

## Pregled metoda za eliminisanje uticaja sistemske smetnje u aktivnom visokonaponskom postrojenju

VOJIN I. KOSTIĆ, Univerzitet u Beogradu,  
Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“ a.d, Beograd

*Stručni rad*  
UDC: 621.314.222.6  
DOI: 10.5937/tehnika2104467K

*U ovom radu, diskutovani su praktični i konceptijski problemi vezani za način potiskivanja ili eliminisanja uticaja sistemske smetnje (na frekvenciji 50 Hz) u aktivnom visokonaponskom postrojenju. Problem je relevantan u kontekstu merenja sigurnosnih karakteristika sistema uzemljenja: impedansa sistema uzemljenja, napon dodira i napon koraka. U radu je dat evolutivni pregled naslovnih metoda. Pregled je fokusiran na karakteristične probleme i nedostatke pojedinačnih metoda. Takođe, elaborirane su osnovne karakteristike autorovog FSM (Frequency Shift Method) metoda, koji garantuje preciznu kontrolu sistemske smetnje. U tom smislu, FSM metod predstavlja osnovu za precizno i ekonomično merenje sigurnosnih karakteristika sistema uzemljenja.*

**Ključne reči:** uzemljenje, ispitivanje sistema uzemljenja, sistemska smetnja

### 1. UVOD

Sigurnosne karakteristike sistema uzemljenja (impedansa sistema uzemljenja, napona dodira i napona koraka) visokonaponskog (VN) postrojenja definišu se i mere na frekvenciji 50 Hz. Dakle, frekvencija test signala u procesu merenja treba da bude jednaka sistemske frekvenciji. Ako je VN postrojenje u beznaponskom stanju, merenje se rutinski sprovodi. Međutim, ako je VN postrojenje u normalnom radnom režimu, postoji kolizija između vrlo intenzivne smetnje koja potiče iz sistema i objektivno niskog nivoa test signala. Zbog funkcionalnih i ekonomskih razloga, nije prihvatljivo da se u toku ispitivanja sigurnosnih karakteristika isključuje kompletno VN postrojenje. Stoga, merenja treba koncipirati tako da se ista kvalitetno mogu realizovati u uslovima kada je VN postrojenje aktivno. Dakle, neophodno je obezbediti kontrolisano potiskivanje, ili eventualno eliminisanje uticaja sistemske smetnje u procesu merenja. To je osnovni zadatak i vrlo složen praktični problem. Pri tome, treba imati u vidu da je intenzitet sistemske smetnje srazmeran naponskom nivou VN postrojenja u kome se mere-

nja izvode. U ovom radu, biće elaboriran evolutivni proces vezan za potiskivanje sistemske smetnje u aktivnom VN postrojenju.

Generalno, prisustvo sistemske smetnje posledica je konduktivnih i induktivnih sprega u sistemu uzemljenja i u vodovima odgovarajuće merne šeme. Ipak, dominantna je konduktivna komponenta.

Naime, konduktivna smetnja u sistemu uzemljenja aktivnog VN postrojenja je na mrežnoj frekvenciji (50 Hz). Ta smetnja, posledica je nesimetričnog opterećenja faznih provodnika.

Zavisno od naponskog nivoa VN postrojenja, magnituda struje nesimetrije, koja cirkuliše kroz sistem uzemljenja, u opsegu je od nekoliko ampera do oko 15 A. Struja nesimetrije je vremenski promenljiva – menja se sa promenom opterećenja mreže. To je dodatni i vrlo neugodan problem. Odgovarajući napon na zemljovodnom priključku (meren u odnosu na referentnu zemlju) iznosi 5 do 10 V [1, Ch 11].

Metodološki pristup potiskivanju sistemske smetnje ima dugu istoriju (videti napr., [2] – [5]). S tim u vezi je i evolucija odgovarajućih standarda – internacionalnih i nacionalnih [6] – [8].

U nastavku, ovaj rad sadrži i tri sekcije. U sekciji 2 dat je pregled osnovnih karakteristika raspoloživih metoda za suzbijanje uticaja sistemske smetnje. U sekciji 3, predstavljen je FSM metod. Zaključna razmatranja data su u sekciji 4.

---

Adresa autora: Vojin Kostić, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, Koste Glavinića 8a, Beograd

e-mail: vojnin@ieemt.org

Rad primljen: 09.03.2021.

