

# Primena mernog instrumenta VMP 20 za izvođenje laboratorijske vežbe - popravka faktora snage

Isidora Sabadoš, Nemanja Vidović, Atila Juhas i Saša Skoko

**Apstrakt**—U ovom radu predstavljen je jedan način primene mernog instrumenta VMP 20 u izvođenju laboratorijskih vežbi iz predmeta Električna merenja. Tema rada je popravka faktora snage u jednofaznom sistemu napajanja. Radom je obuhvaćen osnovni teorijski princip kompenzacije reaktivne snage i dat je prikaz izvođenja laboratorijske vežbe. Primena instrumenta VMP 20 i odgovarajućeg softvera VMPCalc ima posebnu pogodnost u organizaciji laboratorijskih vežbi na daljinu- online, što je u radu posebno naznačeno.

**Ključne reči**—popravka faktora snage, VMP20, laboratorijske vežbe, online-laboratorija.

## I. UVOD

Savremeni pristup stručnom obrazovanju tehničara i inženjera podrazumeva povećani pristup razvoju praktičnih veština. Zato je neophodno obezbediti u obrazovnom procesu dovoljno praktičnog rada u okviru odgovarajućih laboratorijskih vežbi kako bi se praktično demonstrirao i proverio što veći broj teorijskih principa.

Zato organizacija laboratorijskih vežbi iz Električnih merenja ima poseban značaj. U okviru planiranja i realizacije vežbi potrebno je postaviti (osmisliti) odgovarajući broj zadataka koji bi uspešno i smisleno povezali osnovne teorijske principe i njihove praktične aspekte.

U ovom radu prezentovan je jedan takav pristup. Naime, nastojali smo da kroz organizaciju jedne laboratorijske vežbe izvršimo sintezu osnovnih teorijskih principa iz teorije Električnih merenja i da uspostavimo korelaciju sa osnovnim teorijskim sadržajima iz predmeta Osnove elektrotehnike 2 - teorija naizmeničnih struja, odnosno, kompenzacija reaktivne snage (popravka faktora snage). Prilikom postavke i organizacije laboratorijske vežbe korišćen je merni instrument VMP20 i njegov aplikativni softver VMPCalc za prikazivanje rezultata merenja. S obzirom da primena softvera VMPCalc omogućava rad u realnom vremenu, koncept realizacije laboratorijske vežbe je da se ukaže na mogućnosti primene instrumenta VMP20 u organizaciji i izvođenju laboratorijskih

Isidora Sabadoš – Elektrotehnička škola "Mihajlo Pupin", Futoška 17, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: lapislazuli.ns@gmail.com).

Nemanja Vidović – Elektrotehnička škola "Mihajlo Pupin", Futoška 17, 21000 Novi Sad, Srbija (e-mail: vidovicnemanja123@gmail.com).

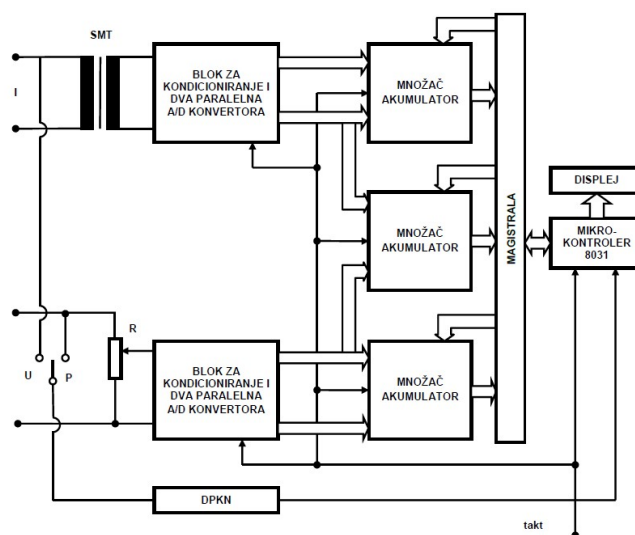
Atila Juhas, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija, (e-mail: juhiatti@gmail.com)

Saša Skoko – Elektrotehnička škola "Mihajlo Pupin", Futoška 17, 21000 Novi Sad, Srbija, (e-mail: sasaskoko78@gmail.com).

