เครื่องจำลองกังหันลมด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม

Wind Turbine Simulator with Induction Motor for Wind Power Generation Testing System

ชาญฤทธิ์ ธาราสันติสุข
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10330
โทร. 0-2287-9629, 089-9226826 โทรสาร 0-2287-9629 E-mail: chanrit.t@rmutk.ac.th, www.ee.rmutk.ac.th

Chanrit Tarasantisuk
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, RMUTK
2 Nanglingee Rd. Sathon Bangkok Tel 0-2287-9629, 089-9226826 Fax 0-2287-9629 E-mail: chanrit.t@rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องจำลองกังหันลมด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม มีข้อดีที่ทำให้การทดสอบระบบกังหันลมทำได้สะดวก รวดเร็ว ลดเวลาและค่าใช้จ่าย และมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากการทดสอบกับกังหันลมจริงนั้นทำได้ยาก มีค่าใช้จ่ายสูงและไม่เหมาะกับการนำมาออกแบบระบบควบคุมเพราะการทดสอบระบบควบคุมต้องการทดสอบด้วยความเร็วลมคงที่ หรือความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงตามกำหนด แต่กังหันลมจริงทดสอบได้ค่อนข้างลำบาก เนื่องจากความเร็วลมจริงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและไม่คงที่ เครื่องจำลองกังหันลมด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีการควบคุมและแสดงผลด้วยการ์ดอินเตอร์เฟส จะใช้หลักการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำให้เหมือนกับแรงบิดที่เกิดจากกังหันลมจริง โดยการควบคุมให้มอเตอร์เหนี่ยวนำสร้างแรงบิดให้มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงบิด (C_p) ของกังหันลม โดยใช้หลักการสร้างแรงบิดอ้างอิง (Torque Reference) และควบคุมผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink และส่งข้อมูลผ่านการ์ดอินเตอร์เฟส ออกมาในลักษณะแบบทันเวลา (Real-time) ไปยังอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1kW สร้างแรงบิดตามความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงบิด ของกังหันลม ทำให้สามารถสร้างเครื่องจำลองการทำงานของกังหันลมได้ใกล้เคียงกับกังหันลมจริงได้

Abstract

The wind turbine simulator with induction motor controlled and display by DS1104 interface card was made propose for test control system to the development of wind turbine design to optimal to reduce the costs of wind power how to make wind turbine more economical and efficient. Cause from difficult of testing need to wind speed constant value but actual wind speed has to variable and turbulence. There can not control its.

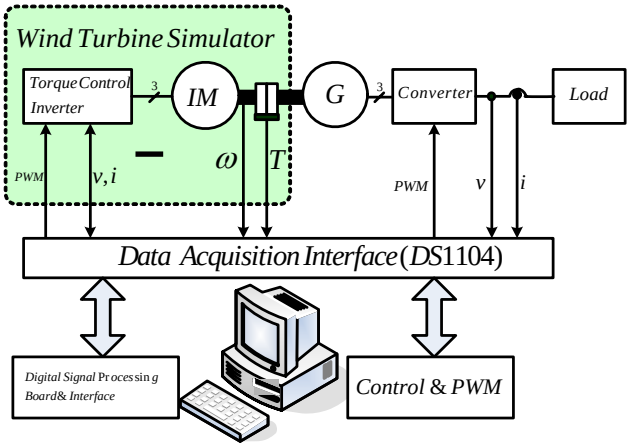
The wind turbine simulator with induction motor controlled and display by interface card use a squirrel cage induction motor is proposed for a wind simulator as a torque-generating source. A torque generating relate to power coefficient. The Matlab/Simulink program include the mathematical model of the wind turbine to calculate reference signal (torque reference) to interface card for passed generated code to real-time signal sent to a torque control inverter create a torque-generating relation to power coefficient and implement to induction motor 1 kW create a torque-generating relation to power coefficient. The wind turbine simulator with induction motor controlled and display by interface card responses confirms that the system can perform satisfactorily under step changes of torque reference, power reference and load disturbances.

