

DOI: [10.46793/CIGRE37.A1.01](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.A1.01)**A1.01****NOVI TURBOGENERATOR SNAGE 412/350 MVA/MW
U BLOKU B3 TE “KOSTOLAC B”****NOVI TURBOGENERATOR SNAGE 412/350 MVA/MW
U BLOKU B3 U TE “KOSTOLAC B”****Darko Šarić, Željko Lazović, Zoran Ćirić, Ilija Klasnić, Đorđe Jovanović, Denis Ilić,
Zoran Božović***

Abstract: Synchronous turbogenerators, in addition to being important in the production of electricity, are also important from the aspect of the inertia of the frequency change in the power system. In modern systems, where there is an increasing share of renewable energy sources without inertia (wind turbines and solar panels connected to the system using inverters), the role of synchronous generators in providing the inertia of rotating masses becomes even more important from the aspect of system stability. The paper provides an overview of the basic technical parameters and characteristics of the new turbogenerator B3 in TPP "Kostolac B", rated power 412/350 (MVA/MW), which was first synchronized to the Serbian power system on January 26th, 2024.. Trial run of 168 hours was successfully completed on October 15th, 2024. and the Unit was handed over to EPS AD on 03.12.2025. by signing the TOC (taking over certificate). The specifics of the construction of the generator are described, especially the construction of stator end windings and the modern checking of the dimensions of the ends of the bars used in high power generators for nuclear power plants. Technological schemes of the system for: gas installation for hydrogen cooling and demi-water cooling station for the stator windings are presented. A list of implemented generator electrical protections is given, as well as a description of the generator excitation system and temperature monitoring.

Key words: *turbogenerator, stator end winding, auxilliary systems, excitation system*

Kratak sadržaj: Sinhroni turbogeneratori pored značaja u proizvodnji električne energije imaju i značaj sa aspekta inercije promene učestanosti u elektroenergetskom sistemu. U savremenim sistemima, gde je sve veći udeo obnovljivih izvora energije bez inercije (vetroturbine i solarni paneli povezani na sistem pomoću invertora) uloga sinhronih generatora u pružanju inercije obrtnih masa postaje još važnija s aspekta stabilnosti sistema.

* Darko Šarić, Elektroprivreda Srbije, darko.saric@eps.rs

Željko Lazović, Elektroprivreda Srbije, zeljko.lazovic@eps.rs

Zoran Ćirić, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, zciric@iecent.org

Ilija Klasnić, Elektrotehnički institut Nikola Tesla ad Beograd, ilija.klasnic@iecent.org

Đorđe Jovanović, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, djordje.jovanovic@iecent.org

Denis Ilić, Schneider Electric, denis.ilic@se.com

Zoran Božović, Dornier Group East d.o.o., Beograd, zbozovic1@gmail.com

U radu je dat pregled osnovnih tehničkih parametara i karakteristika novog turbogeneratorskog B3 u TE "Kostolac B", snage 412/350 (MVA/MW), koji je prvi put sinhronizovan na elektroenergetski sistem Srbije 26.01.2024. godine. Probni rad u trajanju od 168h je uspešno završen 15.10.2024. godine i blok je predat EPS AD 03.12.2025. godine potpisivanjem TOC-a (taking over certificate). Opisane su specifičnosti konstrukcije generatora, posebno učvršćenja glava namotaja statora i savremene provere dimenzija krajeva štapova koje se koristi kod generatora velikih snaga za nuklearne elektrane. Prikazane su tehnološke šeme sistema: gasna instalacija za vodonično hlađenje i stanica za hlađenje demineralizovanom vodom namotaja statora. Dat je spisak implementiranih električnih zaštita generatora, kao i opis sistema pobude generatora i temperaturnog monitoringa generatora B3.

Ključne reči: turbogenerator, glave namotaja statora, pomoćni sistemi, sistem pobude

1 UVOD

Uprkos činjenici da se udeo obnovljivih izvora energije povećava u modernim elektroenergetskim sistemima [1], konvencionalne proizvodne jedinice i dalje imaju ključnu ulogu u održavanju frekvencijske i naponske stabilnosti sistema. Njihovu glavnu prednost predstavlja pouzdanost i stabilnost snabdevanja električnom energijom bez oscilacija u proizvodnji koje su specifične za obnovljive izvore energije poput vetra i sunca. Za razliku od obnovljivih izvora energije koji su na mrežu povezani preko odgovarajućih energetskih pretvarača, sinhroni generatori u konvencionalnim elektranama imaju mehaničku inerciju, sposobnost skladištenja kinetičke energije u svojim obrtnim masama i direktno su povezani na mrežu. Upravo se ova energija inherentno razmenjuje sa sistemom tokom poremećaja što sistem čini manje sklonim promenama frekvencije u slučaju neravnoteže između proizvodnje i potrošnje.

