

ĐIỀU KHIỂN GIỚI HẠN CÔNG SUẤT ĐẦU RA TUA BIN GIÓ LOẠI II KHI VẬN TỐC GIÓ ĐẦU VÀO THAY ĐỔI

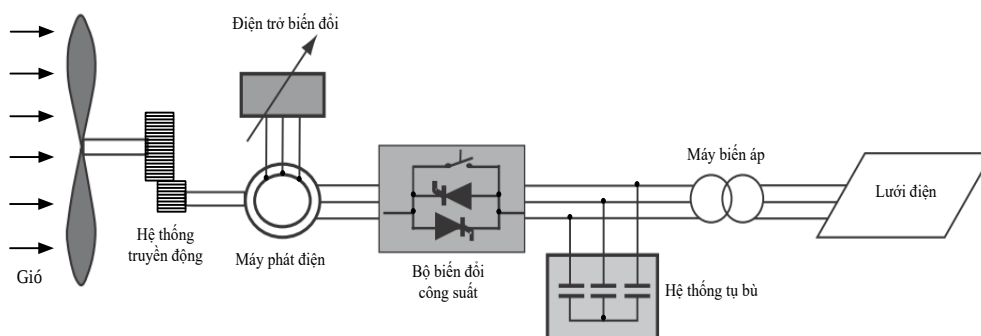
Nguyễn Thị Thu Hương*

Tóm tắt: Bài báo đề cập đến vấn đề ổn định công suất đầu ra của máy phát điện tuabin gió khi vận tốc gió đầu vào thay đổi. Đối tượng nghiên cứu là cấu trúc mô hình tuabin gió loại hai với máy phát điện không đồng bộ rotor dây quấn. Để công suất đầu ra của máy phát điện ổn định khi tốc độ gió thay đổi bằng cách điều chỉnh hệ thống điện trở phụ mắc thêm với cuộn dây rotor của máy phát. Giá trị điện trở roto của máy phát được điều chỉnh phù hợp bằng bộ điều khiển PI. Các kết quả phân tích đã cho thấy, khi tốc độ gió vượt quá 14 m/s mà có điện trở phụ thêm vào cuộn dây rotor của máy phát điện thì công suất đầu ra của máy phát vẫn được giữ ổn định. Mô hình mô phỏng được xây dựng dựa trên phần mềm PSCAD.

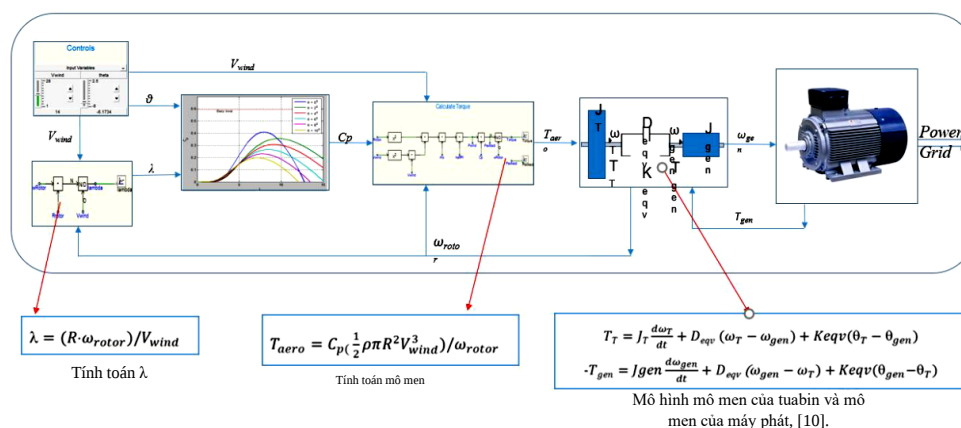
Từ khóa: Bộ điều khiển tích phân - tỉ lệ; Công suất đầu ra; Ổn định công suất; Tua bin gió loại II.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đứng trước những thách thức thiếu hụt điện năng, cùng với việc các nguồn năng lượng truyền thống ngày càng cạn kiệt nên nguồn năng lượng tái tạo đang ngày càng được chú trọng phát triển [1-2]. Trong đó, gió là một dạng năng lượng sạch, vô tận. Ngày nay, các hệ thống tuabin gió được sử dụng rộng rãi ở nhiều nước. Các tuabin gió chuyển đổi động năng bên trong tuabin gió thành cơ năng, cơ năng được đưa đến máy phát điện chuyển đổi thành điện năng [3-8], [13, 18, 20]. Tuabin gió có bốn loại, trong bài báo này nghiên cứu về mô hình tuabin gió loại II, có sơ đồ cấu trúc như hình 1:



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc mô hình tuabin gió loại II.