1. บทนำ

ในสภาวะที่ความต้องพลังงานของโลกที่เพิ่มมากขึ้นในเรื่องของการผลิตไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นพลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง ถ่านหิน พลังงานน้ำและพลังงานจากก๊าซธรรมชาติ ในปัจจุบันพลังงานลมเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่มีการให้ความสนใจกันอย่างกว้างขวางและในปัจจุบันพลังงานลมถูกนำมาใช้เพื่อผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้ากันมากขึ้น ซึ่งพลังงานลมเป็นพลังงานที่สะอาดไร้มลพิษ ไม่มีวันหมดสิ้น หรือซื้อจากแหล่งอื่น และในประเทศไทยก็ยังมีการนำพลังงานลมมาใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าด้วยในหลาย ๆแห่ง ระบบควบคุมที่ออกแบบทำงานได้สะดวก

รวดเร็ว ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ทำให้การออกแบบและพัฒนาระบบกังหันลมมีต้นทุนที่ลดลง [2]

บทความนี้จะใช้วิธีการควบคุมแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำให้เหมือนกับแรงบิดที่เกิดจากกังหันลมจริง โดยการควบคุมให้มอเตอร์เหนี่ยวนำสร้างแรงบิดให้มีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงบิดของกังหันลม โดยใช้วิธีการสร้างแรงบิดอ้างอิง (Torque Reference) และควบคุมผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในโปรแกรม Matlab/Simulink และส่งข้อมูลผ่านการ์ดอินเตอร์เฟส ออกมาในลักษณะแบบทันเวลา ไปที่ชุดอินเวอร์เตอร์สั่งให้มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1kW สร้างแรงบิดตามความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์ของแรงบิดของกังหันลม ทำให้สามารถสร้างเครื่องจำลองการทำงานของกังหันลมได้ใกล้เคียงกับกังหันลมจริงได้ [1] โครงสร้างโดยรวมของเครื่องจำลองกังหันลมจะแสดงในรูปที่ 1 ในส่วนแรกประกอบไปด้วยแบบจำลองความเร็วลมใช้สร้างความเร็วลมที่ต้องการ [3] รูปแบบของพลังงานความเร็วของลมสามารถสร้างได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากหลักการสุ่มของ Kalman Spectrum โดยโปรแกรม Matlab/Simulink หรือสร้างจากการปรับค่าขึ้นลงด้วยตัวเองหรือจากข้อมูลบันทึกความเร็วลมจริงจากกรมอุตุนิยมวิทยาและต่อมาจะเป็นแบบจำลองกังหันลมที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลักการและทฤษฎีกังหันลมที่คำนวณสัญญาณอ้างอิงในลักษณะของแรงบิดอ้างอิง ผ่านการ์ดอินเตอร์เฟส เพื่อแปลงสัญญาณให้อยู่ในรูปแบบทันเวลา แล้วส่งไปยังอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งอยู่ในส่วนที่สองโดยทำหน้าที่รับสัญญาณมาควบคุมให้มอเตอร์เหนี่ยวนำให้แสดงคุณลักษณะของกังหันลมที่แกนโรเตอร์ออกมาเป็นแรงบิดของพลังงานลม [4]



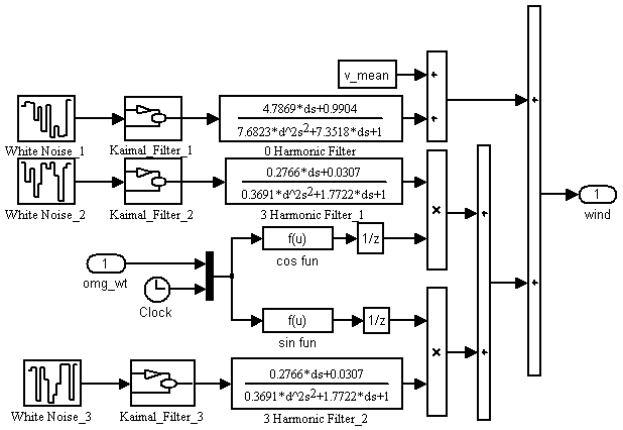
รูปที่ 1 โครงสร้างของเครื่องจำลองกังหันลม

2. แบบจำลองความเร็วลม (Wind Speed Model)

แบบจำลองความเร็วลมมีความสำคัญในการบอกค่าสมรรถนะของแหล่งกำเนิดลมและพฤติกรรมของลมที่เกิดขึ้นจริง เพื่อนำผลจากแบบจำลองความเร็วลมไปวิเคราะห์และนำพลังงานลมนี้ไปใช้ประโยชน์ต่อไป ในธรรมชาติของความเร็วลมจะมีองค์ประกอบ 2 ส่วนคือ

