

A1- 00

**STUDIJSKI KOMITET A1: OBRTNE ELEKTRIČNE MAŠINE
IZVEŠTAJ STRUČNIH IZVESTILACA**

**I. ZEC, TENT Obrenovac
V. VIDAKOVIĆ, PD Đerdap
B. MAODUŠ, »PRO-TENT«
R. ALBIJANIĆ, »Vibroakustika«
Z. ĆIRIĆ, EI »Nikola Tesla«
V. ŠKUNDRIĆ, JP EPS**

**BEOGRAD
SRBIJA**

R A1 – 01 Popravka generatora u Etiopiji, autora Vase Milićeva (Motor Generator Servis d.o.o – Subotica)

Autor je u svom radu prikazao oštećenja na hidrogeneratoru snage 45 MVA koja su nastala posle ulaska agregata u pun pobeg i opisao radove na otklanjanju tih oštećenja i dovođenju generatora u ispravno stanje.

Uzrok havarije je istovremeno otkazivanje turbinskog regulatora i zaštite od pobega, pa je posle ispada agregata sa mreže došlo do takvog povećanja brzine obrtanja i mehaničkih naprezanja koje pojedini sklopovi nisu mogli da izdrže. Istovremeno, vodeći ležaj generatora je izgubio protok ulja, što je doprinelo da on prvi popusti.

U radu se ne opisuju događaji koji su neposredno prethodili havariji, t.j. ne navodi se uzrok otkazivanja automatike agregata, već je akcenat dat na posledice havarije i njihovo otklanjanje.

U uslovima razbijenog vodećeg ležaja i povećane brzine obrtanja došlo je do enormnih izbačaja vratila, do loma ventilatorskih lopatica usled kontakta sa usmerivačima i do upadanja polomljenih delova ventilatora u međugvožđe. Tom prilikom, između ostalog, teško su oštećeni namotaji statora i rotora kao i paketi jezgra statora u zoni zubaca.

Popravka generatora je vršena u elektrani i trajala je 5 meseci, ne računajući pripreme.

Pored radova na popravci i zameni aktivnih delova generatora oštećenih u havariji (zamena međuzavojne izolacije namotaja polova uz prethodno peglanje deformisanih navojjaka, zamena oštećenih polunavojjaka namotaja statora, brušenje oštećenja na paketima limova jezgra statora uz tretiranje slepljenih krajeva limova azotnom kiselinom, zamena uništenih nosača kliznih prstenova i četkica kao i delova ležaja), tokom induktionog ispitivanja popravljenog jezgra došlo se do zaključka da je neophodna i zamena izolacije međusektorskih spojeva jezgra statora.

Popravka je izvršena na isti način kao što je svojevremeno rađeno na po jednom generatoru u HE Bajina Bašta i HE Vrla IV: umetanjem termoplastičnog izolacionog materijala nejednake debljine prilagođene zazoru, njegovom polimerizacijom zagrevanjem i ostvarivanjem potrebnog negativnog zazora (prednaprezanja).

Otklanjanje posledica najtežih havarija hidrogeneratora je svakako moguće, ali ovaj referat ukazuje da je to obiman i skup poduhvat i da je racionalnije da se trud i novac ulože u preventivu.

Pitanja za diskusiju:

1. *U radu nisu navedeni podaci o starosti generatora, pa se ne može naslutiti šta je dominantan uzrok propadanja međusektorske izolacije i oštećenja limova jarma na spoju – starost generatora i veliki broj sati rada i toplotnih ciklusa ili neadekvatno izveden preklop.*
2. *Da li je kritički razmatran podatak o ukupnoj veličini preklopa od $2x(0,3-0,4)$ mm iz tehničke dokumentacije, odnosno, da li je vršen proračun naprezanja jezgra u hladnom i toplom stanju?*
3. *Koja ispitivanja mehaničkih delova generatora bi trebalo izvršiti posle pretrpljenih preopterećenja tokom pobega?*
4. *Kolika je ukupna brušena površina paketa limova jezgra i koja je granična vrednost koja se može tolerisati?*

R A1 – 02 Merenja parcijalnih pražnjenja savremenim digitalnim merno-akvizicionim sistemima- iskustva u praksi, autori su: N. Kartalović, Đ. Jovanović, Lj. Nikolić, D. Teslić, S. Marinković, M. Sušić, (Elektrotehnički Institut „Nikola Tesla“, Beograd) Ivanka Jevtić (Visoka železnička škola Beograd).

U radu je dat kratak opis i mogućnosti savremenog uređaja za ispitivanje parcijalnih pražnjenja u elektroenergetskoj opremi. Merno akvizicioni sistem je prvenstveno namenjen za ispitivanja električnih izolacionih sistema (EIS) obrtnih mašina. Predstavljena su i iskustva u okviru prakse ETINT.

Predstavljeni uređaj je kompjuterizovan, počev od merenja i akvizicije podataka pa do grafičkog prikazivanja. Akvizicija je fazno amplitudna, i moguće je uraditi bogatu analizu podataka po nizu kriterijuma koristeći široke mogućnosti softvera i grafičkog prikaza. Fleksibilnost uređaja, zahvaljujući širokoj lepezi dodatne opreme, omogućava primenu, pored obrtnih mašina, i kod druge opreme, kao što su energetske i merni transformatori, provodni izolatori, kablovske glave, GIS postrojenja itd.

U radu su predstavljena neka od ispitivanja generatora u TE Kostolac B i pored merenja i dijagnostike parcijalnih pražnjenja obavljana je i ostala potrebna dijagnostika. Pored prikaza mogućnosti sistema u smislu prikaza i analize rezultata merenja dati su i primeri dijagnostike.

