

# EVALUAREA PIERDERILOR ÎNTR-UN SISTEM DE CONVERSIE A ENERGIEI EOLIENE CU VITEZĂ VARIABILĂ

## Şef lucrări dr. ing. Lucian MIHEŢ-POPA

Absolvent al Facultăţii de Electrotehnică, Timișoara, promoția 1999. A absolvit studiile aprofundate în 2000, la specializarea acționări electrice și electronică de putere; în 2003 a obținut titlul de doctor în inginerie electrică. În prezent este cadru didactic la Facultatea de Electrotehnică din cadrul Catedrei de mașini, acționări și utilizarea energiei (MAUE). Este autor a trei cărți și a publicat peste 25 de lucrări științifice, ca prim autor, în reviste internaționale și naționale. A participat la șase contracte de cercetare, dintre care trei, internaționale. A fost profesor invitat în Germania, la Universitatea din Siegen, în anul 2004, și a lucrat ca cercetător la Universitatea din Aalborg–Danemarca, în perioada 2000–2002.



## Conf. dr. ing. Dan NICOARĂ

Absolvent al Institutului Politehnic „Traian Vuia” din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică, Secția electromecanică, în 1974. În perioada 1975–1991 a lucrat la Întreprinderea Electrotimiș–Timișoara, ca inginer proiectant. Din 1991 este cadru didactic la Universitatea „Politehnica” din Timișoara, Facultatea de Electrotehnică, Catedra de MAUE, fiind în prezent conferențiar universitar. Activitatea științifică este concretizată prin elaborarea, în calitate de autor principal sau coautor, a șase tratate, cărți sau manuale de specialitate, șase brevete de invenție și peste 36 de lucrări științifice publicate în reviste de specialitate din țară și din străinătate. De asemenea, a participat și participă la derularea a peste 16 contracte de cercetare științifică în domeniul ingineriei electrice.



## REZUMAT

**Lucrarea prezintă evaluarea și distribuția pierderilor într-un sistem de conversie al energiei eoliene. De asemenea, se realizează o comparație între două turbine de vânt de 3 MW cu viteză variabilă și limitat variabilă, din punct de vedere al eficienței cu care se realizează conversia energiei.**

## ABSTRACT

**The paper deals with loss distribution of a wind energy conversion system. A comparison between 3 MW variable speed wind turbines based on the DFIG with two PWM-VSI Frequency Converters (Back to Back Converter) and with passive external elements in the rotor side regarding to annual energy loss distribution and optimal energy extraction will be done.**

## 1. INTRODUCERE

Energia eoliană este o sursă de energie inepuizabilă și nu este poluantă, iar în unele zone este „abundentă”, acest lucru fiind fructificat cu precădere în țări ca Danemarca, unde, din consumul anual de energie electrică, 15% provine din conversia energiei eoliene [1, 8].

Progresele recente care au fost realizate pentru obținerea acestui tip de energie au condus la costuri reduse (0,05 US dolar / kWh), comparabile cu cele ale unei termocentrale [1, 4, 6], dar cu o eficiență mult mai mare. Prețul energiei electrice produse de o turbină de vânt a scăzut în ultimii 20 de ani cu 90%.

Turbinele de vânt de ultimă generație au o eficiență de până la 98%, pentru un coeficient de putere al turbinei de 35–45%.

Pentru a determina eficiența unei anumite configurații a sistemului de conversie a energiei eoliene, se consideră prețul acesteia / kWh. În acest sens, trebuie investigate mai multe aspecte, cum ar fi puterea medie produsă de turbină (obținută din conversia energiei cinetice a vitezei vântului), costul sistemului, randamentul turbinei eoliene, timpul de funcționare [2–4].

Turbinele de vânt cu viteză variabilă sunt mai eficiente decât cele cu viteză constantă. O comparație în acest sens ilustrează figura 1.