Novi turbogenerator B3 u TE „Kostolac B“, snage 412 MVA, prvi put je sinhronizovan na elektroenergetski sistem Srbije 26.01.2024. godine. Probni rad u trajanju od 168h je uspešno završen 09.10.2024. godine i blok je predat EPS AD dana 03.12.2025. godine potpisivanjem TOC-a (taking over certificate) od kada je u redovnoj eksploataciji. Reč je o turbogeneratoru hlađenim vodonikom (jezgro statora i rotor) sa direktnim hlađenjem namotaja statora demineralizovanom vodom. Sprega generatora je dvostruka zvezda, sa neutralnom tačkom uzemljenom preko jednofaznog transformatora (22/0,5 kV/kV) i sa otpornikom na sekundarnoj strani. Na sekundarnoj strani ovog transformatora su priključene zaštite 95% i 100% namotaja statora od zemljospoja i zaštita „Dead machine“.

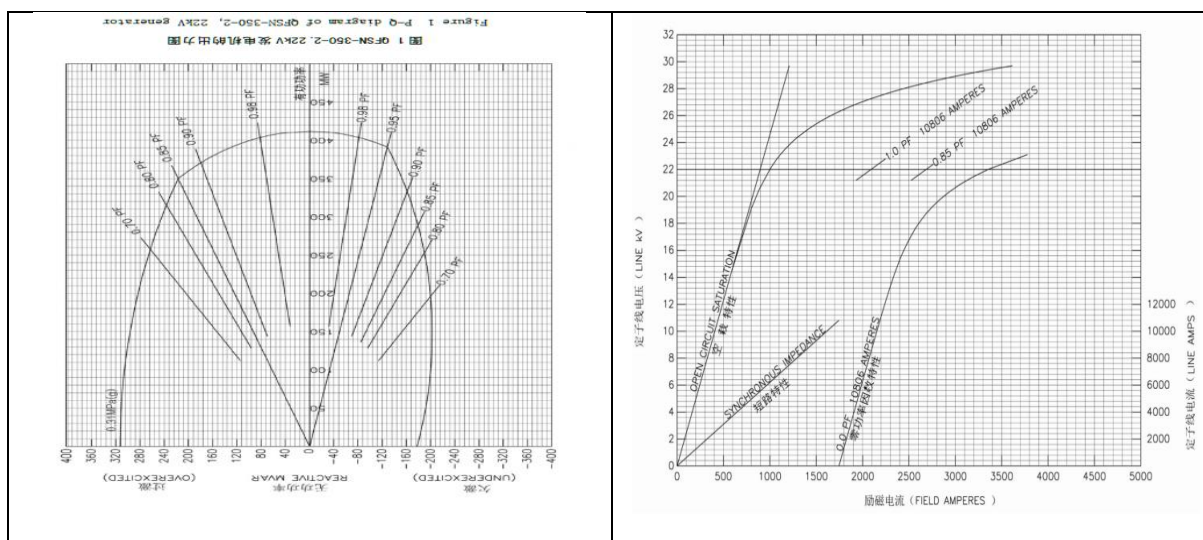
U radu su opisane pojedine specifičnosti konstrukcije generatora, posebno učvršćenja glava namotaja statora, pomoćni sistemi za hlađenje generatora, sistem pobude, temperaturni monitoring i električne zaštite generatora. Glavni tehnički podaci generatora B3 (podaci sa natpisne pločice) prikazani su u Tabeli 1.1.

Tabela 1.1: Podaci sa natpisne pločice generatora B3

Tip generatora	QFSN-350-2	Naznačena struja pobude	2683 A
Serijski broj	B0350W30J048	Naznačeni napon pobude	346 V
Naznačena prividna snaga	412 MVA	Broj faza	3
Naznačena aktivna snaga	350 MW	Sprega	YY
Naznačeni faktor snage	0,85	Klasa izolacije statora i rotora	F/F

Tip generatora	QFSN-350-2	Naznačena struja pobude	2683 A
Naznačeni napon statora	22000 V	Masa statora	285 t
Naznačena struja statora	10806 A	Masa rotora	58 t
Naznačena brzina obrtanja rotora	3000 min ⁻¹	Naznačena učestanost	50 Hz

Proizivački PQ dijagram i karakteristike praznog hoda i kratkog spoja generatora prikazani su na slici 1.1.



Slika 1.1: Proizivački PQ dijagram, karakteristike praznog hoda i kratkog spoja generatora

2 SPECIFIČNOSTI KONSTRUKCIJE GENERATORA

2.1 Konstrukcija namotaja statora i učvršćenje glava namotaja

Novinu predstavlja savremena tehnika učvršćenja bočnih veza-glava namotaja sa krutom završnom strukturom zalivenom u epoksidnu smolu - *Glue-Filling End Winding Structure*. Za razliku od klasičnog načina ušvršćenja glava namotaja primenom tehnike pritezanja kanapima-trakama koje su zatim natopljene epoksidnom smolom prema kojoj su izrađeni statorski namotaji postojećih generatora u sistemu Elektroprivrede Srbije (EPS), slika 2.1, nova tehnologija koja je primenjena na generatoru B3 u TE Kostolac podrazumeva formiranje kompletne glave namotaja i njena ispuna epoksidnom smolom čineći ovakvu strukturu čvrstu i kompaktnu poput betona (slika 2.2).

