



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”
SEBEȘ, 2015

SISTEM DE CONVERSIE CU TURAȚIE VARIABILĂ A ENERGIEI EOLIENE ȘI HIDRAULICE UTILIZÂND GENERATORUL ELECTRIC ASINCRON CU DOUĂ ÎNFĂȘURĂRI STATORICE

Sorin Ioan DEACONU, Lucian Nicolae TUTELEA,
Maria NĂSĂUDEAN, Carmen MOTORGA

WIND AND HYDRO VARIABLE SPEED ENERGY CONVERSION SYSTEM WITH DUAL STATOR WINDING INDUCTION GENERATOR

Induction generator with dual stator winding is very good for low power and speed, wind and hydro power plant systems, because it has a good controllability, low reactive power consumption, low cost and flexible characteristics. In this paper is presented an variable speed energy conversion system with this type of generator.

Keywords: induction generator stator windings, low power and speed, wind and hydraulic active rectifier, diode bridge

Cuvinte cheie: generator electric asincron două înfășurări statorice, putere și turație reduse, energie eoliană și hidraulică, redresor activ, punte cu diode

1. Introducere

Generatorul asincron cu două înfășurări statorice (DSWA), cu un convertor conectat la înfășurarea principală, se utilizează pentru alimentarea consumatorilor de curent alternativ cu distorsiune armonică redusă [1]-[3] sau a consumatorilor de curent continuu prin adăugarea

unui redresor [4], [5]. În acest caz domeniul de viteze nu poate fi extins fără o creștere a dimensiunilor mașinii. Uzual, mașina asincronă care funcționează la viteză redusă are un curent de magnetizare ridicat, iar dacă convertorul de putere este plasat în înfășurarea de sarcină și funcționează ca un redresor activ, bateria de condensatoare fiind în înfășurarea auxiliară, atunci puterea nominală a redresorului activ nu este mult mai mare decât a unui convertor plasat în înfășurarea auxiliară, și permite funcționarea într-un domeniu larg de viteze [6], dar randamentul generatorului este mai mic decât la un generator asincron cu o singură înfășurare statorică având aceeași putere, aceeași viteză și aceleași dimensiuni de gabarit.

Principalele avantaje ale DSWA comparativ cu generatorul asincron clasic sunt reprezentate de posibilitatea de reducere a puterii nominale a convertorului și a costului, dar prețul plătit [6] îl reprezintă reducerea randamentului cu 5% sau creșterea dimensiunilor geometrice și în consecință creșterea prețului generatorului. În final discuția se reduce la a compara prețul convertorului static cu prețul materialelor active din care se compune generatorul. Scăderea randamentului se datorează unei mai slabe utilizări a cuprului când în stator există două înfășurări: una pentru puterea activă și cealaltă numai pentru puterea reactivă. În această lucrare se propune a nouă schemă și o nouă strategie de control, capabilă să transmită puterea activă și reactivă prin ambele înfășurări, dar utilizând un convertor static de putere și cost redus.

2. Investigație analitică a topologiei propuse

În scopul creșterii utilizării înfășurărilor pentru DSWA, o schemă nouă care conține un redresor activ (invertor) și o punte necomandată cu diode, ambele dimensionate pentru jumătate din puterea nominală, se propune în schema următoare (figura 1). Cu această topologie ambele înfășurări sunt capabile să vehiculeze putere activă și putere reactivă pentru mașină. La viteză redusă doar înfășurarea principală transmite putere activă către rețeaua de curent continuu prin intermediul convertorului PWM, în timp ce la viteze ridicate prin intermediul înfășurării auxiliare se transferă o parte a puterii active către această rețea. În general puterea nominală a convertorului PWM (redresorul activ) este în jur de 50 % din puterea mașinii, iar redresorul necomandat are și el o putere similară. Această configurație permite o extracție optimă a puterii (energiei) atât la viteze reduse cât și la viteze ridicate, la un cost rezonabil și un randament ridicat pentru sistemul de conversie în ansamblul său.

