



การจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบริเวณระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส
Wind Turbine Simulation for Connected Single Phase Grid System

พูนศรี วรรณการ



งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



การจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบรรบบกริดไฟฟ้า1 เฟส
Wind Turbine Simulation for Connected Single Phase Grid System

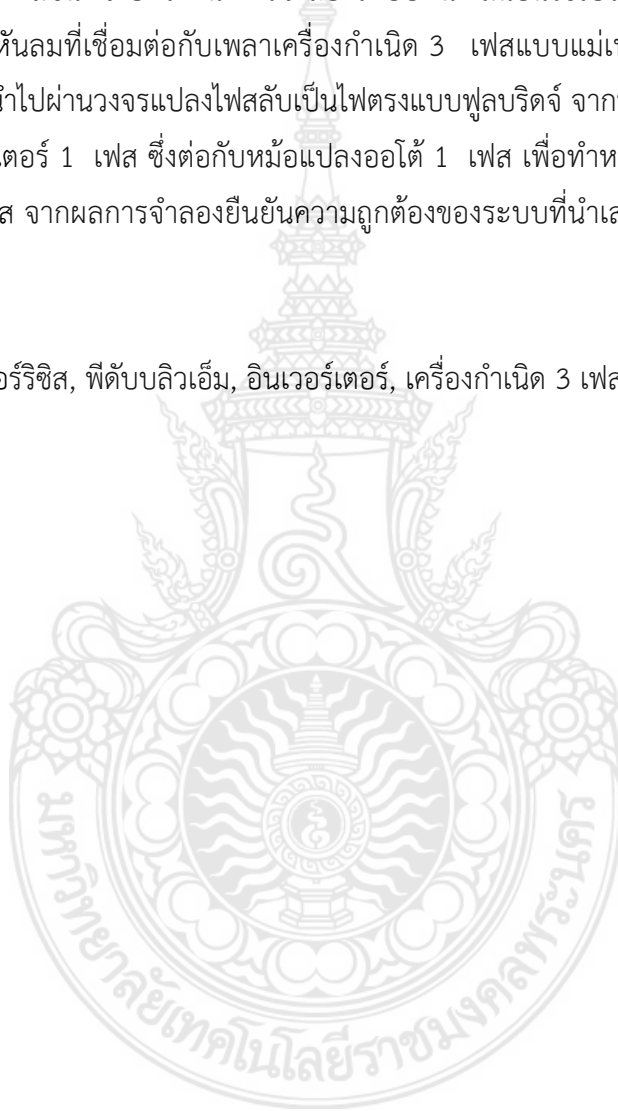
พูนศรี วรรณการ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้กล่าวเกี่ยวกับการจำลองกังหันลมเชื่อมต่อระบบ กริดไฟฟ้า 1 เฟสโดยอาศัยเทคนิคการควบคุมกระแสฮีสเตอร์ริซิส เพื่อสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดจ่ายแรงดัน การจำลองระบบที่นำเสนอนี้ใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการจำลองกังหันลมที่เชื่อมต่อกับเพลาเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ จากนั้นนำไฟตรงที่ได้ไปจ่ายเข้ากับวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ซึ่งต่อกับหม้อแปลงอโต้ 1 เฟส เพื่อทำหน้าที่ส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าคืนสู่ระบบกริด 1 เฟส จากผลการจำลองยืนยันความถูกต้องของระบบที่นำเสนอภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ได้เป็นที่น่าพอใจ

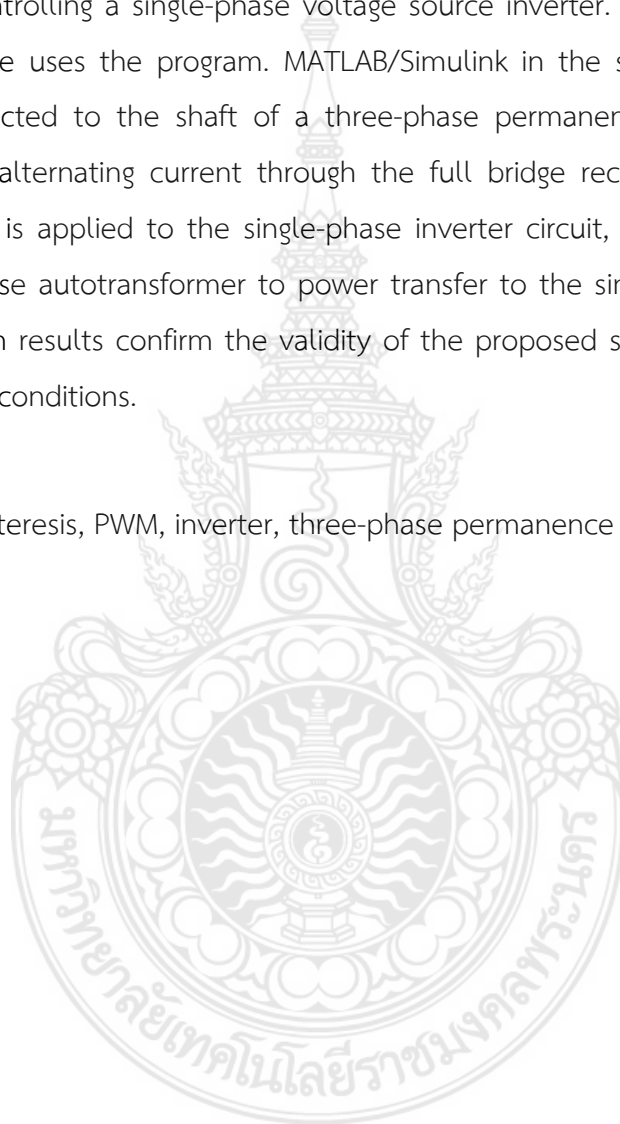
คำสำคัญ : ฮีสเตอร์ริซิส, พีดับบลิวเอ็ม, อินเวอร์เตอร์, เครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร



ABSTRACT

This research project presents 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. The simulation results confirm the validity of the proposed system with satisfaction under various conditions.

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



กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ชื่อโครงการ “การจำลองกังหันลมเชื่อมต่อระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส” รหัสโครงการวิจัย 61-32306-09 จัดทำขึ้นเพื่อให้เป็นไปตามสัญญาในการให้ทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 ที่ได้กำหนดให้ส่งรายงานการดำเนินงานโครงการฉบับสมบูรณ์ นับแต่วันสิ้นสุดระยะเวลาการดำเนินงานโครงการตามสัญญา โดยทางผู้วิจัยได้ส่งรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวน 2 เล่ม และซีดีบรรจุไฟล์รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ จำนวน 6 แผ่น ในชื่อโครงการ “การจำลองกังหันลมเชื่อมต่อระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส” ไปยังผู้ให้ทุน เพื่อรับการประเมินจากผู้ให้ทุน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย และอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ ทั้งด้านสถานที่ เครื่องมือต่างๆ เพื่อใช้ในการดำเนินโครงการดังกล่าวสำเร็จลุล่วง

ผู้วิจัย

2561

สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 สมมุติฐานงานวิจัย	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 คุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้า	5
2.3 หลักการควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮีสเทอรีซิสในการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส	7
2.4 บทสรุป	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	9
3.1 บทนำ	9
3.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทบทวนวรรณกรรม	9
3.3 ศึกษาข้อมูลกังหันลม	10
3.4 ศึกษาทฤษฎีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า	20
3.5 ศึกษาการทำงานของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบรรยากาศไฟฟ้า 1 เฟส	21
3.6 กำหนดรูปแบบปัญหา เพื่อนำไปสร้างแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบรรยากาศไฟฟ้า 1 เฟส	23
3.7 สร้างแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ไขปัญหา	24
3.8 แบบจำลองสำหรับประมวลผลทดสอบด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink	25
3.9 บทสรุป	26

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	27
4.1 บทนำ	27
4.2 การจำลองความเร็วรอบของเพลากังหันลมกับกำลังทางกลเอาต์พุตของกังหันลม	27
4.3 การจำลองความเร็วรอบของเพลากังหันลมกับแรงบิด (T_m) เอาต์พุตของกังหันลม	28
4.4 การจำลองการทำงานของกังหันลมเชื่อมต่อกริด 1 เฟส โดยใช้เทคนิคการควบคุม กระแสวิชต์ที่ความเร็วลม 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 เมตร ที่แรงบิด เพลากังหันลมสูงสุด	28
4.5 บทสรุป	30
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	31
5.1 บทนำ	31
5.2 สรุปผลการวิจัย	31
5.3 ข้อเสนอแนะ	31
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	
ประวัติย่อผู้วิจัย	

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ขนาดกำลังผลิต เส้นผ่าศูนย์กลาง และพื้นที่กวาดของใบพัดของกังหันลมขนาดต่างๆ	4
3.1	แสดงขนาดของกังหันลมต่างๆ	15



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ระบบที่นำเสนอ ในชื่อโครงการ “การจำลองกังหันลมเชื่อมต่อระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส”	1
2.1	การควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮีสเตอร์รีซิสในวงจรถูกอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส	7
2.2	รูปคลื่นกระแสอ้างอิง(i_s^*) และกระแสจริง(i_s) ในการกำเนิดสัญญาณพัลส์	7
3.1	กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง	10
3.2	กังหันลมแกนหมุนแนวนอน	11
3.3	ส่วนต่างๆของกังหันลมแกนหมุนแนวนอน	11
3.4	เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม	13
3.5	เสากลมกลวง (ก) และเสาโครงถัก (ข)	14
3.6	แกนคอกหมุนและระบบควบคุมการหมุนเพื่อรับแรงลมตามทิศทางลม	14
3.7	คุณลักษณะของกังหันลมเมื่อใช้งานจริง	17
3.8	คุณลักษณะของกำลังเอาต์พุตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่ความเร็วลมเปลี่ยนแปลง	17
3.9	(ก) วงจรสมมูลของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า (ข) เฟสเซอร์ไดอะแกรมโดยทั่วไปของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า (ค) เฟสเซอร์ไดอะแกรมในโหมดคอนเวอร์ตติ้งซึ่งค่าตัวประกอบกำลังเป็นหนึ่ง	20
3.10	บล็อกไดอะแกรมของวิธีการควบคุมกระแสและวงจรถูกกำลัง	22
3.11	รูปคลื่นกระแสอ้างอิง(i_s^*)และกระแสจริง(i_s) ในการกำเนิดสัญญาณพัลส์ควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกริดไฟฟ้า 1 เฟส	22
3.12	แบบจำลองกังหันลมเชื่อมต่อระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส	25
4.1	ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลากังหัน (n) กับกำลังทางกลเอาต์พุตของกังหันลม(P_m) ที่ความเร็วลมต่างๆ	27
4.2	ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลากังหัน (n) กับแรงบิด(T_m) ที่ความเร็วลมต่างๆ	28
4.3	ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟส แบบแม่เหล็กถาวรที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที	29

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
4.4	ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที	29
4.5	ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที	29
4.6	ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟส แบบแม่เหล็กถาวรที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที	30
4.7	ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที	30
4.8	ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที	31
4.9	ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟส แบบแม่เหล็กถาวรที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที	31
4.10	ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที	32
4.11	ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที	32
4.12	ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟส แบบแม่เหล็กถาวรที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที	33
4.13	ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที	33
4.14	ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที	34
4.15	ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟส แบบแม่เหล็กถาวรที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที	34

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.16 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที	35
4.17 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที	35
4.18 ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟส แบบแม่เหล็กถาวรที่ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที	36
4.19 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที	36
4.20 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที	37
4.21 ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟส แบบแม่เหล็กถาวรที่ความเร็วลม 10 เมตรต่อวินาที	37
4.22 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 10 เมตรต่อวินาที	38
4.23 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 10 เมตรต่อวินาที	38
4.24 ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟส แบบแม่เหล็กถาวรที่ความเร็วลม 11 เมตรต่อวินาที	39
4.25 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 11 เมตรต่อวินาที	39
4.26 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 11 เมตรต่อวินาที	40
4.27 ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร ที่ความเร็วลม 12 เมตรต่อวินาที	40
4.28 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 12 เมตรต่อวินาที	41

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.29 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 12 เมตรต่อวินาที	41

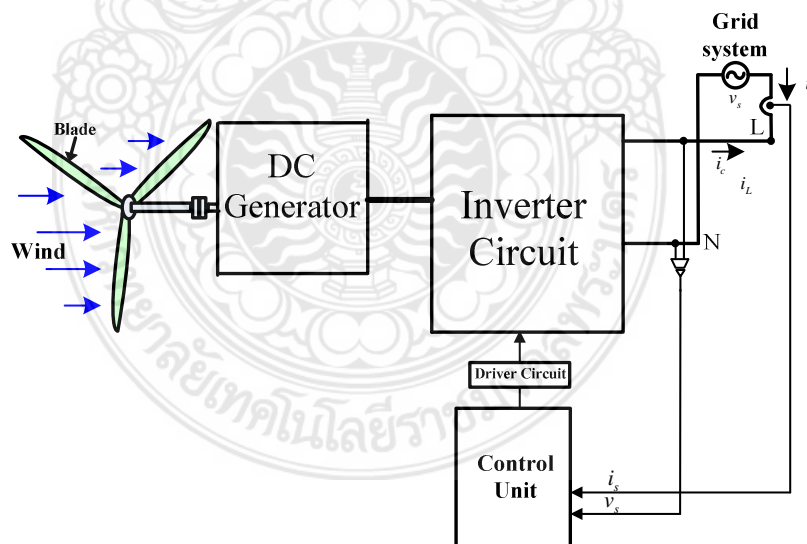


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังถือว่ามีสำคัญต่อการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและการปฏิบัติการระบบ โดยโครงการวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวทางการเพิ่มเสถียรภาพของระบบด้วยการจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า 1 เฟส โดยมีการจำลองออกแบบระบบทั้งหมดโดยใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK โดยใช้รูปแบบจำลองการทำงานของกังหันลมที่มีพิกัดกำลังขนาด 1 กิโลวัตต์ ทำงานจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่มีการจำลองการทำงานของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่กริด และกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าไปในระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส อีกทั้งยังใช้โปรแกรมจำลอง MATLAB/Simulink จับรูปคลื่นสัญญาณต่างๆ ทางไฟฟ้าในระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟสที่เชื่อมต่อ โดยโครงการวิจัยนี้เป็นโครงการต่อยอดจากเฟสที่ 1 โดยระบบที่นำเสนอในโครงการวิจัยนี้ แสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ระบบที่นำเสนอ ในชื่อโครงการ “การจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส”

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของกังหันลมที่นำมาใช้จำลองการทำงาน
- 1.2.2 เพื่อจำลองการทำงานของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ
- 1.2.3 เพื่อสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมมาช่วยวิเคราะห์จำลองกังหันลมเชื่อมต่อบระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟสได้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 จำลองการทำงานของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ คือ 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 เมตรต่อวินาที
- 1.3.2 จำลองการทำงานของกังหันลมขนาดพิกัด 1 กิโลวัตต์
- 1.3.3 รวบรวมข้อมูลต่างๆ ในการจำลองการทำงานของกังหันเชื่อมต่อบระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟสด้วยโปรแกรมจำลอง MATLAB/Simulink

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทบทวนวรรณกรรม
- 1.4.2 ศึกษาข้อมูลกังหันลม
- 1.4.3 ศึกษาทฤษฎีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า
- 1.4.4 ศึกษาการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส
- 1.4.5 กำหนดรูปแบบปัญหา เพื่อจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส
- 1.4.6 สร้างแบบทางคณิตศาสตร์ สำหรับแก้ไขปัญหา
- 1.4.7 ประมวลผลทดสอบด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink และวิเคราะห์ผล
- 1.4.8 สรุปผลการทดสอบ
- 1.4.9 รวบรวมข้อมูล เรียบเรียง ตรวจสอบ และจัดทำเอกสารรายงานผลการวิจัยและเผยแพร่ผลงาน

