

DOI: [10.46793/CIGRE37.A1.08](https://doi.org/10.46793/CIGRE37.A1.08)**A1.08****SISTEMI POBUDE ZA MOTOR-GENERATORE U RHE BAJINA BAŠTA****EXCITATION SYSTEMS FOR MOTOR-GENERATORS IN THE BAJINA BAŠTA
PUMPED-STORAGE HYDROPOWER PLANT****Dušan Joksimović, Đorđe Stojić, Nemanja Miložić, Zoran Ćirić, Slavko Veinović,
Luka Ivanović, Ilija Klasnić, Miroslav Pavićević, Dušan Trišić***

Kratak sadržaj: Protočna hidroelektrana (HE) i reverzibilna hidroelektrana (RHE) „Bajina Bašta” u Perućcu predstavljaju najveće hidroenergetske objekte izgrađene na reci Drini. RHE „Bajina Bašta” ima veliki značaj za elektroenergetski sistem Srbije, zbog mogućnosti rada u generatorskom i motornom režimu čime povećava fleksibilnost sistema sa aspekta upravljanja proizvodnjom i potrošnjom. Periodi manje potrošnje električne energije koriste se za punjenje gornjeg akumulacionog jezera, radom elektrane u motornom režimu. Kada se u sistemu javi potreba za dodatnom energijom, agregati prelaze na suprotan režim, pa se ispuštanjem vode iz jezera na višoj nadmorskoj visini pokreću turbine i stvara električna energija. Takođe, zbog svoje mogućnosti da brzo startuje i brzo promeni režim rada iz generatorskog u motorni i obrnuto ova elektrana može da brzo reaguje na poremećaje u sistemu i zameni bilo koji drugi agregat u sistemu „Elektroprivrede Srbije“. Samim tim i revitalizacija RHE "Bajina Bašta" koja treba da produži životni vek agregata za nekoliko decenija ima veliki značaj za elektroenergetski sistem. Tokom 2024. revitalizovan je prvi agregat, dok je revitalizacija drugog agregata predviđena za 2025. Značajan doprinos revitalizaciji dao je Institut za elektroenergetiku "Nikola Tesla" kroz zamenu pobudnih sistema. U okviru energetskog dela sistema pobude ugrađene su komponente vrhunskih performansi: pobudni transformatori, prekidači, tiristorski mostovi, oprema za demagnetizaciju itd. Osnovu upravljačkog dela sistema pobude čine sertifikovani INTROL regulatori pobude u okviru kojih su realizovani sekventni automati za sve režime rada agregata: generatorski režim, motorni režim, sinhroni start, električno kočenje i test za potrebe ispitivanja. INTROL regulatori omogućavaju različite režime regulacije: automatska regulacija napona statora, automatska regulacija reaktivne snage i automatska regulacija faktora snage uz integrisane limiterske funkcije i

*Dušan Joksimović, Institut Nikola Tesla a.d. Beograd, jdusan@ieent.org

Đorđe Stojić, Elektrotehnički Institut Nikola Tesla Beograd, djordje.stojic@ieent.orgNemanja Miložić, ELEKTROTEHNIČKI INSTITUT NIKOLA TESLA AKCIONARSKO DRUŠTVO BEOGRAD, milojcic@ieent.orgZoran Ćirić, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, zciric@ieent.orgSlavko Veinović, Institut Nikola Tesla a.d. Beograd, slavko.veinovic@ieent.orgLuka Ivanović, Elektrotehnički Institut Nikola Tesla Beograd, luka.ivanovic@ieent.orgIlija Klasnić, Elektrotehnički institut Nikola Tesla ad Beograd, ilija.klasnic@ieent.orgMiroslav Pavićević, EPS AD, Ogranak HE Bajina Bašta, miroslav.pavicevic@eps.rsDušan Trišić, EPS AD, Ogranak HE Bajina Bašta, dusan.trisic@eps.rs

stabilizator elektroenergetskog sistema. Pouzdanost sistema dodatno je osigurana redundantnom implementacijom tiristorskih mostova i regulatora pobude u konfiguraciji 1+1. Nakon završene montaže i povezivanja kompletne opreme, sprovedena su detaljna podešavanja i ispitivanja sistema pobude, koja su pokazala dobre performanse sistema. Ovo garantuje pouzdan i stabilan rad agregata u svim predviđenim režimima, uz automatsko ograničenje rada unutar definisanih granica pogonskog dijagrama.

Ključne reči: sistem pobude, motor, generator, revitalizacija

Abstract: The run-of-river hydropower plant HPP "Bajina Bašta" and the pumped-storage hydropower plant PSH "Bajina Bašta" in Perućac are the largest hydropower facilities built on the Drina River. PSH "Bajina Bašta" is of great importance to Serbia's power system due to its ability to operate in both generating and pumping modes, thereby increasing the system's flexibility in terms of managing production and consumption. Periods of lower electricity consumption are used to fill the upper reservoir by operating the plant in pumping mode. When the system requires additional energy, the units switch to the opposite mode, and the release of water from the higher-altitude reservoir drives the turbines, generating electricity. Also, due to its ability to start quickly and rapidly switch between generating and pumping modes, this plant can quickly respond to system disturbances and replace any other unit in the electrical power system of Serbia. Therefore, the revitalization of PSH "Bajina Bašta," which is expected to extend the lifespan of the units by several decades, is of great importance to the power system. In 2024, the first unit was revitalized, while the revitalization of the second unit is scheduled for 2025. Nikola Tesla Institute of Electrical Engineering participated in the revitalization by replacing the excitation systems. The power section of the excitation system includes high-performance components: excitation transformers, circuit breakers, thyristor bridges, demagnetization equipment, etc. The control section of the excitation system is based on certified INTROL excitation regulators developed and manufactured at the Nikola Tesla Institute. Within the regulators, sequential automatons are implemented for all operating modes of the units: generating mode, pumping mode, synchronous start, electric braking, and testing. INTROL regulators enable various control modes: automatic stator voltage regulation, automatic reactive power regulation, and automatic power factor regulation, along with limiter functions and a power system stabilizer. The thyristor bridges and excitation regulators are implemented redundantly in a 1+1 configuration. After installation and connection, the excitation system was adjusted and tested, demonstrating good system performance, enabling reliable and stable unit operation in all operating modes, with automatic operation limitation within the boundaries defined by the operating diagram.