Rad prihvaćen: 22.06.2021.

## 2. PREGLED METODA

Tradicionalno, u opticaju su četiri mogućnosti za potiskivanje smetnje na mrežnoj frekvenciji:

Metod 1: Metod promene „polariteta“ test struje na 50 Hz (TCRM - Test Current Reversal Method) [2], [6], [7],

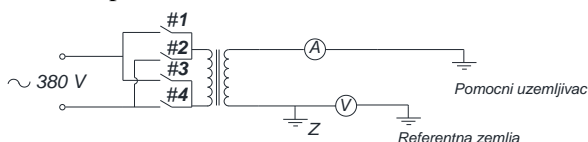
Metod 2: Metod „izbijanja“ smetnje i test signala na frekvenciji oko 50 Hz (Beat Frequency Method) [2], [6], [7],

Metod 3: Merenje test signala na frekvenciji koja je pomerena do oko 10 Hz u odnosu na 50 Hz (u našim uslovima) i direktno preslikavanje tog rezultata na frekvenciju 50 Hz [9], [10],

Metod 4: Sukcesivno merenje test signala na frekvencijama 48 Hz i 52 Hz, a potom interpoliranje rezultata na 50 Hz [3].

U principu, postoji i tzv. invazivni metod, a odnosi se na korišćenje ekstremno velike magnitude test struje (reda 100 A što može biti invazivno za sistem i vrlo opasno za rukovaoce), radi ostvarenja odgovarajućeg (velikog) odnosa ispitni signal-smetnja [9]. Međutim, takav prilaz nije racionalan niti je bezbedan, pa se sa tom mogućnošću nećemo posebno baviti. U nastavku dajemo kratak pregled specifičnosti i ograničenja Metoda 1 do 4.

Metod 1 je standardizovani i do sada dominantni metod. U literaturi, ovaj metod poznat je kao TCRM (Test Current Reversal Method). TCRM koristi jednostavnu komutaciju faza ispitne struje (u žargonu-koristi promenu „polariteta“, videti sliku 1).



Slika 1 – Šema TCRM „komutatora“. Kada su prekidači #1 do #4 otvoreni (isključen izvor ispitne struje); očitavaju se napon smetnje i struja smetnje. Kada su prekidači #1 i #4 zatvoreni, prekidači #2 i #3 su otvoreni; očitavaju se napon i test struja pri direktnom polaritetu izvora napajanja. Kada su prekidači #2 i #3 zatvoreni, prekidači #1 i #4 su otvoreni; očitavaju se napon i test struja pri inverznom polaritetu izvora napajanja (fazni ugao napona obrnut je za  $180^\circ$  električno).

Teorijski (na bazi fazorskog dijagrama, pri fiksnom intenzitetu sistemske smetnje), može se odrediti optimalan odnos između intenziteta test struje i intenziteta struje sistemske smetnje. U praksi, intenzitet struje sistemske smetnje nije *a priori* poznat i promenljiv je, pa se intenzitet ispitne struje određuje intuitivno. Naime, na bazi paušalne procene radi se, po pravilu, sa relativno velikim intenzitetom ispitne struje

(je reda 10 A). Posledično, u ovom scenariju nije moguće striktno garantovati tačnost merenja. Dalje, striktno posmatrano, ovaj metod je primenljiv pod pretpostavkom da je intenzitet konduktivne sistemske smetnje nepromenljiv u vremenu. Međutim, shodno napomeni iz uvodnog poglavlja, ta pretpostavka je problematična. Drugim rečima, da bi TCRM rezultat merenja bio praktično relevantan, neophodan je određeni vid dodatne kontrole tokom procesa merenja i/ili višestruko ponavljanje i usrednjenje rezultata merenja.

