

Ispitivanje kvaliteta rada agregata A5 u TE „Kolubara“ u primarnoj regulaciji učestanosti

Jelena Pavlović¹, Dane Džepčeski, Vladimir Stanojčić, Dušan Arnautović, Slobodan Bogdanović, Aleksandar Latinović², Dušan Duboka³

¹Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Koste Glavinića 8a,
11000 Beograd, Srbija
jelena.pavlovic@ieent.org

²JP Elektroprivreda Srbije, Vojvode Stepe 412,
11000 Beograd, Srbija

³Termoelektrana „Kolubara“,
Lazarevac, Srbija

Kratak sadržaj: Kao posledica značaja primarne regulacije učestanosti, kao i raznovrsnosti realizacija sistema turbinske regulacije, njihovih mogućnosti, podešenja parametara, različitih uslova, načina i dužine eksploatacije opreme javila se potreba za prikupljanjem i sistematizacijom relevantnih podataka o učešću svakog proizvodnog agregata EPS-a u primarnoj regulaciji učestanosti. Sa tim ciljem pristupilo se eksperimentalnom određivanju stanja i podešenja sistema turbinske regulacije agregata. Predmet ovog rada su rezultati ispitivanja kvaliteta učešća jednog termoagregata u primarnoj regulaciji učestanosti elektroenergetskog sistema i rezultati merenja parametara sistema turbinske regulacije na osnovu kojih se izračunavaju parametri matematičkog modela turbinskog regulatora i agregata kao elementa elektroenergetskog sistema.

Ključne reči: turbinski regulator, primarna regulacija učestanosti, statizam, parametri

1. Uvod

U radu su prikazani rezultati ispitivanja kvaliteta rada agregata A5 u TE „Kolubara“ u primarnoj regulaciji učestanosti u elektroenergetskom sistemu. Istovremeno je prikazan pregled rezultata ispitivanja koja su izvršena i na agregatima u drugim termoelektranama koje posluju u okviru Elektroprivrede Srbije (EPS). Ispitivanja su deo studije koja je sprovedena sa ciljem da se ostvari uvid u postojeće stanje sistema turbinske regulacije agregata i izvrši

analiza podešenja turbinskih regulatora u elektranama EPS-a. Kako primarna regulacija učestanosti i snage predstavlja veoma važnu sistemsku uslugu, sve je veća potreba za uvidom u pogonsko stanje sistema turbinske regulacije, uređenjem dostupnih podataka o ovim sistemima, a posebno za podešenjem turbinskog regulatora. Iz tog razloga je prilikom ispitivanja posebna pažnja posvećena proveru kvaliteta odziva agregata u primarnoj regulaciji pri poremećaju učestanosti mreže od $\pm 200\text{mHz}$, kao i merenju veličine stalnog statizma.

Svi rezultati ispitivanja prikazani u radu preuzeti su iz izveštaja o ispitivanju kvaliteta učešća agregata A5 u TE „Kolubara“ u primarnoj regulaciji učestanosti. Ispitivanje sistema turbinske regulacije agregata A5 u TE „Kolubara“, koja posluje u sastavu PD „Termoelektrane Nikola Tesla“, vršeno je tokom marta meseca 2013. godine.

2. Turbinski regulator agregata A5 u TE „Kolubara“

Turbinski regulator agregata A5 u TE „Kolubara“ je savremene konstrukcije i realizovan je u digitalnoj tehnologiji.

Iz tehničke dokumentacije preuzeti su sledeći podaci koji su od značaja za rad sistema turbinske regulacije:

Osnovni tehnički podaci o turbini:

Nominalna snaga L_n	110MW;
Nominalni broj obrtaja n_n	3000min^{-1} ;
Pritisak sveže pare.....	130bar;
Temperatura sveže pare.....	535°C ;
Pritisak pare ispred turbinskog kućišta srednjeg pritiska.....	27,4bar;
Temperatura pare ispred turbinskog kućišta srednjeg pritiska.....	535°C ;
Broj oduzimanja.....	8.

Turbina poseduje dve bajpas stanice: VP i NP koje ostvaruju regulacionu i zaštitnu funkciju. Maksimalni kapacitet bajpas stanice VP: 220t/h (pri $p=135\text{bar}$ i $t=535^\circ\text{C}$). Maksimalni kapacitet bajpas stanice NP: 250t/h (pri $p=32\text{bar}$ i $t=525^\circ\text{C}$).