1.5 สมมุติฐานงานวิจัย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองเชื่อมต่อแหล่งพลังงานต่างๆ เข้ากับกริดมีมากมาย เช่น ในบทความเอกสารอ้างอิงที่ [1] หลักการควบคุมกระแสฮีสเตอร์รีซิสในการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟตรงไปยังกริด 1 เฟส ในบทความเอกสารอ้างอิงที่ [2] ได้กล่าวถึงการจำลองการทำงานของกังหันลมเมื่อมอเตอร์ไฟตรงมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ของแรงเฉื่อยที่เพลลา ในบทความ

เอกสารอ้างอิงที่ [3] ได้กล่าวถึงการออกแบบจำลองการทำงานของกังหันลมเมื่อความเร็วคงที่ และสร้างตัวจำลองการทำงานทำงานของกังหันลมผ่านโปรแกรม Matlab/Simulink และ FPGA

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 เพื่อนำฐานข้อมูลที่ได้มาใช้ในการสร้างกังลมผลิตไฟฟ้า
- 1.5.2 เพื่อใช้เป็นพลังงานเสริมเข้าในระบบไฟฟ้ากำลัง 1 เฟส
- 1.5.3 เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในรายวิชาเครื่องจักรกลไฟฟ้า 2 ได้



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

กังหันลม คือชุดเครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกล และนำพลังงานกลมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้า โดยการออกแบบกังหันลมจะต้องอาศัยความรู้ทางพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมในแขนงต่าง ๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด โดยทั่วไปกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด[1] ตามแกนหมุนของกังหันลม ได้แก่ กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง และกังหันลมแกนหมุนแนวนอน ซึ่งทั้งสองชนิดจะประกอบด้วยอุปกรณ์ในการทำงานผลิตไฟฟ้าที่คล้ายกัน เช่น ชุดใบพัด ชุดห้องเกียร์ทดกำลัง ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และชุดเสา โดยจะมีความแตกต่างกันตรงการวางชุดแกนหมุนใบพัด ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้งาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า (Capacity) เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (Rotor Diameter) และพื้นที่กวาดของใบพัด (Swept Area) ของกังหันลมผลิตไฟฟ้ารุ่นนั้นๆ ดังแสดงขนาดกำลังผลิต เส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นที่กวาดของใบพัดของกังหันลมขนาดต่างๆ ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดกำลังผลิต เส้นผ่านศูนย์กลาง และพื้นที่กวาดของใบพัดของกังหันลมขนาดต่างๆ

ขนาดของกังหันลม	ขนาดกำลังผลิต (kW)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	พื้นที่กวาด (m ²)
ขนาดจิ๋ว (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

2.2 คุณสมบัติของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

โดยกำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม (P_{turb}) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอากาศ มุมบิดของใบพัด รัศมีของใบพัด และความเร็วลมที่ปะทะใบกังหัน[4] ดังสมการที่ (2.1)

$$P_{turb} = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_w^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (2.1)$$

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 (2.2) ได้ดังนี้

$$\lambda = \frac{\omega_r R}{V_w} \quad (2.2)$$

เมื่อ

ω_r คือ ความเร็วของการหมุนโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดกังหันลมในหน่วยเรเดียนต่อวินาที

λ คือ อัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด

โดยค่าสัมประสิทธิ์กำลัง C_p มีค่าเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนความเร็วปลาย สำหรับกังหันลมที่ใช้ในกรณีศึกษา ค่า C_p เขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันของอัตราส่วนความเร็วปลาย[5] ได้ดังสมการที่ (2.3) นี้

$$C_p = 0.043 - 0.108\lambda + 0.146\lambda^2 - 0.0602\lambda^3 + 0.0104\lambda^4 - 0.0006\lambda^5 \quad (2.3)$$

สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมตามกฎของเบท(Betz' Law)[6] หาได้จาก

$$C_p = \frac{P_{Rotor}}{P_{wind}} \quad (2.4)$$

เมื่อ

C_p คือ สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

P_{Rotor} คือ กำลังโรเตอร์

P_{wind} คือ กำลังลม

และจากสูตรการแปลงกำลังทางกลเป็นกำลังทางไฟฟ้าดังสมการที่ (2.5)

$$P_{turb} = T_{turb} \omega_r \quad (2.5)$$

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 ดังนั้นหาแรงบิดเอาต์พุตที่เพลาโรเตอร์ของกังหันลม (T_{turb}) ได้จากการแทนค่ากำลังที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม (P_{turb}) ในสมการที่ (2.1) ทหารด้วยความเร็วเชิงมุมที่เพลาของโรเตอร์กังหันลมหมุน (ω_r) จะได้

$$T_{turb} = \frac{1}{2\lambda} \cdot \rho \pi R^3 V_w^2 C_p(\lambda) \quad (2.6)$$

โดยความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงบิดและสัมประสิทธิ์กำลังกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2.7)

$$T_{turb} = \frac{1}{2\lambda} \cdot \rho \pi R^3 V_w^2 C_p(\lambda) \tag{2.7}$$

เมื่อ

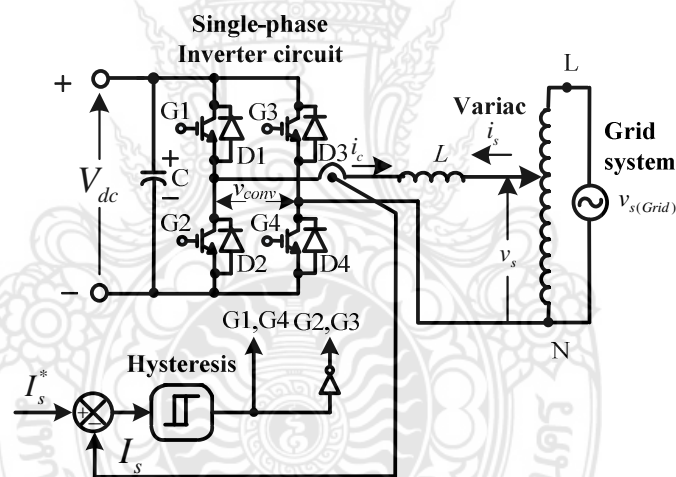
$C_T(\lambda)$ คือ สัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลม

$C_p(\lambda)$ คือ สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

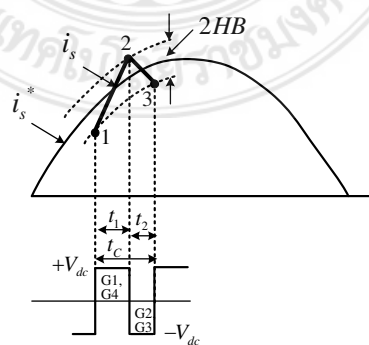
λ คือ อัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด

2.3 หลักการควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮีสเตอร์รีซิสในการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

การนำเทคนิคการควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮีสเตอร์รีซิส(HB) มาใช้ในการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสในการจ่ายกระแสไปยังระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส แสดงดังรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 แสดงกระแสจริงติดตามกระแสอ้างอิงภายในขอบเขตฮีสเตอร์รีซิส



รูปที่ 2.1 การควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮีสเตอร์รีซิสในวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นกระแสอ้างอิง (i_s^*) และกระแสจริง (i_s) ในการกำเนิดสัญญาณพัลส์

การวิเคราะห์หลักการควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮีสเตอร์รีซิส[7] มีหลักการวิเคราะห์การทำงานอยู่ 2 สถานะ คือ เมื่อกระแสจริงของแหล่งจ่ายไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ i_s เดินทางจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 โดยกระแสจริงเคลื่อนที่จากขอบเขตล่างไปยังขอบเขตบนทำให้ความชันของกระแสเพิ่มขึ้น และจากจุดที่ 2 ไปยังจุดที่ 3 กระแสจริงเคลื่อนที่จากขอบเขตบนมายังขอบเขตล่างทำให้ความชันของกระแสจริงลดลง ดังนั้นในการวิเคราะห์จากรูปที่ 2.2 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

$$f_{c(\max)} = \frac{0.25(V_{dc2})}{(HB)L} \quad (2.8)$$

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

$$f_{c(\min)} = \frac{0.25(V_{dc} - V_m)}{(HB)L} \quad (2.9)$$

เมื่อ

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

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

2.4 บทสรุป

จากตารางที่ 2.1 เมื่อพิจารณาด้านขนาดของกังหันลมจะเห็นได้ว่ากังหันลมขนาดใหญ่จะมีขนาดกำลังผลิตสูงกว่าขนาดของกังหันลมขนาดใหญ่ ขนาดกลาง ขนาดเล็ก และขนาดจิ๋ว และเมื่อพิจารณาด้านเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่กวาดของใบพัดกังหันจะเห็นได้ว่ากังหันลมขนาดใหญ่ ขนาดกลาง ขนาดเล็ก และขนาดจิ๋ว ส่วนรูปที่ 2.1 และ 2.2 แสดงหลักการนำเทคนิคการควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮีสเตอร์รีซิส (HB) มาใช้ในการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ในการจ่ายกระแสไปยังระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส โดยสามารถเพิ่มหรือลดที่กระแสอ้างอิง (i_s^*) ในตัวควบคุมดังรูปที่ 2.1

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงการศึกษาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทบทวนวรรณกรรม การศึกษาข้อมูลกังหันลม ศึกษาทฤษฎีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ศึกษาการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส กำหนดรูปแบบปัญหา เพื่อจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบรรยากาศไฟฟ้า 1 เฟส สร้างแบบทางคณิตศาสตร์ สำหรับแก้ไขปัญหาคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

3.2 ศึกษาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทบทวนวรรณกรรม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองเชื่อมต่อแหล่งพลังงานต่างๆ เข้ากับกริดมีมากมาย เช่น ในบทความเอกสารอ้างอิงที่ [1] หลักการควบคุมกระแสฮีสเตอร์รีซิสในการส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟตรงไปยังกริด 1 เฟส ในบทความเอกสารอ้างอิงที่ [2] ได้กล่าวถึงการศึกษาการทำงานของกังหันลมเมื่อมอเตอร์ไฟตรงมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ของแรงเฉื่อยที่เพลลา ในบทความเอกสารอ้างอิงที่ [3] ได้กล่าวถึงการออกแบบจำลองการทำงานของกังหันลมเมื่อความเร็วลมที่ และสร้างตัวจำลองการทำงานทำงานของกังหันลมผ่านโปรแกรม Matlab/Simulink และ FPGA โดยทั่วไปกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามเอกสารอ้างอิง [4] ตามแกนหมุนของกังหันลม ได้แก่ กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง และกังหันลมแกนหมุนแนวนอน ซึ่งทั้งสองชนิดจะประกอบด้วยอุปกรณ์ในการทำงานผลิตไฟฟ้าที่คล้ายกัน เช่น ชุดใบพัด ชุดห้องเกียร์ทดกำลัง ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และชุดเสา โดยจะมีความแตกต่างกันตรงการวางชุดแกนหมุนใบพัด ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้งาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า (Capacity) เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (Rotor Diameter) และพื้นที่กวาดของใบพัด (Swept Area) ของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้นๆ ส่วนการวิเคราะห์หลักการควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮีสเตอร์รีซิสในการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส เชื่อมต่อบรรยากาศไฟฟ้า 1 เฟส ได้มีผู้นำเสนอในเอกสารอ้างอิง [4]

3.3 ศึกษาข้อมูลกังหันลม

กังหันลม (Wind Turbine) คือชุดเครื่องจักรกลอย่างหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์จากการเคลื่อนที่ของลมให้เป็นพลังงานกล และนำพลังงานกลมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้า โดยการออกแบบกังหันลมจะต้องอาศัยความรู้ทางพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมในแขนงต่าง ๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด

3.3.1 ชนิดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

โดยทั่วไปกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด[8] ตามแกนหมุนของกังหันลม ได้แก่ กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง และกังหันลมแกนหมุนแนวนอน ซึ่งทั้งสองชนิดจะประกอบด้วยอุปกรณ์ในการทำงานผลิตไฟฟ้าที่คล้ายกัน เช่น ชุดใบพัด ชุดห้องเกียร์ทดกำลัง ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และชุดเสา โดยจะมีความแตกต่างกันตรงการวางชุดแกนหมุนใบพัด

1) กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวตั้ง) Vertical Axis Wind Turbine)

เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนตั้งฉากกับพื้นราบหรือตั้งฉากรับทิศทางการเคลื่อนที่ของลม โดยมีใบพัดยึดติดขนานกับแกนหมุน ทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัด โดยสามารถรับแรงลมในแนวนอนได้ทุกทิศทาง อย่างไรก็ตามกังหันลมชนิดนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยมีการใช้งานอยู่ประมาณร้อยละ 25 ของกังหันลมที่มีใช้งานอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 3.1 กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง

2) กังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอน) Horizontal Axis Wind Turbine)

เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับพื้นราบหรือขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลม โดยมีใบพัดยึดติดตั้งฉากกับแกนหมุน ทำหน้าที่รับแรงลมที่เคลื่อนตัวมากระทบทำให้เกิดการหมุนของใบพัด โดยกังหันลมชนิดแกนหมุนแนวนอนแบบสามใบพัดซึ่งมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง เป็นกังหันลมที่

ได้รับความนิยมใช้งานในเชิงพาณิชย์อย่างแพร่มากที่สุดถึงร้อยละ 75 ของกังหันลมที่มีการใช้งานในปัจจุบัน



รูปที่ 3.2 กังหันลมแกนหมุนแนวนอน

3.3.2 ส่วนประกอบของกังหันลมผลิตไฟฟ้า (ชนิดแกนหมุนแนวนอน)
องค์ประกอบที่ประกอบขึ้นเป็นกังหันลมผลิตไฟฟ้าในหนึ่งชุด จะประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลักใหญ่ ๆ ได้แก่ ชุดแกนหมุนใบพัด (Rotor Blade), ชุดห้องเครื่อง (Nacelle), ชุดเสา (Tower) และฐานราก (Foundation)



รูปที่ 3.3 ส่วนต่างๆ ของกังหันลมแกนหมุนแนวนอน

1) ชุดแกนหมุนใบพัด (Rotor Blade) [หมายเลข 2] เป็นส่วนแรกของกังหันลมผลิตไฟฟ้าที่ทำหน้าที่รับหรือปะทะกับแรงลม โดยประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- ดุมแกนหมุน (Nose Cone) เป็นตัวครอบแกนหมุนที่อยู่ส่วนหน้าสุด มีรูปร่างเป็นวงรีคล้ายไข่เพื่อการลู่ลมและมองดูสวยงาม

- ใบพัด (Blade) [หมายเลข 1] เป็นส่วนที่ยึดติดกับแกนหมุน (Rotor Hub) ทำหน้าที่รับพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) จากการเคลื่อนที่ของลม และหมุนแกนหมุนเพื่อส่งถ่ายกำลังไปยังเพลลาแกนหมุนหลัก ถูกออกแบบโดยใช้หลักการทางพลศาสตร์ของอากาศเพื่อให้มีน้ำหนักเบาพอเหมาะและเหนียวทนทานรับกับแรงลมได้ดี ใบกังหันลมถือเป็นหัวใจของกังหันลมผลิตไฟฟ้าและมีความละเอียดสูงในการออกแบบ เพราะหากสามารถออกแบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงก็จะทำให้กังหันลมสามารถทำงานได้เป็นอย่างดีที่ความเร็วเปลี่ยนไป

