

การควบคุมกำลังไฟฟ้าของกังหันลมด้วยวิธีการควบคุมความยาวใบพัดกังหัน Powers Control of Wind Turbine based on Variable Length Blades Control

ธีรพงษ์ นิมเพชร์* ชลัช สัตยารักษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อ.เมือง จ.สงขลา 90000

Teerapong Chimphet* Chalash Sattayarak

Electrical Department, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya,

Amphur Muang, Songkhla 90000

Tel : 0-7431-7162 E-mail: ch_teerapong@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการควบคุมกำลังไฟฟ้าของกังหันลมให้มีค่าคงที่ด้วยวิธีการควบคุมค่าความยาวของใบพัดกังหัน กังหันลมถูกออกแบบให้มีความสามารถในการปรับระยะความยาวของใบพัด เพื่อเพิ่มหรือลดพลังงานจากลม ระบบควบคุมใช้ฟuzzy logic สำหรับการตัดสินใจในการปรับค่าระยะใบพัดและรักษากำลังไฟฟ้าให้มีค่า 350 วัตต์อย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB & Simulink จากผลการทดสอบพบว่าที่ความเร็วลมคงที่ การเพิ่มระยะความยาวของใบพัดกังหันส่งผลให้มีกำลังทางกลเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลง ระบบควบคุมซึ่งอาศัยฟuzzy logic สามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ความถี่ และกำลังไฟฟ้าให้ค่อนข้างคงที่ได้ ความคงที่ดังกล่าวมีผลดีต่อโหลด นอกจากนี้ แนวทางนี้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตให้กับกังหันลม

คำหลัก กังหันลม กำลังไฟฟ้า ฟuzzy logic การปรับความยาวใบพัด

Abstract

This paper presents the power control of wind turbine based on the length variable control of wind turbine blades. The wind turbine is designed to have the ability to the length adjustability of the wind turbine blades for increasing or reducing the power of the wind energy. The control system uses the fuzzy logic for making the decisions on adjusting the

variable of the blades length and sustaining the power to have the continuity at 350 watts. In this research, MATLAB & Simulink is used. From the experimental results, it is shown that if the wind speed is constant, an increasing length of the turbine blades results in an increasing mechanical power. When the wind speed varies, the control system based on the fuzzy logic can maintain the voltage, the frequency, and the electric power which are quite steady. This yields a good effect on loads. In addition, this also increase the capacity of the wind turbine.

Keywords: wind turbine, electric power, fuzzy logic, blade length adjustment

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการพลังงานไฟฟ้าของผู้บริโภคมีปริมาณสูงขึ้นอันเนื่องมาจาก จำนวนประชากร ความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี การขยายตัวของอุตสาหกรรมที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคนั้น เกิดจากการเผาผลาญทรัพยากรธรรมชาติซึ่งส่งผลเสียโดยตรงกับสิ่งแวดล้อมบนโลก ดังนั้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจึงมีความสำคัญและมีความจำเป็นมากขึ้นในปัจจุบันและอนาคต พลังงานทางเลือกที่สามารถนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าและเป็น

พลังงานหมุนเวียนอันไม่รู้จักหมดสิ้นได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานคลื่น ฯลฯ

พลังงานลมเป็นพลังงานทดแทนที่น่าสนใจในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพราะไม่มีค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงและเป็นพลังงานหมุนเวียนจากธรรมชาติ การเปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า “กังหันลม” ซึ่งกังหันลมจะประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่อทางกลกับใบพัด ติดตั้งอยู่บนเสาสูงเพื่อรับแรงปะทะจากลม ใบพัดจะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนความเร็วของลมให้เป็นการเคลื่อนที่ทางกลแบบเชิงมุม ส่งผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อป้อนให้กับโหลดต่อไป พลังงานที่ได้จากกังหันลมเพียงตัวเดียวนั้นอาจไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มกำลังการผลิตจึงได้มีการติดตั้งกังหันลมเป็นแบบลักษณะทุ้งกังหันลมหรือที่เรียกว่า “Wind Farms” ตัวอย่างทุ้งกังหันลมแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ทุ้งกังหันลม

สำหรับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ประสิทธิภาพของชุดใบพัด และความเร็วของลมในขณะนั้น โดยหากความเร็วลมที่เข้าปะทะใบพัดมีค่าไม่คงที่ก็จะส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันมีค่าไม่คงที่เช่นกัน อาจเป็นผลเสียโดยตรงกับโหลดทางไฟฟ้าหรืออุปกรณ์แปลงพลังงานอื่นๆ ดังนั้นหากทำการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากกังหันลมให้คงที่ได้ก็จะสามารถลดปัญหา กำลังไฟฟ้าเกินหรือกำลังไฟฟ้าตกให้กับโหลดทางไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี

การศึกษากระบวนการการควบคุมกำลังไฟฟ้าของกังหันลมที่ผ่านมา มีงานวิจัยของ Tan, L.V. และคณะ [1] ได้นำเสนอวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าของกังหันลมด้วยเทคนิคการปรับมุมพิชของชุดใบพัดเพื่อ เพิ่ม-ลด แรงปะทะของลมในขณะความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลง โดยอาศัยตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกเพื่อช่วยให้กำลังไฟฟ้าที่

ผลิตได้มีค่าคงที่ ผลที่ได้จากการจำลองพบว่าการควบคุมกำลังไฟฟ้าของกังหันลมด้วยวิธีการปรับมุมพิชจะช่วยให้สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าและลดขนาดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลงได้เป็นอย่างดี ต่อมา Qunwu, H. และคณะ [2] ได้นำเสนอวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบไฮบริด multi-turbine wind-solar hybrid โดยเป็นการผสมผสานการทำงานระหว่างกังหันลมและแผ่นโซลาร์เซลล์ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผ่นโซลาร์เซลล์จะเข้าไปชดเชยกำลังไฟฟ้าที่ลดหายไปจากกังหันลมในขณะความเร็วลมต่ำกว่าค่าปกติ อีกทั้งระบบดังกล่าวจะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ดีกว่าการอาศัยการทำงานของกังหันลมเพียงอย่างเดียว ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้มากขึ้นกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ความสามารถในการควบคุมกำลังไฟฟ้าให้คงที่ยังมีประสิทธิภาพที่ต่ำ YU, H. และคณะ [3] ได้นำเสนอวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าของกังหันลมด้วยเทคนิคการปรับมุมพิชของชุดใบพัด ซึ่งนักวิจัยกลุ่มนี้พบว่าการปรับมุมพิชของชุดใบพัดจะต้องอาศัยตัวควบคุมที่มีความแม่นยำและรวดเร็วในการทำงาน จึงได้คิดค้นตัวควบคุมแบบ Fuzzy Self-adaptive PID Control เพื่อช่วยในการปรับตำแหน่งมุมพิช โดยเป็นตัวควบคุมที่มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้วยตัวเองตามค่าความเร็วลมที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้ Fuzzy Self-adaptive PID Control สำหรับการควบคุมกำลังไฟฟ้าของกังหันลมจะให้ผลดีกว่าการควบคุมแบบ PI หรือ PID

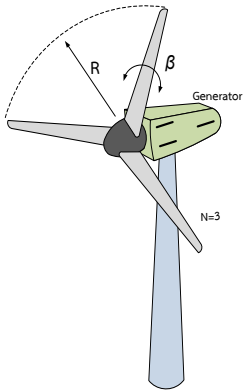
จากผลการวิจัยข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยได้แนวคิดในการควบคุมกำลังไฟฟ้าของกังหันลมที่มีความแตกต่าง โดยสามารถสรุปได้ว่าหากกังหันลมสามารถปรับเปลี่ยนขนาดความยาวของตัวใบพัดได้ก็จะสามารถเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตได้เช่นกัน ดังนั้นการออกแบบชุดใบพัดและตัวควบคุมจึงมีบทบาทสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของกำลังไฟฟ้าให้เหมาะสมกับโหลดและมีค่าคงที่ต่อไป

2. ทฤษฎี

2.1 กังหันลม

กังหันลมเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานลมให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยคุณลักษณะของกังหันลมจะพิจารณา

จากกำลังที่เกิดขึ้นจากการหมุนของใบพัด องค์ประกอบของกังหันลมแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 องค์ประกอบของกังหันลม

โดยกำลังที่กังหันลมผลิตได้จะเป็นไปตามสมการ ที่ 1 [4]

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p(\lambda, \beta) R^2 v^3 \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศที่พัดกระทบกับใบพัด (kg/m^3)

R คือ รัศมีหรือความยาวของชุดใบพัด (m)

β คือ มุมพิชของใบพัดหน่วยเป็น (degree)

v คือ ความเร็วลมมีหน่วยเป็น (m/s)

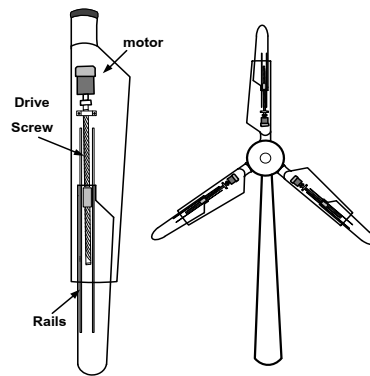
C_p คือ เป็นค่าสัมประสิทธิ์กำลังเอาต์พุตของกังหันลมสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left(\frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{\frac{-c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda \quad (2)$$

