

# Uticaj gama zračenja na mernu nesigurnost brzog, kompenzovanog kapacitivnog delila

Nenad Kartalović, Koviljka Stanković, *Member, IEEE*, Dušan Nikezić, Tomislav Stojić, Uzahir Ramadani i Uroš Kovačević

**Apstrakt**—U radu se razmatra uticaj gama zračenja na pouzdano merenje jednokratnih naponskih impulsa snopova elektrona za injektovanje u plazmu tokom fuzionih eksperimenata. U tu svrhu je konstruisano brzo, 10 GHz, delilo napona. Visokonaponski kondenzator je bio gasni kondenzator, a niskonaponski kondenzator je bila paralelna veza 10 liskunskih kondenzatora. Pokazalo se da primljena doza zračenja ispravlja prenosni odnos pošto poravnjava frekventnu karakteristiku liskuna u oblasti prostornog naelektrisanja. Ova pojava je objašnjena i sa pozitivnog i sa negativnog aspekta sa efektom na konkretnu primenu. Takođe je ukazano na potrebu daljeg rada na ovom problemu u cilju ustanovljavanja saturacione doze za dobijanje konstantne frekventne karakteristike liskuna. Istaknut je i interes za ponašanje brzog delila u neutronsom polju.

**Ključne reči**— fuzioni eksperiment; merenje naponskog talasa brzine 10 GHz; brzi delitelj napona; uticaj doze gama zračenja na tačnost i ponovljivost merenja.

## I. UVOD

SADAŠNJA koncepcija fuzionog reaktora se zasniva u zagrevanju plazme čestičnim snopovima (pošto se pokazalo da plazma nakon usijanja počne da reflektuje laserski snop koji je dugo bio predviđen za zagrevanje plazme). Čestice kojima se injektuje energija u plazmu smeštenu u „magnetnoj boci“ su elektroni. Ti elektroni se dobijaju standardnim Marksovim generatorom impulsnog oblika 1.2/50. Impulsi oblika 1.2/50 se sistemom provodnika i kondenzatora (kod kojih je i provodnik i dielektrik dejonizovana voda) pretvaraju u Hevisajdove (step) impulse širine oko 5 ns i snage više stotina GW. Pošto je ideja energetskih fuzionih postrojenja da desetak takvih elektronskih „topova“ istovremeno injektuju energiju od više TW u plazmu njihove najvažnije osobine su istovremenost okidanja (da nema jitera) i isti oblik izlaznog napona. Prvi problem se rešava troelektrodnim okidnim

Nenad Kartalović – Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Koste Glavinica 8a, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: [kartal@ieent.org](mailto:kartal@ieent.org)).

Koviljka Stanković – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11120 Beograd, Srbija. (e-mail: [kstankovic@etf.rs](mailto:kstankovic@etf.rs)).

Dušan Nikezić – Institut za nuklearne nauke „Vinča“ - Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Mike Petrovića Alasa bb., 1100 Beograd, Srbija (e-mail: [dusan@vin.bg.ac.rs](mailto:dusan@vin.bg.ac.rs)).

Tomislav Stojić – Mašinski fakultet, Univerzitet u Beogradu, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija (e-mail: [tstojic@mas.bg.ac.rs](mailto:tstojic@mas.bg.ac.rs)).

Uzahir Ramadani – Institut za nuklearne nauke „Vinča“ - Institut od nacionalnog značaja za Republiku Srbiju, Univerzitet u Beogradu, Mike Petrovića Alasa bb., 1100 Beograd, Srbija (e-mail: [uzahir@vin.bg.ac.rs](mailto:uzahir@vin.bg.ac.rs)).

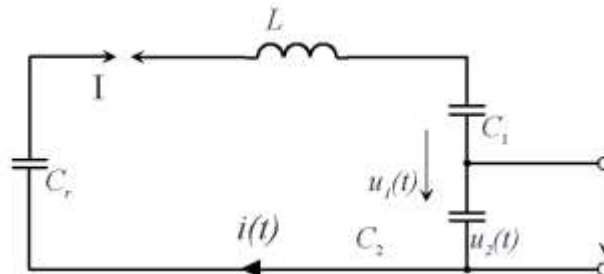
Uroš Kovačević – Inovacioni centar Mašinskog fakulteta, Kraljice Marije 16, 11120 Beograd, Srbija (e-mail: [ukovacevic@mas.bg.ac.rs](mailto:ukovacevic@mas.bg.ac.rs)).

iskrištem, a drugi primenom brzih, kompenzovanih kapacitivnih sonde odnosno delitelja [1-5].