Întreaga energie produsă de generatorul asincron este debitată în circuitul de curent continuu, în timp ce o parte a energiei este debitată direct din înfășurarea auxiliară unor consumatori de curent alternativ nepretențioși (figura 2), și în acest caz redresorul cu diode poate fi eliminat. În aplicațiile eoliene consumatorii nepretențioși vor fi conectați numai când puterea disponibilă a sistemului este mai mare decât 50 % din puterea nominală, ceea ce înseamnă că viteza turbinei trebuie să depășească 80 % din viteza nominală.

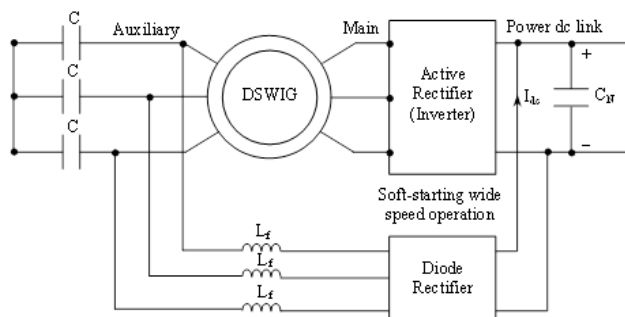


Fig. 1 Sistem de conversie cu turație variabilă a energiei eoliene și hidraulice propus

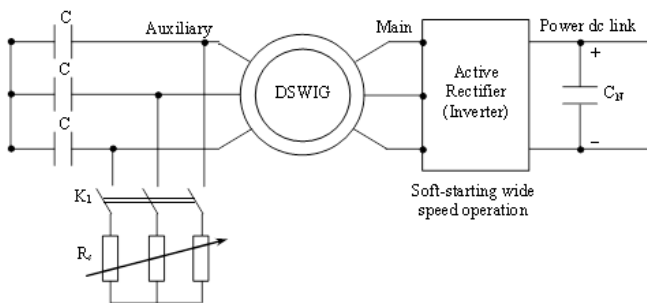


Fig. 2 Soluția propusă pentru consumatori de curent alternativ nepretențioși

Figura 3 prezintă puterea, curentul și randamentul în dependență cu viteza, pentru un prototip având următoarele date nominale: puterea aparentă $S_N = 6 \text{ kVA}$, viteza $\Omega_N = 465 \text{ rpm}$, numărul de poli $p = 8$, tensiunea înfășurării principale $V_N = 220 \text{ V}$ (valoare efectivă pe fază), raportul între tensiunea înfășurării principale și a înfășurării auxiliare $k_e = 24/31$. Parametrii mașinii raportați la înfășurarea principală sunt: $R_1 = 4,212 \text{ } \Omega$; $R_2 = 2,49 \text{ } \Omega$; $R_r = 2,243 \text{ } \Omega$; $X_m = 1418 \text{ } \Omega$; $X_{1\sigma} = 0,2989 \text{ } \Omega$; $X_{2\sigma} =$

$3,9399 \Omega$; $X_{12\sigma} = 7.,352 \Omega$; $X_{r\sigma} = 2,835 \Omega$; $L_{1\sigma} = 0,9514 \text{ mH}$; $L_{2\sigma} = 12.5411 \text{ mH}$; $L_{12\sigma} = 7,4866 \text{ mH}$; $L_{r\sigma} = 9,0241 \text{ mH}$; $L_m = 0,3453 \text{ H}$; $R_{fe} = 1200 \Omega$. Parametrii elementelor auxiliare de circuit raportați la înfășurarea principală sunt: $C_1 = 133,5 \mu\text{F}$; $L_f = 18 \text{ mH}$; $R_f = 0.,15 \Omega$. În cazul pierderilor în fier s-a considerat că rezistența echivalentă a pierderilor R_{fe} este în paralel cu inductivitatea de magnetizare L_m . Pierderile mecanice la viteza nominală sunt $P_{mec} = 58 \text{ W}$. Funcționarea generatorului are loc pentru un domeniu larg de variație a vitezei.