Pitanja za diskusiju:

1. *Kakvi sistemi novije generacije se razvijaju u svetu i kakvi su prisutni u našoj praksi?*
2. *Koji su pravci razvoja dijagnostike parcijalnih pražnjenja?*
3. *Kolika je merna nesigurnost prikazanog i drugih sistema?*
4. *Koja je fizička priroda „pozitivnih“ i „negativnih pražnjenja“*

R A1 – 03 Monitoring i primjena savremenih metoda tehničke dijagnostike obrtnih mašina, autora R. Antunovića i M. Skoka iz „R i TE Gacko“ a.d., Gacko, Elektroprivreda Republike Srpske

U radu su prikazane osnove savremenih dijagnostičkih metoda u praćenju stanja vitalnih mašinskih komponenti, pre svega, rotacionih mašina u strategiji preventivno-planskog održavanja. Suština dijagnostičkih metoda je u mogućnosti ranog otkrivanja nastalih kvarova, praćenju progresivnog pogoršanja i njihovom otklanjanju u unapred planiranom terminu, što dovodi do minimalnog vremena zastoja. Autori u radu daju kratak opis različitih metoda tehničke dijagnostike uglavnom baziranih na analizi vibracionih signala i dotiču aplikativnu stranu strukturne analize. Sa posebnim osvrtom tretiraju metode koje se odnose na ležajeve i zupčanike. U drugom delu rada su dati primeri praktičnog korišćenja ovih metoda u praksi, ali nisu naglašeni primeri vlastitog angažovanja autora.

Pitanja za diskusiju:

- 1. Koja su ograničenja primarna u širem korišćenju ovakvih metoda?*
- 2. Kakva su dosadašnja iskustva u realizovanim sistemima monitoringa u Elektroprivredi Republike Srpske gledano sa aspekta uložениh finansijskih sredstava, s jedne i tehničkih koristi, s druge strane?*
- 3. Gde su u našim uslovima granice između periodičnog i permanentnog monitoringa?*

R A1 – 04 Baza podataka za dijagnostiku stanja izolacionih sistema generatora u hidro i termo elektranama, autora: Nidžo Miladinović, V. Ćuk, V. Polužanski, D. Kovačević, S. Milosavljević, Elektrotehnički Institut "Nikola Tesla", Beograd

Da bi se donela ukupna ocena o stanju električne mašine, nije dovoljno izvršiti samo jedno ispitivanje, ma koliko obimno i kompleksno bilo to ispitivanje. Neophodan je uvid u istorijat ispitivanja i pogonskih događaja, kao i uvid u stanje i istorijat identičnih jedinica (sister unit).

U radu je prikazana baza podataka u kojoj je objedinjen veliki broj merenja i pogonskih događaja generatora koja je razvijena za potrebe domaće elektroprivrede. Sistem za upravljanje bazom podataka je MySQL, a aplikacija je urađena u programskom jeziku Visual C#, razvojno okruženje NET. Aplikacija pomoću koje se pristupa bazi omogućava unošenje, pregled, eksportovanje, analizu podataka i pomoć pri kreiranju izveštaja o izvršenim ispitivanjima.

Prikazano je i nekoliko primera, na kojima su demonstrirane prednosti postojanja ovakve baze podataka, kao i potreba da se one unapređuju i razvijaju.

Pitanja za diskusiju:

- 1. Kod svih baza podataka, jedna od kritičnih operacija je ručni unos podataka, jer se i pored najbolje volje i kontrole unosa, ipak događaju greške. Da li postoji mogućnost i da li se razmišlja o direktnom unosu, odnosno preuzimanju podataka direktno iz modernih mernih uređaja?*
- 2. Podaci koji se nalaze u bazi su poverljive prirode i mogli bi biti predmet zloupotrebe, kakvih ima, a biće ih i ubuduće. U radu su pomenute neke „jednostavne metode za kontrolu pristupa“. Da li će to biti dovoljna zaštita od neovlašćenih upada?*

R A1 – 05 Realizacija stabilizatora elektroenergetskog sistema u okviru regulatora pobude generatora, autora: Đorđa Stojića, Zorana Ćirića, Dušana Joksimovića i Nemanje Milojevića, Elektrotehnički Institut "Nikola Tesla", Beograd

U radu je dat opis realizacije funkcije stabilizatora elektroenergetskog sistema u okviru regulatora napona pobude, koja služi za prigušivanje niskofrekventnih oscilacija. Predloženo rešenje testirano je korišćenjem simulacionog modela generatora povezanog sa mrežom preko dalekog prenosnog voda. Težište rešenja sastoji se u jednostavnosti realizovane strukture, koja omogućava postizanje zahtevanih tehničkih performansi

Projektovanje sistema pobude sinhronog generatora, pored funkcija vezanih za regulaciju rotorske struje i napona statora generatora, sadrže i funkcije vezane za prigušivanje niskofrekventnih oscilacija i povećanju granice stabilnosti rada generatora – odnosno, funkciju stabilizatora EES. Osnovna funkcija stabilizatora EES sastoji se u prigušivanju niskofrekventnih oscilacija brzine sinhronog generatora, u uslovima u kojima generator preko dalekog voda povezan sa mrežom. Prigušivanje se ostvaruje generisanjem niskofrekventne komponente struje pobude koja je u fazi sa varijacijama brzine generatora (varijacije brzine generatora nalaze se u frekventnom opsegu između 0.5 Hz i 4 Hz).

Stabilizator EES moguće je realizovati korišćenjem više različitih tipova ulaznih signala, na osnovu kojih se detektuje pojava niskofrekventnih oscilacija promenljivih stanja sinhronog generatora, karakteristične za poremećaje slabih mreža. Kao ulazna promenljiva stabilizatora može se koristiti rotorska brzina generatora, ugao rotora generatora, aktivna snaga generatora, ili učestanost napona statora generatora. U svakom od slučajeva generiše se komponenta napona pobude u fazi sa varijacijama ulazne promenljive, u frekventnom opsegu koji odgovara pomenutoj pojavi u električnoj mreži. Realizacija funkcije stabilizatora ostvarena je implementacijom filtra propusnika opsega nad ulaznim signalom, koji ima funkciju da detektuje niskofrekventne oscilacije u zadatom opsegu učestanosti, kao i da obezbedi povoljne dinamičke karakteristike procesa prigušenja elektro-mehaničkih oscilacija sinhronog generatora.