Hình 2. Cấu trúc mô hình các khối của tuabin gió loại II, xây dựng trên PSCAD.

Trong tuabin gió loại II, sử dụng máy phát điện không đồng bộ rotor dây quấn, cuộn dây rotor máy phát điện được kết nối với hệ thống điện trở biến đổi nhằm để điều khiển dòng điện rotor với một đặc tính tốc độ tương ứng với mô men nhất định. Khi tốc độ gió thay đổi theo hướng tăng thì vẫn ổn định công suất đầu ra của máy phát điện nhờ có bộ điều khiển PI điều chỉnh hệ thống điện trở phụ.

Cấu trúc mô hình các khối của tuabin gió loại II xây dựng trên phần mềm PSCAD được chỉ rõ trên hình 2.

2. MÔ HÌNH HÓA HỆ THỐNG BIẾN ĐỔI NĂNG LƯỢNG GIÓ

2.1. Mô hình hóa tuabin gió

Việc mô hình hóa của tuabin gió được xuất phát từ việc xác định công suất cơ của gió trên cơ sở được tính toán như sau:

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A V_{wind}^3 = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_{wind}^3 \quad (1)$$

Công suất cơ được chuyển đổi qua rotor của tuabin gió:

$$P_{extract} = C_p \cdot P_{wind} = C_p \left(\frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_{wind}^3 \right) \quad (2)$$

Momen quay trục rotor của tuabin gió được tính:

$$T = \frac{P_{extract}}{\omega_{rotor}} = \frac{\rho \pi R^2 C_p V_{wind}^3}{2 \omega_{rotor}} \quad (3)$$

trong đó, thành phần P_{wind} là công suất cơ của tuabin gió, thành phần ρ là mật độ không khí, A là diện tích mà gió quét qua, V_{wind} là vận tốc gió, R là bán kính vòng quét của tuabin gió, C_p là hiệu suất chuyển đổi của năng lượng gió từ đầu vào tới đầu ra của tuabin gió. Qua tính toán thì giá trị lớn nhất của hiệu suất chuyển đổi là 59,26%. Tuy nhiên, trong thực tế thì hiệu suất chuyển đổi này đạt giá trị trong khoảng 25% đến 45% và có thể tính toán theo biểu thức [10, 21]:

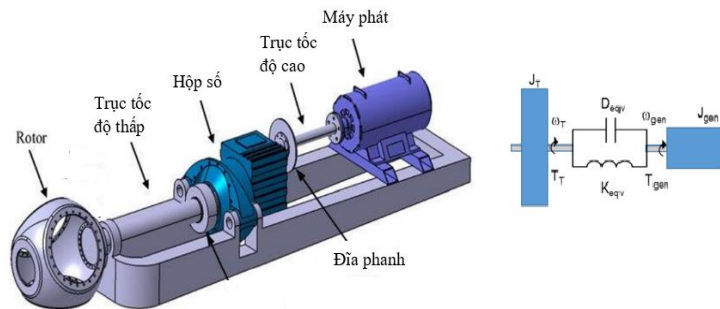
$$C_p(\lambda, \theta) = c_1 \left(c_2 \frac{1}{\lambda} - c_3 \theta - c_4 \theta^x - c_5 \right) e^{-c_6 \frac{1}{\lambda}} \quad (4)$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda + 0,08\theta} - \frac{0,035}{1 + \theta^3} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{\omega_{rotor} \cdot R}{V_{wind}} \quad (6)$$

trong đó, θ là góc pitch, λ là tỉ số vận tốc rìa, và $c_1 = 0,5$; $c_2 = 116$; $c_3 = 0,4$; $c_4 = 0$; $c_5 = 5$ và $c_6 = 21$.

2.2. Mô hình hóa bộ truyền động



Hình 3. Sơ đồ và sơ đồ thay thế của bộ truyền động [7].

