

ศึกษาการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสำหรับการประหยัดพลังงาน
THE STUDY OF INDUCTION MOTOR FOR ENERGY SAVING



นายวิรัตน์ สังกรณ์ย์
นายรัช เวียงวิเศษ

รหัส 48361790
รหัส 48364418

14993226

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จัดเก็บ...../...../.....
เลขทะเบียน.....5200033
ปี.....
เลขเรียกหนังสือ.....๖๑๑๘
๒๕๕๑
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ปีการศึกษา ๒๕๕๑

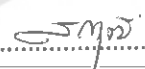



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	ศึกษาการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสำหรับการประหยัดพลังงาน		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายวิรัตน์	สังกรณีย์	รหัส 48361790
	นายชัช	เวียงวิเศษ	รหัส 48364418
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2551		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม


.....ประธานกรรมการ
(ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช)


.....กรรมการ
(อาจารย์สราวุฒิ วัฒนวงศ์พิทักษ์)


.....กรรมการ
(อาจารย์แสงชัย มังกรทอง)

หัวข้อโครงการ	ศึกษาการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสำหรับการประหยัดพลังงาน
ผู้ดำเนินโครงการ	นายวิรัตน์ สังกรณีย์ รหัส 48361790 นายรัช เวียงวิเศษ รหัส 48364418
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อประหยัดพลังงาน โดยวิเคราะห์ระดับแรงดันต่างๆ ได้ดำเนินการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส และมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ผลจากการปรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 190 โวลต์ อย่างไรก็ตาม มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส จะขึ้นอยู่กับสภาพโหลดที่ใช้ด้วย เช่น เบอร์เซนต์ของโหลด ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจำเป็นต้องคำนึงถึงอยู่เสมอ เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำถูกปรับแรงดันการใช้งาน

Project title The Study of Induction Motor for Energy Saving

Name Mr. Wirat Sangkorance ID. 48361790

Mr. Tawat Weangwises ID. 48364418

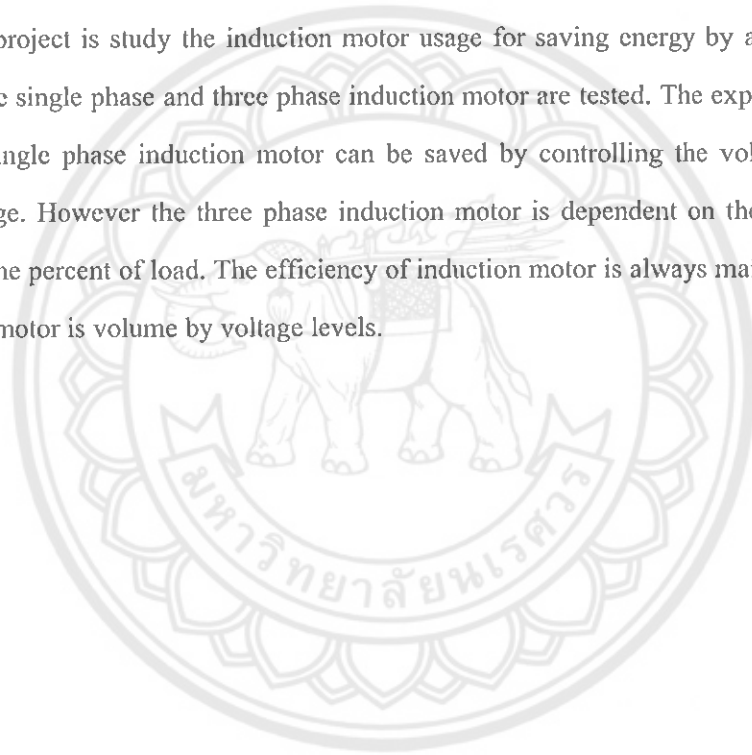
Project advisor Somporn Ruangsinchaiwanich, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Academic year 2008

ABSTRACT

This project is study the induction motor usage for saving energy by analyzing the voltage levels. The single phase and three phase induction motor are tested. The experimental work show that the single phase induction motor can be saved by controlling the voltage levels as lower 190 voltage. However the three phase induction motor is dependent on the load conditions for example the percent of load. The efficiency of induction motor is always main subject to consider when the motor is volume by voltage levels.



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญาบัตรในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือและให้คำแนะนำ จาก ดร. สมพร เรืองสินชัชวานิช ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตรในครั้งนี้ และได้กรุณาให้แนวความคิด ช่วยชี้แนะแนวทางในการทำโครงการ ตลอดจนกรุณาเอื้อเฟื้อเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ โครงการนี้ อีกทั้งยังช่วยแนะนำแหล่งข้อมูลในการค้นคว้าข้อมูลเพิ่มเติม ทำให้เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการของผู้จัดทำเป็นอย่างมาก

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง ที่คอยดูแล คอยเป็นกำลังใจและเป็นผู้สนับสนุนในด้านต่างๆมาโดยตลอดในการทำปริญญาบัตรนี้ และขอขอบคุณบุคคลต่างๆที่ไม่ได้กล่าวถึงแหล่งข้อมูลที่เอื้อต่อการทำปริญญาบัตรในครั้งนี้ด้วย

นายวิรัตน์

สังกรณีย์

นายรัช

เวียงวิเศษ



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบข่ายของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 งบประมาณที่ใช้	4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส	5
2.2 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส	6
2.3 หลักการทำงาน	9
2.4 สลิปและความเร็วโรเตอร์	10
2.5 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและความถี่ในโรเตอร์	11
2.6 วงจรสมมูลโรเตอร์	12
2.7 วงจรสมมูลของสเตเตอร์	15
2.8 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	16
2.9 การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล	19
2.10 ประสิทธิภาพ	23
2.11 การสตาร์ทมอเตอร์	25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 ออกแบบการทดลอง

3.1 การออกแบบการทดลอง	28
3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	32
3.3 รูปอุปกรณ์ในการทดลอง	35
3.4 วิธีการใช้งานเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer	37

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อหาจรรยาสมมูล	41
4.2 ผลที่ได้จากการทดลองปรับแรงดันไฟฟ้าของพัดลม	46
4.3 ผลที่ได้จากการทดลองลดแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่สถานะโหลดต่างๆ	52

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง	79
5.2 ประเมินผล	80
5.3 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข	80
5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	81

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

ประวัติผู้เขียนโครงการ

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลของการทดสอบขณะไม่มีโหลด.....	42
4.2 ผลของการทดสอบขณะยึดโรเตอร์.....	42
4.3 ค่าพลังงานที่ใช้ลดลงในช่วง 90–180 โวลต์เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าขึ้น.....	50
4.4 ค่าพลังงานที่ใช้ลดลงในช่วง 90–180 โวลต์เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าลง.....	51
4.5 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงในสภาวะไร้โหลด.....	56
4.6 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงในสภาวะโหลด 10%.....	63
4.7 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงในสภาวะโหลด 20%.....	71
4.8 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงในสภาวะโหลด 30%.....	78



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	5
2.2 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	6
2.3 โรเตอร์แบบกรงกระรอก	7
2.4 โรเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์	8
2.5 การต่อความต้านทานจากภายนอกเข้ากับโรเตอร์แบบพินจลวด	9
2.6 วงจรสมมูลของโรเตอร์	12
2.7 วงจรสมมูลจากสมการ (2.17)	13
2.8 วงจรสมมูลของสเตเตอร์	15
2.9 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเทียบเท่ามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	16
2.10 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเทียบเท่ามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำใหม่	17
2.11 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	18
2.12 ขดลวดที่สเตเตอร์ขณะที่ไม่มีโหลดต่อที่แกนของมอเตอร์	19
2.13 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการทดสอบขณะไม่มีโหลด	20
2.14 วงจรสมมูลการทดสอบการยึดโรเตอร์	21
2.15 The Power Flow Diagram of an Induction Motor	23
2.16 วงจรควบคุมและวงจรกำลังของสตาร์ทโดยตรง	25
2.17 วงจรกำลังและวงจรควบคุมของการสตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลตา	26
3.1 ค่ากำลังไฟฟ้าที่สถานะไร้โหลดและที่สถานะ โหลด 10%	30
3.2 ค่ากำลังไฟฟ้าที่สถานะไร้โหลดและที่สถานะ โหลด 20%	31
3.3 ค่ากำลังไฟฟ้าที่สถานะไร้โหลด และ ที่สถานะ โหลด 30 %	32
3.4 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	35
3.5 คิวซ์มอเตอร์	35
3.6 พัดลม	35
3.7 เครื่องวัดความเร็วรอบ	35
3.8 AC Supply 24 V	35
3.9 Power Supply	35
3.10 Variac 3 Phase	36
3.11 Power & Harmonics Analyzer	36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 แมคเนติกคอนแทกเตอร์	36
3.13 สวิตช์ปุ่มกดสีเขียวปกติปิด	36
3.14 สวิตช์ปุ่มกดสีแดงปกติปิด	36
3.15 แคลมป์มิเตอร์	36
3.16 การต่อสายวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าไฟฟ้าและแหล่งจ่ายภายนอก	37
3.17 เครื่อง Power & Harmonics Analyzer	37
3.18 การเปิดโปรแกรมเพื่อโหลดค่าจากเครื่อง Power & Harmonics Analyzer	38
3.19 การเลือก Serial Port	39
3.20 การโหลดค่าจากโปรแกรม Power & Harmonics Analyzer	39
3.21 การโหลดค่าจากโปรแกรม Power & Harmonics Analyzer	40
3.22 ค่าที่โหลดได้จากเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer	40
4.1 ค่า $R_{(stator)}$ ที่วัดได้	41
4.2 ค่าที่วัดได้จากการทดสอบขณะไม่มีโหลด	42
4.3 ค่าที่วัดได้จากการทดสอบขณะยึดโรเตอร์	42
4.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ	45
4.5 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการปรับแรงดันไฟฟ้าขึ้นรวมทั้ง 3 ครั้ง	46
4.6 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการปรับลดแรงดันไฟฟ้าลงรวมทั้ง 3 ครั้ง	46
4.7 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าจากการปรับแรงดันไฟฟ้าขึ้นรวมทั้ง 3 ครั้ง	47
4.8 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าจากการปรับลดแรงดันไฟฟ้าลงรวมทั้ง 3 ครั้ง	47
4.9 เปรียบเทียบความเร็วรอบและความเร็วลมจากการปรับแรงดันไฟฟ้าขึ้นรวมทั้ง 3 ครั้ง	48
4.10 เปรียบเทียบความเร็วรอบและความเร็วลมจากการปรับแรงดันไฟฟ้าลงรวมทั้ง 3 ครั้ง	48
4.11 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะ โหลด 0% รวมทั้ง 3 ครั้ง	52
4.12 เปรียบเทียบความเร็วรอบจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะ โหลด 0% รวมทั้ง 3 ครั้ง	53
4.13 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 1 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะ โหลด 0% รวมทั้ง 3 ครั้ง	53
4.14 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 2 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะ โหลด 0% รวมทั้ง 3 ครั้ง	54

