

Značajke i specifikacije mutimetara

Brajković, Rebeka

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:931023>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-10**

Repository / Repozitorij:

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



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

Sveučilišni studij

ZNAČAJKE I SPECIFIKACIJE MULTIMETRA

ZAVRŠNI RAD

Rebeka Brajković

Osijek, 2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P: Obrazac za ocjenu završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju**

Ime i prezime pristupnika:	Rebeka Brajković
Studij, smjer:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. pristupnika, god.	4494, 23.07.2018.
JMBAG:	0165077059
Mentor:	prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
Sumentor:	mr. sc. Dražen Dorić
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Značajke i specifikacije multimetara
Znanstvena grana završnog rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada:	Prijenosni baterijski napajani univerzalni instrumenti za mjerenje nekoliko električkih veličina na više mjernih opsega, multimetri, se proizvode u različitim izvedbama za razine primjene sve od profesionalne do kućne. Proizvođači na različite načine i s različitom ozbiljnosti deklariraju specifikacije multimetara. U okviru završnoga rada treba načiniti pregled izvedbi analognih i digitalnih multimetara, navesti njihove značajke i specifikacije te na skupu različitih multimetara, od kvalitetnih do jeftinih, mjerenjem provjeriti deklarirane specifikacije. Sumentor mr.sc. Drazen Dorić
Datum prijedloga ocjene završnog rada od strane mentora:	19.09.2024.
Prijedlog ocjene završnog rada od strane mentora:	Izvrstan (5)
Datum potvrde ocjene završnog rada od strane Odbora:	25.09.2024.
Ocjena završnog rada nakon obrane:	Izvrstan (5)
Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio sveučilišni prijediplomski studij:	26.09.2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O IZVORNOSTI RADA**

Osijek, 26.09.2024.

Ime i prezime Pristupnika:	Rebeka Brajković
Studij:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	4494, 23.07.2018.
Turnitin podudaranje [%]:	9

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Značajke i specifikacije mutimetara**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš

i sumentora mr. sc. Dražen Dorić

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P: Obrazac za ocjenu završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju**

Ime i prezime pristupnika:	Rebeka Brajković
Studij, smjer:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. pristupnika, god.	4494, 23.07.2018.
JMBAG:	0165077059
Mentor:	prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš
Sumentor:	mr. sc. Dražen Dorić
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Značajke i specifikacije multimetara
Znanstvena grana završnog rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada:	Prijenosni baterijski napajani univerzalni instrumenti za mjerenje nekoliko električkih veličina na više mjernih opsega, multimetri, se proizvode u različitim izvedbama za razine primjene sve od profesionalne do kućne. Proizvođači na različite načine i s različitom ozbiljnosti deklariraju specifikacije multimetara. U okviru završnoga rada treba načiniti pregled izvedbi analognih i digitalnih multimetara, navesti njihove značajke i specifikacije te na skupu različitih multimetara, od kvalitetnih do jeftinih, mjerenjem provjeriti deklarirane specifikacije. Sumentor mr.sc. Drazen Dorić
Datum prijedloga ocjene završnog rada od strane mentora:	19.09.2024.
Prijedlog ocjene završnog rada od strane mentora:	Izvrstan (5)
Datum potvrde ocjene završnog rada od strane Odbora:	25.09.2024.
Ocjena završnog rada nakon obrane:	Izvrstan (5)
Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio sveučilišni prijediplomski studij:	26.09.2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O IZVORNOSTI RADA**

Osijek, 26.09.2024.

Ime i prezime Pristupnika:	Rebeka Brajković
Studij:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	4494, 23.07.2018.
Turnitin podudaranje [%]:	9

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Značajke i specifikacije mutimetara**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Hrvoje Glavaš

i sumentora mr. sc. Dražen Dorić

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
1.1.	Zadatak rada	1
2.	UNIVERZALNI MJERNI INSTRUMENT	2
3.	ANALOGNI MULTIMETAR.....	3
3.1.	Princip rada multimetra s pomičnim svitkom i permanentnim magnetom	4
3.2.	Princip rada multimetra s pomičnim željezom	5
3.3.	Mjerenje električnih veličina analognim multimetrima	6
3.3.1.	Mjerenje struje	6
3.3.2.	Mjerenje napona.....	6
3.3.3.	Mjerenje otpora	7
3.4.	Mjerni opseg.....	7
3.5.	Pogreške analognog multimetra	8
3.6.	Oznake i simboli.....	8
3.7.	Dijelovi analognog multimetra	10
3.8.	Prednosti i nedostaci analognog multimetra	11
4.	DIGITALNI MULTIMETAR.....	13
4.1.	Princip rada digitalnog multimetra.....	13
4.2.	Mjerenje električnih veličina digitalnim multimetrom.....	14
4.2.1.	Mjerenje struje	14
4.2.3.	Mjerenje napona	15
4.2.4.	Mjerenje otpora	15
4.3.	Mjerni opseg.....	17
4.4.	Razlučivost	18
4.5.	Granične pogreške.....	19
4.6.	Oznake i simboli.....	19
4.7.	Dijelovi digitalnog multimetra	21
4.8.	Prednosti i nedostaci digitalnog multimetra	22
5.	PROVJERA DEKLARIRANIH ZNAČAJKI DIGITALNIH MULTIMETARA.....	24
5.1.	Mjerenje izmjeničnog (AC) napona	25
5.2.	Mjerenje istosmjernog (DC) napona	34

5.3. Mjerenje AC struje.....	40
6. ZAKLJUČAK	47
LITERATURA	49
SAŽETAK	51
ABSTRACT.....	51
ŽIVOTOPIS	52

1. UVOD

Razvoj elektroničkih sustava donio je značajne promjene u području mjerenja električnih veličina, gdje su multimetri postali nezaobilazni mjerni alati. Kao univerzalni mjerni instrumenti, multimetri se koriste za mjerenje osnovnih električnih veličina poput napona, struje i otpora. Razvojem tehnologije, napredak u dizajnu multimetara omogućio je podjelu na dva glavna tipa: analogne i digitalne.

Analogni multimetri koriste mehaničke principe rada poput pomičnog svitka s permanentnim magnetom ili pomičnog željeza, što omogućuje prikaz izmjerenih vrijednosti na skali. Ovi uređaji i dalje imaju primjenu zbog svoje robusnosti i pouzdanosti u određenim uvjetima. Za razliku od analognih multimetara, digitalni multimetri, koji su tehnički napredniji, koriste A/D pretvornik za pretvaranje analognih signala u digitalne podatke, što omogućuje točnija i preciznija mjerenja čiji rezultati se prikazuju na digitalnom zaslonu.

U ovom završnom radu detaljno su analizirani analogni i digitalni multimetri, s naglaskom na njihove radne principe, vrste pogrešaka, mjerne opsege, te oznake, simbole i ključne komponente. Također su razmotrene prednosti i nedostaci svakog tipa multimetra, pružajući sveobuhvatan uvid u njihove funkcionalnosti i primjenjivost u različitim mjeriteljskim okruženjima. Posebna pažnja posvećena je provjeri deklariranih značajki digitalnih multimetara kroz eksperimentalna mjerenja, pri čemu su korišteni digitalni multimetri različitih proizvođača. Kroz usporedbu dobivenih rezultata, analizirat će se njihova točnost, pouzdanost i primjenjivost u različitim uvjetima. Rezultati ovog istraživanja pružit će uvid u kvalitetu mjerenja koju nude različiti tipovi multimetara, što je važno za njihov pravilan odabir i korištenje u svakodnevnim elektrotehničkim aplikacijama.

1.1. Zadatak rada

U završnom radu potrebno je definirati pojam multimetra, te opisati i načiniti pregled izvedbi analognih i digitalnih multimetara. Nadalje, potrebno je navesti njihove značajke i specifikacije. Na skupu različitih multimetara, od kvalitetnih do jeftinih, mjerenjem provjeriti deklarirane specifikacije.

2. UNIVERZALNI MJERNI INSTRUMENT

Multimetar je višenamjenski mjerni instrument kojim se mjere različite električne veličine, poput napona, struje i otpora. Često se naziva i Volt-Ohm-Metar (VOM), jer obavlja funkcije voltmetra, ampermetra i ohmmetra. Za korištenje multimetra potrebna su dva mjerna kabla. Uobičajeno je koristiti crni vodič za uzemljenje i crveni vodič za pozitivni pol. Na krajevima vodiča nalaze se metalne sonde, često s tzv. banana utikačem, koji omogućuje vezu s mjernim točkama. Na većini multimetara, ispitni kablovi mogu se odvojiti od samog uređaja, što olakšava zamjenu ili prilagodbu. [1]

Multimetri se dijele na analogne i digitalne. Analogni multimetri koriste mikroampermetar s pomičnom kazaljkom za prikaz očitavanja, pri čemu je najvažniji dio mehanizam s pomičnim svitkom. Ovaj princip rada koristi zavojnicu smještenu unutar magnetskog polja stalnog magneta. Kada struja teče kroz zavojnicu, nastala magnetska sila uzrokuje otklon zavojnice, a igla pokazuje očitavanje. Postoji i varijanta analognog multimetra koja koristi pomično željezo za mjerenje izmjenične struje. Digitalni multimetri, za razliku od analognih, koriste analogno-digitalni pretvarač za mjerenje električnih veličina, prikazujući rezultate na digitalnom zaslonu. Digitalni multimetri često imaju dodatne funkcije, kao što su mjerenje frekvencije, kapaciteta, ispitivanje dioda i kontinuiteta. [2] Multimetri su nezamjenjivi alati u elektrotehnici, pružajući precizna i pouzdana mjerenja potrebna za analizu električnih krugova i sustava. Njihova svestranost i mogućnost mjerenja širokog raspona električnih veličina čine ih osnovnim instrumentom u svakodnevnom radu inženjera i tehničara, osiguravajući učinkovitost i sigurnost u električnim aplikacijama.

3. ANALOGNI MULTIMETAR

Analogni multimetri, kao jedan od najstarijih tipova mjernih instrumenata, koriste odklon kazaljke za prikaz mjerene veličine, a njihovo djelovanje temelji se na elektromehaničkom principu. Princip rada analognog multimetra zasniva se na djelovanju sile na vodič kroz koji prolazi struja, a koji je smješten u magnetskom polju. Analogni multimetri obično se koriste za mjerenje istosmjernih i izmjeničnih napona i struja, kao i otpora. Istosmjerni napon i struja mjere se pomoću mehanizma s pomičnim svitkom, uz serijski ili paralelno dodane otpornike kako bi se postigao odgovarajući mjerni raspon. Za mjerenje izmjeničnih veličina, analogni multimetar sadrži ispravljач koji omogućuje pravilno pretvaranje izmjenične struje u istosmjernu za precizno očitavanje.

Možemo razlikovati nekoliko izvedbi analognog multimetra, među kojima su najpoznatiji oni s pomičnim svitkom i permanentnim magnetom te s pomičnim željezom. Instrumenti s pomičnim svitkom imaju linearnu funkciju ovisnosti odklona kazaljke o izmjerenoj veličini, dok instrumenti s pomičnim željezom imaju kvadratnu funkciju. Otklonski mehanizam multimetra djeluje kao elektromehanički pretvornik struje u pomak kazaljke. Za pravilno postavljanje skale multimetra važno je definirati ovisnost odklona kazaljke o iznosu struje, čime se omogućuje precizno mjerenje i točan prikaz mjerene veličine. [3]

Matematički model koji opisuje gibanje kazaljke mjernog instrumenta naziva se zakon gibanja kazaljke. Otklon pomičnog dijela instrumenta, odnosno kazaljke, u svakom trenutku može se opisati linearnom diferencijalnom jednadžbom drugog reda s konstantnim koeficijentima: (3-1)[3]:

$$J \cdot \frac{d^2\alpha(t)}{dt^2} + P \cdot \frac{d\alpha(t)}{dt} + D \cdot \alpha(t) = m[i(t)] \quad (3-1)$$

gdje je:

$\alpha(t)$ – kut odklona kazaljke [rad]

J - moment tromosti otklonskog mehanizma [kgm^2/rad]

P - prigušenje (zračno, tekućinsko) otklonskog mehanizma [$\text{kgm}^2/(\text{rad} \cdot \text{s})$]

D - konstanta protumomenta otklonskog mehanizma (spiralne opruge) [$\text{kgm}^2/(\text{rad} \cdot \text{s}^2)$]

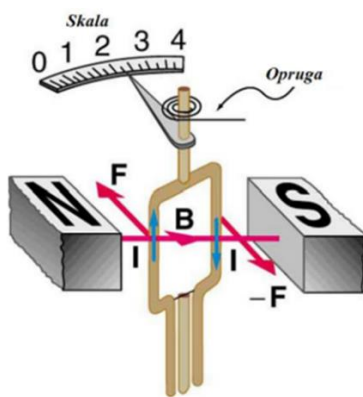
$m[i(t)]$ - aktivni moment ovisan o struji [Nm]

3.1. Princip rada multimetra s pomičnim svitkom i permanentnim magnetom

Multimetar s pomičnim svitkom i permanentnim magnetom temelji se na elektromagnetnom principu, gdje struja koja prolazi kroz zavojnicu unutar stalnog magnetskog polja stvara međudjelovanje između magnetskog polja zavojnice i polja magneta. Zavojnica je smještena unutar magnetskog polja jakog stalnog magneta. Ovaj moment, koji zakreće svitak, proporcionalan je magnetskoj indukciji B , broju namota N , širini b , visini h zavojnice i struji i , što se izražava formulom (3-2) [1]:

$$M_1 = BNbhi \quad (3-2)$$

Kada struja teče kroz zavojnicu, prema principu Lorentzove sile, na nju djeluje sila koja uzrokuje rotaciju zavojnice. Rotacija zavojnice je proporcionalna jačini struje koja teče kroz nju. Kao rezultat toga, zavojnica se rotira, a pomak se prenosi na kazaljku pokazivača koja se pomiče duž skale, precizno prikazujući izmjerenu vrijednost struje. Zavojnica je povezana s povratnom oprugom koja djeluje protiv rotacije, stvarajući ravnotežu između sile koju proizvodi struja i povratne sile opruge (slika 3.1.). Otklon zavojnice, a time i pomak igle, proporcionalan je struji koja teče. [1]



