

# เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

## INDUCTION GENERATOR



นายกนกภูมิ เรียนใจดี  
นายกิตติกร กิตติโรจนเสถียร  
นายกิตติพัฒน์ หน่อคำ  
นายจามร ภักดิ์ศรีแพง

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน... 45954  
จัน, เดือน, ปี 26 ก.พ. 2546

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2544

ปีการศึกษา 2544

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

INDUCTION GENERATOR



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.พิชิต ล้ำยอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ผู้จัดทำ

1. นายกนกภูมิ เรียนใจดี
2. นายกิตติกร กิตติโรจนเสถียร
3. นายกิติพัฒน์ หน่อคำ
4. นายจามร ภักดิ์ศรีแพง

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.พิชิต ถ้ายอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

นายกณภูมิ เรียนใจดี  
นายกิตติกร กิตติโรจนเสถียร  
นายกิตติพัฒน์ หน่อคำ  
นายจามร ภักดีศรีแพง  
ผศ.พิชิต ถ้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2544

## บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดประสงค์ เพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แสดงสภาวะการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และทำการศึกษาเมื่อมีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยการควบคุมจากอินเวอร์เตอร์ที่มีขายในท้องตลาดที่นำมาทำการตัดแปลงเพื่อที่จะสามารถมีการคืนกำลังงานจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาผ่านอินเวอร์เตอร์ที่ตัดแปลงนั้นแล้วเก็บเข้าแบตเตอรี่ได้ ในการทดลองการคืนกำลังงานในส่วนนี้เราจะต้องพิจารณาหาจุดทำงานที่เหมาะสมที่จะสมควรควบคุมให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานในจุดที่ให้กำลังงานออกมาเหมาะสมที่สุด แล้วนำมาออกแบบระบบควบคุม ซึ่งในส่วนระบบควบคุมที่นำมาใช้ควบคุมให้อินเวอร์เตอร์ทำงานปรับความถี่ที่เหมาะสมนั้น จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ามาช่วยในการตัดสินใจหาจุดทำงานที่เหมาะสมหลังจากนั้นจึงนำสิ่งที่ได้ศึกษาทั้งหมดนำมาประยุกต์ใช้งานจริง โดยนำมาทดลองใช้จริงกับกังหันลม

# INDUCTION GENERATOR

Kanokphum Rianjaidee  
Kittikorn Kittirotnasatien  
Kitipat Norkum  
Jamorn Pakseepaeng  
Asst.Prof. Pichit Lumyong Advisor  
2001

## ABSTRACT

The objective of this thesis is studying about behavior of induction machine in induction generator mode and we study when induction machine is supplied power through inverter. The inverter which we use exist in any commercial and then we improve for regenerative power to battery. In part of experiment regenerative power through inverter we have to consider the optimum operating point of induction generator, that is induction generator can supply maximum power in every rotor speed and overall system is not harmful. Then we have consider about control system which we use microcontroller MCS-51 control inverter and find optimum point. After that we bring the overall system which we had studied to apply with wind turbine.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์เนื่องจากได้รับความกรุณาจากท่านผู้มีพระคุณต่อไปนี้

1. ผศ.พิชิต ถ้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ ของโครงการ ทั้งยังคอยแนะนำสิ่งต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อไปในอนาคตภายภาคหน้า
2. รศ.ดร.ถวิล พึ่งมา คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเป็นผู้ให้ความอนุเคราะห์ห่มอบกัณฑ์ลมให้ใช้ในโครงการ รวมทั้งสถานที่ที่ติดตั้งชิ้นงาน
3. นายวรชาติ แซ่ก๊ก นักศึกษาปริญญาโทคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ที่สามารถแนะนำได้
4. นายเฉลิมชัย คงมันประกายกิจ นักศึกษาปริญญาโทคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ที่สามารถแนะนำได้
5. นายเชษฐา สิริมัย นายช่างเทคนิคประจำศูนย์บริการและพัฒนานวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ที่สามารถแนะนำได้
6. สมาชิกชมรมศิลปะและวัฒนธรรมอีสานทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในส่วนของกัณฑ์

ศูนย์บริการและพัฒนานวัตกรรมที่คอยให้ความช่วยเหลือในการให้เบิกอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ ไปใช้ในการทำโครงการ สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ที่ยังไม่ได้กล่าวถึงอีกมากมาย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 ขอบเขตของ โครงการงาน	2
1.3 การพิจารณาการเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เมื่อเปรียบเทียบกับ เครื่องจักรเครื่องไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องจักรซิงโครนัสที่ใช้ในโครงการงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการต่างๆ	3
2.1 หลักการเกิดสนามแม่เหล็กหมุน	3
2.2 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	3
2.3 ประสิทธิภาพ	5
2.4 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	6
บทที่ 3 การนำอินเวอร์เตอร์มาประยุกต์ใช้งานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	7
3.1 โครงสร้างและการทำงานของอินเวอร์เตอร์	7
3.2 การนำอินเวอร์เตอร์มาใช้งานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	9
บทที่ 4 กังหันลม	11
4.1 บทนำ	11
4.2 กังหันลม	11
4.3 ประสิทธิภาพของกังหันลม	13
4.4 การเลือกสถานที่ตั้งกังหัน	14
4.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานลม	15
บทที่ 5 ความรู้พื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	20
5.1 บทนำ	20
5.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 โครงสร้างหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	22
5.4 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ	22
5.5 ชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	24
5.6 การประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์กับกังหันลม	25
5.7 ระบบการทำงานของชุด Wind Generator	26
บทที่ 6 วงจรสมมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	27
6.1 บทนำ	27
6.2 การทดสอบสถานะไว้ภาวะ	27
6.3 การทดสอบโดยการยึดโรเตอร์	28
6.4 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าของวงจรสมมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	28
บทที่ 7 การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	48
7.1 บทนำ	48
7.2 การทดลองคืนพลังงาน	48
บทที่ 8 สรุปผลและวิจารณ์	67
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก ก	70
โปรแกรมควบคุมการทำงาน INDUCTION GENERATOR	71
ภาคผนวก ข	77
กังหันและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโครงการ	78

# สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เส้นกราฟคุณลักษณะ แรงบิด – ความเร็วของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	4
รูปที่ 2.2 การไหลของกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	6
รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	6
รูปที่ 3.1 ภาคคอนเวอร์เตอร์	7
รูปที่ 3.2 วงจรภาคอินเวอร์เตอร์	8
รูปที่ 3.3 การดัดแปลงอินเวอร์เตอร์ที่ใส่ทั่วไปให้สามารถคืนกำลังงานเข้าที่แบคเตอร์	10
รูปที่ 4.1 Chart A	18
รูปที่ 4.2 Chart B	19
รูปที่ 5.1 แสดงขาต่างๆ ของ MCS-51	20
รูปที่ 5.2 ระบบการทำงานของ Wind Generator	26
รูปที่ 6.1 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles	33
รูปที่ 6.2 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles	33
รูปที่ 6.3 กราฟของกำลังงานลบด้วยค่าความสูญเสียที่สเตเตอร์กับแรงดันกำลังสองในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles	34
รูปที่ 6.4 กราฟของความเร็วกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles	34
รูปที่ 6.5 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 6 poles	37
รูปที่ 6.6 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 6 poles	37
รูปที่ 6.7 กราฟของกำลังงานลบด้วยค่าความสูญเสียที่สเตเตอร์กับแรงดันกำลังสองในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 6 poles	38
รูปที่ 6.8 กราฟของความเร็วกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 6 poles	38
รูปที่ 6.9 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 12 poles	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 6.10 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 12 poles	41
รูปที่ 6.11 กราฟของกำลังงานลบด้วยค่าความสูญเสียที่สเตเตอร์กับแรงดันกำลังสองในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 12 poles	42
รูปที่ 6.12 กราฟของความเร็วกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 12 poles	42
รูปที่ 6.13 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles พันเป็น 12 pole	45
รูปที่ 6.14 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles พันเป็น 12 poles	45
รูปที่ 6.15 กราฟของกำลังงานลบด้วยค่าความสูญเสียที่สเตเตอร์กับแรงดันกำลังสองในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles พันเป็น 12 poles	46
รูปที่ 6.16 กราฟของความเร็วกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles พันเป็น 12 poles	46
รูปที่ 7.1 รูปการทดลองคืนพลังงานหาจุดคืนพลังงานที่ความเร็วลมต่ำสุด	48
รูปที่ 7.2 การทดลองเปรียบเทียบการคืนพลังงานของ มอเตอร์ขนาด 4 poles และ 6 poles	53
รูปที่ 7.3 กราฟความเร็วโรเตอร์กับกำลังงานที่เริ่มจ่ายคืนเบตเตอร์	60
รูปที่ 7.4 กราฟเปรียบเทียบความเร็วโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 4 Poles และ 6 Poles กับการคืนกำลังงานสูงสุดที่กระแสพิคก	64
รูปที่ 7.5 กราฟความเร็วโรเตอร์กับกระแสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 4 Poles คืนกำลังงานได้สูงที่สุดที่ไม่เกินพิคกกระแส	65
รูปที่ 7.6 กราฟความเร็วโรเตอร์กับกระแสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 6 Poles คืนกำลังได้สูงที่สุดที่พิคกกระแส	66
รูปที่ ข.1 กังหันลมที่ใช้ในโครงการ	78
รูปที่ ข.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีการต่อใช้งานจริงกับกังหัน	78

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1	เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของกังหันแบบที่มีจำนวนใบมาก	12
ตารางที่ 4.2	ลักษณะของลมและผลกระทบ	14
ตารางที่ 5.1	ลักษณะการทำงานของพอร์ท 3	21
ตารางที่ 5.2	สภาวะการทำงานของ PSW บิตต่างๆ	22
ตารางที่ 6.1	ผลการทดสอบสภาวะไร้ภาระของมอเตอร์ 4 poles	31
ตารางที่ 6.2	ผลการทดสอบการยึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 4 poles	32
ตารางที่ 6.3	ผลการทดสอบ V-I Method ของมอเตอร์ 4 poles	32
ตารางที่ 6.4	ผลการทดสอบสภาวะไร้ภาระของมอเตอร์ 6 poles	35
ตารางที่ 6.5	ผลการทดสอบการยึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 6 poles	36
ตารางที่ 6.6	ผลการทดสอบ V-I Method ของมอเตอร์ 6 poles	36
ตารางที่ 6.7	ผลการทดสอบสภาวะไร้ภาระของมอเตอร์ 12 poles	39
ตารางที่ 6.8	ผลการทดสอบการยึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 12 poles	40
ตารางที่ 6.9	ผลการทดสอบ V-I Method ของมอเตอร์ 12 poles	40
ตารางที่ 6.10	ผลการทดสอบสภาวะไร้ภาระของมอเตอร์ 4 poles พันเป็น 12 poles	43
ตารางที่ 6.11	ผลการทดสอบการยึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 4 poles พันเป็น 12 poles	44
ตารางที่ 6.12	ผลการทดสอบ V-I Method ของมอเตอร์ 4 poles พันเป็น 12 poles	44
ตารางที่ 6.13	ค่าEquivalent Circuit-ของมอเตอร์ชนิดต่างๆ	47
ตารางที่ 7.1	ผลการทดลองการหาความเร็วต้นกำลังต่ำสุดที่ทำให้เครื่องจักรกล ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้ง 4 ชนิด	51
ตารางที่ 7.2	ผลการทดลองการเปรียบเทียบการเริ่มขึ้นพลังงานของเครื่องจักรกล ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 4 Poles ที่ความเร็วต้นกำลังต่างๆ โดยวัดจากจุดที่กำลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกับ ศูนย์	56
ตารางที่ 7.3	ผลการทดลองการเปรียบเทียบการเริ่มขึ้นพลังงานของเครื่องจักรกล ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 6 Poles ที่ความเร็วต้นกำลังต่างๆ โดยวัดจากจุดที่กำลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกับ ศูนย์	57
ตารางที่ 7.4	การทดลองการเริ่มขึ้นพลังงานลงเบตเตอร์ของเครื่องจักรกล ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 4 Poles โดยวัดจากกระแสเริ่มชาร์จเบตเตอร์เป็น 0.01 A	58

## สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 7.5 การทดลองการเริ่มขึ้นพลังงานลงแบตเตอรี่ของเครื่องจักรกล ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 6 Poles โดยวัดจากกระแสเริ่มชาร์จแบตเตอรี่เป็น 0.01 A	59
ตารางที่ 7.6 ผลการทดลองการคืนกำลังงานสูงสุดของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 4 Poles	61
ตารางที่ 7.7 ผลการทดลองการคืนกำลังงานสูงสุดของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 6 Poles	62
ตารางที่ 7.8 ค่ากำลังงานในการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกับกังหันลม	66



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำ

พลังงานมีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมวลมนุษยชาติ แต่ในปัจจุบันพบว่าแหล่งพลังงาน เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน มีแนวโน้มที่จะหมดและเกิดการขาดแคลน จึงมีความคิดที่จะนำแหล่งพลังงานจากธรรมชาติที่ใช้ได้ไม่มีวันหมดอย่างเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ และ พลังงานลม มาใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะพลังงานลมสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ง่าย ด้วยการนำพลังงานลมไปหมุนกังหันเพื่อนำมาขับเคลื่อนเครื่องจักร ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแล้วนำพลังงานที่ได้ไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ เนื่องจากเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีข้อได้เปรียบกว่าเครื่องจักรชนิดอื่น ทั้งนี้ การหาแหล่งพลังงานทดแทนมีการพัฒนาเป็นอย่างมาก ในอนาคตจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการคืนกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งขับเคลื่อนด้วยพลังงานลมจากธรรมชาติ

โครงการนี้จะทำการศึกษาการทำงานของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำในสถานะที่ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยเริ่มจากการทดสอบหาค่าวงจรมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อมาคำนวณหาค่าต่างๆ ในหัวข้อต่อไปจะทำการศึกษาการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีการควบคุมโดยอินเวอร์เตอร์ที่ขายตามท้องตลาด แล้วนำมาดัดแปลงเพื่อให้สามารถเก็บกำลังงานที่ได้จากสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการจ่ายกำลังงานคืนสู่แบตเตอรี่ได้อย่างเหมาะสม จากนั้นทำการทดสอบการนำกังหันลมไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยใช้เกียร์ทดเพื่อเพิ่มความเร็วในการขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เปรียบเทียบการจ่ายกำลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ที่แท้จริง รวมทั้งความสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ให้ทำงานในจุดที่เหมาะสม

## 1.2 ขอบเขตของโครงการ

- ศึกษาในทฤษฎีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในการจ่ายกำลังงานคืนผ่านอินเวอร์เตอร์ แล้วเก็บเข้าแบตเตอรี่นั้นได้อย่างเหมาะสมที่สุด ในส่วนของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการทดสอบได้ใช้อินเวอร์เตอร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปเพราะเราไม่ได้มุ่งเน้นในส่วนของการทำอินเวอร์เตอร์ในการศึกษาในหัวข้อนี้ทำการทดลองว่าในจุดใดเป็นจุดที่เหมาะสม

- ส่วนในการศึกษาในการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำงานผ่านอินเวอร์เตอร์นั้น ได้ทำการศึกษาอีกเรื่องหนึ่งเกี่ยวกับระบบควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เพื่อใช้ในการกำหนดการควบคุมที่เหมาะสมให้กับอินเวอร์เตอร์ในการปรับความถี่ที่จ่ายให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแล้วทำให้การคืนกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเหมาะสมที่สุด

- นำหลักการทั้งหมดที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้ในงานจริงกับกังหันแล้วทำการทดลองและปรับปรุงให้สามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสม

## 1.3 การพิจารณาการเลือกใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องจักรซิงโครนัสที่ใช้ในโรงงาน

โครงสร้างภายในเครื่องจักรเหนี่ยวนำมีลักษณะเรียบง่ายไม่ซับซ้อน ทำให้มีราคาถูกกว่าเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงที่พิกัดเดียวกัน และเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก

ข้อดีของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรซิงโครนัส คือราคาถูก ความน่าเชื่อถือสูงบำรุงรักษาค่า และไม่มีแปรงถ่านในโรเตอร์ ขณะที่เครื่องจักรซิงโครนัสต้องการความเร็วคงที่ มีความสามารถจ่ายกำลังรีแอกทีฟด้วยขดลวดโอเวอร์เอกไซเทชัน และที่ความเร็วสูงๆ จะมีราคาแพง ส่วนเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำไม่ต้องการการเอกไซเทชันเหมือนเครื่องจักรซิงโครนัสทำให้การสร้างความเร็วสูงๆมีราคาถูก การเลือกเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมเป็นที่กว้างขวาง เนื่องจากเรียบง่าย มีความน่าเชื่อถือสูง ราคาถูก น้ำหนักเบา และการบำรุงรักษาค่า

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการต่างๆ

### 2.1 หลักการเกิดสนามแม่เหล็กหมุน

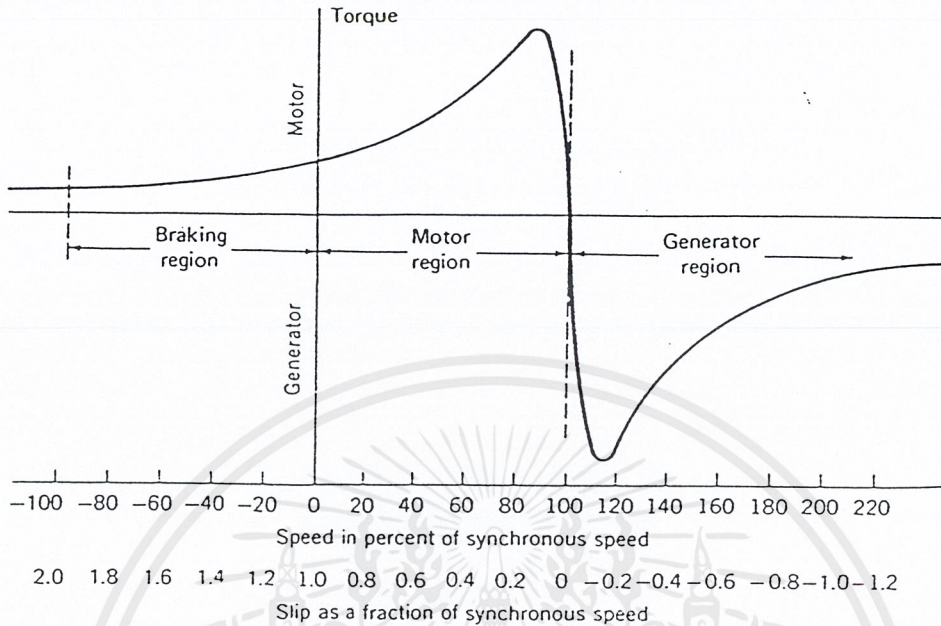
สนามแม่เหล็กหมุนเกิดจาก กระแสระบบไฟฟ้า 3 เฟส ไหลผ่านขดลวดที่พันอยู่ในร่องของ โรเตอร์ โดยที่กระแสแต่ละเฟสจะเปลี่ยนตามความถี่แหล่งจ่าย จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ สนามแม่เหล็กหมุนคล้ายกับการหมุนของสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นจะมี ความเร็วที่คงที่ เรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส (synchronous speed;  $N_s$ )

ซึ่ง 
$$N_s = \frac{120 f}{P} \quad (2.1)$$

โดยที่  $N_s$  = Synchronous Speed (rpm)  
 $f$  = ความถี่แหล่งจ่าย (Hz)  
 $p$  = จำนวนขั้วของแม่เหล็ก (poles)

### 2.2 หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ทฤษฎีการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเริ่มทำงานนั้นจะมีการดึงกระแส 2 ส่วน จากแหล่งจ่ายไฟ ได้แก่ ส่วนแรกจะใช้ในการกระตุ้นเรียกว่า กระแสกระตุ้น(exciting current) ที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ และส่วนที่สองจะใช้ในการสร้างกำลังไฟฟ้าจริง (real power) กำลังงานเอาต์พุตทางกล และความสูญเสียภายในถ้าโหลด ถูกตัดออกไป มอเตอร์ก็ยังคงดึงกระแสที่ใช้สร้างสนามแม่เหล็กเท่าเดิม กระแสที่ใช้สร้างกำลังงานจริงจะมีค่าน้อยมาก ณ จุดนี้ ถ้าทำให้เกิดสภาวะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องได้รับกำลังงานทางกลเข้าที่ เพลาของ โรเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจนหมุนด้วยความเร็วมากกว่าสนามแม่เหล็กหมุน (synchronous speed) และเมื่อเกิดสภาวะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะได้เส้นกราฟแสดงคุณลักษณะแรงบิดกับความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แสดงดังรูป



รูปที่ 2.1 เส้นกราฟคุณลักษณะ แรงบิด - ความเร็วของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เมื่อทำงานในสถานะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. ค่าสลิป (slip) จากสมการ  $s = (N_s - N_r) / N_s$  จะมีค่าเป็นลบในสถานะเมื่อทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสมการทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถนำมาใช้กับสถานะที่ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ทั้งหมด โดยให้พิจารณาเปลี่ยนค่าสลิปเป็นลบ เมื่อทำงานในสถานะที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
2. ความเร็วของโรเตอร์จะหมุนเร็วกว่าสนามแม่เหล็กหมุน
3. ความสูญเสียภายในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขณะนี้ ถูกจ่ายด้วยตัวคั่นกำลังที่หมุนเพลลาของโรเตอร์
4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำยังคงต้องดึงกระแสกระตุ้นอย่างค่อเนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพราะแหล่งจ่ายไฟนี่จะเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กหมุน ถ้าไม่มีการดึงกระแสกระตุ้นจากภายนอกแล้วการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็จะไม่สามารถทำงานได้
5. ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนจะขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนให้กับขดลวดสเตเตอร์

### 2.3 ประสิทธิภาพ (Efficiency)

ประสิทธิภาพสามารถหาได้จากวิธีเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอื่นๆ ค่ากำลังงานอินพุท จะได้มาจากค่ารวมของความสูญเสียภายในทั้งหมดกับค่ากำลังงานเอาต์พุท

ค่าความสูญเสียจากแรงลมและความฝืด ค่าความสูญเสียจากขดลวดได้มาจากการทดสอบ มอเตอร์จากสภาวะไร้ภาระ (no load) ซึ่งจะมีค่าเหมือนกันกับของมอเตอร์

ความสูญเสียของขดลวดที่สเตเตอร์ ( $P_{cu,1}$ ) ได้มาจากการคำนวณของกระแสและค่าความต้านทานของสเตเตอร์หาได้โดย

$$P_{cu,1} = 3I^2 R_1 \quad (2.2)$$

โดยที่  $R_1$  = ค่าความต้านทานของขดลวดของสเตเตอร์  
ความสูญเสียจากขดลวดของโรเตอร์ ( $P_{cu,2}$ ) ได้จากการคำนวณ

$$P_{cu,2} = s(P_R) \quad (2.3)$$

โดยที่  $P_g$  = กำลังงานที่ออกจาก โรเตอร์ (power out of rotor)

$$P_g = P_o + P_c + P_{cu,1} \quad (2.4)$$

โดยที่  $P_o = 3V_p I_p \cos \theta$

$P_c$  = ความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก (stator core loss)