Pošto brzi, kompenzovani delitelji mere naponski oblik impulsa brzine nano sekunde i snage GW na njih deluje visokoenergetsko polje gama zračenja. Cilj ovog rada je da se odredi kako takvo polje gama zračenja deluje na pouzdanost merenja brzog, kompenzovanog kapacitivnog delila.

## II. KAPACITIVNO DELILO

Koeficijent deljenja kapacitivnog delitelja, slika 1, u praksi je povezan sa spoljnim provodnicima i frekventnim karakteristikama dielektrika kondenzatora. Induktivnost spoljnih provodnika koji povezuju izvor napona i delitelja, u prvoj aproksimaciji može biti određena kao induktivnost konture koja iznosi oko 1  $\mu\text{H/m}$ . U praksi se treba konstruisati merni sistem sa minimalnom induktivnošću. Generalno induktivnost u tehnici visokih napona predstavlja najveći problem pošto lako dovodi do oscilatornih, pa i rezonantnih pojava [6,7].



Sl. 1. Uprošćena zamenska šema kola pražnjenja generatora udarnog napona sa deliteljem; L - ukupna induktivnost kola pražnjenja.

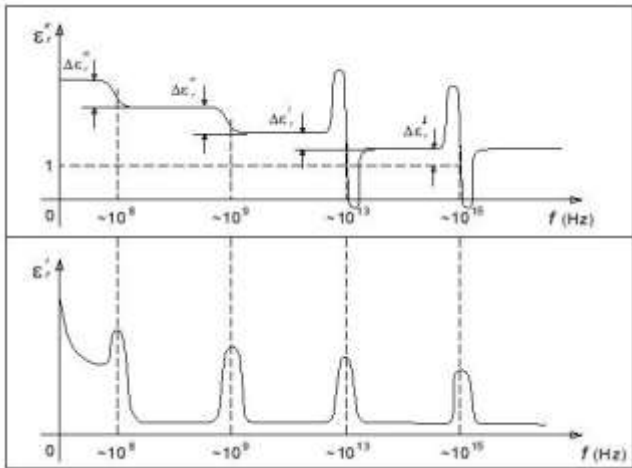
Frekventna karakteristika je zavisnost dielektrične konstante od frekvencije. Frekventna karakteristika zavisi od tipa polarizacije materijala koji se koriste kao dielektrici kondenzatora (visokonaponskog i niskonaponskog) kod delila napona. Frekventna karakteristika je osnovni uzrok što mereni visoki napon (naročito ako je brz), nije u linearnom odnosu sa izmerenim naponom. To znači da je koeficijent prenosa (u najjednostavnijem obliku) funkcija frekvencije:

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2(\omega)}{C_1(\omega)} = f(\omega) \quad (1)$$

Na taj način razdelnik napona ima različite vrednosti koeficijenta prenosa za različite frekvencije što deformiše

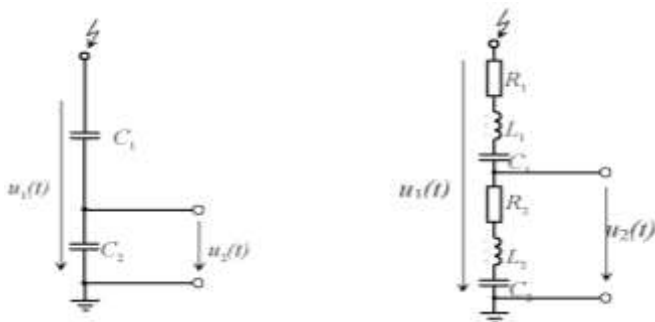
izmerenu vrednost [8,9].

Pošto postoje elektronska, jonska i prostorna vrsta polarizacije realna i imaginarna komponenta dielektrične konstante izgleda kao na slici 2. U praksi, pri izradi kapacitivnog delila za frekvencije GHz treba dobro voditi računa o izboru pravog materijala za dielektrike kondenzatora. Pored toga pri tako visokom redu veličine brzine impulsnog napona u razmatranje se mora uzeti induktivnost i otpornost svih komponenti.



Sl. 2. Frekventna karakteristika materijala koji ima elektronski, jonski i prostorni tip polarizacije;  $\epsilon''$  je realna komponenta relativne dielektrične konstante,  $\epsilon'$  je imaginarna komponenta relativne dielektrične konstante.

Uслед toga kapacitivni razdelnik ne izgleda više kao dva redno vezana kondenzatora, slika 3a, već kao složena struktura, slika 3b. Prema tome da bi se izradilo delilo napona sa kojim je moguće meriti izlaz iz fuzionog topa ono mora imati minimalnu otpornost i induktivnost komponenata, konstantne frekventne karakteristike u oblasti od 0 – 10 GHz. Pored svega toga delila za ovu namenu moraju biti u potpunosti otporna na polje gama zračenja širokog opsega (u kome rade) [10-14].



Sl. 3a. Kapacitivni delitelj napona sa skoncentrisanim kapacitetom u grani visokog napona; Slika 3b. Zamenska šema kapacitivnog delitelja napona uz uzimanje u obzir njegove induktivnosti i otpora.

### III. EKSPERIMENT

Da bi se izbegli prethodno pobrojani neželjeni efekti napravljeno je brzo kapacitivno delilo sa gasnim visokonaponskim kondenzatorom tipa kalota-kalota. Spoljašnje i unutrašnje površine tog gasnog kondenzatora bile su polirane do visokog sjaja. Komora gasnog kondenzatora bila je napunjena SF6 gasom pod pritiskom 5 bar. Ovakvim izborom visokonaponskog kondenzatora izbegnuto je nepovoljno dejstvo elektrostatičkih i elektrodinamičkih sila (što se dešava u slučaju da je visokonaponski kondenzator tipa ulje-papir). Na slici 4 prikazano je telo visokonaponskog kondenzatora zajedno sa visokonaponskom kalotom [15,16].



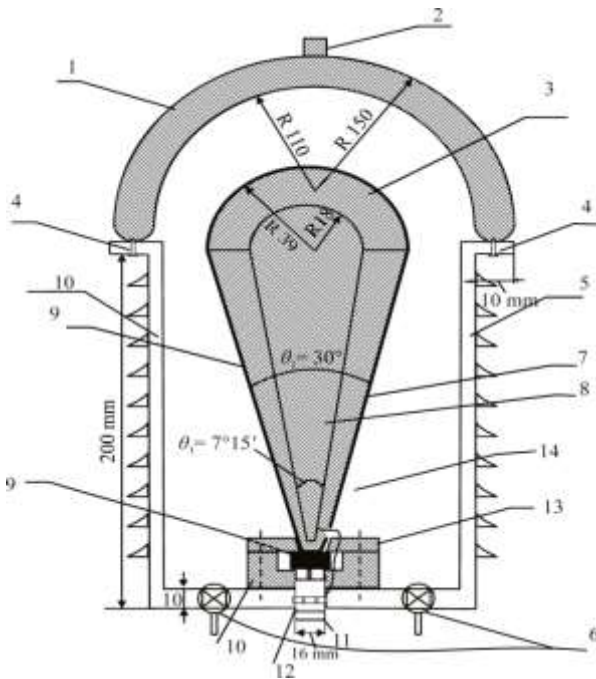
Sl. 4. Fotografija kućišta delitelja napona.

Kao niskonaponski kondenzator korišćena je paralelna veza od po deset identičnih liskunskih kondenzatora zalivenih u epoksilnu smolu. Korišćenje paralelne veze je omogućilo deset puta veći kapacitet ( $C_e = 10C$ ) i deset puta manju induktivnost ( $L_e = L/10$ ). Na slici 5 prikazan je niskonaponski kondenzator korišćen u radu. Merni izvod između visokonaponskog i niskonaponskog kondenzatora bio je izrađen u obliku talasovodnog  $50 \Omega$  otpornika. Na gornjem kraju talasovodni otpornik je završavao na niskonaponskoj kaloti visokonaponskog kondenzatora. Na donjoj strani talasovodni otpornik je prolazio kroz niskonaponski kondenzator i završavao BNC buksnom. Talasovodni otpornik je primenjivan pošto je njegova otpornost jednaka prilagodnoj otpornosti od  $50 \Omega$  (korišćeni su  $50 \Omega$  kablovi) a induktivnost je nula. Sve veze u niskonaponskom kondenzatoru su izrađene da dužinski budu minimalne.



Sl. 5. Fotografija niskonaponskog kondenzatora.

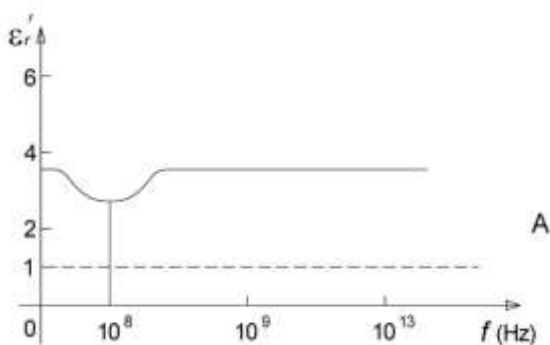
Na slici 6 je prikazan poprečni presek konstruisanog brzog, kompenzovanog kapacitivnog delitelja [17-19].



Sl. 6. Poprečni presek delitelja napona.

1– metal, 2– visokonaponski priključak, 3– metalni deo; 4– zaptivka, 5– plastična cev, 6– ventil za punjenje i pražnjenje, 7– dielektrik niskonaponskih kondenzatora, 8– metalni deo; 9– metalni deo, 10– plastični prsten, 11– fiksni deo BNC konektora, 12– priključna veza delitelja sa BNC konektorom (u tački između visoko i niskonaponske grane), 13– plastični prsten, 14– SF<sub>6</sub> gas 5 bar.

Niskonaponski kondenzator, kao što je rečeno, bio je izrađen kao paralelna veza 10 identičnih liskunskih kondenzatora. Liskunski kondenzatori su korišćeni zbog svoje frekventne karakteristike. Frekventna karakteristika liskuna je skoro konstantna s tim što ima uočljivo ulegnuće u oblasti delovanja polarizovanog prostornog naelektrisanja, slika 7. Razlog za to je lisnata struktura liskuna.



Sl. 7. Frekventna karakteristika liskunskog dielektrika korišćenih kondenzatora za izradu niskonaponskog kondenzatora.

Od velikog broja liskunskih kondenzatora za izradu niskonaponskih kondenzatora su izabrani oni sa identičnim vrednostima kapaciteta, tangensa ugla gubitaka, paralelne otpornosti i dielektrične konstante merena različitim naponima i frekvencijama. Od takvih kondenzatora je,

standardizovanim postupkom, pravljen niskonaponski kondenzator delitelja. Ostatak kondenzatora, u grupama po 10, izloženi su kontrolisanom gama zračenju u laboratoriji za Zaštitu od zračenja i na jonizacionoj komori.

Zračenja su izvedena u kolimitiranom snopu proizvedenom od izvora zračenja Co-60. Izotop Co-60 izlaže se beta raspadu, nakon čega sledi fotonsko zračenje od 1,33 MeV i 1,17 MeV, sa verovatnoćom emisije blizu 1. Beta čestice koje se emituju tokom raspada ne doprinose dozi na mestu ispitivanja zbog zaštite izvora.

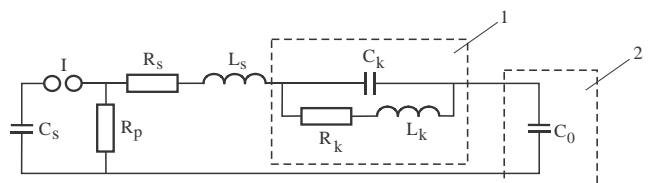
Referentne vrednosti su određene sa mernom nesigurnošću od 2.3 % ( $k = 2$ ). Kondenzatori su ozračeni jedan po jedan, u laboratorijskim uslovima, na udaljenosti od 63.8 cm od izvora. Brzina doziranja na tački ispitivanja bila je 13.5 Gy/h, a vreme zračenja je odabrano tako da se sledeće doze isporuče u kondenzatore: 140 Gy, 170 Gy, 200 Gy, 220 Gy, 250 Gy, 280 Gy and 420.

Nakon ozračenja kondenzatora vršeno je merenje istih karakteristika kao i neozračenih kondenzatora. Zatim su i od ozračenih kondenzatora iste doze, pravljeni niskonaponski kondenzatori delitelja.

Nakon formiranja delitelja napona sa koncentrisanim visokonaponskim kondenzatorom pristupilo se testiranju delitelja kombinacijom numeričkog i eksperimentalnog postupka. Eksperimentalni postupak se sastojao od merenja odziva delitelja na Hevisajdov naponski impuls brzine porasta ns. Numerički postupak se sastojao primenom računarskih postupaka (EMTP ATP) na iste konfiguracije pod istim uslovima. Na slici 8 prikazana je fotografija sistema za snimanje odziva delitelja na primenjeni impuls. Na slici 9 prikazana je šema generatora impulsa za dobijanje Hevisajdovog step impulsa 5 ns [20-22].



Sl. 8. Fotografija sistema za snimanje odziva delitelja na pravougaoni impuls.



Sl. 9. Šema kompenzovanog generatora za dobijanje Hevisajdovog step impulsa porasta 5 ns; 1- kompenzaciona grana, 2- test objekat.

U toku eksperimenta merni uređaj se nalazio u zaštitnoj kabini zaštite preko 100 dB. Merni instrumenti u kabini su bili galvaniski odvojeni od delitelja. Snimanja odziva delila su bila ponavljana po 100 puta. Na dobijenom statističkom uzorku vršena je detaljna statistička analiza [23,24]. Merna nesigurnost postupka je bila manja od 5 % [25-28].

#### IV. REZULTATI I DISKUSIJA

Dejstvo primene doze na karakteristike liskunskih kondenzatora (a time i na niskonaponski kondenzator delila) prikazano je u tabeli 1. Iz tabele 1 se vidi da se kapacitet, tangens ugla gubitaka, impedansa i paralelna otpornost

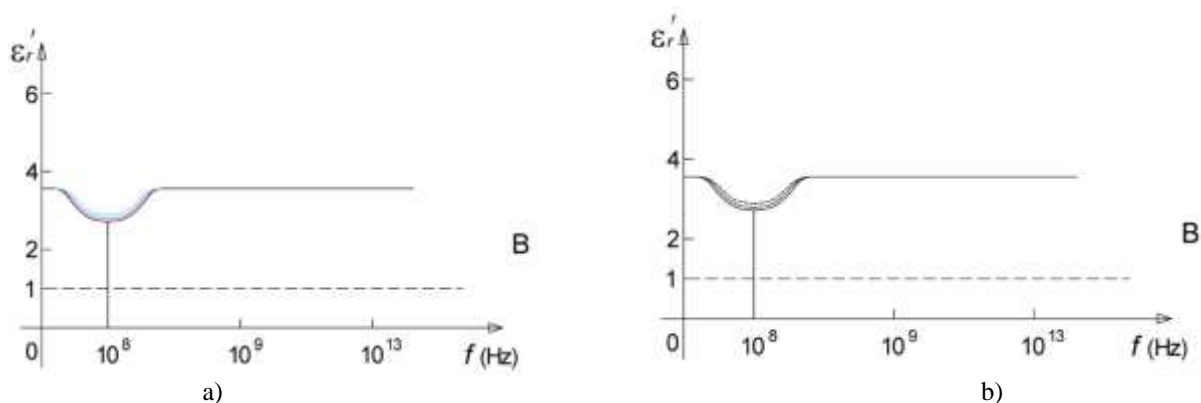
ekvivalentne šeme realnog kondenzatora poboljšavaju sa povećanjem doze zračenja. Ovaj neočekivani rezultat dolazi naročito do izražaja u slučaju frekventne karakteristike liskuna. Naime, efekat polarizacije prostornog naelektrisanja izražen u slučaju ozračenih kondenzatora znatno je manji nego u slučaju da kondenzator nije primio dozu zračenja. Ova promena frekventne karakteristike je jasno uočljiva ako se uporede frekventne karakteristike liskuna sa slike 7 (neozračeni uzorci) i sa slika 10a i 10b (ozračeni uzorci). Sa slika 10a i 10b se vidi da sa većom primljenom dozom zračenja više opada odstupanje frekventne konstante.

TABELA I

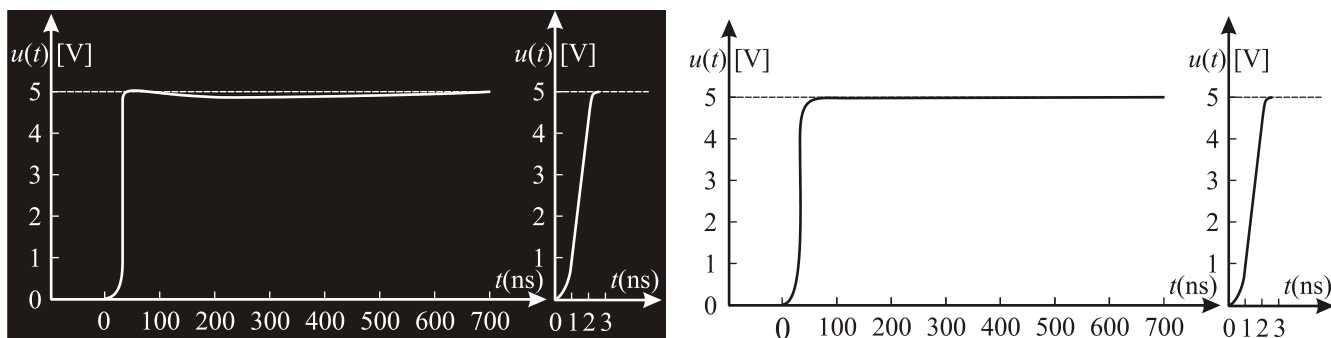
VREDNOSTI KAPACITETA, IMPEDANSE, INDEKSA GUBITAKA I PARALELNOG OTPORA POJEDINAČNIH NEOZRAČENIH I OZRAČENIH KONDENZATORA; ISPITNI NAPON  $U = 1$  V; ISPITNA FREKVENCIJA  $F = 1000$  HZ

Uzorak		C7		C2		C4		C1		C6	
Doza	Gy	0	140	0	170	0	200	0	220	0	250
Kapacitet	C (nF)	10.1930	11.7310	10.1720	11.6900	10.2060	11.7350	10.2080	11.7400	10.1700	12.2020
Impedansa	Z(k $\Omega$ )	15.6140	17.9480	15.6460	17.9900	15.5940	17.9470	15.5910	17.9500	15.6490	18.0550
Indeks gubitaka	tan $\delta$	0.000698	0.000665	0.000698	0.000665	0.000698	0.000665	0.000698	0.0006880	0.000698	0.000646
Paralelni otpor	R <sub>0</sub> (M $\Omega$ )	22.3656	24.5300	22.4118	24.6442	22.3371	24.5741	22.3327	24.6400	22.4162	24.6400

Uzorak		C5		C3		C10		C9		C8	
Doza	Gy	0	280	0	420	0	1400	0	14 000	0	42 000
Kapacitet	C (nF)	10.1420	11.6600	10.1100	11.6150	10.1350	11.6570	10.1740	11.7500	10.1980	11.7370
Impedansa	Z(k $\Omega$ )	15.6930	18.0550	15.7420	18.1125	15.7030	18.0050	15.6430	17.9950	15.7420	17.9100
Indeks gubitaka	tan $\delta$	0.000698	0.000665	0.000698	0.000665	0.000175	0.000331	0.000698	0.000665	0.000698	0.000665
Paralelni otpor	R <sub>0</sub> (M $\Omega$ )	22.4781	24.7530	22.5492	24.7501	89.9744	49.4889	22.4070	24.6098	22.3546	24.5353



Sl. 10. Frekventna karakteristika liskunskog dielektrika korišćenih kondenzatora za izradu niskonaponskih kondenzatora; a) doza 420 Gy; b) doza 42 000 Gy.



Sl. 11. Odziv kapacitivnih delitelja na pravougaoni impuls (izračunato).

Ovaj efekat, koji je izuzetno povoljan u slučaju liskunskih kondenzatora za niskonaponski kondenzator kapacitivnog delila posledica je strukture liskuna. Liskun je izrazito lisnate strukture. Kod liskuna van električnog polja dolazi do poklapanja pozitivnog i negativnog naelektrisanja usled Kulonovog efekta. To se dešava između svih slojeva liskuna. Međutim pod dejstvom električnog polja ta pozitivna i negativna naelektrisanja se razilaze i dolazi do polarizacije liskuna. Međutim pošto su listovi liskuna izuzetno tanki i mala deponovana energija gama zračenja može da ih pričvrsti (slepi) jedan uz drugi i time spreči njihovu polarizaciju. Po tom objašnjenju što je veća deponovana energija gama zračenja dolazi do veće homogenizacije liskunskog dielektrika što za posledicu ima smanjenje efekta prostorne polarizacije.

Na osnovu rezultata prikazanih u tabeli 1 može se zaključiti da parametri ispitivanih kondenzatora prate očekivane zavisnosti od primljene doze u skladu sa diagramima prikazanim na slikama 7 i 9. Iako se rezultati prikazani na slici 11 na prvi pogled čine istim pažljivom analizom se može ustanoviti da numerički eksperiment u oblasti srednjih frekvencija daje za preko 3 % veće vrednosti odzivne funkcije. To je posledica činjenice da numerički eksperiment koristi konstantnu vrednost realnog dela relativne dielektrične konstante. U slučaju neozračenih niskonaponskih kondenzatora ovo odstupanje je preko 9 %. U oblasti visokih frekvencija slaganje rezultata numeričkog i realnog eksperimenta je skoro 100 %. To se vidi na desnom delu slike 11.

## V. ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati o uticaju gama zračenja na brzi, kompenzovani, kapacitivni delitelj sa liskunskim kondenzatorima u niskonaponskom kapacitetu pokazuju da primljena doza deluje u pravcu poboljšanja prenosnog odnosa delitelja. Međutim ni ovaj, prinudno pozitivan efekat, nije poželjan sa metrološke tačke gledišta. Naime svaki rezultat dobijen jednim mernim sistemom treba da bude reproduktivan. Međutim, u uslovima primene brzog delitelja napona koji se stalno nalazi u polju visokoenergetskog gama zračenja on, tako reći, kontinualno menja svoje prenosne karakteristike. To je nepoželjno pošto sprečava poređenje uzastopno dobijenih rezultata. Iz tog razloga, smatramo da ispitivanje treba nastaviti sa većim dozama zračenja da bi se utvrdilo da li uočeni efekat ulazi u saturaciju. Takođe smatramo da stabilnost prenosnog odnosa naponskog delitelja

namenjenog primeni u ekperimentima nuklearne fuzije sa elektronskim injektovanjem energije u plazmu treba proširiti i na neutronske polje. Naime, u ovom tipu eksperimenta javljaju se i neutroni velike srednje slobodne dužine puta koji mogu da interaguju sa niskonaponskim kondenzatorom delitelja. Naravno dobijeni rezultat je važan, i primenjiv, za delila napona koja ne rade u polju gama zračenja pošto nepovratno popravljaju njihove prenosne karakteristike.

## LITERATURA

- [1] Osmokrović, P., Arsić, N., Kartalović, N., Triggered three-electrode spark gaps, (1995) Digest of Technical Papers-IEEE International Pulsed Power Conference, 2, pp. 822-827.
- [2] A. Schwab, Hochspannungsmeß-technik, Springer – Verlag, Berlin, Germany, 1981.
- [3] International Atomic Energy Agency, Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments, IAEA Safety Reports Series No.16, Vienna, (2000).
- [4] Vereb, L., Osmokrović, P., Vujisić, M., Lazarević, Z., Kartalović, N., Effect of insulation construction bending on stator winding failure, (2007) IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 14 (5), pp. 1302-1307.
- [5] BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML, The International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, International Organization for Standardization, Geneva (1993).
- [6] P. Osmokrović, N. Arsić, Z. Lazarević and Z. Kusić „Numerical and experimental design of three – electrode spark gap for synthetic test circuits“, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 3, pp. 1444 – 1450, July 1994.
- [7] P. Osmokrović, D. Filipović, M. Pešić and Z. Lazarević, „Transient electric field measurement in the liquid dielectrics using computerized laser tomography“, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 56, No. 6, pp. 2538 – 2546, December 2007.
- [8] P. Osmokrović, I. Milovanović, M. Vujisić, K. Stanković, R. Radosavljević, „Experimental measurements of very fast transient voltages based on an electro-optic effect“, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 43, No. 1, pp. 408 – 417, 2012.
- [9] Kartalović, N.M., Jokanović, B.M., Bebić, M.Z., Lazarević, D.R., Degradation of stator insulation of high-voltage asynchronous machines in gamma and neutron radiation field, (2019) Nuclear Technology and Radiation Protection, 34 (3), pp. 264-271.
- [10] N. Arsić, P. Osmokrović and I. Milovanović, „The influence of the Low-Voltage capacitor dielectric material on the capacitive probe response in the nanosecond range“, Digest of Technical Papers – 2005 IEEE Pulsed Power Conference, Monterey, CA, United States, pp. 726-729, 13-17. June 2005.
- [11] Dolićanin, E.Č., Fetahović, I.S., Monte Carlo optimization of redundancy of nanotechnology computer memories in the conditions of background radiation, (2018) Nuclear Technology and Radiation Protection, 33 (2), pp. 208-216.
- [12] Trifunović-Dragišić, V.Z., Stanković, M.D., Brajović, D.V., Kartalović, N.M., Estimation of the lifetime of solar cells in real conditions using

- accelerated aging under the influence of neutron and gamma radiation, (2019) *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 34 (3), pp. 256-263.
- [13] Osmokrovic, P., Stojanovic, M., Loncar, B., Kartalovic, N., Krivokapic, I., Radioactive resistance of elements for over-voltage protection of low-voltage systems, (1998) *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 140 (1-2), pp. 143-151.
- [14] A. Kuchler, *Hochspannungstechnik*, Springer, Berlin, 2009.
- [15] G. Yue, W. Liu, W. Chen, Y. Guan, Z. Li and H. Wang, "Measurement methods of very fast transient overvoltage in gas insulated switchgear with complete process", *Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering*, Vol. 31, pp. 18-27, 2011.
- [16] P. Osmokrović, D. Petković, O. Marković, N. Kartalović, Đ. Vukić: Measuring System for Fast Transient Monitoring in Gas – Insulated Substations, *ETEP*, 1997, Vol. 24, No. 6, pp. 165-172.
- [17] IEC Publication Nr. 60060-1: High – voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements, IEC 1989, Genf.
- [18] P. Osmokrović, D. Petković and O. Marković, "Measuring probe for fast transients monitoring in gas - insulated substations", *ETEP/IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. 46, pp. 36-45, 1997.
- [19] Obrenović, M.D., Pejović, M.M., Lazarević, D.R., Kartalović, N.M., The effects induced by the gamma-ray responsible for the threshold voltage shift of commercial p-channel power VDMOSFET, (2018) *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 33 (1), pp. 81-86.
- [20] HAEFELY Documentation: Impulse Current Test Sistem, Type SSGA 30-200 kA, Basel, 2001.
- [21] P. Osmokrović, G. Ilić, K. Stanković, Č. Dolićanin, M. Vujisić: Determination of Pulse Tolerable Voltage in Gas-Insulated Systemy, *Japanese Journal of Applied Physics* Vol. 47 (2008), pp. 8928-8934.
- [22] M. Stojkanović, G. Djukić, K. Stanković, M. Vujisić and P. Osmokrović, "Design Deployment and verification of the capacitive voltage divider for measuring fast transient occurrences in the nanosecond range", *Int. J. Elec Power*, Vol. 43, pp. 1479-1486, 2012.
- [23] Čaršimamović, A.S., Mujezinović, A.Z., Bajramović, Z.F., Turković, I.M., Košarac, M.P., Low frequency electric field radiation level around high-voltage transmission lines and impact of increased voltage values on the corona onset voltage gradient, (2018) *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 33 (2), pp. 201-207.
- [24] BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP and OIML, *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*, International Organization for Standardization, Geneva (1995).
- [25] Jusić, A., Bajramović, Z., Turković, I., Mujezinović, A., Osmokroć, P.V., Synergy of radioactive 241Am and the effect of hollow cathode in optimizing gas-insulated surge arresters characteristics, (2018) *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 33 (3), pp. 260-267.
- [26] Jeftenić, I., Kartalović, N., Brajović, D., Lončar, B., Aging of stator coil interconductor insulation of high voltage asynchronous motor, (2018) *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 25 (1), pp. 352-359.
- [27] Perazić, L.S., Belić, Č.I., Arbutina, D.B., Application of an electronegative gas as a third component of the working gas in the Geiger-Mueller counter, (2018) *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 33 (3), pp. 268-274.
- [28] Obrenović, M.D., Janićijević, A.J., Arbutina, D.S., Statistical review of the insulation capacity of the geiger-mueller counter, (2018) *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 33 (4), pp. 369-374.

#### ABSTRACT

The effect of gamma radiation on the reliable measurement of single voltage pulses of electron beam injectors into plasma during fusion experiments is considered in the manuscript. For this purpose, a 10 GHz fast voltage divider was constructed. The high-voltage capacitor was a gas condenser, and the low-voltage capacitor was a parallel connection of 10 mica capacitors. It turned out that the received radiation dose corrects the transmission ratio since it aligns the frequency characteristic of the mica in the area of spatial charge. This phenomenon has been explained from both a positive and a negative aspect with an effect on concrete application. The need for further research on this problem was also pointed out in order to establish a saturation dose to obtain a constant frequency characteristic of the mica. The interest in the fast-divider behavior in the neutron field is also highlighted.

#### **Influence of gamma radiation on the measurement uncertainty of a fast, compensated capacitive divider**

Nenad Kartalović, Koviļjka Stanković, Dušan Nikezić,  
Tomislav Stojić, Uzahir Ramadani i Uroš Kovačević