2.2 การออกแบบกังหันลม

จากสมการที่ (1) จะเห็นได้ว่ากำลังของกังหันจะแปรผันโดยตรงกับ ความเร็วลม รัศมีหรือความยาวของใบพัด และค่าสัมประสิทธิ์ หากกำหนดให้มุมพิชของใบพัดมีค่าคงที่ ตัวแปรที่ผู้วิจัยให้ความสนใจในการควบคุมกำลังของกังหันลมคือรัศมีของใบพัด ซึ่งสามารถทำการออกแบบชุดใบพัดให้มีความสามารถในการปรับระยะความยาวได้ การออกแบบใบพัดกังหันลมแสดงดังรูปที่ 3 กังหันลมจะปรับระยะความยาวของใบพัดโดยอาศัยการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อหมุน

ขับเคลื่อนให้ใบพัดเคลื่อนตัวตามราง ส่งผลให้ความยาวของใบพัดหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของใบพัดเปลี่ยนแปลง วิธีการดังกล่าวจำเป็นต้องมีแหล่งพลังงานอีกหนึ่งส่วนเพื่อทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานให้กับชุดขับเคลื่อนใบพัดทั้งสาม ทั้งนี้ทั้งนั้นพลังงานดังกล่าวข้างต้นอาจเป็นพลังงานจากแบตเตอรี่หรือพลังงานที่ได้คืนจากกังหันลมโดยตรง ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ได้กำหนดให้อัตราการใช้พลังงานของชุดขับเคลื่อนใบพัดมีค่าน้อยมากจนไม่ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้

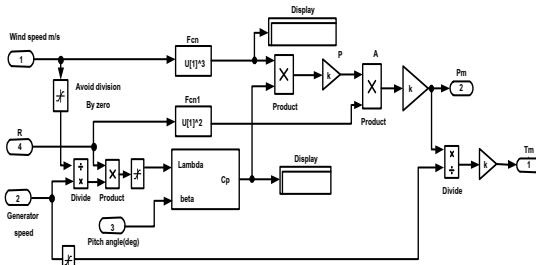


รูปที่ 3 กังหันลมแบบปรับความยาวใบพัดได้

2.3 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองการควบคุมกำลังไฟฟ้าของกังหันลมแบบปรับระยะของใบพัด ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบทดลองการทำงานของกังหันลมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป MATLAB SIMULINK 2012b ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการคำนวณงานทางวิศวกรรมที่มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ โดยได้ทำการออกแบบส่วนประกอบของกังหันดังนี้

(1) ชุดกังหันลม การออกแบบชุดกังหันลมบนโปรแกรม MATLAB SIMULINK จะอาศัยสมการที่ 1 และสมการที่ 2 เป็นตัวกำหนดการทำงาน โดยมีอินพุตเพื่อใช้ในการคำนวณได้แก่ ความเร็วลม รัศมีใบพัด ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมุมพิชของใบพัด ค่าเอาต์พุตที่ได้จากกังหันลมจะแบ่งเป็นสองส่วนได้แก่ กำลังทางกลและค่าแรงบิดทางกลเพื่อส่งต่อไปเป็นค่าอินพุตให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แบบจำลองการทำงานของกังหันลม

โดยกำหนดค่าคงที่เพื่อช่วยในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ C_p ของกังหันลมดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าคงที่เฉพาะกังหันลม [4]

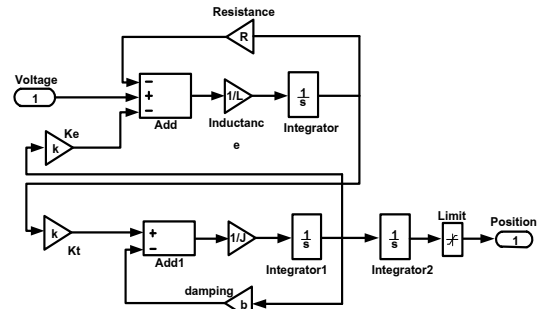
ตัวแปร	ค่าคงที่	ตัวแปร	ค่าคงที่
C_1	0.5176	C_5	21
C_2	116	C_6	0.0068
C_3	0	β	0
C_4	5	N	3

(2) อุปกรณ์กำเนิดพลังงานไฟฟ้า จะอาศัยการทำงานของเครื่องจักรกลซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวรสามเฟส (Three Phase Permanent Magnet Synchronous Machine) โดยอุปกรณ์กำเนิดไฟฟ้าดังกล่าวจะรับค่ากำลังอินพุตทางกลมาจากกังหันลม แล้วทำการแปลงพลังงานที่ได้ให้เป็นพลังงานทางไฟฟ้า การตั้งค่าการทำงานของเครื่องจักรกลซิงโครนัสแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส [7]

แรงดัน V_{rms}	230
กระแส A	5
จำนวนเฟส	3
ค่าความต้านทานต่อเฟส Ω	2.2
ค่าความเหนี่ยวนำ H	0.835
แรงเฉื่อย $J(kg.m^2)$	30×10^{-6}
อัตราหน่วง $F(N.m.s)$	0.5×10^{-6}
จำนวนขั้วแม่เหล็ก	6

