

Detekcija i lokalizacija mesta proboja statorskog namotaja hidrogeneratora

Ilija Klasnić^{1,2}, Ljubiša Nikolić², Zoran Ćirić²

¹Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Bul. kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, Srbija

²Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički institut Nikola Tesla Koste Glavinića 8a, 11000 Beograd, Srbija

ilija.klasnic@ieent.org

Kratak sadržaj: U pogonu generatori su izloženi različitim električnim, termičkim, mehaničkim i hemijskim uticajima, ali i zagađenjima, koji skraćuju njihov radni vek. Svi ovi faktori deluju štetno naročito na karakteristike njihovih električnih izolacionih sistema. Takođe, treba imati u vidu da je delovanje ovih faktora interaktivno i simultano. Brza detekcija i sanacija kvara su od velikog značaja jer omogućavaju nastavak eksploatacije generatora i smanjuju finansijske gubitke usled neisporučene električne energije.

Ključne reči: izolacija, štap (polunavojak) statora, hidrogenerator, električni proboj

1. Uvod

Električni izolacioni sistem (EIS) namotaja statora je u toku rada sinhronog generatora izložen brojnim faktorima koji pojedinačno i združeno utiču na degradiranje njegovih karakteristika. Neki od njih su visoka temperatura, povećana naponska naprezanja, vibracije i drugi mehanički uticaji, štetni uticaji radnog okruženja namotaja itd. Upravo kvarovi EIS namotaja generatora su uzrok oko jedne trećine ukupnog broja kvarova sinhronih generatora [1]. Iz ovog razloga oni zahtevaju posebnu pažnju. Pri tome treba imati na umu da kvar EIS-a namotaja statora generatora koji se manifestovao kao električni

proboj EIS-a može biti uzrokovan ne samo električnim opterećenjima već i termičkim, mehaničkim i drugim.

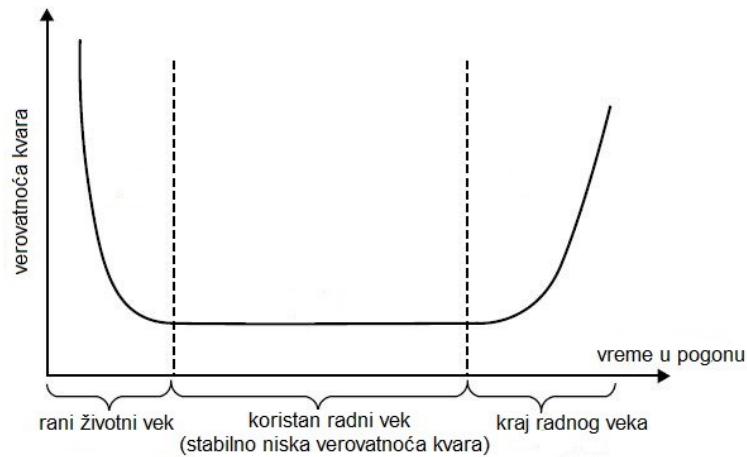
Termičko starenje je jedan od najčešćih uzroka degradiranja EIS-a statorskog namotaja. Postoje generalno dve vrste termičkog starenja: normalno i ubrzano. Normalno termičko starenje podrazumeva proces starenja EIS-a pri kojem pri naznačenom opterećenju mašine temperatura najtoplije tačke – *hot spot* ne prelazi vrednost propisanu za primenjenu termičku klasu izolacije namotaja. Sa takvim normalnim termičkim starenjem EIS dostiže tokom normalnog pogona svoj projektovani životni vek. Ubrzano termičko starenje se najčešće javlja pri preopterećenju generatora, kvarovima u rashladnom sistemu generatora i sl.

Električno starenje je najčešće prouzrokovano pojavom povećanih parcijalnih pražnjenja, ali i pojavom atmosferskih i komutacionih prenapona i prenapona industrijske učestanosti. Jedan od uzroka pojave parcijalnih pražnjenja jeste mehaničko oštećenje poluprovodnih premaza čija je svrha zaštita od korone.

