

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET**

Prof. dr. sc. IGOR ZORIĆ  
Doc.dr.sc. DALIBOR KUHINEK

**UPUTE I PODLOGE ZA LABORATORIJSKE VJEŽBE IZ RUDARSKE  
ELEKTROTEHNIKE**

Kopirano uz suglasnost autora

Kopija broj

ZAGREB, 2013.

## SADRŽAJ

<b>1. NADSTRUJNA ZAŠTITA .....</b>	<b>2</b>
1.1. MJERENJE NA OSIGURAČIMA .....	2
1.2. MJERENJE NA STRUJNOJ ZAŠTITNOJ SKLOPCI (SUSTAV STRUJE GREŠKE) .....	6
1.3. MOTRNI ZAŠTITNI SKLOPNIK .....	9
<b>2. MJERENJE OTPORA UZEMLJENJA .....</b>	<b>12</b>
<b>3. MJERENJA NA ELEKTRIČNIM DETONATORIMA .....</b>	<b>15</b>
<b>4. MJERENJE TROFAZNE JALOVE SNAGE .....</b>	<b>17</b>
<b>5. MJERENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE .....</b>	<b>20</b>
<b>6. KOMPENZACIJA JALOVE ENERGIJE .....</b>	<b>23</b>

# 1. NADSTRUJNA ZAŠTITA

## 1.1. MJERENJE NA OSIGURAČIMA

Namjena osigurača je zaštita vodiča i trošila od efekata kratkog spoja. Postoje dvije izvedbe s obzirom na princip rada:

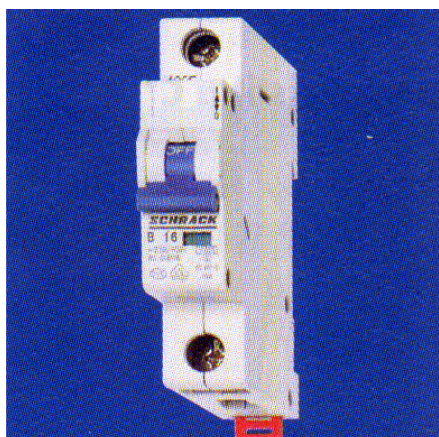
1. Rastalni osigurači
2. Automatski osigurači

1. Rastalni osigurači prekidaju strujni krug taljenjem rastalnice koja čini strujnu stazu osigurača, ukoliko se premaši njena nazivna vrijednost.

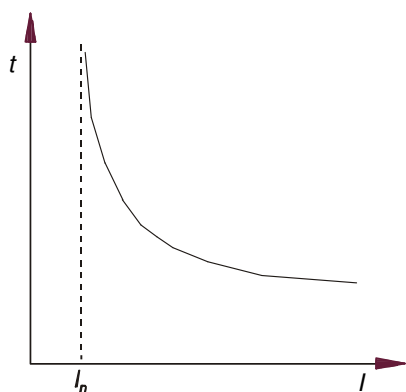
Postoje rastalni osigurači za domaćinstva i visokoučinski rastalni osigurači za industriju, koji su posebno građeni za učinko prekidanje struja kratkog spoja.

2. Automatski osigurači rade na principu elektromagnetskog okidanja. Njihove prednosti su da reagiraju brže i učinkovitije, pri manjim strujama u odnosu na rastalne osigurače i to da prilikom prekidanja struje kratkog spoja ne bivaju uništeni, pa nema potrebe za zamjenom osigurača.

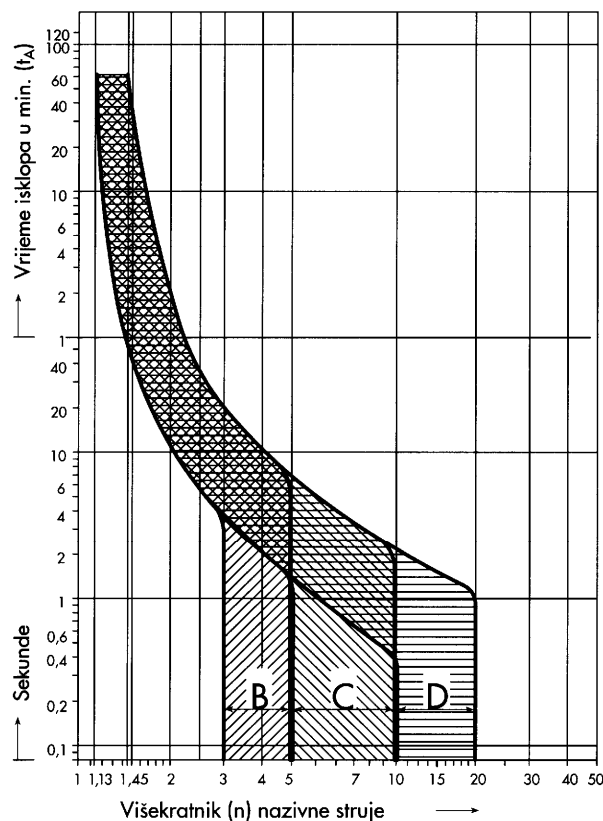
Kao što se vidi iz karakteristike osigurača, za nazivnu vrijednost struje osigurača vrijeme djelovanja je obrnuto proporcionalno veličini struje. Što je veći višekratnik nazivne struje to je vrijeme djelovanja kraće.



Slika 1.1.1: Jednofazni zaštitni osigurač karakteristike B i nazivne struje 16 A



Slika 1.1.2: Opća karakteristika osigurača

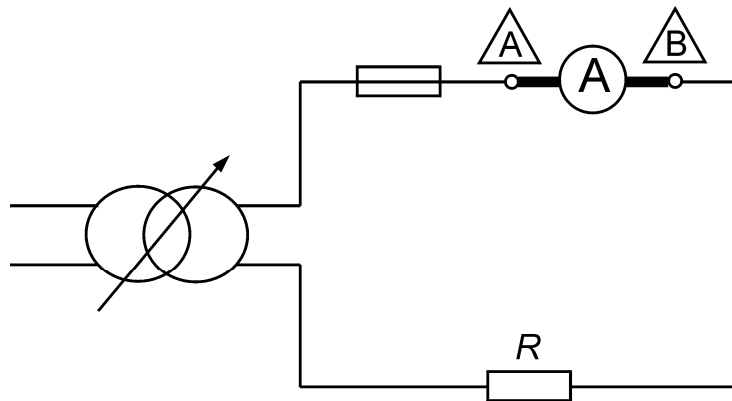


Slika 1.1.3: Tipična karakteristika osigurača tipa B, C i D

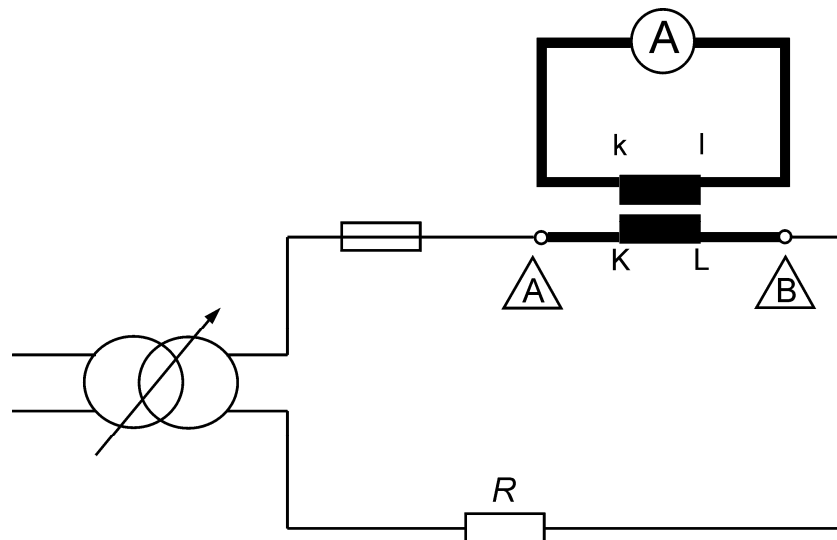
Tipski se izrađuju za nazivne struje: 6 A, 10 A, 16 A, 20 A, 25 A, 32 A, 40 A, 50 A, 63 A (B, C i D karakteristike), 2 A (C i D karakteristika) i 0,5 A (C karakteristika).

### MJERENJE:

U ovoj vježbi snima se karakteristika rada osigurača tj. za višekratnike nazivne struje mjeri se skraćivanje vremena reagiranja automatskih osigurača. Koriste se jednofazni i/ili trofazni osigurači. Za struje manje od 5 A, mjerenja se obavljaju prema spoju prikazanom shemom na slici 1.1.4, a za veće od 5 A prema spoju prikazanom shemom na slici 1.1.5.



Slika 1.1.4: Električna shema spoja za mjerenje karakteristike automatskog osigurača za struje manje od 5 A



Slika 1.1.5: Električna shema spoja za mjerenje karakteristike automatskog osigurača za struje veće od 5 A

Prije početka mjerenja unesite podatke korištenih instrumenata u tablicu 1.1.1. Struja se mijenja u granicama od  $I_n$  do  $6 I_n$  i mjeri vrijeme za isklapanje struje osigurača C 2/1. Izmjerene vrijednosti treba unijeti u tablicu 1.1.2, izračunati višekratnike nazivne struje  $n$  iz formule (1.1) i na osnovu njih nacrtati dijagram  $t=f(n)$ . Usporediti dobivene rezultate sa grafom na slici 1.1.3 i utvrditi da li se karakteristika osigurača nalazi unutar dozvoljenih granica. Ponoviti mjerenje sa osiguračima D 2/1 i B 6/1.