Bộ truyền động được sử dụng để truyền công suất từ rotor đến máy phát, bao gồm trục truyền động rotor (trục tốc độ thấp), trục truyền động máy phát (trục tốc độ cao) và hộp số. Hình 3 mô tả cấu trúc thực và sơ đồ thay thế của bộ truyền động.

Các phương trình động học của bộ truyền động:

$$J_T \frac{d\omega_T}{dt} = T_T - D_{eqv}(\omega_T - \omega_{gen}) - K_{eqv}(\theta_T - \theta_{gen}) \quad (7)$$

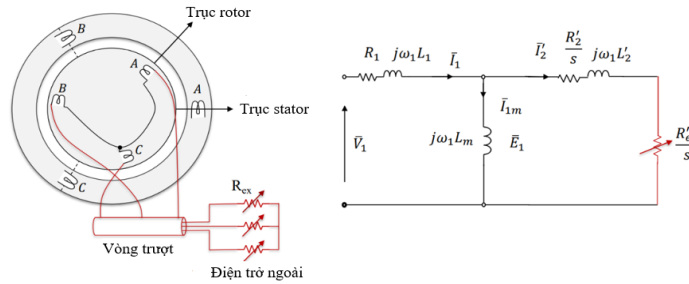
$$J_{gen} \frac{d\omega_{gen}}{dt} = -T_T + D_{eqv}(\omega_T - \omega_{gen}) + K_{eqv}(\theta_T - \theta_{gen}) \quad (8)$$

$$\frac{1}{K_{eqv}} = \frac{1}{K_{eq}} + \frac{1}{K_{gen}}; J_T = \frac{1}{K_{gear}^2} J_{rot}; T_T = \frac{1}{K_{gear}^2} T_{rot}; D_{eqv} = \frac{D_{rq}}{K_{gear}^2} \quad (9)$$

trong đó, T_T ; T_{gen} là thành phần mômen tuabin và máy phát, J_T ; J_{gen} là mômen quán tính tuabin và máy phát. Thành phần K_{rq} , K_{gear} , K_{gen} tương ứng là độ cứng xoắn của trục rotor, hộp số và trục máy phát, D_{rq} , D_{gg} : tương ứng là hệ số giảm xóc trục rotor và trục máy phát.

2.3. Mô hình hóa máy phát điện

Mạch điện rotor dây quấn và sơ đồ thay thế máy phát điện được trình bày như hình 4.



Hình 4. Mô hình máy phát điện và mạch điện tương đương quy đổi về phía stator [8].

Trong đó, R_{ex} là điện trở bên ngoài để tiêu tán tiêu tán bớt công suất phát ra của máy phát điện khi tốc độ gió tăng lên để giữ cho công suất đầu ra của máy phát điện là ổn định.

Ta có [11]:

$$R'_{ex} = a^2 R_{ex} \text{ với } a = \frac{N_1}{N_2} \quad (10)$$

$$R'_2 = a^2 R_2 \quad (11)$$

$$R'_{2eqv} = R'_2 + R'_{ex} \quad (12)$$

$$T_e = 3 \frac{p_p}{\omega_1} \frac{I_2'^2 \cdot R'_{2eqv}}{s} \text{ với } s = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (13)$$

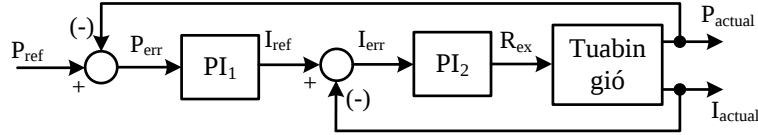
$$T_e \cong 3 p_p \frac{R'_{2eqv}}{s \cdot \omega_1 (R_s + R'_{2eqv} / s) + \omega_1^2 (L_1 + L_2)^2} v_s^2 \quad (14)$$

Vậy để đạt được giá trị mong muốn của mô-men xoắn ở nhiều tốc độ gió khác nhau bằng cách thay đổi điện trở rotor bên ngoài R_{ex} .