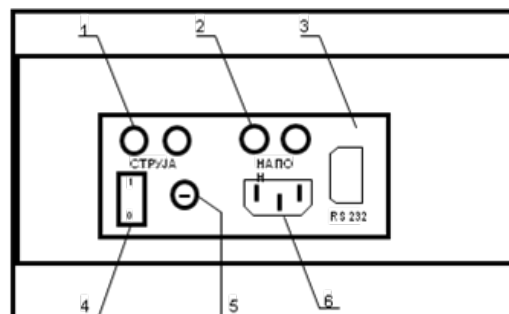
vežbi na daljinu (online laboratorijske vežbe, udaljena laboratorija). Na taj način se daje poseban doprinos podizanju kvaliteta organizacije i realizacije laboratorijskih vežbi.

## II. MERNI INSTRUMENT VMP 20

Merni instrument VMP 20 razvijen je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu [1]. Na Sl. 1. prikazan je izgled osnovne blok šeme mernog instrumenta, a na Sl. 2. prikazana je priključna ploča.



Sl. 1. Izgled osnovne blok šeme mernog instrumenta VMP 20.



Sl. 2. Izgled priključne ploče instrumenta VMP 20.

Na Sl. 2. brojevima su označeni sledeći priključni kontakti: 1- strujni priključni kontakti, 2 - naponski priključni kontakti,

3 - konektor za povezivanje sa računarom sa RS232 komunikacionim protokolom, 4 - prekidač za uključenje i isključenje mernog instrumenta, 5- osigurač, 6 - konektor za priključenje kabla za napajanje mernog sistema. Rad mernog sistema instrumenta zasniva se na stohastičkoj adicioj A/D konverziji (SAADK) [2],[3],[4]. Metoda omogućava nov pristup merenjima na električnoj mreži, nezavisna je od tehnološkog razvoja i elektronskih komponenata, zahteva jednostavan hardver i adaptivnu preciznost merjenja.

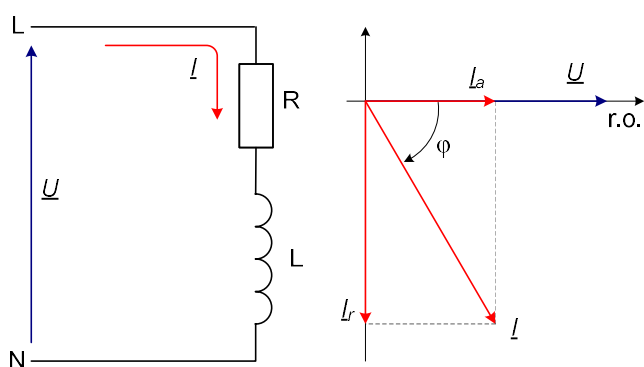
### III. OSNOVNI PRINCIPI KOMPENZACIJE REAKTIVNE SNAGE

Faktor snage u električnoj mreži zavisi od karaktera priključenih prijemnika. Ukoliko se karakter prijemnika tokom vremena menja, to znači da će se menjati i faktor snage. Faktor snage definiše se kao odnos aktivne i prividne snage i dat je izrazom (1) [5].

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (1)$$

Ako je opterećenje električne mreže čisto omsko tada je faktor snage jednak 1. Ako je opterećenje u električnoj mreži termogeno-induktivnog karaktera tada se faktor snage kreće u intervalu od 0 - 1 u zavisnosti od toga koliki je udeo termogenog i induktivnog opterećenja u potrošačkoj grupi. Propisima je predviđeno da faktor snage u električnoj mreži bude što bliži 1, odnosno da bude iznad 0.95. S obzirom da su u proizvodnim pogonima prijemnici najčešće elektromotori, transformatori i slični omsko-induktivni prijemnici, oni predstavljaju značajne potrošače reaktivne snage pa je najčešće kod ovakvih potrošačkih grupa faktor snage ispod 0.95. Zato je u takvim slučajevima neophodno izvršiti kompenzaciju reaktivne snage i popravku faktora snage na zadovoljavajuću vrednost.

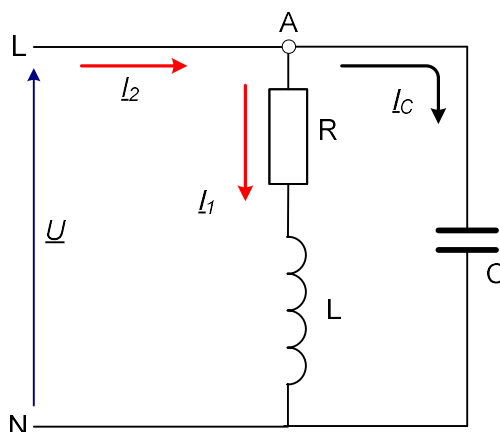
Na Sl. 3. prikazan je jedan RL potrošač povezan u kolo jednofazne struje sa odgovarajućim fazorskim dijagramima napona i struja.



Sl. 3. RL potrošač povezan u kolo jednofazne struje sa odgovarajućim fazorskim dijagramom napona i struja.

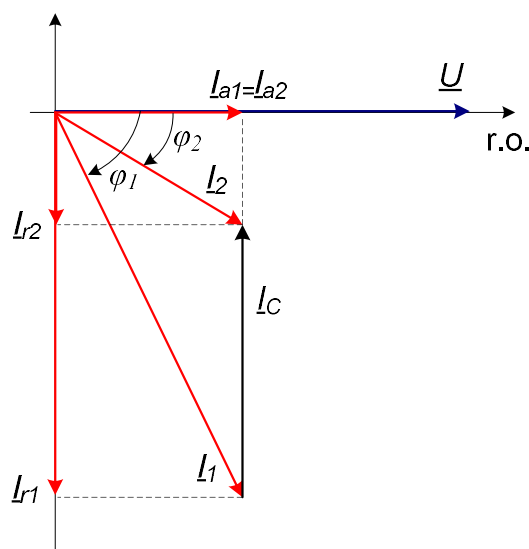
Na Sl. 3. oznake imaju sledeće značenje:  $R$  - omski potrošač,  $L$  - induktivni potrošač,  $\underline{U}$  - fazor napona na potrošaču,  $\underline{I}$  - fazor struje potrošača,  $\underline{I}_a$  -fazor aktivne komponente struje

potrošača,  $\underline{I}_r$  -fazor reaktivne komponente struje potrošača,  $\varphi$  -fazni pomeraj između napona i struje potrošača. Pod uslovom da je vrednost napona u električnom kolu konstanta i da se tokom vremena ne menja, vrednost reaktivne snage zavisi od reaktivne komponente struje u električnom kolu. Što je potrošač dominantnijeg induktivnog karaktera to je veća reaktivna komponenta struje. Prema tome, ako želimo da kompenzujemo reaktivnu snagu potrošača, potrebno je na određeni način kompenzovati reaktivnu komponentu struje potrošača. Kompenzacija reaktivne komponente struje vrši se paralelnim vezivanjem kondenzatora sa RL potrošačem kao što je prikazano na Sl. 4.



Sl. 4. Kondenzator C paralelno povezan RL potrošaču u cilju kompenzacije reaktivne snage (struje).

Na Sl. 5. prikazan je fazorski dijagram napona i struja u električnom kolu pre i posle povezivanja kondenzatora.



