između nulprovodnika i faza javljaju se fazni naponi, dok među fazama imamo linijske napone. Na potrošač vezan u trougao priključuje se mreža sa tri provodnika i fazni naponi su nedostupni. Kod sistema sa tri provodnika ako nam treba nultačka možemo je formirati kao fiktivnu nul tačku. Voltmetri mere samo veličinu napona (efektivnu vrednost), ali ne i fazni stav.

U trofaznom sistemu zbir svih struja jednaka je nuli.
U slučaju mreža sa tri provodnika:

$$\overline{I_1} + \overline{I_2} + \overline{I_3} = 0$$

Mreže sa četiri provodnika:

$$\overline{I_N} + \overline{I_1} + \overline{I_2} + \overline{I_3} = 0$$

gde je :

$\overline{I_N}$ - struja, koja teče u nulprovodniku

$\overline{I_1}, \overline{I_2}, \overline{I_3}$ - struje koje teku u faznim provodnicima

Ampermetri mere samo veličinu (efektivnu vrednost) ali ne i fazni stav struja.

Specifikacija merne opreme

- Ampermetri na maketi:
- Ampermetar A_N :
- Digitalni univerzalni merni instrument:
- Kondenzator na maketi C:
- Sijalice na maketi:

Zadaci

Izvodi trofazne mreže na maketi označeni su sa: 1, 2 i 3-faze, N-nula. Spojevi na kojima će se meriti odvojeni su od mreže prekidačima S_1 , S_2 , S_3 i S_N . Vezivanje spojeva izvoditi pri otvorenim prekidačima. Ugrađene signalne sijalice pokazuju da li je neka tačka pod naponom ili nije.

1. Zadatak

Pre početka merenja proveriti, da li su prekidači S_1 , S_2 , S_3 i S_N isključeni, ako nisu isključiti ih! Uključiti digitalni univerzalni merni instrument, odabrati vrstu merne veličine $V\sim$ i odgovarajući merni opseg $MO_V=2000\text{ V}$. Priključke instrumenta (za merenu veličinu) spojiti sa ulaznim priključkom prve faze (1) i nultim vodom (N) trofaznog sistema. Voltmetar meri fazni napon prve faze U_1 .

Postepeno povećavati napon napajanja pomoću trofaznog regulacionog transformatora sve dok fazni napon ne dostigne $U_1=220\text{ V}\sim$.

Voltmetrom izmeriti fazne i linijske napone. Rezultate merenja uneti u tabelu 8.1 i tabelu 8.2. Odrediti odnos srednjih vrednosti linijskog napona (U_{srl}) i faznog napona (U_{srf}).

U_1 [V]	
U_2 [V]	
U_3 [V]	

Tabela 8.1. Fazni naponi napajanja

U_{12} [V]	
U_{23} [V]	
U_{31} [V]	

Tabela 8.2. Linijski naponi napajanja

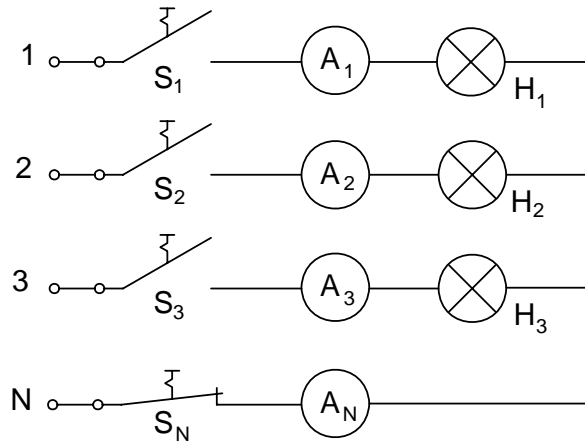
$$U_{srf} = \frac{U_1 + U_2 + U_3}{3} = \dots\dots\dots V$$

$$U_{srl} = \frac{U_{12} + U_{23} + U_{31}}{3} = \dots\dots\dots V$$

$$\frac{U_{srl}}{U_{srf}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

2. Zadatak

Ostvariti spoj prema slici 8.1.



Slika 8.1. Merenje struja trofaznog potrošača u spoju zvezda

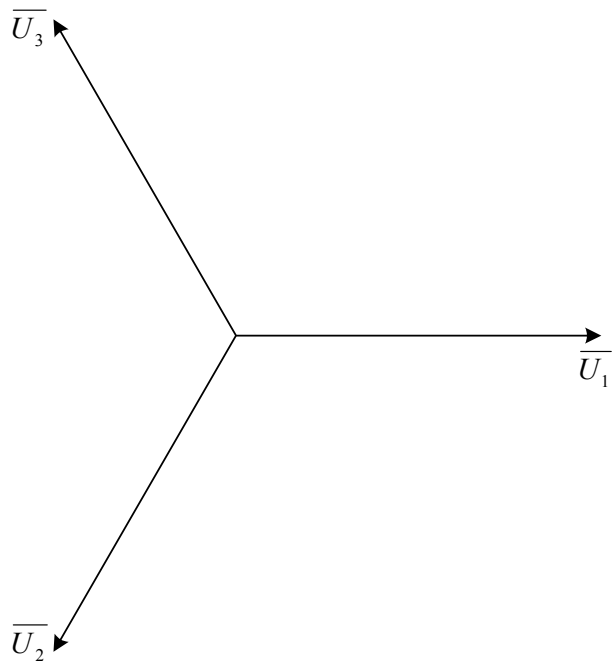
Uključivati jednu po jednu sijalicu (predhodno uključene se ne isključuju) i pri tome meriti struje. Rezultate merenja uneti u tabelu 8.3.

	a	b	c
I_1 [A]			
I_2 [A]	0		
I_3 [A]	0	0	
I_N [A]			

Tabela 8.3. Rezultati merenja struja trofaznog potrošača u spoju zvezda

Vektorskim dijagramom (slika 8.2) objasniti dobijene rezultate.

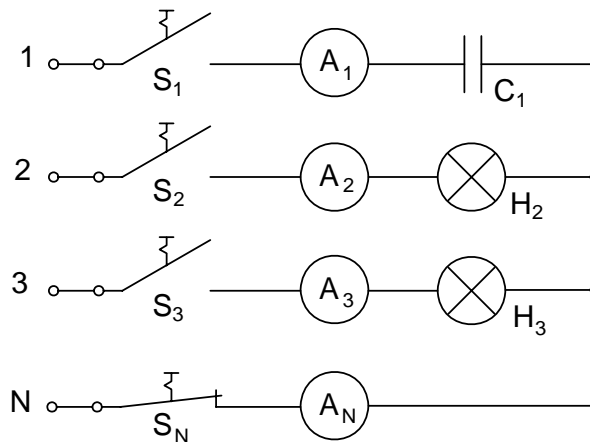
Merilo : 1 cm = 100 mA



Slika 8.2. Vektorski dijagram napona i struja

3. Zadatak

Ostvariti spoj prema *slici 8.3*.



Slika 8.3. Merenje struje trofaznog potrošača u spoju zvezda

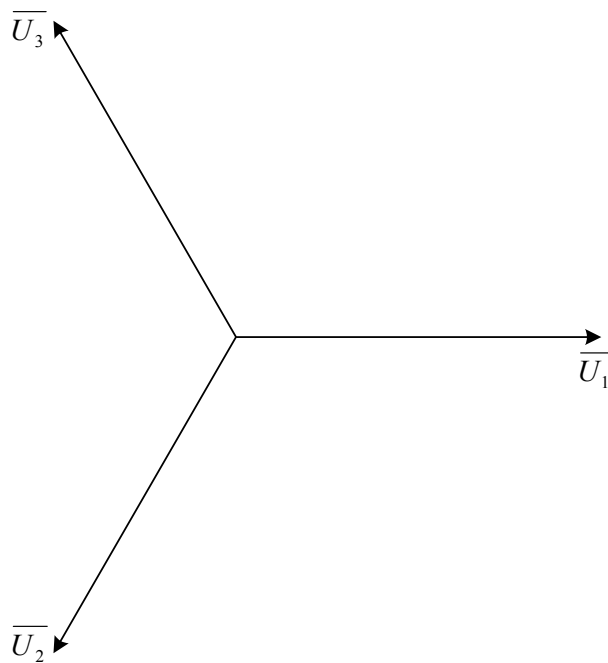
Uključivati jednu po jednu sijalicu (predhodno uključene se ne isključuju) i pri tome meriti struje. Rezultate merenja uneti u *tabelu 8.4*.

	a	b	c
I_1 [A]			
I_2 [A]	0		
I_3 [A]	0	0	
I_0 [A]			

Tabela 8.4. Rezultati merenja struja trofaznog potrošača u spoju zvezda

Vektorskim dijagramom (*slika 8.4*) objasniti dobijene rezultate.

Merilo : 1 cm = 100 mA

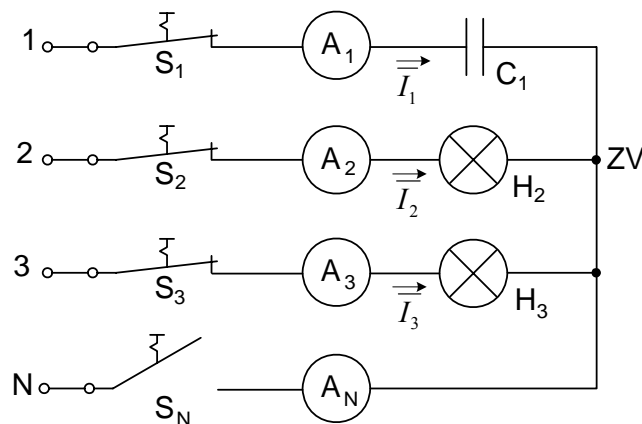


Slika 8.4. Vektorski dijagram napona i struja

4. Zadatak

Ostvariti spoj prema *slici 8.5*, prekidači S_1 , S_2 , S_3 i S_N su isključeni. Uključiti digitalni univerzalni merni instrument, odabrati vrstu merene veličine Ω i odgovarajući merni opseg $MO_{\Omega} = 200\Omega$. Izmeriti otpor sijalica H_2 i H_3 (R_{s2h} , R_{s3h}) u hladnom stanju. Rezultate merenja uneti u odgovarajuće redove poglavlja 4/d. Nakon merenja promeniti vrstu merene veličine univerzalnog digitalnog mernog instrumenta na $V\sim$ i odabrati merni opseg $MO_V = 2000 V$. Priključke za merenu veličinu spojiti ulaznim priključkom druge faze (2) i zvezdištem (ZV) trofaznog potrošača. Voltmetar meri napon, između druge faze i zvezdišta U_{2ZV} . Uključiti prekidače S_1 , S_2 , S_3 i postepeno povećavati napon napajanja sve do trenutka kada napon ne postaje $U_{2ZV} = 220 V\sim$.