U tom smislu, u literaturi kao i u odgovarajućim standardima predloženo je više struktura, koje se razlikuju po vrsti signala koji se koristi za detektovanje oscilacija, kao i po načinu na koji je implementirana funkcija propusnika opsega i generatora niskofrekventne komponente napona pobude u cilju prigušenja elektro-mehaničkih oscilacija generatora. Treba napomenuti da stabilizator EES obezbeđuje prigušivanje elektro-mehaničkih oscilacija u užem opsegu u okolini radne tačke sinhronog generatora. Za veće poremećaje i za oscilacije u širim opsezima stabilizator EES ne samo da ne može da izazove efekat prigušivanja oscilacija, već obratno, može da dovede do efekta povećanja oscilacija.

U radu je dat prikaz jedne od struktura stabilizatora EES predloženih standardima. Simuliran je rad sinhronog generatora vezanog za slabu mrežu, sa i bez prisustva stabilizatora EES, sa učestanošću statorskog napona kao ulaznom veličinom.

Pitanja za diskusiju:

- 1. Koji je sistem modelovanja korišćen?*
- 2. Po kom standardu je odabrana struktura stabilizatora EES?*
- 3. Kako utiče promena ekvivalentne reaktanse X_{ext} mreže na stabilnost simulirane strukture?*

R A1 – 06 Neke mogućnosti primene magnetnog monitoringa obrtnih električnih mašina u elektranama, autora: Zorana Obradovića, Elektrotehnički Institut “Nikola Tesla”, Beograd.

U radu su prikazane metode magnetnog monitoringa, posebno za svaku vrstu mašine napr. otkrivanje kvara se bazira na detekciji dela rasutog fluksa kod jedne ili glavnog fluksa kod druge, ali sa jednom zajedničkom osobinom: kod svih se za detektovanje fluksa koriste veoma jeftini senzori, koji su u stvari vazdušne zavojnice od izolovane bakarne žice. Ove zavojnice se ugrađuju, u nekim slučajevima, na spoljnu stranu kućišta ili u međugvožđe obrtne mašine.

Neke od obrađenih metoda se smatraju vrlo efikasnim u otkrivanju određenih kvarova kod generatora (napr. otkrivanje kratkospojenih navojaka u rotoru turbogeneratora).

Magnetni monitoring spada u tzv. on-line metode, s tim što monitoring može biti stalni ili povremeni, zavisno od potreba i mogućnosti korisnika. Stalni monitoring je kvalitetnije rešenje, ali i dosta skuplje od povremenog, naročito tamo gde je primenom povremenog monitoringa utvrđen trend pogoršanja stanja obrtne mašine.

Metoda magnetnog monitoringa se primenjuje u otkrivanju kvarova i kod asinhronih motora, više od 20 godina. Metoda spektralne analize rasutog fluksa, kojom je moguće otkrivanje određenih kvarova kod trofaznih asinhronih motora, daje često i bolje rezultate od onih koji se dobijaju metodom spektralne analize stuje statora (MCSA metoda - Motor Current Signature Analysis).

Pitanja za diskusiju:

- 1. Koliko se često u praksi primenjuje prikazana metoda rasutog fluksa FSA u dijagnostici stanja turbo i hidrogeneratora i asinhronih motora?*
- 2. Da li proizvođači obrtnih mašina prihvataju ugradnju prikazanih senzora kao standardnu opremu?*
- 3. Zašto autor smatra „problematičnim“ instaliranje opreme za merenje struje statora motora?*

R A1 – 07 Razvoj automatskog regulatora napona sinhronih generatora baziranog na PLC-u, autora: J. Stevanovića, J.D. Dragosavac, M.B. Ostojića, Ž.S. Jande, D.B. Arnautovića (EI Nikola Tesla, Beograd), Lj.M. Mihailovića, G.I. Klasnića (TE "Nikola Tesla", Obrenovac)

U radu je dat prikaz automatskog regulatora napona sinhronih generatora baziranog na PLC-u. Komunikacija sa uređajem koja obuhvata upravljanje, signalizaciju i promenu parametara je ostvarena preko odgovarajućeg touch panela. Data je struktura i karakteristike automatskog regulatora napona sinhronih generatora koji je razvijen uz korišćenje PLC-a. Rešenje je primenjeno na sistemu pobude generatora A1 u TE „Nikola Tesla A“.

Razlozi za korišćenje PLC-a su sledeći :

- zahtevi koji se odnose na tehničke karakteristike opreme, broj funkcija, fleksibilnost u smislu proširavanja novim funkcijama, novim digitalnim ili analognim ulazima i izlazima i slično,
- zahtevi da uređaji budu maksimalno korisnički orjentisani: da se lako rukuje uređajem, mogućnosti povezivanja uređaja (komunikacije) sa različitom opremom i različitim nivoima upravljanja, jednostavna promena parametara, konfiguracije, automatsko arhiviranje pojedinih događaja, pregled arhiva,
- zahtevi koji se odnose na cenu, rokove isporuke i ispunjavanje uslova različitih sistema kvaliteta i posedovanje odgovarajućih međunarodnih sertifikata.

Uređaji zasnovani na mikroprocesorskoj platformi zahtevaju znatno duže vreme razvoja, duže vreme izrade i duže vreme ispitivanja. Mikroprocesorski uređaji su slabije korisnički orjentisani i manje korisnički fleksibilni. S druge strane mikroprocesorski uređaji su po brzini dominantni u odnosu na PLC i sa strane projektanta dosta fleksibilniji.

U radu je prikazan digitalni regulator sa BUCK konvertorom za DC sistem pobude sa zadržanom budilicom, pri čemu je regulator pobude RP2008 realizovan korišćenjem PLC hardverske osnove. Regulator pobude osim osnovne funkcije, regulacije pobude sinhrono mašine, obezbeđuje i fleksibilnu logiku upravljanja sistemom pobude. Izlaz iz PLC regulatora je analogni signal koji upravlja energetskim stepenom i koji treba da obezbedi regulisani rad sinhrono mašine u granicama definisanim pogonskim dijagramom.

Pitanja za diskusiju:

- 1. Zašto je PLC fleksibilniji za programiranje u odnosu na DSP?*
- 2. Potrebno je pojasnit ukratko prelazak na drugi kanal i koja je struktura drugog kanala?*
- 3. Da li digitalni regulator sa tiristorskim izlaznim stepenom usložnjava realizaciju regulacije preko PLC-a?*

R A1 – 08 Izolacioni otpori i polarizacioni indeksi statorskih namotaja hidrogenatora novijih konstrukcija, autora Ljubiše Nikolića, Miloša Sušića (Elektrotehnički institut N.Tesla, Beograd), Novice Selakovića (Limske HE, Nova Varoš), Lazara Simikića (IRCE, I.Sarajevo) i Ilije Zeca (TENT, Obrenovac).

