



**A1 00**

**STUDIJSKI KOMITET A1: OBRTNE ELEKTRIČNE MAŠINE**

**IZVEŠTAJ STRUČNIH IZVESTILACA**

**dr Jasna Dragosavac, dipl.inž.el. - Elektrotehnički institut Nikola Tesla Beograd  
Zoran Božović, dipl.inž.el.**

**BEOGRAD**

**SRBIJA**

Za 34. savetovanje CIGRE Srbija 2019 utvrđene su sledeće preferencijalne teme u studijskom komitetu A1 - obrtne električne mašine:

1. Razvoj elektroenergetskih proizvodnih kapaciteta u budućnosti
2. Upravljanje radnim vekom obrtnih električnih mašina
3. Razvoj obrtnih električnih mašina i iskustva u eksploataciji

Pristigle su prijave za ukupno četrnaest radova. Jedan rad je prebačen u STK B4 jer obrađuje tematiku koja više pripada oblasti rada ovog studijskog komiteta. Na osnovu podnetih ostalih trinaest prijava pristiglo je jedanaest radova. Prema mišljenjima recenzenata, prihvaćeni su svi pristigli radovi. Po prvoj preferencijalnoj temi nije bilo prijavljenih radova, drugoj preferencijalnoj temi pripada sedam radova, a trećoj preferencijalnoj temi pripada četiri prijavljena rada.

Studijski komitet A1 - Obrtne električne mašine izabrao je sledeće recenzente: mr Iliju Stevanovića, dipl.inž., Vojislava Škundrića, dipl.inž., dr Žarka Jandu, dipl.inž., dr Jasnu Dragosavac, dipl.inž., Zorana Božovića, dipl.inž., mr Slobodana Bogdanovića, dipl.inž., Dragana Belonića, dipl.inž., Nemanju Miločića, dipl.inž., Đorđa Jovanovića, dipl.inž.

U pripremi ovoga izveštaja stručni izvestioci su koristili zapažanja, komentare i pitanja za diskusiju postavljena od strane recenzenata, na čemu im se posebno zahvaljujemo. Kratak sadržaj i pitanja za diskusiju prikazani su redosledom kojim će referati biti izlagani na savetovanju.

## **PREFERENCIJALNA TEMA 2**

### **UPRAVLJANJE RADNIM VEKOM OBRTNIH ELEKTRIČNIH MAŠINA**

**RA1 - 01 FAZI LOGIČKI SISTEMI FLS-T2 ZA PODRŠKU SISTEMIMA DALJINSKOG NADZORA, DETEKCIJI I SELEKCIJI KVAROVA**, autora: Saše D. Milića, Ljubiše S. Čičkarića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd, Srbija)

U radu je ukazano na značaj procesa odlučivanja primenom teorije fazi logike za modelovanje procesa. Poseban akcenat je stavljen na prikaz matematičkog modela fazi logičkih sistema tipa 2 (FLS-T2) s obzirom na njihovu osobinu da uvedu u modelovanje dodatnu nesigurnost i neizvesnost koje mogu da budu posledica različitih stručnih mišljenja, subjektivnosti donosioca odluka, različitih standarda, različitih nivoa zaštite i granica alarmnih signala i dr. Na dva primera je prikazana praktična primena teorije fazi logike na procese ocenjivanja i odlučivanja. Na prvom primeru je demonstrirana primena FLS-T2 sa ciljem da se, pomoću složenog višeparametarskog nadzornog sistema, prate temperature polova rotora u radu generatora, a zatim da se automatski prepoznaju stanja i sugerišu buduće aktivnosti poput, dodatnog nadzora zagrejanog pola, aktiviranja alarmnog signala i sl.

Na drugom primeru je modelovana ocena poslovanja sa mogućim scenarijom postojećih prihoda i rashoda.