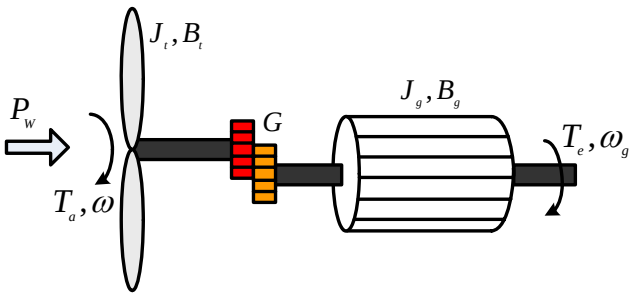
(ก) ส่วนแรกคือส่วนที่เป็นค่ากลางคงที่เฉลี่ย (Steady State) ซึ่งจะเฉลี่ยจากค่าที่เพิ่มขึ้นสูงสุด และลดลงต่ำสุด

(ข) ส่วนที่สองคือส่วนของค่าความแปรปรวน (Turbulence) เป็นคุณลักษณะของการสุ่มค่าไปแบบไม่เป็นปกติกับส่วนแรกคือส่วนที่เป็นค่ากลางคงที่เฉลี่ย (Steady State) กับเวลาและระยะทาง แล้วนำมาเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมแบบจำลองความเร็วลมได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมแบบจำลองความเร็วลม

3. แบบจำลองกังหันลม (Wind Turbine Model)



รูปที่ 3 แบบจำลองกังหันลม

สมมุติให้อัตราทดเกียร์ G = 1 เพราะฉะนั้น $w_g = w$ สามารถเขียนสมการไดนามิกของกังหันได้เป็น

โดยที่ $J = J_t + J_g$ และ $B = B_t + B_g$

แปลงให้อยู่ในรูปแบบพีชคณิต

$$T_a - T_e = (JD + B)w \quad (1)$$

โดยกำหนดตัวดำเนินการ $D = \frac{d}{dt}$

แรงบิดอากาศพลศาสตร์ T_a เป็นค่าที่ได้รับผลส่วนหนึ่งจาก w ดังต่อไปนี้ โดยกังหันที่มีขนาดและลักษณะของใบพัดต่างกันก็จะมีกราฟคุณลักษณะต่างกันด้วย ดังนั้นจึงแสดงสมการกำลังที่กังหันสกัดได้จากลมดังสมการที่ 2

$$P_a = \frac{p}{2}\pi R^2 v^3 C_p(\nu, w, \beta) \quad (2)$$

ในที่นี้พิจารณาเฉพาะกังหันลมที่ไม่มีการปรับมุมพิช ดังนั้นที่มุมพิชคงที่ค่าหนึ่ง C_p จะขึ้นอยู่กับค่าของ ν และ w เท่านั้น

ถ้ากำหนดให้ λ คือ อัตราส่วนความเร็วรอบต่อความเร็วลม (Tip Speed Ratio) ซึ่งนิยามตามสมการที่ (3)

$$w = \frac{\lambda v}{R} \quad (3)$$

จะได้

$$P_a = \frac{p}{2}\pi R^2 v^3 C_p(\lambda) \quad (4)$$

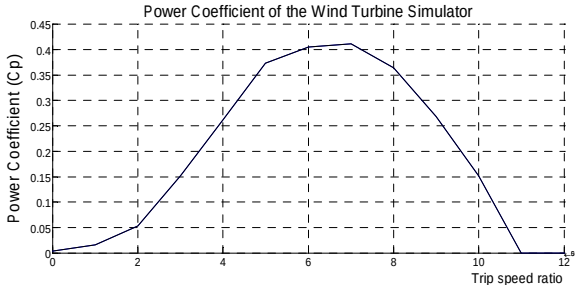
แทนค่าใน $T_a = \frac{P_a}{w}$ จะได้ว่า

$$T_a = \frac{p}{2}\pi R^2 \frac{v^3}{w} C_p(\lambda) \quad (5)$$

แทนค่าใน $w = \frac{\lambda v}{R}$ จะได้

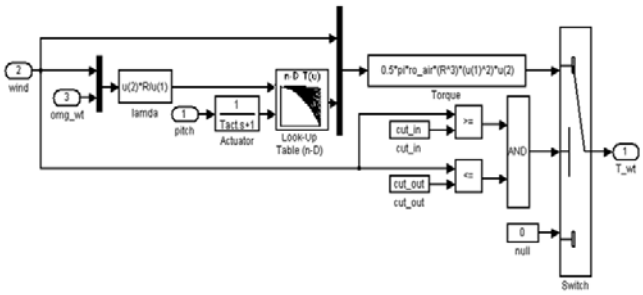
$$T_a = \frac{p}{2}\pi R^3 v^2 \frac{1}{\lambda} C_p(\lambda) = \frac{p}{2}\pi R^3 v^2 C_T(\lambda) \quad (6)$$