- จุดปรับหมุนใบพัด (Pitch Drive) [หมายเลข 3] อยู่ระหว่างช่วงรอยต่อระหว่างใบพัดกับแกนหมุน ทำหน้าที่ในการปรับใบพัดให้มีความพร้อมและเหมาะสมเมื่อเริ่มรับแรงลมต่ำ ๆ เพื่อการเริ่มหมุนใบพัด (Cut In) และปรับใบพัดให้ลู่ลมโดยอัตโนมัติเพื่อช่วยในการหยุดหมุนของแกนหมุนเมื่อได้รับแรงลมเกินพิกัด (Cut Out) หรือกรณีซ่อมบำรุงรักษา

- ชุดปรับยึดแกนหมุน (Rotor Lock) เป็นจานหมุนที่ยึดติดส่วนท้ายของแกนหมุน มีระบบยึดแน่นไม่ให้ออกมาจากการขับเคลื่อนหมุนเมื่อได้รับแรงลมเกินพิกัดหรือกรณีซ่อมบำรุงรักษา

2) ชุดห้องเครื่อง (Nacelle) [หมายเลข 11] เป็นส่วนที่สำคัญของกังหันลมเพราะมีองค์ประกอบย่อยมากที่สุด ถูกออกแบบมาให้มีความเหมาะสมเพื่อเป็นตัวป้องกันสภาพอากาศภายนอกให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ภายใน และมีพื้นที่ภายในเพียงพอสำหรับการขึ้นไปติดตั้งและบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ องค์ประกอบย่อยที่ติดตั้งอยู่ภายในชุดห้องเครื่องมีดังนี้

- เพลลาแกนหมุนหลัก (Main Shaft) [หมายเลข 5] ทำหน้าที่รับแรงจากแกนหมุนใบพัด และส่งผ่านเข้าสู่ห้องปรับเปลี่ยนทดรอบกำลัง (Gear Box)

- ห้องทดรอบกำลัง (Gear Box) [หมายเลข 6] ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมปรับเปลี่ยนทดรอบการหมุนและถ่ายแรงของเพลลาแกนหมุนหลักที่มีความเร็วรอบต่ำ ไปยังเพลลาแกนหมุนเล็ก (Small Shaft) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อให้มีความเร็วรอบที่สูงขึ้นและมีความเร็วสม่ำเสมอในการหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- เบรก (Brake) [หมายเลข 4] เป็นระบบกลไกเพื่อใช้ควบคุมและยึดการหยุดหมุนอย่างสิ้นเชิงของใบพัดและเพลลาแกนหมุนของกังหันลม

- เพลลาแกนหมุนเล็ก (Small Shaft) [หมายเลข 12] ทำหน้าที่รับแรงที่มีความเร็วรอบสูงจากห้องทดรอบกำลัง (Gear Box) เพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

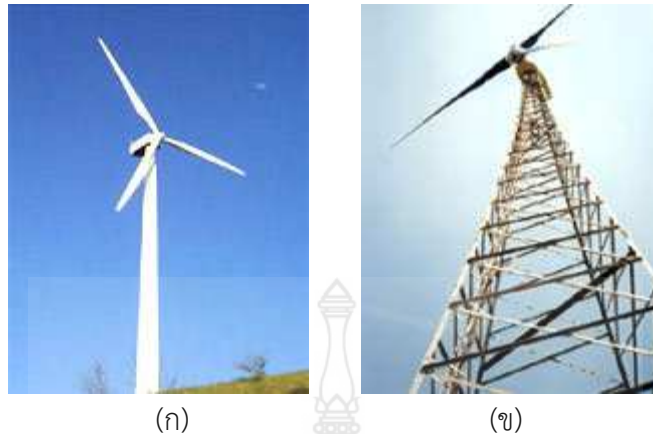
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) [หมายเลข 7] ทำหน้าที่แปลงพลังงานกลที่ได้รับเป็นพลังงานไฟฟ้า

- ระบบควบคุมไฟฟ้า (Controller System) [หมายเลข 8] เป็นระบบควบคุมการทำงาน และการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกสู่ระบบด้วยระบบคอมพิวเตอร์
- ระบบระบายความร้อน (Cooling) เป็นระบบเพื่อใช้ระบายความร้อนจากการทำงานของกลไกภายในห้องทรอบกำลังและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีการทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา
- เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม (Anemometer and Wind Vane) [หมายเลข 9, 10] เป็นส่วนที่ติดตั้งอยู่ภายนอกห้องเครื่อง โดยเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์สำหรับเป็นตัวชี้วัดปริมาณความเร็วและทิศทางลม เพื่อที่คอมพิวเตอร์จะได้ควบคุมกลไกการทำงานอื่น ๆ ของกังหันลมได้อย่างถูกต้อง โดยมีรูปแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม

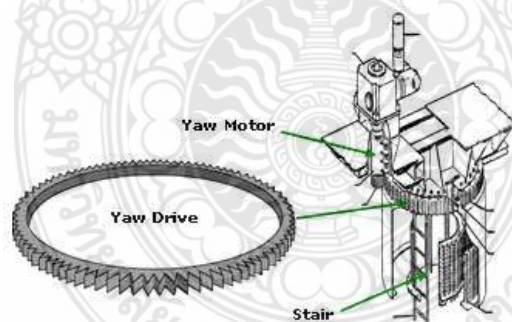
3) ซุดเสา (Tower) [หมายเลข 15] เป็นตัวแบกรับส่วนที่เป็นซุดแกนหมุนใบพัดและตัวห้องเครื่องที่อยู่ข้างบน ปัจจุบันมีใช้งาน 2 แบบ คือ แบบเสากลมกลวง (Tubular) และเสาโครงถัก (Lattice) โดยปัจจุบันนิยมใช้เสาแบบกลมกลวงมากกว่า ทั้งนี้ซุดเสาดังกล่าวจะต้องมีการออกแบบในเชิงวิศวกรรมมาเป็นอย่างดีก่อนการติดตั้ง เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักและแรงปะทะของลมต่อพื้นที่กวาดใบพัด ขณะที่ความสูงของเสาจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับระยะความสูงในการรับแรงลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด และขนาดของกังหันลม โดยมีรูปแสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 เสากลมกลวง (ก) และเสาโครงถัก (ข)

องค์ประกอบย่อยของชุดเสาดังนี้

- แกนคอหมุนรับทิศทางลม (Yaw Drive) [หมายเลข 13] เป็นตัวขับเคลื่อนหมุนแกนหมุนใบพัด เพื่อให้ใบพัดรับแรงลมตามทิศทางลมที่เปลี่ยนที่ของลม
- ระบบควบคุมการหมุน (Yaw Motor หรือ Hydraulic System) [หมายเลข 14] เป็นตัวบังคับและควบคุมกลไกการขับเคลื่อนหมุนเพื่อให้ใบพัดรับแรงลมตามทิศทางลมและชะลอการหมุนและหยุดหมุนของใบพัด โดยมีรูปแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 3.6 แกนคอหมุนและระบบควบคุมการหมุนเพื่อรับแรงลมตามทิศทางลม

- บันไดหรือลิฟต์ (Stair or Lift) ใช้ในการขึ้นลงสำหรับการตรวจหรือซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่อยู่ด้านบนเสา
- ระบบอุปกรณ์ควบคุมและจอภาพ ติดตั้งอยู่ด้านล่างสุดของเสาเพื่อให้เจ้าหน้าที่ใช้ในการติดต่อ ตรวจสอบ และตรวจดูข้อมูลระบบการทำงานต่าง ๆ ของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

4) **ฐานราก (Foundation)** เป็นส่วนที่รับน้ำหนักทั้งหมดของชุดกังหันลมทำเป็นฐานคอนกรีตเสริมเหล็กตั้งอยู่บนเสาเข็มที่ได้รับการคำนวณออกแบบ และทำการก่อสร้างอย่างถูกวิธีตามหลักวิศวกรรมโยธา

3.3.3 ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้าถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้งาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า (Capacity) เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (Rotor Diameter) และพื้นที่กวาดของใบพัด (Swept Area) ของกังหันลมผลิตไฟฟ้ารุ่นนั้นๆ ดังแสดงขนาดของกังหันลม[1] ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดของกังหันลมต่างๆ

ขนาดของกังหันลม	ขนาดกำลังผลิต (kW)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	พื้นที่กวาด (m ²)
ขนาดจิ๋ว (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

รายละเอียดของกังหันลมขนาดต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

1) **กังหันลมขนาดจิ๋ว (Micro Wind Turbine)** มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าน้อยกว่า 1.5 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลเพื่อจัดเก็บกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ และมีภาระทางไฟฟ้าไม่มากนัก เช่น การใช้กับเครื่องมือสื่อสาร หรือแสงสว่างในบางเวลา

2) **กังหันลมขนาดเล็ก (Small Wind Turbine)** มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 1.5-20 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลเพื่อจัดเก็บกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ และมีภาระทางไฟฟ้าไม่มากนัก เช่น ใช้ตามครัวเรือนหรือสำนักงานขนาดเล็กที่อยู่ห่างไกล

3) กังหันลมขนาดกลาง (Medium Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 20-200 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าในระบบผสมผสานกับการผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น เช่น ระบบผสมผสานดีเซล กังหันลม เพื่อใช้ในระบบ-เซลล์แสงอาทิตย์-Minigrid ตามชุมชนห่างไกล

4) กังหันลมขนาดใหญ่ (Large Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 200-1,500 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าแบบทุ่งกังหันลมบนฝั่ง เพื่อเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบสายส่ง (Grid Connection)

5) กังหันลมขนาดใหญ่มาก (Very Large Wind Turbine) มีขนาดกำลังผลิตมากกว่า 1,500 กิโลวัตต์ เหมาะสำหรับติดตั้งผลิตไฟฟ้าแบบทุ่งกังหันลมบนฝั่งและนอกชายฝั่ง เพื่อเชื่อมต่อไฟฟ้าเข้ากับระบบสายส่ง (Grid Connection)

3.3.4 คุณลักษณะของกังหันลมผลิตไฟฟ้า

กำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม (P_{urb}) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอากาศ มุมบิดของใบพัด รัศมีของใบพัด และความเร็วลมที่ปะทะใบกังหัน[9] ดังสมการที่ (3.1)

$$P_{urb} = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_w^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (3.1)$$

เมื่อ

P_{urb} คือ กำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ

β คือ มุมบิดของใบพัดเป็นองศาทางกล

R คือ รัศมีของใบพัดในหน่วยเมตร

V_w คือ ความเร็วลมในหน่วยเมตรต่อวินาที

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

หาค่าอัตราส่วนความเร็วปลายได้จากสมการที่ (3.2) ได้ดังนี้

$$\lambda = \frac{\omega_r R}{V_w} \quad (3.2)$$

เมื่อ

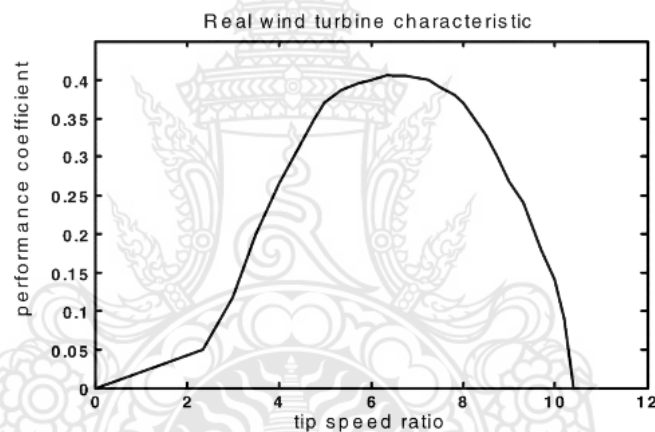
ω_r คือ ความเร็วของการหมุนโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดกังหันลมในหน่วยเรเดียนต่อวินาที

λ คือ อัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด

โดยค่าสัมประสิทธิ์กำลัง C_p มีค่าเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนความเร็วปลาย สำหรับกังหันลมที่ใช้ในกรณีศึกษา ค่า C_p เขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชันของอัตราส่วนความเร็วปลาย[3] ได้ตั้งสมการที่ (3.3) นี้

$$C_p = 0.043 - 0.108\lambda + 0.146\lambda^2 - 0.0602\lambda^3 + 0.0104\lambda^4 - 0.0006\lambda^5 \quad (3.3)$$

และกรณีศึกษาเมื่อกำหนดให้กังหันลมมี 3 ใบพัด มีเส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนหมุนที่ใบพัดกวาดเท่ากับ 4.5 เมตร ให้กำลังออกจากกังหันลมเท่ากับ 3 kW จะได้ความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนความเร็วปลาย (Tip speed ratio) กับค่าสัมประสิทธิ์การทำงาน (Performance coefficient) ของกังหันลมเมื่อใช้งานจริง[4] ดังรูปที่ (3.7)



รูปที่ 3.7 คุณลักษณะของกังหันลมเมื่อใช้งานจริง

สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมตามกฎของเบท(Betz' Law)[6] หาได้จาก

$$C_p = \frac{P_{Rotor}}{P_{wind}} \quad (3.4)$$

เมื่อ

C_p คือ สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

P_{Rotor} คือ กำลังโรเตอร์

P_{wind} คือ กำลังลม

และจากสูตรการแปลงกำลังทางกลเป็นกำลังทางไฟฟ้างดสมการที่ (1.5)

$$P = T\omega \quad (3.5)$$

เมื่อ

P คือ กำลังทางไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์

T คือ แรงบิดทางกลมีหน่วยเป็นนิวตันเมตร

ω คือ ความเร็วเชิงมุมมีหน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที

เมื่อแทน $\omega_r = \frac{\lambda V_w}{R}$ และกำหนดให้มุมพิช (β) มีค่าคงที่ ดังนั้นหาแรงบิดเอาต์พุตที่เพลลาโรเตอร์ของกังหันลม (T_{urb}) ได้จากการแทนค่ากำลังที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม (P_{urb}) ในสมการที่ (3.1) หารด้วยความเร็วเชิงมุมที่เพลลาของโรเตอร์กังหันลมหมุน (ω_r) จะได้

$$T_{urb} = \frac{1}{2\lambda} \rho \pi R^3 V_w^2 C_p(\lambda) \quad (3.6)$$

โดยความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงบิดและสัมประสิทธิ์กำลังกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดเขียนความสัมพันธ์ได้ดั่งสมการที่ (1.7)

$$C_T(\lambda) = \frac{C_p(\lambda)}{\lambda} \quad (3.7)$$

เมื่อ

$C_T(\lambda)$ คือ สัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลม

$C_p(\lambda)$ คือ สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

λ คือ อัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด

เมื่อพิจารณาให้ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิด คือ η_G ดังนั้นหา กำลังที่ผลิตขึ้นมาจากเครื่องกำเนิดกังหันลมได้จากสมการที่ (1.8)

$$P_{out} = \eta_G P_m \quad (3.8)$$

เมื่อ

P_{out} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นมาจากเครื่องกำเนิด

η_G คือ ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิด

P_m คือ กำลังทางกลที่จุดเครื่องกำเนิด

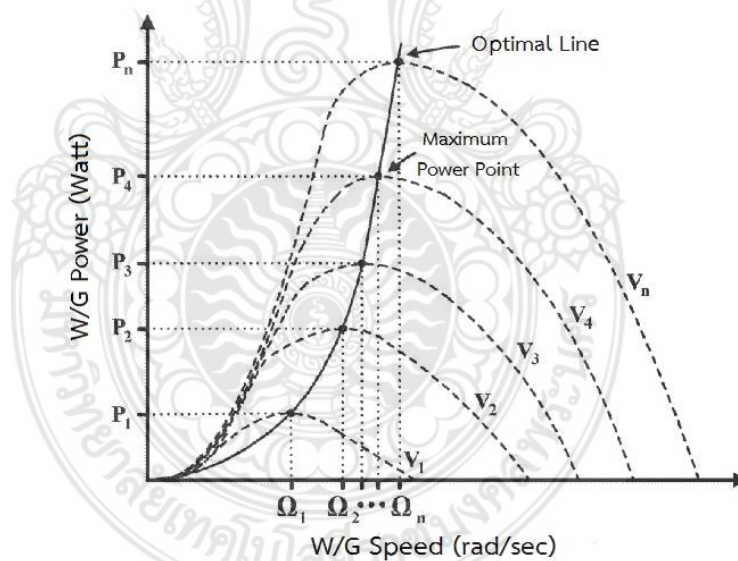
สัมประสิทธิ์กำลังของเครื่องกำเนิดกังหันลมจะมีค่ามากที่สุดที่อัตราส่วนความเร็วปลายอยู่ที่ค่า λ_{opt} เมื่อมุมบิดใบพัดเท่ากับศูนย์ ($\beta = 0^\circ$) คุณลักษณะความสัมพันธ์ของเส้นกราฟกำลังที่เครื่องกำเนิดกังหันลมผลิตได้กับการเปลี่ยนแปลงความเร็วโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดกังหันลมแสดงดังรูปที่ 7 โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าในแต่ละความเร็วลมมีจุดที่กำลังสูงสุดแตกต่างกัน ซึ่งการควบคุมโหลดที่ความเร็วของกังหันลมเปลี่ยนแปลงจะทำให้ควบคุมกำลังสูงสุดได้ และการควบคุมแบบ MPPT จึงมีความเหมาะสม [6] ซึ่งค่าอัตราส่วนความเร็วปลายจะมีค่าคงที่สำหรับจุดที่เครื่องกำเนิดกังหันลมมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPs) ขณะที่ความเร็วรอบการหมุนของโรเตอร์เครื่องกำเนิดกังหันลมมีความสัมพันธ์กับความเร็วลมดังนี้

$$\Omega_n = \lambda_{opt} \frac{V_n}{R} \quad (3.9)$$

เมื่อ

Ω_n คือ ความเร็วโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดกังหันลมที่เหมาะสมในหน่วยเรเดียนต่อวินาที