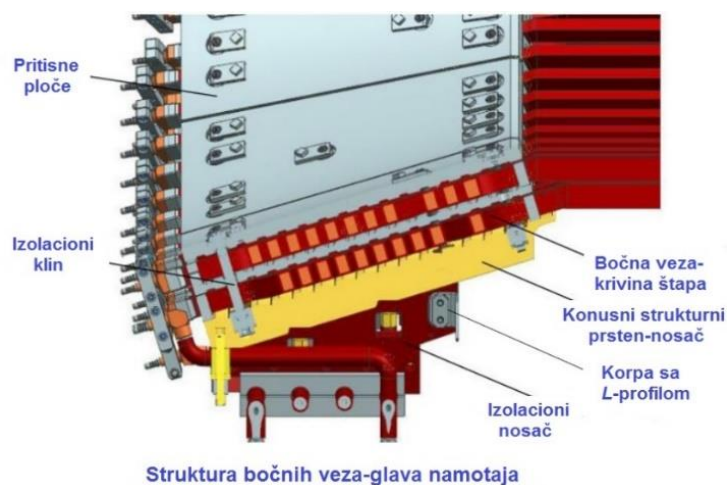
S obzirom da je ova tehnologija izrade i učvršćenja glava namotaja bila potpuna novost za inženjersku javnost u Srbiji i da praktično nema potrebe za održavanjem (*Maintenance free*), postavilo se pitanje tehnologije eventualne zamene statorskog štapa u slučaju proboja i izražene su sumnje da je nemoguća zamena na licu mesta u slučaju kvara namotaja, što bi dovelo do višemesečnog zastoja generatora u trajanju 6-9 meseci. Kao odgovor na sumnje, proizvođač je organizovao upoznavanje i prezentaciju nove tehnologije učvršćenja bočnih veza i izrade glave namotaja statora koja je planirana za novi generator B3, sa detaljima i objašnjenjima. Dizajn učvršćenja glave namotaja statora sa zalivanjem u epoksidnu smolu prikazan je na slici 2.3.



Slika 2.1: Klasična tehnika učvršćenja glava namotaja priteznim trakama



Slika 2.2: Savremena tehnologija krutog učvršćenja zalivanjem u eposkidnu smolu



Slika 2.3: Kruto učvršćenje glava namotaja statora

Krajevi namotaja statora obrazuju konusnu integralnu strukturu. Razmak između završetaka namotaja statora je ispunjen izolacionim materijalom i smolama za impregnaciju SF1806 koji se polimerizuju i očvršćuju nakon ugradnje. Prstenasto telo izolacionog konusnog nosača pričvršćeno je na izolovanu konzolu koja je pričvršćena na krajnje ploče jezgra statora preko metalnog nosača, formirajući elastičnu strukturu duž aksijalnog pravca. Na taj način se obezbeđuje da namotaj statora u radijalnom i tangencijalnom pravcu ima odgovarajući integritet i krutost, a da duž aksijalne ose može da se slobodno širi, čime se efikasno ublažava termomehaničko naprezanje uzrokovano razlikom koeficijenta termičkog širenja bakra, gvožđa i izolacije. Takođe, ova tehnologija u velikoj meri poboljšava učvršćenje glava namotaja statora naročito pri bliskim kratkim spojevima kada velike elektrodinamičke sile deluju na namotaj statora [2].

Tehnologija je već primenjivana na preko 200 generatora velikih snaga u termo, nuklearnim i gasnim elektranama, a neki od njih su u radu i preko 20 godina i u tom smislu se pokazala kao pouzdana. Treba istaći da je generator B3 prvi generator snage 350 MW proizveden sa ovim tipom glave namotaja. Ovakav savremeni način utezanja glava namotaja u odnosu na klasičnu tehniku pritezanja kanapima-trakama, prema iskustvu proizvođača ima značajnih prednosti:

1. Kompaktnost namotaja, ujednačena naprezanja na svaki pojedinačni statorski polunavojak, visoka izdržljivost na elektrodinamička naprezanja pri kratkim spojevima,
2. Značajno povećanje otpornosti na pojavu korone i površinska parcijalna pražnjenja,
3. Povećana mehanička otpornost na negativne uticaje kondenzovanih uljnih para, vlage, prašine i drugih nečistoća, kao i eventualnog prisustva stranog tela unutar generatora.

Prema tehnologiji popravke u slučaju proboja izolacije statorskog štapa ili mehaničkog oštećenja, zamena i ponovna reparacije glave namotaja sadrži sledeće korake:

1. Demontaža i uklanjanje delova za učvršćivanje i oslobađanje glava namotaja u zoni probijenog polunavojka (uzimajući u obzir korak namotaja i broj dodatnih štapova koje je neophodno takođe demontirati) – konusnih uteznih (pritisnih) ploča, delova za pritezanje i učvršćenje i dr.,
2. Uklanjanje statorskih klinova duž žleba probijenog polunavojka (odnosno žlebova štapova koje je neophodno dodatno demontirati),
3. Odgovarajućom tehnikom izdubiti-ukloniti očvrslu ispunu epoksidne smole u zoni glava namotaja do samih statorskih štapova koje je potrebno demontirati odnosno svih pripadajućih delova koje je potrebno kasnije vratiti na svoje mesto pre ponovnog zalivanja epoksidnom smolom,
4. Detaljno, fino čišćenje statora nakon uklanjanja epoksidne ispune,
5. Inspekcija i ispitivanje radi provere preostalog ispravnog dela namotaja probijene faze kako bi se utvrdilo da nema dodatnog defekta, uključujući i proveru rezervnog štapa, kao i štapova koji su privremeno izvađeni, što podrazumeva električna ispitivanja izolacionog sistema, visokonaponski test, ispitivanje zaptivenosti-hidraulički test i dr.
6. Montažu novog rezervnog štapa i vraćanje ostalih privremeno demontiranih štapova, bočno klinovanje (učvršćenje) i zatim proces ispune epoksidnom smolom,
7. Vraćanje statorskih klinova, konusnih pritisnih ploča i svih priteznih elemenata u zoni bočnih veza-glava namotaja,
8. Električno ispitivanje izolacionog sistema kao i ispitivanje magnetnog kola statora – *Core Loss Test*
9. Hidraulični test zaptivenosti namotaja statora – provera protoka rashladne demi-vode statora,
10. Završna montaža-vraćanje ostalih privremeno demontiranih delova i komponenti,
11. Završno prijemno ispitivanje – *Acceptance Test*

Procena potrebnog vremena za proces zamene oštećenog ili probijenog statorskog polunavojka-štapa na mestu ugradnje generatora tj. u samoj elektrani, prethodno opisanom tehnologijom, zajedno sa neophodnom demontažom i vraćanjem rotora produžava se za 2-3 dana u odnosu na vreme potrebno da se zameni štap sa klasičnim učvršćenjem bočnih veza-glava namotaja.

3 HLADENJE GENERATORA

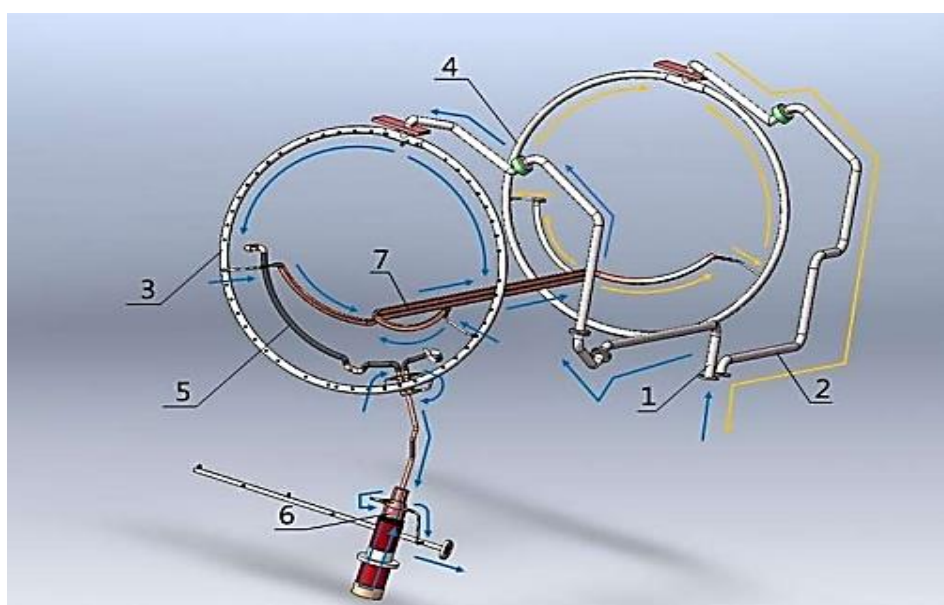
Hlađenje generatora je kombinovano: direktno vodonikom pod pritiskom se hlade jezgro statora i namotaj rotora, dok se namotaj statora i prolazni izolatori direktno hlade demineralizovanom vodom.

3.1 Hlađenje namotaja statora i prolaznih izolatora demineralizovanom vodom

Namotaji statora, paralelni prstenovi i priključni izolatori se hlade direktno sa demineralizovanom vodom, male električne provodljivosti i veoma niskog sadržaja rastvorenog kiseonika.

Rashladna voda se uvodi preko glavne ulazne cevi u ulazni kolektor vode koji se nalazi na strani pobude, i deli se na tri glavna puta vode u generatoru, zatim izlazi u kolektor izlazne vode na strani turbine gde se skuplja voda odvoda iz vodova po svakoj fazi i vodova priključnih izolatora i vraća se u rezervoar vode. Ulazni i izlazni kolektor su međusobno povezani u najvišoj tački preko cevi koja služi da eliminiše upotrebu sifona. Veze između kolektora i namotaja su ostvarene preko teflonskih cevi. Postoje tri vrste grana u putu vode kroz stator (slika 3.1) [2]:

- Vodeni krug A: Voda za hlađenje teče od ulaznog kolektora vode, ulazi preko teflonskih creva u štapove namotaja, prolazi celom dužinom kroz šuplje provodnike gornjih i donjih štapova namotaja statora, zatim se preko teflonskih creva sabira u izlaznom kolektoru i vraća preko povratne cevi u rezervoar.
- Vodeni krug B: Voda za hlađenje teče od ulaznog kolektora vode do paralelnog prstena, zatim kroz izolaciono crevo do izvodnih krajeva faza, hladi fazne provodnike i skuplja se u izlaznom kolektoru.
- Vodeni krug C: Voda za hlađenje teče od ulaznog kolektora za vodu do faznih izvoda generatora, zatim kroz izolaciono crevo do provodnih izolatora, hladi izolatore i na kraju kroz kolektor za vodu unutar priključne kutije generatora izvodi se do izlazne cevi povratne vode.