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 3 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 0% รวมทั้ง 3 ครั้ง	54
4.16 ค่าที่สภาวะไร้โหลดต่อแบบเคลด้า	58
4.17 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 10%รวมทั้ง 3 ครั้ง	59
4.18 เปรียบเทียบความเร็วรอบจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 10% รวมทั้ง 3 ครั้ง	60
4.19 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 1 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 10% รวมทั้ง 3 ครั้ง	60
4.20 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 2 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 10% รวมทั้ง 3 ครั้ง	61
4.21 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 3 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 10% รวมทั้ง 3 ครั้ง	61
4.22 กราฟเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลด 10% ของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง	62
4.23 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 20% รวมทั้ง 3 ครั้ง	67
4.24 เปรียบเทียบความเร็วรอบจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 20% รวมทั้ง 3 ครั้ง	67
4.25 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 1 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 20% รวมทั้ง 3 ครั้ง	68
4.26 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 2 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 20% รวมทั้ง 3 ครั้ง	68
4.27 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 3 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 20% รวมทั้ง 3 ครั้ง	69
4.28 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลด 20% ของ การทดลองทั้ง 3 ครั้ง	69
4.29 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 30% รวมทั้ง 3 ครั้ง	74
4.30 เปรียบเทียบความเร็วรอบจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 30% รวมทั้ง 3 ครั้ง	74
4.31 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 1 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 30% รวมทั้ง 3 ครั้ง	75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 2 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะโหลด 30% รวมทั้ง 3 ครั้ง	75
4.33 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 3 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะโหลด 30% รวมทั้ง 3 ครั้ง	76
4.34 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สถานะโหลด 30% ของ การทดลองทั้ง 3 ครั้ง	76



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำงานโดยเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล แบ่งตามชนิดของโรเตอร์ได้ 2 แบบคือ แบบวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor) และแบบกรงกระรอก (Squirrel Cage) โดยมอเตอร์แบบวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor) มีสลีปรिंगและแปรงถ่านส่วนแบบกรงกระรอก (Squirrel Cage) จะไม่มีแปรงถ่าน ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เพราะมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีลักษณะโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนมีความคงทนและราคาต่ำกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นๆ ใช้งานและดูแลรักษาง่าย โดยสามารถนำไปใช้งานในรูปแบบของเครื่องจักรในอุตสาหกรรมเกือบทุกรูปแบบรวมถึงการใช้งานในครัวเรือน เนื่องจากมีการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำอย่างแพร่หลาย ความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าก็เพิ่มมากขึ้นไปด้วย เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าที่สุด จึงต้องมีการวางรูปแบบในการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะปฏิบัติงานให้ถูกต้องและเหมาะสม ดังนั้นจึงได้เกิดการศึกษาและทำการทดลองการลดพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียโดยไม่จำเป็นขณะมีการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ด้วยวิธีการลดแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย ซึ่งมีรูปแบบในการทดลอง โดยการลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส และมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ที่ใช้มอเตอร์ดีซีดีต่อตรงเสมือนเป็นโหลด เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถนำไปศึกษาและนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ในการลดพลังงานในการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาและทดลองเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 1 เฟส เมื่อมีการปรับแรงดันไฟฟ้า

1.2.2 เพื่อศึกษาและทดลองเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 3 เฟสเมื่อมีการปรับลดแรงดันไฟฟ้าในแต่ละสภาวะโหลด

1.2.3 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส ในเรื่องความเหมาะสมในการใช้งานทางด้านประหยัดพลังงาน

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1.3.1 ศึกษาและทดลองการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 1 เฟส โดยใช้วิธีการปรับแรงดันไฟฟ้าตามความเหมาะสมและความต้องการในการใช้งาน

1.3.2 ศึกษาและทดลองการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยใช้วิธีการลดแรงดันไฟฟ้าเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นในการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในแต่สถานะโหลด

1.3.3 ทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ภายใน เพื่อหาค่าตั้งไฟฟ้าสูญเสียและค่าประสิทธิภาพในการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

1.3.4 เปรียบเทียบการใช้พลังงานในการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งแบบ 1 เฟส และ 3 เฟส ในเรื่องความเหมาะสมในการใช้งานทางด้านการประหยัดพลังงาน



1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจถึงวิธีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดประโยชน์และประหยัดพลังงาน

1.5.2 เข้าใจและสามารถต่อวงจรการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

1.5.3 เข้าใจและสามารถทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ภายในแล้วนำไปหาค่ากำลังสูญเสียและค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้

1.5.4 สามารถใช้เครื่องวัดความเร็วรอบมอเตอร์ วัดคัมมิเตอร์ โวลต์มิเตอร์ และแอมป์มิเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

1.6 งบประมาณที่ใช้

ค่ากระดาษและถ่ายเอกสาร	500 บาท
ค่าอุปกรณ์คอมพิวเตอร์	300 บาท
ค่านั่งสือ	700 บาท
ค่าจัดทำรายงาน	500 บาท
<u>รวมเป็นเงิน</u>	<u>2,000 บาท (สองพันบาทถ้วน)</u>

หมายเหตุ ขออนุมัติตัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส (Three Phase Induction Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้มากที่สุดทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม และครัวเรือน ซึ่งมีข้อดี และข้อเสีย ดังนี้



รูปที่ 2.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ [6]

ข้อดี (Advantage)

1. เป็นมอเตอร์ชนิดที่สร้างขึ้นได้ง่าย และ ทนทาน โดยเฉพาะชนิดกรงกระรอก (Squirrel Cage Type)
2. ราคาไม่แพง และ ไม่เสีง่าย
3. มีประสิทธิภาพที่สูงพอในสภาวะที่มอเตอร์หมุนปกติ ไม่มีแปรงถ่านดังนั้นการสูญเสียเนื่องจากความฝืดจึงลดลงหรือมีค่าน้อยมาก และมีเพาเวอร์แฟกเตอร์ดี
4. ต้องการการดูแลและบำรุงรักษาต่ำ
5. สามารถที่จะเริ่มหมุนได้ง่าย โดยเฉพาะชนิดกรงกระรอก

ข้อเสีย (Disadvantage)

1. ความเร็วรอบของมอเตอร์ไม่สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้

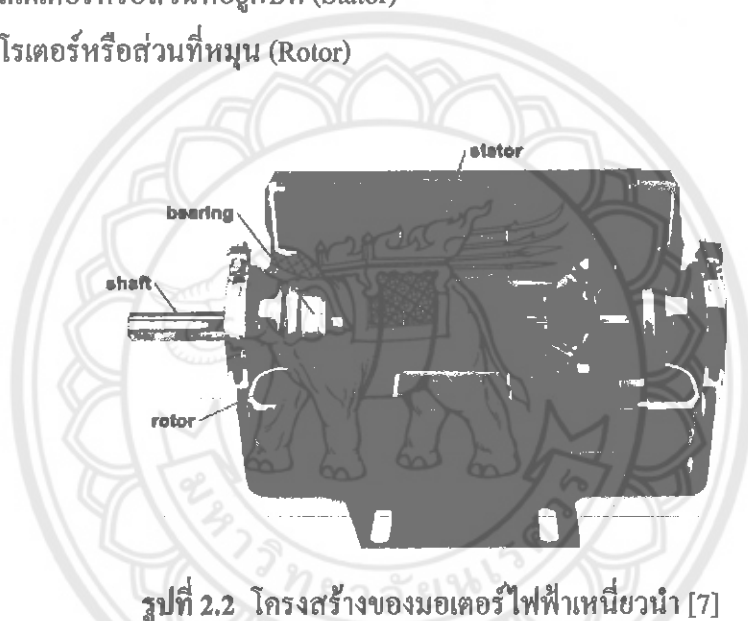
2. มีคุณสมบัติเหมือนกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซันด์ ความเร็วรอบจะลดลงหรือเพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับ โหลด
3. แรงบิดในขณะเริ่มหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำค่อนข้างต่ำกว่าแรงบิดขณะเริ่มหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซันด์
4. ขณะมีโหลดน้อยจะทำงานที่เพาเวอร์แฟกเตอร์ต่ำและล่าช้า

2.2 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนด้วยกันคือ

2.2.1 สเตเตอร์หรือส่วนที่อยู่กับที่ (Stator)

2.2.2 โรเตอร์หรือส่วนที่หมุน (Rotor)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ [7]

2.2.1 สเตเตอร์ (Stator) หรือส่วนที่อยู่กับที่

สเตเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสใช้หลักการเดียวกันกับของซิงโครนัสมอเตอร์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ โดยทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆอัดซ้อนเข้าด้วยกัน และทำเป็นช่องสอดคไว์บรรจุขดลวด และจำนวนขั้วแม่เหล็กจะเป็นตัวกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อเราจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดที่สเตเตอร์ จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่คงที่ตำแหน่ง และสนามแม่เหล็กนี้จะหมุน (Revolves or Rotate) ด้วยความเร็วที่เรียกว่าความเร็วซิงโครนัส หาได้โดย

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

N_s = ความเร็วซิงโครนัส

f_c = ความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายให้กับมอเตอร์

P = จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

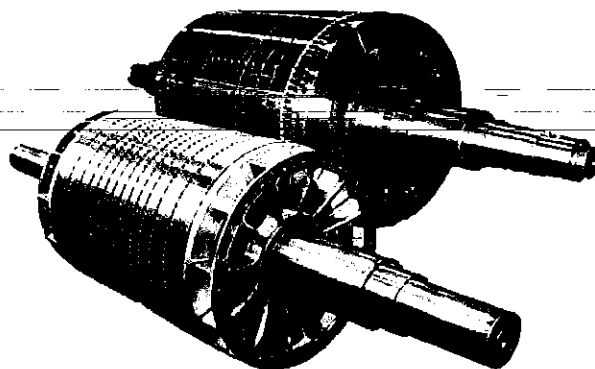
สนามแม่เหล็กที่หมุนจะเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าขึ้นในโรเตอร์ ซึ่งเป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำ

2.2.2 โรเตอร์ (Rotor) หรือส่วนที่หมุน

โรเตอร์ (Rotor) ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

ก. โรเตอร์แบบกรงกระรอก มอเตอร์ที่ใช้โรเตอร์ชนิดนี้เราเรียกว่า มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกโดยประมาณ 90% ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะใช้โรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก เนื่องจากโรเตอร์แบบกรงกระรอกทำได้ง่ายและทนทาน โรเตอร์แบบกรงกระรอกประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางๆอัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก และถูกทำให้เป็นช่องสล็อตให้ขนานกันเพื่อสำหรับฝังหรือบรรจุตัวนำโรเตอร์ (Rotor Conductor) ลงในช่องสล็อตนั้น ตัวนำที่ฝังนี้จะไม่มีลักษณะเป็นเส้นหรือเป็นสาย แต่จะเป็นแท่งทองแดงหรืออลูมิเนียม หรือ อลูลอย (Copper Bar or Aluminum Bar or Alloy) โดยในหนึ่งสล็อตจะบรรจุแท่งทองแดง หรือ อลูมิเนียมเพียง 1 แท่งเท่านั้น และที่ปลายสุดของแท่งตัวนำทั้งสองด้านนั้น ในแต่ละด้านจะถูกต่อปลายลัดวงจรเข้าด้วยกัน โดยการบัดกรี (Brazed) หรือเชื่อมด้วยไฟฟ้าโรเตอร์ของมอเตอร์แบบกรงกระรอกนี้แท่งตัวนำจะถูกลัดวงจรไว้อย่างถาวร ดังนั้นจึงไม่สามารถที่จะนำความต้านทานจากภายนอกมาต่ออนุกรมเข้ากับวงจรโรเตอร์เพื่อช่วยในการเริ่มหมุนได้ สล็อตของโรเตอร์จะไม่อยู่ในลักษณะที่ขนานกับเพลา แต่จะวางให้มีลักษณะเฉียงเล็กน้อย เพื่อให้เกิดประโยชน์คือ

- 1) เพื่อช่วยให้มอเตอร์หมุนได้อย่างเร็วโดยการลดการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กฮัม (Magnetic Hum)
- 2) เพื่อช่วยในการลดการเกิดขีดหรือล๊อค ของโรเตอร์อันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กที่ตกค้างอยู่ที่ฟัน (Teeth) ของสเตเตอร์กับโรเตอร์ทั้งสอง



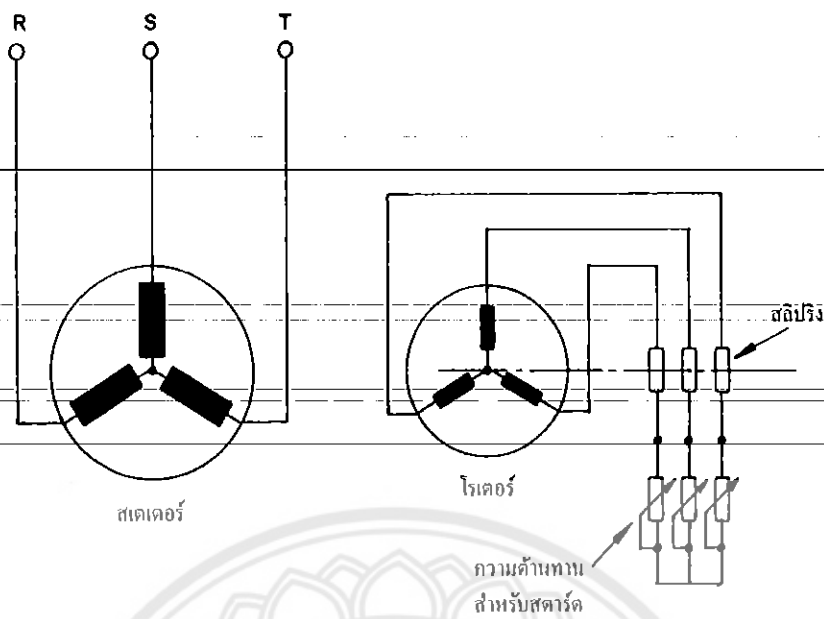
รูปที่ 2.3 โรเตอร์แบบกรงกระรอก [8]

ส่วนแบบอื่นๆของโรเตอร์ที่มีลักษณะคล้ายกันกับโรเตอร์แบบกรงกระรอกนั้นประกอบด้วยโซลิดไซลินเดอร์ (Solid Cylinder) ของแท่งเหล็ก (Steel) ซึ่งปราศจากสลอตสำหรับบรรจุตัวนำทั้งหมดมอเตอร์จะหมุนได้ขึ้นอยู่กับผลของการเกิดกระแสไหลวนในเหล็กของโรเตอร์

ข. โรเตอร์แบบพันขดลวด หรือ เฟสววดโรเตอร์ (Wound Rotor or Phase Wound Rotor) มอเตอร์ที่ใช้โรเตอร์ชนิดนี้เรียกว่า มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบโรเตอร์พันขดลวดหรือสลีปรिंगมอเตอร์ (Wound Rotor or Phase Wound Rotor or Slip-ring Motor) โรเตอร์ชนิดนี้จะพบมากในมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส และมีการพันแบบขดลวดสองชั้นเหมือนกับขดลวดที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ในโรเตอร์ชนิดนี้ภายในจะต่อแบบสตาร์และมีปลายสายออกมา 3 ปลายต่อเข้ากับสลีปรिंगที่ติดกับเพลลาของโรเตอร์และโรเตอร์แบบโรเตอร์พันขดลวดสามารถที่จะนำความต้านทานที่ต่อแบบสตาร์ต่อเข้ากับสลีปรึงของโรเตอร์ เพื่อช่วยในการเริ่มหมุนของมอเตอร์ เป็นการเพิ่มแรงบิดขณะเริ่มหมุนของมอเตอร์ โดยความต้านทานที่นำมาต่อเข้าไปนี้มีลักษณะการต่อดังแสดงในรูปที่ 2.5 แต่เมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนไปแล้วและหมุนด้วยความเร็วปกติแล้วสลีปรึงจะถูกตัดวงจรกลายเป็นโรเตอร์แบบกรงกระรอก



รูปที่ 2.4 โรเตอร์แบบววดโรเตอร์ [9]



รูปที่ 2.5 การต่อความต้านทานจากภายนอกเข้ากับ โรเตอร์แบบพันขดลวด [4]

2.3 หลักการทำงาน (Principle of Operation)

ถ้าจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้ขดลวดอาร์เมเจอร์ที่สเตเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุน เมื่อฟลักแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กหมุนเคลื่อนตัวตัดตัวนำที่ฝังอยู่ใน โรเตอร์จะเกิดการเหนี่ยวนำ และเนื่องจาก โรเตอร์ถูกกลัดวงจรจึงเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและแรงบิดเป็นผลให้โรเตอร์หมุนไปในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุน สนามแม่เหล็กหมุนดังกล่าวจะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส (n_s) ซึ่งหาค่าได้จากสมการที่ (2.1)

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ตัวนำโรเตอร์ e_{ind} หาค่าได้ดังนี้

$$e_{ind} = (v \times B) \times l \quad (2.2)$$

เมื่อ

v = ความเร็วของ โรเตอร์

B = ความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กของขดลวดที่สเตเตอร์

l = ความยาวของ โรเตอร์

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะสร้างกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กในตัวนำของโรเตอร์ (B_R) และเกิดปฏิสัมพันธ์กับความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กของสเตเตอร์จึงเกิดแรงบิดที่โรเตอร์ τ_{ind} ซึ่งหาค่าได้ดังนี้

$$\tau_{ind} = k B_R \times B_S \quad (2.3)$$

แรงบิด T_{ind} จะทำให้โรเตอร์หมุนไปได้ด้วยความเร็วต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสถ้าความเร็วของโรเตอร์เท่ากับความเร็วซิงโครนัส ค่า e_{ind} และ T_{ind} จะเท่ากับศูนย์ โรเตอร์จึงหยุดหมุน ดังนั้นการเร่งความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงไม่สามารถทำให้ความเร็วของโรเตอร์เท่ากับความเร็วซิงโครนัสได้

การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำได้ง่ายเพียงแค่สลับสายไฟคู่ใดคู่หนึ่งที่ทำให้ขดลวดที่สเตเตอร์เท่านั้นก็จะทำให้สนามแม่เหล็กหมุนและโรเตอร์หมุนกลับทิศทางได้ นับว่าเป็นข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้

2.4 สลิปและความเร็วโรเตอร์ (Slip, S and Rotor Speed)

ในทางปฏิบัตินั้น โรเตอร์ไม่สามารถหมุนได้เท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ โดยปกติแล้วความเร็วของโรเตอร์จะมีความเร็วน้อยกว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กที่หมุนที่สเตเตอร์ ความแตกต่างของความเร็วนั้นจะขึ้นอยู่กับโหลดที่ต่ออยู่กับมอเตอร์นั้น

ความแตกต่างระหว่างความเร็วของสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่ที่สเตเตอร์หรือความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์ (n_s) และความเร็วรอบในการหมุนของโรเตอร์ (n_r) เรียกว่าความเร็วสลิป (Slip Speed ; n_{slip}) หาได้จาก

$$n_{slip} = n_s - n_r \quad (2.4)$$

อัตราส่วนระหว่างความเร็วสลิป (n_{slip}) ต่อความเร็วซิงโครนัส (n_s) เรียกว่า สลิป (Slip, s)

$$s = \frac{n_{slip}}{n_s} \times 100\% \quad (2.5)$$

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (2.6)$$

จากสมการ (2.6) จัดให้อยู่ในรูปความเร็วเชิงมุมซิงโครนัส และความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ได้ดังนี้

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \times 100\% \quad (2.7)$$

ความเร็วของโรเตอร์ในเทอมของสลิปและความเร็วซิงโครนัสหาได้จาก

$$n_r = (1-s)n_s \quad (2.8)$$

และ

$$\omega_r = (1-s)\omega_s \quad (2.9)$$

เมื่อ

s = ค่าสลิป

n_s = ความเร็วซิงโครนัส

n_r = ความเร็วของมอเตอร์หรือโรเตอร์

ω_s = ความเร็วเชิงมุมซิงโครนัส

ω_r = ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์หรือโรเตอร์

2.5 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำและความถี่โรเตอร์ (Rotor Induced Voltage and Frequency)

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ขดลวดอาร์เมเจอร์ขณะโรเตอร์อยู่กับที่ ฟลักแม่เหล็กของสนามแม่เหล็กจะกวาดผ่านบริเวณขดลวดของโรเตอร์และสเตเตอร์ด้วยความเร็วสูงสุด (ความเร็วซิงโครนัส) แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในตัวนำนั้นย่อมมีค่าสูงสุดและขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดในโรเตอร์และสเตเตอร์ ดังนั้น ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้งสองส่วนนี้จึงมีลักษณะคล้ายกับ หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมีค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดทั้งสอง

