

การจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบริบทไฟฟ้า 1 เฟส

Wind Turbine Simulation for Connected Single Phase Grid System

พูนศรี วรรณการ และ พนา ดุสิตากร

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร E-mail: poonsri.w@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับการจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบริบทไฟฟ้า 1 เฟส โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมกระแสฮิสเตอร์รีซิส เพื่อสร้างสัญญาณที่ดับบลิวเอ็มควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดจ่ายแรงดัน การจำลองระบบที่นำเสนอใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการจำลองกังหันลมที่เชื่อมต่อกับเพลาเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ จากนั้นนำไฟตรงที่ได้ไปจ่ายเข้ากับวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ซึ่งต่อกับหม้อแปลงอโต้ 1 เฟส เพื่อทำหน้าที่ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนสู่ระบบกริด 1 เฟส

คำสำคัญ: ฮิสเตอร์รีซิส, พีดับบลิวเอ็ม, อินเวอร์เตอร์, เครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร

Abstract

This article describes about wind turbine simulation for connected single phase grid system using hysteresis current control technique to generate PWM signals for controlling a single-phase voltage source inverter. The simulation system presented here uses the program, MATLAB/Simulink in the simulation of the wind turbine connected to the shaft of a three-phase permanent magnet generator is produced by alternating current through the full bridge rectifier circuit. Then, the power supply is applied to the single-phase inverter circuit, which is connected to the single-phase autotransformer to power transfer to the single-phase grid system.

Keywords: hysteresis, PWM, inverter, three-phase permanence magnet generator

1. บทนำ

กังหันลม คือชุดเครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกล และนำพลังงานกลมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้า โดยการออกแบบกังหันลมจะได้อาศัยความรู้ทางพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมในแขนงต่าง ๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด โดยทั่วไปกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด[1] ตามแกนหมุนของกังหันลม ได้แก่ กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง และกังหันลมแกนหมุนแนวนอน ซึ่งทั้งสองชนิดจะประกอบด้วยอุปกรณ์ในการทำงานผลิตไฟฟ้าที่คล้ายกัน เช่น ชุดใบพัด ชุดห้องเกียร์ทดกำลัง ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และชุดเสา โดยจะมีความแตกต่างกันตรงการวางชุดแกนหมุน ใบพัด ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้งาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า (Capacity) เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (Rotor Diameter) และพื้นที่กวาดของใบพัด (Swept Area) ของกังหันลมผลิตไฟฟ้ารุ่นนั้นๆ ดังแสดงขนาดของกังหันลมในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงขนาดของกังหันลมต่างๆ

ขนาดของกังหันลม	ขนาดกำลังผลิต (kW)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	พื้นที่กวาด (m ²)
ขนาดเล็ก (Micro Wind Turbine)	< 1.5	< 3	< 7
ขนาดเล็ก (Small Wind Turbine)	1.5-2.0	3-10	7-80
ขนาดกลาง (Medium Wind Turbine)	20-200	10-25	80 - 500
ขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine)	200-1,500	25-70	500-3,850
ขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine)	> 1,500	> 70	> 3,850

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3

Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology

2. คุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

โดยกำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม (P_{turb}) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอากาศ มุมบิดของใบพัด รัศมีของใบพัด และความเร็วลมที่ปะทะใบพัด[1] ดังสมการที่ (1)

$$P_{turb} = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_w^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (1)$$

เมื่อ

P_{turb} คือ กำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ

β คือ มุมบิดของใบพัดเป็นองศาทางกล

R คือ รัศมีของใบพัดในหน่วยเมตร

V_w คือ ความเร็วลมในหน่วยเมตรต่อวินาที

$C_p(\lambda, \beta)$ คือ สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

หาค่าอัตราส่วนความเร็วปลายได้จากสมการที่ (2) ได้ดังนี้

$$\lambda = \frac{\omega_r R}{V_w} \quad (2)$$

เมื่อ

ω_r คือ ความเร็วของการหมุนโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดกังหันลม

ในหน่วยเรเดียนต่อวินาที

λ คือ อัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด

โดยค่าสัมประสิทธิ์กำลัง C_p มีค่าเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนความเร็วปลาย สำหรับกังหันลมที่ใช้ในกรณีศึกษา ค่า C_p เขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันของอัตราส่วนความเร็วปลาย[2] ได้ดังสมการที่ (3) นี้

$$C_p = 0.043 - 0.108\lambda + 0.146\lambda^2 - 0.0602\lambda^3 + 0.0104\lambda^4 - 0.0006\lambda^5 \quad (3)$$

สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมตามกฎของเบท(Betz' Law)[3] หาได้จาก

$$C_p = \frac{P_{Rotor}}{P_{wind}} \quad (4)$$

เมื่อ

C_p คือ สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

P_{Rotor} คือ กำลังโรเตอร์

P_{wind} คือ กำลังลม

และจากสูตรการแปลงกำลังทางกลเป็นกำลังทางไฟฟ้างดสมการที่ (5)

$$P_{turb} = T_{turb} \omega_r \quad (5)$$

เมื่อ

P_{turb} คือ กำลังทางไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์

T_{turb} คือ แรงบิดทางกลมีหน่วยเป็นนิวตันเมตร

ω_r คือ ความเร็วเชิงมุมมีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที

เมื่อแทน $\omega_r = \frac{\lambda V_w}{R}$ และกำหนดให้มุมพิช (β) มีค่าคงที่

ดังนั้นหาแรงบิดเอาต์พุตที่เพลารอเตอร์ของกังหันลม (T_{turb}) ได้จากการแทนค่ากำลังที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม (P_{turb}) ในสมการที่ (1) หาด้วยความเร็วเชิงมุมที่เพลารอเตอร์ของโรเตอร์กังหันลมหมุน (ω_r) จะได้

$$T_{turb} = \frac{1}{2\lambda} \cdot \rho \pi R^3 V_w^2 C_p(\lambda) \quad (6)$$

โดยความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงบิดและสัมประสิทธิ์กำลังกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (7)

$$C_T(\lambda) = \frac{C_p(\lambda)}{\lambda} \quad (7)$$

เมื่อ

$C_T(\lambda)$ คือ สัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลม

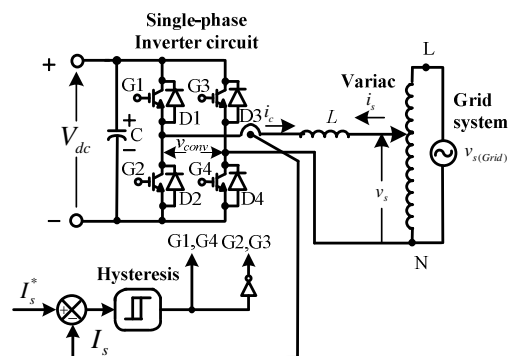
$C_p(\lambda)$ คือ สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

λ คือ อัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด

3. หลักการควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสในการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

การควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

การนำเทคนิคการควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮิสเตอร์รีซิส(HB) มาใช้ในการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสในการจ่ายกระแสไปยังระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส แสดงดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 แสดงกระแสจริงติดตามกระแสอ้างอิงภายในขอบเขตฮิสเตอร์รีซิส

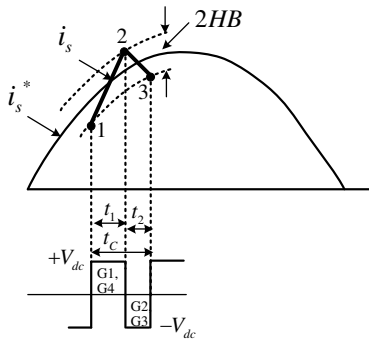


รูปที่ 1 การควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮิสเตอร์รีซิสในวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3

Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology



รูปที่ 2 รูปคลื่นกระแสอ้างอิง (i_s^*) และกระแสจริง (i_s) ในการกำเนิดสัญญาณพัลส์

การวิเคราะห์หลักการควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮิสเตอร์รีซิส[4] มีหลักการวิเคราะห์การทำงานอยู่ 2 สถานะ คือ เมื่อกระแสจริงของแหล่งจ่ายไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ i_s เดินทางจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 โดยกระแสจริงเคลื่อนที่จากขอบเขตล่างไปยังขอบเขตบนทำให้ความชันของกระแสเพิ่มขึ้น และจากจุดที่ 2 ไปยังจุดที่ 3 กระแสจริงเคลื่อนที่จากขอบเขตบนมายังขอบเขตล่างทำให้ความชันของกระแสจริงลดลง ดังนั้นในการวิเคราะห์จากรูปที่ 2 สามารถอธิบายหลักการทำงานในช่วงเวลา t_1 สวิตซ์ไอจีบีที G1, G4 นำกระแส ส่วนสวิตซ์ไอจีบีที G2, G3 ไม่นำกระแส และในช่วงเวลา t_2 สวิตซ์ไอจีบีที G2, G3 นำกระแส ส่วนสวิตซ์ไอจีบีที G1, G4 ไม่นำกระแส โดยตัว L คือตัวเหนี่ยวนำที่ต่อเชื่อมระหว่างอินเวอร์เตอร์กับแหล่งจ่ายกริด 1 เฟส โดยความถี่สวิตซ์ซึ่งสูงสุด ที่ $\omega t = 0, \pi$ ทำให้ $v_s = 0$ จะได้

$$f_{c(\max)} = \frac{0.25(V_{dc2})}{(HB)L} \quad (8)$$

ความถี่สวิตซ์ซึ่งต่ำสุด ที่ $\omega t = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$ ทำให้ $v_s = V_m$ จะได้

$$f_{c(\min)} = \frac{0.25(V_{dc} - V_m)}{(HB)L} \quad (9)$$

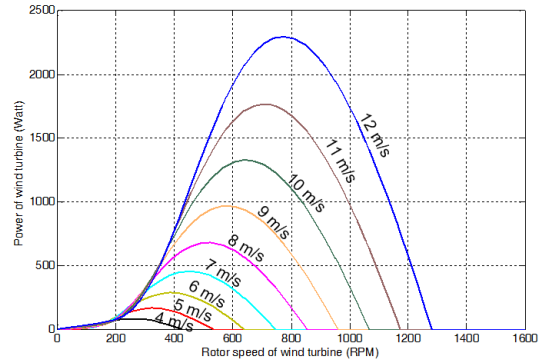
เมื่อ

$f_{c(\max)}$ คือ ความถี่สวิตซ์ซึ่งสูงสุด

$f_{c(\min)}$ คือ ความถี่สวิตซ์ซึ่งต่ำสุด

4. ผลการจำลอง

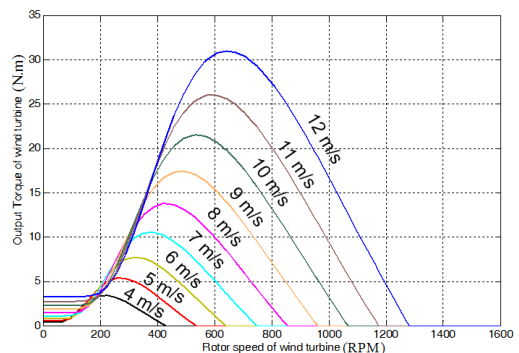
ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ ที่กำหนดให้มีรัศมีใบพัดเท่ากับ 1.2 เมตร เมื่อดูความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลากังหัน (n) กับกำลังทางกล (P_m) ที่ความเร็วลมต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลากังหัน (n) กับกำลังทางกลเอาต์พุตของกังหันลม (P_m) ที่ความเร็วลมต่างๆ

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วลมมากกว่า 9 เมตรต่อวินาที กำลังทางกลเอาต์พุตสูงสุดที่เกิดขึ้นที่กังหันลมมีค่าประมาณเท่ากับ 1 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบของเพลากังหันมีค่าประมาณ 600 รอบต่อนาที และที่ความเร็วลมต่ำกว่า 9 เมตรต่อวินาที กำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลมจะมีค่าต่ำกว่า 1 กิโลวัตต์

ส่วนผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (n) กับแรงบิด (T_m) ที่ความเร็วลมต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4

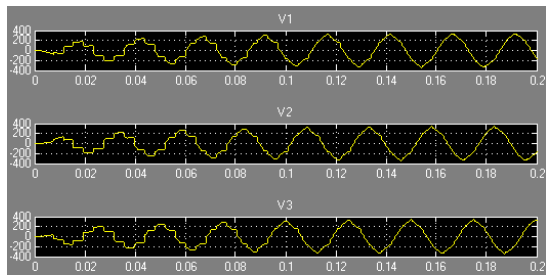


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลากังหัน (n) กับแรงบิด (T_m) ที่ความเร็วลมต่างๆ