(3) ตัวปรับระยะใบพัด อาศัยการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวขับเคลื่อนบอลสกรูตามรูปที่ 3 เพื่อให้ใบพัดสามารถเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง โดยสามารถออกแบบแบบจำลองในการทำงานได้ดังรูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงระยะตำแหน่งจะขึ้นอยู่กับสัญญาณ



รูปที่ 5 แบบจำลองการทำงานของตัวปรับระยะ

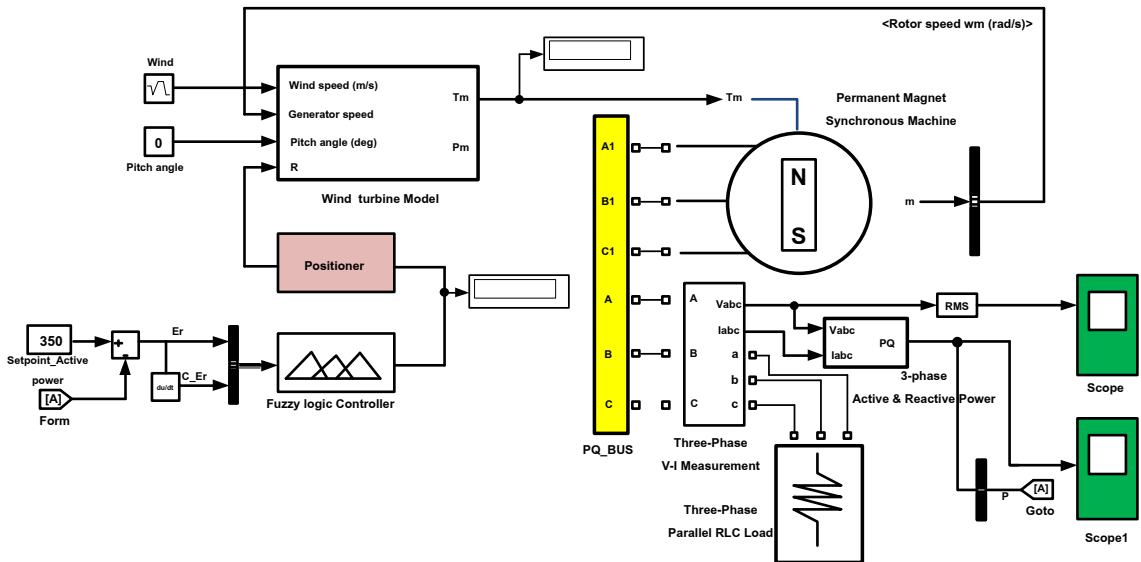
ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์กระแสตรง โดยค่าคงที่ในการทำงานของตัวปรับระยะใบพัดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณสมบัติเฉพาะของตัวปรับระยะใบพัด

ค่าความต้านทาน Ω	3.5
ค่าความเหนี่ยวนำ H	0.5
แรงเฉื่อย $J(kg.m^2)$	0.03
ค่าคงที่ Ke	0.015
ค่าคงที่ Kt	0.015

เมื่อทำการกำหนดค่าในการทำงานและออกแบบในแต่ละภาคส่วน ผู้วิจัยจึงทำการรวมชุดคำสั่งเพื่อให้ง่ายต่อการทดลองแสดงดังรูปที่ 6 โดยชุดคำสั่งจะเป็นการทดลองเพื่อรักษากำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้ PQ Bus ให้มีค่าคงที่ ซึ่งในขณะที่ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นอาจส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ PQ Bus มีค่าสูงขึ้นหรือในขณะที่ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงลดลงก็จะส่งผลให้แรงบิดที่ส่งต่อไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าลดลง ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าต่ำ ตัวตรวจวัดจะส่งค่ากำลังดังกล่าวกลับไปยังตัวควบคุม เพื่อคำนวณหาความแตกต่างจากกำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้งานได้ระบุ จากนั้นจะทำการคำนวณเพื่อหาค่าเอาต์พุตในขับเคลื่อนชุดมอเตอร์ปรับระยะใบพัดกังหัน ส่งผลให้กังหันลมมีการเพิ่ม-ลดระยะใบพัดเพื่อการรับแรงปะทะจากลมต่อไป

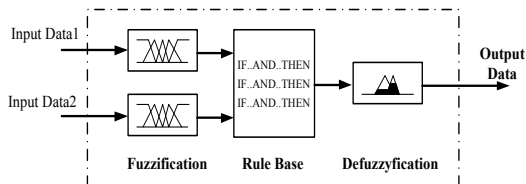
ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดขอบเขตในการทดสอบการทำงานดังนี้ ความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาซึ่งมีค่าฐานของความเร็วลมอยู่ที่ 12 เมตรต่อวินาที และกำหนดให้มุมพิชในการรับลมมีค่าเท่ากับ 0 องศา โดยที่ระยะการเคลื่อนที่ของใบกังหันลมจะอยู่ในช่วง 90-150 เซนติเมตร ค่าฐานกำลังไฟฟ้าที่กังหันลมควรรักษาให้คงที่ได้มีค่าเท่ากับ 350 วัตต์



