

Algoritmi upravljanja iglama Peltonove turbine na MHE

Jelena Pavlović¹, Miroslav Dragičević¹, Dane Džepčeski¹, Vladimir Stanojčić², Nemanja Miložčić¹, Đorđe Stojčić¹

¹Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Koste Glavinića 8a, 11000 Beograd, Srbija

jelena.pavlovic@ieent.org

²ETO MAGNETIC GmbH, Radolfzell am Bodensee, Baden-Württemberg, Germany

Kratak sadržaj: U radu su predstavljena tri načina vođenja igala Peltonove turbine. Prvi algoritam je pogodan za upravljanje iglama sa minimalnom mernom opremom. Drugi algoritam predviđa sukcesivno otvaranje i zatvaranje igala do određenog stepena i određenim redosledom u zavisnosti od ukupnog potrebnog otvora. Treći algoritam podrazumeva stalno poređenje stepena otvorenosti svih igala i odabir najpogodnije za otvaranje/zatvaranje, čime se postiže veća simetričnost u upravljanju turbinom. Sva tri algoritma su testirana na realnom objektu i rezultati su prikazani u radu.

Ključne reči: Peltonova turbina sa više igala, mlaznica, turbinska regulacija, mala hidroelektrana

1. Uvod

Peltonove turbine imaju široku primenu u proizvodnji električne energije. Postoji niz razvijenih algoritama upravljanja iglama u zavisnosti od broja aktivnih igala i načina i redosleda njihovog rada [1-3]. Kriterijumi za odabir algoritma upravljanja iglama zavise od dostupne opreme i merenja, veličine mašine, očekivanog periodičnog odstupanja količine vode od proseka itd. Cilj ovog rada je analiza algoritama upravljanja sa stanovišta raspodele komandnog signala po iglama.

Peltonove turbine se često koriste i u malim hidroelektranama. Na jednoj takvoj elektrani, sa jednom turbinom sa četiri igle, implementirana su i testirana tri načina vođenja igala, koji su predmet ovog rada. Osnovne karakteristike

elektrane date su u Tabeli 1. Pozicioniranje igala vrši se preko servomotora. Svaka od igala poseduje analogno merenje položaja.

Turbinski regulator se sastoji iz spoljašnje i unutrašnje regulacione petlje. Spoljašnja regulaciona petlja kao referentnu vrednost dobija zahtevanu vrednost regulisane veličine (brzine obrtanja, aktivne snage...), a kao izlaz daje željeni ukupni otvor svih igala. Unutrašnja regulaciona petlja vrši raspoređivanje ukupnog željenog otvora po iglama po određenom kriterijumu.

U ovom radu su opisana tri algoritma upravljanja iglama i dati su rezultati njihovog testiranja na realnom objektu.

Tabela 1. Osnovne karakteristike MHE

Tip turbine	Pelton, vertikalna
Tip generatora	Sinhroni
Neto pad	145 m
Nominalna snaga	875 kVA
Nominalna brzina obrtanja	750 ob/min