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

- 1. Kod primene fazi algoritma na bazi FLS-T2 u daljinskom nadzoru temperature na bazi kog kriterijuma su izabrane funkcije pripadnosti trougao i trapez?*
- 2. Kako bi se na ovom primeru uključilo mišljenje stručnjaka?*
- 3. Da li su ovi napredni modeli odlučivanja praktično primenjeni u Srbiji?*

**RA1 - 02 PREPORUČENI SPEKTAR ELEKTRIČNIH ISPITIVANJA STATORA SINHRONIH TURBOGENERATORA U FABRICI**, autora: Denisa Ilića, Ljubiše Nikolića, Đorđa Jovanovića, Momčila Milića, Radmile Partonjić (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd, Srbija)

Rad obuhvata veoma aktuelnu problematiku međufaznih i prijemnih ispitivanja elemenata statora generatora i ukazuje na važne uslove prilikom ugovaranja njihove izrade. Kao što je navedeno postoje mnogi standardi i metode za ispitivanje električnih izolacionih sistema, ali se kriterijumi za prihvatljivost izmerenih veličina ili parametara često ne daju u standardima ili se daju preporučene vrednosti.

Obzirom da su u ELEKTROPRIVREDI SRBIJE u toku aktivnosti na izgradnji novih generatora i rekonstrukcije generatora sa povećanjem snage, navedi problemi u ovom radu, za proveru elemenata statora generatora tokom fabrikacije, veoma su značajni za definisanje kriterijuma u ugovorima sa proizvođačima.

Savremena tehnologija materijala i modeli za proračun konstrukcionih elemenata značajno su unapredili kvalitet finalnih prizvoda, pa su često pojedini standardi anahroni i moraju se korigovati na osnovu rezultata koji se dobijaju prilikom ispitivanja novih komponenti generatora. Zato je neophodno koristiti iskustva renomiranih proizvođača kao i rezultate istraživanja specijalizovanih akreditovanih laboratorija.

Rad u potpunosti odgovara preferencijalnoj temi i ukazuje na važnost ugovoreni kriterijuma za prijem delova namotaja i kompletnog statora generatora.

**Pitanja za diskusiju:**

1. *Koje su naj češće vrednosti  $tg\delta$  i PP – parcijalnih pražnjenja na „novim“ štapovima i kompletnim faza namotaja statora ? Koliko se te vrednosti razlikuju od nekih preporučenih vrednosti ili fabričkih kriterijuma ?*
2. *Da li se razlikuju metode i kriterijumi za ispitivanje delova i kompletnig namotaja statora hladene vodonikom/vodom u odnosu na namotaje generatora koji se hlade vazduhom ?*
3. *Da li su postojeće Tehničke preporuke JP EPS primenljive obzirom na period od kada su usvojene. Koje oblasti zahtevaju usaglašavanje sa novim standardima i savremenom praksom?*

**RA1 - 03 ODREĐIVANJE PORASTA TEMPERATURE AKTIVNIH DELOVA REVITALIZOVANOG HIDROGENERATORA IZ OGLEDA ZAGREVANJA**, autora: Ilije Klasnića, Slobodana Bogdanovića, Daneta Džepčeskog, Zorana Ćirića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd, Srbija), Dragana Belonića (JP EPS, HE Đerdap 1, Kladovo, Srbija)

U radu su koncizno opisane dve metode (jedna grafička, druga računaska) za dobijanje odgovarajućih rezultata za poraste temperatura sinhronih generatora u nominalnom režimu, a na osnovu eksperimentalnih rezultata dobijenih merenjima na objektu u režimima koji često odstupaju od nominalnog. Garantovani porasti temperatura od strane proizvođača se daju upravo za nominalni režim rada generatora. Zbog realnih poteškoća da se u potpunosti obezbedi kontinuirani nominalni režim rada, a koje nameću razna systemska ograničenja rada na elektroenergetskoj mreži, ove metode su neizbežan alat i mogu da budu veoma korisne u analizama. Autori su na osnovu izvršenih ispitivanja pokazali da su ispunjene garantovane vrednosti porasta temperatura što je veoma bitno u fazi puštanja u rad novog generatora jer ostaje kao vrlo koristan podatak za praćenje rada mašine u budućnosti.