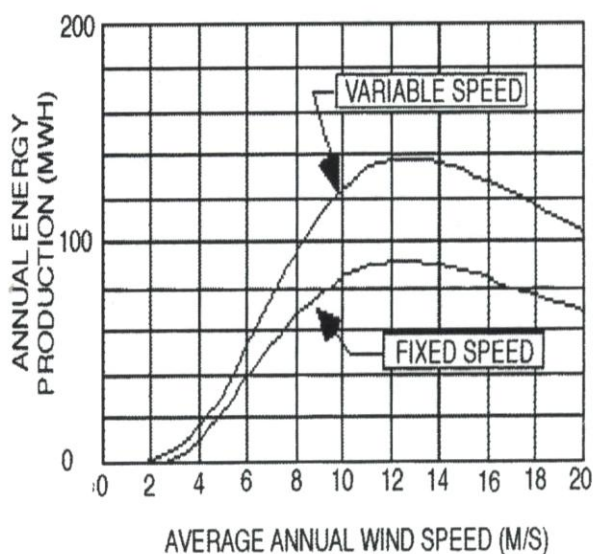


Fig. 1. Energia anuală produsă de o turbină de vânt cu viteză variabilă, în comparație cu o turbină de vânt cu viteză constantă, în funcție de viteza vântului [3].

Studiul obținut în figura 1 a fost realizat cu ajutorul a două turbine de vânt de 500 kW, fără reglarea pasului paletelor (cu pas constant), utilizând pentru configurația cu viteză constantă o mașină de inducție cu rotorul în colivie, conectată direct la rețea, iar pentru varianta cu viteză variabilă a fost utilizată o mașină sincronă cu magneți permanenți și convertor static [3].

Deoarece turbinele de vânt cu viteză variabilă sunt mai eficiente decât cele cu viteză constantă, în continuare se prezintă distribuția pierderilor într-o astfel de topologie.

## 2. DISTRIBUȚIA PIERDERILOR

Pentru determinarea eficienței unui sistem de conversie a energiei eoliene este importantă determinarea pierderilor totale ale elementelor componente și influența acestora asupra altor parametri ai sistemului.

Pierderile în cutia de viteze cu roți dințate depind de transferul de putere de la rotorul turbinei spre mașina electrică (generatorul) și nu depind de turația rotorului. De asemenea, trebuie considerate și pierderile în gol (pierderile în rulmenți).

Pierderile în mașina electrică conțin pierderile în înfășurări (pierderile în Cu), pierderile în Fe, pierderile prin frecare și pierderile suplimentare. Pierderile în Cu depind de curenți, pierderile în Fe depind de fluxul de legătură și de frecvență, iar pierderile de frecare depind de viteza mașinii.

Dacă turbina de vânt este cu viteză variabilă, atunci trebuie considerate și pierderile în convertorul de frecvență (pierderi în conducție și comutație).

În figura 2 se prezintă tipurile pierderilor într-un sistem de conversie a energiei eoliene cu viteză variabilă.