2.4. Bộ điều khiển điện trở rotor

Bộ điều khiển PI nhằm giảm thiểu sai số giữa biến quá trình đo được và giá trị tham chiếu mong muốn. Việc sử dụng bộ điều khiển PI khá đơn giản [12], hoạt động của bộ điều khiển dựa

trên hai đại lượng đo được: công suất thực đầu ra và dòng điện rotor. Bộ điều khiển sử dụng hai vòng lặp: vòng ngoài để điều khiển công suất thực là một đại lượng thay đổi tương đối chậm và vòng trong đo đầu ra của bộ điều khiển vòng ngoài để điều khiển dòng rotor thay đổi nhanh chóng. Sơ đồ điều khiển điện trở rotor dây quấn R_{ex} thông qua hai bộ điều khiển PI được thể hiện trên hình 5.



Hình 5. Sơ đồ điều khiển điện trở rotor dây quấn R_{ex} .

Khi đó, bộ điều khiển PI_1 , PI_2 sẽ được xác định như sau, theo các hệ phương trình (15) và (16) theo [12] :

$$\begin{cases} P = K_{p1}P_{err}(t) + K_{I1} \int_0^t P_{err}(t) dt \\ P_{err}(t) = P_{ref} - P_{actual}(t) \end{cases} \quad (15)$$

$$\begin{cases} I = K_{p2}I_{err}(t) + K_{I2} \int_0^t I_{err}(t) dt \\ I_{err}(t) = I_{ref} - I_{actual}(t) \end{cases} \quad (16)$$

trong đó, K_{p1} , K_{p2} và K_{I1} , K_{I2} là độ lợi tỉ lệ và độ lợi tích phân của bộ điều khiển.

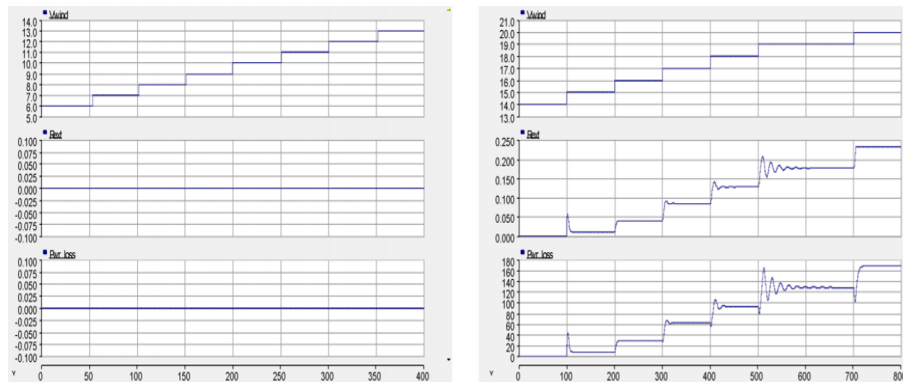
Cần chọn lựa các bộ giá trị $\{K_{p1}, K_{I1}\}, \{K_{p2}, K_{I2}\}$ thỏa mãn các yêu cầu về chất lượng điều khiển. Trong bài báo xác định thông số bộ điều khiển PI theo phương pháp Ziegler-Nichols và phần mềm PID Design, [13, 22].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Bài toán thực nghiệm:

Tuabin gió: $V_{wind} = 1 - 25$ m/s; $\rho = 1,225$ kg/m³; $R_{rotor} = 36$ Ω m. Bộ truyền động có thông số: $J_{rot} = 4940500$ kgm²; $J_{q2} = 16,73$ kgm²; $J_{gen} = 82,62$ kgm²; $K_{rq1} = 97789000$ Nm/rad; $K_{q2g} = 2930000$ Nm/rad; $D_{rot} = 0$ Nms/rad; $D_{q2} = 2,375$ Nms/rad; $D_{gen} = 0$ Nms/rad; $D_{rq1} = 13446$ Nms/rad; $D_{q2g} = 30,48$ Nms/rad; $R_q = 70,2\Omega$; $f = 60$ Hz; $p = 3$. Máy phát có công suất định mức $P_{gen} = 1,5$ MW.

3.1. Các thông số đo được về công suất đầu ra, dòng điện rotor, và giá trị điện trở R_{ex} , tổn thất công suất trên điện trở R_{ex}



Hình 6. Kết quả mô phỏng trên PSCAD với tốc độ gió khác nhau.

