

REKONSTRUKCIJA SISTEMA POBUDE BLOKA 1 U TE "NIKOLA TESLA A"

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

Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd

Kratak sadržaj: U radu je opisana rekonstrukcija sistema pobude generatora bloka 1 u TE "Nikola Tesla A" u okviru remonta bloka 2009. godine. Navedeni su osnovni parametri sistema pobude, opisan je energetski deo, regulacija sistema pobude, paljenje tiristora, akvizicioni sistem, zaštite, upravljanje, merenja i signalizacija.

Ključne reči: pobudni sistem, tiristorski most, digitalni regulator, akvizicija, pouzdanost

1. UVOD

Tiristorski sistem pobude bloka 1 u TE "Nikola Tesla A" predstavlja regulisani izvor napajanja pobudnog namotaja sinhronog turbogeneratora. Stari sistem je bio u upotrebi preko 30 godina, zbog čega su pojedine komponente sistema pri kraju životnog veka. Iz tog razloga i usled tehnološke zastarelosti, urađena je njegova rekonstrukcija.

Postojeći regulator pobude i tiristorski mostovi zamenjeni su sa dva nezavisna identična pobudna kanala, pri čemu je uvek u radu samo jedan kanal i on zadovoljava sve predviđene režime rada, uključujući i forsiranje. U slučaju kvara na aktivnom kanalu pobude automatski se prelazi na drugi kanal bez ispada agregata. Na taj način postiže se potpuna rezerva i značajno povećava pouzdanost sistema pobude. Pored tiristorskog na raspolaganju je i rezervni mašinski sistem pobude, koji je nezavistan u odnosu na tiristorski sistem. Na ovaj rezervni sistem se ne prelazi automatski, već u slučaju potpunog otkazivanja oba tiristorska pobudna kanala.

Svaki kanal se sastoji iz upravljačkog dela sa digitalnim regulatorom pobude i energetskog dela sa jednim tiristorskim mostom. Kako je u radu samo jedan tiristorski most, eliminisana je pojava nesimetričnog opterećenja tiristorskih mostova koji su u paralelnom radu. Tiristorski mostovi pretvaraju trofazni naizmenični napon u jednosmerni napon, čija se vrednost može regulisati uglom paljenja tiristora. Regulator upravlja tiristorskim mostom tako što formira šest impulsa za paljenje tiristora sa određenim uglom paljenja, koji se dobija kao krajnji rezultat svih regulacionih funkcija realizovanih u okviru regulatora. Osnovna regulaciona funkcija je automatska regulacija statorskog napona generatora. Promenama ugla paljenja tiristora menja se napon na izlazu iz tiristorskog mosta, odnosno pobudni napon generatora, a od koga zavise pobudna struja i statorski napon.

2. OSNOVNE FUNKCIJE SISTEMA POBUDE

Sistem pobude obezbeđuje sledeće funkcije:

- dvokanalno napajanje pobudnog namotaja (namotaja rotora) sinhronog turbogeneratora iz tiristorskih mostova potrebnom pobudnom strujom u svim

dozvoljenim stacionarnim i prelaznim režimima rada generatora u induktivnoj i kapacitivnoj oblasti rada,

- pobuđivanje generatora u automatskom i ručnom režimu regulacije na zadatu vrednost praznog hoda,
- podešavanje napona statora prema naponu mreže u toku procesa sinhronizacije i povezivanje generatora na mrežu,
- automatska regulacija napona statora prema zadatoj referentnoj vrednosti napona statora uz kompenzaciju po reaktivnom opterećenju prema podešenom statizmu, odnosno regulacija napona generatora po zadatoj karakteristici napon-reaktivna snaga,
- automatsko ograničenje rada generatora u oblasti dozvoljenih termičkih napreznja statora i rotora prema pogonskoj karti realizovano preko limitera,
- ručna regulacija struje pobude prema zadatoj referentnoj vrednosti struje pobude,
- praćenje i automatski prelaz sa automatske na ručnu regulaciju pobude pri nestanku merenja statorskog napona generatora,
- test režim,
- praćenje i automatski prelaz sa jednog na drugi kanal pri kvaru aktivnog kanala,
- forsiranje pobude sa zadatim koeficijentom forsiranja po struji pobude pri sniženju napona na sabirnicama generatora usled poremećaja u elektroenergetskom sistemu,
- razbuđivanje generatora invertovanjem tiristora pri normalnom zaustavljanju,
- razbuđivanje generatora u havarijskim režimima prekidačem za gašenje polja,
- lokalno i daljinsko upravljanje sistemom pobude (iz centralne i lokalne komande),
- zaštite sistema pobude,
- merenja i signalizacija,
- formiranje hronološke liste događaja,
- snimanje analognih signala pri ispunjenju uslova za trigger.

3. PARAMETRI SISTEMA POBUDE

Sistem pobude ima sledeće osnovne parametre:

• Nominalna pobudna struja:	1930A
• Nominalni pobudni napon:	424V
• Maksimalno dozvoljena trajna pobudna struja:	2100A
• Pobudni napon pri maks. dozvoljenoj trajnoj pobudnoj struji:	462V
• Pobudna struja u p.h. generatora pri nom. statorskom naponu:	720A
• Pobudni napon u p.h. generatora pri nom. statorskom naponu:	158V
• Koeficijent forsiranja:	1.6
• Dozvoljeno vreme trajanja forsiranja:	10s
• Pobudna struja generatora u režimu forsiranja:	3088A
• Pobudni napon generatora u režimu forsiranja:	678V
• Napon napajanja tiristorskih mostova:	735V, 50 Hz
• Maksimalni pobudni napon:	992V
• Opseg podešenja napona generatora:	80% - 120%
• Opseg podešenja statizma karakteristike napon-reaktivna snaga:	-20% - +20%
• Jednosmerni pomoćni napon:	220V
• Naizmenečni pomoćni napon:	220V, 50Hz

4. ENERGETSKI DEO

Tiristorski sistem pobude je nezavisnog tipa. Pobudni rotorski namotaj generatora se napaja iz 6kV postrojenja preko pobudnog transformatora 6,3kV/735V i jednog od dva paralelno vezana tiristorska mosta.