$\cos \theta$  = ตัวประกอบกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

$$P_i = P_o + P_c + P_{cu,1} + P_{cu,2} + P_M \quad (2.5)$$

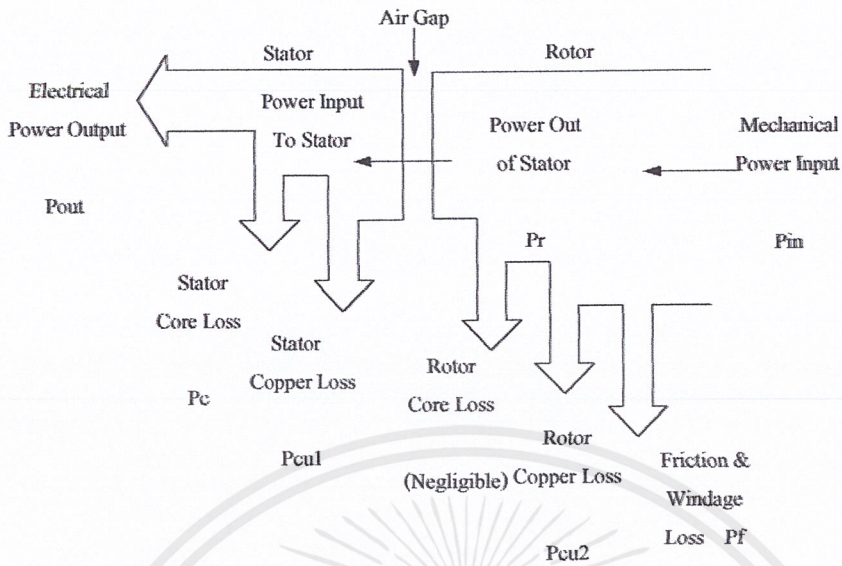
โดยที่  $P_M$  = ความสูญเสียเนื่องจากความฝืดและแรงลม  
(friction and winding loss)

$$\% \text{efficiency} = (P_o / P_i) \times 100 \quad (2.6)$$

$$P_o = P_i - \text{loss} \quad (2.6)$$

$$\% \text{efficiency} = (P_i - \text{loss}) / P_o \times 100 \quad (2.6)$$

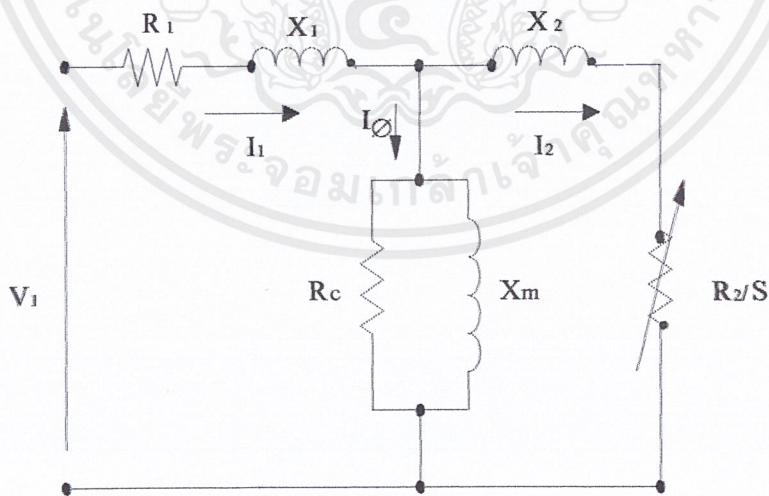
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การไหลของกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

### 2.4 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (General Equivalent Circuit)

วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะแตกต่างกันเพียงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีค่าสลิปเป็นลบ ดังรูป



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การนำอินเวอร์เตอร์มาประยุกต์ใช้งานกับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

### 3.1 โครงสร้างและการทำงานของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ (inverter) ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยทั่วไป อินพุตของอินเวอร์เตอร์เป็นไฟสลับจากแหล่งจ่ายไฟ เมื่อเข้ามาที่อินเวอร์เตอร์ ไฟสลับจะถูกเปลี่ยนเป็นไฟตรงโดยส่วนของวงจรคอนเวอร์เตอร์ (converter) เข้าสู่ส่วนดีซีลิงก์ (dc link) จากนั้นไฟตรงจะถูกเปลี่ยนเป็นไฟสลับที่สามารถแปรขนาดแรงดันและความถี่ได้โดยส่วนของวงจรมอเตอร์ อินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ยังมีวงจรควบคุมสำหรับควบคุมการทำงานของวงจรทั้งสามส่วนด้วย โครงสร้างต่างๆของอินเวอร์เตอร์มีดังนี้

#### 3.1.1 การทำงานภาคคอนเวอร์เตอร์ (Converter)

วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับจากแหล่งจ่ายเป็นไฟกระแสตรง ประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ

##### 3.1.1.1 ส่วนคอนเวอร์เตอร์

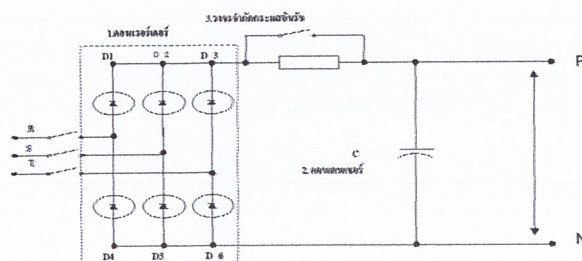
มีวงจรเรกติไฟเออร์ (rectifier) ซึ่งใช้ไดโอดเพื่อทำหน้าที่แปลงไฟกระแสสลับจากแหล่งจ่ายเป็นไฟกระแสตรง

##### 3.1.1.2 คอนเดนเซอร์ C

มีหน้าที่กรองกระแสเพื่อให้แรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ มีริบเปลเล็กน้อย และเรียบ

##### 3.1.1.3 วงจรจำกัดกระแสอินรัช

เมื่อเปิดสวิตช์ครั้งแรก จะต้องมีกระแสชาร์จประจุให้คอนเดนเซอร์ จึงมีกระแสขาเข้าขนาดใหญ่ไหลเข้ามาในวงจร จึงต้องมีวงจรจำกัดกระแสอินรัชในการจำกัดกระแส



รูปที่ 3.1 ภาคคอนเวอร์เตอร์

### 3.1.2 ส่วนดีซีลิงก์ (Dc link)

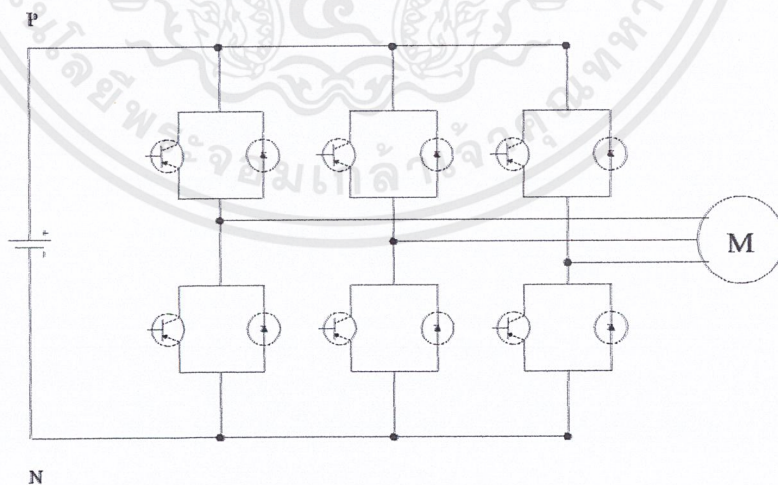
เป็นส่วนไฟกระแสดตรงที่ต่อมาจากส่วนคอนเวอร์เตอร์เพื่อส่งไปยังส่วนอินเวอร์เตอร์ต่อไป

### 3.1.3 การทำงานภาคอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

วงจรส่วนนี้ทำหน้าที่แปลงไฟกระแสดตรงเป็นไฟกระแสดสลับ โดยใช้ทรานซิสเตอร์ในการสวิตซ์ ซึ่งใช้หลักการแปรขนาดแรงดันตามความถี่ที่เปลี่ยนไป เนื่องจากความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนตามความเร็วเชิงโคจรของสนามแม่เหล็กในแอร์เก็บที่อยู่ระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งการเปลี่ยนความเร็วเชิงโคจรนี้ทำได้โดย การเปลี่ยนความถี่อินเวอร์เตอร์ แต่การเพิ่มความถี่อย่างเดียวจะทำให้สนามแม่เหล็กในแอร์เก็บของมอเตอร์ลดลง ทำให้ทอร์คสูงสุดของมอเตอร์ลดลงด้วย ดังนั้น ในการรักษาสถาณแม่เหล็กในแอร์เก็บและทอร์คสูงสุดให้คงที่ จำเป็นต้องเพิ่มแรงดันออกตามความถี่ด้วย เพื่อรักษาอัตราส่วน  $V/f$  คงที่ ทำให้ทอร์คสูงสุดคงที่

ส่วนการแปรขนาดแรงดัน ใช้การแปลงรูปคลื่นของแรงดันขาออกที่ป้อนให้มอเตอร์ โดยใช้วิธี PWM (pulse width modulation) แปรความกว้างพัลส์ที่เปิด-ปิดทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีข้อดีคือ ทำให้แรงดันขาออกที่มีองค์ประกอบอันดับต่ำน้อยลง ใช้งานได้ดีในย่านความถี่ต่ำ ทำให้ทอร์คเริ่มต้นสูงและลดการกระเพื่อมของทอร์ค

นอกจากนี้ยังมีวงจรป้องกันหลัก 2 แห่งคือ ทางด้านกระแสขาเข้าซึ่งเป็นกระแสก่อนเข้ารีคตีไฟเออร์ และกระแสออกก่อนเข้ามอเตอร์ได้ ใช้ เซนเซอร์ CT เป็นตัวตรวจจับและนำสัญญาณไปเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ในวงจรควบคุม ทำให้อินเวอร์เตอร์หยุดทำงานเมื่อมีกระแสฟอลต์เกิดขึ้นสามารถป้องกันอินเวอร์เตอร์ได้

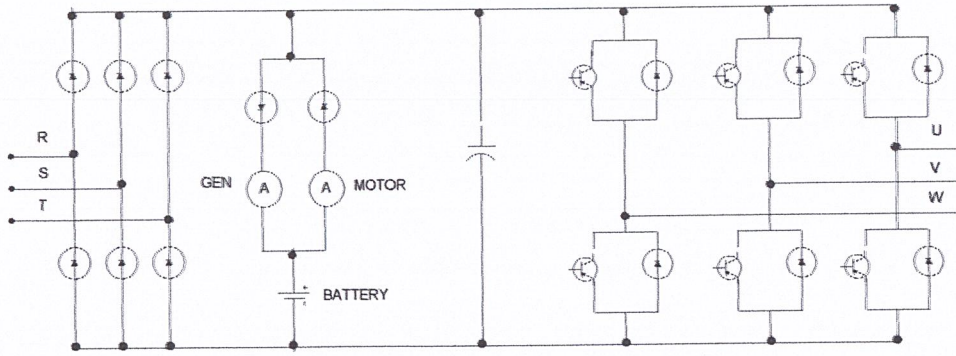


รูปที่ 3.2 วงจรภาคอินเวอร์เตอร์

### 3.2 การนำอินเวอร์เตอร์มาใช้งานกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เมื่อต้องการให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยให้กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้นั้นเก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่ซึ่งมีการต่อได้ตามรูปจากรูปจะเห็นได้ว่าการต่ออนุกรมกับไดโอดขนานกันอยู่แบบกลับขั้ว ซึ่งจะเป็นตัวบ่งบอกถึงสถานะการเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือมอเตอร์ ซึ่งจากที่ทราบกันโดยทั่วไปว่า อินเวอร์เตอร์สามารถทำงานในย่านการคืนกำลัง (regenerative) ได้ และจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่แหล่งจ่ายไฟตรง (dc source) ที่ต่ออยู่กับอินเวอร์เตอร์ แต่ในอินเวอร์เตอร์โดยทั่วๆ ไปนั้น แหล่งจ่ายไฟตรงที่ได้มานั้น มาจากการแปลงแรงดันจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้วงจรเรกติไฟเออร์ (rectifier) ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ได้มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งจะมีกระแสไหลกลับทิศทางคือ จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสู่แหล่งจ่ายที่ไม่สามารถไหลผ่านวงจรเรกติไฟเออร์ของอินเวอร์เตอร์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรในการเก็บพลังงาน มิฉะนั้นจะทำให้ปะจุที่สะสมในตัวคาปาซิเตอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้แรงดันไฟตรงที่ขั้วดีซีลิงค์ (dc link) เพิ่มขึ้น ทำให้อินเวอร์เตอร์หยุดการทำงานเนื่องชุกป้องกันในตัวอินเวอร์เตอร์เอง ซึ่งปรากฏการณ์นี้อาจเกิดขึ้นได้ ในกรณีที่แบตเตอรี่เต็มไปด้วยสาเหตุที่ไม่สามารถชาร์จกระแสเข้าไปได้อีก จึงทำให้แรงดันไฟตรงที่ขั้วมีค่าเพิ่มมากขึ้น

อินเวอร์เตอร์ที่เรานำมาใช้งานเป็นอินเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันแบบพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (PWM voltage source inverter) นิยมใช้ในท้องตลาดทั่วไป แบตเตอรี่สามารถทำงานในย่านการคืนกำลังงานได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งบรรลุวัตถุประสงค์ในการจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ผ่านอินเวอร์เตอร์สู่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนความสามารถในการจ่ายกำลังงานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับค่าสลิป และแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปตามค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่เปลี่ยนไป ตามหลักการควบคุมแบบแรงดันต่อความถี่ (V/f) โดยกำลังงานไฟฟ้าที่ได้จะเปลี่ยนจะแปรเปลี่ยนตามค่าสลิปและแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แต่ต้องอยู่ในขอบเขตที่ว่า ขนาดของกระแสต้องไม่เกินพิกัดของมอเตอร์ ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับฉนวนของขดลวด



รูปที่ 3.3 การตัดแปลงอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ทั่วไปให้สามารถกินกำลังงานเข้าที่แบตเตอรี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# กังหันลม (Wind Mill)

### 4.1 บทนำ

ในการนำพลังงานลมมาใช้ประโยชน์ เราต้องมีเครื่องแปลงพลังงานลมให้เป็นพลังงานรูปอื่น ในทางทฤษฎีพลังงานที่ได้จากลมซึ่งผ่านกังหันลมจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเพียง 59.3% โดยกังหันลมแบบต่าง ๆ นั้นจะให้กำลังงานออกมามากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ, ขนาด และการออกแบบกังหันที่มีประสิทธิภาพต่ำจะมีขนาดใหญ่กว่าชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า

### 4.2 กังหันลม

แบ่งตามแกนหมุนได้ 2 แบบ คือ

- กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง
- กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวนอน

#### 4.2.1 กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง

กังหันลมแบบนี้แกนหมุนของใบพัดจะตั้งฉากกับพื้นดิน กังหันลมแบบนี้มีคุณสมบัติ คือสามารถรับลมได้ทุกทิศทาง น้ำหนักของใบจะทิ้งลงในลักษณะสมมาตร (symmetry) และไม่มีผลต่อความกว้างของใบเมื่อเพิ่มแขนหมุน (moment arm) ไม่เป็นปัญหาต่อการติดตั้งฐาน การหมุนของใบจะอยู่ในแนวระนาบเดียวกันกับทิศทางลม ดังนั้นแรงปะทะจะเป็นแรงที่ทำให้เกิดการหมุนโดยตรงซึ่งทำให้การใช้ประโยชน์จากแรงปะทะมากขึ้น ข้อเสียของกังหันลมแบบนี้คือ ลักษณะการวางใบไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทุกใบในเวลาเดียวกัน เนื่องจากมีส่วนใบที่บังลมอยู่ และยังมีส่วนใบที่ถูกลมปะทะทำให้เกิดแรงต้านการหมุนขึ้นอีกด้วย

แบบของกังหันลมชนิดที่มีแกนหมุนอยู่ในแนวตั้ง

##### 4.2.1.1 แบบซาโวเนียส หรือเอสโรเตอร์ (Savonius or S.rotor)

เป็นกังหันลมชนิด 2 ใบ การหมุนเกิดจากการที่ลมปะทะทางด้านเว้า แล้วทำให้ใบหมุนรอบแกน กังหันแบบนี้แรงบิดบนแกนสูง ให้พลังงานค่อนข้างคงที่ แต่ความเร็วรอบต่ำ ส่วนมากนำไปใช้งานทางด้านกล เช่น เครื่องสูบน้ำ

##### 4.2.1.2 แบบดาร์เรียม (Darrieus)

กังหันลมแบบนี้จะมีความเร็วรอบสูง แต่จะมีแรงบิดเริ่มต้นต่ำ ฉะนั้นจะต้องมีตัวช่วยในการเริ่มต้นหมุนขณะไม่มีลมหรือแรงไม่พอ

#### 4.2.2 กังหันลมแบบแกนหมุนอยู่ในแนวนอน

กังหันลมแบบนี้จะมีแกนหมุนของใบพัดขนานกับพื้นดิน คุณสมบัติของกังหันแบบนี้ คือ ใบพัดของกังหันสามารถรับลมได้เต็มที่ และจะให้กำลังงานมากกว่าแบบแรกเมื่อเทียบขนาดเท่าๆ กัน เพราะวังกังหันลมแบบนี้มีพื้นที่หน้าตัดของส่วนรับลมเมื่อเทียบกับแบบหมุนในแนวตั้งจะมากกว่ากังหันแบบนี้มีความซับซ้อนมาก คิดตั้งลำบากต้องหันตัวกังหันลมเข้าสู่ทิศทางที่ลมพัดผ่าน ใบพัดมีลักษณะอยู่ในแนวตั้งยึดติดอยู่กับเดือยของแกนหมุนแนวนอน จำนวนใบพัดมีตั้งแต่ 1 ใบขึ้นไป

เนื่องจากแบบหมุนแกนนอนรับลมทางเดียว จึงต้องมีเครื่องมือที่ทำให้ตัวกังหันเข้าสู่ทิศทางลม และถ้าลมแรงมากก็จะเสียหายได้ง่ายกว่าแบบแกนหมุนตั้ง จึงต้องออกแบบใบพัดให้มีลักษณะที่สามารถพับใบหรือเบี่ยงเบนใบพัดออกจากทิศทางลมในช่วงเวลานั้น

#### แบบของกังหันลมที่แกนหมุนในแนวแกนนอน

##### 4.2.2.1 แบบที่มีจำนวนใบไม่มาก

คือมีใบตั้งแต่ 2-4 ใบ กังหันลมแบบนี้จะมีความเร็วรอบสูง คือประมาณ 300 รอบ/นาที หรือมากกว่า แต่แรงบิดเริ่มต้นต่ำ ดังนั้นกังหันลมแบบนี้จึงควรใช้ในที่ที่มีความเร็วลมพอประมาณ จนถึงความเร็วสูง เมื่อความเร็วลมสูงจึงนิยมนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องการความเร็วสูง

##### 4.2.2.2 แบบที่มีจำนวนใบมาก

กังหันลมแบบนี้จะมีแรงบิดเริ่มต้นสูง แต่ความเร็วรอบค่อนข้างต่ำ ดังนั้นกังหันประเภทนี้จึงเหมาะที่จะใช้งานทางกล เช่น ชูตระหัดวิดน้ำ, ปั่นน้ำ เป็นต้น

การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของกังหันทั้ง 2 แบบ

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของกังหันแบบที่มีจำนวนใบมาก

กังหันลมแนวตั้ง	กังหันลมแนวนอน
- รับลมได้รอบด้าน	- มีพื้นที่รับลมมากกว่า เมื่อน้ำหนักเท่ากัน
- น้ำหนักตกลงบนฐานสมดุลกว่า	- ประสิทธิภาพสูง
- ระบบการผลิต ส่งกำลังทำได้ง่าย ราคาถูก	- มีแรงบิดรอบแกนสูง
- เพิ่มแกนการหมุนได้ไม่จำกัด	- รอบจืดกว่าเมื่อความเร็วลมเท่ากัน
	- รอบหมุนคงที่กว่า

## ข้อเสีย

กัณฑ์ลมนแนวตั้ง	กัณฑ์ลมนแนวนอน
- ไม่สามารถรับลมได้ทุกใบ	- มีปัญหาในการหมุนใบรับทิศทางลมที่เปลี่ยนไป
- เกิดแรงต้านการหมุน	- มีปัญหาในการประกอบใบพัดกับฐาน

## 4.3 ประสิทธิภาพของกัณฑ์ลม

กัณฑ์ลมสามารถเอากำลังจากลมโดยตรง โดยการลดความเร็วลมให้ช้าลง ถ้ากัณฑ์ลมสามารถทำให้ลดความเร็วจากเดิมจนหยุดได้โดยสมบูรณ์แล้ว คือความเร็วของลมหลังจากผ่านกัณฑ์แล้วกลายเป็นศูนย์ จะได้พลังงานจากลม 100% แต่จริงๆ แล้วกัณฑ์ลมไม่สามารถทำให้ลมที่พัดผ่านหยุดได้ กำลังมากที่สุดเ็นทางทฤษฎีที่กัณฑ์สามารถรับเอาไว้ได้จะเป็น 59.3% ของกำลังงานทั้งหมด หมายความว่าสามารถลดความเร็วลมลงได้ประมาณ 3 ส่วนของความเร็วต้นเท่านั้น ดังนั้นกัณฑ์ลมสามารถเอากำลังงานจากลมออกมาได้มากที่สุด 59.3% จึงถือว่ามีประสิทธิภาพ 100%

ถ้ากัณฑ์ลมมีประสิทธิภาพ 75% เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพ 75% กำลังงานกลของกัณฑ์ลมสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ 33.4% คือ

$$75\% \text{ ของกำลังงานลม คือ } 75\% \text{ ของ } 59.3\% = 0.75 \times 59.3$$

$$75\% \text{ ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า} = 0.75 \times 59.3 \times 0.75 = 33.34\%$$

ค่าประสิทธิภาพนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกัณฑ์ลม การออกแบบ และการสูญเสียของระบบเพื่องต่างๆ ในกรณีที่ใช้สำหรับลดความเร็วให้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเห็นได้ชัดว่ามีประมาณ 0.1-0.4 (10-40%) ไม่น่าไปกว่านี้ ค่าที่กำหนดให้เป็น efficiency factor ของกัณฑ์ลม ใช้สัญลักษณ์ E ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของกัณฑ์ลมและความเร็วลมที่พัดผ่าน การหมุนของกัณฑ์หมายความว่า ส่วนประกอบของใบพัดบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางมีการหมุนช้าๆ ขณะที่ส่วนปลายของใบพัดมีความเร็วอัตราส่วนการหมุนขึ้นอยู่กับรัศมีและระยะความเอียงของใบพัด

จากลักษณะการหมุนที่กล่าวมาแล้วสามารถกำหนดอัตราส่วนการหมุนของความเร็ว ซึ่งมีส่วนสำคัญในการออกแบบกัณฑ์ ให้ค่านี้เป็น  $u/v$  เมื่อ