Osnovni tehnički podaci o turbinskom regulatoru:

Mrtva zona regulatora.....	$\varepsilon=\pm 50\text{mHz}$;
Opseg podešenja mrtve zone.....	$0\div 100\text{mHz}$;
Stalni statizam.....	$b_p=5\%$;
Opseg podešenja stalnog statizma.....	$4\div 12\%$.

3. Rezultati ispitivanja

Ispitivanja turbinskog regulatora agregata A5 u TE „Kolubara“ izvršena su prema odredbama tehničkih standarda i regulativa [1-5]. Opšti uslovi za izvođenje ispitivanja za svaki ispitivani termoagregat su da je blok vezan na mrežu sa pogonskim podešenjima parametara turbinskog regulatora i tehnološkim ograničenjima koja su aktivna u redovnom radu. Agregat radi sa približno nominalnim parametrima procesnih veličina parnog kotla i turbine. Sve zaštitne funkcije agregata su aktivne. U toku ispitivanja nije dozvoljena izmena parametara kotlovske i turbinske regulacije.

U daljem tekstu obrađeni su rezultati ispitivanja kvaliteta odziva agregata u primarnoj regulaciji, statička karakteristika regulatora, zona neosetljivosti, mrtva zona regulatora i određivanja relevantnih parametara sistema turbinske regulacije. Važeća tehnička regulativa koja se odnosi na turbinske regulatore i na primarnu regulaciju učestanosti u elektroenergetskom sistemu, precizira dozvoljene veličine ili opseg promena vrednosti prethodno navedenih veličina kao i način na koji se te veličine mogu izmeriti, odnosno izračunati na osnovu podataka koji su dobijeni merenjima.

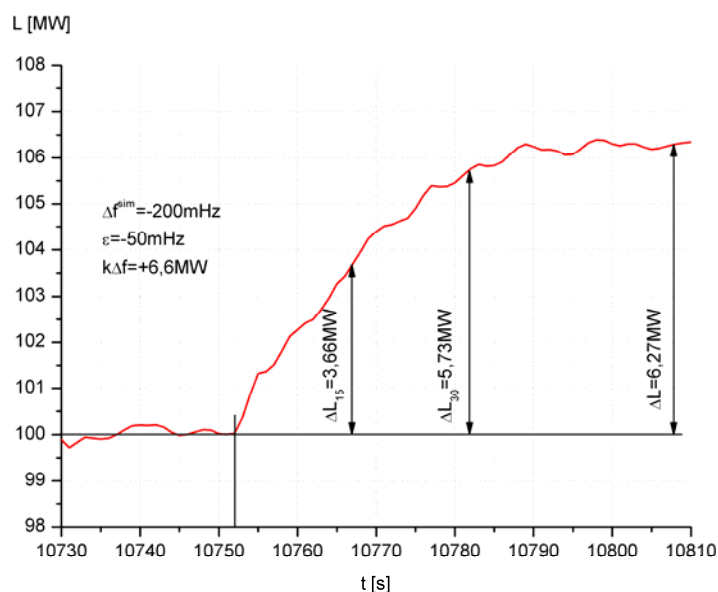
3.1. Odziv agregata pri odskočnoj promeni učestanosti od $\pm 200\text{mHz}$

Pri radu agregata na mreži simulirana je odskočna promena merene učestanosti mreže, na ulazu u programski blok za regulaciju. Veličina simulirane promene merene učestanosti mreže zadavana je u cifarskom obliku, direktno u izvršnom programu regulatora u on-line režimu, preko grafičkog interfejsa na personalnom računaru, uređaju za nadzor i programiranje regulatora. Rezultati oglada prikazani su na sl.1 i 2 gde je sa L označena izmerena veličina aktivne snage u apsolutnim jedinicama, a sa $k\Delta f$ veličina zadate snage u primarnoj regulaciji.

