

DIGITALNI TURBINSKI REGULATOR ZA AGREGAT SOPSTVENE POTROŠNJE U HE "BISTRICA"

Dane Džepčeski, Slobodan Bogdanović, Dušan Arnautović, Jelena Pavlović, Jasna
Dragosavac

Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd

Kratak sadržaj: U radu je prikazan novi sistem turbinske regulacije hidroagregata sopstvene potrošnje u HE "Bistrica". Posebna pažnja posvećena je novom digitalnom regulatoru brzine i aktivne snage agregata. Navedene i sistematizovane su funkcije i osobine koje jedan savremeni sistem turbinske regulacije treba da poseduje. Opisana je realizacija ovih funkcija i prikazane su karakteristike turbinskog regulatora. Prikazana je hardverska platforma regulatora kao i pridružena programska podrška, potrebna za izvršavanje upravljačkih i regulacionih funkcija, kao i za realizaciju veze sa nadređenim sistemom upravljanja i veze sa rukovaocem. U radu je opisano ispitno polje sa simulatorom okoline turbinskog regulatora i prikazan je ogledni primer ispitivanja regulatora.

Ključne reči: turbinski regulator, regulacija brzine i snage hidroturbine, hidrogenerator

1. UVOD

Projekat novog sistema turbinske regulacije agregata sopstvene potrošnje u HE "Bistrica" je deo projekta koji obuhvata osavremenjivanje sistema upravljanja, sistema zaštita i sistema za regulaciju aktivne i reaktivne snage agregata sopstvene potrošnje. Projektom novog sistema turbinske regulacije predviđena je zamena hidromehaničkog regulatora sa novim digitalnim regulatorom turbine, predviđena je zamena sistema za pripremu ulja pod pritiskom, sistema za havarijsko zatvaranje, sistema za prinudno podmazivanje ležajeva i sistema automatike turbine. Takođe, predviđena je i zamena predturbinskog zatvarača.

Agregat sopstvene potrošnje u HE "Bistrica", po svojoj konstrukciji izrađen je kao horizontalan. Radno kolo turbine postavljeno je vertikalno. Generator je zatvorene konstrukcije sa jednodelnim statorom i rotorom sa isturenim polovima. Agregat je oslonjen u četiri ležišta, na dva turbinska i dva generatorska ležišta. Turbinska vodeća ležišta su sa jedne i druge strane radnog kola. Podmazivanje turbinskih vodećih ležajeva je prinudno. Na vratilu generatora, gledano sa strane turbine, posle generatora, nalaze se klizni prstenovi, budilica i tahogenerator. Tahogenerator je izveden kao trofazni generator sa permanentnim magnetima koji napaja sinhroni motor u turbinskom regulatoru.

Osnovni tehnički podaci za generator:

Tip:	S-1252-6	η_n :	94%
P_n :	1000 kVA	U_{f_n} :	112V
I_n :	1440 A	I_{f_n} :	53A
$\cos\varphi_n$:	0,8	p:	3

Turbina je tipa Pelton sa jednim mlaznikom. Skretač mlaza nije izveden niti je predviđen projektom. Radno kolo i lopatice radnog kola turbine odliveni su u jednom komadu. Turbina je preko turbinskog vratila u prirubničkom spoju sa generatorskim vratilom. Mehanička veza ostvarena je preko postojećeg zamajca koji obezbeđuje potrebni zamajni moment agregata i istovremeno ima ulogu prirubnice. Sprovodni aparat sastoji se od mlaznice i igle za regulisanje protoka. Igla je na jednom kraju vođena u vodećem krstu, a na drugom kraju je učvršćena za diferencijalni klip. Igla ima uvek tendenciju na otvaranje zbog većeg prečnika diferencijalnog klipa od prečnika otvora mlaznice.

Tehnički podaci za turbinu:

Tip:	Peltonova turbina	n_{\max} :	1800 o/min
P_n :	800 kW	Y_{\max} :	55 mm
H_n :	345 m	D_{mlaznice} :	84 mm
Q_n :	0,273 m ³ /s	$D_{\text{rk}}^{\text{st}}$:	736 mm
GD^2 agregata:	1,5 tm ²	n_{lopatica} :	19
n_n :	1000 o/min	p_{ulja} :	16 MPa

Postojeći sistem za turbinsku regulaciju sastoji se od regulatora turbine, glavnog razvodnog ventila, servomotora sa uređajem za blokiranje i deblokiranje igle, mehaničke povratne sprege, tahogeneratora i sistema za pripremu i održavanje ulja pod pritiskom. Regulator je po konstrukciji hidromehanički, a po tipu je akceleratorahometrijski. Servomotor igle je učvršćen na gornjem utočnom kolenu kućišta turbine.

Agregat sopstvene potrošnje predstavlja rezervni, nezavistan izvor napajanja sopstvene potrošnje u HE „Bistrica“. U slučaju nestanka napajanja sopstvene potrošnje sa strane 35 kV mreže, potrebno je da agregat startuje i obezbedi potrebnu snagu potrošača sopstvene potrošnje, za vreme koje je kraće od vremena dozvoljene autonomije proizvodnih agregata. Pored toga što napaja sopstvenu potrošnju u HE „Bistrica“, ovaj agregat može jednovremeno da napaja i razvode sopstvene potrošnje u HE „Potpeć“, HE „Kokin Brod“ i HE „Uvac“. Agregat sopstvene potrošnje predviđen je i za rad na mreži, u paralelnom radu sa drugim agregatima u elektroenergetskom sistemu.