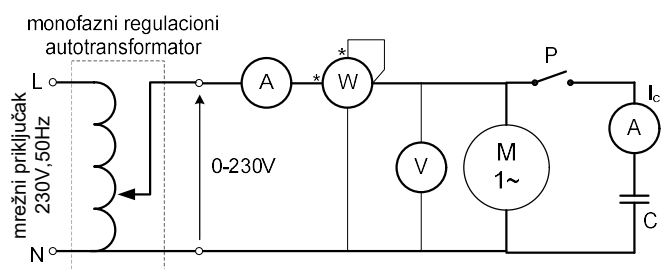
Sl. 5. Fazorski dijagram napona i struja električnog kola pre i posle povezivanja kondenzatora.

Pri čemu je značenje veličina na Sl. 5. sledeće:  $\underline{I}_C$  - fazor struje kondenzatora, sa indeksom 1 označene su struje i njihove komponente u električnom kolu pre povezivanja kondenzatora, a sa indeksom 2 označene su struje i njihove

komponente u električnom kolu posle povezivanja kondenzatora. Na osnovu prethodne analize zaključujemo da će struja kondenzatora uticati na smanjenje reaktivne komponente struje u električnoj mreži, odnosno reaktivna komponenta struje će se sa početne vrednosti  $I_{r1}$  smanjiti na vrednost  $I_{r2}$ , dok će aktivna komponenta struje ostati nepromenjena jer se aktivno opterećenje u električnom kolu nije menjalo.

#### IV. STANDARDNA MERNÁ METODA

Izvođenje laboratorijske vežbe iz popravke faktora snage sprovodi se neposredno u laboratoriji primenom ampermetra, voltmetra i vatmetra [6]. Principijska šema za izvođenje oglada prikazana je na Sl. 6.



Sl. 6. Električna šema za izvođenje oglada primenom standardnih analognih mernih instrumenata.

Izvođenje laboratorijske vežbe sastoji se iz dva dela. Za prvi i drugi deo vežbe podešena vrednost napona ostaje nepromenjena. Prvi deo vežbe predstavlja merenje napona, struje i snage jednofaznog motora bez priključenog kondenzatora. Na osnovu izmerenih veličina određuje se faktor snage motora i fazni pomeraj između fazora napona i struje primenom izraza (2) i (3). Izmerene i izračunate veličine pregledno se beleže u tabelu.

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_{W1}}{U_1 \cdot I_1} \quad (2)$$

$$\varphi_1 = \arccos(\cos \varphi_1) \quad (3)$$

Drugi deo vežbe podrazumeva zatvaranje preklopnika P sa Sl. 6 i ponavljanje postupka merenja napona, struje, snage i struje kondenzatora. Izmerene vrednosti se pregledno beleže u tabelu i sprovode se izračunavanja nove vrednosti faktora snage i faznog pomeraja između fazora napona i struje primenom izraza (4) i (5).

$$\cos \varphi_2 = \frac{P_{W2}}{U_2 \cdot I_2} \quad (4)$$

$$\varphi_2 = \arccos(\cos \varphi_2) \quad (5)$$

Nakon izvršenih merenja analiziraju se dobijeni rezultati.

Porede se vrednosti faktora snage pre i posle povezivanja kondenzatora. Zatim se konstruiše (grafičkom metodom ili primenom odgovarajućih softverskih alata) vektorski dijagram napona i struja pre i posle povezivanja kondenzatora. Da bi se vektorski dijagram struja mogao pravilno nacrtati neophodno je sve struje nacrtati u istoj razmeri.

Neka od ograničenja standardne merne metode su sledeća: zahteva neposredno prisustvo u laboratoriji, samo neposredno merenje napona, struje i snage je duže zbog očitavanja analognih mernih instrumenata, ograničenja u primeni online-laboratorije. Zato je neophono primeniti savremene merne sisteme i uređaje koji će omogućiti izvođenje laboratorijske vežbe u online uslovima.