Izmeriti napone U_{1ZV} , U_{2ZV} , U_{3ZV} i U_{ZV0} . Rezultate merenja uneti u odgovarajuće redove *tabele 8.5*.



Slika 8.5. Određivanje redosled faza

a) Odrediti redosled faza:

Pravilo pri korišćenju ovog sklopa za određivanje redosleda faza je sledeći: fazu u koju je vezan kondenzator sledi faza, čija lampa jače svetli. Ovaj sklop ne identifikuje faze, samo određuje redosled!

Faza označena sa 1 neka je prva faza ili L1 faza

Faza označena sa 2 je ___ faza ili ___ faza

Faza označena sa 3 je ___ faza ili ___ faza

U_{1ZV} [V]	
U_{2ZV} [V]	
U_{3ZV} [V]	
U_{ZVN} [V]	

Tabela 8.5. Rezultati merenja faznih napona i napona zvezdišta potrošača

Grafički konstruisani napon zvezdišta potrošača (*slika 8.6*)

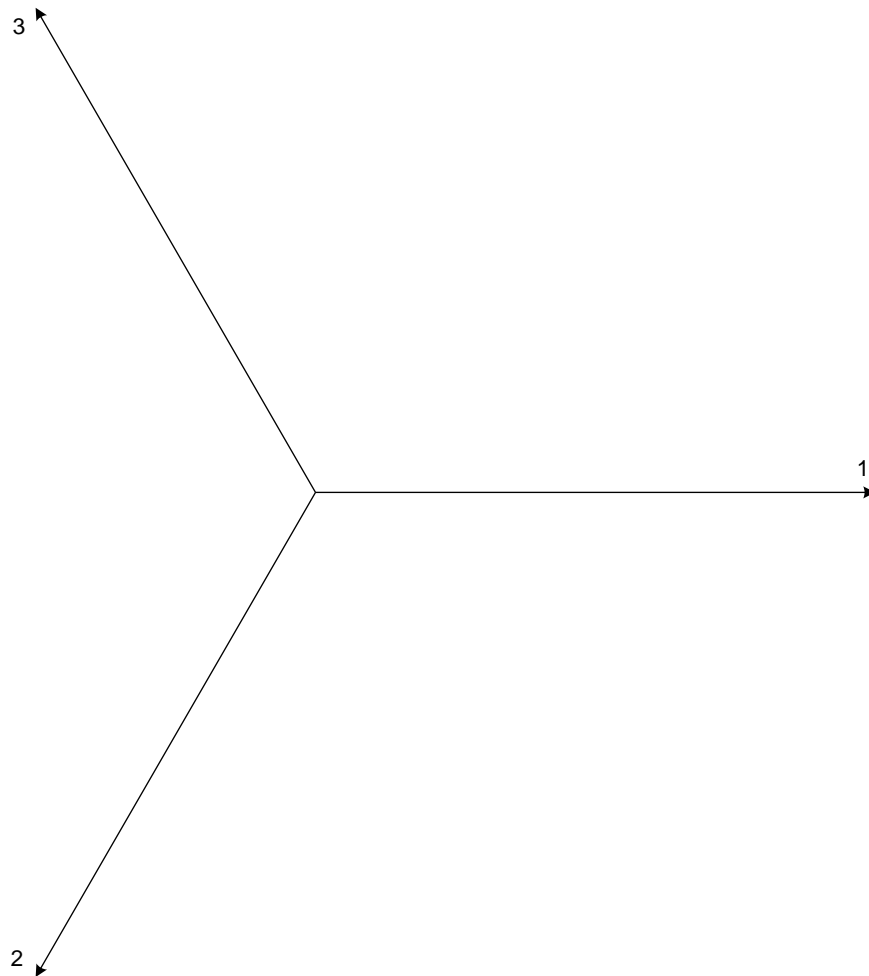
b) Izmeriti struje kroz pojedine grane. Rezultate merenja uneti u *tabelu 8.6*.

I_1 [A]	
I_2 [A]	
I_3 [A]	

Tabela 8.6. Rezultati merenja struja u pojedinim granama

Ucrtati struje u vektorski dijagram napona i struja (*slika 8.6*)

Merilo: 1 cm = 50 V , 1 cm = 100 mA



Slika 8.6. Vektorski dijagram napona i struja

d) Otpor sijalica H_2 , H_3 u hladnom (isključenom) stanju :

$$R_{s2h} = \dots\dots\dots \Omega$$

$$R_{s3h} = \dots\dots\dots \Omega.$$

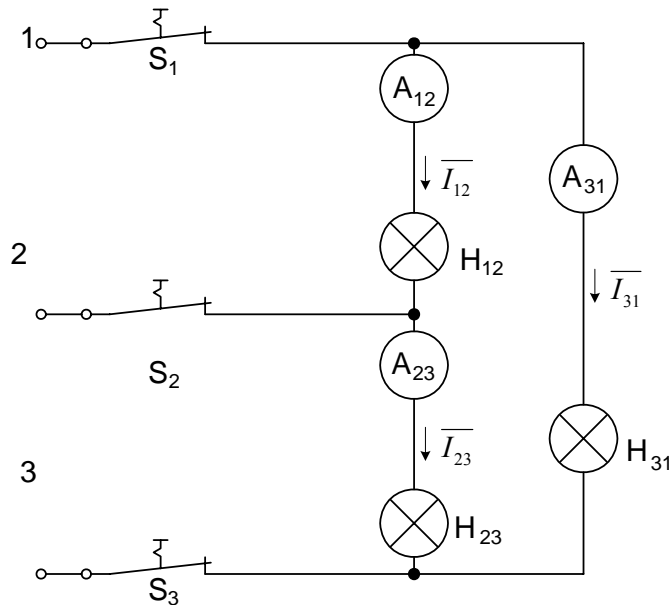
e) Izračunati otpor sijalica u pogonskom (uključenom) stanju :

$$R_{s2p} = \frac{U_{2ZV}}{I_2} = \dots\dots\dots \Omega$$

$$R_{s3p} = \frac{U_{3ZV}}{I_3} = \dots\dots\dots \Omega$$

5. Zadatak

a) Ostvariti spoj prema slici 8.7 (prekidači S_1 , S_2 i S_3 su isključeni). Uključiti digitalni univerzalni merni instrument, odabrati vrstu merene veličine $V\sim$ i odgovarajući merni opseg $MO_V = 2000V$. Priklučke za merenu veličinu spojiti sa ulaznim priključkom prve faze (1) i druge faze (2) trofaznog sistema. Voltmetar meri linijski napon U_{12} . Postepeno povećavati napon napajanja sve dok napon ne postaje $U_{12} = 220 V\sim$. Odspojiti instrument i isključiti isti. Uključiti prekidače S_1 , S_2 i S_3 .



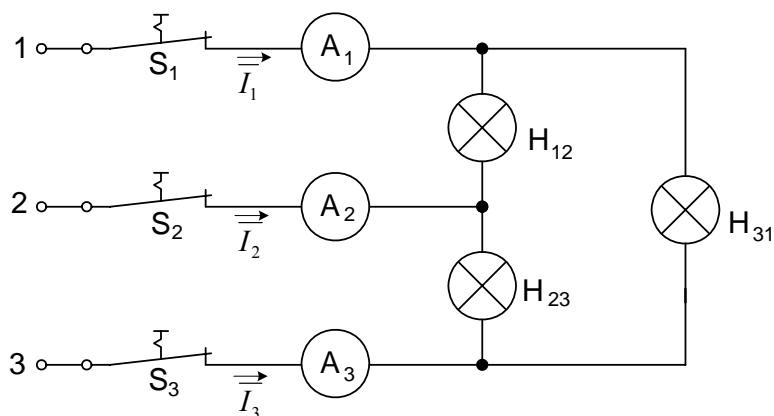
Slika 8.7. Merenje faznih struja trofaznog potrošača u spoju trougao

Izmeriti struje pojedinih grana. Rezultate merenja uneti u *tabelu 8.7*.

I_{12} [A]	
I_{23} [A]	
I_{31} [A]	

Tabela 8.7. Rezultati merenja faznih struja trofaznog potrošača u spoju trougao

b) Ostvariti spoj prema *slici 8.8*.



Slika 8.8. Merenje linijskih struja trofaznog potrošača u spoju trougao

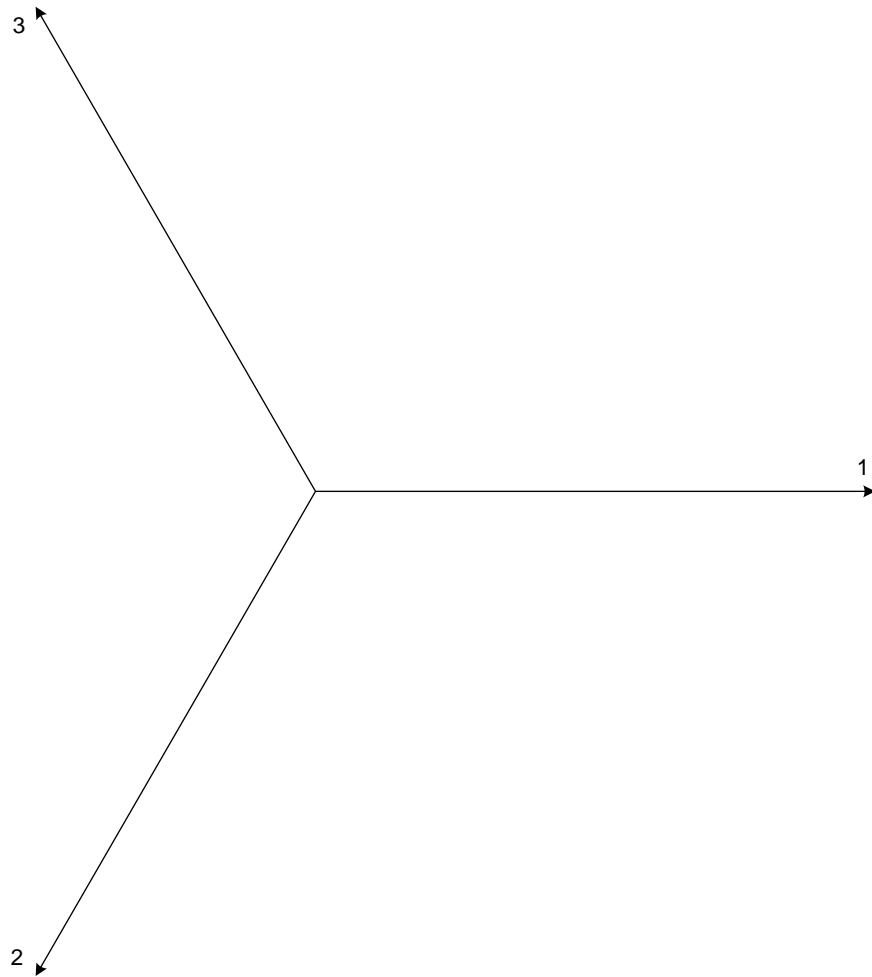
Izmeriti linijske struje. Rezultati merenja uneti u *tabelu 8.8*.