ขณะโรเตอร์อยู่กับที่ ($n_r = 0$) ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในโรเตอร์ (ความถี่ของโรเตอร์) จะเท่ากับความถี่ของสาย กรณีนี้อ่าสลิป เท่ากับ 1 หรือ 100% (พิจารณาจากสมการ (2.4)) และเมื่อโรเตอร์หมุนอัตราที่ฟลักแม่เหล็กกวาดผ่านตัวนำจะช้าลงค่าสลิปจึงลดลงด้วย ในสภาพเช่นนี้แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโรเตอร์จะลดลงเป็นสัดส่วนกับค่าสลิป เขียนสมการได้ดังนี้

$$E_R = s \times E_{BR} \quad (2.10)$$

ในทำนองเดียวกันความถี่ของโรเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามค่าของสลิป

$$f_r = s \times f_e \quad (2.11)$$

เมื่อ

 E_R = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโรเตอร์ขณะทำงาน E_{BR} = แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโรเตอร์ขณะอยู่กับที่ (Blocked Rotor Induced Voltage) f_r = ความถี่ของโรเตอร์ f_e = ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์

2.6 วงจรสมมูลโรเตอร์ (Equivalent Circuit of Rotor)

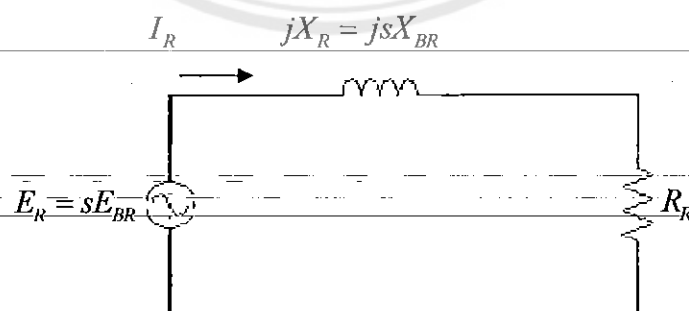
มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีหลักการคล้ายกับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการลัดวงจรที่ขดลวดทุติยภูมิ (ขดลวดที่โรเตอร์) และมีอิสระจะเคลื่อนที่หรือหมุนได้อย่างต่อเนื่องตามขั้วแม่เหล็กของขดลวดปฐมภูมิ (ขดลวดที่สเตเตอร์) ดังนั้นวงจรสมมูลจึงคล้ายกับวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในโรเตอร์ (E_R) คือ sE_{BR} แรงดันไฟฟ้านี้จะสร้างกระแสไฟฟ้าในโรเตอร์ที่จ่ายให้มอเตอร์นั้น คือ

$$X_R = \omega_r L_R = 2\pi f_e L_R \quad (2.12)$$

$$X_R = 2\pi s f_e L_R = s(2\pi f_e L_R)$$

$$X_R = sX_{BR} \quad (2.13)$$

เมื่อนำองค์ประกอบต่างๆ ของโรเตอร์มาเขียนวงจรสมมูลจะได้ดังรูป



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของโรเตอร์

จากรูปที่ 2.6 กระแสไฟฟ้าของโรเตอร์ (I_R) หาได้จาก

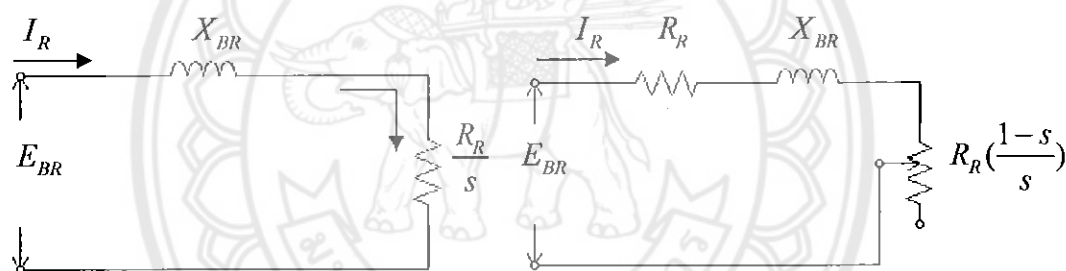
$$I_R = \frac{E_R}{R_R + jX_R} \quad (2.14)$$

หรือ

$$I_R = \frac{sE_{BR}}{\sqrt{R_R^2 + (sX_{BR})^2}} \quad (2.15)$$

$$I_R = \frac{E_{BR}}{\sqrt{(R_R/s)^2 + X_{BR}^2}} \quad (2.16)$$

จากสมการข้างต้นสามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังรูป



$$\frac{R_R}{s} = R_R + R_R \left(\frac{1-s}{s} \right) \quad (ก) \quad (ข)$$

รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลจากสมการ (2.17)

เนื่องจากใช้ค่าความต้านทานที่แท้จริงของโรเตอร์ (R_R) นั้นง่ายกว่าเทอม $\frac{R_R}{s}$ ดังนั้นจึงแบ่ง $\frac{R_R}{s}$ ออกเป็น 2 ส่วนได้ดังนี้ คือ

$$\frac{R_R}{s} = \frac{R_R}{s} + R_R - R_R$$

$$\frac{R_R}{s} = R_R + R_R \left(\frac{1}{s} - 1 \right)$$

$$\frac{R_R}{s} = R_R + R_R \left(\frac{1-s}{s} \right) \quad (2.17)$$

จากสมการที่ 2.17 เขียนวงจรสมมูลใหม่ดัง รูปที่ 2.7 และถ้าคุณสมการนี้ตลอดด้วย I_R^2 จะได้สมการในเทอมกำลังไฟฟ้า

$$I_R^2 \frac{R_R}{s} = I_R^2 R_R + I_R^2 R_R \left(\frac{1-s}{s} \right) \quad (2.18)$$

$I_R^2 R_R$ = กำลังสูญเสียในขดลวดทองแดงของโรเตอร์ (P_{RCL})

$I_R^2 R_R \left(\frac{1-s}{s} \right)$ แทนกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนเป็นกำลังทางกลหรือกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นใน

โรเตอร์ (P_{conv})

จากความหมายดังกล่าวจึงเขียนสมการ (2.18) ได้ใหม่ดังนี้

$$P_{AG} = P_{RCL} + P_{conv} \quad (2.19)$$

$$P_{AG} = I_R^2 \frac{R_R}{s} \quad (2.20)$$

$$P_{RCL} = I_R^2 R_R = s P_{AG} \quad (2.21)$$

$$P_{conv} = I_R^2 R_R \frac{1-s}{s} = P_{AG} (1-s) \quad (2.22)$$

โดยทั่วไปกำลังไฟฟ้าที่เกิดในมอเตอร์เป็นผลคูณของแรงบิด (τ) และความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity; ω) ดังนั้นจึงเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_{conv} = \omega_r \tau_{ind} \quad (2.23)$$

ดังนั้นแรงบิดที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ (Developed Torque; τ_{ind})

$$\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_r} \quad (2.24)$$

เมื่อ

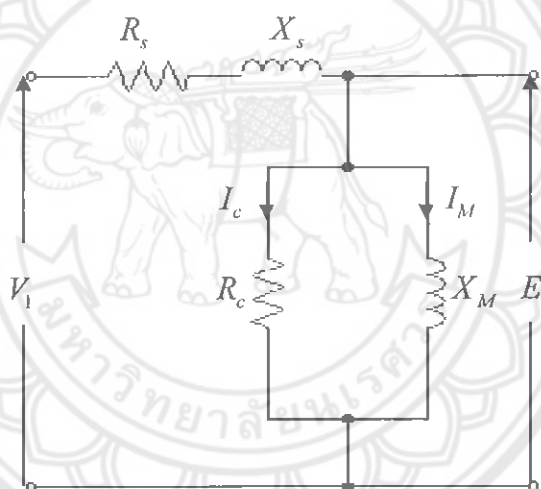
$$\omega_r = \frac{2\pi n_r}{60} \quad (2.25)$$

เมื่อ

 $\omega_r =$ ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ $n_r =$ ความเร็วของโรเตอร์

2.7 วงจรสมมูลของสเตเตอร์ (Equivalent Circuit of Stator)

วงจรสมมูลของสเตเตอร์ก็เหมือนกับวงจรสมมูลค่านขลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า คือ ประกอบด้วยความต้านทานของสเตเตอร์ (R_s) รีแอกแตนซ์รั่วไหลของสเตเตอร์ (X_s) และค่าต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของสาขาที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (Magnetizing Branch) ได้แก่ R_c (ความต้านทานของแกนเหล็ก), X_M (รีแอกแตนซ์ของแกนเหล็ก), I_c (กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก), I_M (กระแสไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก) เขียนวงจรสมมูลของสเตเตอร์ได้ดังรูป



รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลของสเตเตอร์

จากรูปที่ 2.8 ถ้าไม่คิดค่าความต้านทาน R_c และย้ายตำแหน่ง X_M มาไว้ทางเข้า (Input) ของวงจรสมมูล จะทำการวิเคราะห์ทฤษฎีเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำง่ายขึ้น โดยมีเหตุผลดังนี้คือ

1. การย้ายตำแหน่ง X_M นี้จะทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย เพราะ R_s และ X_s มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับ X_M แต่จะได้วงจรสมมูลที่พิจารณาได้ง่าย
2. วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดจะไม่คิดค่า I_M ซึ่งเป็นส่วนประกอบเล็กๆ เมื่อเทียบกับกระแสไฟฟ้าที่พิกัด แต่ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำเช่นนั้นไม่ได้

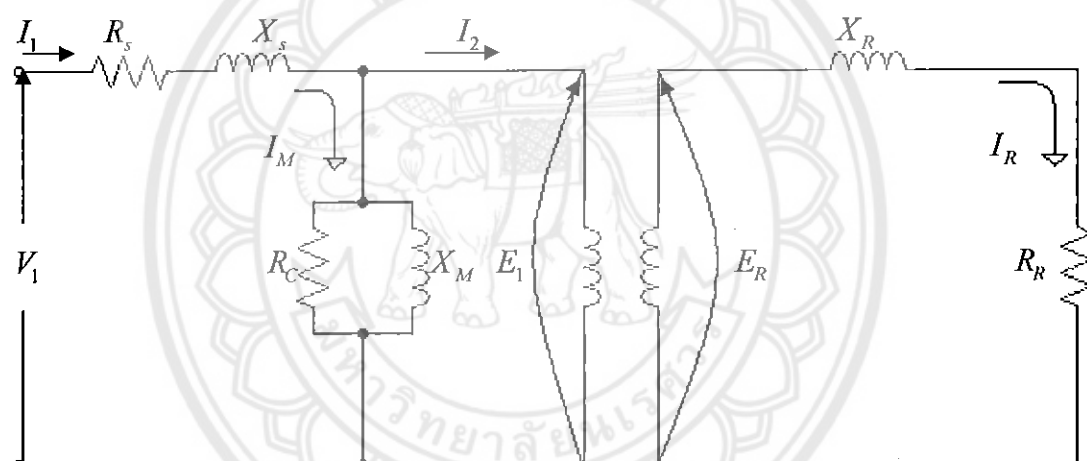
เพราะค่า I_M มีค่ามากถึง 30% - 50% ของกระแสไฟฟ้าที่พิกัด ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม X_M เป็นจำนวนมากจึงต้องคงค่า X_M ไว้ในวงจรสมมูล