โดยที่ค่าของ $C_T(\lambda) = \frac{C_p(\lambda)}{\lambda}$ เรียกว่าสัมประสิทธิ์แรงบิด และ $C_p(\lambda)$ เรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์กำลัง



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์กำลัง (C_p) กับแลมด้า (λ)

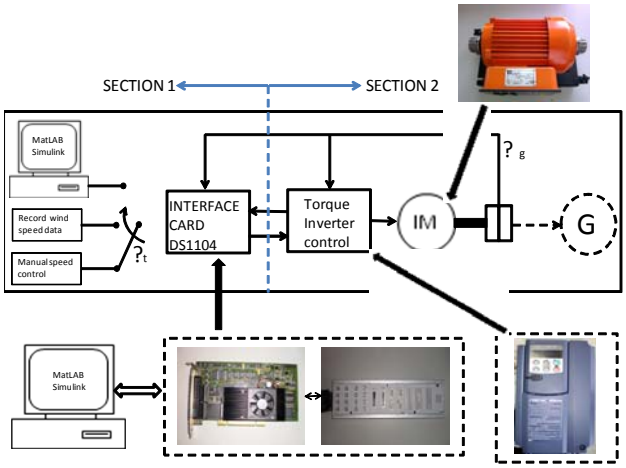
จากรูปที่ 3 กังหันเป็นระบบที่มีอินพุตคือแรงบิดของกังหันลม มีเอาท์พุตคือความเร็วรอบ และถือว่าลมที่กระทำต่อกังหันคือสัญญาณรบกวน (Disturbance) ดังนั้นจากสมการ 6 จึงเขียนบล็อกไดอะแกรมแบบจำลองของกังหันได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมแบบจำลองของกังหันลม

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่า จากสมการพื้นฐานของกังหันลมสามารถที่นำมาประยุกต์ใช้ในโปรแกรม Matlab/Simulink ได้โดยในส่วนของการคำนวณค่า C_p จะใช้บล็อกของ Look-Up Table ในโปรแกรม Matlab/Simulink ช่วยในการคำนวณค่า C_p โดยใช้หลักการ Interpolation

4. การออกแบบเครื่องจำลองกังหันลม



รูปที่ 6 การออกแบบระบบเครื่องจำลองกังหันลม

เครื่องจำลองกังหันลมที่ออกแบบขึ้นมาจะประกอบด้วยอุปกรณ์ดังรูปที่ 6 คือ 1) มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 kW ต่อขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 1 kW 2) 2000 pulses rotary encoder 3) อินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมแรงบิด และ 4) การ์ดอินเตอร์เฟสรุ่น DS1104

5. ผลการทดลอง

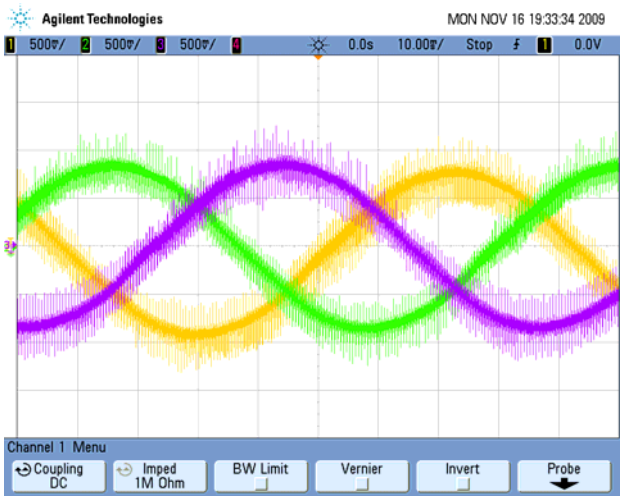
5.1 การทดลองสมรรถนะของทอร์กอินเวอร์เตอร์