#### V. PRIMENA INSTRUMENTA VMP 20 I REZULTATI MERENJA

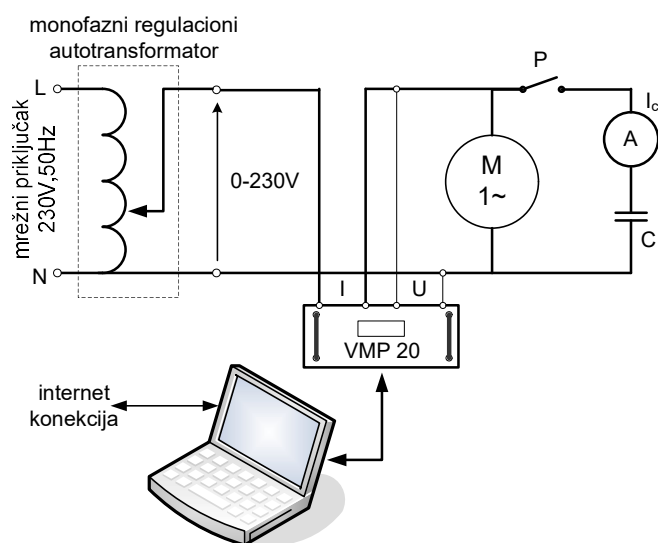
Laboratorijska vežba je tako koncipirana da je jasno definisan zadatak, data je električna šema i spisak ogledne opreme i kratko uputstvo za realizaciju laboratorijske vežbe. Učenik ili student, pre dolaska u laboratoriju, potrebno je da prouči tekst postavke laboratorijske vežbe i pripremiti se za nju.

U slučaju da se vežba radi u realnom vremenu, odnosno, onlajn, učenik ili student treba da bude pored svog računara u zakazanoj satnici. Neophodan preduslov je da postoji pristup internetu u laboratoriji za električna merenja.

Za rad u realnom vremenu preko interneta nastavnik ili saradnik su moderator i definišu dinamiku izvođenja laboratorijske vežbe, dok učenik ili student preko video linka prate tok izvođenja laboratorijske vežbe.

U toku neposrednog merenja prozor softvera VMPCalc dostupan je putem video linka studentima ili učenicima i samostalno mogu izvršiti očitavanje merenih veličina.

Principijska električna šema izvođenja oglada uz primenu instrumenta VMP20 prikazana je na Sl. 7.



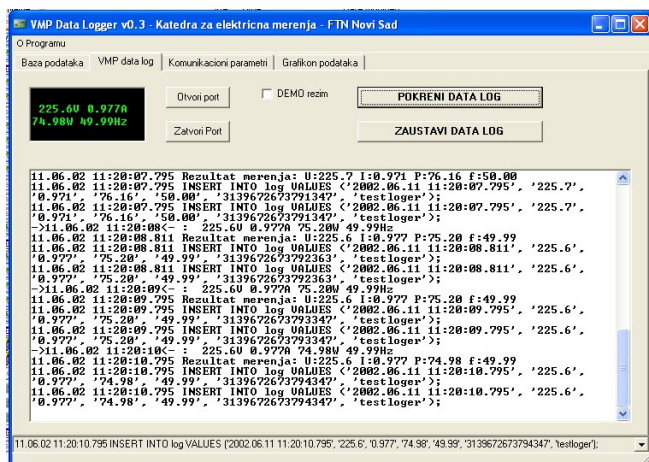
Sl. 7. Principijski izgled električne šeme za izvođenje oglada kompenzacije reaktivne snage primenom instrumenta VMP20.

Na Sl. 8. prikazan je izgled ispitne stanice u laboratoriji sa povezanom mernom opremom.



Sl. 8. Izgled ispitne stanice u laboratoriji sa povezanom mernom opremom i odgovarajućim računarom.