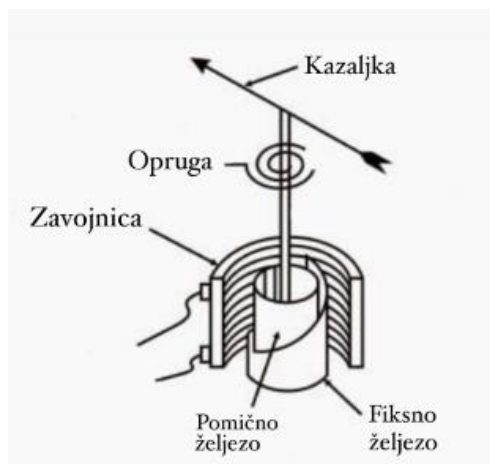
Slika 3.1. Prikaz principa rada multimetra s pomičnim svitkom i permanentnim magnetom [3]

Ovaj mehanizam omogućava precizno mjerenje istosmjerne struje (DC). Međutim, multimetri s pomičnim svitkom nisu pogodni za mjerenje izmjenične struje (AC) bez dodatnih ispravljača, jer bi stalna promjena smjera struje uzrokovala titranje igle. Za mjerenje napona i otpora, u instrument se dodaju dodatni serijski ili paralelni otpornici kako bi prilagodili rad zavojnice na odgovarajuće mjerne raspone. Mjerenje otpora zahtijeva unutarnju bateriju (često AAA), koja osigurava struju potrebnu za mjerenje. Napon se mjeri korištenjem otpornika koji osiguravaju da struja kroz zavojnicu ostane proporcionalna izmjerenom naponu. Zbog mogućih mehaničkih pomaka ili

temperaturnih promjena, zavojnica i igla mogu se pomaknuti izvan početne pozicije nule kada nema struje. Stoga većina multimetara s pomičnim svitkom uključuje mali vijak za fino podešavanje koji omogućuje vraćanje igle na nulu prije početka mjerenja. [1] [2]

3.2. Princip rada multimetra s pomičnim željezom

Za razliku od multimetra s pomičnim svitkom i permanentnim magnetom, princip rada multimetra s pomičnim željezom temelji se na interakciji magnetskog polja koje nastaje prolaskom struje kroz zavojnicu i pokretnog feromagnetskog elementa unutar zavojnice. Unutar zavojnice smještena su dvije željezne jezgre – jedna fiksna i jedna pomična. Kada kroz zavojnicu teče struja, stvara se magnetsko polje koje privlači pomično željezo prema fiksnom. Jačina magnetske sile proporcionalna je kvadratu struje koja prolazi kroz zavojnicu, što znači da multimetar reagira na apsolutnu vrijednost struje, bez obzira na smjer. Ovaj princip rada prikazan je na slici 3.2.



Slika 3.2. Prikaz principa rada multimetra s pomičnim željezom [5]

Pomični željezni štapić elastično je postavljen iznad zavojnice kroz koju prolazi struja. Ovisno o jačini struje, željezni štapić je proporcionalno magnetiziran, a sila F određuje se promjenom energije sadržane u zavojnici, koja se javlja kada se štapić pomakne za neznatnu duljinu u smjeru sile. Magnetska sila F uvlači željeznu kotvu nastojeći skratiti magnetski put, odnosno smanjiti magnetski otpor, a sila se izračunava prema formuli (3-3) [1]:

$$F = \frac{1}{2} I^2 \frac{dL}{ds} \quad (3-3)$$

gdje je:

F - magnetska sila [N]

L - induktivitet svitka [H]

I - struja koja teče svitkom [A]

Promjenom položaja željezne kotve sustav mijenja induktivitet zavojnice, koja od zračnog postaje sve više zavojnica sa željeznom jezgrom. Pomično željezo povezano je s kazaljkom koja se pomiče po skali te prikazuje izmjerene vrijednosti. Ovaj sustav omogućuje mjerenje i izmjeničnih veličina, jer je otklon kazaljke uvijek u istom smjeru, bez obzira na promjenu polariteta. Opruga pridržava pomično željezo te ga vraća u početni položaj kada nema struje.

3.3. Mjerenje električnih veličina analognim multimetrima

Analognim multimetrima mjere se elektrine veličine kao što struja, napon i otpor. U nastavku je objašnjen princip rada svake pojedinačne električne veličine.

3.3.1. Mjerenje struje

Analogni multimeter može samostalno izmjeriti struju u samo jednom prethodno određenom rasponu. Kako bi analogni multimeter služio za mjerenja u više strujnih raspona, ali i mjerenja ostalih vrijednosti poput napona, otpora pa i izmjenične struje i napona, potrebne su dodatne komponente. U većini slučajeva, unutar strujnog kruga smješteni su otpornici visoke preciznosti koje omogućavaju različita mjerenja. Kako bi proširili raspon mjernog područja analognog multimetra, koristimo shunt otpornik koji se stavlja paralelno s mjernim krugom multimetra.

Shunt otpornik je vrsta otpornika s vrlo niskom vrijednosti otpora koja istovremeno dozvoljava protok velike struje. Kroz shunt otpornik tada teče ista ukupna struja koja teče i kroz mjerni krug multimetra, a i kroz ukupni strujni krug. Shunt otpornik uzima struju proporcionalnu otporu, što znači da će za danu razinu struje koja teče kroz mjerni krug multimetra i shunt, mjerni krug multimetra očitati manje. [4] Naprimjer, ako mjerni krug multimetra od 1 mA koji ima shunt otpornik, čiji iznos je jednak jednog devetini ukupnog otpora mjerni krug multimetra, jedan dio će teći kroz mehanizam, a ostatak kroz shunt otpornik. To znači da će ukupni strujni krug propuštati 10 mA dok multimeter očitava 1 mA.

3.3.2. Mjerenje napona

Prilikom mjerenja napona galvanometrom s pokretnom zavojnicom, Ohmov zakon koristi se za izračunavanje potrebnog napona. Galvanometar je precizni instrument koji mjeri vrlo male struje

i, kao takav, služi za mjerenje napona putem poznatog otpora instrumenta i struje koja prolazi kroz zavojnicu. Ovaj izračun omogućuje kalibraciju za točna mjerenja napona. Međutim, osjetljivost galvanometra ograničava ga na mjerenje vrlo niskih napona. Za mjerenje viših napona, u seriju s galvanometrom dodaju se otpornici. Vrijednost otpornika se izračunava prema Ohmovom zakonu, uzimajući u obzir otpor zavojnice i struju potrebnu za puni otklon kazaljke. Time se povećava naponski raspon instrumenta, čime se ravnomjerno raspodjeljuje napon preko otpornika i osigurava precizno mjerenje većih napona, istovremeno štiteći osjetljivi mehanizam zavojnice. [2]

3.3.3. Mjerenje otpora

Princip rada analognog multimetra prilikom mjerenja otpora razlikuje se od mjerenja struje i napona, budući da je za ovu funkciju, uz dodatne otpornike, potrebna i baterija. Da bi se osigurao mjerni kapacitet otpora, koristi se baterija koja generira struju kroz vanjski otpornik koji se mjeri, a količina struje koja protječe kroz otpornik određuje njegovu vrijednost otpora. Pri mjerenju otpora na analognom multimetru, visoke vrijednosti otpora prikazane su na lijevom dijelu skale, gdje manja struja teče kroz otpornik, dok su niske vrijednosti otpora prikazane na desnom dijelu skale, gdje teče veća struja. [2] Kod mjerenja otpora, prvo je potrebno "nulirati" multimeter kako bi se kompenzirale moguće varijacije u napajanju baterije. Nuliranje se postiže kratkim spajanjem sonde i postavljanjem kazaljke na nulu. Nakon provedenog postupka, multimeter je spreman za precizno i pouzdano mjerenje.

3.4. Mjerni opseg

Mjerni opseg odnosi se na raspon vrijednosti koje multimeter može točno izmjeriti. Svaki opseg definira minimalnu i maksimalnu vrijednost unutar koje multimeter može obaviti precizno mjerenje određene fizičke veličine, kao što su napon, struja ili otpor. Odabir odgovarajućeg mjernog opsega ključan je za osiguranje točnosti rezultata te zaštitu samog uređaja. Korištenje mjernog opsega koji nije prilagođen veličini mjerene vrijednosti može dovesti do pogrešnih očitavanja, smanjenja preciznosti ili, u nekim slučajevima, oštećenja instrumenta.

Tipični analogni multimeter može imati sljedeće mjerne opsege [4]:

- Istosmjerni napon: 2.5V, 10V, 25V, 100V, 250V, 1000V
- Izmjenični napon: 10V, 25V, 100V, 250V, 1000V
- Istosmjerna struja: 50 μ A, 1mA 10mW, 100mA

- Otpor: R, 100R, 10 000R

Za mjerenje napona, bilo istosmjernog (DC) ili izmjeničnog (AC), preporučuje se započeti s najvećim dostupnim rasponom kako bi se izbjegla mogućnost preopterećenja instrumenta. Kada se detektira vrijednost unutar raspona, postupnim smanjivanjem skale postiže se optimalna točnost očitavanja. Prilikom mjerenja struje, unaprijed je važno procijeniti veličinu očekivane struje, jer neprilagođeni raspon može rezultirati netočnim mjerenjima ili čak oštećenjem multimetra. Stoga je preporučljivo koristiti veći raspon te ga postepeno prilagođavati prema dobivenim rezultatima. Kod mjerenja otpora, postupak je sličan – početno se koristi najveći opseg otpora, a zatim se smanjuje kako bi se postigla stabilna vrijednost koja se može interpretirati s visokom preciznošću.

3.5. Pogreške analognog multimetra

Pogreške u mjerenjima s analognim instrumentima nastaju zbog više čimbenika, kao što su nesavršenosti u samoj konstrukciji uređaja, vanjski utjecaji iz okoline (poput promjena temperature, vlage ili magnetskih polja), te subjektivnost prilikom očitavanja kazaljke od strane mjeritelja. Granična pogreška analognih instrumenata daje se s pomoću razreda točnosti *r.t.* (postotna granična pogreška $G\%$ u odnosu na mjerni domet D , izraz (3-4)) [3]. Razredi točnosti su standardizirani te razvrstani u grupe kako slijedi: 0,05 - 0,1 - 0,2 - 0,3 - 0,5 - 1 - 1,5 - 2 - 2,5 - 3 - 5. Ako se instrument upotrijebi u granicama svog mjernog opsega i u referentnim uvjetima, pogreška ne smije premašiti granične pogreške dane razredom točnosti:

$$G_{\%} = r. t. = \frac{G_a}{D} \cdot 100\% \quad (3-4)$$

gdje je G_a granična apsolutna pogreška.

Tada su relativna granična pogreška Gr i apsolutna pogreška G_a iskazane s obzirom na mjerenu vrijednost M zadane izrazima (3-5)(3-6) [3]:

$$Gr = \frac{G_a}{M} \quad (3-5)$$


















$$G_a = p_r \cdot M \quad (3-6)$$

3.6. Oznake i simboli

Mjerni instrumenti, pa tako i analogni multimetri, moraju na svojoj skali ili vanjskom kućištu imati jasno označene sljedeće podatke [3]:

1. naziv ili logotip proizvođača (npr. Triplett, Hioki, Metex, Unit itd.),
2. oznaku mjerene veličine u odgovarajućim jedinicama (V, A, Ω itd.),
3. serijski broj za instrumente s klasom točnosti između 0,1 i 0,5, te za sve prijenosne instrumente bez obzira na klasu,
4. razred točnosti (npr. 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 5),
5. vrstu struje (istosmjerna – DC, izmjenična – AC),
6. ispitni napon i vrstu otklonskog mehanizma.

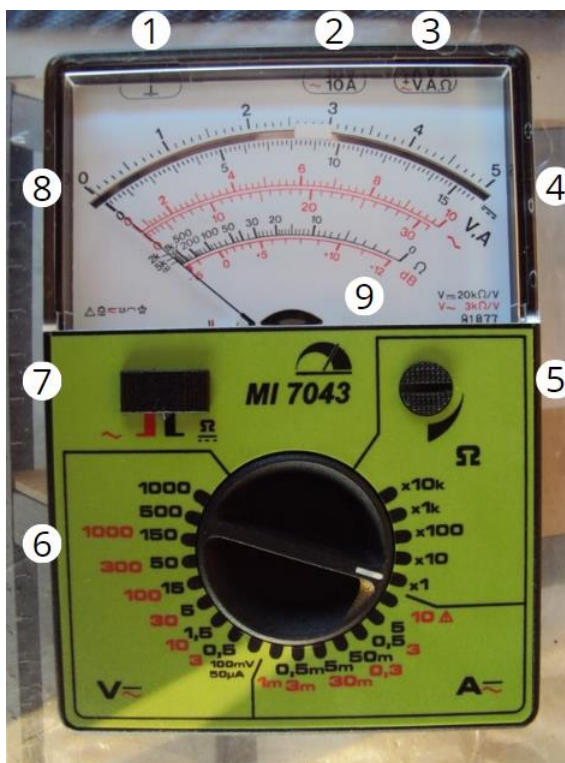
Dodatni simboli kao što su položajni simboli, simbol za odvojeni shunt ili predotpornik mogu se također nalaziti na instrumentu. Ako se referentni uvjeti razlikuju od standardnih vrijednosti propisanih normama, ti podaci moraju biti jasno označeni na instrumentu. Neki od najčešće korištenih simbola prikazani su na slici 3.6.

Vrsta mjernog signala				
				
Istosmjerna struja	Izmjenična struja	Istosmjerna ili izmjenična struja		
Ispitni naponi				
				
Ispitni napon 500 V	Ispitni napon iznad 500 V (npr. 2 kV)	Instrument koji se ne podvrgava ispitnom naponu		
Položaj instrumenta				
				
Instrument za vertikalni položaj	Instrument za horizontalni položaj	Instrument čija skala za vrijeme mjerenja stoji koso prema horizontali		
Otklonski mehanizam				
				
Instrument s pomičnim svitkom i permanentnim magnetom	Instrument s pomičnim željezom	Indukcijski instrument		
Druge (često korištene) oznake				
				
Oznaka ispravljača	Instrument s pomičnim svitkom s ugrađenim ispravljačem	Magnetski oklop	Postavljanje nule	Upozorenje na posebno uputstvo ili dokument

Slika 3.6. Najčešći korišteni simboli na analognom multimetru [3]

3.7. Dijelovi analognog multimetra

Iako se multimetri s pomičnim svitkom i permanentnim magnetom te oni s pomičnim željezom razlikuju u principu rada, njihova vanjska struktura i izgled ostaju gotovo identični. U svrhu objašnjavanja osnovnih dijelova analognog multimetra, korišten je primjer multimetra MI 7043, proizvođača Iskra (slika 3.7.), koji će poslužiti kao reprezentativan model za razumijevanje ključnih dijelova analognih multimetara.



