

## A1-00

### GRUPA A1: OBRTNE ELEKTRIČNE MAŠINE IZVEŠTAJ STRUČNIH IZVESTILACA

V. VIDAKOVIĆ\*, JP ĐERDAP, Kladovo  
B. MAODUŠ, TE NIKOLA TESLA, Obrenovac  
Z. ĆIRIĆ, EI NIKOLA TESLA, Beograd  
D. PETROVIĆ, ETF, Beograd

SRBIJA I CRNA GORA

**R A1-01 Prikaz primenjenih tehničkih rešenja pri revitalizaciji hidrogeneratora u HE Đerdap I i CHE Portile de Fier I**, autora Veljka Vidakovića, Vladimira Milosavljevića (JP Đerdap, Kladovo), mr Slobodana Bogdanovića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla), Jon Blajer i Dragoš Novak (CHE Portie de Fier, Rumunija)

U radu su prikazana poboljšanja konstrukcije hidrogeneratora u hidroelektranama Đerdap I i Portile de Fier I, u sklopu njihove revitalizacije.

Prilikom zamene istrošenih aktivnih delova nije se išlo na puko preslikavanje prvobitne konstrukcije, već su primenjena moderna tehnička rešenja. Do tih rešenja proizvođači generatora su došli u težnji da spreče nastanak oštećenja i deformacija pojedinih delova i sklopova generatora pod dejstvom toplotnih i mehaničkih naprezanja.

Najkrupnija izmena, u obe elektrane, je pakovanje jezgra statora na mestu montaže u jedinstven prsten bez razdvojnih ravni na granici između sektora, čime se postiže kompaktnost jezgra i eliminišu vibracije. Posebno mesto u radu zauzima prikaz poboljšanog rešenja veze između jezgra i kućišta. Konstruktori generatora u obe elektrane su, svaki na svoj način, rešili problem temperaturne dilatacije jezgra u odnosu na kućište, što kod stare konstrukcije nije bio slučaj. Time se izbegavaju velika mehanička naprezanja u jezgru i njegove deformacije koje su neizbežne u slučaju jednostavnog krutog sprezanja jezgra i kućišta.

---

\* Veljko Vidaković, JP ĐERDAP Kladovo, Sektor za investicije i razvoj, Beograd, Pop Stojanova 2a

Autori su, nadalje, prikazali i ostala poboljšana konstruktivna rešenja: elastično zaklinjavanje namotaja, novi sistem stezanja jezgra, poboljšanja u nosećem ležaju, modernizacija pobudnog sistema, uvođenje monitoringa.

Najzad, u referatu su opisane preduzete mere za povećanje snage generatora pri revitalizaciji, bez dodatnih troškova i bez povećanja gabarita mašine.

***Pitanja za diskusiju:***

- 1. Da li izvođenje svih radova na paketiranju i presovanju jezgra na mestu montaže u elektrani mogu umanjiti kvalitet izrade i time umanjiti efekte poboljšane konstrukcije?*
- 2. Da li slobodno pomeranje jezgra u odnosu na kućište u radijalnom pravcu može dovesti do gubitka idealnog kružnog oblika pod dejstvom magnetnih sila?*
- 3. Da li smanjena debljina glavne izolacije novih štapova za 37,5% u odnosu na staru, može uticati na njenu mehaničku izdržljivost zbog pogonskih uslova (vibracije, pritisak, trenje, i dr.), a time i na ukupni životni vek izolacionog sistema?*

**R A1-02 Dogradnja električnog kočenja za generatore G1 i G2 u HE "Piroć",** autora: Zorana Ćirića, Marka Jankovića, Ilije Stevanovića, Dušana Arnautovića (Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd) Suzane Kostić, Miroljuba Mitića (HE "Piroć).

U radu je prikazano tehničko rešenje za električno kočenje u HE "Piroć". Izložene su metode proračuna i eksperimentalno određivanje vremena zaustavljanja agregata pri električnom kočenju sa i bez dodatnog otpornika. Prikazani rezultati proračuna i eksperimenta su omogućili da se pri projektovanju izvrši optimizacija troškova izrade električnog kočenja.