Blok šema energetskog dela sistema pobude je prikazana na slici 1. Prilikom rekonstrukcije zamenjeni su: tiristorski mostovi TM1 i TM2, antiparalelni tiristori prenaposnske zaštite Thpz1 i Thpz2 i ugrađeni su rastavljači Q1 i Q2. Zadržani su prekidač za gašenje polja sa iskrištem i otpornikom, rezervni mašinski sistem pobude, otpornik prenaposke zaštite Rpz, transformator tiristorske pobude PT, prekidač tiristorske pobude 2a1 i prekidač mašinske pobude 1a1.

Pri radu tiristorske pobude potrebno je da bude uključen prekidač 2a1, a isključen prekidač 1a1, dok je pri radu mašinske pobude prekidač 2a1 isključen, a uključen je prekidač 1a1. Prekidači 1a1 i 2a1 su međusobno blokirani, odnosno ne mogu se uključiti istovremeno.

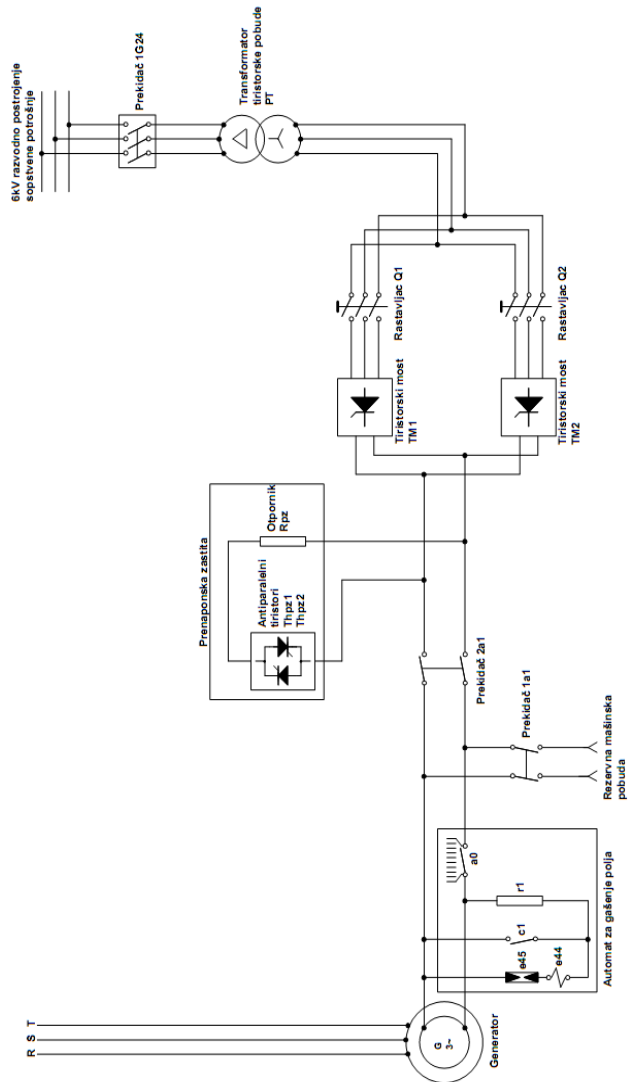
Tiristorski mostovi se napajaju iz 6kV postrojenja sopstvene potrošnje preko prekidača 1G24 i pobudnog transformatora. Tiristorski most TM1 sa rastavljačem Q1 pripada prvom kanalu pobude i njime upravlja regulator REG1, dok tiristorski most TM2 sa rastavljačem Q2 pripada drugom kanalu i njime upravlja regulator REG2. Tiristorski mostovi su trofazni, punoupravljivi sa radom u ispravljačkoj i invertorskoj oblasti. Regulator pobude upravlja tiristorskim mostom tako što formira šest impulsa za paljenje tiristora sa određenim uglom paljenja od koga zavisi jednosmerni napon na izlazu iz tiristorskog mosta, odnosno pobudni napon generatora. Jedan tiristorski most je uvek blokirani, tj. ne dobija impulse za paljenje na gejtoanima 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, što pruža visok stepen rezerve.

Tiristori se štite od kratkog spoja između faza ili prema masi na naizmeničnoj strani brzim osiguračima koji su vezani na red sa tiristorima. 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. Pri pregorevanju osigurača ili odradi termičke zaštite dolazi do ispada tiristorskog mosta i prelaska na drugi pobudni kanal, ako je ispravan. Ako drugi kanal nije ispravan dolazi do ispada sistema pobude i agregata.

Rastavljači Q1 i Q2 omogućavaju razdvajanje paralelno vezanih tiristorskih mostova pri ispitivanjima ili u slučaju kvarova. Na primer, u slučaju kratkog spoja u jednom tiristorskom mostu, isključenjem rastavljača tog mosta, drugi tiristorski most može nesmetano da radi.

Između tiristorskih mostova i rotora se nalazi prekidač tiristorske pobude 2a1 i prekidač za gašenje polja. U slučaju odrade zaštita isključuje se jednopolni prekidač a0 sa komorom za gašenje luka i paralelno sa rotorom se preko c1 vezuje otpornik za razbuđivanje generatora r1 na kome se disipira energija rotora. Pri pojavi prenapona na rotoru odraduje iskrište, koje takođe povezuje r1 paralelno sa rotorom. Pored iskrišta postoji i prenaponska zaštita sa antiparalelnim tiristorima i otpornikom. Prilikom pojave

napona na rotoru, koji je veći od podešene vrednosti prenaponske zaštite, antiparalelni tiristori dobijaju impuls za paljenje i paralelno sa rotorom vezuju otpornik r2. Pri normalnom razbuđivanju (bez odrade zaštita) generator se razbuđuje invertovanjem tiristora (negativan napon na DC strani tiristorskog mosta) nakon silaska generatora sa mreže.