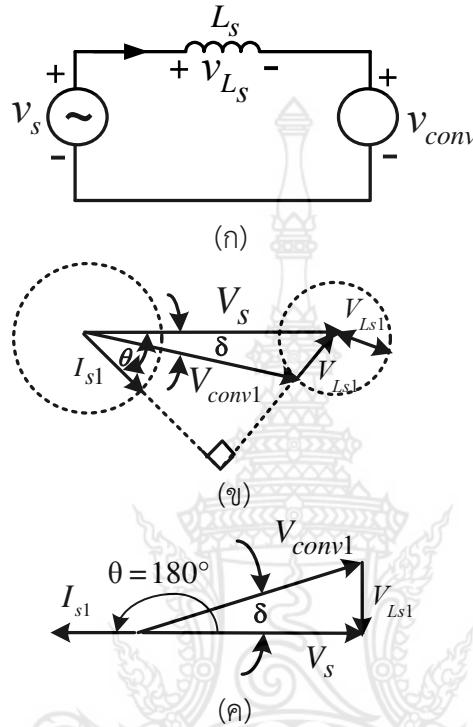
V_n คือ ความเร็วลมใดๆ ในหน่วยเมตรต่อวินาที



รูปที่ 3.8 คุณลักษณะของกำลังเอาต์พุตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมที่ความเร็วลมเปลี่ยนแปลง

3.4 ศึกษาทฤษฎีการส่งผ่านกำลังทางไฟฟ้า

วงจรสมมูลแสดงการส่งผ่านกำลังทางไฟฟ้าระหว่างตัวคอนเวอร์เตอร์กับระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส [13] แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 (ก) วงจรสมมูลของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า
 (ข) เฟสเซอร์ไดอะแกรมโดยทั่วๆ ไปของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า
 (ค) เฟสเซอร์ไดอะแกรมในโหมดอินเวอร์ตซึ่งค่าตัวประกอบกำลังเป็นหนึ่ง

จากวงจรสมมูลในรูปที่ 3.9 (ก) โดยใช้ทฤษฎีกฎแรงดันของเคอชอฟจะได้เขียนสมการแรงดันของกริดได้ดังสมการที่ (3.10) และแรงดันคร่อมตัวเหนี่ยวนำระหว่างกริดและคอนเวอร์เตอร์ได้ดังสมการที่ (3.11)

$$v_s = v_{conv} + v_{L_s} \tag{3.10}$$

$$v_{L_s} = L_s \frac{di_s}{dt} \tag{3.11}$$

จากแผนภาพเฟสเซอร์ไดอะแกรมในรูปที่ 10 (ข) สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_{Ls1} \cos \theta = \omega L_s I_{s1} \cos \theta = V_{conv1} \sin \delta \quad (3.12)$$

$$V_{Ls1} \sin \theta = \omega L_s I_{s1} \sin \theta = V_s - V_{conv1} \cos \delta \quad (3.13)$$

สมการการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแอกทีฟและกำลังไฟฟารีแอกทีฟจากตัวคอนเวอร์เตอร์ไปยังระบบกริด 1 เฟส แสดงดังในสมการที่ (3.14) และ (3.15)

$$P = V_s I_{s1} \cos \theta = \frac{V_s^2}{\omega L_s} \left(\frac{V_{conv1}}{V_s} \sin \delta \right) \quad (3.14)$$

$$Q = V_s I_{s1} \sin \theta = \frac{V_s^2}{\omega L_s} \left(1 - \frac{V_{conv1}}{V_s} \cos \delta \right) \quad (3.15)$$

และสมการหาค่ากระแสที่ความถี่มูลฐานหาได้จากสมการที่ (3.16)

$$I_{s1} = \frac{V_s - V_{conv1}}{j\omega L_s} \quad (3.16)$$

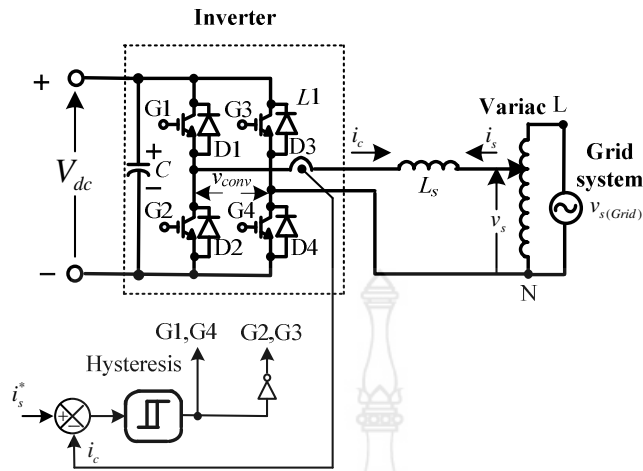
เมื่อ

I_{s1} คือ กระแสที่ความถี่มูลฐานของระบบกริดไฟฟ้า

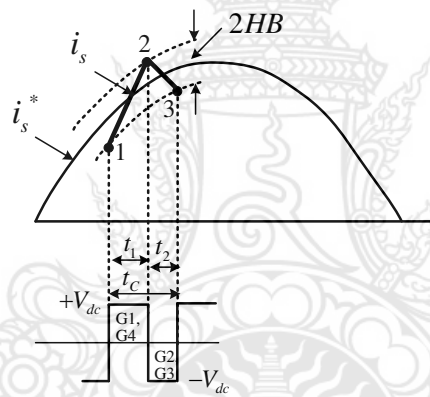
L_s คือ ค่าความเหนี่ยวนำระหว่างระบบกริดและคอนเวอร์เตอร์

3.5 ศึกษาการทำงานของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่องริด 1 เฟส

อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่องริดทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงไปยังระบบกริด 1 เฟสผ่านตัวเหนี่ยวนำและวารีแอก 1 เฟส บล็อกไดอะแกรมของวิธีการควบคุมกระแสและวงจรถูกแสดงดังในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมของวิธีการควบคุมกระแสและวงจรกำลัง



รูปที่ 3.11 รูปคลื่นกระแสอ้างอิง (i_s^*) และกระแสจริง (i_s) ในการกำเนิดสัญญาณพัลส์ ควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต้อกริดไฟฟ้า 1 เฟส

การทำงานของอินเวอร์เตอร์เมื่อพิจารณารูปที่ 3.11 จะมีการทำงานดังนี้ เมื่อกระแสจริงของแหล่งจ่ายไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ i_s เดินทางจากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 โดยกระแสจริงเคลื่อนที่จากขอบเขตล่างไปยังขอบเขตบนทำให้ความชันของกระแสเพิ่มขึ้น และจากจุดที่ 2 ไปยังจุดที่ 3 กระแสจริงเคลื่อนที่จากขอบเขตบนมายังขอบเขตล่างทำให้ความชันของกระแสจริงลดลง ดังนั้นในการวิเคราะห์จากรูปที่ 3.11 สามารถอธิบายหลักการทำงานในช่วงเวลา t_1 สวิตช์ไอจีบีที G1, G4 นำกระแส ส่วนสวิตช์ไอจีบีที G2, G3 ไม่นำกระแส และในช่วงเวลา t_2 สวิตช์ไอจีบีที G2, G3 นำกระแส ส่วนสวิตช์ไอจีบีที G1, G4 ไม่นำกระแส โดยตัว L_s คือตัวเหนี่ยวนำที่ต่อเชื่อมระหว่างอินเวอร์เตอร์กับแหล่งจ่ายกริด 1 เฟส

3.6 กำหนดรูปแบบปัญหา เพื่อนำไปสร้างแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อจำลองกังหันลมเชื่อมต่อกับกริด 1 เฟส

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ กำหนดให้มีความเร็วลมเปลี่ยนแปลงจำนวน 9 ค่า ดังนี้

- ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที
- ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที
- ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที
- ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที
- ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที
- ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที
- ความเร็วลม 10 เมตรต่อวินาที
- ความเร็วลม 11 เมตรต่อวินาที
- ความเร็วลม 12 เมตรต่อวินาที

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบริเวณกริดไฟฟ้า 1 เฟส กำหนดให้มีค่าต่างๆ ดังนี้

- กังหันลมผลิตไฟฟ้า
 - รัศมีใบพัดของกังหันลม เท่ากับ 1.2 เมตร
 - มุมบิดของใบพัดกังหัน เท่ากับ 0 องศาทางกล
 - ความหนาแน่นของอากาศ เท่ากับ 1.225 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส แบบแม่เหล็กถาวร
 - ค่าความต้านทานขดลวดอาเมเจอร์ เท่ากับ 5 โอห์ม
 - ค่าความเหนี่ยวนำแกนหลัก (Ld) เท่ากับ 10 มิลลิเฮนรี่
 - ค่าความเหนี่ยวนำแกนรอง (Lq) เท่ากับ 10 มิลลิเฮนรี่
 - จำนวนขั้วแม่เหล็ก เท่ากับ 4 ขั้ว
 - ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว เท่ากับ 1.27 เวเบอร์ต่อตารางเมตร

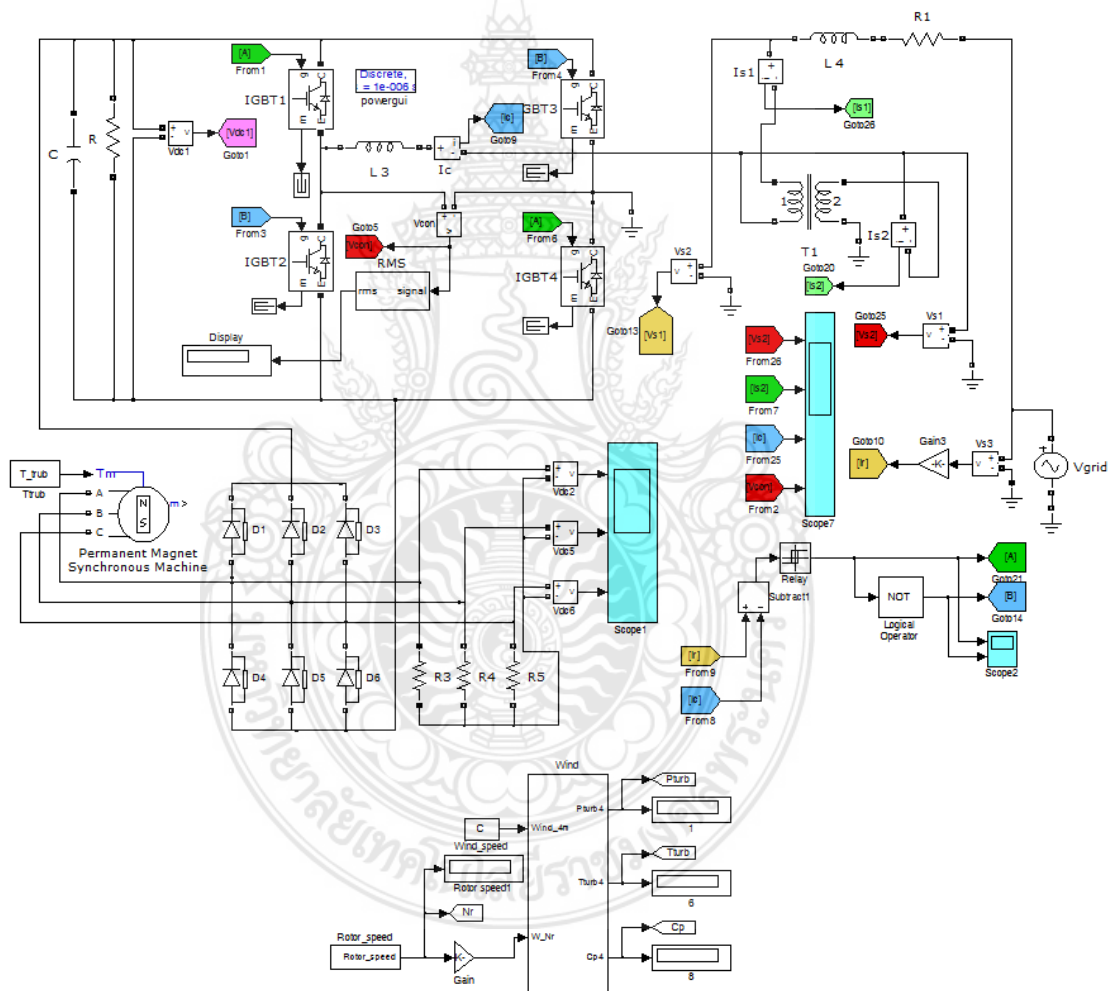
- วงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์
 - ค่าความจุ เท่ากับ 6,800 ไมโครฟารัด
 - ค่าความต้านทานคร่อมตัวเก็บประจุ เท่ากับ 10,000 โอห์ม
- วงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส
 - ค่าความต้านทานภายในตัวไอจีบีทีขณะนำกระแส เท่ากับ 0.001 โอห์ม
 - ค่าความต้านทานสับเบอร์ด เท่ากับ 100,000 โอห์ม
 - ค่าความจุสับเบอร์ด ๐ ฟารัด
- หม้อแปลงอโต้ 1 เฟส
 - ค่าพิกัดกำลังไฟฟ้า 2,200 วัตต์
 - ค่าความต้านทานขดลวดด้านต่อกับกริดไฟฟ้า 1 เฟส เท่ากับ 0.02 โอห์ม
 - ค่าความเหนี่ยวนำขดลวดด้านต่อกับกริดไฟฟ้า 1 เฟส เท่ากับ 10 มิลลิเฮนรี่
 - ค่าความต้านทานขดลวดด้านต่อกับอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส เท่ากับ 0.01 โอห์ม
 - ค่าความเหนี่ยวนำขดลวดด้านต่อกับอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส เท่ากับ 5 มิลลิเฮนรี่
- ระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส
 - แรงดันไฟฟ้า 220 V_{rms}
 - ความถี่ไฟฟ้า 50 Hz

