

Ispitivanje kvaliteta rada agregata A1 u HE „Zvornik“ u primarnoj regulaciji učestanosti

Vladimir Stanojčić¹, Dane Džepčeski, Dušan Arnautović, Slobodan Bogdanović, Jelena Pavlović

¹ Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Univerzitet u Beogradu
Koste Glavinića 8a, 11000 Beograd, Srbija
vladimir.stanojic@ieent.org

Kratak sadržaj: Rezultati ispitivanja sistema turbinske regulacije agregata A1 u HE „Zvornik“, koji su prikazani u radu, omogućavaju uvid u stanje i podešenje navedenog sistema kao i analizu odziva ovog agregata u primarnoj regulaciji učestanosti u elektroenergetskom sistemu Srbije. Neposrednom primenom važećih standarda i regulativa iz ove oblasti izvršena je verifikacija postavljenih vrednosti parametara. Navedeni rezultati ispitivanja mogu poslužiti kao podloga za formiranje matematičkog modela turbinskog regulatora i agregata u celini kao elementa elektroenergetskog sistema.

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

1. Uvod

Potreba za uvidom u postojeće stanje i podešenje sistema turbinske regulacije i sistematizacijom dostupnih podataka o ovim sistemima proistekla je iz činjenice da primarna regulacija učestanosti predstavlja veoma važnu sistemsku uslugu. Kao posledica raznovrsnosti realizacija sistema turbinske regulacije, njihovih mogućnosti, podešenja parametara, uslova eksploatacije i starosti opreme dešava se da je učešće pojedinih agregata u primarnoj regulaciji učestanosti, sa stanovišta pružaoca sistemske usluge, nezadovoljavajućeg kvaliteta.

Predmet ovog rada su rezultati ispitivanja kvaliteta učešća jednog hidroagregata 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. Prikazana ispitivanja su jedna u nizu sprovedenih ispitivanja na karakterističnim agregatima i u drugim elektranama koje posluju u okviru Elektroprivrede Srbije (EPS), a u cilju kvalitetnijeg uvida i analize postojećeg stanja i podešenja sistema turbinske regulacije. Posebna pažnja posvećena je proveru kvaliteta odziva, svakog od ispitivanih agregata, u primarnoj regulaciji učestanosti, pri poremećaju učestanosti mreže od $\pm 200\text{mHz}$, kao i utvrđivanje stvarne veličine stalnog statizma.

Ispitivanje sistema turbinske regulacije agregata A1 u HE „Zvornik“, koja posluje u sastavu PD „Drinsko – Limske hidroelektrane“, vršeno je tokom juna i jula meseca 2012. godine.

2. Turbinski regulator agregata A1 u HE „Zvornik“

Električni deo turbinskog regulatora agregata A1 u HE „Zvornik“ realizovan je u analognoj tehnologiji.

Iz dostupne tehničke dokumentacije preuzeti su sledeći osnovni opšti podaci koji su od značaja za rad sistema turbinske regulacije pri regulaciji brzine obrtanja agregata:

Broj proizvodnih agregata.....	4
Instalisana snaga.....	96MW
Maksimalni bruto pad.....	22,6m
Minimalni bruto pad.....	17,4m
Bruto pad prilikom ispitivanja.....	20,58m

Osnovni tehnički podaci o turbini:

Turbina.....	Kaplanova vertikalna
Kapacitet turbine.....	$155\text{m}^3/\text{s}$
Maksimalna snaga turbine.....	24MW
Broj obrtaja turbine.....	150min^{-1}

Relevantni parametri i osobine regulatora:

Koeficijent proporcionalnog pojačanja.....	$K_P = 1,16$
Vremenska konstanta integralnog dejstva.....	$T_I = 0,8\text{s}$
Stalni statizam.....	$b_p = 6\%$
Opseg podešenja stalnog statizma.....	$0 \div 10\%$
Zona neosetljivosti po učestanosti.....	$\text{ix} < 0,005\%$

Postavljena mrtva zona regulatora.....ne postoji
Povratna sprega po aktivnoj snazi.....ne postoji
Ograničenje otvora po padu.....ne postoji