รูปที่ 6 โปรแกรมการทดลองการรักษากำลังไฟฟ้าของกังหันลมด้วยวิธีการควบคุมความยาวพัดบน MATLAB SIMULINK

2.4 ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

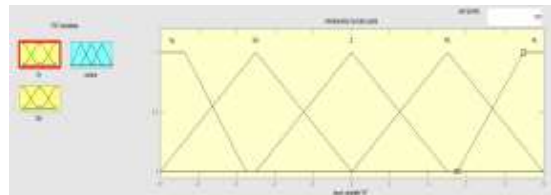
ในการรักษากำลังไฟฟ้า PQ Bus ให้มีค่าคงที่ จำเป็นต้องอาศัยตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพและมีความยืดหยุ่นตามการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลม งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก ซึ่งตัวควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกเป็นการควบคุมแบบวงปิดมีขั้นตอนในการทำงานได้แก่ Fuzzification Rule Base และ Defuzzification แสดงดังรูปที่ 7



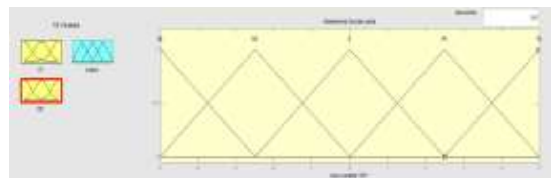
รูปที่ 7 การทำงานของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก

ฟัซซี่ฟิเคชัน คือการเปลี่ยนข้อมูลที่รับเข้ามาซึ่งได้แก่ ค่าความผิดพลาด E_r ของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ขณะนั้นกับ กำลังไฟฟ้าอ้างอิง และการเปลี่ยนแปลงแต่ละรอบของการคำนวณค่าความผิดพลาด C_{Er} ให้อยู่ในรูปของค่าความเป็นสมาชิกฟัซซี่ โดยกำหนดช่วงความเป็นสมาชิกฟัซซี่ดังนี้ NB: Negative Large, NS: Negative Small, Z: Zero, PS: Positive small และ PB: Positive Large การกำหนดค่าความเป็นสมาชิกฟัซซี่แสดงดังรูปที่ 8-10 ในการคำนวณค่าเอาต์พุตนั้นจะต้องอาศัยกฎเกณฑ์ที่

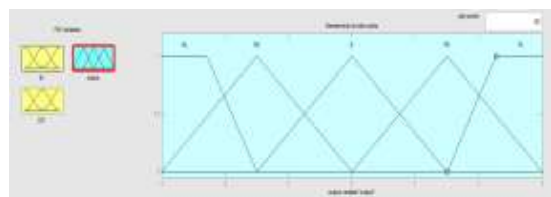
ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้กำหนด โดยจะอาศัยหลักการการอนุมานแบบแมมดานิ (Mamdani) แล้วจึงทำการดีฟัซซี่ฟิเคชันในลักษณะของการหาค่าจุดศูนย์ถ่วง center of gravity ซึ่งค่าที่ได้จะส่งผลต่อแรงดันที่จ่ายให้กับชุดขับเคลื่อนระยะใบพัด โดยการออกแบบกฎจะแสดงดังตารางที่ 4



รูปที่ 8 ค่าความเป็นสมาชิกของค่าความผิดพลาด (E_r)



รูปที่ 9 ค่าความเป็นสมาชิกของผลต่างค่าความผิดพลาด (C_{Er})



รูปที่ 10 ค่าความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต

ตารางที่ 4 การออกแบบกฎตัวควบคุมฟัซซี่

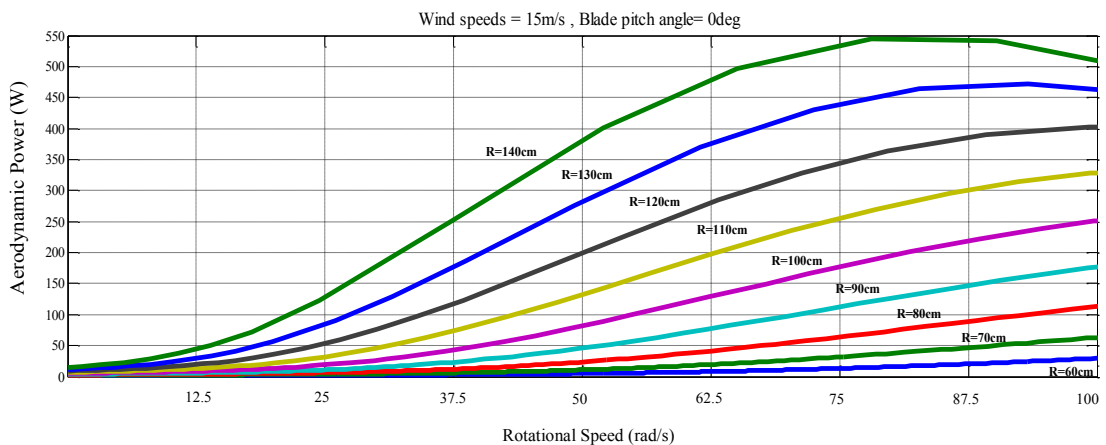
C_Er	Er					
	AND	NL	NS	Z	PS	PL
	NL	NL	NL	NL	NS	Z
	NS	NL	NS	NS	Z	PS
	Z	NL	NS	Z	PS	PL
	PS	NS	Z	PS	PS	PL
	PL	Z	PS	PL	PL	PL