Metod 2 je inicijalno preuzet iz telekomunikacija, a potom, prilagođen je za merenje u elektro-energetskom postrojenju. Naime, razmatra se fluktuacija obvojnice koja je rezultat superpozicije sistemske smetnje i test signala, čija se frekvencija neznatno (0.1 Hz) razlikuje od frekvencije sistemske smetnje. Intenzitet test struje treba da bude jednak intenzitetu struje sistemske smetnje. Imajući u vidu nestabilnost mrežne frekvencije, neophodna je sinhronizacija izvora test signala sa mrežom. Pri navedenim uslovima fluktuacija obvojnice je spora, pa koristeći analogni voltmetar, može se (u principu) izmeriti minimalna i maksimalna vrednost obvojnice. Potom, na osnovu tih vrednosti može se izračunati napon na test frekvenciji. Aproksimativno, podrazumeva se da je to i napon na 50 Hz. Sva podešavanja u procesu merenja isključivo zavise od subjektivne procene osobe koja vrši merenje. Egzaktano posmatrano, uslovi i pretpostavke na kojima bazira ovaj metod, u striktno metrološkom pogledu, diskutabilni su zbog visokog stepena subjektivnosti. I pored navedenih problema, ovaj metod je standardizovan.

Metod 3 polazi od pretpostavke da se otpornost sistema uzemljenja praktično ne menja, ako se frekvencija test signala razlikuje za nekoliko procenata od 50 Hz (u našim uslovima). To je realna pretpostavka ako je sistem uzemljenja odvojen od transmissionog sistema. Međutim, pre svega, frekvencija test signala mora biti van opsega nestabilnosti mrežne frekvencije, tj. test frekvencija mora biti barem za 10 Hz pomerena u odnosu na 50 Hz. Na tako pomevanoj frekvenciji vrši se merenje test signala. Saglasno ovom metodu, odgovarajući rezultat translira se na 50 Hz. Međutim, translacija je vrlo gruba aproksimacija i nedopustiva je sa tačke gledišta tačnosti merenja. Naime, treba podsetiti da ovde razmatramo VN postrojenje koje je u pogonu. Dakle, umesto otpornosti sistema uzemljenja (koje se neznatno menja pri promeni frekvencije čak i za 20%) treba imati u vidu impedansu sistema uzemljenja. Karakteristike impedanse sistema uzemljenja zavise od priključenih nadzemnih vodova i/ili podzemnih kablova. Pri promeni frekvencije za 10 Hz (20%), moduo impedanse značajno se menja. Stoga, ovaj metod nije praktično relevantan. Čak i da se izvrši adekvatno filtriranje na pomevanoj test frekvenciji, ostaje očigle-

dan problem u pogledu osnovanosti direktne translacije odgovarajućeg rezultata na 50 Hz. Ovaj metod nije standardizovan.

Metod 4, u cilju prevazilaženja problema uočenih vezano za Metod 3, sugerise korišćenje dve test frekvencije - jednu ispod 50 Hz (tj. 48 Hz), a drugu iznad 50 Hz (tj. 52 Hz). Predložene test frekvencije dovoljno su međusobno bliske, pa to garantuje minimalnu grešku prilikom interpolacije. Istovremeno, predložene frekvencije minimalno su udaljene od zone nestabilnosti mrežne frekvencije. Očigledno, u ovom scenariju postoje dva povezana problema. Prvi je vezan za kumulativni uticaj nestabilnosti mrežne frekvencije i frekvencije ispitnog signala. Drugi se odnosi na mogućnost/praktičnost adekvatnog filtriranja (izdvajanja) signala na ispitnim frekvencijama u prisustvu sistemske frekvencije. Pored toga, u kontekstu ovog metoda, ostaje otvoreno pitanje neophodne magnitude test signala. Striktno posmatrano, intenzitet test struje na vrlo složen način zavisi od: (a) karakteristike filtra na test frekvencijama i (b) od intenziteta sistemske smetnje u datom trenutku. Po tom pitanju, Metod 4 ne sadrži egzaktnu preporuku. Zbog gore navedenog, Metod 4 nije registrovan kao standardni metod.

Sumarno, prethodni pregled jasno ukazuje na neophodnost da se konstituiše metod koji omogućava adekvatno i kontrolisano potiskivanje sistemske smetnje na mrežnoj frekvenciji. Takođe, vrlo značajno pitanje odnosi se na precizno definisanje magnitude ispitne struje. Tačnost merenja je ugrožena ako je vrednost intenziteta test struje potcenjena (mali intenzitet struje). Sa manipulativne i sigurnosne tačke gledišta postoji problem, ako je intenzitet test struje precenjen (veliki intenzitet struje).