2. Opis algoritama

2.1. Upravljanje sa minimalnom mernom opremom

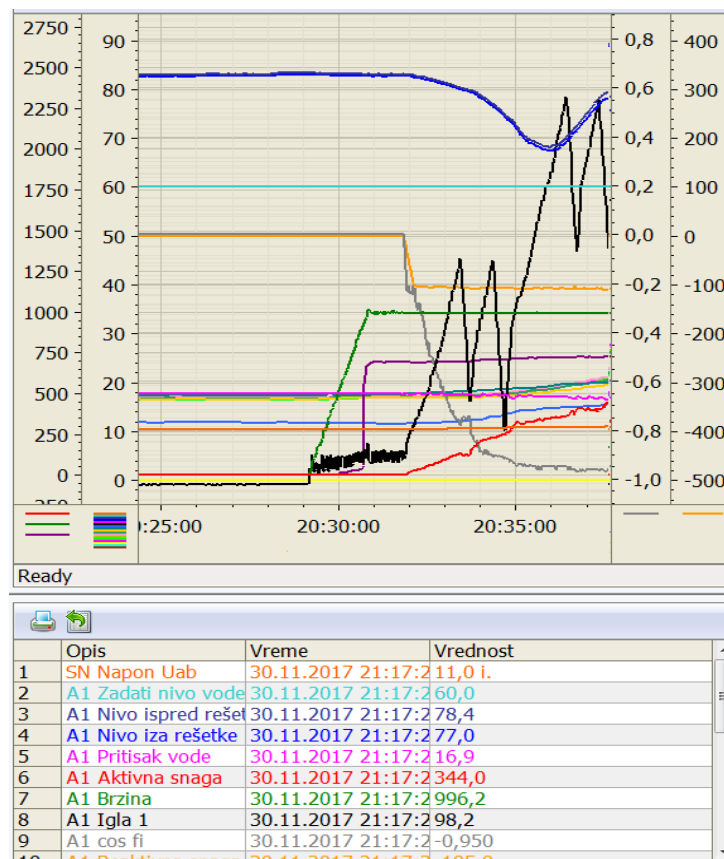
U originalnoj izvedbi igle na MHE bile su opremljene servomotorima za pozicioniranje, digitalnim davačima krajnjih položaja, kao i sa po dva digitalna davača međupoložaja. Izuzetak je igla 1 koja je, pored digitalnih davača, posedovala i analogno merenje tačne pozicije.

Za dato okruženje razvijen je algoritam upravljanja iglama koji se oslanjao na raspoloživa merenja. Precizna regulacija vršena je isključivo pomoću igle 1, dok su preostale igle bile pozicionirane na fiksnim otvorima digitalnih davača. Kada bi se javila potreba za otvaranjem igle 1 preko određene granice, umesto nje, otvarala bi se neka od preostalih igala po unapred utvrđenom redosledu do sledećeg položaja definisanog digitalnim davačem. Slična procedura prati se i pri zatvaranju. Prilikom otvaranja/zatvaranja neke od preostalih igala igla 1 se kreće u suprotnom smeru kako bi ukupan otvor ostao isti.

Rezultati rada ovog algoritma prikazani su na Slici 1. Na slici se vidi uspešno zaletanje, sinhronizacija i opterećivanje generatora. Prikazan je samo položaj igle 1 (crnom bojom), budući da je samo to merenje bilo dostupno. Zaletanje je postignuto angažovanjem samo igle 1, dok su prilikom opterećivanja postepeno u regulaciju uključivane i preostale igle. To se može videti u pritravanjima igle 1 dok se druga igla otvara.

Prednost ovog algoritma je jednostavnost i cena opreme potrebne za njegovu realizaciju. Sa druge strane, može se zaključiti da su komande ka igli 1 značajno češće nego ka ostalim iglama. Takođe, bilo koji kvar na toj igli onemogućava regulaciju i mašina se mora zaustaviti. Uočeno je i da prelazni procesi uključivanja i isključenja neke od ostalih igala u regulaciju usporavaju regulaciju.

Uvođenjem dodatnih analognih merenja položaja na svim iglama omogućena je preciznija i ravnomernija upotreba svih igala, kao i dodatne zaštitne funkcije.



Slika 1. Rad agregata sa algoritmom upravljanja iglama sa minimalnom mernom opremom

2.2. Sekventno otvaranje i zatvaranje igala

Algoritam sekventnog upravljanja iglama podrazumeva regulaciju tražene veličine jednom iglom do određenog stepena njenog otvaranja, kada se prelazi

na sledeću iglu. Komande se uvek prosleđuju samo jednoj igli, dok preostale igle zadržavaju svoj pređašnji položaj. Igle se otvaraju i zatvaraju po unapred utvrđenom redosledu.

U ovoj izvedbi realizovan je jedan prag prelaska na sledeću iglu i on iznosi 50%. Kada jedna igla prilikom otvaranja dostigne vrednost praga, dalje komande na otvaranje se prosleđuju igli koja je sledeća po redosledu otvaranja. Tek kada su sve igle otvorene do nivoa praga kreće se u sledeću sekvencu otvaranja igala iznad tog praga, sve do njihove potpune otvorenosti. Zatvaranje igala vrši se obrnutim redosledom.