Agregat sopstvene potrošnje sa pripadajućim pomoćnim sistemima, izgrađen je početkom šezdesetih godina prošloga veka. Kao agregat koji ulazi u pogon u vanrednim situacijama, broj ostvarenih radnih sati kao i ukupan broj pokretanja agregata nije veliki. I pored ove činjenice, u toku dugog perioda korišćenja agregata, delovi od kojih je izrađen su istrošeni, pa su nastale određene teškoće u eksploataciji agregata. Ovde se pre svega misli na nemogućnost održavanja brzine obrtanja agregata pri radu na izolovanom opterećenju i u praznom hodu. Oscilacije brzine u praznom hodu su unutar $\pm 1,5$ Hz, odnosno $\pm 3\%$ što je nedopustivo veliko odstupanje. Performanse regulacije brzine dodatno se pogoršavaju kada se ukupno opterećenje agregata menja uključanjem ili isključenjem većih potrošača u razvodu sopstvene potrošnje elektrane. Oscilacija brzine obrtanja u praznom hodu otežava proces sinhronizacije, posledično i vreme trajanja procesa sinhronizacije je produženo. Takođe, kada je agregat sinhronizovan na mrežu i radi u režimu regulacije snage, stabilan rad je jedino moguće ostvariti postavljanjem mehaničkog ograničenja u željeni položaj, odnosno položaj kojem odgovara željena vrednost odate snage agregata. Mehaničko ograničenje zadaje rukovaoc, ručno sa komandnog pulta agregata. Zbog svih nedostataka u pogonu, odlučeno je da se pristupi

zamene postojećeg hidromehaničkog turbinskog regulatora, novim savremenim digitalnim regulatorom, kao i da se preduzmu neophodne aktivnosti zamene i reparacije ostalih delova koji čine sistem za turbinsku regulaciju.

2. DIGITALNI TURBINSKI REGULATOR

Digitalna tehnologija omogućava da se na jedinstvenoj hardverskoj platformi, u jednom uređaju, realizuje više funkcija vezanih za rad sistema turbinske regulacije. Hronološki posmatrano, ranije, ove funkcije nisu bile realizovane u jednom uređaju, već su bile realizovane na posebnim uređajima u okviru sistema za turbinsku regulaciju. Zahtevi današnjeg tržišta, pri tome imajući u vidu pre svega zahteve za što nižom cenom uređaja, a naročito kada su u pitanju hidroagregati manjih snaga, nameću potrebu da se većina funkcija vezanih za sistem turbinske regulacije realizuje na istoj hardverskoj platformi na kojoj je realizovan i sam turbinski regulator. U savremenim sistemima za turbinsku regulaciju, relativno je čest slučaj da se u okviru istog uređaja u kome je realizovan turbinski regulator, realizuju i funkcije uređaja kao što su brzinski relej i komandni aparat, uređaja za upravljanje sistemom za pripremu ulja pod pritiskom i sistemom za podmazivanje ležišta, nadzor temperatura ležišta, itd. Možda je ovo i jedan od osnovnih razloga zašto u savremenim sistemima turbinske regulacije ne postoji, ili barem nije više tako jasno uočljiva granica između podsistema koji ga čine.

Sistem turbinske regulacije, zajedno sa višim nivoom upravljanja agregatom, nezavisno od tehnologije u kojoj je realizovan, izvršava sledeće funkcije [1], [2]:

- automatsko pokretanje agregata i dovođenje agregata do nominalne brzine,
- učešće u toku sinhronizacije agregata na mrežu,
- regulaciju brzine obrtanja agregata pri radu agregata u praznom hodu i u izolovanom sistemu,
- regulaciju aktivne snage generatora na veličinu snage zadatu sa lokalnog ili višeg nivoa upravljanja agregatom,
- ograničavanje otvora,
- ograničavanje aktivne snage generatora,
- normalno zaustavljanje agregata,
- havarijsko zaustavljanje agregata,
- formiranje informacionih signala, signala upozorenja i havarijskih signala za viši nivo upravljanja agregatom.

Osnovne tehničke karakteristike novog sistema turbinske regulacije agregata sopstvene potrošnje u HE „Bistrica“ su:

- nominalni pritisak regulacijskog ulja, [MPa].....4,5;
- hod servomotora igle mlaznika, [mm].....50;
- zona neosetljivosti za učestanost, $i_x/2$ [% f_{nom}]..... 0,01;
- tačnost održavanja brzine pri radu u izolovanom sistemu i pri stalnom opterećenju agregata, [% n_n]..... 1;
- tačnost održavanja brzine pri radu u praznom hodu [% n_n]..... 0,2;
- tačnost održavanja zadate snage pri stalnom opterećenju agregata i stalnoj učestanosti, [% P_{nom}]..... 1.

Za potrebe novog sistema turbinske regulacije agregata sopstvene potrošnje u HE „Bistrica“, u električnom delu sistema turbinske regulacije implementirane su sledeće funkcije:

- formiranje signala za elektrohidraulički prateći sistem i druge uređaje koji se nalaze u hidromehaničkom komandnom pultu,
- obrada signala brzog zatvaranja, odnosno zaustavljanja agregata,
- formiranje signala startnog otvora,
- brzinski relej,
- komandni aparata, odnosno relej položaja izvršnog organa,
- regulacije brzine agregata po PID zakonu,
- regulacije snage agregata po PI zakonu,
- upravljanja sistemom za pripremu i održavanje ulja pod pritiskom,
- upravljanja sistemom za podmazivanje turbinskih ležaja.

