

## 1. Controlul convertoarelor cu scopul maximizării puterii absorbite din turbină

Sistemul de producere a energiei electrice bazat pe cuplajul turbină eoliană – generator, funcționează la viteză variabilă impusă de viteza vântului. O dată cu variația vitezei turbinei, se modifică cantitatea de putere care poate să fie absorbită la conversia energiei eoliene în energie electrică. Pentru ca puterea extrasă să fie maximă se poate aplica pentru implementarea unor strategii care controlează curentul din înfășurările mașinii în așa măsură încât, la orice turație a generatorului, puterea electrică absorbită din acesta să fie maximă. În literatura de specialitate această metodă se numește *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*.

### 1.1 Suportul teoretic al metodei MPPT

Ecuția fundamentală care guvernează legea absorbției puterii maxime din turbină prin intermediul generatorului este dată de forma [1], [2]:

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A C_p v_w^3 \quad (1)$$

Unde  $P_t$  este puterea turbinei,  $\rho$  este densitatea de aer,  $A$  este suprafața turbinei,  $C_p$  este coeficientul de performanță a turbinei iar  $v_w$  este viteza vântului. Coeficientul de performanță al turbinei este dat funcție de raportul dintre produsul dintre raza turbinei  $r$  și viteza ei și viteza vântului, numit în engleză *Tip Speed Ratio (TSR)*:

$$TSR = \frac{r \omega_m}{v_w} \quad (2)$$

O asemenea caracteristică care descrie variația parametrului de performanță funcție de TSR este dată în figura 1.

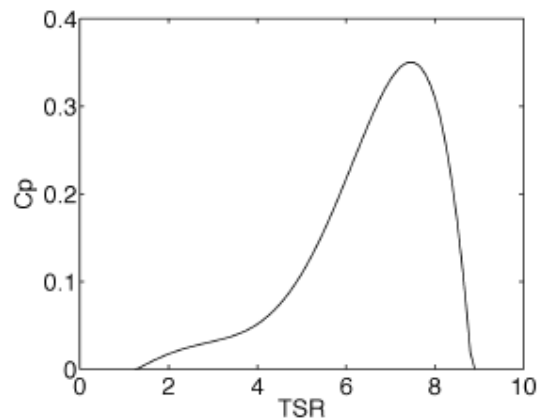


Fig.1 Variația factorului de performanță a turbinei funcție de TSR

Asemenea curbe sunt date de producătorii de turbine eoliene, acestea fiind determinate în tunele aerodinamice de testare. După cum se poate analiza și din această figură, este limpede ca puterea maximă se obține la TSR 7,5. La această valoare corespunde o valoare  $C_p$  de 0,35. Așadar, modificarea valorii TSR duce la modificarea semnificativă a factorului de performanță al turbinei, care influențează în

mod consistent puterea totală absorbită din generator. Printr-un control adecvat și robust, se poate realiza o menținere permanentă a generatorului la un punct la care puterea absorbită să fie maximă. Acest fenomen poate fi realizat prin controlul direct al vitezei generatorului. Modificând astfel TSR, menținem sistemul turbină-generator indiferent de viteza vântului la operare la **putere maximă**.

Controlul vitezei generatorului se poate realiza prin controlul tensiunii la bornele generatorului. O abordare simplă, în regim stabilizat, a relației dintre viteza generatorului și turația acestuia se poate realiza considerând curentul prin generator ca fiind în fază cu tensiunea la borne și neglijând armonicile superioare de curent. Astfel, cuplul dat de turbină va fi descris de relația:

$$T = \frac{1}{2} \frac{\rho A C_p}{\omega_m} \left( \frac{r \omega_m}{TSR} \right)^3 \quad (3)$$

Ca atare aplicând mașinii un control în cuplu utilizând metoda de control vectorial [3] se poate proceda la extragerea de putere maximă indiferent de viteza reală a vântului.

## 1.2 Structuri de conversoare pentru control tip MPPT

Pentru generatoare sincrone cu magneți permanenți există două variante de conversoare care se utilizează în vederea controlului pentru extragerea puterii maxime.

A) Varianta clasică este prin utilizarea structurii *back-to-back* care implica două invertoare trifazate care au același punct de tensiune continuă.

