

Miloš BOŽOVIĆ¹, Martin ČALASAN², Vladan VUJIČIĆ³

ANALIZA RADA I MOGUĆNOST PRIMJENE PREKIDAČKOG RELUKTANTNOG GENERATORA U VJETROELEKTRANAMA

Sažetak: U ovom radu biće riječi o mogućnostima primjene prekidačkog reluktantnog generatora (SRG – *Switched Reluctance Generator*) u vjetroelektranama. Navedene će biti njegove prednosti, kao i nedostaci, u odnosu na upotrebu drugih tipova generatora u vjetroelektranama. Poseban dio rada će biti posvećen simulaciji rada ovoga generatora pri različitim zakonitostima promjene induktivnosti, što je posljedica primijenjenog konstruktorskog rješenja. Sve potrebne simulacije će biti odrađene u programskom paketu Matlab.

Ključne riječi: *prekidački reluktantni generator, vjetroelektrane, upravljanje*

1. UVOD

Emisija štetnih supstanci sagorijevanjem fosilnih goriva, štetan uticaj i opasnost uzrokovana korišćenjem nuklearnog goriva, globalno zagrijavanje, te ograničene količine rezervi fosilnih goriva u uslovima sve veće potrebe za energijom podstiču proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije. Iskorišćavanje obnovljivih izvora energije je jedan od prioritarnih zadataka vlada širom svijeta. Države koje prepoznaju važnost obnovljivih izvora energije pružaju pomoć investitorima u vidu subvencija, kao i znatna sredstva koja se izdvajaju za naučna istraživanja u ovoj oblasti.

Hidroelektrane su odavno u upotrebi, pa energetske potencijale vode, naročito u razvijenim zemljama, u velikom procentu se već koristi. Dalji razvoj elektrana na

¹ Spec. sc. Miloš Božović, Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, Podgorica

² Mr Martin Čalasan, Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, Podgorica

³ Prof. dr Vladan Vujičić, Elektrotehnički fakultet Univerziteta Crne Gore, Džordža Vašingtona bb, Podgorica

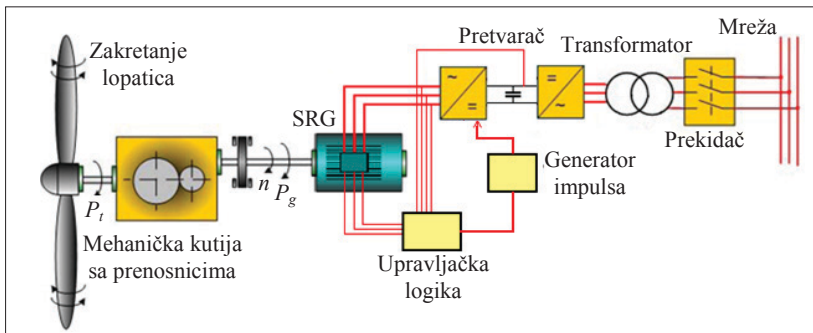
obnovljive izvore energije usmjeren je, u najvećoj mjeri, ka iskorišćavanju energije vjetra i sunčevog zračenja. Vjetar je obnovljivi izvor velikog potencijala i predstavlja vrlo važan energetska izvor u budućnosti.

U vjetroelektranama, u službi vjetrogeneratora, danas se dominantno koriste asinhroni i sinhroni generatori, dok se jednosmjerni generatori koriste u malom broju slučajeva u autonomnim sistemima snaga do nekoliko kW. Najčešće korišćeni generatori su asinhroni kavezni koje okreće turbina konstantne brzine okretanja, i sinhroni generatori u kombinaciji sa turbinama promjenljive brzine okretanja. Sinhroni generatori koji se koriste u vjetroelektranama mogu biti sa malim ili velikim brojem pari polova. Različite realizacije vjetroelektrana, sa različitim tipovima i konstruktorskim rješenjima generatora, imaju određene prednosti i nedostatke. U posljednje vrijeme sve više su u upotrebi sinhroni generatori sa stalnim magnetima. Posebno zanimljivo rešenje predstavlja korišćenje sinhronog generatora sa stalnim magnetima sa velikim brojem pari polova. Takvom konstrukcijom generatora eliminiše se potreba za mehaničkom kutijom sa prenosnicima, a stepen korisnog dejstva takve realizacije je visok [1].