$u$  = ความเร็วของกัณฑ์ลมที่มีใบพัดเอียงทำมุมในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง

$v$  = ความเร็วลมที่พัดผ่านกัณฑ์

ค่านี้ประมาณ 1-2 เมื่อกัณฑ์หมุนช้า และเท่ากับ 8-7 หรือ 8 เมื่อกัณฑ์หมุนเร็ว

#### 4.4 การเลือกสถานที่ตั้งกังหัน

ในการเลือกสถานที่ตั้งกังหันต้องใช้ความระมัดระวัง เพราะมีแรงเฉือนกับแรงกดในแนวตั้งฉากกับแนวระดับของกระแสลมเมื่อกระแสลมพัดผ่านไปบนพื้นผิวของโลก แรงเฉือนนี้จะมีผลเมื่อกระแสลมความเร็วต่ำ บริเวณใกล้ผิวโลกจะมีความเร็วลมต่ำกว่าบริเวณที่สูงกว่าขึ้นไป ในกรณีเฉพาะคือเมื่อการไหลเป็นแบบอิสระที่สูงมากพอที่จะทำให้ไม่มีผลของผิวการเฉือน

กฎทั่วไป คือ ความเร็วลมที่ใกล้ผิวจะเพิ่มกำลังเศษหนึ่งส่วนเจ็ดของความสูงเหนือผิวโลกเหนือระดับน้ำทะเล

แต่อย่างไรก็ตามแรงเฉือนลมหรือกำลังลมที่ได้จะมีผลของความเรียบของผิวโลกอีกด้วย ถ้าในพื้นที่นั้นมีตึกสูงๆ สิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ หรือ สิ่งกีดขวางอย่างอื่น การเปลี่ยนแปลงของความเร็วมต่อระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเหนือระดับพื้นดินจะมีค่ามากกว่าในกรณีที่เป็นที่ราบ

ผลสำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ กระแสลมจะมีความเร่งเพิ่มขึ้นเมื่อพัดผ่านเนินหรือหุบเขาแคบๆ ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มพลังงานที่ได้ออกมาของกังหันลมจึงนิยมตั้งกังหันลมในสถานที่เช่นนี้ เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด

#### สรุปลักษณะของสถานที่ตั้งที่เหมาะสม

1. มีความเร็วลมเฉลี่ยตลอดปีเพียงพอ (หาได้จากกรมอุตุนิยมวิทยา)
2. ไม่มีสิ่งกีดขวางกระแสลมในทางสูง
3. ควรจะอยู่บนเนินที่เรียบหรืออยู่บนเกาะในทะเลหรือเป็นที่ราบ
4. ช่องระหว่างภูเขา

#### ตารางที่ 4.2 ลักษณะของลมและผลกระทบ

ลักษณะของลม	ผลกระทบ
1. ไม่สม่ำเสมอ	1. พลังงานที่ได้จะไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจำเป็นต้องมีแหล่งสะสมพลังงาน
2. ถ้ามีหลายทิศทาง	2. เพื่อให้ได้พลังงานออกมาสูงสุดจะต้องใช้โรเตอร์แบบแกนในแนวราบ
3. การเปลี่ยนแปลงในแนวตั้ง	3. ความไม่ราบเรียบทำให้เกิดความปั่นป่วนของลม ดังนั้นในบริเวณที่ไม่เรียบจะต้องมีหอติดตั้งกังหันลมให้สูงกว่าบริเวณที่ไม่ราบเรียบเพื่อให้ถึงระดับที่ลมมีการไหลสม่ำเสมอ
4. การเปลี่ยนแปลงในแนวราบ	4. ยากที่จะหาที่ตั้งที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานลม

ขั้นแรกเริ่มของการเปลี่ยนพลังงานลมให้มาเป็นพลังงานทางกลนั้น สามารถกระทำได้สำเร็จด้วยวัตถุประเภทใบพัดและเฟือง อุปกรณ์หลักหมุนใบพัดและอุปกรณ์ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทต่างๆ บางครั้งใช้สายพานหรือระบบเฟืองเกียร์เพื่อปรับอัตราเร็วหมุนของเครื่องขับพลังงานลมให้เหมาะสมกับความเร็วหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การใช้ลมมาช่วยในการผลิตไฟฟ้านั้นจะประสบปัญหาอย่างหนึ่งคือ เมื่อลมมีความเร็วต่ำมากก็ไม่สามารถใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ ดังนั้นจึงต้องมีตัวเก็บพลังงานไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่ และต้องมีการวางแผนสร้างให้เหมาะสมกับสภาพความเร็วของลมโดยเฉลี่ยในพื้นที่หนึ่งๆ ระบบที่ใช้กันมากคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวัดหรือซาร์จแบตเตอรี่ แล้วจึงจ่ายกระแสตรงออกมาจากแบตเตอรี่ไปยังแหล่งที่ต้องการ

ในปัจจุบันสามารถตั้งกฎเกณฑ์จากประสบการณ์ได้ว่า ถ้ามีความเร็วลมเฉลี่ยประจำปีประมาณ 9-10 ไมล์/ชม. (15-16 กม./ชม.) ก็เพียงพอสำหรับการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังลม และกระแสลมที่ผลิตไฟฟ้าได้เป็นอย่างดีนั้นกำหนดไว้ประมาณ 15-25 ไมล์/ชม. เพื่ออัตราความเร็วลมขนาดนี้คงที่อยู่ตลอด 2 วัน ในส่วนของความเร็วลมถือว่าเพียงพอแล้ว

ในปัจจุบันนี้ มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมตั้งแต่ขนาด 50 วัตต์ จนถึงขนาด 300 กิโลวัตต์ ซึ่งโครงการวิจัยขององค์การนาซาได้รายงานว่าสามารถทำได้ถึง 300 กิโลวัตต์

#### การคำนวณพลังงานจากกังหันลม

มีสูตรคำนวณได้หลายอย่าง ซึ่งสูตรเหล่านี้ได้จากการคิดเริ่มต้นอย่างเดียวกัน แต่นำมาดัดแปลงให้ง่ายขึ้น

ความหนาแน่นของอากาศแปรผันกับความดันและอุณหภูมิ

$$\rho = 1.3 \times \frac{p}{760 \times \left(1 + \frac{t}{273}\right)} \quad (4.1)$$

โดยที่  $\rho$  = ความหนาแน่นของอากาศ

$p$  = ความดันบรรยากาศ

$t$  = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

ถ้าที่บรรยากาศปกติ

$p = 760$  ม.ม. ของบารอมิเตอร์

$t = 25^{\circ} \text{c}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้

$$\rho = 1.20 \text{ ก.ก./ม}^3 \quad (4.1)$$

พลังงานกล ( kinetic energy ) ของลมมีมวล  $m$  ก.ก. และมีความเร็ว  $v$  เมตร/วินาที ได้จาก

$$K.E. = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4.2)$$

พลังงานภายใน 1 วินาที ที่ลมพัดผ่านพื้นที่ตัดขวาง ( A ) ของกังหันลมที่มีหน่วยเป็น ตารางเมตร

$$V = AV \quad (4.3)$$

$$= \rho AV \quad (4.4)$$

$$P = \frac{1}{2}(\rho AV) \times V^2 \quad (4.5)$$

$$= \frac{1}{2}\rho AV^3 \quad (4.5)$$

$$P = \frac{1}{2}\rho AV^3 E \quad (4.6)$$

โดยที่

$V$  = ปริมาตรของลมที่พัดผ่าน (ม<sup>3</sup>)

$M$  = มวล (ก.ก.)

$P$  = กำลัง ( Power ) (วัตต์)

$E$  = efficiency factor

แทนค่า  $\rho = 1.2$

$$P = 0.6 \times AV^3 E \quad (4.7)$$

หรือจาก

$$HP = P \times A \times E \quad (4.8)$$

โดยที่

P = power factor Chart A V

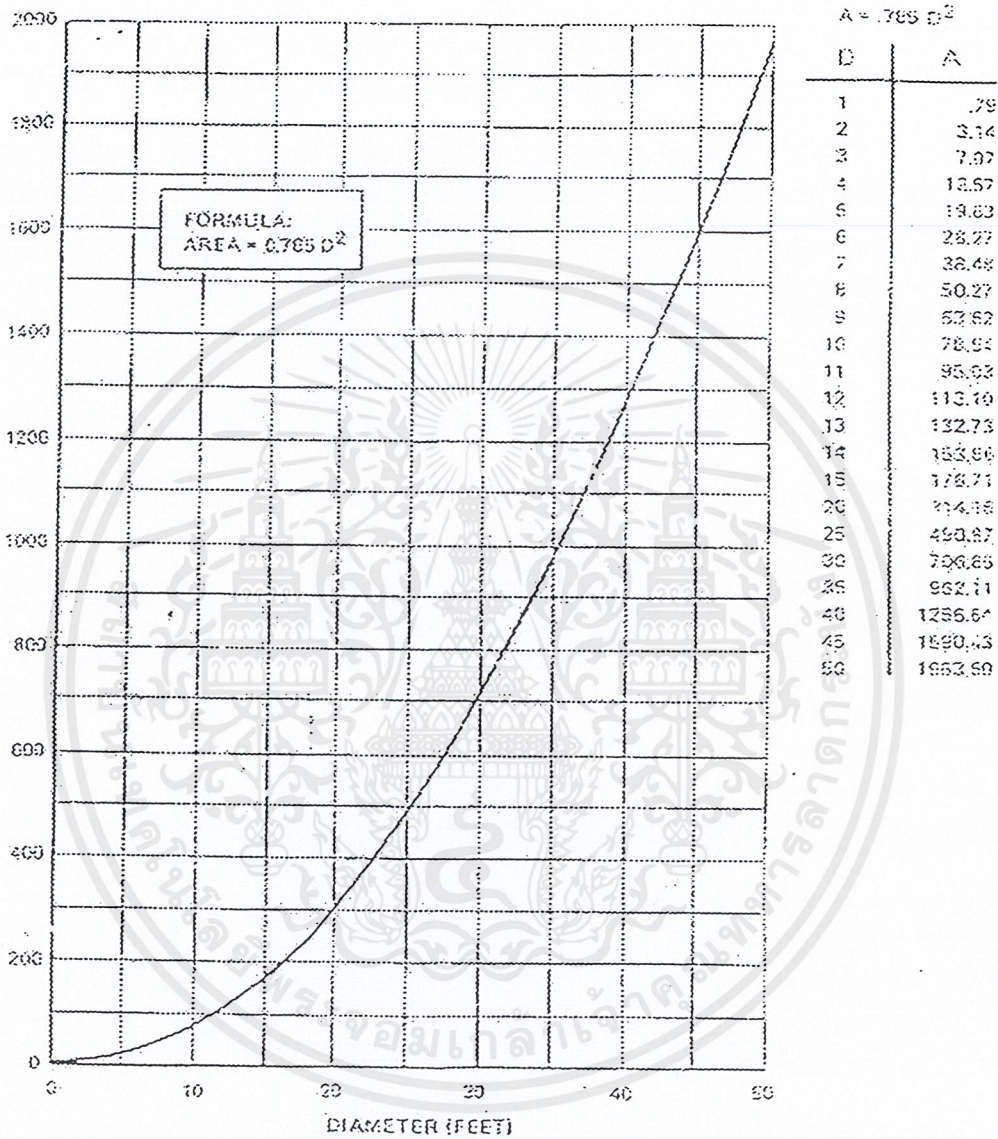
A = พื้นที่ตัดขวาง (ม<sup>2</sup>)

E = Efficiency factor

HP = แรงม้า

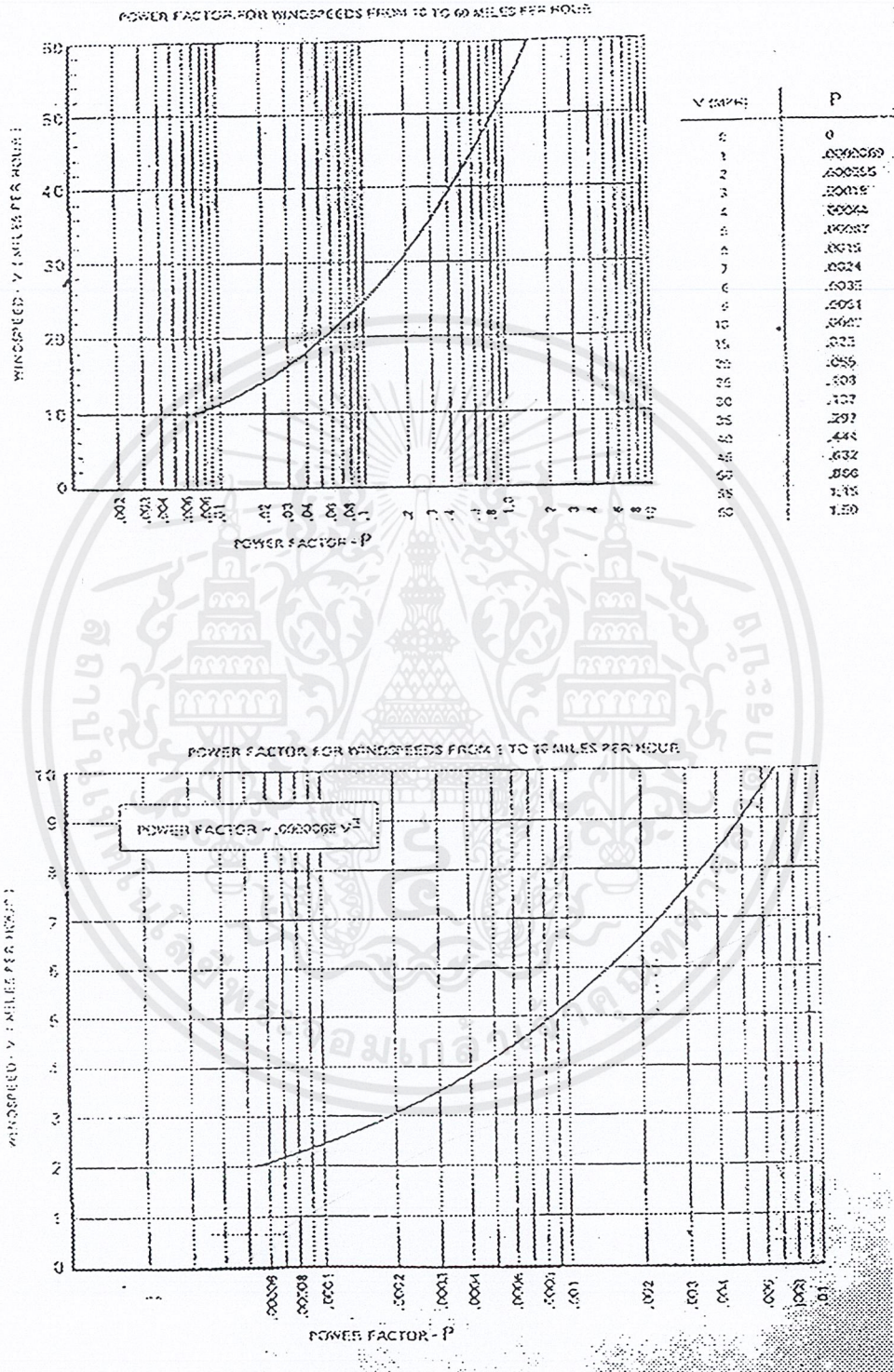


หาค่า Power จาก Chart A เมื่อรู้ความเร็วลม v ไมล์/ชม. และค่า A จาก Chart B



รูปที่ 4.1 Chart A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 Chart B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

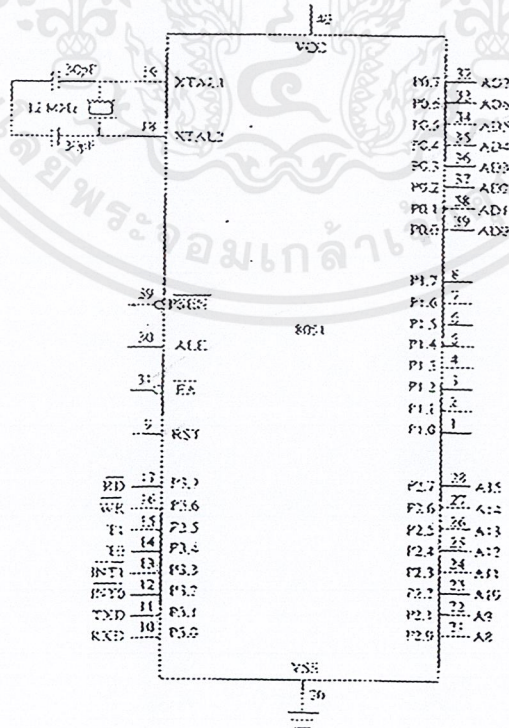
## บทที่ 5

# ความรู้พื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

### 5.1 บทนำ

คุณสมบัติที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- สามารถประมวลผลทีละบิตได้
- มีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำข้อมูลภายใน 128 ไบต์
- สามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 กิโลไบต์
- สามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายในได้ 64 กิโลไบต์
- มีพอร์ทอินพุต/เอาต์พุต (I/O port) ขนาด 8 บิต 4 พอร์ท
- มี timer / counter ขนาด 16 บิต 2 ตัว
- มีพอร์ทอนุกรมที่สามารถรับส่งข้อมูลแบบ full duplex
- สามารถอินเทอร์รัพท์ได้ 5 ตำแหน่ง
- มีวงจรรอสซิงเคลเตอร์และวงจรมานาฬิกาบนชิพ



รูปที่ 5.1 ขาค้างๆ ของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ความหมายของขาต่างๆ มีดังนี้

5.2.1 พอร์ต 0 ได้แก่ขาที่ 32-39 ของ MCS-51 สามารถใช้เป็นอินพุตเอาต์พุตได้นอกจากนี้ ในการติดต่อหน่วยความจำภายนอกยังใช้เป็นขา address bus และ data bus อีกด้วย

5.2.2 พอร์ต 1 ได้แก่ขาที่ 1-8 เป็นพอร์ต 8 บิต สามารถอ้างทีละบิตได้

5.2.3 พอร์ต 2 ได้แก่ขาที่ 21-28 จะใช้งาน 2 หน้าทีคือ ใช้เป็นพอร์ต 8 บิตกับขาแอสเลส 8 บิตในการอ้างหน่วยความจำภายนอก

5.2.4 พอร์ต 3 ได้แก่ขาที่ 10-17 จะใช้งานสองหน้าที่คือ เป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต และใช้เป็นขาควบคุมต่างๆ ดังตาราง

ตารางที่ 5.1 ลักษณะการทำงานของพอร์ต 3

บิต	ชื่อ	หน้าที่พิเศษ
P3.0	RXD	ใช้รับข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม
P3.1	TXD	ใช้ส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม
P3.2	INT0	อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 0
P3.3	INT1	อินเทอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 1
P3.4	T0	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 0
P3.5	T1	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 1
P3.6	WR	สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก
P3.7	RD	สัญญาณอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก

5.2.5 EA ( External Access ) ได้แก่ขาที่ 31 ใช้เลือกหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ถ้าขานี้เป็น “ 1 “ จะอ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน ถ้าขานี้เป็น “ 0 “ จะอ่านโปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

5.2.6 PSEN ( Program Store Enable ) ขา PSEN เป็นขาที่ส่งสัญญาณออกคือขา 29 จะแอสเลสเมื่อ MCS-51 ต้องการอ่าน code จากโปรแกรมภายนอก

5.2.7 ALE ( Address Latch Enable ) ได้แก่ขาที่ 30 เป็นขาที่ใช้สำหรับอ่านข้อมูลจาก program memory ภายนอก สัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้ง ในแต่ละแมชชีนไซเคิลแต่ถ้าเป็นการอ่าน internal program memory จะไม่มีสัญญาณออกที่ขานี้

5.2.8 RST ( Reset ) ขา RST ได้แก่ขาที่ 9 จะใช้ในการรีเซต MCS-51 โดยจะให้ขานี้เป็นลอจิก “ 1 “ อย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล

5.2.9 ความถี่สัญญาณนาฬิกาบนชิพ เป็นวงจร oscillator บนชิพ ได้แก่ขา 18-19 โดยต่อ Crystal เข้ากับขานี้โดยปกติมักจะใช้ Crystal ความถี่ 12 MHz กับตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.2.10 Power Connection** ใน MCS-51 จะใช้แหล่งจ่ายไฟ Vcc (ขา 40) ส่วนขา Vss (ขา 20) จะต่อลงกราวด์

### 5.3 โครงสร้างหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีหน่วยความจำอยู่ 2 ส่วนคือ ความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล

#### 1. หน่วยความจำโปรแกรม ( Program Memory )

เป็นหน่วยความจำประเภทที่เมื่อตัดการจ่ายไฟฟ้อออก ข้อมูลจะไม่หายไป จึงใช้สำหรับบรรจุคำสั่งโปรแกรม หรือข้อมูลที่คงที่ต่างๆ โดยที่ MCS-51 มีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์

#### 2. หน่วยความจำข้อมูล ( Data Memory )

เป็นหน่วยความจำที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างการทำงานตามสั่ง MCS-51 มีหน่วยความจำข้อมูลภายใน 128 ไบต์ และสามารถติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์

### 5.4 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ ( Special Function Register )

ใน MCS-51 รีจิสเตอร์จะใช้หน่วยความจำ RAM ภายในชิพ โดยส่วนหนึ่งเป็นรีจิสเตอร์พิเศษซึ่งมีทั้งหมด 21 ตัว โดยจะเริ่มที่หน่วยความจำตั้งแต่ 80H ถึง FFH มีรายละเอียดของรีจิสเตอร์ SFR ดังนี้

#### 5.4.1 Program Status Word

รีจิสเตอร์นี้จะเป็นตัวบอกสถานะต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ ความหมายของแต่ละบิตแสดงดังตาราง

ตารางที่ 5.2 สถานะการทำงานของ PSW บิตต่างๆ

ตำแหน่ง	ชื่อบิต	ความหมาย
PSW.7	CY	Carry Flag
PSW.6	AC	Auxiliary Carry Flag
PSW.5	F0	Zero Flag
PSW.4	RS1	บิตสำหรับเลือก Register Bank 1
PSW.3	RS0	บิตสำหรับเลือก Register Bank 0
PSW.2	OV	Overflow Flag
PSW.1	-	Reserved
PSW.0	P	Even Parity Flag

#### 5.4.2 Stack Pointer

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต เมื่อรีเซตจะมีค่าเป็น 07H จะทำงานโดยเพิ่มค่าขึ้นหนึ่งก่อนที่จะเขียนข้อมูลลงไป และจะลดลงหนึ่งเมื่ออ่านข้อมูลออกมาแล้ว

#### 5.4.3 Data Pointer

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ใช้สำหรับชี้ตำแหน่งรหัสโปรแกรมหรือข้อมูลในหน่วยความจำ ซึ่งประกอบด้วยรีจิสเตอร์ 2 ตัว คือ DPL ซึ่งจะเก็บ 8 บิตต่ำ และ DPH จะเก็บ 8 บิตสูง

#### 5.4.4 Port Registers

ได้แก่พอร์ต 0,1,2,3 ขนาด 8 บิต ใช้เป็นอินพุท/เอาต์พุท พอร์ตทุกพอร์ตสามารถอ้างข้อมูลในระดับบิตได้