3.7 สร้างแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ไขปัญหา

กำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม (P_{turb}) หาได้จากสมการที่ (3.1) ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอากาศ มุมบิดของใบพัด รัศมีของใบพัด และความเร็วลมที่ปะทะใบกังหัน อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกริดทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงไปยังระบบกริด 1 เฟส ผ่านตัวเหนี่ยวนำและวาริแอก 1 เฟส โดยบล็อกไดอะแกรมของวิธีการควบคุมกระแสและวงจรกำลังแสดงดังรูปที่ 3.10 ที่กล่าวไปแล้วในเล่มรายงานนี้

3.8 แบบจำลองสำหรับประมวลผลทดสอบด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink

แบบจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบรรบบกริดไฟฟ้า 1 เฟสสำหรับประมวลผลทดสอบด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink แสดงดังรูปที่ 3.12 ประกอบไปด้วยแบบจำลองของกังหันลมผลิตกำลังกลเอาต์พุตไปจุดเพลาของเครื่องกำเนิดเชิงโรตอร์แบบแม่เหล็กถาวร โดยจะผลิตไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส และนำไปผ่านวงจรเรียงกระแสไฟสลับเป็นไฟตรง จากนั้นนำแรงดันไฟตรงที่ได้ไปป้อนให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ที่ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าคืนสู่กริดไฟฟ้า 1 เฟส โดยผ่านหม้อแปลงอโต้ 1 เฟส ซึ่งการทำงานของตัวไอจีบีทีในวงจรอินเวอร์เตอร์จะอาศัยหลักการควบคุมกระแสแบบฮิสเตอร์ซิสต์ที่ได้นำเสนอในบทที่ 2 ไปแล้ว



รูปที่ 3.12 แบบจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบรรบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส

3.9 บทสรุป

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หลักการควบคุมกระแสฮีสเตอร์รีซิสสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสได้ ซึ่งในการสร้างแบบจำลองการทำงานของกังหันลมเชื่อมต่อระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส อาศัยสมการทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับคุณลักษณะการทำงานของกังหันลมมาพิจารณา โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของกังหันลมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร ของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ ของวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ของหม้อแปลงอโต้ 1 เฟส และของระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส และนำมาสร้างแบบจำลองกังหันลมเชื่อมต่อระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟสดังแสดงในรูปที่ 3.12 เพื่อนำมาประมวลผลทดสอบด้วยโปรแกรม Matlab/Simulink ซึ่งจะได้นำเสนอในบทที่ 4 ต่อไป



บทที่ 4

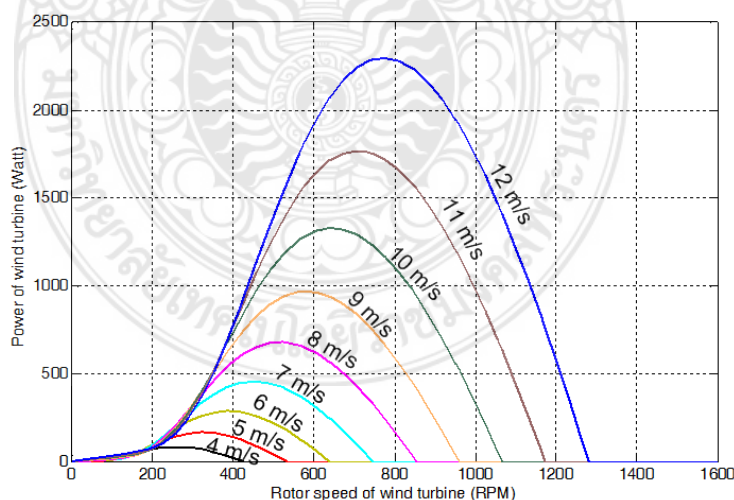
ผลการวิจัย

4.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงผลการจำลองความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลากังหัน (n) กับกำลังทางกลเอาต์พุตของกังหันลม และความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลากังหัน (n) กับแรงบิด (T_m) ของกังหันลมที่ความเร็วลม 4 m/s , 5 m/s , 6 m/s , 7 m/s , 8 m/s , 9 m/s , 10 m/s , 11 m/s และ 12 m/s ตามลำดับ กล่าวถึงผลจำลองการทำงานของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร กล่าวถึงผลการจำลองของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรง และกล่าวถึงผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.2 การจำลองความเร็วรอบของเพลากังหันลมกับกำลังทางกลเอาต์พุตของกังหันลม

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ ที่กำหนดให้มีรัศมีใบพัดเท่ากับ 1.2 เมตร เมื่อดูความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลากังหัน (n) กับกำลังทางกล (P_m) ที่ความเร็วลมต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.1

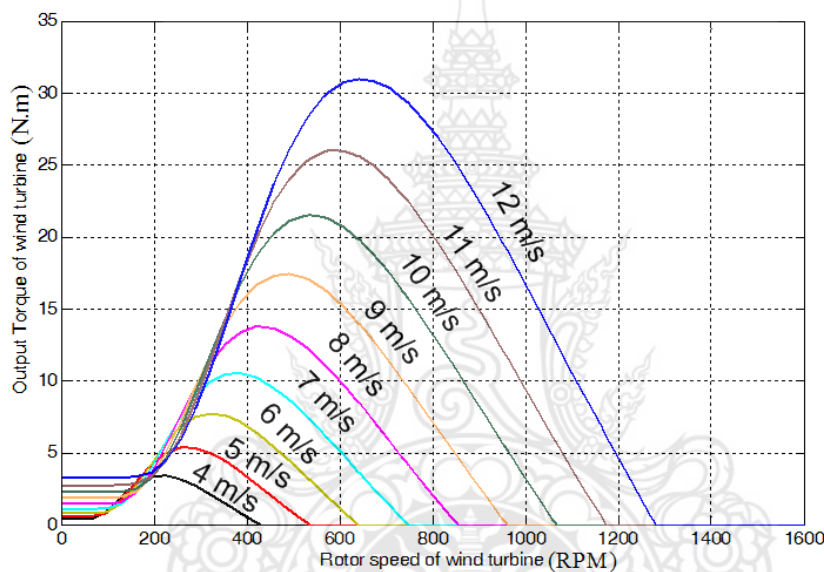


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลากังหัน (n) กับกำลังทางกลเอาต์พุตของกังหันลม (P_m) ที่ความเร็วลมต่างๆ

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าที่ความเร็วลมมากกว่า 9 เมตรต่อวินาที กำลังทางกลเอาต์พุตสูงสุดที่เกิดขึ้นที่กังหันลมมีค่าประมาณเท่ากับ 1 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบของเพลากังหันมีค่าประมาณ 600 รอบต่อวินาที และที่ความเร็วลมต่ำกว่า 9 เมตรต่อวินาที กำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลมจะมีค่าต่ำกว่า 1 กิโลวัตต์

4.3 การจำลองความเร็วรอบของเพลากังหันลมกับแรงบิด (T_m) เอาต์พุตของกังหันลม

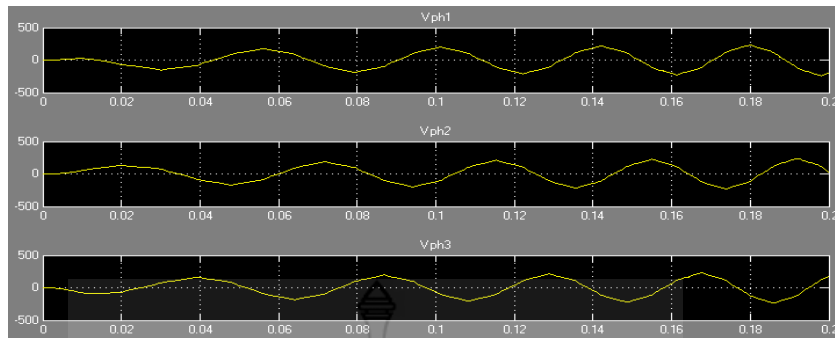
ส่วนผลการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ (n) กับแรงบิด (T_m) ที่ความเร็วลมต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.2



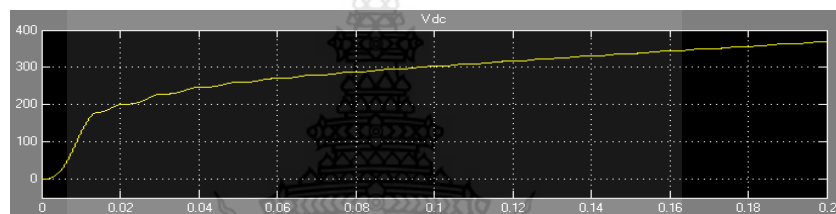
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลากังหัน (n) กับแรงบิด (T_m) ที่ความเร็วลมต่างๆ

4.4 การจำลองการทำงานของกังหันลมเชื่อมต่อบริบทกริด 1 เฟส โดยใช้เทคนิคการควบคุมกระแสฮิสเตอร์ซิสที่ความเร็วลม 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 เมตร ที่แรงบิดเพลากังหันลมสูงสุด

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที มีแรงบิดจุดที่เพลากังหันของเครื่องกำเนิดเท่ากับ 3.5 นิวตันเมตร แสดงดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4

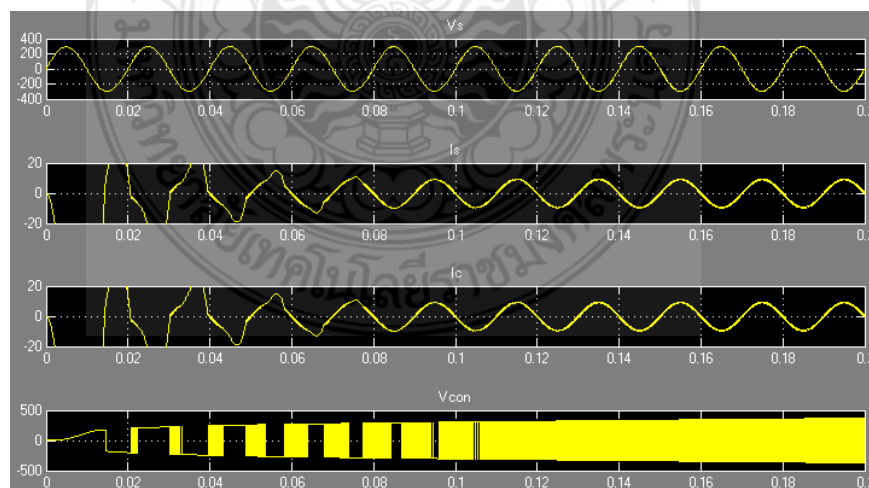


รูปที่ 4.3 ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที



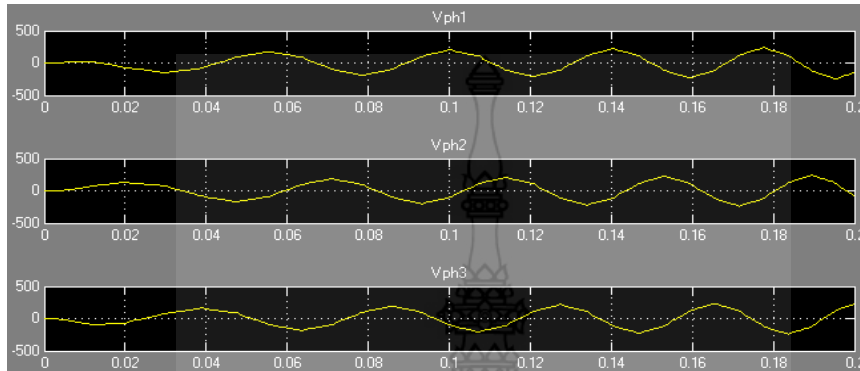
รูปที่ 4.4 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส เมื่อควบคุมให้กระแสคอนเวอร์เตอร์ไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปยังกริด ($I_{c(rms)} = I_{s(rms)}$) ผ่านหม้อแปลงอัตโนมัติ 1 เฟส มีค่าเท่ากับ 7 แอมป์ ที่ค่าแรงดันไฟตรงป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณเท่ากับ 370 โวลต์ และกำหนดขอบเขต ฮิสเตอร์รีซิส (HB) เท่ากับ 0.2 แสดงดังรูปที่ 4.5

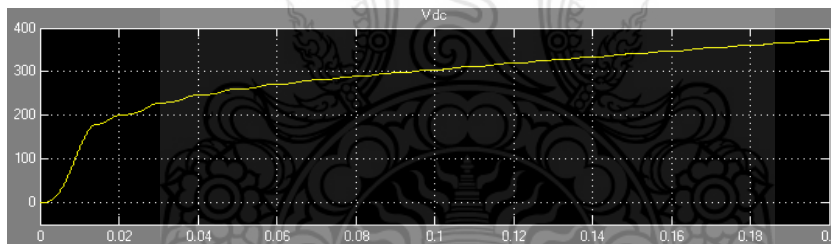


รูปที่ 4.5 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 4 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที มีแรงบิดจุดที่เพลลาของเครื่องกำเนิดเท่ากับ 5.5 นิวตันเมตร แสดงดังรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

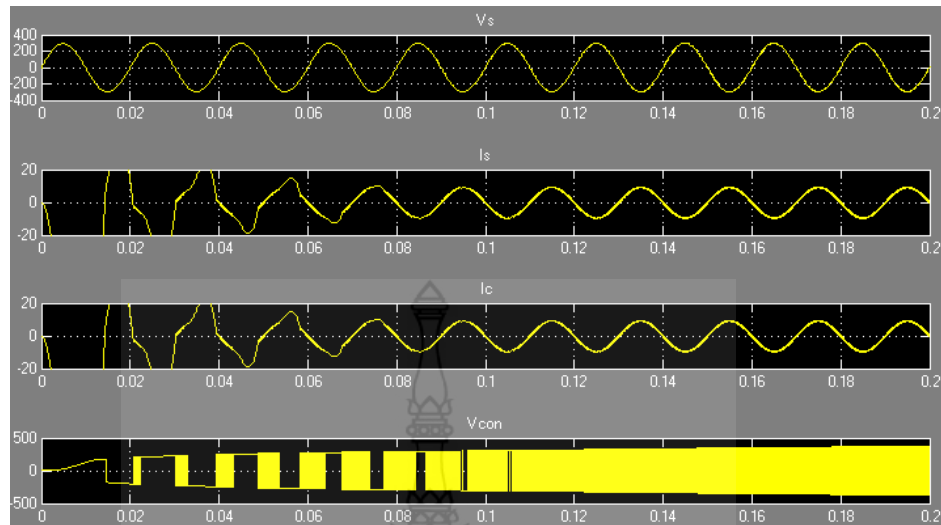


รูปที่ 4.6 ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที



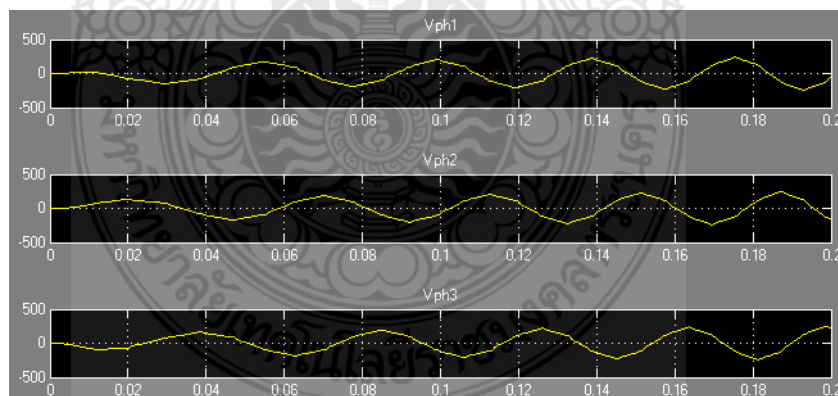
รูปที่ 4.7 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส เมื่อควบคุมให้กระแสคอนเวอร์เตอร์ไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปยังกริด ($I_{c(rms)} = I_{s(rms)}$) ผ่านหม้อแปลงอโต้ 1 เฟส มีค่าเท่ากับ 7 แอมป์ ที่ค่าแรงดันไฟตรงป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณเท่ากับ 375 โวลต์ และกำหนดขอบเขต ฮีสเตอร์ริซิส (HB) เท่ากับ 0.2 แสดงดังรูปที่ 4.8