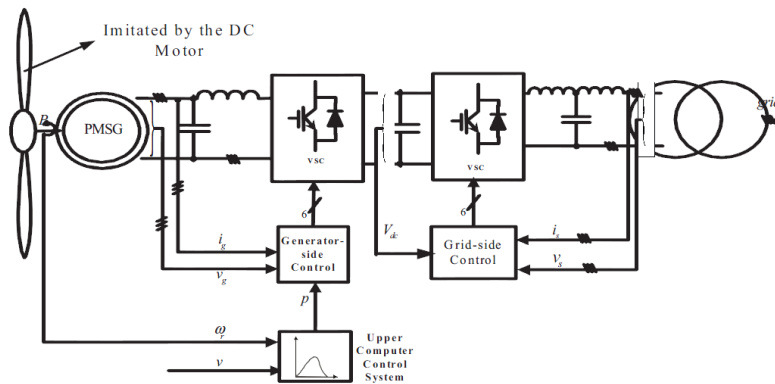


Fig.2 Utilizarea structurii de convertor *back-to-back*

La această structură, convertorul dinspre generator (ca redresor activ) este controlat în vederea extragerii puterii maxime din sistemul generator-turbină, iar cel dinspre rețea este controlat pentru sincronizare cu aceasta și distribuția puterii electrice păstrând astfel tensiunea continuă dintre cele două conversoare constantă. În acest caz, ambelor conversoare li se aplică control vectorial.

Schema de control a convertorului dinspre mașină este prezentată în figura 3. În această diagramă este detaliată metoda de control a vitezei generatorului. Pentru aplicarea metodei de control în cuplu, care este cel de interes, se va proceda la înlăturarea regulatorului de viteză, iar curentul  $I_{QREF}$  se va determina din ecuația de cuplu a mașinii, funcție de numărul de perechi de poli ai mașinii și constanta de flux a acesteia.

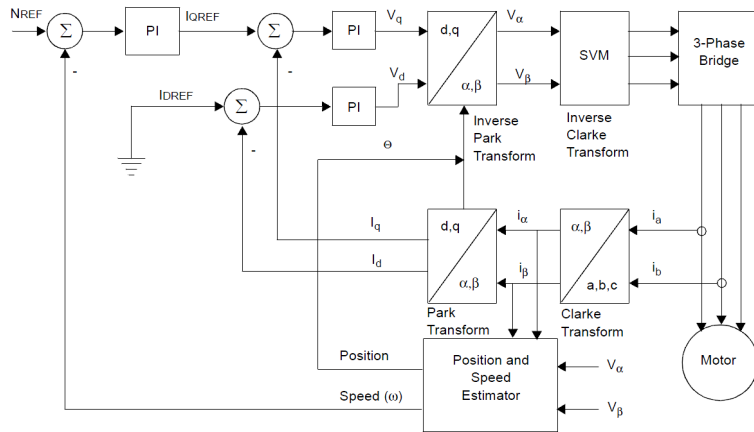


Fig.3 Diagrama de control vectorial pentru redresorul activ

Pentru această metodă este necesară determinarea vitezei de rotație a mașinii din care apoi se determină poziția absolută a rotorului. În subcapitolul 1.3 se vor detalia strategiile de determinare a acestor parametri fără utilizarea unui traductor de poziție/turație.

**B)** O a doua variantă [4] de convertor este cea care folosește redresorul pasiv cu diode pentru redresarea tensiunii de la generator, structură prezentată în figura 4, urmat de un convertor DC-DC tip ridicător de tensiune sau *boost*.