Odskočne promene učestanosti od $\pm 200\text{mHz}$ u odnosu na nominalnu mrežnu učestanost načinjene su u gornjem regulacionom opsegu pri ostvarenoj snazi od približno $0,91L_n$ i postavljenoj vrednosti stalnog statizma $b_p=5\%$. U toku oglada bila je aktivna mrtva zona po učestanosti veličine $\varepsilon=\pm 50\text{mHz}$.

Na sl.1 sa ΔL označena je veličina aktivirane rezerve snage u primarnoj regulaciji, sa ΔL_{15} označena je promena snage nakon 15s, dok je sa ΔL_{30} označena promena snage agregata ostvarena nakon 30s od trenutka simuliranja nastanka poremećaja učestanosti mreže. Računska vrednost rezerve snage u primarnoj regulaciji za postavljenu vrednost stalnog statizma od 5% i veličinu promene učestanosti koju turbinski regulator vidi kao poremećaj učestanosti mreže, vrednost izvan mrtve zone, od 150mHz označena je sa $k\Delta f$. Sa sl.1 se vidi da se 15s nakon simuliranja promene učestanosti mreže aktivna snaga povećala za $\Delta L_{15} = 3,7\text{MW} = 55,5\%k\Delta f$, a da se nakon 30s aktivna snaga povećala za iznos od $\Delta L_{30} = 5,7\text{MW} = 86,8\%k\Delta f$. Takođe, sa slike se vidi da nakon uspostavljanja novog kvazistacionarnog stanja, veličina ukupno angažovane rezerve snage iznosi $\Delta L = 6,3\text{MW} = 95\%k\Delta f$.

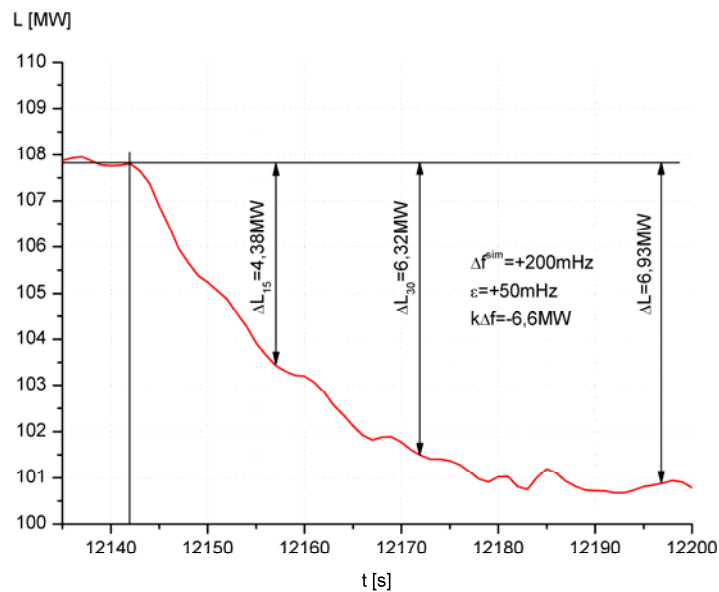
Potrebno je napomenuti da je trenutna učestanost mreže, koja se superponira na odskočnu promenu učestanosti, prilikom zadavanja odskočne promene naniže, bila za 10-20mHz veća od nominalne vrednosti učestanosti. Navedeno odstupanje učestanosti od nominalne vrednosti mora se uzeti u obzir, pa je posledično ekvivalentni poremećaj učestanosti mreže koji regulator detektuje zapravo veličine 130-140mHz. Imajući ovu činjenicu u vidu jasno je da je aktivirana rezerva snage u primarnoj regulaciji agregata A5 približno jednaka proračunatoj vrednosti.



Slika 1. Odziv agregata u primarnoj regulaciji učestanosti $\Delta f^{\text{sim}} = -200\text{mHz}$

Na sl.2 prikazana je simulacija poremećaja učestanosti mreže u smeru povećanja učestanosti. Prema statičkoj karakteristici turbinskog regulatora, agregat se odaziva na poremećaj smanjenjem aktivne snage generatora. Sa slike se vidi da se 15s nakon početka promene aktivna snaga smanjila za $\Delta L_{15} = 4,4\text{MW} = 66,4\%k\Delta f$, a da se nakon 30s aktivna snaga smanjila za iznos od $\Delta L_{30} = 6,3\text{MW} = 95,8\%k\Delta f$. Ostvarena rezerva snage, u smeru smanjenja snage iznosi $\Delta L = 6,9\text{MW} = 105\%k\Delta f$ i nešto je veća od proračunske vrednosti $k\Delta f = 6,6\text{MW}$.

Prikazani odzivi agregata na odskočni odziv $\pm 200\text{mHz}$ zadovoljavaju u potpunosti i u kvalitativnom i u kvantitativnom smislu propisane zahteve odziva u primarnoj regulaciji. Zahtevi izneti u [1] definišu da je u slučaju poremećaja učestanosti u elektroenergetskom sistemu potrebno da svi agregati koji su u trenutku nastanka poremećaja na mreži, u prvih 15s nakon nastanka poremećaja, prema statičkoj karakteristici, angažuju $50\%k\Delta f$ svoje rezerve snage za primarnu regulaciju, a u narednih 15s, dakle do 30s od trenutka nastanka poremećaja, angažuju celokupnu rezervu snage, odnosno $100\%k\Delta f$.



Slika 2. Odziv agregata u primarnoj regulaciji učestanosti $\Delta f^{\text{sim}} = +200\text{mHz}$

3.2. Statička karakteristika regulatora

Digitalni turbinski regulator agregata A5 u TE „Kolubara“ ima povratnu spregu po aktivnoj snazi generatora. Ispitivanja su vršena pri postavljenoj vrednosti stalnog statizma po snazi od $b_p = 5\%$.

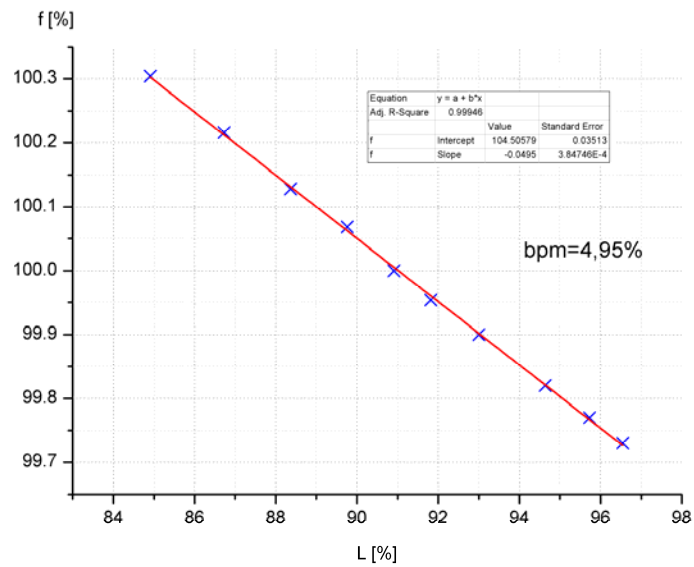
Stalni statizam turbinskog regulatora po snazi meren je pri radu agregata u elektroenergetskom sistemu. Na osnovu rezultata merenja određena je veličina stalnog statizma turbinskog regulatora, prema definiciji, kao apsolutna vrednost nagiba karakteristike promene učestanosti, odnosno brzine obrtanja agregata, u zavisnosti od promene aktivne snage generatora.

Simulirano je odstupanje učestanosti mreže u odnosu na stvarnu vrednost. Odstupanje učestanosti je zadavano u sukcesivnim koracima od po 30mHz. Posle uspostavljanja novog kvazistacionarnog stanja zapisivana je izmerena vrednost aktivne snage generatora, kao i vrednost koju turbinski regulator vidi kao učestanost mreže, stvarna učestanost mreže plus zadato odstupanje. Merenja su izvršena kako pri smanjivanju, tako i pri povećavanju simuliranog odstupanja učestanosti mreže. Mrtva zona regulatora bila je isključena tokom ovih merenja.

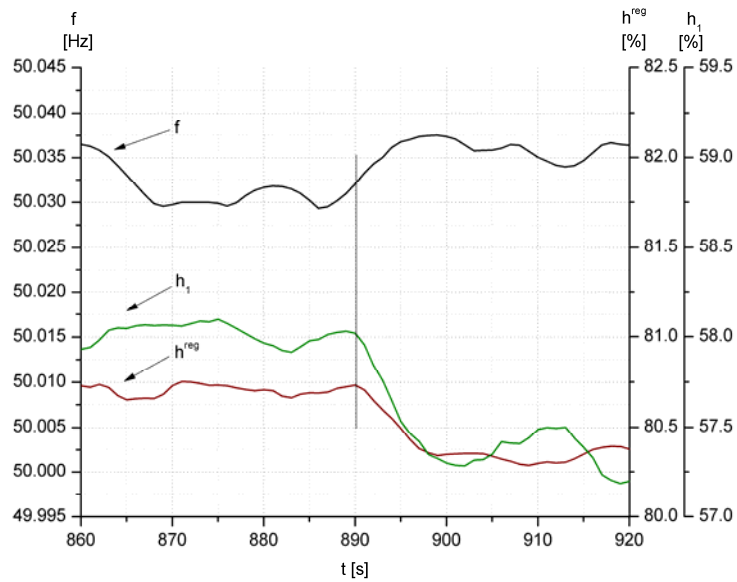
Na sl. 3 prikazana je statička karakteristika turbinskog regulatora u relativnim jedinicama, gde je sa L označena veličina aktivne snage, a sa f učestanost mreže koju vidi turbinski regulator. Izmerena vrednost stalnog statizma je $b_{pm}=4,95\%$. Statička karakteristika je linearna u celom opsegu i izmerena veličina stalnog statizma neznatno odstupa u odnosu na postavljenu vrednost.

3.3. Zona neosetljivosti

Zona neosetljivosti regulatora određivana je u toku rada agregata na mreži. U dužem vremenskom intervalu registrovane su veličine učestanost mreže f , položaj jednog od klipova regulacionih ventila visokog pritiska h_1 , kao i signal zadatog položaja ventila visokog pritiska h^{reg} . Na sl. 4 prikazan je izabrani interval u trajanju od približno 70 sekundi u kojem je izvršena ocena neosetljivosti turbinskog regulatora. Sa sl. 4 jasno se vidi da je zona neosetljivosti $<10\text{mHz}$ [1].



Slika 3. Statička karakteristika agregata u relativnim jedinicama za $b_p=5\%$ sa proračunom nagiba karakteristike



Slika 4. Određivanje zone neosetljivosti turbinskog regulatora

3.4. Mrtva zona regulatora

Mrtva zona turbinskog regulatora određivana je u toku rada agregata na mreži. Podešena veličina mrtve zone je $\varepsilon = \pm 50 \text{ mHz}$. Simulirano je odstupanje učestanosti mreže u odnosu na stvarnu vrednost, tako što je prvo zadato odstupanje učestanost od 0 mHz, a zatim je simulirano odstupanje učestanosti postepeno povećavano. Pri vrednosti simuliranog odstupanja učestanosti mreže većeg od 50 mHz, došlo je do promene merene snage agregata zbog dejstva primarne regulacije, čime je potvrđena postavljena veličina mrtve zone.

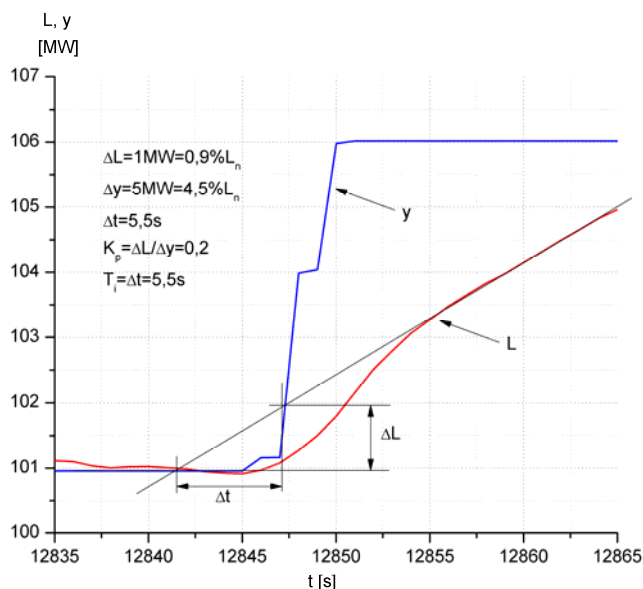
4. Parametri regulatora

Tokom ispitivanja turbinskog regulatora na agregatu A5 u TE „Kolubara“ izvršeno je i određivanje parametara turbinskog regulatora na osnovu izvršenih merenja. Određivanje parametara je vršeno prema važećem standardu. Cilj merenja je bila verifikacija postavljenih vrednosti parametara.