#### 5.4.5 รีจิสเตอร์ B

โดยทั่วไปรีจิสเตอร์นี้จะใช้คูณหรือหารกับรีจิสเตอร์ accumulator

#### 5.4.6 Timer Registers

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้นับและจับเวลาขนาด 16 บิต 2 ตัว คือ timer0 และ timer1

#### 5.4.7 Serial Port Registers

เป็นรีจิสเตอร์ที่สำคัญในการรับส่งข้อมูลประกอบด้วย SBUF และ SCON โดย SBUF อยู่ในตำแหน่ง 99H ถ้าเขียนข้อมูลไปตำแหน่งนี้จะเป็นการส่งข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรม และถ้าอ่านข้อมูลจากตำแหน่งนี้จะเป็นการรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม สำหรับ SCON อยู่ที่ตำแหน่ง 98H สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ รีจิสเตอร์นี้จะทำหน้าที่ควบคุมและบอกสถานะต่างๆของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

#### 5.4.8 Interrupt Port Registers

สามารถอินเทอร์รัพท์ได้ 5 ตำแหน่ง โดยมี 2 priority ตัวอินเทอร์รัพท์นี้จะถูก disable หลังจากจากระบบถูกรีเซต และจะ enable หลังจากเขียนข้อมูลไปที่รีจิสเตอร์ IE

#### 5.3.9 Power Control Register ( PCON )

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้หยุดการทำงานของ MCS-51 โดยจะหยุดจ่ายสัญญาณนาฬิกาให้ระบบ ทำให้ข้อมูลต่างๆ ภายใน MCS-51 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังลดพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้ MCS-51 ลงด้วย

## 5.5 ชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะแบ่งเป็นชุดคำสั่งได้เป็น 5 กลุ่มดังนี้

### 5.5.1 กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Instructions)

เป็นกลุ่มคำสั่งทางด้านคณิตศาสตร์ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับรีจิสเตอร์ A และมักใช้รีจิสเตอร์ A เก็บผลลัพธ์ ได้แก่ คำสั่ง ADD, ADDC, SUBB, MUL, DIV, INC, DEC, DA

### 5.5.2 กลุ่มคำสั่งทางลอจิก (Logical Instructions)

เป็นคำสั่งกระทำลอจิกซึ่งจะคล้ายกับ Boolean Operations (AND, OR, Exclusive OR และ NOT) ซึ่งสามารถกระทำแบบไบนารีต่อไบนารีหรือ บิตต่อบิตได้ ได้แก่คำสั่ง ANL, ORL, XRL, CLR, CPL, RL, RLC, RR, RRC, SWAP

### 5.5.3 กลุ่มคำสั่งการโอนย้ายข้อมูล (Data Transfer Instructions)

เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการเคลื่อนย้ายข้อมูลเพื่อใช้ในการนำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลไปเก็บยังหน่วยความจำหรือเพื่อย้ายข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์เพื่อประมวลผล เนื่องจากบางคำสั่งจำเป็นต้องทำให้รีจิสเตอร์เฉพาะเท่านั้น เช่นคำสั่งในการคูณหรือหารที่ต้องทำงานกับรีจิสเตอร์ A, B เท่านั้น คำสั่งนี้ยังแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ได้ดังนี้

5.5.3.1 กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิพ ได้แก่ MOV, PUSH, POP, XCH, XCHD

5.5.3.2 กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิพ ได้แก่ MOVX

5.5.3.3 กลุ่มคำสั่งสำหรับเคลื่อนย้ายข้อมูลสำหรับเก็บ โปรแกรมทั้งภายในและภายนอกชิพ ได้แก่ MOVC

### 5.5.4 กลุ่มคำสั่งสำหรับการประมวลผลแบบบูลีน (Boolean Instructions)

เป็นการประมวลผลด้วยข้อมูลขนาด 1 บิต ได้แก่ คำสั่ง CLR C, CLR bit, CPL C, CPL bit, SETB

### 5.5.5 กลุ่มคำสั่งกระโดด

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ทำให้โปรแกรมกระโดดข้ามไปทำงานยังตำแหน่งต่างๆ ที่ต้องการประกอบไปด้วย

5.5.5.1 กลุ่มคำสั่งกระโดด ได้แก่ คำสั่ง AJMP, LJMP, SJMP, JNZ, DJNZ, CJNE

5.5.5.2 กลุ่มคำสั่งเรียกโปรแกรมย่อย ได้แก่ คำสั่ง ACALL, LCALL

## 5.6 การประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์กับกังหันลม

ในโครงการนี้เราใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ดังต่อไปนี้

5.6.1 ตรวจสอบเพื่อรับรองจากกังหันที่ทคแล้วจากชุดทดสอบ

5.6.2 ตรวจสอบเพื่อวัดกระแสของมอเตอร์เพื่อไม่ให้เกินพิกัด (rated) ของมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์

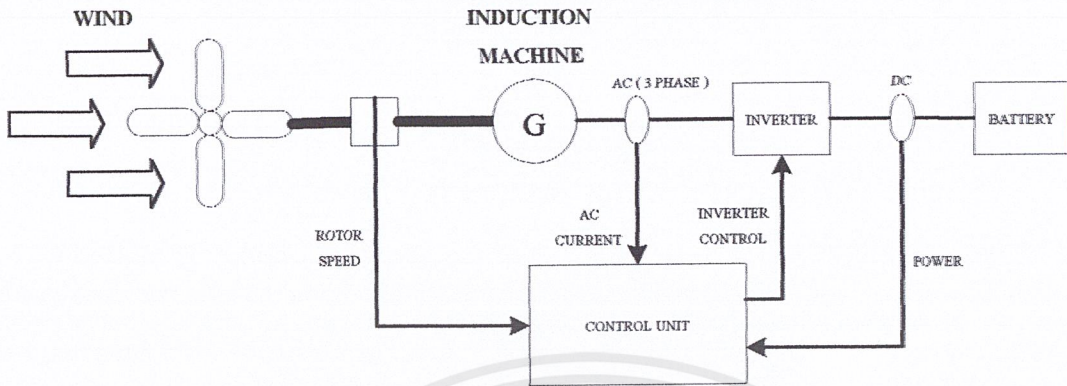
5.6.3 ควบคุมความถี่ของอินเวอร์เตอร์

การใช้งานจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เชื่อมต่อคือวงจร A/D และ D/A คอนเวอร์เตอร์เพื่อส่งค่าเปรียบเทียบและส่งสัญญาณออกไปควบคุม

หลังจากไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าทุกค่าแล้วจะประมวลผล แล้วจะทำการปรับค่าความถี่ของอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ความเร็วของโรเตอร์มากกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนเสมอ แต่ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ค่ากระแสต้องไม่เกินค่าพิกัดของมอเตอร์และอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ยังต้องๆได้ค่ากำลังงานสูงสุดอีกด้วย



## 5.7 ระบบการทำงานของชุด Wind Generator



รูปที่ 5.2 ระบบการทำงานของ Wind Generator

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำรับพลังงานกลจากแกนเพลลาของกังหันลมที่ผ่านการทดรอบ เพื่อให้มีความเร็วที่สูงขึ้น เมื่อความเร็วของโรเตอร์สูงกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน ( $N_r > N_s$ ) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็จะสามารถคืนพลังงานกลับเข้าสู่แบตเตอรี่ และเก็บไว้เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป แต่เนื่องด้วยพลังงานลมเป็นพลังงานที่ไม่สม่ำเสมอ จึงใช้ระบบควบคุมเพื่อทำการปรับความถี่ที่จ่ายให้กับเครื่องกำเนิดเพื่อให้เครื่องกำเนิดสามารถจ่ายกำลังงานได้ดีที่สุดโดย control unit ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานดังนี้ คือรับค่าความเร็วรอบ (rotor speed) จากอุปกรณ์ตรวจจับความเร็วรอบที่แกนเพลลาแล้วทำการประมวลผลเพื่อส่งให้อินเวอร์เตอร์ (inverter control) จ่ายสัญญาณความถี่เพื่อสร้างความเร็วสนามแม่เหล็กให้เท่ากับความเร็วรอบของโรเตอร์ จากนั้นทำการลดความถี่ลงเพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถคืนกำลังงานไฟฟ้าได้ ระบบควบคุมจะทำการลดความถี่ลงจนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายพลังงานที่พิกัดกระแส ซึ่งจะทำให้ได้พลังงานสูงสุด โดยที่ระบบยังสามารถทำงานอยู่ได้โดยไม่เกิดอันตรายและเมื่อความเร็วลมเปลี่ยนแปลง ก็ทำการปรับความถี่จนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายพลังงานที่กระแสพิกัดอีกครั้งนอกจากนี้ก็จะทำการตัดวงจรเมื่อความเร็วลมในเวลานั้นต่ำเกินไป ( $< 300 \text{ rpm}$ ) ซึ่งทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายพลังงานคืนกลับระบบได้

## บทที่ 6

# วงจรสมมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

## (Equivalent Circuit)

### 6.1 บทนำ

การหาวงจรมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในโครงการนี้จะอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE Std 112-1996 (IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators) โดยทำการทดสอบสถานะไร้น้ำหนัก (no-load test) และการทดสอบยึดโรเตอร์ (locked rotor test) ซึ่งการทดสอบหาวงจรมูลวิธี F หรือ F1 (test method F or F1) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในหลายๆ วิธีของมาตรฐานการทดสอบของ IEEE โดยโครงการนี้จะใช้มอเตอร์ทดสอบ 4 ตัว คือ 4 poles, 6 poles, 12 poles และ 12 poles ที่พันขึ้นใหม่จาก 4 poles โดยลดขนาดขดลวดลง 3 เท่าและเพิ่มจำนวนรอบเป็น 3 เท่า ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบต่างๆ ดังนี้

### 6.2 การทดสอบสถานะไร้ภาระ (No-load test)

การทดสอบจะทำโดยให้เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำหมุน โดยไร้ภาระที่พิกัดแรงดันและที่พิกัดความถี่และทำการอ่านค่ากระแสที่วัดได้จากทุกเฟส เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยแล้วจะได้ค่ากระแสที่สถานะไร้ภาระ (no-load current) ส่วนค่าสูญเสียนั้นจะได้อ่านค่ากำลังงานที่เข้าทางด้านสเตเตอร์ (power input) ทั้งหมด แต่เมื่อลบออกด้วยค่าสูญเสียเนื่องจากขดลวดทองแดง (stator  $I^2R$  loss) ออกจากกำลังงานที่เข้าทางด้านสเตเตอร์ (power input) ก็จะได้ค่าผลรวมของค่าสูญเสียเนื่องจากความฝืด แรงลม และแกนเหล็ก (friction, windage and core losses)

#### 6.2.1 การหาค่าความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก (Core loss)

ค่าความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก ณ สถานะไร้ภาระที่พิกัดแรงดันหาได้จากการนำค่ากำลังงานที่เข้าทางสเตเตอร์ในสถานะไร้ภาระลบด้วยค่าความสูญเสียเนื่องจากทองแดง (stator  $I^2R$  loss) และค่าความสูญเสียทางกล (mechanical loss) จะได้ค่าความสูญเสียเนื่องแกนเหล็ก (core loss) ออกมา

### 6.2.2 การหาค่าความสูญเสียทางกล (Mechanical loss)

ทดสอบโดยการปรับค่าแรงดันจาก 10% ของพิกัดแรงดันไปจนถึง 125% ของพิกัดแรงดัน และวัดค่ากระแสกับกำลังงานที่เข้าทางสเตเตอร์ในสถานะไร้ภาระที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของพิกัดแรงดัน จากนั้นนำค่าที่ได้หาค่าเฉลี่ยแล้วนำไปวาดเป็นกราฟของกระแสและกำลังงาน ณ สถานะไร้ภาระเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ของพิกัดแรงดันที่แปรเปลี่ยนไป แล้วทำการวาดเส้นกราฟของกำลังงานที่เข้าทางสเตเตอร์  $P_{cu,loss}$  ในสถานะไร้ภาระต่อไปจนกราฟตัดกับแกน Y ของเปอร์เซ็นต์พิกัด ณ จุดที่กราฟตัดกับแกน Y ของแรงดันนี้ คือค่าความสูญเสียทางกล (mechanical loss)

### 6.3 การทดสอบโดยการยึดโรเตอร์ (Locked rotor test)

ทดสอบโดยการยึดโรเตอร์ที่พิกัดความถี่ โดยจะปรับแรงดันไปจนทำให้ได้ค่ากระแสที่พิกัด โดยที่โรเตอร์ที่ใช้เป็นแบบโรเตอร์กรงกระรอก (squirrel-cage rotor) เพราะฉะนั้นในการหาค่าอิมพีแดนซ์ (impedance) ของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบโรเตอร์กรงกระรอกจึงไม่มีผลของการวางตำแหน่งของโรเตอร์ให้สัมพันธ์กับสเตเตอร์เหมือนกับแบบवालวโรเตอร์

จากนั้นทำการบันทึกค่าแรงดัน, กระแส, มุมต่างเฟส ( $\phi$ ) และกำลังงานที่เข้าทางสเตเตอร์ ในขณะที่ทำการทดสอบโดยยึดโรเตอร์และทำการปรับค่าแรงดัน จนวัดค่ากระแสได้ที่พิกัดของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่นำมาทดสอบ จากนั้นนำค่าที่บันทึกได้ไปทำการหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะนำไปหาค่า rotor resistance ( $R_1$ ) และ total leakage reactance ( $X_1 + X_2$ ) จากสมการต่างๆ ของ IEEE Std112-1996 (วิธี F-F1)

### 6.4 สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าของวงจรสมมูลของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เมื่อทำการทดสอบและได้ค่าต่างๆ แล้วก็ทำการกำหนดค่าอัตราส่วน  $X_1/X_2$  ขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณต่อไป

โดยอัตราส่วนของ  $X_1/X_2$  จะแบ่งตามชนิดของมอเตอร์ได้ ดังนี้

$$X_1/X_2 = 1.0 \quad : \text{ class A, class D, wound rotor motors}$$

$$X_1/X_2 = 0.67 \quad : \text{ class B motors}$$

$$X_1/X_2 = 0.43 \quad : \text{ class C motors}$$

โดยที่มีสมการที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้

$$VAR = \sqrt{[(mVI)^2 - W^2]} \quad (6.1)$$

$$X_M = \frac{mV_o^2}{VAR_o - mI_{10}^2 X_1} \times \left[ \frac{1}{1 + (X_1/X_M)} \right]^2 \quad (6.2)$$

$$X_{1L} = \frac{VAR_L}{mI_{1L}^2 \{1 + (X_1/X_2) + (X_1/X_M)\}} \times \{(X_1/X_2) + (X_1/X_M)\} \quad (6.3)$$

$$X_1 = (f/f_L) \times X_{1L} \quad (6.4)$$

จากสมการ (6.2), (6.3) และ(6.4) มีขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

1. แก้สมการ (6.2) โดยที่กำหนดค่า  $X_M$  และ  $X_1$  ขึ้นมาแล้วหาค่าอัตราส่วน  $X_1/X_M$  เพื่อนำไปคำนวณหาค่า  $X_M$  ค่าใหม่
2. แก้สมการ (6.3) เพื่อหาค่า  $X_{1L}$  โดยที่ใช้ค่าอัตราส่วน  $X_1/X_M$  ที่กำหนดมาจากสมการ (6.2)
3. แก้สมการ (6.4) เพื่อหาค่า  $X_1$
4. แก้สมการ (6.2) ใหม่เพื่อหาค่า  $X_M$  ค่าใหม่โดยใช้  $X_1$  จากสมการ (6.4),  $X_M$  จากสมการ (6.2) และอัตราส่วน  $X_1/X_M$  จากสมการ (6.2) และ(6.4)
5. ทำตามขั้นตอนที่ 1-4 ใหม่จนกระทั่งได้ค่า  $X_M$  และ  $X_1$  ที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (ความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.1%)

$$b_M = 1/X_M \quad (6.5)$$

$$X_2 = X_1 / (X_1/X_2) \quad (6.6)$$

$$W_h = W_o - W_f - mI_{10}^2 R_1 \quad (6.7)$$

$$g_c = \frac{W_h}{mV_o^2} \times \left[ 1 + (X_1/X_M) \right]^2 \quad (6.8)$$

$$R = 1/g_c \quad (6.9)$$

$$R_2 = \left[ \frac{W_L}{mI_{1L}^2} - R_1 \right] \times \left[ 1 + \frac{X_2}{X_M} \right]^2 - \left[ \frac{X_2}{X_1} \right] \times \left[ X_{1L}^2 g_c \right] \quad (6.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่	$V =$	=	แรงดันต่อเฟส(V)
	$f$	=	ความถี่ (Hz)
	$I_1$	=	กระแสทางด้านสเตเตอร์ (A)
	$I_2$	=	กระแสทางด้านโรเตอร์ (A)
	$m$	=	จำนวนเฟส
	$R_1$	=	ค่าความต้านทานของสเตเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ ณ อุณหภูมิเฉพาะ Class ของฉนวนมีหน่วยเป็น โอห์ม ( $\Omega$ )
	$R_1'$	=	ค่าความต้านทานของสเตเตอร์ที่ได้จากการทดสอบที่สภาวะไร้น้ำหนัก ( $\Omega$ )
	$R_1''$	=	ค่าความต้านทานของโรเตอร์ที่ได้จากการทดสอบยึดโรเตอร์ ( $\Omega$ )
	$R_2$	=	ค่าความต้านทานของโรเตอร์ที่ย้ายมาทางด้านสเตเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ ณ อุณหภูมิเฉพาะ class ของฉนวนมีหน่วยเป็น โอห์ม ( $\Omega$ )
	$R_2''$	=	ค่าความต้านทานของโรเตอร์ที่ย้ายมาทางด้านสเตเตอร์ที่ได้จากการทดสอบยึดโรเตอร์ ( $\Omega$ )
	$X_1$	=	ค่ารีแอกแตนซ์รั่วไหลทางด้านสเตเตอร์ ( $\Omega$ )
	$X_2$	=	ค่ารีแอกแตนซ์รั่วไหลทางด้านโรเตอร์ ( $\Omega$ )
	$X_M$	=	ค่ารีแอกแตนซ์ในส่วนสร้างสนามแม่เหล็ก ( $\Omega$ )
	$R_c$	=	ค่าความต้านทานที่สูญเสียในแกนเหล็ก ( $\Omega$ )
	$g_c$	=	ค่าความนำที่สูญเสียในแกนเหล็ก ( $\Omega^{-1}$ )
	$VAR$	=	กำลังงานเสมือน ; reactive power (vars)
	$W$	=	กำลังงานที่เข้าทางด้านสเตเตอร์ (power input; W)
	$W_h$	=	กำลังงานที่สูญเสียในแกนเหล็ก (core loss; W)
	$W_f$	=	กำลังงานที่สูญเสียจากแรงลมและความฝืด (friction and windage loss; W)
	$L$	=	ค่าที่วัดได้จากการทดสอบโดยวิธียึดโรเตอร์ (locked rotor test)
	$O$	=	ค่าที่วัดได้จากการทดสอบในสภาวะไร้อภาระ (no-load test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Induction Machine 4 Poles

#### ผลการทดสอบสถานะไร้ภาระ (No-load test)

Induction Machine	1 Hp	4 Poles		
		VOLT (V)	220	380
		AMP (A)	3.4	2
		RPM	1400	

ตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบสถานะไร้ภาระของมอเตอร์ 4 poles

$V_{IN}$ (V)	$I_{AVE}$ (A)	p.f	$N_r$ (rpm)	$P_{\phi}$ (W)
20.8	0.14	0.51	1447	4.56
38	0.18	0.32	1487	6.79
76	0.20	0.29	1494	7.84
114	0.27	0.22	1496	12.4
152	0.35	0.19	1497	18.0
190	0.43	0.17	1498	24.9
228	0.51	0.16	1498	33.3
266	0.61	0.15	1498	43.7
304	0.71	0.15	1499	55.9
342	0.85	0.14	1499	72.2
380	1.02	0.14	1499	94.9
418	1.27	0.13	1499	129.2
456	1.63	0.14	1499	187.3
475	1.82	0.14	1499	221.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดสอบการยึดโรเตอร์ (Locked-rotor test)

ตารางที่ 6.2 ผลการทดสอบการยึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 4 poles

ครั้งที่	$I_{\text{rated}}$ (A)	V (V)	p.f	$P_{3\phi}$ (W)
1	2.01	93.00	0.68	220.3
2	2.01	92.05	0.68	220.5
3	2.00	91.64	0.68	218.08
เฉลี่ย	2.01	92.23	0.68	219.62

### ผลการทดสอบ V-I Method

ตารางที่ 6.3 ผลการทดสอบ V-I Method ของมอเตอร์ 4 poles

ครั้งที่ 1

I (A)	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	เฉลี่ย
V (V)	2.46	4.69	6.96	9.16	11.36	13.54	15.84	-
R ( $\Omega$ )	9.84	9.38	9.28	9.16	9.09	9.03	9.05	9.26

ครั้งที่ 2

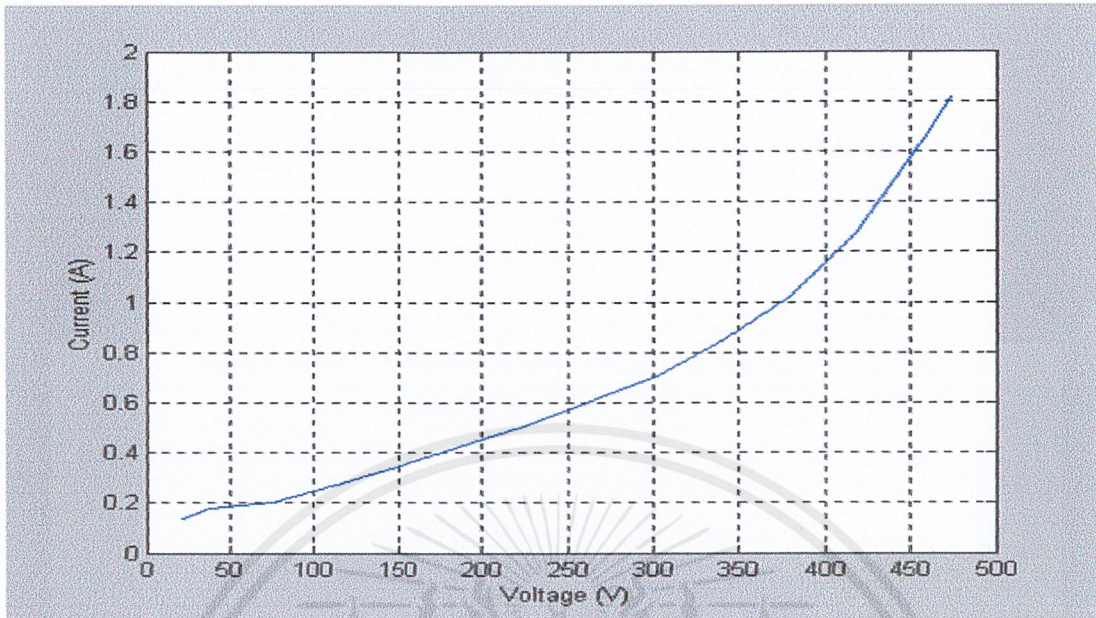
I (A)	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	เฉลี่ย
V (V)	2.43	4.67	6.85	9.17	11.42	13.56	16.02	-
R ( $\Omega$ )	9.72	9.34	9.13	9.17	9.14	9.04	9.15	9.24