I_1 [A]	
I_2 [A]	
I_3 [A]	

Tabela 8.8. Rezultati merenja linijskih struja trofaznog potrošača u spoju trougao

Nacrtati vektorski dijagram napona i struja (*slika 8.9*) :

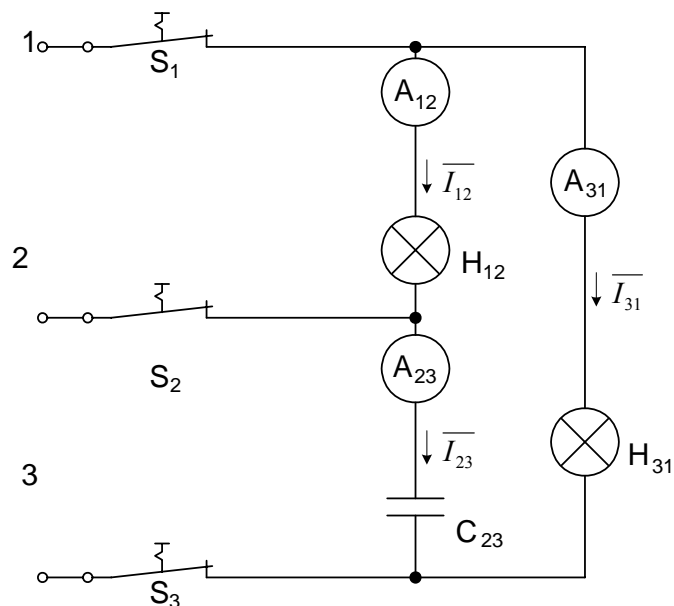
Merilo: 1 cm = 50V , 1 cm = 100 mA



Slika 8.9. Vektorski dijagram napona i struja

6. Zadatak

a) Ostvariti spoj prema slici 8.10.



Slika 8.10. Merenje faznih struja trofaznog potrošača u spoju trougao

b) Izmeriti struje kroz pojedine grane. Rezultate merenja uneti u tabelu 8.9.

I_{12} [A]	
I_{23} [A]	
I_{31} [A]	

Tabela 8.9. Rezultati merenja faznih struja trofaznog potrošača u spoju trougao

c) Izračunati struje kroz pojedine grane.

Polazni podaci za proračun :

$$U_{12} = U_{23} = U_{31} = 220\text{V}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

R_{s2p} , R_{s3p} (rezultati 4/e zadatka)

C (specifikacija merne opreme)

$$I_{12} = \frac{U_{12}}{R_{s2p}} = \text{-----} = \text{.....}A$$

$$I_{23} = \frac{U_{23}}{X_C} = \frac{U_{23}}{1/\omega C} = U_{23} \cdot \omega \cdot C = U_{23} \cdot 2\pi f \cdot C = \text{.....}A$$

$$I_{31} = \frac{U_{31}}{R_{s3p}} = \text{-----} = \text{.....}A$$

Zaključak:

.....
.....
.....
.....

LABORATORIJSKA VEŽBA BR. 9
MERENJE SNAGE NESIMETRIČNOG POTROŠAČA
U ČETVOROŽIČNOM TROFAZNOM
SISTEMU

STUDENT

BR. INDEKSA

DATUM

VEŽBU PREGLEDAO

DATUM

OCENA

CILJ VEŽBE

Merenje snage nesimetričnog potrošača u četvorožičnom trofaznom sistemu metodom tri vatmetra.

Kratak uvod iz teorije

U ovoj metodi, kroz strujne grane vatmetara, teku fazne struje tereta, dok su naponske grane vatmetara priključene na pripadajuće fazne napone. Na taj način svaki vatmetar meri snagu jedne faze P , pa zbir pokazivanja tri vatmetra, daje ukupnu aktivnu snagu P_{Σ} nesimetričnog potrošača. Merenjem fazne struje i pripadajućeg faznog napona prividna snaga jedne faze je:

$$S = U \cdot I.$$

Ukupna prividna snaga nesimetričnog potrošača S_{Σ} je zbir prividnih snaga tri faze.

Reaktivna snaga Q pojedinih faza je:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2},$$

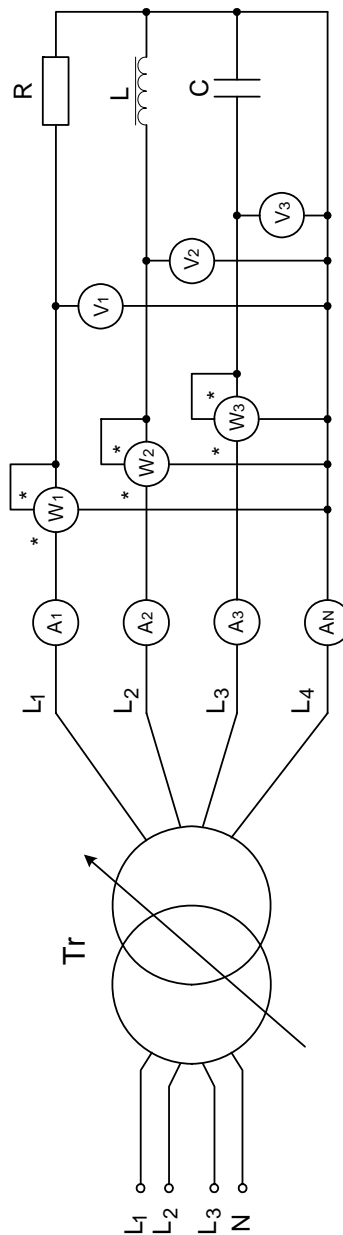
zbir reaktivnih snaga tri faze daje ukupnu reaktivnu snagu Q_{Σ} nesimetričnog potrošača.

Specifikacija merne opreme

- Ampermetri A_1 :
 A_2 :
 A_3 : i
 A_N :
- Voltmetri V_1 :
 V_2 : i
 V_3 :
- Vatmetri W_1 :
 W_2 : i
 W_3 :
- Regulacioni transformator Tr :
- Otpornik R :
- Induktivitet L :
- Kondenzator C :

Zadatak

Izvršiti merenje snage nesimetričnog potrošača u četvorožičnom trofaznom sistemu metodom tri vatmetra. Smatrati, da su potrošnja ampermetara, voltmetara i vatmetara zanemarljivo mala. Spojiti merne instrumente i pribor kao što je prikazano na *slici 9.1*.



Slika 9.1. Merenje snage nesimetričnog potrošača metodom tri vatmetra u četvorožičnom trofaznom sistemu

Regulacionim transformatorom povećati napon, dok jedan od voltmetara ne pokaže 220 V. Ovim su određeni naponski merni opsezi vatmetara. Prateći pokazivanja ampermetara, izabrati najpovoljnije strujne merne opsege vatmetara. Za svaku fazu rezultat merenja aktivne snage, napona i struje uneti u *tabelu 9.1*, *tabelu 9.2* i *tabelu 9.3*.

C_{W1} [W/pod]	α_{W1} [pod]	P_1 [W]	C_{W2} [W/pod]	α_{W2} [pod]	P_2 [W]	C_{W3} [W/pod]	α_{W3} [pod]	P_3 [W]

Tabela 9.1. Rezultati merenja aktivne snage nesimetričnog potrošača metodom tri vatmetara u četvorožičnom trofaznom sistemu

C_{V1} [V/pod]	α_{V1} [pod]	U_1 [V]	C_{V2} [V/pod]	α_{V2} [pod]	U_2 [V]	C_{V3} [V/pod]	α_{V3} [pod]	U_3 [W]

Tabela 9.2. Rezultati merenja faznih napona u četvorožičnom trofaznom sistemu

C_{A1} [A/pod]	α_{A1} [pod]	I_1 [A]	C_{A2} [A/pod]	α_{A2} [pod]	I_2 [A]
C_{A3} [A/pod]	α_{A3} [pod]	I_3 [A]	C_{AN} [A/pod]	α_{AN} [pod]	I_N [A]

Tabela 9.3. Rezultati merenja struja u četvorožičnom trofaznom sistemu

Konstanta očitavanja voltmetara C_V određuje se kao odnos maksimalne merene veličine $U_{x\max}$ i maksimalnog otklona kazaljke $\alpha_{x\max}$, na datom mernom opsegu MO_V .

$$C_V = \frac{U_{x\max}}{\alpha_{x\max}}$$

Mereni fazni naponi U_1 , U_2 i U_3 se određuju kao umnožak konstante odgovarajućeg voltmetra (C_{V1} , C_{V2} , C_{V3}) sa pripadajućim otklonom kazaljke.

$$U_1 = C_{V1} \cdot \alpha_{V1}$$

$$U_2 = C_{V2} \cdot \alpha_{V2}$$

$$U_3 = C_{V3} \cdot \alpha_{V3}$$

Rezultate uneti u *tabelu 9.2.*

Konstanta očitavanja ampermetara C_A određuje se kao odnos maksimalne merene veličine I_{\max} i maksimalnog otklona kazaljke α_{\max} , na datom mernom opsegu ampermetra MO_A .

$$C_A = \frac{I_{\max}}{\alpha_{\max}}.$$

Merene struje I_1 , I_2 , I_3 i I_N računaju se kao umnožak konstante očitavanja odgovarajućeg instrumenta (C_{A1} , C_{A2} , C_{A3} , C_{AN}) sa pripadajućim otklonom kazaljke.

$$I_1 = C_{A1} \cdot \alpha_{A1}$$

$$I_2 = C_{A2} \cdot \alpha_{A2}$$

$$I_3 = C_{A3} \cdot \alpha_{A3}$$

$$I_N = C_{AN} \cdot \alpha_{AN}$$

Na osnovu rezultate merenja izračunati za svaku fazu (L_1 , L_2 i L_3) aktivnu (P_1 , P_2 i P_3), prividnu (S_1 , S_2 i S_3) i reaktivnu (Q_1 , Q_2 i Q_3) snagu kao i ukupnu aktivnu P_Σ , prividnu S_Σ i reaktivnu Q_Σ snagu nesimetričnog potrošača.