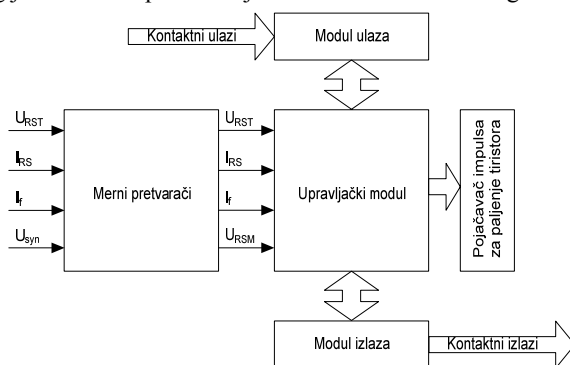
Slika 1. Blok šema sistema pobude generatora bloka A1 u TE „Nikola Tesla A”

5. UPRAVLJAČKI DEO

U okviru upravljačkog dela pobudnog sistema realizovane su regulacione funkcije, merenja, zaštite, upravljanje, nadzor i komunikacija sa drugim sistemima i uređajima u elektrani. Glavni elementi upravljačkog dela su: dva regulatora, dva uređaja za paljenje tiristora i zaštite tiristorskih mostova i akvizicija. Svaki pobudni kanal ima svoj regulator i uređaj za paljenje tiristora i zaštitu tiristorskih mostova. Takođe, upravljački deo sistema pobude sadrži i pomoćne elemente za napajanje, merenja i signalizaciju.

5.1. Regulator

Glavni upravljački deo sistema pobude realizovan je u okviru digitalnog regulatora pobude, kojim upravlja DSP mikrokontroler. Mikrokontroler omogućava objedinjavanje širokog spektra upravljačkih funkcija, funkcija zaštite, merenja i signalizacije. U cilju povećanja pouzdanosti rada sistema pobude koriste se dva digitalna regulatora pobude sa identičnim funkcijama pri čemu je jedan u radu, a drugi je topla rezerva. Paralelan rad jedinica realizovan je tako da u slučaju kvara na nekoj od komponenata aktivnog kanala, drugi kanal automatski preuzima sve upravljačke funkcije, bez prekida procesa proizvodnje električne energije. Na slici 2. prikazana je blok šema elektronike regulatora.



Slika 2. Blok upravljačke elektronike

Regulacija se vrši obradom ulaznih analognih i digitalnih signala, i generisanjem izlaznih upravljačkih signala za paljenje tiristora ispravljačkih mostova.

Upravljačka elektronika se sastoji iz sledećih modula:

1. **Merni pretvarači** galvanski izoluju, filtriraju i kondicioniraju merne signale neophodne za realizaciju regulacionih funkcija regulatora. Naponski naizmenični signali su normirane vrednosti od 100V, a strujni normirane vrednosti 5A. Prilagođeni signali se šalju na upravljački modul, i to sledeće veličine: naponi statora, struje statora, napon sinhronizacije i struja pobude.
2. **Modul digitalnih ulaznih signala** prihvata 24VDC kontaktne signale i prilagođava ih upravljačkom modulu. U regulator se dovode signali zaštita, stanje rasklopne opreme sistema pobude, stanja mrežnog i generatorskog prekidača, informacija o brzini agregata, daljinske komande od SCADA sistema i sinhronizatora.

3. **Upravljački modul** baziran je na digitalnom signalnom procesoru.. Na njemu su realizovane regulacione, upravljačke, zaštitne, signalizacione i merne funkcije neophodne za rad pobudnog sistema. U okviru upravljačkog modula realizovane su sledeće funkcije:
 - Uključenje i isključenje prekidača za demagnetizaciju,
 - Pobuđivanje generatora,
 - Razbuđivanje generatora,
 - Automatska regulacija napona generatora,
 - Ručna regulacija struje pobude,
 - Test režim,
 - Automatsko praćenje aktivnog regulatora,
 - Limiteri,
 - Forsiranje,
 - Zaštitne funkcije,
 - Komunikacija sa drugim sistemima u elektrani.
4. **Modul digitalnih** izlaza prihvata digitalne izlazne signale upravljačkog modula i pretvara ih u 24VDC signale, koji deluju na releje. Sa kontakata releja ovi signali se prosleđuju ka okruženju regulatora. Regulator formira sledeće digitalne izlaze: automatski/ručni režim rada, daljinsko/lokalno upravljanje, opomene, odrada limitera, mašina pobuđena/razbuđena, ispunjeni uslovi za start, neuspelo pobuđivanje, kanal u radu, kanal ispravan, forsiranje u toku, nestanaka statorskog napona, nestanak sinhronizacionog napona i kvar regulatora
5. **Modul za generisanje impulsa** formira impulse za paljenje tiristora na osnovu izlaza iz upravljačkog modula i signala sinhronizacije. Regulacione funkcije realizovane su generisanjem impulsa za paljenje tiristora sa odgovarajućim uglom paljenja. Ugao paljenja tiristora određuje struju tiristorskog mosta, odnosno struju pobude, a preko nje se reguliše napon statora.
6. **Upravljački panel** sadrži dvoredni LCD displej sa 2x16 karaktera, LED diode i tastere. Sa upravljačkog panela se mogu zadavati sve komande za upravljanje sistemom pobude. Takođe, mogu se menjati i vrednosti nekih od parametara. Na panelu se može očitati stanji svih signala, parametara i merenja relevantnih za rad pobude.

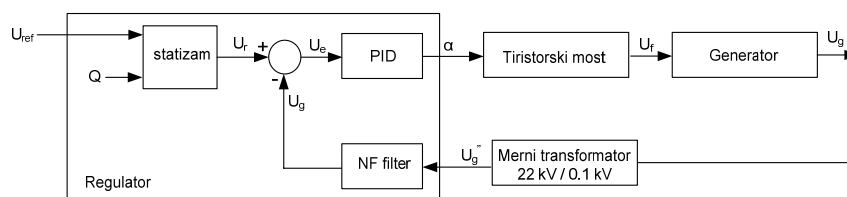
Povezivanjem regulatora sa PC računarom preko serijskog RS232 porta preko programa REG za komunikaciju podešavaju se svi parametri regulatora. Potrebno je na PC računaru instalirati program REG za komunikaciju. U okviru ovog programa mogu se očitavati trenutne vrednosti merenja i stanje ulaznih i izlaznih digitalnih signala.