Intenzivna naučna istraživanja usmjerena su kako ka usavršavanju sistema vjetroelektrana sa generatorima koji se standardno koriste u njima tako i ka razradi mogućnosti za primjenu i drugih vrsta generatora. Jedna od tih tendencija predstavlja i ovaj rad, u kom će biti analizirana mogućnost primjene SRG-a u funkciji vjetrogeneratora.

2. MOGUĆNOST PRIMJENE SRG-A U VJETROELEKTRANAMA

SRG, danas, nije u komercijalnoj upotrebi u vjetroelektranama. Međutim, zbog svojih dobrih osobina i intenzivnog rada naučnika i konstruktora na usavršavanju SRG-a i otklanjanju njegovih nedostataka, njegov rad u službi vjetrogenera-



Slika 1. Principijska šema vjetroelektrane sa prekidačkim reluktantnim generatorom

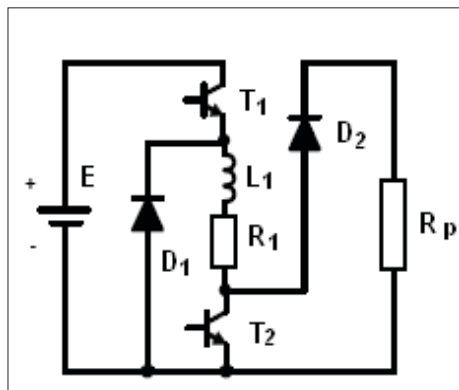
tora se može očekivati ubrzo [2]. Principijska šema vjetroelektrane sa SRG-om data je na Slici 1.

Upravljačka logika SRG-a je složena. Pored informacija o vrijednostima struje ili fluksa, za upravljanje SRG-om potrebna je i informacija o položaju rotora koja se dobija sa senzora položaja. Na osnovu ovih informacija se generiše upravljački signal kojim se vrši dovođenje i odvođenje pobude na fazama SRG-a. Primjenom širinsko-impulsne modulacije vrijednost napona u međukolu pretvarača (Slika 1) održava se na konstantnoj vrijednosti da bi se na izlazu iz pretvarača imao napon mrežne amplitude i učestanosti.

Prednosti korišćenja SRG-a u vjetroelektranama ogledaju se u njegovoj jednostavnosti izrade i održavanja, kao i visokom stepenu efikasnosti [3]. Osim toga, SRG nema stalne magnete koji su skupi i kod kojih postoji rizik od razmagnetisanja. Isto tako, ovaj generator može raditi u širokom temperaturnom opsegu bez gubitka u performansama. Mogućnost rada u širokom opsegu „korisnih” brzina daje poseban značaj ovoj mašini jer vjetroelektrana sa ovim generatorom ima bolji stepen iskorišćenja. Osim toga, SR generator može raditi pri brzinama do 6-7 puta većim od nominalne, što je naročito korisno pri jakim vjetrovima. Takođe, mala inercija SRG-a pogoduje da pri naglim promjenama brzine i smjera vjetra opterećenje na turbini ne bude preveliko. Važna osobina SR mašine je da u slučaju kvara na jednoj fazi, ostale faze mogu nastaviti normalno sa radom. Ta osobina SRG-a posebno je od koristi u slučajevima kratkog spoja neke od faza, a posljedica je specifične konstrukcije SRG-a kod koje su međusobne induktivnosti faznih namotaja male.

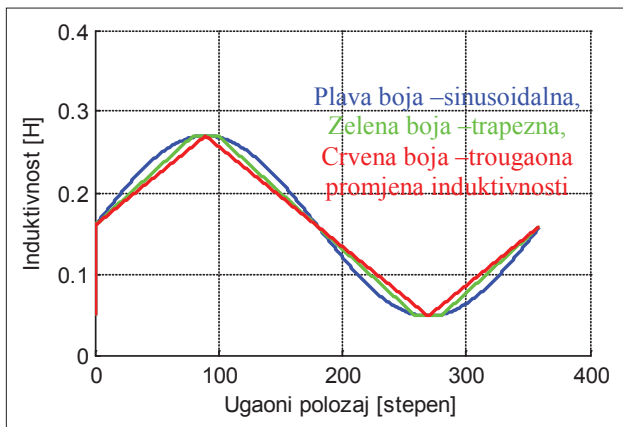
Pored niza prednosti, postoje i neki nedostaci primjene SRG-a. SRG ne može raditi direktno priključen na mrežu, već je neophodna upotreba energetskog pretvarača. Pored toga, za rad SRG-a kao vjetrogeneratora, neophodne su informacije o položaju rotora, radi upravljanja prekidačima u konvertorskom mostu. Sam algoritam upravljanja prekidačima je dosta složen i kontrolerski zahtjevan.

Nivo buke pri radu ovog generatora je visok i srazmjern brzini okretanja. Ipak, najveći problem primjene SRG-a je velika talasnost momenta, ali izborom dobrog algoritma upravljanja može se postići konstantan momenat u zadovoljavajućem opsegu brzina SRG-a (vjetra).

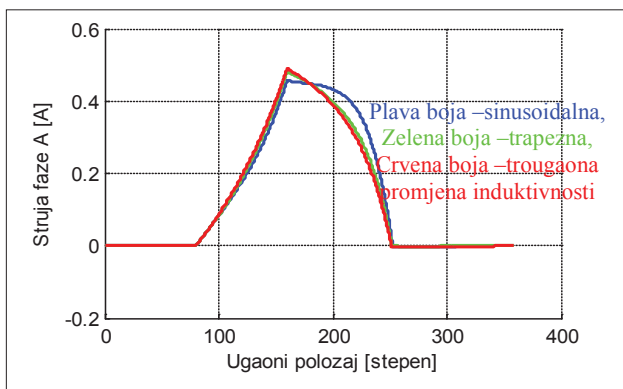


Slika 2. Šema veze faze SRG-a i invertorske grane

3. REZULTATI SIMULACIJE



Slika 3. Sinusoidalni, trougaoni i trapezoidni talasni oblik induktivnosti



Slika 4. Promjena struje faze SRG-a u funkciji položaja rotora za različite oblike promjene induktivnosti

ma 4 i 5 prikazani su oblici struje faze generatora i napona na potrošaču u funkciji položaja rotora.

Parametri koji su korišteni u simulaciji su: $n=10000$ ob/min, $R_p=100 \Omega$, $E=270$ V, $L_{min}=47$ mH, $L_{max}=270$ mH, $\theta_a=8^\circ$, $\theta_{off}=160^\circ$, dok su otpornost gubitaka i međusobna induktivnost faza zanemarene.

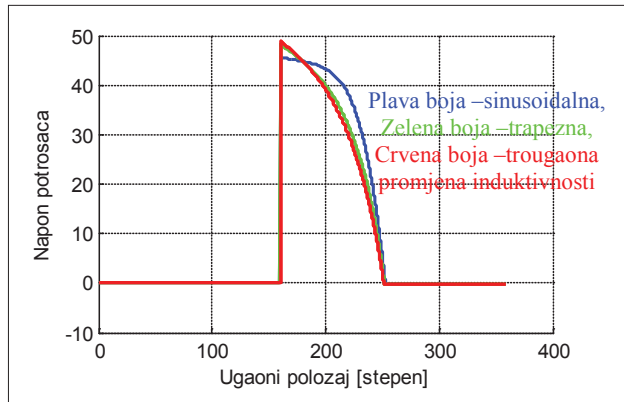
Na Slici 6 prikazana je petlja fluks-struja. U normalnom režimu rada SRG-a, kada je potrošač priključen, energija koja se predaje potrošaču u toku jednog ci-

Analizu rada SRG-a izvršena je analizom šeme sa Slike 2 [4-5]. Na ovoj šemi R_1 i L_1 predstavljaju otpornost, odnosno induktivnost faznog namotaja SRG-a, dok je E napon pobude i R_p otpornost potrošača. U intervalu vremena kada su prekidači T_1 i T_2 zatvoreni, vrši se akumuliranje energije na induktivnosti faze generatora. Kada su prekidači T_1 i T_2 otvoreni strujno kolo se zatvara preko dioda D_1 i D_2 i potrošača R_p . U tom intervalu vremena energija se predaje mreži. Na Slici 3 prikazane su sinusoidalna, trapezna i trougaona paspodjela induktivnosti u SRG-u u funkciji položaja rotora. Oblik promjene induktivnosti zavisi od konstrukcionog rješenja, tj. od geometrijskog oblika polova. Za takve promjene induktivnosti na slika-

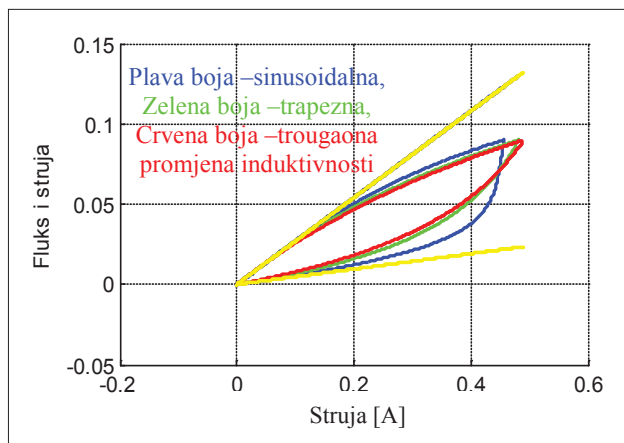
klusa (periode induktivnosti L) jednaka je površini ostvarene petlje fluks-struja.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu bilo je riječi o SRG-u i mogućnosti njegove primjene u vjetroelektranama. Predstavljene su prednosti i nedostaci takve realizacije. Numeričkim rješavanjem jednačina koje opisuju SRG, koristeći programski paket Matlab, prikazana je zavisnost oblika struje i napona kao i vrijednosti snage generatora u zavisnosti od oblika induktivnosti.



Slika 5. Promjena napona potrošača u funkciji položaja rotora za različite oblike promjene induktivnosti



Slika 6. Petlja fluks-struja za različite oblike promjene induktivnosti

LITERATURA

- [1] H. Li, Z. Chen, *Overview of different wind generator systems and their omparisons*, IET Renewable Power Generation, Vol. 2, No. 2, pp. 123–138, 2008.
- [2] A. Fleury, D. A. de Andrade, F. dos S. e Silva, J. L. Domingos: *Switched Reluctance Generator for complementary Wind Power Generation in Grid Connection*, Electric Machines & Drives Conference – IEMDC '07. IEEE International, Vol. 1, 465-470, 2007.
- [3] P. N. Materu, R. Krishnan, *Estimation of Swiched reluctance Motor Losses*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 28, No. 3, pp. 668-679, May/June 1992.

- [4] O. Ichinokura, T. Kikuchi, K. Nakamura, T. Watanabe, H. J. Guo: *Dynamic Simulation Model of Switched Reluctance Generator*, IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol. 39, no. 5, pp. 3253-3255, Sep. 2003.
- [5] C. C. Kim, J. Hur, D. S. Hyun: *Simulation of a switched reluctance motors using Matlab/M-file*, IEEE 28 th Annual Conference of Industrial Electronics Society – IECON 02, Vol. 2, pp. 1066 – 1071, 5-8 Nov. 2002.

THE WORK ANALYSIS AND POSSIBILITY OF APPLICATION OF SWITCHING RELUCTANT GENERATOR IN WIND POWER STATIONS

Abstract: This paper discussed the possibilities of application of a Switched Reluctance Generators in wind turbines. It will be represent his advantages and disadvantages in relation to the use of other types of generators in wind turbines. A special section of the paper will be devoted to a simulation of this work under different rules generator inductance changes as a result of applied constructional solutions. All the necessary simulation will be done in the software package Matlab.