4.1. Određivanje koeficijenta proporcionalnog pojačanja i integralne vremenske konstante

Određivanje proporcionalnog pojačanja K_p i integralne vremenske konstante T_i sistema definiše se za jediničnu promenu regulisane veličine. U realnim uslovima moguće je izvršiti simulaciju promene regulisane veličine za vrednost znatno manju od jedinične, pa zatim odrediti vrednosti K_p i T_i svođenjem na jediničnu promenu. Na sl. 5 prikazan je odziv agregata nakon odskočne promene reference snage, gde je sa L označena izmerena veličina aktivne snage, a sa y signal zadate veličine aktivne snage u apsolutnim jedinicama. Grafičkom metodom određena je vrednost parametara sistema $K_p = 0,2$ i $T_i = 5,5\text{s}$.

Ogled je vršen u cilju određivanja parametara sistema, pojačanja i vremenske konstante sistema kotao-turbina, koje su od interesa za modelovanje odziva agregata u primarnoj regulaciji učestanosti i snage razmene.



Slika 5. Određivanje proporcionalnog pojačanja i integralne vremenske konstante sistema

5. Zaključak

U radu su prikazani rezultati ispitivanja osobina i parametara sistema turbinske regulacije agregata A5 u TE „Kolubara“ koji su od važnosti prilikom rada agregata u primarnoj regulaciji učestanosti i snage razmene. Izvedena su i ispitivanja koja su za cilj imala određivanje parametara sistema turbinske regulacije. Navedeni parametri su dalje korišćeni za parametrizaciju linearizovanog matematičkog modela sistema turbinske regulacije kao elementa matematičkog modela elektroenergetskog sistema.

Odziv ispitivanog agregata u potpunosti ispunjava tehničke zahteve postavljene u propisima koji se odnose na rad agregata u primarnoj regulaciji. Statička karakteristika linearna je u celom opsegu simulirane promene učestanosti mreže. Odstupanje izmerene veličine stalnog statizma od postavljene veličine stalnog statizma je manje od dozvoljenog odstupanja. Neosetljivost regulatora je manja od propisima zahtevanih 10 mHz, dok je veličina postavljene mrtve zone od $\epsilon = \pm 50 \text{ mHz}$ verifikovana ispitivanjem.

Zahvalnica

Rad je nastao u okviru projekta TP33020, „Povećanje energetske efikasnosti hidroelektrana i termoelektrana Elektroprivrede Srbije razvojem tehnologije i uređaja energetske elektronike za regulaciju i automatizaciju“, koji je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- [1] UCTE Policy 1: Load-Frequency Control and Performance [C]. Final version, 19. March 2009.
- [2] Pravila o radu prenosnog sistema, verzija 1.0, JP EMS, april 2008. god.
- [3] Izmene i dopune pravila o radu prenosnog sistema, JP EMS, decembar 2011. god.
- [4] IEC 610064 {ed 1.0}b - Acceptance tests for steam turbine speed control systems. First edition, April 1991.
- [5] IEC 60045-1{ed 1.0}b - Steam Turbines Specification. First edition, May 1991.

Abstract: As a result of the significance of primary frequency control, as well as the diversity of turbine-governing systems implementation, their possibilities, parameter settings, various operating conditions, operating modes and duration, there is a need for the collection and systematization of data relevant to the participation of each power unit in EPS in primary frequency control. For this purpose, the turbine governor settings were experimentally determined. The subject of this paper is the test results of the participation quality of one thermal unit in the primary frequency control, and also the measurement results of turbine-governing system parameters, from which the parameters of the mathematical model of the turbine governor and thermal power unit as an element of the power system are calculated.

Keywords: turbine governor, load frequency control, permanent droop, parameters

The Operating Performance Tests of Power Unit A5 in TPP "Kolubara" in Load-Frequency Control

Rad primljen u uredništvo 30.10.2013. godine
Rad prihvaćen 4.11.2013. godine