Mehaničko starenje EIS-a se javlja kod razlabavljenih namotaja usled povećanih vibracija. Javlja se između npr. štapova statora, kao i štapova statora i žleba magnetnog jezgra tj. na spojevima različitih materijala. Ovaj tip starenja je uvek blisko povezan sa električnim i termičkim starenjem.

Okruženje namotaja statora takođe igra bitnu ulogu u starenju EIS-a namotaja statora generatora. Vлага i nečistoće mogu biti prisutne i mogu da degradiraju EIS namotaja statora [1], [2].

Statistička raspodela verovatnoće ispada generatora tokom pogona prikazana je na slici 1, na kojoj se uočavaju tri vremenska perioda. Prvi period predstavlja period prvih meseci rada generatora nakon puštanja u probni rad u kojem je nešto uvećana verovatnoća kvara uzrokovana eventualnim nedostacima u montaži i konstrukciji generatora. Nakon otklanjanja tih eventualnih početnih nedostataka ulazi se u drugi period- period stabilno niske verovatnoće kvara u kojoj generatori rade dugi niz godina. Treći period predstavlja sam kraj projektovanog životnog veka generatora koji karakteriše naglo povećanje verovatnoće kvara (što dalje ukazuje na potrebu za zamenom generatora novim ili neki vid revitalizacije postojećeg generatora).



Slika 1. Verovatnoća kvara generatora tokom perioda eksploatacije

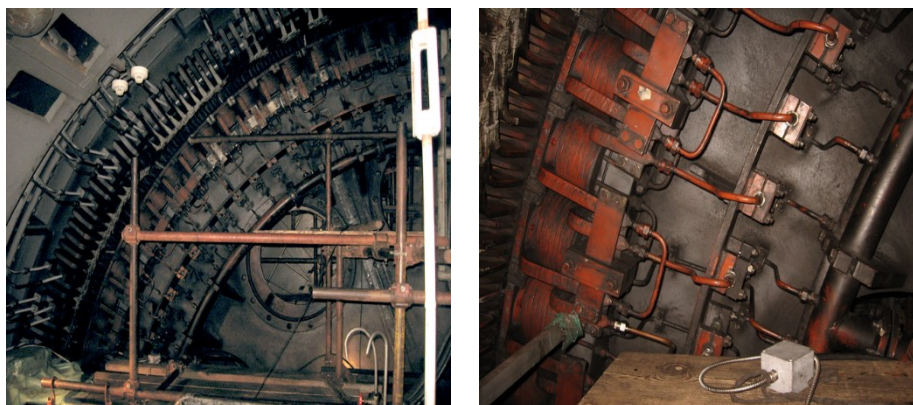
2. Lokalizacija mesta kvara namotaja statora hidrogenatora

Tokom rada na mreži agregata G4 u HE „Đerdap 2“ došlo je do proboja statorskog namotaja. Zbog zastoja u proizvodnji i visoke vode bilo je izuzetno bitno da se što pre lokalizuje mesto kvara (detektuje probijeni statorski štap-polunavojak) i izvrši zamena probijenog štapa kako bi agregat ponovo bio spreman za eksploataciju. Pristupilo se razvezivanju glavnih i nultih izvoda sve tri faze namotaja statora kako bi moglo da se pristupi merenju otpora izolacije sve tri faze namotaja statora u cilju detekcije faze na kojoj je došlo do proboja EIS-a. Merenjem otpora izolacije sve tri faze statorskog namotaja prema masi utvrđeno je da je do proboja EIS-a došlo u fazi C (megaometrom je izmerena nulta vrednost otpora izolacije, pa je merenje obavljeno univerzalnim instrumentom Fluke 289 i dobijena je vrednost $R_{iz}=900 \Omega$). Podaci o ispitivanom generatoru dati su u tabeli 1, a izgled generatora tokom ispitivanja na slici 2.