**Pitanja za diskusiju:**

1. *S obzirom da je ispitivani novi generator ruske proizvodnje, da li su prema saznanjima autora zahtevi za ispitivanja sinhronih generatora po IEC standardima koji su ovde korišćeni u skladu sa aktuelnim ruskim GOST standardima?*
2. *Da li su navedene metode definisane i razrađene u predmetnim standardima i da li standardi definišu neka ograničenja primene ovih metoda interpolacije, tj. opisanih proračuna?*

**RA1 - 04 STATIČKI SISTEM POBUDE SINHRONOG MOTORA SNAGE 7,4MW**, autora: Milana Lukića, Predraga Ninkovića, Đorđa Stojića, Slavka Veinovića, Milana Milinkovića, Zorana Ćirića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd, Srbija)

Rad obrađuje način rada sistema pobude sinhronog motora. Opisani su mogući režimi rada regulatora pobude, kao i upravljačke i zaštitne funkcije. Energetsko kolo sistema pobude je rekonstruisano ugradnjom statičke pobude umesto rotacione pobude čime je ostvarena veća pouzdanost rada sinhronog motora. Opisan je proces zaletanja motora do sinhronne brzine, sinhronizacija na mrežu i trenutak uključjenja pobude.

**Pitanja za diskusiju:**

1. *Na kojem objektu je izvršena ovakva rekonstrukcija sistema pobude?*
2. *Da li se posle samosinhronizacije motora na mrežu vrši dodatno povećanje pobude?*
3. *Kako je realizovana zaštita od asinhronog rada sinhronog motora?*

**R A1 - 05 ANALIZA UZROKA POVEĆANE POBUDNE STRUJE REVITALIZOVANOG HIDROGENERATORA BR.1 U HE "ĐERDAP 1",** autora: Dragana Belonića (JP EPS, HE Đerdap 1, Kladovo, Srbija)

Pri ispitivanjima generatora koja su izvršena pred puštanje agregata br.1 u HE „Đerdap 1“ posle revitalizacije u eksploataciju izmerena je veća vrednost nominalne pobudne struje od garantovane vrednosti.

U radu su prikazani rezultati dodatno izvršenih ispitivanja koja su imala za cilj utvrđivanje uzroka za povećanje pobudne struje. Pri tome izvršena su ispitivanja generatora na zagrevanje, merenja radi određivanja regulacione karakteristike, indukciono zagrevanje jezgra statora, merenja specifičnih gubitaka u limu koji je korišćen za izradu statora generatora, merenja veličine vazdušnog zazoru i forme statora i rotora. Posle analize velikog broja rezultata ispitivanja u zaključku rada se konstatuje da najveći uticaj na povećanje pobudne struje imaju povećani specifični gubici u magnetnom limu i povećani vazdušni zazor.

***Pitanja za diskusiju:***

- 1. Da li je isti magnetni lim korišćen i na ostalim revitalizovanim generatorima?*
- 2. Koliki je vazdušni zazor na tim generatorima i kolika je izmerena nominalna pobudna struja?*
- 3. Da li postoji mogućnost korekcije veličine vazdušnog zazoru nakon izvršene montaže?*
- 4. Mogu li se ukratko prikazati načini određivanja specifičnih gubitaka u magnetnom limu i izbor modela za određivanje magnetnih karakteristika primenjenih izotrnih limova?*

**R A1 - 06 ISPITIVANJA GENERATORA B2 U TE "NIKOLA TESLA" U CILJU UTVRĐIVANJA EKSPLOATACIONOG POGONSKOG DIJAGRAMA,** autora: Žarka Jande, Jasne Dragosavac, Ilije Klasnića, Zorana Ćirića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd, Srbija), Mihaila Đorđevića, Ljubiše Mihailovića, Zorana Božovića (JP EPS, TE Nikola Tesla B, Obrenovac, Srbija)

Rad će biti od praktične koristi širokom krugu stručnjaka koji se bave proizvodnjom energije. Rad predstavlja značajan iskorak iz dosadašnje prakse potpunog poverenja u pogonski dijagram koji se dobija uz generator, a koji nije proveravan, niti razmatran u svetlu različitih radnih režima i prilika u mreži.