Rezultate uneti u *tabelu 9.4.*

P_1 [W]	P_2 [W]	P_3 [W]	P_Σ [W]	S_1 [VA]	S_2 [VA]	S_3 [VA]	S_Σ [VA]	Q_1 [VAr]	Q_2 [VAr]	Q_3 [VAr]	Q_Σ [VAr]

Tabela 9.4. Rezultati merenja snage nesimetričnog potrošača u četvorožičnom trofaznom sistemu

Zaključak

.....

.....

.....

.....

LABORATORIJSKA VEŽBA BR.10

**MERENJE AKTIVNE SNAGE U TROŽIČNOM
TROFAZNOM SISTEMU METODOM DVA VATMETRA**

STUDENT

BR. INDEKSA

DATUM

VEŽBU PREGLEDAO

DATUM

OCENA

CILJ VEŽBE

Cilj vežbe je, merenje aktivne snage trofaznog potrošača metodom dva vatmetra (Aronov spoj).

Kratak uvod iz teorije

Metodom dva vatmetra meri se snaga trofaznog potrošača, bez nulprovodnika. Pri tome su strujne grane vatmetra W_1 i W_2 priključeni u dve faze, a dovodne stezaljke njihovih naponskih grana na istu fazu u kojoj je i strujna grana.

Odvodne stezaljke naponskih grana priključuju se na fazu u kojoj nema strujnih grana vatmetara. Treba paziti, da dovodne stezaljke strujnih grana budu na strani izvora napajanja.

Zbir pokazivanja prvog (P_1) i drugog vatmetra (P_2) će dati srednju vrednost snage trofaznog sistema:

$$P = P_1 + P_2$$

Pokazivanje pojedinih vatmetara se razlikuje, i zavisi od faktora snage, uz pretpostavku da se pri tome struja i napon ne menjaju po veličini. Pri omskom opterećenju ($\cos \varphi = 1$) oba vatmetra imaju jednaki otklon:

$$P_1 = P_2$$

Povećavanjem faznog ugla φ opada otklon vatmetra W_2 , dok otklon vatmetra W_1 raste. Pri faznom uglu $\pi/3$ ($\cos \varphi = 0,5$) otklon vatmetra W_2 pada na nulu, a ako fazni ugao i dalje raste, on postaje negativan. U tom slučaju dobiveno očitavanje odbija se od očitavanja na drugom vatmetru.

U simetrično opterećenim trofaznim sistemima može se odrediti faktor snage ($\cos \varphi$) potrošača iz odnosa otklona jednog i drugog vatmetra:

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + 3 \cdot \left(\frac{1 - \xi}{1 + \xi} \right)^2}}$$

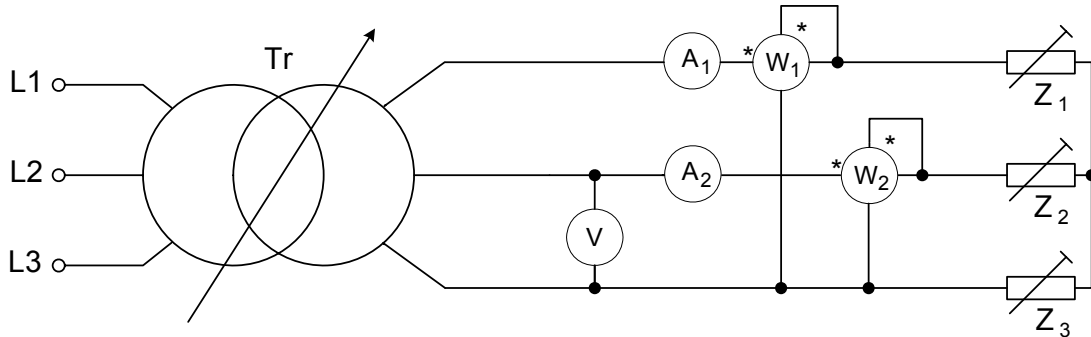
gde je:

$$\xi = P_2 / P_1 .$$

P_2 je manja snaga od dveju snaga očitanih sa vatmetara.

Zadatak

Izvršiti merenje aktivne snage tereta u trofaznom trožičnom sistemu pomoću dva vatmetra (Aronov spoj). Smatrati da su potrošnje ampermetara, voltmetra i vatmetra zanemarljivo mala. Spojiti merne instrumente i pribor kao što je prikazano na *slici 10.1*.



Slika 10.1. Merenje aktivne snage metodom dva vatmetra (Aronov spoj)

Specifikacija merne opreme

- Ampermetri A_1 : i
 A_2 :
- Trofazni regulacioni transformator Tr :
- Trofazni potrošač (Z_1, Z_2, Z_3) :
- Vatmetar W_1 : i
 W_2 :
- Digitalni univerzalni merni instrument V :

Uključiti digitalni univerzalni merni instrument, odabrati vrstu merene veličine $V\sim$ i odgovarajući merni opseg $MO_V=200\text{ V}$

Merni opseg ampermetra MO_A odabrati na osnovu odgovarajuće kolone *tabeli 10.1.* i odrediti konstantu očitavanja ampermetara.

Konstanta očitavanja ampermetara C_A određuje se kao odnos maksimalne merene veličine I_{\max} i maksimalnog otklona kazaljke α_{\max} , na datom mernom opsegu ampermetra MO_A :

$$C_A = \frac{I_{\max}}{\alpha_{\max}}$$

Ampermetri A_1 i A_2 su istog tipa sa istim mernim opsegom MO_A iz toga sledi

$$C_{A1} = C_{A2} = C_A$$

Rezultate uneti u *tabelu 10.1.*

Merene struje I_1 i I_2 računaju se kao umnožak konstante očitavanja odgovarajućeg instrumenta (C_{A1} , C_{A2}) sa pripadajućim otklonom kazaljke (α_{A1} , α_{A2}):

$$I_1 = C_{A1} \cdot \alpha_{A1}$$

$$I_2 = C_{A2} \cdot \alpha_{A2} .$$

Naponski merni opseg vatmetara pre početka merenja odabrati $MO_{WU}=300\text{ V}$, u toku merenja menjati u zavisnosti od linijskog napona prema *tabeli 10.1.*

Strujni merni opseg vatmetara odabrati $MO_{WI} = 1\text{ A}$. Izbor algebarskog predznaka pokazivanja vatmetara vrši se preklopnikom. U početku merenja odabrati predznak + u toku merenja menjati prema potrebi.

Konstanta očitavanja vatmetra C_W određuje se kao, umnožak naponskog mernog opsega vatmetra MO_{WU} i strujnog mernog opsega vatmetra MO_{WI} podeljen sa maksimalnim otklonom kazaljke instrumenta α_{\max} :

$$C_W = \frac{MO_{WU} \cdot MO_{WI}}{\alpha_{\max}}$$

Vatmetri W_1 i W_2 su istog tipa, u toku merenja koristi se isti naponski merni opseg MO_{WU} i strujni merni opseg MO_{WI} iz toga sledi

$$C_{W1} = C_{W2} = C_W$$

Rezultate uneti u *tabelu 10.1.*

FAKTOR SNAGE $\cos \varphi$										
UKUPNA AKTIVNA SNAGA $P=P_1+P_2$		[W]								
VATMETAR2	P_2	[W]								
	α_{W2}	[pod]								
	C_{W2}	[W/ pod]								
VATMETAR1	P_1	[W]								
	α_{W1}	[pod]								
	C_{W1}	[W/ pod]								
AMPERMETAR 2	I_2	[A]								
	α_{A2}	[pod]								
	C_{A2}	[A/ pod]								
AMPERMETAR 1	I_1	[A]								
	α_{A1}	[pod]								
	C_{A1}	[A/ pod]								
MERNI OPSEG AMPERMETRE MO_A		[A]	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
STRUJNI MERNI OPSEG VATMETRE MO_{W1}		[A]	1	1	1	1	1	1	1	1
NAPONSKI MERNI OPSEG VATMETRE MO_{WU}		[V]	300	300	150	150	150	150	150	150
LINIJSKI NAPON NAPAJANJA U_{23}		[V]	150	150	100	100	75	75	50	25
POLOŽAJ PREKLOPNIKA IMPEDANSE			8	7	6	5	4	3	2	1
			10							0

Tabela 10.1. Rezultati merenja aktivne snage metodom dva vatmetra

Merene aktivne snage P_1 i P_2 računaju se kao, umnožak konstante očitavanja odgovarajućeg instrumenta (C_{W1} , C_{W2}) pripadajućim otklonom kazaljke (α_{W1} , α_{W2}) sa odgovarajućim algebarskim predznacima:

$$P_1 = C_{W1} \cdot \alpha_{W1}$$

$$P_2 = C_{W2} \cdot \alpha_{W2}$$

Trofazni potrošač je formiran od tri impedansi (Z_1, Z_2, Z_3) u spoju zvezda. Vrednost impedansi se podešava preklopnici sa devet položaja (od 0 do 8). U toku merenja obratiti pažnju, da preklopnici budu istom položaju ($Z_1=Z_2=Z_3$).