Algoritam sekventnog otvaranja igala predstavlja poboljšanje prethodno opisanog algoritma koje je ostvarivo uz dodatna merenja položaja svih igala. Na ovaj način svaka igla može biti regulaciona i igle se koriste ujednačenije. Takođe, prelazni procesi prilikom uključenja/isključenja igala u/iz regulacije su ovim algoritmom eliminisani.

2.3. Komparacioni algoritam

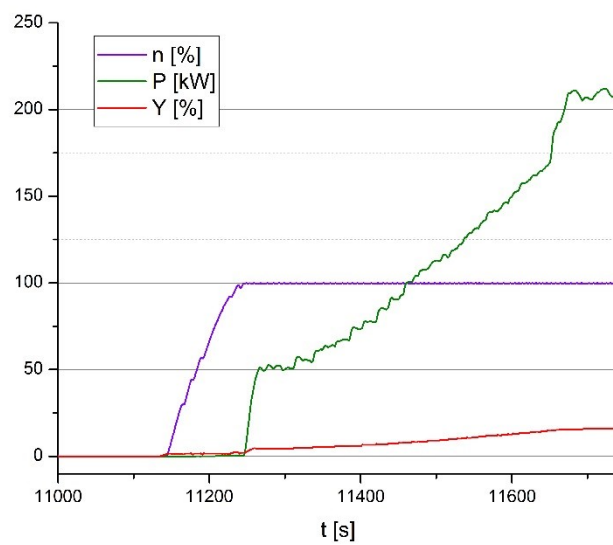
Kao i kod sekventnog algoritma, i u komparacionom algoritmu se u svakom trenutku komanda na otvaranje i zatvaranje prosleđuje samo jednoj od igala. Razlika je u načinu izbora radne igle prilikom sledećeg otvaranja ili zatvaranja. U algoritmu sekventnog otvaranja i zatvaranja taj redosled je unapred određen i zavisi od postizanja praga otvorenosti svih igala. U komparacionom algoritmu za otvaranje se bira ona igla koja je u tom trenutku najmanje otvorena, a za zatvaranje ona koja je najmanje zatvorena. Tek u slučaju identične otvorenosti dve ili više igala odabir igle se vrši unapred utvrđenim redosledom.

Ovim algoritmom upravljanja iglama se postiže još ravnomernije otvaranje i zatvaranje igala tokom regulacije u odnosu na sekventni algoritam, tj. simetričnije opterećivanje vratila mašine.

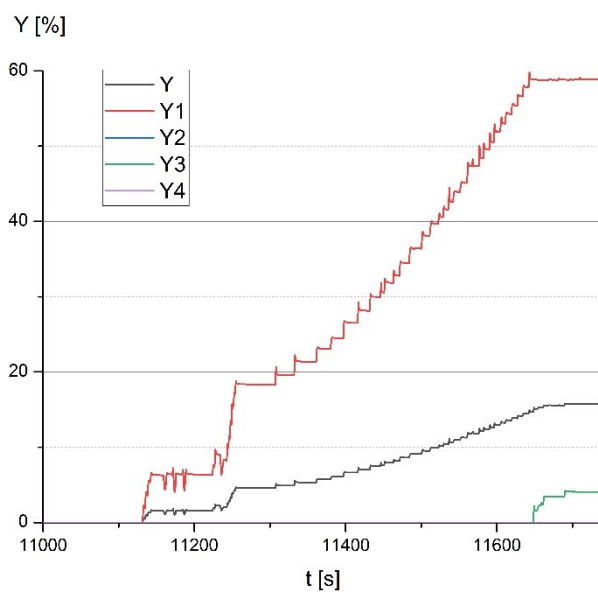
3. Rezultati testiranja

Nakon ugradnje dodatne opreme i neophodnih izmena, algoritam sekventnog otvaranja igala, kao i komparacioni algoritam implementirani su i testirani na realnom objektu. Snimci zaletanja, sinhronizacije i opterećivanja dati su na Slikama 2 i 4. Na njima su prikazane veličine od interesa, brzina obrtanja, aktivna snaga i ukupni otvor svih igala. Na slikama 3 i 5 prikazana su otvaranja svih igala, kao i njihovo zbirno otvaranje u istom vremenskom periodu za oba algoritma.

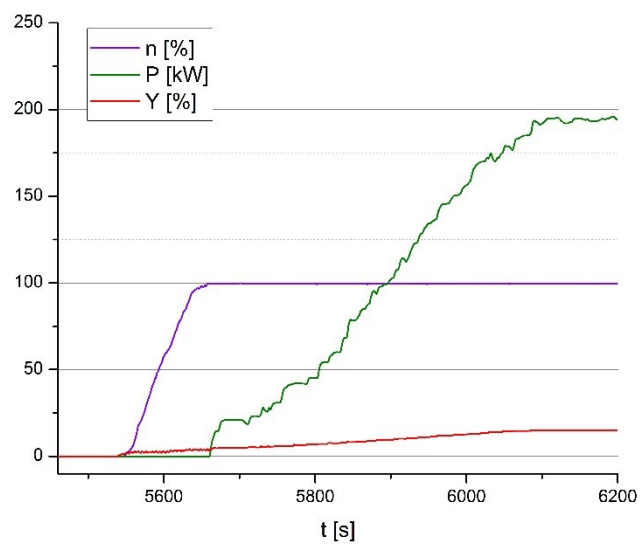
Algoritmi upravljanja iglama testirani su u vremenskom razmaku od nekoliko sati, pri sličnim uslovima okoline, pa se rezultati mogu međusobno porediti. U oba slučaja turbinski regulator je bio u režimu regulacije nivoa vode. Sa Slika 2 i 4 se može videti da se sa oba algoritma upravljanja iglama ostvaruje kvalitetno zaletanje, sinhronizacija i opterećivanje mašine.



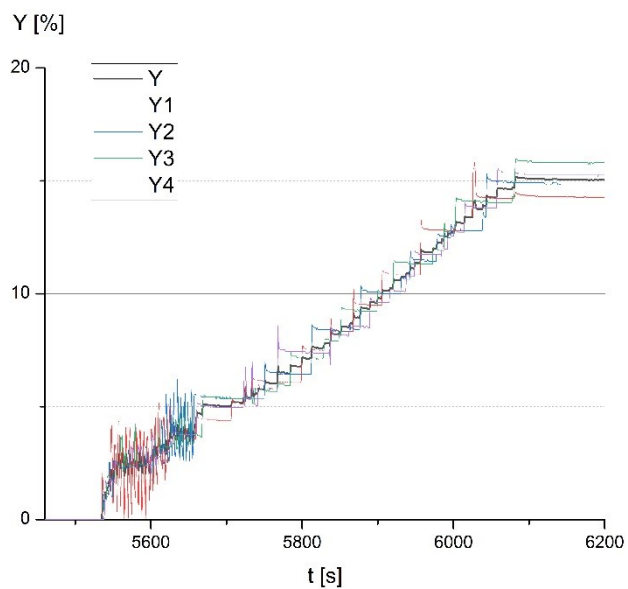
Slika 2. Zaletanje, pobuđivanje, sinhronizacija i opterećivanje mašine sa algoritmom sekventnog otvaranja i zatvaranja igala



Slika 3. Položaji igala prilikom zaletanja, sinhronizacije i opterećivanja mašine sa algoritmom sekventnog otvaranja i zatvaranja igala



Slika 4. Zaletanje, pobuđivanje, sinhronizacija i opterećivanje mašine sa komparacionim algoritmom vođenja igala



Slika 5. Položaji igala prilikom zaletanja, sinhronizacije i opterećivanja mašine sa komparacionim algoritmom vođenja igala

Na Slici 3 se može videti otvaranje igle 1 prilikom zaletanja i opterećivanja mašine, kao i otvaranje igle 3 nakon što je igla 1 dostigla prag prelaska regulacije na sledeću iglu. Kako bi se izbegle nepotrebne brze promene izbora regulacione igle pri otvorima bliskim pragu prelaska, oko praga je uveden histerezis na otvaranje i zatvaranje igala. Postojanje histerezisa je ujedno i razlog početka otvaranja igle 3 pri otvoru igle 1 većem od zadatog praga.