Posedovanje ovakvog, proverenog pogonskog dijagrama, omogućava rukovaocima da sa više poverenja upravljaju radom blokova, naročito u graničnim režimima, imajući jasnu predstavu da takav rad ne ugrožava rad generatora u smislu nedozvoljenih temperatura, što će svakako doprineti boljem funkcionisanju EES.

Ipak, treba imati u vidu i upozorenje autora da se provere pogonskog dijagrama moraju redovno vršiti. U isto vreme (što praksa tek treba da potvrdi), ovakav pristup se nameće kao jedno od dopunskih dijagnostičkih sredstava koje mogu ukazati na poremećaje ili degradaciju nekih karakteristika opreme.

***Pitanja za diskusiju:***

- 1. Može li se preporučiti period ponavljanja provera?*
- 2. Da li je pri ponovljenim proverama neohodno merenja obaviti pri režimima koji su identični prethodnim? Kolika bi se odstupanja mogla tolerisati?*

**RA1 - 07 POREĐENJE ON-LINE I OFF-LINE METODA ZA MERENJE PARCIJALNIH PRAŽNENJA NA VELIKIM GENERATORIMA**, autora: Filipa Zeca, Nenada Kartalovića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd, Srbija), Marka Cvijanovića, Bojana Radoičića (JP EPS, TE Nikola Tesla A, Obrenovac, Srbija)

U radu je predstavljeno uporedno ispitivanje na jednom turbogeneratoru primenom dve metode merenja intenziteta parcijalnih pražnjenja (PP) u beznaponskom stanju – *off-line* ispitivanje uz napajanje iz spoljnog kontrolisanog visokonaponskog izvora i tokom redovnog pogona u *on-line* režimu. U uvodnom delu navedeni su i objašnjeni različiti tipovi PP u zavisnosti od mesta nastanka, kao i ključne razlike ove dve metode merenja. Prikazani su i komentarisane mape fazne raspodele impulsa PP snimljene prilikom ispitivanja, sa analizom i procenom tipa PP i karakterističnog defekta na izolaciji koji ih generiše.

Podvučen je značaj monitoringa PP posebno kod najvećih generatora koja se u svetskoj praksi sve više primenjuje ali i neophodnost primene klasičnih metoda prilikom *off-line* ispitivanja generatora koja pored ostalih uključuje i merenje PP radi kompleksne dijagnostike stanja izolacije.

***Pitanja za diskusiju:***

- 1. Autori su u radu priložili samo jedan primer poređenja rezultata off-line i on-line merenja PP na turbogeneratoru. Da li je u međuvremenu izvršeno još neko uporedno ispitivanje na turbogeneratoru i kakvi su nalazi? Poželjno je iste, ako je moguće, prikazati u prilog prezentaciji.*
- 2. U uvodnom delu u kome se opisuju karakteristike i razlike off-line i on-line metode merenja PP uticaj prisustva vodonika pod pritiskom tokom pogona turbogeneratora na nivo PP nije objašnjen. Da li su autori u međuvremenu našli odgovor za ovaj fenomen?*
- 3. Kako se objašnjava značajna razlika mapa PRPD za različite odabrane frekvencije? Da li autor može da objasni koje su to frekvencije i na osnovu čega se biraju?*
- 4. Da li su poznata iskustva poređenja rezultata off-line merenja i on-line monitoringa PP na generatorima konkretno u slučaju susednih zemalja ali i šire?*

### **PREFERENCIJALNA TEMA 3 RAZVOJ OBRJNIH ELEKTRIČNIH MAŠINA I ISKUSTVA U EKSPLOATACIJI**

**R A1 - 08** **MOGUĆNOST RADA GENERATORA G1 U TE "KOSTOLAC A" U USLOVIMA POSTOJANJA OGRANIČENJA PO MAKSIMALNO DOZVOLJENOJ SNAZI NA BLOK TRANSFORMATORU**, autora: Jasne Dragosavac, Žarka Jande, Zorana Ćirića (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd, Srbija), Jelene Nikolić, Dejana Žukovskog, Zlatka Simeunovića (JP EPS, TE Kostolac A, Kostolac, Srbija)

Radom je obuhvaćena analiza rada bloka A1 u TE „Kostolac“ A sa blok-transformatorom manje snage zbog kvara originalnog. Navedni su uslovi koje mora ispuniti proizvodna jedinica u tački priključenja na mrežu 110 kV, kao i zahtevi po pitanju angažovanja i opterećenja termo bloka u periodima raspoložive energije obnovljivih izvora.