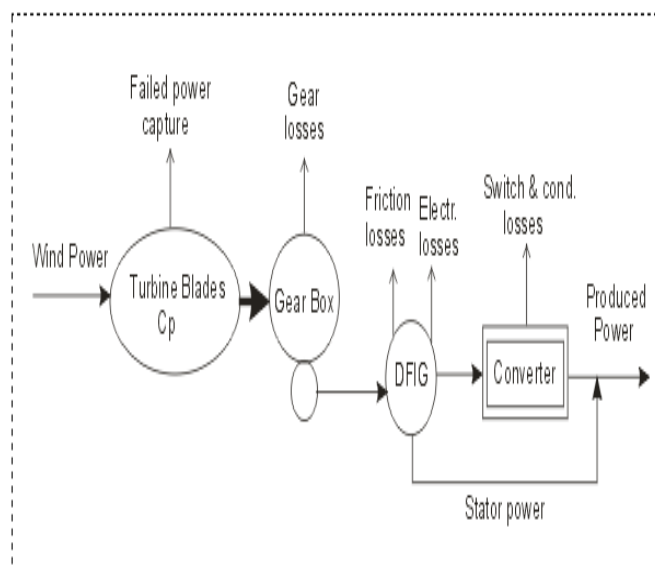
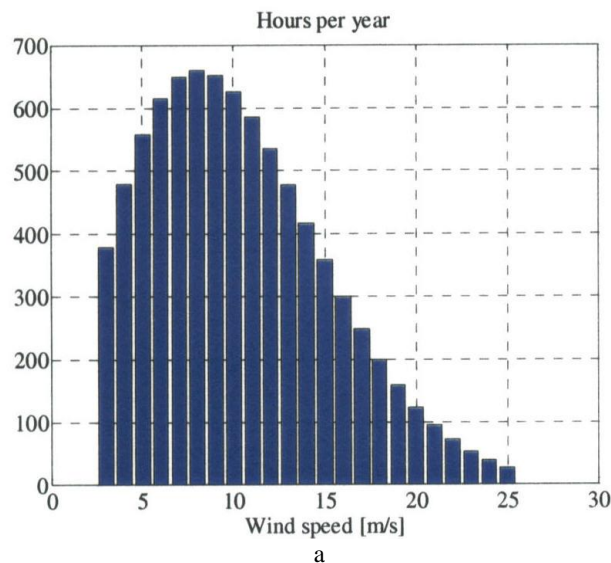


Fig. 2. Tipurile pierderilor într-o turbină de vânt cu viteză variabilă.

Pentru a utiliza o metodă de calcul (Rayleigh, Weibull) a pierderilor totale, acestea trebuie exprimate în funcție de viteza vântului. De exemplu, pierderile în Cu din mașina electrică vor scădea odată cu micșorarea vitezei vântului.

Pentru a calcula energia anuală produsă de un sistem de conversie a energiei eoliene, trebuie avută în vedere distribuția anuală a vitezei vântului, corespunzătoare zonei în care este plasat acesta, pentru a determina numărul de ore în care turbina poate funcționa.

În figura 3 se prezintă o comparație între distribuția anuală a vitezei vântului pentru două zone (amplasamente) diferite, unul de clasă 1 (figura 3a), în care viteza medie a vântului a fost de 10 m/s, și unul de clasă 4 (fig. 3b), cu o viteză medie a vântului de 6 m/s.



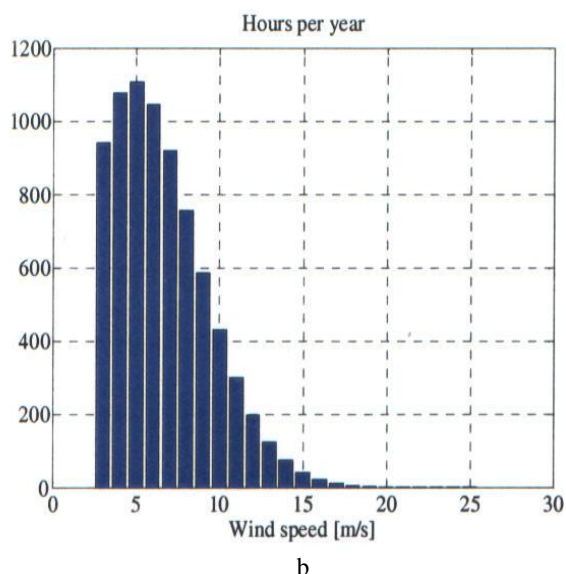


Fig. 3. Distribuția anuală a vitezei vântului pentru două locuri diferite, unul de clasă 1 (a) și unul de clasă 4 (b) [7].

### 3. EVALUAREA PIERDERILOR ÎNTR-UN SISTEM DE CONVERSIE A ENERGIEI EOLIENE CU VITEZĂ VARIABILĂ

Energia electrică ce poate fi obținută din energie eoliană, prin intermediul turbinelor de vânt, depinde, pe de o parte, de energia cinetică a vântului care lovește turbina, iar pe de altă parte, de designul acesteia.

