



**Universitatea Tehnică a Moldovei**

# **ANALIZA FUNCȚIONĂRII UNUI SISTEM EOLIAN CU TURBINE CU VITEZE VARIABLE**

**Masterand:**

**Lungu Constantin**

**Conducător:**

**conf.univ.dr., Macovei Ilie**

**Chișinău - 2016**

**Ministerul Educației al Republicii Moldova**

**Universitatea Tehnică a Moldovei**

**Programul de masterat „Electroenergetica”**

**Admis la susținere**

**Șef de catedră: prof.dr. Stratan Ion**

**„\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2016**

# **ANALIZA FUNCȚIONĂRII UNUI SISTEM EOLIAN CU TURBINE CU VITEZE VARIABLE**

**Teză de master**

**Masterand: \_\_\_\_\_ (Lungu Constantin)**

**Conducător: \_\_\_\_\_ (conf. univ.dr., Macovei I.)**

**Chișinău – 2016**

## REZUMAT

În contextul acestei lucrări se tratează problema comenzii automate a SCEE echipate cu generatoare cu inducție cu dublă alimentare (DFIG), avînd drept obiectiv optimizarea conversiei energetice, interfațarea turbinelor la rețeaua electrică în vederea excluderii apariției unor distorsiuni și reducerea solicitărilor la oboseală care uzează structura mecanică, cauzate de neuniformitatea vitezei vîntului, procesele tranzitorii etc.

Prevede descrierea proceselor atmosferice de apariție a vîntului, parametrii energiei eoliene și informațiile privind tipurile de turbine eoliene și caracteristica aerodinamice ale acestora.

Descrierea modelului generatorului asincron cu inducție cu dublă alimentare (DFIG) și a tuturor componentelor și sistemelor pentru reglare și control cu care acesta este echipat, ce contribuie la o bună înțelegere a principiului de funcționare, la structurarea obiectivelor de cercetare și depistarea punctelor slabe ale sistemului de control.

Argumentarea utilizării sistemelor de comandă și control cu controllere Proporțional Integral și rezonante în rețea rezultă din aspectele tehnice de bază pe care acestea le prezintă, elucidate detaliat în capitolul 3 al prezentei lucrări. Pe lîngă fiabilitatea sporită a întregului sistem asigurată de către aceste controllere, controlul efectiv al RSC, GSC și UC-Link contribuie la majorarea performanțelor întregului sistem prin minimizarea distorsiunilor și oscilațiilor parametrilor de ieșire.

## SUMMARY

In the context of this work is investigated the problem of automatic command of SCEE equipped with double fed induction generator (DFIG), the objective is optimizing energy conversion, interfacing turbines to the grid in order to exclude the appearance of distortion and reducing the mechanical stress caused by unevenness of wind speed, transitional processes etc.

It provide the description of atmospheric processes of developing wind, wind energy parameters and information about types of wind turbines and their aerodynamic characteristics.

Is described the model of DFIG, all its components and control systems, contributing to a better understanding of the operating principle, to structure research goals and to detect of weaknesses in the control system.

Argumentation of using command and control systems with Proportional Integral (PI) and resonant controllers in grid resulting from the basic technical issues it presents, elucidated in detail in Chapter 3 of this work. Besides of height reliability of overall system provided by these controllers, effective control of RSC, GSC and UC-Link helps to increase overall system performance by minimizing distortion and oscillation output parameters.