Navedeni su kriterijumi za izbor snage blok-transformatora sa posebnim osvrtom na pitanje promenljivog prenosnog odnosa i impedanse. Na osnovu proračuna urađena je analiza paralelnog rada blok-transformatora bloka A1 i bloka A2, sa ograničenjem maksimalnog zagrevanja blok-transformatora A1, dopuštene vrednosti napona generatora i vrednosti napona u tački priključenja na mrežu. Korsteći rezultate proračuna konstruisani su dijagrami zavisnosti maksimalnih i minimalnih reaktivnih snaga generatora u zavisnosti od vrednosti napona na visokonaponskoj strani blok-transformatora. Definisani su postupci rukovaoca za režime rada bloka kada se sopstvena potrošnja napaja iz mreže ili sa otepa generatora. Određeni su parametri za podešenje električnih zaštita bloka u toku rada sa privremenim blok-transformatorom.

Zaključeno je da je privremeno korišćenje blok-transformatora manje snage potpuno isplativo i da se pravilnim upravljanjem opterećenja generatora znatno umanjuju posledice zbog neproizvedene električne energije.

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

- 1. Da li su u toku eksploatacije blok-transformatora manje snage, upoređivani ostvareni radni parametri generatora sa rezultatima proračuna i kolika su odstupanja ?*
- 2. U kojim granicama se zahteva promena prenosnog odnosa blok-transformatora na osnovu Pravila o radu prenosnog sistema u zemljama Zapadnog Balkana ?*
- 3. Recenzent predlaže da se ovo pitanje zameni novim pitanjem:  
Da li je blok A1 sa blok-transformatorom od 80 MVA bio u pogonu sa jednim kotlom, ako jeste koji su bili radni parametri generatora, odnosno koji se mogu ostvariti prema pogonskom dijagramu ?*

**R A1 - 09** **ISPITIVANJE PONAŠANJA SINHRONOG MOTORA PRI ASINHRONOM STARTU**, autora: Ilije Stevanovića, Žarka Jande, Daneta Džepčeskog (Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd, Srbija), Mihajla Geruna, Milorada Jovanovića (JP EPS, HE Đerdap, Kladovo, Srbija), Živojina Stamenkovića (Mašinski fakultet, Niš, Srbija)

Rad je značajan kao neophodna priprema za ono što je još značajnije i što treba tek da usledi, a to je projektovanje i realizacija frekventno regulisanog upuštača za predmetne pumpne agregate. Rad je dobro izbalansiran, jasan i sa dobrim razlogom fokusiran na snimljene karakteristike, sa kojih i manje upućeni čitalac može da vidi i razume složene pojave i procese koji se odigravaju tokom rada pumpnih agregata u PAP Lisina.

Stručni nivo rada je visok, tehnička obrada je za svaku pohvalu, kao i jezik, izrazi, konstrukcije i jasnoća rečenica.