Slika 3.7. MI 7043, Iskra [7]

1. Priključak za COM (zajednički priključak): Ovaj priključak koristi se kao referentna točka za sva mjerenja. Označen je simbolom „-“ ili slovima "COM" i predstavlja negativni ili referentni potencijal, odnosno minus priključak. U njega se uvijek spaja crna ispitna sonda.
2. Priključak za mjerenje velikih izmjeničnih struja: Namijenjen je za mjerenje visokih struja u izmjeničnim krugovima, do 10 A.
3. Priključak za mjerenje napona, struje i otpora: Ovaj priključak služi za mjerenje istosmjernih i izmjeničnih napona te struja, kao i otpora. U njega se spaja crvena ispitna sonda za većinu standardnih mjerenja napona i struje.

4. Ogledalo: Ogledalo se nalazi ispod kazaljke kako bi se eliminirala paralaksa prilikom očitavanja rezultata. Ovim se smanjuje mogućnost pogrešnog očitavanja zbog kuta gledanja mjeritelja.
5. Potencijometar za podešavanje nule na omskoj ljestvici: Koristi se za kalibraciju nule kada se mjeri otpor. Ovaj potencijometar omogućuje korisniku da postavi kazaljku na nultu poziciju prije početka mjerenja otpora, osiguravajući precizne rezultate.
6. Preklopka: Glavna rotacijska preklopka za odabir fizikalne veličine i dometa koji se mjeri.
7. Manja preklopka: Služi za prebacivanje između različitih mjernih funkcija ovisno o mjerenoj veličini.
8. Kazaljka: Mehanički pokazivač (igla) koji se pomiče po skali ovisno o mjernoj veličini.
9. Skala: omogućuje očitavanje izmjerenih vrijednosti napona, struje ili otpora.

3.8. Prednosti i nedostaci analognog multimetra

Analogni multimeter ima nekoliko ključnih prednosti i nedostataka koje treba razmotriti pri njegovoj upotrebi.

Prednosti analognog multimetra:

- Kontinuirani prikaz u stvarnom vremenu: Analogni multimeter pruža neprekidno kretanje kazaljke, što omogućuje trenutno praćenje promjena mjerne veličine. Ova karakteristika je posebno korisna u mjerenju dinamičkih veličina, poput induktiviteta, gdje je važno pratiti promjene u stvarnom vremenu.
- Otpornost na elektromagnetske smetnje: Zbog svoje jednostavne mehaničke konstrukcije, analogni multimetri su manje osjetljivi na elektromagnetske smetnje i šum u usporedbi s digitalnim instrumentima. To ih čini korisnim u okruženjima s visokom razinom elektromagnetske interferencije, gdje digitalni instrumenti mogu imati netočna očitavanja.
- Brzi odziv: Analogni multimetri imaju gotovo trenutnu reakciju na promjene u električnom signalu. Kazaljka se pomiče neprekidno, pružajući brzu vizualnu povratnu informaciju o promjeni mjerne veličine. Ovo je osobito važno kod promjenjivih signala ili kada je potrebno brzo očitavanje, jer digitalni multimetri mogu imati lagano kašnjenje zbog obrade podataka.

- Široka dostupnost: Unatoč sve većoj popularnosti digitalnih instrumenata, analogni multimetri i dalje su lako dostupni. Njihova pouzdanost i jednostavnost ih čine pogodnima za specifične primjene gdje brza reakcija i jednostavno održavanje imaju prednost. [9][10]

Nedostaci analognog multimetra:

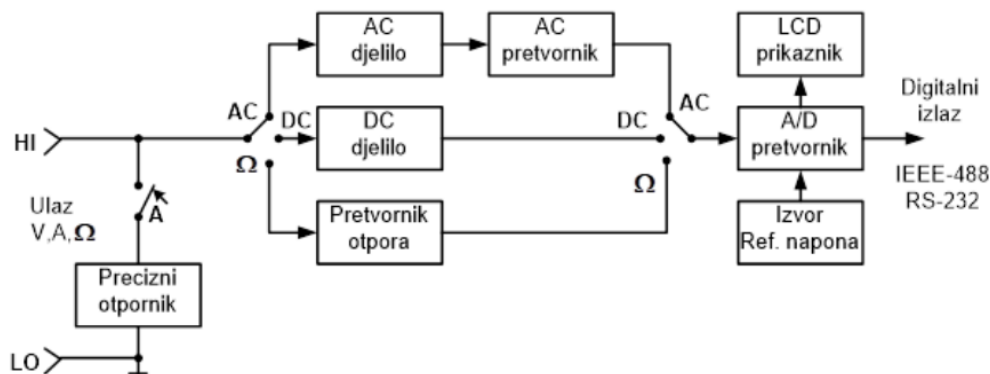
- Više skala i složenost očitavanja: Analogni multimetri često imaju višestruke skale, što može izazvati zabunu i dovesti do interpretacijskih pogrešaka.
- Niža ulazna impedancija: U usporedbi s digitalnim uređajima, analogni multimetri imaju relativno nisku ulaznu impedanciju. To može rezultirati pogreškama u mjerenju osjetljivih signala, jer multimetar može djelovati kao opterećenje, osobito kod mjerenja visokih otpora ili niskih napona.
- Manjak automatskog prepoznavanja polariteta: Analogni multimetri nemaju funkciju automatskog prepoznavanja polariteta, što da je potrebno pravilno povezati ispitne sonde. Pogrešno spajanje može uzrokovati oštećenje mehanizma zbog naglog otklona kazaljke u negativnom smjeru.
- Niža točnost i preciznost: U usporedbi s digitalnim multimetrom, analogni multimetri imaju inherentno nižu preciznost zbog mehaničkog otklona kazaljke, čime su podložniji greškama u očitavanju, poput paralakse.
- Očitavanje i ljudska pogreška: Očitavanje vrijednosti na analognim multimetarima zahtijeva pažljivo praćenje pozicije kazaljke, što povećava mogućnost ljudske greške. [9] [10]

4. DIGITALNI MULTIMETAR

Digitalni multimetar je mjerni instrument koji prikazuje rezultate mjerenja numerički, koristeći znamenke, za razliku od analognog multimetra koji rezultate prikazuje kazaljkom na mjernoj skali. Kao složeniji uređaj, digitalni multimetar ne samo da mjeri napon, struju i otpor, već omogućuje i precizno mjerenje drugih električnih veličina frekvencije, kapaciteta i temperature. Također je dizajniran za mjerenje istosmjernih i izmjeničnih veličina, s mogućnošću prikaza srednje, efektivne ili tjemene vrijednosti ulaznog izmjeničnog napona. [11] Za mjerenje različitih veličina integrirani su dodatni sklopovi, poput preciznog izvora struje za mjerenje otpora, gdje se struja određuje mjerenjem napona na poznatom otporniku. Kod mjerenja izmjeničnih napona i struja, potrebno je ispraviti te signale putem A/D pretvornika kako bi ih multimetar mogao točno obraditi. Digitalni multimetri opremljeni su visokorezolucijskim LCD, LED ili OLED zaslonima koji omogućuju jednostavno očitavanje rezultata. Uređaji često posjeduju automatsku selekciju raspona (autoranging), što eliminira potrebu za ručnim podešavanjem mjernih raspona, čime se optimiziraju brzina i preciznost mjerenja.

4.1. Princip rada digitalnog multimetra

Ključna komponenta koja omogućuje digitalnim multimetrom visoku preciznost i pouzdanost u mjerenju je analogno-digitalni pretvornik (A/D pretvornik) (slika 4.1.).



Slika 4.1. Blok shema digitalnog multimetra [11]

Ovaj pretvornik kontinuirane, analogne signale, poput napona ili struje, pretvara u digitalne vrijednosti koje se prikazuju na zaslonu multimetra. Dok analogni signali variraju kontinuirano, digitalni signali su diskretni, što omogućuje točno prikazivanje izmjerenih vrijednosti.

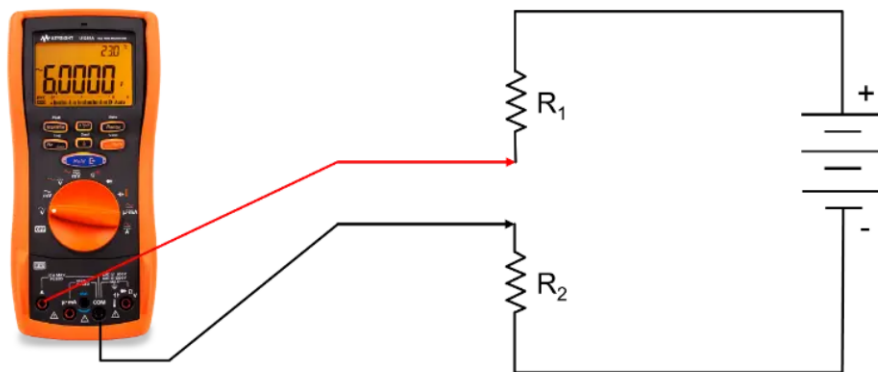
Digitalni multimetri su složenije izvedbe jer, osim napona, mogu mjeriti i druge veličine kao što su struja, otpor, frekvencija, kapacitet i temperatura. Osim toga, predviđeni su za mjerenje izmjeničnih i istosmjernih napona i struja, pri čemu mogu prikazivati srednju, efektivnu ili vršnu vrijednost izmjeničnog napona. Za mjerenje dodatnih veličina, poput otpora, multimetri koriste precizne izvore struje te mjerne otpornike. Kod mjerenja izmjeničnih napona i struja potrebno je prvo ispraviti te signale pomoću ispravljača (AC/DC pretvornika). Budući da ispravljači obično nemaju visoku točnost, pogreška kod mjerenja izmjeničnih veličina veća je nego kod mjerenja istosmjernih veličina. [11]

4.2. Mjerenje električnih veličina digitalnim multimetrom

Digitalni multimetar koristi se za mjerenje napona, struje i otpora, te omogućuje precizna mjerenja i drugih električnih veličina poput frekvencije, kapaciteta i temperature. U nastavku će biti detaljno objašnjen princip rada digitalnog multimetra prilikom mjerenja napona, struje i otpora, s obzirom da su mjerenja navedenih električnih veličina najčešća u praksi.

4.2.1. Mjerenje struje

Digitalni multimetar mjeri struju postavljanjem instrumenta u seriju s komponentom ili strujnim krugom čiju struju želimo mjeriti. Kada se multimetar postavi u serijski spoj, sva struja koja prolazi kroz krug prolazi i kroz multimetar (slika 4.2.1.).



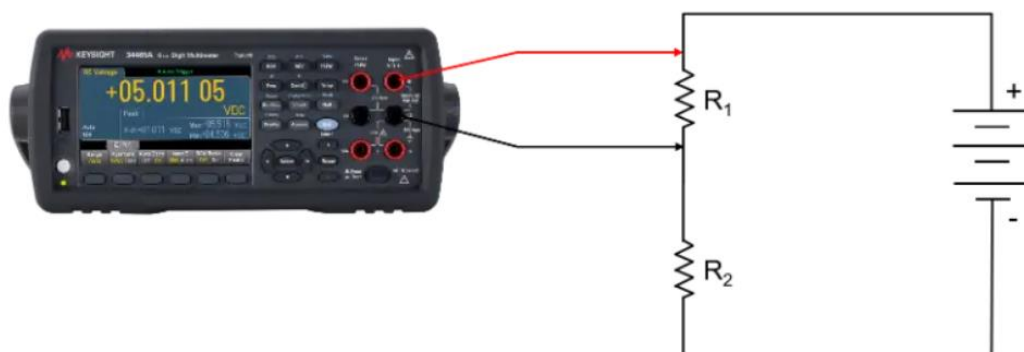
Slika 4.2.1. Mjerenje struje digitalnim multimetrom spojenog u seriji sa strujim krugom [17]

Unutar multimetra, struja prolazi kroz vrlo niskoimpedantni shunt otpornik. Pad napona preko tog shunt otpornika proporcionalan je struji koja prolazi kroz njega prema Ohmovom zakonu. Digitalni multimetar mjeri ovaj pad napona i pretvara ga u odgovarajuću struju koristeći poznatu vrijednost

otpora shunta. Ta se vrijednost zatim prikazuje na zaslonu kao izmjerena struja. Ovisno o opsegu mjerenja struje, digitalni multimetar automatski prebacuje unutarnje sklopove kako bi prilagodio odgovarajući shunt otpor koji može precizno izmjeriti struju u različitim rasponima. [9]

4.2.3. Mjerenje napona

Za mjerenje napona, digitalni multimetar se povezuje paralelno s komponentom ili točkama u krugu između kojih želimo izmjeriti razliku potencijala. Kada je multimetar postavljen u paralelni spoj, njegova visoka unutarnja impedancija osigurava da kroz njega prolazi zanemarivo mala struja, čime se izbjegava utjecaj na mjereni krug.



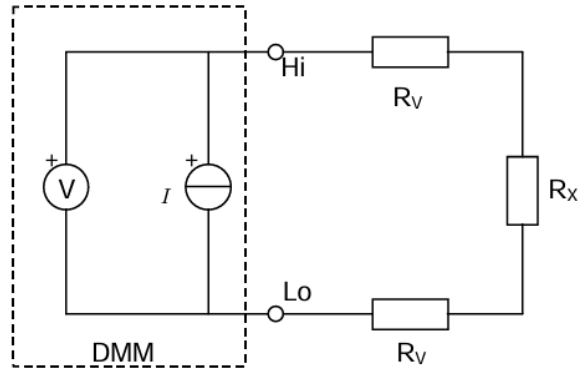
Slika 4.2.2. Mjerenje napona digitalnim multimetrom spojenog u paraleli s komponentom čiji napon se mjeri [17]

Unutarnji sklopovi digitalnog multimetra mjere napon tako da se električni signal uzima iz paralelno povezanih mjernih točaka. Signal se zatim preusmjerava na A/D (analogno-digitalni) pretvarač koji pretvara analogni napon u digitalni oblik, omogućujući prikaz točne vrijednosti izmjerenog napona na zaslonu multimetra. Digitalni multimetri mogu mjeriti istosmjerni (DC) i izmjenični (AC) napon, pri čemu se kod mjerenja izmjeničnog napona primjenjuju dodatni algoritmi za izračun efektivne vrijednosti napona (RMS ili TRMS). [9]

4.2.4. Mjerenje otpora

Prilikom mjerenja otpora digitalnim multimetrom primjenjuju se dvije metode: metoda s dvije stezaljke i metoda s četiri stezaljke.