Iskorišćeno je dugogodišnje eksploataciono iskustvo i dobijeni podaci o vremenu zaustavljanja bez dodatnog otpornika pri eksperimentu da se izvrše značajne uštede pri izradi električnog kočenja.

Napajanje sistema pobude pri električnom kočenju realizovano je tako da se koristi zajednički transformator za napajanje tiristorskih mostova generatora G1 i G2 pri električnom kočenju a ujedno može da se koristi u remontnim radovima za ipitivanje generatora i zaštita. Transformator za kočenje je rezerva pobudnom transformatoru.

Regulacija struje pobude odnosno struje statora obezbeđena je uklapanjem električnog kočenja u postojeći automatski regullator pobude uz korišćenje postojećeg tiristorskog mosta.

Ugrađeni programobilni automat omogućio je potpunu automatizaciju električnog kočenja i lako uklapanje u postojeću opremu kao i upravljanje novougrađenom opremom.

Izloženi postupak realizacije električnog kočenja pokazuje kako može uz visoki stepen sigurnosti da se izvrši projektovanje, izrada i ugradnja opreme uz značajne ekonomske uštede.

***Pitanja za diskusiju:***

- 1. Koji su kriteijumi korišćeni kod izbora vrste aparata za kratko(trofazno)spajanje namotaja statora tj.vakumskog prekidača, a ne odgovarajućeg rastavljača što je možda više uobičajena praksa?*

2. Da li se pri kraju procesa zaustavljanja agregata sa primenom električnog kočenja kod malih brzina obrtanja,  
npr.  $2-3\%n_n$ , u proces zaustavljanja uvodi (aktivira) i mehaničko kočenje sa ferodama?
3. S obzirom da se iz referata ne vidi da li je mereno vibraciono stanje generatora (paket, konstrukcije i dr.) kod ispitivanja realizovanog sistema kočenja, da li je i na koji način verifikovano da vibracije ne prelaze nedozvoljene nivoe, kojim se pominju u tački 2.3 referata?

**R A1-03 Prednosti i opis tehnologije novog sistema učvršćivanja statorskog namotaja sinhronog generator – motora sa osvrtom na tehničko – tehnološke inovacije**, autora M. Čitakovića i D. Despotovića, JP Drinske HE, Bajina Bašta

U referatu je dat opis nove tehnologije zaklinjavanja namotaja statora velikog sinhronog generator-motora primenjene u RHE Bajina Bašta.

U prvom delu rada ukazano je na ključnu važnost dobre i trajne učvršćenosti namotaja u žlebu i dobrog električnog kontakta između jezgra i poluvodljivog prekrivača štapova za dug životni vek izolacionog sistema. Precizira se da standardni način krutog zaklinjavanja ne može obezbediti takve eksploatacione uslove pošto u relativno kratkom vremenu dolazi do labavljenja žlebnih klinova i do svih pratećih negativnih posledica.

Prikazan je novi način zaklinjavanja namotaja, primenjen prilikom kapitalnog remonta generator – motora, koji eliminiše sve nedostatke klasičnog sistema. Poboljšanje se sastoji u elastičnoj strukturi radijalnog zaklinjavanja, sa jedne strane i kontrolisanoj sili pritezanja štapova u žlebu sistemom dvostrukih konusnih, precizno obrađenih klinova, sa druge strane. Između gornjeg štapa i sistema konusnih klinova umeće se izolacioni valoviti elastični podmetač – opruga, koji ceo sklop drži trajno nategnutim, bez obzira na eventualno trošenje žlebnih klinova na dodirnim površinama sa jezgrom. Valovita opruga prigušuje vibracije štapa u žlebu čime se izbegava mehaničko oštećenje poluvodljivog sloja i same izolacije.

Mada je centralna tema referata novi sistem zaklinjavanja namotaja, opisana je i nova tehnologija spajanja krajeva štapova primenom transformatora za elektrootporno zavarivanje sa čeljustima hlađenim vodom, primenjena pri izradi novog namotaja generator – motora u RHE Bajina Bašta. Tehnologija omogućava brzo formiranje glava namotaja i visok kvalitet spoja uz zanemarljivo termičko opterećenje okolne izolacije štapova.