ในระบบเครื่องจำลองกังหันลมนั้นแรงบิดจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เป็นเชิงเส้นดังนั้นใช้อินเวอร์เตอร์ที่มีสมรรถนะสูงในการควบคุมแรงบิดที่มีความเปลี่ยนแปลงที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงต้องทดสอบการทำงานของอินเวอร์เตอร์ดังนี้

ก.ทดสอบลักษณะของแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย ที่จะจ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ

รูปที่ 7 แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย A, B และ C

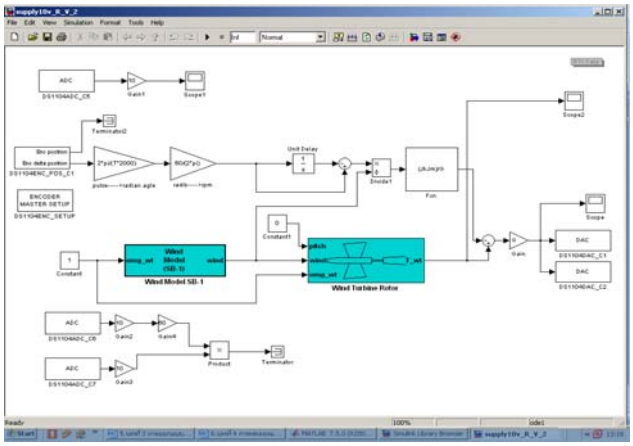
ข.ทดสอบลักษณะของกระแสไฟฟ้าที่สายจ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส



รูปที่ 8 กระแสไฟฟ้าที่ปลายสาย A, B และ C

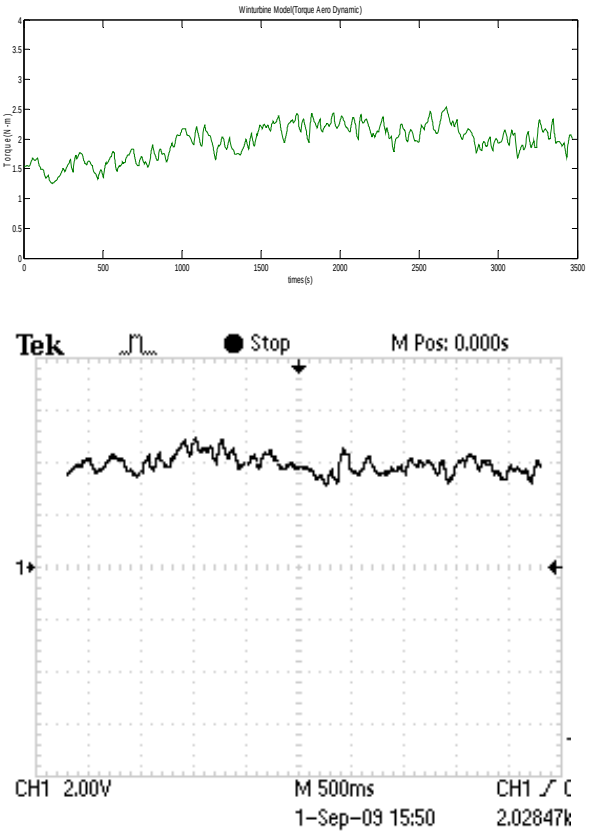
5.2 การทดลองเครื่องจำลองกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการทดลองเครื่องจำลองกับโปรแกรม Matlab/Simulink สามารถทำการทดลองได้โดยไม่ต้องต่อวงจรภายนอก เพียงแต่ทำการทดลองจากตัวโปรแกรม Matlab/Simulink ที่ได้ออกแบบมาแล้วโดยการใส่ค่าพารามิเตอร์ที่จะทำการทดลอง ในส่วนแบบจำลองของแต่ละส่วน โดยกำหนดพารามิเตอร์ความเร็วลมที่ 3 m/s พื้นที่การสกัดพลังงานของใบพัด 3 m และความหนาแน่นของอากาศ 1.225 kg/m^3



