

## Izvor stabilisanog monofaznog napona do 60V, struje do 6A i podesivog ugla između napona i struje u granicama 0 do 360°

Aleksandar Žigić<sup>1</sup>, Srđan Milosavljević<sup>1</sup>, Ivan Lukić<sup>2</sup>, Slobodan Škundrić<sup>1</sup>,  
Dušan Bolić<sup>1</sup>, Nikola Cakić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Univerzitet u Beogradu, Koste Glavinića 8A,  
11000 Beograd, Srbija

<sup>2</sup> SAUTER Srbija, Alekse Nenadovića 15, 11000 Beograd, Srbija

**Kratak sadržaj:** U radu je prikazan realizovani izvor naizmeničnog napona mrežne učestanosti (50Hz) sa dva kanala: naponski do 60 V i strujni do 6A, oba snage 10 VA. Dat je kratak tehnički opis realizovanog uređaja sa funkcionalnim i strukturnim blok dijagramom. Specificirane su osnovne tehničke karakteristike uređaja, koncept rada i mogućnosti primene ovakvog uređaja. U radu su priloženi i rezultati sprovedenih ispitivanja na realizovanom uređaju.

**Ključne reči:** stabilnost napona i struje, linearnost, rezolucija, podešavanje faznog stava, virtualni instrument

### 1. Uvod

U procesu merenja električnih veličina, servisiranja, baždarenja i etaloniranja merne opreme i instrumenata za merenje električnih veličina, izvori stabilisanog i podesivog napona i struje predstavljaju važan segment merne opreme svake metrološke laboratorije [1]. Merno-tehničke karakteristike ovih izvora definišu se za konkretne potrebe određene laboratorije. Laboratorija za etaloniranje Elektrotehničkog instituta „Nikola Tesla“ iskazala je potrebu za jednim izvorom napajanja koji jednovremeno može da obezbedi u dva nezavisna strujna kola stabilisani naizmenični napon do 60 V i stabilnu struju do 6 A. Osnovni tehnički zahtevi bili su:

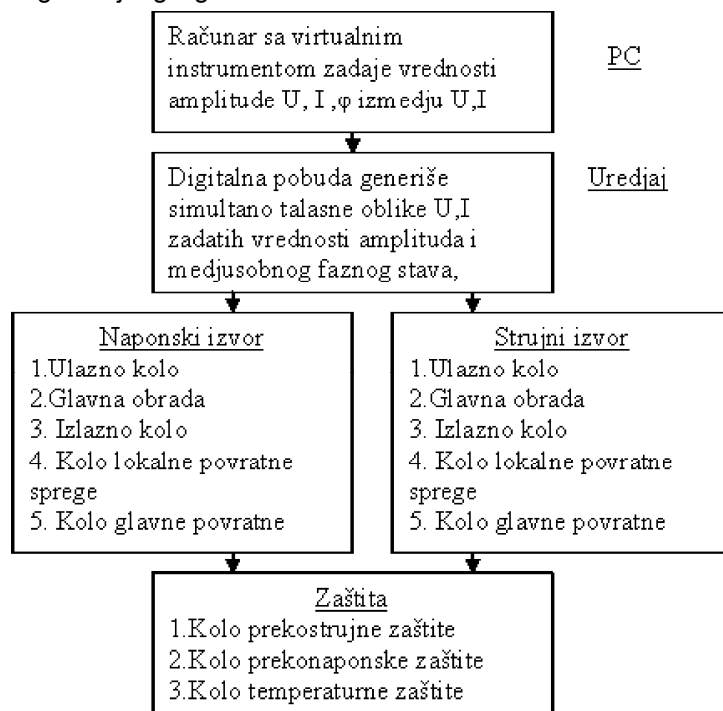
- stabilnost napona i struje bolja od  $\pm 0.1$  % od podešenih vrednosti,
- stabilnost mrežne učestanosti 50 Hz bolja od  $\pm 0.1$  %
- mogućnost rada oba kanala sa opterećenjem do 10 VA.
- mogućnost podešavanja faznog stava između napona i struje u punom opsegu (360°).