Karakteristike hidrauličnog dela regulatora:

Minimalno vreme zatvaranja servomotora UA.....11s
Minimalno vreme otvaranja servomotora UA.....23s
Vreme havarijskog zatvaranja servomotora UA.....10s
Minimalno vreme zatvaranja servomotora RK.....40,5s
Minimalno vreme otvaranja servomotora RK.....16,6s
Vreme havarijskog zatvaranja servomotora RK.....73,6s

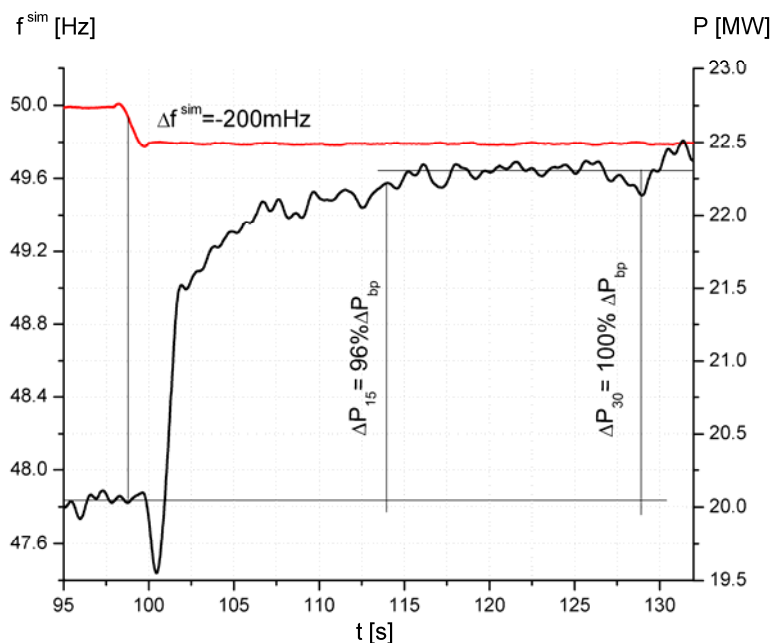
3. Rezultati ispitivanja

Ispitivanja turbinskog regulatora agregata A1 izvršena su prema odredbama tehničkog standarda za ispitivanje turbinskih regulatora hidrauličnih turbina IEC 60308 [1], standarda za specifikaciju parametara turbinskih regulatora hidrauličnih turbina IEC 61362 [2], i regulative UCTE P1 [3] koja se odnosi na primarnu regulaciju učestanosti. U daljem tekstu obrađeni su rezultati ispitivanja kvaliteta odziva agregata u primarnoj regulaciji, statička karakteristika regulatora, zona neosetljivosti regulatora i određivanja relevantnih parametara i vremena kašnjenja sistema turbinske regulacije.

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

Pri radu agregata na mreži, u stacionarnom stanju, izazvana je odskočna promena učestanosti signala po kanalu merenja učestanosti sa induktivnih davača. Umesto stvarnih, impulsnih signala sa induktivnih davača, u merni kanal regulatora uvedena je povorka impulsa promenljive učestanosti sa ispitnog tongeneratora.