ครั้งที่ 3

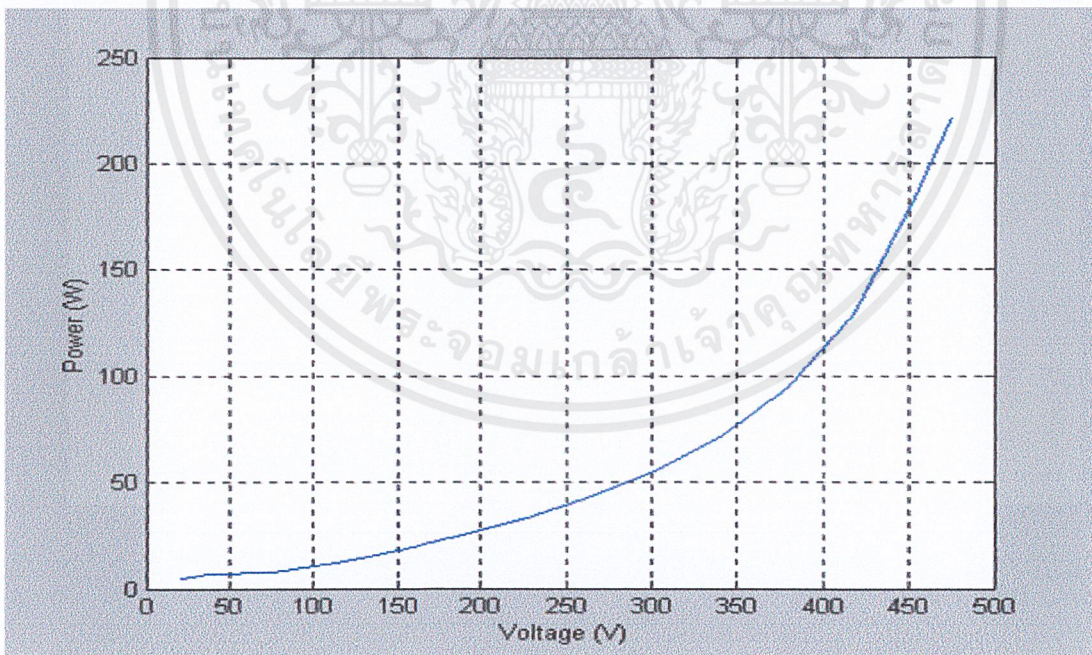
I (A)	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	เฉลี่ย
V (V)	2.26	4.52	6.85	9.17	11.42	13.45	15.80	
R ( $\Omega$ )	9.04	9.04	9.13	9.17	9.14	8.97	9.03	9.07

$$R_{I \text{ average}} = (9.26 + 9.24 + 9.07) / 3 = 9.19 \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

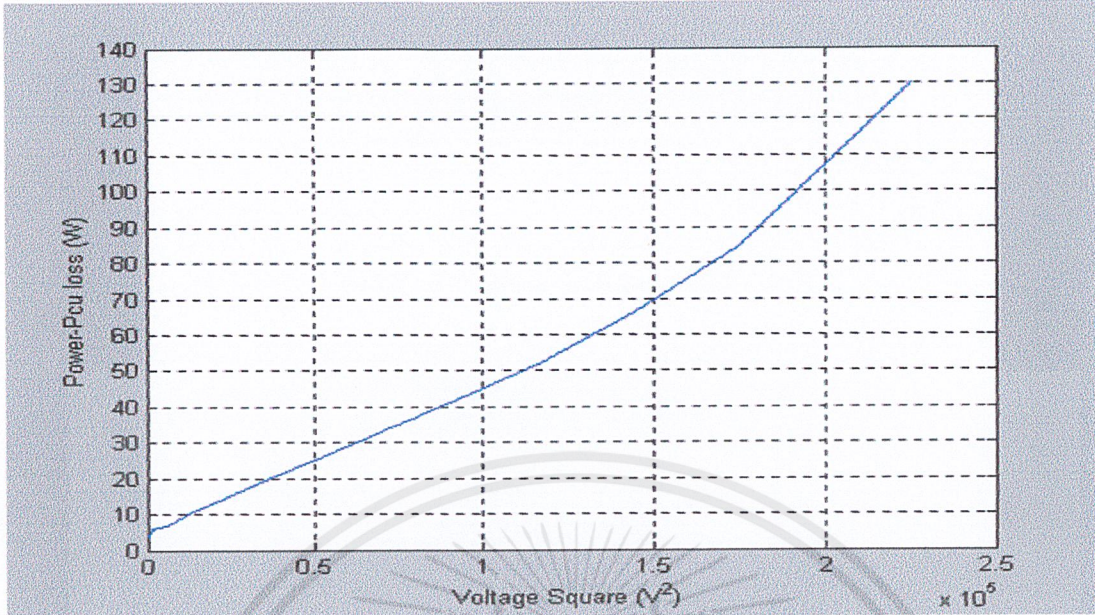


รูปที่ 6.1 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สถานะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles

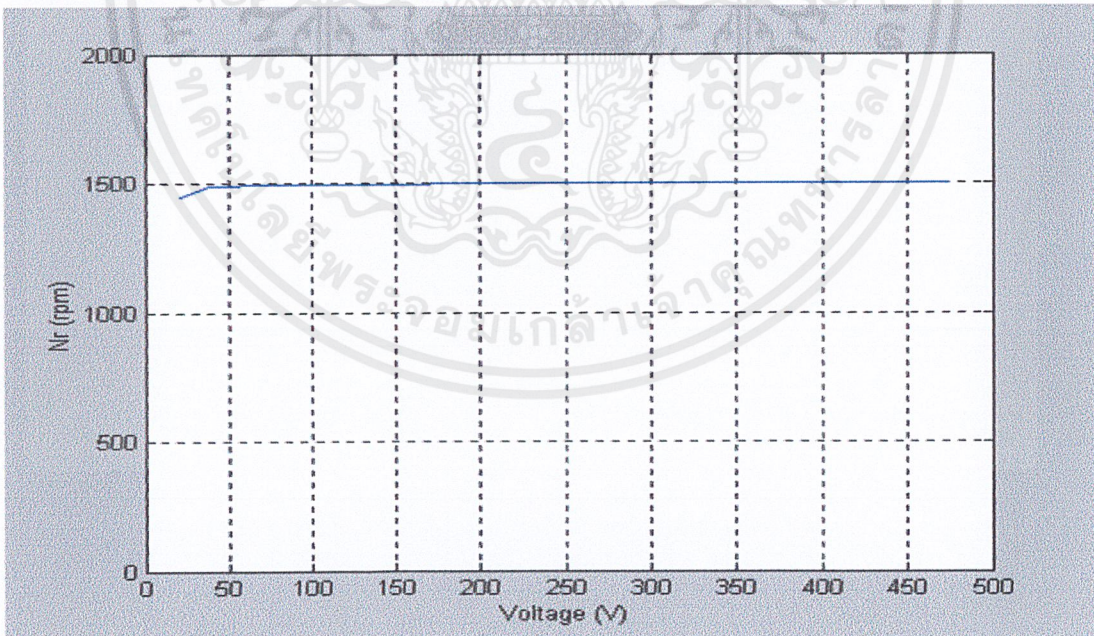


รูปที่ 6.2 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบที่สถานะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 กราฟของกำลังงานลบด้วยค่าความสูญเสียที่เสเตเตอร์กับแรงดันกำลังสองในการทดสอบที่สภาวะ ไร้อภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles  
จากรูปที่ 6.3 ค่าความสูญเสียทางกล(mechanical loss)ประมาณ 5 วัตต์



รูปที่ 6.4 กราฟของความเร็วกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะ ไร้อภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Induction machine 6 Poles

#### ผลการทดสอบสถานะไร้ภาระ (No-load test)

Induction Machine	1 Hp	6 Poles		
		VOLT (V)	220	380
		AMP (A)	4.0	2.3
		RPM	940	

ตารางที่ 6.4 ผลการทดสอบสถานะไร้ภาระของมอเตอร์ 6 poles

$V_{IN}$ (V)	$I_{AVE}$ (A)	p.f	$N_r$ (rpm)	$P_{\alpha,3\phi}$ (W)
17.16	0.22	0.45	917.0	5.3
38	0.2	0.38	971.5	5.2
76	0.32	0.21	996.1	8.9
114	0.45	0.16	998.6	14.1
152	0.59	0.13	998.9	20.2
190	0.73	0.12	999.1	28.8
228	0.88	0.11	999.4	38.7
266	1.03	0.11	999.6	50.7
304	1.18	0.1	999.8	64.9
342	1.36	0.1	999.9	82.6
380	1.54	0.1	1000	103.2
418	1.76	0.1	1000	130.6
456	2.03	0.1	1000	165.4
475	2.21	0.1	1000	189.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดสอบการยึดโรเตอร์ (Locked-rotor test)

ตารางที่ 6.5 ผลการทดสอบการยึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 6 poles

ครั้งที่	$I_{rated}$ (A)	V (V)	p.f	$P_{3\phi}$ (W)
1	2.31	94.22	0.57	213.7
2	2.35	95.87	0.58	225.2
3	2.33	95.07	0.57	220.7
เฉลี่ย	2.33	95.05	0.57	220.53

### ผลการทดสอบ V-I Method

ตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบ V-I Method ของมอเตอร์ 6 poles

ครั้งที่ 1

I (A)	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	เฉลี่ย
V (V)	1.84	3.06	5.40	7.11	8.89	10.66	12.40	14.20	-
R ( $\Omega$ )	7.36	6.12	7.20	7.11	7.11	7.11	7.09	7.10	7.02

ครั้งที่ 2

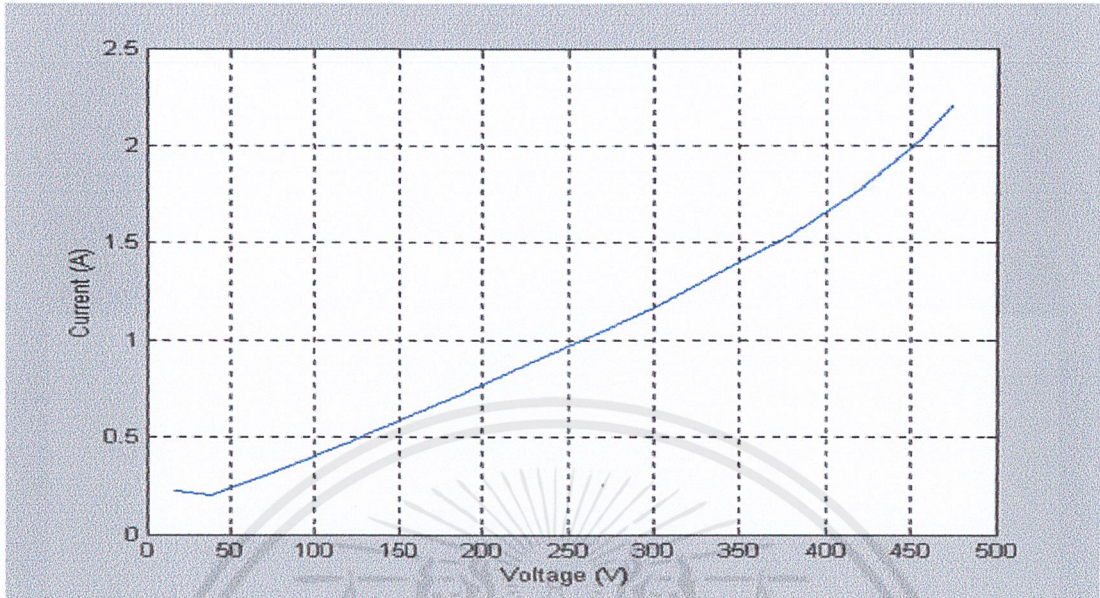
I (A)	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	เฉลี่ย
V (V)	1.88	3.54	5.35	7.08	8.88	10.65	12.40	14.16	-
R ( $\Omega$ )	7.52	7.08	7.13	7.08	7.10	7.10	7.09	7.08	7.99

ครั้งที่ 3

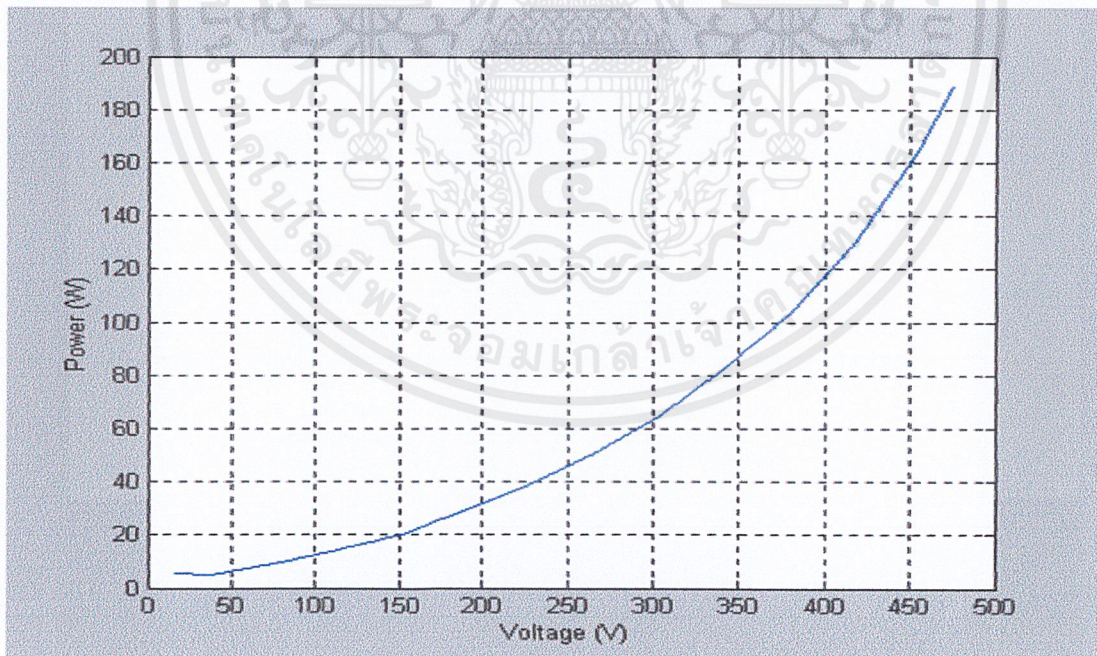
I (A)	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	เฉลี่ย
V (V)	1.84	3.63	5.41	7.19	8.96	10.72	12.48	14.23	-
R ( $\Omega$ )	7.36	7.26	7.21	7.19	7.17	7.15	7.13	7.12	7.20

$$R_{1 \text{ average}} = (7.02 + 7.99 + 7.20) / 3 = 7.40$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

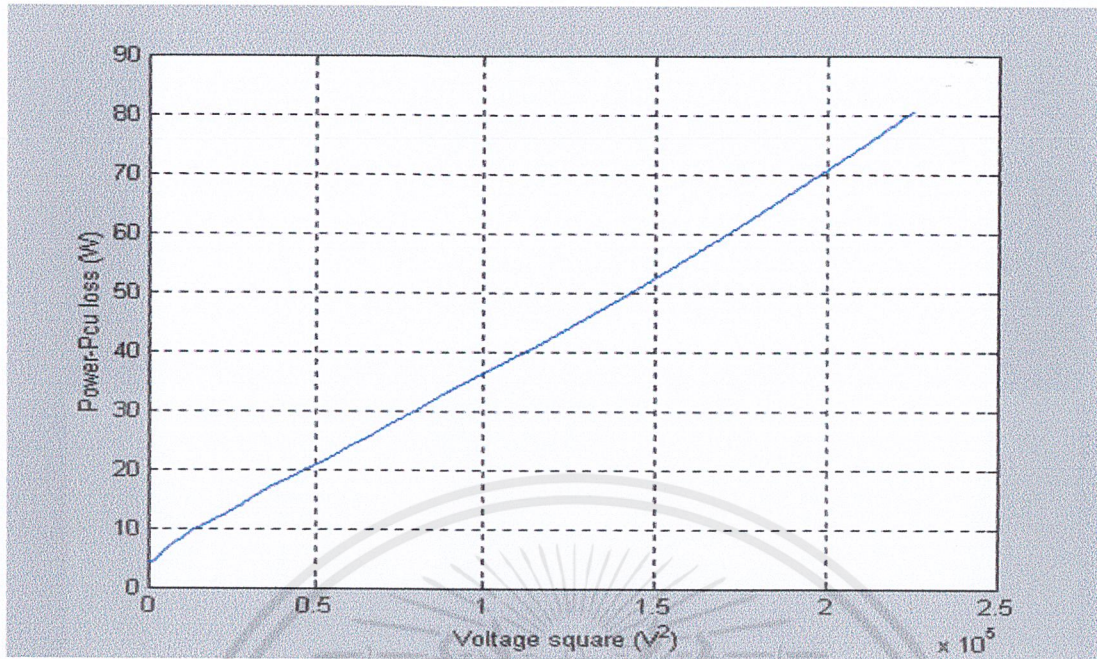


รูปที่ 6.5 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 6 poles



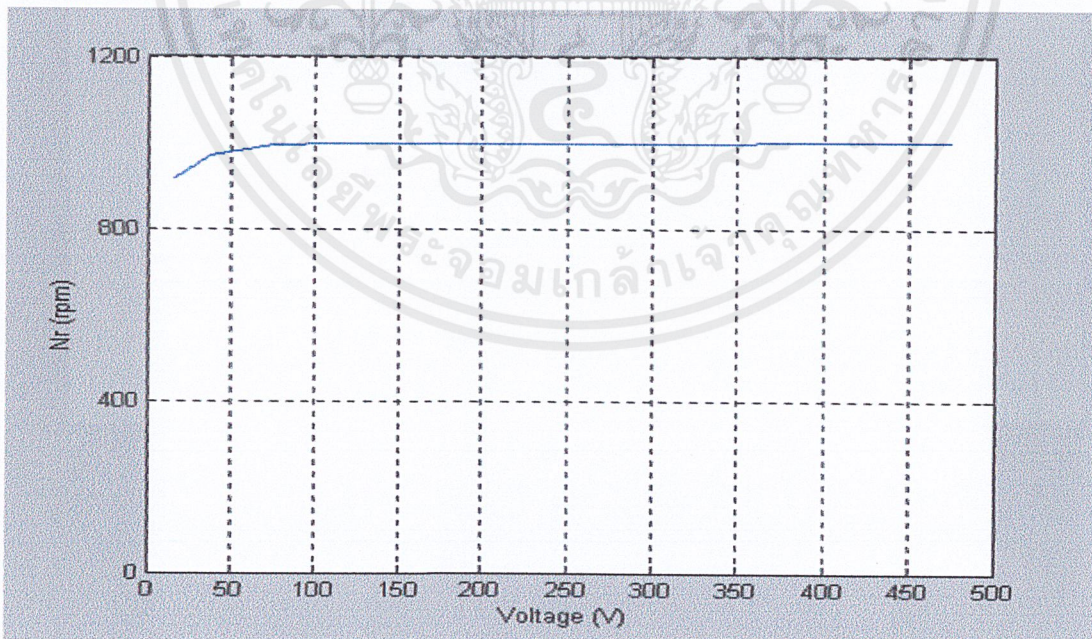
รูปที่ 6.6 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 6 poles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 กราฟของกำลังงานลบด้วยค่าความสูญเสียที่สเตรเตอร์กับแรงดันกำลังสองในการทดสอบ  
ที่สภาวะ ไร้อภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 6 poles

จากรูปที่ 6.7 ค่าความสูญเสียทางกล(mechanical loss)ประมาณ 5 วัตต์



รูปที่ 6.8 กราฟของความเร็วกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะ ไร้อภาระ (no-load test)  
ของมอเตอร์ 6 poles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Induction Machine 12 Poles

#### ผลการทดสอบสถานะไร้ภาระ (No-load test)

Induction Machine	1 Hp	12 Pole			
		VOLT (V)	190	329	
		AMP (A)	1.73	1	
		RPM	500		

ตารางที่ 6.7 ผลการทดสอบสถานะไร้ภาระของมอเตอร์ 12 poles

$V_{IN}$ (V)	$I_{AVE}$ (A)	p.f	$N_r$ (rpm)	$P_{0,3\phi}$ (W)
32.9	0.07	0.34	424.2	1.33
65.8	0.12	0.34	481.7	3.36
98.7	0.18	0.24	491.1	6.4
131.63	0.24	0.21	494.3	10.3
164.54	0.29	0.2	496.4	15.7
197.45	0.35	0.19	496.8	21.8
230.00	0.41	0.18	497.4	29.2
263.27	0.47	0.18	497.7	37.5
296.18	0.52	0.18	498.8	47.1
329.08	0.58	0.18	499.8	57.6
361.99	0.64	0.17	499.8	69.3
394.90	0.7	0.17	499.8	82.1
429.63	0.73	0.17	499.8	88.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดสอบการยึดโรเตอร์ (Locked-rotor test)

ตารางที่ 6.8 ผลการทดสอบการยึดโรเตอร์ของมอเตอร์ 12 poles

ครั้งที่	$I_{rated}$ (A)	V (V)	p.f	$P_{3\phi}$ (W)
1	0.87	199.07	0.64	329.9
2	0.87	199.49	0.64	333.1
3	0.87	198.42	0.64	326.9
เฉลี่ย	0.87	198.99	0.64	329.97

### ผลการทดสอบ V-I Method

ตารางที่ 6.9 ผลการทดสอบ V-I Method ของมอเตอร์ 12 poles

ครั้งที่ 1

I (A)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	เฉลี่ย
V (V)	4.68	8.92	12.86	17.20	21.53	25.17	30.23	-
R ( $\Omega$ )	46.80	44.60	42.87	43.00	43.06	41.95	43.19	43.63

