

Uporedna analiza uticaja γ i X zračenja na karakteristike komercijalnih gasnih odvodnika prenapona u impulsnom režimu rada

Luka Rubinjoni, Srboľjub Stanković, Tomislav Stojić, Boris Lončar

Apstrakt—Gasni odvodnici prenapona su izdržljive i pouzdane komponente za bezbedno odvođenje prenapona, koje rade na principu jonizacije izolacionog medijuma – gasa. Jonizujuće zračenje utiče na karakteristike odvodnika. U ovom radu prikazana je uporedna analiza uticaja γ i X zračenja na osobine komercijalnih gasnih odvodnika prenapona u impulsnom režimu rada, primenom poluempirijske metode merenja impulsnog probojnog napona i određivanja impulsne (volt-sekundne) karakteristike.

Cljučne reči— Gasni odvodnik prenapona; γ zračenje; X zračenje; radijaciona otpornost.

I. UVOD

Prenapon nastaje kada potencijal jedne tačke nekog voda, uređaja ili komponente postane veći od dozvoljenog, u odnosu na drugu tačku u kolu ili tačku nultog potencijala. U zavisnosti od stepena prekoračenja, prenapon može dovesti do privremenog ili trajnog poremećaja u radu uređaja, oštećenja uređaja, čak i ugroziti bezbednost osobe koja rukuje uređajem u trenutku nastanka prenapona. Prenaponi mogu biti impulsni ili trajni. Nastaju direktno usled komutacijskih procesa (poput uključivanja ili isključivanja uređaja, promena režima rada elektromotora i slično), elektrostatičkog pražnjenja i atmosferskog pražnjenja unutar uređaja ili komponente, ili unutar mreže na koju su uređaji priključeni; ili indirektno, kao posledica interakcije provodnika (žičanih struktura komponente ili uređaja) sa elektromagnetnim impulsom. Atmosferska pražnjenja (munje i gromovi) su najopasniji izvor prenapona, jer se ne može uticati na uzrok njegovog nastanka[1].

Gasni odvodnici prenapona (eng. *Gas Filled Surge Arresters* – GFSA) su komponente za prenaponsku zaštitu koje se sastoje od dve ili tri elektrode u simetričnoj konfiguraciji, zatopljene u keramičko ili stakleno kućište ispunjeno izolacionim medijumom – plemenitim gasom (najčešće argon) sa određenim primesama. Pri nastanku prenapona dolazi do jonizacije gasa i posledičnog naglog pada električnog otpora komponente, koji omogućava bezbedno odvođenje prenapona mimo osetljivih delova mreže ili uređaja. Gasne odvodnike prenapona odlikuje

velika izdržljivost i sposobnost odvođenja vrlo velikih struja (do 60 kA, za pojedine komponente), ali se suočavaju sa malom brzinom reagovanja u odnosu na druge tipove odvodnika prenapona, i problemom gašenja odvodnika u impulsnom režimu.

U ovom radu predstavljeni su rezultati ispitivanja karakteristika komercijalnih gasnih odvodnika prenapona, proizvođača Simens i Citel, u impulsnom režimu rada, u polju γ i X zračenja.

II. IMPULSNA KARAKTERISTIKA ODVDNIKA PRENAPONA

Impulsna (volt-sekundna) karakteristika prikazuje probojni napon gasne elektrodne konfiguracije u funkciji vremena trajanja primenjenih naponskih impulsa. Egzaktno eksperimentalno određivanje impulsne karakteristike zahteva veliki broj aktivacija korišćenjem naponskih impulsa različitih oblika. S druge strane, primenom zakona površina moguće je odrediti impulsnu karakteristiku samo na bazi jedne serije merenja (korišćenjem jednog oblika naponskog impulsa). Polazna tačka za izvođenje zakona površina je pretpostavka da se brzina kojom se širi plazma u međuelektrodnom prostoru linearno povećava sa jačinom električnog polja [2]:

$$v(x,t) = k[E(x,t) - E_s(x)] \quad (1)$$

gde je k – konstanta koja zavisi od mehanizma električnog pražnjenja i polariteta elektroda. E_s je nazivna jačina polja, koja odgovara nazivnoj vrednosti probojnog napona U_s .

Pošto jednosmerni probojni napon $u(t)$ predstavlja najmanju moguću vrednost probojnog napona za specifičnu elektrodnu konfiguraciju, uslov da dođe do impulsnog proboja je da napon bude veći od nazivnog napona U_s .

Pod pretpostavkom zanemarivanja prostornog opterećenja u međuelektrodnom prostoru jačina električnog polja se može napisati kao:

$$E(x,t) = u(t) \cdot g(x) \quad (2)$$

gde je $g(x)$ funkcija koja zavisi od geometrijskih uslova i određena je geometrijom elektrodne konfiguracije.

