

**PRIMENA ASINHRONIH GENERATORA U
VETROELEKTRANAMA MALE SNAGE**

**APPLICATION OF ASYNCHRONOUS GENERATOR IN
THE LOW POWER WIND POWERED ELECTRICAL
GENERATING STATION**

Vukić, D., Ercegović, Đ., Raičević, D., Radičević, B.¹

REZIME

U radu su date karakteristike osnovnih režima rada trofaznog asinhronog generatora sa kaveznim rotorom primenjenog u vetroelektranama male snage. Izvršena je analiza rada za slučajeve kada generator radi samostalno, trofazno i jednofazno opterećen, i kada radi priključen na elektroenergetski sistem. Pokazuje se da ova vrsta električnih generatora ima prednost u odnosu na ostale vrste generatora za slučaj kada se radi o vetroelektranama male snage.

Ključne reči: asinhroni generator, vetroelektrana, kondenzator, poluprovodnički pretvarač

SUMMARY

In this work, we have presented the characteristics of basic terms of exploitation of three-phased asynchronous generator with caged rotor which is being applied in low power wind powered electrical generating station. There has been made analyses for the cases of automatic, three-phased, single phased supplying, as well as the case when he is switched on to energy system. It has been concluded that this sort of electrical generators has advantages over other kinds of generators, in case of low power wind-powered electrical generating stations.

Keywords: asynchronous generator, wind powered electrical generating station, capacitor, semiconductor converter

UVOD

Obnovljivi izvori energije (vetar, sunčeva energija, biomasa, male hidroelektrane i dr.) su danas u svetu predmet velikog interesovanja pošto oni predstavljaju veliku mogućnost da se smanji potrošnja konvencionalnih goriva čije su rezerve sve manje, poboljša zaštita životne sredine i poveća korišćenje domaćih energetske potencijala.

¹ Prof. dr Đukan Vukić, Prof. dr Đuro Ercegović, Prof. dr Dragiša Raičević, Mr Branko Radičević,
Institut za poljoprivrednu tehniku, Nemanjina 6, 11080 Beograd-Zemun

Od svih obnovljivih izvora energije, kada je u pitanju proizvodnja električne energije, dominantnu ulogu ima vetar i danas vetroenergetika predstavlja oblast sa veoma velikim trendom razvoja, [1].

Jedan od najvažnijih zahteva koji se javlja prilikom pretvaranja energije vetra u električnu energiju jeste izbor i konstrukcija električnog generatora koga će karakterisati pouzdan i efikasan rad u datim uslovima korišćenja energije vetra, način priključenja generatora na mrežu i potrebne veličine i snage mašine. U tom smislu, osnovne vrste električnih generatora koji se koriste u vetrogeneratorskim postrojenjima su asinhroni generatori sa kaveznim rotorom, sinhroni generatori i asinhroni generatori sa dvostranim napajanjem. Uporedna analiza tehničkih i ekonomskih karakteristika ovih vrsta električnih generatora pokazuje da u malim i srednjim vetrogeneratorskim postrojenjima prednost imaju asinhroni generatori sa kaveznim rotorom i sinhroni generatori sa permanentnim magnetima, a u vetrogeneratorskim postrojenjima većih snaga prednost je na strani klasičnih sinhronih generatora i naročito asinhronih generatora sa dvostranim napajanjem, [2], [3]. Ovaj rad je posvećen analizi rada i karakteristikama asinhronog generatora sa kaveznim rotorom primenjenog u vetroelektranama male snage.

GENERATORSKI REŽIM RADA ASINHRONE MAŠINE SA KAVEZNI ROTOROM

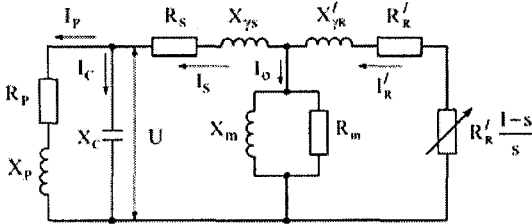
Asinhrona mašine su, kao i sve ostale elektromagnetne električne mašine, po svojoj prirodi reverzibilne, što znači da mogu, pod određenim uslovima, da rade i u motorskom i u generatorskom režimu rada. Asinhrona mašina sa kaveznim rotorom radi kao generator u slučaju kada se rotor obrće u istom smeru kao i obrtno magnetno polje, ali brzinom koja je veća od sinhrona brzine (brzine obrtnog magnetnog polja). U tom režimu rada klizanje je negativno. Mašina tada daje aktivnu snagu, ali uzima reaktivnu snagu koja je potrebna za stvaranje magnetnog polja. Reaktivna snaga se obezbeđuje na dva osnovna načina i to:

- a) iz mreže na koju je generator priključen i na koju su priključeni i sinhroni generatori koji daju potrebnu reaktivnu energiju kako potrošačima, tako i asinhronim generatorima;
- b) iz kondenzatora, u slučaju kada asinhroni generator radi samostalno. Tada asinhroni generator radi u režimu samopobuđivanja i taj režim rada je veoma zastupljen u slučaju kada se asinhroni generator sa kaveznim rotorom koristi u vetrogeneratorskim postrojenjima male snage.

Proces samopobuđivanja asinhronih generatora sa kaveznim rotorom primenjenih u vetrogeneratorskim postrojenjima i problemi koji se tada javljaju posebno su značajni s obzirom na uslove u kojima generator tada radi. U ovom slučaju javlja se više ograničenja koje treba uzeti u obzir kako bi se maksimalno iskoristile dobre osobine ove vrste generatora. Samopobuđivanje je tada moguće samo ako postoji odgovarajuća kombinacija brzine, opterećenja i kapacitivnosti kondenzatora za pobudu. Za konstantnu vrednost kapacitivnosti postoji kritična vrednost opterećenja iznad kojeg samopobuđivanje nije moguće, što je povoljno, pošto je generator na taj način zaštićen od preopterećenja, [4].

Asinhroni generator ima izuzetno povoljnu mehaničku karakteristiku. Naime, u radnom režimu na stabilnom delu karakteristike promene brzine su nesrazmerno male pri promenama momenta što je, gledano sa stanovišta željene brzinske stabilnosti, jako dobra osobina. Ovo znači manje habanje i duži radni vek ostalih delova vetroturbine.

Analiza rada i matematički model asinhronog generatora sa kaveznim rotorom i kondenzatorskom pobudom prikazana je na slici 1. Značenje pojedinih oznaka u šemi poznato je iz osnovne teorije asinhronih mašina, [5].



Slika 1. Ekvivalentna šema asinhronog generatora sa kaveznim rotorom
Picture 1. Equivalent scheme of asynchronous generator with caged rotor

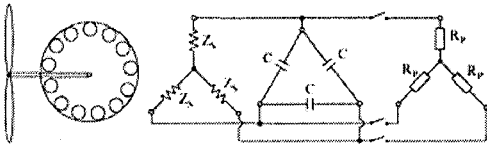
REŽIMI RADA ASINHRONOG GENERATORA U ETROELEKTRANAMA MALE SNAGE

Karakteristični režimi rada asinhronih generatora sa kaveznim rotorom u vetroelektranama male snage su:

- Samostalni rad asinhronog generatora (nezavisno od mreže);
- Samostalni rad trofaznog asinhronog generatora sa jednofaznim opterećenjem;
- Rad trofaznog asinhronog generatora priključenog na elektroenergetsku mrežu.

SAMOSTALNI RAD TROFAZNOG ASINHRONOG GENERATORA

Na slici 2 prikazana je tipična šema trofaznog asinhronog generatora sa samopobuđivanjem u samostalnom radu (nezavisno od mreže). Kondenzatori za pobudu spregnuti su u trougao, jer takva sprega daje tri puta veću reaktivnu snagu nego sprega zvezda.



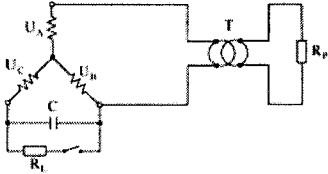
Slika 2. Šema samostalnog rada trofaznog asinhronog generatora
Picture 2. Scheme of automatic exploitation of three-phased asynchronous generator

Potrošač je trofazni, spregnut u zvezdu, pri čemu je otpornost po fazi trofaznog prijemnika R_p . Prilikom puštanja u rad generatora poželjno je da potrošač bude isključen. Naime, kondenzatori za pobudu zajedno sa statorskim namotajem čine oscilatorno kolo. Na nekoj učestanosti kapacitivna reaktansa kondenzatora jednaka je induktivnoj reaktansi namotaja statora i na toj učestanosti dolazi do oscilovanja. Odsustvo otpornosti R_p deluje pozitivno na taj proces zbog čega se u toku puštanja u rad i isključuje.