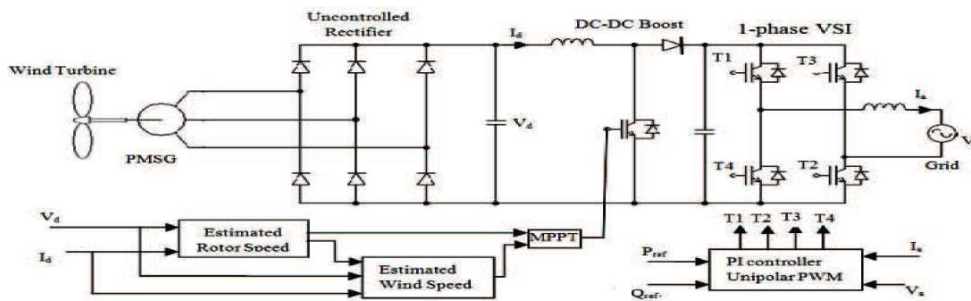


Fig.4 Utilizarea structurii de convertor tip redresor-DC/DC-invertor

Această structură este una mai ieftină din punct de vedere financiar, nefiind necesară realizarea a două convertoare trifazate. Dezavantajul acestei structuri constă în faptul că de această dată, curentul prin mașină nu mai este controlat direct pe fiecare fază a mașinii, ci indirect, prin intermediul convertorului DC/DC inserat între redresorul pasiv și puntea invertorare. Este limpede că această punte monofazată prezentată în figura 4 poate să fie înlocuită cu un invertor trifazat pentru cuplare la rețeaua trifazată.

### 1.3 Metode de control în vederea obținerii puterii maxime

În literatura de specialitate există o sumedenie de metode adoptate pentru controlul sistemului turbină-generator, în vederea obținerii absorbției de putere maximă. O parte din acestea sunt metode simpliste, care necesită utilizarea unui senzor de viteză fixat pe arborele mașinii, respectiv necesită cunoștințe asupra curbei

de variație a factorului de performanță funcție de TSR. Pentru determinarea acestei curbe este necesar a testa turbina într-un tunel aerodinamic.

Există totuși și metode care nu necesită utilizarea unui senzor de poziție, și mai avansat, există metode care nu necesită nici cunoașterea curbei mai sus menționate. În cele ce urmează, se vor detalia și exemplifica toate metodele mai sus amintite.

A) Prima metodă, în care se determină viteza mașinii respectiv poziția rotorului cu ajutorul unui senzor de poziție și se cunoaște curba  $C_p=f(\text{TSR})$ . Această metodă este cea mai simplă de implementat având acces direct la toți parametrii de care are nevoie bucla de control [5]. Ecuația (3) definește cuplul pe care mașina trebuie să îl dezvolte pentru a opera mereu la punctul de putere maximă. Turația și poziția rotorului fiind determinate de senzorul de mișcare, acestea se introduc în bucla de calcul a metodei de control vectorial clasică.

B) O metoda care nu necesită senzor de poziție, dar necesită cunoștințe asupra curbei  $C_p=f(\text{TSR})$ , se pretează pentru varianta de convertor prezentată în figura 4. Metoda se bazează pe estimarea turației generatorului din măsurarea tensiunii redresate respectiv a curentului redresat. Funcție de cele două valori măsurate și o serie de parametri ai mașinii se poate estima viteza și implicit poziția rotorului.

$$\omega_m = \frac{V_D + 2R_s I_D}{\frac{3\sqrt{3}}{\pi} K_m - \frac{P_r}{20} L_s I_D} \quad (4)$$

Unde:

$V_D$  este tensiunea redresată

$I_D$  curentul redresat

$K_m$  constanta mașinii de tensiune electromotoare

$P_r$  puterea nominală a mașinii

$R_s$  și  $L_s$  rezistența și inductanța unei faze a mașinii

Viteza vântului se va estima în acest caz folosind aceeași parametri măsurători respectiv randamentul mașinii și o serie de constante legate de turbina folosită.

$$v_w = \sqrt[3]{\frac{V_D \cdot I_D / \eta}{0.5 \rho A C_p}} \quad (5)$$

În acest mod se poate realiza un control al sistemului fără a măsura viteza vântului și viteza rotorului mașinii. Cu toate acestea, trebuie cunoscută curba de variație  $C_p=f(\text{TSR})$  pentru turbina utilizată.

C) O metoda mai avansată și mai complexă dar una care în același timp reduce consistent implicațiile financiare în realizarea unei centrale generatoare de energie electrică din energie eoliană este bazată pe principiul de *perturbare-observare*. Această metodă nu mai necesită cunoștințe asupra curbei  $C_p=f(\text{TSR})$  ca atare, dispar costurile suplimentare de determinare a ei.