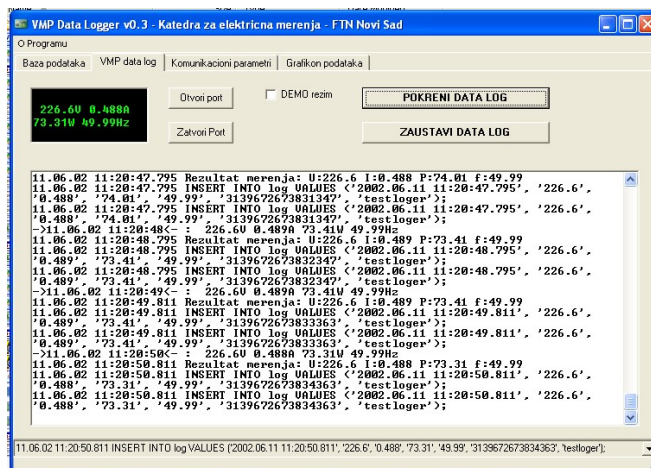
Tok izvođenja laboratorijske vežbe ogleda se u tome da se instrumentom VMP 20 meri napon, struja i snaga pre povezivanja kondenzatora. Primenom softvera VMPCalc na ekranu računara mogu se pratiti vrednosti merenih veličina što je prikazano na Sl. 9.



Sl. 9. Izgled prozora softvera VMPCalc pre povezivanja kondenzatora.

Zatim se preklopnik P sa Sl. 7. zatvori i izvrši se očitavanje pokazivanja instrumenta posle povezivanja kondenzatora, što je prikazano na Sl. 10.

Na osnovu rezultata merenja koji su prikazani na Sl. 9. i 10. uočavamo da se struja izvora napajanja smanjila sa vrednosti  $I_1=0.977$  [A] na vrednost  $I_2=0.488$  [A], dok je aktivna snaga koja se uzima iz električne mreže ostala približno jednaka jer se mehaničko opterećenje motora nije menjalo.



Sl. 10. Izgled prozora softvera VMPCalc posle povezivanja kondenzatora.

Smanjenje struje izvora upravo je posledica smanjenja reaktivne komponente struje električne mreže koju smo postigli povezivanjem kondenzatora paralelno električnom motoru.

S obzirom da se napajanje aparature vrši iz naizmeničnog izvora sa regulacionim autotransformatorom napajanje aparature možemo izvršiti i za nestandardne vrednosti napona električne mreže. U Tabeli I dati su rezultati merenja za nestandardnu vrednost napona izvora od 200 [V].

TABELA I

TABELARNI PRIKAZ REZULTATA MERENJA ZA NAPON IZVORA 200 [V]

Pre povezivanja kondenzatora C		
$U_1$	200.4	[V]
$I_1$	0.714	[A]
$P_1$	52.86	[W]
$\cos\varphi_1$	0.36	
$\varphi_1$	68.9	[°]
$I_C$	0	[A]
Posle povezivanja kondenzatora C		
$U_2$	200.6	[V]
$I_2$	0.312	[A]
$P_2$	53.7	[W]
$\cos\varphi_2$	0.83	
$\varphi_2$	33.9	[°]
$I_C$	0.52	[A]
C	9	[μF]

Prilikom izvođenja drugog dela vežbe, paralelno elektromotoru povezana su dva međusobno paralelno povezana kondenzatora od 4.5 [μF].

Ovde je važno naglasiti da drugi deo vežbe može imati i drugačiji tok. Naime, moguće je zadati željenu vrednost faktora snage a zatim ostaviti učeniku ili studentu da sam proračuna potrebnu vrednost kapaciteta kondenzatora  $C_p$ , primenom izraza (6).

$$C_p = \frac{P_1}{\omega U_1^2} (tg\varphi_1 - tg\varphi_z) \quad (6)$$

Pri čemu je značenje veličina u (6) sledeće:  $C_p$ -potrebna vrednost kapaciteta kondenzatora,  $\omega$ -kružna učestanost električne mreže koja se jednostavno može odrediti jer instrument VMP20 u osnovnom prozoru meri i frekvenciju električne mreže,  $U_1$ -efektivna vrednost napona električne mreže,  $\varphi_1$ - fazni pomeraj između fazora napona i struje pre povezivanja kondenzatora,  $\varphi_z$ - zadata vrednost faznog pomeraja određena na osnovu zadate vrednosti faktora snage.