ครั้งที่ 2

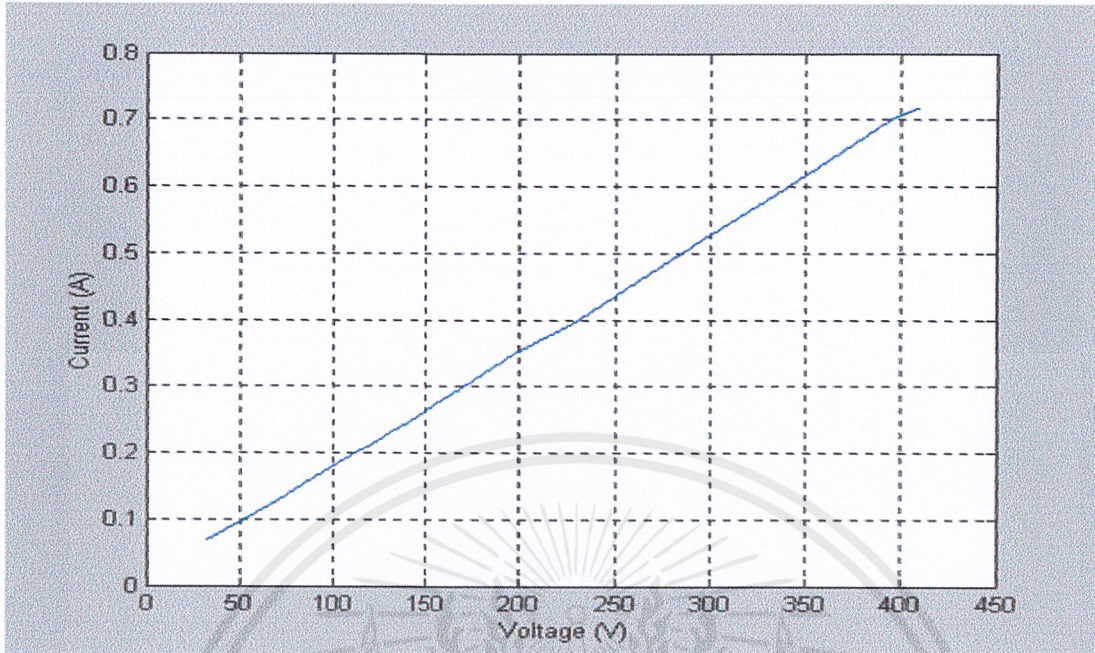
I (A)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	เฉลี่ย
V (V)	4.36	8.59	12.82	17.35	21.89	25.65	30	-
R ( $\Omega$ )	43.6	42.95	42.73	43.38	43.78	42.75	42.86	43.15

ครั้งที่ 3

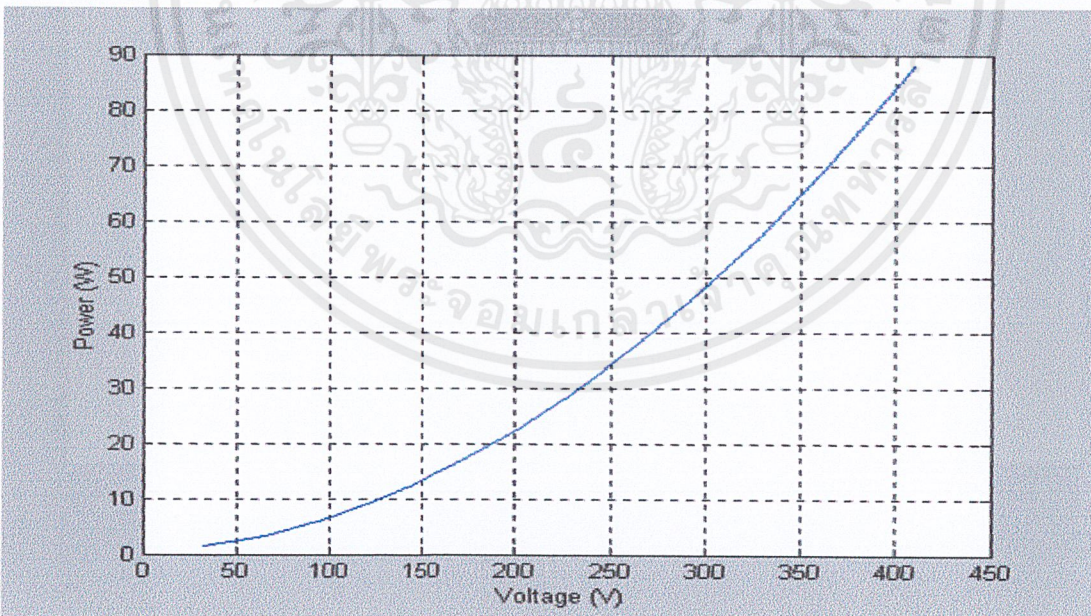
I (A)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	เฉลี่ย
V (V)	4.42	8.72	12.89	17.26	21.52	25.68	30.22	-
R ( $\Omega$ )	44.20	43.60	42.97	43.15	43.04	42.80	43.17	43.27

$$R_{1 \text{ average}} = (43.63+43.15+43.27)/3 = 43.35 \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

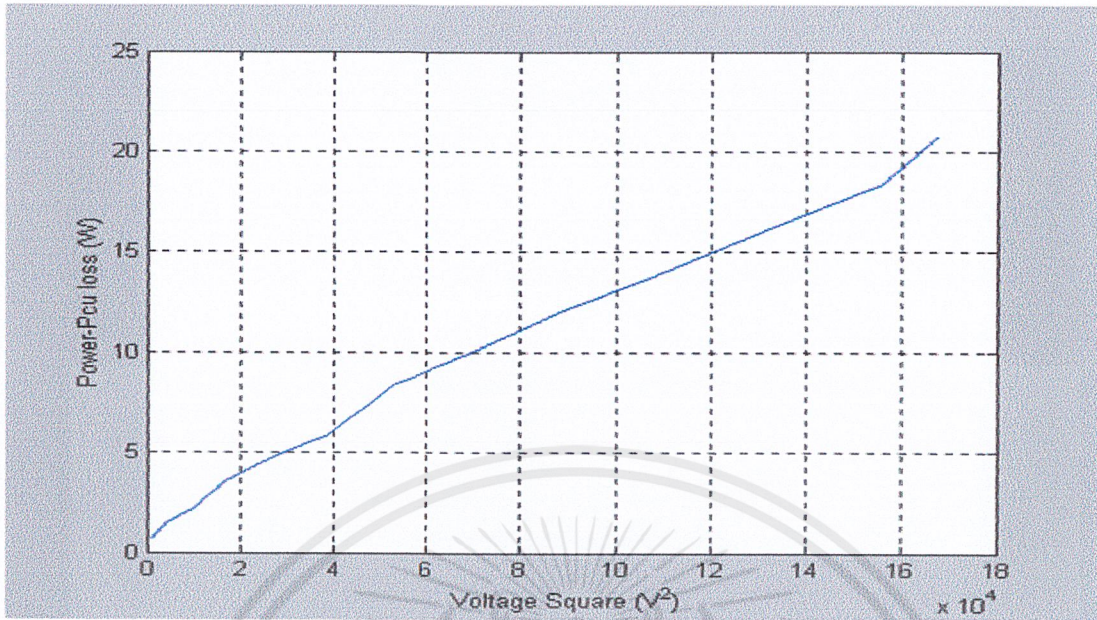


รูปที่ 6.9 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 12 poles



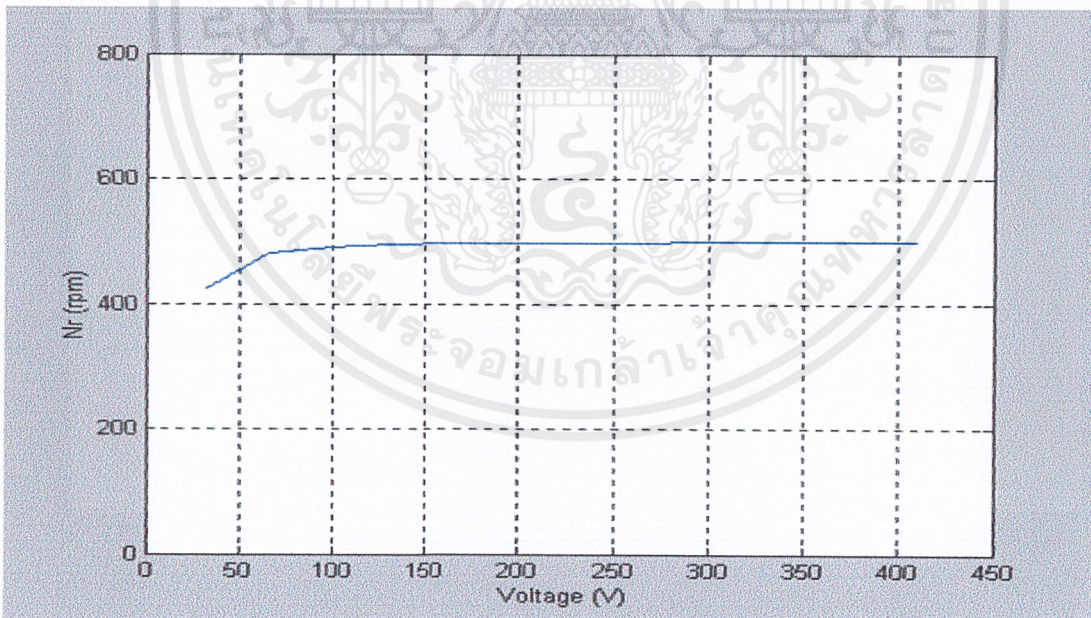
รูปที่ 6.10 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 12 poles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.11 กราฟของกำลังงานลบด้วยค่าความสูญเสียที่สเตเตอร์กับแรงดันกำลังสองในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 12 poles

จากรูปที่ 6.11 ค่าความสูญเสียทางกล(mechanical loss)ประมาณ 1 วัตต์



รูปที่ 6.12 กราฟของความเร็วกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 12 poles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### ผลการทดสอบการยึดโรเตอร์ (Locked rotor test)

ตารางที่ 6.11 ผลการทดสอบการยึด โรเตอร์ของมอเตอร์ 4 poles พันเป็น 12 poles

ครั้งที่	$I_{rated}$ (A)	V (V)	p.f	$P_{3\phi}$ (W)
1	0.77	231.70	0.58	179.22
2	0.77	233.88	0.59	184.03
3	0.77	234.77	0.59	184.73
เฉลี่ย	0.77	233.45	0.59	182.66

### ผลการทดสอบ V-I Method

ตารางที่ 6.12 ผลการทดสอบ V-I Method ของมอเตอร์ 4 poles พันเป็น 12 poles ครั้งที่ 1

I (A)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	เฉลี่ย
V (V)	6.24	12.51	18.67	25.02	31.08	
R ( $\Omega$ )	62.36	62.57	62.22	62.56	62.15	62.37

ครั้งที่ 2

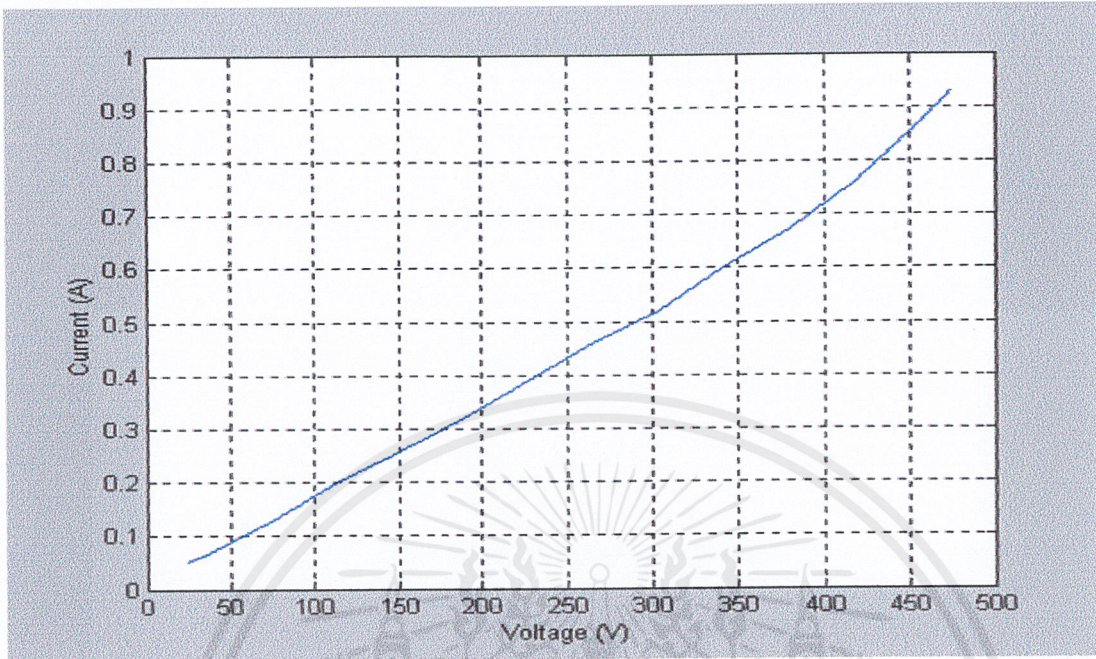
I (A)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	เฉลี่ย
V (V)	6.25	12.44	18.62	25.10	31.36	-
R ( $\Omega$ )	62.48	62.21	62.05	62.74	62.71	62.44

ครั้งที่ 3

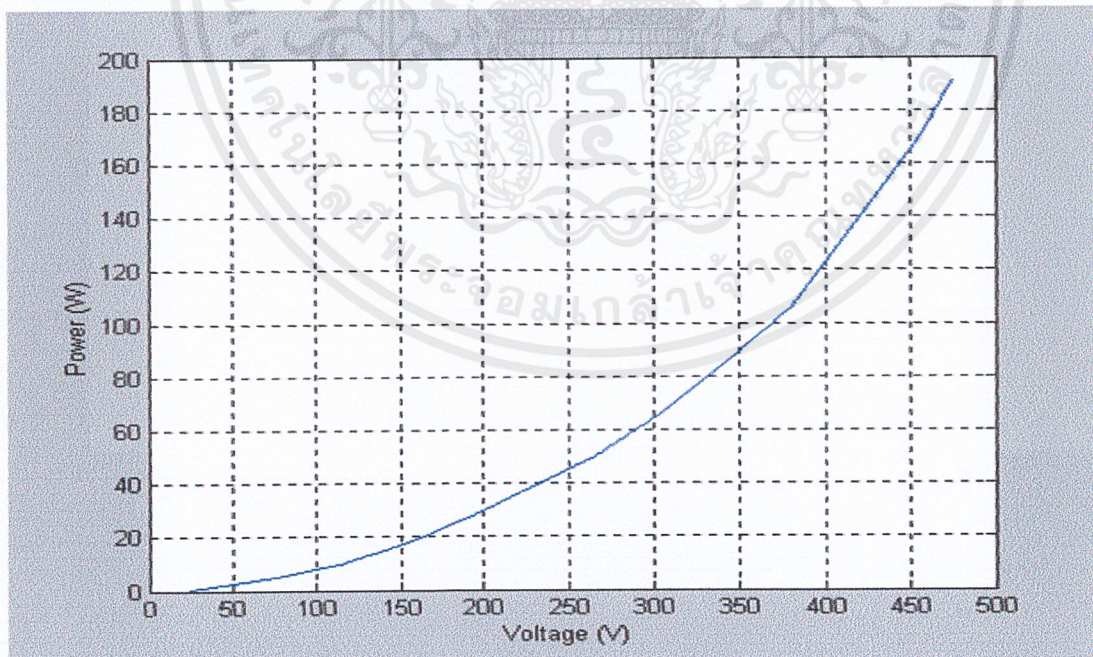
I (A)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	เฉลี่ย
V (V)	6.23	12.49	18.68	25.03	31.38	-
R ( $\Omega$ )	62.32	62.46	62.25	62.58	62.76	62.47

$$R_{\text{leverage}} = (62.37+62.44+62.47)/3 = 63.42 \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

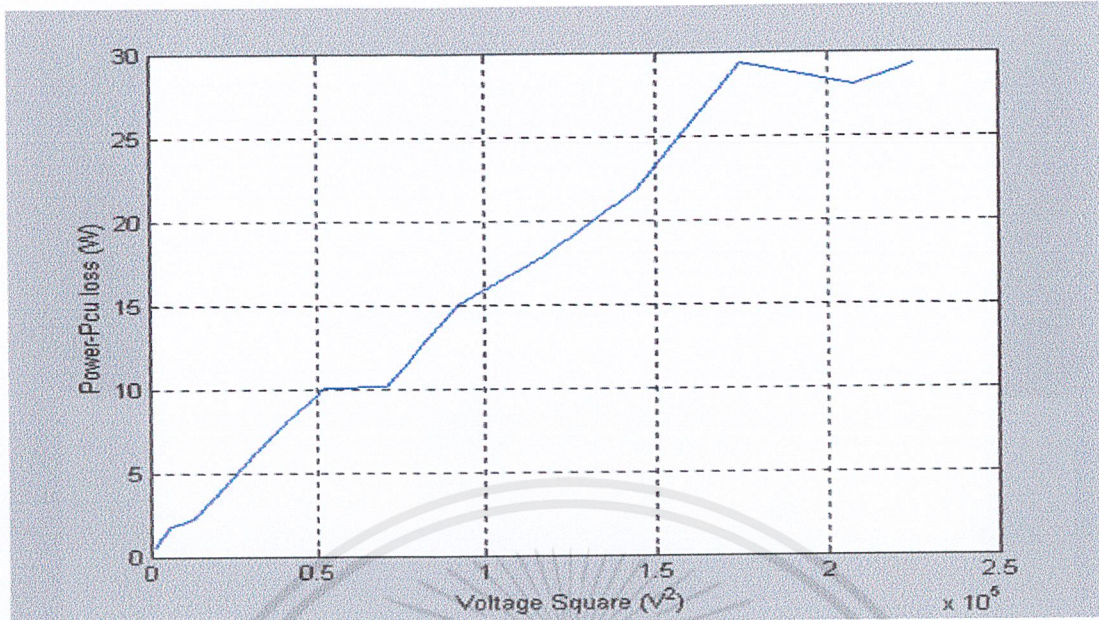


รูปที่ 6.13 กราฟของกระแสกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะ ไร้อภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles พันเป็น 12 poles

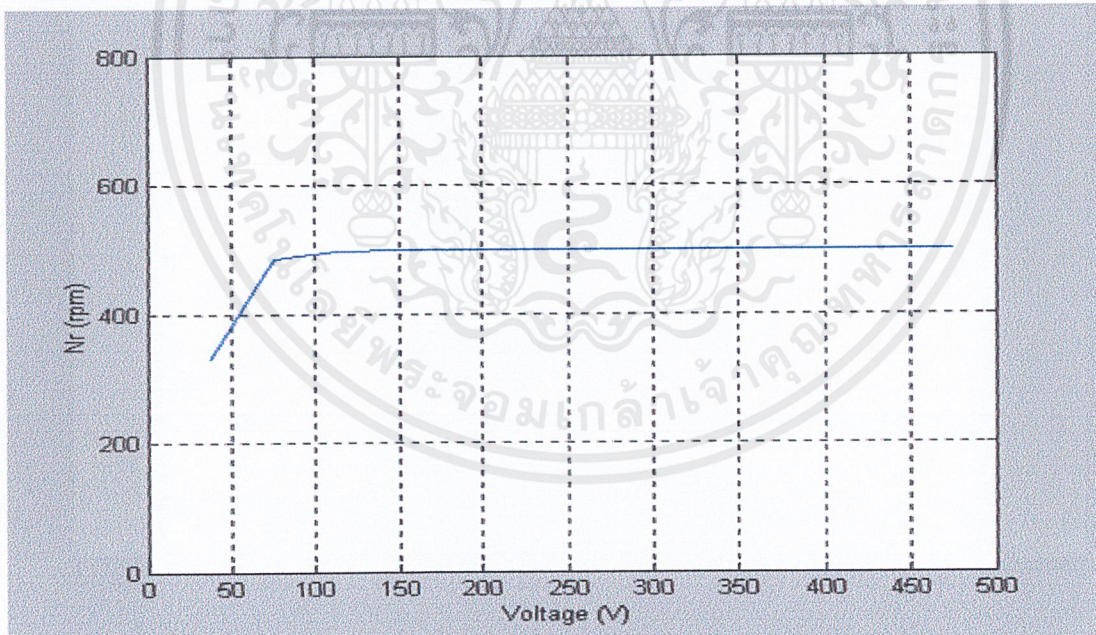


รูปที่ 6.14 กราฟของกำลังงานกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะ ไร้อภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles พันเป็น 12 poles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.15 กราฟของกำลังงานลบด้วยค่าความสูญเสียที่สเตรเตอร์กับแรงดันกำลังสองในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles พันเป็น 12 poles  
จากรูปที่ 6.15 ค่าความสูญเสียทางกล(mechanical loss)ประมาณ 1 วัตต์



รูปที่ 6.16 กราฟของความเร็วกับแรงดันในการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระ (no-load test) ของมอเตอร์ 4 poles พันเป็น 12 poles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการคำนวณค่าต่างๆของวงจรมุมของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction Machine) 1 แรง  
ม้า ตามมาตรฐาน IEEE Std 112-1996

ตารางที่ 6.13 ค่าEquivalent Circuit-ของมอเตอร์ชนิดต่างๆ

Induction Machine	4 poles	6 poles	12 poles A	12 poles B
$R_1 (\Omega)$	9.19	7.4	43.35	63.42
$R_2 (\Omega)$	11.02	8.23	126.73	56.48
$X_1, X_2 (\Omega)$	40.91	36.25	59.18	98.50
$X_M (\Omega)$	333.29	211.35	511.92	478.16
$R_c (\Omega)$	5613.58	6929.46	20312.26	15327.06

หมายเหตุ 12 poles A คือ เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 12 poles จากโรงงาน

12 poles B คือ เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 12 poles ที่พัฒนาขึ้นใหม่ จาก 4 poles

## บทที่ 7

# การทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

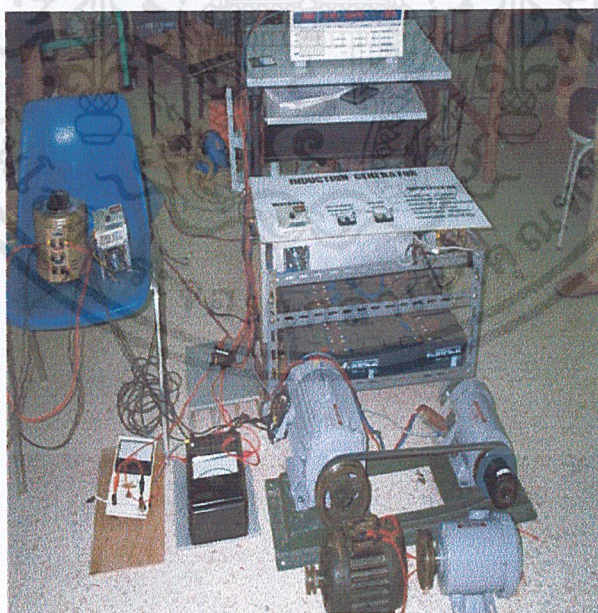
### 7.1 บทนำ

การทดลองในบทนี้จะกล่าวถึง การศึกษาเกี่ยวกับการทดลองของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้ทำงานในสถานะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยในการทดลองนั้น ได้แบ่งเป็นหัวข้อการทดลองเป็น การทดลองเมื่อต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยมีการควบคุมปรับลดความถี่จากอินเวอร์เตอร์ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำซึ่งจะทำให้มีการคืนกำลังงานผ่านอินเวอร์เตอร์และนำกำลังเก็บเอาไว้ในแบตเตอรี่

### 7.2 การทดลองคืนพลังงาน

#### 7.2.1 ทดลองคืนพลังงานหาจุดคืนพลังงานที่ความเร็วลมต่ำสุด

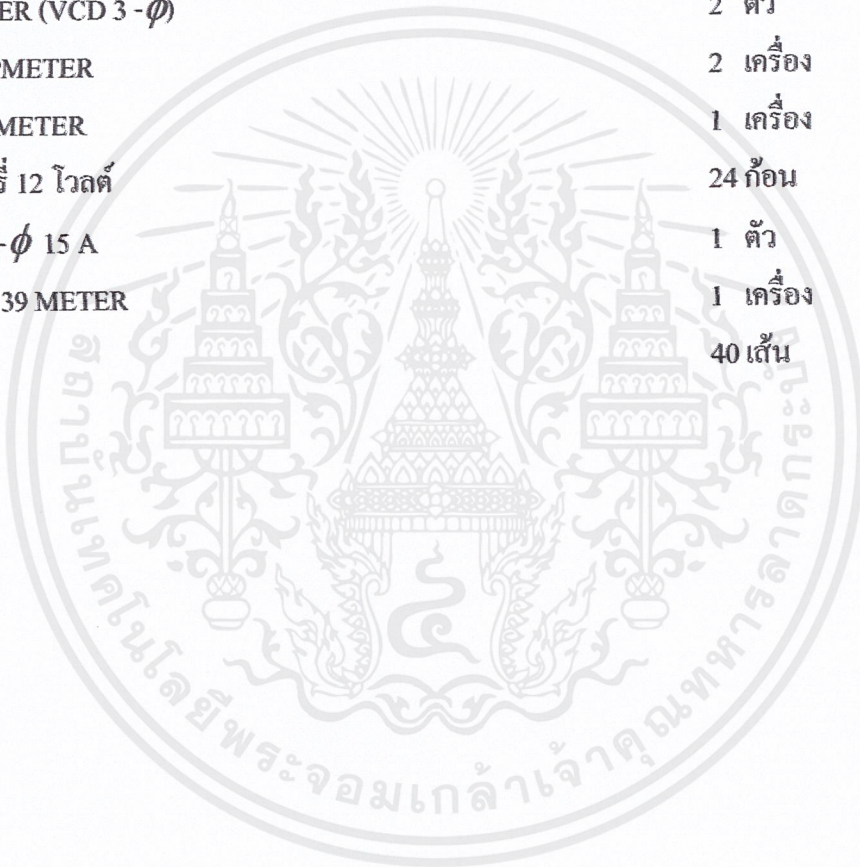
ใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า เป็นตัวต้นกำลังแทนการใช้พลังงานลม ใช้มอเตอร์แต่ละชนิด โดยรักษาความเร็วโรเตอร์ให้คงที่



รูปที่ 7.1 รูปการทดลองคืนพลังงานหาจุดคืนพลังงานที่ความเร็วลมต่ำสุด

## อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- |   |           |
|---|-----------|
| 1. แทนทดสอบต้นกำลังและตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ                    |           |
| 2. ตัวต้นกำลัง มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า                                     | 1 ตัว     |
| 3. มอเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า 4 poles             | 1 ตัว     |
| 4. มอเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า 6 poles             | 1 ตัว     |
| 5. มอเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า 12 poles            | 1 ตัว     |
| 6. มอเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า 12 poles (modified) | 1 ตัว     |
| 7. INVERTER (VCD 3- $\phi$ )  | 2 ตัว     |
| 8. DC AMPMETER  | 2 เครื่อง |
| 9. POWERMETER   | 1 เครื่อง |
| 10. แบตเตอรี่ 12 โวลต์  | 24 ก้อน   |
| 11. Variac 1- $\phi$ 15 A   | 1 ตัว     |
| 12. FLUKE 39 METER  | 1 เครื่อง |
| 13. สายไฟ   | 40 เส้น   |



## ขั้นตอนการทดลอง

1. ตรวจสอบทิศทางหมุนของมอเตอร์ต้นกำลังกับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้มีทิศทางเดียวกันเสียก่อน เป็นเรื่องที่ต้องทำทุกครั้งเมื่อเริ่มต้นทำการทดลอง โดยปกติจะปรับให้หมุนในทิศทางที่ไม่ทำให้สายพานเกิดค่าเลื่อน โกล ตามรูปคือหมุนทวนทวนเข็มนาฬิกา
2. ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ให้อินเวอร์เตอร์เพื่อที่จะป้อนแรงดัน 3 เฟส ให้มอเตอร์ต้นกำลัง จากนั้นปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้มอเตอร์ต้นกำลังหมุนด้วยความเร็วต่างๆตามที่ต้องการ เสมือนว่าเป็นความเร็วลมที่คงที่ ณ ค่าความถี่ใดๆ ความเร็วลมที่ใช้ทดลองจะอยู่ที่ 270-720 rpm โดยเริ่มที่ความเร็วค่าต่ำๆ ก่อน
3. ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาดประมาณ 288 โวลต์ (แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 24 ก้อน) ให้อินเวอร์เตอร์ เพื่อที่จะป้อนแรงดัน 3 เฟส ให้มอเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
4. ปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำหมุนด้วยความเร็วเกือบเท่ากับตัวต้นกำลังก่อน จากนั้นค่อยๆ ลดความถี่เพื่อให้มีความเร็วรอบลดลง สังเกตกำลังงาน, กระแสจากเครื่องวัด Powermeter, DC Ampmeter ถ้าค่ากำลังงานเป็นลบแสดงว่าทำงานอยู่ในสภาวะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วดูกระแสที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่ จากนั้น บันทึกค่าตามตาราง
5. แต่ถ้าปรับความถี่ลงจนมีค่าเกือบเป็นศูนย์แล้ว กำลังงานยังไม่เป็นลบ ให้เพิ่มความถี่ของอินเวอร์เตอร์ของตัวต้นกำลัง เพื่อเพิ่มความเร็วให้สูงขึ้น แล้วทำการทดลองตามข้อ (4) ใหม่
6. นำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อเลือกไปใช้งานกับกังหันลม

ผลการทดลองการหาความเร็วต้นกำลังต่ำสุดที่ทำให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้ง 4 ชนิดทำงานในสภาวะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เริ่มต้นพลังงานลงแบบเตอร์ได้

ตารางที่ 7.1 ผลการทดลองการหาความเร็วต้นกำลังต่ำสุดที่ทำให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้ง 4 ชนิด

Motor	$N_r$ (rpm)	$f_s$ (Hz)	Slip	V (V)	I (A)	p.f	Power (W)	I dc charge (A)	V dc charge (V)
4 Pole	270	8.0	-0.38	53.22	0.69	-0.1	-10.56	0.01	256.8
6 Pole	270	12.7	-0.18	73.70	0.99	-0.05	-11	0.01	263.
12 Pole A	600	44.3	-6.50	116.47	0.38	-0.08	-10.3	0.01	265.5
12 Pole B	720	60	-0.20	119.69	0.4	-0.001	-0.9	-	258.9

หมายเหตุ มอเตอร์ 12 poles A คือ มอเตอร์ 12 poles จากโรงงาน

มอเตอร์ 12 poles B คือ มอเตอร์ 4 poles นำมาพันเป็น 12 poles

### วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 7.2.1

1. จากการทดลองจะเห็นว่าที่ความเร็วต่ำๆ (270 rpm) มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 4 poles และ 6 poles สามารถจ่ายกำลังงานเข้าสู่เบตเตอร์ได้ ส่วนชนิด 12 poles คั้นกำลังงานได้ที่ความเร็วสูง(625 rpm) แต่ 12 poles (modified) ไม่สามารถคืนพลังงานได้ ทุกช่วงความเร็วที่ทดลองซึ่งเทียบมาจากความเร็วลม
2. จากการทดลองคั้นกำลังงานของมอเตอร์ 4 poles และ 6 poles จะเห็นว่าเมื่อจ่ายกระแสชาร์จเข้าสู่เบตเตอร์ เครื่องจักรกลไฟฟ้าจะต้องจ่ายกำลังงานซึ่งเป็นสภาวะการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยจะจ่ายกำลังงานมากกว่า 10 W ซึ่งอาจเป็นผลจากค่าความสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น อินเวอร์เตอร์ ในทางทฤษฎีแล้วจะเริ่มคั้นกำลังงานเมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเปลี่ยนสภาวะการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

### สรุปผลการทดลองที่ 7.2.1

จากการทดลอง จะเห็นว่าความสามารถในการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ชนิด 4 poles และ 6 poles ที่ความเร็วลมที่กำหนดให้ สามารถจ่ายกำลังงานและชาร์จเข้าสู่เบตเตอร์ได้ตลอดช่วงความเร็วลม จึงเหมาะที่จะเลือกใช้ร่วมกับกังหันลมมากกว่าชนิด 12 poles และ 12 poles (modified)

### 7.2.2 การทดลองเปรียบเทียบการกินพลังงานของ มอเตอร์ขนาด 4 poles และ 6 poles

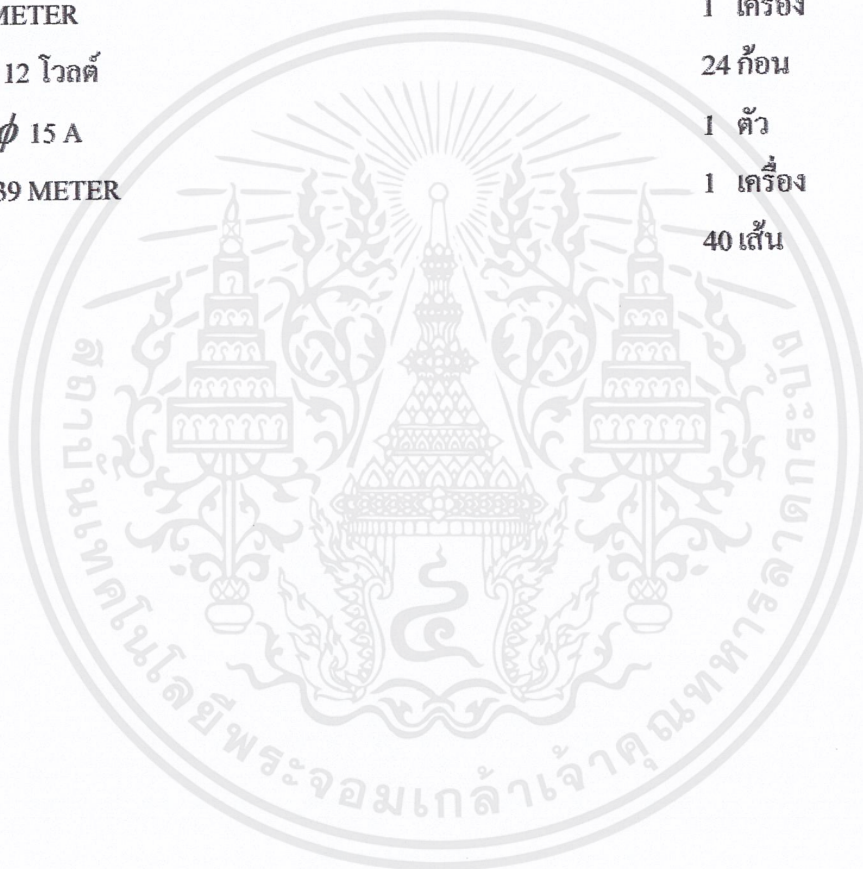
เป็นการเปรียบเทียบพลังงานที่ความเร็วลมต่างๆ ของมอเตอร์ทั้งสองตัว โดยแต่ละตัวจะหาค่ากำลังงานมีค่าเป็นศูนย์,  $I_{dc} = 0.1 \text{ A}$ . และ  $I_{dc,max}$  ณ ความเร็วที่กำหนดให้ พร้อมทั้งรักษาความเร็วโรเตอร์ให้คงที่



รูปที่ 7.2. การทดลองเปรียบเทียบการกินพลังงานของ มอเตอร์ขนาด 4 poles และ 6 poles

## อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- |   |           |
|---|-----------|
| 1. แทนทดสอบต้นกำลังและตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ        |           |
| 2. ตัวต้นกำลัง มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า                         | 1 ตัว     |
| 3. มอเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า 4 poles | 1 ตัว     |
| 4. มอเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 1 แรงม้า 6 poles | 1 ตัว     |
| 5. INVERTER (VCD 3- $\phi$ )                                | 2 ตัว     |
| 6. DC AMPMETER  | 2 เครื่อง |
| 7. POWERMETER   | 1 เครื่อง |
| 8. แบตเตอรี่ 12 โวลต์                                       | 24 ก้อน   |
| 9. Variac 1- $\phi$ 15 A                                    | 1 ตัว     |
| 10. FLUKE 39 METER  | 1 เครื่อง |
| 11. สายไฟ   | 40 เส้น   |



## ขั้นตอนการทดลอง

1. ตรวจสอบทิศทางหมุนของมอเตอร์ต้นกำลังกับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้มีทิศทางเดียวกันเสียก่อน เป็นเรื่องที่ต้องทำทุกครั้งเมื่อเริ่มต้นทำการทดลอง โดยปกติจะปรับให้หมุนในทิศทางที่ไม่ทำให้สายพานเกิดค่าเลื่อนไถล ตามรูปคือหมุนทวนทวนเข็มนาฬิกา
2. ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 โวลต์ให้เพื่อที่จะป้อนแรงดัน 3 เฟส ให้มอเตอร์ต้นกำลัง จากนั้นปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้มอเตอร์ต้นกำลังหมุนด้วยความเร็วต่างๆตามที่ต้องการ เสมือนว่าเป็นความเร็วลมที่คงที่ ณ ค่าความถี่ใดๆ โดยเปลี่ยนความถี่ให้ได้ค่าความเร็วตามที่ทดลอง ความเร็วลมที่ใช้ทดลองจะอยู่ที่ 270-720 rpm โดยเริ่มที่ความเร็วค่าต่ำๆ ก่อน
3. ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาดประมาณ 288 โวลต์ (แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 24 ก้อน) ให้อินเวอร์เตอร์ เพื่อที่จะป้อนแรงดัน 3 เฟส ให้มอเตอร์ที่ใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ
4. ปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำหมุนด้วยความเร็วเกือบเท่ากับตัวต้นกำลังก่อน จากนั้นค่อยๆ ลดความถี่เพื่อให้ความเร็วรอบลดลง สังเกตกำลังงาน, กระแสจากเครื่องวัด Powermeter, DC Ampmeter หากกำลังมีค่าประมาณศูนย์,  $I_{dc} = 0.01A$  และ  $I_{dc,max}$  ตามลำดับ จากนั้น บันทึกค่าตามตาราง
5. แต่ถ้าปรับความถี่ลงจนมีค่าเกือบเป็นศูนย์แล้ว กำลังงานยังไม่เป็นลบ ให้เพิ่มความถี่ของอินเวอร์เตอร์ของตัวต้นกำลังเพื่อเปลี่ยนความเร็วให้สูงขึ้น แล้วทำการทดลองตามข้อ (4) ใหม่ นำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อเลือกไปใช้งานกับกังหันลม

ผลการทดลองการเปรียบเทียบการเริ่มเดินพลังงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 4 Poles และ 6 Poles ที่ความเร็วเริ่มต้นกำลังต่างๆ โดยวัดจากจุดที่กำลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกับ ศูนย์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 4 pole

ตารางที่ 7.2 ผลการทดลองการเปรียบเทียบการเริ่มเดินพลังงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 4 Poles ที่ความเร็วต้นกำลังต่างๆ โดยวัดจากจุดที่กำลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกับ ศูนย์

$N_r$ (rpm)	$f_s$ (Hz)	Slip	V (V)	I (A)	p.f	Power (W)
270	8.6	-0.05	52.32	0.51	0.004	0.3
300	9.6	-0.04	54.86	0.49	0.002	-0.14
400	13	-0.03	63.66	0.46	0.002	0.2
500	16.4	-0.02	70.43	0.44	0.003	0.32
600	19.8	-0.01	77.01	0.43	0.003	0.33
700	23.1	-0.01	81.99	0.42	0.003	0.32
720	23.7	-0.01	84.22	0.42	0.001	0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 6 Poles

## ตารางที่ 7.3 ผลการทดลองการเปรียบเทียบการเริ่มต้นพลังงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 6 Poles

ที่ความเร็วต้นกำลังต่างๆ โดยวัดจากจุดที่ก้ำกึ่งงานไฟฟ้าใกล้เคียงกับ ศูนย์

$N_r$ (rpm)	$f_s$ (Hz)	Slip	V (V)	I (A)	p.f	Power (W)
270	13.0	13.0	71.95	0.86	0.0001	0
300	14.6	14.6	74.26	0.79	0.0002	0
400	19.7	19.7	82.66	0.76	0	0
500	24.7	24.7	89.18	0.75	0.003	0.5
600	29.28	29.28	98.53	0.74	-0.01	-0.2
700	34.8	34.8	106.29	0.73	0.04	0.8
720	35.7	35.7	110.2	0.76	0.002	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองการเริ่มต้นพลังงานลบแบบเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 4 Poles และ 6 Poles โดยวัดจากกระแสเริ่มชาร์จแบบเตอร์เป็น 0.01 A

เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 4 poles

ตารางที่ 7.4 การทดลองการเริ่มต้นพลังงานลบแบบเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 4 Poles โดยวัดจากกระแสเริ่มชาร์จแบบเตอร์เป็น 0.01 A

$N_r$ (rpm)	$f_s$ (Hz)	Slip	V (V)	I (A)	p.f	Power (W)	I dc charge (A)	V dc charge (V)
270	5.8	-0.55	47.15	1.98	-0.05	-13.6	0.01	256.8
300	8.9	-0.12	57.25	0.7	-0.11	-13.70	0.01	259.8
400	12.6	-0.06	65.66	0.55	-0.1	-10.71	0.01	262.3
500	16	-0.04	72.47	0.5	-0.1	-10.96	0.01	262.5
600	19.4	-0.03	79.16	0.49	-0.1	-11.91	0.01	264.7
700	22.8	-0.02	84.17	0.46	-0.09	-10.88	0.01	264.7
720	23.5	-0.02	86.2	0.46	-0.09	-10.88	0.01	262

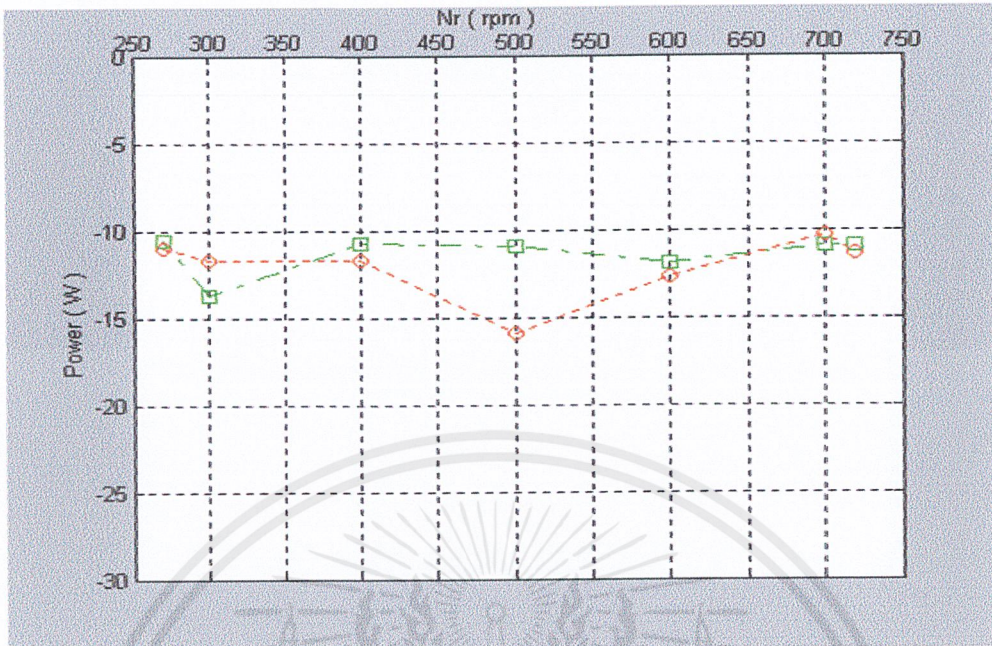
## เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 6 Poles

## ตารางที่ 7.5 การทดลองการเริ่มต้นพลังงานลงแบบเตอร์ของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 6 Poles

โดยวัดจากกระแสเริ่มชาร้จแบบเตอร์เป็น 0.01 A

$N_r$ (rpm)	$f_s$ (Hz)	Slip	V (V)	I (A)	p.f.	Power (W)	I dc charge (A)	V dc charge (V)
270	12.7	-1.26	73.70	0.99	-0.05	-11	0.01	263.
300	14.2	-1.13	74.26	0.98	-0.08	-17.7	0.01	254.9
400	19.4	-0.62	84.79	0.83	-0.06	-11.7	0.01	254
500	24.5	-0.41	94.04	0.81	-0.07	-15.9	0.01	258
600	26.4	-2.73	112.38	0.79	-0.06	-12.7	0.01	261.7
700	34.7	-0.17	108.36	0.77	-0.04	-10.3	0.01	266.2
720	5.6	-108.57	108.36	0.77	-0.04	-10.3	0.01	266.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.3 กราฟความเร็วโรเตอร์กับกำลังงานที่เริ่มจ่ายคั้นแบคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองการกินพลังงานสูงสุดของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 4 Poles และ 12 Poles  
โดยวัดจากกำลังงานสูงสุด

เครื่องจักรไฟฟ้า 4 Poles

ตารางที่ 7.6 ผลการทดลองการกินกำลังงานสูงสุดของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 4 Poles

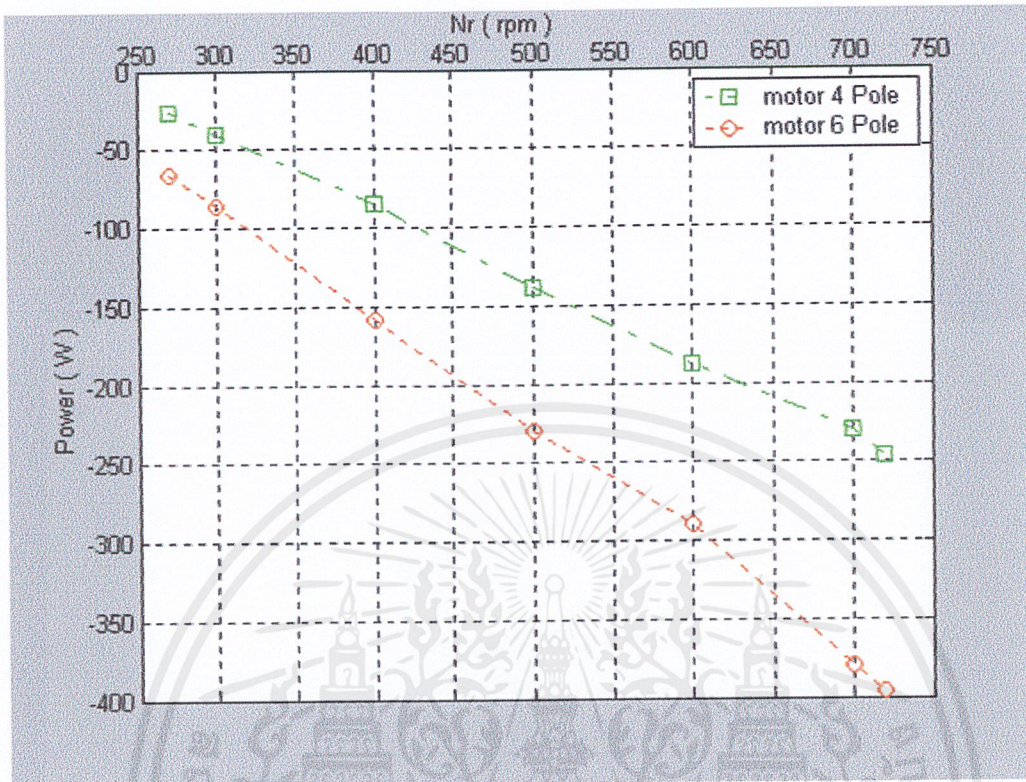
$N_r$ (rpm)	$f_c$ (Hz)	Slip	V (V)	I (A)	p.f	Power (W)	I dc charge (A)	V dc charge (V)
270	6.5	-1.08	51.59	1.51	-0.11	-26.1	0.05	262.5
300	7.4	-1.03	55.79	1.56	-0.15	-40.5	0.1	264.8
400	10.1	-0.98	65.29	1.71	-0.25	-82.4	0.24	275.4
500	12.6	-0.98	73.75	2.03	-0.31	-138.2	0.4	284.5
600	15.7	-0.91	83.55	2	-0.37	-187.4	0.58	294.4
700	18.7	-0.87	90.62	2	-0.42	-230.4	0.58	294.4
720	19.5	-0.85	95.17	2	-0.43	-246.2	0.72	299.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 6 Poles

ตารางที่ 7.7 ผลการทดลองการคั่นพลังงานสูงสุดของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 6 Poles

$N_r$ (rpm)	$f_k$ (Hz)	Slip	V (V)	I (A)	p.f	Power (W)	I dc charge (A)	V dc charge (V)
270	10.6	-0.27	70.43	2.3	-0.14	-66.6	0.18	261.8
300	12.1	-0.24	73	2.21	-0.18	-85.9	0.24	267.7
400	16.7	-0.20	89.1	2.3	-0.26	-158.2	0.48	280.5
500	21.5	-0.16	101.04	2.3	-0.33	-230	0.72	292.4
600	26.4	-0.14	112.38	2.22	-0.39	-290	0.95	302.9
700	31.3	-0.12	122.62	2.32	-0.45	-380.1	1.14	309
720	32.5	-0.11	126.78	2.329	-0.46	-396	1.17	315.9



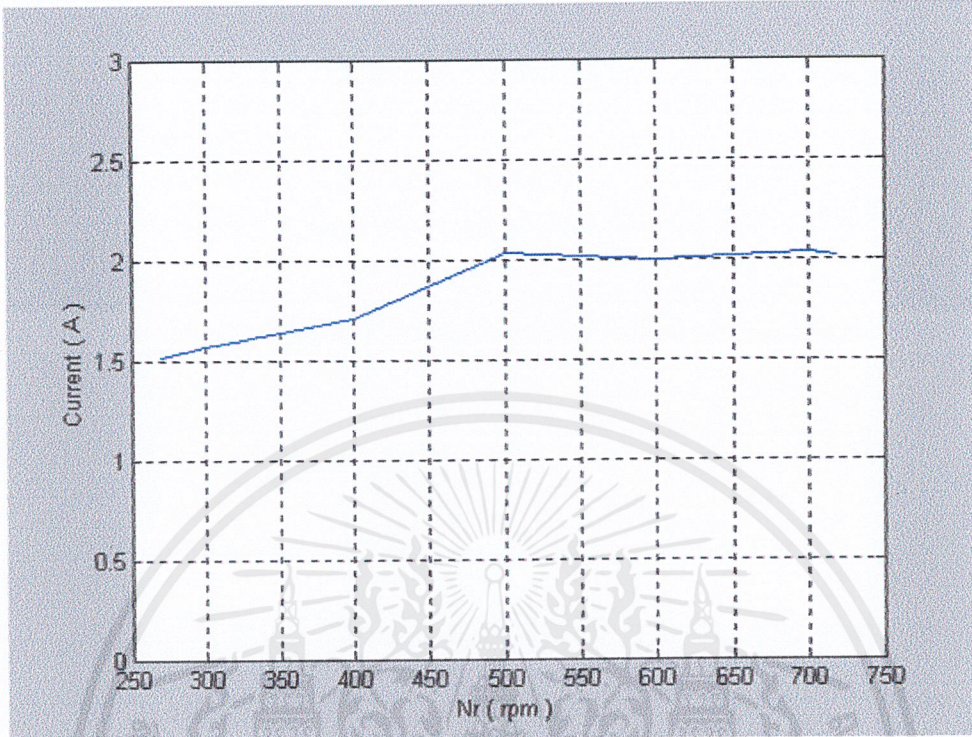
รูปที่ 7.4 กราฟเปรียบเทียบความเร็ว โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 4 Poles และ 6 Poles กับการคืนกำลังงานสูงสุดที่กระแสพิสัย

### วิเคราะห์ผลการทดลองที่ 7.2.2

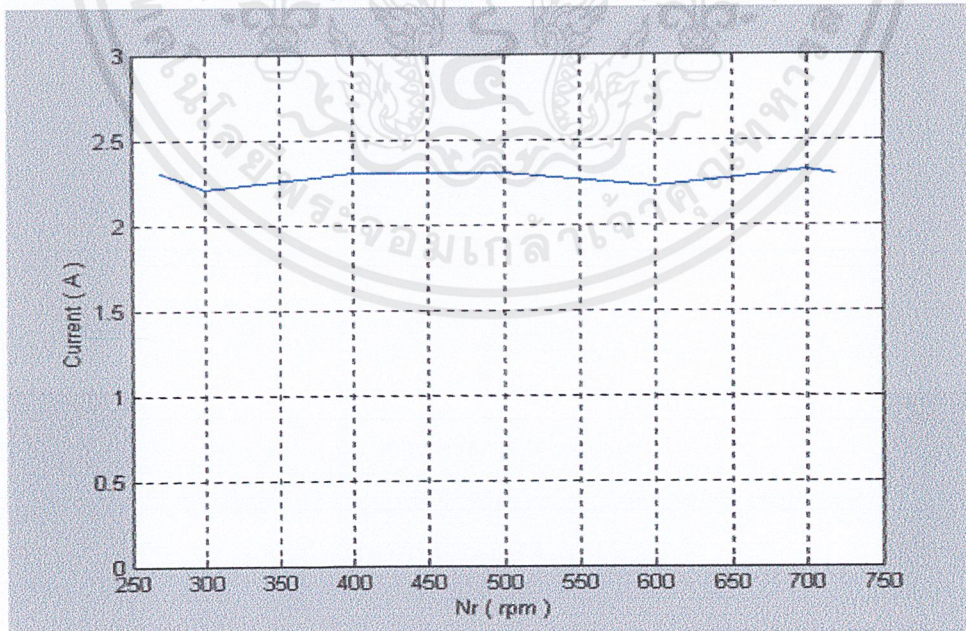
1. จากการทดลอง การหาค่ากำลังงานที่มอเตอร์จ่ายออกมาประมาณศูนย์ เป็นการจุดที่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเริ่มเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามทฤษฎี
2. จากการทดลอง หาจุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่าย  $I_{dc}$  ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ซึ่งประมาณ 0.01 A ซึ่งเป็นจุดที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในทางปฏิบัติ เนื่องจากมีค่าความสูญเสียในอินเวอร์เตอร์เข้ามาเกี่ยวข้อง
3. จากการทดลอง หาจุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำจ่าย  $I_{dc,max}$  ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่
4. จากการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบการคืนกำลังงานที่ความเร็วลมต่างๆ โดยคงความเร็วโรเตอร์ ซึ่งจะเห็นว่ามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 6 poles จะได้ค่ากำลังงานมากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 4 poles ที่ความเร็วโรเตอร์เดียวกัน

### สรุปผลการทดลองที่ 7.2.2

จากการทดลองการคืนกำลังงาน(การทดลอง 7.2.1,7.2.2) จะเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 6 poles มาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาใช้งานจริงกับกังหัน เนื่องจากคืนกำลังงานได้มากกว่ามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 4 poles



รูปที่ 7.5 กราฟความเร็วโรเตอร์กับกระแสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 4 Poles  
คืนกำลังได้สูงที่สุดที่ไม่เกินพิกัดกระแส



รูปที่ 7.6 กราฟความเร็วโรเตอร์กับกระแสที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 6 Poles  
คืนกำลังได้สูงที่สุดที่พิกัดกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานจริงในการนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า 6 poles มาติดตั้งกับกังหันลม

ตารางที่ 7.8 ค่ากำลังงานในการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำกับกังหันลม

TIME (s)	V1(V)	I1(A)	P1(W)	V2(V)	I2(A)	P2(W)	V3(V)	I3(A)	P3(W)	p.f รวม	Prวม (W)
0	65	0.78	-16.63	62	0.66	-17.01	75	0.73	-20.36	-0.37	-54.00
0.5	60	0.78	-17.47	60	0.7	-18.27	71	0.73	-20.95	-0.40	-56.69
1	54	0.78	-17.71	60	0.71	-21.35	66	0.73	-22.20	-0.46	-61.26
1.5	54	0.77	-17.6	62	0.71	-23.19	64	0.72	-21.89	-0.48	-62.68
2	54	0.78	-16.94	64	0.71	-21.65	63	0.73	-20.20	-0.44	-58.79
2.5	54	0.78	-17.59	62	0.71	-23.79	62	0.72	-21.38	-0.48	-62.76
3	56	0.78	-17.44	61	0.72	-23.6	66	0.73	-22.56	-0.47	-63.60
3.5	64	0.78	-17.19	67	0.72	-22.6	75	0.73	-22.25	-0.41	-62.04
4	72	0.78	-15.78	72	0.71	-24.47	83	0.72	-22.70	-0.38	-62.95
4.5	77	0.78	-15.89	75	0.71	-24.58	87	0.72	-22.74	-0.36	-63.21
5	76	0.78	-15.87	70	0.72	-24.54	84	0.72	-22.82	-0.38	-63.23
5.5	66	0.78	-15.82	62	0.72	-25.05	75	0.72	-23.45	-0.43	-64.32
6	58	0.78	-15.46	59	0.72	-23.57	68	0.72	-21.95	-0.45	-60.98
6.5	55	0.78	-16.01	60	0.72	-23.42	65	0.72	-21.42	-0.46	-60.85
7	55	0.78	-15.26	63	0.72	-25.02	64	0.73	-21.19	-0.45	-61.47
7.5	56	0.78	-15.35	64	0.72	-24.22	64	0.71	-19.93	-0.44	-59.50
8	55	0.77	-14.54	61	0.72	-25.6	63	0.71	-20.71	-0.46	-60.85

หมายเหตุ เครื่องวัด Powermeter ที่ใช้มีข้อจำกัดในการวัด ดังนั้นจึงนำวิธี Phase balance มาใช้กับค่ากำลังของเฟส 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

# สรุปผลและวิจารณ์

### สรุปผลและวิจารณ์

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถทำงานในสภาวะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้จริงตามทฤษฎี โดยต้องมีการจ่ายกำลังรีแอกทีฟให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่สเตเตอร์และต้องมีตัวต้นกำลังขับ โรเตอร์ให้มีความเร็วรอบมากกว่าความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน

การทดลองเราแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนของกึ่งहनลม, เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ, อินเวอร์เตอร์, และไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการทำงานจะเริ่มจากศึกษาความเร็วลมจากสถานที่ที่เราจะติดตั้งกั้น แล้วจึงทำชุดอัตราทดความเร็วรอบกั้นผ่านมายังส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งอัตราทดสูงสุดที่ทำได้ คือประมาณ 12 เท่า เมื่อศึกษาความเร็วรอบของกั้นผ่านชุดอัตราทดแล้วได้ความเร็วเฉลี่ยสูงสุดที่เพลลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำประมาณ 720 rpm

ส่วนต่อมาคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในโครงการนี้ศึกษาเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิด 1 แรงม้าแบบ 4 poles, 6 poles, 12 poles, 12 poles ที่พื้นมาจาก 4 polesซึ่งมีความเร็วซิงโครนัส 1500, 1000, 500 และ 500 rpm ตามลำดับ เริ่มจากศึกษาคุณลักษณะของเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น จากนั้นทำการทดลองหาความเป็นไปได้ในการคืนกำลังงานโดยใช้อินเวอร์เตอร์เป็นตัวควบคุมความเร็วโรเตอร์ ซึ่งการทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ การทดลองหาความเร็วโรเตอร์ต่ำสุดที่เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำแต่ละชนิดสามารถคืนกำลังงานกลับเข้าสู่เบตเตอร์ได้ จากผลการทดลอง เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 4 poles และ 6 poles สามารถคืนกำลังงานกลับเข้าสู่เบตเตอร์ได้ที่ความเร็วต่ำที่สุด ขั้นตอนต่อมาจึงทำการเปรียบเทียบการคืนกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ 4 poles และ 6 poles จากผลการทดลองจะเห็นว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 6 poles คืนกำลังงานได้มากกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 4 poles ที่ความเร็วโรเตอร์เดียวกัน ดังนั้น จึงเลือกเครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 6 poles ใช้ในโครงการนี้

ในสภาวะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำเริ่มคืนกำลังงาน แต่ยังไม่มีการกระแสชาร์จเบตเตอร์เกิดขึ้น จนเมื่อมีการคืนกำลังงานถึงค่าหนึ่งประมาณ -10 ถึง -14 วัตต์ จึงเริ่มเกิดการชาร์จเบตเตอร์ เนื่องมาจากเกิดการสูญเสียในอินเวอร์เตอร์

ในส่วนของอินเวอร์เตอร์ที่เราเลือกใช้ควบคุมการคืนกำลังงานนั้นจำเป็นต้องมีการดัดแปลงจากอินเวอร์เตอร์ที่มีอยู่ทั่วไป ซึ่งการควบคุมอินเวอร์เตอร์ให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นเราจะพิจารณาให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานที่กระแสพิคค์ในทุกความถี่ที่ป้อนให้กับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ หรืออาจจะหมายความว่า ถ้าเรามีความเร็วต้นกำลังมาเท่าไรเราก็พยายามลดความถี่เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้นสามารถคืนกำลังงานที่กระแสปิกัดและทำให้ได้กำลังคืนกลับมามากที่สุดเท่าที่เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำไม่เกิดความเสียหายซึ่งอยู่ที่กระแสปิกัด

ในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมอินเวอร์เตอร์เพื่อปรับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ ก็เพื่อให้เครื่องจักรไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานในสถานะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ในทุกช่วงของความเร็วลมที่กำหนดไว้

สรุป ระบบที่เราใช้ในโครงการนี้เป็น การควบคุมแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะอธิบายได้ว่าเมื่อตัวต้นกำลังหมุนด้วยความเร็วค่าหนึ่ง จะมีตัวจับความเร็วแล้วส่งสัญญาณเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการคำนวณความเร็วโรเตอร์ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์โดยใช้วงจรมอดูเลชันความถี่ (V/f) และมอดูเลชันความถี่ (D/A) ในการวัดกระแส โดยส่งสัญญาณมาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมให้อินเวอร์เตอร์ปรับความถี่เพื่อควบคุมการคืนกำลังงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้ได้กำลังงานสูงสุด

จากการใช้งานจริง จะเห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถคืนกำลังงานกลับเข้าขาร์จแบคเตอร์ได้แต่ยังถือว่ามีค่าน้อย เนื่องจากความเร็วลมในขณะที่ใช้งานมีความเร็วค่าและไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่สามารถคืนกำลังงานได้เท่ากับการทดลองในห้องทดลอง เพราะมีการคงที่ความเร็วโรเตอร์ไว้

ข้อแนะนำ โครงการนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่ที่ความเร็วลมไม่สม่ำเสมอแม้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวควบคุมให้เกิดการคืนกำลังงาน แต่ความเร็วลมจะเปลี่ยนแปลงเร็วมากจนมีการคืนกำลังงานได้น้อยจึงควรหาสถานที่ที่มีความเร็วลมสม่ำเสมอ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] พิชิต ถ้ายอง, “เครื่องกลไฟฟ้า 1”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] พิชิต ถ้ายอง, “เครื่องกลไฟฟ้า 2”, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] รัชชัย อัครวิบูลย์กุล, “เครื่องกลไฟฟ้า 2”, สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีวะ, 2536
- [4] A. E. Fitzgerald, Charles Kingsley, Jr, Stephen D. Umans, “Electric Machinery”, Fifth Edition, McGraw-Hill, 1992
- [5] IEEE, “IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motor and Generator”, IEEE Standard 112 -1996
- [6] สมยศ จุณณะปิยะ, “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51”, ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [7] กฤษฎา วิสวธีรนนท์, “อินเวอร์เตอร์และคู่มือการใช้”, สำนักพิมพ์ซีเอ็ดพับลิชชิ่ง จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมควบคุมการทำงาน INDUCTION GENERATOR

```

ORG 0000H

LJMP MAIN

ORG 000BH

INC R0

CLR TF0

RETI

MAIN: MOV TMOD,#01H
      CLR P3.2
      SETB P3.2
Z0:   MOV TH0,#00H
      MOV TL0,#00H

Z1:   JB P3.7,Z1
Z2:   JNB P3.7,Z2
      SETB TR0
      MOV IE,#82H
      MOV R0,#00H

LOOP: JB P3.7,Z4
Z3:   JNB P3.7,Z3
      SJMP Z5

Z4:   CJNE R0,#0FH,LOOP
      CLR TR0
      SETB P3.3
      SJMP Z1

Z5:   CLR TR0
      CJNE R0,#0FH,Z6

```

```

SETB P3.3
SJMP Z1
Z6: JC Z8
SETB P3.3
SJMP Z1

```

```

;#####

```

```

Z8: MOV 75H,R0
MOV R2,75H
MOV R3,#00H
MOV R0,#98H
MOV R1,#06H
LCALL UDIV16
MOV 35H,R1
MOV 36H,R0

MOV A,75H
INC A
MOV R2,A
MOV R3,#00H
MOV R0,#98H
MOV R1,#06H
LCALL UDIV16
MOV 37H,R1
MOV 38H,R0

MOV R1,35H
MOV R0,36H
MOV R3,37H
MOV R2,38H
LCALL SUB16

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV  A,R0
MOV  B,TH0
MUL  AB

MOV  R0,A
MOV  R1,B
MOV  R2,#0FFH
MOV  R3,#00H
LCALL UDIV16
MOV  A,R0

MOV  R1,35H
MOV  R0,36H
MOV  R3,#00H
MOV  R2,A
LCALL SUB16

MOV  R3,#00H
MOV  R2,#0C8H
LCALL UDIV16
MOV  76H,R0
MOV  A,R2
MOV  B,#33H
MUL  AB
MOV  R0,A
MOV  R1,B
MOV  R3,#00H
MOV  R2,#0C8H
LCALL UDIV16

```

```

MOV 77H,R0
MOV A,76H
MOV B,#33H
MUL AB
ADD A,77H
MOV P0,A

```

```
LCALL DELAY
```

```
CLR P3.3
```

```
MOV A,#00H
```

```
MOV 78H,P2
```

```
CLR PSW.7
```

```
CJNE A,78H,X1
```

```
LJMP X2
```

```
X1: JC X2
```

```
X2: MOV A,78H
```

```
X4: DEC P0
```

```
LCALL DELAY
```

```
MOV 78H,P2
```

```
CLR PSW.7
```

```
CJNE A,78H,X3
```

```
LJMP X2
```

```
X3: JC X2
```

```
INC P0
```

```
LJMP Z0
```

```
DELAY: MOV R1,#0DEH
```

```
DEL1: DJNZ R1,DEL1
```

```
RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

UDIV16:  MOV R7,#0
          MOV R6,#0
          MOV B, #16

```

```

DIV LOOP: CLR C
           MOV A,R0
           RLC A
           MOV R0,A
           MOV A,R1
           RLC A
           MOV R1,A
           MOV A,R6
           RLC A
           MOV R6,A
           MOV A,R7
           RLC A
           MOV R7,A
           MOV A,R6
           CLR C
           SUBB A,R2
           MOV DPL,A
           MOV A,R7
           SUBB A,R3
           MOV DPH,A
           CPL C
           INC DIV_1
           MOV R7,DPH
           MOV R6,DPL
DIV_1:    MOV A,R4
           RLC A
           MOV R4,A
           MOV A,R5

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

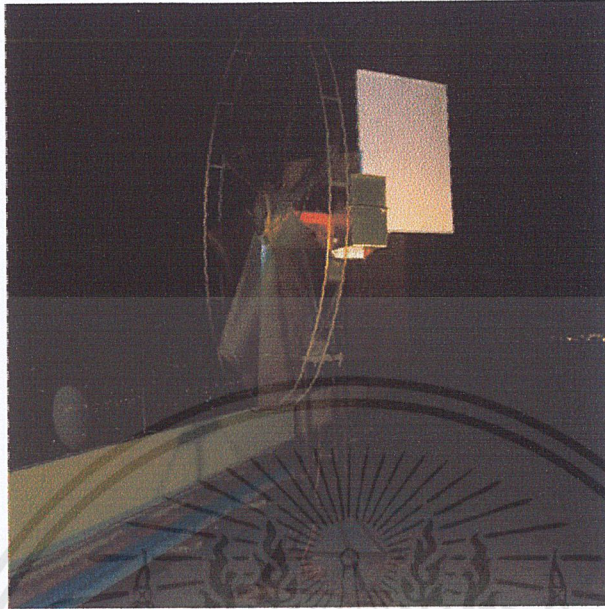
```
RLC  A
MOV  R5,A
DJNZ B,DIV_LOOP
MOV  A,R5
MOV  R1,A
MOV  A,R4
MOV  R0,A
MOV  A,R7
MOV  R3,A
MOV  A,R6
MOV  R2,A
RET
```

```
SUB16: ANL  PSW, #0E7H
MOV  A,R0
CLR  C
SUBB A,R2
MOV  R0,A
MOV  A,R1
SUBB A,R3
MOV  R1,A
MOV  C,OV
RET
```

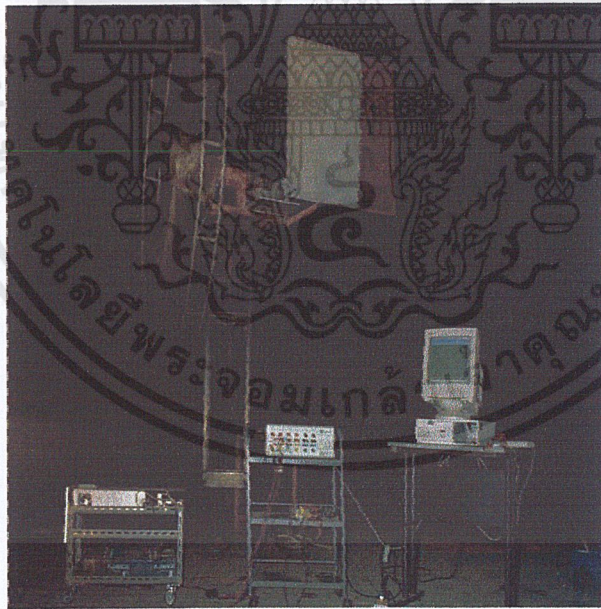


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กังหันและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในโครงการ



รูปที่ ข.1 กังหันลมที่ใช้ในโครงการ



รูปที่ ข.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่มีการต่อใช้งานจริงกับกังหัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้