### 3. FSM METOD

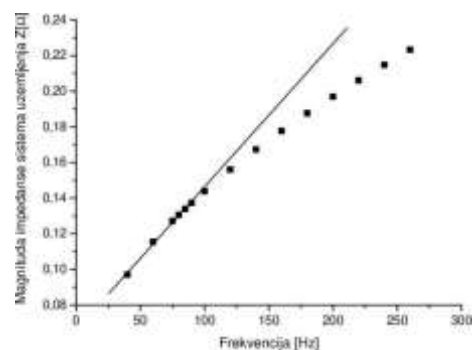
FSM (Frequency Shift Method) [11] - [13] metod zasnovan je na uzastopnoj primeni ispitne struje na tri frekvencije koje su različite od mrežne frekvencije i od frekvencije njenih harmonika. Ispitne frekvencije su dovoljno daleko od frekvencije sistemske smetnje, pa je relativno jednostavno filtriranje. Postojanje tri rezultata merenja (rezultati merenja na tri ispitne frekvencije), omogućava da se primeni linearna regresija i tako minimizuje srednja kvadratna greška za interpolirani rezultat na 50 Hz. Teorijski i praktično, tačnost ovog metoda zavisi isključivo od klase tačnosti merne opreme. FSM je potpuno automatizovani merni metod implementiran (uz digitalni osciloskop) u softverski kontrolisani sistem za merenje sigurnosnih karakteristika VN sistema. Digitalni osciloskop služi za akviziciju mernih podataka u vremenskom domenu. Alternativno, FSM se može primeniti i u poluautomatskom režimu - automatsko određivanje optimalnog intenziteta test struje, manuelno merenje na test

frekvencijama i automatska (softverska) obrada rezultata merenja. FSM je nedavno uveden u nacionalni standard [8].

Implementiranje FSM relativno je fleksibilno u pogledu izbora test frekvencija. To je bitna osobina, jer omogućava da FSM ima vrlo široku primenu, čak i za merenja u vrlo specifičnim VN postrojenjima (u ovom kontekstu, termin specifičnost odnosi se na impedantne karakteristike sistema uzemljenja). Pored toga, metod je vrlo precizan u pogledu izbora intenziteta ispitne struje. Zbog praktičnog značaja, u nastavku, elaboriraćemo faktore koji utiču na obe pomenute pogodnosti.

#### 3.1. Izbor test frekvencija

U cilju minimizovanja greške merenja na pojedinačnoj test frekvenciji, pa s tim u vezi i minimizovanja greške krajnjeg rezultata (po osnovu linearne regresije), neophodno je da se rezultati merenja na sve tri merne frekvencije nalaze na istoj pravnoj liniji. Drugim rečima, podrazumevamo, da je u određenom frekvencijskom opsegu moduo impedanse,  $|Z|$ , sistema uzemljenja linearna funkcija od frekvencije. Formalno analitički, to se može utvrditi ako je  $X/R < 1$ , gde je  $R$  otpornost sistema uzemljenja, a  $X$  reaktansa sistema uzemljenja. U praksi, ti uslovi su zadovoljeni u opsegu do oko 100 Hz.



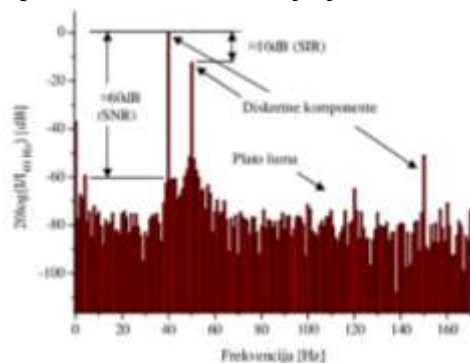
Slika 2 – Tipični eksperimentalni rezultati promene modula impedanse sistema uzemljenja u funkciji frekvencije

Tipična zavisnost  $|Z|$  u funkciji frekvencije prikazana je na slici 2. Dakle, najviša od tri test frekvencije može biti, sa razumnom rezervom, do oko 90 Hz. Očigledno, na nižim frekvencijama linearnost nije problem. Međutim, pri vrlo niskim frekvencijama postoji potencijalna opasnost od geomagnetski indukovanih struja [14]. U tom pogledu bezbedan izbor najniže test frekvencije može biti oko 40 Hz. Dakle, u pogledu relativno jednostavne filtracije test signala, kao i u pogledu minimalnog uslova za primenu linearne regresije, imamo na raspolaganju komfornu mogućnost za izbor test frekvencija ispod 50 Hz (napr., na 40 Hz) i iznad 50 Hz (napr., na 75Hz). Radi minimizovanja efekata greške pri merenju (manuelne i instrumentalne