รูปที่ 9 โปรแกรม Matlab/Simulink สำหรับจำลองพลังงานลม

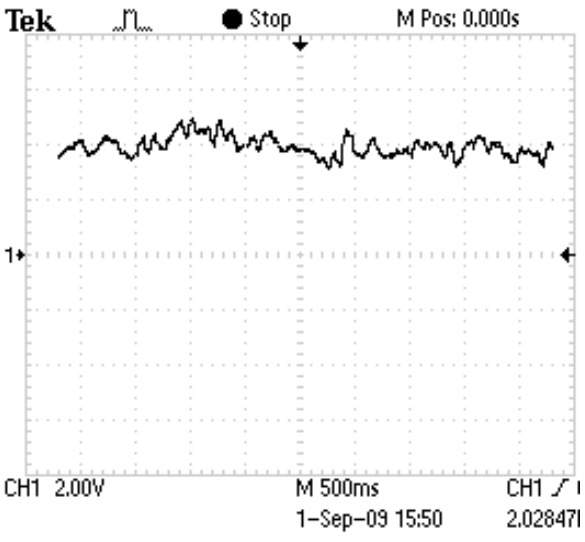
เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบแล้วทดลองเริ่มการจำลองเพื่อดูสัญญาณแรงบิดอ้างอิง (Torque reference) ที่ได้ว่าเป็นไปตามหลักการและทฤษฎีหรือไม่ เมื่อเราทำการเปรียบเทียบสัญญาณของแบบจำลองกังหัน (Wind turbine model) จากโปรแกรม Matlab/Simulink สัญญาณของแบบจำลองกังหัน ในลักษณะสัญญาณทันเวลา และสัญญาณที่ได้จากแรงบิดของมอเตอร์ จะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์กันทั้งสองสัญญาณ



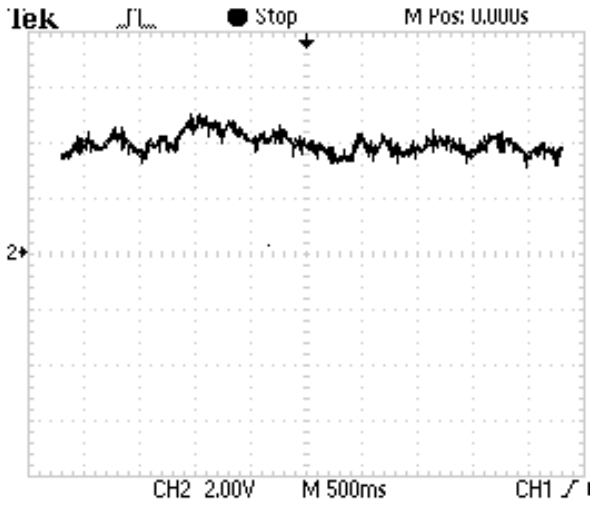
รูปที่ 10 ค่าแรงบิดอากาศพลศาสตร์จากแบบจำลองกังหันลมที่ความเร็ว 3 m/s ขนาด 3 m

5.3 การทดลองเครื่องจำลองกังหันลมด้วยการ์ดอินเตอร์เฟส DS1104

การนำการ์ดอินเตอร์เฟสเข้ามาเพื่อควบคุมและแสดงผลแบบทันเวลานอกจากการสังเกตพฤติกรรมของสัญญาณที่ได้ในโปรแกรม Matlab/Simulink แล้วเรายังสามารถที่จะเห็นสัญญาณแรงบิดแบบทันเวลาที่ตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำได้โดยผ่านการ์ดอินเตอร์เฟส ด้วยการกำหนดค่าพารามิเตอร์กำหนดในโปรแกรม Matlab/Simulink



รูปที่ 11 สัญญาณแรงบิดผ่านช่องสัญญาณ DS1104DAC_CH5

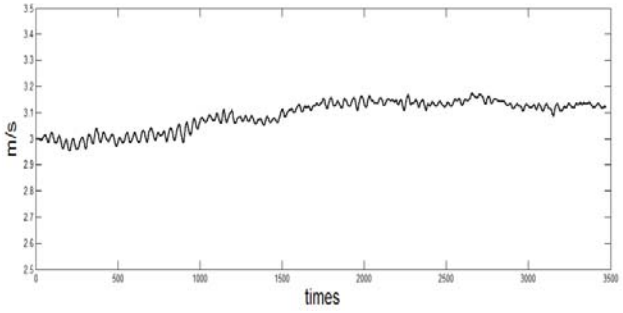


รูปที่ 12 สัญญาณประมาณแรงบิดมอเตอร์ของอินเวอร์เตอร์

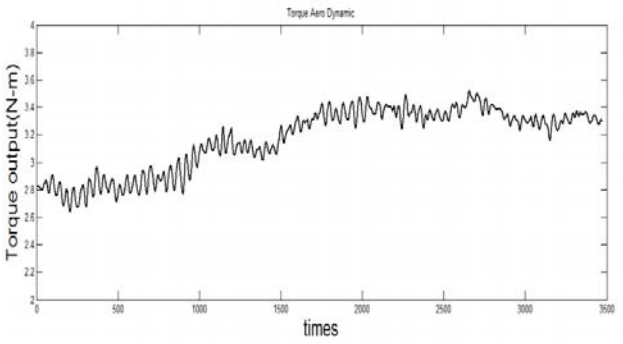
5.4 การทดลองเครื่องจำลองกังหันลมที่ความเร็วลมแต่ละระดับของความเร็ว