3. ผลการวิจัย

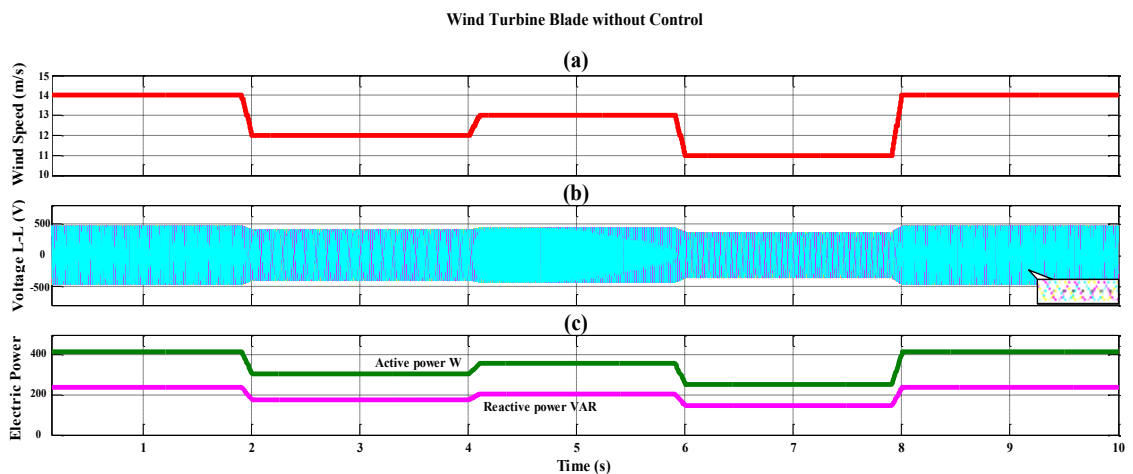
3.1 กำลังทางกลของชุดกังหันลม

การทดสอบหาค่ากำลังทางกลที่ชุดกังหันลมผลิตได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะของใบพัดกังหัน โดยกำหนดให้ ความเร็วลมในการทดสอบเท่ากับ 15 เมตรต่อวินาที และมุมพิชของใบพัดในการรับแรงปะทะจากลมมี

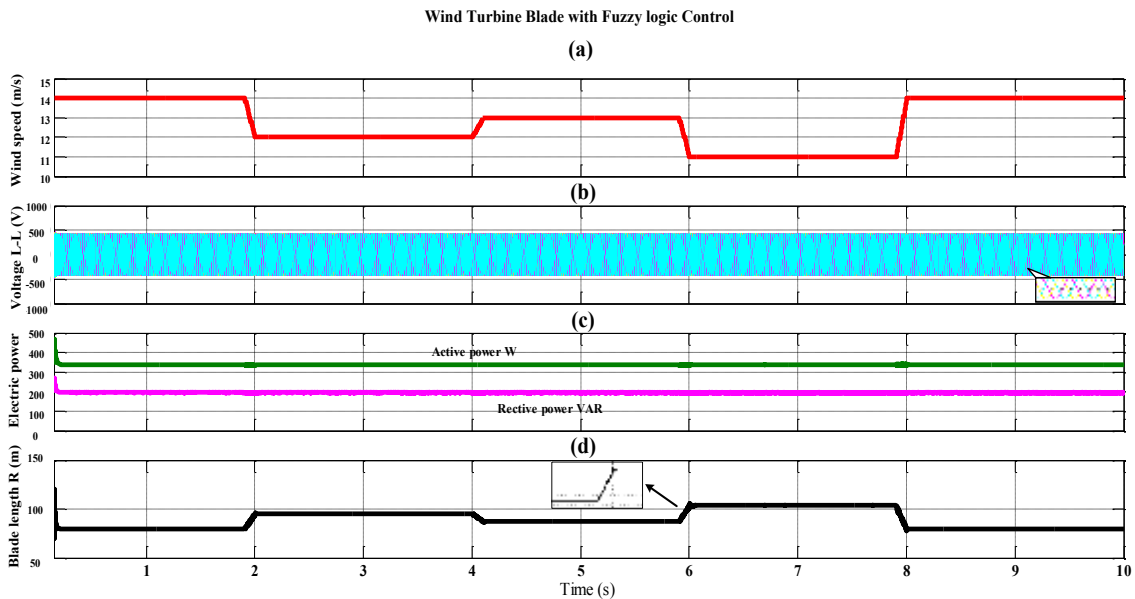
ค่าเท่ากับ 0 องศา ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 11 ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นว่าเมื่อใบพัดกังหันลมมีระยะในการรับแรงลมที่ต่ำจะส่งผลให้กำลังทางกลที่ตัวกังหันลมผลิตได้มีค่าต่ำมาก ในทางกลับกันหากมีการเพิ่มระยะของตัวใบพัดให้สามารถรับแรงปะทะจากลมได้มากขึ้น กังหันลมก็จะผลิตกำลังทางกลได้สูงขึ้นเช่นกัน เช่นผลการทดลองการปรับระยะใบพัดกังหันลมให้มีระยะที่ 90 เซนติเมตร หรือใบพัดกังหันลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 180 เซนติเมตร กำลังทางกลสูงสุดที่ตัวกังหันลมผลิตได้จะมีค่าเท่ากับ 180 วัตต์ เมื่อปรับระยะใบพัดกังหันลมให้มีระยะยาวขึ้นที่ 140 เซนติเมตร หรือใบพัดกังหันลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 280 เซนติเมตร กังหันลมจะให้กำลังทางกลเพิ่มขึ้นเท่ากับ 550 วัตต์ โดยกำลังทางกลที่ผลิตได้จะเป็นกำลังอินพุตให้กำลังเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนพลังงานดังกล่าวเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 11 การเปลี่ยนแปลงกำลังทางกลของกังหันลมต่อค่าความยาวใบพัดกังหัน