Key words: excitation system, motor, generator, revitalization

1 UVOD

Reverzibilna hidroelektrana (RHE) "Bajina Bašta" predstavlja ključni strateški resurs za efikasnu integraciju obnovljivih izvora energije u elektroenergetski sistem Srbije. Njena primarna uloga ogleda se u obezbeđivanju značajnog kapaciteta za proizvodnju električne energije, ali i u mogućnosti skladištenja energije velikih razmera, što je od vitalnog značaja za balansiranje intermitentne prirode obnovljivih izvora. RHE "Bajina Bašta", puštena u pogon davne 1982. godine, raspolaže ukupnom instalisanom snagom od 600 MW u generatorskom režimu i 620 MW u pumpnom režimu, zahvaljujući ugrađenim pumpama-turbinama, odnosno motor-generatorima koji mogu raditi u oba režima. Ova moćna "vodena baterija" služi kao nezamenjiva rezerva za nacionalnu elektroenergetsku mrežu, naročito u kritičnim periodima

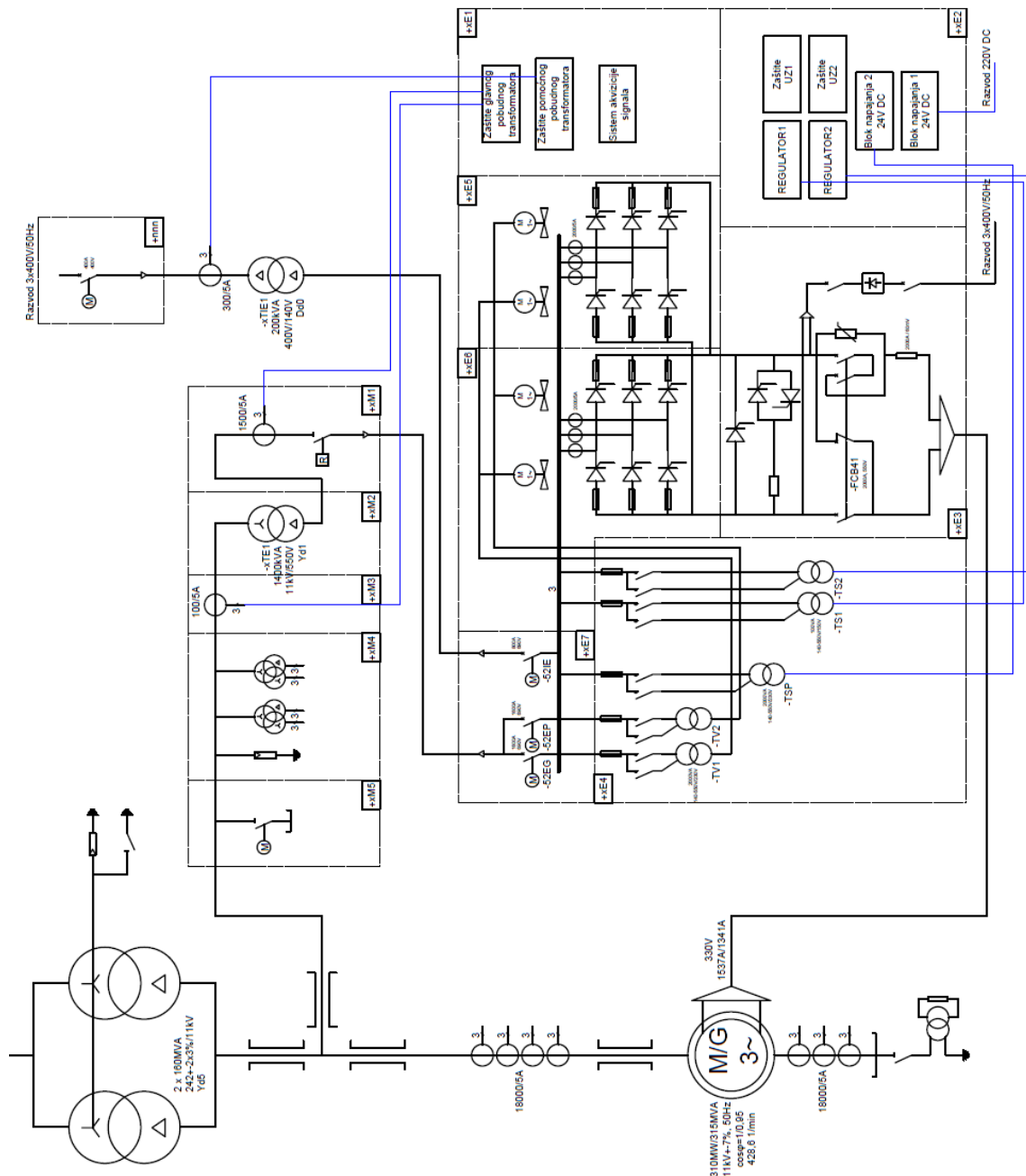
vršne potrošnje i produženih sušnih intervala kada su konvencionalni hidroenergetski kapaciteti smanjeni. Osnovni princip rada zasniva se na korišćenju viška električne energije, često proizvedene iz obnovljivih izvora tokom perioda niske potrošnje, za pogon agregata u pumpnom režimu, podižući vodu iz donjeg u gornje akumulaciono jezero. Potom, u trenucima povećane potražnje ili smanjene proizvodnje iz drugih izvora, akumulirana voda se ispušta nazad kroz agregate koji tada rade u generatorskom režimu, transformišući potencijalnu energiju vode u električnu energiju. Ovaj ciklus ne samo da omogućava efikasno skladištenje energije već i rezultira nižim operativnim troškovima, produženim radnim vekom postrojenja i superiornim karakteristikama skladištenja u poređenju sa alternativnim tehnologijama za skladištenje energije. U kontekstu sve izraženijih klimatskih promena i inherentne varijabilnosti obnovljivih izvora energije poput solarne i energije vetra, uloga RHE "Bajina Bašta" u održavanju stabilnosti i pouzdanosti elektroenergetske mreže postaje neprocenjiva.