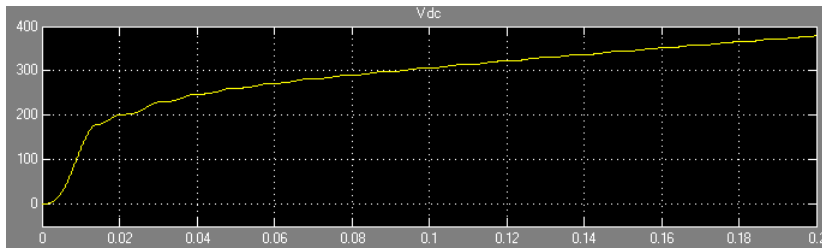


รูปที่ 4.8 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส
ที่ความเร็วลม 5 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ ที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที มีแรงบิดจุดที่เพลลาของเครื่องกำเนิดเท่ากับ 7.5 นิวตันเมตร แสดงดังรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10

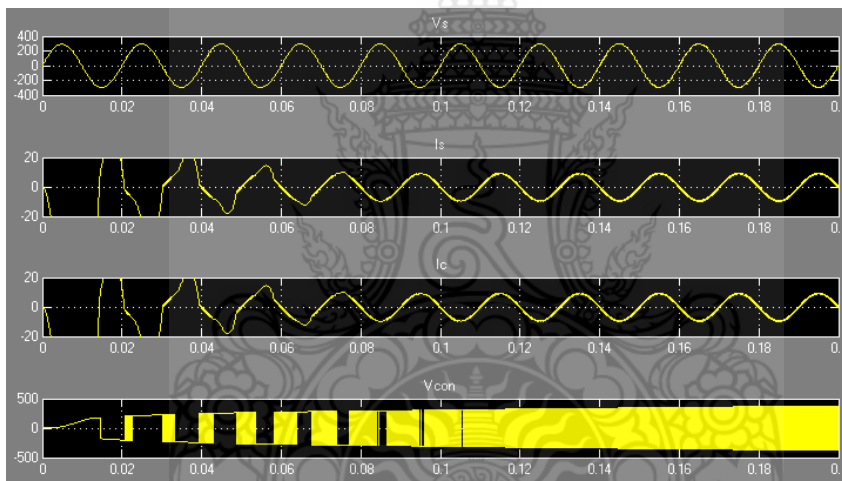


รูปที่ 4.9 ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร
ที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที



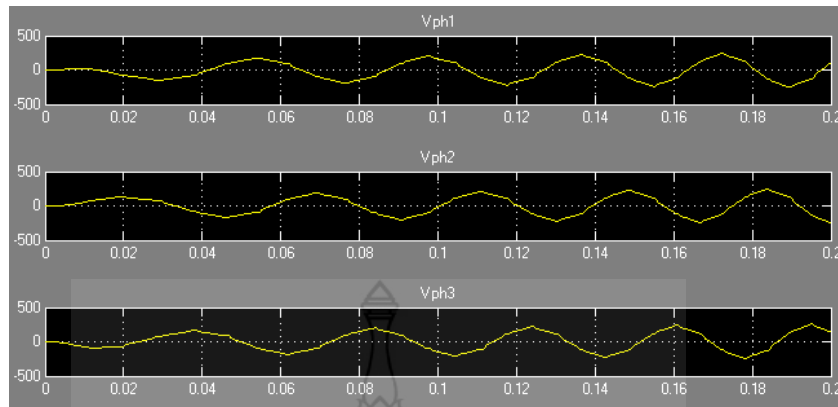
รูปที่ 4.10 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส เมื่อควบคุมให้กระแสคอนเวอร์เตอร์ไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปยังกริด ($I_{C(rms)}=I_{S(rms)}$) ผ่านหม้อแปลงอโต้ 1 เฟส มีค่าเท่ากับ 7 แอมป์ ที่ค่าแรงดันไฟตรงป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณเท่ากับ 380 โวลต์ และกำหนดขอบเขต ฮิสเตอร์ริซิส (HB) เท่ากับ 0.2 แสดงดังรูปที่ 4.11

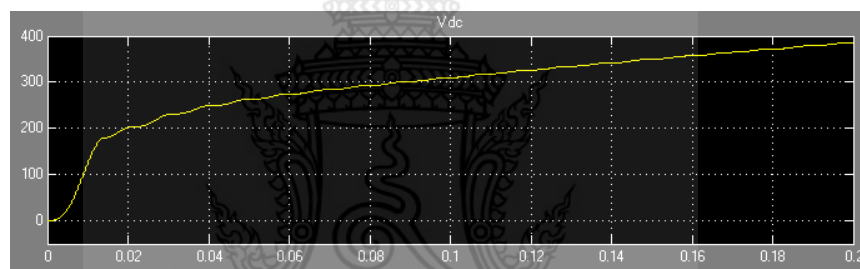


รูปที่ 4.11 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 6 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ ที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที มีแรงบิดจุดที่เพลลาของเครื่องกำเนิดเท่ากับ 10.5 นิวตันเมตร แสดงดังรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13

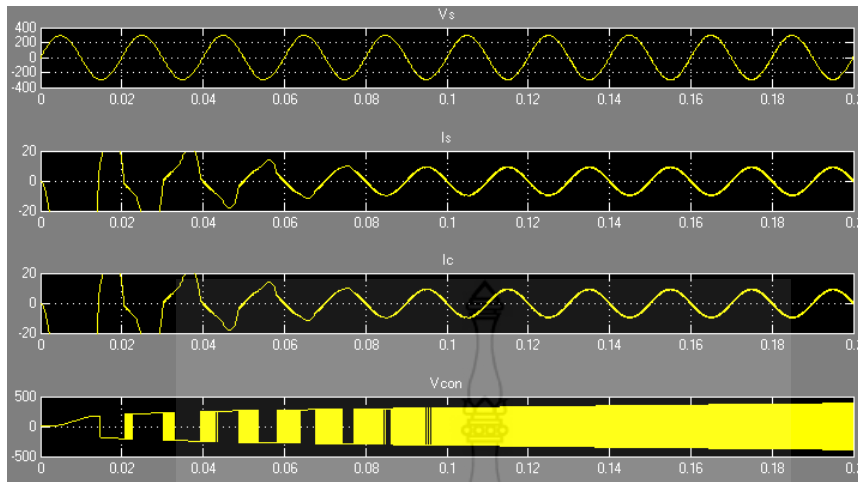


รูปที่ 4.12 ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร ที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที



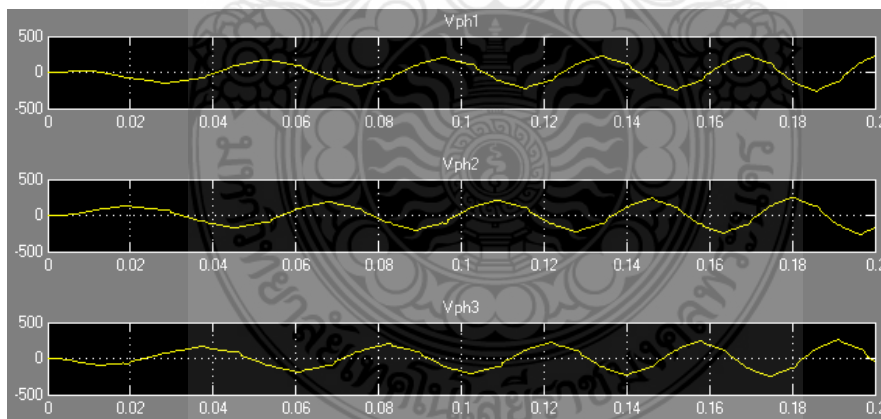
รูปที่ 4.13 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส เมื่อควบคุมให้กระแสคอนเวอร์เตอร์ไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปยังกริด ($I_{c(rms)} = I_{s(rms)}$) ผ่านหม้อแปลงอโต้ 1 เฟส มีค่าเท่ากับ 7 แอมป์ ที่ค่าแรงดันไฟตรงป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณเท่ากับ 390 โวลต์ และกำหนดขอบเขต ฮีสเตอร์ซิซ (HB) เท่ากับ 0.2 แสดงดังรูปที่ 4.14

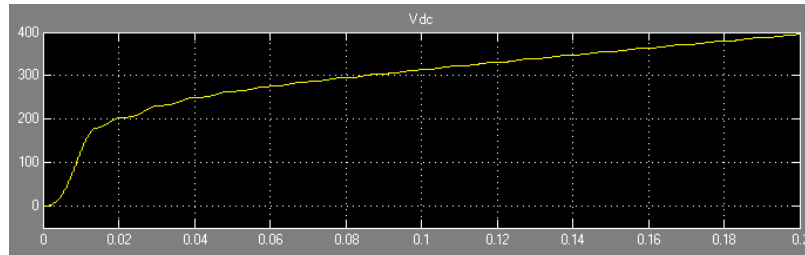


รูปที่ 4.14 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส
ที่ความเร็วลม 7 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ ที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที มีแรงบิดจุดที่เพลลาของเครื่องกำเนิดเท่ากับ 14 นิวตันเมตร แสดงดังรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16

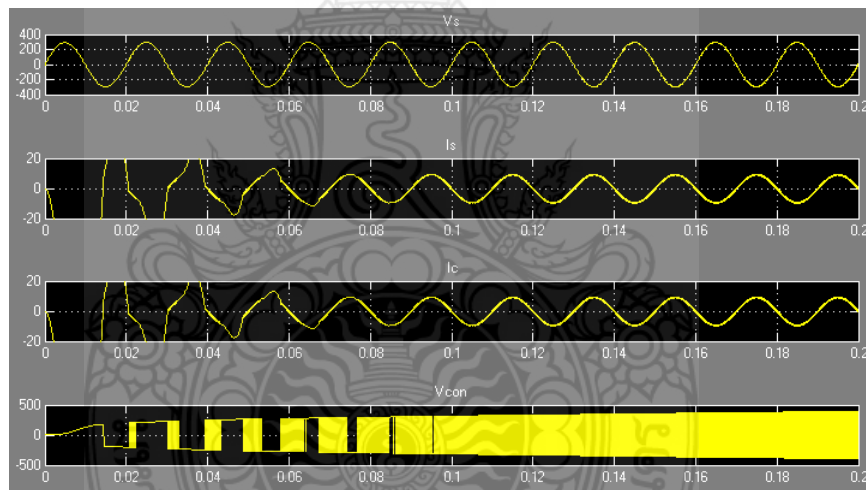


รูปที่ 4.15 ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร
ที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที



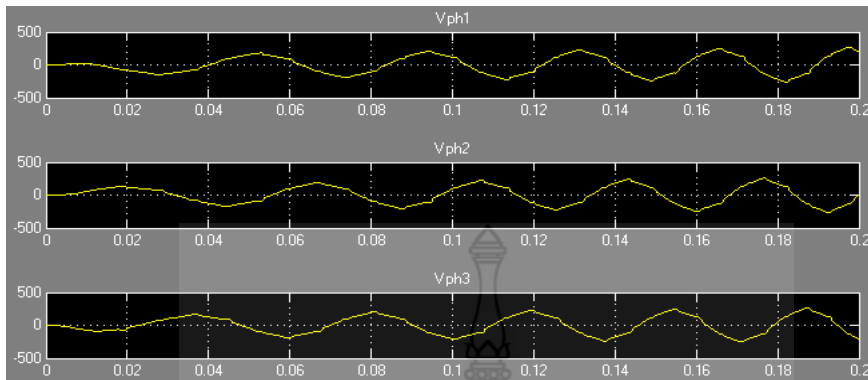
รูปที่ 4.16 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส เมื่อควบคุมให้กระแสคอนเวอร์เตอร์ไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปยังกริด ($I_{c(rms)} = I_{s(rms)}$) ผ่านหม้อแปลงอโต้ 1 เฟส มีค่าเท่ากับ 7 แอมป์ ที่ค่าแรงดันไฟตรงป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณเท่ากับ 400 โวลต์ และกำหนดขอบเขต ฮีสเตอร์ริซิส (HB) เท่ากับ 0.2 แสดงดังรูปที่ 4.17

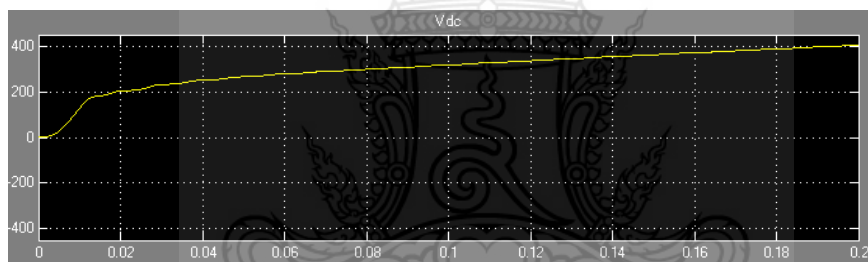


รูปที่ 4.17 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 8 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ ที่ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที มีแรงบิดจุดที่เพลลาของเครื่องกำเนิดเท่ากับ 17.5 นิวตันเมตร แสดงดังรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19

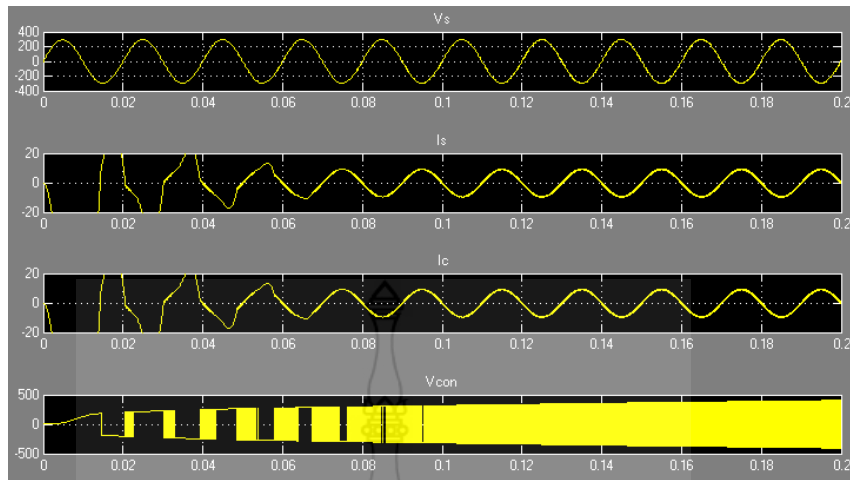


รูปที่ 4.18 ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร ที่ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที



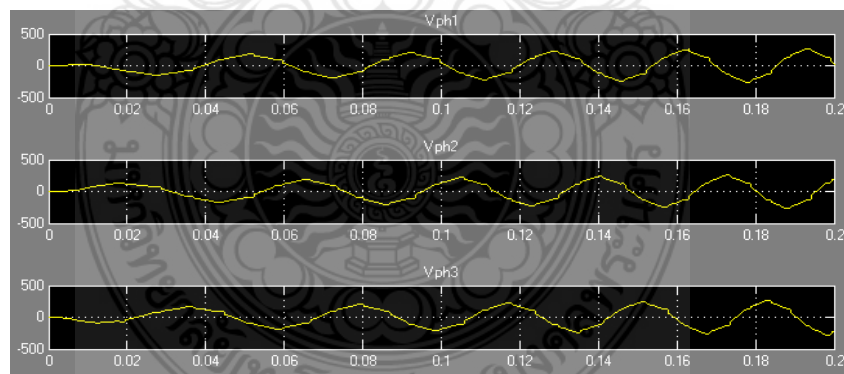
รูปที่ 4.19 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส เมื่อควบคุมให้กระแสคอนเวอร์เตอร์ไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปยังกริด ($I_{c(rms)} = I_{s(rms)}$) ผ่านหม้อแปลงอัตโนมัติ 1 เฟส มีค่าเท่ากับ 7 แอมป์ ที่ค่าแรงดันไฟตรงป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณเท่ากับ 390 โวลต์ และกำหนดขอบเขต ฮีสเตอร์ริซิส (HB) เท่ากับ 0.2 แสดงดังรูปที่ 4.20

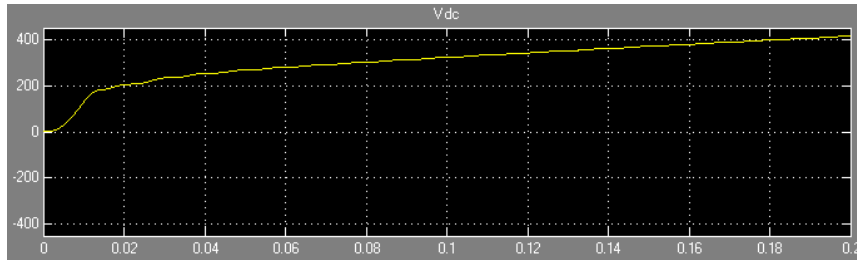


รูปที่ 4.20 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส
ที่ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ ที่ความเร็วลม 10 เมตรต่อวินาที มีแรงบิดจุดที่เพลลาของเครื่องกำเนิดเท่ากับ 21.5 นิวตันเมตร แสดงดังรูปที่ 4.21 และรูปที่ 4.22

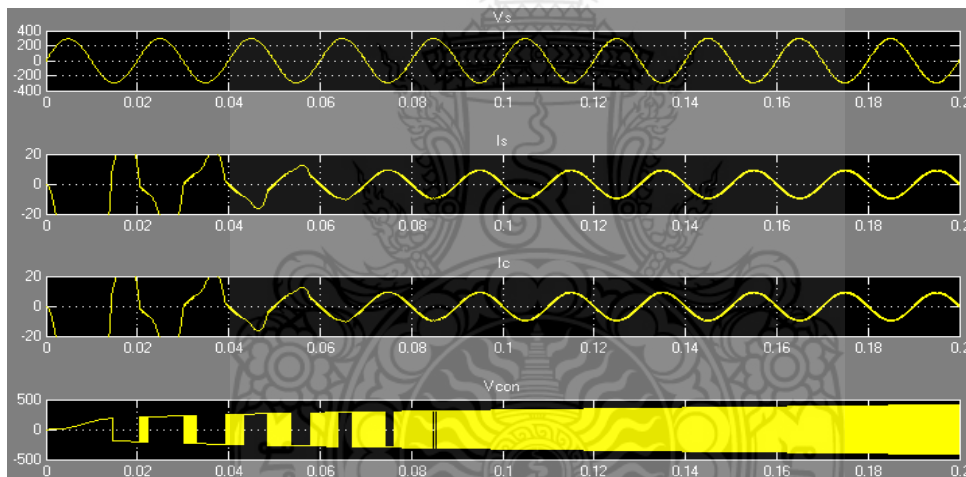


รูปที่ 4.21 ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร
ที่ความเร็วลม 10 เมตรต่อวินาที



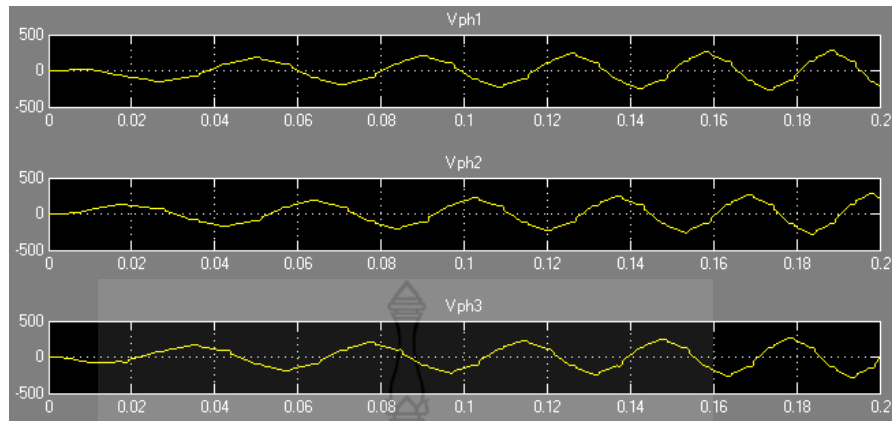
รูปที่ 4.22 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 10 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส เมื่อควบคุมให้กระแสคอนเวอร์เตอร์ไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปยังกริด ($I_{c(rms)}=I_{s(rms)}$) ผ่านหม้อแปลงอโต้ 1 เฟส มีค่าเท่ากับ 7 แอมป์ ที่ค่าแรงดันไฟตรงป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณเท่ากับ 410 โวลต์ และกำหนดขอบเขต ฮีสเตอร์ริซิส (HB) เท่ากับ 0.2 แสดงดังรูปที่ 4.23

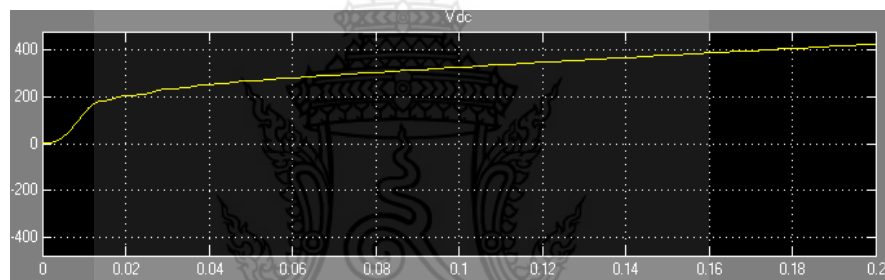


รูปที่ 4.23 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 10 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ ที่ความเร็วลม 11 เมตรต่อวินาที มีแรงบิดจุดที่เพลลาของเครื่องกำเนิดเท่ากับ 26 นิวตันเมตร แสดงดังรูปที่ 4.24 และรูปที่ 4.25

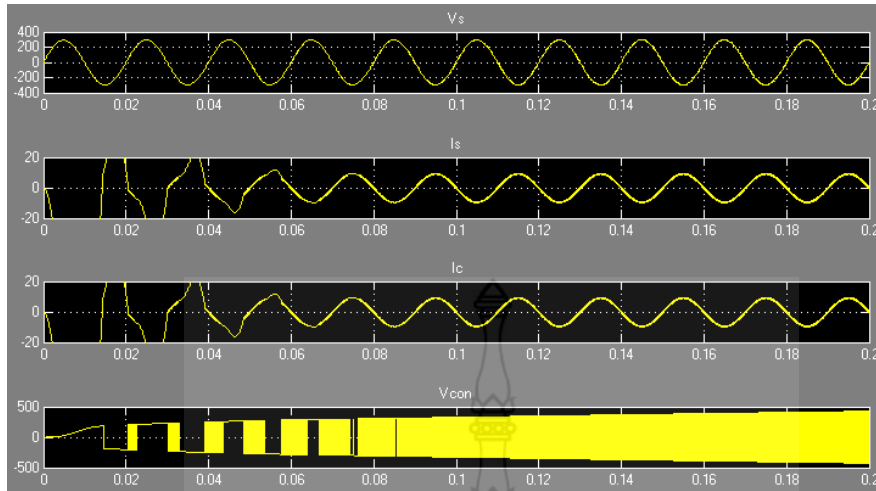


รูปที่ 4.24 ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร ที่ความเร็วลม 11 เมตรต่อวินาที



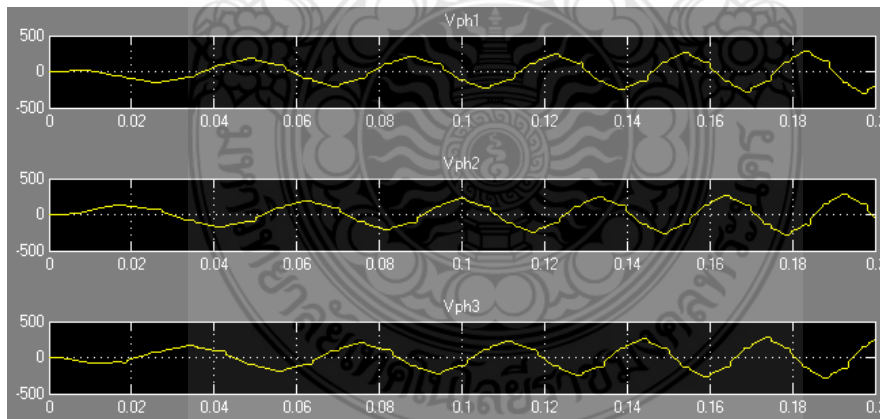
รูปที่ 4.25 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 11 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส เมื่อควบคุมให้กระแสคอนเวอร์เตอร์ไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปยังกริด ($I_{c(rms)} = I_{s(rms)}$) ผ่านหม้อแปลงอโต้ 1 เฟส มีค่าเท่ากับ 7 แอมป์ ที่ค่าแรงดันไฟตรงป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณเท่ากับ 410 โวลต์ และกำหนดขอบเขต ฮิสเตอร์รีซิส (HB) เท่ากับ 0.2 แสดงดังรูปที่ 4.26

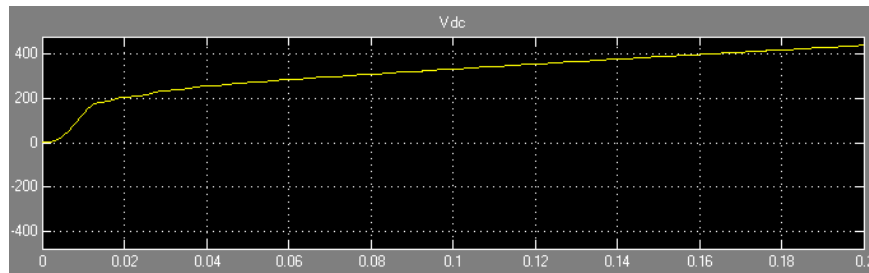


รูปที่ 4.26 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส
ที่ความเร็วลม 11 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ ที่ความเร็วลม 12 เมตรต่อวินาที มีแรงบิดจุดที่เพลลาของเครื่องกำเนิดเท่ากับ 31 นิวตันเมตร แสดงดังรูปที่ 4.27 และรูปที่ 4.28

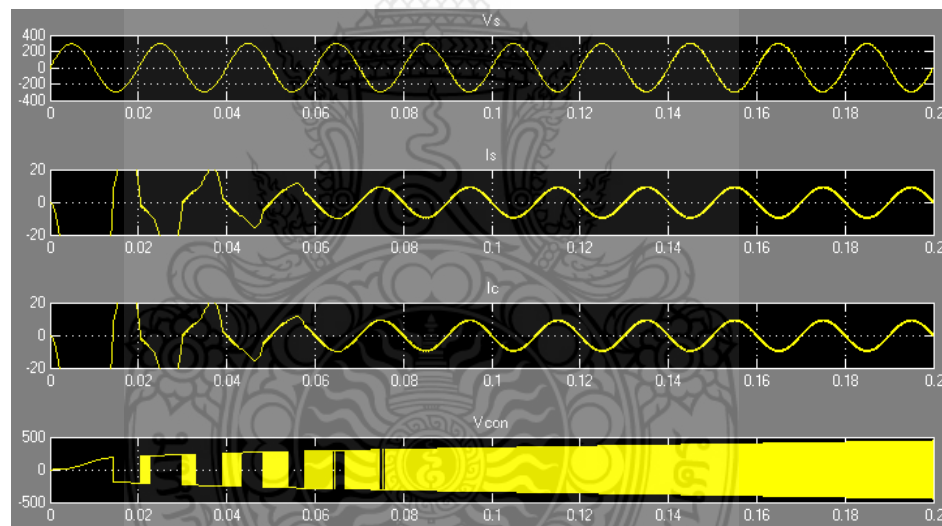


รูปที่ 4.27 ผลจำลองแรงดันแต่ละเฟสของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวร
ที่ความเร็วลม 12 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.28 ผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ความเร็วลม 12 เมตรต่อวินาที

ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะทางไฟฟ้าของการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส เมื่อควบคุมให้กระแสคอนเวอร์เตอร์ไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปยังกริด ($I_{c(rms)} = I_{s(rms)}$) ผ่านหม้อแปลงอโต้ 1 เฟส มีค่าเท่ากับ 7 แอมป์ ที่ค่าแรงดันไฟตรงป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณเท่ากับ 415 โวลต์ และกำหนดขอบเขต ฮีสเตอร์ริซิส (HB) เท่ากับ 0.2 แสดงดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส ที่ความเร็วลม 12 เมตรต่อวินาที

4.5 บทสรุป

จากผลการจำลองคุณลักษณะของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ สอดคล้องกับสมการกำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม และจากการจำลองการทำงานของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบรรยากาศไฟฟ้า 1 เฟสโดยอาศัยเทคนิคการควบคุมกระแสฮีสเตอร์ริซิสจะเห็นได้ว่าเป็นสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแอกทีฟผ่านหม้อแปลงอโต้ 1 เฟสไปยังกริดไฟฟ้า 1 เฟส โดยการควบคุมกระแสคำสั่งได้จริง ซึ่งหาก

ต่อ ยอดนำไปสร้างฮาร์ดแวร์จริงประยุกต์ใช้กับพลังงานลมก็จะทำให้ลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้า



บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ โดยพิจารณาจากข้อมูลในบทที่ 1 ถึง 7 นำมาเขียนอธิบาย ซึ่งนำมาเสนอไว้ในบทนี้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.2 สรุปผลการวิจัย

จากผลการจำลองคุณลักษณะของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ สอดคล้องกับสมการกำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม และจากการจำลองการทำงานของกังหันลมเชื่อมต่อบรรยากาศไฟฟ้า 1 เฟสผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอโต้ โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมกระแสฮีสเตอร์ซิสจะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นแรงบิดเอาต์พุตของกังหันลมก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วของเพลากรองกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรมีความเร็วเพิ่มตามความเร็วของเพลากังหันลม ส่งผลให้แรงดันไฟตรงที่ผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงที่ออกจากเครื่องกำเนิดมีค่าสูงขึ้น สามารถจ่ายกำลังคืนสู่กริดได้มากขึ้น แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีการควบคุมการจ่ายกระแสคืนสู่กริดที่ค่ากระแสแอมป์ 7 แอมป์ ดังนั้นจึงถูกจำกัดไว้ไม่ให้เกินค่าที่ตั้งไว้

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการจำลองการทำงานของกังหันลมเชื่อมต่อบรรยากาศไฟฟ้า 1 เฟสผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าแบบอโต้ โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมกระแสฮีสเตอร์ซิสจะเห็นได้ว่าสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังกริดไฟฟ้า 1 เฟส โดยการควบคุมกระแสคำสั่งได้จริง ซึ่งหากต่อยอดนำไปสร้างฮาร์ดแวร์จริงประยุกต์ใช้กับพลังงานลมก็จะทำให้ลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. L. Jou, J. C. Wu and H. Y. Chu: “New single-phase active power filter”, *IEE Electric Power Applications*, Vol.141, No.3, pp.129-134.
- [2] Baozhong Liu, Shoji Nishikata, Fujio Tatsuta and Katsumi Suzuki, “A Wind Turbine Simulator Considering Various Moments of Inertia Using a DC Motor”, International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2014.
- [3] Intissar Moussa, Adel Bouallegue and Adel Khedher, “Design and Implementation of Constant Wind Speed Turbine Emulator Using Matlab/Simulink and FPGA”, Ninth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER)
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Betz'_law.
- [7] 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.
- [8] <http://www.prapai.co.th/knowledgeview.php?nid=29>
- [9] Hossein Madadi Kojabadi, Liuchen Chang, “Development of a Novel Wind Turbine Simulator for Wind Energy Conversion Systems Using an Inverter-Controlled Induction Motor”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol.19, No. 3, September 2004.

