

Ispitivanje kvaliteta rada agregata C u HE „Potpeć“ u primarnoj regulaciji snage i učestanosti

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

Elektrotehnički institut “Nikola Tesla”, Beograd
dane.dzepceski@ieent.org

Kratak sadržaj: U radu su prikazani rezultati ispitivanja sistema turbinske regulacije agregata C u HE „Potpeć“ koja su vršena u cilju provere kvaliteta učešća agregata u primarnoj regulaciji snage i učestanosti u elektroenergetskom sistemu Srbije. Takođe, vršeno je eksperimentalno određivanje relevantnih parametara regulatora koji su od interesa za formiranje matematičkog modela turbinskog regulatora i hidroagregata kao elemenata elektroenergetskog sistema.

Ključne reči: turbinski regulator, primarna regulacija učestanosti, parametri

1. Uvod

Predmet ovog rada su rezultati ispitivanja kvaliteta učešća jednog agregata u primarnoj regulaciji snage i učestanosti sistema. Sprovedena ispitivanja su u radu prikazana kao ugledni primer kako su vršena ispitivanja na tipskim agregatima i u drugim hidroelektranama koje posluju u okviru Elektroprivrede Srbije (EPS), a u cilju ostvarivanja kvalitetnijeg uvida i analize postojećeg stanja i podešenja sistema turbinske regulacije. Potreba za uvidom u postojeće stanje i podešenje sistema turbinske regulacije i uređenjem dostupnih podataka o ovim sistemima, proistekla je iz činjenice da primarna regulacija snage i učestanosti predstavlja sistemsku uslugu koja se valorizuje na tržištu. Način eksploatacije i pogonsko podešenje postojećih sistema u elektranama zasnovano je na protokolima za održavanje i podešavanje koji su specifični za svaku od elektrana pojedinačno, pa čak i pojedinačno za svaki agregat u elektrani. Pored stručnog i savesnog rada osoblja i dosledne primene protokola o održavanju i podešavanju sistema

turbinske regulacije, dešava se da je učešće pojedinih agregata u primarnoj regulaciji snage i učestanosti, sa stanovišta pružaoca systemske usluge, nezadovoljavajućeg kvaliteta.

U cilju prikupljanja relevantnih podataka pristupilo se eksperimentalnom utvrđivanju aktuelnog pogonskog stanja i podešenja sistema za turbinsku regulaciju tipskih agregata u svakoj elektrani koja posluje u okviru EPS-a. Između ostalog, posebna pažnja posvećena je proveru mogućnosti i kvalitetu odziva, svakog od ispitivanih agregata, u primarnoj regulaciji snage i učestanosti, pri poremećaju učestanosti mreže od $\pm 200\text{mHz}$, kao i utvrđivanje stvarne veličine stalnog statizma prilikom angažovanja rezerve snage.

Ispitivanje sistema turbinske regulacije agregata C u HE „Potpeć“, koja posluje u sastavu PD „Drinsko – Limske hidroelektrane“, vršeno je u septembru mesecu 2010. godine.

2. Turbinski regulator agregata C u HE „Potpeć“

Turbinski regulator agregata C u HE „Potpeć“ pušten je u rad neposredno pre sprovođenja ispitivanja opisanih u ovom izveštaju. Regulator je savremene konstrukcije sa električnim delom realizovanim u digitalnoj tehnologiji. Regulator je izrađen kao modularni PLC uređaj sa potpunom redundancijom u slučaju otkaza bilo kog modula ili uređaja u celini. Merni i pretvarački sklopovi su sa odgovarajućom brzinom obrade merenih veličina i poseduju visoku rezoluciju i tačnost merenja.

Elektrohidraulički deo turbinskog regulatora radi sa visokim pritiskom regulacijskog ulja. Elektrohidraulične komponente gotovo su sa trenutnim dejstvom, imajući u vidu druge vremenske konstante sistema, što uz precizan davač položaja klipa servomotora usmernog aparata obezbeđuje visoku tačnost pozicioniranja izvršnog organa, a samim tim doprinosi i ukupnom kvalitetu turbinske regulacije.