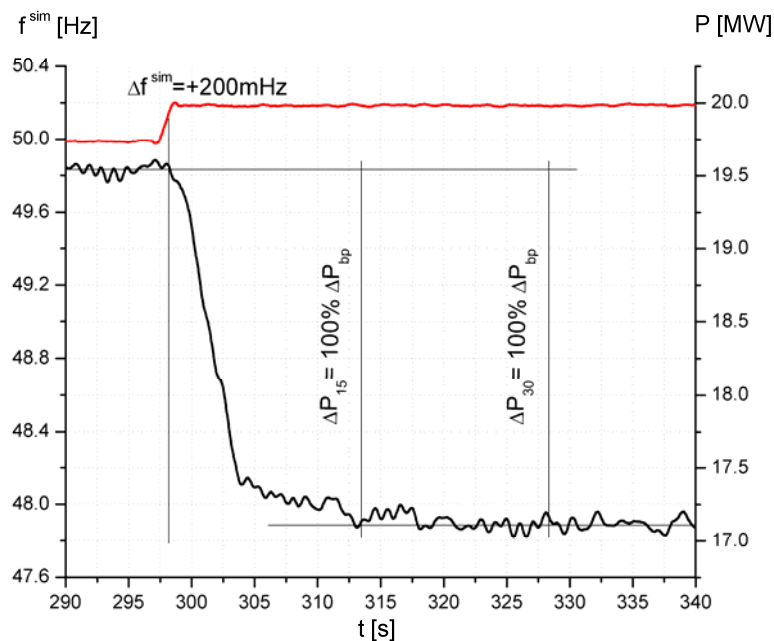
Odskočna promena učestanosti od -200mHz načinjena je pri ostvarenoj snazi od 20MW i postavljenoj vrednosti stalnog statizma $b_p = 6\%$. Rezultati oglada prikazani su na sl. 1, gde je: ΔP_{bp} veličina aktivirane rezerve snage u primarnoj regulaciji; ΔP_{15} je promena snage nakon 15s , dok je ΔP_{30} promena snage agregata ostvarena nakon 30s od trenutka nastanka poremećaja. Sa sl. 1 vidi se da se 15s nakon odskočne promene učestanosti aktivna snaga promenila za $96\%\Delta P_{bp}$, a da se 30s nakon odskočne promene učestanosti aktivna snaga promenila za iznos od $100\%\Delta P_{bp}$.



Slika 1. Odziv agregata pri odskočnoj promeni učestanosti od -200mHz

Odskočna promena učestanosti od +200mHz načinjena je pri ostvorenoj snazi od 19,5MW. Sa sl. 2 vidi se da se već 15s nakon odskočne promene učestanosti aktivna snaga promenila za $100\% \Delta P_{bp}$.

Prikazani odzivi agregata u potpunosti zadovoljavaju propisane zahteve odziva u primarnoj regulaciji na odskočnu promenu učestanosti od $\pm 200\text{mHz}$. Zahtevi izneti u preporuci UCTE P1, paragraf A-S2.3 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 do $50\% \Delta P_{bp}$ svoje rezerve snage za primarnu regulaciju, a u narednih 15s, dakle do 30s od trenutka nastanka poremećaja, angažuju celokupnu rezervu snage, odnosno $100\% \Delta P_{bp}$.



Slika 2. Odziv agregata pri odskočnoj promeni učestanosti od +200mHz

3.2. Statička karakteristika regulatora

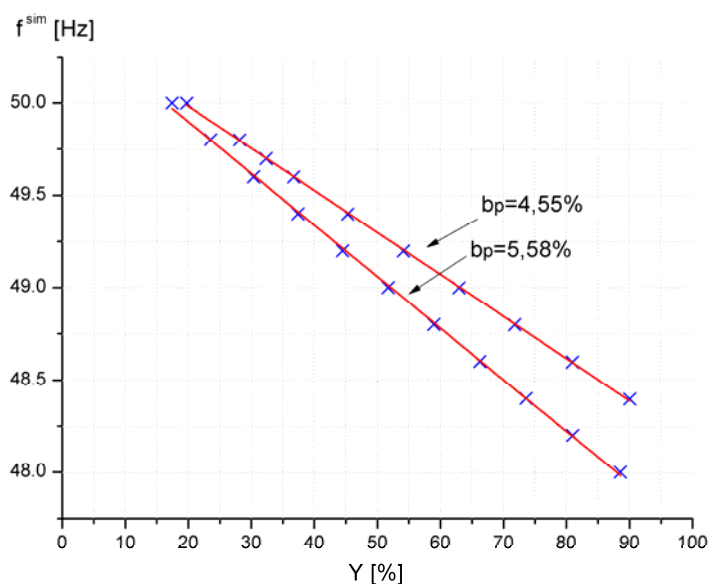
Turbinski regulator agregata A1 u HE „Zvornik“ ne poseduje povratnu spregu po aktivnoj snazi generatora. Ispitivanja su vršena na sledeći način. Na zaustavljenom agregatu izvršena je simulacija rada agregata u praznom hodu. Na kanal merenja učestanosti obrtanja agregata, signal sa induktivnih davača, doveden je signal povorke pravougaonih impulsa promenljive učestanosti sa ispitnog tongeneratora.