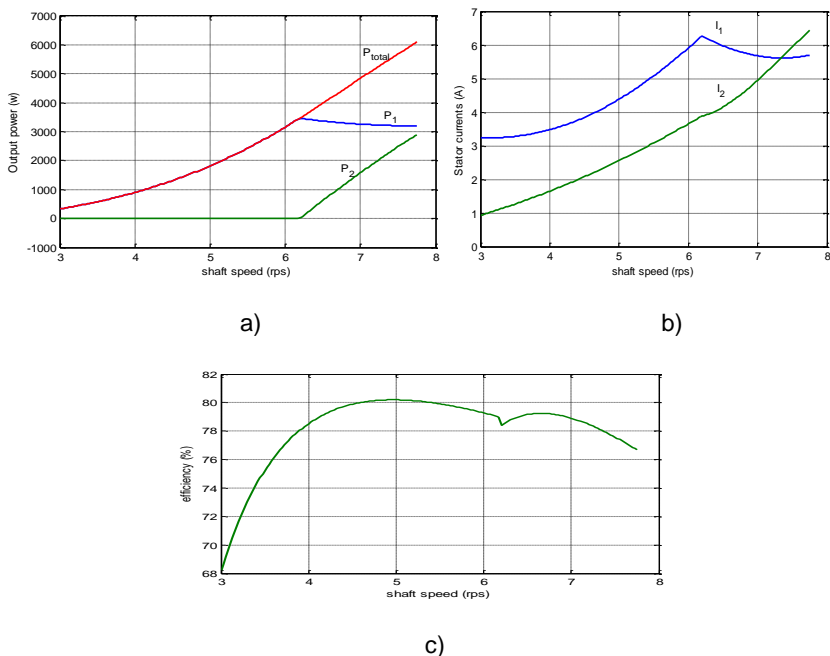


Fig. 3 Caracteristicile generatorului în funcție de viteză la o frecvență statorică dată: a) puterea furnizată; b) curentul statoric; c) randamentul

3. Simulări dinamice

Strategia de control urmărește extragerea puterii electrice direct proporțional cu puterea a treia a vitezei arborelui generatorului. La viteză redusă doar redresorul activ este capabil să transfere putere spre rețeaua de curent continuu (figura 4, a). Pierderile în fier și pierderile mecanice nu sunt considerate în simulările dinamice, și în consecință randamentul (figura 4, b) ține cont doar de pierderile în cupru.

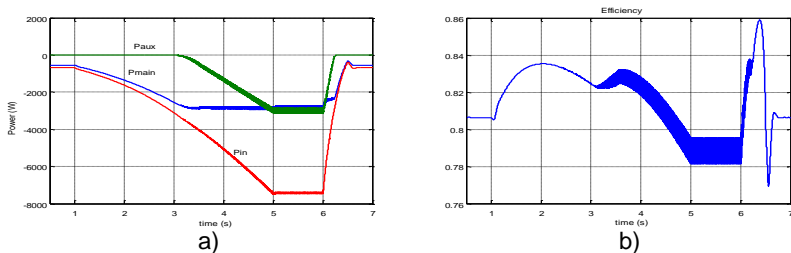


Fig. 4 Simularea variației puterilor (a) și a randamentului (b)

Presupunem că turbina rotește generatorul cu turație variabilă, o simulare a profilului de variație a vitezei fiind prezentată în figura 5. Pentru acest profil, în figura 6 se prezintă variația tensiunilor și a curenților obținuți.