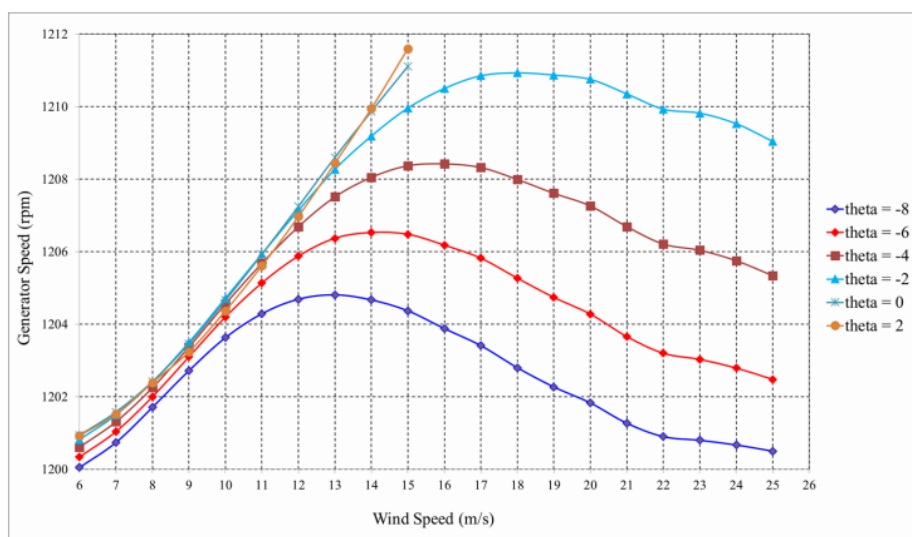
Kết quả mô phỏng với tốc độ gió khác nhau trên phần mềm PSCAD ta thu được như trên hình 6.

Các thông số đo được về công suất đầu ra (P_{out} , Q_{out}), dòng điện rotor (I_2), giá trị điện trở R_{ex} , tổn thất công suất P_{Loss} trên bảng 1.

Bảng 1. Bảng tham số đo công suất đầu ra ứng với giá trị vận tốc gió thay đổi và giá trị điện trở R_{ex} cần thêm vào hệ thống.

V_{wind} m/s	P_{out} MW	Q_{out} MVar	R_{ex} Ω	I_2 kA(RMS)	P_{Loss} kW
5	0,00	0	0	0	0
6	0,07	-0,2520	0	0,0220	0
7	0,24	-0,2556	0	0,0781	0
8	0,48	-0,2675	0	0,1554	0
9	0,74	-0,2902	0	0,2414	0
10	1,00	-0,3222	0	0,3251	0
11	1,21	-0,3567	0	0,3959	0
12	1,37	-0,3872	0	0,4491	0
13	1,47	-0,4071	0	0,4808	0
14	1,50	-0,4158	0	0,4938	0
15	1,50	-0,4166	0,0140	0,4966	10,362
16	1,50	-0,4164	0,0433	0,4966	32,037
17	1,50	-0,4163	0,0872	0,4964	64,504
18	1,50	-0,4154	0,1295	0,4967	95,859
19	1,50	-0,4152	0,1779	0,4972	131,765
20	1,50	-0,4161	0,2335	0,4966	172,778
21	1,23	-0,3596	0,2335	0,4029	113,713

Nhận thấy, khi $V_{wind} < 14$ m/s thì công suất đầu ra của máy phát nhỏ hơn 1,5 MW; khi $V_{wind} = 14$ m/s thì công suất đầu ra của máy phát điện là 1,5 MW; khi $V_{wind} > 14$ m/s thì cần thêm R_{ex} để công suất đầu ra của máy phát là ổn định ở giá trị 1,5 MW.



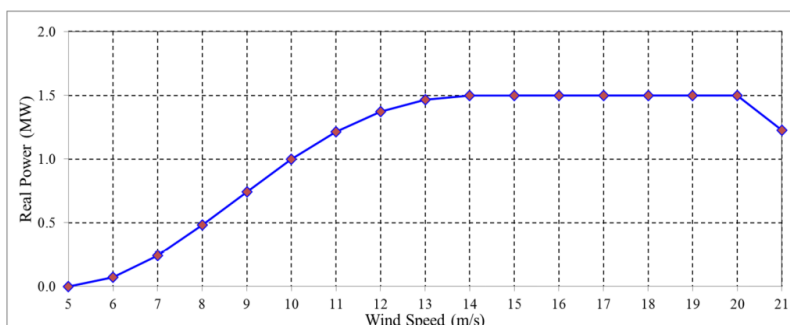
Hình 7. Kết quả mô phỏng trên PSCAD về tốc độ rôto và máy phát so với tốc độ gió.