U referatu je obrađena problematika ocene stanja izolacionih sistema statorskih namotaja hidrogenatora na osnovu vrednosti otpora izolacije i polarizacionog indeksa na namotajima novije konstrukcije. Naime, uvođenjem novog sistema zaštite bočnih veza i glava statorskog namotaja od korone, koji se sastoji od nanošenja poluvodljivog laka celom dužinom bočnih veza umesto samo na prevoju posle izlaska štapa iz žleba, došlo je do drastičnog smanjenja vrednosti izolacionih otpora i polarizacionih indeksa. Zbog toga se primenom starih kriterijuma može izvesti pogrešan zaključak o degradiranosti ili ovlaženosti sasvim dobrih i suvih izolacionih sistema.

Autori podvlače značaj blagovremenog prilagođavanja standarda iz ove oblasti novonastaloj situaciji kada se upotrebom novih izolacionih materijala i anti-korona sistema zaštite parametri izolacionih sistema dramatično menjaju, zahtevajući od ispitivača veliko iskustvo, kako u merenju, tako i u tumačenju dobijenih rezultata. Promene su tolike da polarizacioni indeks u nekim slučajevima ne može služiti ni kao pomoćni kriterijum za ocenu stanja izolacionog sistema. Rezultati prihvatljivi za praćenje trenda se mogu dobiti smanjivanjem vremenskih intervala kod računanja indeksa i smanjenjem ispitnog napona.

Autori su, kao potvrdu postavki iznetih u referatu, naveli uporedne rezultate merenja otpora izolacije i polarizacionog indeksa na pet generatora u dve hidroelektrane od kojih su neki sa starom, a neki sa novom anti-korona zaštitom.

Pitanja za diskusiju:

- 1. Na koji način se može zaključiti koliki je udeo efekata nove anti-korona zaštite u niskom otporu izolacije izolacionog sistema, a koliki eventualne degradacije i/ili ovlaženosti izolacije? Ako je to nemoguće, nije li onda novi sistem anti-korona zaštite alibi za sve defekte izolacije namotaja prema masi koji se mogu pojaviti?*

2. *Ima li smisla dalje smanjivanje vremenskih intervala ispod 60, odnosno 15 sekundi kod izračunavanja polarizacionog indeksa kako bi se dobili reprezentativniji rezultati? Do koje mere se može smanjivati ispitni napon u cilju smanjenja uticaja poluvodljivog sloja?*

R A1 – 09 Parazitne struje u paket limu i spoljnim površinama namotaja generatora, autori su: Lj .Nikolić, N. Kartalović (Elektrotehnički Institut Nikola Tesla, Beograd) i I. Zec (Termoelektrana Nikola Tesla, Obrenovac)

Rad ispituje moguće izvore parcijalnih pražnjenja sa posebnim osvrtom na tzv. žlebna parcijalna pražnjenja. Autori su pokušali da spoje svoja iskustva iz prakse, merenja i vizuelne preglede kao i stručne analize. Rad je veoma interesantan kako za institucije koje se bave parcijalnim pražnjenjima tako i za vlasnike rotacionih mašina i remontno-servisne ustanove.

Pored efekata koji se dobijaju upotrebom niskootpornih premaza (NOP) ili niskootpornih traka po spoljnoj površini žlebnih ravnih delova polunavojaka (homogenizacija električnog polja unutar glavne izolacije u žlebnom delu polunavojka) imamo i negativne efekte. Preko tih premaza i limova magnetnog jezgra sa kojima je NOP u kontaktu, formiraju se zatvorene električne konture kroz koje u normalnim pogonskim uslovima prolazi deo ili ceo glavni fluks mašine, i u njima indukuje parazitne struje. Ukoliko su one većeg intenziteta i ukoliko se usled vibracija namotaja lučno prekidaju na mestima odvajanja spoljne površine polunavojaka i zidova žleba, može doći do erozivnog oštećenja u prvom redu glavne izolacije polunavojka, a takođe i do oštećenja paket lima tj. pojave takozvanih „toplih tačaka“.

U radu je predstavljena teorijska analiza uzroka postojanja kontura i struja preko poluprovodnog sloja i analiza karakterističnih veličina preko teorije električnog luka.

Da bi se sprečila ovakva erozija materijala, neophodno je minimizirati uslove za pojavu električnog luka na mestima kontakata tj. upotrebiti NOP dovoljne otpornosti da se za konkretnu mašinu minimalizuje mogućnost pojave električnih varnica koje mogu da izazovu eroziju izolacionog materijala sa polunavojka i oštećenja na paket limovima. Iz tih razloga specifični kvadratni otpor NOP ne sme biti suviše nizak (ne manji od $5\text{k}\Omega/\square$ [8]), kao što ne sme biti niti suviše visok kako ne bi izgubio funkciju zaštite od žlebnih PP (ne veći od $15\text{-}25\text{k}\Omega/\square$ [7]).

Predloženo je rešenje da se kod novih konstrukcija generatora, osim pažljivo biranog otpora NOP ili traka treba razmotriti mogućnost dodatnog galvanskog (direktnog ili preko definisanog otpora) spajanja niskootpornog premaza na krajevima ravnih delova polunavojaka sa masom. Na taj način bi se ograničili maksimalno mogući naponi koji se mogu pojaviti po spoljnim površinama polunavojaka i to u najugroženijim zonama, blizu krajeva magnetnog kola.