Sistem pobude predstavlja regulisani izvor napajanja pobudnog namotaja motor-generatora. Primarna funkcija sistema pobude je pouzdano napajanje pobudnog kola, neophodno za rad agregata u oba režima rada. Pored toga, ključne funkcije sistema pobude uključuju automatsku regulaciju napona statora, reaktivne snage ili faktora snage motor-generatora uz automatsko ograničenje radnih režima unutar dozvoljenih granica, definisanih njegovom pogonskom kartom. Imajući u vidu vitalnu ulogu sistema pobude u funkcionisanju motor-generatora i celokupnom procesu proizvodnje i skladištenja električne energije u RHE, imperativ je da ovaj sistem omogući pouzdan i stabilan rad, kako u ustaljenim (stacionarnim) radnim režimima, tako i tokom dinamičkih (prelaznih) procesa izazvanih promenama u mreži ili opterećenju. Sistem pobude se može posmatrati kao integralni deo šireg koncepta sistema za regulaciju pobude, koji pored samog sistema pobude obuhvata i motor-generator te elektroenergetski sistem na koji je direktno povezan. Ovaj širi pojam je uveden iz razloga što se dinamičke karakteristike sistema pobude ne mogu adekvatno analizirati izolovano, već isključivo u interakciji sa karakteristikama motor-generatora i elektroenergetskog sistema u celini. Trenutno aktuelni zahtevi operatora elektroenergetskih sistema nalažu da se proizvodni kapaciteti u okviru sistema moraju u skladu sa svojim mogućnostima i kapacitetom prilagoditi zahtevima po pitanju tehničkih parametara regulacije, generalne pouzdanosti, raspoloživosti i efikasnosti. Ugrađeni sistem pobude je maksimalno prilagodljiv takvim specifičnim zahtevima.

2 STRUKTURA SISTEMA POBUDE

Sistemi pobude su realizovani prema strukturnoj šemi na slici 2-1. Sistemi se sastoje iz energetske i upravljačke sekcije. Obe sekcije su realizovane redundantno. Osnovu energetske sekcije čine dva punoupravljiva tiristorska mosta koja regulisano pretvaraju trofazni naizmenični napon u jednosmerni. Redundancija je realizovana u konfiguraciji 1+1 ugradnjom dva identična tiristorska mosta tako da predstavljaju potpunu rezervu jedan drugom. U konfiguraciji 1+1 je aktivan jedan tiristorski most preko kog se napaja pobudni namotaj, a eventualni kvar na njemu će delovati na automatski prelazak na rezervni most koji će preuzeti napajanje pobudnog namotaja u daljem radu bez značajnijeg uticaja na rad agregata. Takođe, omogućen je i prelazak sa mosta na most na nalog operatera. Tiristorski mostovi se sa naizmenične strane napajaju sa statorskih izvoda generatora preko glavnog pobudnog transformatora 1TE1 / 2TE1 (11kV/550V) i prekidača 52EG pri radu agregata u generatorskom režimu, odnosno prekidača 52EP nakon zaletanja pri radu u motornom režimu. Tokom sinhronog starta u motornom režimu i tokom režima električnog kočenja tiristorski mostovi se napajaju iz 0,4 kV postrojenja sopstvene potrošnje preko transformatora početne pobude 1TIE1 / 2TIE1 (380V/140V) i prekidača 52IE. Jednosmerna strana tiristorskih mostova je povezana na pobudni namotaj generatora preko prekidača FCB41 sa tri radna i

jednim mirnim kontaktom, koji zajedno sa nelinearnim otpornikom omogućava brzu demagnetizaciju generatora u havarijskim režimima. Pored ovoga energetska sekcija obuhvata prenaponsku zaštitu generatora sa antiparalelnim tiristorima i otpornikom, sklop za početno pobuđivanje u generatorskom režimu i RC filtere.



Slika 2-1: Strukturna šema sistema pobude

Osnovu upravljačke sekcije čine dva digitalna automatska regulatora pobude zasnovana na najnovijoj digitalnoj tehnologiji sa visokim performansama regulacije. Regulatori su identični i međusobno nezavisni tako da predstavljaju potpunu rezervu jedan drugom u konfiguraciji 1+1. Eventualni kvar na aktivnom regulatoru će delovati na automatski prelazak na rezervni regulator koji će preuzeti sve funkcije u daljem radu bez značajnijeg uticaja na rad agregata. Takođe, omogućen je i prelazak sa regulatora na regulator na nalog operatera. U okviru upravljačke sekcije su realizovane regulacione funkcije, limiteri, zaštite, redundancija,

upravljanje, merenja, nadzor i komunikacija sa drugim sistemima i uređajima u elektrani. Regulatori upravljaju tiristorskim mostovima pomoću fazne regulacije impulsa za paljenje tiristora sa uglom paljenja koji se dobija kao krajnji rezultat regulacionih funkcija realizovanih u okviru regulatora i koji direktno određuje vrednost napona pobude. Jedan regulator može da upravlja sa oba tiristorska mosta pri čemu jedan tiristorski most i jedan regulator mogu da obezbede sve predviđene režime rada. Lokalno upravljanje i nadzor su realizovani pomoću 17" ekrana osetljivog na dodir uz daljinsko upravljanje i nadzor sa SCADA sistema. Napajanje upravljačke sekcije je takođe realizovano redundantno sa dovodima napajanja iz 220VDC razvoda i iz invertora elektrane. Ova sekcija obuhvata i akvizicioni sistem koji omogućava monitoring sistema pobude, kao i detekciju i analizu eventualnih poremećaja u radu sistema pobude i čitavog agregata. Akvizicioni sistem nezavisno od regulatora pobude sa visokom učestanošću prikuplja analogne i digitalne signale. Učestanost odabiranja analognih signala je 5kHz po signalu, dok se digitalni signali skeniraju na svakih 10ms. U akvizicioni sistem su uvedeni i interni signali regulatora. Sistem omogućava prikaz trenutnih vrednosti i grafički prikaz vremenske promene svih signala (naponi i struje statora, napon i struja pobude, snage, brzina agregata, struje tiristorskih mostova i pobudnih transformatora, digitalni signali opomena, zaštita, limitera, stanja rasklopne opreme itd.). Pri ispunjenju nekog od definisanih kriterijuma (trigera) sistem automatski snima vremenske promene signala u fajl u definisanom trajanju pre i nakon nastanka trigera. Takođe, akvizicioni sistem beleži promene digitalnih signala i formira hronološku listu događaja.

Pri radu agregata u generatorskom režimu pobuđivanje motor-generator započinje uključanjem sklopa početne pobude, s obzirom na to da pobudni transformator pri razbuđenom motor-generatoru nije pod naponom. Postepenim porastom napona statora napajanje pobudnog sistema preuzima zatim motor-generator. Regulator sistema pobude u generatorskom režimu u praznom hodu radi u režimu automatske regulacije napona statora, a nakon ulaska na mrežu moguće je izabrati i režime regulacije reaktivne snage ili faktora snage.