Există două configurații de bază ale turbinelor eoliene cu viteză variabilă și mașini de inducție cu rotor bobinat:

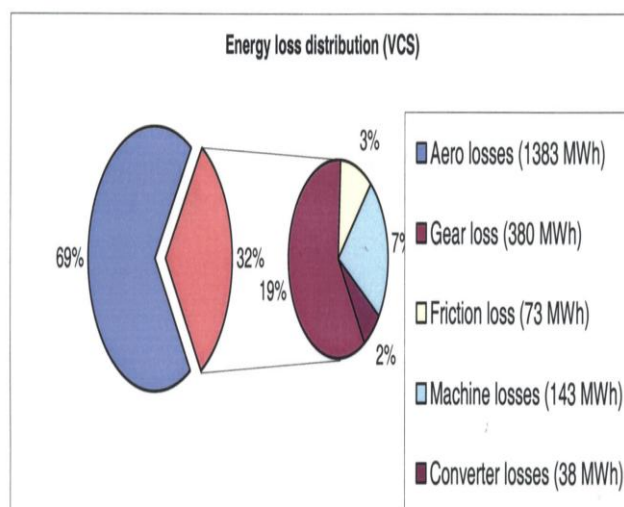
- turbine de vânt cu viteză limitat variabilă, la care extinderea domeniului de variație al vitezei se poate realiza cu elemente pasive de circuit (bobine, rezistențe) situate în rotorul mașinii sau cu un chopper și un reostat variabil;
- turbine de vânt cu viteză variabilă, la care domeniul de variație al vitezei se realizează prin intermediul unui convertor static de putere cu circuit intermediar de tensiune.

În continuare se prezintă o comparație, din punct de vedere al distribuției pierderilor, între două turbine de vânt de 3 MW. Turbina de vânt cu viteză variabilă are în componență o mașină de inducție cu rotorul bobinat, o cutie de viteze, rotorul turbinei cu cele trei palete aferente și un convertor static cu circuit intermediar de tensiune plasat în rotorul mașinii, statorul mașinii fiind conectat direct la rețea. Turbina de vânt cu viteză limitat variabilă are o configurație asemănătoare celei anterioare, cu deosebirea că convertorul static este înlocuit de un chopper și un reostat variabil.

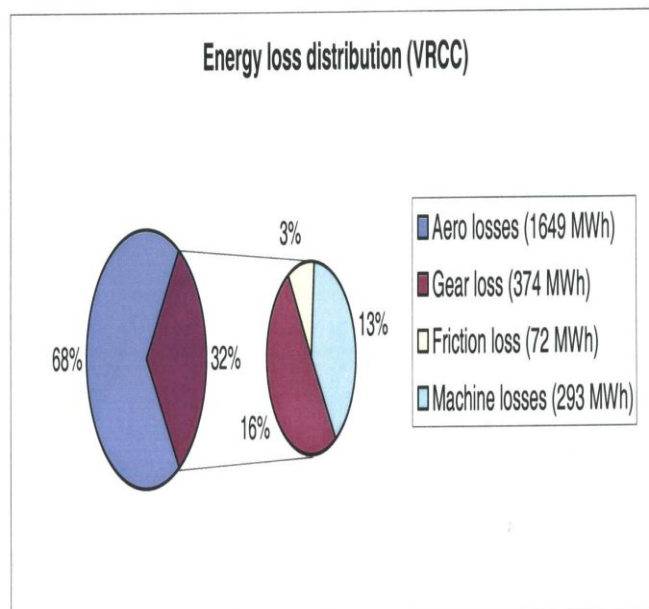
Având distribuția anuală a vântului (fig. 3), se poate calcula energia electrică produsă de cele două sisteme de

conversie a energiei eoliene cu viteză variabilă și, de asemenea, distribuția pierderilor elementelor componente ale acestora.

În figura 4 este prezentată distribuția anuală a pierderilor în cele două configurații. Pentru calculul distribuției pierderilor totale s-au considerat și pierderile rotorului aerodinamic, datorate conversiei din energie cinetică (viteza vântului) în energie mecanică. Pierderile aerodinamice au fost calculate presupunând că factorul de putere al turbinei a fost maxim ( $C_p=0,59$ ) pentru o viteză a vântului mai mică decât valoarea nominală ( $< 12$  m/s), ceea ce înseamnă că eficiența rotorului este maximă.



a



b

Fig. 4. Distribuția pierderilor într-un sistem de conversie a energiei eoliene de 3 MW, cu viteză variabilă (a) și limitat variabilă (b) [7].