SAMOSTALNI RAD TROFAZNOG ASINHRONOG GENERATORA SA JEDNOFAZNYM OPTEREĆENJEM

U slučaju kada se iz male vetroelektrane sa trofaznim asinhronim generatorom sa kaveznim rotorom napajaju potrošači gde ne postoje drugi izvori električne energije (lokalna mreža), moguće je generator opteretiti jednofazno i preko jednofaznog transformatora ostvariti vezu sa potrošačima. Pri tom može da se koristi ili linijski ili fazni napon, a postoje i rešenja koja omogućavaju korišćenje oba napona. Na slici 3 prikazana je principijelna šema tog režima

rada.

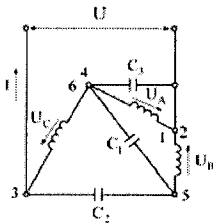


Slika 3. Trofazni asinhroni generator sa jednofaznim opterećenjem

Picture 3. Three-phased asynchronous generator single phased ballast

U ovom režimu rada generator radi u nesimetričnom režimu zbog čega je stepen korisnog dejstva mali i raspoloživa snaga generatora je znatno manja nego u simetričnom režimu rada. Pokazuje se međutim da je pogodnim izborom vrednosti za kapacitet kondenzatora C i otpornosti pomoćnog potrošača R_L moguće ostvariti približno simetričan režim rada čime se navedeni nedostaci značajno smanjuju. Da bi to bilo realizovano u širem spektru promene brzine vetra i opterećenja neophodno je predvideti poseban sistem za kontinualnu regulaciju vrednosti C i R_L , što je sa ekonomskog aspekta neracionalno. Zato se češće primenjuju jednostavnija rešenja gde se sa jednim ili više prekidača uključuju ili isključuju dodatne vrednosti kapaciteta C_d i otpornosti R_d u zavisnosti od promene režima rada generatora, [6].

Pored navedenih rešenja koja omogućavaju približno simetričan rad jednofazno opterećenog trofaznog asinhronog generatora sa kaveznom rotorom razvijeni su i drugi načini priključenja jednofaznih potrošača na trofazni generator. U tom smislu, jedno od najčešće primenjivanih rešenja jeste vezivanje faznih namotaja statora u tzv. Smitovu vezu.



Slika 4. Smitova veza
Picture 4. Smiths connection

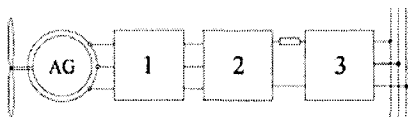
Smitova veza predstavlja asimetričnu vezu faznih namotaja statora koja omogućava da, uz primenu kondenzatora čiji se kapacitet unapred tačno proračunava i određuje, generator radi u simetričnom režimu rada. Šema Smitove veze prikazana je na slici 4 pri čemu su ulazni krajevi faznih namotaja statora čije su impedanse Z_s označene sa 1, 2 i 3, a izlazni krajevi sa 4, 5 i 6.

Analizom režima rada Smitove veze primenom metode simetričnih komponenti pokazuje se da ovo rešenje daje dobre rezultate, ali pod uslovom da se koriste kondenzatori čiji se kapacitet, u zavisnosti od režima rada, može kontinualno menjati. Kako bi korišćenje takvih kondenzatora bilo veoma skupo obično se primenjuje kompromisno rešenje koje se sastoji u korišćenju dve grupe kondenzatora odgovarajućih kapaciteta koji u zadovoljavajućoj meri pokrivaju očekivani interval promene brzine vetra, klizanja, elektromagnetnog momenta i opterećenja, [7].

PARALELAN RAD ASINHRONOG GENERATORA SA ELEKTROENERGETSKOM MREŽOM

Kada se trofazni asinhroni generator sa kaveznom rotorom koji radi u okviru vetrogeneratorskog postrojenja priključuje na elektroenergetsku mrežu kojoj predaje energiju on mora da zadovolji dva osnovna zahteva. Napon i učestanost treba da budu konstantni u što većem opsegu brzina i snaga vetra treba da bude što bolje iskorišćena. Ovi zahtevi se zadovoljavaju primenom sistema sa poluprovodničkim pretvaračima. Postoji više šema tih sistema i oni se obično sastoje od kondenzatora za pobuđivanje (paralelna veza ili redno –

paralelna), diodnog mosta i tiristorskog mosta, [8]. Na slici 5 prikazana je principijelna šema priključenja trofaznog asinhronog generatora na mrežu, pri čemu je značenje simbola na slici sledeće: AG – asinhroni generator, 1 – kondenzatori za pobudu, 2 – diodni most i 3 – tiristorski most.



Slika 5. Priključenje trofaznog asinhronog generatora na mrežu

Picture 5. Connection of three-phase asynchronous generator to the electrical grid

ZAKLJUČAK

Trofazni asinhroni generator sa kaveznim rotorom i kondenzatorskom pobudom predstavlja dobro tehničko rešenje za primenu u vetroelektranama male snage i u tom smislu je u prednosti u odnosu na ostale vrste električnih generatora koji se koriste za pretvaranje energije vetra u električnu energiju. Asinhroni generator tada može da bude primenjen ili kao samostalni izvor električne energije ili da bude vezan na elektroenergetsku mrežu. Kada se koristi kao samostalni izvor energije on može da napaja trofazne i jednofazne potrošače na klasičan način ili da se preko jednofaznog transformatora opterećuje jednofaznim potrošačima (jednofazni režim rada) kada primenom odgovarajućih rešenja treba obezbediti da radi u približno simetričnom režimu rada (npr. Smitova veza). Kod samostalnog rada asinhronih generatora osnovni problem koga treba rešiti jeste proces samobopuđivanja koji je moguć samo kod odgovarajuće kombinacije brzine, opterećenja i kapacitivnosti kondenzatora za pobudu. Kod priključenja trofaznog asinhronog generatora sa kaveznim rotorom na elektroenergetski sistem primenom odgovarajućih poluprovodničkih energetskih pretvarača obezbeđuje se da napon i učestalost budu konstantni u što većem opsegu brzina vetra i da snaga vetra bude što bolje iskorišćena.

LITERATURA

- [1] Burton T., et al: *Wind Energy Handbook*, John Wiley and Sons Ltd, 2001
- [2] Vukić Đ., Ercogović Đ., Radićević B.: *Generatori za pretvaranje energije vetra u električnu energiju*, Poljoprivredna tehnika, broj 4, pp. 94-102, Beograd 2005.
- [3] Vukić Đ., Ercogović Đ., Raićević D.: *Primena asinhronih generatora sa dvostranim napajanjem za korišćenje energije vetra*, Crnogorska Akademija nauka i umjetnosti, publikacija: Alternativni izvori energije i budućnost njihove primjene, knjiga 10, pp. 116-123, Podgorica 2006.
- [4] Chakraborty Ch., Bhadra N. S., Chattopadhyay K. A.: *Excitation Requirements for Stand Alone Three – Phase Induction Generator*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 13, No. 4, December 2002
- [5] Vukić Đ., Stajić Z., Radić P.: *Asinhrona mašine*, Akademska misao, Beograd 2003.
- [6] Sallan J., Sanz M., Butterfield P.: *Investigation of a Self – Excited Induction Generators for Wind Turbine Application*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 31, No. 3, 1991
- [7] Chan T. F., Lai L. L.: *Operation of a Three – Phase Induction Generator With the Smith Connection*, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 17, No. 1, March 2002
- [8] Thorborg K.: *Power Electronics – Theory and Practice*, Studentiliteratur, Lund 1993
- [9] Radićević B., Vukić Đ.: *Uperedna analiza vetroenergetskog potencijala i mogućnosti za korišćenje energije vetra u Srbiji i Crnoj Gori*, Traktori i pogonske mašine, broj 3, Novi Sad 2003.

Rad primljen: 05.10.2006.

Rad prihvaćen: 17.10.2006.