

REKONSTRUKCIJA SISTEMA POBUDE BLOKA 4 U TE "NIKOLA TESLA A"

Zoran Ćirić, Đorđe Stojić, Dušan Joksimović, Nemanja Miložić, Dušan Arnautović

Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd

Sadržaj: U radu je opisana rekonstrukcija sistema pobude generatora bloka 4 u TE "Nikola Tesla A" u okviru remonta bloka 2007. godine. U radu su navedeni osnovni parametri sistema pobude, opisan je energetski deo, regulacija sistema pobude, paljenje tiristora, akvizicioni sistem, zaštite, upravljanje, merenja i signalizacija.

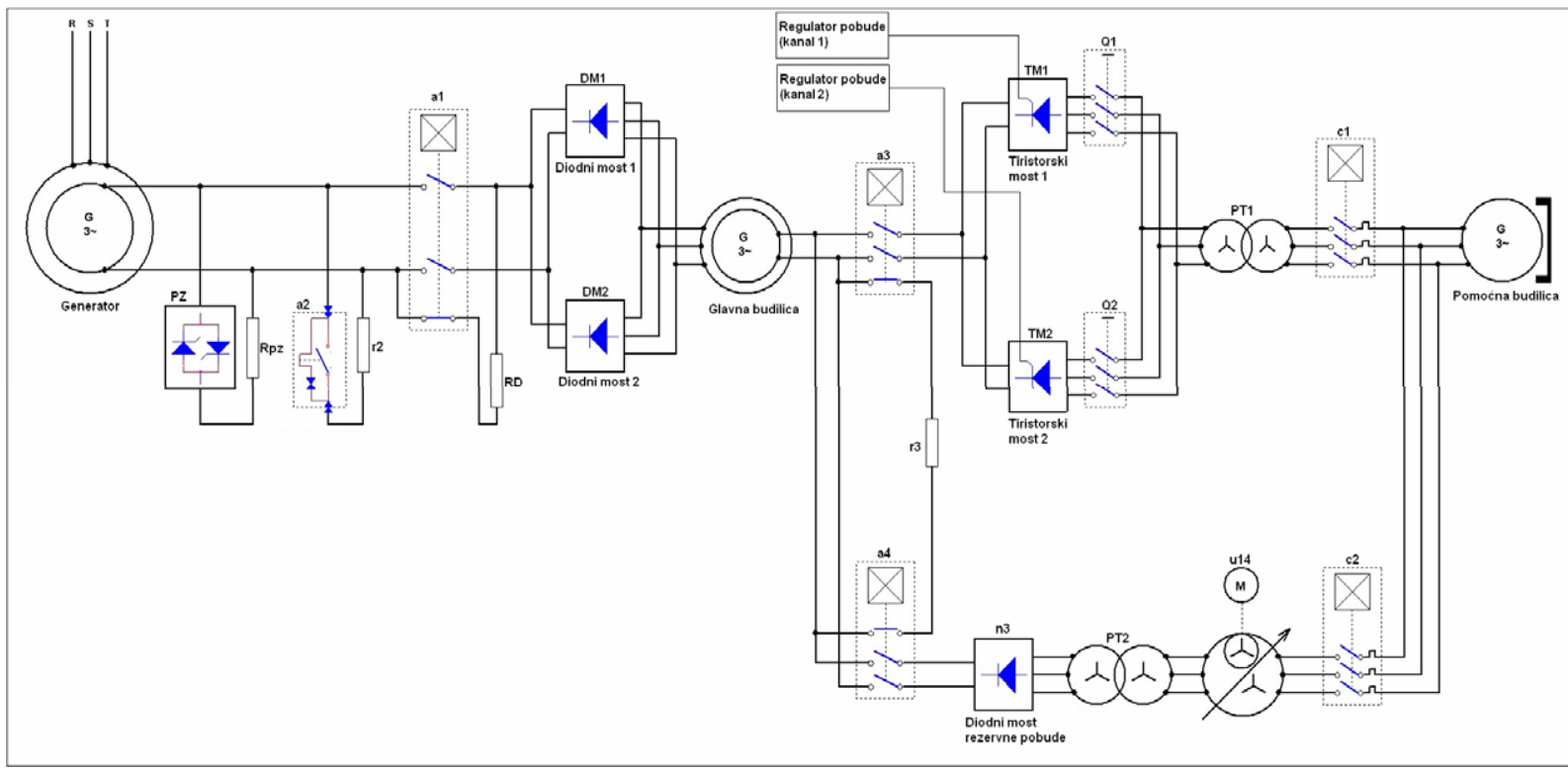
Ključne reči: pobudni sistem, tiristoski most, diodni most, digitalni regulator, rekonstrukcija, pouzdanost

1. UVOD

Sistem pobude generatora bloka 4 u TE "Nikola Tesla A" bio je u upotrebi preko 30 godina, zbog čega su pojedine komponente sistema pri kraju životnog veka. Iz tog razloga i usled zastarelosti, urađena je njegova rekonstrukcija. Prilikom rekonstrukcije zamenjeni su: regulator pobude, tiristorski i diodni mostovi, prekidači a1, a3, a4, c1 i c2 i ugrađeni su rastavljači Q1 i Q2. Ugrađena je nova prenaponska zaštita sa antiparalelnim tiristorima, pri čemu je zadržan i stari odvodnik prenapona. Zadržane su glavna i pomoćna budilica, rezervni sistem pobude glavne budilice, otpornik za brzo razbuđivanje glavne budilice i nelinearni otpornik za brzo razbuđivanje generatora. Blok šema sistema pobude je prikazana na slici 1.

Postojeći regulator pobude i tiristorski mostovi zamenjeni su sa dva nezavisna pobudna kanala. Svaki kanal sastoji se od digitalnog regulatora pobude i tiristorskog mosta, pri čemu je uvek u radu samo jedan tiristorski most i on zadovoljava sve predviđene režime rada, uključujući i forsiranje. Regulator mosta koji nije u radu prati aktivan regulator. U slučaju kvara na aktivnom kanalu pobude automatski se prelazi na drugi kanal bez ispada agregata. Zadržavanjem postojećeg rezervnog sistema pobude glavne budilice na raspolaganju je još jedan nezavistan sistem, što dodatno povećava pouzdanost rekonstruisanog sistema pobude. Na ovaj rezervni sistem se ne prelazi automatski, već u slučaju potpunog otkazivanja oba tiristorska pobudna kanala.