Pre početka merenja preklopnike za izbor impedanse postaviti u položaj 8. Regulacionim transformatorom postepeno povećavati napon napajanja potrošača. Pratiti skretanje kazaljki vatmetara, u slučaju da kazaljka bilo kojeg vatmetra skrene u levo preklopnik za algebarski predznak datog vatmetra preklopiti u suprotni položaj (-), povećavati napon napajanja dok linijski napon ne postaje $U_{23}=150 \text{ V}$.

Rezultate merenja α_{A1} , α_{A2} , α_{W1} i α_{W2} uneti u prvi red *tabele 10.1*.

Kontrola pravilnosti priključivanja provodi se na sledeći način: Vatmetri W_1 i W_2 spoje se tako da imaju pozitivan otklon. Jedan od njih će pri tom dati manji otklon. Neka je to vatmetar W_2 . Njegova naponska grana se odvoji od one faze u kojoj nema strujnih grana vatmetra i uključi u onu granu u kojoj je strujna grana drugog vatmetra. Ako je njegov otklon i sada pozitivan, vatmetar je bio ispravno spojen i njegovo je očitavanje trebalo pribrojati očitavanju na drugom vatmetru. Ako je obratno treba ga odbiti.

Regulacionim transformatorom smanjiti linijski napon napajanja $U_{23}=0 \text{ V}$, preklopnike za izbor vrednost impedanse postaviti u položaj 7. Merne opsege instrumenata odabrati na osnovu drugog reda *tabele 10.1*. Postepeno povećati napon napajanja dok linijski napon ne postaje $U_{23}=150 \text{ V}$.

Rezultate merenja α_{A1} , α_{A2} , α_{W1} i α_{W2} uneti u drugi red *tabele 10.1*.

Prethodno opisan postupak merenja ponoviti za ostale položaje preklopnika impedanse (6, 5, 4, 3, 2, 1, 0).

Merni opsezi instrumenata i vrednosti linijskog napona dati su u odgovarajućim redovima *tabele 10.1*.

Rezultate merenja uneti u pripadajući red *tabele 10.1*. Na osnovu rezultata merenja izračunati ukupnu aktivnu snagu trofaznog potrošača P i faktor snage $\cos \varphi$. Rezultate proračuna uneti u *tabelu 10.1*.

Na osnovu dobijenih rezultata (*tabela 10.1*) izračunati vrednost impedansi Z_1 i Z_2 za svaki položaj preklopnika impedanse. Pri proračunu pretpostaviti, da je napajanje potrošača simetričan tj. $U_{12}=U_{23}=U_{31}$.

Vrednosti impedanse se računaju kao:

$$Z_1 = \frac{U_{23}}{I_1} ,$$

$$Z_2 = \frac{U_{23}}{I_2} .$$

Rezultate uneti u *tabelu 10.2.*

POLOŽAJ PREKLOPNIKA IMPEDANSE	0	1	2	3	4	5	6	7	8
VREDNOST IMPEDANSE Z_1 [Ω]									
VREDNOST IMPEDANSE Z_2 [Ω]									

Tabela 10.2. Impedansa potrošača

Zaključak

.....
.....
.....
.....

LABORATORIJSKA VEŽBA BR.11

**VREMENSKI ODZIVI I FREKVENTNE
KARAKTERISTIKE ELEKTRIČNOG MODELA
REGULACIJSKOG ČLANA DRUGOG REDA**

STUDENT

BR. INDEKSA

DATUM

VEŽBU PREGLEDAO

DATUM

OCENA

CILJ VEŽBE

Cilj vežbe je snimanje vremenskog odziva i frekventne karakteristike električnog modela regulacionog člana drugog reda (pasivni RLC krug).

Kratak uvod iz teorije

Dinamičko ponašanje osnovnih regulacionih članova opisuju linearne diferencijalne jednačine, pri čemu:

- homogeno rešenje određuje vremenski odziv člana na odskočnu pobudu
- partikularno rešenje određuje amplitudno-frekventnu i fazno-frekventnu karakteristiku člana u slučaju da na ulaz deluje harmonijski (sinusoidalni) signal.

Klasifikacija regulacionih članova vrši se prema tipu diferencijalne jednačine koja opisuje dinamičko ponašanje člana, odnosno na osnovu tipa prenosne funkcije člana.

Ispitivanje regulacionih članova u vremenskom domenu vrši se analizom vremenskog odziva izlaznog signala na odskočnu pobudu.

Na osnovu rezultata se vrši identifikacija člana tj. određuje se prenosna funkcija.

Ispitivanje regulacionih članova u frekventnom domenu se vrši snimanjem frekventne karakteristike. Harmonijski ulazni signal sa amplitudom A i kružnom frekvencijom ω na izlazu člana može prouzrokovati signal iste kružne frekvencije sa amplitudom B i fazom φ koje se razlikuju od ulaznog signala.

Promenom kružne frekvencije ulaznog signala ω (uz konstantnu amplitudu ulaznog signala A), na izlazu člana za svaku novu vrednost kružne frekvencije pobuđivanja, dobiće se nove vrednosti amplitude B i faznog pomeranja φ . Amplituda B i fazno pomeranje φ izlaznog signala su funkcije kružne frekvencije ω :

$$B = B(\omega), \quad \varphi = \varphi(\omega)$$

Za svaku kružnu frekvenciju ω , odnos B/A imaće svoju konkretnu brojnu vrednost i naziva se faktor pojačanja $C(\omega)$:

$$C(\omega) = \frac{B}{A}$$

Kriva koja povezuje tačke čije su koordinate odnos amplituda izlaznog i ulaznog signala $C(\omega)$ i fazno pomeranje $\varphi(\omega)$ za različite kružne frekvencije definiše **frekventnu karakteristiku**.

Frekventna karakteristika regulacionog člana u kompleksnom obliku $G(j\omega)$ pri ulaznom signalu x i izlaznom signalu y :

$$\tilde{x} = A \cos \omega t + jA \sin \omega t = Ae^{j\omega t}$$

$$\tilde{y} = B \cos(\omega t + \varphi) + jB \sin(\omega t + \varphi) = Be^{j\varphi} e^{j\omega t}$$

$$G(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{Be^{j\varphi} e^{j\omega t}}{Ae^{j\omega t}} = \frac{Be^{j\varphi}}{A} e^{j\varphi} = C(\omega) e^{j\varphi(\omega)}$$

Frekventna karakteristika u kompleksnom obliku dobija se ako se u izrazu za prenosnu funkciju $G(p)$ izvrši zamena $p = j\omega$. Frekventna karakteristika je prenosna funkcija linearnog elementarnog sistema na harmonijsku pobudu. Za jednu kružnu frekvenciju frekventnu karakteristiku predstavlja jedan kompleksni broj. Za sve kružne frekvencije od 0 do ∞ ova karakteristika se može predstaviti skupom kompleksnih brojeva. U tehničkoj praksi ova karakteristika se može prikazati ili u polarnom dijagramu u kompleksnoj ravni ili sa dva odvojena dijagrama u vidu amplitudno i frekventnih karakteristika.

Nyquist-ov dijagram predstavlja grafik karakteristike $G(j\omega)$ sa argumentom $\varphi(\omega)$ kada se ω menja od 0 do ∞ i od $-\infty$ do 0

$$-\infty \leq \omega \leq \infty$$

Grafik krive $G(j\omega)$ za negativne vrednosti ω (od $-\infty$ do 0) simetričan je polarnom dijagramu grafiku krive $G(j\omega)$ za pozitivne vrednosti ω .

Nyquist-ov dijagram ima veliki značaj u analizi stabilnosti zatvorenih sistema upravljanja.

Problem prikazivanja $G(j\omega)$ u polarnom dijagramu prevazilazi se logaritmovanjem karakteristike $G(j\omega)$ i grafičkim prikazivanjem logaritma amplitudne karakteristike $\log|G(j\omega)|$ kao funkcije logaritma kružne frekvencije, odnosno faze karakteristike $\varphi(\omega)$ u funkciji logaritma kružne frekvencije. Na taj način se formiraju amplitudna i faza karakteristika, koje se zajedno prikazane nazivaju **Bodeovim dijagramima**.

Logaritamski faktor pojačanja A sistema u decibelima (dB) definiše se kao:

$$A \text{ [dB]} = 20 \log | G(j\omega) |$$

Regulacioni član drugog reda PT_2

Regulacijski član drugog reda naziva se još i oscilatorni element. Diferencijalna jednačina koja opisuje ponašanje ovog člana je:

$$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2DT \frac{dy}{dt} + y = K_p u$$

T - vremenska konstanta

D - koeficijent relativnog prigušenja (često se obeležava grčkim slovom ξ)

K_p - faktor pojačanja

Primenom Laplace-ove transformacije na diferencijalnu jednačinu uz pretpostavku da na ulazu deluje jedinična odskočna funkcija $u(t) = u_b h(t)$ dobija se:

$$Y(p) = \frac{K_p u_0}{p(T^2 p^2 + 2DTp + 1)}$$

Inverznom Laplace-ovom transformacijom dobija se odziv sistema $y(t)$. Može se uočiti da za različite vrednosti koeficijenta D dobijaju se različiti oblici funkcije $y(t)$. Zato ćemo posmatrati tri odvojena slučaja:

- $D > 1$

Rešenje jednačine u vremenskom domenu je:

$$y(t) = K_p u_0 \left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} e^{\lambda_2 t} \right)$$

λ_1 i λ_2 su koreni karakteristične jednačine: $T^2 \lambda^2 + 2DT\lambda + 1 = 0$

U ovom slučaju se dobija aperiodičan odziv.

- $D = 1$

Rešenje jednačine u vremenskom domenu je:

$$y(t) = K_p u_0 \left[1 - \left(1 + \frac{t}{T} \right) e^{-\frac{t}{T}} \right]$$

- $0 < D < 1$

Rešenje jednačine u vremenskom domenu je:

$$y(t) = K_p u_0 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1-D^2}} e^{-\delta t} \cos(\omega t + \varphi) \right)$$

sa: $\operatorname{tg} \varphi = \frac{\delta}{\omega}$ i $\sin \varphi = -D$

U ovom slučaju odziv ima oscilatorni karakter. Veličina prebačaja može se dobiti matematičkim putem i ona iznosi:

$$A_{\max} = K_p e^{-\pi \frac{D}{\sqrt{1-D^2}}}$$

Odnos apsolutnih vrednosti dve uzastopne amplitude je:

$$\left| \frac{A_{k+1}}{A_k} \right| = e^{-\pi \frac{D}{\sqrt{1-D^2}}}$$

Za $D = 0$ oscilacije su neprigušene, i kažemo da je sistem na granici stabilnosti. Sa porastom prigušenja D ($0 \leq D \leq 1$) smanjuju se amplitude oscilovanja ali i odnos dve uzastopne amplitude.