3. ค่ากระแส I_C มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับ I_M ดังนั้น แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_C ย่อมมีอิทธิพลต่อกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในวงจรสมมูลน้อยด้วย จึงตัดค่า R_C ออกจากวงจรสมมูลของสเตเตอร์ได้

2.8 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Equivalent Circuit an Induction Motor)

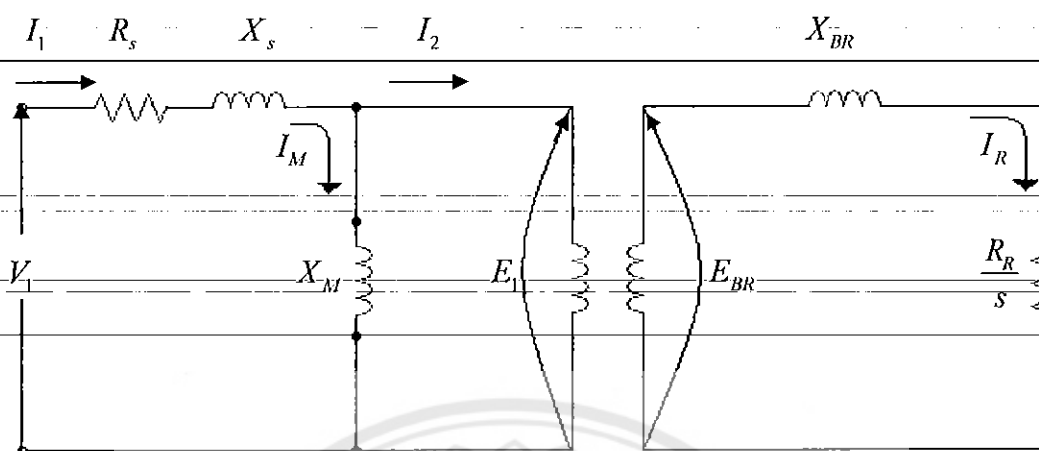
Motor)

เมื่อนำวงจรสมมูลของสเตเตอร์และโรเตอร์ (ขณะอยู่กับที่) มาเขียนรวมกันโดยอาศัยหลักการเช่นเดียวกับวงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ จะได้ดังรูป



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเทียบเท่ามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เพื่อให้สอดคล้องกับรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8 จึงเขียนวงจรสมมูลใหม่ดังนี้



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าเทียบเท่ากับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำใหม่

วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถย้ายด้านรวมกันได้ ถ้าทราบอัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิกับขดลวดทุติยภูมิ และในทำนองเดียวกันถ้าทราบอัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวดที่สเตเตอร์กับโรเตอร์ (Turn Ratio; a) ก็จะย้ายค่าในวงจรสมมูลของขดลวดทั้งสองมารวมกันได้เช่นกัน ถ้าต้องการย้ายค่าของวงจรสมมูลโรเตอร์มายังวงจรสมมูลสเตเตอร์ซึ่งหาค่าต่างๆของวงจรสมมูลได้ดังนี้ คือ

$$E'_{BR} = aE_{BR} = E_1 \quad (2.26)$$

เมื่อ

E'_{BR} = แรงดันไฟฟ้าขณะ โรเตอร์อยู่กับที่ที่ย้ายมายังด้านสเตเตอร์

$$I'_R = \frac{I_R}{a} \quad (2.27)$$

เมื่อ

I'_R = กระแสไฟฟ้าของโรเตอร์ที่ย้ายค่ามายังด้านสเตเตอร์

$$R'_R = a^2 R_R \quad (2.28)$$

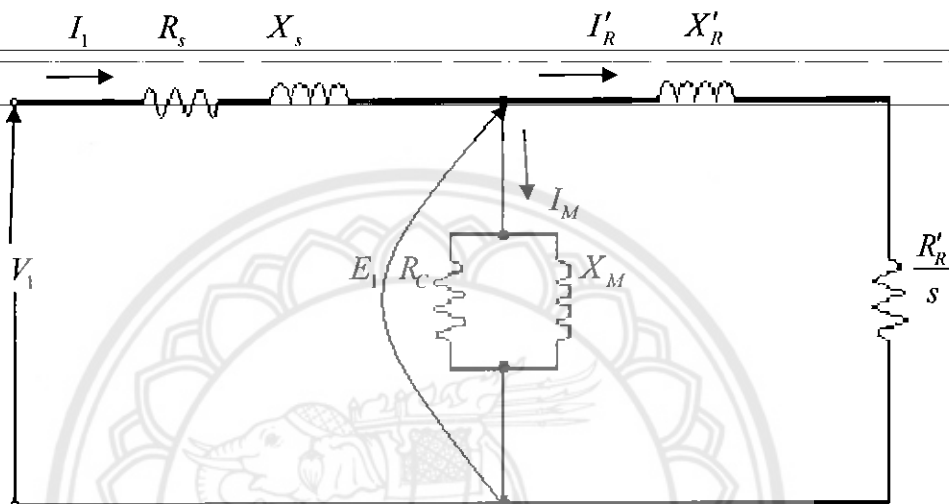
$$X'_R = a^2 X_{BR} \tag{2.29}$$

เมื่อ

R'_R = ความต้านทานของโรเตอร์ที่ย้ายมายังด้านสเตเตอร์

X'_R = รีแอกแตนซ์ของโรเตอร์ที่ย้ายมายังด้านสเตเตอร์

นำค่าที่ได้จากสมการ (2.29) – (2.32) มาเขียนวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ดังรูป



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ค่ากระแสไฟฟ้าของโรเตอร์ที่ย้ายมายังด้านสเตเตอร์

$$I'_R = \frac{V_1}{(R_s + R'_R/s) + j(X_s + X'_R)} \tag{2.30}$$

$$I_M = \frac{V_1}{jX_M} \tag{2.31}$$

หาค่ากระแสไฟฟ้าที่สายจ่ายให้มอเตอร์ (I_I)

$$I_I = I_M + I'_R \tag{2.32}$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงของสเตเตอร์ (P_{SCL})

$$P_{SCL} = 3 + I_I^2 R_s \tag{2.33}$$

ผลรวมของรีแอกแตนซ์ X_s และ X'_R เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$X_e = X_s + X'_R \quad (2.34)$$

เมื่อ

V_I = แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวดสเตเตอร์

I_I = กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวดสเตเตอร์

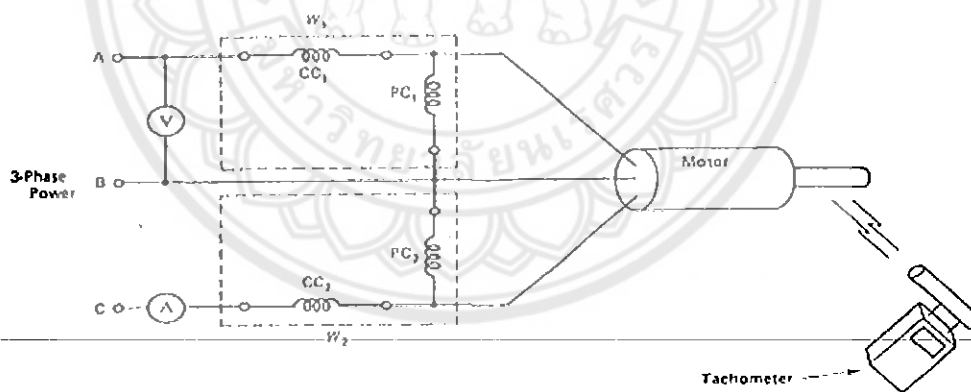
I_M = กระแสไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็ก

X_e = รีแอกแตนซ์สมมูล

2.9 การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล (Determination of Equivalent Circuit Parameter)

การคำนวณคุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำลงในวงจรสมมูล ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้หาได้จากการทดสอบขณะไม่มีโหลด (No Load Test) และการทดสอบบดักโรเตอร์ (Blocked - rotor Test)

2.9.1 การทดสอบขณะไม่มีโหลด (No - Load Test)



รูปที่ 2.12 ขดลวดที่สเตเตอร์ขณะไม่มีโหลดต่อที่แกนของมอเตอร์ [2]

การทดสอบนี้ต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดให้กับขดลวดสเตเตอร์ขณะที่ไม่มีโหลดต่อที่แกนของมอเตอร์ดังรูปที่ 2.12 ค่าที่ต้องการทราบคือ

V_{NL} = แรงดันไฟฟ้าที่สายของสเตเตอร์ (อ่านได้จากเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer; V)

I_{NL} = กระแสไฟฟ้าที่สาย (อ่านได้จากเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer; A)

P_{NL} = กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ขณะไม่มีโหลดทั้ง 3 เฟส (อ่านได้จากเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer)

การทดสอบนี้ไม่มีโหลดต่ออยู่ที่แกน ดังนั้นความเร็วของแกนโรเตอร์ (n_r) จึงสูง (วัดได้จาก Tachometer) ส่งผลให้ค่าสลิปต่ำ (จากสมการ (2.6) $s = \frac{n_s - n_r}{n_s}$) นอกจากนี้กระแสไฟฟ้าของโรเตอร์มีค่าต่ำทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงของโรเตอร์ (P_{RCL}) มีค่าต่ำมาก (จากสมการ (2.21) $P_{RCL} = I_R^2 R_R$) เราจึงไม่คิดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในส่วนนี้ ดังนั้น (P_{NL}) จึงประกอบด้วยกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (P_{core}), กำลังไฟฟ้าสูญเสียทางกล (P_{mech}) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงของสเตเตอร์ (P_{SCL}) ทั้ง 3 เฟส เขียนสมการได้ดังนี้

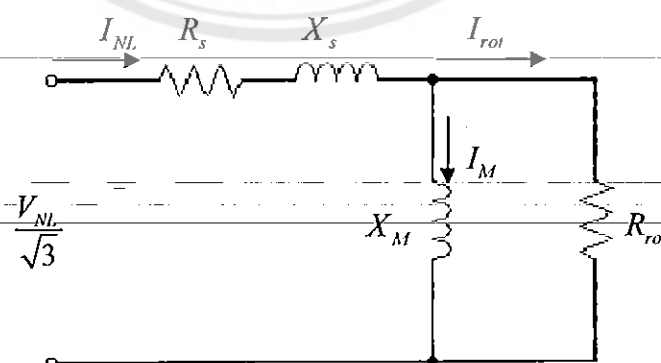
$$P_{SCL} = 3I_{NL}^2 R_S \quad (2.35)$$

$$P_{NL} = P_{core} + P_{mech} + 3I_{NL}^2 R_S \quad (2.36)$$

ผลรวมของ P_{mech} และ P_{core} เราเรียกว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนหมุน (Rotation Losses; P_{rot}) ซึ่งเป็นค่าคงที่หาได้จาก

$$P_{rot} = P_{NL} - 3I_{NL}^2 R_S \quad (2.37)$$

ความต้านทานของสเตเตอร์ (R_S) หาค่าได้จากการวัดความต้านทานของขดลวดที่สเตเตอร์ สำหรับวงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการทดสอบขณะไม่มีโหลดเป็นดังรูป



รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการทดสอบขณะไม่มีโหลด

ขณะไม่มีโหลดมอเตอร์จะมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำแสดงว่าองค์ประกอบของวงจรสมมูลส่วนใหญ่เป็นรีแอกแตนซ์ ซึ่งย่อหมายถึงรีแอกแตนซ์ที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (X_M) เพราะค่า R_s และ X_s มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับ X_M ดังนั้นกระแสไฟฟ้า I_{NL} จะต้องล้าหลังแรงดันไฟฟ้า V_{NL} แต่สำหรับความต้านทานที่เป็นองค์ประกอบของ P_{rot} (คือ R_{rot}) จะมีค่าสูงเมื่อเทียบกับ X_M ทำให้กระแสไฟฟ้าที่เป็นองค์ประกอบของ P_{rot} (คือ I_{rot}) มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับ I_M ซึ่งแสดงว่าภายใต้ข้อสมมตินี้จะได้ว่า

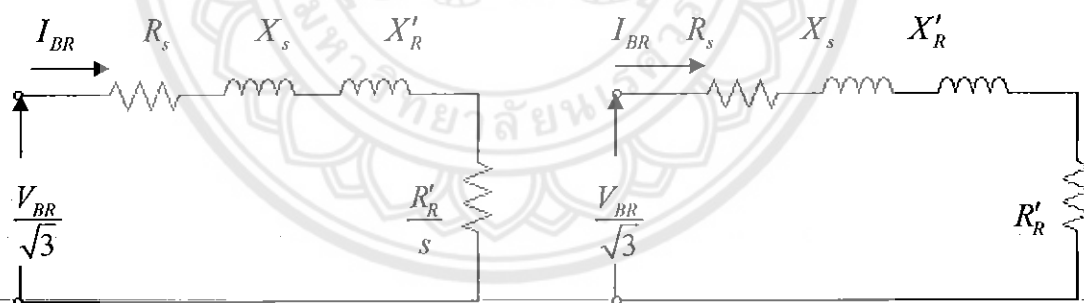
$$X_M = \frac{V_{NL}}{\sqrt{3}I_{NL}} \quad (2.38)$$

เมื่อ

X_M = รีแอกแตนซ์ที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก

2.9.2 การทดสอบการยึดโรเตอร์ (Blocked – rotor Test)

การทดสอบจะต้องปรับแรงดันไฟฟ้าจนได้กระแสไฟฟ้าที่พิกัดของสเตเตอร์ (เช่นเดียวกับกรณีทดสอบลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้า) สมมติแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้การทดสอบมีค่า 10 - 20% ของแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด ฟลักแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่ช่องว่างอากาศ (Air-gap) มีค่าน้อยแสดงว่า X_M มีปริมาณมากกว่าปกติ ดังนั้นเราจึงไม่สนใจค่า X_M และเนื่องจากโรเตอร์ถูกยึดไม่ให้หมุน ($n_r = 0$) ทำให้ค่าสลิป = 1 มีผลให้ $\frac{R'_R}{s} = R'_R$ จึงเขียนวงจรสมมูลได้ดังรูป



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลการทดสอบการยึด โรเตอร์

การทดสอบนี้ทำเพื่อหาค่าต่อไปนี้

V_{BR} = แรงดันไฟฟ้าที่สายขณะยึดโรเตอร์

I_{BR} = กระแสไฟฟ้าที่สายขณะยึดโรเตอร์

P_{BR} = กำลังไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสขณะยึดโรเตอร์

เมื่อทราบค่าดังกล่าวประกอบกับการพิจารณารูป 2.14 ทำให้หาค่าสมมูลของมอเตอร์ ได้ดังนี้

$$Z_e \equiv \frac{V_{BR}}{\sqrt{3}I_{BR}} = (R_S + R'_R) + j(X_S + X'_R) \quad (2.39)$$

$$R_e = \frac{P_{BR}}{3I_{BR}^2} = R_S + R'_R \quad (2.40)$$

$$X_e = \sqrt{Z_e^2 - R_e^2} = X_S + X'_R \quad (2.41)$$

เมื่อ

Z_e = อิมพีแดนซ์สมมูลต่อเฟสของมอเตอร์

R_e = ความต้านทานสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์

X_e = รีแอกแตนซ์สมมูลต่อเฟสของมอเตอร์

Z_S = อิมพีแดนซ์ต่อเฟสของขดลวดที่สเตเตอร์

R_S = ความต้านทานต่อเฟสของขดลวดที่สเตเตอร์

X_S = รีแอกแตนซ์ต่อเฟสของขดลวดที่สเตเตอร์

การวัดค่า R_e จะแยกต่างหากทำให้ความต้านทานของโรเตอร์ที่ย้ายค่ามายังด้านสเตเตอร์ (R'_R)

มีค่าเป็น

$$R'_R = R_e - R_S \quad (2.42)$$

มีข้อสมมติเกี่ยวกับมอเตอร์แบบว่าลั้วโรเตอร์ที่เป็นที่ยอมรับว่า

$$X_S = X'_R = 0.5X_e \quad (2.43)$$

การหาค่ารีแอกแตนซ์และความต้านทานที่แท้จริงของโรเตอร์ (X_R และ R_R) จะต้องทราบค่า X'_R และ R'_R รวมทั้งค่าอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดหรืออัตราส่วนของการย้ายค่า (Turn Ratio or Transformation Ratio; a) เสียก่อน การหาค่า a ทำได้เช่นเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้าคือ ใช้อัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่สายที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (V_L) กับแรงดันไฟฟ้าที่โรเตอร์หรือแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากสลิปริง (V_{sr}) หรือหาค่าได้จากอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดทั้งสอง ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$a = \frac{V_L}{V_{sr}} = \frac{N_s}{N_r} \tag{2.44}$$

เมื่อ

N_s = จำนวนรอบของขดลวดต่อเฟสในสเตเตอร์

N_r = จำนวนรอบของขดลวดต่อเฟสในโรเตอร์

เมื่อนำหลักการย้ายค่าของแปลงไฟฟ้ามาใช้ ค่ารีแอกแตนซ์ที่แท้จริงของโรเตอร์ (X_R) จึงมีค่าเป็น

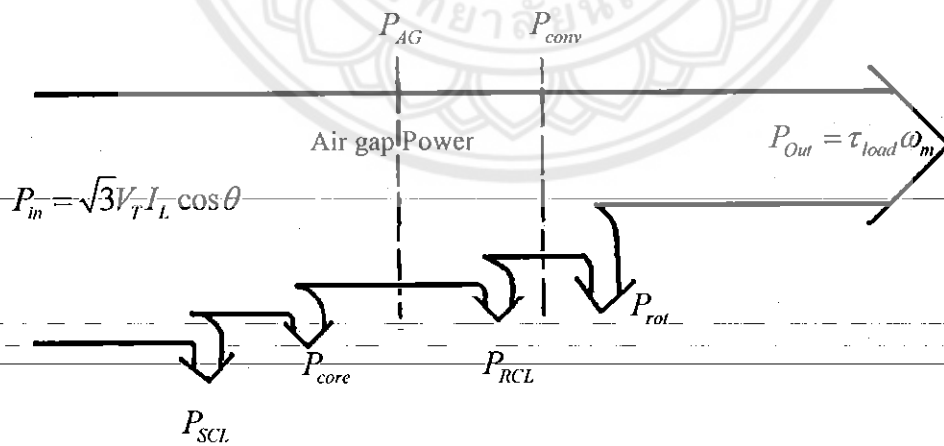
$$X_R = \frac{X'_R}{a^2} \tag{2.45}$$

ในทำนองเดียวกัน ความต้านทานแท้จริงของโรเตอร์ (R_R) จึงมีค่าเป็น

$$R_R = \frac{R'_R}{a^2} \tag{2.46}$$

2.10 ประสิทธิภาพ (Efficiency)

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงของเครื่องกลซึ่งโครนัสแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ขดลวดฟิลด์และที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ แต่ในมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำไม่มีขดลวดฟิลด์จึงไม่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดฟิลด์ แต่มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในโรเตอร์เพิ่มขึ้นมาแทน



รูปที่ 2.15 The Power Flow Diagram of an Induction Motor [1]

จากรูปที่ 2.15 เมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้า (Input Power ; P_m) ให้กับขดลวดที่สเตเตอร์จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำรวมทั้งเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดง (P_{SCL}) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่แกนเหล็ก (P_{core}) ของสเตเตอร์ เมื่อสนามแม่เหล็กหมุนที่อยู่ในช่องอากาศ (Air-gap) ระหว่าง

สเตเตอร์กับโรเตอร์ตัดผ่านตัวนำในโรเตอร์จะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงของโรเตอร์ (P_{RCL}) กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากสนามแม่เหล็กหมุนในช่องอากาศ เรียกว่า กำลังไฟฟ้าในช่องอากาศ (Air-gap Power) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้า (Input-Power) ที่จ่ายให้โรเตอร์ (P_{AG}) เมื่อหักค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่กล่าวมาแล้วจะได้กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ (P_{conv}) หรือกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล และเมื่อโรเตอร์หมุนจะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย เนื่องจากความฝืดและแรงต้านจากลม ซึ่งเรียกว่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการหมุนหรือทวงกล (P_{rot}) ภายหลังจากหักค่าแล้วก็จะได้กำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมา (Output Power; P_{out}) เป็นพลังงานกลอยู่ในรูปของแรงบิดที่จ่ายออกมาหรือแรงบิดที่แกนของโรเตอร์ (τ_{load}) คูณกับความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ (ω_m) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P_{out} = \tau_{load} \times \omega_m \quad (2.47)$$

จาก The Power Flow Diagram หากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ช่องอากาศ (Air-gap; P_{AG}) หาได้จาก

$$P_{AG} = P_m - P_{SCL} - P_{core} \quad (2.48)$$

จาก The Power Flow Diagram หากำลังไฟฟ้าเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานทางกล (P_{conv}) ได้

$$P_{conv} = P_{AG} - P_{RCL} \quad (2.49)$$

จาก The Power Flow Diagram หากำลังไฟฟ้าขาออก (P_{out}) หาได้จาก

$$P_{out} = P_{conv} - P_{rot} \quad (2.50)$$

สมการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็เหมือนกับเครื่องกลไฟฟ้าทั่วไปนั่นคือ

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_m} \times 100\% \quad (2.51)$$