5.1.1. Automatska regulacija napona generatora

Automatska regulacija predstavlja realizaciju regulatora statorskog napona sinhronne mašine i to je režim koji je realizovan kao osnovni režim rada uređaja. Naponski regulator generiše referencu statorskog napona koja odgovara zadatoj vrednosti napona, koja se menja komandama "Više" i "Niže" i trenutnoj vrednosti reaktivne snage, što je definisano karakteristikom napon-reaktivna snaga. Nagib ove karakteristike odgovara podešenim vrednostima statizma za kompenzaciju po reaktivnoj snazi. Statizam je podesiv u opsegu $\pm 10\%$. Komandama "Više" i "Niže" podiže se i spušta ova karakteristika, što za posledicu ima povećavanje ili smanjivanje napona generatora. Za pozitivnu vrednost statizma napon

generatora raste sa porastom reaktivne snage i obrnuto. Regulator održava napon generatora na vrednost reference sa tačnošću $\pm 0,5\%$. Proračun aktivne i reaktivne snage je realizovan na osnovu merenja trenutnih vrednosti napona i struja statora.

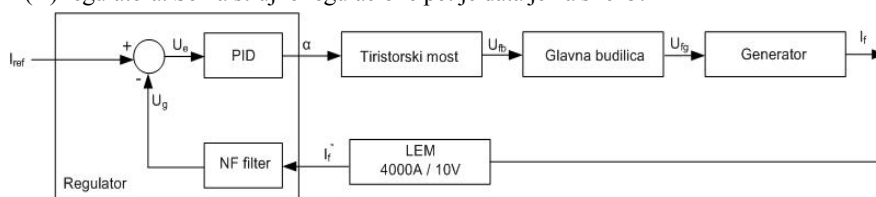
Upravljanje naponom generatora vrši se pomoću digitalnog PI(D) upravljačkog zakona. Maksimalna i minimalna referenca napona određena je pogonskim dijagramom generatora. Šema sistema za automatsko upravljanje naponom generatora u zatvorenoj povratnoj sprezi data je na slici 4.



Slika 4. Blok šema automatskog regulatora napona

5.1.2. Rezervna regulacija struje pobude

Kada je aktivna rezervna regulacija, regulator održava struju pobude na vrednost zadate reference struje sa tačnošću $\pm 0,5\%$. U rezervnu regulaciju moguće je preći u praznom hodu, kao i tokom rada na mreži. Iz automatske u rezervnu regulaciju se prelazi automatski pri nestanku merenja napona statora. Prilikom rada rezervnog regulatora, vrši se direktno upravljanje strujom pobude komandama Više i Niže, kojima se povećava ili smanjuje referenca rotorske struje. Zakon upravljanja realizovan je korišćenjem digitalnog PI(D) regulatora. Šema strujne regulacione petlje data je na slici 5.



Slika 5. Blok šema rezervnog regulatora pobudne struje

5.1.3. Test režim

Test režim omogućava direktno upravljanje tiristorskim mostom preko podešavanja ugla na gejtu. Naime, u test režimu je moguće direktno zadavati ugao paljenja tiristorskih mostova. U Test režimu je moguće ući na razbuđenoj mašini. Pritiskom na tastere Više i Niže direktno se menja vrednost ugla paljenja tiristorskog mosta (što se može pratiti na displeju regulatora).

5.1.4. Pobuđivanje generatora

Ukoliko su ispunjeni uslovi za pobuđivanje, moguće je započeti proces pobuđivanja generatora, zadavanjem komande za pobuđivanje aktivnom kanalu pobude. Zadavanjem ove komande regulator uključuje ventilatore tiristorskih mostova kanala koji je u radu. U automatskom režimu rada tokom pobuđivanja napon statora generatora se regulisano vodi

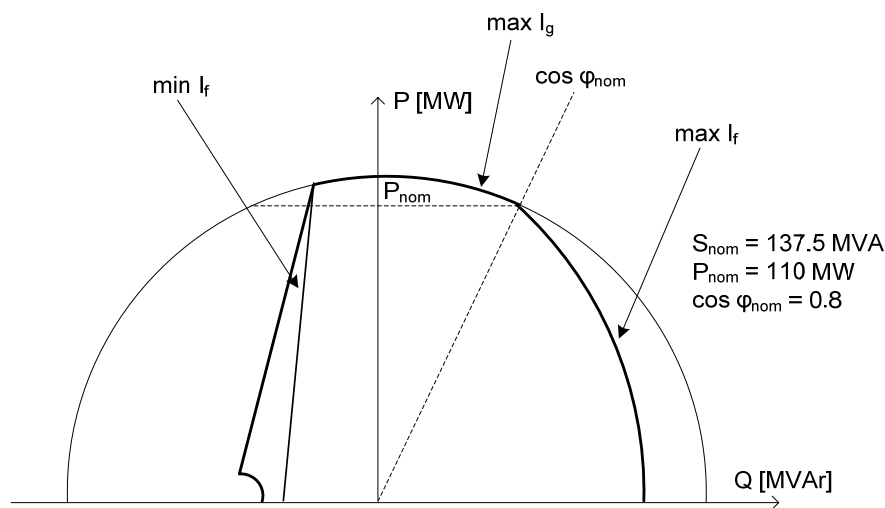
na zadatu referentnu vrednost statorskog napona praznog hoda. U rezervnom režimu rada tokom pobuđivanja struja pobude generatora se regulisano vodi na zadatu referentnu vrednost struje pobude u praznom hodu. U test režimu komanda za pobuđivanje nema efekta. Nakon pobuđivanja komandama "Više" i "Niže" iz sinhronizatora napon generatora se izjednačava sa naponom mreže. Pošto je generator pripremljen za sinhronizaciju u praznom hodu, moguće je izvršiti povezivanje generatora na mrežu.