Slika 3.1: Šema rashladne vode statora

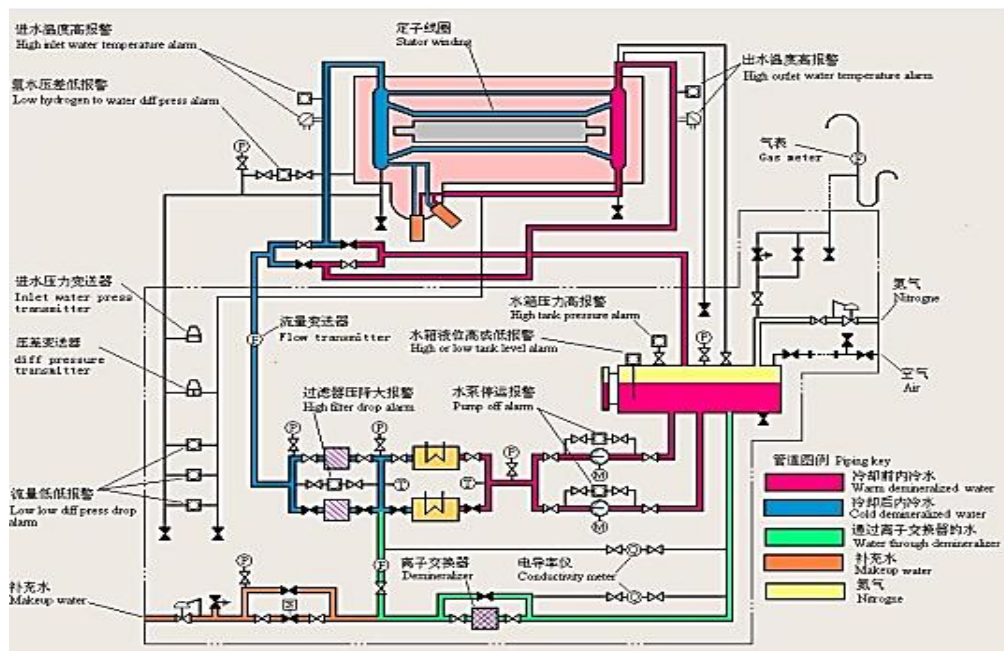
Merenja temperatura vode se vrše na izlazu iz svakog štapa. Granična vrednost temperature je 85°C . Stanje prohodnosti, odnosno začepljenosti šupljih provodnika u svakom štapi se ocenjuje preko razlike temperature štapa t_s i srednje vrednosti temperatura izlazne vode svih štapova iste grupe t_{sr} , gde je kriterijum da je $\Delta t_s = t_s - t_{sr} \leq 14^{\circ}\text{C}$, kada se mora ograničiti struja statora da se ne bi prešla ova granična vrednost. Naravno, znatno pre dostizanja ove vrednosti, uočeni veći porast Δt_s je znak da treba planirati hemijsko ispiranje namotaja.

Sistem koji obezbeđuje cirkulaciju vode kroz namotaj generatora je prikazan na slici 3.2, sa rezervoarom vode pod nad pritiskom azota iznad nivoa vode, sa dve pumpe (1 radna i 1 rezervna), dva hladnjaka (1 radni i 1 rezervni), dva filtera (1 radni i 1 rezervni) u glavnom cirkulacionom krugu, i sa krugom za pripremu vode. Pored klasičnog jonskog izmenjivača, sistem za pripremu vode koja ulazi u generator sadrži i postrojenje za alkalizaciju vode, kojim se pH vode održava između 8 i 9. Pri ovim vrednostima pH, čak i za veće koncentracije kiseonika aktivnost korozije je jako mala, u odnosu na slučaj kada je $\text{pH}=7$.

Dopuna vode u sistem je automatska, prema merenju nivoa u rezervoaru. Sistem poseduje gasno brojilo za detekciju prodora vodonika u sistem vode statora.

U glavnom cirkulacionom krugu su ugrađena 4 ventila za promenu smera vode kroz namotaj statora sa ciljem „ispiranja“ ukoliko se utvrdi smanjenje protoka i porast razlike pritisaka na ulazu i izlazu.

Važnija merenja na sistemu su: protok vode (nominalno $66,6 \text{ kg/m}^3$), provodljivost ($0,4\text{--}2,0 \mu\text{S/cm}$), pH vode ($8,0\text{--}9,0$), rastvoreni kiseonik (preporuka manje od 30 ppb), razlika pritiska (ulaz-izlaz) generatora, pritisak vode na ulazu u generator, temperature vode na ulazu i na izlazu generatora.