Da bi se obezbedilo izvršavanje prethodno navedenih funkcija, formirana je adekvatna struktura električnog dela sistema turbinske regulacije. Digitalna tehnologija u kojoj je realizovan, omogućava formiranje složene ali istovremeno i vrlo fleksibilne strukture. U okviru električnog dela sistema za turbinsku regulaciju, formirani su organizacioni i funkcijski blokovi koji omogućavaju:

- merenje brzine obrtanja agregata (tri merna kanala; dva kanala za merne signale sa induktivnih davača i jedan kanal za signal napona sa naponskog mernog transformatora),
- merenje učestanosti mreže (ako se želi obezbediti mogućnost da regulator reguliše brzinu agregata pri radu u slaboj mreži ili da se pri puštanju agregata, brzina agregata navodi na brzinu mreže),
- zadavanje učestanosti,
- zadavanje aktivne snage generatora,
- formiranje PID signala za regulaciju brzine,
- formiranje PI signala za regulaciju aktivne snage sa funkcijom korekcije snage,
- postavljanje elektronskog ograničenja otvaranja,
- automatsko podešavanje brzine obrtanja pri sinhronizaciji agregata,
- podešavanje mrtve zone po učestanosti,
- kontrolu opasno malih obrtaja agregata,
- detekciju puzanja vratila,
- formiranje pragova reagovanja elektronskog brzinskog releja,
- formiranje pragova reagovanja elektronskog komandnog aparata,
- kontrolu ispravnosti izvršavanje algoritma regulacije,
- kontrolu ispravnosti brzinskog releja i komandnog aparata,
- kontrolu i nadzor ulaza i izlaza, odnosno konzistentnosti veza,
- pojačanje signala prema elektrohidrauličkom pratećem sistemu,
- upravljanje sistemom za pripremu ulja pod pritiskom,
- upravljanje sistemom za prinudno podmazivanje,
- komunikacije sa višim nivoom upravljanja agregatom.

Turbinski regulator može raditi u automatskom i ručnom režimu rada. U automatskom režimu rada, izvršava se celokupni algoritam regulacije i upravljanja. Ovo znači, da se u odnosu na stanje ulaza u električni deo sistema turbinske regulacije, nakon jednog programskog ciklusa, formira stanje izlaza koje jednoznačno određuje skup upravljačkih i regulacionih radnji koje se izvršavaju u sistemu turbinske regulacije. Novo stanje izlaza formira se nakon izvršenja svakog narednog programskog ciklusa. Programski ciklusi izvršavaju se sukcesivno, nakon tačno definisanog vremenskog intervala. U automatskom režimu rada, nema potrebe za bilo kakvim delovanjem rukovaoca. Njegova uloga može se svesti samo na nivo nadgledanja stanja u sistemu turbinske regulacije, uvidom u stanje zvučne i svetlosne signalizacije, mernih

instrumenata i uvidom u grafički interfejs koji je realizovan na operatorskom panelu. Za razliku od automatskog režima rada, u ručnom režimu rada, aktivni su samo pojedini blokovi koji se odnose na upravljanje dok su regulacijske i kontrolne funkcije ukinute ili svedene na minimalni nivo. Sada je delovanje rukovaoca od presudne važnosti i rad sistema zavisi od njegovih odluka.

Omogućeno je daljinsko i lokalno upravljanje turbinskim regulatorom:

- daljinsko upravljanje sa komandnog pulta elektrane,
- daljinsko upravljanje sa komandnog ormara za upravljanje agregatom,
- lokalno upravljanje sa prednjih vrata ormara sa električnim delom sistema za turbinsku regulaciju.

Ručno upravljanje turbinskim regulatorom vrši se lokalno, sa prednjih vrata ormara u kome je smešten električni deo sistema za turbinsku regulaciju.

Stanje ulaza u električni deo sistema za turbinsku regulaciju formira se na osnovu signala dobijenih od nadređenog sistema upravljanja i uređaja iz sistema za turbinsku regulaciju, kao što su davači, pretvarači, releji, prekidači, i dr. Između ostalih signala, od posebne važnosti su veličina brzine obrtanja agregata, aktivne snage generatora i položaja servomotora izvršnog organa. U zavisnosti od režima rada turbinskog regulatora, jedna od navedenih veličina, postaje ulazna veličina u funkcijski blok za regulaciju. Njena merena vrednost, poredi se sa zadatom vrednošću ove veličine i formira se signal greške koji se dalje obrađuje. Na osnovu formiranog signala greške, kao rezultat programskog izvršenja funkcijskog bloka za regulaciju, dobija se položaj servorazvodnika. Servorazvodnik, kao pilot-ventil, vrši distribuciju hidraulične pritiskne sile, koja pokreće klip servomotora igle mlaznika u smeru otvaranja, odnosno zatvaranja. Konačno, položajem igle u odnosu na usnik mlaznika turbine, jednoznačno se određuje protočna površina, odnosno veličina protoka vode kroz turbinu.

Pritisna sila za pokretanje servomotora igle mlaznika obezbeđena je iz sistema za pripremu ulja pod pritiskom. Sistem za pripremu ulja pod pritiskom sastoji se od klipnog hidrauličkog akumulatora sa prolaznom klipnjačom, gasnog akumulatora sa azotom u kome se akumulira pritiska energija, slivnog rezervoara i dve zupčaste pumpe hidrauličnog ulja pogonjene elektromotorima.

Funkcija zaštite turbine brzim kretanjem igle mlaznika na zatvaranje, realizovana je pomoću havarijskog razvodnika. Upravljanje havarijskim razvodnikom je u potpunosti nezavisno od turbinskog regulatora. Havarijsko zatvaranje je obezbeđeno logikom mirnog kontakta i njime se upravlja iz sistema zaštita i nadređenog sistema upravljanja.