greške) potrebno je dodati još jednu test frekvenciju. Opet, rukovodeći se zahtevom da je filtriranje relativno jednostavno, kako u odnosu na signal systemske smetnje, tako i u odnosu na već izabrane test frekvencije, dodatnu ispitnu frekvenciju pozicioniraćemo između 50 Hz, s jedne strane, i najveće izabrane test frekvencije 75 Hz, s druge strane. Dakle, pogodan izbor može biti frekvencija 60 Hz. Napominjemo da su gore navedene ispitne frekvencije elaborirane kao jedan primer izbora. Drugim rečima, izbor može biti i drugačiji. Naime, unutar ograničenja koja zavise od ponašanja impedanse sistema uzemljenja, izbor ispitnih frekvencija zavisi i od odgovarajućeg softverskog rešenja za digitalno filtriranje. U tom kontekstu, treba imati u vidu da su relevantni parametri za dizajniranje filtra na određenoj ispitnoj frekvenciji: (a) frekvenzijsko rastojanje u odnosu na systemsku frekvenciju, (b) frekvenzijsko rastojanje u odnosu na najbliži harmonik (ili subharmonik) systemske frekvencije, i (c) nivo platoa šuma na poziciji ispitne frekvencije.

### 3.2. Izbor intenziteta ispitne struje

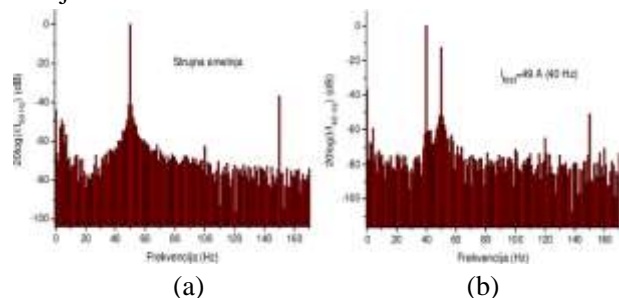
Ranije je pomenuto da digitalni osciloskop vrši akviziciju memnih podataka u vremenskom domenu. Potom, podaci se softverski procesuiraju u cilju generisanja odgovarajućeg spektralnog dijagrama. Spektralni dijagram (slika stanja u sistemu uzemljenja u frekvenzijskom domenu) za FSM je ključni indikator. Naime, spektralni dijagram egzaktno pokazuje apsolutne i relativne nivoe spektralnih komponenti signala, koji su prisutni u sistemu uzemljenja.



Slika 3 - Spektralni dijagram kompozitnog signala u sistemu uzemljenja. Ispitni signal je na frekvenciji 40 Hz. Intenzitet struje ispitnog signala je 49 A. Naponski nivo VN postrojenja je 400 kV. Oznake: SNR - Signal to noise ratio; SIR - Signal to interference U razmatranom primeru SNR=60 dB što je znatno iznad (bolje) od zahtevane vrednosti SNR=30 dB

Jedan primer spektralnog dijagrama prikazan je na slici 3 (obratiti pažnju na tekstualna objašnjenja na samom dijagramu). Na slici 4 predstavljeni su spektralni dijagrami, koji jasno ilustruju konstantnost platoa šuma. Naime, slika 4a prikazuje plato šuma u

sistemu uzemljenja pre injektovanja ispitne struje. Slika 4b prikazuje spektralni dijagram u prisustvu injektovane test struje vrlo velikog intenziteta (49 A, na frekvenciji 40 Hz). Očigledno, plato šuma na obe slike je konstantan i na nivou je  $\approx 60$  dB ispod spektralnog pika diskretne systemske smetnje (spektralna linija na 50 Hz). Digitalni filter izdvaja diskretnu spektralnu komponentu na odgovarajućoj test frekvenciji. Širina propusnog opsega tog filtra je oko 10 Hz. Navedena širina propusnog opsega filtra rezultat je kompromisa između inherentne nestabilnosti ispitne frekvencije i potrebe da snaga unesenog šuma bude što manja.