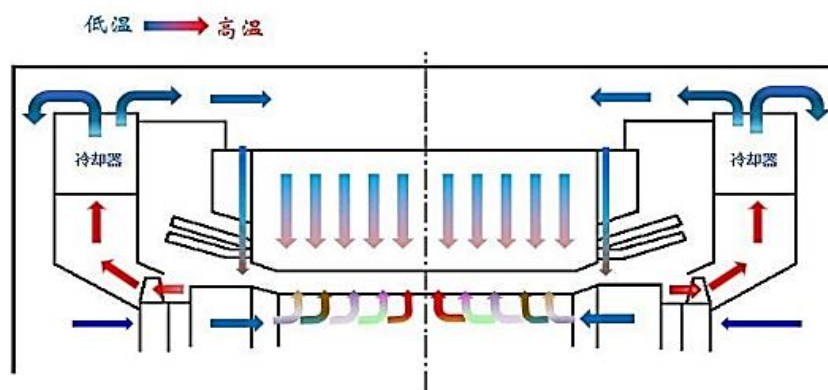
Slika 3.2: Podsystem rashladne vode statora

Jedina zaštita bloka koja deluje po poremećaju u ovom sistemu je zaštita od nedovoljnog protoka rashladne vode kroz generator sa vremenskom zadržkom od 15 sekundi. Zaštita deluje na isključenje generatorskog prekidača, isključenje pobude i zatvaranje stop ventila turbine.

Zagrejana voda se hladi vodom iz zatvorenog sistema rashladne vode koja prolazi kroz hladnjake, pre nego što se ponovo dovede do namotaja statora. Regulacija temperature ulazne vode u stator vrši se na sistemu rashladne vode regulacijom protoka kroz hladnjake.

3.2 Hlađenje magnetnog kola statora i namotaja rotora vodonikom

Sistem cirkulacije gasa obezbeđuje ravnomerno hlađenje kompletnog sklopa generatora, koristeći vodonik kao rashladni medijum. Gas vodonika cirkuliše u zatvorenom krugu unutar generatora pomoću dva jednostepena aksijalna ventilatora, postavljena na oba kraja rotora. Ventilatori se nalaze ispred hladnjaka tako da porast temperature gasa usled njihovog zagrevanja neće doprineti ukupnom porastu temperature električnih komponenti. Sve komponente generatora, izuzev namotaja statora, i to namotaji rotora, magnetsko jezgro statora, priključna kutija generatora su hlađene vodonikom. Vodonik se hladi sa hladnjacima postavljenim vertikalno u sav četiri ugla generatora. Ohlađeni gas od hladnjaka protiče u dva simetrična kanala, sa tim da postoji i proticanje gasa kroz priključnu kutiju pobude. Šema hlađenja generatora vodonikom prikazana je na slici 3.3 [3].



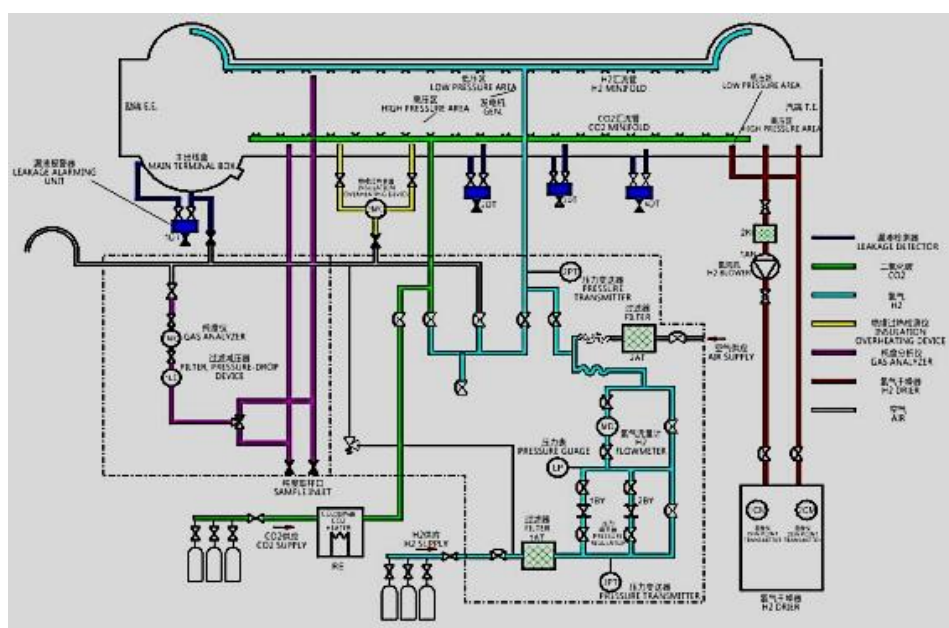
Slika 3.3: Hlađenje generatora vodonikom

Jezgro statora i namotaji rotora se hlade odvojenim ali paralelnim krugovima proticanja vodonika. Vazdušni procep služi kao plenum (mesto povišenog vazdušnog pritiska) za vraćanje gasa nazad ka aksijalnom ventilatoru. Što se rotora tiče, ohlađeni gas se propušta na oba kraja rotora kroz kružni prostor ispod fiksirajućih prstenova rotorskog namotaja. Najveći deo protoka gasa ulazi u glavne podžlebove rotora urezane ispod svakog žleba za namotaj rotora. Iz ovih podžlebova gas protiče u radijalne ventilacione kanale na rotorskom namotaju i ispušta se u vazdušni zazor kroz rupe na rotorskim klinovima. Tok gasa se usmerava da ohladi rotor i vrati se nazad u glavni tok gasa. Ovaj tok je podeljen u dva kanala, ravni i kružni kanal. Što se ravnog kanala tiče, gas prolazi aksijalno kroz telo rotora i prolazi kroz radijalne kanale u vazdušni zazor. Kružni deo na krajevima je hlađen vodonikom koji teče obodno preko centralne linije pola i ispušta se u vazdušni zazor kroz usmerene kanale na krajevima tela rotora. Jezgro statora se radijalno ventilira. Rashladni gas se usmerava u prostor između jezgra i kućišta generatora aksijalnim ventilatorima na oba kraja. Iz ovog prostora on protiče radijalno ka unutra kroz radijalne ventilacione kanale i prema vazdušnom zazoru.