Tabela 1. Podaci o ispitivanom generatoru G4 u HE „Đerdap 2“

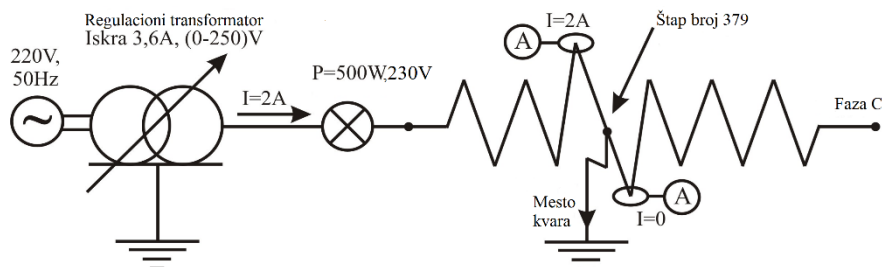
Proizvođač:	Elektrosila	Klasa izolacije statora:	F
Tip:	SGKV 776/125-96	n_n [ob/min]:	62,5
Fabrički broj:	363411	Klasa izolacije rotora:	B
U_n [kV]:	6,3	S_n [MVA]:	27,55

Proizvođač:	Elektrosila	Klasa izolacije statora:	F
I_n [A]:	2530	U_f [V]:	185
$\cos\varphi$:	0,98	I_f [A]:	2110
Hlađenje rotora:	Voda i vazduh	Hlađenje statora:	Voda i vazduh



Slika 2. Izgled generatora tokom ispitivanja

U nastavku pristupljeno je detekciji i lokalizaciji štapa namotaja statora na kojem je došlo do proboja EIS-a. Napajanje mesta kvara izvršeno je pomoću regulacionog transformatora 220V/(0-250)V i jedne sijalice sa užarenim vlaknom snage 500W u cilju ograničavanja struje kroz mesto kvara radi zaštite limova jezgra statora na mestu proboja od eventualnih oštećenja. Napajana je faza C uz održavanje ispitne struje na vrednosti oko 2A. Prisustvo ispitne strujne mereno je Fluke fleksi amper kleštima direktno na glavama namotaja prema šemi namotaja faze C u smeru od glavnih izvoda prema zvezdištu. Ispitna šema prikazana je na slici 3.



Slika 3. Šema veza za detekciju i lokalizaciju štapa statora sa probijenim EIS

Ispitna struja je bila redom prisutna u štapovima 499, 494, 487, 482, 475, 470, 463, 458, 451, 446, 439, 434, 427, 422, 415, 410, 403, 398, 391, 386, a

zatim je ustanovljeno da ne teče kroz štap 374. U nastavku utvrđeno je da ispitna struja ulazi u štap 379 (prolazeći pre njega kroz sve gore navedene štapove), a kako nije prisutna sa druge strane štapa 379 zaključeno je da je kvar u samom štapu broj 379, u kojem ispitna struja preko mase zatvara strujni krug [3].

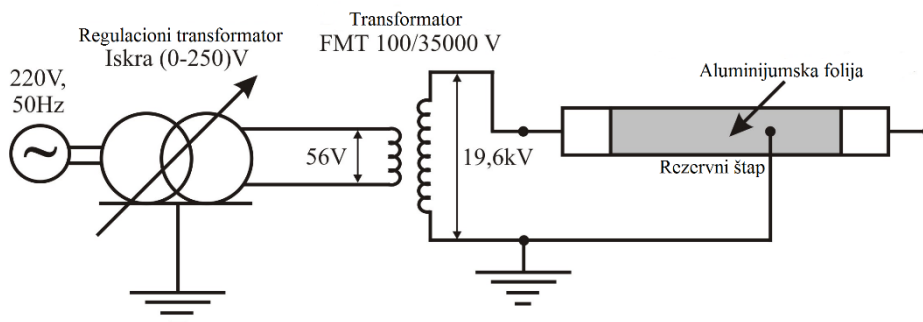
3. Ulaganje rezervnog štapa na mesto štapa sa probijenim EIS