Učestanost signala sa tongeneratora je smanjivana u sukcesivnim koracima od po 200mHz u odnosu na početnu vrednost od 50,0Hz, što je dovodilo do otvaranja usmernog aparata. Svaka naredna promena učestanosti vršena je nakon uspostavljanja novog stacionarnog stanja.

Na osnovu rezultata merenja određena je veličina stalnog statizma turbinskog regulatora, prema definiciji, kao nagib karakteristike promene učestanosti, odnosno brzine obrtanja agregata, u zavisnosti od promene položaja klipa servomotora usmernog aparata, odnosno otvora usmernog aparata turbine (IEC61362, s.2.4.7).

Na sl. 3 prikazane su statičke karakteristike regulatora pri postavljenim veličinama stalnog statizma od 5% i 6%. Izmerene vrednosti stalnog statizma su 4,55%, odnosno 5,58%.

Odstupanje izmerene u odnosu na postavljenu veličinu stalnog statizma iznosi -9% za $b_p = 5\%$, odnosno -7% za $b_p = 6\%$. Odstupanje je nešto veće u odnosu na standardom dozvoljeno odstupanje od $\pm 5\%$ od postavljene veličine stalnog statizma (IEC61362 p.4.2.1).



Slika 3. Statičke karakteristike agregata za postavljenu veličinu stalnog statizma od 5% i 6%

3.3. Zona neosetljivosti

Zona neosetljivosti regulatora je određivana kada je agregat bio u stanju mirovanja. Zadavana je promena učestanosti po kanalu merenja brzine agregata iz signala sa induktivnih davača. Umesto stvarnog signala sa induktivnih davača u merni kanal regulatora uvedena je povorka impulsa promenljive učestanosti sa ispitnog tongeneratora.

Zadavana je promena učestanosti u koracima od 1mHz. Zona neosetljivosti određivana je praćenjem strujnog signala (0–20mA) sa ugrađenog davača položaja sprovodnog kola. Promena električnog signala pri

pokretanju lopatica sprovodnog kola bila je reda 0,01mA. Merenjem je ustanovljeno je da je zona neosetljivosti turbinskog regulatora manja od 2,5mHz, odnosno $i_x < 0,005\%$.

3.4. Mrtva zona regulatora

Konstrukciona karakteristika električnog dela turbinskog regulatora agregata A1 u HE „Zvornik“ je takva da ne postoji modul pomoću koga se može postaviti mrtva zona regulatora po učestanosti. Mrtva zona regulatora je u kvantitativnom smislu jednaka neosetljivosti regulatora po učestanosti.

4. Parametri regulatora

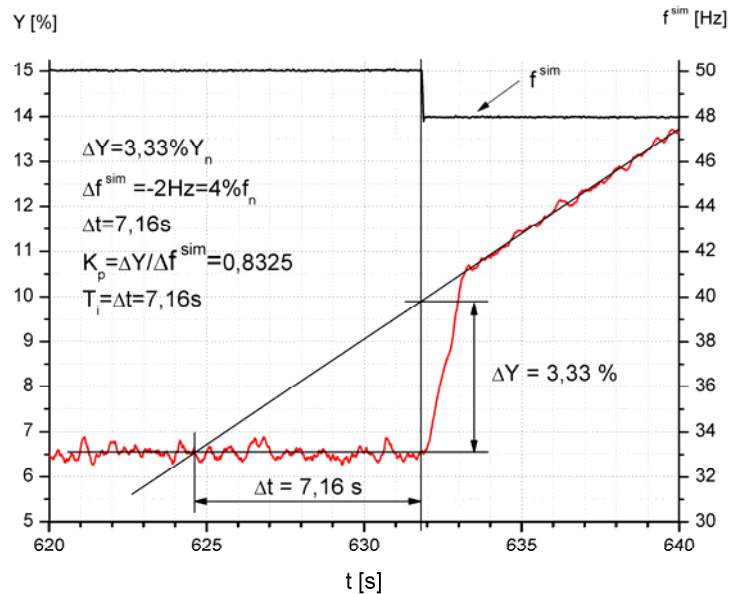
Tokom ispitivanja turbinskog regulatora u HE „Zvornik“ izvršeno je i određivanje parametara turbinskog regulatora na osnovu izvršenih merenja. Određivanje parametara je vršeno prema važećem standardu. Cilj merenja je bila verifikacija postavljenih vrednosti parametara. Razlika između stvarnih i postavljenih vrednosti parametara u slučaju regulatora realizovanih u analognoj tehnologiji uglavnom nastaje usled starenja komponenti.