5.1.5. Limiteri

Limiter maksimalne struje pobude definisan je krivom **max If** u pogonskom dijagramu generatora na slici 6. Limiter maksimalne struje pobude sprečava porast struje rotora generatora iznad maksimalne dozvoljene vrednosti. Realizovan je kao blok koji deluje na smanjenje reference u trenutku kada struja rotora prekorači zadatu vrednost (radna tačka generatora (P,Q) se nalazi desno od krive **max If**) i deluje sve dok se ona ne smanji ispod te vrednosti.

Limiter minimalne struje pobude definisan je pravom **min If** u pogonskom dijagramu generatora na slici 6. U slučaju da radna tačka (P,Q) generatora ode levo od prave limitera, sprečava se dalje smanjivanje pobude. Realizovan je kao blok koji deluje na povećanje reference u trenutku kada se radna tačka generatora (P,Q) nade levo od prave **min If** i deluje sve dok se ona ne vrati u dozvoljenu oblast rada.

Limiter maksimalne struje statora definisan je polukružnicom **max Ig** u pogonskom dijagramu generatora na slici 6, koja definiše parove maksimalnih vrednosti aktivne i reaktivne snage. U slučaju da tačka režima rada ode izvan zadate polukružnice, sprečava se dalji porast pobude generatora. Realizovan je kao blok koji deluje na smanjenje reference u trenutku kada struja statora prekorači zadatu vrednost (radna tačka generatora (P,Q) se nalazi iznad polukružnice **max Ig**) i deluje sve dok se ona ne smanji ispod te vrednosti.



Slika 6. Pogonski dijagram sinhronne mašine

5.1.6. Forsiranje

U režim forsiranja može se ući sa aktivnim automatskim regulatorom pobude pri radu generatora na mreži, ukoliko napon generatora padne ispod 70% nominalne vrednosti. U režimu forsiranja prelazi se u rezervnu regulaciju, gde se za referencu rotorske struje zadaje nominalna vrednost struje pobude pomnožena podešenim faktorom forsiranja. Iako je pri forsiranju nizak napon na ulasku u tiristorske mostove, sistem pobude može da napoji rotor sa strujom dvostruko većom od nominalne pri naponu napajanja od 70% nominalne vrednosti, čime utiče na tranzijentnu stabilnost elektroenergetskog sistema. Režim forsiranja se isključuje kada se statorski napon generatora vrati na nominalnu vrednost i može da traje najviše 10 sekundi. Nakon forsiranja sledeće forsiranje je zabranjeno narednih 20 minuta.

5.1.7. Razbuđivanje generatora

Razbuđivanje generatora pri normalnom zaustavljanju se može pokrenuti nakon isključenja generatora sa mreže zadavanjem komande za razbuđivanje. Ova komanda nema efekta kada je generator na mreži. U toku razbuđivanja tiristorski mostovi ulaze u invertorski režim rada.

Brzo razbuđivanje generatora vrši se isključenjem prekidača za demagnetizaciju. Prekidač za demagnetizaciju se automatski isključuje pri pojavi zaštita sistema pobude i pri odradi zaštita agregata. Isključenje prekidača za demagnetizaciju može se izvršiti istovremeno i sa lokalne i sa daljinske komande, nezavisno od izbora mesta upravljanja kao sigurnosna mera, u slučaju potrebe za trenutnim isključenjem uređaja.

5.1.8. Zaštitne funkcije regulatora

U okviru regulatora su realizovane sledeće zaštitne funkcije:

- kontrola napajanja regulatora
- kontrola prisustva signala sinhronizacije
- kontrola prisustva merenja napona statora
- neuspelo početno pobuđivanje
- samonadzor regulatora

Nestanak napajanja označava ispad regulatora i ukoliko je regulator bio aktivan dolazi do prelaska na drugi pobudni kanal, ako je ispravan. Ako drugi kanal nije ispravan dolazi do ispada sistema pobude.

Nestanak sinhronizacije u trajanju od 200ms (10 perioda) označava ispad regulatora i ukoliko je regulator bio aktivan dolazi do prelaska na drugi pobudni kanal, ako je ispravan. Ako drugi kanal nije ispravan dolazi do ispada sistema pobude.

Pad vrednosti merenja statorskog napona ispod 30% nominalne vrednosti kada je mašina pobuđena dovodi do prelaska iz automatskog režima rada regulatora u rezervni režim rada.

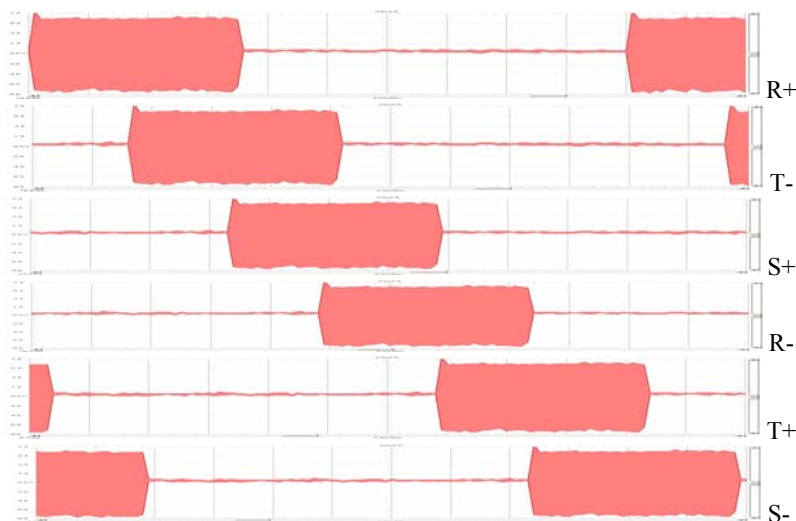
Ukoliko nakon davanja naloga za pobuđivanje napon statora ne dostigne 70% podešene referentne vrednosti nakon 10s odraduje neuspelo početno pobuđivanje i dolazi do isključenja AGPa.