Sistem za hlađenje generatora vodonikom je standardan sistem koji se koristi i na ostalim generatorima u Elektroprivredi Srbije, a prikazan je na slici 3.4. Nominalni pritisak vodonika u generatoru je 0.31 Mpa. Zapremina gasnog dela generatora je 72 m³. Koncentracija vodonika (ili gasova za izmenu) se meri preko dva redundantna analizatora.

Sistem ima detekciju propuštanja vodonika na 8 tačaka: u oklopima faza iza prolaznih izolatora, na izlazu iz neutralne tačke i u zaptivnim ležajevima generatora.

Temperature vodonika se mere na izlazu iz svake sekcije (hladan vodonik) i na ulazu u hladnjake (topli vodonik). Granična vrednost za temperaturu ohlađenog vodonika je 46°C , a za topli vodomik je 90°C.



4 TEMPERATURNI MONITORING GENERATORA

Generator ima poboljšan monitoring temperature jer se merenje temperatura vrši sa većim brojem temperaturnih senzora nego na ostalim generatorima u EPS-u. Merenja temperatura obavljaju se pomoću otpornih termometara Pt100 ugrađenih u procesu fabrikacije generatora. U tabeli 4.1 prikazane su pozicije i broj senzora za merenje temperature delova generatora. Za neke pozicije postavljeni su rezervni otporni termometri, i to na sledećim pozicijama: sva merenja temperatura bakra namotaja statoravu žlebovima, merenja temperatura vode na izlazu iz prolaznih izolatora, merenja temperatura hladnog i toplog vodonika, merenja temperatura ulja na izlazu iz zaptivnih ležajeva, merenja temperatura ulja za podmazivanje ležajeva 5, 6 i 7 i merenja temperatura vazduha za hlađenje kolektora.

Tabela 4.1: Merenje temperatura delova generatora

Pozicija	Broj Pt100	Granična vrednost temperature
temperature bakra (u žlebu između gornjeg i donjeg štapa)	54	90°C
temperature vode (na izlazu iz svakog štapa)	2x54	85°C
temperature vode (na izlazu iz prolaznih izolatora)	6	85°C
temperature jezgra generatora	10	120°C
temperature zubaca magnetnog jezgra statora	10	150°C
temperatute bakarnih štitova	4+4	150°C
temperature magnetnih štitova	4+4	120°C
temperature krajnjih ploča	4+4	120°C
temperature vodonika na izlazu iz hladnjaka (hladni vodonik)	4+4	50°C
temperature vodonika ispred hladnjaka (topli vodonik)	1+1	90°C
temperature vazduha za hlađenje kolektora	2 (hladni i topli)	/

5 ELEKTRIČNE ZAŠTITE GENERATORA

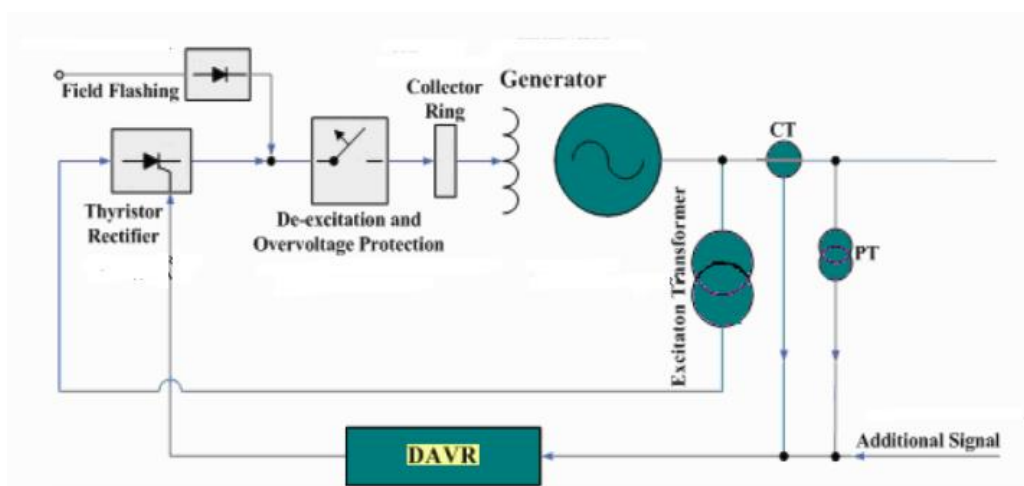
Spisak električnih zaštita implementiranih na generatoru B3:

1. Diferencijalna zaštita generatora
2. Prekostrujna zaštita sa podnaponskom blokadom
3. 95% zaštita od zemljospoja namotaja statora
4. 100% zaštita od zemljospoja namotaja statora
5. Zaštita od zemljospoja rotora
6. Zaštita od preopterećenja po struji rotora
7. Zaštita od nesimetričnog preopterećenja
8. Zaštita od prenapona statora
9. Zaštita od gubitka pobude
10. Impedantna zaštita generatora
11. Frekventna zaštita generatora
12. Zaštita od povratne aktivne snage
13. Zaštita od kratkog spoja unutar faznog namotaja
14. Zaštita generatora od prekomernog fluksa
15. Zaštita od pogrešne sinhronizacije
16. Zaštita generatora od ispada iz sinhronizma
17. Zaštita *Dead machine* – zaštita detektuje postojanje kratkog spoja u namotaju statora na nesinhronizovanom generatoru, registrovanjem pojave struje kroz neutralni provodnik.
18. Zaštita od kvara prekidača

Na osnovu navedenog spiska može se zaključiti da su na generatoru B3 aktivne dodatne zaštitne funkcije u odnosu na standardni obim implementiranih zaštita na ostalim turbogeneratorima u okviru EPS-a.

6 SISTEM POBUDE GENERATORA

Sistem pobude generatora B3 je statički, samopobudnog tipa, i napaja se preko pobudnog transformatora sa izvoda generatora. Naznačena vrednost struje pobude je 2683 A, a naznačena vrednost napona pobude je 346 V. Pobudni transformator, snage 3200 kVA, je suvi u kompaktnom kućištu, prenosnog odnosa 22k V/0,7 kV. Osnovu energetskog dela čine četiri paralelno vezana punoupravljiva tiristorska pretvarača koji u normalnom radu dele struju pobude. Povećana pouzdanost sistema je omogućena radom pobudnog sistema generatora samo sa dva ispravna tiristorska pretvarača (n-2 redundansa). U slučaju kvara jednog tiristorskog pretvarača funkcionalnost sistema ostaje potpuna, dok u slučaju kvara dva tiristorska pretvarača pobudni sistem ograničava struju rotora na nivo koji odgovara pobudnoj struji pri radu generatora sa faktorom snage $\cos \varphi = 1$. Pri kvaru tri tiristorska pretvarača dolazi do generisanja kvara sistema pobude. Ostatak energetskog dela sistema pobude čine prekidač za demagnetizaciju, prenaponska zaštita, sklop početnog pobuđivanja. Principiska šema sistema pobude prikazana je na slici 6.1 [4].



Slika 6.1: jednopolna šema sistema pobude generatora

Radom tiristorskih pretvarača upravljaju dva nezavisna potpuno identična mikroprocesorska regulatora (DAVR) koji pripadaju sekciji upravljanja, pri čemu je jedan u radu a drugi je topla rezerva. U slučaju kvara regulatora u radu, dolazi do automatskog prelaza na rezervni uz neometan rad energetskog dela sistema pobude. Na ovaj način obezbeđena je redundantnost I upravljačkog dela Sistema pobude. Svaki od regulatora poseduje automatski (regulacija napona na izvodima generatora) i rezervni (regulacija struje pobude) režim rada. U okviru regulatora realizovane su sve upravljačke i zaštitne funkcije sistema pobude kao što su: limiter minimalne pobude, limiter maksimalne struje pobude, limiter maksimalne struje statora, V/Hz limiter, stabilizator elektroenergetskog sistema i sl.

7 ZAKLJUČAK

Termoblok B3 u TE „Kostolac B“ je prvi novi proizvodni blok pušten u rad u Republici Srbiji posle više od 30 godina. U radu su opisane specifičnosti konstrukcije generatora B3 kao što je učvršćenje glava namotaja statora, opisani su pomoćni podsistemi za hlađenje generatora, sistem pobude, sistem električnih zaštita generatora, temperaturni monitoring. Ovaj turbogenerator ima poboljšano hlađenje u odnosu na postojeće turbogeneratore slične snage u EPS-u.

Dodatno, uz činjenicu da je opremljen veoma dobrim monitoringom temperatura generatora, omogućava da generator B3, za razliku od drugih turbogeneratorsa u EPS-u, može da se eksploatise u praktično celokupnom području pogonskog dijagrama, što mu daje i veliki značaj u održanju stabilnosti elektroenergetskog sistema Srbije. Takođe, generator B3 ima ukupno 18 implementiranih električnih zaštita što je znatno više u odnosu na ostale turbogeneratore u okviru EPS-a. Treba napomenuti da su neke od ovih zaštitnih funkcija prvi put primenjene na jednom generatoru u EPS-u.

8 LITERATURA

- [1] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview
- [2] Operation and maintenance Instruction of Generator SK/YQ0A461F087, Phase „“ of the Kostolac-B Power Plant Project, book 6, Shanghai Electric Power Generation Equipment Co., Ltd. Generator Plant
- [3] DFE Design For Execution, Main Power Building – Generator, TPP „KOSTOLAC B“, BLOK B3, project part 4, book part 1
- [4] DFE Design For Execution, Main Power Building – Excitation system, TPP „KOSTOLAC B“, BLOK B3, project part 4, book part 3