

UTICAJ MATERIJALA ELEKTRODA I PRITISKA NA KARAKTERISTIKE MODELA GASNOG ODVODNIKA PRENAPONA U POLJU GAMA ZRAČENJA

Boris Lončar,¹ Nenad Kartalović,² Srboljub J. Stanković,³ Aleksandra Vasić,⁴ Predrag Osmokrović,⁵
¹Tehnološko-metalurški fakultet u Beogradu, ²Viša železnička škola u Beogradu, ³Institut za nuklearne nauke "VINČA"
⁴Mašinski fakultet u Beogradu, ⁵Elektrotehnički fakultet u Beogradu

Sadržaj – Cilj ovog rada je da pokaže mogućnosti poboljšanja karakteristika gasnih odvodnika prenapona u polju gama zračenja odgovarajućim izborom konstrukcionih parametara. U tu svrhu ispitivan je uticaj materijala elektroda i pritiska na pretprobajnu struju modela gasnog odvodnika prenapona u jednosmernom režimu. Dobijeni rezultati pokazuju da je optimalno rešenje model odvodnika sa elektrodama od mesinga pri većoj vrednosti pritiska.

1. UVOD

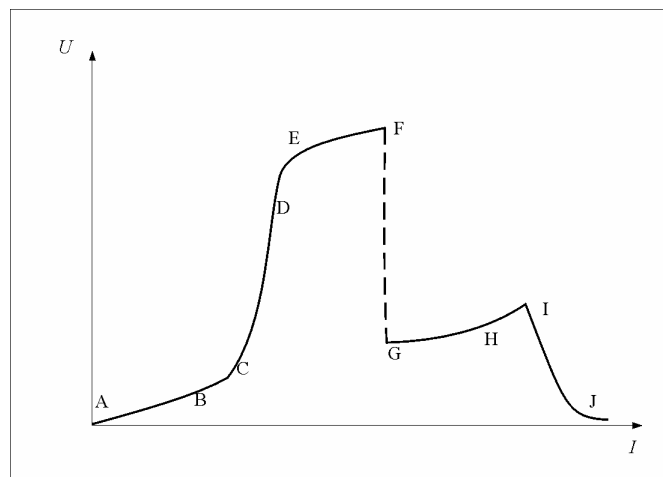
Razvoj elektronike i računarske tehnike, koji se posebno ogleda u sve većoj minijaturizaciji, odnosno u sve većem stepenu integracije elektronskih komponenata aktuelizovao je problem njihove zaštite od prenapona. Naime, otpornost na pojavu prenapona je značajno smanjena minijaturizacijom elektronskih komponenata. Zato je veoma bitno posvetiti što veću pažnju problemu prenaponske zaštite komponenata. Gasni odvodnici prenapona su jedni od najboljih i najčešće primenjivanih nelinearnih elemenata za zaštitu od prenapona na niskonaponskom nivou [1,2]. Stabilnost njihovih karakteristika je posebno važna u specifičnim uslovima rada, u koje svakako spada, i rad pod dejstvom radioaktivnog zračenja. Gasni odvodnici, danas, nalaze sve veću primenu u vojnoj industriji i svemirskoj tehnologiji. Zbog toga je pitanje njihove radijacione otpornosti i pouzdanosti od prvorazrednog značaja. Ovaj problem je posebno interesantan u slučajevima kada brzi elektromagnetni impulsi i radioaktivno zračenje istovremeno deluju na gasne odvodnike.

Zbog svega navedenog danas se proučavanju radijacione otpornosti elektronskih komponenata posvećuje velika pažnja [3-6]. Najbolji dokaz ove činjenice je da je Ministarstvo odbrane Sjedinjenih američkih država u svojoj strategiji zacrtalo da "nuklearna izdržljivost i otporne karakteristike treba da budu uključeni u dizajn, akviziciju i rad značajnih i manje značajnih sistema koji ostvaruju kritične misije u nuklearnim konfliktima"[7]. S naučne tačke gledišta najbolji dokaz iznetih tvrdnji je da se svake godine u SAD ili Kanadi počev od 1964. godine održava IEEE Nuclear and Space Radiation Effects Conference (NSREC), dok se svake druge godine počev od 1991. godine u Evropi održava Radiation and Its Effect on Components and Systems Conference (RADECS) na kojoj se izlažu brojni radovi i workshopovi u kojima se prikazuju rezultati ispitivanja radijacione otpornosti i pouzdanosti elektronskih komponenata u različitim radnim uslovima i okruženjima. Radovi iz ove oblasti imaju vrlo visoku citiranost, što je pouzdan dokaz aktuelnosti i značaja ove problematike [8].