So sánh với kết quả mô phỏng tuabin gió loại II trên Matlab [8] thì tương đồng với kết quả nhận được khi mô phỏng trên phần mềm PSCAD với số lượng chỉ có một tuabin gió. Các kết quả trên còn cho thấy, tốc độ rôto và tốc độ máy phát điện có những thay đổi khi tốc độ gió thay đổi

từ 6 m/s đến 25 m/s. Tại thời điểm sau 14 m/s thì các giá trị thay đổi này thấy rõ ràng hơn và các đường cong đang có chiều hướng quay trở lại vị trí ban đầu và làm việc ổn định.

3.2. Đường cong công suất của tuabin gió

Sau khi tính toán và thiết lập thống kê như bảng 1, ta có được đường cong công suất của tuabin gió như hình 8.



Hình 8. Đường cong công suất của tuabin gió với tốc độ gió từ 5 m/s đến 21 m/s.

Đường cong công suất của tuabin gió bằng phẳng ở tốc độ gió cao hơn định mức. Kết quả cho thấy, bộ điều khiển PI sử dụng công suất đo được và dòng điện rotor làm biến đầu vào là giải pháp đáng tin cậy. Các kết quả khảo sát mô phỏng đã chứng minh tính đúng đắn của mô hình đã nghiên cứu tính toán và xây dựng, cũng như xem xét được ảnh hưởng của nguồn công suất đến chất lượng động học của hệ thống điều khiển khi tính đến vấn đề ổn định công suất đầu ra của máy phát điện tuabin gió khi vận tốc gió đầu vào thay đổi.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã nghiên cứu xây dựng được mô hình tuabin gió loại II với máy phát điện không đồng bộ rotor dây quấn khi tốc độ gió thay đổi đã đem lại sự ổn định công suất đầu ra của máy phát điện bằng cách điều chỉnh điện trở mắc thêm với cuộn dây rotor máy phát thông qua độ điều khiển PI. Các kết quả thu được cho thấy tính đúng đắn của mô hình đã nghiên cứu. Như các nghiên cứu ở [17, 18, 20] thì kết quả trong bài báo một phần nào đã thể hiện chính xác các kết quả nghiên cứu tốt hơn so với các nghiên cứu trước đây. Tuy nhiên, tuabin gió loại II tồn tại nhược điểm không thể tự ổn định điện áp đầu ra của máy phát. Để khắc phục nhược điểm này thì người ta sử dụng mô hình tuabin gió loại III và loại IV kết hợp với các bộ biến đổi AC/DC và DC/AC (đây cũng là định hướng nghiên cứu tiếp theo của tác giả).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Phùng Quang, “*Truyền động điện thông minh*”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, (2006).
- [2]. Trương Minh Tuấn, Đoàn Đức Tùng, “*Giáo trình Hệ thống cung cấp điện*”, NXB Xây dựng, (2016).
- [3]. Hồ Phạm Huy Anh, Nguyễn Hữu Phúc, Nguyễn Văn Tài, Phạm Đình Trục, Nguyễn Quang Nam, Trần Công Bình, Phan Quang Ân, “*Kỹ thuật hệ thống năng lượng tái tạo*”, NXB Đại học Quốc gia TP HCM, (2018).
- [4]. Đặng Đình Thông, Lê Danh Liên, “*Cơ sở năng lượng mới và tái tạo*”, NXB Khoa học và Kỹ thuật, (2020).
- [5]. N.V. Tuan, “*Wind Turbine Modeling course*”, organized by CESTED center of VEF USA, 2020.
- [6]. P. Gevorkian, “*Solar Power Generation Problems*”, Solution & Monitoring, Cambridge, 2017.
- [7]. J. M. a. A. R. J. Manwell, “*Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*”, John Wiley & Sons, 2002.
- [8]. A. D. H. P. S. a. F. B. Florin lov, “*Wind Turbine Blockset in Matlab/Simulink*”, Aalborg University, March 2004.
- [9]. K. H. Nam, “*AC Motor Control and Electrical Vehicle Applications*”, CRC Press, Second Edition, 2019.
- [10]. C. B. B. P. A. E. E. Muljadi, “*Characteristics of Variable Speed Wind Turbines Under Normal and*