Tokom procesa sinhronog starta motor-generatora agregat se zaleće do nominalne brzine. Tokom tog procesa sistem pobude se napaja iz razvoda sopstvene potrošnje elektrane preko transformatora 1TIE1 / 2TIE1. Regulator sistema pobude tokom sinhronog starta radi u režimu regulacije struje pobude održavajući konstantnu struju pobude generatora tokom zaletanja agregata. Nakon zaletanja do nominalne brzine rotor se na kratko prespaja pomoću tiristora za prelazak, a zatim se isključuje prekidač 52IE i uključuje prekidač 52EP za napajanje sistema pobude sa izvoda generatora u motornom režimu rada. Regulator sistema pobude prelazi u režim automatske regulacije napona statora, a nakon ulaska na mrežu moguće je izabrati i režime regulacije reaktivne snage ili faktora snage.

Sa ciljem efikasnijeg i vremenski kraćeg zaustavljanja, kao i smanjenog intenziteta habanja mehaničkih kočnica, agregati RHE Bajina Bašta zaustavljaju se procesom električnog kočenja. Na taj način se produžava vek trajanja mehaničkih kočnica, olakšava njihovo održavanje i izbegava zagađenje usled disipacije materijala kontaktnih obloga mehaničkih kočnica u generatorskom prostoru. Tokom električnog kočenja agregat je u praznom hodu, a namotaj statora je u trolnom kratkom spoju koji se formira uključanjem rastavljača za električno kočenje kada brzina okretanja agregata padne ispod 50% nominalne vrednosti. Nakon pobuđivanja agregata struje u namotajima statora stvaraju kočioni moment koji zaustavlja agregat bez upotrebe mehaničkih kočnica. Tokom procesa električnog kočenja agregata sistem pobude se napaja iz razvoda sopstvene potrošnje elektrane preko transformatora 1TIE1 / 2TIE1. Upravljanje i kontrola procesa električnog kočenja su biti

realizovani u okviru sistema pobude. Regulator sistema pobude tokom električnog kočenja radi u režimu regulacije struje pobude održavajući konstantnu struju pobude rotora agregata do zaustavljanja agregata.

3 OSNOVNI TEHNIČKI PODACI I KARAKTERISTIKE

Sistem pobude ima sledeće osnovne tehničke podatke:

- tip sistem pobude: **statički samopobudni sistem**
- broj regulatora pobude: **2 redundantna u konfiguraciji 1 + 1**
- broj tiristorskih mostova: **2 redundantna u konfiguraciji 1 + 1**
- tip tiristorskih mostova: **trofazni punoupravljivi**
- hlađenje tiristorskih mostova: **redundantno prinudno vazdušno**
- prenosni odnos glavnog pobudnog transformatora: **11kV / 550V**
- prenosni odnos transformatora početne pobude: **380V / 140V**
- nominalna frekvencija napajanja tiristorskih mostova: **50Hz**
- nominalna struja pobude: **1537A (generator) / 1341A (motor)**
- nominalni napon pobude: **330V**
- trajno dozvoljena struja pobude: **1691A**
- napon pobude pri trajno dozvoljenoj struji pobude: **363V**
- plafonska struja pobude: **3074A**
- koeficijent forsiranja po struji pobude: **2**
- dozvoljeno vreme trajanja plafonske struje pobude: **10s**
- pozitivan plafonski napon pobude pri nominalnom naponu napajanja: **670V**
- negativan plafonski napon pobude pri nominalnom naponu napajanja: **-520V**
- koeficijent forsiranja po naponu pobude: **2,03**
- naponska klasa tiristora: **1800V**
- opseg regulacije napona statora: **80-110%**
- opseg podešenja kompenzacije pada napona po reaktivnom opterećenju: **±10%**
- tačnost regulacije: **±0.5 %**
- greška regulacije pri promeni temperature ambijenta u opsegu 5-50°C: **±0.5 %**
- greška regulacije pri promeni frekvencije u opsegu 45Hz-100Hz: **±1 %**
- vreme odziva pobudnog sistema: **20ms**
- maksimalno vreme brzog razbuđivanja: **2s**
- maksimalni porast napona statora pri naglom rasterećenju pri nominalnoj aktivnoj snazi i faktoru snage 0,95 uz porast brzine do 155%: **20%**

4 FUNKCIJE

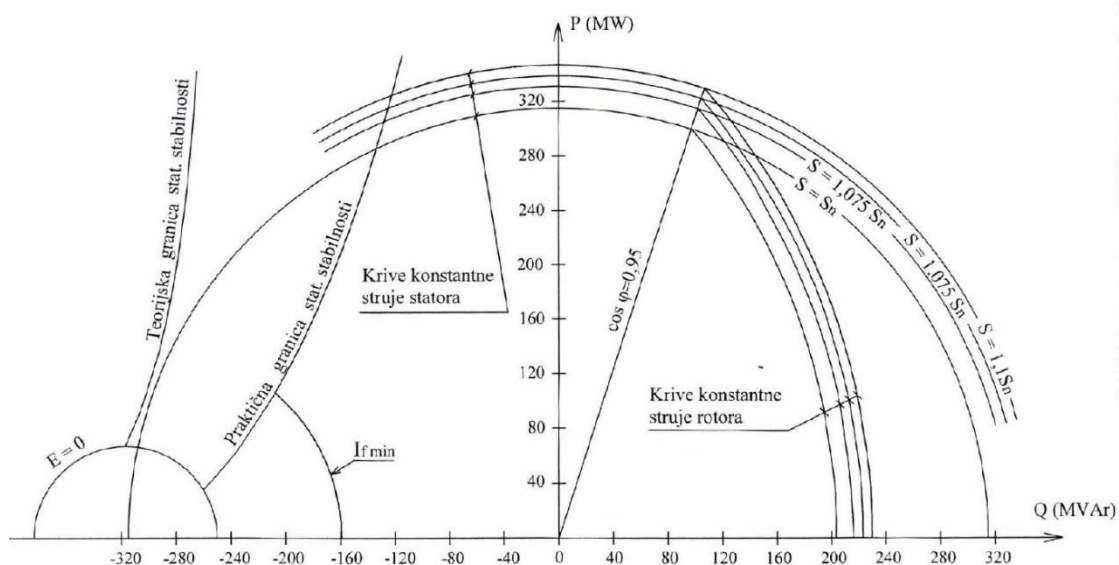
Sistemi pobude će imati sledeće funkcije:

- redundantno dvokanalno napajanje pobudnog namotaja motor-generatora pomoću tiristorskih mostova u konfiguraciji 1+1 potrebnom strujom pobude u svim dozvoljenim stacionarnim i prelaznim režimima rada motor-generatora,
- redundantna dvokanalna regulacija pobude u konfiguraciji 1+1,
- redundantno hlađenje tiristorskih mostova u konfiguraciji 1+1,
- automatska regulacija napona (ARN) - regulacija napona statora prema zadatoj referentnoj vrednosti uz kompenzaciju pada napona na blok transformatoru po reaktivnoj snazi motor-generatora,
- ručna regulacija (RR) - regulacija struje pobude prema zadatoj referentnoj vrednosti,
- automatska regulacija reaktivne snage (AQR) - regulacija reaktivne snage prema zadatoj referentnoj vrednosti,

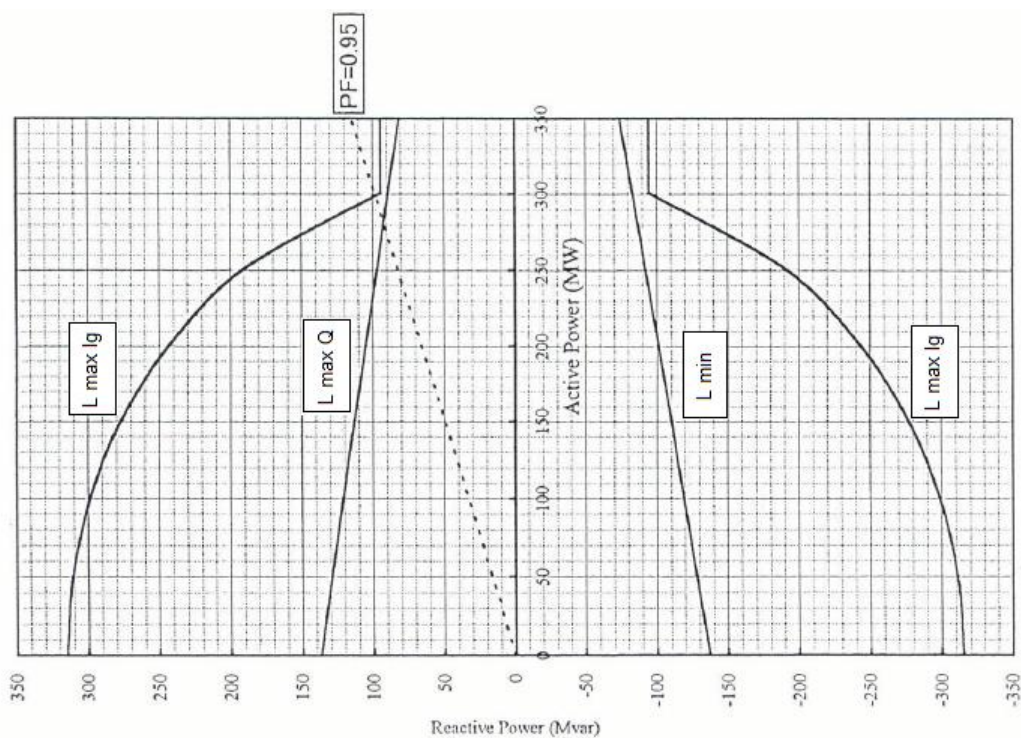
- automatska regulacija faktora snage ($\cos \varphi$) - regulacija faktora snage prema zadatoj referentnoj vrednosti,
- režim direktnog zadavanja ugla paljenja tiristora (Ugao TM) - zadavanje ugla paljenja tiristora kada je aktivan Test način rada agregata,
- pobuđivanje motor-generatora u automatskoj i ručnoj regulaciji na zadatu vrednost praznog hoda u generatorskom režimu rada,
- pobuđivanje motor-generatora tokom sinhronog starta pomoću statičkog frekventnog pretvarača ili tokom Back-to-Back starta u motornom režimu rada,
- automatsko ograničenje rada motor-generatora u oblasti dozvoljenih termičkih naprežanja statora i rotora i prema pogonskoj karti motor-generatora prikazanoj na slici 5-2 realizovano preko limitera minimalne pobude, limitera maksimalne struje rotora, limitera maksimalne struje statora i limitera maksimalne reaktivne snage,
- vremenski ograničeno forsiranje pobude sa kombinovanom trenutnom i inverznom strujno-vremenskom karakteristikom pri velikim poremećajima u elektroenergetskom sistemu,
- sprečavanje magnetskog preopterećenja motor-generatora i blok transformatora realizovano preko V/Hz limitera,
- prigušenje elektromehaničkih oscilacija rotora realizovano preko stabilizatora elektroenergetskog sistema tipa PSS2B,
- prelazak sa jednog na drugi tiristorski most automatski pri kvaru tiristorskog mosta koji je u radu ili ručno na nalog operatera bez značajnijeg uticaja na rad agregata,
- prelazak sa jednog na drugi regulator automatski pri kvaru regulatora koji je u radu ili ručno na nalog operatera bez značajnijeg uticaja na rad agregata,
- prelazak sa jednog na drugi režim regulacije bez značajnijeg uticaja na rad agregata,
- automatski prelazak sa jednog na drugi ventilator tiristorskog mosta pri kvaru ventilatora koji je u radu ili ručno na nalog operatera,
- razbuđivanje motor-generatora invertovanjem tiristora pri normalnom zaustavljanju,
- gašenje polja motor-generatora u havarijskim režimima prekidačem i otpornikom za demagnetizaciju,
- zaštita od pojave prenapona u pobudnom kolu koji se mogu javiti usled asinhronog rada motor-generatora na mreži ili pri prekidu pobudnog kola,
- zaštite od kvarova u sistemu pobude:
 - o otkaz regulacionog kanala,
 - o kratkospojna zaštita na jednosmernoj strani sistema pobude,
 - o zemljospojna zaštita pobudnog kola,
 - o prekostrujna zaštita pobudnog transformatora,
 - o kratkospojna zaštita pobudnog transformatora,
 - o diferencijalna zaštita pobudnog transformatora,
 - o zaštita od preopterećenja rotora sa strujno zavisnom vremenskom karakteristikom,
 - o zaštita od fazne nesimetrije tiristorskog mosta,
 - o zaštita od nestanka signala sinhronizacije paljenja tiristora,
 - o zaštita od nestanka merenja statorskog napona,
 - o zaštita od nestanka merenja struja pobude,
 - o zaštita od neuspelog pobuđivanja,
 - o zaštita od neuspelog razbuđivanja,
 - o samonadzor upravljačke elektronike.
- formiranje hronološke liste događaja,
- snimanje u fajlove signala sa rezolucijom do 5kHz pri ispunjenju uslova za trigger u definisanom trajanju pre i nakon nastanka triggera, kao i na nalog operatera,
- lokalno upravljanje i nadzor na ekranu dijagonale 17" koji je osetljiv na dodir i sa prednjih