Cilj ovog rada je da se odgovarajućim izborom materijala elektroda i optimalne vrednosti pritiska u gasnoj cevi formira model gasnog odvodnika prenapona, koji omogućava njegovu što pouzdaniju i širu primenu.

2. PRINCIP RADA GASNIH ODVODNIKA

Princip funkcionisanja gasnih odvodnika prenapona zasniva se na procesu električnog proboja u gasu. Proces proticanja struje kroz gas može se opisati naponsko-strujnom karakteristikom, koja je prikazana na slici 1.



Sl.1. Zavisnost napona od struje u gasnoj cevi

Ukoliko je uspostavljen proces vremenski nepromenljive zapreminske jonizacije i ako na elektrode gasnog odvodnika dovedemo napon doći će do proticanja struje kroz odvodnik. U tački A na slici 1 struja ne protiče kroz odvodnik, ali postoji izvestan broj jona i slobodnih elektrona, kao posledica dejstva spoljašnjih jonizatora (kosmičko zračenje, prirodna radioaktivnost). U oblasti od tačke A do tačke B pri malim naponima samo deo jona i elektrona nastalih dejstvom spoljašnjeg izvora dolazi do elektroda, a ostatak se rekombinuje. Sa povećanjem jačine električnog polja u međuelektrodnom prostoru dolazi do bržeg kretanja nosilaca naelektrisanja i raste broj nosilaca, koji stižu do katode, tj. smanjuje se verovatnoća rekombinacije. U oblasti od tačke B do tačke C struja prelazi u zasićenje, tj. proces rekombinacije postaje zanemarljiv, što znači da skoro svi generisani nosioci stižu na elektrode. Dalje povećanje struje ne dovodi do povećanja napona, ali nosioci između sudara sa atomima gasa imaju sve veću energiju. U oblasti od tačke C do tačke D polje je dovoljno jako da potpuno onemogućava rekombinaciju i porast napona ne dovodi do porasta struje. U oblasti od tačke D do tačke E polje dostiže takvu vrednost da pojedini elektroni tokom vremena između dva sudara stiču dovoljnu kinetičku energiju da mogu da izazovu jonizaciju atoma tokom sudara. U oblasti od tačke E do tačke F dolazi do naglog porasta struje sa porastom napona. To je posledica multiplikativnih procesa, a pre svega udarne jonizacije. U tački F nesamostalno

pražnjenje prelazi u samostalno, odnosno proces jonizacije više ne mora da se održava spoljašnjim izvorom zračenja. Napon u tački F naziva se napon paljenja ili probojni napon. To je napon pri kome dolazi do proboja gasa u odvodniku. On zavisi od vrste gasa, pritiska gasa (p) i rastojanja između elektroda (d). Oblast od tačke A do tačke F na slici 1 naziva se oblast Townsendovog pražnjenja. Dakle, od tačke F pražnjenje postaje samostalno i između tačaka F i H za održavanje struje je dovoljan napon manji od probojnog, a struja se može održavati i bez spoljašnjeg izvora jonizujućeg zračenja. U toj oblasti struja naglo raste, a napon opada. Gas počinje da svetli, jer se prilikom procesa rekombinacije i deeksitacije molekula gasa emituju fotoni. U oblasti od tačke H do tačke I sa povećanjem napona struja se malo menja. U tački I počinje proces lučnog pražnjenja, pri kome napon naglo opada, a struja raste. Pri tom vrednost napona opada do vrednosti jonizacionog potencijala za dati plemeniti gas (oko 15 V do 20 V), a struja raste i do 1000 A. Za održavanje procesa lučnog pražnjenja potrebne su male struje reda 0,1 A. Stoga se gašenje odvodnika može postići samo smanjivanjem struje na zanemarljivo malu vrednost ili njenim totalnim isključivanjem.

3. REZULTATI DOSADAŠNJIH ISPITIVANJA

Zbog velike primene gasnih odvodnika prenapona na niskonaponskom nivou, pre svega u telekomunikacijama, vojnoj industriji i svemirskoj tehnologiji, ispitivane su njihove karakteristike pri različitim radnim uslovima, odnosno pri uticaju različitih spoljašnjih i konstrukcionih faktora. Ispitivan je uticaj temperature na karakteristike elemenata prenaponske zaštite [9]. Rezultati ispitivanja su pokazali da gasni odvodnici prenapona pokazuju odličnu stabilnost zaštitnih karakteristika u širokom opsegu promena temperatura od -90°C do $+210^{\circ}\text{C}$, pri čemu se statički probojni napon menja u granicama manjim od 5%. Promene dinamičkog probojnog napona nisu detektovane. Zaključeno je da gasni odvodnici prenapona pokazuju najbolje zaštitne karakteristike od svih elemenata prenaponske zaštite u širokom opsegu promene temperature.