Shematski prikaz metode s dvije stezaljke prikazan je na slici 4.2.1.:



Slika 4.2.1. Shematski prikaz metode s dvije stezaljke [13]

Metoda s dvije stezaljke koristi se za mjerenje otpora kod digitalnih multimetara i obuhvaća priključak na dva terminala, kroz koje se provodi i mjerni napon i struja. Ova metoda uključuje otpor vodiča u ukupno izmjereni otpor, što rezultira sljedećom relacijom (4-7) [13]:

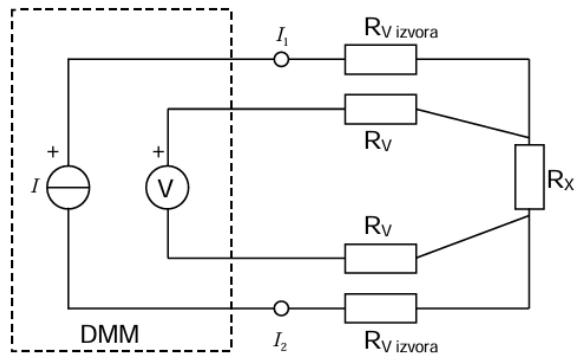
$$R_{mjereno} = R_x + 2R_V \quad (4-7)$$

gdje je R_x nepoznati otpor koji se mjeri, a R_V otpor vodiča. Približno se može procijeniti da otpor kontakata i spojnih vodiča, isporučenih uz instrument, iznosi oko 0.1Ω . Ova metoda se primjenjuje uglavnom za mjerenje otpora iznad 200Ω , jer za manje vrijednosti otpora otpor vodiča može znatno utjecati na točnost mjerenja. Relativna pogreška (p_r), uzrokovana otporom vodiča, može se izraziti kao (4-8) [13]:

$$p_r = \frac{2R_V}{R_x} \quad (4-8)$$

Kod mjerenja nižih vrijednosti otpora, relativna pogreška postaje značajna, jer otpor vodiča postaje veći u odnosu na ukupni izmjereni otpor. Zbog toga, metoda s dvije stezaljke nije idealna za niske otpore, ali je pogodna za veće otpore gdje otpor vodiča ima manje utjecaja na konačni rezultat mjerenja.

Shematski prikaz metode s četiri stezaljke prikazan je na slici 4.2.:



Slika 4.2.2. Shematski prikaz metode s četiri stezaljke [13]

Metoda s četiri stezaljke koristi se za precizna mjerenja malih otpora, gdje je potrebno eliminirati utjecaj otpora strujnih vodiča i kontakata. Ova metoda postiže visoku točnost, jer se pad napona mjeri između naponskih stezaljki koje su spojene s mjernim otporom posebnim naponskim vodičima, dok otpor tih vodiča (R_V) postaje zanemariv u odnosu na unutarnji otpor digitalnog multimetra ($R_{DMM_unutarnji}$). Otpor vodiča obično iznosi $2R_V \approx 0.1\Omega$, što rezultira mjerenjem isključivo otpora ispitnog elementa, bez utjecaja vodiča.

Relativna pogreška može se izraziti kao (4-9) [13]:

$$p_r = \frac{2R_V}{R_{DMM_unutarnji}} \quad (4-9)$$

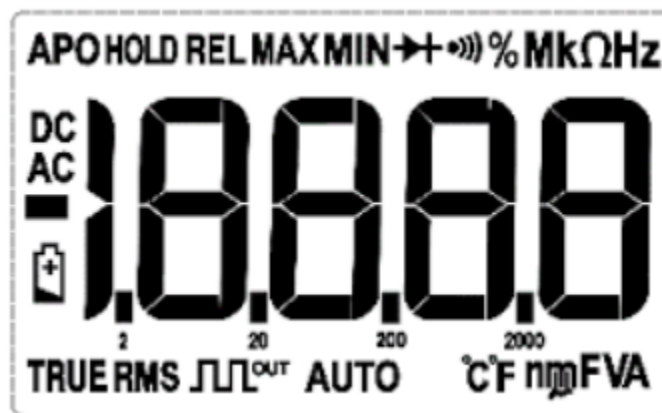
4.3. Mjerni opseg

Mjerni opseg digitalnog multimetra odnosi se na raspon vrijednosti koje uređaj može precizno izmjeriti za određenu električnu veličinu. Svaki mjerni opseg ima gornju i donju granicu unutar kojih multimeter može osigurati točne rezultate. Mjerni opsezi su ključni za prilagodbu osjetljivosti instrumenta različitim veličinama signala, omogućujući precizno mjerenje bez zasićenja ili gubitka detalja. Moderni digitalni multimetri često koriste automatski izbor mjernog opsega (auto-ranging). Ova funkcionalnost omogućava uređaju da automatski odabere najprikladniji raspon na temelju izmjerene vrijednosti, čime se korisniku pojednostavljuje rad i smanjuje mogućnost pogreške. Automatsko podešavanje opsega pruža veću fleksibilnost u mjerenju različitih veličina bez potrebe za ručnim prilagođavanjem.

U slučajevima kada je ručni izbor opsega dostupan, mjeritelj može sam odabrati mjerni opseg za precizniju kontrolu mjerenja. Ovaj način rada je koristan kada je poznata približna vrijednost mjerene veličine i kada je potrebno smanjiti razlučivost kako bi se povećala točnost mjerenja unutar određenog raspona. Pravilno odabran mjerni opseg optimizira preciznost uređaja, smanjujući pogreške koje se mogu pojaviti zbog mjerenja vrlo malih veličina u prevelikom rasponu. Digitalni multimetri imaju definirane maksimalne granice opsega za svaku veličinu (npr. do 600 V za mjerenje napona ili do 10 A za mjerenje struje). Prekoračenje tih granica može dovesti do oštećenja instrumenta ili netočnih rezultata. Stoga je važno koristiti instrument unutar predviđenih specifikacija kako bi se osigurala točnost i dugovječnost uređaja. [9]

4.4. Razlučivost

Razlučivost je najmanja promjena mjerene veličine koju digitalni multimeter može registrirati na pokazniku. To je omjer odabranog dometa (D) i maksimalnog pokazivanja digitalnog zaslona (MPDZ) koji instrument može pokazati. Digitalni multimetri se najčešće izvide s $3^{1/2}$ i $4^{1/2}$ znamenke. Prvi broj na digitalnom zaslonu je najviše jedan, dok drugi broj predstavlja najveći mogući broj devetki. Tako npr. maksimalno pokazivanje digitalnog zaslona instrumenta s $3^{1/2}$ znamenke je 1999, a s $4^{1/2}$ znamenke je 19999 (slika 4.3.). Rezolucija instrumenta $4^{1/2}$ znamenke na dometu 20 V je $20/20000 = 0,001$ V, (1 mV), dakle instrument na dometu od 20 V s $4^{1/2}$ znamenke može pokazati najviše 19,999 V. [11]



Slika 4.3. Digitalni pokaznik s $4^{1/2}$ znamenke [14]

4.5. Granične pogreške

Granične pogreške uključuju osnovnu pogrešku, izraženu kao postotak očitavanja, te pogrešku posljednjeg znamenkastog broja prikazanog na zaslonu. Na primjer, granična pogreška može biti prikazana kao $\pm 0.5\% \pm 2$ znamenke, što označava kombinaciju relativne pogreške i moguće odstupanje u prikazu posljednjeg broja. Ove pogreške mogu biti uzrokovane ograničenjem u razlučivosti samog uređaja, temperaturnim promjenama ili fluktuacijama referentnih napona unutar multimetra. [1]

Proizvođač daje kao kombinaciju postotka očitane vrijednosti i nesigurnosti zadnje znamenke koja je iskazana kao broj digita Z i predstavlja graničnu apsolutnu pogrešku (G_a) u mjernim jedinicama [m.j.] (4.10) [11]:

$$G_a = \pm(\% \text{očitavanja} + Z \text{ digit}) [m.j.] \quad (4.10)$$

Da bi se odredila ukupna granična pogreška instrumenta potrebno je broj digita Z pretvoriti u graničnu apsolutnu pogrešku $G_a(Z)$ i iskazati je umnoškom broja digita Z i rezolucije R (4-11) [11]:

$$G_a(Z) = Z \cdot \frac{D}{MPDZ} = Z \cdot R [m.j.] \quad (4-12)$$

Ispravniji način pisanja ukupne granične pogreške digitalnog instrumenta G_a je zbroj graničnih pogreški očitavanja $G_a(M)$ i broja digita $G_a(Z)$. (4.3.3.) [11]

$$G_a = \pm(G_a(M) + G_a(Z)) [m.j.] \quad (4-13)$$

Ako se granična pogreška s obzirom na mjerenu vrijednost želi iskazati u postotnim vrijednostima, koristi se jednostavan izraz (4-14) [11]:

$$G_{\%,M} = \frac{G_a}{M} \cdot 100 [\%] \quad (4-14)$$

gdje je M izmjerena vrijednost, ili u relativnim vrijednostima (4-15) [11]:







$$G_{r,M} = \frac{G_a}{M} \quad (4-15)$$

4.6. Oznake i simboli

Digitalni multimetar na svom vanjskom kućištu mora imati jasno označene sljedeće podatke:

1. naziv ili logotip proizvođača (npr. Fluke, Unit itd.),
2. oznaku mjerene veličine u odgovarajućim jedinicama (V, A, Ω , F itd.),
3. serijski broj za instrumente s klasom točnosti između 0,1 i 0,5, te za sve prijenosne instrumente bez obzira na klasu,
4. razred točnosti (npr. 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 5),
5. vrstu struje (istosmjerna – DC, izmjenična – AC),
6. TRMS ili RMS oznaku [3]

Slika 4.5. prikazuje simbole i oznake na LCD zaslonu digitalnog multimetra pojašnjavajući njihovo značenje.

OL ili 1	Overload = prekoračenje; mjerno područje je prekoračeno.
	Baterija za napajanje mjernog instrumenta je ispražnjena, što je moguće prije zamijeniti bateriju.
	Mjerno područje za testiranje dioda.
	Mjerno područje za mjerenje napona opasnih po život.
	Mjerno područje za akustički test provodljivosti.
	Mjerna područja za mjerenje izmjeničnih veličina.
	Mjerna područja za mjerenje istosmjernih veličina.
mV	Milivolt (10^{-3} V).
V	Volt (jedinica za električni napon).
A	Amper (jedinica za jačinu električne struje).
mA	Miliamper (10^{-3} A).
μ A	Mikroamper (10^{-6} A).
Ω	Ohm (jedinica za električni otpor).
k Ω	Kiloohm (10^3 Ω).
M Ω	Megaohm (10^6 Ω).
H	Aktivna je HOLD funkcija.

Slika 4.5. Simboli i oznake digitalnog multimetara [15]

4.7. Dijelovi digitalog multimetra

U svrhu objašnjavanja osnovnih dijelova digitalnog multimetra, korišten je primjer digitalnog multimetra VC 150, proizvođača VOLTCRAFT (slika 4.6.), koji će poslužiti kao reprezentativan model za razumijevanje ključnih dijelova analognih multimetara.



Slika 4.6. Digitalni multimetar VC 150, proizvođača VOLTCRAFT [16]

1. Zaslon: LCD ili LED zaslon prikazuje brojčane vrijednosti izmjerenih veličina s visokom razlučivošću, često do četiri i pol znamenke.
2. Tipka HOLD: Funkcija zadržavanja očitavanja (Hold). Ova tipka omogućuje korisniku da "zamrzne" trenutno mjerenje na zaslonu, olakšavajući očitavanje u situacijama kada mjerenje nije vidljivo u trenutku mjerenja.
3. Naponska mjerna utičnica: Utičnica namijenjena za mjerenje napona, otpora i drugih električnih veličina osim struje.
4. Strujna mjerna utičnica za mjerno područje do 200mA: Priključak za mjerenje nižih vrijednosti struje, obično do 200 mA.
5. Zajednička mjerna utičnica (referentni potencijal): Ova utičnica je zajednički priključak (COM) za sva mjerenja. Obično se koristi crna ispitna sonda i služi kao referentna točka za mjerenje napona, struje i otpora.

6. Strujna mjerna utičnica za mjerno područje do 10A: Specijalizirani priključak za mjerenje struje u rasponu do 10 A. Ova utičnica ima povećanu zaštitu kako bi podnijela visoke struje bez oštećenja uređaja.
7. Rotacijski preklopnik: Glavni funkcijski prekidač koji omogućuje odabir različitih mjernih funkcija i raspona. Povezuje unutarnje mjerne sklopove s odgovarajućim komponentama za mjerenje napona, struje, otpora i drugih veličina.
8. Tipka POWER: Tipka za uključivanje i isključivanje uređaja. Aktivira napajanje multimetra iz baterijskog izvora, omogućujući funkcionalnost svih mjernih modula.

4.8. Prednosti i nedostaci digitalnog multimetra

Digitalni multimetri imaju brojne prednosti koje ih čine vrlo praktičnim i točnim instrumentima za široku primjenu, no posjeduju i određene nedostatke koje treba uzeti u obzir.

Prednosti digitalnog multimetra:

- Preciznost: Digitalni multimetri pružaju vrlo točna i ponovljiva mjerenja zahvaljujući digitalnom prikazu koji eliminira greške očitavanja prisutne kod analognih instrumenata.
- Jednostavnost korištenja: Jasni brojevi prikaz na zaslonu i funkcije poput automatskog odabira raspona čine ih jednostavnim za upotrebu.
- Višenamjenska upotreba: Digitalni multimetri mogu mjeriti niz različitih veličina, uključujući napon, struju, otpor, frekvenciju, kapacitet i temperaturu, te dodatne funkcije kao što su ispitivanje kontinuiteta i dioda.
- Automatski odabir raspona: Ova funkcija omogućava automatsko prilagođavanje raspona mjerenja, čime se smanjuje mogućnost pogrešaka i ubrzava rad.
- Dodatne značajke: Mnoge jedinice nude opcije poput zadržavanja očitavanja, relativnog mjerenja, pohrane podataka i povezivanja s računalom, što proširuje mogućnosti analize.
- Visoka ulazna impedancija: Digitalni multimetri imaju visoku ulaznu impedanciju, što smanjuje utjecaj samog uređaja na mjerni krug i osigurava točnija mjerenja. [11]

Nedostaci digitalnih multimetara:

- Ovisnost o napajanju: Za rad su potrebne baterije, pa uređaj može postati neupotrebljiv ako se baterije isprazne.