După cum reiese din figura 4, pierderile aerodinamice (68 %) și cele de frecări (3 %) sunt identice pentru ambele topologii, în timp ce pierderile în cutia de viteze (16 și 19%) și în mașina electrică (7 și 13%) sunt diferite. Pierderile în mașină sunt mai mari în cazul turbinelor cu viteză limitat variabilă, deoarece includ și pierderile în reostatul exterior variabil. De asemenea, pierderile în cutia de viteze sunt mai mici la turbina cu viteză variabilă, datorită sistemului de control al turbinei și reglării parametrilor mașinii prin intermediul convertorului static de putere.

Referitor la distribuția pierderilor în sistemul de conversie a energiei eoliene, procentajul cel mai mare (68%) se regăsește pe partea aerodinamică la paletele rotorului turbinei, urmate de pierderile mecanice în cutia de viteze (16–19%), în timp ce procentajul cel mai scăzut îl înregistrează pierderile în convertor (2%) și cele prin frecări (3%).

### 4. CONCLUZII

Energia vântului a devenit cea mai rentabilă sursă de energie (4 eurocent/kWh), în special datorită investițiilor din ultimii 10 ani în acest domeniu.

Este foarte important să se determine distribuția pierderilor într-un sistem de conversie a energiei eoliene, pentru a obține o funcționare cât mai corectă, într-un timp cât mai îndelungat.

Pentru determinarea eficienței unui sistem de conversie a energiei eoliene este importantă determinarea pierderilor totale ale elementelor componente și influența acestora asupra altor parametri ai sistemului.

Procentajul cel mai semnificativ al pierderilor unui sistem de conversie din energie eoliană în energie mecanică și apoi în energie electrică îl reprezintă pierderile rotorului aerodinamic al turbinei de vânt.

Comparația între două sisteme de conversie a energiei electrice de 3 MW, cu viteză variabilă și limitat variabilă, a scos în relief faptul că turbinele cu viteză variabilă pot utiliza energia eoliană cu o eficiență foarte ridicată, în timp ce turbinele cu viteză limitat variabilă au o eficiență puțin mai scăzută, în special datorată pierderilor în mașina electrică și în cutia de viteze.

### BIBLIOGRAFIE

- 1.\*\*\*[www.windpower.org/tour/wres/enrspeed.html](http://www.windpower.org/tour/wres/enrspeed.html), Guided Tour on Wind Energy, Danish Wind Industry Association.
2. **H. Polinder, M.R. Dubois and J.G. Sloopweg**, *Generator systems for wind turbines*, 24<sup>th</sup> International Conference for Power Electronics, Intelligent motion and power quality (PCIM), Nuremberg, Germany, 20–22 May, 2003.
3. **A. Grauer**, “Efficiency of three wind energy generator systems”, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 11, No. 3, September 1996, pp. 650–657.
4. **Siegfried Heier**, *Wind energy conversion systems*, book, John Wiley & Sons Inc., New York, 1998.
5. **S. Muller, M. Deicke and Rik W. De Doncker**, *Doubly Fed Induction Generator Systems for Wind Turbines*, IEEE Industry Applications Magazine, May-June 2002, pp. 26–33.
6. **L.H. Hansen, L. Helle, F. Blaabjerg, E. Ritchie, S. Munk-Nielsen, H. Bidner, P. Sorensen and B. Bak-Jensen**, *Conceptual Survey of Generators and Power Electronics for Wind Turbines*, Riso-R-1205 (EN), December 2001.
7. **L. Mihet-Popa**, *Wind Turbines using Induction Generators connected to the grid*, Ph. D Thesis (teza de doctorat), Timișoara, Octombrie 2003.