Pitanja za diskusiju:

1. *Iz kog razloga kod razmatranja žlebnih parcijalnih pražnjenja nije uzeta u obzir tzv žlebna izolacija ili žlebna ispunna i njena funkcija nego samo uticaj niskootpornog premaza na intenzitet parcijalnih pražnjenja?*
2. *Kakve prepravke bi autori mogli preporučiti korisnicima, kakva merenja i metode i koje vizuelne preglede da vrše i na šta da obrate pažnju?*

R A1 – 10 Povećanje aktivne snage generatora blokova A6 i B2 u TE »Nikola Tesla« , autori su: Dragan Petrović (ETF–Beograd), Boško Buha (EPS), Mitar Dragumilo (Energoprojekt–ENTEL), Ilija Zec, Ljubiša Mihailović (TENT)

U radu su prikazani rezultati analize mogućnosti povećanja aktivne snage generatora blokova A6 i B2 u TE „Nikola Tesla“. Motivacija je povećanje snage turbina u postupku njihove rekonstrukcije i modernizacije. Povećanje aktivne snage je moguće uz smanjenje reaktivne snage, pri čemu prividna snaga a time i struja statora ne prelaze nominalnu vrednost. Budžetom nisu bila predviđena veća sredstva za veće investicije.

Prvo je analiziran sinhroni generator u bloku A6 na osnovu dostupne (ne postoji originalna) dokumentacije i utvrđeno je da se aktivna snaga od 305 MW i $\cos\varphi = 0,835$ uz struju statora od 14060 A može podići na aktivnu snagu 362 MW koju može dobiti od turbina uz $\cos\varphi = 0,95$.

Razmatrane su posledice povećanja aktivne snage do 362 MW odnosno smanjenja reaktivne. Pobudni sistem i pobudni namotaj u potpunosti dopuštaju nove radne uslove. Isto se može reći i za stator i ostale prateće elemente. Pouzdanost generatora i ostale opreme ostaje na nivou projektovanih vrednosti, a za neke je radni vek povećan i zahtevi za održavanje nešto ublaženi. Ekonomski efekti usled povećanja proizvodnje električne energije su značajni.

Analiziran je i generator WT 23 S-106F3 u TENT-u B2 koji pri normalnom radu sa povećanim sačinioem snage ($\cos\varphi = 0,9175$) daje snagu od 667,5 MW koju turbina obezbeđuje (povećanje iznosi 49,5 MW). Na osnovu analiza zaključuje se da pri povećanju aktivne snage, uz smanjene reaktivne, ostala oprema vezana za generator kao i pobudni sistem neće biti izloženi većem opterećenju od projektovanog. Pobudni sistem će biti podopterećen, kao i ostala oprema u većini slučajeva.

Posebno treba izdvojiti blok transformator koji ima prividnu snagu $S_n = 725$ MVA ($I_n = 19,93$ kA). A generator sa nominalnom snagom $S_n = 727,5$ MVA ima $I_n = 20$ kA. Razlika je zanemarljiva sa stanovišta preopterećenja transformatora, a treba dodati da se između generatora i blok transformatora nalazi još i transformator pobude i transformator sopstvene potrošnje, tako da ukupna prividna snaga od 727,5 MVA nikada ne stiže do blok transformatora i on ne može biti preopterećen.

Pitanja za diskusiju:

- 1. Može li se ovako utvrđena snaga deklarirati i koristiti kao rotaciona rezerva?*
- 2. Kako se pri radu sa povećanom aktivnom snagom ponaša kotao? Kako daje više pare i na račun čega? Da li se nešto gubi na ekonomiji rada bloka?*

R A1 – 11 Iskustvo u eksploataciji i održavanju generatora GTHW- 360 u TE "Kostolac B", autori si: S. Ilić, I. Dimitrijević, R. Perić, P. Stupar (PD TE-KO "Kostolac"), Z. Božović (JP Elektroprivreda Srbije), Lj. Nikolić (Elektrotehnički institut "Nikola Tesla")

U radu su prikazana eksploataciona iskustva i iskustva u popravci kvarova koja treba da dovedu do poboljšanja tehničkih rešenja i do povećanja pouzdanosti rada turbogeneratora u TE "Kostolac B".

Rezultati se pre svega odnose na analizu sistema za hlađenje rotora i magnetnog kola statora. Hlađenje je ostvareno cirkulacijom vodonika, a namotaja statora i hemijski pripremljenom demineralizovanom vodom. Više kvarova se odnosilo na prodiranje vodonika iz kućišta generatora u rashladni sistem vode namotaja statora što remeti ceo sistem hlađenja i ugrožava mašinu.

Kao probleme sistema za hlađenje imamo: prodor vodonika iz kućišta generatora u rashladni sistem namotaja statora (pogoršanje cirkulacije vode i promena provodljivosti, gubitak gasa, formiranje dvofazne smeše koja remeti rad cirkulacione pumpe itd.), prisustvo kiseonika dovodi do pojave produkata korozije koji zapuše rashladne kanale, prisustvo stranih tela takođe.

U TE Kostolac B je bilo nekoliko kvarova na rashladnom sistemu generatora, koji su se dogodili posle deset godina eksploatacije. Po zaustavljanju bloka i izvršene izmene gasa, pregledom unutrašnjosti generatora kroz otvore i prostor za hladnjak vodonika uočena su mesta isticanja demi vode, odnosno mesta prodora vodonika u toku rada. Otkriveni su štapovi sa velikim smanjenjem protoka vode i izvršeno je hemijsko ispiranje sistema.

Na osnovu izložene eksploatacione problematike u sistemu hlađenja namotaja statora vodom predložene su sledeće mere za unapređenje rada sistema i prevazilaženje nastalih kvarova:

- ugradnja separatora gasa na povratnom cevovodu demi vode i povezivanje sa visinskim rezervoarom
- ugradnja filtera sa jonskom masom (100 % rezerva)
- ugradnja merenja Δp ulaz-izlaz vode u stator generatora
- uvodjenje svih merenja u novi DCS bloka
- uvodjenje azota u gasni jastuk u visinskom rezervoaru

Pitanja za diskusiju:

1. *Iz opisa generatora se može zaključiti da svaki hidraulični krug ima svoje merenje temperature. Zagušenja u štapovima, utvrđena merenjem, bila su dovoljna da izazovu oštećenja izolacionog laka, što znači da su se štapovi pregrevali. Kako to da se postojanje zagušenja nije videlo na merenjima temperature? Da li će se predloženim merama eliminisati mogućnost da se ovakvi događaji ponove?*
2. *Zbog neminovnih gubitaka, voda se mora povremeno dodavati u rashladni sistem namotaja statora. Ako se dodaje sveža voda, sa njom stiže i novi kiseonik, a sa njime i novo stvaranje oksida. Da li se razmišljalo o izradi rezervoara veće zapremine (slično kao u TENT A), u kome bi se čuvala voda iz koje je kiseonik već odreagovao sa bakrom iz namotaja, dakle pasivizirana voda?*