***Pitanja za diskusiju:***

- 1. U izrazu (2) uzeti su u obzir samo gubici u bakru. Gubici u gvožđu, kao i mehanički gubici nisu uzeti u obzir. Postoji li kvantitativna procena tih gubitaka koja opravdava to pojednostavljenje?*
- 2. Kojim postupkom je dobijen aproksimativni analitički izraz (4) kojim se izračunava vrednost momenta motora u funkciji brzine obrtanja?*

**RA1 - 10 ZAMENA IZOLACIONIH ULOŽAKA NA STATORU SINHRONOG GENERATORA U HIDROELEKTRANI POTPEĆ,** autora: Predraga Mladenovića, Predraga Tripkovića (JP EPS, Limske HE, Nova Varoš, Srbija)

U radu su dati opisi oštećenja izolacionih uložaka između segmenata lim paketa statora hidrogeneratora B u hidroelektrani Potpeć. Opisan je i postupak sanacije stanja lim paketa statora hidrogeneratora B zamenom izolacionih uložaka na sastavu segmenata lim paketa i rezultati ispitivanja stanja vibracija statora nakon obavljene sanacije. Dat je proračun broja primarnih navojaka napojnog kabla i snage izvora radi izvođenje oglada zagrevanja magnetnog jezgra. Dati su rezultati merenja vibracionog stanja generatora koji su pokazali da je kompaktnost svih spojeva paketa statora dobra u oba temperaturna stanja (hladno i toplo stanje generatora) u režimima neopterećenog i opterećenog generatora. Takođe, vibraciono stanje paketa statora na sredini sektora lim paketa, kao i vibraciono stanje kućišta generatora pokazalo je dobre rezultate. Ostala električna ispitivanja dala su zadovoljavajuće rezultate.

Na osnovu izvedenih radova i izvršenih ispitivanja radni vek generatora je produžen i omogućena je njegova sigurnija eksploatacija u narednom periodu.

***Pitanja za diskusiju:***

- 1. Da li je tokom eksploatacije, usled oštećenja izolacionih uložaka između sektorskih spojeva jezgra statora, dolazilo do oštećenja izolacije „štapova“ i proboja istih i koliko?*
- 2. Da li na hidrogeneratoru postoji on-line monitoring vibracija jezgra statora?*
- 3. Na koji način je određena nova debljina izolacionih podmetača?*

**RA1 - 11 MODELOVANJE ŠESTOFAZNIH ELEKTRIČNIH MAŠINA UZ UVAŽAVANJE ZASIĆENJA MAGNETSKOG KOLA,** autora: Miloš Ječmenica, Bogdan Brković, Emil Levi, Zoran Lazarević (Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija)

U radu je predstavljen postojeći nezasićeni model sa istaknutim nedostacima ovog modela u pogledu zanemarenja zasićenja. Prikazan je pregled postojećih pristupa za modelovanje zasićenih višefaznih mašina i razvijen je model magnetskog kola višefazne asinhronne mašine za potrebe proračuna raspodele polja i parametara mašine uz uvažavanje zasićenja magnetskog kola. Predloženi model omogućava proračun raspodele polja za različite topologije namotaja i različite vrednosti struja namotaja, što ga čini pogodnim za primenu u fazi projektovanja mašine. Radi verifikacije razvijenog modela, sprovedene su analize na primeru postojećeg prototipa šestofaznog asinhronog motora pri različitim uslovima napajanja, tj. pri različitim vrednostima struja namotaja.

Dobar i kvalitetan rad. Značajan zbog moguće primene šestofaznih mašina u obnovljivim izvorima energije. Takođe, prikazan je jedan moderan pristup modelovanju zasićenja kod rotacionih mašina koji se može i dalje razvijati u izloženom pravcu i primeniti i na druge polifazne mašine.

**Pitanja za diskusiju:**

- 1. Potrebno je detaljnije obrazložiti povećanje snage mašine putem povećanja broja faza, budući da se premotavanjem trofazne mašine na šestofaznu zadržava poprečni presek provodnika, broj provodnika po žlebu, gustina struje i gustina fluksa u međugvožđu, odnosno osnovne dimenzije ostaju iste.*
- 2. U referatu je navedeno da je šestofazna mašina formirana zamenom statorskog namotaja postojeće trofazne kavezne četvoropolne asinhronne mašine. Koja bi razlika u karakteristikama mašine bila da su umesto šestofaznog namota u iste žljebova stavljena dva trofazna namota prostorno pomerena za 30 stepeni i da li bi se nešto time dobilo?*
- 3. Kako je modelovana karakteristika zasićenja magnetskog kola?*