Zbog postojanja mogućnosti neposrednog i tačnog podešavanja parametara regulatora, jednostavnog postavljanja na nove vrednosti ili potpunog ukidanja određenih ograničenja tokom ispitivanja, u saradnji sa konstruktorom regulatora, koji je učestvovao u sprovođenju ispitivanja, bilo je moguće izvesti sve zahtevane ogledе u celosti i na način koji je bio potpuno bezbedan za sistem turbinske regulacije i agregat u celini.

Osnovni opšti podaci koji su od značaja za rad sistema turbinske regulacije pri regulaciji snage i brzine obrtanja agregata u prelaznim procesima. Preuzeto iz dokumentacije proizvođača regulatora:

Opseg promene pada.....	37,6÷38,4m;
Moment inercije agregata.....	325tm ² ;
$\Sigma L \cdot v$ Cevovoda.....	198m ² /s.
Snaga turbine PT.....	18,24MW

Osnovni tehnički podaci sistema turbinske regulacije:

Nominalni pritisak regulacijskog ulja.....	16MPa;
Hod servomotora usmernog aparata.....	326mm;
Vreme otvaranja/zatvaranja servomotora.....	10/4s;
Neosetljivost regulatora po brzini obrtanja.....	$\pm 0,005\%$.

Vrednosti parametara regulatora u režimu „Paralelni rad“:

Koeficijent proporcionalnog pojačanja.....	$K_p=1,2$;
Koeficijent integralnog dejstva($T_i=K_p/K_i$).....	$K_i=0,4 \text{ s}^{-1}$;
Koeficijent diferencijalnog dejstva ($T_d=K_D \cdot T_{1d}$).....	$K_D=0,3$;
Vremenska konstanta diferencijalnog dejstva (T_{1d}).....	$T_D=1,2\text{s}$;
Stalni statizam.....	$b_p=5,0\%$;
Opseg podešenja stalnog statizma.....	$0 \pm 10\%$.

Vrednosti parametara regulatora u režimu „Izolovani rad“:

Koeficijent proporcionalnog pojačanja.....	$K_p=3$;
Koeficijent integralnog dejstva($T_i=K_p/K_i$).....	$K_i=0,1 \text{ s}^{-1}$;
Koeficijent diferencijalnog dejstva ($T_d=K_D \cdot T_{1d}$).....	$K_D=0,5$;
Vremenska konstanta difer. dejstva (T_{1d}).....	$T_D=1,2\text{s}$;
Stalni statizam.....	$b_p=4,0\%$.

3. Rezultati ispitivanja

Ispitivanja turbinskog regulatora 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 snage i učestanosti. U daljem tekstu obrađeni su rezultati ispitivanja kvaliteta odziva agregata u primarnoj regulaciji, statička karakteristika regulatora, zona neosetljivosti regulatora i određivanja relevantnih parametara regulatora kao i vremena otvaranja i zatvaranja servomotora usmernog aparata. Navedeni su i podaci o veličini i podešenju mrtve zone regulatora.

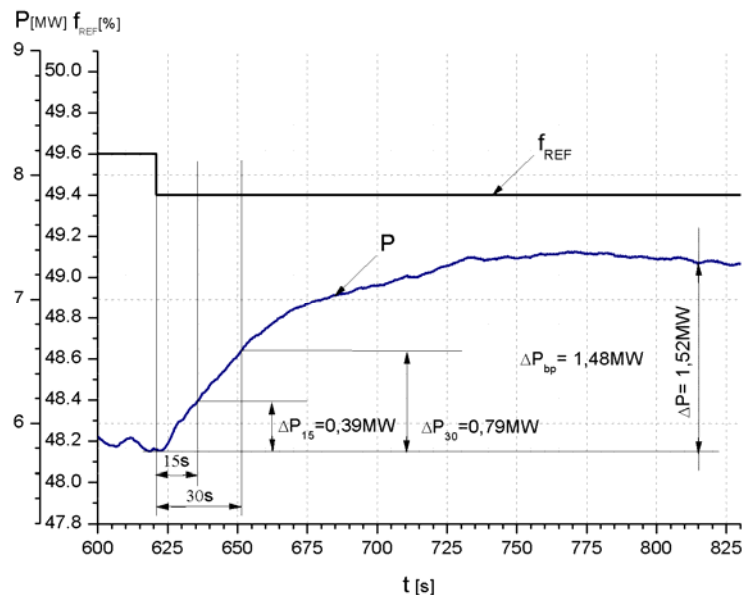
3.1. Odziv agregata pri odskočnoj promeni učestanosti od 200mHz