3. REALIZACIJA ELEKTRIČNOG DELA TURBINSKOG REGULATORA

Električni deo sistema za turbinsku regulaciju realizovan je elektronskim sklopovima koji zadovoljavaju zahteve u vezi primene u sistemima industrijske namene. Hardverska platforma na kojoj je realizovan sistem ima otvorenu konfiguraciju sa mogućnošću nadogradnje, u smislu proširenja funkcionalnosti po broju ulaznih i izlaznih kanala i kvalitetu njihovih procesnih osobina, kao i proširenja komunikacionih mogućnosti sa nadređenim sistemom upravljanja. Otvorena i modularna organizacija hardvera, omogućava relativno jednostavno prilagođenje svakoj vrsti hidroagregata. Hardver je izabran i organizovan tako da zadovolji zahteve projekta sistema turbinske

regulacije agregata sopstvene potrošnje u HE „Bistrica“ [3]. Neke od mogućnosti hardvera su i proširene u odnosu na one koje su projektom predviđene.

Programabilni logički kontroler iz familije proizvoda SIMATIC S7-300 čini osnovu na kojoj je izgrađen električni deo sistema za turbinsku regulaciju [4]. Proizvodi iz ove familije sertifikovani su za rad u industrijskim uslovima i zastupljeni su u postrojenjima sa srednje zahtevnim i vrlo zahtevnim regulisanim procesima. Visoke su radne pouzdanosti i predstavljaju standardnu opremu u automatizaciji i procesnoj industriji. Mogućnosti prilagođenja i proširenja konfiguracije, u funkcionalnom smislu, gotovo su neiscrpane.

Veza kontrolera sa procesom je ostvarena preko ulazno-izlaznih kartica i komunikacionih portova [5]. Signal iz procesa, bilo da je u pitanju merenje, upravljački, relejni signal ili signal za indikaciju neke od veličina od interesa, prilagođava i obrađuje se u prilagodnim stepenima koji nisu sastavni deo kontrolera. U tom smislu signal se kondicionira po amplitudi, filtrira se od neželjenih smetnji i najčešće galvanski odvaja od internih elektronskih kola samog kontrolera. Električna veza sa davačima procesnih veličina, pojačavačkim i upravljačkim stepenima aktuatora, mernim instrumentima, relejima, sklopkama i tasterima, izvedena je bakarnim provodnicima.

Uvođenje, izvođenje i obrada analognih signala izvršava se u karticama analognih ulaza i karticama analognih izlaza regulatora. Rezolucija digitalno-analognih i analogno-digitalnih konvertora je dovoljno visoka da se zadovolji zahtevana tačnost. Interno u regulatoru, procesne veličine imaju digitalnu 16-bitnu ili 32-bitnu binarnu predstavu. Kartice sa analognim ulazima pripadaju grupi standardnih signalnih kartica SM331, dok kartice sa analognim izlazima pripadaju grupi SM332.

Diskretni signali koji u regulator ulaze sa pomoćnih kontakata prekidača, izbornih sklopki, tastera i releja iz nadređenog sistema upravljanja i uopšte iz postrojenja, zahtevaju prilagođenje na diskretni naponski nivo 24VDC koji je podesan za uvođenje u sam logički kontroler. Takođe, gotovo je obavezna njihova galvanska izolacija od internih elektronskih kola regulatora. Izlazni diskretni signali su definisanog naponskog nivoa 24VDC i njihovo galvansko odvajanje i distribucija ostvarena je u relejnoj tehnici. Uvođenje, izvođenje i obrada diskretnih signala izvršava se u karticama digitalnih ulaza i karticama digitalnih izlaza logičkog kontrolera. Kartice sa digitalnim ulazima pripadaju grupi standardnih signalnih kartica SM321, dok kartice sa digitalnim izlazima pripadaju grupi SM322.

Merenje brzine obrtanja agregata ostvareno je na dva načina. Prvi način je da signal brzine obrtanja generiše uređaj koji se sastoji od ozubljenog diska koji je pričvršćen na vratilo agregata i njemu pridruženog pretvaračkog sklopa. Pretvarački sklop sastoji se od dva induktivna davača sa Holovim elementom, postavljena radijalno u odnosu na vratilo agregata i ozubljenu površinu diska i pretvarača koji signal sa davača pretvara u logički signal 0 i 24VDC. Drugi način je da se brzina obrtanja agregata odredi iz talasnog oblika napona na priključcima sekundara mernog transformatora napona statora generatora.

Signal sa svakog od dva induktivna davača uvodi se u zasebni ulaz brojačke kartice logičkog kontrolera. Ulazni signal se u brojačkoj kartici obrađuje tako što se meri vreme između dve promene logičkog nivoa signala. Vreme se meri u odnosu na internu povorku pravougaonih impulsa visoke učestanosti, generisane oscilatorom sa kvarcnim kristalom. Vremena dobijena obradom ova dva signala, međusobno se upoređuju u funkcijskom bloku za obradu brzine i ako su saglasna kao korisna informacija formira

se srednja vrednost vremenskog intervala. Informacija o brzini obrtanja agregata formira se kao broj nailazaka zuba ispod induktivnog davača u tačno definisanom vremenskom intervalu. Broj zuba na nazubljenom disku odabira se tako, da se pri nominalnoj brzini obrtanja postiže relativno visoka učestanost signala sa induktivnih davača, koja omogućava i visoku tačnost merenja brzine. Brzina obrtanja agregata meri se proporcionalno u opsegu 0÷200%.

Signal napona koji se koristi za merenje brzine, uzima se sa krajeva sekundara naponskog mernog transformatora koji je priključen na izvodima statorskog namotaja generatora. Naizmenični signal se u kondicioneru signala preslikava u povorku pravougaonih impulsa čija učestanost odgovara učestanosti mernog naponskog signala. Signal je u kondicioneru prilagođen i po naponskom nivou i kao takav se uvodi na treći kanal brojačke kartice. Princip određivanja brzine obrtanja agregata obradom signala u brojačkoj kartici je sličan kao i u slučaju primene induktivnih davača. Razliku predstavlja bazna vrednost vremenskog intervala u kojem se vrši brojanje promena logičkog nivoa signala, koja je u ovom slučaju veća u saglasnosti sa nižom učestanošću mernog signala.