$$n = \frac{I}{I_n} \quad (1.1)$$

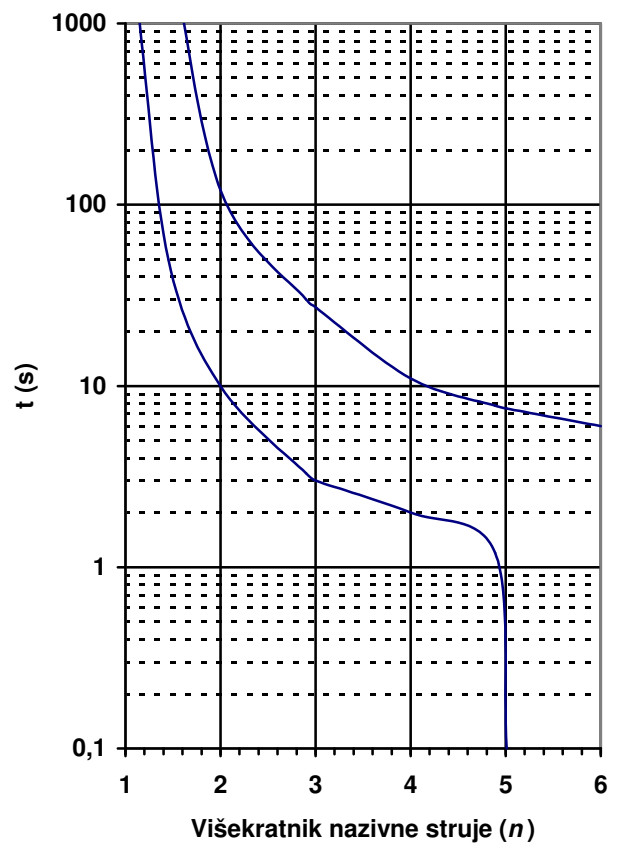
Tablica 1.1.1: Podaci mjernih instrumenata

Instrument	Ampermetar	Strujni transformator
Proizvođač		
Tip		
Serijski broj		
Indeks razreda		
Princip rada		
Karakter veličine		
Mjerna područja		
Ispitni napon		
Radni položaj		
Unutrašnji otpor		

Automatski osigurač karakteristike C 2/1

Tablica 1.1.2:

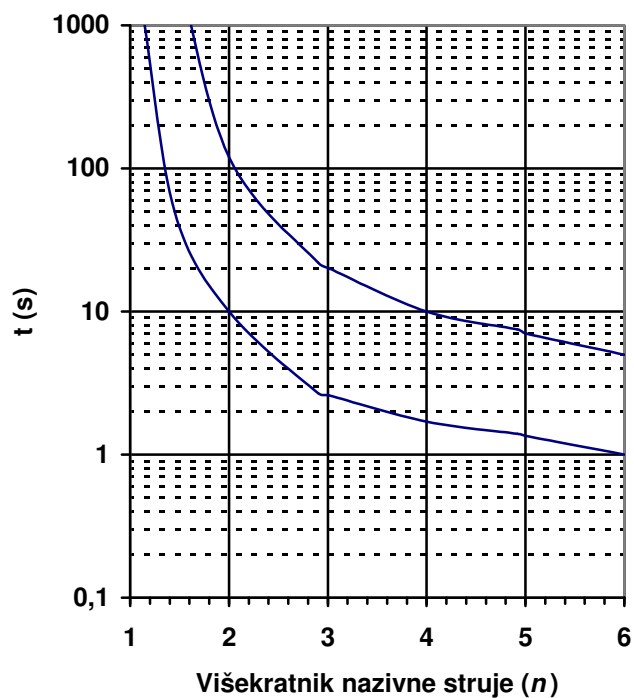
$I$ (A) očitano	$n$ SMT	$I$ (A) stvarno	$I_n$ (A)	$n$ odnos struja	$t$ (s)
			2		
			2		
			2		
			2		
			2		
			2		
			2		
			2		
			2		



Automatski osigurač karakteristike D 2/1

Tablica 1.1.3:

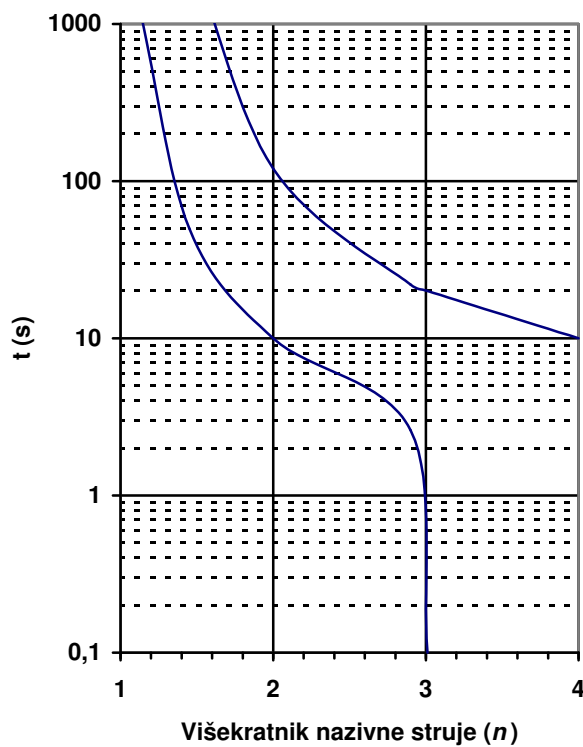
$I$ (A) očitano	$n$ SMT	$I$ (A) stvarno	$I_n$ (A)	$n$ odnos struja	$t$ (s)
			2		
			2		
			2		
			2		
			2		
			2		
			2		
			2		
			2		



Automatski osigurač karakteristike B 6/1

Tablica 1.1.4:

$I$ (A) očitano	$n$ SMT	$I$ (A) stvarno	$I_n$ (A)	$n$ odnos struja	$t$ (s)
			6		
			6		
			6		
			6		
			6		
			6		
			6		
			6		
			6		



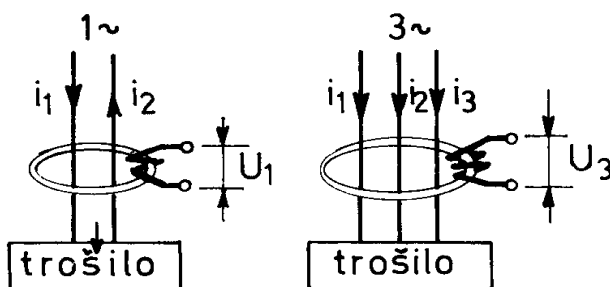
## 1.2. MJERENJE NA STRUJNOJ ZAŠITNOJ SKLOPCI (Sustav struje greške)

Ovaj sustav se koristi za zaštitu od dozemnog spoja i glavna mu je uloga zaštita ljudi od previsokog dodirnog napona. Pri ispravnom radu sustav mrežnog napajanja je u ravnoteži, odnosno, za monofazne i trofazne sustave (prema slici 1.2.1.) vrijedi:

$$\Delta I = \sum i = 0 \quad (1.2)$$

Pri pojavi dozemnog spoja, zbog time uzrokovane struje greške, javlja se neravnoteža segmenta mreže kojim se napaja trošilo.

Sustav se izvodi tako da se vodiče za napajanje nekog trošila provede kroz jednu obuhvatnu magnetsku jezgru, te "magnetskim zbrajanjem" struja ostvarimo kontrolu ravnoteže struja. Za trofazna simetrična trošila se koristi strujna zaštitna sklopka (SZS) koja obuhvaća sve tri faze a za jednofazna trošila je potrebno obuhvatiti jednu fazu i nul vodič. Ako diferencijalna struja  $\Delta I$  premaši vrijednost za koju je građena SZS ona isklapa sve vodiče ( $3f+N$ ) grane na kojoj je došlo do kvara čime se utječe na vrijeme trajanja izloženosti dodirnom naponu. Princip rada možemo vidjeti na slici 1.2.1.



Slika 1.2.1: Princip rada strujne zaštitne sklopke (za jednofazna i trofazna trošila)

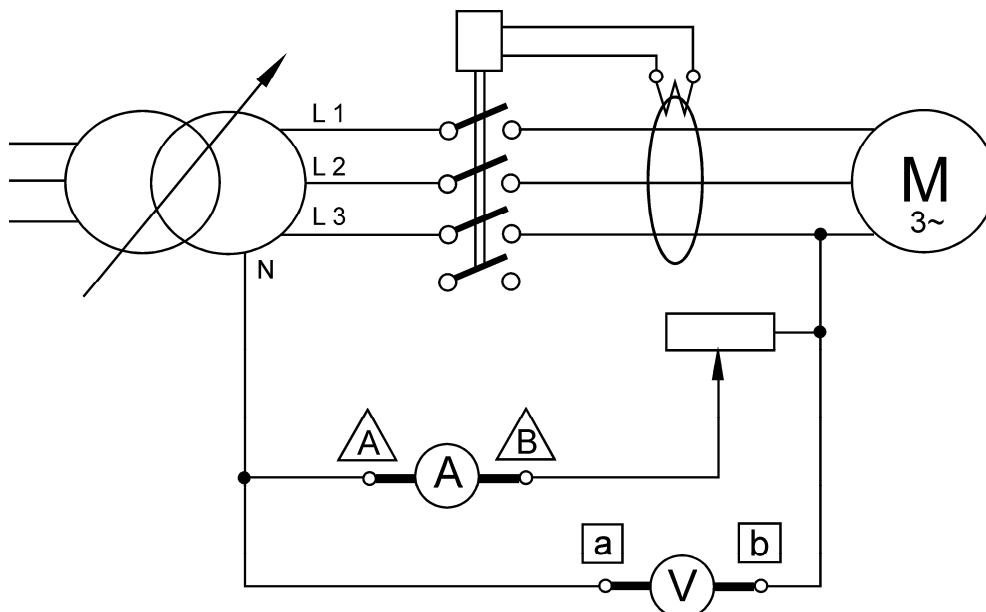
Strujne zaštitne sklopke se tipski izrađuju za različite struje greške (0,03 A; 0,1 A; 0,3 A, 0,5 A, 1,0 A) i ovisno o namjeni treba odabrati onu koja je najprikladnija. Osim struje greške, na sklopki treba biti označena nazivna struja i broj kontakata. Tako npr. tip 25-4-003 znači da je sklopka građena za nazivnu struju od 25 A, da ima 4 kontakta (3 faze + N vodič) i da je diferencijalna struja isklopa 0,03 A.

### MJERENJE:

U ovoj vježbi mjeri se struja pri kojoj reagira strujna zaštitna sklopka. Koristi se SZS za nazivnu struju 25 A sa 4 kontakta i za diferencijalne struje 30 mA, 100 mA i 300 mA. Prvo treba upisati podatke instrumenata u tablicu 1.2.1. i zatim spojiti instrumente prema slici 1.2.2.

Za uzrokovanje neravnoteže, koristi se otpor R koji simulira otpor čovjeka, koji je dodirnuo dio opreme pod naponom (zbog direktnog dodira neizoliranog vodiča ili zbog oštećenja izolacije kabela ili kvara unutar samog trošila) čime kroz njega protiče struja greške.