Samonadzor regulatora je zasnovan na principu Watchdog tajmera, čija odrada označava neispravan rad upravljačke elektronike. Pojava signala označava ispad regulatora

pobude i ukoliko je regulator bio aktivan dolazi do prelaska na drugi pobudni kanal, ako je ispravan. Ako drugi kanal nije ispravan dolazi do ispada sistema pobude.

5.2. Paljenje tiristora

Impulsi koji stižu na gejt i katodu svih šest tiristora i njihov položaj su prikazani na slici 15 (snimak dobijen na osciloskopu).



Slika 13. Impulsi za paljenje tiristora

Kao izlaz iz regulatora pobude dobija se šest miliamperskih impulsa trajanja 120° , međusobno pomerenih za 60° . 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.

5.3. Zaštite tiristorskih mostova

Prekostrujna zaštita tiristorskog mosta je koncipirana tako da svojim dejstvom zaštiti tiristore i brze osigurače od pregorevanja. Zaštita je podešena na vrednost struje $3 \cdot I_{nTM}$ i deluje bez zadržke. Zaštita deluje na ispad sistema pobude i agregata.

Zaštita od nesimetrije u tiristorskom mostu je podešena da prorađuje pri pojavi razlike struje u jednoj fazi u odnosu na srednju vrednost struje sve tri faze od 50% i deluje sa zadržkom od 2s. Mogući razlozi pojave nesimetrije u tiristorskom ispravljaču su sledeći: pregorevanje osigurača u grani tiristorskog ispravljača, kvar tiristora, kvar u paljenju tiristora. Odrada zaštite je blokirana kada je srednja vrednost tri struje manja od 40%. Odrada ove zaštite označava ispad tiristorskog mosta i dovodi do prelaska na drugi pobudni kanal, ako je ispravan. Ako drugi kanal nije ispravan dolazi do ispada sistema pobude i agregata.

Kontrola napajanja u reku zaštita i paljenja tiristora u sistemu pobude je realizovana prati napone napajanja +15VDC i -15VDC. Nestanak ovih napona označava ispad tiristorskog mosta i dovodi do prelaska na drugi pobudni kanal, ako je ispravan.

Ako drugi kanal nije ispravan dolazi do ispada sistema pobude i agregata.

5.4. Zaštite pobudnog transformatora

Realizovane su sledeće zaštite pobudnog transformatora:

- prekostrujna zaštita
- kratkospojna zaštita
- Buhole - II stepen
- termička zaštita (kontaktni termometar) - II stepen

Ove zaštite deluju na ispad sistema pobude i agregata.

5.5. Sistem za akviziciju pobude

Akvizicioni sistem omogućava monitoring i analizu eventualnih poremećaja u radu pobudnog sistema. Akvizicioni sistem ima mogućnost prihvata 16 analognih i 64 digitalnih signala. Učestanost odabiranja analognih signala je 10kHz. Rad sistema je nezavisan, odnosno ne utiče na rad sistema pobude. Komunikacija sa korisnikom je omogućena preko ekrana osetljivog na dodir panel PC računara.

Akvizicija omogućava praćenje i snimanje analognih ulaznih veličina. Snimanje relevantnih veličina u odgovarajuće datoteke se vrši automatski pri pojavi odgovarajućih digitalnih signala ili pri pojavi tzv. trigera. Trigger se aktivira ukoliko neka od unapred definisanih analognih veličina pređe donju ili gornju podešenu vrednost. Snimanje relevantnih veličina je moguće inicirati i ručno. Omogućen je takođe i pregled i analiza dobijenih snimaka analognih signala. Na osnovu merenih veličina akvizicioni sistem računa prividnu, aktivnu i reaktivnu snagu generatora. Snimanje analognih signala se vrši u fajlove sa ekstenzijom *tdms*, pri čemu je omogućena i konverzija fajlova u druge formate (*txt*, *ascii* i *sl.*). Takođe, akvizicioni sistem prati i digitalne ulazne signale. Promene digitalnih signala se beleže i smeštaju u poseban fajl za svaki dan. Hronološka lista događaja omogućava pregled poslednjih 1000 promena digitalnih signala.

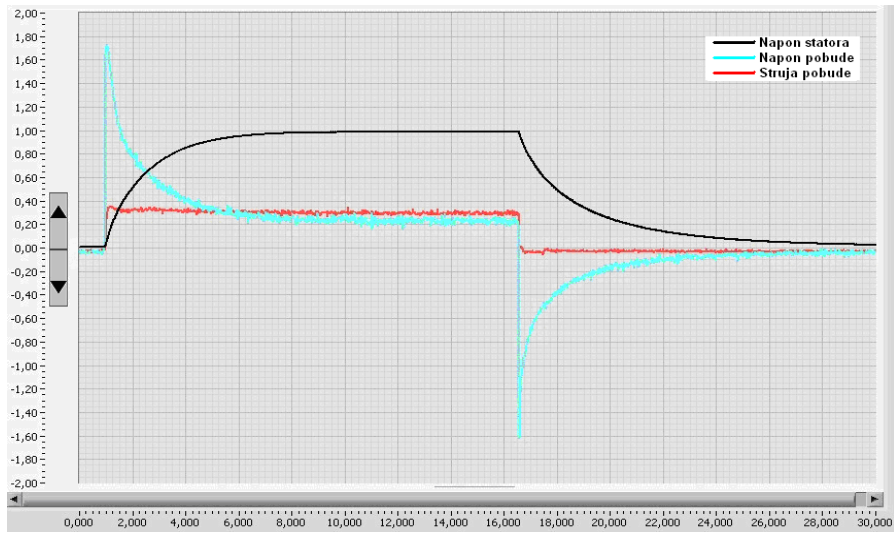
5.6. Upravljanje, merenja i signalizacija

Upravljanje sistemom pobude obuhvata komandovanje prekidačima i regulatorom pobude. Komande se mogu zadavati lokalno sa komandnog panela regulatora ili daljinski iz SCADA sistema.