R A1 – 12 Akvizicioni sistem za kontinualni monitoring sistema pobude sinhronih generatora i elektroenergetskih uređaja i sistema, autora: Dušana Joksimovića, Zorana Ćirića, Nemanje Miložićića, Milana Milinkovićaa (Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“ Beograd); Ljubiše Mihailovića (TE "Nikola Tesla" Obrenovac); Gordana Rajkovića (TE "Kostolac B")

U radu je opisan akvizicioni sistem koji omogućava kontinualni monitoring rada različitih elektroenergetskih uređaja i sistema. Sistem omogućava praćenje i snimanje analognih ulaznih veličina, sa učestanošću odabiranja do 10kHz. Snimanje relevantnih veličina u fajlove se vrši automatski pri pojavi određenih digitalnih signala ili pri pojavi tzv. triger. Triger se aktivira ukoliko neka od unapred definisanih analognih veličina pređe donju ili gornju podešenu vrednost. Snimanje relevantnih veličina je moguće inicirati i ručno. Pored snimaka sa visokom rezolucijom, akvizicioni sistem kontinuirano beleži u memoriju srednje vrednosti analognih ulaza u toku svake sekunde. Omogućen je takođe i pregled i analiza dobijenih snimaka analognih signala. Akvizicioni sistem prati i digitalne ulazne signale. Promene digitalnih signala se beleže i smeštaju u poseban fajl. Dobijeni fajlovi omogućavaju analizu eventualnih poremećaja u radu uređaja i olakšavaju otklanjanje uzroka i posledica poremećaja. Komunikacija sa korisnikom je omogućena preko ekrana osjetljivog na dodir

panel PC računara. PC računar akvizicije je umrežen sa računarima u elektrani preko lokalne LAN mreže TCP/IP protokolom. Time je omogućeno daljinsko praćenje rada akvizicije, podešavanje parametara i preuzimanje fajlova. Rad sistema je nezavisan, odnosno ne utiče na rad uređaja čiji se monitoring vrši.

Akvizicioni sistem opisan u ovom radu se koristi za kontinualni monitoring i analizu rada različitih elektroenergetskih uređaja i sistema. Rad sistema je zasnovan na kontinuiranom prikupljanju vrednosti analognih i digitalnih signala koji su relevantni za rad objekta čiji se monitoring vrši. Učestanost odabiranja je do 10kHz po signalu. Prikupljene vrednosti signala se obrađuju i omogućava se prikaz i praćenje trenutnih vrednosti signala. Takođe, akvizicioni sistem prema određenim kriterijumima čuva vrednosti prikupljenih signala u odgovarajućim fajlovima i omogućava njihov pregled. Na taj način mogu se pratiti promene signala u određenom vremenskom periodu i moguća je kasnija analiza pogonskih događaja i poremećaja u radu u cilju lakšeg pronalaženja i otklanjanja njihovih uzroka.

Sistem se odlikuje sledećim karakteristikama: pouzdanost, brzina, fleksibilnost, nezavisnost, lakoća konfigurisanja, lakoća korišćenja, ne zahteva održavanje.

Pitanja za diskusiju:

- 3. Da li je autonomnost akvizicije u odnosu na regulator pobude prednost ili mana?*
- 4. Koji su optimalni kapaciteti prikazane akvizicije a da se ne naruši kvalitet snimaka pri triggerovanju iz kojih se pouzdano mogu analizirati pogonski događaji?*
- 5. Da li postoji mogućnost merenja neelektričnih veličina radi kompletnije analize stanja agregata?*

R A1 – 13 Ispitivanje i sanacija vibracionog stanja turboagregata 300 MW u TE „Nikola Tesla“ Obrenovac, autora R. Albijanića (Vibroakustika, Beograd), Đ Bibića, D. Stankovića, D. Vukomanovića (TE „Nikola Tesla“ Obrenovac) i V. Vukićevića (LOLA Institut, Beograd)

U radu je dat kompletan prikaz jednog složenog dinamičkog problema prisutnog u obliku nedozvoljenih vibracija na jednom delu turboagregata, zatim je data prezentacija dijagnostičkih metoda utvrđivanja uzroka njihovog nastanka, opisano je primenjeno sanaciono rešenje i konačno je dat prikaz rezultata verifikacionog ispitivanja izvedenog pri puštanju agregata u rad. U radu je opisan pristup kako je vibraciono stanje turboagregata u krajnje ograničenim uslovima iz područja nedozvoljenog stanja dovedeno u normalno eksploatacijsko stanje propisano relevantnim međunarodnim standardima. Poseban problem je bio što se turboagregat nalazio u fazi remonta, bez mogućnosti ispitivanja u radu, a trebalo je pronaći sanaciono rešenje koje je realizovano pre njegovog puštanja u rad.

Na osnovu rezultata strukturnog testa zaključeno je da nominalni broj obrta agregata je praktično uklešten sa dva dominantna dinamička moda od kojih se jedan odnosi na strukturu vratila, a drugi na strukturu kućišta ležaja, koji predstavljaju uzročnike povišenih vibracija. Takođe je utvrđeno da turboagregat ima nedovoljnu dinamičku krutost veze između postolja koje nosi kućište ležaja i turbinske ploče. U okviru sanacionog rešenja pojačan je i modifikovan ovaj sistem veze, strukturni mod -61.5 Hz je pomeren na -69.7 Hz i time je značajno udaljen od pobudne frekvence -50 Hz i u toku puštanja agregata u rad izvedeno je detaljno snimanje vibracionog stanja u različitim režimima rada.

Poseban značaj ovog rada je što on tretira jedan vrlo složen tehnički problem vezan za dinamičko ponašanje turboagregata, koji je posledica međusobne povezanosti dinamičkih parametara struktura rotirajućeg i stacionarnog dela agregata, a koji traži dobro teorijsko

poznavanje dinamičkih fenomena, primenu savremene merno-računarske opreme i veliko iskustvo stečeno u ispitivanju složenih objekata u realnim uslovima.