U funkcijskom bloku za regulaciju koriste se sve tri informacije o brzini obrtanja agregata. Koja od njih će biti korišćena kao merena vrednost regulisane veličine, a koja kao uporedna, radi provere ispravnosti merenja, zavisi od režima rada agregata, odnosno režima rada turbinskog regulatora. Kada agregat radi na izolovanom opterećenju, relevantna je informacija o brzini dobijena sa induktivnih davača, dok je u slučaju rada agregata na mreži, relevantna informacija o brzini dobijena sa sekundara mernog naponskog transformatora napona generatora.

Signal električne povratne veze po položaju izvršnog organa, klipa servomotora igle mlaznika, koristi se u režimu automatske regulacije i u režimu ručnog upravljanja. Položaj klipa servomotora pretvara se u električni signal pomoću davača položaja koji radi na principu magnetostrikcije i njemu pridruženog električnog pretvarača. Izlazni signal davača položaja je signal 4÷20mA, koji je direktno proporcionalan položaju klipa servomotora igle mlaznika.

Za kontrolu ispravnosti logičkog kontrolera regulatora, brzinskog releja i komandnog aparata, predviđeni su interni elektronski sklopovi koji detektuju neispravnost hardvera logičkog kontrolera. Takođe, predviđena je i programska zaštita od prekida izvršavanja programa kao celine. Kada se ustanovi neregularnost formira se signal neispravnosti. U slučaju da uočena neispravnost ne utiče bitno na rad sistema, nastavlja se dalji rad, rukovaoc se obaveštava, a poruka o uočenoj neispravnosti upisuje se u arhiv događaja. U slučaju da uočena neispravnost predstavlja kvar koji bitnije utiče na rad sistema, položaj izvršnog organa se fiksira na aktuelnoj vrednosti ili se pokreće procedura zaustavljanja agregata. Rukovaoc se obaveštava i u arhiv događaja upisuje se odgovarajuća poruka.

U cilju uklapanja sistema za turbinsku regulaciju u sistem upravljanja agregatom, neophodna je realizacija veze prema nadređenom sistemu upravljanja i realizacija interfejsa prema rukovaocu. Veza prema nadređenom sistemu upravljanja može se smatrati opštom, jer je preko nje ostvarena razmena skupa potrebnih informacija između nadređenog sistema upravljanja, odnosno rukovaoca pri daljinskom upravljanju agregatom, i sistema turbinske regulacije. Interfejs prema rukovaocu realizovan je pomoću komandnih tastera, izbornih sklopki, analognih pokaznih instrumenata, signalnih svetiljki i grafičkog prikaza na operatorskom panelu, koji se nalaze na vratima

ormana u kome je smešten električni deo sistema za turbinsku regulaciju. Interfejs prema rukovaocu izveden je u cilju ostvarivanja nadgledanja stanja u sistemu za turbinsku regulaciju i lokalnog upravljanja. Definisani skup informacija namenjen za interfejs prema rukovaocu, odnosno pri lokalnom upravljanju, može biti u opštem slučaju po broju sadržanih informacija, širi u odnosu na skup informacija koji je namenjen nadređenom sistemu upravljanja, odnosno daljinskom upravljanju agregatom.

Veza električnog dela sistema za turbinsku regulaciju sa nadređenim sistemom upravljanja agregatom izvedena je dvojako. Bakarnim izolovanim provodnicima izvedena je električna veza između tastera, izbornih sklopki komandi i alarma najvišeg prioriteta, koji su sastavni deo sistema upravljanja agregatom, i digitalnih ulaza na logičkom kontroleru sistema za turbinsku regulaciju. Ovakvom vezom je omogućena visoka pouzdanost i sigurnost izvršenja komandi upućenih električnom delu turbinskog regulatora od strane sistema upravljanja i u slučaju delimičnog ili potpunog otkaza komunikacione mreže sistema. Informacioni signali, signali opomene, kao i deo signalizacije, razmenjuju se između električnog dela sistema za turbinsku regulaciju i sistema upravljanja preko komunikacione mreže. Komunikacija je ostvarena serijskom vezom RS485 po standardnom industrijskom komunikacionom protokolu PROFIBUS DP.

Operatorski panel je LCD ekran osetljiv na dodir. Operatorski panel služi za vezu rukovaoca sa sistemom za turbinsku regulaciju. Veza je realizovana putem grafičkog interfejsa. Izgled početnog ekrana i ekrana za nadgledanje i zadavanje brzine obrtanja agregata, prikazan je na sl. 1 i sl. 2. Grafički interfejs omogućava izvršavanje sledećih operacija:

- biranje i postavljanje vrednosti promenljivih veličina pri pripremi turbinskog regulatora za rad,
- biranje i postavljanje vrednosti parametara turbinskog regulatora u toku rada regulatora,
- postavljanje vrednosti veličina prorade brzinskog releja prilikom podešavanja i rada,
- postavljanje vrednosti veličina prorade komandnog aparata prilikom podešavanja i rada,
- izvršavanje testiranja regulatora prilikom podešavanja,
- izvođenje na displej informacija o radu regulatora, brzinskog releja i komandnog aparata,
- izvođenje na displej informacija o stanju kontrolisanih uređaja u sistemu za pripremu ulja pod pritiskom i sistema za podmazivanje,
- izvođenje na ekran indikacija o režimu rada i stanju agregata,
- izvođenje na ekran aktuelnih vrednosti relevantnih veličina u cifarskom obliku.

Predviđena je mogućnost pristupa sistemu sa različitim stepenom dozvole. Razlikuje se dozvola za nadgledanje, dozvola za zadavanje referentnih vrednosti i dozvola za parametrizaciju regulatora i testiranje sistema.