Smanjivat ćemo otpor čime se povećava diferencijalna struja. Pri tome ćemo mjeriti struju i napon na otporu "čovjeka". Struja se povećava dok ne dođe do isklapanja napajanja pri čemu treba očitati koliki su bili napon  $U_d$  i struja  $I_d$  prije okidanja. Očitane vrijednosti treba unijeti u tablice 1.2.2 1.2.3 i 1.2.4



Slika 1.2.2: Električna shema spoja za mjerenje diferencijalne struje pri kojoj reagira SZS

Tablica 1.2.1: Podaci mjernih instrumenata

Instrument	Ampermetar	Voltmetar
Proizvođač		
Tip		
Serijski broj		
Indeks razreda		
Princip rada		
Karakter veličine		
Mjerna područja		
Ispitni napon		
Radni položaj		
Unutrašnji otpor		

Tablica 1.2.2: SZS tip 25-4-003

$I$ (A)	$U$ (V)

$U_d =$  (V)  
 $I_d =$  (mA)

Tablica 1.2.3: SZS tip 25-4-01

$I$ (A)	$U$ (V)

$U_d =$  (V)  
 $I_d =$  (mA)



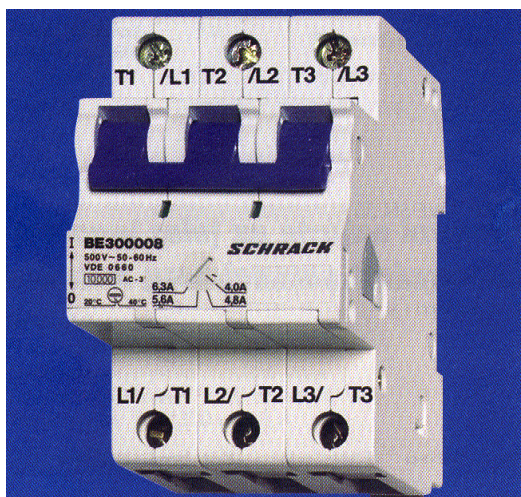
Tablica 1.2.4: SZS tip 25-4-003

$I$ (A)	$U$ (V)

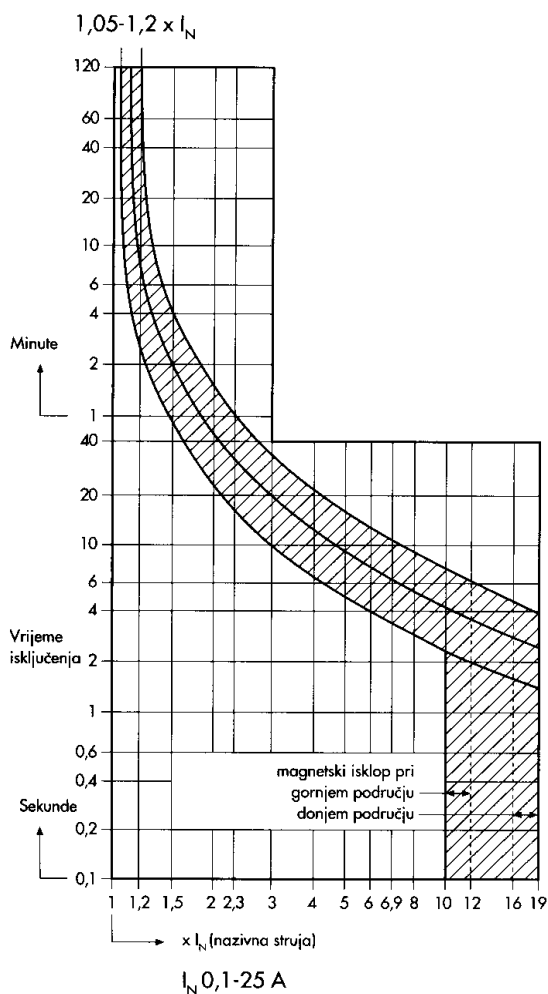
$U_d =$  (V)  
 $I_d =$  (mA)

### 1.3. MOTRNA ZAŠTITNA SKLOPKA

Za trošila koja su udaljena od trafostanice i do kojih su minimalne struje kratkog spoja relativno male, često se dolazi u situaciju da zaštita s rastalnim osiguračima ne udovoljava dovoljno brzom prekidanju nastalog kratkog spoja. Tada se kao zaštita upotrebljava posebni termomagnetski relej kombiniran od bimetalnog i elektromagnetskog releja. Bimetal služi za zaštitu od preopterećenja a elektromagnetski relej od kratkih spojeva.



Slika 1.3.1: Motorna zaštitna sklopka



Slika 1.3.2: Karakteristika motorne zaštitne sklopke

$$n = \frac{I}{I_n} \quad (1.3)$$

#### MJERENJE:

U ovoj vježbi mjeri se vrijeme reagiranja motorne zaštitne sklopke kod struja većih od nazivne. To je vrijeme reagiranja bimetala pri preopterećenju. Upišite podatke instrumenta u tablicu 1.3.1., izmjerene vrijednosti unesite u tablicu 1.3.2, izračunajte višekratnike nazivne struje  $n$  iz formule (1.3) i na osnovu njih nacrtajte graf  $t=f(n)$ . Usporedite dobivene rezultate sa grafom na slici 1.3.2 i utvrdite da li se karakteristika strujne zaštitne sklopke poklapa sa kataloškim podacima. Ponovite za druge dvije motorne zaštitne sklopke.

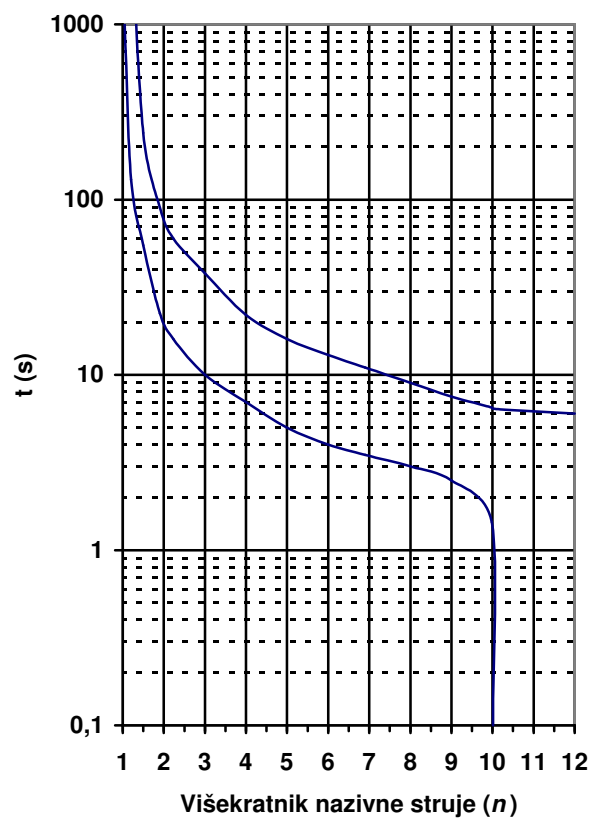
Tablica 1.3.1: Podaci mjernih instrumenata

Instrument	Ampermetar	Strujni transformator
Proizvođač		
Tip		
Serijski broj		
Indeks razreda		
Princip rada		
Karakter veličine		
Mjerna područja		
Ispitni napon		
Radni položaj		
Unutrašnji otpor		

Motorna zaštitna sklopka MA 2.5 S 1,6-2,5 A

Tablica 1.3.2:

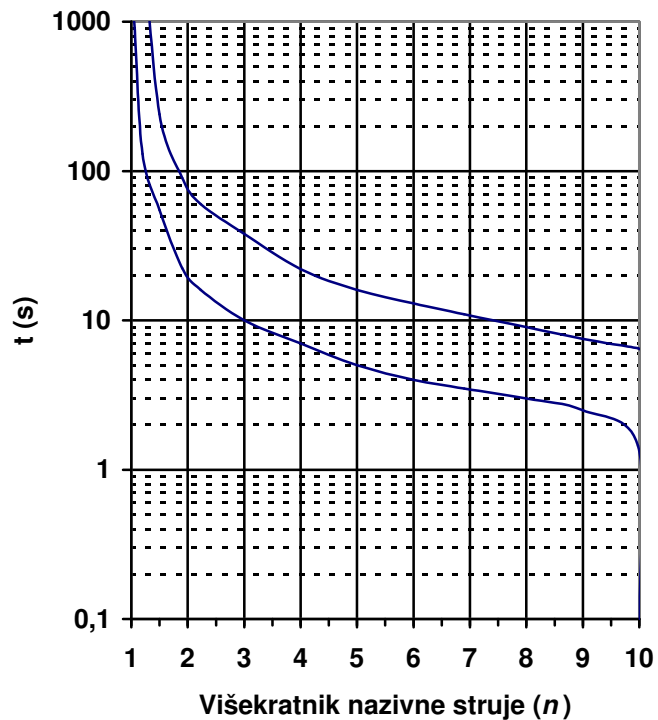
$I$ (A) očitano	$n$ SMT	$I$ (A) stvarno	$I_n$ (A)	$n$ odnos struja	$t$ (s)
			1,6		
			1,6		
			1,6		
			1,6		
			1,6		
			1,6		
			1,6		
			1,6		
			1,6		



Motorna zaštitna sklopka MA 4,0 S 2.5-4.0 A

Tablica 1.3.3:

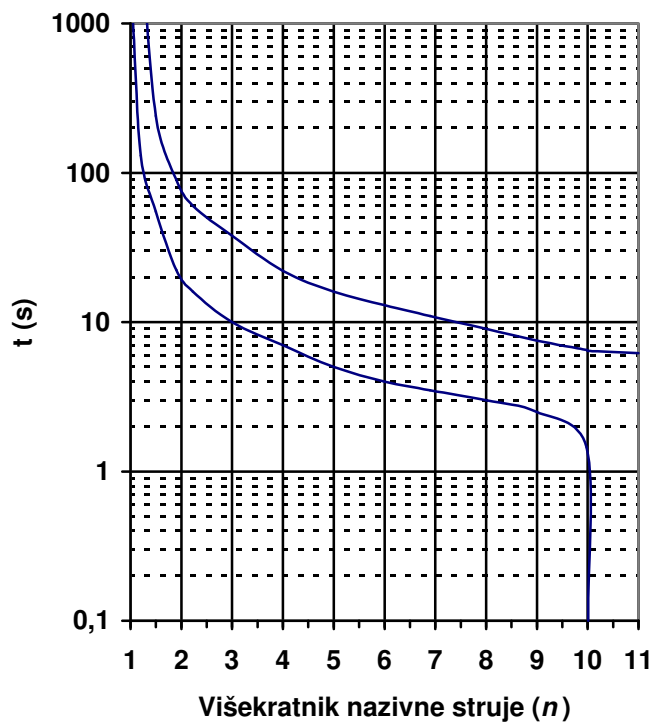
$I$ (A) očitano	$n$ SMT	$I$ (A) stvarno	$I_n$ (A)	$n$ odnos struja	$t$ (s)
			2,5		
			2,5		
			2,5		
			2,5		
			2,5		
			2,5		
			2,5		
			2,5		
			2,5		
			2,5		