Slika 4 - Uz komentar o približnoj konstantnosti nivoa platoa šuma (a) spektralni dijagram systemske smetnje i njenih komponenti, (b) kompozitni spektralni dijagram smetnje i ispitnog signala

Pri navedenim karakteristikama digitalnog filtra, diskretna komponenta na systemskoj frekvenciji praktično nema uticaj na spektralnu komponentu na test frekvenciji. Dakle, filtriranjem se eliminiše uticaj systemske smetnje na test signal. Međutim, na test signal utiče šum, koji deluje unutar propusnog opsega filtra (u spektralnom dijagramu generalno označen kao plato šuma). Da bi, za potrebe merenja, obezbedili kvalitetan - „čist“ - test signal, neophodno je da test signal ima intenzitet koji mu omogućava da se dovoljno „izdigne“ iznad nivoa šuma. Ukoliko je intenzitet test signala veći, uticaj šuma na njega je manji („čistoća“ signala je bolja). Dakle, intenzitet ispitnog signala je važan parametar, jer utiče na tačnost merenja. U ovom kontekstu, prvo pitanje je: kako se objektivno kvantifikuje „čistoća“ test signala? U tu svrhu služi parametar: odnos signal-šum (SNR-signal-to-noise ratio). U toku razvoja FSM-a, empirijski je uvrđeno da je potrebno i dovoljno da je  $SNR \geq 30$  dB. To je ključni, a za FSM univerzalni kriterijum. U spektralnom dijagramu, SNR je vizualiziran kao decibelska razlika između pika diskretnog spektra i platoa šuma (videti sliku 3). Dakle, na osnovu spektralnog dijagrama i kriterijuma za SNR, možemo precizno odrediti intenzitet ispitne test struje. Posledično, pomenuta mogućnost garantuje tačnost merenja (jer je ispitni signal „čist“). Istovremeno, omogućeno je racionalno korišćenje izvora ispitne struje, (koristi se struja malog intenziteta). Niti jedan dosadašnji metod nema takvu mogućnost. Proces

optimizacije u FSM-u potpuno je automatizovan. Ukratko, proces obuhvata tri faze:

(I) inicijalizacija sa test strujom intenziteta 10 A,

(II) spektralna analiza rezultata po osnovu inicijalizacije,

(III) definitivni izbor intenziteta test struje za potrebe merenja sistemskih karakteristika u datom VN postrojenju i u datom trenutku.

U cilju razumevanja suštine gore pomenutog procesa, razmotrićemo primer izbora intenziteta ispitne struje i to korak po korak. Radi racionalizacije, a bez uticaja na suštinu, poslužićemo se postojećim dijagramima iz ovog rada.

Primer. Shodno slici 3, vidimo da je pri intenzitetu inicijalne ispitne struje  $I_{test}=49$  A vrednost parametara  $SNR=60$  dB. Intenzitet ispitne struje srazmeran je sa  $SNR$ . Navedena vrednost (60 dB) daleko je iznad realnog zahteva, tj veća je od 30 dB. Drugim rečima, intenzitet inicijalne ispitne struje, umesto 49 A može biti znatno manji. Intenzitet struje, koji zadovoljava uslov  $SNR=30$  dB, označićemo sa  $I_{test1}$ . Ekvivalentni intenzitet struje koji odgovara platou šuma označićemo sa  $I_n$ . Dakle, možemo neposredno zapisati decibelske relacije:

$$20 \log \frac{I_{test}}{I_n} - 20 \log \frac{I_{test1}}{I_n} = 60dB - 30dB$$

$$20 \log \frac{I_{test}}{I_{test1}} = 30dB \Rightarrow \frac{I_{test}}{I_{test1}} = 10^{30/20}$$

pa nalazimo da neophodni intenzitet ispitne struje, za razmatrano VN postrojenje, iznosi

$$I_{test1} = \frac{I_{test}}{10^{3/2}} = 1.55 \text{ A}$$

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je dat pregled evolucije rešenja vezanih za potiskivanje uticaja sistemske smetnje u VN postrojenju. Rešenje pomenutog problema neophodan je preduslov da bi se mogla sprovesti merenja sigurnosnih karakteristika u aktivnom VN postrojenju.

U dugom vremenskom periodu, pomenuti problem je manje ili više uspešno rešavan na različite načine, pa čak i primenom invazivnih metoda. U radu su elaborirani problemi za svaki od tih načina. Generalno, niti jedan od metoda ne omogućava rešenje problema, a da je to rešenje praktično, egzaktno i efikasno.