Sl. 1 – Osnovni ekran operatorskog panela



Sl. 2 – Ekrana za nadgledanje i zadavanje brzine obrtanja agregata

Obezbeđena je programska podrška za programabilni logički kontroler i za operatorski panel. Celokupna programska podrška električnog dela sistema za turbinsku regulaciju, realizovana je u okviru programskih paketa „STEP7“ i „WinCC Flexible“. Radni program obezbeđuje izvršavanje programiranih funkcija, odnosno izvršava sve funkcije upravljanja, regulacije i obrade informacija u sistemu.

U okviru programske podrške električnog dela sistema turbinske regulacije, realizovane su sledeće funkcije:

- merenje brzine obrtanja agregata,
- merenje aktivne snage generatora,
- merenje položaja servomotora izvršnog organa,
- funkcije regulacije brzine obrtanja i odate snage agregata,
- funkcija brzinskog releja,
- funkcija elektronskog komandnog aparata,
- prikaz merenja položaja usmernog aparata,
- prikaz merenja brzine obrtanja agregata,
- prikaz merenja signala aktivne snage,
- prikaz merenja učestanosti napona na krajevima generatora,
- prikaz stanja komponenata i merenih veličina u sistemu za pripremu ulja pod pritiskom i u sistemu za podmazivanje,
- zadavanje parametara regulatora unutar unapred postavljenih granica,
- zadavanje položaja servomotora igle mlaznika,
- zadavanje referentne brzine agregata,
- dovođenje generatora na podsinhronu brzinu u odnosu na mrežu,
- realizacija automatskog režima rada,
- upravljanje sistemom za pripremu ulja pod pritiskom i sistema za podmazivanje,
- formiranje zapisa o događajima i alarmima i njihovo upisivanje u trajnu memoriju,
- komunikacija sa višim nivoom upravljanja.

U automatskom režimu rada turbinskog regulatora izvršavaju se sledeće operacije:

- nakon dobijanja komande za start agregata, turbinski regulator postavlja iglu u položaj startnog otvora ili prati porast brzine obrtanja agregata u vremenu, odnosno prati ubrzanje agregata.
- veličina brzine obrtanja u praznom hodu može se zadavati ručno, preko komandi „Више“ i „Ниже“ na komandnom pultu i preko tastera „Више“ i „Ниже“

na vratima ormana u kome je smešten električni deo turbinskog regulatora, daljinski preko kanala komunikacije, ili automatski od strane algoritma za sinhronizaciju agregata na mrežu,

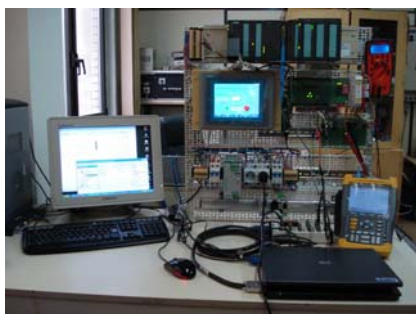
- regulacije aktivne snage agregata pri radu na mreži, uz prelazak na regulaciju po brzini obrtanja agregata u slučaju prekoračenja dozvoljenog odstupanja brzine obrtanja od nominalne vrednosti. Vrednost odstupanja brzine obrtanja, pri kojoj se prelazi na regulaciju po brzini obrtanja agregata i statizam brzine obrtanja, zadaje se kao parametar turbinskog regulatora. Referenca aktivne snage može se zadavati ručno, preko komandi “Više” i “Niže” na komandnom pultu, preko tastera “Više” i “Niže” na vratima ormana i upisom preko tastature u grafičkom interfejsu,
- realizacija funkcije “normalnog zaustavljanja”, pri kojoj se agregat zaustavlja zatvaranjem dovoda vode, zatvaranjem igle mlaznika, kontrolisano od strane električnog dela turbinskog regulatora,
- ograničavanje aktivne snage pri radu na mreži,
- generisanje beznaponskih kontaktnih izlaza, izlaza brzinskog releja i komandnog aparata,
- rad na izolovanom opterećenju i u paralelnom radu sa drugim agregatima,
- zadavanje četiri različita skupa parametara, za četiri režima rada agregata: regulacija brzine u praznom hodu, rad na izolovanom opterećenju, rad na mreži sa regulacijom aktivne snage i regulaciju otvora,
- formiranje PID regulacionog dejstva po brzini obrtanja turbine u praznom hodu,
- formiranje PID regulacionog dejstva po brzini obrtanja agregata pri radu na izolovanom opterećenju,
- formiranje PI regulacionog dejstva po veličini aktivne snage, pri radu na mreži,
- zadavanje “mrtve zone” po brzini obrtanja agregata,
- komunikacija sa nadređenim sistemom upravljanja,
- kontrola ispravnosti rada električnog dela turbinskog regulatora.

4. ISPITIVANJE I PODEŠAVANJE TURBINSKOG REGULATORA

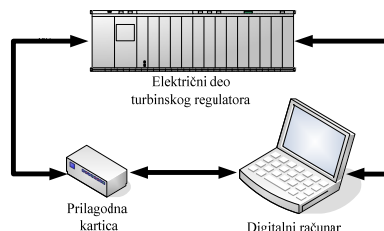
Potrebe razvoja, ispitivanja i podešavanja turbinskog regulatora zahtevale su formiranje ispitnog polja turbinskog regulatora [6], [7]. Izgled ispitnog polja prikazan je na sl. 3. Cilj formiranja ispitnog polja je da se u realan, fizički realizovan, turbinski regulator, uvedu i iz njega izvedu signali koji će po svojoj prirodi, dinamici i električnim osobinama biti istovetni onima koji se predviđaju u realnom pogonu u elektrani. Prema tome, potrebno je konstruisati simulator hidrosistema, turbine i generatora, hidromehaničkog izvršnog organa turbinskog regulatora i ostalih komponenti koje utiču na rad agregata. Izbor i izrada potrebnih komponenti ispitnog polja turbinskog regulatora izvršen je u skladu sa složenim zahtevima koji se postavljaju pred simulator. Simulator se sastoji od hardverskog i programskog dela.