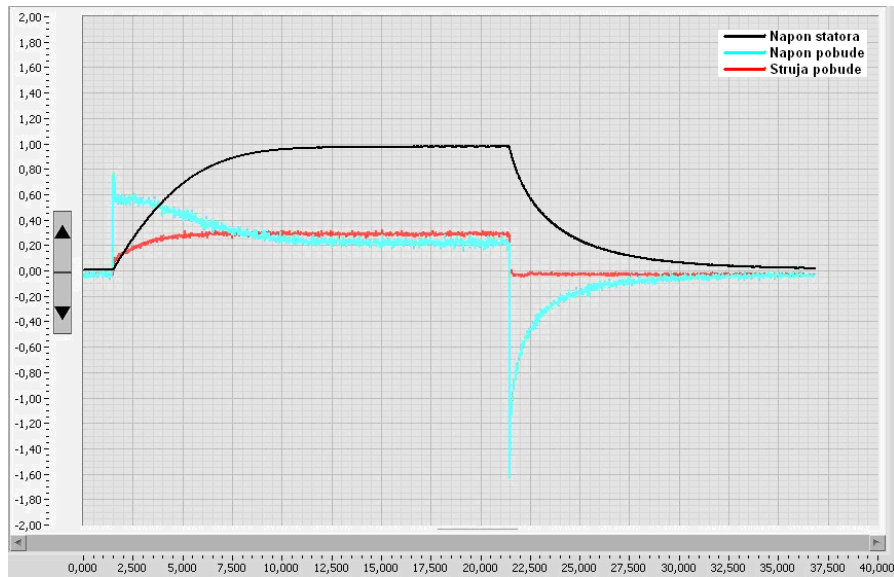
Merene veličine i signale relevantne za rad sistema pobude moguće je pratiti na panelu regulatora pobude, u okviru sistema akvizicije pobude, u okviru SCADA sistema agregata i preko mernih instrumenata na vratima ormana sa regulatorom pobude.

6. DINAMIČKI ODZIVI SISTEMA POBUDE

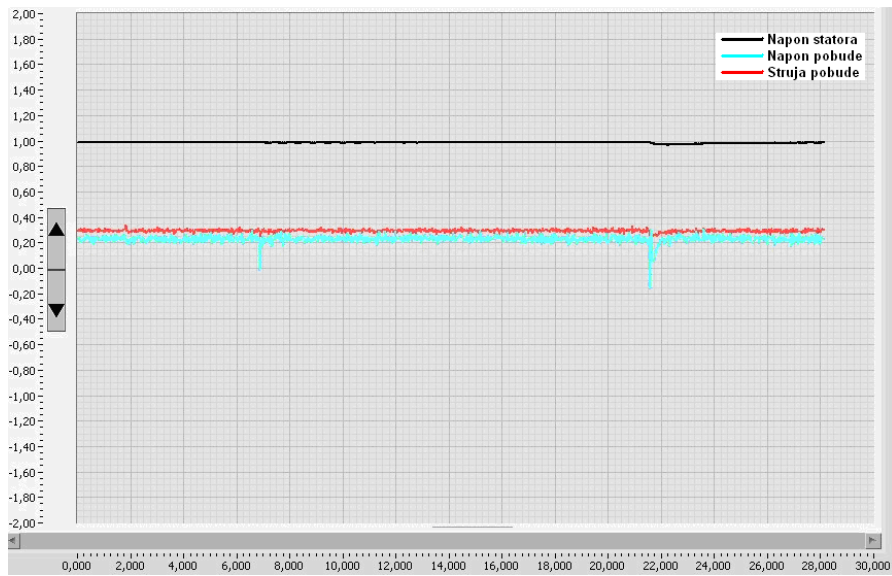
Na narednim slikama su prikazani snimci dinamičkih odziva sistema pobude generatora A1 u TE "Nikola Tesla" načinjeni pri puštanju u rad sistema pobude.



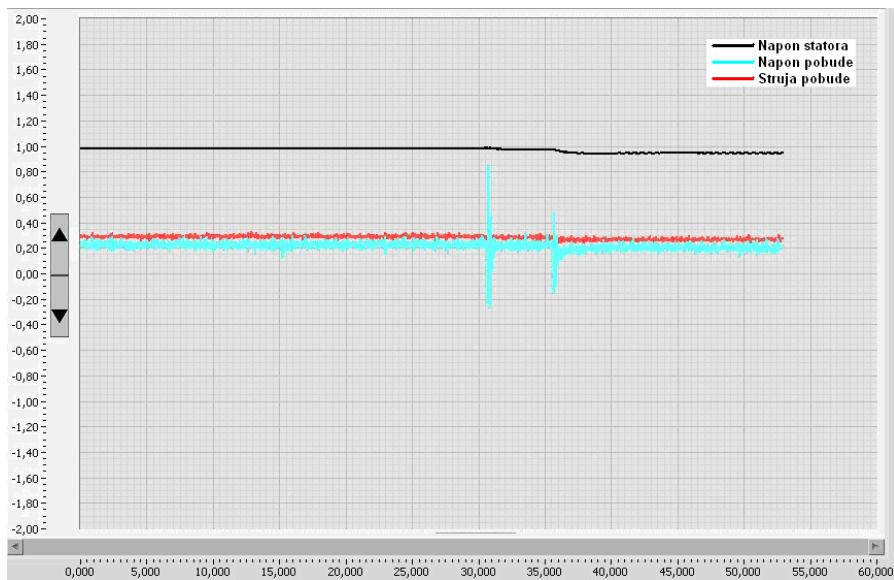
Slika 7. Pobuđivanje i razbuđivanje generatora u automatskoj regulaciji