- [10] Abdelkarim Masmoudi, Lotfi Krichen, Abderrazak Ouali, “Voltage control of a variable speed wind turbine connected to an isolated load: Experimental study”, Energy Conversion and Management 59 (2012) pp.19-26.



ภาคผนวก

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่





การประชุมวิชาการ
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 3

The 3rd RMUTP Conference on Engineering and Technology

“การพัฒนางานวิจัย สิ่งประดิษฐ์ นวัตกรรม
ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ในยุคอุตสาหกรรม 4.0”

23 มีนาคม 2561

ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มท.พระนคร ครั้งที่ 3

Proceedings of the 3rd RMUTP Conference on Engineering and Technology



รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า		
EE01 (บทความดีเด่น)	เครื่องจำลองกังหันลมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและโปรแกรมแลปวิว <i>พงษ์ศิลป์ แก้วรัตนศรีโพธิ์ และ ชัชวาลย์ เยรบบุตร</i>	45
EE02 (บทความรับเชิญ)	พฤติกรรมการณ์เคลื่อนที่ของเซลล์เลือดภายใต้แรงไดอิเล็กโตรโฟรีติกในอุปกรณ์ ของไหลจุลภาค <i>นิติพงศ์ ปานกลาง และ บุญชัย เตชะอำนาจ</i>	49
EE03 (บทความชมเชย)	การตรวจลำดับเฟสไฟฟ้าด้วยเครื่องชี้ลำดับเฟสชนิดอยู่กับที่ <i>ภาณุพล บัณฑิตชัยนันท</i>	53
EE04	การทดสอบอุปกรณ์เก็บเกี่ยวพลังงานทดแทนขนาดจิ๋วสำหรับอุปกรณ์สื่อสาร ข้อมูลแบบไร้สาย <i>อรุณ ศิริภัทรวรินทร์ ธงชัย มณีชูเกตุ อรรถชัย แสงโย และ ปริญ คงกระพันธ์</i>	57
EE05	การควบคุมอุณหภูมิหลอด RGB LED กำลังสูง 80 วัตต์ด้วยเทคนิคเทอร์โมอิเล็ก ทรอนิกส์ร่วมกับระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว <i>ประดิษฐ์ นิลรัตน์ ปริญ คงกระพันธ์ ชวโรจน์ ใจสิน และ ธงชัย มณีชูเกตุ</i>	61
EE06	การจำลองกังหันลมเชื่อมต่อระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส <i>พูนศรี วรรณการ และ พนา ดุสิตาการ</i>	65
EE07	ระบบจำลองแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการออกแบบ และการติดตั้งระบบ <i>พลิชฐ์ สุวรรณภิงคาร ณิชภัทร วรดิถี สุพรรณษา คงชื่นสิน และ สุวัชรพงศ์ มีจิตต์</i>	69
EE08	กลยุทธ์การประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็นด้วยการจัดการระบบละลายน้ำแข็ง <i>นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ และ มนัส บุญเกียรติทอง</i>	73
EE09	การสร้างชุดทดสอบความคงทนไดอิเล็กทริกต่อไฟฟ้าแรงดันสูงของฉนวนไฟฟ้า <i>ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว ชนนท์ ดิสสะมาน จีรวรรธน์ เกตุเหม และ สุดาพร คุ่มทวีวุฒิ</i>	77
EE10	การป้องกันแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลของระบบกริดไฟฟ้าขนส่งมวลชน : กรณีเชื่อมต่อ ระบบไฟฟ้าแบบสก็อต <i>ศรัณย์ ลัคนาพาชินกุล สาคร วุฒิพัฒน์พันธ์ และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ</i>	81
สาขาวิศวกรรมโยธา		
CE01 (บทความดีเด่น)	ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำไหลลงเขื่อนอุบลรัตน์ <i>สาธิต ภูผิวคำ และ เฉลิมชัย พาวพัฒนา</i>	85
CE02 (บทความชมเชย)	การศึกษาแนวโน้มปริมาณฝนรายปีด้วยวิธีทางสถิติในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร <i>ขวัญชนก อุนทะอ่อน วิมลรรศนา ณ สงขลา วิลาวัลย์ แก้วสินชัย ศิวกร ทัดไทย และ ธีญญะ ประสูติเสน</i>	89

การจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบรรบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส

Wind Turbine Simulation for Connected Single Phase Grid System

พูนศรี วรรณการ และ พนา ดุสิตากร

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

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

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับการจำลองกังหันลมเชื่อมต่อบรรบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมกระแสฮิสเตอร์ริซิส เพื่อสร้างสัญญาณที่ดับลิ่วเอ็มควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสชนิดจ่ายแรงดัน การจำลองระบบที่นำเสนอใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการจำลองกังหันลมที่เชื่อมต่อกับเพลาเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ จากนั้นนำไฟตรงที่ได้ไปจ่ายเข้ากับวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ซึ่งต่อกับหม้อแปลงออโต้ 1 เฟส เพื่อทำหน้าที่ส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าคืนสู่ระบบกริด 1 เฟส

คำสำคัญ: ฮิสเตอร์ริซิส, ฟิลลิปลิ่วเอ็ม, 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 โดยการออกแบบกังหันลมจะต้องอาศัยความรู้ทางพลศาสตร์ของลมและหลักวิศวกรรมในแขนงต่าง ๆ เพื่อให้ได้กำลังงาน พลังงาน และประสิทธิภาพสูงสุด โดยทั่วไปกังหันลมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด[1] ตามแกนหมุนของกังหันลม ได้แก่ กังหันลมแกนหมุนแนวตั้ง และกังหันลมแกนหมุนแนวนอน ซึ่งทั้งสองชนิดจะประกอบด้วยอุปกรณ์ในการทำงานผลิตไฟฟ้าที่คล้ายกัน เช่น ชุดใบพัด ชุดห้องเกียร์ทดกำลัง ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และชุดเสา โดยจะมีความแตกต่างกันตรงการวางชุดแกนหมุนใบพัด ขนาดของกังหันลมผลิตไฟฟ้า ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการใช้งาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดกำลังผลิตไฟฟ้า (Capacity) เส้นผ่านศูนย์กลางใบพัด (Rotor Diameter) และพื้นที่กวาดของใบพัด (Swept Area) ของกังหันลมผลิตไฟฟ้ารุ่นนั้นๆ ดังแสดงขนาดของกังหันลมในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงขนาดของกังหันลมต่างๆ

ขนาดของกังหันลม	ขนาดกำลังผลิต (kW)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	พื้นที่กวาด (m ²)
ขนาดจิ๋ว (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
ขนาดใหญ่่มาก (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 และความเร็วลมที่ปะทะใบกังหัน[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

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

สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลมตามกฎของเบตซ์(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

และจากสูตรการแปลงกำลังทางกลเป็นกำลังทางไฟฟ้าดังสมการที่ (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

ดังนั้นหาแรงบิดเอาต์พุตที่เพลาโรเตอร์ของกังหันลม (T_{turb}) ได้จากการแทนค่ากำลังที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม (P_{turb}) ในสมการที่ (1) หาด้วยความเร็วเชิงมุมที่เพลาของโรเตอร์กังหันลมหมุน (ω_r) จะได้

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

โดยความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แรงบิดและสัมประสิทธิ์กำลังกับอัตราส่วนความเร็วปลายใบพัดเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (7)

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

เมื่อ

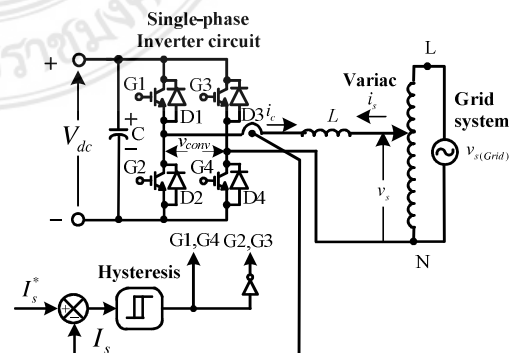
$C_T(\lambda)$ คือ สัมประสิทธิ์แรงบิดของกังหันลม

$C_p(\lambda)$ คือ สัมประสิทธิ์กำลังของกังหันลม

λ คือ อัตราส่วนความเร็วปลายใบพัด

3. หลักการควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮีสเตอร์รีซิสในการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

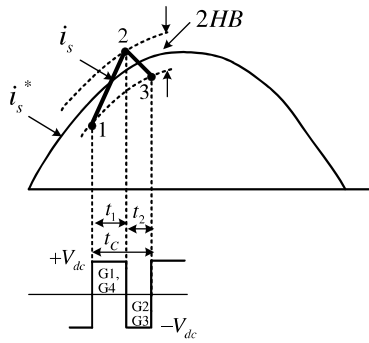
การนำเทคนิคการควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮีสเตอร์รีซิส(HB) มาใช้ในการควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสในการจ่ายกระแสไปยังระบบกริดไฟฟ้า 1 เฟส แสดงดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 แสดงกระแสจริงติดตามกระแสอ้างอิงภายในขอบเขตฮีสเตอร์รีซิส



รูปที่ 1 การควบคุมกระแสแบบติดตามขอบเขตฮีสเตอร์รีซิสในวงจรอินเวอร์เตอร์ 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 สวิตช์ไอจีบีที G1, G4 นำกระแส ส่วนสวิตช์ไอจีบีที G2, G3 ไม่นำกระแส และในช่วงเวลา t_2 สวิตช์ไอจีบีที G2, G3 นำกระแส ส่วนสวิตช์ไอจีบีที G1, G4 ไม่นำกระแส โดยตัว L คือตัวเหนี่ยวนำที่ต่อเชื่อมระหว่างอินเวอร์เตอร์กับแหล่งจ่ายกริด 1 เฟส โดยความถี่สวิตช์ซึ่งสูงสุด ที่ $\omega t = 0, \pi$ ทำให้ $v_s = 0$ จะได้

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

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

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

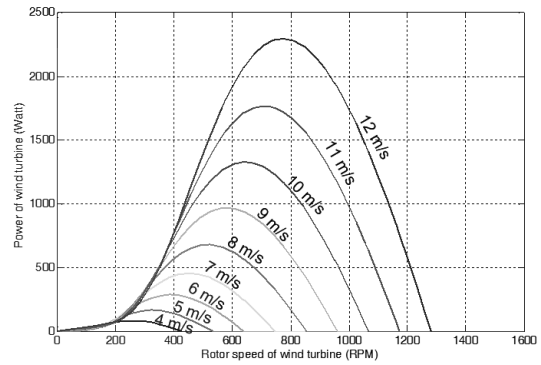
เมื่อ

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

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

4. ผลการจำลอง

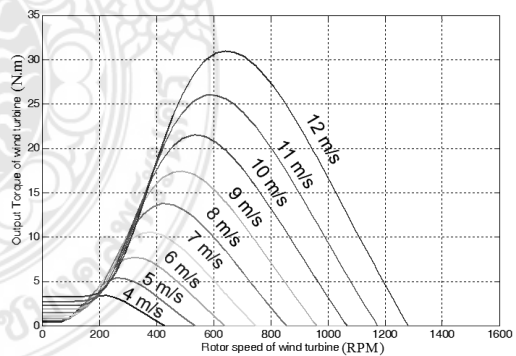
ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ ที่กำหนดให้มีรัศมีใบพัดเท่ากับ 1.2 เมตร เมื่อดูความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลากังหัน (n) กับกำลังทางกล (P_m) ที่ความเร็วลมต่างๆ แสดงดังรูปที่ 3



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

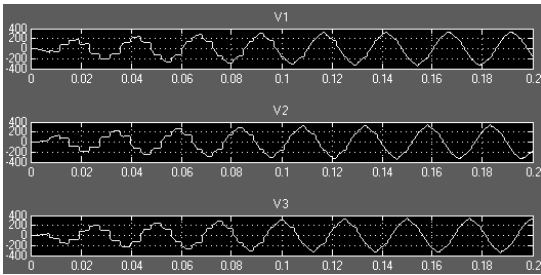


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเพลากังหัน (n) กับแรงบิด (T_m) ที่ความเร็วลมต่างๆ

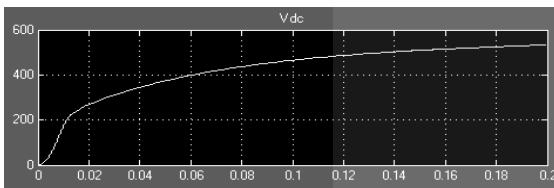
ในการจำลองศึกษาคุณลักษณะการทำงานของเครื่องกำเนิด 3 เฟสแบบแม่เหล็กถาวรเป็นตัวผลิตไฟฟ้ากระแสสลับแล้วนำไปผ่านวงจรแปลงไฟสลับเป็นไฟตรงแบบฟูลบริดจ์ ที่มีความเร็วรอบจุดที่เพลาลงเครื่องกำเนิดเท่ากับ 600 รอบต่อนาที ที่ความเร็วลม 9 เมตรต่อวินาที มีแรงบิดจุดที่เพลาลงเครื่องกำเนิดเท่ากับ 15 นิวตันเมตร แสดงดังรูปที่ 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 แอมป์ ที่ค่าแรงดันไฟตรงป้อนเข้าอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณเท่ากับ 350 โวลต์ และกำหนดขอบเขตสวิตชิ่งซีดีเอส (HB) เท่ากับ 0.2 แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการจำลองการเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์เข้ากับกริดไฟฟ้า 1 เฟส

5. สรุป

จากผลการจำลองคุณลักษณะของกังหันลมที่ความเร็วลมต่างๆ สอดคล้องกับสมการกำลังทางกลที่เกิดขึ้นที่ใบพัดกังหันลม และจากการจำลองการทำงานของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบริกริดไฟฟ้า 1 เฟส โดยอาศัยเทคนิคการควบคุมกระแสสวิตชิ่งซีดีเอสจะเห็นได้ว่าสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแอกทีฟไปยังกริดไฟฟ้า 1 เฟส โดยการควบคุมกระแสคำสั่งได้จริง ซึ่งหากต่อยอดนำไปสร้างฮาร์ดแวร์จริงประยุกต์ใช้กับพลังงานลมก็จะช่วยลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้า

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. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทำงานวิจัยด้านเครื่องกลไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์กำลัง พลังงานทดแทน และการขับเคลื่อนไฟฟ้า



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



การประชุมวิชาการ
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มท.พร:มท. ครั้งที่ 3
ISBN 978-974-625-794-7
9 789746 257947

The 3rd RMUTP Conference on Engineering and Technology

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล นายพูนศรี วรรณการ
วัน เดือน ปีเกิด 2 สิงหาคม 2515 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ 336 หมู่ 7 ตำบลบ้านเป็ด อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000
เบอร์โทรศัพท์ 086-004-9952

ประวัติการศึกษา 2537 อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
วิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
2553 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
2549 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ความชำนาญเฉพาะด้าน 1) เครื่องกลไฟฟ้า
2) อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
3) การขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2537-2540 ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

พ.ศ.2540-2558 ตำแหน่งอาจารย์ประจำสาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ.2558-ปัจจุบัน ตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร