

INSTITUT ZA RUDARSTVO I METALURGIJU BOR

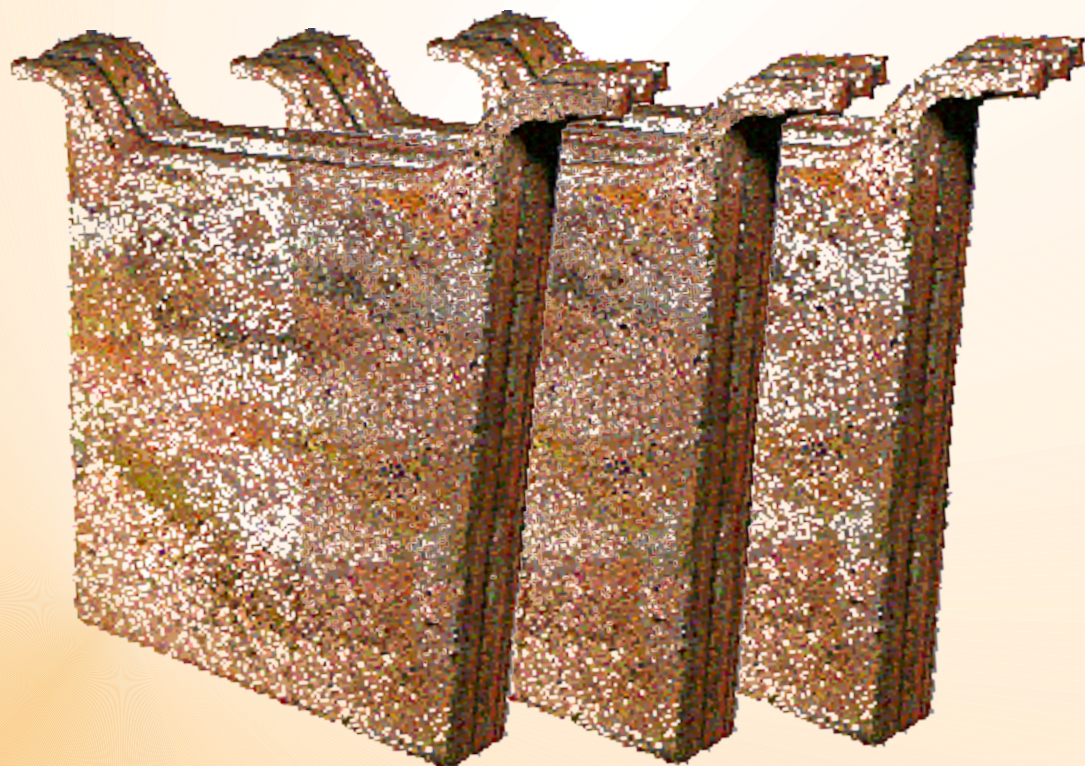


Cu

UDC 669.3  
ISSN 0351-0212

Broj 1 Volumen 47 2022

# BAKAR COPPER



---

**BAKAR** je časopis baziran na bogatoj tradiciji stručnog i naučnog rada ne samo iz oblasti dobijanja i prerade bakra, već i iz oblasti obojene i crne metalurgije, tehnologije, nanotehnologije, hemije, pripreme mineralnih sirovina, zaštite životne sredine, energetske efikasnosti, i primenjene informatike i povezanih srodnih oblasti.

Izlazi dva puta godišnje još od 1968. godine.

**Glavni i odgovorni urednik**

Dr Milenko Ljubojević, *naučni savetnik*,  
*redovni član IAS*  
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor  
E-mail: [milenko.ljubojev@irmbor.co.rs](mailto:milenko.ljubojev@irmbor.co.rs)  
Tel. 030/454-110

**Zamenik glavnog i odgovornog urednika**

Dr Ana Kostov, *naučni savetnik*  
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor  
E-mail: [ana.kostov@irmbor.co.rs](mailto:ana.kostov@irmbor.co.rs)  
Tel. 030/454-108

**Urednik**

Vesna Marjanović, *dipl.inž.*

**Prevodilac**

Nevenka Vukašinović, *prof.*

**Tehnički urednik**

Suzana Cvetković, *teh.*

**Priprema za štampu**

Vesna Simić, *teh.*

**Štampa**

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

**Tiraž:** 30 primeraka

**Internet adresa**

[www.irmbor.co.rs](http://www.irmbor.co.rs)

**Izdavanje časopisa finansijski podržavaju**

Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog  
razvoja Republike Srbije  
Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

**ISSN 0351-0212**

*Indeksiranje časopisa u SCIndeksu i u ISI.*

**Izdavač**

Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor  
19210 Bor, Zeleni bulevar 35  
E-mail: [institut@irmbor.co.rs](mailto:institut@irmbor.co.rs)  
Tel. 030/454-101

**Sva prava zadržana.**

**Uređivački odbor**

Dr Mile Bugarin, *naučni savetnik*  
*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*  
Prof. dr Tatjana Volkov Husović, *red. prof.*  
*Tehnološko-metalurški fakultet Beograd*  
Dr Silvana Dimitrijević, *viši naučni saradnik*  
*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*  
Doc. dr Bojan Jokić, *docent*  
*Fakultet primenjenih umetnosti u Beogradu*  
Dr Ana Kostov, *naučni savetnik*  
*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*  
Dr Lidija Mančić, *naučni savetnik*  
*Institut tehničkih nauka SANU*  
Dr Dragan Milanović, *naučni savetnik*  
*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*  
Dr Aleksandra Milosavljević, *viši naučni saradnik*  
*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*  
Prof. dr Duško Mimić, *red. prof.*  
*Fakultet tehničkih nauka Kosovska Mitrovica*  
Dr Milanče Mitovski  
*Redovni član IAS*  
Dr Miroslav Sokić, *naučni savetnik*  
*Institut za tehnologiju nuklearnih i drugih*  
*mineralnih sirovina Beograd*  
Dr Jasmina Stevanović, *naučni savetnik*  
*Institut za hemiju, tehnologiju i*  
*metalurgiju Beograd*  
Dr Srećko Stopić  
*RWTH Aachen, IME Aachen, Nemačka*  
Dr Nadežda Talijan, *naučni savetnik*  
*Institut za hemiju, tehnologiju i*  
*metalurgiju Beograd*  
Dr Viša Tasić, *naučni savetnik*  
*Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor*

---

---

**COPPER** is a journal based on the rich tradition of expert and scientific work not only in the field of copper production and treatment, but also in the field of non-ferrous and ferrous metallurgy, technology, nanotechnology, chemistry, mineral processing, ecology, energy efficiency, applied informaticc, as well as related fields of science. Since 1968, published twice a year.

**Editor-in-Chief**

Ph.D. Milenko Ljubojev, *Principal Research Fellow, full member of ECS*  
Mining and Metallurgy Institute Bor  
E-mail: [milenko.ljubojev@irmbor.co.rs](mailto:milenko.ljubojev@irmbor.co.rs)  
Phone: +38130/454-110

**Co-Editor**

Ph.D. Ana Kostov, *Principal Research Fellow*  
Mining and Metallurgy Institute Bor  
E-mail: [ana.kostov@irmbor.co.rs](mailto:ana.kostov@irmbor.co.rs)  
Phone: +38130/454-108

**Editor**

Vesna Marjanović, *B.Eng.*

**English Translation**

Nevenka Vukašinović

**Technical Editor**

Suzana Cvetković

**Preprinting**

Vesna Simić

**Printed in**

Mining and Metallurgy Institute Bor

**Circulation:** 30 copies

**Web site**

[www.irmbor.co.rs](http://www.irmbor.co.rs)

**COPPER is financially supported by**

The Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic Serbia  
Mining and Metallurgy Institute Bor

**ISSN 0351-0212**

*Journal indexing in SCIndex and ISI.*

**Published by**

Mining and Metallurgy Institute Bor  
19210 Bor, Zeleni bulevar 35  
E-mail: [institut@irmbor.co.rs](mailto:institut@irmbor.co.rs)  
Phone: +38130/454-101

**All rights reserved.**

**Editorial Board**

Ph.D. Mile Bugarin, *Principal Research Fellow*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*  
Prof.Ph.D. Tatjana Volkov Husović  
*Faculty of Technology and Metallurgy Belgrade*  
Ph.D. Silvana Dimitrijević,  
*Senior Research Associate*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*  
Ph.D. Bojan Jokić  
*Faculty of Applied Arts in Belgrade*  
Ph.D. Ana Kostov, *Principal Research Fellow*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*  
Ph.D. Lidija Mančić, *Principal Research Fellow*  
*Institute of Technical Science of SASA*  
Ph.D. Dragan Milanović, *Senior Research Associate*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*  
Ph.D. Aleksandra Milosavljević,  
*Senior Research Associate*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*  
Prof.Ph.D. Duško Minić  
*Faculty of Technical Sciences Kosovska Mitrovica*  
Ph.D. Milanče Mitovski  
*Full member of ECS*  
Ph.D. Miroslav Sokić, *Principal Research Fellow*  
*Institute for Technology of Nuclear and Other*  
*Raw Materials Beograd*  
Ph.D. Jasmina Stevanović, *Principal Research Fellow*  
*Institute of Chemistry, Technology and*  
*Metallurgy Belgrade*  
Ph.D. Srećko Stopić  
*RWTH Aachen, IME Aachen, Germany*  
Ph.D. Nadežda Talijan, *Principal Research Fellow*  
*Institute of Chemistry, Technology and*  
*Metallurgy Belgrade*  
Ph.D. Viša Tasić, *Principal Research Fellow*  
*Mining and Metallurgy Institute Bor*

UDK: 621.313.12(045)=163.41

Primljen: 02.03.2022.

NAUČNI RAD

Prerađen: 01.04.2022.

Oblast: Energetika

Prihvaćen: 14.04.2022.

**DOPRINOS U OTKLANJANJU SMETNJI NA MERENJE  
FREKVENCije TROFAZNOG AC GENERATORA**

**CONTRIBUTION IN ELIMINATION OF INTERFERENCE FOR  
FREQUENCY MEASUREMENT OF THREE-PHASE AC GENERATOR**

Ivana Randelović<sup>1</sup>, Miroljub Pešić<sup>1</sup>, Viša Tasić<sup>2</sup>,  
Marijana Pavlov-Kagadejev<sup>2</sup>, Vladan Miljković<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu, Niš

<sup>2</sup>Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Bor

E-mail: visa.tasic@irmbor.co.rs

**Izvod**

*Poslednjih godina se posebna pažnja posvećuje razvoju obnovljivih izvora energije. Uzimajući u obzir ovaj trend razvoja kao deo brzog razvoja industrije, predlaže se doprinos u radu uređaja za merenje frekvencije trofaznog vetrogeneratora u cilju smanjenja uticaja smetnji na merenje frekvencije. Prezentovano je detaljno rešenje samog uređaja za merenje frekvencije trofaznog AC generatora iz opsega 1-100 Hz. Ovaj uređaj koristi međufazni naizmenični napon i na svom izlazu daje jednosmerni napon u opsegu 0-5V DC, koji je proporcionalan frekvenciji 1-100 Hz i galvanski je izolovan od ulaznog signala. Tako dobijen izlazni signal je pogodan za dalju obradu u distribuiranim sistemima upravljanja. Smetnje koje nastaju u samom generatoru ili okolnim uređajima se mogu superponirati izlaznom naponu generatora i time mogu da značajno umanje tačnost merenja. Zato se u radu predlaže dodatno niskofrekventno filtriranje signala čime bi se značajno smanjila moguća greška merenja periode ulaznog signala.*

**Ključne reči:** merenje, frekvencija, vetrogenerator

**Abstract**

*In recent years, a special attention has been paid to the development of renewable energy sources. Taking into account this development trend as a part of the rapid industry development, it is proposed to contribute to the operation of devices for measuring the frequency of three-phase wind turbines in order to reduce the impact of interference on frequency measurement. It presents a detailed solution of a device for measuring the frequency of a three-phase AC generator in the range of 1-100 Hz. The device uses an intermediate phase AC voltage which at its output gives a DC voltage in the range 0-5V DC that is proportional to the frequency 1-100 Hz and is galvanically isolated from the input signal. The output signal thus obtained is suitable for further processing in distributed control systems. Interferences occurring in the generator itself or surrounding devices can be superimposed on the generator output voltage and thus can significantly reduce the measurement accuracy. Therefore, the paper proposes an additional low-frequency signal filtering, which would significantly reduce the possible error of measuring period of the input signal.*

**Keywords:** measurement, frequency, wind generator

## 1. UVOD

Obnovljivi izvori energije su danas sve više prisutni kao izvori energije u savremenim distributivnim sistemima, a među njima posebno se ističu i vetro turbine čiji je napredak u tehničkom i tehnološkom smislu nastao kao posledica ekoloških i energetske probleme [1,2]. Najbrži rastući izvor energije predstavlja energija vetra koja se do sada pokazala kao ozbiljan obnovljivi izvor energije. Očekuje se da će energija vetra kao novi izvor obnovljive energije postati ekonomski konkurent konvencionalnim izvorima energije. Sa ekološkog aspekta, energija vetra je čista, ne zagađuje vazduh, ne proizvodi otpad. Zasni va se na principu pretvaranja kinetičke energije u mehaničku, a potom transformacijama u električnu energiju koja se potom distribuira energets kom sistemu. U cilju obezbeđenja pouzdanog rada vetro turbine u uslovima promenljivog vetra potrebno je razmatrati parametre kao što su napon, frekvencija, vibracije, itd. U skladu sa tim, u radu se predlaže dogradnja uređaja za merenje frekvencije trofaznog vetro generatora u cilju smanjenja uticaja smetnji na merenje frekvencije.

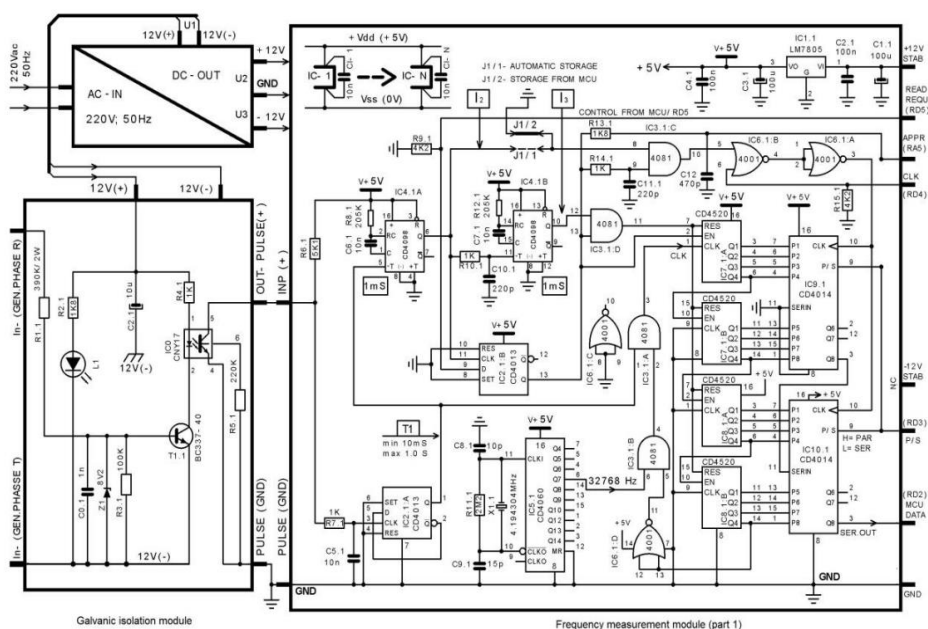
## 2. ANALIZA RADA UREĐAJA ZA MERENJE FREKVENCIJE TROFAZNOG AC GENERATORA U CILJU SMANJENJA UTICAJA SMETNJI NA MERENJE FREKVENCIJE

Merenjem trajanja perioda određuje se frekvencija trofaznog AC generatora. Uređaj za merenje frekvencije prikazan u referenci [1] sastoji se od modula za napajanje, modula za galvansku izolaciju i modula za merenje frekvencije sastavljenog iz dva dela: merenje periode ulaznog signala i pretvaranje vremena u analogni signal, gde je prvi deo prikazan na slici 1.

Pri merenju se napon između dve faze jednostrano ispravlja i preko optokapera prenosi kao galvanski izolovan logički signal TTL nivoa, čija se frekvencija meri digitalnim logičkim kolima. Princip merenja se sastoji u sledećem: logički signal na prijemnoj strani optokapera dobija se jednostranim ispravljanjem napona između dve faze; zatim se signal vodi na T-flip flop (reaguje na prednju ivicu) koji njegovu frekvenciju deli sa 2, čime se dobija logička jedinica trajanja  $T_x$  čije se trajanje meri, i koja se vodi na jedan ulaz I kola IC3.1A. Na drugi ulaz tog gejt a se vodi takt frekvencije 32768 Hz. Perioda signala je direktno srazmerna broju taktnih impulsa propuštenih kroz gejt IC3.1A.

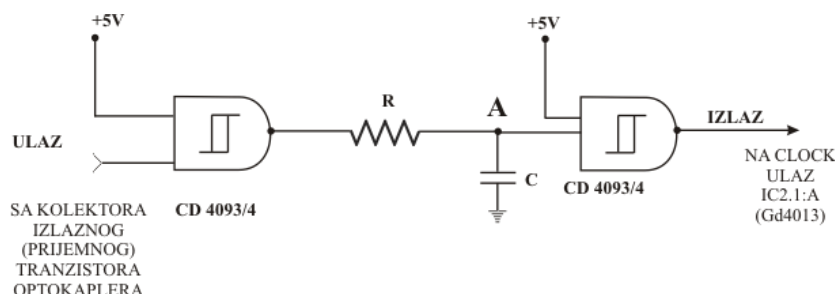
Smetnje koje nastaju u samom generatoru ili okolnim uređajima se mogu superponirati izlaznom naponu generatora i mogu da značajno umanje tačnost merenja. Uticaj impulsnih smetnji se može smanjiti niskofrekventnim filtrima čiju vremensku konstantu treba pažljivo odabrati kako se ne bi stvarala dodatna greška izobličavanjem signala  $T_x$ .

Na osnovu električne šeme sa slike 1, može se videti da na predajnoj strani optokaplera postoji vremenska konstanta od  $\approx 80\mu\text{s}$  ( $R_{1,1}=390\text{k}\Omega$ ,  $R_{3,1}=100\text{k}\Omega$  i  $C_{0,1}=1\text{nF}$ ) koja predstavlja niskofrekventni filter. Takođe, na prijemnoj strani optokaplera postoji vremenska konstanta od  $10\mu\text{s}$  ( $R_{7,1}=1\text{k}\Omega$  i  $C_{5,1}=10\text{nF}$ ). Ove RC konstante mogu da filtriraju uže impulse smetnje, ali impulsne smetnje dužeg trajanja ipak mogu da prođu dalje i izazovu grešku merenja  $T_x$ . Uticaj impulsnih smetnji se može smanjiti niskofrekventnim filterima čiju vremensku konstantu treba pažljivo odabrati kako se ne bi stvarala dodatna greška izobličavanjem signala  $T_x$ .



Sl. 1. Električna šema uređaja za merenje frekvencije – merenje periode ulaznog signala [1]

Zato se predlaže dodatno niskofrekventno filtriranje signala čime bi se značajno smanjila moguća greška merenja  $T_x$ . To se najjednostavnije može uraditi iza prijemne strane optokaplera, gde bi se umesto  $R_{7,1}$  i  $C_{5,1}$  ugradilo kolo prikazano na slici 2.

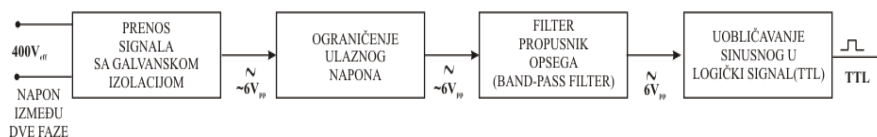


Sl. 2. Šema kola za dodatno niskofrekventno filtriranje signala

Realizovano kolo je kombinacija dva CMOS NI kola sa Šmitovim ulazima između kojih je umetnuto RC kolo koje predstavlja niskofrekventni filter. Pogodnim izborom vrednosti RC konstante mogu se efikasno filtrirati i impulsne smetnje dužeg trajanja. Na ovaj način, impulsi smetnji su eliminisani iz izlaznog signala pogodnim izborom RC konstante. Ukoliko je potrebno sačuvati širok opseg merenja (1-100) Hz, tada vremenska konstanta RC treba da bude do oko 1.5ms. (npr., 150k $\Omega$  i 10nF) kako bi se signal od 100 Hz verno preneo na merenje  $T_x$ . U slučaju manjeg opsega merenja, npr. do 60 Hz, vremenska konstanta bi trebalo da iznosi do oko 2.7 ms (npr., 270k $\Omega$  i 10nF).

Kada se frekvencija trofaznog generatora menja u širokom opsegu od reda 1Hz i sve do 100Hz, tada se koristi sprega pomoću optokaplera jer se jedino tako mogu prenositi niske frekvencije reda Hz. Transformatorska sprega se ne može koristiti za prenos signala vrlo niske frekvencije. Ukoliko se frekvencija generatora kreće u opsegu viših frekvencija, na primer od 45Hz do 55Hz, tada se za merenje periode  $T_x$  može primeniti transformatorska sprega.

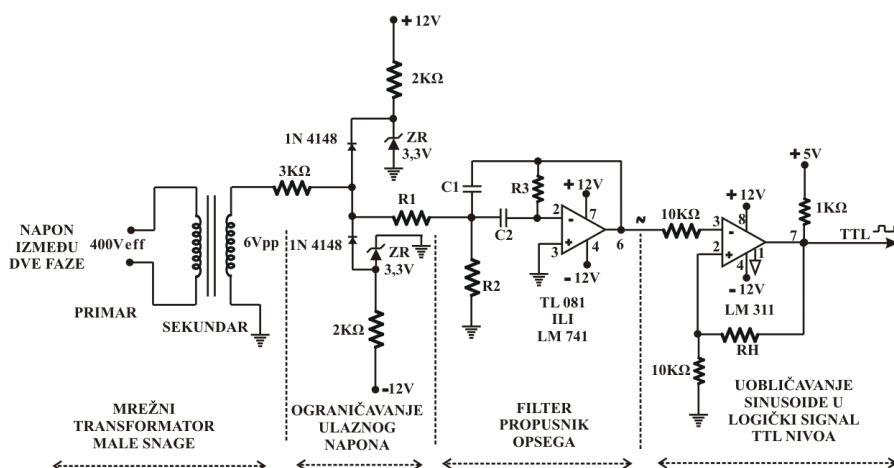
Pored toga, može se obaviti potiskivanje impulsnih smetnji, ali i filtriranje viših harmonika i dobijanje vrlo „čistog“ signala u slučaju kada generator daje signal sa izobličenjima (odstupanje od idealne sinosoida) koja takođe mogu dovesti do greške u merenju. Prenos signala sa generatora do kola za merenje (filtriranje smetnji i uobličavanje sinusnog signala u logički TTL signal) prikazano je blok šemom na slici 3, dok je detaljna električna šema data na slici 4.



Sl. 3. Blok šema prenosa signala

Prenos signala frekvencije trofaznog generatora se vrši pomoću mrežnog transformatora male snage, dovoljno je 1W. Primar se vezuje za napon između dve faze i projektuje se za 400 V<sub>eff</sub>. Kako se prenosi samo signal frekvencije generatora, dovoljno je da je napon sekundara 6 V<sub>pp</sub>, tj. 2.12 V<sub>eff</sub>. Ovakav način prenosa merne

informacije, tj. frekvencije generatora, obezbeđuje galvansku izolaciju između generatora i mernog kola.



Sl. 4. Električna šema prenosa signala frekvencije trofaznog generatora

Na sekundar transformatora prikazanog na slici 4 se mogu preneti i impulsne smetnje koje mogu izlaz operacionog pojačavača za dalju obradu signala odvesti u zasićenje ili čak oštetiti njegov ulazni stepen. Zato se iza sekundara stavlja stepen za ograničavanje ulaznog napona. Stepem je sa zener diodama od 3.3V i komutirajućim diodama 1N4148. Na ovaj način se nakon otpornika od 3kΩ dobija sinusni signal koji može da varira u opsegu od oko -4V do oko +4V. Ograničavač ulaznog napona eliminiše veće impulsne smetnje i signal ograničava do vrednosti  $\pm 4$  V, ali i dalje postoji mogućnost da je napon na sekundaru izobličen u odnosu na idealnu sinusoidu. Ovakvo izobličenje stvara više harmonike mrežne frekvencije i to može, takođe, dovesti do grešaka u merenju. Zato se merni signal nakon ograničenja amplitude ulaznog signala vodi na filter propusnik opsega frekvencije (band-pass filter) koji propušta samo osnovni harmonik frekvencije generatora i skoro potpuno filtrira više harmonike. Filter propusnik opsega frekvencije je realizovan sa brzim operacionim pojačavačem TL081 koji se napaja sa  $\pm 12$  V DC. Otpornik od 3kΩ iz ograničavača ulaznog napona je deo otpornika  $R_1$ . Filter se projektuje npr. za sledeće parametre: centralna frekvencija  $f_0=50$ Hz; pojačanje na  $f_0$  je približno 1; propusni opseg  $B=10$  Hz (od 45 Hz do 55 Hz). U referenci [3] date su preporuke kao i izrazi za brzo nalaženje pasivnih elemenata filtra  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $C_1$ , i  $C_2$ . Željeni filter propusnik opsega se dobija za vrednosti parametara  $R_1=33$ kΩ (redna veza 3kΩ i 30kΩ);  $R_2=750$ Ω,  $R_3=62,56$ kΩ (redna veza 62kΩ i 560Ω);  $C_1=C_2=0,47$ μF. Centralna frekvencija filtra  $f_0=49.995$  Hz se dobija za nominalne vrednosti navedenih pasivnih komponenata. Propusni opseg i centralna frekvencija se mogu zadati i sa drugačijim vrednostima. Signal frekvencije trofaznog

generatora očišćen od impulsnih smetnji i viših harmonika se konačno vodi na naponski komparator LM311 kako bi se uobličio u pravougaoni impulsni signal TTL nivoa, koje se vode na merenje  $T_x/f_x$ . Izlaz LM311 je sa otvorenim kolektorom i sa pratećim otpornicima kao na slici 4, gde se direktno dobijaju pravougaoni impulsi TTL nivoa. Ukoliko se želi naponski histerezis  $\Delta V_H$  u kolu naponskog komparatora tada se vrednost otpornika  $R_H$  određuje prema formuli (1):

$$\Delta V_H = \frac{10k\Omega}{10k\Omega + R_H} \Delta V_{OUT} \quad (1)$$

gde je  $\Delta V_{OUT} = 5V$  DC. Ukoliko histerezis nije potreban  $R_H$  se izostavlja iz kola ( $R_H = \infty$ ).