## CUPRINS

<b>INTRODUCERE</b> .....	3
<b>1. VÎNTUL ȘI RESURSELE LUI. CARACTERISTICILE VÎNTULUI</b> .....	5
1.1 Vîntul ca sursă de energie . Originea vîntului .....	5
1.1.1 Caracteristicile și parametrii energiei eoliene .....	6
1.2 Energia cinetică a vîntului .....	10
1.3 Potențialul energetic eolian al Republicii Moldova .....	11
1.4 Caracteristica generală a turbinei eoliene .....	14
1.4.1 Părțile componente ale unei turbine eoliene .....	14
1.4.2 Turbine cu axă orizontală .....	15
1.4.3 Turbine cu ax vertical .....	17
1.5 Forțele aerodinamice care acționează asupra paletelor rotorului .....	18
1.6 Cantitatea de electricitate produsă de pe urma conversiei energiei vîntului .....	19
<b>2 TURBINA EOLIANĂ ECHIPATĂ CU GENERATOR CU INDUCȚIE CU DUBLĂ ALIMENTARE (DFIG)</b> .....	22
2.1 Introducere .....	22
2.2 Modelul aerodinamic și controlul unghiului de atac al paletelor turbinei eoliene .....	23
2.3 Modelul multiplicatorului de turație cu roți dințate .....	25
2.4 Modelul generatorului asincron cu dublă alimentare (DFIG) .....	26
2.4.1 Transformări de coordonate .....	26
2.4.2 Modelarea matematică a MADA .....	26
2.4.3 Principiul de funcționare a generatorului asincron cu dublă alimentare (DFIG) .....	28
2.5 Schemele de comandă a rotorului DFIG .....	29
2.6 Convertorul static de putere (Back to Back Voltage Source Converter) .....	33
2.6.1 Sistemul de curent continuu DC – Link și convertorul de comandă de pe partea rețelei (GSC) .....	37
2.6.2 Convertorul de comandă de pe partea rotorului (RSC) .....	40
2.7 Reglarea vitezei și a puterii active .....	42

2.8	Controlul puterii reactive.....	47
2.9	Diferite faze de funcționare a unei turbine eoliene echipate cu MADA .....	49
2.9.1	Protecția de scurtcircuit .....	50
2.9.2	Dezactivarea protecției de scurtcircuit și restabilirea funcționării convertoarelor de Putere .....	51
2.9.3	Limitarea cuplului electromagnetic .....	52
2.9.4	Comutarea rezistenței statorice.....	52
2.10	Influența diferitor parametri de comandă asupra funcționării turbinei eoliene .....	55
2.10.1	Controlul pasului paletelor turbinelor de vânt cu viteză variabilă .....	55
2.10.2	Reglarea pasului paletelor (Pitch controller) .....	57
2.10.3	Influența abaterilor de frecvență.....	57
<b>3.</b>	<b>PERFORMANȚELE DFIG CU SISTEME DE CONTROL PROPORȚIONAL INTEGRAL (PI) ȘI REZONANTE ÎN REȚEA .....</b>	<b>59</b>
3.1	Sistemul de control a vitezei.....	59
3.1.1	Sistemul de control vectorial a RSC.....	60
3.1.2	Sistemul de control vectorial al GSC .....	62
3.2	Tehnica de control convențional a DFIG .....	63
3.3	Descrierea generală controlerului proportional integral (PI).....	64
3.3.1	Circuitul de comandă al DC-Link.....	65
3.4	Schema de control a controllerului PI în rețea .....	67
3.4.1	Structura de control RSC al controllerului PI.....	67
3.4.2	Structura de control GSC al controllerului PI .....	68
3.5	Schema de control al controllerului rezonant în rețea .....	69
3.6	Studiul simulărilor al DFIG cu controlere PI și rezonante în rețea.....	71
3.6.1	Studiu de caz nr.1: Caracteristicile DFIG-lui la regimul tranzitoriu și postranzitoriu .....	71
3.6.2	Studiul de caz nr.2: Caracteristicile DFIG-lui la variații ale vitezei vântului .....	73
3.6.3	Studiul de caz nr.3: Pulsățiunile DFIG la utilizarea tehnicii de control PI și rezonante.....	75
3.6.4	Studiul de caz nr.4: Efectele armonicilor de ordinul 5 și 7 a curentului statoric și a	

tensiunii rețelei .....	76
<b>CONCLUZII</b> .....	78
<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	79