Ca principiu, metoda aplică o perturbare la nivelul puterii absorbite din generator încercând să-l mute la un al nivel de putere mai mare. Se compară acest nou nivel de putere cu cel vechi și dacă se constată o creștere a puterii livrate, se procedează la un nou asemenea pas, prin comparații succesive până se atinge nivelul

de putere maximă. Dacă puterea dezvoltată la pasul  $n+1$  este mai mică decât cea de la pasul  $n$  se revine un pas, stabilind că acolo este punctul de operare maximă a turbinei.

Strategia perturbare-observare este foarte des utilizată pentru controlul convertoarelor electronice în domeniul producerii energiei electrice cu ajutorul panourilor solare [7]. Este foarte ușor de extrapolat metoda de la celule solare la turbine eoliene, caracteristica  $C_p=f(\text{TSR})$  fiind foarte asemănătoare.

Metoda cere ca în timp real să se realizeze o monitorizare a puterii debitate respectiv să se perturbe la intervale date de timp sistemul pentru a observa dacă s-a modificat punctul de maxim al puterii. Acest tip de metodă este detaliată și exemplificată pe larg în [8] și [9].

#### 1.4 Concluzii

Făcând referire la literatura de specialitate și diseminând informația se pot trasa o serie de linii directive în ceea ce privește metodologiile de control ale sistemelor de conversie a energiei eoliene în energie electrică. În subcapitolele anterioare s-au prezentat o configurații de circuite electronice de putere care sunt fezabile pentru scopul prezentei cercetări împreună cu particularitățile în ceea ce privește controlul fiecăruia dintre acestea. Totodată au fost diseminate metode de control fără senzor de viteză respectiv fără cunoștințe asupra caracteristicii  $C_p=f(\text{TSR})$  a turbinei la care generatorul este cuplat mecanic.

#### **Bibliografie:**

[1] Kun Han , Guo-zhu Chen, *A novel control strategy of wind turbine MPPT implementation for direct-drive PMSG wind generation imitation platform* Power Electronics and Motion Control Conference, 2009. IPEMC '09. IEEE 6th International, 17-20 May 2009, 2255 – 2259

[2] Andrew M. Knight, Glenn E. Peters *Simple Wind Energy Controller for an Expanded Operating Range* IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 20, NO. 2, JUNE 2005 pp.459-466.

[3] Weera Kaewjinda, Mongkol Konghirun, *Vector Control Drive of Permanent Magnet Synchronous Motor Using Resolver Sensor*, ECTI TRANSACTIONS ON ELECTRICAL ENG., ELECTRONICS, AND COMMUNICATIONS VOL.5, NO.1 February 2007, pp.134-138

[4] Nabil A.Ahmed, A.K.AIOthman,M.R.AIRashidi *Development of an efficient utility interactive combined wind/photovoltaic/fuel cell power system with MPPT and DC bus voltage regulation* Electric Power Systems Research EPSR-3217; in print.

[5] A. Bouscayrol\*, Ph. Delarue, X. Guillaud *Power strategies for maximum control structure of a wind energy conversion system with a synchronous machine* Renewable Energy 30 (2005) 2273–2288

[6] Mahmoud M. Hussein, , Mohamed Orabi, Mahrous E. Ahmed, M. A. Abd El-Wahab, M.M.Hamada *Simple Direct Sensorless Control of Permanent Magnet Synchronous Generator Wind Turbine*, Proceedings of the 14th International Middle East Power Systems Conference (MEPCON'10), Cairo University, Egypt, December 19-21, 2010, Paper ID 257, pp. 652-656.

[7] S. Belakehal\*, H. Benalla and A. Bentounsi *Power maximization control of small wind system using permanent magnet synchronous generator* Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°2 (2009) pp. 307 – 319

[8] Nicola Femia, Giovanni Petrone, Giovanni Spagnuolo, Massimo Vitelli, *Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method*, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 20, NO. 4, JULY 2005, 963-973.

[9] M. Sarvi, S. Azarbara *A Novel Maximum Power Point Tracking Method Based on Extension Theory for Wind Energy Conversion System*, International Journal of Computer Science & Engineering Technology (IJCSET), Vol. 3 No. 8 August 2012, ISSN : 2229-3345, pp 294-303