- Fault Conditions*”, IEEE Power Engineering Society General Meeting, pp. 1-7, 2007.
- [11]. R. S. O. H. S. -. Ramirez, “Control design techniques in power electronics devices”, *IEEE transactions on smart grid*, pp. 75-88, 2017.
- [12]. NREL, “Dynamic Models for Wind Turbines and Wind Power Plants (NREL/SR-5500-52780)”, October 2011. [Online]. Accessed February 2021.
- [13]. J. M. a. M. Moradi, “PID Control - New Identification and Design Methods”, Springer - Verlag London Limited, 2005.
- [14]. David A. Rivkin, “Advanced Generator Design for Wind Turbines”, publishing by Springer, Berlin, Heidelberg, 2015.
- [15]. Lucian Nicolae Tutelea, Sorin Ioan Deaconu, Nicolae Budisan, Ion Boldea, “Double Stator Winding Induction Generator for Wind and Hydro Applications: 2D-FEM Analysis and Optimal Design”, Conference: Power Electronics and Applications (EPE), 2014.
- [16]. Akinrinde, A.; Swanson, A.; Tiako, R. “Dynamic Behavior of Wind Turbine Generator Configurations during Ferroresonant Conditions”, 12, 639 *Energies* 2019.
- [17]. Mikel de Prada, Jos’e Luis Dom’inguez–Garc’ia, Fernando Mancilla–David, Eduard Muljadi, Mohit Singh, riol Gomis–Bellmunt, and Andreas Sumper, “Type–2 Wind Turbine with Additional Sub–Synchronous Resonance Damping”, pp. 226-232, IEEE Green Technologies Conference, 2013.
- [18]. L.J. Ontiveros P.E. Mercado G.O. Suvire, “A new model of the double-feed induction generator wind turbine”, Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA), 2011 IEEE/PES.
- [19]. Li, S.; Yu, X.; Fridman, L.; Man, Z.; Wang, X. (Eds.) “Advances in Variable Structure Systems and Sliding Mode Control Theory and Applications; Ser. Studies in Systems, Decision and Control”; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, Volume 115, 2018.
- [20]. Juan I. Talpone, Paul F. Puleston, Marcelo G. Cendoya and José. A. Barrado-Rodrigo, “A Dual-Stator Winding Induction Generator Based Wind-Turbine Controlled via Super-Twisting Sliding Mode”, pp 1-20, *Energies* 2019.
- [21]. Bu, F.; Liu, H.; Huang, W.; Xu, H.; Hu, Y. “Recent advances and developments in dual stator winding induction generator and system”. *IEEE Trans. Energy Convers.* Vol 33, pp. 1431–1442, 2018.
- [22]. <https://www.esig.energy/wiki-main-page/modeling-of-type-2-wind-turbine-generators/>.

ABSTRACT

CONTROL LIMIT THE OUTPUT POWER OF THE TYPE II WIND TURBINE WHEN THE INPUT WIND SPEED VARIATIONS

The article discusses the issue of stabilizing the output power of a wind turbine generator when the input wind speed changes. The object of study is the model structure of Type - II with a rotor wound induction generator. Control of power output of a Type-II turbine can be accomplished by varying the rotor resistance. PI controller is used to calculate proper values of the rotor resistance to limit generated output of a wind turbine. The results show that the wind speed exceeds 14 m/s, additional resistance is added to the generator rotor windings, the output power of the generator remained stable the nominated power. Simulation model is built based on PSCAD software. This control system has the advantages of compactness, safe working, reliability, stability, bringing more economic benefits than other control methods.

Keywords: Proportional- Integral controller; Output power; Power stabilization; Wind Turbine- type - II.

Nhận bài ngày 16 tháng 4 năm 2021

Hoàn thiện ngày 17 tháng 6 năm 2021

Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 7 năm 2021

Địa chỉ: Bộ môn Kỹ thuật Điện, Học viện Kỹ thuật quân sự.

**Email:* huong82hvkts@gmail.com.