Pri radu agregata na mreži, izazvana je odskočna promena vrednosti merene učestanosti na ulazu u programski blok za regulaciju. Vrednost promene merene učestanosti mreže zadavana je u cifarskom obliku, putem interfejsa na personalnom računaru koji služi za programiranje regulatora. Odskočna promena učestanosti od -200mHz načinjena je pri ostvarenoj snazi od 5,8MW i postavljenoj vrednosti stalnog statizma $b_p=5\%$. Rezultati oglada prikazani su na sl.1, gde je: ΔP_{bp} vrednost promene snage za promenu učestanosti mreže od 200mHz uvažavajući veličinu stalnog statizma; ΔP

snaga ostvarena u novom kvazistacionarnom stanju nakon poremećaja; 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 $26,3\% \Delta P_{bp}$, a da se nakon 30s nakon odskočne promene učestanosti aktivna snaga promenila za iznos od $53,4\% \Delta P_{bp}$.

Interpretacijom sadržaja preporuke UCTE P1, paragraf A-S2.3., koja opisuje potrebnu brzinu odziva agregata u primarnoj regulaciji snage i učestanosti, i analizom odziva sa sl.1, jasno je da je brzina odziva agregata C u HE „Potpeć“ manja nego što je preporukom predviđeno. Zahtevi izneti u navedenoj preporuci 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 $100\% \Delta P_{bp}$.

U cilju postizanja preporučene brzine odziva agregata u primarnoj regulaciji učestanosti i snage, potrebno je izvršiti promenu vrednosti parametara regulatora. Ovde se pre svega misli na povećanje koeficijenta proporcionalnog dejstva i smanjenju veličine integralne vremenske konstate. Pri tome je potrebno imati u vidu činjenicu da ovakva promena parametara regulatora može imati osetni uticaj na dinamičku stabilnost regulatora.



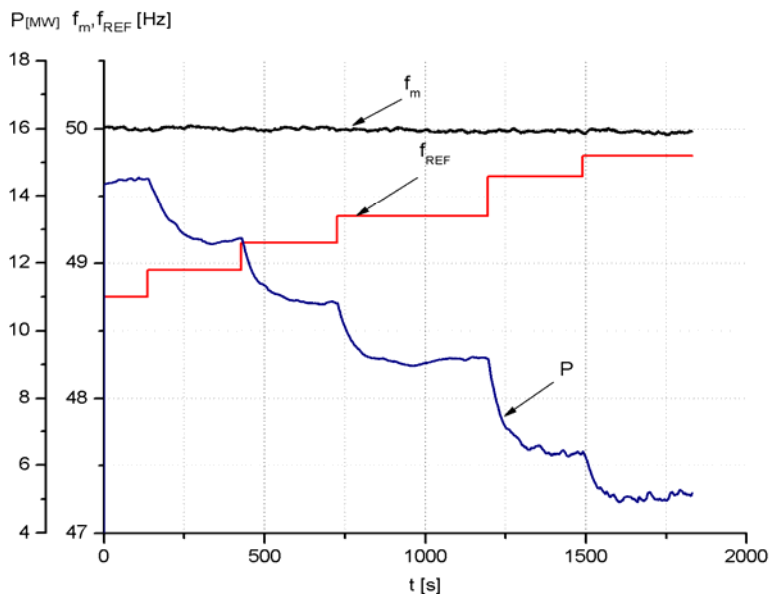
Slika 1 – Odziv agregata pri odskočnoj promeni učestanosti od 200mHz