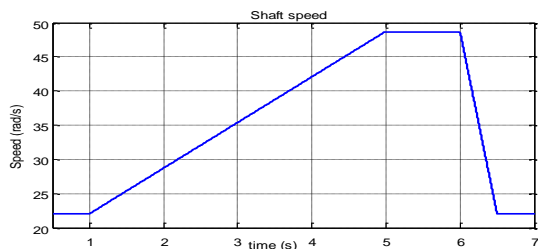


Fig. 5
Profilul de variație
a vitezei turbinei

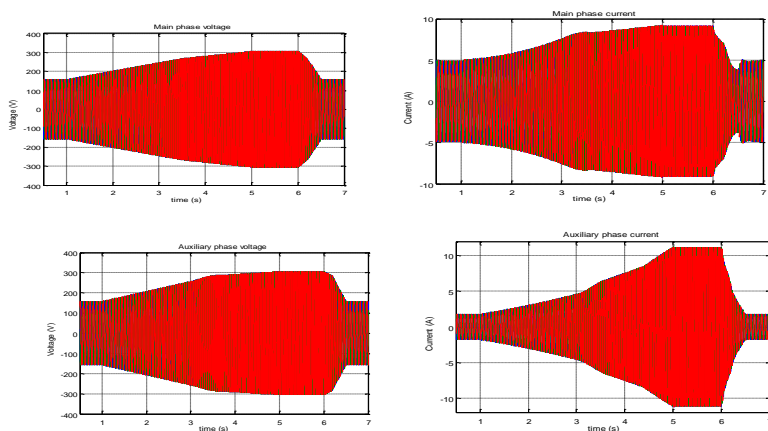


Fig. 6 Simularea tensiunilor și a curenților în înfășurările principală și auxiliară, la variația de viteză prezentată în figura 5

În tensiunea indusă în înfășurarea principală se ia în considerare doar armonica fundamentală. Când viteza este redusă și redresorul necomandat nu este în conducție, atât curenții cât și tensiunile sunt sinusoidale. Când redresorul cu diode intră în conducție armonicile superioare apar în curentul și tensiunea din înfășurarea auxiliară, dar așa cum se observă în figura 7 ele apar și în curentul din înfășurarea principală pentru încărcarea nominală a înfășurării auxiliare.

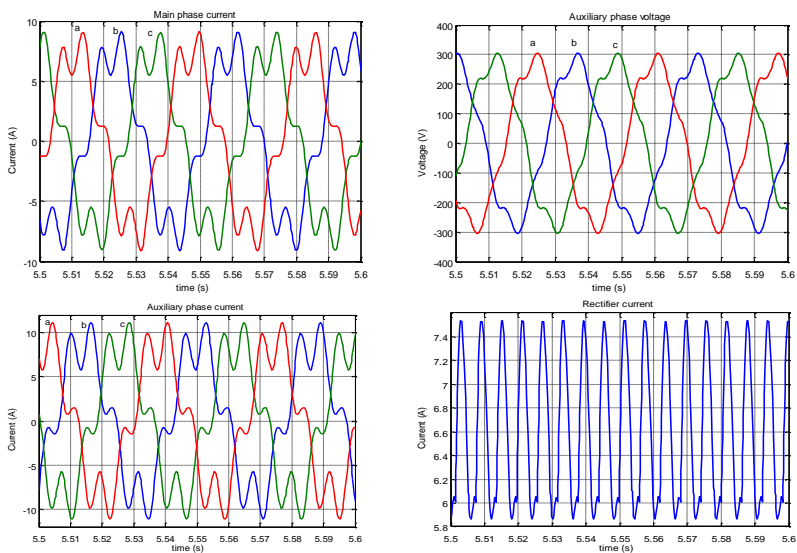


Fig. 7 Simularea curenților (principal, auxiliar, redresat) și forma de undă a tensiunii auxiliare (mărită) pentru puterea nominală în înfășurarea auxiliară

4. Investigație experimentală a topologiei propuse

Rezultatele experimentale, prezentate în figura 8, a, arată că generatorul DSWA în configurația propusă poate să dubleze puterea debitată la viteze mari, puterea în înfășurarea principală rămânând constantă, în timp ce puterea din înfășurarea auxiliară crește cu viteza.

Este de remarcă faptul că prin utilizarea unui redresor activ, producerea de energie se face într-un domeniu larg de viteze. Capabilitatea generatorului de a extrage putere (la un curent nominal dat de 6,2 A pentru înfășurarea principală) este mai mare decât puterea disponibilă la arborele turbinei.