Osnovu hardverskog dela simulatora čine digitalni računar sa ugrađenim operativnim sistemom, na kome se izvršava program simulacije i prilagodna ulazno-izlazna, interfejs, kartica za vezu računarske simulacije, odnosno digitalnog računara i električnog dela turbinskog regulatora. Dodatno, napravljen je mali elektromotorni pogon koji bipolarni strujni signal iz turbinskog regulatora namenjen servorazvodniku pretvara u linearni hod jahača induktivnog davača hoda. Na ovaj način formirana je i fizička predstava trenutnog položaja izvršnog organa turbinskog regulatora, odnosno tendencija kretanja servomotora igle mlaznika na otvaranje i na zatvaranje. Vreme

kretanja elektromotornog pogona na otvaranje odnosno na zatvaranje je postavljeno tako da približno odgovara vremenu na otvaranja i zatvaranje postojećeg servomotora igle mlaznika. U okviru hardverskog dela simulatora nalazi se još i određeni broj potrebnih kondicionera signala i izvora za napajanje. Principijska veza turbinskog regulatora i simulatora prikazan je na sl. 4.



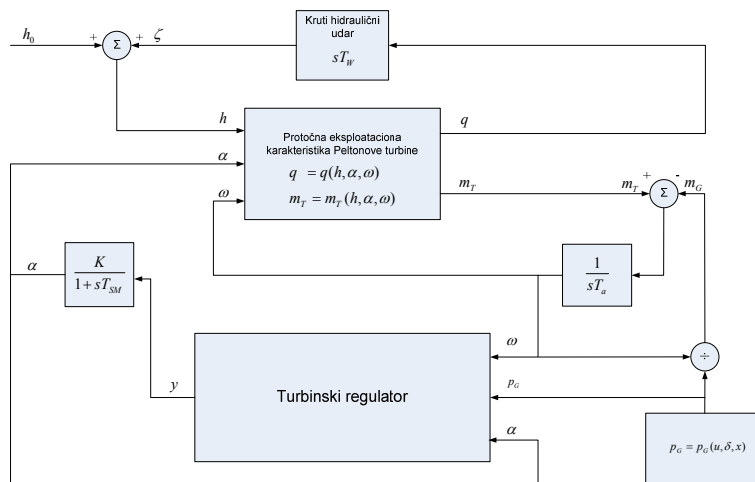
Sl. 3 - Ispitno polje turbinskog regulatora



Sl. 4 – Turbinski regulator i simulator

Programsku osnovu simulatora čine programirani matematički modeli delova sistema koji su međusobno povezani u jedinstvenu celinu okoline turbinskog regulatora [6]. Modelovan je hidrosistem i njegov uticaj na rad agregata predstavljen je pomoću tvrdog hidrauličkog udara. Vremenska konstanta dovodnog cevovoda je T_w . Modelovan je protok vode q i momenat turbine m_T kao funkcije neto pada h , otvora α , odnosno položaja igle u odnosu na mlaznik, i brzine obrtanja agregata ω . Elektromagnetni otporni momenat generatora m_G modelovan je kao funkcija opterećenja generatora. Zavisnost promene vrednosti brzine obrtanja agregata od promene momenta turbine, odnosno promene otpornog momenta opterećenja generatora, predstavljena je elektromehaničkom jednačinom. Uticaj obrtnih masa agregata, momenta inercije generatora i turbine, predstavljen je jedinstvenom vremenskom konstantom agregata T_a . Uprošćeni blok dijagram modela okoline turbinskog regulatora prikazan je na sl. 5.

Jasno je da stepen složenosti modela zavisi od zahtevane tačnosti i vernosti modela okoline turbinskog regulatora [6], [7]. Formiran je nelinearan model koji je neophodan za simulaciju, odnosno analizu prelaznih režima rada agregata, kada su prisutne velike promene u opterećenju i brzini agregata. Nelinearni model koristi se za analizu rada agregata prilikom delimičnog ili potpunog zbacivanja tereta, prilikom pokretanja agregata i dr. Formiran je i linearizovani model koji opisuje ponašanje agregata pri malim promenama brzine, odnosno opterećenja, u okolini neke radne tačke. Na primer, pri nominalnoj brzini obrtanja agregata i nekom zadatom opterećenju. I linearni i nelinearni model zasnovani su na protočnoj i momentnoj eksploatacionoj karakteristici Peltonove turbine koja je u pogonu u HE „Bistrica“.



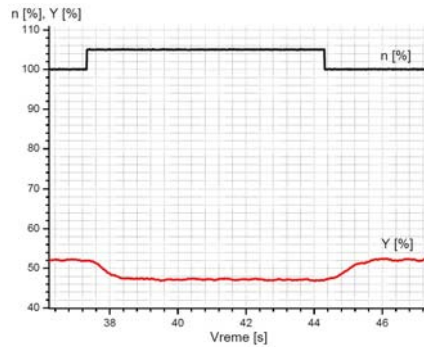
Sl. 5 - Uprošćeni blok dijagram modela okoline turbinskog regulatora

Matematički modeli su formirani i prilagođeni za primenu na digitalnom računaru. Modeli su programirani u programskom okruženju Simulink® u okviru programske platforme MATLAB®. Zahtev koji je postavljen pred programera jeste da celokupna simulacija okoline turbinskog regulatora bude realizovana u RealTimeWorkshop®. Ovako programirana simulacija izvršava se u realnom vremenu i sinhrona je sa izvršavanjem regulaciono-upravljačkog algoritma turbinskog regulatora, koji se takođe izvršava u realnom vremenu. Na ovaj način omogućena je direktna veza između programske simulacije i realnog fizičkog objekta.