การทดลองจากค่าความเร็วลมต่างๆ มาป้อนให้กับเครื่องจำลองกังหันลมด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ควบคุมและแสดงผลด้วยการ์ดอินเตอร์เฟส DS1104 เพื่อให้เครื่องจำลองกังหันลมแสดงค่าแรงบิดอากาศพลศาสตร์ (Aero Dynamic Torque) โดยเริ่มทำการทดลองดังนี้

ก) ที่ความเร็วลม 3 m/s

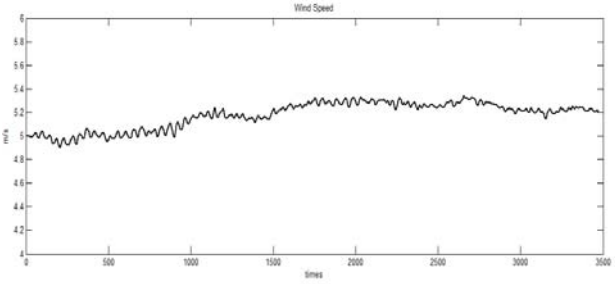


รูปที่ 13 สัญญาณคำสั่งความเร็วลม 3 m/s

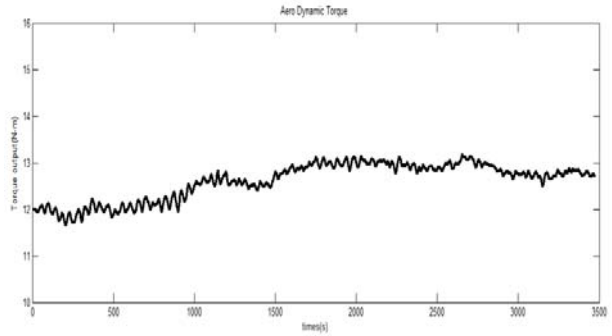


รูปที่ 14 สัญญาณแรงบิดที่ได้จากความเร็วลม 3 m/s

ข) ที่ความเร็วลม 5 m / s



รูปที่ 15 สัญญาณคำสั่งความเร็วลม 5 m/s



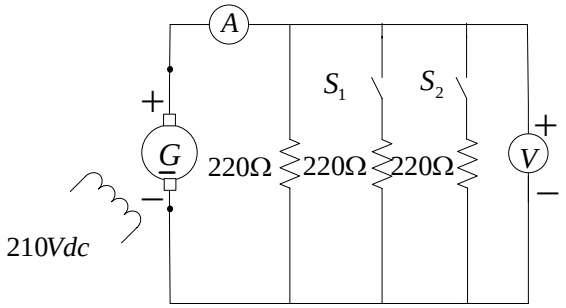
รูปที่ 16 สัญญาณแรงบิดที่ได้จากความเร็วลม 5 m/s

5.5 การทดสอบกับโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก

เครื่องจำลองกังหันลมด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำทดสอบกับโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของกังหันลมที่กระทำต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในสภาวะที่มีโหลด ซึ่งกระแสไฟฟ้า และแรงดันที่ได้ออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นไม่คงที่ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อควบคุมและแปลงผันพลังงานไฟฟ้าก่อนจะจ่ายให้กับโหลด การทดสอบในหัวข้อนี้เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงปัญหาดังกล่าวเท่านั้น โดยมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

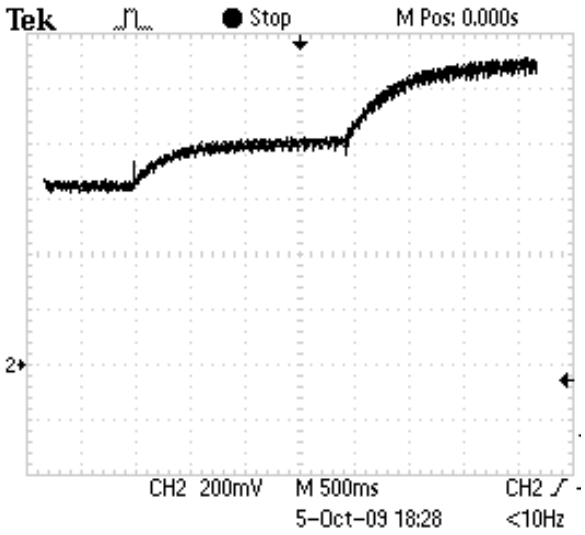
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น