- ## 5 REGULACIJA POBUDE

Slika 5-1. Blok šema sistema za regulaciju pobude kada je aktivna automatska regulacija



Slika 5-2. Pogonski dijagram agregata u RHE "Bajina Bašta"



Slika 5-3. Limiteri pobude

Limiter minimalne pobude deluje kada reaktivna snaga padne ispod granice prorade limitera. Tada limiter deluje na povećanje pobudne struje i reaktivne snage do granice prorade limitera. Reaktivna snaga ostaje na toj vrednosti sve dok uslovi u sistemu ne dovedu do njenog povećanja. Delovanje ovog limitera ima za cilj sprečavanje radnih režima koji mogu ugroziti stabilnost sinhronne mašine ili mogu dovesti do gubitka sinhronizma usled nedovoljne pobude ili mogu dovesti do pregrevanja čeonih delova jezgra statora.

Limiter maksimalne reaktivne snage deluje kada reaktivna snaga poraste iznad granice prorade limitera. Tada limiter deluje na smanjenje pobudne struje i reaktivne snage do granice

prorade limitera. Delovanje ovog limitera ima za cilj sprečavanje radnih režima koji mogu izazvati pregrevanje motor-generatora.

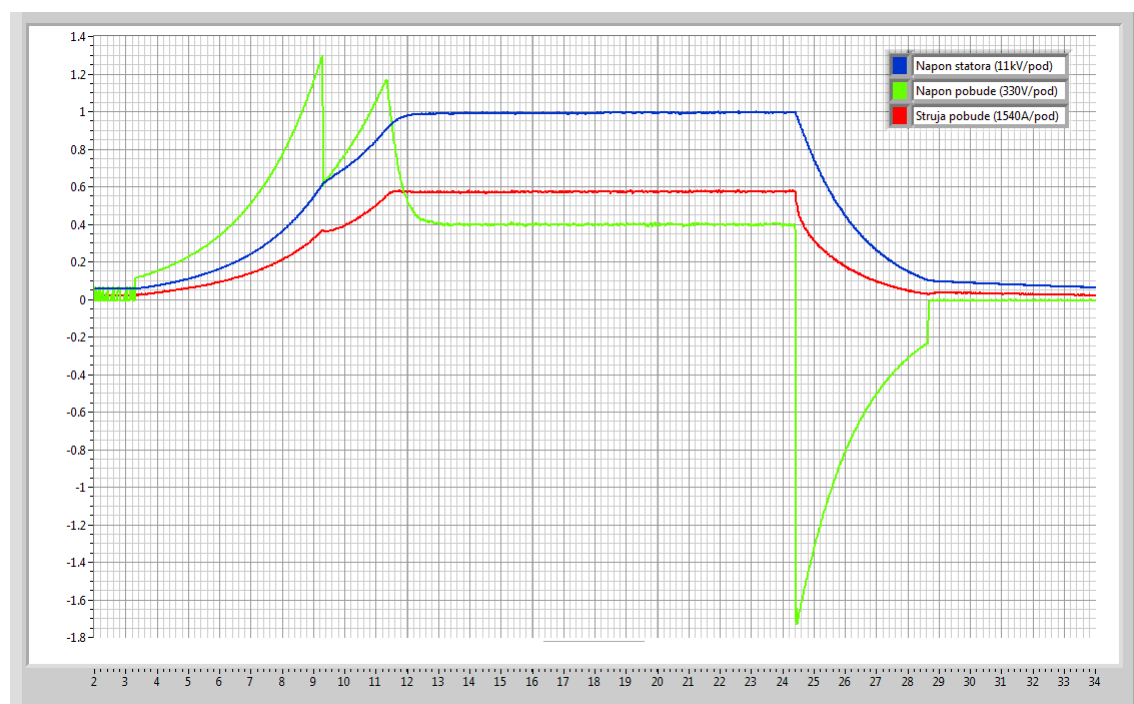
Funkcija limitera maksimalne struje pobude je da održi struju rotora u granicama dozvoljenog opterećenja, kako bi se sprečilo pregrevanje rotora usled prevelike struje pobude i aktiviranje prekostrujne zaštite rotora. Istovremeno limiter treba da omogući vremenski ograničeno forsiranje pobude u cilju poboljšanja stabilnosti sistema. Pri pojavi preopterećenja limiter najpre detektuje preopterećenje, dozvoljava trajanje preopterećenja tokom definisanog vremenskog perioda i ukoliko preopterećenje postoji i nakon tog perioda limiter deluje na smanjenje struje pobude na granicu prorade limitera. Limiter ima dve vrednosti prorade i kombinovanu trenutnu i inverznu vremensku karakteristiku.

Limiter napona i frekvencije (V/Hz) štiti motor-generator i blok transformator od prekomernog magnetnog fluksa pri niskoj frekvenciji ili prevelikom naponu. Prekomernan fluks dovodi do pregrevanja i može izazvati oštećenje gvozdenog jezgra blok transformatora i motor-generatora. Limiter se uobičajeno može aktivirati kada je brzina motor-generatora, a samim tim i frekvencija, snižena pri pobuđenoj mašini, na primer pri startu ili zaustavljanju agregata. Limiter odrađuje bez vremenske zadržke.

