

Lociranje parcijalnih pražnjenja u energetskom transformatoru primenom UHF tehnike

Locating Partial Discharges in a Power Transformer Using UHF Technique

Đorđe Dukanac

Akcionarsko društvo „Elektromreža Srbije“ Beograd

Rezime - Posebno razvijenim algoritmom korišćenim u programu *MATLAB* u pojednostavljenom modelu velikog energetskog transformatora utvrdiće se mesta parcijalnih pražnjenja pomoću četiri *UHF* davača simulacijom deset stvarnih oblika signala iz izvora parcijalnih pražnjenja. Izvršiće se naknadna interpolacija snimljenih signala, radi dobijanja što je moguće bližih oblika stvarnim oblicima signala. Stvarni oblici signali dobijeni su ogledom pomoću jednog *UHF* davača u stvarnom velikom energetskom transformatoru. Deset signala stvarnog oblika su međusobno različitih visina početnih nekoliko vrhova i različitih oblika, ali ipak imaju sličnu najveću amplitudu, spektar učestanosti i preovlađujuću učestanost najistaknutijih parcijalnih pražnjenja. Bilo je važno određivanje gde počinje stvarni signal, za šta je napravljen jedinstveni računski postupak, a kasnije da se tačno odrede razlike između nailazaka prvih (referentnih) vrhova stvarnih signala kod pojedinih davača. Uzeta je u obzir najpovoljnija vrednost praga pri određivanju razlika u vremenima pristizanja signala metodom prvog prihvatljivog vrha. Analiziraće se odstupanja u izračunatim položajima izvora parcijalnih pražnjenja dobijena za 120 slučajno odabranih tačaka u zapremini modela transformatorskog suda.

Cljučne reči - energetski transformator, parcijalna pražnjenja, *UHF* davač, lociranje signala, greška položaja

Abstract - A specially developed algorithm used in the program in *MATLAB* in a simplified model of a large power transformer will determine the locations of partial discharges using four *UHF* sensors by simulating ten real waveforms from a source of partial discharges. Subsequent interpolation of the recorded signals will be performed, in order to obtain the closest possible shapes to the actual waveforms. Actual waveforms were obtained by experimenting with a single *UHF* sensor in a real large power transformer. The ten signals of the actual shape are mutually different heights of the initial several peaks and different shapes, but still have similar maximum amplitude, frequency spectrum and the prevailing frequency of the most prominent partial discharges. It was important to determine where the actual signal begins, for which a unique calculation procedure was made, and later to accurately determine the differences between the occurrences of the first (reference) peaks of the actual signals at individual sensors. The most favourable threshold value was

taken into account when determining the differences in signal arrival times by the method of the first acceptable peak. The deviations in the calculated positions of the sources of partial discharges obtained for 120 randomly selected points in the volume of the transformer tank model will be analysed.

Key words - power transformer, partial discharges, *UHF* sensor, signal locating, position error

I UVOD

Tačno otkrivanje gde se javljaju parcijalna pražnjenja u sastavu izolacije blizu namotaja transformatora [1] je od velike važnosti, zbog značajnog smanjenja vremena i troškova održavanja [2]. Određivanje mesta parcijalnih pražnjenja električnom metodom na nižim učestanostima, neophodno radi dobrog održavanja, obično ne može da se izvede [3]. Usredsređivanje samo na prividno naelektrisanje nije od pomoći, zato što merljivo prividno naelektrisanje obično zavisi od nepoznatog položaja izvora parcijalnih pražnjenja u aktivnom delu energetskog transformatora i mernog propusnog opsega. Zbog osobina pojavljivanja parcijalnih pražnjenja na visokim učestanostima, postoji potreba za tačnim modelom namotaja za dati opseg učestanosti.

Analizom rastvorenih gasova u ulju nije moguće određivanje mesta izvora parcijalnih pražnjenja [4].

Akustični davači su obično osetljiviji na spoljne smetnje nego na zvučne talase stvorene pomoću unutrašnjeg izvora parcijalnih pražnjenja. Osim toga, tokom parcijalnih pražnjenja, samo mali deo električne energije (1–5%) pretvara se u mehaničku energiju.

Metoda ispitivanja parcijalnih pražnjenja korišćenjem davača signala ultra visoke učestanosti predstavlja efikasan metod za određivanje mesta izvora parcijalnih pražnjenja usled njene veće otpornosti na spoljne elektromagnetske smetnje [3]. Ovo je važna osobina zato što se za donošenje odluke o izvođenju potrebnih popravki dotrajalih i neispravnih komponenti energetskih transformatora zahteva znanje o mestu nedostatka. Pored toga, bez obaveštenja o mestu parcijalnih pražnjenja, može da bude nemoguće da se odredi nivo parcijalnih pražnjenja [5].

U ovom radu razmatra se simulacija određivanja mesta parcijalnih pražnjenja primenom četiri *UHF* davača uzimajući u

obzir stvarne oblike signala parcijalnih pražnjenja. Stvarni oblici signala parcijalnih pražnjenja snimljeni su ranije pomoću jednog *UHF* davača montiranog na energetskom transformatoru.

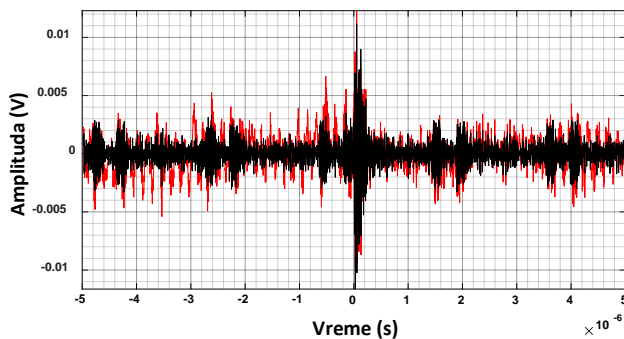
Radi određivanja mesta izvora parcijalnih pražnjenja metodom određivanja prvog vrha stvarnog signala korišćeni su redom snimljeni oblici signala iz kojih su uklonjene sve spoljni šumovi na učestanostima ispod 20 MHz. Prvo, potrebno je da se tačno proceni početak najjačih parcijalnih pražnjenja u snimljenim signalima, a zatim na osnovu toga odredi prvi vrh takvog signala.

Primenom programa napisanog u *MATLAB*-u *R2019a*, prvo su redom analizirani snimljeni signali 1-10 u periodu [-150 – 300] ns u pogledu pronalaženja početka zapažene pojave najjačih parcijalnih pražnjenja. Zatim su na primeru tih deset stvarnih oblika signala parcijalnih pražnjenja izvršene simulacije određivanja mesta parcijalnih pražnjenja u energetskom transformatoru, pod pretpostavkom da se imaju četiri *UHF* davača koji primaju signale stvarnog oblika, deset signala koji nailaze jedan posle drugog. Simulacije su izvršene za 120 različitih tačaka koje predstavljaju mesta izvora parcijalnih pražnjenja, 15 tačaka po svakom oktantu suda. Posebno su istaknuti rezultati za 7. oktant suda. Rezultati su zatim predstavljeni pomoću grafikona. U ovom radu, radi sažetijeg prikaza, biće prikazani neki od najzanimljivijih signala.

Usled prisustva izvodnih izolatora i drugih dielektričnih prozora, *UHF* metoda nema savršenu otpornost na spoljne smetnje. Šum niže učestanosti, ispod znatno preovlađujuće učestanosti signala najjačih parcijalnih pražnjenja, uklanja se uz prethodnu procenu granice ispod koje treba da se ukloni šum bez gubljenja podataka o najjačem parcijalnom pražnjenju i njegovim komponentama učestanosti. Granična učestanost ispod koje mogu da se potpuno uklone sve komponente učestanosti pomoću filtera propusnika viših učestanosti je ona pri kojoj ne dolazi do pomeranja lokalnih amplituda (pre svega, misli se na nekoliko prvih vrhova) signala.

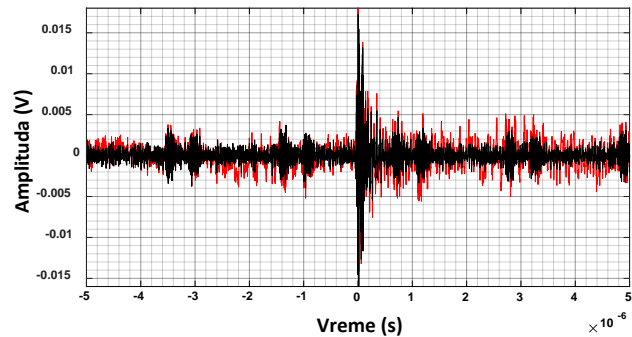
II POČECI NAJJAČIH PARCIJALNIH PRAŽNJENJA

Primenjen je originalni postupak da se prethodno uklone sve komponente signala ispod 20 MHz, a da pri tome nije došlo do pomeranja vrhova signala po vremenskoj x -osi, što bi moglo da utiče na rezultate izračunavanja razlika između signala u vremenima prispeća.



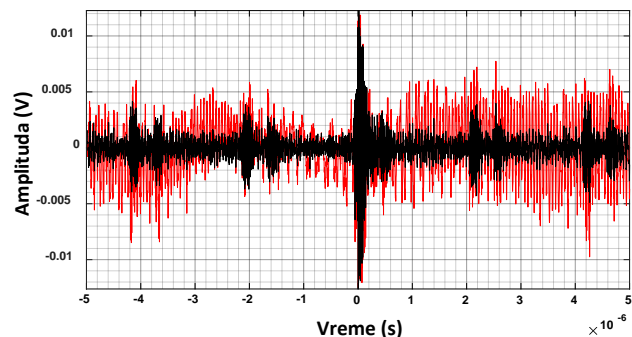
Slika 1. Izmereni signal broj 1 (crvene boje) posle uklanjanja jednosmerne komponente i isti signal (crne boje) posle uklanjanja komponente signala na učestanosti 20 MHz

Na slici 1 je prikazan jedan od snimljenih signala (signal 1) posle uklanjanja jednosmerne komponente (označen crvenom bojom) i isti signal posle uklanjanja komponente signala na učestanosti 20 MHz (označen crnom bojom).



Slika 2. Izmereni signal broj 4 (crvene boje) posle uklanjanja jednosmerne komponente i isti signal (crne boje) posle uklanjanja komponente signala na učestanosti 20 MHz

Na slici 2 je prikazan jedan od izmerenih signala (signal 4) posle uklanjanja jednosmerne komponente (označen crvenom bojom) i isti signal posle uklanjanja komponente signala na učestanosti 20 MHz (označen crnom bojom).



Slika 3. Izmereni signal broj 10 (crvene boje) posle uklanjanja jednosmerne komponente i isti signal (crne boje) posle uklanjanja komponente signala na učestanosti 20 MHz

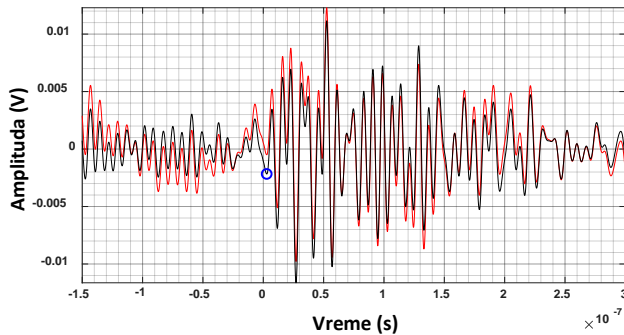
Na slici 3 je prikazan jedan od snimljenih signala (signal 10) posle uklanjanja jednosmerne komponente (označen crvenom bojom) i isti signal posle uklanjanja komponente signala na učestanosti 20 MHz (označen crnom bojom).

U prikazanim isečcima signala u trajanju od 10 μ s, u opsegu [-5 – 5] μ s, najjača parcijalna pražnjenja se uočavaju oko nule.

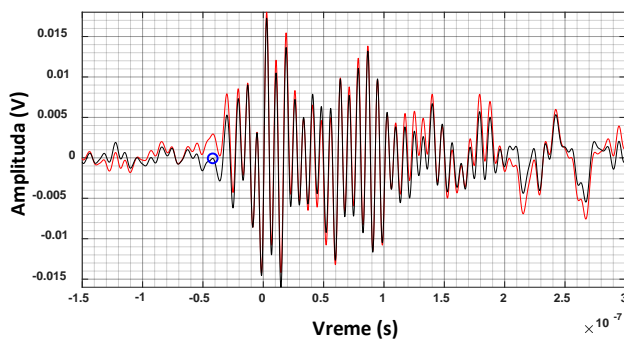
U većini slučajeva, kao na primer za signale 1 i 7, vremenska razlika između pojavljivanja lokalne amplitude uzete za početak posmatranog dela signala i prve prethodne lokalne amplitude i do dva puta je veća nego odgovarajuća vremenska razlika između pojavljivanja sledećih parova uzastopnih lokalnih amplituda. U preostalim slučajevima, kao na primer za signal 10, početak dela signala sa najistaknutijim parcijalnim pražnjenjima je veoma male amplitude.

Na slici 4 crnom bojom prikazan je snimljeni signal 1 iz koga su uklonjene sve komponente na učestanostima ispod 20 MHz koje

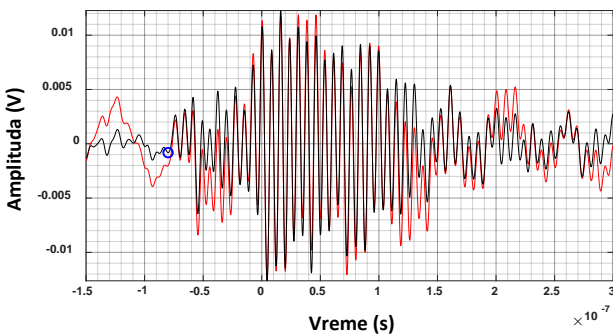
se smatraju smetnjama, a plavim kružićem približni početak najjačih parcijalnih pražnjenja, što je značajno pri određivanju mesta parcijalnih pražnjenja metodom određivanja prvog vrha signala.



Slika 4 Crvenom bojom označen je signal 1 iz koga je uklonjena jednosmerna komponenta. Crnom bojom označen je isti signal iz koga su uklonjene sve komponente na učestanostima ispod 20 MHz, dok je plavim kružićem obeležen početak najjačih parcijalnih pražnjenja



Slika 5. Crvenom bojom označen je signal 4 iz koga je uklonjena jednosmerna komponenta. Crnom bojom označen je isti signal iz koga su uklonjene sve komponente na učestanostima ispod 20 MHz, dok je plavim kružićem obeležen početak najjačih parcijalnih pražnjenja



Slika 6. Crvenom bojom označen je signal 10 iz koga je uklonjena jednosmerna komponenta. Crnom bojom označen je isti signal iz koga su uklonjene sve komponente na učestanostima ispod 20 MHz, dok je plavim kružićem obeležen početak najjačih parcijalnih pražnjenja

Na slici 5 crnom bojom prikazan je snimljeni signal 4 iz koga su uklonjene sve komponente na učestanostima ispod 20 MHz koje se smatraju smetnjama, a plavim kružićem približni početak najjačih parcijalnih pražnjenja, što je značajno pri određivanju mesta parcijalnih pražnjenja metodom određivanja prvog vrha signala.

Na slici 6 crnom bojom prikazan je snimljeni signal 10 iz koga su uklonjene sve komponente na učestanostima ispod 20 MHz koje se smatraju smetnjama, a plavim kružićem približni početak najjačih parcijalnih pražnjenja, što je značajno pri određivanju mesta parcijalnih pražnjenja metodom određivanja prvog vrha signala.

Pomeranje vrhova signala moglo bi da ugrozi određivanje razlika između signala u vremenima prispeća do datih *UHF* davača pomoću metode određivanja prvog vrha signala. Posebno u početnom delu procesa najjačih parcijalnih pražnjenja vrhovi signala su niži i osetljiviji na promenu spektra učestanosti.

Posebno razvijenim algoritmom korišćenim u programu u *MATLAB*-u *R2019a* utvrđena su mesta parcijalnih pražnjenja pomoću četiri *UHF* davača primenom deset stvarnih oblika signala parcijalnih pražnjenja dobijenih iz eksperimenta. Izvršena je naknadna interpolacija snimljenih signala na terenu, radi dobijanja što je moguće bližih oblika stvarnim oblicima signala.

III LOCIRANJE PARCIJALNIH PRAŽNENJA

Pomoću metode otkrivanja prvog vrha se iz primljenog signala određuje vreme njegovog pristizanja [6]. Na taj način, vreme pristizanja *UHF* signala određuje se kao najraniji trenutak u kome amplituda primljenog signala dostiže vršnu vrednost koja prevazilazi određeni prag [7]. Kod utvrđivanja prvog vrha, vrednost praga bira se proizvoljno i zavisi od vidnog pregleda primljenog signala [8]. Metoda prvog vrha uopšte nije otporna na šum. Kada je šum jači, vrednost prvog vrha primljenog signala može da bude manja od nivoa šuma, ako je primljeni signal dovoljno slab.

Različite vrste nedostataka ili kvarova u izolaciji stvaraće različite impulse parcijalnih pražnjenja, ali taj poseban oblik impulsa postaje veoma usložen pomoću putanje prostiranja *UHF* signala [9]. Kraći strujni impulsi parcijalnih pražnjenja imaju više spektralne energije na većim učestanostima.

U slučaju velikih energetskih transformatora, efekti odbijanja elektromagnetskih talasa na oblike signala na *UHF* davačima obično su značajni posle nekoliko prvih vrhova signala, tj. u početnom periodu kada odbijeni talasi još nisu pristigli, tako da metod otkrivanja prvog vrha signala može da bude koristan.

Slabljenje zasnovano na rastojanju ima malu promenu, između 0,5 i 2,5 dB/m. Može da se pretpostavi srednji naponski odnos od 0,8 po metru u sudu transformatora što odgovara usrednjenom slabljenju u decibelima od -2 dB/m.

U mnogim slučajevima, uz razuman razmeštaj *UHF* davača, tačnost određivanja mesta izvora parcijalnih pražnjenja biće dovoljno korisna, čak i ako unutrašnja struktura transformatora nije uzeta u obzir.

Kao primer uzet je energetski transformator za viši naznačeni napon 400 kV i naznačenu prividnu snagu 450 MVA, koji ima

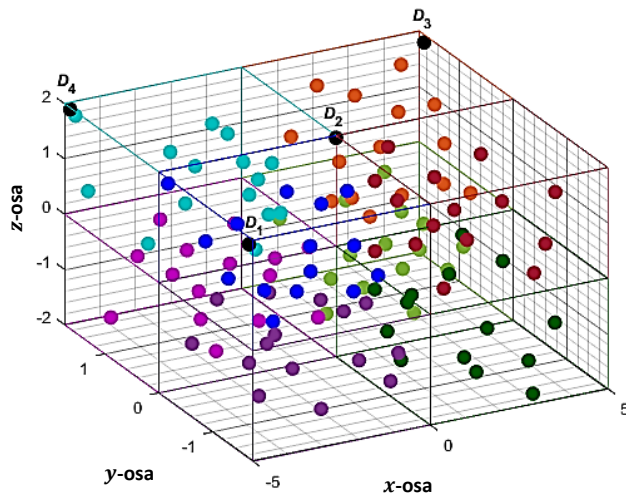
dimenzije suda dužine 10 m, širine 3,5 m i visine 4 m.

U proračunima, pretpostavljeni položaji četiri UHF davača u sudu energetskog transformatora su:

$D_1 (-4,96; -1,65; 1,85)$ m, $D_2 (0; 0; 1,96)$ m,

$D_3 (4,96; 1,63; 1,88)$ m, $D_4 (-4,9; 1,71; 1,91)$ m.

Posmatraće se 120 mogućih tačaka koje predstavljaju pretpostavljene izvore parcijalnih pražnjenja.



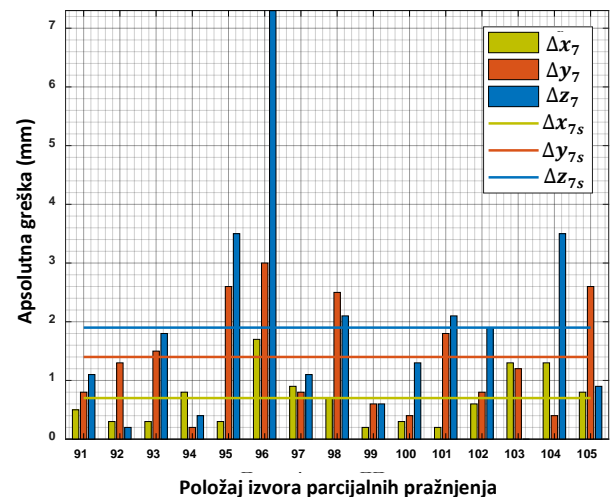
Slika 7. Kvadar kojim je predstavljen transformatorski sud dužine 10 m, širine 3,5 m i visine 4 m. Posmatra se mogući stvarni položaj izvora parcijalnih pražnjenja u 120 tačaka na osnovu koga će da se procenjuje greška pri određivanju položaja izvora. Crnom bojom označeni su UHF davači

Posebno su, kao primer istaknuti rezultati za 7. oktant suda, za signale 1, 4 i 10. U tabeli 1 dato je 15 slučajnih tačaka u 7. oktantu suda.

Tabela 1. Pretpostavljene koordinate (91.-105.) položaja izvora parcijalnih pražnjenja u sedmom oktantu

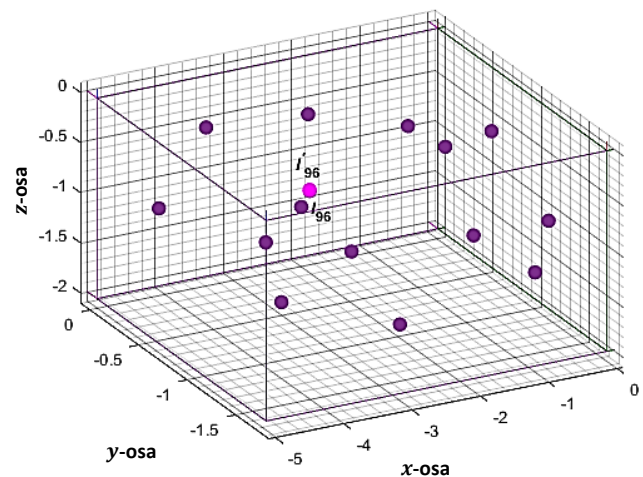
Broj	x (m)	y (m)	z (m)	Broj	x (m)	y (m)	z (m)
91	-1,41	-1,07	-0,24	92	-0,51	-0,05	-0,87
93	-3,53	-0,71	-1,15	94	-2,13	-0,16	-0,45
95	-1,79	-0,37	-1,72	96	-4,02	-1,51	-0,01
97	-0,08	-0,61	-0,59	98	-0,15	-1,11	-1,64
99	-2,77	-0,54	-1,02	100	-3,98	-0,41	-0,15
101	-2,5	-1,37	-1,65	102	-1,25	-1,25	-1,02
103	-4,53	-0,31	-0,95	104	-4,01	-1,21	-1,33
105	-0,32	-1,37	-0,92				

Kada se pri određivanju referentnog (prvog) vrha, nekog od 10 stvarnih signala sa suzbijenim šumom ispod 20 MHz, kao merilo uzima da taj vrh prevazilazi susedna dva vrha u iznosu od 29 % vrednosti vrha najveće amplitude signala, na slici 8. kao rezultat proračuna prikazane su apsolutne greške i odgovarajuće srednje apsolutne greške u koordinatama izvora parcijalnih pražnjenja za petnaest tačaka (91.-105.) sedmog oktanta transformatorskog suda.



Slika 8. Apsolutne greške (Δx_7 , Δy_7 , Δz_7) i srednje apsolutne greške (Δx_{7s} , Δy_{7s} , Δz_{7s}) položaja izvora parcijalnih pražnjenja u petnaest tačaka sedmog oktanta, za deset stvarnih oblika signala

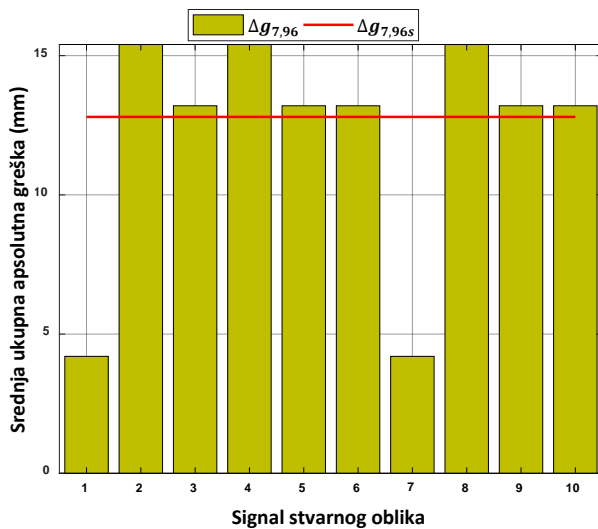
U slučaju deset stvarnih signala sa suzbijenim šumom ispod 20 MHz, koji po pretpostavci, nailaze jedan za drugim, sa slike 8 vidi se da srednja apsolutna greška položaja za petnaest proizvoljno izabranih izvora parcijalnih pražnjenja u sedmom oktantu ima najveću vrednost od 1,9 mm u z-koordinati. Kada se izvor parcijalnih pražnjenja nalazi u tački $I_{96} (-4,02; -1,51; -0,01)$ m, dobija se najveća apsolutna greška u z-koordinati od 7,3 mm, što je svega 0,18% visine transformatorskog suda.



Slika 9. Sedmi oktant transformatorskog suda sa 15 izabranih položaja (91.– 105.) izvora parcijalnih pražnjenja označenih ljubičastim tačkama. Za deset stvarnih signala sa suzbijenim šumom ispod 20 MHz, posebno je ružičastom bojom označena tačka $I'_{96} (-4,0183; -1,507; -0,0027)$ m za koju se ima najveće ukupno odstupanje (u svim trima koordinatama zajedno) od zadatog položaja $I_{96} (-4,02; -1,51; -0,01)$ m

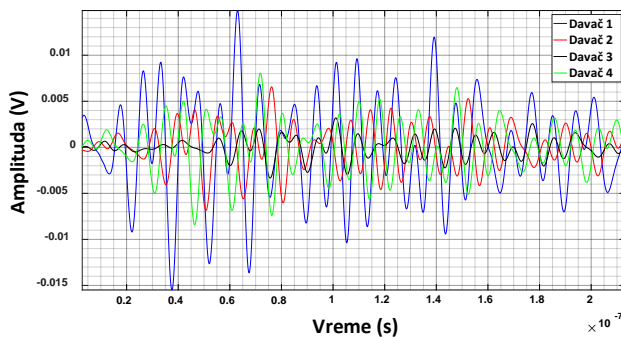
U najgorem slučaju, zbir apsolutnih grešaka položaja izvora parcijalnih pražnjenja u svim trima koordinatama takođe je najveći u odnosu na tačku I_{96} (-4,02; -1,51; -0,01) m i iznosi 12 mm.

Na slici 9, prikazan je samo 7. od osam oktanata transformatorskog suda sa 15 pretpostavljenih položaja (91.– 105.) izvora parcijalnih pražnjenja, označenih ljubičastim tačkama. Za deset stvarnih signala sa suzbijenim šumom ispod 20 MHz, posebno je ružičastom bojom označena tačka I'_{96} (-4,0183; -1,507; -0,0027) za koju se ima najveće ukupno odstupanje (u svim trima koordinatama zajedno) od zadatog položaja I_{96} (-4,02; -1,51; -0,01) m.



Slika 10. Srednje ukupne apsolutne greške $\Delta g_{7,96}$ i njihova srednja vrednost $\Delta g_{7,96s}$ pri određivanju položaja izvora parcijalnih pražnjenja u 7. oktantu transformatorskog suda u tački I_{96} (-4,02; -1,51; -0,01) m, za svaki od deset VHF signala stvarnog oblika posebno

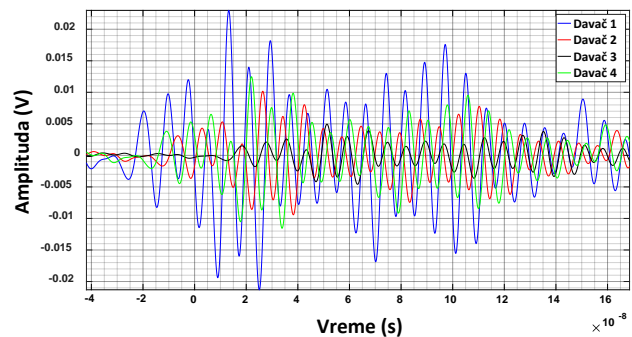
Na slici 10 prikazane su srednje ukupne (za sve tri koordinate zajedno) apsolutne greške Δg_{96s} i njihova srednja vrednost Δg_{96s} pri određivanju položaja izvora parcijalnih pražnjenja u 7. oktantu transformatorskog suda u tački I_{96} (-4,02; -1,51; -0,01) m, za svaki od deset VHF signala stvarnog oblika posebno.



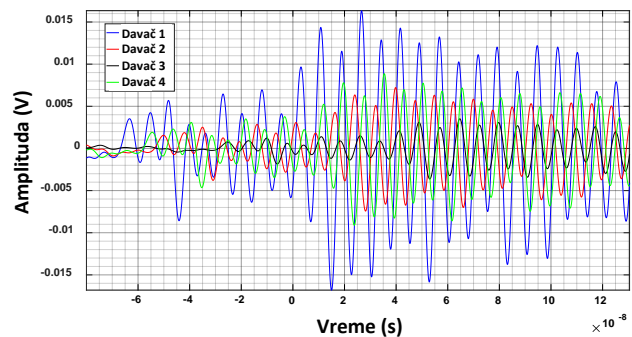
Slika 11. Prvi nailazeći VHF signali parcijalnog pražnjenja prvog stvarnog oblika na davačima 1–4. Pretpostavljeno je da je izvor parcijalnih pražnjenja u 7. oktantu u tački I_{96}

Pod pretpostavkom da VHF signali potiču iz izvora parcijalnih pražnjenja koji se nalazi u tački I_{96} (-4,02; -1,51; -0,01) m, pretpostavljena vremena prispeća signala parcijalnih pražnjenja do UHF davača 1, 2, 3 i 4 su: $T_1 = 10,44$ ns, $T_2 = 23,62$ ns, $T_3 = 48,5$ ns i $T_4 = 19,25$ ns. Odgovarajuće razlike u vremenima pristizanja između signala, u odnosu na referentni davač 1, su: $t_{21} = 13,18$ ns, $t_{31} = 38,06$ ns i $t_{41} = 8,81$ ns.

Za izvor parcijalnih pražnjenja u 7. oktantu transformatorskog suda u tački I_{96} (-4,02; -1,51; -0,01) m, za koju se dobija najveće ukupno odstupanje u položaju izvora za deset stvarnih oblika signala, koji po pretpostavci nailaze jedan za drugim, na slikama 11–13 prikazani su simulirani VHF signali parcijalnih pražnjenja stvarnog talasnog oblika na davačima 1–4, za svaki od deset slučajeva posebno. Izračunata vremena prispeća signala parcijalnih pražnjenja do UHF davača 1, 2, 3 i 4 su: $T_1 = 10,4161$ ns, $T_2 = 23,5955$ ns, $T_3 = 48,4755$ ns i $T_4 = 19,2255$ ns. Odgovarajuće razlike u vremenima pristizanja između signala, u odnosu na referentni davač 1, su: $t_{21} = 13,1794$ ns, $t_{31} = 38,0594$ ns i $t_{41} = 8,8094$ ns.

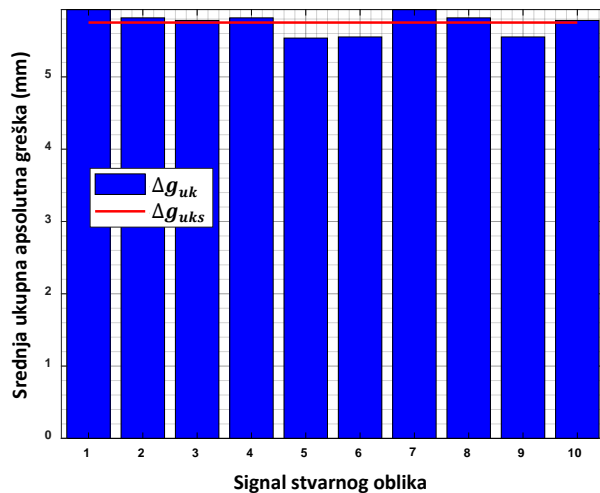


Slika 12. Četvrti nailazeći VHF signali parcijalnog pražnjenja četvrtog stvarnog oblika na davačima 1–4. Pretpostavljeno je da je izvor parcijalnih pražnjenja u 7. oktantu u tački I_{96}



Slika 13. Deseti nailazeći VHF signali parcijalnog pražnjenja desetog stvarnog oblika na davačima 1–4. Pretpostavljeno je da je izvor parcijalnih pražnjenja u 7. oktantu u tački I_{96}

Na slici 14 prikazane su srednje ukupne apsolutne greške Δg_{uk} i njihova prosečna vrednost Δg_{uks} pri određivanju položaja izvora parcijalnih pražnjenja u 120 tačaka transformatorskog suda za svaki od deset VHF signala stvarnog oblika posebno



Slika 14. Srednje ukupne apsolutne greške Δg_{uk} i njihova prosečna vrednost Δg_{uks} pri određivanju položaja izvora parcijalnih pražnjenja u 120 tačaka transformatorskog suda za svaki od deset VHF signala stvarnog oblika posebno

IV ZAKLJUČAK

Otkrivena su dva merila za određivanje početka najjačih parcijalnih pražnjenja u izmerenim VHF signalima: ili je pre početka najjačih parcijalnih pražnjenja signal bio oko nule ili je na prelaznom delu, neposredno pre izbivanja najjačih parcijalnih pražnjenja, došlo do smanjenja periode signala za preko 80%.

Rezultati mesta parcijalnih pražnjenja za pojedine signale stvarnog oblika, prikazani za kritične tačke pretpostavljenih izvora parcijalnih pražnjenja po pojedinim oktantima (npr. tačku 96), mogu primetno da se razlikuju, međutim gledano za svih 120 tačaka zajedno rezultati za srednju ukupnu apsolutnu grešku se malo razlikuju (najviše 7,11% za prvi signal u odnosu na peti signal). Srednje ukupna apsolutna greška položaja izvora za 120 pretpostavljenih tačaka za prvi signal je najveća i iznosi 5,93 mm, a za 5. signal je najmanja i iznosi 5,54 mm, dok je prosečna vrednost za svih 10 signala 5,75 mm.

LITERATURA

- [1] Oommen, T.V., Prevost, T.A. Cellulose Insulation in Oil-Filled Power Transformers: Part II – Maintaining Insulation Integrity and Life, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Volume: 22, Issue: 2, Pages: 5-14, 2006. <https://doi.org/10.1109/mei.2006.1618996>
- [2] Wang, M., Vandermaar, A. J., Srivastava, K.D. Review of Condition Assessment of Power Transformers in Service, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 18, Issue 6, pp. 12-25, 2002. <https://doi.org/10.1109/MEI.2002.1161455>
- [3] Dukanac, Đ. Nadgledanje i određivanje mesta parcijalnih pražnjenja u transformatorima metodom ispitivanja pomoću davača signala ultra visokih učestanosti, in Proc. 33. *Savetovanje CIGRE Srbija, Zlatibor*, Referat R A2 - 02, pp. 169-179, 5-8. jun 2017.
- [4] Dukanac, Đ. Primena davača signala ultra visoke učestanosti za nadziranje parcijalnih pražnjenja i pronalaženje neispravnog mesta u izolaciji energetskog transformatora, in Proc. 2. *Međunarodni simpozijum Investicije i nove tehnologije u energetici i rudarstvu*, Borsko jezero, pp. 145-153, 18-19. septembar 2017.
- [5] Dukanac, Đ. Otkrivanje i analiza signala parcijalnih pražnjenja u energetskom transformatoru UHF metodom, in Proc. XXXV Međunarodnog savetovanja u organizaciji Saveza energetičara *ENERGETIKA 2020, Zlatibor*, pp. 256-261, 21-24. jun 2020. godine
- [6] Dukanac, Đ. Primena UHF davača za određivanje mesta parcijalnih pražnjenja u energetskom transformatoru, in Proc. *Međunarodna konferencija Energy and Ecology Industry*, Beograd, pp. 214-221, 10-13. oktobar 2018.
- [7] Dukanac, Đ. Određivanje razlika u vremenima pristizanja signala do 4 UHF davača i mesta parcijalnih pražnjenja u energetskom transformatoru, in Proc. 3. *Međunarodni simpozijum Investicije i nove tehnologije u energetici i rudarstvu*, Vrnjačka Banja, pp. 72-79, 17-19. septembar 2018.
- [8] Dukanac, Đ. Efekti poboljšane UHF metode pronalaženja mesta parcijalnih pražnjenja energetskog transformatora, in Proc. VII regionalna konferencija IEEP '19 Industrial Energy and Environmental Protection in South Eastern European Countries, Zlatibor, pp. 263-270, 19-22. jun 2019.
- [9] Dukanac, Đ. Application of UHF Method for Partial Discharge Source Location in Power Transformers, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 25, Issue 6, pp. 2266-2278, 2018. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2018.006996>

AUTOR

mr Đorđe Dukanac, magistar elektrotehničkih nauka, „Elektromreža Srbije“ a.d., djordje.dukanac@ems.rs