4.1. Određivanje koeficijenta proporcionalnog pojačanja i integralne vremenske konstante

Određivanje koeficijenta proporcionalnog pojačanja K_p i integralne vremenske konstante T_i turbinskog regulatora, urađeno je u skladu sa odredbama IEC61362, s.2.4.9. Standard definiše 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. 4 prikazan je slučaj kada je simulirana veličina promene učestanosti mreže iznosila $\Delta f^{sim} = -2\text{Hz} = -4\%fn$. Postavljena vrednost proporcionalnog pojačanja regulatora iznosila je $K_p = 1,16$. Postavljena vrednost integralne vremenske konstante regulatora prilikom ispitivanja iznosila je $T_i = 8\text{s}$.

Grafičkom metodom sa sl. 4 određena je vrednost parametara sistema, koeficijent proporcionalnog pojačanja $K_p = 0,833$ i integralna vremenska konstanta $T_i = 7,16\text{s}$.



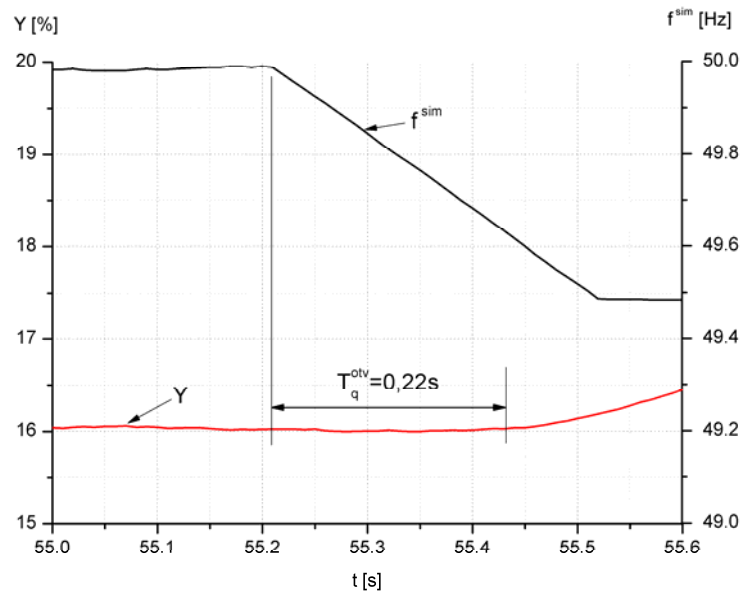
Slika 4. Određivanje K_p i T_i za promenu učestanosti $\Delta f = 4\%f_n$