- izobličenost izlaznih napona i struje u granicama  $\pm 1\%$ .
- finoća podešavanja (rezolucija) napona od 0.1 V, struje 0.01A, i faznog stava sa  $1^\circ$ ,
- stabilan i pouzdan rad uređaja pri varijaciji mrežnog napona 220 V u opsegu  $\pm 15\%$ .
- stabilan i pouzdan rad uređaja u opsegu temperatura od  $10^\circ\text{C}$  do  $40^\circ\text{C}$

## 2. Opis realizovanog uređaja

Kako je inače rad savremenih metroloških laboratorija (uređaja i instrumenata) skoro u potpunosti oslonjen ili podržan mikroracunarskom tehnologijom to je bilo prirodno da se i koncept rada ovog dvokanalnog izvora napona i struje bazira na PC, odnosno virtualnom uređaju [2]. Na slici 1 prikazana je blok šema realizovanog uređaja pomoću koje se može sagledati princip rada uređaja, njegova funkcionalna i strukturna šema.

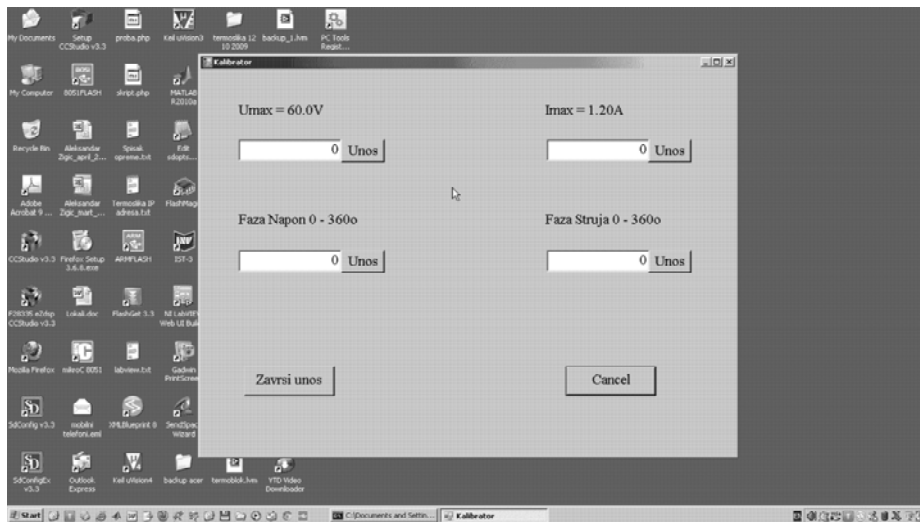
Sistem se sastoji od uređaja koji predstavlja Izvor stabilisanog monofaznog napona do 60V, struje do 6A i podesivog ugla između napona i struje u granicama 0 do  $360^\circ$  i PC preko koga se uređaju zadaju vrednosti amplituda generisanog napona i struje kao i početnih faznih stavova talasa naponskog i strujnog signala.



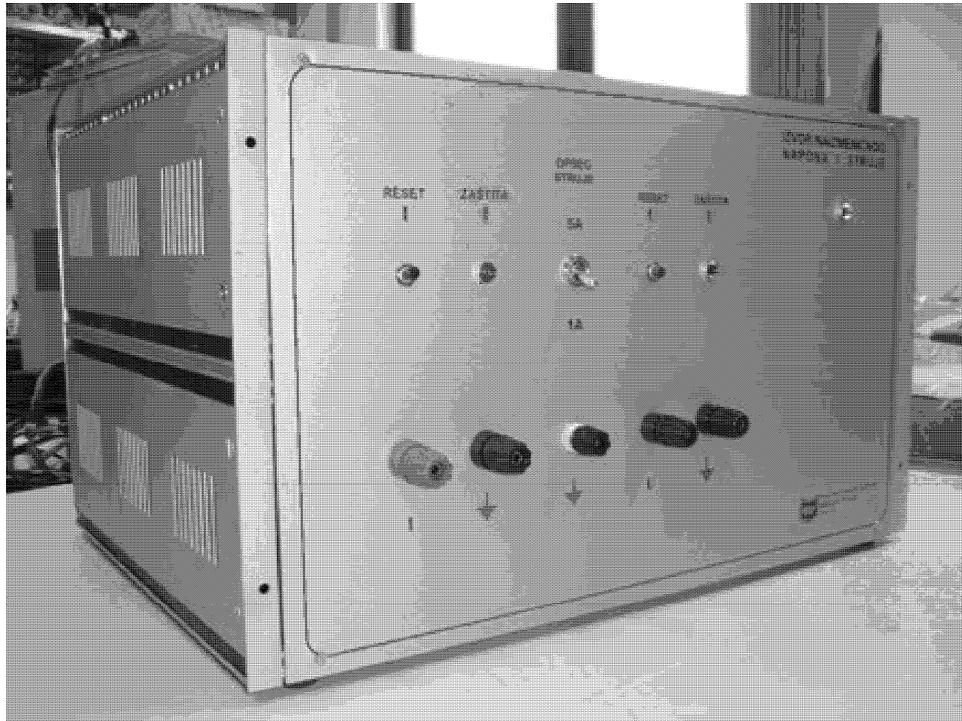
Slika 1. Blok dijagram celokupnog sistema koji uključuje PC i uređaj

Na PC je instaliran program razvijen u programskom paketu Microsoft Visual Studio 2008, Visual C#. Program realizuje unos parametara (amplituda i faza napona i struje) proveru njihove ispravnosti i prenos unetih parametara do uređaja preko serijskog RS232 interfejsa. Izgled prednjeg panela virtualnog uređaja je prikazan na Slici 2.

Izgled prednjeg panela uređaja je dat na Slici 3 Na Slici 3 se vidi da osim naponskih i strujnih priključaka i priključka za uzemljenje postoji i preklopnik za izbor opsega struja (1A ili 5A), svetlosna signalizacija prekostrujne zaštite kod naponskog izvora, odnosno prekonaponske zaštite kod strujnog izvora. Takođe se vidi da postoje i tasteri da operater resetuje naponsku i strujnu zaštitu pošto ukloni razloge koji su doveli do preopterećenja. Na zadnjem panelu se nalazi DB9 konektor za serijsku RS232 komunikaciju sa virtualnim instrumentom koji se izvršava na PC.



Slika 2. Izgled prednjeg panela virtualnog instrumenta



Slika 3. Izgled prednjeg panela uređaja

Uređaj se funkcionalno može podeliti u četiri dela:

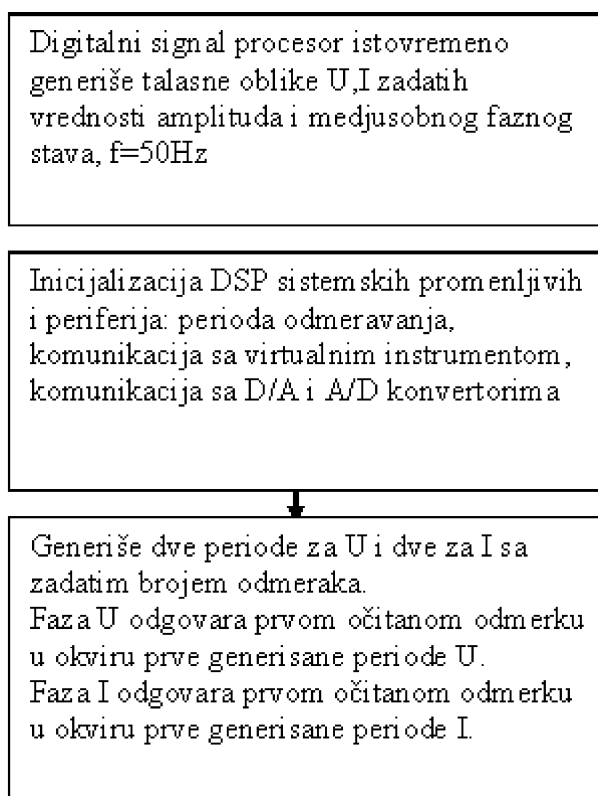
1. Digitalna pobuda
2. Izvor naponskog talasnog oblika zadate amplitude i početne faze
3. Izvor strujnog talasnog oblika zadate amplitude i početne faze
4. Kolo prekonaponske, prekostrujne i temperaturne zaštite

Digitalna pobuda je bazirana na 32-bitnom digitalnom signal kontroleru TMS32F28335 firme Texas Instruments. Na Slici 4 je dat blok dijagram programa koji Preko serijskog interfejsa kontroler prima zadate vrednosti amplituda i faza napona i struje i konstruiše odmerak po odmerak talasne oblike napona i struje. Kontroler ukupno generiše 2880 odmeraka za napon i isto toliko za struju u vremenskom intervalu koji odgovara dve periode, odnosno 40ms. Ovim pristupom početni fazni stav napona i struje se realizuje translacijom potrebnih 1440 odmeraka po 2880 generisanih. Za konverziju digitalnih odmeraka u analogni napon maksimalne amplitude  $\pm 15V$  se koristi 12-bitni digitalno-analogni konvertor AD7945 firme Analog Devices sa frekvencijom odabiranja od 200 kHz.

U okviru digitalne pobude predviđena je i implementacija 16-bitnog analogno/digitalnog konvertora AD974 firme Analog Devices. Njegova funkcija bi bila uvođenje digitalne negativne povratne sprege osim već postojeće dvostruke analogne. Na taj način bi se omogućila i digitalna

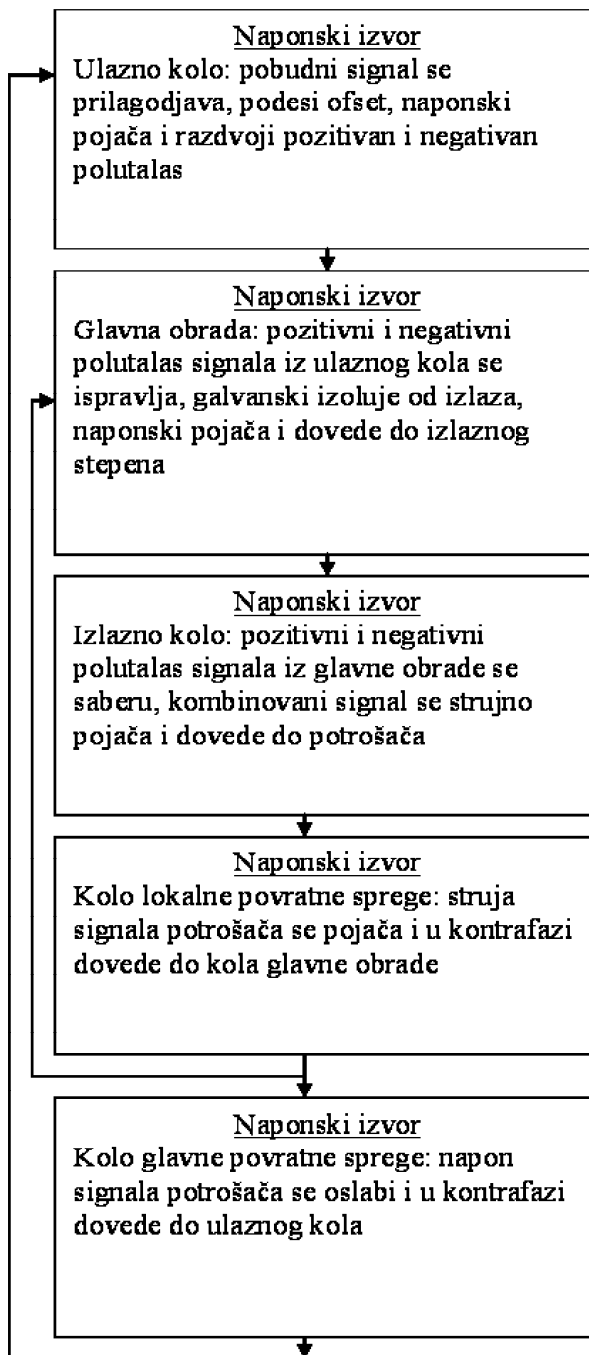
korekcija pobudnog signala napona ili struje, odnosno prikazivanje izmerenih vrednosti napona i struje a ne samo zadatih, čime bi uređaj od izvora postao kalibrator.

Normalizovane naponske i strujne signale koje generiše digitalna pobuda potrebno je dovesti na nivoe koji odgovaraju vrednostima zadatim na virtualnom instrumentu. To se vrši u energetsom delu koji obuhvata funkcionalne blokove 2 i 3, a zajedno sa njima je realizovan i funkcionalni blok 4 koji se odnosi na zaštitu uređaja. se izvršava na kontroleru.



Slika 4. Blok dijagram programa digitalnog signal kontrolera TMS320F28335

Funkcionalni blok 2 realizuje izvor naponskog talasnog oblika zadate amplitude i početne faze. Blok dijagram naponskog izvora je dat na Slici 5.



Slika 5. Blok dijagram naponskog izvora

Kao što se vidi na Slici 5, naponski izvor se može funkcionalno podeliti u pet delova.

Naponski signal iz digitalne pobude prvo se dovodi u ulazno kolo. Tu se signal prilagođava, podesi ofset, naponski pojača i razdvoji pozitivan i negativan polutalas koji se kasnije posebno obrađuju u glavnoj obradi.

U okviru glavne obrade pozitivni i negativni polutalasi signala iz ulaznog kola se ispravljaju, galvanski izoluju od izlaza prolaskom kroz linearnu optokaplernu barijeru, naponski se pojačaju i zatim se dovedu do izlaznog stepena. U kolu glavne obrade je implementirana i ograničena mogućnost ručnog podešavanja nivoa izobličenja naponskog signala na potrošaču, pritom strujni signal može biti izobličen u zavisnosti od vrste potrošača.

Izlazno kolo ima zadatak da kombinuje pozitivni i negativni polutalas signala iz glavne obrade u jedinstveni signal, kombinovani signal se strujno pojača do vrednosti koje zahteva opterećenje i dovede do potrošača.

Sa izlaznog kola se vraćaju dva signala negativne povratne sprege koja regulišu ukupno pojačanje naponskog izvora i nivo izobličenja naponskog signala na potrošaču. U kolu lokalne povratne sprege se naponski signal koji odgovara struji potrošača se vraća do kola glavne obrade dela gde se formira pobuda za izlazne tranzistore snage. U kolu glavne povratne sprege deo napona signala na potrošaču se u kontrafazi se dovodi do ulaznog kola gde se algebarski sabira sa direktnim naponskim signalom.

Na Slici 6 je prikazan blok dijagram funkcionalnog bloka 3 koji realizuje izvor strujnog talasnog oblika zadate amplitude i početne faze.

Obrada strujnog signala je slična obradi naponskog signala. Slika 6 prikazuje pet funkcionalnih blokova koji realizuju strujni izvor.

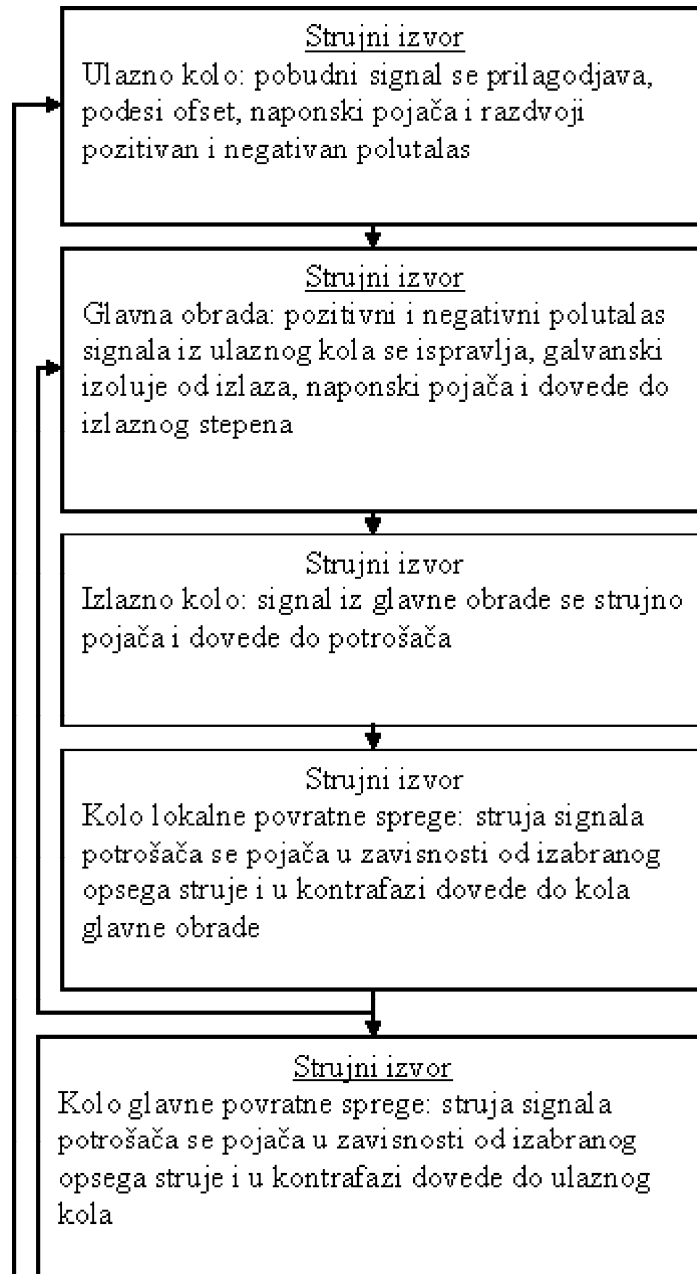
Iz digitalne pobude se strujni signal prvo obrađuje u ulaznom kolu. Strujni pobudni signal se prilagođava, podesi mu se ofset, naponski pojača i razdvoji na pozitivan i negativan polutalas koji se posebno obrađuju.

Iz ulaznog kola strujni signal se dovodi u glavnu obradu gde se pozitivni i negativni polutalasi signala iz ulaznog kola ispravljaju, galvanski izoluju od izlaza prolaskom kroz linearnu optokaplernu barijeru, naponski pojačavaju i prosleđuju do izlaznog stepena. Kao i kod naponskog izvora u kolu glavne obrade se nalazi i ograničena mogućnost ručnog podešavanja nivoa izobličenja strujnog signala na potrošaču, tom prilikom se ne podešavaju nivoi izobličenja naponskog signala koji zavise od vrste opterećenja.

Izlazno kolo ima zadatak da kombinuje pozitivni i negativni polutaladni signal iz glavne obrade u jedinstveni signal, kombinovani signal se strujno pojača do zadate vrednosti i dovede do potrošača. Pritom nivo naponskog signala određuje opterećenje.

Kao i kod naponskog izvora, uvedena je dvostruka negativna povratna sprega koja reguliše kako ukupno pojačanje strujnog izvora tako i nivo izobličenja strujnog signala na potrošaču. U kolu lokalne povratne sprege se prvo struja signala potrošača pojača u zavisnosti od izabranog opsega struje, a zatim se naponski signal koji odgovara struji potrošača se vraća do kola glavne obrade dela gde se formira pobuda za izlazne tranzistore snage. U

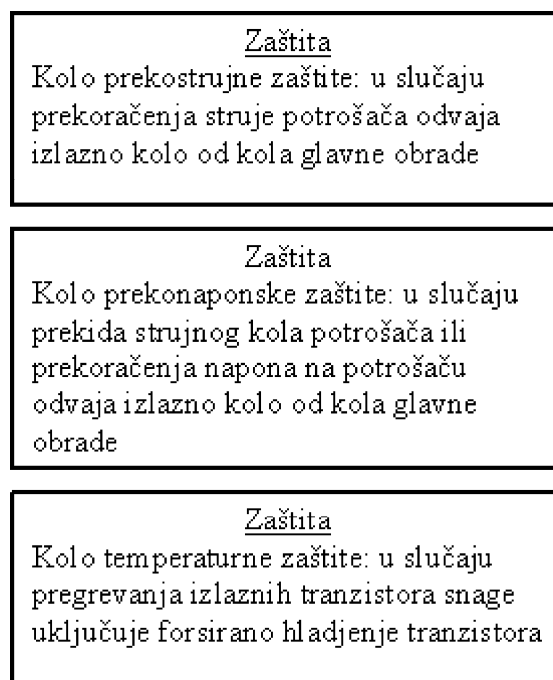
kolu glavne povratne sprege prvo se struja signala na potrošaču u kontrafazi dovodi ulaznog kola a zatim se struja signala potrošača pojača u zavisnosti od izabranog opsega struje.



Slika 6. Blok dijagram strujnog izvora



Funkcionalni blok 4 realizuje zaštitu uređaja od nedozvoljenih stanja. Slika 7. prikazuje kolo za zaštitu. Ono se sastoji od tri funkcionalna dela. Prvo, kolo za prekostrujnu zaštitu naponskog izvora, čiji je zadatak da u slučaju prekoračenja maksimalne dozvoljene struje potrošača odvoji izlazno kolo od kola glavne obrade, uključuje se kad je zadata vrednost napona maksimalna, 60V, a struja opterećenja poraste preko 0.27A. Drugo je kolo za prekonaponsku zaštitu strujnog izvora, čija je funkcija da u slučaju prekida strujnog kola potrošača ili prekoračenja maksimalno dozvoljenog napona na potrošaču odvoji izlazno kolo od kola glavne obrade, uključuje se za zadati opseg struja do 1.2A kad napon na izlaznim priključcima poraste preko 12V, odnosno za zadati opseg od 6A kad napon na izlaznim priključcima poraste preko 5V. Treće je kolo temperaturne zaštite koje štiti izlazne tranzistore snage od pregrevanja, u kom slučaju uključuje ventilator za forsirano hlađenje izlaznih tranzistora strujnog izvora.



Slika 7. Blok dijagram kola za zaštitu

### 3. Ispitivanje realizovanog uređaja

Primarne tehničke karakteristike svakog izvora naizmjenične struje odnose se na stabilnost i izobličenosť podešenih napona i struje. Međutim, kvalitet regulacije (rezolucija i tačnost), uticaj opterećenja i napona napajanja uređaja takođe izvesno govore o kvalitetu realizovanog uređaja.

### 3.1 Ispitivanje stabilnosti podešenih vrednosti napona i struje

Za zadate vrednosti napona od 50 V u naponskom kolu i struje od 1A u strujnom kolu i sa opterećenjem u oba kola od 5 VA, na ispitivanom uređaju sprovedena su merenja napona i struje pomoću referentnog instrumenta (AVO –Meger, tip PMM-1) u periodu od 10 minuta, sa intervalima između merenja približno jednakim u trajanju od oko 40 sekundi.

Varijacija podešenog napona u posmatranom periodu bila je u granicama manjim od  $\pm 0.016$  %, a varijacija zadate struje u granicama manjim od  $\pm 0.03$  %.

### 3.2 Ispitivanje izobličenja

Ispitivanje izobličenosti, odnosno merenje klir faktora kao mere sadržaja harmonika zadatog napona i struje obavljeno je pri različitim vrednostima opterećenja, tačnije u punom radnom opsegu od nule do nominalnog opterećenja (10 VA). Rezultati merenja izobličenosti napona dati su u Tabeli 1, a izobličenosti struje u Tabeli 2.

**Tabela 1.** Rezultati merenja izobličenosti napona pri različitim vrednostima opterećenja.

$U_z$ (v)	$S$ (VA)	$k$ (%)
50	0	0.03
	2.5	0.13
	5	0.13
	7.5	0.14
	10	2.48

**Tabela 2.** Rezultati merenja izobličenosti struje pri različitim vrednostima opterećenja

$I_z$ (A)	$S$ (VA)	$k$ (%)
1	1	0.56
	2.5	0.55
	5	0.57
	7.5	0.53
	10	0.58

### 3.3 Ispitivanje podešavanja izlaznog napona i struje

Ispitivanje tačnosti podešavanja izlaznog napona i struje sprovedeno je u celom radnom opsegu napona i struje i pri različitim vrednostima opterećenja. Merenje izlaznih napona i struje obavljeno je sa digitalnim multimetrom Agilent, tip 34401A. Rezultati merenja izlaznog napona dati su u Tabeli 3 a rezultati merenja struje u Tabeli 4

**Tabela 3** Merenje izlaznog napona

$U_z$ (V)	$U_T$ (V)	S (VA)	G (%)
0	0.0018	0	-0.003
10	10.0263		-0.044
20	20.050		-0.083
30	30.075		-0.125
40	40.105		-0.175
50	50.134		-0.223
60	60.104		-0.173
10	10.0055	2.5	-0.009
30	30.036		-0.060
60	60.105		-0.175
10	10.0002	5	0.000
30	30.017		-0.028
60	60.068		-0.113
10	9.9937	7.5	0.010
30	29.999		0.002
60	60.072		-0.120
10	9.9881	10	0.020
30	29.984		0.027
60	59.896		0.173

**Tabela 4** Merenje izlazne struje

$I_z$ (A)	$I_T$ (A)	S (VA)	G (%)
0.1	0.09999	0.5	0.010
0.25	0.24975		0.100
0.5	0.49938		0.124
0.75	0.74935		0.087
1.00	0.99983		0.017
1.200	1.2010		-0.083
0.5	0.49967	5	0.066
1.0	1.00045		-0.045
0.5	0.49987	10	0.026
1.0	1.00097		-0.097
1	0.99965	0.5	0.035
2	2.0014		-0.070
3	3.0007		-0.023
4	4.0016		-0.040
5	5.0052		-0.104
6	6.0143		-0.238
5	5.0050		5.5
5	5.0067	10.5	-0.134

### 3.4 Ispitivanje podešavanja faznog stava između napona i struje

Merenje faznog stava između podešenih vrednosti napona i struje realizovano je za ceo opseg podešavanja faznog stava od 360°. Kao referentni instrumenta korišćen je digitalni multimeter (AVO –Meger, tip PMM-1). Rezultati merenja prikazani su u Tabeli 5.