ชนิดเครื่องกำเนิด	กระแสตรงแยกกระตุ้น
ชนิดและขนาดของโหลด	Resister 220 โอห์ม 250 w 3 ตัว
ขนาดกระแสฟิลด์	210 Vdc
พิกัดกำลังของเครื่องกำเนิด	1 kW
พิกัดกระแสของเครื่องกำเนิด	5.7/6.2/5.8 A
พิกัดแรงดันของเครื่องกำเนิด	230 Vdc
พิกัดความเร็วรอบ	2040/1650/1870
ความเร็วลมทดสอบ	3 m/s
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด	3 m

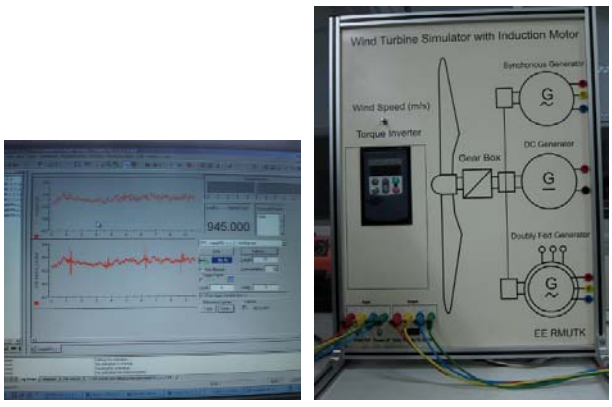


รูปที่ 17 วงจรการทดสอบกับโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โดยทำการทดสอบกับโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น โดยเพิ่มโหลดครั้งละ 220 โอห์มขนาด250 วัตต์จำนวน 2 ระดับ



รูปที่ 18 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลดแต่ละระดับ



รูปที่ 19 เครื่องจำลองกังหันลมด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำ

6. สรุปผลการทดลอง

เครื่องจำลองกังหันลมด้วยมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับการทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม สามารถแสดงคุณลักษณะค่าแรงบิดอากาศพลศาสตร์ (Aero Dynamic Torque) ของกังหันลมในระดับความเร็วลมต่างๆได้จริง โดยใช้งานโปรแกรม Matlab/Simulink ทำงานร่วมกับการ์ดอินเตอร์เฟสทำให้สามารถคำนวณ และแสดงค่าแรงบิดอากาศพลศาสตร์ของกังหันลมในระดับความเร็วลมต่าง ๆออกมาในรูปแบบสัญญาณทันเวลาได้ และแสดงผลตอบสนองของกังหันลมที่กระทำต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกังหันลมจริงอย่างมาก ทำให้สามารถใช้งานทดสอบระบบควบคุมและคอนเวอร์เตอร์สำหรับกังหันลมอัลกอริทึมติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด และเลือกตำแหน่งการติดตั้งกังหันลมให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผศ.ดร. บัลลังก์ เนียมมณี อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการจัดทำเครื่องจำลองกังหันลม รวมทั้งนายนพรัตน์ ม่วงคุ้ม และ นายวิษณุ เหมือนแกร นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้ทุ่มเทช่วยเหลือจัดทำและทดสอบระบบ

เอกสารอ้างอิง

1. Neammanee, B., Sirisumrannukul, S. and Chatratana S., “Development of a Wind Turbine Simulator for Wind Generator Testing” International Energy Journal., Vol.8, pp.21-28, 2007
2. Eric Hau., “Wind Turbine Fundamentals.” Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2006.
3. Fernando, D., Brianchi, Hernan De Battista and Ricardo J.Mantz. “Wind Turbine Control” Springer-Verlag London. 2007
4. Arifujjaman, Md., Iqbal, M.T. and Quaicoe. J. E. “Emulator of a Small Wind Turbine System with a separately-excited DC Machine” Faculty of Engineering and Applied Science Memorial University of Newfoundland. St.John’s, NL, Canada. 2008