U radu, je dat kratak prikaz autorovog rešenja problema. Taj metod imenovan je kao FSM. Analizirane su konceptijske osnove metoda. Posebno, elaborirana je praktičnost (potpuno softverski automatizovani algoritam), egzaktnost (dokazan je način elimisanja

sistemske smetnje) i ekonomičnost (po osnovu racionalizacije intenziteta ispitne struje).

Nedavno, FSM je uveden u nacionalni standard.

#### 5. ZAHVALNICA

Rad je nastao u okviru aktivnosti predviđenih Ugovorom o realizaciji i finansiranju naučno-istraživačkog rada NIO u 2021. godini, koji su zaključili Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije i Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“ a.d., Univerzitet u Beogradu.

#### LITERATURA

- [1] J. He, R. Zeng, B. Zhang, *Methodology and technology for power system grounding*, first ed., John Wiley & Sons, Singapore Pte. Ltd., Singapore, 2013.
- [2] H. G. Sarmiento, R. Velazquez, J. Fortin and D. Mukhedkar, Survey of low ground impedance measurement, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-102, No. 9, pp. 2842-2849, Sep. 1983.
- [3] H. Griffiths, P. Jones, N. Harid and A. Haddad, Proposal for measurement of earth impedance using variable frequency injection, *Measurement Science and Technology*, 21 085102 (8pp), 2010.
- [4] R. Zeng, J. He, and Z. Guan, Novel measurement system for grounding impedance of substation, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 21, No. 2, pp. 719-725, Apr. 2006.
- [5] L. Maotang, L. Jing, A new type of grounding resistance measurement method, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 48, No. 5, pp. 899-902, Oct. 1999.
- [6] EN 50522, *Earthing of power installations exceeding 1 kV a.c.*, CENELEC European Committee for Electrotechnical Standardization, Nov. 2010.
- [7] *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System*, IEEE Standard 81-2012, Dec. 2012.
- [8] IS EMS 123:2014, *Uzemljenje elektroenergetskih postrojenja*, interni standard EMS a.d.
- [9] H. G. Sarmiento, J. Fortin, and D. Mukhedkar, Substation ground impedance: Comparative field measurements with high and low current injection methods, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-103, No. 7, pp. 1677-1683, Jul. 1984.
- [10] W. C. Boaventura, I. J. S. Lopes, P. S. A. Rocha, R. M. Coutinho, F. Castro Jr, and F. C. Dart, Testing and

- Evaluating Grounding Systems of High Voltage Energized Substations: Alternative Approaches, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 14, No.3, Jul. 1999, pp. 923-927.
- [11] V. I. Kostić, N. B. Raičević, D. S. Kovačević, The choice of suitable frequencies for measurements based on FSM, *Facta Universitatis, Series: Automatic Control and Robotics*, Vol. 15, No. 1, pp. 9–16, 2016.
- [12] V. Kostić, N. Raičević, and A. Pavlović, Enhanced grounding system impedance measurements for high-voltage substations", *International Transactions on Electrical Energy Systems*, Vol. 25, No. 9, pp. 1875–1883, Sep. 2015.
- [13] V. Kostić, and N. Raičević, Grounding system impedance measurement using shifted frequency method, *IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives – POW-ERENG 2015*, Riga, Latvia, LF-000124 (CD), pp. 1-4, 11-13 May 2015.
- [14] V. I. Kostić, Pregled problema vezanih za uticaj geoma-gnetski indukovane struje, *Tehnika*, Br. 66, Iz. 2, str. 243-247, 2017.

## SUMMARY

### AN OVERVIEW OF METHODS FOR ELIMINATING THE EFFECTS OF INTERFERENCE IN AN ACTIVE HIGH-VOLTAGE POWER FACILITY

*In this paper, practical and conceptual problems related to the way of suppressing or eliminating the influence of interference (at a frequency of 50 Hz) in an active high-voltage power facility are discussed. The problem is relevant in the context of measuring the safety characteristics of the grounding system: grounding system impedance, touch voltage and step voltage. The paper gives an evolutionary overview of title methods. The review focuses on the characteristic problems and shortcomings of individual methods. Also, the basic characteristics of the author's FSM (Frequency Shift Method) method, which guarantees precise control of interference, are elaborated. In this sense, the FSM method is the basis for accurate and economical measurement of the safety characteristics of the grounding system.*

**Key words:** *grounding, grounding system testing, interference*