รูปที่ 12 ผลตอบสนองกังหันลมด้านไฟฟ้ากรณีไร้การควบคุมระยะใบพัด (a)ความเร็วลม (b)แรงดันไฟฟ้า (c)กำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้



รูปที่ 13 ผลตอบสนองกังหันลมด้านไฟฟ้ากรณีควบคุมระยะใบพัด (a)ความเร็วลม (b)แรงดันไฟฟ้า (c)กำลังไฟฟ้าที่กังหันลมผลิตได้ และ (d)ระยะการเคลื่อนตัวของใบพัดกังหัน

3.2 กำลังและแรงดันไฟฟ้ากรณีไร้การควบคุมระยะใบพัดกังหันลม

ทำการเชื่อมต่อโหลดเข้ากับกังหันลมเพื่อทดลองหาขีดความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้า โดยกำหนดให้ความเร็วลมมีพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา แสดงดังรูปที่12(a) ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าที่กังหันผลิตได้มีค่าไม่คงที่ เนื่องจากเมื่อความเร็วลมมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าไม่คงที่ที่ทำให้ความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาแสดงดังรูปที่12(b) การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้างี้จะส่งผลให้โหลดได้รับพลังงานไม่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นผลเสียโดยตรงต่อโหลดและกังหันลม โดยการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนแสดงดังรูปที่ 12(c)

3.3 กำลังและแรงดันไฟฟ้ากรณีอาศัยการควบคุมระยะใบพัดกังหันลม

จากผลการทดลองที่ผ่านมาทำให้เห็นถึงเสถียรภาพของกังหันลมในการจ่ายพลังงานให้กับโหลดที่มีคุณภาพต่ำ ดังนั้นเมื่อผู้วิจัยทำการออกแบบตัวควบคุมเพื่อช่วยในการปรับระยะความยาวของใบพัดกังหัน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมตามระยะเวลา ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกจะมีหน้าที่ในการควบคุมระยะความยาวของใบพัดกังหันให้สอดคล้องกับ

ความเร็วลมที่กำลังเปลี่ยนแปลงแสดงดังรูปที่13(d) เช่นเมื่อความเร็วลมมีค่าสูงขึ้นจนมีโอกาสดำเนินการให้กำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับมีการเปลี่ยนแปลง ใบพัดกังหันลมจะปรับลดระยะในการรับแรงปะทะลมให้สั้นลงและจะปรับเพิ่มความเร็วลมของระยะใบพัดอีกครั้งเมื่อความเร็วลมอยู่ในระดับต่ำ เพื่อพยายามรักษากำลังไฟฟ้าให้มีค่าคงที่เท่ากับ 350 วัตต์ตลอดเวลาแสดงดังรูปที่13(c) โดยการควบคุมปรับระยะใบพัดของดังกล่าจะช่วยให้ความเร็วรอบในการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าคงที่ ส่งผลให้ความถี่และแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าคงที่เช่นกันแสดงดังรูปที่13(b)