Kada odredimo potrebnu vrednost kapaciteta, iz grupe kondenzatora koji su na raspolaganju potrebno je izabrati odgovarajući, povezati ga u električno kolo, izvršiti drugo merenje, proveriti novu vrednost faktora snage i da li odgovara zadatoj vrednosti.

Završni deo vežbe podrazumeva diskusiju dobijenih rezultata, konstrukciju vektorskih dijagrama napona i struja elektromotora pre i posle povezivanja kondenzatora primenom geometrijske metode ili odgovarajućih softverskih alata (CAD softveri, GeoGebra i sl.) i sačinjavanje izveštaja.

## VI. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je da približi jedan način izvođenja laboratorijske vežbe za popravku faktora snage (kompenzacija reaktivne snage). Prilikom realizacije laboratorijske vežbe korišćen je merni instrument VMP20 i odgovarajući softver VMPCalc. Na osnovu iskustva koje smo stekli u radu sa instrumentom možemo zaključiti da je izvođenje laboratorijske vežbe veoma elegantno, merenje se brzo vrši, softversko okruženje pruža organizaciju laboratorijske vežbe online, što omogućava učeniku ili studentu da prati tok izvođenja vežbe od kuće. Komunikacija preko video linka i brzo merenje instrumentom omogućavaju da se u terminu laboratorijskih vežbi ostavi sasvim dovoljno vremena za diskusiju i analizu dobijenih rezultata i da se uspostavi korelacija između teorijskih principa i praktičnih rezultata kao i da se uspostavi njihova dodatna siteza.

## ZAHVALNICA

Na ovom mestu želimo da se zahvalimo Vladimiru Vujičiću profesoru Fakulteta tehničkih nauka u penziji na velikoj podršci i savetima o mogućnostima primene instrumenta u neposrednoj laboratorijskoj praksi kao i pravcima primene u razvoju laboratorijskih merenja na daljinu i onlajn organizaciji laboratorijskih vežbi.

## LITERATURA

- [1] A. Juhas, "Hardverska i softverska podrška trofaznim merenjima snage i energije u ED mreži", master rad, Katedra za električna merenja, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Novi Sad, Srbija, 2017.
- [2] V. Vujičić, I. Župunski, Z. Mitrović, M. Sokola, "Merenje u tački i intervalu", Proc. of IMECO XIX, World Congress, Lisabon, Portugal, , pp. 1128-1132, No. 480, septembar, 2009.
- [3] V. Vujičić, S. Milovančev, "Digitalni instrument za merenje srednje vrednosti proizvoda dava analogna periodična signala", YU patent, broj 48195, 1995.
- [4] V. Pjevalica, V. Vujičić, "Further Generation of Low-Frequency True-RMS Instrument", IMTC, pp. 1008-1011, May, 2005.
- [5] Branko Popović, "Osnovi elektrotehnike 2", Građevinska knjiga, Beograd, 1990.
- [6] P. Dobanovački, S. Skoko, "Električna merenja-praktikum laboratorijskih vežbi", Elektrotehnička škola "Mihajlo Pupin", Novi Sad, Srbija, 2016.

## ABSTRACT

This paper presents a way of applying the measuring instrument VMP 20 in performing laboratory exercises in the subject of Electrical Measurements. The topic of the paper is reactive power compensation in a single-phase power supply system. The paper covers the basic theoretical principles of reactive power compensation and gives an overview of the laboratory exercise. The application of the VMP 20 instrument and the corresponding VMPCalc software has a special advantage in the organization of remote laboratory exercises - online, which is specifically indicated in the paper.

### **Application of the measuring instrument VMP 20 for a laboratory exercise - power factor correction**

Isidora Sabadoš, Nemanja Vidović, Atila Juhas i Saša Skoko