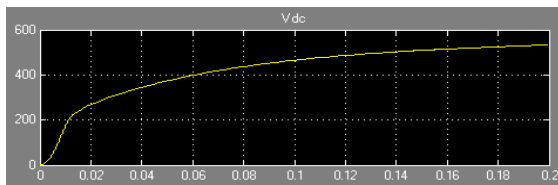
ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ ที่มีความเร็วรอบสุดที่เพลาลงเครื่องกำเนิดเท่ากับ 600 รอบต่อนาที ที่ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที มีแรงบิดสุดที่เพลาลงเครื่องกำเนิดเท่ากับ 15 นิวตันเมตร แสดงดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3
Proceedings of the 3rd RMUTP Conference of Engineering and Technology

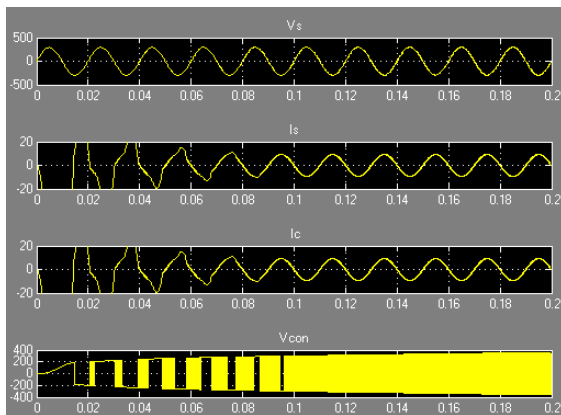


รูปที่ 5 ผลจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 6 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรง

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส เมื่อควบคุมให้กระแสคอนเวอร์เตอร์ไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปยังกริด ($I_{c(rms)} = I_{s(rms)}$) มีค่าเท่ากับ 7 แอมป์ที่ค่าแรงดันไฟตรงป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณเท่ากับ 350 โวลต์ และกำหนดขอบเขตฮิสเตอร์ริซิส (HB) เท่ากับ 0.2 แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส

5. สรุป

จากผลการจำลองคุณลักษณะของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ สอดคล้องกับสมการกำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม และจากการจำลองการทำงานของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบริเวณกริดไฟฟ้า 1 เฟส โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมกระแสฮิสเตอร์ริซิสจะเห็นว่าสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแอกทีฟไปยังกริดไฟฟ้า 1 เฟส โดยการควบคุมกระแสคำสั่งได้จริง ซึ่งหากต่อยอดนำไปสร้างฮาร์ดแวร์จริงประยุกต์ใช้กับพลังงานลมก็จะทำให้ลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้า

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่เอื้อเฟื้อทุนในการทำวิจัยในบทความที่นำเสนอ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Eftichios Koutroulis and Kostas Kalaitzakis, "Design of a Maximum Power Tracking System for Wind-Energy-Conversion Applications", IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 53, NO.3, April 2006, pp.486-494.
- [2] A. B. Raju, B. G. Fernandes, K. Chatterjee, "A UPF Power Conditioner with Maximum Power Point Tracker for Grid Connected Variable Speed Wind Energy Conversion System", IEEE Transactions on Power Electronics Systems and Applications, 2004.
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Betz'_law.
- [4] C. Puripanyavanit, P. Wannakarn, P. Sardyoung and V. Kinnares: "Performance Evaluation of Single-Phase Full Bridge Grid-Connected Converter with Reduced Switching Losses", IEEE 17th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2014, pp.3579-3583.



พูนศรี วรรณการ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วศ.บ. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำงานวิจัยด้านเครื่องกลไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์กำลัง พลังงานทดแทน และการขับเคลื่อนไฟฟ้า



พนา ดุติตากรณ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท คอ.ม. สาขาวิชาเทคโนโลยีเทคนิคศึกษา จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก (Ph.D) สาขาวิชาเทคโนโลยีเทคนิคศึกษา จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ทำงานวิจัยด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ และพลังงานทดแทน