Proučavan je i uticaj efekta starenja na karakteristike elemenata za zaštitu od prenapona [10]. Pokazano je da su gasni odvodnici prenapona najotporniji elementi sa stanovišta promene karakteristika usled procesa starenja.

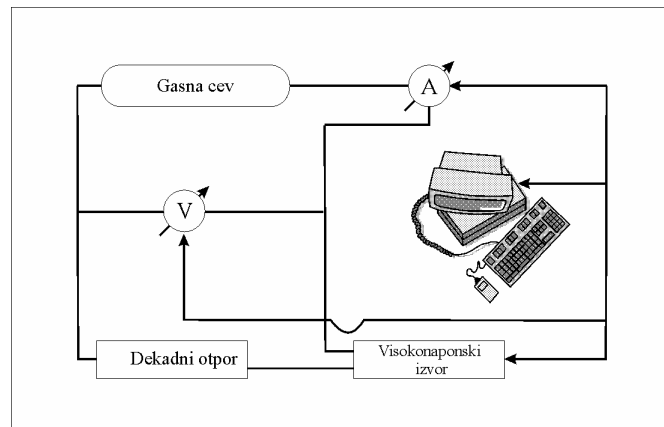
Analiziran je i uticaj radioaktivnog $n_{+}\gamma$ zračenja na karakteristike elemenata prenaponske zaštite [11]. Utvrđeno je da ($n_{+}\gamma$) zračenje dovodi do privremenog poboljšanja karakteristika gasnih odvodnika prenapona. U cilju poboljšanja zaštitnih karakteristika gasnih odvodnika u njih su ugrađivani α i β radioaktivni izvori. Ustanovljeno je da gasni odvodnici sa radioaktivnim punjenjem imaju više od tri puta veću brzinu odziva, odnosno da je vreme njihovog odziva reda 30 ns, za razliku od klasičnih odvodnika kod kojih je reda 100 ns [12]. Ispitivana je i mogućnost poboljšanja zaštitnih karakteristika, tj. povećanja brzine odziva gasnih odvodnika primenom elektrodnih efekata i to u prvom redu efekta šuplje katode, čime bi se izbegla ugradnja radioaktivnih izotopa [13].

4. EKSPERIMENT

Instrumentacija korišćena u eksperimentalnim ispitivanjima sastojala se od sledećih osnovnih delova:

- 1) gasno – vakuumska komora, 2) merač pritiska SPEEDIVAC, 3) čelična boca sa argonom pod pritiskom,
- 4) vakuum pumpa EDWARDS 5, 5) izvor jednosmernog napona CANBERRA, 6) AVO metar ISKRA MI 7006,
- 7) digitalni multimetar LDM – 852 A, 8) dekadna kutija MA 2110 i 9) koaksijalni kablovi i priključci.

Električna blok šema korišćene aparature prikazana je na slici 2.



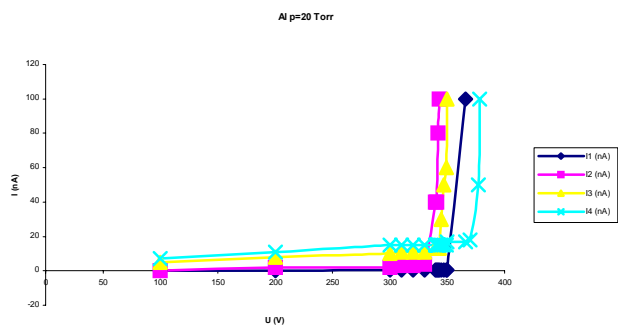
Sl.2. Blok šema aparature

Ispitivanja gasnih odvodnika prenapona vršena su prema sledećoj proceduri: 1) formiranje modela gasnog odvodnika prenapona. Pod tim se podrazumeva izbor odgovarajućeg materijala od koga su napravljene elektrode, smeštanje elektroda u gasno-vakuumsku komoru i podešavanje rastojanja između elektroda; 2) povezivanje formiranog modela (gasne cevi) u gasno – vakuumski sistem, pomoću odgovarajućih ventila, sa vakuumskom pumpom sa jedne strane i dovodom gasa iz čelične boce sa komprimovanim gasom sa druge strane, kao i povezivanje sa meračem pritiska; 3) vakuumiranje sistema, koje podrazumeva uspostavljenje stabilnog pritiska pomoću ventila ka vakuum pumpi i igličastih ventila, koji služe za doziranje pritiska. Pritisak mora biti stabilan, tj. njegova vrednost se ne sme menjati tokom eksperimenta; 4) pozicioniranje gasne komore na određenu jačinu doze; 5) povezivanje modela gasnog odvodnik u električno kolo prema šemi predstavljenoj na slici 2; 6) kondicioniranje elektrodnog sistema, tj. izlaganje pražnjenju određeno vreme kako bi se dobili stabilni radni uslovi, što omogućava ponovljivost mernih rezultata, odnosno pouzdanost merenja; 7) merenje vrednosti pretprobojne struje u funkciji primenjenog napona, koji se povećava u određenim koracima pri definisanoj jačini doze; 8) promena položaja radne tačke modela gasnog odvodnika i ponavljanje postupka merenja. To podrazumeva promenu parametara gasno-vakuumske komore (pritiska u gasnoj cevi, materijala elektroda, jačine doze); 9) crtanje grafika zavisnosti pretprobojne struje modela gasnog odvodnika prenapona u zavisnosti od primenjenog napona uz statističku obradu dobijenih rezultata. Tokom eksperimentalnog ispitivanja zavisnosti pretprobojne struje od primenjenog napona korišćene su tri vrste elektroda: aluminijumske, čelične i mesingane. Rastojanje između elektroda je iznosilo 0,5 mm. Eksperimenti su vršeni pri pritiscima od 2666,44 Pa i 4666,27 Pa. Ispitivanja su vršena u gama polju ^{60}Co u Metrološko-dozimetrijskoj laboratoriji Instituta za nuklearne nauke "Vinča". Jačina apsorbovane doze u vazduhu bila je 96 cGy/h, 960 cGy/h i 1920 cGy/h,

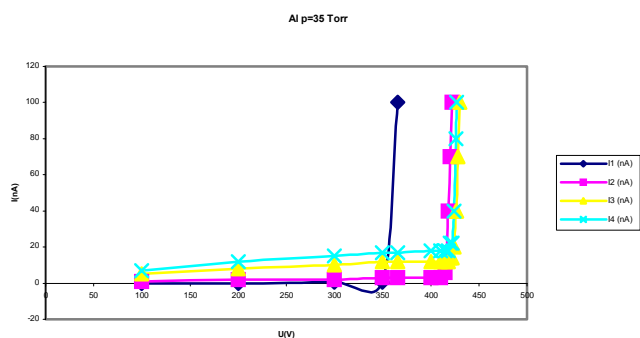
respektivno. Rastojanje između izvora zračenja i ispitivanih komponenti je iznosilo 272,42 cm, 86,15 cm i 60,92 cm, respektivno. Sva testiranja su obavljena na sobnoj temperaturi od 25⁰C.

5. REZULTATI MERENJA I DISKUSIJA

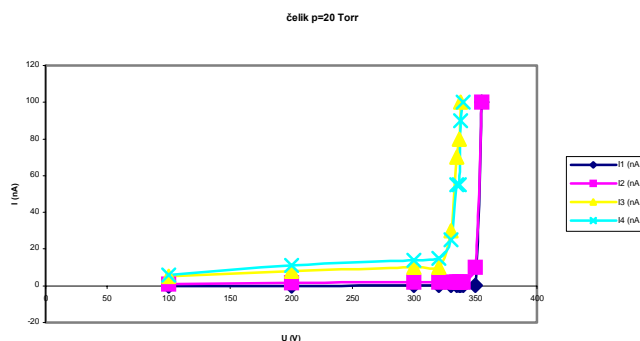
Rezultati ispitivanja zavisnosti pretprobojne struje od primenjenog napona u odsustvu zračenja i u polju gama zračenja (za aluminijumske, čelične i mesingane elektrode za dve vrednosti pritiska) prikazana je na slikama 3-8.



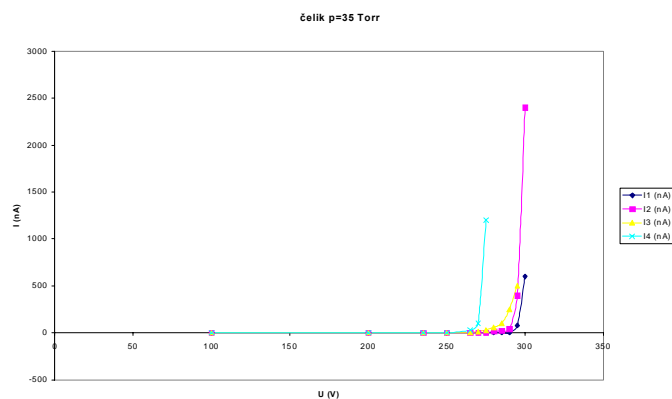
Sl.3. Zavisnost pretprobojne struje od primenjenog napona u polju gama zračenja (aluminijum elektrode, p=2666,44 Pa)



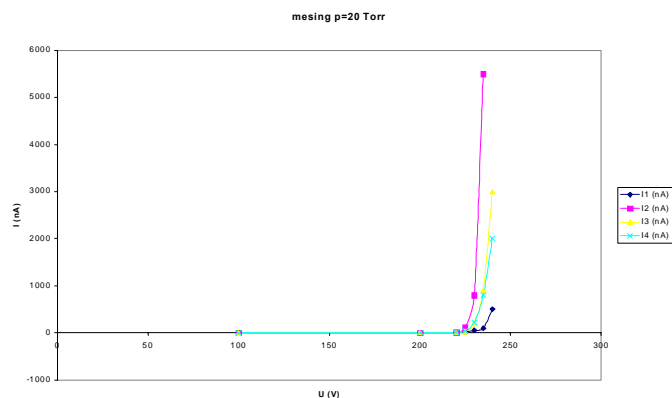
Sl.4. Zavisnost pretprobojne struje od primenjenog napona u polju gama zračenja (aluminijum elektrode, p=4666,27 Pa)



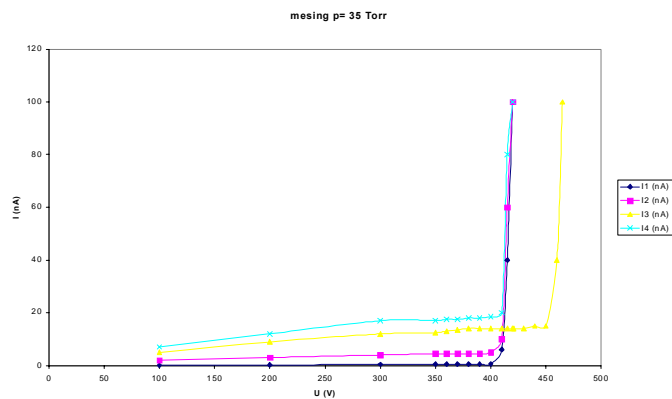
Sl.5. Zavisnost pretprobojne struje od primenjenog napona u polju gama zračenja (čelične elektrode, p=2666,44 Pa)



Sl.6. Zavisnost pretprobojne struje od primenjenog napona u polju gama zračenja (čelične elektrode, p=4666,27 Pa)



Sl.7. Zavisnost pretprobojne struje od primenjenog napona u polju gama zračenja (mesingane elektrode, p=2666,44 Pa)



Sl.8. Zavisnost pretprobojne struje od primenjenog napona u polju gama zračenja (mesingane elektrode, p=4666,27 Pa)

Materijal od koga su napravljene elektrode i vrednost primenjenog pritiska prikazani su u vrhu svake slike. U legendi prikazanoj na ovim slikama struja I₁ odgovara slučaju kada nema zračenja, struja I₂ jačini apsorbovane doze gama zračenja od 0,96 Gy/h, struja I₃ jačini apsorbovane doze gama zračenja od 9,6 Gy/h, a struja I₄ jačini apsorbovane doze gama zračenja od 19,2 Gy/h.

Sa dobijenih grafika možemo zaključiti sledeće:

1) Gama zračenje značajno utiče na pretprobojnu struju gasnih odvodnika prenapona. Bez prisustva gama izvora do dostizanja vrednosti probojnog napona, pretprobojna struja se

ne menja sa porastom napona. U slučaju prisustva Co izvora primetan je stalni porast preprobajne struje sa povećanjem napona. Pritom je ovaj porast za obe vrednosti pritiska i sva tri materijala elektroda izraženiji, što je veća jačina doze gama zračenja.

2) Za sva tri materijala elektroda, većoj vrednosti pritiska odgovaraju veće vrednosti probajnog napona, tj. pri pritisku od 2666,44 Pa probaj se u zavisnosti od materijala od koga su načinjene elektrode i primenjene jačine doze javlja pri nižim naponima, nego pri pritisku od 4666,27 Pa.

3) Što se tiče materijala od koga su napravljene elektrode, najveće vrednosti probajnog napona se dostižu u slučaju mesinganih elektroda (čak i do 450 V), a najmanje prilikom upotrebe čeličnih elektroda (od 320 V do 350 V pri pritisku od 2666,44 Pa u zavisnosti od jačine doze).

4) Kod sva tri materijala elektroda pri većoj vrednosti pritiska većoj jačini primenjene doze odgovara veća vrednost probajnog napona, tj. sa povećanjem jačine doze raste vrednost probajnog napona. Pri manjoj vrednosti pritiska u slučaju elektroda od čelika i mesinga, većim jačinama doza odgovara manja vrednost probajnog napona, te se najveća vrednost probajnog napona postiže u slučaju odsustva zračenja. To jedino nije slučaj kod aluminijumskih elektroda, kod kojih se i pri manjoj i pri većoj vrednosti pritiska najveći probajni napon postiže pri najvećoj jačini doze.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu svih dobijenih rezultata možemo zaključiti da je u jednosmernom režimu rada najprikladnije koristiti model odvodnika sa elektrodama od mesinga, pri većoj vrednosti pritiska.

LITERATURA

- [1] Ž. Markov, *Prenaponska zaštita u elektronici i telekomunikacijama*, Beograd: Tehnička knjiga, 1983.
- [2] Ž. Markov, "Upoređenje savremenih prenaponskih elemenata," *Elektrotehnika 10*, str. 961-963, 1987.
- [3] G. C. Messenger, M. S. Ash, *The Effects of Radiation on Electronic Systems*, Second Edition, New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1992.
- [4] A. Holmes – Siedle, L. Adams, *Handbook of Radiation Effects*, Second Edition, Oxford and New York: Oxford University Press, 2002.
- [5] T. P. Ma, P. V. Dressendorfer, *Ionizing Radiation Effects in MOS Devices and Circuits*, New York: John Wiley & Sons, 1989.
- [6] B. Lončar, P. Osmokrović, M. Stojanović, S. Stanković, "Radioactive reliability of programmable memories," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 40, pt. 1, no. 2B, pp. 1126-1129, 2001.
- [7] *IEEE Nuclear and Plasma Sciences Society News*, no.1, pp. 1999.
- [8] K. F. Galloway, "High – impact papers presented at the IEEE nuclear and space radiation effects conference: The view in 2003," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, vol. 50, no. 3, pp. 457-465, 2003.
- [9] B. Lončar, P. Osmokrović, S. Stanković, "Temperature stability of components for over-voltage protection of low-voltage systems," *IEEE Trans. Plasma Science*, vol. 30, no. 5, pp. 1881-1885, 2002.
- [10] P. Osmokrović, B. Lončar, S. Stanković, A. Vasić, "Aging of the over-voltage protection elements caused by over-voltages," *Microelectronics Reliability*, vol. 42, no. 12, pp.1959-1966, 2002.
- [11] P. Osmokrović, M. Stojanović, B. Lončar, N. Kartalović, I. Krivokapić, "Radioactive resistance of elements for over-voltage protection of low –voltage systems," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, no. 140, pp. 143-151, 1998.
- [12] B. Lončar, P. Osmokrović, S. Stanković, "Radioactive reliability of gas filled surge arresters," *IEEE Trans. Nuclear Science*, vol. 50, no. 5, pp. 1725-1731, 2003.
- [13] P. Osmokrović, B. Lončar, S. Stanković, "Investigation the optimal method for improvement the protective characteristics of gas filled surge arresters-w/o the built in radioactive sources," *IEEE Trans. Plasma Science*, vol. 30, no. 5, pp. 1876-1880, 2002.

Abstract - The aim of this paper is to find the possibility for improvement of the gas filled surge arresters (GFSA) model characteristics in gamma radiation field by appropriate choice of construction parameters. Examination of the influence of electrode material and gas pressure to prebreakdown current of GFSA model in d.c. regime was performed, and the results were presented in this paper. The obtained results show that the optimal solution for GFSA model was with brass electrodes and higher values of pressure.

THE INFLUENCE OF ELECTRODE MATERIAL AND PRESSURE ON GAS FILLED SURGE ARRESTERS CHARACTERISTICS IN γ RADIATION FIELD

B. Lončar, N. Kartalović, S. J. Stanković,
A. Vasić, P. Osmokrović