Odavde je zamenom (2) u (1):

$$v(x,t) = \frac{dx}{dt} = K \cdot g(x) \cdot [u(t) - U_s] \quad (3)$$

Korišćenjem izraza za srednju vrednost električnog polja:

$$\bar{E} = \frac{1}{d} \int_0^d E_s(x) dx = \frac{U_s}{d} \quad (4)$$

i jednačina:

Luka Rubinjoni – Inovacioni centar Tehnološko-metalurškog fakulteta, Karnegijeva 4, 11120 Beograd, Srbija (e-mail: rubinjoni@tmf.bg.ac.rs).

Srboľjub Stanković – Institut za nuklearne nauke “Vinča”, Univerzitet u Beogradu, Mike Petrovića Alasa 12-14, 11351 Vinča, Beograd, Srbija (e-mail: srbas@vin.bg.ac.rs).

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

Boris Lončar – Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, Karnegijeva 4, Beograd, Srbija (e-mail: bloncar@tmf.bg.ac.rs).

$$\frac{1}{d} \int_0^d g(x) dx = \frac{1}{d} \quad (5)$$

$$\frac{E_s(x)}{g(x)} = U_s \quad (6)$$

dobijamo:

$$v(x, t) = K \cdot g(x) \cdot \left[u(t) - \frac{E_s(x)}{g(x)} \right] \quad (7)$$

Razdvajanjem promenljivih i integracijom konačno dobijamo [51]:

$$\frac{1}{k} \int_{x=0}^{x=x_k} \frac{dx}{g(x)} = \int_{t_1}^{t_1+t_a} [u(t) - U_s] dt = P = \text{const} \quad (8)$$

gde $x=x_k$ predstavlja tačku u kojoj *Townsend*-ov mehanizam pražnjenja prelazi u strimerski, a $t = t_1 + t_a$ je odgovarajući vremenski trenutak. U skladu sa izrazom (8) u kome je prvi integral – integral rastojanja, a drugi integral po vremenu, sledi da se konstantna geometrijska površina mora formirati u naponsko – vremenskoj ravni između $u(t)$ i U_s , kako bi moglo da dođe do proboja. Pošto površina P i vrednost statičkog probojnog napona, kao karakteristike izolacije ne zavise od primenjenog napona, sledi da je poznavanje ove dve veličine dovoljno za izračunavanje impulsne karakteristike i impulsnog probojnog napona[3].

Nakon dovoljnog broja merenja statičkog probojnog napona (najmanje 20) i impulsnog probojnog napona (najmanje 50), na osnovu funkcije raspodele verovatnoće mogu se odrediti granice oblasti impulsne karakteristike U_x i U_y u procentima (najčešće se uzima $x = 0,1\%$, $y = 99,9\%$)[4]. Sa granicama određenim na ovaj način i uz poznavanje vrednosti statičkog probojnog napona može se rešiti sledeći sistem jednačina:

$$\begin{aligned} u(t) &= U_s, & t &= t_1 \\ u(t) &= U_x, & t &= t_{ax} \\ u(t) &= U_y, & t &= t_{ay} \end{aligned} \quad (9)$$

Vrednosti t_1 , t_{ax} , t_{ay} omogućavaju da se primenom zakona površina odrede odgovarajuće površine P_x i P_y :

$$\begin{aligned} P_x &= \int_{t_1}^{t_1+t_{ax}} [u(t) - U_s] dt = \text{const} \\ P_y &= \int_{t_1}^{t_1+t_{ay}} [u(t) - U_s] dt = \text{const} \end{aligned} \quad (10)$$

Kada su određene površine P_x i P_y moguće je korišćenjem zakona površina odrediti x -ta i y -ta granica opsega slučajne promenljive "impulsni probojni napon" za ma koji oblik napona $u(t)$. Ako se oblik tog napona uzme kao parameter u određenom vremenskom intervalu moguće je odrediti impulsne karakteristike.

III. MATERIJAL I EKSPERIMENT

Merenja su vršena na sledećim komercijalnim

komponentama: 1) SIEMENS gasni odvodnici nominalnog napona 230 V, 2) CITEL BB bipolarni keramički gasni odvodnici jednosmernog prenapona 230 V. Spoljašnje dimenzije i oblik svih SIEMENS, odnosno CITEL komponenti su bili isti. Sva merenja su vršena na temperaturi od 20 °C u Metrološko – dozimetrijskoj laboratoriji Laboratorije za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine Instituta za nuklearne nauke Vinča.

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

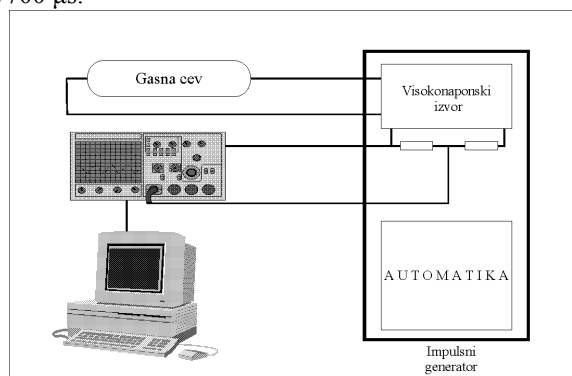
- 1) komercijalni odvodnici SIEMENS i CITEL;
- 2) gasno – vakuumaska komora;
- 3) impulsni test generator Haefely tip P6T VF-tel 202671 sa priborom;
- 4) osciloskop Tektronix TDS 220 SNB036675;
- 5) izolacioni transformator Elektron Zagreb;
- 6) koaksijalni kablovi i priključci.

Blok šema eksperimentalne postavke prikazana je na Sl. 1.

Uticaj γ zračenja na komercijalne GFSA komponente određivan je u polju ^{60}Co , primenom izvora uređaja IRPIK-B. Jačina apsorbovane doze iznosila je 96 cGy/h, 960 cGy/h i 1920 cGy/h, sa jačinom ekspozicione doze od $7,17 \cdot 10^{-6}$ C/kg, $7,17 \cdot 10^{-5}$ C/kg i $1,43 \cdot 10^{-4}$ C/kg.

Uticaj X zračenja na komercijalne GFSA komponente određivan je u poljima generisanim uređajem Philips MG-320, sa sledećim parametrima: napon X cevi 60 kV, 150 kV i 300 kV; struja cevi 15 mA, 10 mA i 10 mA (respektivno); energija X zraka 45 keV, 115 keV i 250 keV, uz primenu filtracije prema ISO standardima. Jačina ekspozicione doze iznosila je $2,83 \cdot 10^{-6}$ C/kg, $5,89 \cdot 10^{-6}$ C/kg i $3,45 \cdot 10^{-6}$ C/kg.

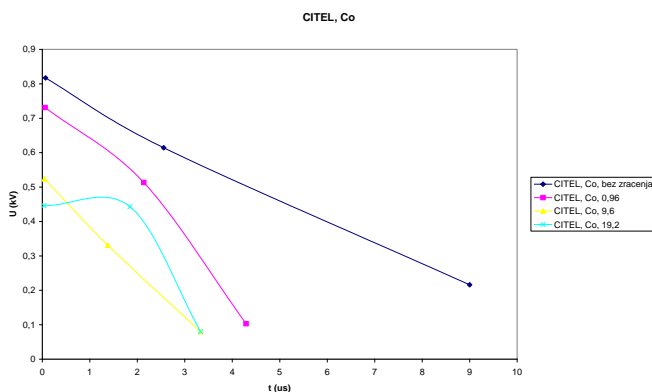
Nakon kondicioniranja elektrodnog sistema (10-15 proboja sa pauzom od 30 sekundi između proboja), izvršeno je po 50 merenja probojnog napona u impulsnom režimu rada, za tri brzine impulsa, i to: 1,2/50 μs , 10/700 μs i 100/700 μs .



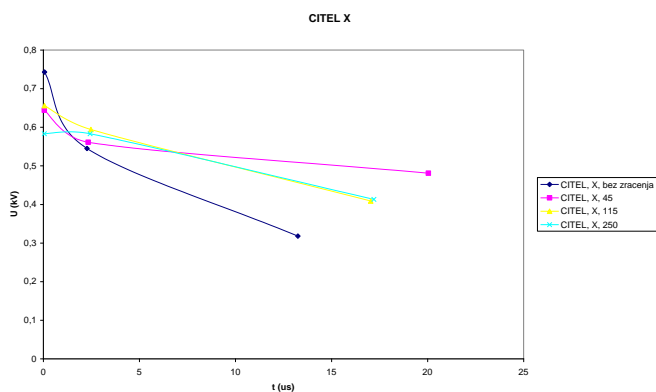
Sl. 1. Blok šema opreme za eksperimentalna ispitivanja

IV. REZULTATI I DISKUSIJA

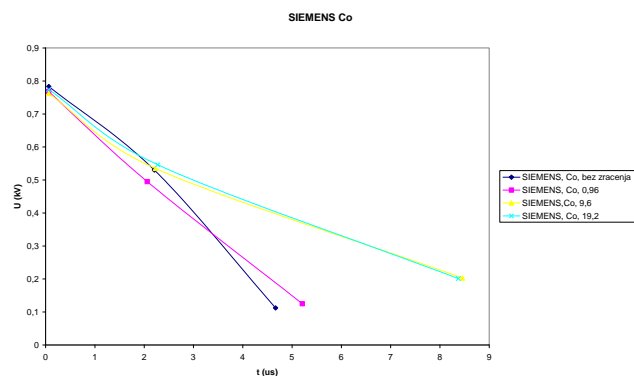
Statističkom obradom utvrđenih vrednosti probojnog napona konstruisana je impulsna (volt-sekundna) karakteristika gasnih odvodnika prenapona, primenom algoritma za poluempirijsko određivanje impulsne karakteristike[3]. Impulsna karakteristika za Citel odvodnike prikazana je na Sl. 2 i 3, a za Siemens odvodnike na Sl. 4 i 5.



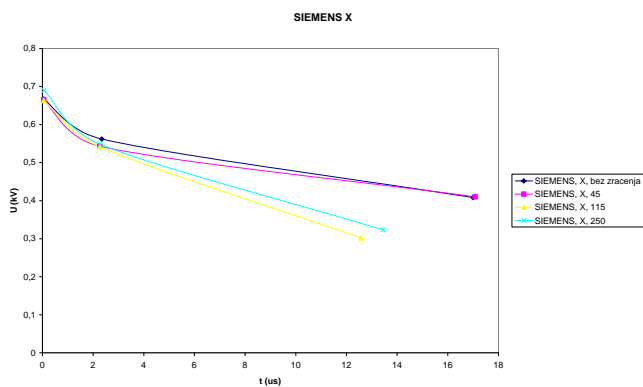
Sl. 1. Volt – sekundne karakteristike za CITEL komponente u polju γ zračenja.



Sl. 2. Volt – sekundne karakteristike za CITEL komponente u polju X zračenja.



Sl. 3. Volt – sekundne karakteristike za SIEMENS komponente u polju γ zračenja.



Sl. 4. Volt – sekundne karakteristike za SIEMENS komponente u polju X zračenja.

Sa prikazanih grafika možemo zaključiti sledeće:

1) Najmanje rasipanje vrednosti probojnog napona je pri

najbržim korišćenim impulsima 1,2/50 μ s, a najveće pri najsporijim impulsima 100/700 μ s.

2) Gama zračenje utiče na karakteristike odvodnika, ali se one ne menjaju po nekoj utvrđenoj zakonitosti sa povećanjem jačine doze. Jedino možemo zaključiti da kod CITEL komponenti dolazi do neznatnog poboljšanja, a kod SIEMENS komponenti do pogoršanja karakteristika.

3) X zračenje mnogo manje od gama zračenja utiče na karakteristike pomenutih komercijalnih odvodnika. Pri tom je očigledno da kod CITEL komponenti u polju gama zračenja dolazi do degradacije njihovih performansi, dok kod SIEMENS komponenti dolazi do poboljšanja karakteristika (to jedino ne važi pri najsporijim impulsima). Možemo reći da je uticaj X zračenja na odvodnike neznatan. Zaključak

V. ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati ukazuju na to da su u polju gama zračenja otporniji Citel, a u polju X zračenja Siemens komercijalni odvodnici. Sve uočene promene su reverzibilnog karaktera, i nakon određenog perioda vremena i Citel i Siemens komponente ponovo imaju iste performanse, kao pre dejstva zračenja, to jest, karakteriše ih dinamička radijaciona otpornost.

ZAHVALNICA

Ovaj rad napisan je u okviru projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja ON171007 i III 43009.

LITERATURA

- [1] B. Lončar, „Radijaciona otpornost memorijskih i prenaponskih zaštitnih komponenata“, doktorska disertacija, ETF, BU, Beograd, Srb. 2003.
- [2] P. Osmokrović, G. Đogo, "Applicability of simple expressions for electrical breakdown probability in vacuum," *IEEE Trans Electr Insul*, vol. 24, no. 6, pp. 943-948, 1989.
- [3] P. Osmokrović, B. Lončar, S. Stanković, "The new method of determining characteristics of elements for over-voltage protection of low-voltage system," *IEEE Trans on Instrum Meas*, vol. 55, no. 1, pp. 257-265, 2006.
- [4] W. Hauschild and W. Mosch, *Statistik für Elektrotechniker*, Berlin: VEB Verlag Technik, 1984.

ABSTRACT

Gas filled surge arresters are durable and reliable components for safe overvoltage conduction, that operate on the principle of ionization of the isolation medium – gas. Ionizing radiation impacts the properties of the arrester. This paper reports a comparative analysis of the effect of γ and X irradiation on the properties of commercial gas filled surge arresters in impulse operation mode, by application of a semiempiric method of measurement of impulse breach voltage and determination of the impulse (volt-second) characteristic.

Comparative analysis of the effect of γ and X radiation to properties of commercial gas filled surge arresters in impulse mode

Luka Rubinjoni, Srboľjub Stanković, Tomislav Stojić, Boris Lončar