Nakon detekcije štapa faze C u žlebu broj 379 na kojem je došlo do proboja EIS-a pristupljeno je vađenju istog. Bilo je potrebno da se obezbedi prostor za vađenje štapa vađenjem dva pola rotora i mehaničkim zakretanjem rotora tako da baš ta dva pola budu u osi sa mestom gde se nalazi štap broj 379 koji je potrebno demontirati i zameniti ga rezervnim štapom. U isto vreme ispitan je rezervni štap koji treba postaviti na mesto štapa broj 379 (VN test, merenje otpora izolacije rezervnog štapa pre i posle VN testa). Rezultati ispitivanja rezervnog štapa su prikazani u tabeli 2, a na slici 4 prikazana je ispitna šema tokom VN ispitivanja [3], [4], [5].

Tabela 2. Rezultati ispitivanja rezervnog štapa (polunavojka) namotaja statora

Pre VN testa	$R_{15''}/R_{60''} = 65/276 \text{ G}\Omega$			
VN test	19,6 kV	50 Hz	60 s	IZDRŽAO
Posle VN testa	$R_{15''}/R_{60''} = 65/270 \text{ G}\Omega$			

$R_{15''}/R_{60''}$ – otpor izolacije nakon 15 i 60 sekundi od priključenja jednosmernog ispitnog napona





Slika 4. Ispitna šema za VN test rezervnog štapa namotaja statora

Vrednost otpora izolacije i indeksa polarizacije rezervnog štapa je velika. Izolacioni sistem rezervnog štapa je uspešno izdržao ispitivanje dovedenim visokim naizmeničnim naponom (bez proboja) u vrednosti od 19.6kV u trajanju od 60s, i uspešno je postavljen na mesto izvađenog probijenog štapa broj 379, čime je agregat dobio pogonsku spremnost.

4. Zaključak

U radu je prikazan postupak za detekciju i lokalizaciju mesta proboja statorskog namotaja hidrogeneratora i ispitivanje rezervnog štapa. Kako su kvarovi EIS namotaja kod starijih sinhronih generatora česti u praksi neophodno je razumeti prirodu njihovog nastanka radi predikcije negativnih događaja, ali i znati efikasno pristupiti nastalom kvaru i otkloniti isti kako bi agregat bio spreman u što kraćem roku za dalju eksploataciju.

Literatura

- [1] P. Tavner, L. Ran, J. Penman, H. Sedding, *Condition Monitoring of Rotating Electrical Machines*, London, United Kingdom, Institution of Engineering and Technology, 2008.
- [2] Studija „Procena stanja i preostalog radnog veka generatora proizvodnih jedinica EPS“, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd, 2012.
- [3] „Lokalizacija mesta kvara na statorskom namotaju generatora G-4 i vn ispitivanje rezervnog štapa u HE Đerdap 2“, izveštaj br. 418095, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“ godina ?
- [4] Isidor Kerszenbaum, *Inspection of Large Synchronous Machines-*

Checklists, Failure Identification, and Troubleshooting, New York, Wiley-IEEE Press; 1996

- [5] G. Klemptner, I. Kerszenbaum, *Operation and Maintenance of Large Turbo-Generators*, Piscataway, NJ, IEEE Press, 2008,

Abstract. While in operation, the generators are exposed to various electrical, thermal, mechanical and chemical stresses, but also to pollutants that shorten their lifetime. All of these factors have detrimental impact on generator, especially to the characteristics of their insulation system. It should be kept in mind that the influence of these factors is interactive and simultaneous. Fast detection and fault repair are of great importance because they enable further exploitation of generator and reduce financial losses due to undelivered energy.

Keywords: stator bar, hydrogenerator, electrical breakdown

The Detection and Localization of Stator Bar with Electrical Breakdown of Insulation

Ilija Klasnić, Ljubiša Nikolić, Zoran Ćirić

Rad primljen u uredništvo: 11.10.2018. godine.

Rad prihvaćen: 19.11.2018. godine.