Značaj ovog referata je u tome što širokom krugu stručnjaka, koji se na bilo koji način bave električnim rotacionim mašinama, približava nove tehnologije i nove materijale u izradi visokonaponskih statorskih namotaja.

**Pitanja za diskusiju:**

1. Da li je moguća primena elastičnog zaklinjavanja uz primenu dvostrukih konusnih klinova kod postojećih namotaja i pod kojim uslovima?
2. Da li može da se uspostavi čvrsta korelacija između žlebnih parcijalnih pražnjenja i stanja zaklinjenosti namotaja?
3. Na koji način je moguće izvršiti kontrolu kvaliteta spojeva krajeva štapova pre nalivanja glava namotaja statora?

### **R A1-04 Mogućnosti povećanja snage turbogeneratorskog TE "Pljevlja"**

Autora: Dobrila Gačevića, dipl.inž. TE "Pljevlja", Pljevlja i Gorana Martnovića, dipl.inž. "Elektroprenos", Podgorica

U referatu su autori utvrdili mere i aktivnosti u cilju povećanja snage predmetnog turbogeneratorskog. Na osnovu električnih, toplotnih, mehaničkih i drugih pokazatelja, rezultata probnog rada i obavljenih eksploatacionih toplotnih ispitivanja u režimu nadpobude, autori su utvrdili da postoji dovoljno termičke rezerve u statoru, koja se može iskoristiti za povećanje snage turbogeneratorskog. Što se tiče rotora, ta je mogućnost, obzirom na njegove karakteristike i ranije postojala.

Izvršen je proračun gubitaka, stepena iskorišćenja, kao i uticaj rashladnog medija (vodonik) na povećanje snage. Dat je program ispitivanja generatora u cilju povećanja njegove snage, a navedeno je i niz pitanja koja se pri tom otvaraju: rad sa faktorom snage bliskim jedinici i u režimu podpobude, naponske prilike u ovom delu EES, posle povezivanja sa UCTE; statička i dinamička stabilnost mašine i dr.

Obzirom na u praksi potvrđeno rešenje povećanja snage sličnog generatora u TE "Bitola" (Makedonija) od 5%, smatra se da je ovo optimalno rešenje i za predmetni generator.

Pitanja za diskusiju:

1. Zašto se ne iskoriste pozitivna iskustva na povećanju snage u TE "Bitola" i slično primeni u TE "Pljevlja"?
2. Da li će se obaviti (ili je već obavljeno) predloženi program ispitivanja u narednom remontu bloka?
3. Da li je blok transformator ograničavajući faktor, kod povećanja snage turbogeneratorskog?

### **R A1-05 Osobine asinhronih mašina sa dvostranim napajanjem i primena u vetrogeneratorima, autori su: Dr Đukan Vukić, dipl. inž., Branko Radičević, dipl. inž, Poljoprivredni fakultet**

U referatu se preporučuje asinhroni generator sa dvostranim napajanjem kao najbolje rešenje za vetrogeneratore. Takva asinhrona mašina ima snagu koja ne zavisi od brzine obrtanja turbine koja je ovde primenljiva. Namoti statora se direktno vežu na mrežu, a rotora preko poluprovodničkog pretvarača čime se postiže fina regulacija učestanosti i napona u kolu rotora. Takva mašina ima dobre osobine u pogledu mogućnosti regulisanja brzine, potrošnje reaktivne energije i rada sa visokim stepenom iskorišćenja. U radu su izvedene relacije za računanje struja, snaga, momenta i sačinioća stanja za motorni režim rada mašine.

Pitanja za diskusiju:

1. U radu su jednačine i veličine izvedene za motorni režim rada. Kako one izgledaju za generatorski režim koji je predmet ovog rada?
2. Objasniti razlike za isti ugao  $\delta$  na sl. 2 za motorni i generatorski režim rada?
3. U kojim režimima radi asinhroni vetrogenerator u realnim uslovima – rešenje sa sl.5?