4. สรุป

ผลการทดลองการควบคุมกำลังไฟฟ้าของกังหันลมด้วยวิธีการควบคุมค่าความยาวของใบพัดกังหัน พบว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมจะส่งผลให้กังหันลมผลิตกำลังไฟฟ้าไม่ต่อเนื่อง การออกแบบกังหันลมให้มีความสามารถในการปรับระยะความยาวใบพัดกังหันจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าได้ โดยอาศัยตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวสั่งงานปรับระยะความยาวใบพัดจนกำลังไฟฟ้าเอ็ดฟุตมีค่าคงที่ตลอดเวลา ซึ่งเป็นผลดีกับโหลดที่ต้องร่วมกับกังหันลมโดยตรงเป็นอย่างมาก อีกทั้งหากต้องการขนานกังหันลมในลักษณะทุ่กังหันจะสามารถทำได้ง่ายยิ่งขึ้นเนื่องจาก

แรงดันไฟฟ้าของกังหันจะมีค่าคงที่ จึงถือได้ว่าวิธีการดังกล่าวสามารถเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้มีความต่อเนื่องอยู่ในระดับดี

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการกังหันลมผลิตไฟฟ้าอำเภอหัวไทร จังหวัดนครศรีธรรมราช กระทรวงพลังงานที่ให้ข้อมูลในการทำวิจัยด้านกังหันลม และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยในการสนับสนุนการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tan, L.V., Thanh, H.N. and Dong, C.L. 2015. Advanced pitch angle control based on fuzzy logic for variable-speed wind turbine systems. IEEE Transaction on energy conservation, 30: 578-587.
- [2] Qunwu, H., Yeqiang, S., Yiping, W., Linping, L. and Yong, C. 2015. Multi-turbine wind-solar hybrid system. Renewable Energy, 76: 401-407.
- [3] Yu, H., Gao, Y. and Zhang, H. 2014. Fuzzy self-adaptive PID control of the variable speed constant frequency variable-pitch wind turbine system. IEEE International Conference on System Science and Engineering (ICSSE), Shanghai, China, July. 11-13, 2014.
- [4] Tony, B., David, S., Nick, J. and Ervin, B. 2001. Wind energy handbook, John Wiley & Sons, Ltd, England.
- [5] Zhe, C., Josep, M.G. and Frede, B. 2009. A review of the state of the art of power electronics for wind turbines. IEEE Transaction on power electronics, 24: 1859-1874.
- [6] Agarwal, V., Aggarwal, R.K., Patidar, P. and Patki, C. 2010. A novel scheme for rapid tracking of maximum power point in wind energy generation systems. IEEE Transactions on Energy Conversion, 25: 228-236.
- [7] Haque, M.E., Negnevitsky, M. and Muttaqi, K.M. 2010. A novel control strategy for a variable-speed wind turbine with a permanent-magnet synchronous generator. IEEE Transaction on Industrial Applications, 46: 331-339.
- [8] Geng, H. and Yang, G. 2010. Output power control for variable-speed variable-pitch wind generation systems. IEEE Transaction on Energy Conversion, 25: 494-503.
- [9] Jiawei, C., Jie, C. and Chunying, G. 2013. New overall power control strategy for variable-speed fixed-pitch wind turbines within the whole wind velocity range. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 60: 2652-2660.
- [10] Haniotis, A., Soutis, K., Kladas, K. and Tegopoulos, J. 2004. Grid connected variable speed wind turbine modeling dynamic performance and control. In Proc. IEEE Power Syst. Conf. Expo. (PES), New York, Oct. 2004:759-764.
- [11] Song, Y.D., Dhinakaran, B. and Bao, X.Y. 2000. Variable speed control of wind turbines using nonlinear and adaptive algorithms. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 85: 293-308.
- [12] Chang-Chien, L., Lin, W. and Yin, Y. 2011. Enhancing frequency response control by DFIGs in the high wind penetrated power systems. IEEE Trans. Power Syst. 26: 710-718.
- [13] Gautam, D., Goel, L., Ayyanar, R., Vittal, V. and Harbour, T. 2011. Control strategy to mitigate the impact of reduced inertia due to doubly fed induction generators on large power systems. IEEE Trans. Power Syst., 26: 214-224.
- [14] Margaritis, I.D., Papathanassiou, S.A. and Hatzia, N.D. 2012. Frequency control in autonomous power systems with high wind

power penetration. IEEE Trans. Sustain. Energy 3: 189–199.

- [15] Kim, K.H., Van, T.L., Lee, D.C., Song, S.H. and Kim, E.H. 2013 Maximum output power tracking control in variable-speed wind turbine systems considering rotor inertial power. IEEE Trans. Ind. Electron., 60: 3207–3217.
- [16] Perales, M., Perez, J., Barrero, F., Mora, J., Galvan, E. and Carrasco, J. M. 1999. Fuzzy logic control of a variable speed, variable pitch wind turbine. in IECON '99 Proceedings, 2: 614–618.