**Tabela 5** Merenje međufaznog stava izlaznog napona i struje

$U_z$ (V)	$I_z$ (A)	S (VA)	$\varphi_z$ (°)	$\varphi_T$ (°)	$\Delta\varphi$ (°)
50	1.00	5.5	0	1.80	-1.80
			30	31.80	-1.80
			60	61.81	-1.81
			90	91.75	-1.75
			120	121.75	-1.75
			150	151.76	-1.76
			180	180.20	-1.80
			210	151.80	-1.80
			240	121.78	-1.78
			270	91.77	-1.77
			300	61.77	-1.77
			330	31.77	-1.77
			360	1.77	-1.77

U tabelama su korišćene sledeće skraćenice i oznake:

$U_z$  – zadata vrednost izlaznog napona,  $I_z$  – zadata vrednost izlazne struje,  $k$  – klir faktor,  $U_T$  – tačna vrednost električnog napona izmerena referentnim instrumentom,  $I_T$  – tačna vrednost električne struje izmerena referentnim instrumentom,  $\varphi_z$  – zadata vrednost izlaznog međufaznog stava izlaznog napona i struje,  $\varphi_T$  – tačna vrednost međufaznog stava izmerena referentnim instrumentom,  $G$  – relativna greška merenja u odnosu na opseg napona ili struje,  $\Delta\varphi$  – apsolutna greška u podešavanju ugla

Svi korišćeni referentni instrumenti su etalonirani i imaju mernu sledivost do nacionalnih etalona. Merna nesigurnost u merenju napona i struje bolja je od 0,1 %, u merenju ugla manja je od 0,1°, a u merenju klir faktora manja je od 0,05 %.

## 4. Zaključak

Analizom rezultata ispitivanja prikazanim u poglavlju 3 može se zaključiti da je realizovani uređaj ispunio merno-tehničke zahteve specificirane u uvodu ovog rada.

Stabilnost podešenih vrednosti napona i struje znatno je bolja od  $\pm 0.1\%$ . Prisustvo harmonika, odnosno klir faktor kao mera izobličenosti podešenog napona manji je od 1 %.

Odstupanja zadatih vrednosti napona, struje i međusobnog faznog stava od stvarnih (tačnih) je takva da upućuje da se realizovani izvor napona i struje može primeniti i kao kalibrator klase tačnosti 0.2.

Izvesno je da realizovani uređaj predstavlja solidnu osnovu za razvoj kalibratora za etaloniranje instrumenata za merenje električnih veličina (ampermetra, voltmetra, vatmetra, varmetra, merila faktora snage ) najveće klase tačnosti.

## Literatura

- [1] H. Goldberg, "What is Virtual Instrumentation" *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, vol. 3, no. 4, pp. 10 - 13, 2000.
- [2] B. A. Galwas, R. J. Rak, "Virtual Laboratory – a Future Part of the New Web-Based Model of Undergraduate Engineering Studies Developed by Warsaw University of Technology", *Joint IMEKO TC-1 and XXXIV MKM Conference*, Wroclaw, September 8 – 12, 2002.

**Abstract:** This paper describes a realized AC voltage power supply source of 50Hz with two outputs: voltage to 60V and current to 6A, with maximum generated power of 10VA both. A short technical description of the realized device with a structural and functional block diagram is given. The main technical characteristics, working principles and application possibilities of the device are specified. The results of the investigations on the realized device are included.

**Keywords:** voltage and current stability, linearity resolution, phase angle adjustment, virtual instrument

## Source of Stable Single Phase Voltage to 60V, Current to 6A and Adjustable Angle between Voltage and Current from 0 to 360°

Rad primljen u uredništvo 26.8.2013. godine

Rad prihvaćen 1.10 2013. godine