Motorna zaštitna sklopka MA 6.3 S 4.0-6.3 A

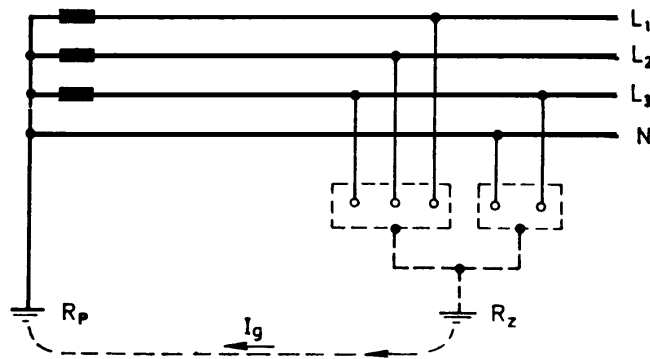
Tablica 1.3.4:

$I$ (A) očitano	$n$ SMT	$I$ (A) stvarno	$I_n$ (A)	$n$ odnos struja	$t$ (s)
			4,0		
			4,0		
			4,0		
			4,0		
			4,0		
			4,0		
			4,0		
			4,0		
			4,0		
			4,0		
			4,0		



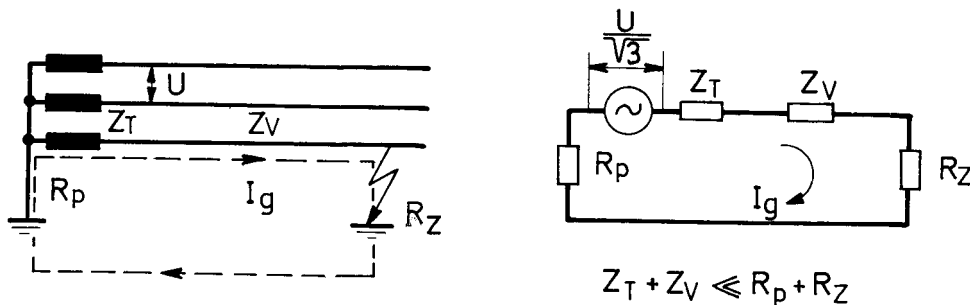
## 2. MJERENJE OTPORA UZEMLJENJA

Zaštita uzemljenjem je nastala kao jedan od prvih načina zaštite od previsokog dodirnog napona metalnih površina (npr. kućišta motora) i izvedena je tako da se zvjezdište transformatora na niskom naponu neposredno uzemljuje pogonskim uzemljenjem otpora  $R_p$ , a svako se trošilo neposredno uzemlji preko grupnog ili pojedinačnog uzemljivača otpora  $R_z$ .



Slika 2.1: TT sustav mreže i zaštita pomoću zaštitnog uzemljenja

Zaštita se temelji na pojavi (npr. zbog spoja faznog vodiča sa vodljivim kućištem trošila) dovoljno velike struje greške u krugu transformator-vodič-kućište trošila-zaštitno uzemljenje-zemlja (povratni "vodič")-pogonsko uzemljenje (kao na slici 2.2.). Ta struja uzrokuje djelovanje osigurača ili neke druge zaštite od kratkog spoja. Veličina te struje izravno ovisi o svim otporima u strujnom krugu u kojem prevladavaju otpor pogonskog uzemljenja i otpor zaštitnog uzemljivača.



Slika 2.2: Električna shema TT sustava

Zbog toga je potrebno mjerenjem provjeriti otpor uzemljivača nakon izvedbe i povremeno kontrolirati njegovu veličinu.

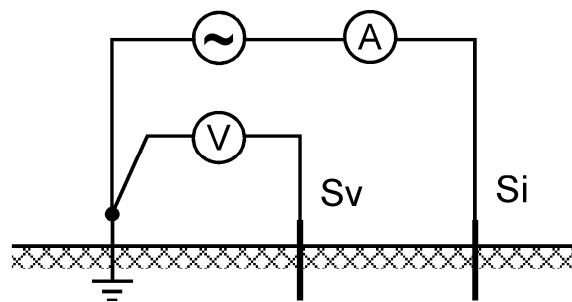
Otpor rasprostiranja uzemljivača (otpor uzemljenja) mjeri se instrumentima na principu :

- a) U-I metode
- b) Mjernog mosta

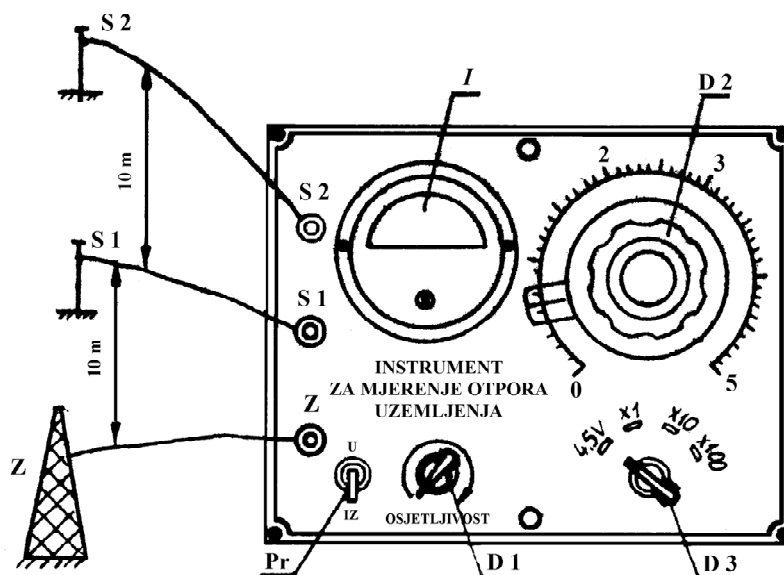
Mnogo više su u upotrebi instrumenti prema U-I metodi jer su jednostavni i jeftini a daju zadovoljavajuću točnost pri mjerenju.

Spoj za mjerenje možemo vidjeti na slici 2.3.:

U ovoj vježbi se mjeri otpor uzemljivača **mjernim mostom** i shema njegovog spajanja se nalazi na slici 2.4.



Slika 2.3: Mjerenje otpora uzemljivača U-I metodom



Slika 2.4: Shema spajanja instrumenta za mjerenje otpora uzemljenja MU - 1

I - instrument

S<sub>1</sub> - kontakt za spoj pomoćne sonde

S<sub>2</sub> - kontakt za spoj pomoćne sonde

Z - kontakt za spoj na uzemljivač

Pr - prekidač

D<sub>1</sub> - dugme za osjetljivost

D<sub>2</sub> - dugme kojim se postiže minimum pokazivanja instrumenta (na skali očitavamo izmjerenu vrijednost)

D<sub>3</sub> - dugme za odabir faktora množenja

### TEHNIČKI PODACI INSTRUMENTA MU - 1

Mjerni opseg otpora 0-500 Ω u tri područja:

0 - 5 Ω

0 - 50 Ω

0 - 500 Ω

Točnost mjerenja 3%

Mjerna frekvencija cca. 800 Hz

Princip rada: kompenzacija nepoznatog napona na mjernom otporu po "Behrendovoj" metodi

Na stezaljku Z spaja se mjereno uzemljenje a na stezaljku S<sub>1</sub> i S<sub>2</sub> pomoćne sonde, koje moraju biti međusobno i od mjenog uzemljenja udaljene 10 - 20 m. Kada je

uzemljivač metalna traka ili žica ukopana oko uzemljenog objekta razmak sonde treba biti od 200-1000 m da mjerenje ne bi bilo pogrešno zbog velike zaporne zone.

NAPOMENE: Ukoliko je uzemljenje pod naponom, odnosno u radu, treba ga odspojiti od mreže, pa tek onda provesti mjerenje. O dubini ukopnja pomoćnih sonde ne ovisi točnost mjerenja nego osjetljivost.

### MJERENJE:

Za mjerenje će se koristiti instrument tipa MU – 1, sa svojim pripadajućim priborom. Uzemljivač i pomoćne sonde se spajaju prema uputstvu za upotrebu te potom se uključi instrument i provjeri stanje baterije. Nakon toga počinje se sa mjerenjem. Dugme  $D_3$  se postavlja u položaj  $\times 1$  a dugme  $D_1$  zakreće u desno tako da kazaljka instrumenta I dođe približno na polovicu skale. Okretanjem dugmeta  $D_2$  pokušava se postići minimum na instrumentu I. Ukoliko u položaju  $\times 1$  nije moguće naći minimum onda ga je potrebno pokušati naći položajima  $\times 10$  i  $\times 100$ . Kada je pronađen minimum pomoću dugmeta  $D_2$ , tada se očitava iznos koji pokazuje kazaljka dugmeta  $D_2$  i to pomnoži sa faktorom koji pokazuje dugme  $D_3$ . Kao rezultat dobija se traženi iznos mjerenog otpora uzemljenja. Mjerenja treba ponoviti nekoliko puta i rezultate upisati u tablicu. Izračunati srednju vrijednost mjerenja.

Tablica 2.1

R.Br.	R ( $\Omega$ )

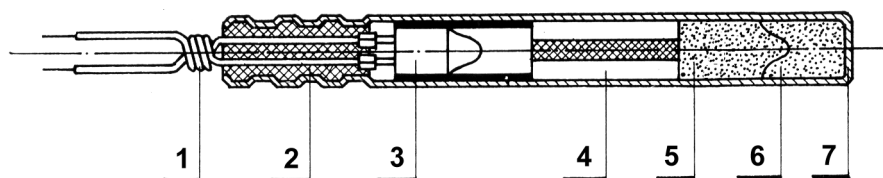
$$R_{sr} = \quad (\Omega)$$

### 3. MJERENJA NA ELEKTRIČNIM DETONATORIMA

NAPOMENA: Ova vježba je pokaznog tipa.

Električni detonatori imaju dvije prednosti u odnosu na ostale sustave iniciranja. Prva je mogućnost iniciranja eksploziva s razmjerno udaljenog i zaštićenog mjesta a druga je potpuna kontrola trenutka inicijacije eksploziva. Zbog ova dva razloga električni detonatori se koriste i za iniciranje nonel sustava. Za paljenje električnih detonatora se koristi istosmjerna struja ili strujni impuls.

Električni detonator je hermetički zatvorena kapsula (od aluminijske ili bakrene) sa dva vodiča spojena na mostić obložen primarnom smjesom za paljenje. Detonator može sadržavati kemijsku smjesu za kašnjenje i primarni eksploziv te sekundarni eksploziv velike brizantnosti, relativno neosjetljiv na toplinu i udar, koji probija kapicu i inicira eksploziv. Osnovni dijelovi detonatora se mogu vidjeti na slici 3.1



Slika 3.1: Elementi električnog detonatora (sa kašnjenjem): 1 – vodiči, 2 – element za brtvljenje, 3 – mostić, 4 – element za kašnjenje, 5 – primarni eksploziv, 6 – sekundarni eksploziv, 7 – kapsula

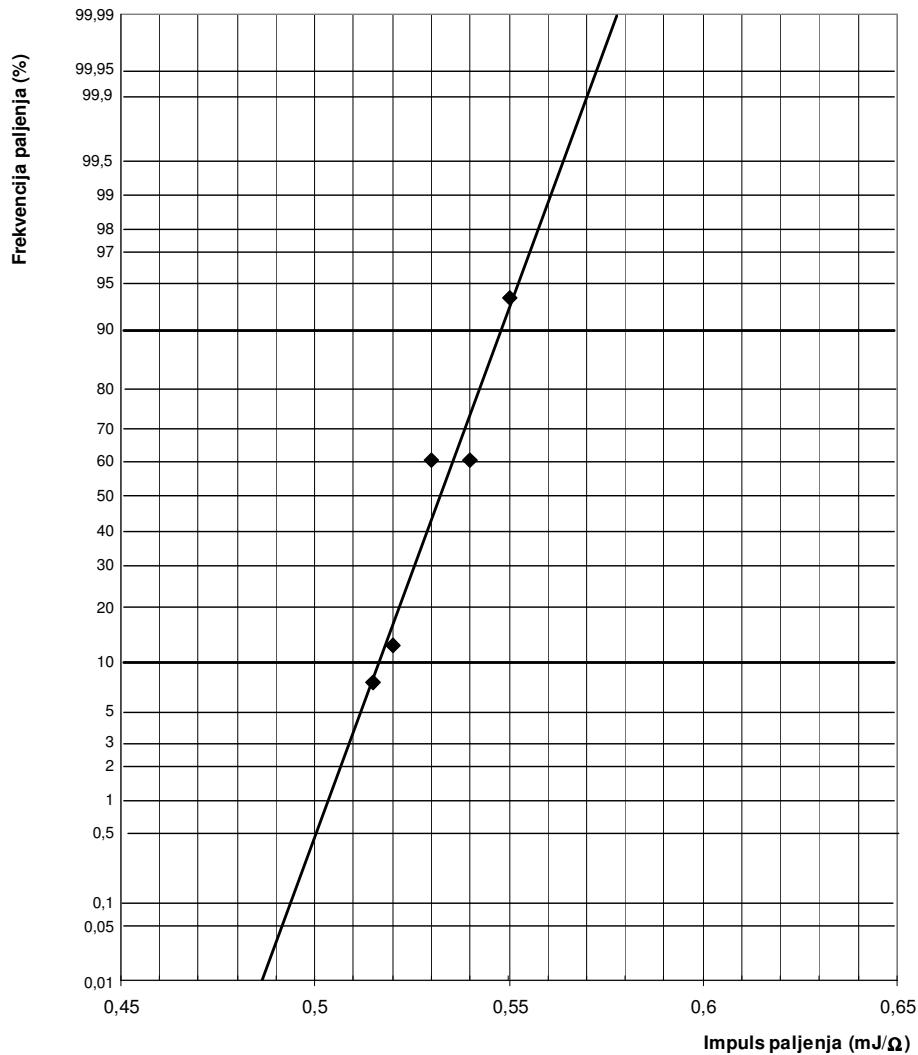
Ispitivanje detonatora provodi proizvođač ili korisnik da bi se provjerila njihova sigurnost i pouzdanost. Detonatori se podvrgavaju sljedećim električnim ispitivanjima:

- određivanje električnog otpora
- osjetljivost prema lutajućim strujama
- struja paljenja
- serijska struja paljenja
- impuls paljenja
- osjetljivost prema iskrenju
- probojni napon

Ispitivanje električnog otpora je jedino nedestruktivno ispitivanje gdje je upotrijebljena struja mala i ne uzrokuje nikakve promjene na mostiću i primarnoj smjesi el. detonatora. Ispitivanje prema lutajućim strujama je djelomično destruktivno jer mijenja karakteristike detonatora ali ih ne uništava (mogu se upotrijebiti za miniranje ali sa većom razinom struje/energije). Ostala ispitivanja su u većoj ili manjoj mjeri destruktivna gdje se uz istu pobudu statistički ispituje ponašanje detonatora i onda ekstrapoliraju sigurne granice. Neki detonatori pri ovakvim ispitivanjima neće biti aktivirani ali se oni više **ne smiju koristiti za mjerenje** budući da su prvotnim ispitivanjem promijenjene njihove karakteristike. Tako npr. za određivanje impulsa paljenja potrebno je minimalno pedesetak detonatora (170-250 prema europskoj normi) gdje koristeći bar pet različitih vrijednosti impulsa treba dobiti jednu točku sa vjerojatnošću paljenja manjom od 10 %, jednu točku vjerojatnosti veće od 90 % i tri točke u rasponu od 10-90 %. Kroz ovih pet točaka se provlači pravac koji ekstrapolacijom daje vrijednosti impulsa za 0,01% paljenja (donja granica impulsa – maksimalna vrijednost impulsa pri kojoj se nijedan detonator neće aktivirati) i 99,99 % (gornja granica impulsa – minimalna vrijednost impulsa pri kojoj će svi detonatori biti aktivirani. Rezultat jednog takvog ispitivanja prikazan je na slici 3.2.



Na isti način se određuje struja paljenja električnih detonatora.



Slika 3.2: Rezultat jednog ispitivanja impulsa paljenja

Budući da detonatori mogu biti aktivirani tijekom ispitivanja i biti opasni za osoblje i opremu, potrebno ih je prije ispitivanja smjestiti u zaštitno kućište. Ta kućišta su obično hermetički zatvorena i pričvršćuju se sa više vijaka što za posljedicu ima sporost u pripremi i ispuštanje plinova eksplozije detonatora u prostor laboratorija.

Zato je dizajnirano i izvedeno kućište sa modifikacijama koje rješavaju navedene probleme. Pomoću posebnog sustava zatvaranja osigurava se brzo otvaranje i zatvaranje a produkti eksplozije se ispušnim sustavom (preko prigušivača i ventilatora) odvodi izvan laboratorija.

### MJERENJE:

Na ovoj vježbi će se demonstrirati postupak ispitivanja detonatora i određivanje impulsa paljenja.

## 4. MJERENJE TROFAZNE JALOVE SNAGE

Izmjenična snaga ima tri komponente. To su prividna snaga  $S$ , radna snaga  $P$  i jalova snaga  $Q$ . Te tri snage se geometrijski zbrajaju (pitagora) tj. radna i jalova snaga čine katete a ukupna prividna snaga predstavlja hipotenuzu pravokutnog trokuta. Prividna snaga ovisi samo o iznosu napona i struje a radna i jalova se dobivaju umnoškom prividne snage i faktora snage ( $\cos \varphi$ ) odnosno sinusom kuta između vektora napona i struje ( $\sin \varphi$ ).

Snaga se mjeri vatmetrom a trofazna snaga se može mjeriti jednim, s dva ili s tri vatmetra. Jednim vatmetrom se može mjeriti trofazna snaga simetričnih trošila, kod mjerenja s dva vatmetra ne smije postojati nul vodič do trošila a mjerenje snage s tri vatmetra nema nikakvih ograničenja s obzirom na simetričnost i postojanje nul vodiča.

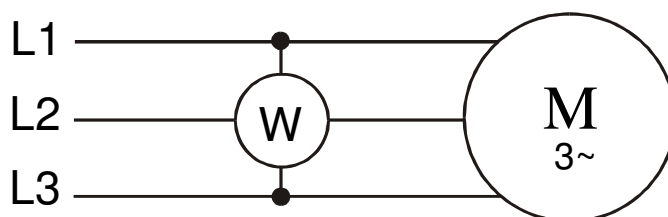
Mjerenje trofazne jalove snage simetričnih trošila jednim vatmetrom se provodi prema spoju na slici 4.1. Strujna grana se nalazi u jednoj fazi a naponska grana je spojena između drugih dviju faza. Kada se nacrtava vektorski dijagram vidi se da je snaga koju mjeri vatmetar jednaka jalovoj snazi jedne faze uvećane za  $\sqrt{3}$  (jednadžba (4.1) za spoj trošila u zvijezdu, jednadžba (4.2) za spoj trošila u trokut):

$$P_{\text{vatmetra}} = \underbrace{\sqrt{3} \cdot U_f}_{U_L} \cdot \underbrace{I_f}_{I_L} \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot Q_f \quad (4.1)$$

$$P_{\text{vatmetra}} = \underbrace{\sqrt{3} \cdot I_f}_{I_L} \cdot \underbrace{U_f}_{U_L} \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot Q_f \quad (4.2)$$

te je za ukupnu jalovu snagu potrebno pomnožiti, izmjerenu vrijednost sa  $\sqrt{3}$  (jednadžba 4.3) bez obzira na spoj trošila:

$$Q = 3 \cdot Q_f = \sqrt{3} \cdot P_{\text{vatmetra}} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \varphi \quad (4.3)$$



Slika 4.1: Shema spajanja vatmetra za mjerenje trofazne jalove snage simetričnog trošila

### MJERENJE:

U ovoj vježbi mjerit će se trofazna jalova snaga simetričnog trošila i njene komponente. Koristi se poseban uređaj koji može zakretati kut između napona i struje (zakretač faze) i tri jednaka trošila u spoju zvijezde. Za spajanje se koristi slika 4.2. Upišite podatke instrumenata u tablicu 4.1 a rezultate mjerenja u tablicu 4.2 i rezultate proračuna koristeći jednadžbe (4.4) do (4.9) u tablicu 4.3. Voltmetrom se mjeri linijski napon, ampermetrom linijska struja. Prvi vatmetar mjeri radnu snagu jedne faze a drugi jalovu snagu za  $\sqrt{3}$  puta veću od snage jedne faze, na osciloskopu se očitava stvarni fazni pomak. Potrebno je nacrtati dijagram ovisnosti snaga o kutu između napona i struje.

$$P = k_p \cdot (d.s.)_p \quad (4.4)$$

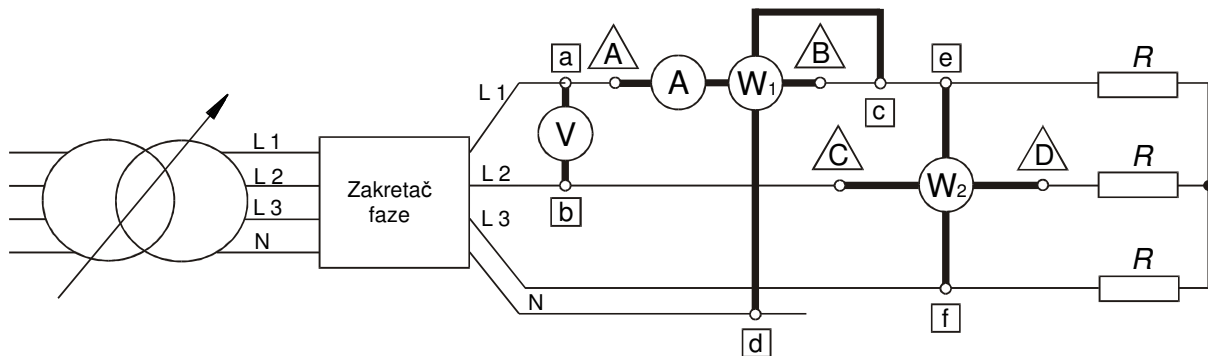
$$Q = k_Q \cdot (d.s.)_Q \quad (4.5)$$

$$P_{uk} = 3 \cdot P \quad (4.6)$$

$$Q_{uk} = \sqrt{3} \cdot Q \quad (4.7)$$

$$S_{uk} = \sqrt{P_{uk}^2 + Q_{uk}^2} \quad (4.8)$$

$$Q_{rač} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin \left[ \arccos \left( \frac{P_{uk}}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L} \right) \right] \quad (4.9)$$



Slika 4.2: Električna shema mjerenja

Fazni otpor trofaznog trošila: \_\_\_\_\_

Maks. struja zakretača faze: 1 A

Maks. fazni napon: \_\_\_\_\_

Tablica 4.1: Podaci mjernih instrumenata

Instrument	Ampermetar	Voltmetar	Vatmetar 1	Vatmetar 2
Proizvođač				
Tip				
Serijski broj				
Indeks razreda				
Princip rada				
Karakter veličine				
Mjerna područja				
Ispitni napon				
Radni položaj				
Unutrašnji otpor				

Tablica 4.2: Rezultati mjerenja

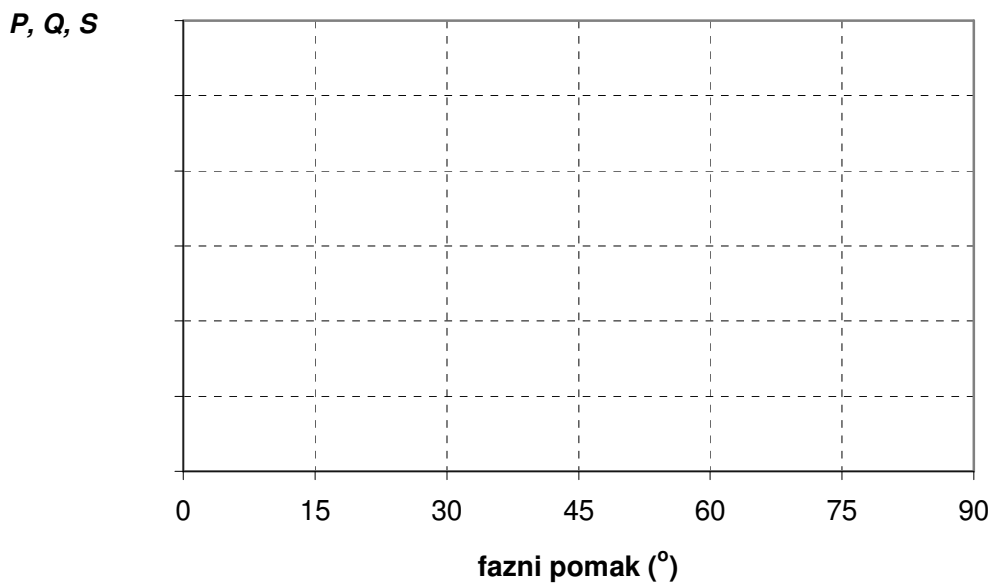
$\varphi$	$U$ (V)	$I$ (A)	Watmetar 1			Watmetar 2		
			konst. $k_P$	otklon (d.s.) $_P$	$P$ (W)	konst. $k_Q$	otklon (d.s.) $_Q$	$Q$ (Var)
0								
15								
30								
45								
60								
75								
90								

Tablica 4.3: Rezultati proračuna

$\varphi$	$P_{uk}$ (W)	$Q_{uk}$ (Var)	$S_{uk}$ (VA)	$\cos\varphi$	$\sin\varphi$	$Q_{rač}$ (Var)
0						
15						
30						
45						
60						
75						
90						

Napomena: Sinus i kosinus se računaju za kut iz prvog stupca ove tablice

Dijagram 4.1: Ovisnost snaga o faznom kutu



## 5. MJERENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Umnožak snage i vremena, prema jednadžbi (5.1), daje utrošenu električnu energiju u vremenu  $t$  prema:

$$W = P \cdot t \quad (5.1)$$

Ako je iznos snage u vremenu promjenjiv, tada je utrošena energija prema jednadžbi (5.2) jednaka

$$W = \int P(t) \cdot dt \quad (5.2)$$

Mjerni instrument koji mjeri električnu energiju nazivamo brojilo električne energije. Prema vrsti električne struje, brojila se dijele na istosmjerna i izmjenična. Izmjenična brojila mogu biti jednofazna i trofazna, za mjerenje radne, prividne i jalove energije. Prema građi razlikujemo magnetomotorna, elektrodinamska, indukcijska te elektronička brojila. Prva tri su elektromehanička brojila motornog tipa a elektronička se koriste elektroničkim sklopovima i nemaju pomičnih dijelova.

Magnetomotorna i elektrodinamska brojila su istosmjerna a indukcijska i elektronička su izmjenična brojila. Napretkom tehnologije izrađuju se brojila većeg razreda točnosti, manje vlastite potrošnje, manje ovisnosti pokazivanja o naponu i frekvenciji, robusnije izvedbe itd. To je razlog da se indukcijska brojila zamjenjuju elektroničkim, posebice na obračunskim mjestima većih potrošača.

Pomični dio indukcijskog brojila nema ograničen otklon i predstavlja rotor malog elektromotora. Osovina motora povezana je sa brojačem okretaja na čijem se brojčaniku može očitati količina utrošene električne energije. Svako brojilo ima konstantu  $k$  koja je izražena u okretajima po kilovatsatu (okr/kWh):

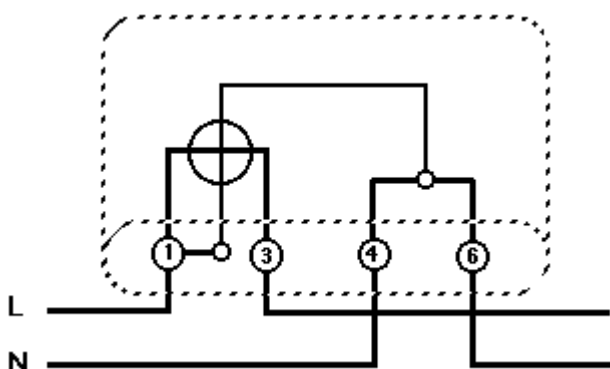
$$k = \frac{N}{W} \quad (5.3)$$

Ako je u vremenu  $\Delta t$  rotor napravio  $N$  okretaja, brojilo će pokazati utrošak od:

$$W = \frac{N}{k} \quad (5.4)$$

Naprimjer brojilo sa konstantom od 600 okr/kWh se treba okrenuti 600 puta da bi vrijednost koju pokazuje brojčanik porastao za 1 kWh, odnosno jedan okret predstavlja utrošenu energiju od  $1/600=1,6$  Wh.

Jednofazno brojilo se spaja na mrežu kao na slici 5.1.



Slika 5.1: Spajanje jednofaznog električnog brojila

## MJERENJE:

U ovoj laboratorijskoj vježbi koristi se jednofazno napajanje, jednofazno brojilo i trošilo promjenjive radne snage. Prvo treba upisati podatke instrumenata u tablicu 5.1 i spojiti instrumente prema slici 5.2. Nakon toga će se uključiti napajanje te mjeriti snaga, vrijeme i utrošak električne energije.

Za pet različitih snaga trošila treba mjeriti vrijeme potrebno da se rotor brojila okrene pet puta ( $N=5$ ). Rezultate mjerenja upišite u tablicu 5.2. a rezultate proračuna koristeći jednadžbe (5.5) do (5.11) u tablicu 5.3.

U dijagramu 5.1 nacrtati ovisnost vremena potrebnog za jedan okretaj i snage.

$$P = k_p \cdot (d.s.)_p \quad (5.5)$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{U \cdot I} \quad (5.6)$$

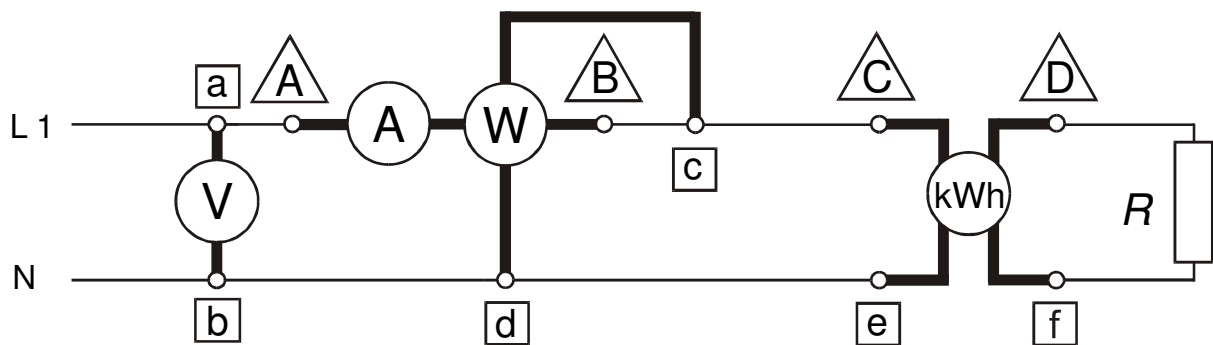
$$W_1 = P \cdot t \quad (5.7)$$

$$W_2 = \frac{N}{k} \quad (5.8)$$

$$\Delta W = W_2 - W_1 \quad (5.9)$$

$$\Delta W = \frac{\Delta W}{W_1} \cdot 100 (\%) \quad (5.10)$$

$$t_{N=1} = \frac{t}{N} \quad (5.11)$$



Slika 5.2: Električna shema mjerenja

Tablica 5.1: Podaci mjernih instrumenata

Instrument	Ampermetar	Voltmetar	Vatmetar	Brojilo
Proizvođač				
Tip				
Serijski broj				
Indeks razreda				
Princip rada				
Karakter veličine				
Mjerna područja				
Ispitni napon				
Radni položaj				
Unutrašnji otpor				

Tablica 5.2: Rezultati mjerenja

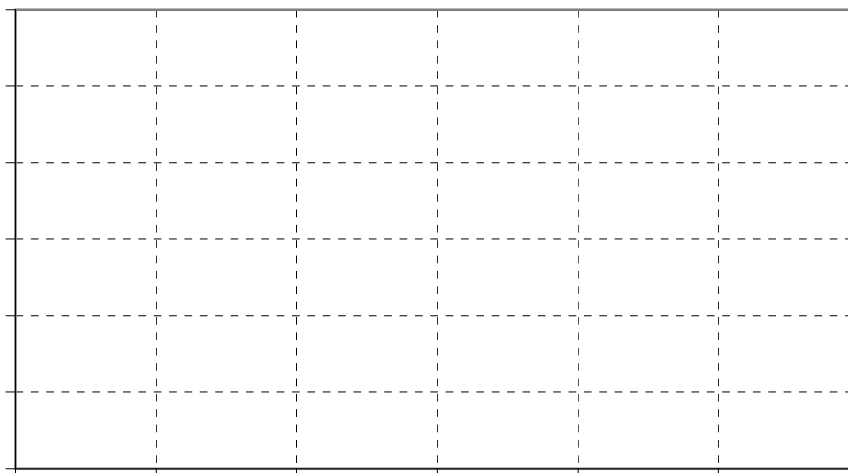
Trošilo	Označena snaga (W)	$U$ (V)	$I$ (A)	konst. $k_p$	otklon $(d.s.)_p$	$t$ (s)	$N$	$k$ (okr/kWh)
1								
2								
3								
4								
5								

Tablica 5.3: Rezultati proračuna

Trošilo	$P$ (W)	$\cos \varphi$	$W_1$ (kWh)	$W_2$ (kWh)	$\Delta W$ (kWh)	$\Delta W$ (%)	$t_{N=1}$ (s)
1							
2							
3							
4							
5							

Dijagram 5.1: Ovisnost vremena potrebnog za jedan okret brojila o snazi trošila

$t_{N=1}$  (s)

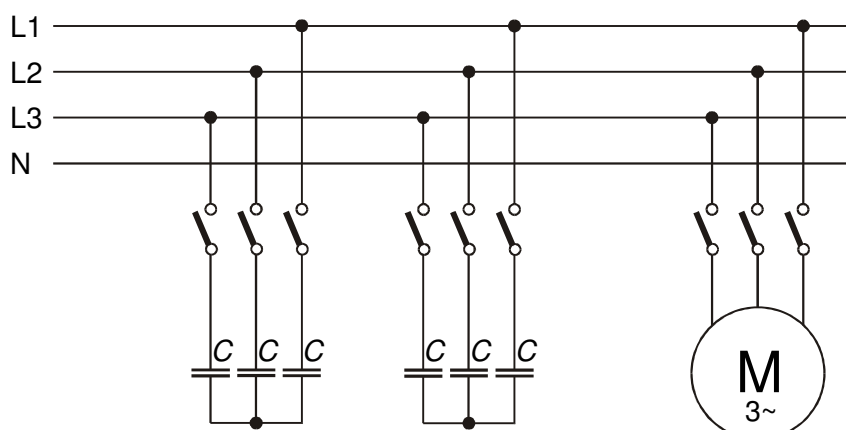


$P$  (W)

## 6. KOMPENZACIJA JALOVE ENERGIJE

Svako kućanstvo ima brojilo električne energije gdje se mjeri samo radna komponenta električne energije. U industriji, gdje se očekuju motori velikih snaga a time i velikih jalovih snaga, osim radne komponente mjeri se i jalova energija i dodatno naplaćuje vlasniku postrojenja. Jalova energija nužna je za rad električnih motora ali je u distribuciji nepoželjna jer zagrijava vodiče i povećava gubitke u prijenosu i distribuciji. Jedan od načina smanjenja utroška jalove energije je upotreba kompenzacije jalove energije. Kada se želi mjeriti jalova energija brojilo se spaja na jednak način kao i vatmetar kada se mjeri jalova snaga (vidi. vježbe 4. i 5.).

Kompenzacija se provodi spajanjem kondenzatora određenih veličina na mrežu. Budući da potrošnji jalove energije najviše doprinose veliki motori koji su simetrična trošila kompenzacija se provodi spajanjem jednakih kondenzatora u sve tri faze u spoju zvijezde. Time se smanjuje ukupna jalova snaga induktivnog karaktera i faktor snage ( $\cos \varphi$ ) raste bliže jedinici. Iznimno je važno da kapaciteti kondenzatora nisu preveliki jer jalova energija kapacitivnog karaktera uzrokuje rast napona na priključcima transformatora iz kojeg se napajaju trošila. Zato se uključuju oni kondenzatori koji daju faktor snage od 0,95 u induktivnom području.



Slika 6.1: Spoj kondenzatora za kompenzaciju jalove energije

Za proračun potrebnih kapaciteta kondenzatora trebaju nam sljedeći tipični podaci:

- faktor snage prije kompenzacije :  $\cos \varphi_1 = 0,7$  ind.
- faktor snage poslije kompenzacije:  $\cos \varphi_2 = 0,95$  ind.
- snaga trošila:  $P$  (kW)

Dobivamo:

$$Q_C = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \quad (6.1)$$

Kada se provodi kompenzacija jalove energije u trofaznim sustavima, svaka faza ima spojen kondenzator koji treba davati trećinu ukupne kapacitivne jalove energije. Kada su kondenzatori spojeni u spoj zvijezde napon na njima je za 1,73 puta manji od međufaznog (nazivnog) napona mreže pa dobivamo kapacitet svake faze:

$$C = \frac{\frac{Q_C}{3}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \left(\frac{U_n}{\sqrt{3}}\right)^2} = \frac{\frac{Q_C}{3}}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{U_n^2}{3}} = \frac{Q_C}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_n^2} = \frac{Q_C}{\omega \cdot U_n^2} \quad (6.2)$$



## MJERENJE:

Prvo treba spojiti mjerne instrumente kao na slici 6.2 i upisati podatke instrumenata u tablicu 6.1. Voltmetrom se mjeri linijski napon, ampermetrom linijska struja. Prvi vatmetar mjeri radnu snagu jedne faze a drugi jalovu snagu za  $\sqrt{3}$  puta veću od snage jedne faze.

Mjerit će se utjecaj kompenzacije na smanjenje jalove energije u sustavu pri tri različita napona (50 V, 100 V i 125 V). Sustav kompenzacije ima četiri stupnja:

- bez kompenzacije
- kapacitet jedne faze  $C_1 =$  \_\_\_\_\_
- kapacitet jedne faze  $C_2 =$  \_\_\_\_\_
- kapacitet jedne faze  $C_3 =$  \_\_\_\_\_

Na osnovi ovih podataka izračunajte očekivanu kapacitivnu jalovu energiju koju mogu generirati pojedini stupnjevi i upišite u tablicu 6.2 koristeći jednadžbu (6.3).

Za tri navedena napona izmjerite sve veličine pri svakom stupnju kompenzacije i rezultate mjerenja upišite u tablice 6.3, 6.5 i 6.7 a rezultate proračuna koristeći jednadžbe (6.4) do (6.12) u tablice 6.4, 6.6 i 6.8. Nacrtajte dijagrame 6.1 do 6.3 koristeći rezultate mjerenja i proračuna.

$$Q_C = \omega \cdot C \cdot U^2 \quad (6.3)$$

$$P = k_p \cdot (d.s.)_p \quad (6.4)$$

$$Q = k_Q \cdot (d.s.)_Q \quad (6.5)$$

$$P_{uk i} = 3 \cdot P \quad (6.6)$$

$$Q_{uk i} = \sqrt{3} \cdot Q \quad (6.7)$$

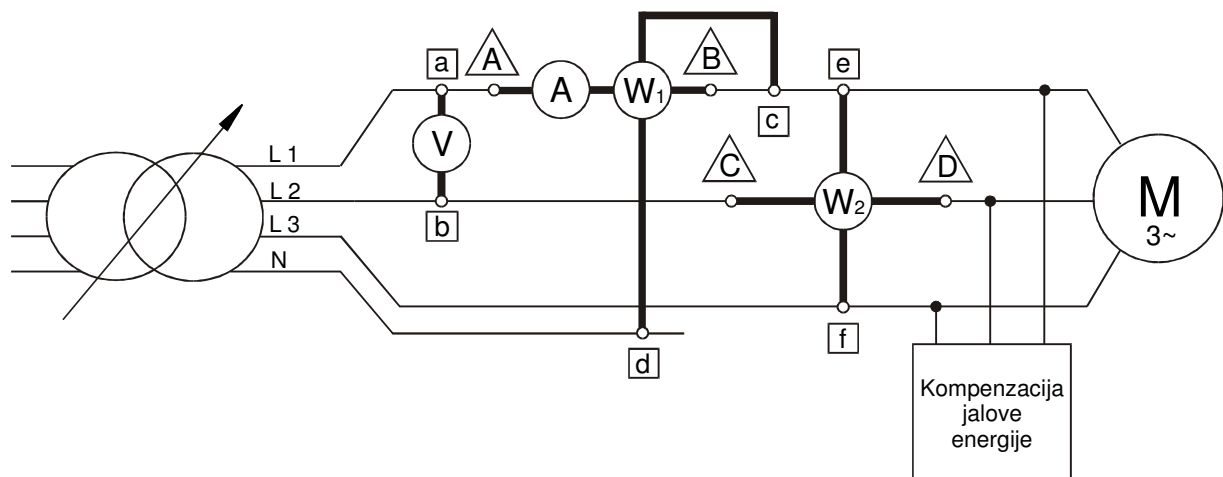
$$S_{uk i} = \sqrt{P_{uk i}^2 + Q_{uk i}^2} \quad (6.8)$$

$$\cos \varphi = \frac{P_{uk i}}{S_{uk i}} \quad (6.9)$$

$$\varphi = \arccos \varphi \quad (6.10)$$

$$Q_{C \text{ rač}} = Q_{uk i} - Q_{uk 0} \quad (6.11)$$

$$C_{\text{rač}} = \frac{Q_{C \text{ rač}}}{\omega \cdot U^2} \quad (6.12)$$



Slika 6.2: Električna shema mjerenja

Tablica 6.1: Podaci mjernih instrumenata

Instrument	Ampermetar	Voltmetar	Vatmetar 1	Vatmetar 2
Proizvođač				
Tip				
Serijski broj				
Indeks razreda				
Princip rada				
Karakter veličine				
Mjerna područja				
Ispitni napon				
Radni položaj				
Unutrašnji otpor				