### 3. ZAKLJUČAK

U ovom radu predlaže se poboljšanje uređaja za merenje frekvencije trofaznog vetrogeneratora u cilju smanjenja uticaja smetnji na merenje frekvencije. Smetnje koje nastaju u samom generatoru ili okolnim uređajima se mogu superponirati izlaznom naponu generatora i time mogu da značajno umanje tačnost merenja. Predloženo poboljšanje ogleda se u primeni dodatnog niskofrekventnog filtriranja ulaznog signala čime bi se značajno smanjila moguća greška merenja periode ulaznog signala. Takođe, u radu je predložena i modifikacija uređaja za merenje frekvencije vetrogeneratora dogradnjom transformatorske sprege, za slučaj kada je potrebno meriti frekvenciju generatora iz opsega od 45 Hz do 55 Hz.

### ZAHVALNICA

*Ovaj rad je finansijski podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, (Ugovor o realizaciji i finansiranju naučno-istraživačkog rada u 2022. godini za Elektronski fakultet u Nišu, br. 451-03-68/2022-14/200102, i za Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor br. 451-03-68/2022-14/200052).*

### LITERATURA

- [1] V. Tasić, R. Jeremijić, M. Pavlov-Kagadejev, V. Despotović, I. Stojković, Measurement of Three-phase Generator Frequency by Using the PIC Microcontroller, 7<sup>th</sup> International Conference on Renewable Electrical Power Sources Belgrade, October 17–18, 2019, str. 101-106, ISBN 978-86-81505-97-7.
- [2] B. Radičević, D. Mikičić, Savremena rešenja za dobijanje električne energije u vetroelektranama male i velike snage, Poljoprivredna tehnika, XXXI (2006), 3, pp. 103–111.
- [3] D.M. Pantić, J.S. Pešić, Primena linearnih integrisanih kola, 5.izdanje, Tehnička knjiga, Beograd, ISBN 86-325-0036-1.

**SADRŽAJ**  
**CONTENS**

---

Radojko Gordić, Miladin Gligorić, Darko Reljić, Đorđe Janačković

**NAČIN DOBIJANJA CaO POTREBNE REAKTIVNOSTI  
ZA RAVNOMERNO IZDVAJANJE H<sub>2</sub> KOD GRAĐEVINSKIH  
„GAS BLOKOVA“**

METHOD OF CaO OBTAINING OF REQUIRED REACTIVITY FOR UNIFORMLY  
H<sub>2</sub> DISTRIBUTION IN THE AERATED CONCRETE CONSTRUCTION BLOCKS ..... 1

Ivana Randelović, Miroljub Pešić, Viša Tasić, Marijana Pavlov-Kagadejev,  
Vladan Miljković

**DOPRINOS U OTKLANJANJU SMETNJI NA MERENJE FREKVENCIJE  
TROFAZNOG AC GENERATORA**

CONTRIBUTION IN ELIMINATION OF INTERFERENCE FOR  
FREQUENCY MEASUREMENT OF THREE-PHASE AC GENERATOR ..... 13

Nenad Marković, Slobodan Bjelić, Filip Marković

**MODELOVANJE EKSTREMNIH REŽIMA NA VODU SA  
RASPODELJENIM PARAMETRIMA I II ŠEME VODA NA  
KOJI JE PRIKLJUČEN JEDNOFAZNI TRANSFORMATOR**

MODELING OF EXTREME REGIMES ON LINE WITH DISTRIBUTED  
PARAMETERS AND II SCHEMES LINE WITH CONNECTED  
SINGLE PHASE TRANSFORMER ..... 19

Aleksandar Savić, Radan Kostić

**TRANZICIJA NEZAPOSLENOSTI KAO FAKTOR RASTA  
METALURUŠKE INDUSTRIJE**

TRANSITION OF UNEMPLOYMENT AS A FACTOR OF  
GROWTH THE METALLURGICAL INDUSTRY ..... 33

---