3.2. Statička karakteristika regulatora

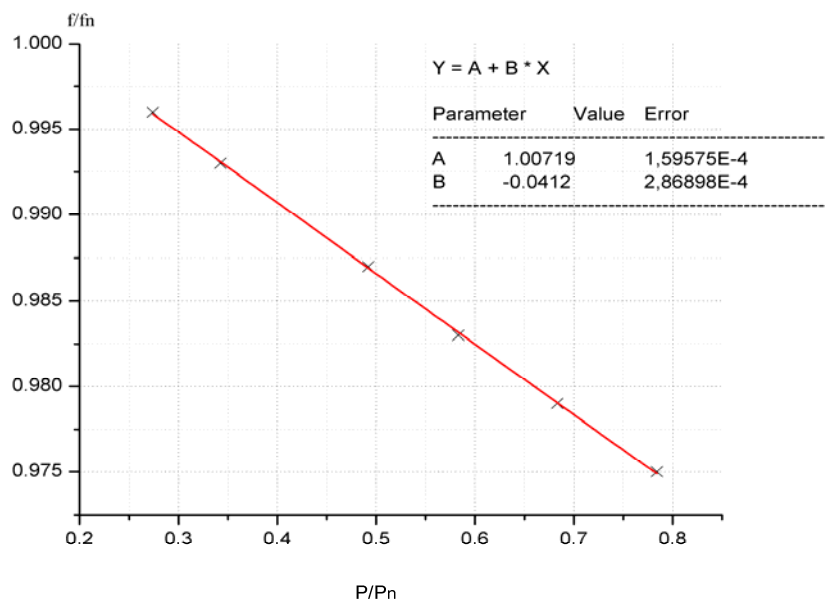
Digitalni turbinski regulator agregata C u HE „Potpeć“ ima realizovanu povratnu spregu po aktivnoj snazi generatora. Ispitivanja su vršena na sledeći način. Vrednost promene merene učestanosti mreže zadavana je u cifarskom obliku putem interfejsa na personalnom računaru. Agregat je u radu na mreži i odaje aktivnu snagu elektroenergetskom sistemu. Za konstantnu vrednost stalnog statizma $b_p = 4,0\%$ i zadatu konstantnu vrednost reference aktivne snage, simulirana vrednost signala merene učestanosti mreže f_{REF} je povećavana u odnosu na početnu vrednost od 48,75Hz, što je uzrokovalo smanjenje aktivne snage generatora.

Na osnovu rezultata merenja određen je stalni statizam turbinskog regulatora, prema definiciji, kao nagib karakteristike promene učestanosti, odnosno brzine obrtanja agregata, u zavisnosti od promene aktivne snage generatora.

Na sl. 2, prikazana je statička karakteristika sa proračunom nagiba u relativnim jedinicama. Izmereni statizam je $b_{pm} = 4,12\%$, što je za 3% različito od zadatog statizma $b_p = 4,0\%$ i zadovoljava standardom definisane kriterijume (IEC61362, s.4.2.1). Linearost statičke karakteristike regulacije očuvana je u celom opsegu promene učestanosti.



Slika 2 – Promena snage generatora u zavisnosti od promene učestanosti za veličinu stalnog statizma od 4%.

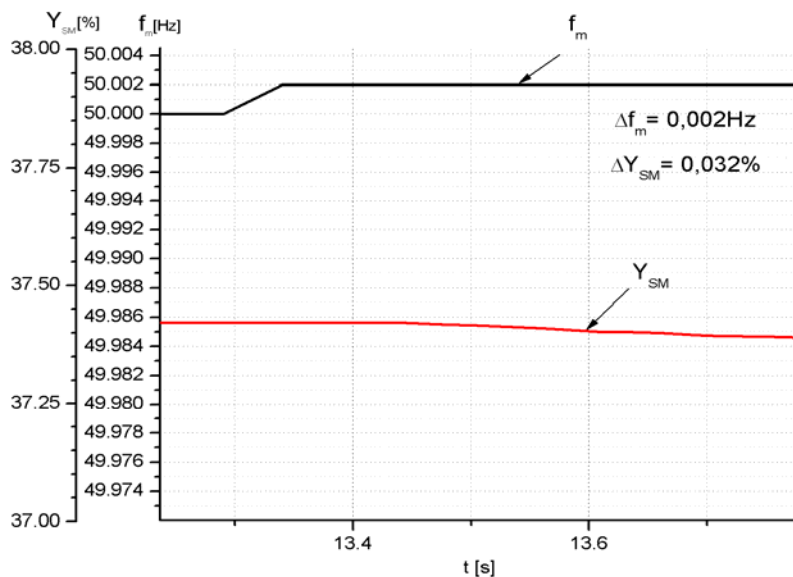


Slika 3 – Statička karakteristika u relativnim jedinicama sa proračunom nagiba karakteristike. Veličina stalnog statizma je 4%.