หาแรงบิดที่จ่ายออก (Output Torque) หรือแรงบิดที่แกนของโรเตอร์ (Shaft Torque; τ_{load}) ได้โดย

$$\tau_{load} = \frac{P_{conv} - P_{misc}}{\omega_m} = \frac{P_{Out}}{\omega_m} \quad (2.52)$$

2.11 การสตาร์ทมอเตอร์

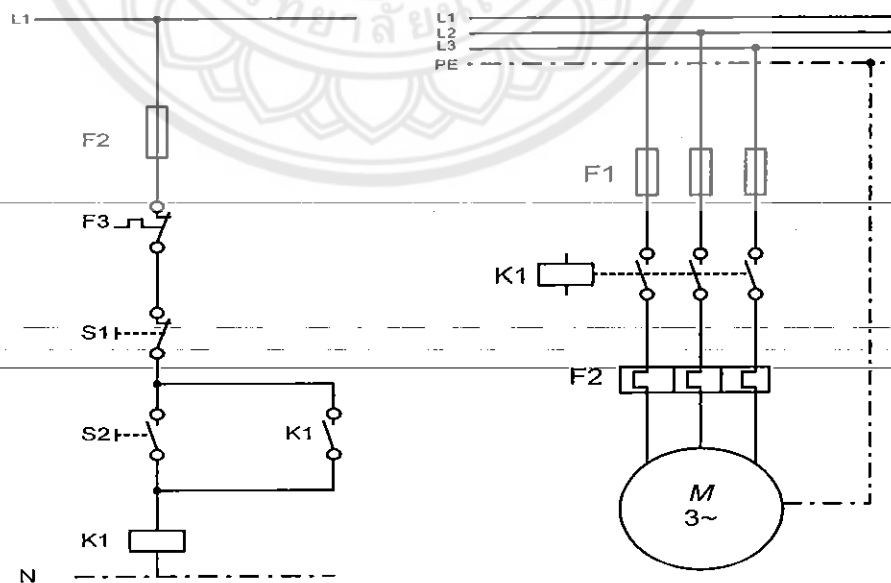
5200033

มอเตอร์ในขณะที่สตาร์ทจากจุดหยุดนิ่งจำเป็นจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าจำนวนมากในการที่จะต้องเอาชนะแรงเฉื่อยขณะหยุดนิ่งได้ ดังนั้นจึงทำให้มอเตอร์มีกระแสไฟฟ้าในขณะที่สตาร์ทสูง และแรงบิดหรือแรงจลนศาสตร์สูงมากการสตาร์ทมอเตอร์เพื่อการลดกระแสไฟฟ้าตอนเริ่มต้นและเพื่อลดแรงบิดกระแสช็อกอันเป็นสาเหตุของการเสียหายของแบร์ริง หรืออุปกรณ์เครื่องจักรที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์จึงมีหลากหลายวิธีการ

วิธีการสตาร์ทมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.11.1 การสตาร์ทมอเตอร์โดยตรง (Direct on Line Starting)

การสตาร์ทมอเตอร์โดยตรง (Direct on Line Starting) เป็นวิธีการสตาร์ทมอเตอร์แบบที่นิยมกันมาก ใช้สำหรับมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กซึ่งมอเตอร์จะถูกต่อผ่านอุปกรณ์สตาร์ทแล้วต่อเข้ากับสายไฟฟ้ากำลัง โดยตรงทำให้มอเตอร์สตาร์ทด้วยแรงดันเท่ากับสายจ่ายแรงดันทันทีทันใด และกระแสขณะสตาร์ทสูงถึงประมาณ 600 % ของแรงดันไฟฟ้าเต็มพิกัด ก่อให้เกิดอันตรายต่อมอเตอร์หรือวงจรไฟฟ้าอื่น ๆ ที่ต่อร่วมสายจ่ายกำลังมอเตอร์ได้



รูปที่ 2.16 วงจรควบคุมและวงจรกำลังของสตาร์ทโดยตรง [5]

ขั้นตอนการทำงาน

1. กดสวิตช์ S2 คอนแทคเตอร์ K1 ทำงานปล่อยสวิตช์ S2 คอนแทคเตอร์ K1 ยังทำงานอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากหน้าสัมผัสช่วยปกติเปิด K1 ในแถวที่ 2 ทำงาน หน้าสัมผัสจะปิดกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดของแมกเนติกตลอดเวลา

2. เมื่อเกิดสถานะ โอเวอร์โหลดหน้าสัมผัสของโอเวอร์โหลดปกติปิด (F3) จะตัดวงจรไม่มีกระแสไหลเข้าขดลวดคอนแทคเตอร์ K1 จะหยุดทำงาน

3. ในการหยุดการทำงานของวงจรให้กดสวิตช์ S1

4. ถ้าฟิวส์ F2 ขาดวงจรก็จะหยุดทำงาน

5. เมื่อเกิดสถานะ โอเวอร์โหลดให้วงจรทำงานใหม่ให้กดปุ่มรีเซ็ต โอเวอร์โหลดหน้าสัมผัสกลับสู่สภาพเดิมแล้วทำการกด S2 ใหม่มอเตอร์จะกลับมาทำงานตามเดิม

ข้อดี : อุปกรณ์ไม่สลับซับซ้อน, ง่ายแก่การติดตั้ง, ง่ายแก่การบำรุงรักษา ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายต่ำเพราะมีเพียงสวิตช์ตัดต่อทางไฟฟ้า (Switch Gear)

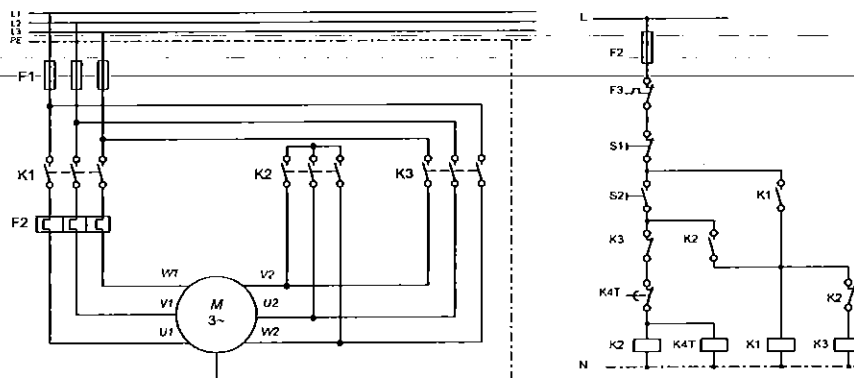
ข้อเสีย : กระแสไฟฟ้าเริ่มหมุนสูงประมาณ 4 ถึง 6.5 เท่าของกระแสไฟฟ้าปกติ, แรงดันไฟฟ้าตกขณะสับสวิตช์เริ่มหมุนทั้งนี้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าตกกล่อมขึ้นอยู่กับขนาดของ Short Circuit Power ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า

2.11.2 การสตาร์ทโดยวิธีการลดแรงดัน (Reduced Voltage Starting)

เป็นการลดกระแสไฟฟ้าในขณะที่สตาร์ทมอเตอร์ไม่ให้สูงจนเป็นอันตรายจึงต้องมีการลดแรงดันไฟฟ้าในขณะที่สตาร์ทซึ่งเป็นผลทำให้กระแสไฟฟ้าในขณะที่สตาร์ทลดลงด้วย การสตาร์ทมอเตอร์โดยวิธีการลดแรงดันไฟฟ้ามีหลายวิธี เช่น

2.11.3 การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลตา (Star-Delta Starter)

การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลตานี้เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากออกแบบง่าย และเหมาะสำหรับการสตาร์ทมอเตอร์สามเฟสแบบเหนี่ยวนำใช้สำหรับมอเตอร์ที่มีการต่อขดลวดภายในที่มีปลายสาย



รูปที่ 2.17 วงจรกำลังและวงจรควบคุมของการสตาร์ทแบบสตาร์-เดลตา [5]

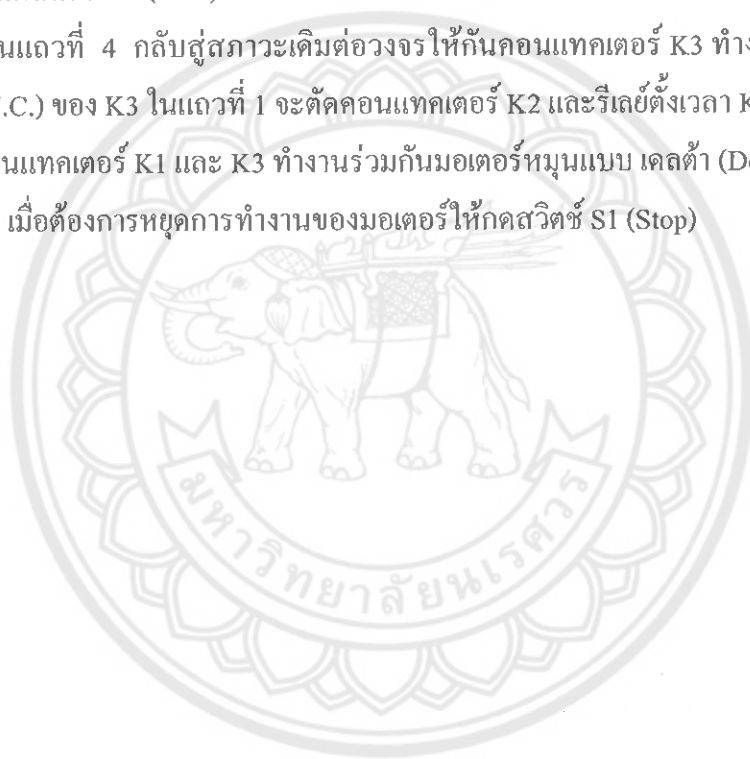
ลำดับขั้นตอนการทำงาน

1. กด S2 ทำให้คอนแทค K2 ทำงานต่อแบบสตาร์และรีเลย์ตั้งเวลา K4T ทำงานคอนแทคปิด ของ K2 ในแถวที่ 4 ตัดวงจร K3 และคอนแทคปกติปิดในแถวที่ 2 ต่อดึงให้เมนคอนแทค K1

2. หลังจากที่ K1 ทำงานและปล่อย S2 ไปแล้วหน้าสัมผัสปกติเปิด (N.O.) ของ K1 ในแถวที่ 3 ต่อดึงให้คอนแทคเตอร์ K2 และตัวตั้งเวลา K4T จะทำงานตลอดเวลาขณะที่มอเตอร์หมุนแบบสตาร์ (Star)