Slika 5 prikazuje položaj igala pri procesu zaletanja i opterećivanja mašine. U svakom trenutku komanda na otvaranje ili zatvaranje prosleđuje se samo jednoj igli, onoj koja je u tom trenutku najmanje otvorena/zatvorena. Uočljiva je simetrija u otvaranju igala, što je i glavni cilj ovog algoritma.

4. Zaključak

Sva tri opisana algoritma upravljanja iglama pokazala su dobre rezultate prilikom vođenja Peltonove turbine na realnom objektu. Algoritam upravljanja iglama sa minimalnom mernom opremom predstavlja ekonomično i prihvatljivo rešenje. Međutim, korišćenje jedne igle za regulaciju (koja ima analogno merenje položaja) može imati za posledicu kraći radni vek te igle u odnosu na ostale. Takođe, sistem nema mogućnost rada sa redukovanim brojem igala tako da kvar bilo koje od igala povlači za sobom zaustavljanje mašine.

Algoritam sekventnog otvaranja i zatvaranja igala i komparacioni algoritam, sa druge strane, zahtevaju dostupna analogna merenja položaja na svim iglama. Time se dobija brža i preciznija regulacija, kao i mogućnost nastavka rada pri kvaru neke od igala. U tom slučaju otvaranjem preostalih igala može se kompenzovati kvar jedne igle, delimično ili u potpunosti, a postoji i mogućnost automatskog odglavljanja igle. Dodatno, komparacionim algoritmom postiže se bezudarna kompenzacija kvara igle, što je posledica ujednačenog otvaranja svih igala.

Zahvalnica

Rad je nastao u okviru projekata TR33020, „Povećanje energetske efikasnosti hidroelektrana i termoelektrana Elektroprivrede Srbije razvojem tehnologije i uređaja energetske elektronike za regulaciju i automatizaciju“ i TR 33024, „Povećanje energetske efikasnosti, pouzdanosti i raspoloživosti elektrana Elektroprivrede Srbije utvrđivanjem pogonskih dijagrama generatora i primenom novih metoda ispitivanja i daljinskog nadzora“, koje je finansiralo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- [1] IEEE Guide for the Application of Turbine Governing Systems for Hydroelectric Generating Units. (n.d.). doi:10.1109/ieeestd.2004.95393
- [2] Hao Wang, Hongjie Wang, Jian Zhang, Xiaolin He and Ruzhi Gong, "Research on nozzle synchronous control system in a pelton turbine based on MRAC," *2014 ISFMFE - 6th International Symposium on Fluid Machinery and Fluid Engineering*, Wuhan, 2014, pp. 1-5., doi: 10.1049/cp.2014.1240
- [3] L. Wang *et al.*, "Governor tuning and digital deflector control of Pelton turbine with multiple needles for power system studies," in *IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 11, no. 13, pp. 3278-3286, 7 9 2017, doi: 10.1049/iet-gtd.2016.1794

Abstract. In the paper the three methods of spear valve governing for Pelton turbine are presented. The first algorithm is suitable for governing with minimal measuring equipment. The second algorithm suggests successive spear valve opening and closing to the next predefined level and in the predefined order, depending on the total opening position needed. The third algorithm demands constant monitoring of all spear valve openings and then chooses the most competent spear valve for opening/closing, which enables more symmetrical turbine governing. The test results of all of the proposed algorithms on SPP are presented.

Keywords: multi-jet Pelton turbine, nozzle, turbine governing, small hydro power plant

Spear Governing Algorithms for Pelton Turbines on SPP

Jelena Pavlović, Miroslav Dragičević, Dane Džepčeski, Vladimir Stanojčić, Nemanja Miložić, Đorđe Stojić

Rad primljen u uredništvo: 20.11.2018. godine.

Rad prihvaćen: 25.11.2018. godine.