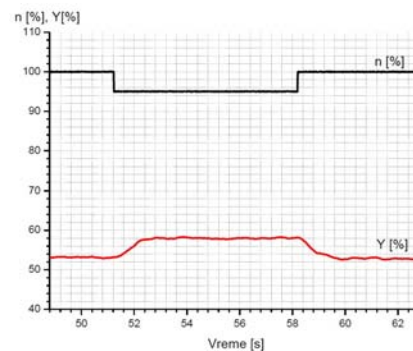
Interfejs između računarske simulacije i fizičkog objekta turbinskog regulatora je ostvaren preko platforme National Instruments PXI® koja je ciljno proizvedena kao real-time platforma. Ova platforma zadovoljava potrebe po brzini odziva, brzini osvežavanja i rezoluciji kako analognih, tako i digitalnih ulaznih i izlaznih kanala.

Ulaz u simulator okoline turbinskog regulatora je analogni bipolarni strujni signal položaja servorazvodnika. Ovaj signal je generisan u turbinskom regulatoru kao rezultat izvršenja funkcijskog bloka za regulaciju. Izlazni signali iz simulatora okoline turbinskog regulatora su ostvareni položaj servomotora igle mlaznika, ostvarena brzina agregata i odata aktivna snaga generatora. Ovi signali se iz simulatora izvode kao analogni električni signali, koji po svojoj prirodi i dinamici i električnim parametrima odgovaraju signalima u realnom pogonu. Na ovaj način izveden je krug regulacije koji čine model okoline turbinskog regulatora, prilagodna ulazno-izlazna kartica i električni deo turbinskog regulatora, kao što je prikazano na sl. 4.

Jedan od testova regulatora izvršen je zadavanjem je step poremećaj od +5% n_n i -5% n_n pri nominalnoj brzini obrtanja agregata u trajanju od 7 sekundi, po kanalu merenja brzine obrtanja agregata. Kao izvršni organ korišćen je elektromotorni pogon na koji je preko odgovarajućeg mehanizma pričvršćen jahač induktivnog davača položaja. Parametri regulatora $K_p=72$, $T_i=430\text{ms}$, $T_d=60\text{ms}$, $T_{d\text{-delay}}=2\text{ms}$. Rezultati merenja promene položaja izvršnog organa prikazani su na sl. 6 i sl. 7. Na dijagramima prikazano je uspostavljanje nove vrednosti položaja izvršnog organa kao odziv na promenu merene brzine obrtanja agregata. Statizam regulatora je podešen tako da se za 1% promene brzine položaj izvršnog organa menja takođe za 1%.



Sl. 6 – Odziv Y pri brzini 105% n_n



Sl. 7 – Odziv Y pri brzini 95% n_n

5. ZAKLJUČAK

Usled istrošenosti delova sistema za turbinsku regulaciju agregata sopstvene potrošnje, došlo je do pogoršanja performansi regulacije brzine u praznom hodu i pri radu agregata na izolovanom opterećenju i performansi regulacije snage pri radu agregata na mreži. Pristupilo se projektovanju novog sistema za turbinsku regulaciju. Projektom je predviđeno da se na istoj hardverskoj platformi, u istom uređaju, realizuju funkcije upravljanja i regulacije celokupnim sistemom za turbinsku regulaciju. Hardversku osnovu čini programabilni logički kontroler čija modularna struktura omogućava implementaciju ovako širokog skupa funkcija. Obezbeđena je softverska podrška za logički kontroler i operatorski panel na kojem je realizovan grafički interfejs prema rukovaocu. Novi digitalni turbinski regulator je ispitivan i podešavan u laboratorijskim uslovima, na ispitnom polju, korišćenjem simulatora okoline turbinskog regulatora.

LITERATURA

- [1] Guide to specification of hydraulic turbine control system, International Standard IEC61362, 1998-03.
- [2] Hydraulic turbines – Testing of control systems, International Standard IEC60308, 2005-01.
- [3] „Elektro-projekat savremenog sistema upravljanja agregata sopstvene potrošnje, agregata 3 u HE „Bistrica““, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“, 10.2009.god.
- [4] Siemens SIMATIC S7-300 CPU 31xC and 31x: Specification – Manual, A5E00105475-08, 06-2008.
- [5] Siemens SIMATIC S7-300 Module data – Manual, A5E00105505-06, 08-2009.
- [6] R.Milijanović, D.Arnautović: „Podešavanje turbinskog regulatora pomoću analognog modela regulisanog sistema“, elaborat, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“ 1977.god.
- [7] R.Milijanović, D.Arnautović: „Proučavanje turbinskog regulatora i sistema koji on reguliše u hidroelektrani Đerdap 2“, elaborat, Elektrotehnički institut „Nikola Tesla“.1980.god.

Abstract: In this paper novel turbine governing system of station service power generator in HPP „Bistrica“ is presented. Special attention is given to the new speed and active power digital governor. Functions and features that a modern turbine governing system should have are listed and systematized. Implementation of these functions is described and features of particular turbine governor are shown. Hardware platform and associated software required for the execution of control and regulation functions are presented, as well as interface realization against the superior control system and the operator. Test setup with the simulator of the turbine governor environment is described and test example is given.

Key words: *turbine governor, hydraulic turbine speed and power regulation, hydro generator*

DIGITAL TURBINE GOVERNOR FOR STATION SERVICE POWER GENERATOR IN HPP „BISTRICA“

Dane Džepčeski, Slobodan Bogdanović, Dušan Arnautović, Jelena Pavlović, Jasna
Dragosavac
Electrical Engineering Institute “Nikola Tesla”, Belgrade