- Brzina očitavanja: Digitalni multimetri mogu imati laganu odgodu u očitavanju zbog unutarnje obrade, što može biti problematično kod praćenja brzih promjena.
- Osjetljivost na elektromagnetske smetnje: Uređaji mogu biti osjetljivi na elektromagnetske interferencije, što može utjecati na točnost mjerenja u određenim okruženjima.
- Potreba za redovitom kalibracijom: Digitalni multimetri zahtijevaju periodičnu kalibraciju kako bi održali visoku točnost mjerenja.[6] [9]

5. PROVJERA DEKLARIRANIH ZNAČAJKI DIGITALNIH MULTIMETARA

U završni rad uključena su mjerenja isključivo s digitalnim mjernim instrumentima, s obzirom na to da su oni danas najrašireniji i najčešće korišteni u praksi zbog svoje točnosti i pouzdanosti. Tijekom eksperimenta korišteno je nekoliko različitih mjernih instrumenata kako bi se osigurala točnost i pouzdanost mjerenja. Mjerni instrumenti koji su korišteni uključuju:

- Fluke 289 True RMS multimetar
- UNI-T UT58C multimetar
- EMOS MD-210 multimetar
- FLUKE 376 FC strujna kliješta
- AXIO MET AX-2040 strujna kliješta
- FLUKE 1664 FC višenamjenski ispitivač

Na slici 5. prikazani su korišteni mjerni instrumenti istim redoslijedom kako su prethodno navedeni.

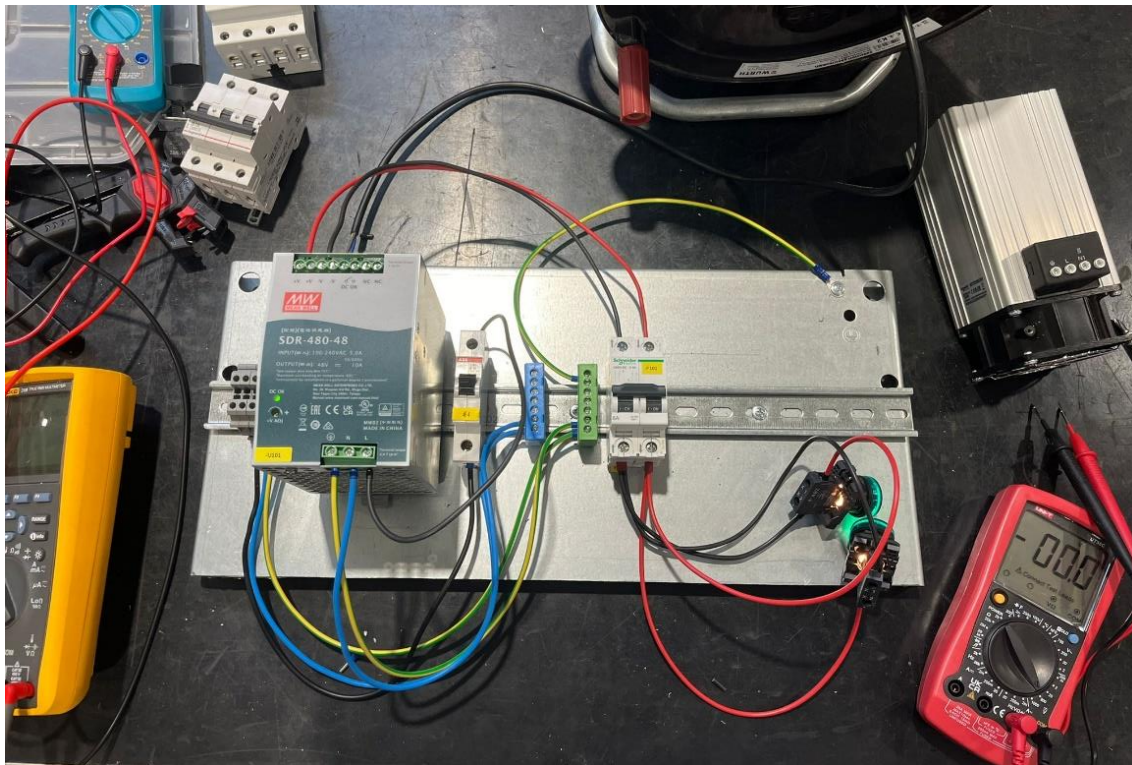


Slika 5. Korišteni mjerni instrumenti

Mjerenja napona su provedena na industrijskom napajanju MEAN WELL, model SDR-480-48, Ovaj uređaj služi kao ispravljač, jer pretvara izmjenični (AC) ulazni napon u stabilni istosmjerni (DC) izlazni napon, što ga čini pogodnim za različite primjene. Svako mjerenje ponovljeno je 20 puta radi eliminacije mogućih anomalija i osiguranja konzistentnosti podataka. Prilikom mjerenja, posebna pažnja posvećena je pravilnom postavljanju sonde i očitavanju rezultata kako bi se osigurao što precizniji ishod.

5.1. Mjerenje izmjeničnog (AC) napona

Slika 5.1.1. prikazuje maketu koja je korištena za dobivanje rezultata mjerenja izmjeničnog AC (ulaznog) napona i istosmjernog DC (izlaznog) napona industrijskog napajanja MEAN WELL.

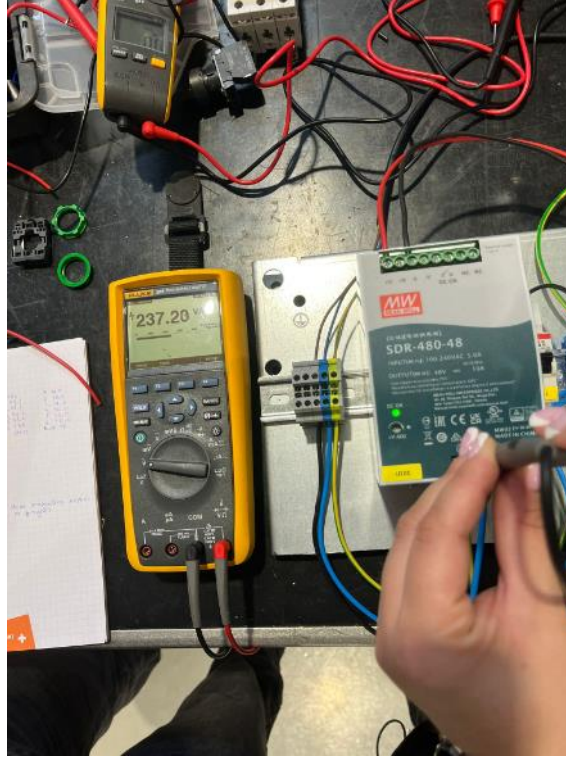


Slika 5.1.1. Maketa korištena za dobivanje rezultata mjerenja AC i DC napona

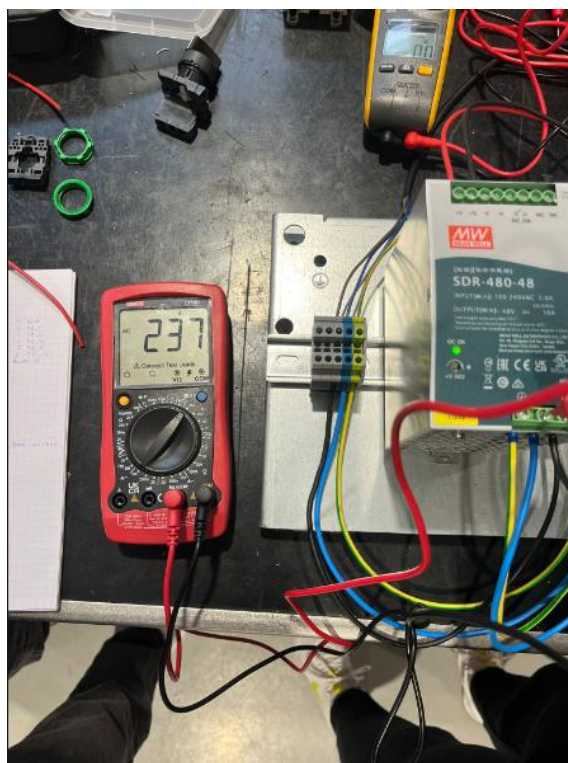
Slike 5.1.2.-5.1.7. prikazuju mjerenja izmjeničnog (AC) ulaznog napona industrijskog napajanja MEAN WELL. Mjerni instrumenti korišteni za mjerenje su sljedeći:

- Fluke 289 True RMS multimeter (slika 5.1.2.)
- UNI-T UT58C multimeter (slika 5.1.3.)
- EMOS MD-210 multimeter (slika 5.1.4.)

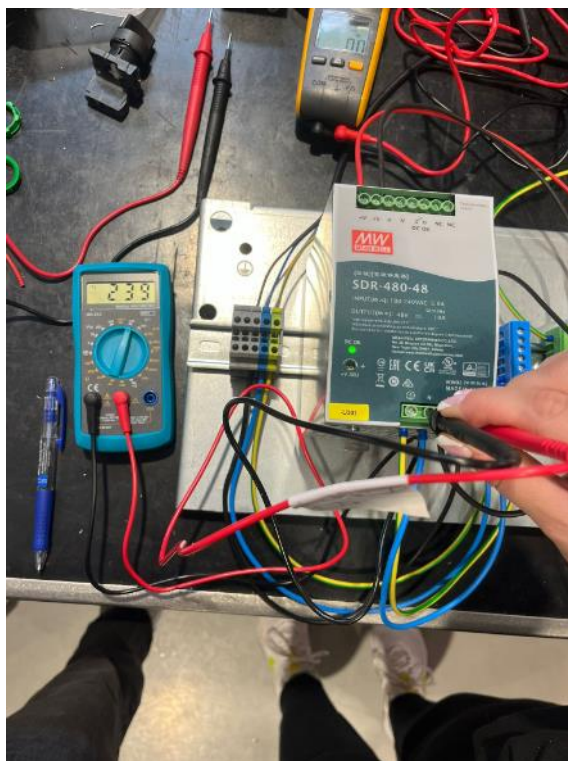
- FLUKE 376 FC strujna kliješta (slika 5.1.5.)
- AXIO MET AX-2040 strujna kliješta (slika 5.1.6.)
- FLUKE 1664 FC višenamjenski ispitivač (slika 5.1.7.)



Slika 5.1.2. Mjerenje ulaznog napona s Fluke 289 True RMS multimetrom



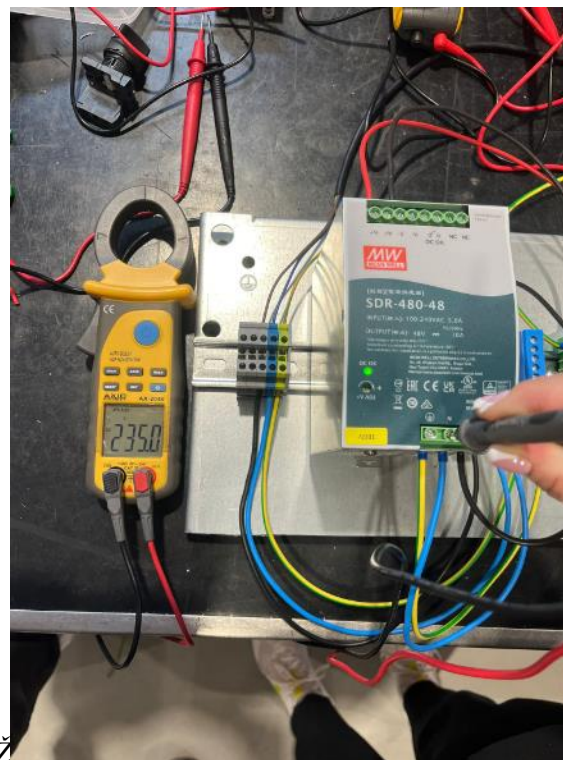
Slika 5.1.3. Mjerenje ulaznog napona s UNI-T UT58C multimetrom



Slika 5.1.4. Mjerenje ulaznog napona s EMOS MD-210 multimetarom



Slika 5.1.5. Mjerenje ulaznog napona s FLUKE 376 FC strujnim klještima



Slika 5.1.6. Mjerenje ulaznog napona s AXIO MET AX-2040 strujnim klještima



Slika 5.1.7. Mjerenje ulaznog napona s FLUKE 1664 FC višenamjenskim ispitivačem

Rezultati mjerenja izmjeničnog (AC) ulaznog napona su prikazani u Tablici 5.1.1.

REZULTATI MJERENJA IZMJENIČNOG NAPONA NA ULAZU U ISPRAVLJAČ [V]						
BR. MJERENJA	FLUKE 289 TRUE RMS	UNI-T UT58C	EMOS EM- 210	FLUKE 376 FC	AXIO MET AX-2040	FLUKE 1664 FC
1.	237,16	237	239	237,0	236,0	237,1
2.	237,20	236	239	237,5	236,2	237,2
3.	237,12	236	239	236,2	236,5	237,2
4.	237,23	237	239	236,2	236,2	237,2
5.	237,99	237	239	237,6	236,2	237,1
6.	236,25	237	238	237,2	236,0	237,1
7.	236,11	237	238	236,9	237,2	237,1
8.	237,88	237	238	236,5	237,3	236,2
9.	236,11	237	237	236,2	237,6	236,3
10.	236,21	237	237	236,1	237,3	236,3
11.	237,10	236	236	237,0	236,3	236,2
12.	237,36	235	236	237,2	236,5	236,1
13.	237,61	235	236	236,0	236,1	236,0
14.	236,20	236	237	236,5	236,4	236,0
15.	236,33	237	237	237,3	237,0	236,0
16.	237,22	237	237	237,3	237,0	236,1

17.	237,22	236	238	237,5	237,2	236,1
18.	236,99	235	238	237,6	237,2	236,1
19.	236,56	237	238	237,5	236,9	236,1
20.	236,22	237	239	237,6	236,9	236,1
\bar{x}_U	236,90	236,45	237,75	236,95	236,70	236,48

Tablica 5.1.1. Rezultati mjerenja izmjeničnog napona na ulazu u ispravljač [V]

Na temelju ponovljenih mjerenja izračunata je aritmetička sredina (\bar{x}_U).

Aritmetička sredina \bar{x}_U izračunata je prema sljedećoj formuli (5-16):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (5-16)$$

gdje je:

n- broj mjerenja.