3.3. Zona neosetljivosti

Turbinski regulator agregata C u HE „Potpeć“ ima deklarisanu malu zonu neosetljivosti po učestanosti. Ispitivanja zone neosetljivosti vršena su kada je agregat bio opterećen i u radu na mreži. Vršeno je merenje stvarnog signala učestanosti mreže i položaja klipa servomotora usmernog aparata turbine. Mrtva zona regulatora je isključena.

Snimanje signala učestanosti mreže i položaja klipa servomotora usmernog aparata vršeno je u dužem vremenskom periodu. Deo snimka koji odgovara vremenskom intervalu u kojem je došlo do veće promene učestanosti mreže, reda 5mHz, detaljnije je analiziran. Na sl. 4 prikazan je deo snimka iz koga se jednoznačno može utvrditi neosetljivost regulatora. Učestanost mreže je porasla, kretanje klipa servomotora usmernog aparata turbine je na zatvaranje. Osetljivost sistema se ogleda u činjenici da je za promenu učestanosti od 2mHz u odnosu na nominalnu vrednost, došlo do promene pozicije klipa servomotora usmernog aparata za 0,032% od punog hoda servomotora.



Slika 4 – Određivanje zone neosetljivosti regulatora po učestanosti

3.4. Mrtva zona

Mrtva zona regulatora je podesiv parametar turbinskog regulatora. Postavljena vrednost mrtve zone regulatora definiše veštačku zonu neosetljivosti regulatora na promenu učestanosti, odnosno na promenu brzine obrtanja agregata.

Turbinski regulator agregata C u HE „Potpeć“ ima podesivu mrtvu zonu. Mrtva zona regulatora ima dve različite podešene vrednosti. Mrtva zona se isključuje pri odstupanju učestanosti većem od $\pm 0,3\% f_n$ (150mHz), a uključuje se pri odstupanju učestanosti koje je manje od $\pm 0,05\% f_n$ (25mHz). Prisutna je i vremenska zadržka u trajanju od 1s pri isključenju mrtve zone nakon ispunjenja uslova po veličini odstupanja učestanosti.

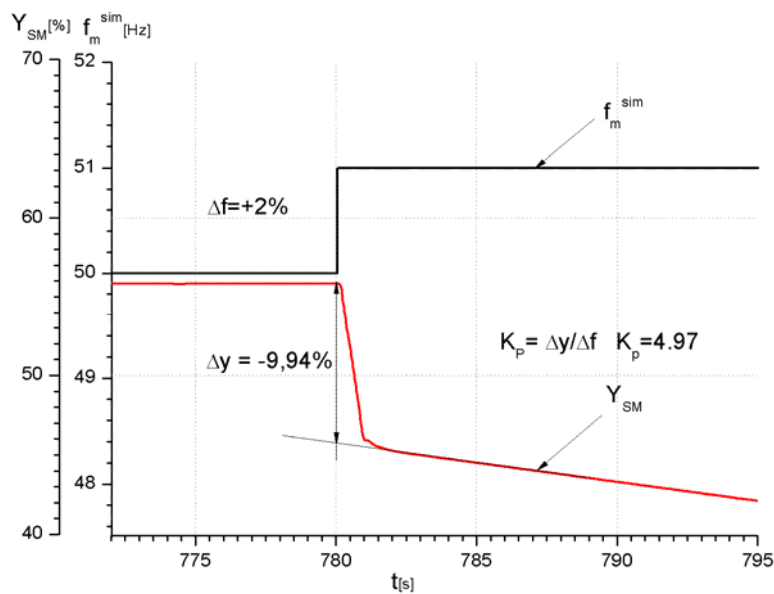
4. Parametri regulatora

Prilikom ispitivanja turbinskog regulatora u HE „Potpeć“ izvršeno je 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 nastaje usled starenja i/ili neadekvatnog podešenja određene komponente sistema. U slučaju regulatora realizovanih u digitalnoj tehnologiji odstupanje stvarne od podešene vrednosti je relativno malo.