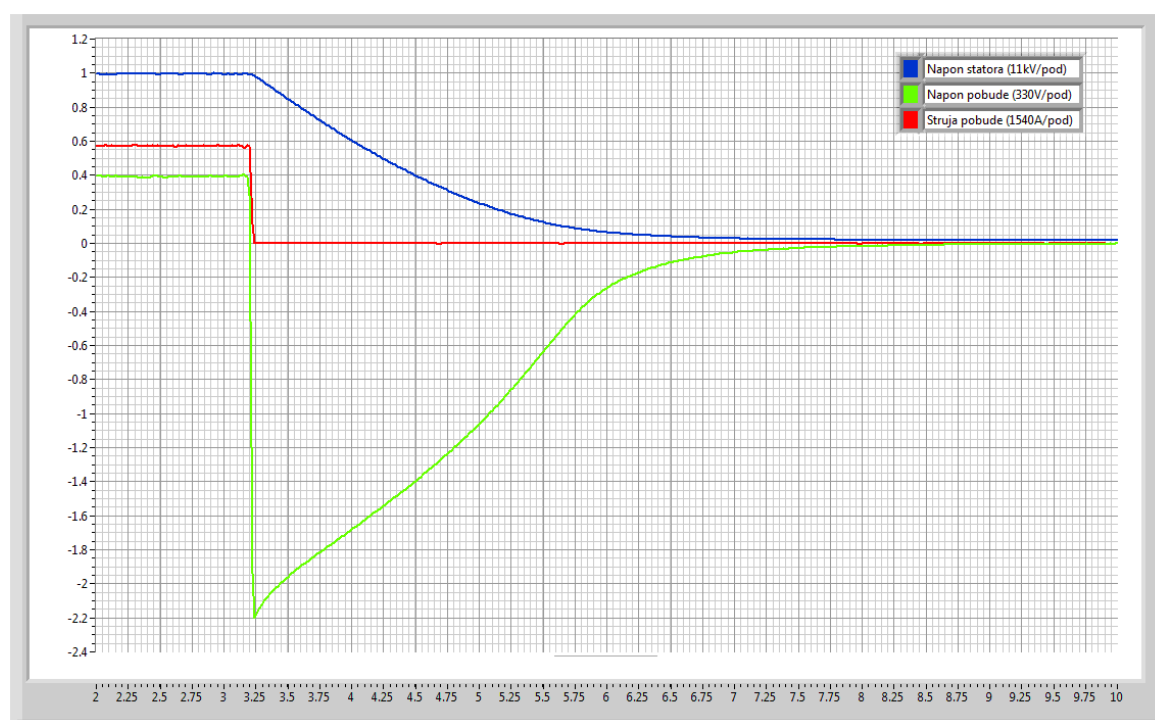
Osnovna funkcija stabilizatora elektroenergetskog sistema je prigušenje elektromehaničkih oscilacija agregata generisanjem pozitivnog prigušnog momenta na vratilu koji je u fazi sa varijacijama brzine. To se postiže delovanjem na pobudni fluks preko dodatnog ulaza u automatsku regulaciju napona statora. Elektromehaničke oscilacije u elektroenergetskom sistemu predstavljaju pojavu međusobnog oscilovanja rotora sinhronih mašina jednih u odnosu na druge koristeći prenosne vodove za razmenu energije i primetne su u svim karakterističnim varijablama stanja sinhronne mašine. Stabilizator treba da deluje samo na oscilacije koje su u opsegu učestanosti od interesa od 0,2Hz do 2,5Hz, jer deluje raspirujuće na torzione oscilacije koje predstavljaju oscilacije između rotacionih elemenata agregata: rotor turbine i rotor motor-generatora i učestanosti su iznad 2,5Hz.

6 DINAMIČKI ODZIVI SISTEMA POBUDE

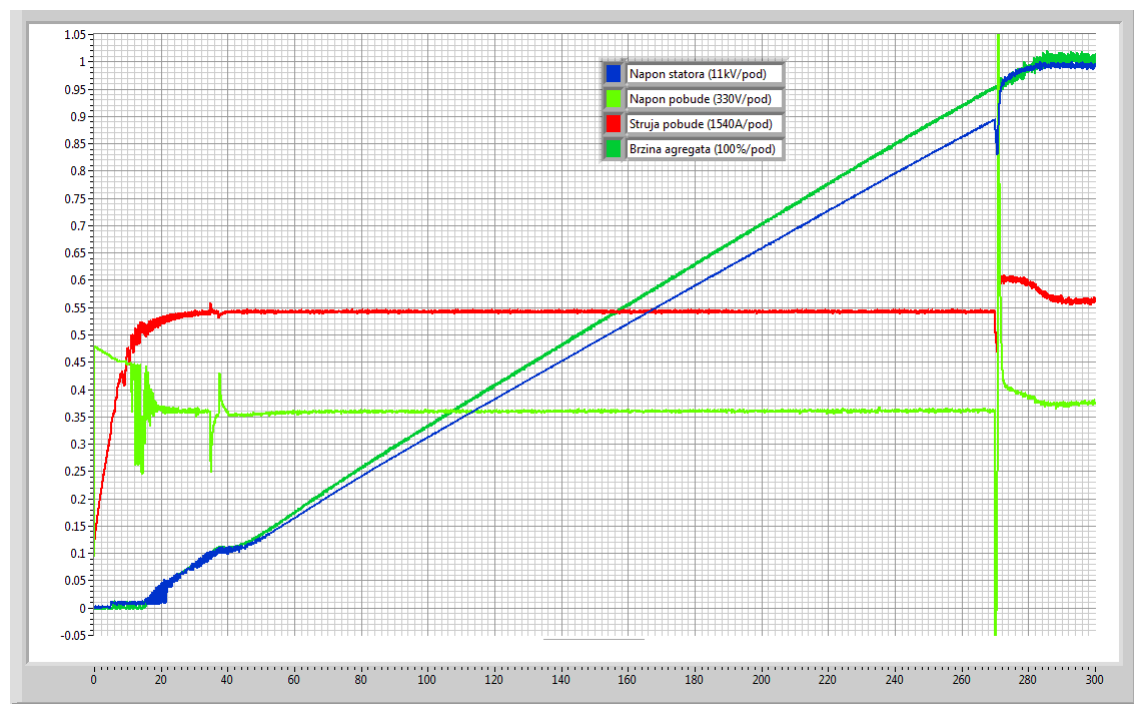
U nastavku su prikazani neki od dinamičkih odziva sistema pobude snimljeni tokom prijemnih ispitivanja agregata:



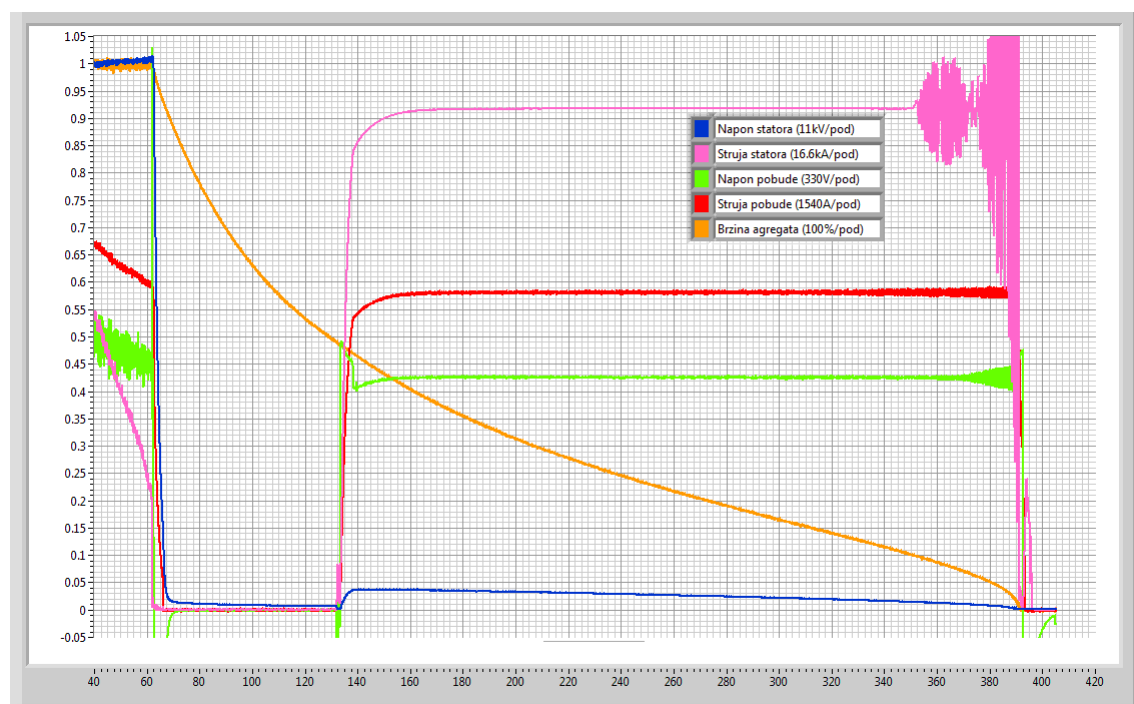
Slika 6-1. Pobuđivanje i razbuđivanje u generatorskom režimu



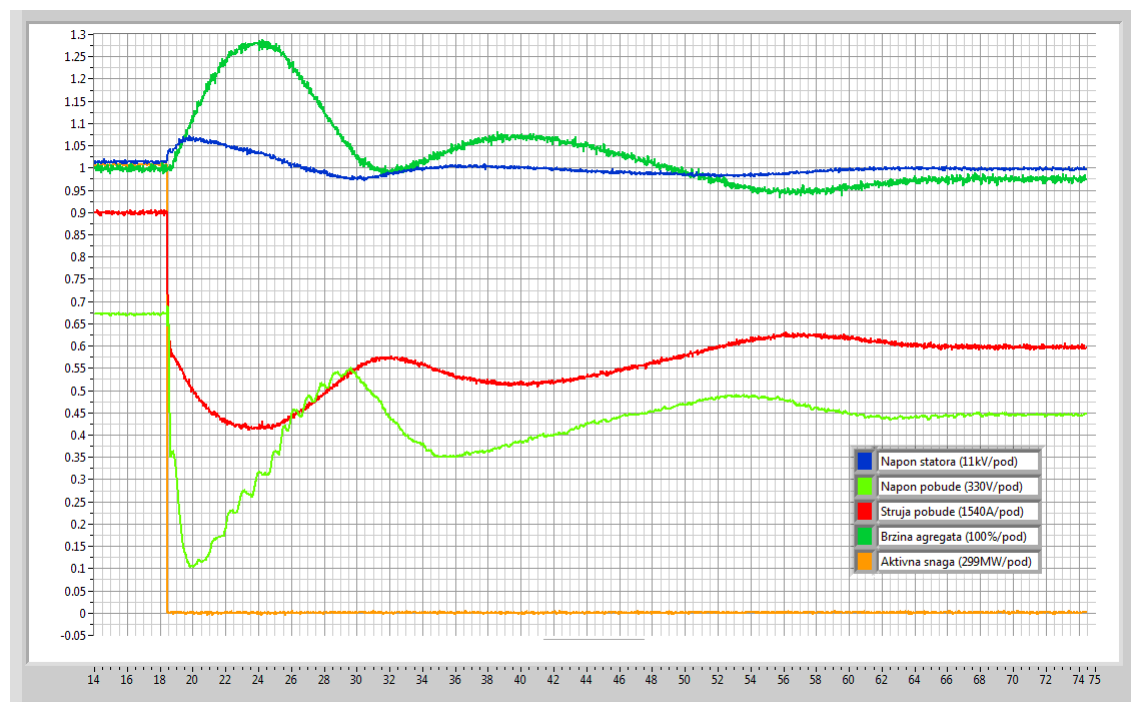
Slika 6-2. Brzo razbuđivanje isključenjem prekidača FCB41



Slika 6-3: Sinhroni start agregata u motornom režimu



Slika 6-4. Električno kočenje agregata



Slika 6-5. Odziv pri zbacivanju 100% nominalne snage

7 7. ZAKLJUČAK

Ugradnjom visokokvalitetne opreme uz pravilno dimenzionisanje i primenu redundancije i u energetsom i u upravljačkom delu sistema postignuta je visoka pouzdanost sistema pobude. Kompleksni algoritmi upravljanja i regulacije uz optimalan izbor parametara omogućavaju stabilan rad motor-generatora u svim dozvoljenim stacionarnim i prelaznim režimima rada što pokazuju dinamički odzivi sistema pobude snimljeni tokom prijemnih ispitivanja agregata.

8 LITERATURA

- [1] IEEE Std 421.1-2007, "IEEE Standard Definitions for Excitation Systems for Synchronous Machines", 2007.
- [2] IEEE Std 421.2-2014, "IEEE Guide for Identification, Testing, and Evaluation of the Dynamic Performance of Excitation Control Systems", 2014.
- [3] P. Kundur, N.J.Balu and M.G. Lauby, "Power system stability and control" (Vol. 7), New York: McGraw-hill, 1994.
- [4] P.C. Krause, O. Wasynczuk, S.D. Sudhoff and S. Pekarek S, "Analysis of electric machinery and drive systems" (Vol. 2), New York: IEEE press, 2002.
- [5] D. Joksimović, Z. Ćirić, N. Milojević, D. Arnautović, Đ. Stojić, M. Milinković, S. Veinović, D. Petrović, "Parametri pobudnih sistema" - 30. savetovanje CIGRE Srbija, Zlatibor; časopis "Elektroprivreda" broj 3, str. 198-206, Beograd, 2011.
- [6] IEEE 09TP250, "IEEE Tutorial Course Power System Stabilization Via Excitation Control", IEEE Power & Energy Society, 2009.
- [7] IEEE Std 421.5-2016, "IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies", 2016.
- [8] I. Boldea, Synchronous Generators, CRC Press: 2010.