Kako bi se odredile maksimalne dopuštene pogreške u mjerenju, te kako bi se osigurala precizna usporedba izmjerenih vrijednosti s nominalnim vrijednostima izračunata je granična (G_a), apsolutna (G_r) i postotna ($G_{\%}$) pogreške mjerenja svakog korištenog mjernog instrumenta.

Iz tehničkih listova (datasheet-a) svakog mjernog instrumenta preuzete su ključne informacije poput razlučivosti i specificiranih pogrešaka prema uputama proizvođača, koje su bile potrebne za izračun mjernih pogrešaka. Mjerno područje odabrano je ručno na instrumentima gdje je ta opcija bila dostupna, dok su za instrumente s automatskim odabirom mjernog područja preuzeti odgovarajući mjerni opsezi iz tehničkih listova.

Prilikom izračuna granične pogreške (G_a) korištena je sljedeća formula (5-17):

$$G_a = \pm(\%očitavanja \cdot M + Z \cdot \frac{D}{MPDZ}) [V] \quad (5-17)$$

gdje je:

%očitavanja – postotak očitane vrijednosti

M - izmjerena vrijednost

Z - nesigurnost zadnje znamenke koja je iskazana kao broj digita

D - mjesto područje (domet)

$MPDZ$ - maksimalno pokazivanje digitalnog zaslona

Za izračun relativne pogreške (G_r) korištena je formula (5-18):

$$G_r = \frac{G_a}{M} \quad (5-18)$$

Dok je za računanje postotne pogreške ($G_{\%}$) upotrijebljena sljedeća formula (5-19):

$$G_{\%} = \frac{G_a}{M} \cdot 100\% \quad (5-19)$$

Rezultati izračunatih graničnih (G_a), apsolutnih (G_r) i postotnih ($G_{\%}$) pogreška mjerenja prikazani su Tablicom 5.1.2.

NAZIV INSTRUMENTA	\bar{x}_U [V]	M.P. (AC) [V]	RAZLUČIVOST	POGREŠKE IZ UPUTA	G_a [V]	G_r	$G_{\%}$ [%]
FLUKE 289 TRUE RMS	236,90	500	4½ znamenke	± (0,4 % + 5)	1,0726	0,004528	0,4528 %
UNI-T UT58C	236,45	750	3½ znamenke	± (0,8 % + 3)	3,0172	0,01276	1,2760 %
EMOS EM-210	237,75	300	3½ znamenke	± (1,2 % + 10)	4,3544	0,018315	1,8315 %
FLUKE 376 FC	236,95	600	3½ znamenke	± (1 % + 5)	3,8698	0,016332	1,6332 %
AXIO MET AX-2040	236,70	600	3½ znamenke	± (1,2 % + 4)	4,041	0,017072	1,7072 %
FLUKE 1664 FC	236,48	500	3½ znamenke	± (0,8 % + 3)	2,6422	0,011173	1,1173 %

Tablica 5.1.2. Granične (G_a), apsolutne (G_r) i postotne ($G_{\%}$) pogreške mjerenja izmjeničnog (AC) napona

Kako bi se dobila cjelovita procjena pouzdanosti mjerenja, potrebno je izračunati ukupnu mjernu nesigurnosti (u).

Kako bi odredili ukupnu mjernu nesigurnost, najprije je potrebno odrediti mjernu nesigurnost A tipa (u_A). Mjerna nesigurnost A tipa (u_A) računa se prema sljedećoj formuli (5-20):

$$u_a = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (5-20)$$

gdje je:

s - standardna devijacija

n - broj mjerenja

Standardna devijacija (s) može se izračunati kako je prikazano u sljedećoj jednadžbi (5-21):

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad [\text{V}] \quad (5-21)$$

gdje je:

n - broj mjerenja

x_i - rezultat pojedinog mjerenja

\bar{x} - srednja vrijednost mjerenja

Mjerna nesigurnost B tipa (u_B) računa se prema sljedećoj formuli (5-22):

$$u_B = \sigma = \frac{\Delta X}{\sqrt{3}} = \frac{kt}{100\sqrt{3}} \cdot M \quad (5-22)$$

gdje je:

kt – klasa točnosti instrumenta

M – mjerni opseg

Ukupna mjerna nesigurnost (u) računa se prema formuli (5-23):

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (5-23)$$

Tablica 5.1.3. prikazuje standardnu devijaciju (s) potrebnu za izračunavanje mjerne nesigurnost A tipa (u_A), mjernu nesigurnost A tipa (u_A), mjernu nesigurnost B tipa (u_B), kao i ukupnu mjernu nesigurnost (u):

Naziv instrumenta	Standardna devijacija s [V]	Mjerna nesigurnost A tipa u_A [V]	Mjerna nesigurnost B tipa u_B [V]	Ukupna mjerna nesigurnost u [V]
FLUKE 289 TRUE RMS	0,61	0,14	0,58	0,59
UNI-T UT58C	0,69	0,15	1,27	1,27
EMOS EM-210	1,36	0,3	1,7	1,73
FLUKE 376 FC	0,54	0,12	1,4	1,4
AXIO MET AX-2040	0,34	0,08	1,66	1,66
FLUKE 1664 FC	0,52	0,12	1,11	1,12

Tablica 5.1.3. Standardna derivacija s , mjerna nesigurnost A tipa u_A , mjerna nesigurnost B tipa u_B , ukupna mjerna nesigurnost u mjerenja izmjeničnog (AC) napona

Analiza mjerenja:

Multimetar FLUKE 289 TRUE RMS pokazao se kao najprecizniji prilikom mjerenja izmjeničnog (AC) napona. Ovaj multimetar ima najmanju graničnu pogrešku, apsolutnu pogrešku i postotnu pogrešku, što ukazuje na visoku točnost i pouzdana mjerenja. S druge strane, njegova ukupna mjerna nesigurnost potvrđuje stabilnost mjerenja s minimalnim varijacijama. Ove karakteristike čine FLUKE 289 TRUE RMS optimalnim izborom za precizna i pouzdana mjerenja izmjeničnog napona.

Instrument EMOS EM-210, s druge strane, pokazuje najveće vrijednosti granične pogreške te značajno veće relativne i postotne pogreške, što upućuje na manju pouzdanost u mjerenju izmjeničnog napona. Dodatno, visoka standardna devijacija i ukupna mjerna nesigurnost potvrđuju da ovaj mjerni instrument ima najveća odstupanja u mjerenju i najnižu preciznost među analiziranim uređajima.

AXIO MET AX-2040 također pokazuje povišene vrijednosti mjerne nesigurnosti, posebno tipa B, što rezultira visokom ukupnom mjernom nesigurnošću. Iako nije toliko nepouzdan kao EMOS EM-210, ovaj mjerni instrument ipak ne zadovoljava zahtjeve za visoko precizna mjerenja izmjeničnog napona.

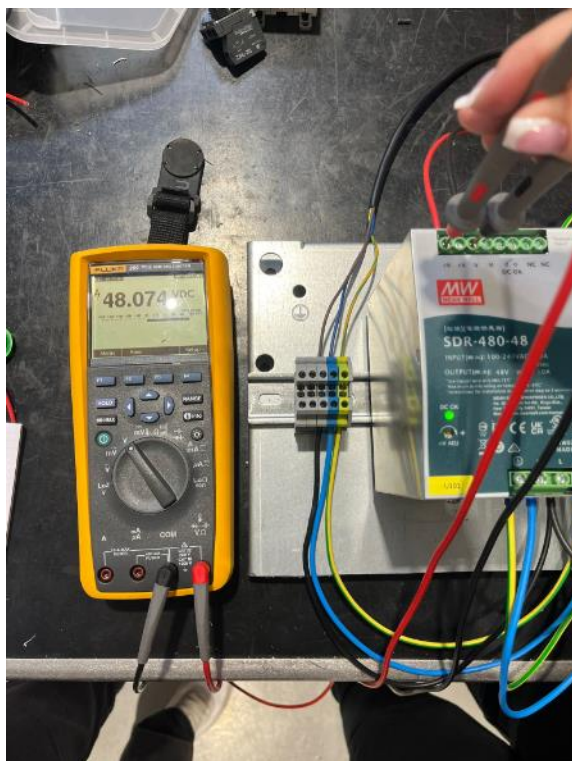
Instrumenti FLUKE 376 FC i FLUKE 1664 FC pokazuju srednje razine mjerne nesigurnosti i pogrešaka. Iako nisu toliko precizni kao FLUKE 289 TRUE RMS, njihova ukupna mjerna nesigurnost i pogreške su na prihvatljivoj razini, što ih čini dovoljno pouzdanima za primjene mjerenja izmjeničnog napona koje ne zahtijevaju visoku razinu točnosti.

5.2. Mjerenje istosmjernog (DC) napona

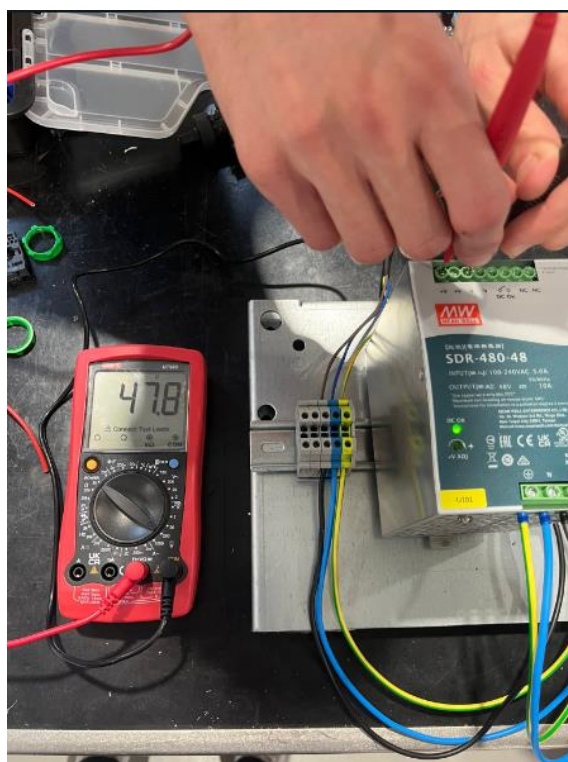
Slike 5.2.1.-5.2.5. prikazuju mjerenja istosmjernog DC (izlaznog) napona industrijskog napajanja MEAN WELL s mjernim instrumentima:

- Fluke 289 True RMS multimeter (slika 5.2.1.)
- UNI-T UT58C multimeter (slika 5.2.2.)
- EMOS MD-210 multimeter (slika 5.2.3.)
- FLUKE 376 FC strujna kliješta (slika 5.2.4.)
- AXIO MET AX-2040 strujna kliješta (slika 5.2.5.)

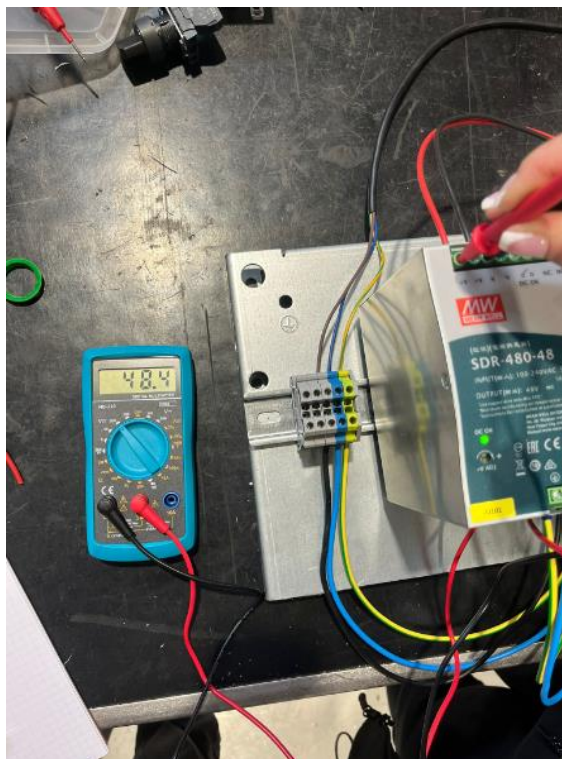
FLUKE 1664 FC višenamjenski ispitivač nije korišten za mjerenje istosmjernog (DC) napona, budući da ne podržava tu funkciju.



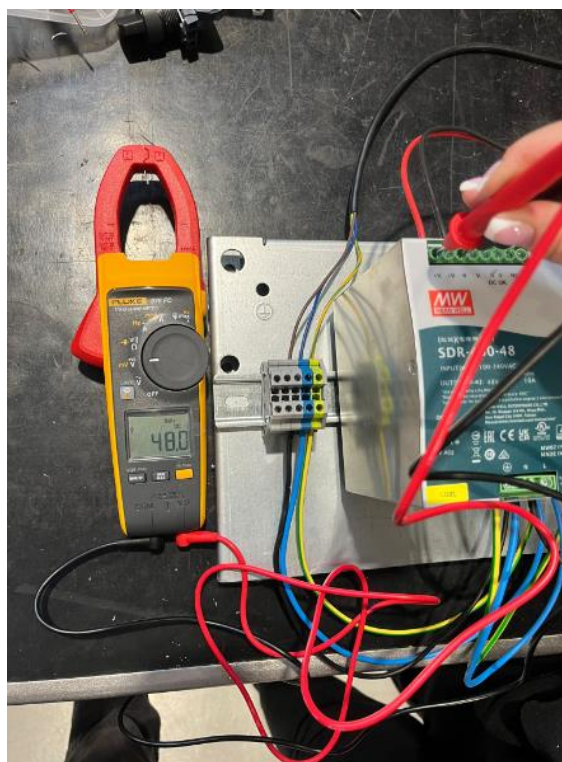
Slika 5.2.1. Mjerenje izlaznog napona s Fluke 289 True RMS multimetrom



Slika 5.2.2. Mjerenje izlaznog napona s UNI-T UT58C multimetrom



Slika 5.2.3. Mjerenje izlaznog napona s EMOS MD-210 multimetarom



Slika 5.2.4. Mjerenje izlaznog napona s FLUKE 376 FC strujnim kličštima



Slika 5.2.5. Mjerenje izlaznog napona s AXIO MET AX-2040 strujnim klještima

Rezultati mjerenja istosmjernog (DC) izlaznog napona su prikazani u Tablici 5.2.1.

REZULTATI MJERENJA ISTOSMJERNOG NAPONA NA IZLAZU ISPRAVLJAČA [V]					
BR. MJERENJA	FLUKE 289 TRUE RMS	UNI-T UT58C	EMOS EM-210	FLUKE 376 FC	AXIO MET AX-2040
1	48,074	47,8	48,4	48,0	47,7
2	48,075	47,8	48,4	48,0	47,7
3	48,073	47,8	48,4	48,0	47,8
4	48,074	47,8	48,3	48,0	47,7
5	48,074	47,8	48,3	48,0	47,7
6	48,074	47,7	48,3	48,0	47,7
7	48,074	47,7	48,3	48,0	47,8
8	48,074	47,7	48,2	48,1	47,8
9	48,074	47,8	48,2	48,0	47,9
10	48,072	47,8	48,3	48,0	47,7
11	48,072	47,8	48,3	48,0	47,7
12	48,072	47,8	48,4	48,0	47,7
13	48,073	47,8	48,3	48,1	47,7
14	48,071	47,7	48,3	48,0	47,8

15	48,071	47,8	48,4	48,0	47,7
16	48,074	47,7	48,3	48,1	47,7
17	48,074	47,7	48,3	48,0	47,7
18	48,074	47,8	48,4	48,0	47,7
19	48,074	47,7	48,3	48,1	47,9
20	48,075	47,7	48,4	48,0	47,7
$\overline{x_U}$	48,073	47,76	48,33	48,02	47,74

Tablica 5.2.1. Rezultati mjerenja istosmjernog napona (DC) na izlazu ispravljača[V]

Na temelju 20 ponovljenih mjerenja korištenjem formule (5-16) izračunata je aritmetička sredina ($\overline{x_U}$). Za određivanje granične pogreške (G_a) korištena je formula (5-17). Za određivanje apsolutne pogreške (G_r) korištena je formula (5-18). Za izračun postotne pogreške ($G_{\%}$) korištena je formula (5-19). Rezultati izračuna mjernih pogrešaka za svaki mjerni instrument prikazani su Tablicom 5.2.2.

NAZIV INSTRUMENTA	U(DC) [V]	M.P. (DC) [V]	RAZLUČIVOST	POGREŠKE IZ UPUTA	G_a [V]	G_r	$G_{\%}$ [%]
FLUKE 289 TRUE RMS	48,073	500	4½ znamenke	$\pm (0,025 \% + 5)$	0,1370	0,00285	0,2850%
UNI-T UT58C	47,76	200	3½ znamenke	$\pm (0,5 \% + 1)$	0,3389	0,007096	0,7096%
EMOS EM-210	48,33	200	3½ znamenke	$\pm (1 \% + 5)$	0,9836	0,020354	2,0354%
FLUKE 376 FC	48,02	600	3½ znamenke	$\pm (1 \% + 5)$	1,9809	0,041252	4,1252%
AXIO MET AX-2040	47,74	400	3½ znamenke	$\pm (0,7 \% + 4)$	1,1346	0,023766	2,3766%

Tablica 5.2.2. Granične (G_a), apsolutne (G_r) i postotne ($G_{\%}$) pogreške mjerenja

Standardna devijacija (s) dobivena je korištenjem formule (5-21). Mjerna nesigurnost A tipa (u_A) dobivena je korištenjem formule (5-20), dok je za izračun mjerne nesigurnost B tipa (u_B) korištena formula (5-22). Za izračun ukupne mjerne nesigurnosti (u) korištena je formula (5-23).

Tablicom 5.2.3. prikazana je standardna devijacija (s) potrebna za izračunavanje mjerne nesigurnost A tipa (u_A), mjerna nesigurnost A tipa (u_A), mjerna nesigurnost B tipa (u_B), kao i ukupna mjerna nesigurnost (u).

Naziv instrumenta	Standardna devijacija s [V]	Mjerna nesigurnost A tipa u_A [V]	Mjerna nesigurnost B tipa u_B [V]	Ukupna mjerna nesigurnost u [V]
FLUKE 289 TRUE RMS	0,0018	0,0003	0,0358	0,0358
UNI-T UT58C	0,0511	0,01141	0,1956	0,1959
EMOS EM-210	0,0671	0,015	0,3079	0,3083
FLUKE 376 FC	0,0411	0,00918	0,3061	0,3062
AXIO MET AX-2040	0,0605	0,01352	0,0216	0,2165

Tablica 5.2.3. Standardna derivacija s , mjerna nesigurnost A tipa u_A , mjerna nesigurnost B tipa u_B , ukupna mjerna nesigurnost u mjerenja istosmjernog (DC) napona

Analiza mjerenja:

FLUKE 289 TRUE RMS pokazuje najvišu razinu preciznosti, s najmanjom standardnom devijacijom i ukupnom mjernom nesigurnošću. Niska razina nesigurnosti tipa A i tipa B ukazuje na dosljedna mjerenja s minimalnim odstupanjima, čineći ovaj instrument najpouzdanijim za mjerenje istosmjernog napona. Granična pogreška je također najmanja, što potvrđuje da je FLUKE 289 TRUE RMS najpogodniji za precizne aplikacije gdje su točnost i pouzdanost ključne.

UNI-T UT58C pokazuje veće pogreške i mjerne nesigurnosti, osobito tipa B, što sugerira da ovaj instrument može biti podložan većim odstupanjima i nesigurnostima. Iako je dovoljno pouzdan za mjerenja istosmjernog napona u manje kritičnim primjenama, nije optimalan za visoko precizna mjerenja.

EMOS EM-210 i FLUKE 376 FC imaju slične rezultate, s većim nesigurnostima tipa B i umjereno visokim graničnim pogreškama. Iako ovi instrumenti pružaju konzistentne rezultate u odnosu na mjerenja, njihova ukupna mjerna nesigurnost je veća, što ih čini manje pogodnima za aplikacije koje zahtijevaju visoku točnost. Međutim, oba instrumenta su korisna u primjenama gdje je prihvatljiva umjerena razina nesigurnosti.

AXIO MET AX-2040 pokazuje veće odstupanje, osobito u nesigurnosti tipa B, s nešto većom ukupnom mjernom nesigurnošću u usporedbi s ostalim instrumentima. Iako ovaj instrument može pružiti stabilna mjerenja, njegove pogreške i nesigurnosti ukazuju na to da je najprikladniji za manje kritične primjene istosmjernog napona.

5.3. Mjerenje AC struje

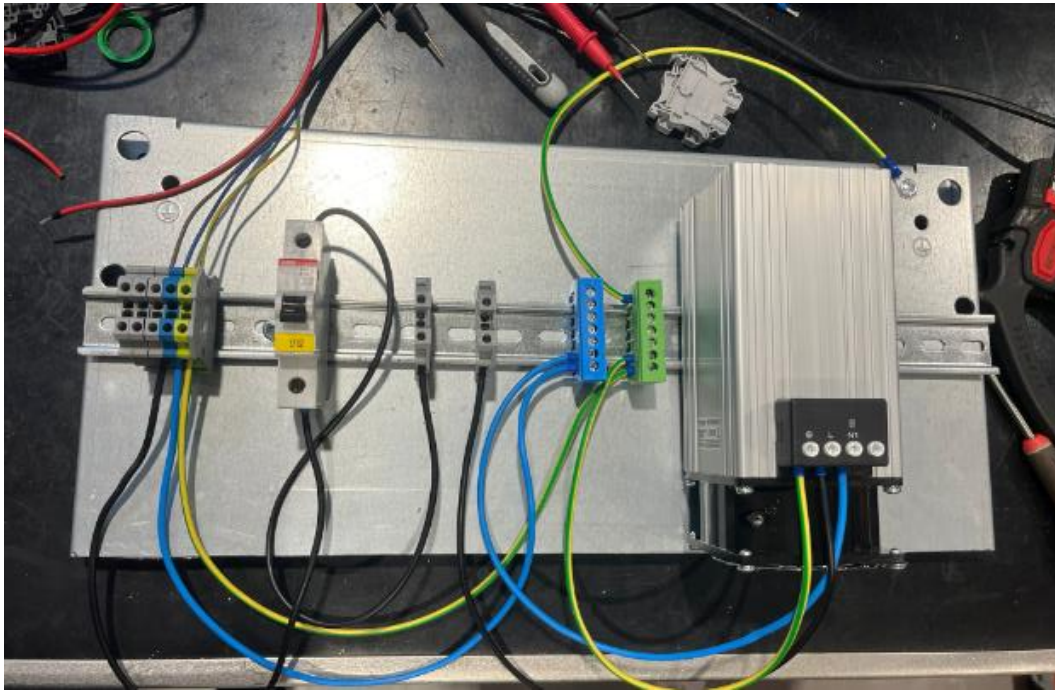
Slika 5.3.1. prikazuje maketu koja je korištena za dobivanje rezultata mjerenja izmjenične (AC) struje. Za mjerenje izmjenične (AC) struje kao potrošač korišten je grijač snage 250 W.

Mjerenje struje provedeno je pomoću strujnih kliješta i digitalnih multimetra. Prilikom mjerenja strujnim kliještima, vodič je jednostavno provučen kroz kliješta, što omogućuje brzo očitavanje struje.



Slika 5.3.1. Maketa korištena za dobivanje rezultata mjerenja izmjenične (AC) struje

Kako bi se omogućilo mjerenje multimetrom, potrebno je uspostaviti serijski spoj s potrošačem. U tu svrhu, na montažnu ploču su postavljene dvije redne stezaljke na koje je spojen fazni vodič koji vodi do grijača. Spajanjem multimetra u seriju zatvoren je strujni krug, omogućujući precizno mjerenje struje uz istovremeno pokretanje grijača. (slika 5.2.2.)

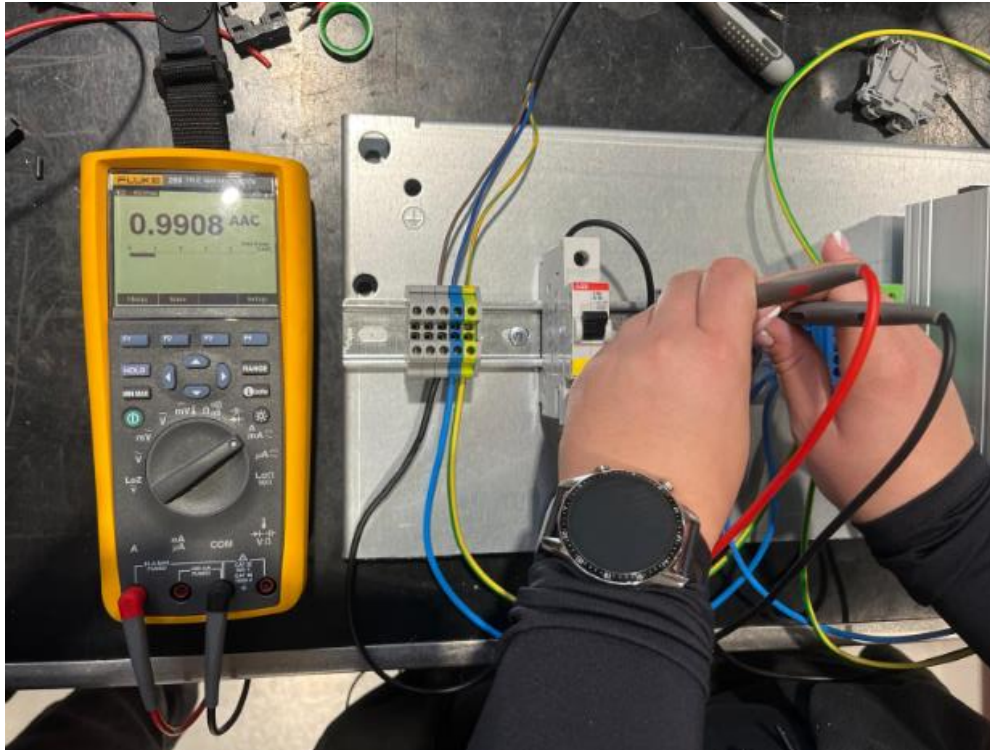


Slika 5.3.2. Maketa korištena za dobivanje rezultata mjerenja AC struje koristeći redne stezaljke

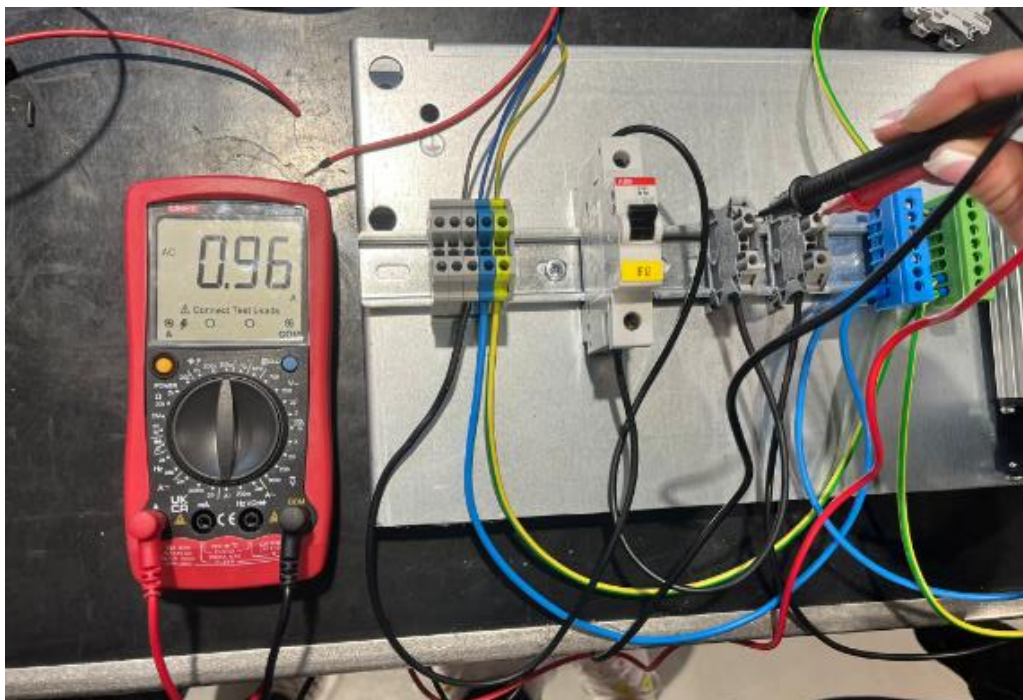
Slike 5.3.3.-5.3.6. prikazuju mjerenja AC struje sa sljedećim mjernim instrumentima:

- Fluke 289 True RMS multimetar (slika 5.3.3.)
- UNI-T UT58C multimetar (slika 5.3.4.)
- FLUKE 376 FC strujna kliješta (slika 5.3.5.)
- AXIO MET AX-2040 strujna kliješta (slika 5.3.6.)