4.1. Određivanje koeficijenta proporcionalnog pojačanja

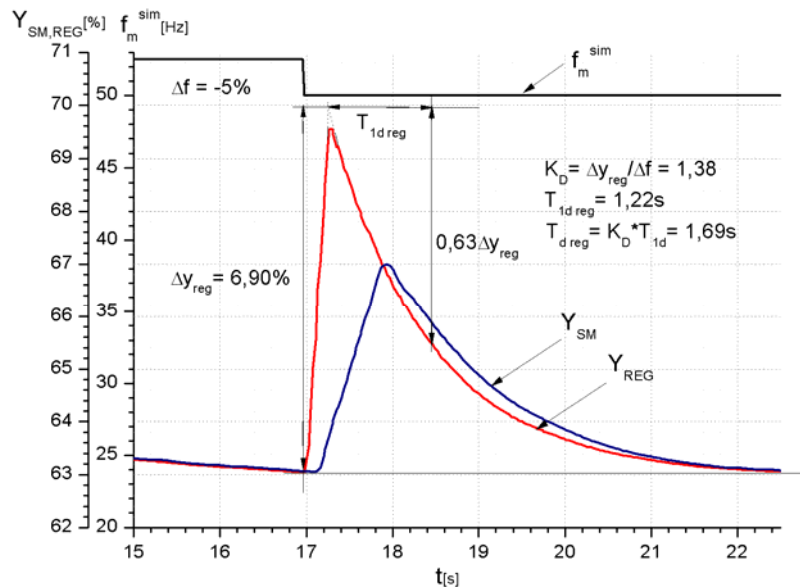
Određivanje koeficijenta proporcionalnog pojačanja K_P urađeno je u skladu sa odredbama IEC61362, s.2.4.9. Standard definiše jediničnu promenu regulisane veličine. U realnim uslovima moguće je izvršiti simulaciju promene regulisane veličine za vrednost znatno manju od jedinične, pa zatim odrediti vrednosti K_P svođenjem na jediničnu. Na sl. 5 prikazan je slučaj kada je simulirana vrednost promene merene veličine mrežne učestanosti prilikom ispitivanja iznosila $\Delta f_m^{\text{sim}} = +0,02f_n$. Postavljena vrednost parametra K_P je 5. Grafičkom metodom, sa dijagrama na sl. 5, određena je vrednost parametara $K_P = 4,97$. U toku ispitivanja koeficijent integralnog pojačanja K_i je $0,2s^{-1}$ ($T_i = K_p/K_i = 25s$), diferencijalno dejstvo regulatora je ukinuto.



Slika 5 – Određivanje K_P za promenu merene učestanosti mreže $\Delta f = +0,02f_n$

4.2. Određivanje vremenske konstante diferencijalnog dejstva

Određivanje vremenske konstante diferencijalnog dejstva T_d urađeno je u skladu sa odredbama IEC61362, s.2.4.11. Na sl. 6 prikazan je slučaj kada je simulirana vrednost promene merene veličine mrežne učestanosti prilikom ispitivanja iznosila $\Delta f_m^{sim} = -0,05f_n$. Postavljena vrednost parametra je $T_d = 2s$ i $T_{1d} = 1,2s$. Rezultati ispitivanja prikazani su na sl. 6. Izmerena vrednost vremena diferencijalnog dejstva je $T_{dm} = 1,69s$ dok je izmerena vrednost vremenske konstante diferencijalnog dejstva $T_{1dm} = 1,22s$. Na sl. 6 prikazan je signal izlaza iz regulatora, a ne ostvareni položaj servomotora usmernog aparata. Signal izlaza iz regulatora je relevantan signal za određivanje vremenske konstante diferencijalnog dejstva zbog postojanja podesivih mehaničkih ograničenja na otvaranje i zatvaranje u hidrauličkom delu sistema.