Sastavni deo rekonstruisanog sistema pobude je akvizicioni sistem koji obezbeđuje: merenja svih relevantnih električnih i binarnih informacija neophodnih za praćenje rada sistema pobude u normalnom radu, kod poremećaja u EES-u, kao i za periodična ispitivanja sistema regulacije pobude. Predviđen je i softver za on-line i off-line analize memorisanih snimka. Ova funkcija omogućava: memorisanje minimalno 5 snimaka u trajanju od 10 sekundi sa rezolucijom boljom od 0,1s, mogućnost izbora signala za snimanje, definisanje kriterijuma za aktiviranje snimanja (ručno aktiviranje, spoljni triger, triger po parametrima, podešavanje vremena pre i posle trigera). Obezbeđena je mogućnost snimanja minimalno 16 analognih i 64 binarnih signala.



Slika 1. Blok šema sistema pobude generatora bloka A4 u TE „Nikola Tesla A“

2. OSNOVNE FUNKCIJE SISTEMA POBUDE

Sistem pobude obezbeđuje sledeće funkcije:

- napajanje pobudnog namotaja (namotaja rotora) sinhronog generatora potrebnom pobudnom strujom u svim dozvoljenim režimima rada generatora,
- dvokanalno napajanje pobudnog namotaja glavne budilice iz tiristorskih mostova,
- automatska regulacija napona na izvodima u svim režimima rada generatora uz kompenzaciju po reaktivnom opterećenju, odnosno regulacija napona generatora po naponsko-reaktivnoj karakteristici sa podešenim statizmom,
- automatsko ograničenje rada generatora u oblasti dozvoljenih termičkih naprezanja statora i rotora prema pogonskoj karti,
- ručna regulacija struje pobude,
- automatski prelaz sa automatske na ručnu regulaciju pobude,
- test režim,
- automatski prelaz sa jednog na drugi pobudni kanal,
- forsiranje pobude sa zadatim koeficijentima forsiranja po naponu i po struji pobude, pri sniženju napona na sabirnicama generatora usled poremećaja u sistemu,
- razbuđivanje generatora i glavne budilice invertovanjem tiristora pri normalnom zaustavljanju,
- gašenje polja generatora i glavne budilice u havarijskim režimima prekidačima za demagnetizaciju,
- mogućnost prelaska na rezervni sistem pobude glavne budilice sa zakretnim transformatorom u slučaju kvara na oba tiristorska pobudna kanala,
- mogućnost uvođenja dodatnih regulacionih i upravljačkih funkcija (grupna regulacija pobude),
- lokalno i daljinsko upravljanje sistemom pobude (iz centralne i lokalne komande),
- zaštite,
- merenja i signalizacija.

3. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE SISTEMA POBUDE

Sistem pobude ima sledeće osnovne parametre:

- | | |
|------------------------------------------------------------------|-----------------|
| • Nominalna pobudna struja generatora: | 3840 A |
| • Nominalna pobudna struja glavne budilice: | 522 A |
| • Nominalni pobudni napon generatora: | 304V |
| • Nominalni pobudni napon glavne budilice: | 31,3 V |
| • Napon napajanja tiristorskih mostova: | 73V, 150Hz |
| • Opseg podešenja napona generatora u praznom hodu: | 85% - 115% |
| • Opseg podešenja statizma naponsko-reaktivne karakteristike: | -10% - +10% |
| • Koeficijent forsiranja po struji: | 1,6 |
| • Dozvoljeno vreme trajanja forsiranja: | < 20s |
| • Maksimalna pobudna struja generatora u režimu forsiranja: | 5984A |
| • Pobudni napon generatora u režimu forsiranja: | 486V |
| • Maksimalna pobudna struja glavne budilice u režimu forsiranja: | 873 A |
| • Pobudni napon glavne budilice u režimu forsiranja: | 50,5 V |
| • Jednosmerni napon napajanja sopstvene potrošnje: | 110 V |
| • Naizmenični napon napajanja sopstvene potrošnje: | 3 x 380 V, 50Hz |

4. KARAKTERISTIKE ZAMENJENIH ELEMENATA ENERGETSKOG DELA SISTEMA POBUDE

4.1. Prekidači c1 i c2

Prekidač c1 se nalazi na ulazu u tiristorsku pobudu glavne budilice između pomoćne budilice i pobudnog transformatora, dok se prekidač c2 nalazi na ulazu u rezervnu pobudu glavne budilice između pomoćne budilice i zakretnog transformatora. U slučaju rada tiristorske pobude glavne budilice, uključen je prekidač c1, dok je u slučaju rada rezervne pobude uključen prekidač c2. Prekidači c1 i c2 su međusobno blokirani, tako da je sprečeno njihovo istovremeno uključivanje. Prekidači c1 i c2 imaju u sebi ugrađenu termičku i prekostrujnu zaštitu, koje štite od preopterećenja, odnosno kratkog spoja.

Osnovni parametri ovih prekidača su sledeći:

- Nominalna struja: 125A
- Broj polova: 3
- Nazivni napon: 690V, 50Hz
- Prekidna moć pri naponu od 380 V do 415 V: 36kA
- Podešenje termičke zaštite: 125A
- Podešenje prekostrujne zaštite: 1250A

4.2. Transformator tiristorske pobude glavne budilice PT1

Preko transformatora PT1 napajaju se tiristorski mostovi. Transformator ima sledeće parametre:

- Nominalna snaga: 54 kVA
- Nominalni primarni napon: 435 V
- Nominalni sekundarni napon: 73 V
- Sprega: Yy0

4.3. Rastavljači tiristorskih mostova Q1 i Q2

Ispred oba tiristorska mosta postavljeni su rastavljači. Ovi rastavljači omogućavaju fizičko odvajanje paralelno vezanih tiristorskih mostova, na primer u slučaju kvara u nekom od mostova, tako da drugi most može nesmetano da radi.

Parametri ovih rastavljača su sledeći:

- Nominalna struja: 1000A
- Nominalni napon: 690Vac
- Broj polova: 3

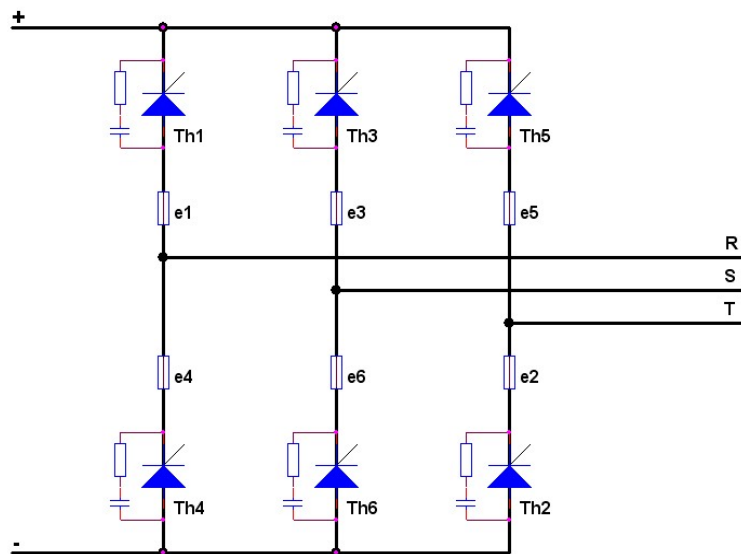
4.4. Tiristorski mostovi TM1 i TM2

Tiristorski mostovi napajaju se sa statora pomoćne budilice, naponom učestanosti 150 Hz. Ispravljena struja za pobudu glavne budilice dobija se preko jednog od dva tiristorska mosta kanala pobude koji je u radu. Tiristorski mostovi predstavljaju izvršni organ u regulaciji pobude generatora. Promenom ugla upravljanja tiristora od strane regulatora reguliše se struja pobude glavne budilice, a preko nje i struja pobude i statorski napon generatora.

Ugrađena su dva paralelno vezana tiristorska mosta, ali je jedan od njih uvek blokirani, tj. ne dobija impulse za paljenje na gejtovimima od svog regulatora. Mostovi su

parametrirani tako da jedan most može da zadovolji sve potrebne režime rada, uključujući i forsiranje pobude pri havarijskim režimima sa predviđenim koeficijentom forsiranja. Ugradnja dva tiristorska mosta, pri čemu svaki ima svoj regulator, pruža visok stepen rezerve.

Tiristorski mostovi su trofazni, punoupravljivi sa radom u ispravljačkoj i invertorskoj oblasti. Šema tiristorskog mosta je prikazana na slici 2.



Slika 2. Tiristorski most

Srednja vrednost pobudnog napona glavne budilice data je izrazom:

$$U_{fGB} = \frac{3 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{PB}}{\pi} \cdot \cos(\alpha), \quad (1)$$

gde je: U_{fGB} - srednja vrednost pobudnog napona glavne budilice, U_{PB} - statorski napon pomoćne budilice, a α ugao paljenja tiristora.

Hlađenje mostova je prirodno pri temperaturama ambijenta manjim od 35°C, dok se pri većim temperaturama uključuju ventilatori, radi dodatne sigurnosti.

Svaki ispravljač sadrži:

- 6 tiristora montiranih na hladnjacima,
- 2 ventilatora,
- 3 termodavača (normalno zatvoreni na 100°C),
- 6 RC članova za prenaponsku zaštitu tiristora,
- 6 osigurača za kratkospojnu zaštitu tiristora,
- 6 mikroprekidača za signalizaciju pregorevanja osigurača.

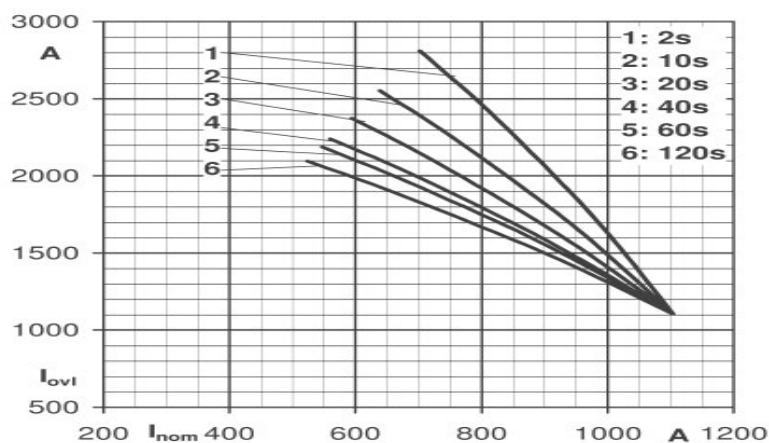
Tiristorski mostovi imaju sledeće parametre:

- Sprega: B6C
- Nominalni naizmenični napon: 380 V, 150 Hz

- Nominalni jednosmerni napon: 510 V
- Trajno dozvoljena izlazna jednosmerna struja: 1000 A
- Dozvoljeni strujni impuls: 2500 kA²s

Struja pobuda glavne budilice u režimu forsiranja je manja od trajno dozvoljene izlazne jednosmerne struje tiristorskog mosta, pa se može zaključiti da su tiristorski mostovi predimenzionisani u cilju povećanja pouzdanosti sistema pobude.

Na slici 3 je prikazana zavisnost dozvoljene struje preopterećenja I_{ovl} od struje kojom je most bio prethodno opterećen I_{nom} najmanje 10 minuta za različita vremena trajanja preopterećenja. Karakteristika je data za temperaturu rashladnog vazduha od 35°C i ne uzimajući u obzir karakteristike osigurača.



Slika 3: Zavisnost dozvoljene struje preopterećenja I_{ovl} od struje kojom je most bio

4.5. Prekidači a3 i a4

Prekidač a3 je vezan između tiristorskih mostova i rotora glavne budilice, dok se prekidač a4 nalazi između diodnog mosta rezervne pobude i rotora glavne budilice. U slučaju rada tiristorske pobude glavne budilice, uključen je prekidač a3, dok je u slučaju rada rezervne pobude uključen prekidač a4. Ovi prekidači su blokirani međusobno. Oba prekidača imaju dva radna i jedan mirni glavni kontakt, koji se koristi za brzo razbuđivanje glavne budilice. U slučaju kvara u sistemu pobude ili usled dejstva zaštita agregata uključen prekidač se isključuje, a preko mirnih kontakata ovih prekidača paralelno sa rotorom glavne budilice se vezuje otpornik r3 i dolazi do brzog razbuđivanja budilice.

Osnovni parametri ovih prekidača su sledeći:

- Nominalna struja: 550 A
- Nominalni napon: 1000 V
- Podnosivi napon u trajanju od 60sec: 3500 V
- Prekidna moć: 6kA

4.6. Diodni mostovi

Statorski napon glavne budilice, učestanosti 150 Hz, ispravljaju dva paralelno vezana diodna mosta. Šema diodnog mosta je prikazana na slici 4. Srednja vrednost pobudnog napona generatora data je izrazom:

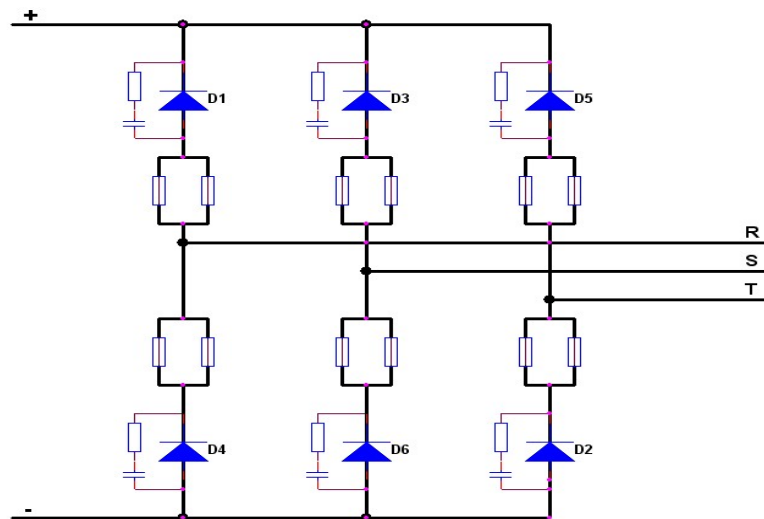
$$U_{fG} = \frac{3 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{GB}}{\pi} \cdot \cos(\alpha), \quad (2)$$

gde je: U_{fG} - srednja vrednost pobudnog napona generatora, U_{GB} - statorski napon glavne budilice.

Hlađenje diodnih mostova je prinudno vazdušno. Uslov za uključenje ventilatora je uključenje ili prekidača a3 ili prekidača a4.

Svaki diodni most sadrži:

- 6 dioda montiranih na hladnjaku,
- 2 ventilatora,
- 3 termodavača (normalno zatvorena na 105°C),
- 3 termodavača (normalno zatvorena na 112°C),
- 6 RC članova za prenaponsku zaštitu dioda,
- 12 osigurača (600V, 1600A) za zaštitu dioda od struje kratkog spoja,
- 12 mikroprekidača za signalizaciju pregorevanja osigura.



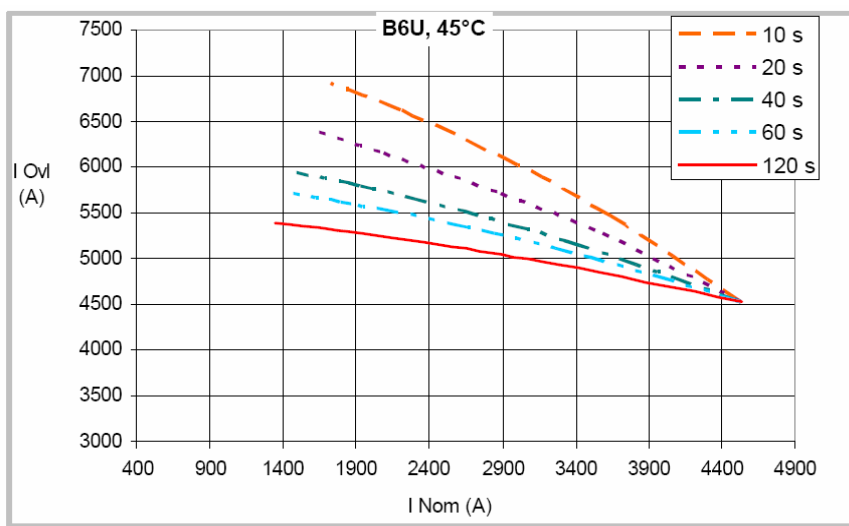
Slika 4. Diodni most

Diodni mostovi imaju sledeće parametre:

- | | |
|-----------------------------------------------------------------------|---------------|
| • Sprega: | B6U |
| • Nominalni naizmenični napon: | 500 V, 150 Hz |
| • Nominalni jednosmerni napon: | 670 V |
| • Trajno dozvoljena izlazna struja jednog mosta: | 4015 A |
| • Trajno dozvoljena izlazna struja za oba mosta (nesimetrija do 20%): | 6424 A |

Nominalna struja pobude generatora je manja od trajno dozvoljene struje jednog diodnog mosta, tako da u slučaju pregorevanja osigurača u jednom diodnom mostu, sistem pobude ostaje u radu uz zabranu forsiranja pobude. Struja pobude generatora u režimu forsiranja je manja od trajno dozvoljene izlazne jednosmerne struje oba diodna mosta, pa se može zaključiti da su diodni mostovi predimenzionisani u cilju povećanja

pouzdanosti sistema pobude. Na slici 5 je prikazana zavisnost dozvoljene struje preopterećenja I_{Ovl} od struje kojom je diodni most bio prethodno opterećen I_{Nom} najmanje 10 minuta za različita vremena trajanja preopterećenja. Karakteristika je data za temperaturu rashladnog vazduha od 45°C i ne uzimajući u obzir karakteristike osigurača.



Slika 5: Zavisnost dozvoljene struje preopterećenja I_{Ovl} od struje kojom je most bio prethodno opterećen I_{Nom} za različita vremena trajanja preopterećenja

4.7. Prekidač a1

Prekidač a1 je vezan između diodnih mostova i rotora generatora. Ovaj prekidač ima dva radna i jedan mirni glavni kontakt, koji se koristi za brzo razbuđivanje glavne budilice. U slučaju kvara u sistemu pobude ili usled dejstva zaštita agregata prekidač a1 se isključuje, a preko mirnog kontakata paralelno sa rotorom generatora se vezuje nelinearni otpornik RD i dolazi do brzog razbuđivanja generatora.

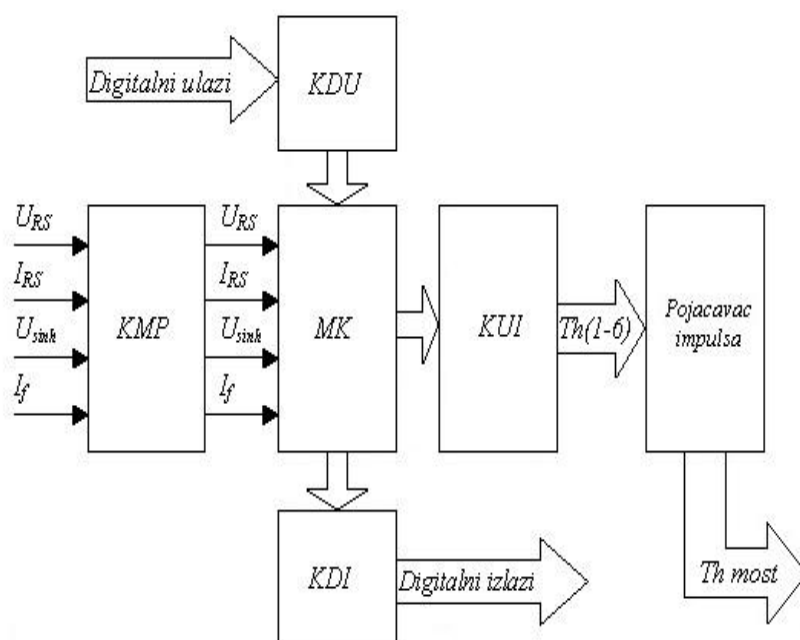
Osnovni parametri ovog prekidača su sledeći:

- Nominalna struja: 6000A
- Nominalni napon: 2000V
- Prekidna moć: 15000A

5. REGULATOR SISTEMA POBUDE

Upravljanje sistemom pobude realizovano je u okviru digitalnog regulatora pobude, kojim upravlja DSP mikrokontroler TMS320LF2407. Mikrokontroler omogućava objedinjavanje širokog spektra upravljačkih funkcija, funkcija zaštite, merenja i signalizacije. U cilju povećanja pouzdanosti rada digitalnog regulatora pobude koriste se dva digitalna regulatora pobude sa identičnim funkcijama pri čemu je jedan u radu, a drugi je topla rezerva.

Sistem je realizovan modularno, čime je povećana pouzdanost uređaja i olakšan proces održavanja pogona u eksploataciji. Blok šema regulatora je prikazana na slici 6.



Slika 6. Blok šema regulatora pobude

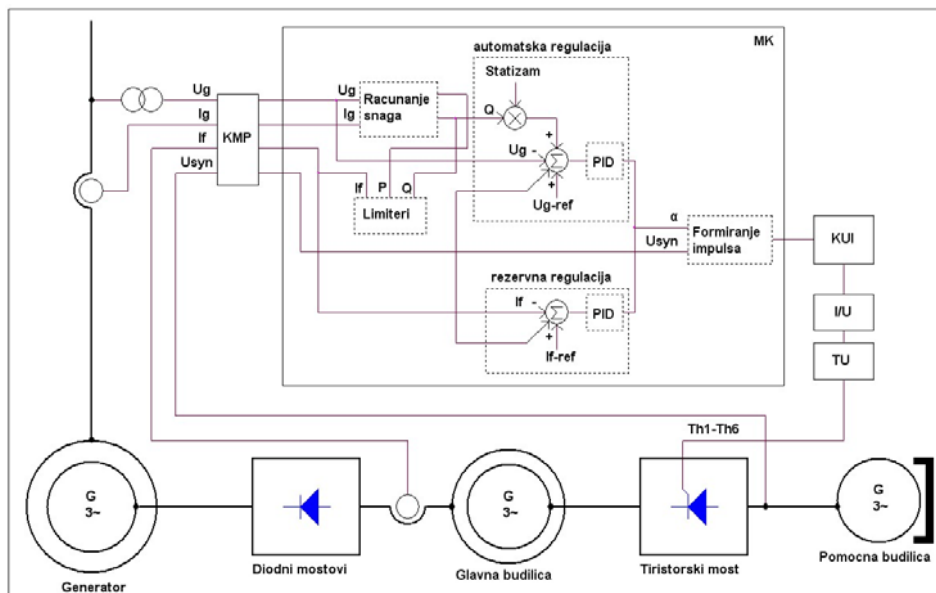
Kartice mernih pretvarača (KMP) galvaniski izoluju, filtriraju i prilagodavaju naponskom nivou mikrokontrolera analogne ulazne signale: tri fazna napona statora generatora, dve fazne struje statora generatora, tri fazne struje pobude generatora na ulazu u diodni most i napon pomoćne budilice za merenje brzine. Normirana vrednost naponskih naizmeničnih signala je 100 V AC, dok je za strujne signale normirana vrednost 5 A AC.

Kartica digitalnih ulaza (KDU) služi za očitavanje stanja kontakata signalnih releja i tastera. Broj digitalnih ulaza u regulator je 44. Digitalni ulazi su sledeći: stanje prekidača a1, a3, c1, stanje generatorskog i mrežnog prekidača, stanje rastavljača Q1 i Q2, zaštite tiristorских i diodnih mostova, prenaponska i kratkospojna zaštita rotora, nalozi za pobuđivanje i razbuđivanje, promena referentnog napona generatora na više i na niže, nalozi za promenu režima rada i mesta komandovanja i signali iz drugog regulatora. Naponski nivo ulaznih digitalnih signala je 110 V DC.

Mikroprocesorska kartica (MK) služi za realizaciju upravljačkih funkcija sistema pobude generatora. Upravljanje se vrši obradom ulaznih analognih i digitalnih signala i generisanjem izlaznih komandnih signala za paljenje tiristora i pobudu izvršnih releja. Mikroprocesorska kartica generiše, takođe, signale za upravljanje LCD displejom i LED diodama na panelu regulatora. U okviru programa mikroprocesora realizovane su sledeće funkcije: pobuđivanje i razbuđivanje generatora, automatska regulacija napona generatora po podešenoj naponsko-reaktivnoj karakteristici, regulacija struje pobude, praćenje aktivnog regulatora, forsiranje, test režim, limiteri pobude i upravljanje LCD displejom i LED diodama.

U toku pobuđivanja napon statora generatora se regulisano dovodi do zadate referentne vrednosti praznog hoda. Nakon pobuđivanja sledi sinhronizacija i vezivanje generatora na mrežu. Tokom rada generatora na mreži mogući su sledeći režimi rada regulatora pobude: automatska regulacija napona generatora, rezervna regulacija struje pobude,

praćenje aktivnog kanala i režim forsiranja. Takođe, aktivni su i limiteri pobude. Na slici 7 je prikazana blok šema regulacije sistema pobude.

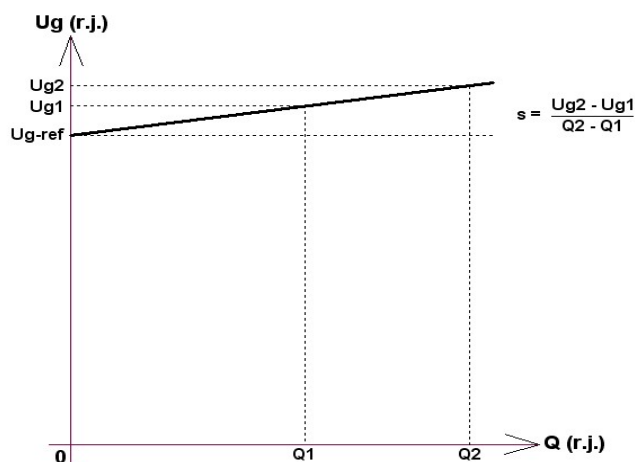


Slika 7. Blok šema automatske i rezervne regulacije sistema pobude

Automatska regulacija napona generatora uz kompenzaciju reaktivne snage se vrši pomoću PID upravljačkog zakona, pri čemu se referenca napona određuje na osnovu podešene naponsko-reaktivne karakteristike (slika 8). Za pozitivnu vrednost statizma napon generatora raste sa porastom reaktivne snage, čime se kompenzuje pad napona na blok transformatoru. Zadavanjem komandi VIŠE ili NIŽE naponsko-reaktivna karakteristika se translira na više ili na niže. Nagib karakteristike se menja promenom statizma na panelu regulatora.

Regulacija struje pobude generatora se vrši po PID upravljačkom zakonu. U režim rezervne regulacije se može ući pri neuspehom početnom pobuđivanju ili usled gubitka signala merenja napona statora generatora ili namerno pritiskom tastera za izbor Rezervnog režima. Zadavanjem komandi VIŠE ili NIŽE menja se referenca struje pobude.

Praćenje aktivnog kanala u funkciji je u rezervnom kanalu. U ovom režimu regulator ne šalje impulse za paljenje tiristora svom tiristorskom mostu, ali prati sve potrebne veličine, tako da u slučaju ispada aktivnog kanala bez prekida preuzima regulaciju pobude agregata. Sa jednog na drugi kanal se može preći usled kvara u regulatoru ili tiristorskom mostu aktivnog kanala, pod uslovom da je rezervni kanal ispravan, ili namerno pritiskom na odgovarajućeg taster.



Slika 8. Naponsko reaktivna karakteristika generatora

Forsiranje pobude se aktivira pri automatskoj regulaciji napona, kada napon generatora padne ispod 70% nominalne vrednosti. U režimu forsiranja regulator prelazi u režim regulacije struje pobude, gde se za referencu zadaje nominalna vrednost struje pobude pomnožena sa 1,6. Režim forsiranja traje 10s. Ukoliko i nakon forsiranja ne poraste napon generatora daje se nalog za isključenje agregata.

U okviru regulatora pobude realizovani su sledeći limiteri: limiter maksimalne struje pobude, limiter minimalne struje pobude i limiter maksimalne struje statora. Limiter maksimalne struje pobude sprečava povećanje struje pobude iznad podešene vrednosti, koja je određena trajno dozvoljenom strujom rotora. Limiter minimalne struje pobude sprečava smanjenje struje pobude ispod vrednosti određene pogonskim P-Q dijagramom generatora. Limiter maksimalne struje statora sprečava povećanje struje pobude u slučaju da se radna tačka nađe van pogonskog P-Q dijagrama generatora.

Razbuđivanje generatora pri normalnom zaustavljanju se može pokrenuti nakon isključenja generatora sa mreže. U toku razbuđivanja tiristorski mostovi ulaze u invertorski režim rada. Pri odradi zaštita sistema pobude ili zaštita agregata dolazi do brzog razbuđivanja slanjem naloga za isključenje prekidača a1 i a3.

Test režim se može aktivirati dok generator nije na mreži. U test režimu se može direktno zadavati ugao paljenja tiristora. Ovaj režim se koristi tokom ispitivanja. Komandama VIŠE ili NIŽE menja se direktno ugao paljenja tiristora.

Kartica upravljačkih izlaza (KUI) generiše miliamperske impulse za paljenje tiristora. Regulator kanala koji je u radu generiše šest impulsa za paljenje tiristora u trajanju od po 120°. Trenutak za slanje ovih impulsa određen je odgovarajućim uglom paljenja i signalom sinhronizacije. Na kartici upravljačkih izlaza ovi impulsi se pretvaraju u miliamperske signale.

Kartica digitalnih izlaza (KDI) služi za pobuđivanje izvršnih relja. Broj digitalnih izlaza iz regulatora je 22. Digitalni izlazi su sledeći: stanje režima rada (ručno/automatski), stanje upravljanja (lokalno/daljinski), ispunjeni uslovi za start, grupni signal opomene, mašina pobuđena/razbuđena, odrada limitera pobude, lokalno uključanje i isključenje a3, tiristorski most u radu, regulator ispravan. Naponski nivo izlaznih signala je 110 V DC.

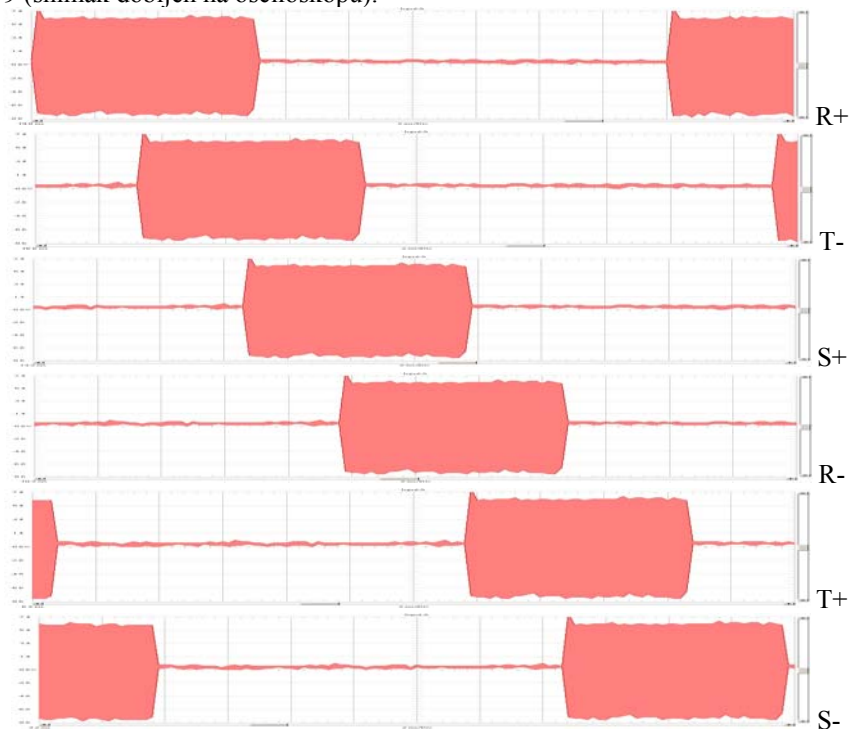
Panel regulatora služi za komandovanje, prikaz merenja i signalizaciju. U okviru panela nalaze se tasteri, LCD displej i LED diode. Preko panela se mogu zadavati

komande za pobuđivanje i razbuđivanje generatora, uključenje i isključenje prekidača a3, izbor režima rada (automatski/ručno/test), izbor kanala u radu, komande "više" i "niže" i RESET.

6. PALJENJE TIRISTORA

Kao izlaz iz regulatora pobude dobija se šest miliamperskih impulsa trajanja 120° , međusobno pomerenih za 60° (slika 7). Na kartici I/U ovi signali se pretvaraju u šest naponskih impulsa. Ovi impulsi se dalje šalju na TU kartice. TU kartica može da prihvati tri impulsa, tako da se za svaki most koriste dve TU kartice. TU kartica svaki impuls pretvara u povorku kratkih impulsa visoke frekvencije i zatim te impulse pojačava. Sa TU kartice impulsi stižu do impulsnih trafoa, koji ih prilagođavaju tiristorima i šalju na gejt i katodu tiristora. Za paljenje tiristora potreban je impuls od 200mA.

Impulsi koji stižu na gejt i katodu svih šest tiristora i njihov položaj su prikazani na slici 9 (snimak dobijen na osciloskopu).



Slika 9: Impulsi za paljenje tiristora

7. ZAŠTITE SISTEMA POBUDE

7.1. Prenaponska zaštita rotora

Prenaponska zaštita štiti rotor i diodni most od prenapona koji se indukuju u pobudnom namotaju u slučaju nesimetričnih kratkih spojeva ili ispada generatora iz sinhronizma. Zaštita je dvosmerna pošto postoji mogućnost pojave naizmjenične

komponente struje u rotoru u asinhronom radu generatora. Prenaponska zaštita rotora je postavljena između prekidača a_1 i rotora generatora i podešena je na 1800V. Sastoji se od: PZ kartice, delitelja napona DNpz, dva antiparalelno vezana tiristora Th1 i Th2 i otpornika Rpz.

Preko antiparalelnih tiristora se, pri pojavi napona većeg od podešene vrednosti, vezuje paralelno sa rotorom generatora otpornik prenaponske zaštite. Jedan tiristor se pali u slučaju pojave pozitivnog prenapona, dok se drugi pali u slučaju pojave negativnog prenapona. Glavni parametri otpornika su sledeći: $0,32\Omega$, 4000V, 3,8kA, 0,5s, 7200kWs.

7.2. Kratkospojna zaštita rotora

Kratkospojna zaštita rotora je koncipirana tako da svojim dejstvom zaštiti diode i brze osigurače od pregorevanja. Ova zaštita je realizovana sledećim komponentama: strujni transformatori 4000/5 u sve tri faze, strujna pretvaračka kartica PS, diskriminaciono-vremenski modul DVMI>>. Zaštita je podešena na vrednost struje $3 \cdot I_{nDM}$ i deluje bez vremenske zadržke.

7.3. Osigurači u tiristorskom mostu

Tiristori se štite od kratkog spoja između faza ili prema masi na naizmeničnoj strani brzim osiguračima koji su vezani na red sa tiristorima. Osigurači imaju karakteristiku: $I^2t = 1600 \text{ kA}^2\text{s}$, dok tiristori mogu da podnesu $I^2t = 2500 \text{ kA}^2\text{s}$. Uz osigurač su postavljeni i mikroprekidači, koji služe za signalizaciju pregorevanja osigurača.

7.4. Termička zaštita od pregrevanja tiristorskog mosta

U slučaju da usled preopterećenja pretvarača ili sprečene cirkulacije vazduha dođe do pregrevanja tiristorskih pretvarača iznad temperature 100°C reagovala termička zaštita. Termička zaštita je realizovana ugradnjom tri mirna termička kontakta koji su ugrađeni u telo hladnjaka pretvarača sa gornje strane i koji su u šemu upravljanja vezani na red.

7.5. Prekostrujna zaštita tiristorskog mosta

Prekostrujna zaštita tiristorskog mosta je koncipirana tako da svojim dejstvom zaštiti tiristore i brze osigurače od pregorevanja. Ova zaštita je realizovana sledećim komponentama: strujni transformatori TAR6-800 u sve tri faze, strujna pretvaračka kartica PS, diskriminaciono-vremenski modul DVMI>>. Zaštita je podešena na vrednost struje $3 \cdot I_{nTM}$ i deluje bez zadržke.

7.6. Zaštita od nesimetrije struja u tiristorskom mostu

Mogući razlozi pojave nesimetrije u tiristorskom ispravljaču su sledeći: pregorevanje osigurača u grani tiristorskog ispravljača, kvar tiristora, kvar u paljenju tiristora. Ova zaštita je realizovana sledećim komponentama: strujni transformatori TAR6-800 u sve tri faze, strujna pretvaračka kartica PS, diskriminaciono-vremenski modul DVMI2>. Zaštita je podešena da prorađuje pri pojavi razlike struje u jednoj fazi u odnosu na srednju vrednost struje sve tri faze od 30% i deluje sa zadržkom od 2s. Odrada zaštite je blokirana kada je srednja vrednost tri struje manja od 40%.

7.7. Zaštita od nestanka napajanja elektronike zaštita tiristorskih ispravljača

Ova zaštita prati prisustvo napona $\pm 15\text{V DC}$ u reku zaštita i paljenja tiristora u sistemu pobude. Zaštita je realizovana u okviru RK relejne kartice.

7.8. Osigurači u diodnom mostu

Diode se štite od kratkog spoja između faza ili prema masi na naizmeničnoj strani brzim osiguračima koji su vezani na red sa njima. sa svakom diodom na red su vezana dva paralelno vezana osigurača. Dva paralelno vezana osigurača imaju karakteristiku: $I^2t = 6600 \text{ kA}^2\text{s}$, dok diode mogu da podnesu $I^2t = 10125 \text{ kA}^2\text{s}$. Uz osigurače su postavljeni i mikroprekidači, koji služe za signalizaciju pregorevanja osigurača.

7.9. Termička zaštita od pregrevanja diodnog mosta

U slučaju da usled preopterećenja pretvarača ili sprečene cirkulacije vazduha dođe do pregrevanja diodnog mosta iznad temperature 105°C reagovaće prvi stepen termičke zaštite. Pri temperaturi većoj od 112°C odrađuje drugi stepen termičke zaštite. Termička zaštita je realizovana ugradnjom po tri mirna termička kontakta za svaki stepen, koji su ugrađeni u telo hladnjaka pretvarača sa gornje strane i koji su u šemu upravljanja vezani na red.

7.10. Delovanje zaštita

Do prelaska sa jednog na drugi pobudni kanal dolazi pri pojavi neispravnosti kanala u radu, dok je kanal u rezervi ispravan. Ukoliko je i kanal u rezervi u kvaru dolazi do ispada sistema pobude i isključenja agregata sa mreže.

Pri odradi zaštita diodnih mostova, sem pregorevanja osigurača u jednom diodnom mostu i prvog stepena termičke zaštite dolazi do ispada sistema pobude i izbacivanje agregata sa mreže.

Prilikom pregorevanja osigurača u jednom diodnom mostu i odrade prvog stepena termičke zaštite zabranjuje se forsiranje i ne dolazi do ispada sistema pobude.

Prenaponska zaštita i kratkospojna zaštita rotora deluju na ispad sistema pobude i izbacivanje agregata sa mreže.

8. KOMANDOVANJE SISTEMOM POBUDE

Komandovanje sistemom pobude obuhvata upravljanje prekidačima, regulatorom pobude i zakretnim transformatorom. Komande se mogu zadavati lokalno, iz ormana pobudnog sistema, ili daljinski iz SCADA sistema.

Mogu se zadavati sledeće komande:

- uključenje i isključenje a1,
- uključenje i isključenje a3,
- uključenje i isključenje a4,
- izbor automatska/rezervna pobuda,
- pobuđivanje generatora,
- razbuđivanje generatora,
- napon više,
- napon niže,
- izbor režima rada,
- izbor mesta komandovanja,
- promena kanala u radu.

9. MERENJA I SIGNALIZACIJA

Merene veličine iz sistema pobude moguće je pratiti na panelu regulatora pobude, u okviru sistema akvizicije pobude, u okviru SCADA sistema agregata i preko mernih instrumenata na vratima ormana sa regulatorom pobude. Omogućen je prikaz sledećih veličina:

- statorski napon i struja generatora,
- snage generatora,
- napon i struja pobude generatora,
- napon i struja pobude glavne budilice,
- napon i struja pomoćne budilice.

Signale iz sistema pobude moguće je pratiti na panelu regulatora pobude, u okviru sistema akvizicije pobude, u okviru SCADA sistema agregata i preko LED dioda. Omogućen je prikaz sledećih signala:

- mašina pobuđena/razbuđena,
- stanje prekidača,
- zaštite tiristorskih mostova,
- zaštite diodnih mostova,
- zaštite rezervne pobude,
- zaštite rotora,
- limiteri pobude,
- režim rada,
- stanje tiristorskih mostova.

10. SISTEM ZA AKVIZICIJU POBUDE

Sistem za akviziciju je zasnovan na industrijskom panel PC računaru PPC-2015 koji poseduje ekran osetljiv na dodir (touch screen), akvizicionom modulu cDAQ-9172 koji prihvata do 16 strujnih analognih signala nivoa $\pm 20\text{mA}$ i do 64 digitalna signala nivoa 24V, kao i od reka u kome se nalaze kartice za kondicioniranje i galvansko odvajanje analognih signala. Softver sistema za akviziciju je razvijen u razvojnom okruženju LabView. Komunikacija sa korisnikom je omogućena preko ekrana osetljivog na dodir panel PC računara.

Softver za akviziciju omogućava grafički prikaz trenutnih ili efektivnih vrednosti faznih napona i struja generatora kao i pomoćne budilice, napone i struje pobude generatora i glavne budilice kao i aktivnu reaktivnu i prividnu snagu generatora. Takođe, omogućeno je i numeričko prikazivanje ovih veličina. Pored analognih, prate se i 54 digitalna signala koji se prikazuju u obliku hronološke liste događaja. Ova lista se snima u fajl koji je moguće otvoriti programom EXEL radi kasnije analize. Softver za akviziciju omogućava i snimanje svih analognih veličina, sa učestanošću odabiranja od 1kHz, u poseban fajl pri pojavi tzv. trigera. Trigger može da aktivira nagla promena efektivne vrednosti faznih napona generatora ili nagla promena napona pobude. Pored toga, moguće je aktivirati snimanje i kada neka od analognih veličina dostigne unapred podešeni nivo. Pored analognih, trigger se može aktivirati i pojavom odgovarajućih digitalnih signala kao što su signali zaštite, alarmi i opomene. Softver omogućava i prikaz jednopolne šeme sistema pobude sa trenutnim stanjem prekidača i rastavljača kao i numeričkim prikazom osnovnih analognih veličina.

11. ZAKLJUČAK

Rekonstrukcijom sistema pobude na generatoru bloka A4 u TE "Nikola Tesla A" povećana je pogonska spremnost sistema pobude i smanjena mogućnost ispada bloka usled kvara na sistemu pobude. Ugradnjom dva nova tiristorska mosta koja mogu da podnesu znatno veće opterećenje od starih mostova omogućen je rad sistema pobude sa samo jednim tiristorskim mostom, dok drugi most predstavlja toplu rezervu mostu u radu. Ovim je eliminisana pojava nesimetrije među tiristorskim mostovima u paralelnom radu i omogućen je automatski prelaz na rezervni most u slučaju kvara na mostu koji je u radu bez ispada bloka.

Ugradnjom 2 diodna mosta sa napred datim tehničkim karakteristikama umesto 12 paralelnih diodnih mostova povećana je pogonska spremnost agregata i olakšano održavanje sistema pobude.

Zadržavanjem postojećeg rezervnog sistema pobude glavne budilice obezbeđena je autonomna redundancija što dodatno obezbeđje sigurnost u eksploataciji agregata.

LITERATURA

- [1] Z. Ćirić, I. Stevanović, Đ. Stojić, Rekonstrukcija sistema pobude generatora br.5 u TE "Nikola Tesla A" - Obrenovac, 2004.
- [2] Z. Ćirić, I. Stevanović, Đ. Stojić, J. Dragosavac, S. Josifović, Tiristorski sistem pobude za sinhronu generatore A i B snage 54 MVA u HE "Bistrica", 2001.
- [3] A. A. Бурмистров, А. Г. Логинов, В. А. Хлямов, Сборник Электросила - Выбор параметров регулятора напряжения и системного стабилизатора по частотным характеристикам, 2001.
- [4] Z. Ćirić, D. Joksimović, M. Ilić, *JUKO CIGRE* – "Rekonstrukcija sistema pobude generatora A2 u TE-TO "Novi Sad", 2007.
- [5] SEMICRON Catalogue, 2006.
- [6] IEC 34-1: Rotating electrical machines, Geneve, Suisse, 1983.

Abstract: In this paper the reconstruction of the excitation system for A4 unit in the TPP "Nikola Tesla A" is presented. The main parameters of the excitation system, power and control part of the excitation system, thyristor ignition system, acquisition system, protection, measuring and signalling are reported.

Key words: *excitation system, thyristor bridge, diode bridge, digital regulator, reliability*

RECONSTRUCTION OF THE EXCITATION SYSTEM FOR A4 UNIT IN THE TPP "NIKOLA TESLA A"

Zoran Ćirić, Đorđe Stojić, Dušan Joksimović, Nemanja Miložić, Dušan Arnautović