### **R A1-06 Savremene merne tehnike za kontinualni (on-line) nadzor izolacionog sistema obrtnih mašina srednjeg i visokog napona u cilju poboljšanja njihove pouzdanosti**

Čiji su autori mr Dejan Rebrić, prof.dr. Dragan Petrović i mr Siniša Stojković

Ovaj stručni rad bavi se analizom parcijalnih pražnjenja koja se pojavljuju u izolaciji statorskih namotaja obrtnih mašina a od naročitog su značaja kod visokonaponskih mašina većih snaga, i istovremeno naglašava da je analiza parcijalnih pražnjenja (Partial Discharge Analysis - PDA) najšire korišćena tehnika za praćenje kvaliteta izolacije statorskog namotaja na velikim obrtnim mašinama.

Osnovna ideja članka je da on na osnovu praktičnih iskustava, preporučuje primenu tehnike on-line merenja i analize parcijalnih pražnjenja kod svih većih visokonaponskih generatora i motora, sa posebnim osvrtom na on-line monitoring kritičnih parametara, kao što su koncentracija ozona u nekoliko tačaka, kao i merenje i analiza vibracija statorskog jezgra i oklopa.

Iskustvo je, naime, pokazalo da je praćenje trenda parcijalnih pražnjenja u vremenu najpouzdaniji način da se identifikuju mašine kojima je potrebna intervencija održavanja.

Autori pokazuju vezu između intenziteta parcijalnih pražnjenja kao posledice i radnog opterećenja, napona, temperature, pritiska gasa i vlage u namotajima kao uzroka, pa otuda zaključuju da se ovi faktori takođe moraju nadzirati, osim samih vrednosti parcijalnih pražnjenja.

Iako navode prednosti kontinualnog on-line monitoringa u pogledu mogućnosti da se defektni delovi izolacije mogu detektovati znatno pre nego što dođe do ozbiljnog oštećenja i neplaniranog zastoja, autori takođe naglašavaju korisnost off-line merne tehnike i ističu da ove dve merne tehnike ne treba smatrati za konkurentne nego za međusobno komplementarne.

Ovim člankom autori preporučuju primenu on-line PD monitoringa hidro i turbogeneratora uz povremena kontrolna off-line merenja radi podizanja stepena pouzdanosti elektrana i obezbeđivanja značajne uštede redukovanjem ukupnih troškova održavanja, navodeći svoje mišljenje kako je potrebno ostvariti mogućnost da više elektrana preko modemske veze šalju podatke u centre za njihovu analizu. Ovi centri imali bi zadatak da upoređuju rezultate on-line i off-line merenja i da povremeno izveštavaju o nađenim rezultatima za svaku elektranu.

U članku je zato dat pregled savremene opreme za on-line monitoring stanja generatora koja je u stanju da prati i druge parametre, kao što su temperatura, opterećenje, sinhronizacija, itd.

### **Pitanja:**

1. Odnos Off-line i On-line merenja parcijalnih pražnjenja?
2. Prednosti On-line monitoringa parcijalnih pražnjenja?
3. Uticaj senzora na merenja parcijalnih pražnjenja?

**R A1-07 Jedan koncept monitoringa stanja hidrogeneratora**, autora dr Dragana Petrovića, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Vladimira Milosavljevića, JP Đerdap, Kladovo i mr Siniše Stojkovića, Elektrotehnički fakultet, Beograd.

U referatu je prikazan savremen način *on – line* praćenja stanja hidrogeneratora i ukazano na njegov značaj za rano otkrivanje kvarova i programiranje održavanja.

Snažan razvoj merne i informacione tehnike u poslednje vreme doveo je do revolucije kod upravljanja i monitoringa hidroagregata, pa se ti modreni sistemi primenjuju, ne samo u novim hidroelektranama, već i kod revitalizovanih generatora.

U prvom delu rada autori daju osvrt na međusobni odnos sistema monitoringa i sistema upravljanja koji treba da budu međusobno nezavisni, a ipak povezani radi razmene informacija i veličina od obostranog značaja.

Dalje, u referatu su sistematizovane veličine koje se prate na generatoru u radu kao i veličine koje se periodično ispituju i mere na zaustavljenom agregatu. U okviru prve grupe veličina specificirane su veličine iz sledećih podgrupa: stanje izolacionog sistema statora, stanje magnetnog jezgra statora, temperature, vibracije, oblik statora i rotora, parametri rashladne vode, parametri ulja u ležajevima i radne električne veličine generatora. U drugoj grupi detaljno su navedene veličine koje se periodično mere na izolacionim sistemima statora i rotora, jezgru statora i mehaničkim delovima generatora.