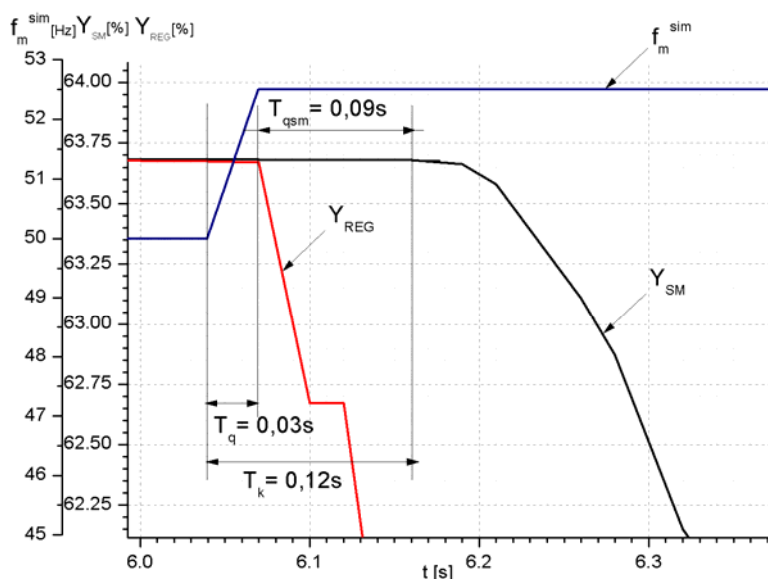


Slika 6 - Određivanje T_d i T_{1d} za promenu merene učestanosti mreže $\Delta f = -0,05f_n$

4.3. Vreme kašnjenja

Standardom IEC61632, s.2.4.18, definisano je vreme T_q kao vreme kašnjenja električnog dela turbinskog regulatora, pretvaračkog elementa i elektrohidrauličkog razvodnika. Vreme kašnjenja servomotora T_{qsm} predstavlja vreme proteklo od zadavanja naloga servomotoru na pokretanje do izvršenja naloga i pokretanja servomotora. Na sl. 7 prikazan je odziv regulatora na

odskočnu promenu regulisane veličine $\Delta f = -0,05f_n$, i odziv servomotora na promenu izlaznog signala regulatora. Grafičkom metodom izvršeno je određivanje traženih parametara i dobijene su vrednosti $T_q = 0,03s$, $T_{qsm} = 0,09s$. Ukupno vreme kašnjenja sistema turbinske regulacije jednako je zbiru vremena kašnjenja regulatora i vremena kašnjenja servomotora. U ovom konkretnom slučaju vreme kašnjenja sistema turbinske regulacije je $T_k = 0,12s$.



Slika 7 – Određivanje ukupnog vremena kašnjenja sistema turbinske regulacije T_k

4.4. Vreme otvaranja i zatvaranja servomotora usmernog aparata

Ispitivanje vremena zatvaranja (IEC61632 s.2.4.14) izvodi se na taj način što se servomotoru usmernog aparata turbine, koji je u krajnjem otvorenom položaju, da maksimalni nalog na zatvaranje. Meri se hod klipa servomotora i vreme za koje klip pređe pun hod.

Ispitivanje vremena otvaranja izvodi se na taj način što se servomotoru usmernog aparata turbine, koji je u krajnjem zatvorenom položaju, da maksimalni nalog na otvaranje. Meri se hod klipa servomotora i vreme za koje klip pređe pun hod..

Izmereno vreme zatvaranja servomotora usmernog aparata turbine u HE „Potpeć“ iznosi $T_f = 4s$, dok je izmereno vreme otvaranja servomotora $T_g = 10s$.

5. Zaključak

Rezultati ispitivanja sistema turbinske regulacije jednog agregata u HE „Potpeć“, koji su prikazani u radu, omogućavaju uvid u stanje i podešenje navedenog sistema kao i kvalitativnu analizu odziva agregata u primarnoj regulaciji učestanosti. Merenjem je izvršena verifikacija postavljenih vrednosti parametara regulatora neposrednom primenom važećih standarda i regulativa iz ove oblasti. Navedeni rezultati ispitivanja mogu poslužiti kao podloga za formiranje matematičkog modela turbinskog regulatora i agregata u celini kao elemenata elektroenergetskog sistema.

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: In this paper numerous results of tests of turbine governing system on power unit C in HPP „Potpeć“ are presented. Tests were performed for the purpose of checking the quality of participation of this hydro power unit in load-frequency control in the power system of Serbia. Also, experimental determination of the relevant parameters of turbine governor for making of mathematical model of the turbine governor and hydro power unit as the elements of power system were performed.

Key words: turbine governor, load frequency control, parameters

Tests of Work Quality of Power Unit C in HPP „Potpeć“ in Load-Frequency Control

Rad primljen u uredništvo 19.09.2011. godine
Rad prihvaćen 15.10.2011. godine