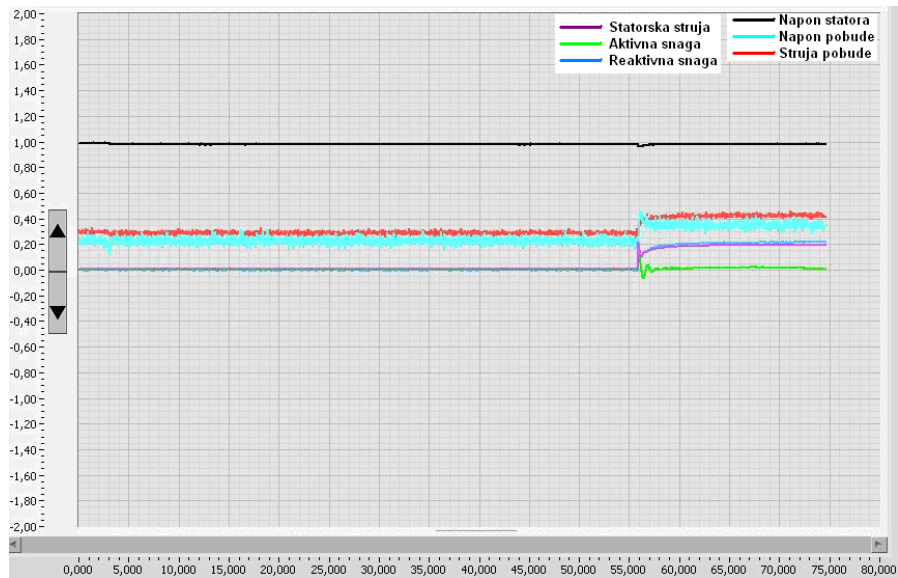
Slika 8. Pobuđivanje i razbuđivanje generatora u rezervnoj regulaciji



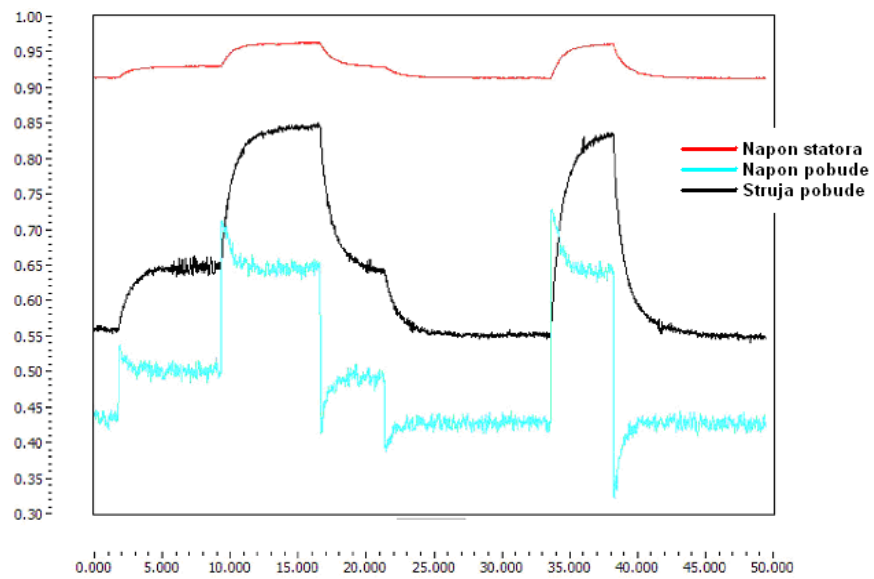
Slika 9. Prelazak sa kanala 1 na kanal 2 i sa kanala 2 na kanal 1 u automatskoj regulaciji usled simuliranog delovanja zaštite u aktivnom kanalu



Slika 10. Prelazak sa automatske na rezervnu regulaciju i prelazak sa kanala 1 na kanal 2 i kanala 2 na kanal 1 u rezervnoj regulaciji



Slika 11. Sinhronizacija generatora na mrežu



Slika 12. Odziv sistema pobude u automatskom režimu rada regulatora na step promenu reference napona statora

7. ZAKLJUČAK

Rekonstrukcijom sistema pobude na generatoru bloka A1 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. Zadržavanjem postojećeg rezervnog mašinskog sistema pobude obezbeđena je autonomna rezerva što dodatno obezbeđuje sigurnost u eksploataciji agregata.

Ugrađeni akvizicioni sistem predstavlja bitnu novinu u odnosu na stari sistem pobude i pruža mogućnost kontinualnog praćenja rada sistema pobude i trigerovanje prelaznih električnih pojava pri poremećajima u elektroenergetskom sistemu. Na taj način je omogućena pouzdana analiza pogonskih događaja u elektrani i u sistemu.

LITERATURA

- [1] Z. Ćirić, I. Stevanović, Đ. Stojić, Rekonstrukcija sistema pobude generatora br.5 u TE "Nikola Tesla A" - Obrenovac, 2004.
- [2] Z. Ćirić, Đ. Stojić, D. Joksimović, N. Milojević, Rekonstrukcija sistema pobude generatora br.4 u TE "Nikola Tesla A" - Obrenovac, 2007.
- [3] A. A. Бурмистров, А. Г. Логинов, В. А. Хлямов, Сборник Електросила - Выбор параметров регулятора напряжения и системного стабилизатора по частотным характеристикам, 2001.
- [4] Dušan Joksimović, Zoran Ćirić, Nemanja Milojević, Milan Milinković, Akvizicioni sistem za kontinualni monitoring sistema pobude sinhronih generatora i elektroenergetskih uređaja i sistema, 29.savetovanje CIGRE SRBIJA, Zlatibor, 2009
- [5] Z. Ćirić, D. Joksimović, M. Ilić, JUKO CIGRE - Rekonstrukcija sistema pobude generatora A2 u TE-TO "Novi Sad", 2007.
- [6] SEMICRON Catalogue, 2006.
- [7] IEC 34-1: Rotating electrical machines, Geneve, Suisse, 1983.

Abstract: In this paper the reconstruction of the excitation system for A1 unit in the TPP "Nikola Tesla A" is described. In the paper the main parameters of the excitation system, power and control part of the excitation system, thyristor firing system, acquisition system, protection, measuring and signalling are denoted.

Key words: *excitation system, thyristor rectifier, digital voltage regulator, data acquisition system, reliability*

**RECONSTRUCTION OF THE EXCITATION SYSTEM FOR A1 UNIT IN THE
TPP "NIKOLA TESLA A"**

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

Electrical Engineering Institute "Nikola Tesla", Belgrade