Na kraju je prikazana konfiguracija sistema za monitoring i dijagnostiku hidrogenatora u jednoj višeagregatnoj elektrani koja se proteže na četiri nivoa prikupljanja i obrade podataka. Na vrhu te piramide nalazi se dijagnostika i ekspertiza kvarova koja je i krajnji cilj monitoringa u hidroelektrani.

### ***Pitanja za diskusiju:***

- 1. Da li se radne temperature aktivnih delova generatora i rashladnih fluida mogu smatrati isključivo predmetom monitoringa, obzirom na njihov veliki značaj za donošenje upravljačkih odluka.*
- 2. Da li je u višeagregatnoj elektrani, kada su u pitanju sporo promenljive veličine, celishodno primeniti sistem povremenog cikličkog on-line merenja sa davačima ugrađenim u svakom generatoru i zajedničkim prenosnim uređajem za merenje i akviziciju.*
- 3. U kojoj meri se veličine praćene monitoringom mogu koristiti za zaštitu generatora.*

**R A1-08 Rekonstrukcija sistema regulacije pobude turboagregata A5 u TE "Nikola Tesla" Obrenovac**, autora Đorđa Stojića, Zorana Ćirića, Ilije Stevanovića, Dušana Arnautovića (Elektrotehnički institut "Nikola Tesla, Beograd) Ljubiša Mihailović (TE "Nikola Tesla Obrenovac).

U radu je dat prikaz rekonstrukcije regulacije pobude turboagregata A-5 u TE "Nikola Tesla A" Obrenovac. Novi rekonstruisani deo pobudnog sistema obuhvata kompletnu regulaciju pobude sa dva kanala i dva tiristorska pretvarača sa potpunom redundansom, koja se automatski aktivira tokom rada uređaja. Digitalni regulator pobude sadrži dva kanala pri čemu su sastavni delovi svakog kanala: automatski regulator napona, rezervni strujni regulator, limiteri, test režim, upravljanje tiristorima, zaštite, merenja i signalizacija. Energetski deo pobudnog sistema čine: transformator za napajanje tiristorskih mostova i dva tiristorska mosta sa prirodnim hlađenjem pri čemu je jedan u radu a drugi "vruća rezerva. Ostali elementi sistema pobude nisu rekonstruisani i to: prekidač demagnetizacije pobude glavne budilice, glavna budilica, diodni ispravljajući most, prenaponska zaštita na jednosmernoj strani i prekidač za demagnetizaciju. Potpuno nezavisno od rekonstruisanog dela sistema pobude zadržana je mogućnost ručne regulacije pobude sa autotransformatorom i izlazom preko diodnog mosta na glavnu budilicu.

Funkcije regulatora pobude obuhvataju algoritam regulacije napona statora i struje rotora generatora, zaštitne funkcije i ograničenja struje rotora i statora tako da obezbeđuju siguran rad

agregata u induktivnom i kapacitivnom režimu. Sastavni deo regulatora pobude je algoritam sekvencijalnog upravljanja radom uređaja i dodatne upravljačke funkcije i funkcije lokalne i daljinske signalizacije.

Uređaj omogućava lokalno i daljinsko upravljanje pri čemu na lokalnom panelu moguće je pratiti vrednosti svih veličina relevantnih za rad regulatora preko alfa numeričkog LCD displeja. Daljinska kontrola vrši se preko kontaktnih ulaza i izlaza od strane nadređenog sistema za upravljanje agregatom.

Prikazana je struktura rekonstruisanog pobudnog sistema kao i njegove tehničke karakteristike i osnovne funkcije.

***Pitanja za diskusiju:***

- 1 Koje su prednosti i mane realizacije sistema regulacije pobude sa dva kanala?*
- 2 Na koji se način može realizovati upravljanje sistemom pobude od strane nadređenog sistema upravljanja osim navedenog u radu?*
- 3 Da li postoji mogućnost uklapanja novougrađenog dela sistema pobude u dalju rekonstrukciju celokupnog sistema pobude?*
- 4 Objasniti nezavisnu regulaciju pobude (ručna) sa diodnim mostom na glavnu budilicu.*

**R A1-09 "Popravka turbogeneratorsa 150 MVA u TE-TO Zrenjanin"**

Autora: Alekse Markovića, dipl.inž., TE-TO Zrenjanin, Srbija  
i Mr. Kristine Čelić-Baran, dipl.inž., "Končar- GIM", Zagreb, Hrvatska

U ovoj informaciji je izložen postupak, način i obim popravke turbogeneratorsa 150 MVA u TE-TO Zrenjanin, hronologija kvara, postupak, defektaže, kao i aktivnosti popravke. Od električnih ispitivanja najbitnija su ona vezana za namot statora, obzirom da je isti kompletno saniran. Takođe je u potpunosti obnovljen izolacioni sistem rotora, što su i pokazala ispitivanja 2003 i 2004 godine.

Popravka generatorsa je iskorišćena i za reviziju ostalih delova generatorsa, kućišta statora, zamena zaptivnih brtvi, remont rashladnog sistema, pomoćnih uređaja i dr.

Pitanja za diskusiju:

1. Po kome kriterijumu su štapovi razvrstani u 3 grupe?
2. Da li je vršena revizija rotorskih kapa i u kom obimu?
3. Da li je uvedeno kontinualno praćenje (on- line) stanja izolacije statorskih namotaja?

**R A1-10 Monitoring i upravljanje obrtnim mašinama**, autori su R. Antunović, M. Milinko, ZDP „R i TE“ Gacko – Gacko, Elektroprivreda Republike Srpske

U referatu je opisan kompjuterski dijagnostički sistem (COS) primenjen u TE Gacko za nadgledanje mehaničkog stanja turbogeneratorsa koji se sastoji od dela za akviziciju podataka i kompjuterske jedinice za obradu podataka. Naveden primer uspešnog otkrivanja pukotina u rotoru generatorsa pomoću ovog sistema, na šta nisu ukazivali ostali praćeni podaci. Data je i analiza praćenja temperaturnog ugiba vratila generatorsa. Predlaže se razvoj daljinskog nadzora i jedinstvenog dijagnostičkog centra za elektroprivreda Republike Srpske.

Pitanja za diskusiju:

1. Da li je elektroprivreda Republike Srpske dovoljno spremna za implementaciju jedinstvenog dijagnostičkog centra?
2. Da li je pored opisanog sistema primenjen i monitoring drugih veličina i parametara?
3. Da li se pri polasku i zaustavljanju generatora registruje prolazak kroz kritične učestanosti?

**R A1-11 Ispitivanje statorskih paketa limova nazivnom indukcijom na generatoru 150 MVA u TE "Morava" u Svilajncu"**

Autora: Ljubiše Čičkarića, dipl.inž.

Miomira Senčanića, dipl.inž.

Miroslava Senića, dipl.inž.

El. tehnički institut "Nikola Tesla", Beograd

U referatu su autori prikazali i detaljno analizirali rezultate merenja dobijenih prilikom ispitivanja statora indukcijom, u periodu 1998-2004. U prvom ogledu je registrovan veliki broj paketa sa povećanim grejanjem- preko 100. Dati su i analizirani termogrami pre i nakon sanacije lim paketa, kao i kvalitet i uspešnost sanacije. Pet godina kasnije u toku kapitalnog remonta 2004. urađena su tri ogleda zagrevanja. Registrovano je nekoliko zona sa lokalnim grejanjem i nakon izvršene sanacije, broj lokalnih pregrevanja je svedena na 2 lokacije, u dozvoljenim granicama.

Metoda ispitivanja lim paketa statora je kod nas u primeni već tridesetak godina i na ovom primeru je ilustrovano značajno iskustvo autora stečeno u ovakvim ogledima, a sve u cilju pravilne ocene opšteg stanja magnetnog kola statora.

Pitanja za diskusiju:

1. Da li su kontrolisani štapovi u 23. i 24- om žlebu, sa strane pobude, vizuelno, obzirom da su ovde temperature lim paketa najviše, a klinovi bili izvađeni?
2. Da li su računati jedinični gubici i kakav je njihov trend?