Mjerni instrumenti EMOS MD-210 multimetar i FLUKE 1664 FC višenamjenski ispitivač nisu korišteni za mjerenje izmjenične (AC) struje s obzirom da ne podržavaju tu funkciju.



Slika 5.3.3. Mjerenje AC struje s Fluke 289 True RMS multimetrom



Slika 5.3.4. Mjerenje AC struje s UNI-T UT58C multimetrom



Slika 5.3.5. Mjerenje AC struje s FLUKE 376 FC strujnim klještima



Slika 5.3.6. Mjerenje AC struje s AXIO MET AX-2040 strujnim klještima

Rezultati mjerenja izmjenične (AC) struje na grijaču snage 250 W su prikazani u Tablici 5.3.1.

REZULTATI MJERENJA IZMJENIČNE STRUJE NA GRIJAČU [A]				
BR. MJERENJA	FLUKE 289 TRUE RMS	UNI-T UT58C	FLUKE 376 FC	AXIO MET AX- 2040
1	0,9908	0,96	1,0	0,81
2	0,9907	0,96	1,0	0,81
3	0,9908	0,95	0,9	0,81
4	0,9907	0,94	1,0	0,80
5	0,9908	0,96	1,0	0,80
6	0,9908	0,96	1,0	0,80
7	0,9909	0,96	1,0	0,80
8	0,9905	0,96	1,1	0,80
9	0,9906	0,93	0,9	0,82
10	0,9907	0,96	0,9	0,80
11	0,9908	0,95	0,9	0,80
12	0,9908	0,96	1,0	0,80
13	0,9908	0,96	0,9	0,80
14	0,9907	0,94	0,9	0,80
15	0,9908	0,96	1,0	0,80
16	0,9905	0,95	0,9	0,80
17	0,9908	0,96	0,9	0,81
18	0,9908	0,96	1,0	0,80
19	0,9905	0,96	0,9	0,81
20	0,9907	0,94	0,9	0,80
\bar{x}_U	0,990725	0,954	0,96	0,8035

Tablica 5.3.1. Rezultati mjerenja izmjenične(AC) struje na grijaču [V]

Na temelju 20 ponovljenih mjerenja korištenjem formule (5-16) izračunata je aritmetička sredina (\bar{x}_U). Za određivanje granične pogreške (G_a) korištena je formula (5-17). Za određivanje apsolutne pogreške (G_r) korištena je formula (5-18). Za izračun postotne pogreške ($G\%$) korištena je formula (5-19). Rezultati izračuna mjernih pogrešaka za svaki mjerni instrument prikazani su Tablicom 5.3.2.

NAZIV INSTRUMENTA	I(AC) [A]	M.P. (DC) [A]	RAZLUČIVOST	POGREŠKE IZ UPUTA	G_a [A]	G_r	$G\%$ [%]
FLUKE 289 TRUE RMS	0,991	5	4½ znamenke	± (0,6 % + 5)	0,0131	0,013223	1,3223%
UNI-T UT58C	0,94	20	3½ znamenke	± (1 % + 3)	0,0394	0,041915	4,1915%
FLUKE 376 FC	0,90	10	3½ znamenke	± (2 % + 5)	0,0430	0,047778	4,7778%
AXIO MET AX-2040	0,80	10	3½ znamenke	± (1,8 % + 5)	0,0394	0,04925	4,9250%

Tablica 5.3.2. Granične (G_a), apsolutne (G_r) i postotne ($G\%$) pogreške mjerenja

Standardna devijacija (s) dobivena je korištenjem formule (5-21). Mjerna nesigurnost A tipa (u_A) dobivena je korištenjem formule (5-20), dok je za izračun mjerne nesigurnost B tipa (u_B) korištena formula (5-22). Za izračun ukupne mjerne nesigurnosti (u) korištena je formula (5-23). Rezultati su prikazani tablicom 5.3.3.

Naziv instrumenta	Standardna devijacija s [V]	Mjerna nesigurnost A tipa u_A [V]	Mjerna nesigurnost B tipa u_B [V]	Ukupna mjerna nesigurnost u [V]
FLUKE 289 TRUE RMS	0,0018	0,0003	0,0358	0,0358
UNI-T UT58C	0,0511	0,01141	0,1956	0,1959
FLUKE 376 FC	0,0411	0,00918	0,3061	0,3062
AXIO MET AX-2040	0,0605	0,01352	0,0216	0,2165

Tablica 5.3.3. Standardna derivacija s , mjerna nesigurnost A tipa u_A , mjerna nesigurnost B tipa u_B , ukupna mjerna nesigurnost u mjerenja izmjenične (AC) struje

Analiza mjerenja:

FLUKE 289 TRUE RMS još jednom potvrđuje svoju superiornost među testiranim instrumentima. Ovaj instrument ima najmanju ukupnu mjernu nesigurnost, kao i najmanje pogreške u svim

aspektima. Niska standardna devijacija i niska nesigurnost tipa A pokazuju dosljedna i stabilna mjerenja. Nesigurnost tipa B je također minimalna, što ukazuje na to da je ovaj instrument optimalan za visoko precizna mjerenja izmjenične struje.

UNI-T UT58C pokazuje umjerene vrijednosti nesigurnosti, ali ima nešto veće pogreške u usporedbi s FLUKE 289 TRUE RMS. Nesigurnost tipa B je posebno izražena, što smanjuje njegovu pouzdanost za mjerenja u situacijama gdje je potrebna visoka točnost. Unatoč tome, ovaj instrument može pružiti zadovoljavajuće rezultate u primjenama gdje nije nužna izuzetna preciznost.

EMOS EM-210 i FLUKE 376 FC pokazuju slične rezultate, s nešto većim graničnim pogreškama i većom ukupnom mjernom nesigurnošću. Ovi instrumenti pružaju relativno stabilna mjerenja, ali zbog povećanih pogrešaka i nesigurnosti tipa B, manje su pogodni za aplikacije koje zahtijevaju visoku razinu preciznosti.

AXIO MET AX-2040 pokazuje najveće vrijednosti graničnih i apsolutnih pogrešaka, kao i najvišu ukupnu mjernu nesigurnost. S obzirom na te rezultate, ovaj instrument je najmanje pouzdan među testiranim uređajima i ne preporučuje se za zadatke koji zahtijevaju visoko precizna mjerenja izmjenične struje.

6. ZAKLJUČAK

U završnom radu obrađeni su univerzalni mjerni instrumenti s fokusom na analogne i digitalne multimetre, kroz strukturirano objašnjenje njihovih principa rada i mjernih metoda. Za analogne multimetre opisan je princip rada s pomičnim svitkom i permanentnim magnetom, kao i s pomičnim željezom, uz detalje o mjerenju električnih veličina kao što su struja, napon i otpor. Sličan pristup primijenjen je i za digitalne multimetre, gdje je objašnjen princip rada uređaja koji koristi A/D pretvarač za precizno mjerenje. U oba slučaja analizirani su mjerni opsezi, vrste pogrešaka te oznake i simboli koji se koriste na instrumentima, kao i ključni vanjski dijelovi svakog tipa multimetra.

Analogni multimetri imaju nekoliko prednosti koje ih čine pogodnima za specifične zadatke. Njihov kontinuirani prikaz u stvarnom vremenu omogućuje praćenje promjena mjernih veličina, što je korisno u dinamičkim mjerenjima. Također su otporniji na elektromagnetske smetnje, što ih čini prikladnima za rad u okruženjima s visokom razinom elektromagnetske interferencije. Brz odziv kazaljke omogućuje trenutno praćenje promjena u električnom signalu. Međutim, analogni multimetri imaju i nekoliko nedostataka. Višestruke skale mogu izazvati zbunjenost prilikom očitavanja, a niža ulazna impedancija može utjecati na preciznost mjerenja osjetljivih signala. Osim toga, nedostatak automatskog prepoznavanja polariteta i niža točnost u usporedbi s digitalnim multimetrom čine ih manje prikladnima za precizna mjerenja.

S druge strane, digitalni multimetri nude visoku preciznost i jednostavnost korištenja zahvaljujući jasnom brojčanom prikazu i funkcijama poput automatskog odabira raspona. Njihova višenamjenska upotreba omogućuje mjerenje različitih električnih veličina, uključujući frekvenciju, kapacitet i temperaturu. Osim toga, dodatne značajke poput pohrane podataka i povezivanja s računalom čine digitalne multimetre praktičnijima. Međutim, digitalni uređaji ovise o napajanju, što može biti ograničenje u slučaju praznih baterija, a njihova osjetljivost na elektromagnetske smetnje može utjecati na točnost u određenim okruženjima. Također, digitalni multimetri mogu imati lagani odziv kod brzih promjena signala i zahtijevaju periodičnu kalibraciju za održavanje točnosti.

Na temelju mjerenja digitalnim mjernim instrumentima, čiji su rezultati prikazani u završnom radu, jasno se ističe važnost odabira pravog mjernog instrumenta prema specifičnim zahtjevima zadatka. FLUKE 289 TRUE RMS se pokazao kao najprecizniji instrument, primjeren za visoko

precizna mjerenja u industrijskim, laboratorijskim i tehničkim aplikacijama. S druge strane, instrumenti poput UNI-T UT58C, EMOS EM-210 i FLUKE 376 FC pružaju zadovoljavajuće rezultate za primjene koje ne zahtijevaju izuzetnu točnost. AXIO MET AX-2040, s najvećim odstupanjima u mjerenjima, manje je prikladan za aplikacije gdje su preciznost i pouzdanost ključni faktori.

LITERATURA

- [1] Vojislav Bego, „ Mjerenja u elektrotehnici“, Zagreb, 2003.
- [2] A.K. Sawhney, Electrical and Electronic Measurements and Instrumentation, Dhanpat Rai & Co., New Delhi, 2015.
- [3] Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Predložak za 3. labaratorijsku vježbu iz kolegija „Osnove mjeriteljstva“, 2018
- [4] Electronics Notes web stranica: <https://www.electronics-notes.com/articles/test-methods/meters/analogue-multimeter-how-does-it-work.php>, pristupljeno srpanj 2022.
- [5] Electrical engineering portal web stranica <https://electrical-engineering-portal.com/moving-iron-instruments-voltmeter-and-ammeter> pristupljeno srpanj 2023.
- [6] E.W. Golding, F.C. Widdis, Electrical Measurements and Measuring Instruments, Pitman Publishing, London, 1968.
- [7] Hrvatski radioamaterski savez web stranica: <https://web.hamradio.hr/9a9dr/voltmeters/voltmeters.htm> pristupljeno rujan 2024.
- [8] Linqip Technews web stranica: <https://www.linqip.com/blog/multimeter-parts-all-you-need-to-know-about-all-the-components/> pristupljeno rujan 2024.
- [9] David A. Bell, Electronic Instrumentation and Measurements, Oxford University Press, New York, 2007.
- [10] Oliver K. Buettner, Basic Electrical Engineering, Vikas Publishing, 2006.
- [11] Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija Osijek, Predložak za 2. labaratorijsku vježbu iz kolegija „Osnove mjeriteljstva“, 2018
- [12] Paul Horowitz, Winfield Hill, The Art of Electronics, Cambridge University Press, 2015.
- [13] Vjekoslav Duk, Osnove mjerenja – skripta s predavanja <https://www.electronics-notes.com/> (pristupljeno 15.5.2022.)

[14] Priručnik za multimeter <https://naylorpmechatronics.com/img/cms/000863/ZOTEK-ZT219.pdf> pristupljeno kolovoz 2024.

[15] Praktikum za drugi razred elektrotehničara v2.0.1, dostupno na web lokaciji: <https://mststravnik.net/wp-content/uploads/2013/10/Mjerenja-II-razred.pdf> pristupljeno rujan 2024.

[16] SOS Electronic, <https://www.soselectronic.com/en/products/voltcraft/vc150-152379> pristupljeno rujan 2024.

[17] Keysight web stranica <https://www.keysight.com/blogs/en/tech/bench/2022/06/14/how-to-use-a-digital-multimeter> pristupljeno rujan 2024.

SAŽETAK

U ovom radu detaljno su obrađeni multimetri, s posebnim naglaskom na analogne i digitalne multimetre. Opisani su principi rada analognog multimetra s pomičnim svitkom i permanentnim magnetom te analognog multimetra s pomičnim željezom. Također je objašnjen princip rada digitalnog multimetra, uz analizu ključnih komponenti poput A/D pretvornika. U radu su razmotrene vrste mjernih pogrešaka, mjerne opsege te oznake i simboli koji se koriste na ovim uređajima. Posebna pažnja posvećena je prednostima i nedostacima različitih tipova multimetara, pružajući cjelovit pregled njihove primjenjivosti u različitim inženjerskim i mjeriteljskim okruženjima. U konačnici, u praktičnom dijelu rada provedena su eksperimentalna mjerenja koristeći digitalne multimetre različitih proizvođača, čime su provjerene deklarirane značajke ovih uređaja u stvarnim uvjetima primjene.

Ključne riječi: multimeter, analogni multimeter, digitalni multimeter, oznake, simboli, princip rada

ABSTRACT

This paper provides a detailed overview of multimeters, with a special focus on both analog and digital multimeters. The principles of operation of an analog multimeter with a moving coil and permanent magnet, as well as an analog multimeter with moving iron, are described. Additionally, the principle of operation of a digital multimeter is explained, along with an analysis of key components such as the A/D converter. The paper also covers different types of measurement errors, measurement ranges, and the symbols and markings used on these devices. Special attention is given to the advantages and disadvantages of various types of multimeters, offering a comprehensive review of their applicability in different engineering and metrology environments. Finally, the practical part of the paper includes experimental measurements using digital multimeters from different manufacturers, verifying the declared features of these devices under real-life conditions.

Keywords: multimeter, analog multimeter, digital multimeter, markings, symbols, principle of operation

ŽIVOTOPIS

Rebeka Brajković rođena je 2. studenog 1999. godine u Zagrebu. Pohađala je osnovnu školu Siniše Glavaševića u Vukovaru. 2014. godine upisuje gimnaziju Vukovar opći smjer. Paralelno pohađa školu stranih jezika Linguapax u Vinkovcima, te 2019. uspješno polaže ispit C1 level znanja engleskog jezika. Po završetku srednje škole 2018. godine upisuje Fakultet elektrotehnike računarstva i informacijskih tehnologija u Osijek smjer Elektrotehnika i informacijska tehnologija te na drugoj godini odabire izborni blok Elektroenergetika.