Tablica 6.2: Očekivani doprinos kondenzatora

Stupanj kompenzacije $i$	$C_i$ ( $\mu\text{F}$ )	$Q_C$ (Var) ( $U=50$ V)	$Q_C$ (Var) ( $U=100$ V)	$Q_C$ (Var) ( $U=125$ V)
0	0			
1				
2				
3				

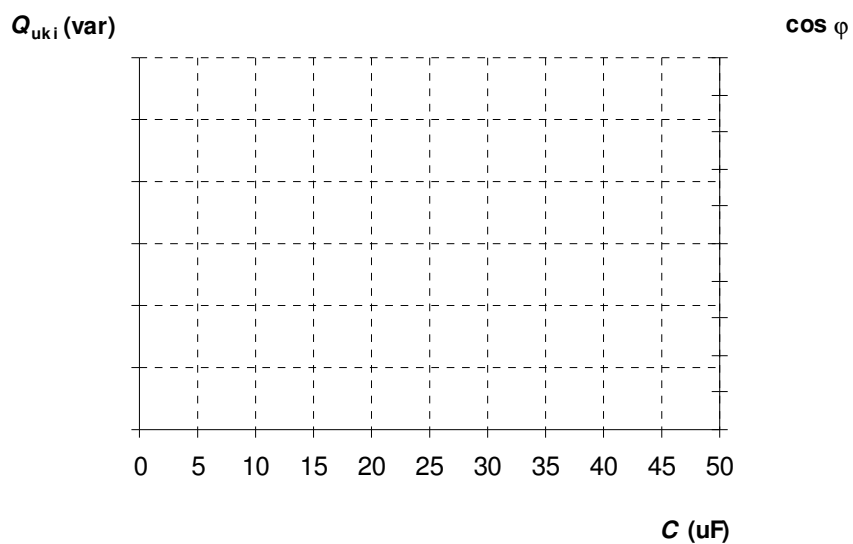
Tablica 6.3: Rezultati mjerenja ( $U=50$  V)

Stupanj kompenzacije	$U$ (V)	$I$ (A)	konst. $k_P$	otklon ( $d.s.$ ) $_P$	$P$ (W)	konst. $k_Q$	otklon ( $d.s.$ ) $_Q$	$Q$ (Var)
0								
1								
2								
3								

Tablica 6.4: Rezultati proračuna ( $U=50$  V)

Stupanj kompenzacije	$P_{uk\ i}$ (W)	$Q_{uk\ i}$ (Var)	$S_{uk\ i}$ (VA)	$\cos\varphi$	$\varphi$ ( $^\circ$ )	$Q_{C\ ra\ c}$ (Var)	$C_{ra\ c}$ ( $\mu\text{F}$ )
0							
1							
2							
3							

Dijagram 6.1: Ovisnost jalove snage i faktora snage o kapacitetu



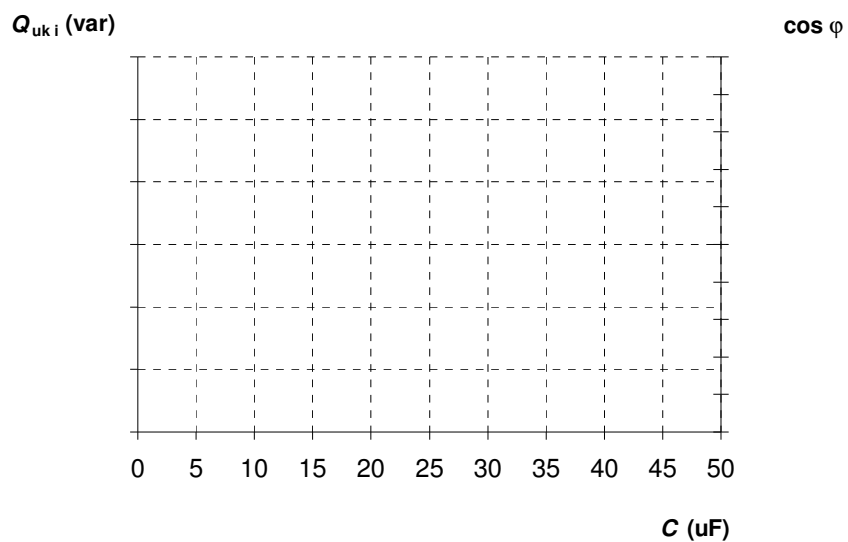
Tablica 6.5: Rezultati mjerenja ( $U=100\text{ V}$ )

Stupanj kompenczacije	$U\text{ (V)}$	$I\text{ (A)}$	konst. $k_P$	otklon (d.s.) $_P$	$P\text{ (W)}$	konst. $k_Q$	otklon (d.s.) $_Q$	$Q\text{ (Var)}$
0								
1								
2								
3								

Tablica 6.6: Rezultati proračuna ( $U=100\text{ V}$ )

Stupanj kompenczacije	$P_{uk i}\text{ (W)}$	$Q_{uk i}\text{ (Var)}$	$S_{uk i}\text{ (VA)}$	$\cos\varphi$	$\varphi\text{ (}^\circ\text{)}$	$Q_{C\text{ rač}}\text{ (Var)}$	$C_{\text{rač}}\text{ (}\mu\text{F)}$
0							
1							
2							
3							

Dijagram 6.2: Ovisnost jalove snage i faktora snage o kapacitetu



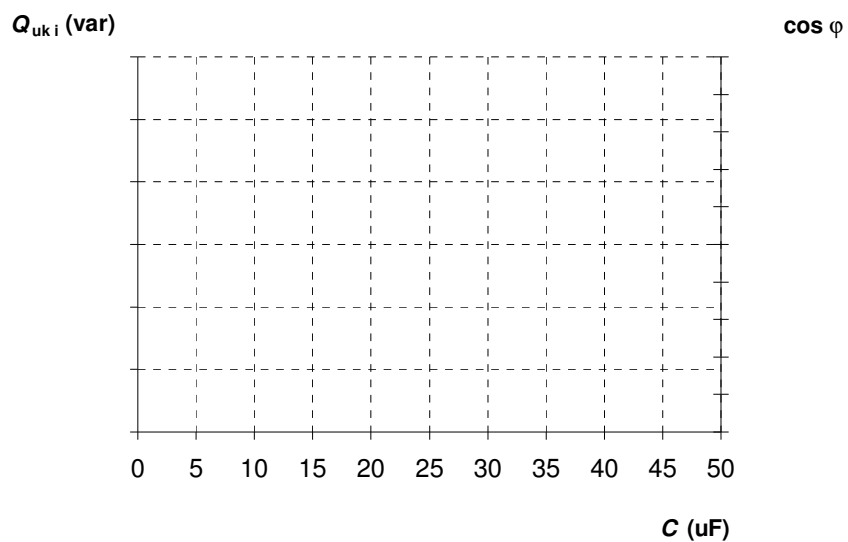
Tablica 6.7: Rezultati mjerenja ( $U=125\text{ V}$ )

Stupanj kompenczacije	$U\text{ (V)}$	$I\text{ (A)}$	konst. $k_P$	otklon (d.s.) $_P$	$P\text{ (W)}$	konst. $k_Q$	otklon (d.s.) $_Q$	$Q\text{ (Var)}$
0								
1								
2								
3								

Tablica 6.8: Rezultati proračuna ( $U=125\text{ V}$ )

Stupanj kompenczacije	$P_{uk\ i}\text{ (W)}$	$Q_{uk\ i}\text{ (Var)}$	$S_{uk\ i}\text{ (VA)}$	$\cos\varphi$	$\varphi\text{ (}^\circ\text{)}$	$Q_{C\ ra\ c}\text{ (Var)}$	$C_{ra\ c}\text{ (}\mu\text{F)}$
0							
1							
2							
3							

Dijagram 6.3: Ovisnost jalove snage i faktora snage o kapacitetu



## Literatura

1. Marinović Nenad, Opća elektrotehnika i elektronika 1, Školska knjiga, 1996.
2. Marinović Nenad, Opća elektrotehnika i elektronika 2, Školska knjiga, 1993.
3. N. Marinović, Rudarska elektrotehnika, Školska knjiga, Zagreb, 1986.
4. V. Bego, Mjerenja u elektrotehnici, Tehnička knjiga, Zagreb, 1968.
5. D. Vujević, B. Ferković: Osnove elektrotehničkih mjerenja, I dio, Školska knjiga, Zagreb, 2001.
6. D. Vujević, B. Ferković: Osnove elektrotehničkih mjerenja, II dio, Školska knjiga, Zagreb, 2001.
7. Z. Godec, Iskazivanje mjernog rezultata, Graphis, Zagreb 1995.
8. Mizerski Witold, Formule i tablice, Element, Zagreb 2000.
9. Vujević Dušan, Mjerenje u elektrotehnici, Dorsum, Zagreb 2001.
10. Stanić Eugen, Osnove elektrotehnike, Školska knjiga, 1991.
11. Katalog proizvoda Shrack