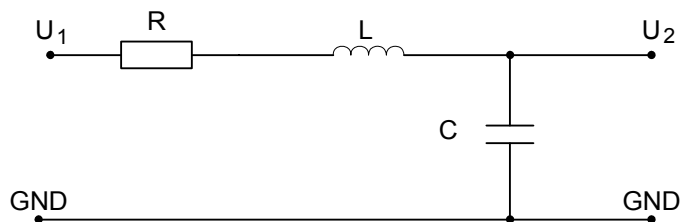
Specifikacija merne opreme

- Generator funkcija:
- Osciloskop:.....
- Otpornik R:.....
- Kondenzator C:.....
- Induktivitet L:.....

1. Zadatak

Snimanje vremenskog odziva regulacionog člana.

Povezati elemente električnog modela regulacionog člana drugog reda prema slici 11.1.



Slika 11.1. Električni model regulacionog člana drugog reda

Prenosna funkcija člana:

$$G(p) = \frac{U_2(p)}{U_1(p)} = \frac{1}{p^2 LC + pRC + 1}$$

Prenosna funkcija regulacionog člana drugog reda PT_2 :

$$G(p) = \frac{K_p}{p^2 T^2 + p^2 DT + 1}$$

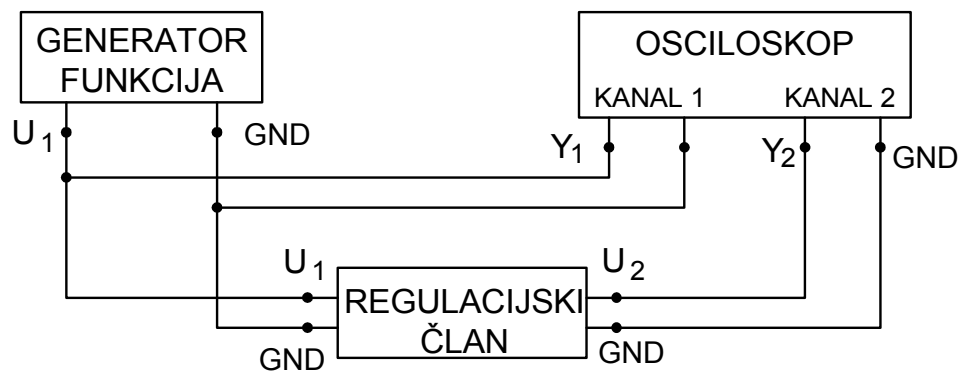
Upoređenjem prenosnih funkcija:

$$K_p = 1$$

$$T = \sqrt{LC}$$

$$D = \frac{1}{2} R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Spojiti model regulacionog člana drugog reda generator funkcija i osciloskop kao što je prikazano na slici 11.2.



Slika 11.2. Snimanje vremenskog odziva i frekventne karakteristike regulacijskog člana

Vrednost pojedinih komponenta i karakteristike mernih instrumenata, koje treba da su poznate, da bih kolo na *slici 11.2.* funkcionisalo na predviđen način:

$$R = 2 \text{ k}\Omega$$

$$L = 1 \text{ H}$$

$$C = 100 \text{ n F}$$

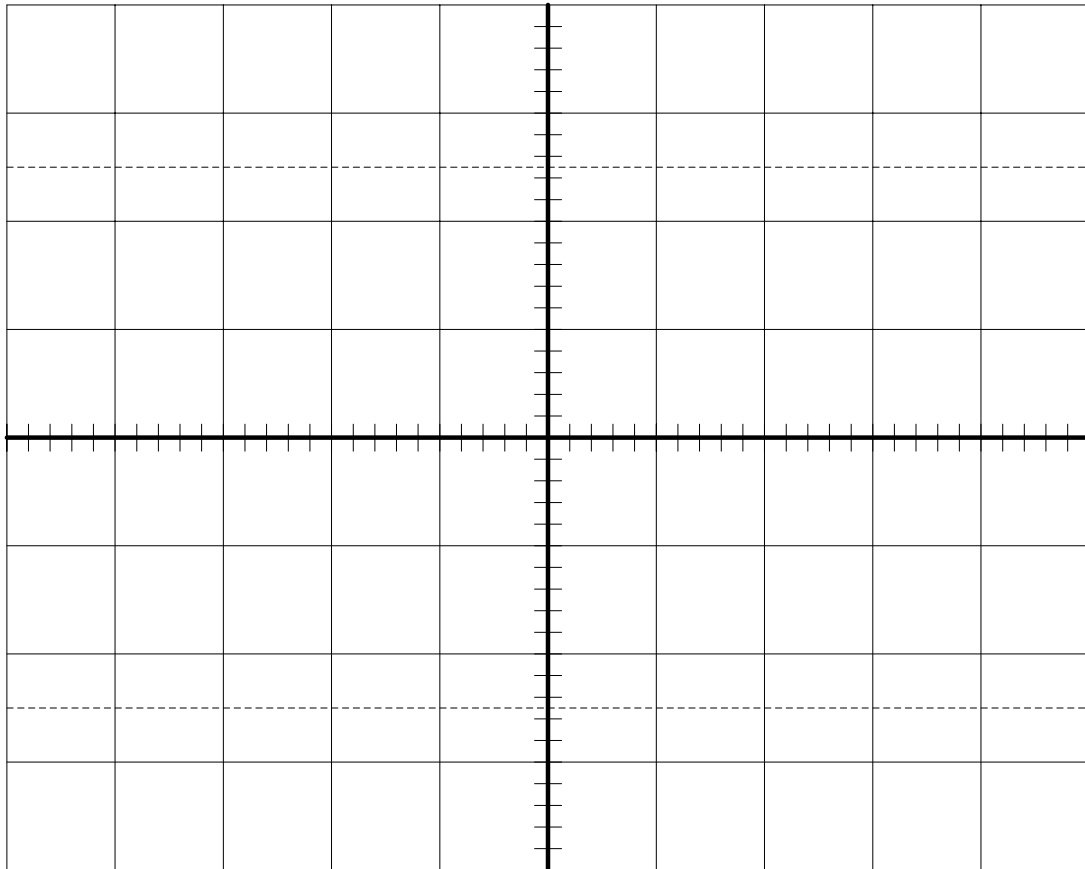
Generator funkcija

Talasni oblik: četvrtasti
 Frekvencija: 50 Hz
 Izlazni napon $U_1 = 1 \text{ Vpp}$
 Polaritet: +

Osciloskop

Režim rada: CH1
 Unutrašnje sprezanje: DC
 Faktor vertikalnog slabljenja: $C_{y1} = 0.5 \text{ V/div}$
 Vremenska baza: $C_x = 2 \text{ msec/div}$
 Triggering mode: Auto
 Triggering source: Int
 Slope: +

Snimiti vremenski odziv regulacionog člana drugog reda na odskočnu pobudu, rezultat prikazati na *slici 11.3.*



Slika 11.3. Vremenski odziv regulacionog člana drugog reda

Na osnovu snimljenog odziva proceniti vrednost za D ($D > 1$, $D = 0$, $D < 1$)

D

Povećavanjem vrednosti otpora R proveriti ispravnost jednačine koje opisuju dinamičko ponašanje regulacionog člana drugog reda u vremenskom domenu.

2. Zadatak

Snimanje frekventne karakteristike

Spojiti model regulacionog člana drugog reda, generator funkcija i osciloskop kao što je prikazano na *slici 11.2*.

Vrednosti pojedinih komponenata i karakteristike mernih instrumenata, koje treba da su poznate da bi kolo na *slici 11.2* funkcionisalo na predviđen način:

$$R = 2 \text{ k}\Omega$$

$$L = 1 \text{ H}$$

$$C = 100 \text{ nF}$$

Generator funkcija

Talasni oblik: sinusoidalan

Frekvencija: prema *tabeli 11.1*

Izlazni napon $U_1 = 1 \text{ Vpp}$

Polaritet: + / -

Osciloskop

Režim rada: dvokanalni (dual trace)

Unutrašnje sprezanje: DC (za oba kanala)

Faktor vertikalnog slabljenja 1. kanala: $C_{y1} = 0.5 \text{ V/div}$

Faktor vertikalnog slabljenja 2. kanala: C_{y2} - po potrebi

Vremenska baza: C_x - po potrebi

Triggering mode: Auto

Triggering source: int

Slope: +

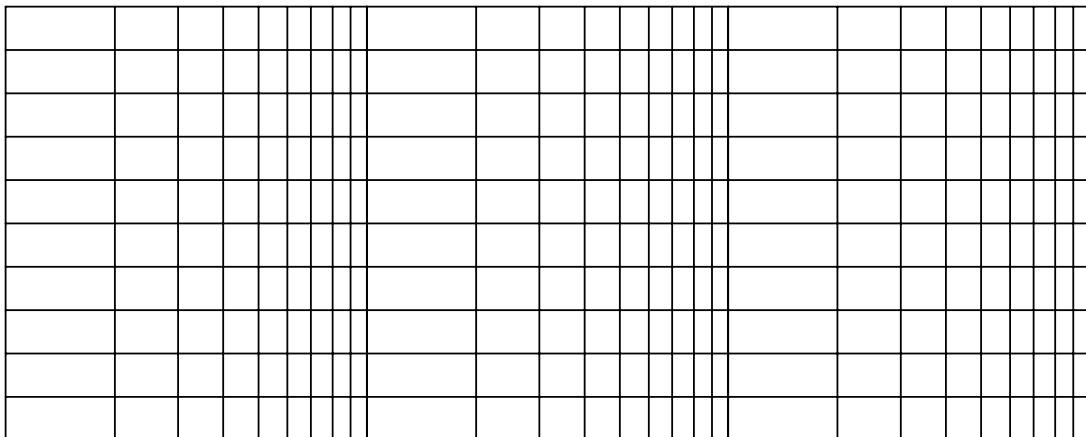
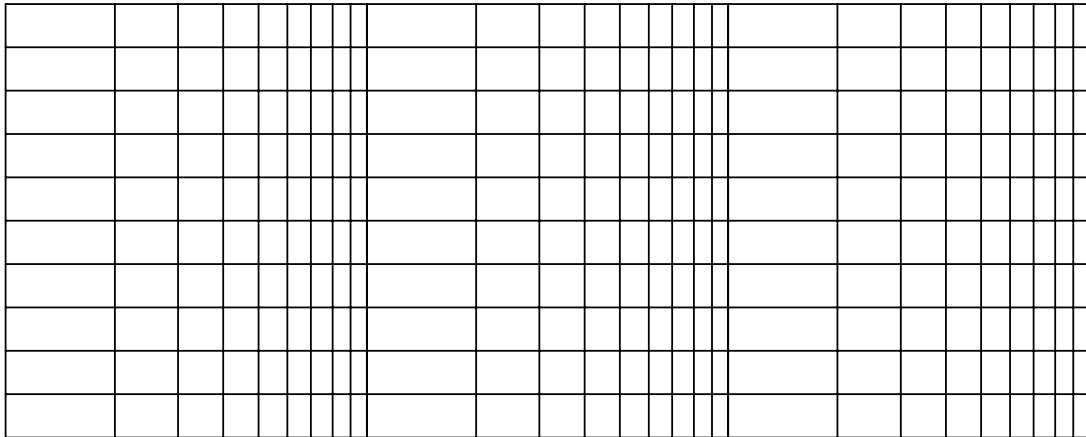
Menjajući frekvenciju generatora funkcija prema *tabeli 11.1* izmeriti ulazni napon U_1 i izlazni napon U_2 . Rezultate merenja uneti u *tabelu 11.1*. Odabrati x-y režim rad osciloskopa. Koristiti izlazni napon generatora funkcija U_{11} čija je frekvencija ista kao frekvencija izlaznog napona U_1 ali se fazno može pomerati od 0° do 360° . Za razne frekvencije (prema *tabeli 11.1*) podešavati fazno pomeranje φ tako, da se na ekranu osciloskopa za izlazni signal dobije ravna linija sa nagibom 45° . Očitano fazno pomeranje $\varphi(\omega)$ uneti u *tabelu 11.1*.

f	ω	U_1	U_2	$c(\omega)$	$A(\omega)$	$\varphi(\omega)$
[Hz]	[s ⁻¹]	[V]	[V]		[dB]	[el]
50						
100						
200						
300						
400						
500						
600						
700						
800						
900						
1000						
1100						
1200						
1300						
1400						
1500						
1600						
1700						
1800						
1900						

Tabela 11.1. Rezultati merenja frekventnih karakteristika

Na osnovu izvršenih merenja potrebno je izračunati vrednost ω , ($\omega = 2\pi \cdot f$), $c(\omega)$ ($C(\omega) = U_2/U_1$), $A(\omega)$ ($A(\omega) = 20 \log|G(j\omega)|$) i uneti u tabelu 11.1.

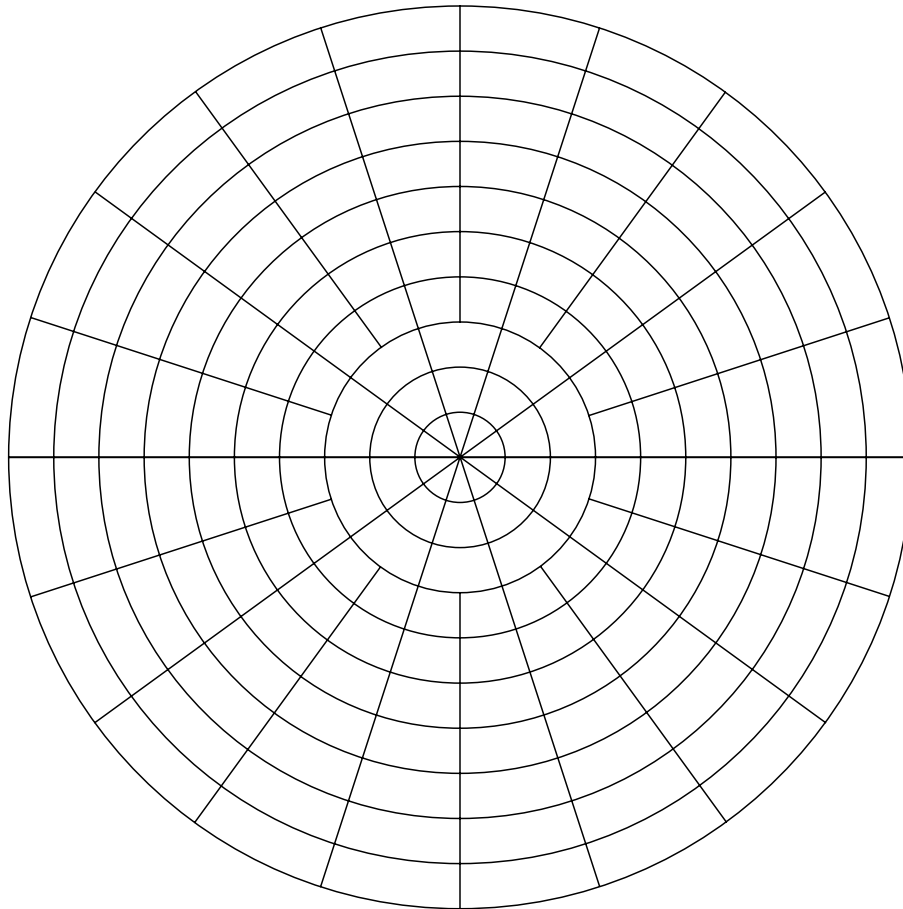
Na osnovu dobijenih rezultata, nacrtati amplitunu $A(\omega)$ i faznu $\varphi(\omega)$ karakteristiku na slici 11.4.



Slika 11.4. Bodeovi dijagrami regulacionog člana drugog reda

Na osnovu rezultata (tabela 11.1) nacrtati Nyquist-ovu krivu na slici 11.5. (naznačiti razmeru).

Objašnjenje: zasvakoj kružnoj frekvenciji ω pripada određeno pojačanje $C(\omega)$ i fazno pomeranje $\varphi(\omega)$, unošenjem tačaka $C(\omega)$ i pripadajućih $\varphi(\omega)$ u polarni dijagram i spajanjem istih dobija se Nyquist-ov dijagram. Za svaku tačku naznačiti kružnu frekvenciju ω . Spojiti tačke tako, kako se, povećava kružna frekvencija. Naznačiti smer povećavanje kružne frekvencije.



Slika 11.5. Nyquist-ova kriva regulacionog člana drugog reda

Razmera 1mm = $C(\omega)$ =

Zaključak

.....
.....
.....

LABORATORIJSKA VEŽBA BR.12

**SNIMANJE DINAMIČKE PETLJE
HISTEREZISA OSCILOSKOPOM**

STUDENT

BR. INDEKSA

DATUM

VEŽBU PREGLEDAO

DATUM

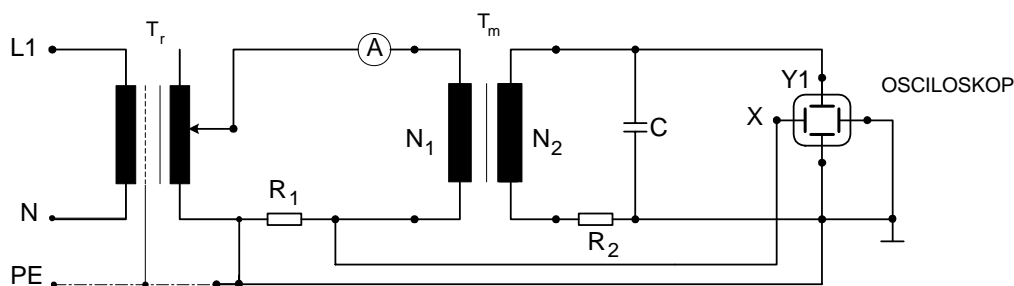
OCENA

CILJ VEŽBE

Cilj vežbe je snimanje dinamičke histerezisne petlje feromagnetskog uzorka osciloskopom.

Kratak uvod iz teorije

Snimanje histerezisne petlje može se izvršiti jednosmernom ili naizmeničnom strujom. Histerezisna petlja snimljena jednosmernom strujom naziva se statička petlja histereze i ona je uža, dok histerezisna petlja snimljena naizmeničnom strujom naziva se dinamička petlja i ona je šira. Osciloskopom se može snimiti dinamička petlja histerezisa primenom relativno jednostavnog sklopa koji je dat na slici 12.1.



Slika 12.1. Snimanje dinamične petlje histerezisa feromagnetnog uzorka osciloskopom

Primarni namotaj, koji ima N_1 namotaja, namotan je oko feromagnetskog materijala i priključen preko otpornika R_1 na izvor naizmeničnog napona. Na sekundarni namotaj, koji ima N_2 namotaja, priključeni su serijski spojeni otpornik R_2 i kondenzator C . Pad napona U_{R1} na otporniku R_1 dovodi se na pojačivač za horizontalni otklon. Otklon elektronskog snopa u smeru ose x biće proporcionalan struji magnetizacije i_1 , jer je:

$$U_{R1} = i_1 R_1$$

U prstenastom (torusnom) ili štapnom uzorku (zatvorenom jarmom neznatnog magnetskog otpora), jačina magnetskog polja je srazmerna struji magnetisanja i_1 , jer je tada:

$$H = \frac{N_1 i_1}{l}$$

gde je l dužina uzorka za štapasti feromagnetni uzorak, dok za prstenasti (torusni) uzorak feromagnetnog materijala je :

$$l = l_{sr} = 2\pi \cdot r_s,$$

gde je r_s srednja vrednost unutrašnjeg r_u i vanjskog poluprečnika r_v prstenastog uzorka tj:

$$r_{sr} = \frac{r_u + r_v}{2}$$

Stoga je horizontalni otklon snopa srazmeran jačini magnetnog polja H u uzorku:

$$U_{R1} = \frac{R_1 \cdot l}{N_1} \cdot H$$

Pad napona na kondenzatoru C dovodi se na vertikalni pojačavač osciloskopa. Pri tome se odabere da je:

$$R_2 \gg \frac{1}{\omega C}$$

pa u sekundarnom krugu teče struja:

$$i_2 \approx \frac{e_2}{R_2}$$

Kod uzorka čiji je električni presek S , u sekundarnom namotaju se indukuje napon:

$$e_2 = -N_2 \cdot S \frac{dB}{dt}$$

U sekundarnom krugu teče struja:

$$i_2 = \frac{N_2 \cdot S}{R} \cdot \frac{dB}{dt}$$

Na kondenzatoru C vlada napon:

$$U_C = \frac{1}{C} \int i_2 \cdot dt$$

Pad napona na kondenzatoru C , a i time i otklon u smeru z ose je srazmeran indukciji B u uzorku:

$$U_C = -\frac{N_2 S}{R_2 C} \cdot B$$

Specifikacija merne opreme

- Odvojni regulacioni transformator T_r :
- Transformator sa jezgrom načinjeno od ispitivanog feromagnetnog materijala T_m :
- Otpornik R_1 :
- Otpornik R_2 :
- Kondenzator C :
- Ampermetar A :
- Osciloskop :

Zadatak

Snimanje dinamičke petlje histereza osciloskopom

Prema šemi na *slici 12.1* izvršiti spajanje instrumenata i elemenata u električnom kolu.

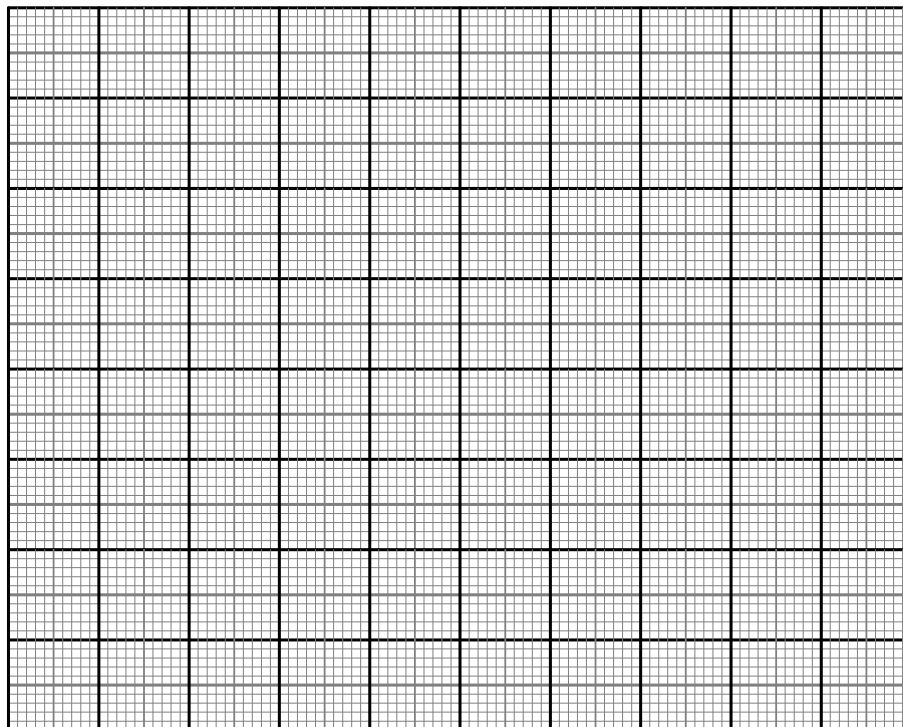
U *tabelu 12.1* su date vrednosti pojedinih komponenata i karakteristika mernih instrumenata, koje treba da su poznate da bi kolo na *slici 12.1* funkcionisalo na predviđen način.

R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	C [μC]	C_x [V/div]	C_y [V/div]	N_1 [zav]	N_2 [zav]	S [cm^2]	L [cm]
1	5	10	0.8	0.5	300	50	8.75	62.8

Tabela 12.1. Vrednosti komponenata i karakteristika mernih instrumenata

Regulacionim transformatorom povećati napon dok ampermetar ne pokaže 1 A.

Na *slici 12.2* nacrtati krivu dinamičke petlje histereze uzoraka dobijenu na ekranu osciloskopa, izmeriti podeoke (div) po osi x i z koje odgovaraju koercitivnom polju H_c i remanentnoj indukciji B_r . Rezultat merenja uneti u *tabelu 12.2*.



Slika 12.2. Dinamička petlja histereze za materijal od koga je načinjeno jezgro transformatora T_m

Izračunati vrednosti remanentne indukcije B_r i koercitivnog polja H_c korišćenjem izraza :

$$B_r = \frac{R_2 \cdot C \cdot C_y \cdot y}{N_2 \cdot S}$$

$$H_c = \frac{N_1 \cdot C_x \cdot x}{R_1 \cdot l}$$

rezultate uneti u *tabelu 12.2.*

x [div]	y [div]	B_r [T]	H_c [A/m]

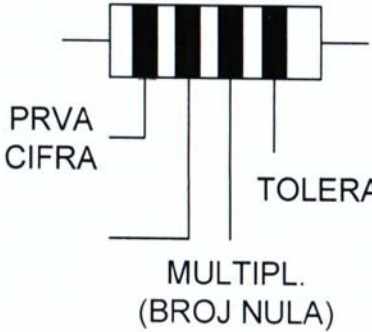
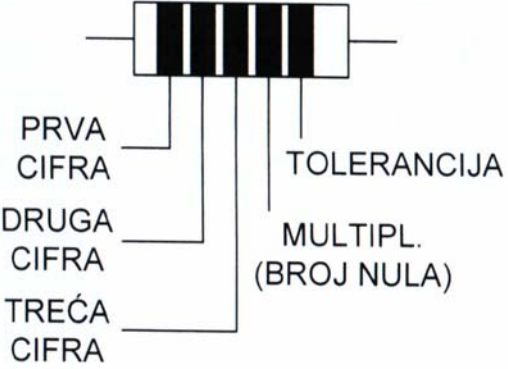
Tabela 12.2. Rezultati merenja remanentne indukcije i koercitivnog polja

Zaključak

.....
.....
.....
.....

DODATAK

OZNAČAVANJE OTPORNIKA POMOĆU BOJA

	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">1, 2, 3 CIFRA</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>SREBRNA</td> <td>- 0,01</td> </tr> <tr> <td>ZLATNA</td> <td>- 0,1</td> </tr> <tr> <td>CRNA</td> <td>0 0</td> </tr> <tr> <td>BRAON</td> <td>1 10</td> </tr> <tr> <td>CRVENA</td> <td>2 100</td> </tr> <tr> <td>NARANDŽASTA</td> <td>3 1000</td> </tr> <tr> <td>ŽUTA</td> <td>4 10000</td> </tr> <tr> <td>ZELENA</td> <td>5 100000</td> </tr> <tr> <td>PLAVA</td> <td>6 1000000</td> </tr> <tr> <td>LJUBIČASTA</td> <td>7 -</td> </tr> <tr> <td>SIVA</td> <td>8 -</td> </tr> <tr> <td>BELA</td> <td>9 -</td> </tr> </table>	1, 2, 3 CIFRA		SREBRNA	- 0,01	ZLATNA	- 0,1	CRNA	0 0	BRAON	1 10	CRVENA	2 100	NARANDŽASTA	3 1000	ŽUTA	4 10000	ZELENA	5 100000	PLAVA	6 1000000	LJUBIČASTA	7 -	SIVA	8 -	BELA	9 -
1, 2, 3 CIFRA																											
SREBRNA	- 0,01																										
ZLATNA	- 0,1																										
CRNA	0 0																										
BRAON	1 10																										
CRVENA	2 100																										
NARANDŽASTA	3 1000																										
ŽUTA	4 10000																										
ZELENA	5 100000																										
PLAVA	6 1000000																										
LJUBIČASTA	7 -																										
SIVA	8 -																										
BELA	9 -																										
	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">TOLERANCIJA</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>BEZ BOJE</td> <td>20%</td> </tr> <tr> <td>SREBRNA</td> <td>10%</td> </tr> <tr> <td>ZLATNA</td> <td>5%</td> </tr> <tr> <td>CRVENA</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>BRAON</td> <td>1%</td> </tr> </table>	TOLERANCIJA		BEZ BOJE	20%	SREBRNA	10%	ZLATNA	5%	CRVENA	2%	BRAON	1%														
TOLERANCIJA																											
BEZ BOJE	20%																										
SREBRNA	10%																										
ZLATNA	5%																										
CRVENA	2%																										
BRAON	1%																										

TIPIČNE VREDNOSTI OTPORNOSTI

TOLERANCIJA	VREDNOSTI OTPORNOSTI OTPORNIKA												
20%	10				15 47				22 68				33 100
10%	10		12 39		15 47		18 56		22 68		27 82		33 100
5%	10	11 36	12 39	13 43	15 47	16 51	18 56	20 62	22 68	24 75	27 82	30 91	33 100

Napomena: Otpornici se proizvode serijski, prema označenim vrednostima u tabeli i multiplima od 10^{-2} do 10^6 . Na primer: $0,47\Omega$, $4,7\Omega$, 47Ω , 470Ω , $4,7k\Omega$, $47k\Omega$, $470 k\Omega$ i $4,7M\Omega$

OZNAČAVANJE KONDENZATORA

Kapacitivnost se na kondenzatoru najčešće se označava sa tri cifre na sledeći način: prve dve cifre predstavljaju vrednost u pF a treća broj nula. (Na primer, $100=10$ pF) Pored ova tri broja obavezno je označen i maksimalni radni napon.

Veliko slovo označava toleransu:

Z +100/-20%

P +80/-20%

S +50/-20%

M +/-20%

K +/-10%

J +/-5%

G +/-2%

F +/-1%

LITERATURA

1. Vojislav Bego : Mjerenja u elektrotehnici, Tehnička Knjiga, Zagreb, 1966.
2. P. Duduković, M. Đekić : Električna merenja
3. B. Popović : Osnovi elektrotehnike I i II.
4. K. József, S. Endre : Villamos műszerek és mérések, Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.
5. D. Hofmann : Az ipari mérés technika.
6. Tektronix TR912 Oscilloscope Operators Instruction Manual
7. Beleške sa predavanja i auditornih vežbi
8. M. Pejović : Princip rada osciloscopa, ETF, Beograd, 1999.
9. M. Popović : Laboratorijski praktikum iz elektrometrologije, Viša Elektrotehnička škola, Beograd, 2001.