Veliki deo rada je posvećen režimu startovanja koji ima dominantan primat u razumevanju i analizi dinamičkog ponašanja cele strukture turboagregata, obzirom na kontinualnu promenu periodične poremećajne sile čija frekvencija je proporcionalna broju obrta usled koje turboagregat prolazi kroz nekoliko kritičnih brzina.

Pitanja za diskusiju:

- 1. Kakva je dinamička povezanost setova turbinskih lopatica sa vratilom i ostalim delom turboagregata?*
- 2. Koji preduslovi osim poklapanja prinudnih i sopstvenih frekvenci su neophodni za pojavu rezonanse kod rotirajućih komponenti i kada se stvaraju uslovi za pojavu havarije?*
- 3. Koji praktični aspekt imaju režimi startovanja i zaustavljanja turboagregata u identifikaciji njihovog dinamičkog ponašanja i koje merne veličine su od primarnog značaja?*

R A1 – 14 Revitalizacija generatora I i II faze u Vlasinskim HE, autora Zorana Kapušija i Boška Bajalice (Energoprojekt-Hidroinženjering, Beograd) i Veljka Vidakovića (HE Đerdap, Kladovo)

U referatu se daje prikaz osnovnih postavki Idejnog projekta revitalizacije generatora u HE „Vrla“ I – IV sa posebnim osvrtom na mogućnost povećanja snage.

U sve četiri hidroelektrane generatori su instalirani u dve faze.

Generatori I faze su već premašili 50 godina eksploatacije i kod njih je predviđena zamena aktivnih delova statora, namotaja polova, ležajeva i svih pomoćnih sistema. Tokom revitalizacije, snaga generatora će se povećati za 15 %, kako bi se uskladila sa povećanom snagom nove turbine. To povećanje snage će se ostvariti povećanjem preseka bakra u namotajima statora i rotora, smanjenjem dodatnih gubitaka u bakru statora zahvaljujući povoljnijoj konstrukciji polunavojaka, smanjenjem pobudne struje povećanjem broja navojaka na polovima i primenom kvalitetnijih dinamo limova sa manjim specifičnim gubicima. U radu su dati neki rezultati toplotnog proračuna generatora uzimajući u obzir predložene izmene u konstrukciji namotaja statora i rotora i to za svaki tip posebno. Vidi se da se povećanje snage od 15% dobija uglavnom smanjenjem gubitaka, a samo manjim delom povećanjem radne temperature namotaja.

Kod generatora II faze, koji su oko 20 godina mlađi, predviđen je prošireni kapitalni remont koji podrazumeva zamenu namotaja statora i preizolovanje polova rotora, bez povećanja snage.

Kod svih generatora mašinska pobuda će biti zamenjena modernim tiristorskim pobudnim sistemom.

Zahvati na generatorima koji su predloženi Idejnim projektom revitalizacije omogućiće da se obnovi njihov resurs za naredni period od najmanje 30 godina uz modernizaciju, povećanje snage i efikasnosti starih generatora I faze.

Pitanja za diskusiju:

- 1. Generatori I faze imaju vrednost faktora snage 0,8 koju zadržavaju i posle revitalizacije. Povećanjem faktora snage na 0,85 , a pogotovu na 0,9 moglo bi se*

ostvariti povećanje aktivne snage za 15% i bez proširenja žlebova i sa manje izmena na namotaju polova. Ima li mesta da se detaljnije preispitaju potrebe za reaktivnom energijom na jugu Srbije u narednom periodu?

- 2. Idejnim projektom predloženo je da debljina glavne izolacije ostane 2,5 mm, prvenstveno zbog mehaničkih razloga, mada za naponski nivo od 6,3 kV ta debljina može biti manja. Sa druge strane, prostor za povećanje preseka bakra nađen je u proširenju žleba na račun preseka magnetnog kola. Da li je to ispravna odluka, ili možda treba ići na kombinaciju ove dve mogućnosti?*
- 3. Paketiranje jezgra u postojeća kućišta statora generatora I faze, kako je predloženo Idejnim projektom, ugrožava dinamiku radova i pretili da izazove povećane energetske gubitke zbog produženog zastoja cele linije. Da li bi se isplatilo investiranje u tri nova kućišta (za svaki tip generatora po jedno) kako izrada statora ne bi bila na kritičnom putu?*

R A1 – 15 Provjera životnog vijeka izolacijskog sustava statorskog namota hidrogenatora ispitivanjem naponske izdržljivosti, autora Zorana Milojkovića (KONČAR – Generatori i motori d.d.)

U referatu se opisuju neki osnovni principi ispitivanja naponske izdržljivosti izolacionog sistema statorskog namotaja hidrogenatora. Ovakva ispitivanja na radnoj temperaturi, koja se očekuje u pogonu, predstavljaju tipsko ispitivanje kojim se dokazuje dugotrajnost (izdržljivost) izolacionog sistema u pogonskim uslovima.

U vezi životnog veka, očekuje se da izolacioni sistem izdrži bez kvarova (proboja) čitav radni vek generatora, od 40-50 godina. Stoga treba izvršiti ispitivanje s ubrzanim naponskim starenjem, odnosno povećanjem ispitnog napona, čime se značajno skraćuje vreme ispitivanja.

Ovo ispitivanje se na severnoameričkom području primenjuje već nekoliko decenija, međutim u Evropi je relativno slabo normativno regulisano. U referatu je dat opšti pregled aktuelnih standarda i nekih uobičajenih postupaka u praksi i opisani su primeri izvršenih ispitivanja naponske izdržljivosti.

Pitanja za diskusiju:

1. Kako se mogu kupci mašine, odnosno namotaja, uveriti da je izolacija kvalitetna? Da li zahtevati ova tipska ispitivanja ili se zadovoljiti atestima?
2. Da li bi imalo smisla posle 25-30 g. rada izvršiti ovakva tipska ispitivanja IS, što bi se moglo uporediti sa ispitivanjem novog namotaja?

R A1 – 16 Primjena udarnog napona u ispitivanjima međuzavojne izolacije polnog namota hidrogenatora, autora Zorana Milojkovića (KONČAR – Generatori i motori d.d.)

Funkcionalnost polova hidrogenatora je veoma značajna za ukupnu funkcionalnost generatora. To podrazumeva da magnetno polje u vazдушnom zazoru, pod svakim polom treba da bude i po raspodeli i po intenzitetu što ravnomernije. Kvalitet proizvedene električne energije u velikoj meri zavisi od raspodele i intenziteta magnetnog polja u međugvožđu. Poznato je da generator može da radi i kada postoji jedan, dva ili više međuzavojnih spojeva u namotaju pola, ali kvalitet električne energije nije onakav kao kada tih spojeva nema. Zato je vrlo važno da se svi međuzavojni spojevi otkriju i što pre otklone.

Za ispitivanje međuzavojnih spojeva koriste se konvencionalne metode: merenje impedanse i omskog otpora namotaja polova na sastavljenom rotoru i merenje impedanse i omskog otpora svakog pola pojedinačno, kao i ispitivanje međuzavojne izolacije povišenim naponom. Pored tih metoda, zbog svoje pogodnosti i pouzdanosti, sve više je u upotrebi i metoda ispitivanja međuzavojne izolacije udarnim naponom.

U referatu je opisano ispitivanje međuzavojne izolacije polnih namotaja hidrogeneratora udarnim naponom, razvojna ispitivanja i stečena iskustva u njenoj primeni. Od niza ispitivanja, prikazani su rezultati karakterističnih ispitivanja izvršenih na polovima (uključujući i rezervne) na nekoliko hidrogeneratora, kao i rezultati ispitivanja polnih namotaja na kojima su namerno simulirani međuzavojni spojevi. Izvršeno je upoređivanje namotaja sa i bez međuzavojnih spojeva u cilju određivanja kriterijuma prihvatljivosti, u cilju povećanja pouzdanosti metode.

Pitanja za diskusiju:

1. U referatu se opisuju neki osnovni principi ispitivanja naponske izdržljivosti izolacionog sistema. Da li se ova metoda može preporučiti kao dopuna ostalim metodama, ali ne da bude i obavezna za korisnika mašine, dok bi proizvođač to mogao da uvede kao dokaz ispravnosti izolacije namotaja polova?

R A1 – 17 Mere za povećanje snage i efikasnosti eksploatacije hidroagregata, autora Dragana Petrovića, Siniše Stojkovića (Elektrotehnički fakultet, Beograd), Veljka Vidakovića (HE Đerdap, Kladovo), Dušana Arnautovića, Slobodana Bogdanovića, Zorana Ćirića (Elektrotehnički institut N.Tesla, Beograd), Miroslava Benišeke i Ivana Božića (Mašinski fakultet, Beograd).

Mada naslov rada sugerise da je u pitanju povećanje snage i efikasnosti celog agregata, u radu se najvećim delom tretira hidrogenerator. Povećanje snage turbine se samo pominje kao nužan uslov, bez ulaženja u detalje tog postupka.

U radu su prikazani metodologija proračuna i analize mogućnosti povećanja snage hidrogeneratorskog agregata, kao i metodologija eksperimentalne provere, kako dobijenih rezultata, tako i ulaznih podataka.

Teorijska analiza mogućnosti povećanja snage hidrogeneratorskog agregata bazira se na proračunu pobudne struje, svih gubitaka u generatoru i porasta temperature u aktivnim delovima u režimima sa povećanom snagom. U zavisnosti od toga da li se želi povećanje snage pre ili posle izvršene revitalizacije, u račun se uvode postojeći parametri ili poboljšani parametri koji će generator dobiti izvršenjem revitalizacije.

Merenja na generatoru u cilju utvrđivanja mogućnosti povećanja snage sastoje se od merenja parametara koji se koriste za proračune u cilju njihove provere ili dopune, merenja pojedinačnih gubitaka kalorimetrijskom metodom i merenja porasta temperature svih aktivnih delova u režimima bliskim nominalnom.

U radu su uporedno dati rezultati proračuna i merenja za tri hidrogeneratorska agregata u tri različite hidroelektrane koji se međusobno dosta dobro slažu, naravno, posle svođenja na iste parametre režima.

Ovaj referat je prezentiran na Kongresu CIGRE u Parizu 2008. godine.

Pitanja za diskusiju:

1. *Obzirom na to da su se autori susreli sa problemom nedostatka podataka o generatorima potrebnim za proračun i njihove nepouzdanosti, nameće se pitanje kako*

proveriti i sistematizovati postojeće podatke i kako doći do nedostajućih podataka za sve generatore u EES Srbije kako bi se mogli koristiti za neke buduće analize.

2. *Da li se samo na bazi rezultata ovih istraživanja hidrogenatori mogu koristiti iznad svoje deklarirane nominalne snage u vreme manjka snage u EES i/ili manjka proizvodnih kapaciteta u hidroelektrani?*
3. *Proračunate nadtemperature aktivnih delova predstavljaju njihove srednje nadtemperature, a izmerene temperature su u tačkama gde su ugrađeni termootporni davači. Da li bi bilo opravdano proširenje programa merenja ugradnjom dodatnih davača na potencijalno najtoplijim mestima u namotaju i jezgru.*

R A1 – 18 Pregled najinteresantnijih radova STK A1 sa savetovanja CIGRE u Parizu 2008., autor Vojislav Škundrić (JP EPS)

U radu su u najkraćim crtama prikazani, po oceni autora, najinteresantniji radovi objavljeni na savetovanju CIGRE u Parizu 2008 u okviru Studijskog komiteta A1 – Obrtne električne mašine. Dat je i kratak osvrt na panel diskusiju, gde su svi vodeći svetski proizvođači generatora prikazali svoje domete u razvoju turbogeneratora najvećih snaga i hidrogenatora najvećih snaga i dimenzija, kao i neka svoja zapažanja u vezi razvoja električnih mašina.

Zbog svoje prirode, ovaj rad nije recenziran i nisu unapred postavljena pitanja, a autor pregleda može dati samo ograničena dopunska objašnjenja – do nivoa informacija prikazanih u radovima.