4.2. Vreme kašnjenja

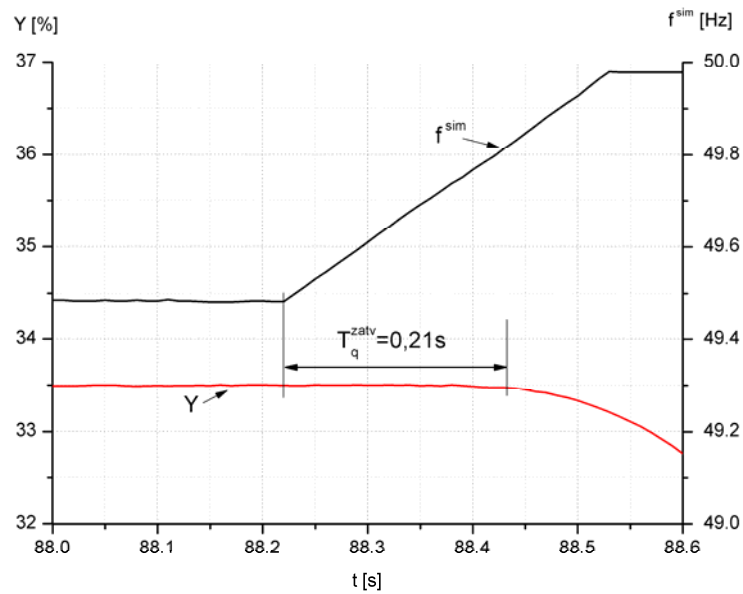
Vreme kašnjenja turbinskog regulatora T_q određivano je prilikom oglada odziva agregata na promenu učestanosti mreže. Standardom IEC61632, s.2.4.18, definisano je vreme T_q kao vremenski interval koji protekne između promene regulisane veličine i pokretanja izvršnog organa izazvanog ovom promenom. Ovo vreme uključuje sva kašnjenja u električnom i hidrauličnom delu turbinskog regulatora, kao i vreme kašnjenja servomotora.

Na sl. 5 prikazan je odziv regulatora prilikom simuliranog smanjenja vrednosti učestanosti u elektroenergetskom sistemu od -500mHz . Izvršeno je određivanje vremena kašnjenja turbinskog regulatora na otvaranje koje u ovom konkretnom slučaju iznosi $T_q^{\text{otv}} = 0,22\text{s}$.

Na sl. 6 prikazan je odziv regulatora prilikom simuliranog povećanja vrednosti učestanosti u elektroenergetskom sistemu od $+500\text{mHz}$. Izvršeno je određivanje vremena kašnjenja turbinskog regulatora na zatvaranje koje u ovom konkretnom slučaju iznosi $T_q^{\text{zativ}} = 0,21\text{s}$.



Slika 5. Određivanje vremena kašnjenja turbinskog regulatora T_q^{otv} na otvaranje



Slika 6. Određivanje vremena kašnjenja turbinskog regulatora T_q^{zativ} na zatvaranje

5. Zaključak

U cilju obezbeđivanja relevantnih podataka o učešću agregata A1 u HE „Zvornik“ u primarnoj regulaciji snage, pristupilo se eksperimentalnom određivanju pogonskog stanja i podešenja sistema za turbinsku regulaciju ovog agregata, neposrednom primenom važećih standarda i regulativa iz ove oblasti. Posebna pažnja posvećena je kvalitetu odziva agregata pri poremećaju učestanosti mreže od $\pm 200\text{mHz}$. Izvedena su i ispitivanja koja su za cilj imala određivanje parametara sistema turbinske regulacije u HE „Zvornik“ koji se koriste za linearizovani matematički model sistema turbinske regulacije kao elementa matematičkog modela elektroenergetskog sistema.

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] Hydraulic turbines – Testing of control systems, International Standard IEC60308, 2005-01.
- [2] Guide to specification of hydraulic turbine control system, International Standard IEC61362, 1998-03.
- [3] UCTE P1-Policy 1: Load-Frequency Control and Performance [C], March 2009.

Abstract: The turbine-governing system characteristics derived from testing hydropower unit A1 in HPP “Zvornik” are presented. These tests give insights into the setup state and parameters of the governing system, as well as the qualitative analysis of load-frequency control response of the case study power unit within the power system of Serbia. Verification of relevant turbine-governing parameters was performed by direct application of appropriate standards and policies. The presented results can be used as a basis for the derivation of a turbine governor mathematical model and for a complete mathematical model of a hydropower unit as an element embedded in the power system.

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

The Operating Performance Tests of Power Unit A1 in HPP "Zvornik" in Load-Frequency Control