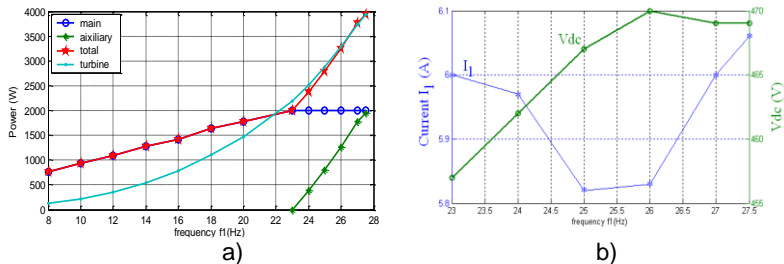


Fig. 8 Rezultate experimentale preliminare

Variațiile mici ale tensiunii auxiliare redresate, figura 8, b, arată că este posibil să debiteze putere în rețeaua de curent continuu de tensiune constantă. Se observă de asemenea că în înfășurarea principală curentul rămâne constant.

5. Concluzii

- O schemă preliminară de control a fost implementată pentru verificarea regimului dinamic al topologiei propuse.

- Tensiunea înfășurării auxiliare devine mai mare decât tensiunea circuitului de curent continuu la o valoare mai mare de 80 % din viteza nominală moment în care se începe transferul de putere activă dinspre înfășurarea auxiliară către rețeaua de curent continuu.

- Rezultatele experimentale preliminare sunt încurajatoare și de aceea se dorește o investigație experimentală mai aprofundată.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bu, F., Huang, W., Hu, Y., Shi, J., and Shi, K., *A Stand-Alone Dual Stator-Winding Induction Generator Variable Frequency AC Power System*, IEEE Transaction on Power Electronics, vol. 27, no. 1, Jan. 2012, pp. 10-13.
- [2] Bu, F., Huang, W., Hu, Y., and Shi, K., *An Excitation-Capacitor-Optimized Dual Stator-Winding Induction Generator with the Static Excitation Controller for Wind Power Application*, IEEE Transaction on Energy Conversion, vol. 26, no. 1, March. 2011, pp. 122-131.
- [3] Bu, F., Huang, W., Hu, Y., and Shi, K. *An Integrated AC and DC Hybrid Generation System Using Dual Stator-Winding Induction Generator With Static Excitation Controller*, IEEE Transaction on Energy Conversion, vol. 27, no. 3, Sept. 2012, pp. 810-812.

[4] Wang, D., Ma, W., Xiao, F., Zhang, B., Liu, D., and Hu, A., *A Novel Stand-Alone Dual Stator- Winding Induction Generator With Static Excitation Regulation*, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 20, no. 4, December 2005, pp. 826-835.

[5] Tutelea, L.N., Deaconu, S.I., Boldea, I., Budişan, N., *Design, Control and 2D FEM Validation for an Double Stator Winding Induction Generator*, IECON 2013, The 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Viena, Austria 10-13 Noiembrie 2013, pp.6.

[6] Tutelea, L.N., Deaconu, S.I., Budişan, N., and Boldea, I., *Double Stator Winding Induction Generator for Wind and Hydro Applications: 2D-FEM Analysis and Optimal Design*, 15th European Conference on Power Electronics and Application, EPE ECCE Europe, 3-5 September 2013, Lille, France, 10 pp.

Conf.Dr.Ing. Sorin DEACONU
Facultatea de Inginerie Hunedoara,
Universitatea „Politehnica” Timișoara,
membru AGIR, membru IEEE, membru AAIR
e-mail: sorin.deaconu@fih.upt.ro

Prof.Dr.Ing. Lucian Nicolae TUTELEA
Facultatea de Electrotehnică Timișoara,
Universitatea „Politehnica” Timișoara, membru AGIR,
e-mail: luci@lselinux.upt.ro

Ing. Maria NĂSĂUDEAN
Facultatea de Inginerie Hunedoara,
Universitatea „Politehnica” Timișoara, membru AGIR,
e-mail: mariana.nasaudean@fih.upt.ro

Ing. Carmen MOTORGA
Facultatea de Inginerie Hunedoara,
Universitatea „Politehnica” Timișoara,
e-mail: carmen.motorga@fih.upt.ro