3. รีเลย์ตั้งเวลา K4T ทำงานหลังจากเวลาที่ตั้งไว้คอนแทคเตอร์ K2 จะถูกตัดออกจากวงจรด้วยหน้าสัมผัสปกติปิด (N.C.) ของ รีเลย์ตั้งเวลา K4T ในแถวที่ 1 และหน้าสัมผัสปกติปิด (N.C.) ของ K2 ในแถวที่ 4 กลับสู่สภาวะเดิมต่อดึงให้กันคอนแทคเตอร์ K3 ทำงาน และหน้าสัมผัสปกติปิด (N.C.) ของ K3 ในแถวที่ 1 จะตัดคอนแทคเตอร์ K2 และรีเลย์ตั้งเวลา K4T ออกจากวงจรจะคงเหลือคอนแทคเตอร์ K1 และ K3 ทำงานร่วมกันมอเตอร์หมุนแบบ เดลต้า (Delta)

4. เมื่อต้องการหยุดการทำงานของมอเตอร์ให้กดสวิทช์ S1 (Stop)



บทที่ 3

ออกแบบการทดลอง

3.1 การออกแบบการทดลอง

3.1.1 การออกแบบการทดลองการเดินเครื่องของพัดลม 1 เฟส

พัดลมที่ใช้ในการทดลองเป็นพัดลมตั้งพื้นขนาด 24 นิ้ว, 220 V ,50 Hz ,196 W โดยในการทดลองจะใช้ Variac 3 เฟส ในการปรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้ไฟฟ้าเพียง 1 เฟส จาก Variac ต่อเข้ากับพัดลมโดยใช้แม่เหล็กคั่นคอนแทกเตอร์ (Magnetic Contactor) และสวิตช์ปุ่มกด (Put Bottom Switch) เพื่อช่วยในการตัดต่อวงจร จากนั้นเริ่มต้นเดินเครื่อง แล้วสังเกตค่าพารามิเตอร์ต่างๆในแต่ละครั้งที่มีการปรับแรงดันไฟฟ้า โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ปรับแรงดันไฟฟ้าที่ Variac เพิ่มขึ้นจากแรงดันไฟฟ้าน้อยที่สุดที่พัดลมทำงานจนถึงแรงดันไฟฟ้า 240 V

1. ต่อกับวงจรเพื่อเดินเครื่องพัดลมโดยใช้ Variac เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสโดยใช้เพียง 1 เฟส และใช้แม่เหล็กคั่นคอนแทกเตอร์ และสวิตช์ปุ่มกด เพื่อช่วยในการตัดต่อวงจร

2. ใช้เครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer เพื่อใช้วัดค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงในการทดลอง

3. ใช้เครื่องวัดความเร็วลมโดยใช้หน่วยในการวัดเป็น ft/min (ฟุต/นาที)

4. ทำการเดินเครื่องพัดลมจากแรงดันไฟฟ้าน้อยที่สุดที่พัดลมทำงาน แล้วปรับเพิ่มแรงดันไฟฟ้าด้วย Variac ครั้งละ 10 V แล้วบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองลงในเครื่อง Power & Harmonics Analyzer แล้วอ่านค่าความเร็วลมและความเร็วรอบจากเครื่องวัดทั้ง 2 ชนิด แล้วบันทึกผลการทดลองที่ได้ แล้วปรับแรงดันไฟฟ้าลดลงจนถึงแรงดันไฟฟ้า 240 V

กรณีที่ 2 ปรับแรงดันไฟฟ้าที่ Variac ลดลงจาก 240 V จนถึงแรงดันไฟฟ้าที่พัดลมหยุดหมุน

1. ทดลองต่อจากขั้นตอนที่ 4 ของการปรับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากแรงดันไฟฟ้าน้อยที่สุดที่พัดลมทำงานแล้วเริ่มเดินเครื่องพัดลมจากแรงดันไฟฟ้า 240 V

2. ปรับแรงดันไฟฟ้าที่ Variac ลงครั้งละ 10 V แล้วบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองลงในเครื่อง Power & Harmonics Analyzer แล้วอ่านค่าความเร็วลมและความเร็วรอบจากเครื่องวัดทั้ง 2 ชนิดและบันทึกผลการทดลองที่ได้ เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าลงจนถึงแรงดันไฟฟ้าน้อยที่สุดที่พัดลมทำงาน

3.1.2 การออกแบบการทดลองการเดินเครื่องของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

การทดลองนี้ศึกษาการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำตั้งแต่สภาวะไร้โหลด (No Load) และขณะที่เพิ่มโหลดให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ-โดยการใช้ดีซีมอเตอร์ต่อเป็นโหลด โดยต่อดีซีมอเตอร์เข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำให้มีทิศทางหมุนตรงข้ามกัน แล้วปรับแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย (Line to Line) ด้วย Variac จาก 380 V ลดลงเรื่อยๆ ครั้งละ 10 V ที่ สภาวะไร้โหลด และที่โหลดต่างๆ แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงในขณะที่มีการปรับแรงดันไฟฟ้า ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีพิกัด 0.37 KW, Δ / Y 380/660V, 1.05/0.61A, 1400 U/min, 50Hz, $\cos\theta=0.72$ แล้วปรับแรงดันไฟฟ้าด้วย Variac 3 เฟส ลดลงจาก 380 V จนถึงแรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำหยุดทำงานในแต่ละสภาวะ โหลด เริ่มจากสภาวะไร้โหลด จนถึงสภาวะ โหลด 30%

ขั้นตอนตอนการทดลอง

1. ต้องจอร์เพื่อเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยใช้ Variac เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส และใช้แมคเนติกคอนแทกเตอร์ และสวิตช์ปุ่ม เพื่อช่วยในการตัดต่อจอร์
2. ทำการติดตั้งเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer เพื่อใช้วัดค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงในขณะทดลอง
3. ใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) วัดความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยมีหน่วยในการวัดเป็น rpm. (รอบ/นาที)
4. ทำการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แรงดันไฟฟ้า 380 V แล้วปรับแรงดันไฟฟ้าด้วย Variac ลดลงครั้งละ 10 V ที่สภาวะไร้โหลด, ที่สภาวะโหลด 10%, 20%, 30% แล้วบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เมื่อปรับแรงดันไฟฟาลดลงจนถึงแรงดันไฟฟ้าที่มอเตอร์ไม่สามารถจุดโหลดได้แล้ว จึงหยุดการทดลอง

วิธีการคำนวณปริมาณโหลดที่ใช้ในการทดลองโดยคิดจากค่ากำลังไฟฟ้าในการทดลอง

1. ที่สภาวะไร้โหลด (โหลด 0%) คือการเดินเครื่อง โดยที่ไม่มีการต่อโหลดเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดลองแล้วทำการปรับแรงดันไฟฟ้าไฟฟาลงครั้งละ 10 V
2. ที่สภาวะโหลด 10% มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 0.06 KW และกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีพิกัดเท่ากับ 0.37 KW

2.1 วิธีการคำนวณโหลด 10%

เริ่มจากการหาช่วงระหว่างสภาวะไร้โหลด (No Load) กับสภาวะพิกัดโหลด (Full Load) ได้ดังนี้

$$0.37 - 0.06 = 0.310 \text{ KW}$$

หาปริมาณกำลังไฟฟ้าต่อ 1% ได้ ดังนี้

$$0.310 \text{ KW} \div 100 = 0.00310 \text{ KW}$$

หาปริมาณกำลังไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 10% ได้ ดังนี้

$$0.00310 \times 10 = 0.031 \text{ KW}$$

ผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะไว้โหลด กับกำลังไฟฟ้าที่สภาวะ โหลด 10 % ได้ดังนี้

$$0.060 + 0.031 = 0.091 \text{ KW}$$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่สภาวะ โหลด 10 % มีค่า 0.091 KW

U1 381.0 V	U11 223.1 V	I11 0.657 A	U12 380.6 V	U11 223.1 V	I11 0.672 A
U2 379.3 V	U21 214.3 V	I21 0.630 A	U22 390.0 V	U21 214.7 V	I21 0.630 A
U3 379.2 V	U31 220.7 V	I31 0.612 A	U31 379.6 V	U31 220.7 V	I31 0.613 A
P1 0.019KW	S1 0.146KVA	Q1 -0.144KVAR	P1 0.030KW	S1 0.149KVA	Q1 -0.145KVAR
P2 0.019KW	S2 0.135KVA	Q2 -0.133KVAR	P2 0.027KW	S2 0.135KVA	Q2 -0.132KVAR
P3 0.022KW	S3 0.135KVA	Q3 -0.133KVAR	P3 0.034KW	S3 0.135KVA	Q3 -0.130KVAR
PΣ 0.060KW	SΣ 0.414KVA	QΣ -0.410KVAR	PΣ 0.091KW	SΣ 0.417KVA	QΣ -0.407KVAR
PFΣ: 0.14 PF1: 0.13 PF2: 0.14 PF3: 0.16			PFΣ: 0.21 PF1: 0.20 PF2: 0.20 PF3: 0.25		
PFH: 0.24 φ1:- 82.4° φ2:- 82.1° φ3:- 80.6°			PFH: 0.23 φ1:- 77.3° φ2:- 78.1° φ3:- 73.3°		
WH:0.027KWH SH:0.114KVAH QH:0.110KVARH			WH:0.029KWH SH:0.123KVAH QH:0.119KVARH		
HZ: 50.0 □ MD:0.337KVA MD:0.080KW -10			HZ: 50.0 □ MD:0.337KVA MD:0.080KW -10		
3φ4W SEC: 0 CT: 1 UT: 1 RE: 35			3φ4W SEC: 0 CT: 1 UT: 1 RE: 36		

(ก)

(ข)

รูปที่ 3.1 ค่ากำลังไฟฟ้าที่สภาวะไว้โหลด (ก) และ ที่สภาวะ โหลด 10% (ข)

3. ที่สภาวะ โหลด 20% เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่สภาวะไว้โหลดประมาณ 0.06 KW และ กำลังฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีพิกัดเท่ากับ 0.37 KW

3.1 วิธีการคำนวณที่สภาวะโหลด 20%

เริ่มจากการหาช่วงระหว่างสภาวะไว้โหลด กับสภาวะพิกัดโหลด ได้ดังนี้

$$0.37 - 0.06 = 0.310 \text{ KW}$$

หาปริมาณกำลังไฟฟ้าต่อ 1% ได้ดังนี้

$$0.310 \text{ KW} \div 100 = 0.00310 \text{ KW}$$

หาปริมาณกำลังไฟฟ้าที่สถานะโหลด 20% ได้ดังนี้

$$0.00310 \times 20 = 0.062 \text{ KW}$$

ผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่สถานะไว้โหลดกับกำลังไฟฟ้าที่สถานะโหลด 20% ได้ดังนี้

$$0.060 + 0.062 = 0.122 \text{ KW}$$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่สถานะ โหลด 20% มีค่า 0.122 KW

U1B 381.0 V	U1B 223.1 V	I1B 0.657 A	U1B 377.9 V	U1B 221.2 V	I1B 0.654 A
U2B 379.3 V	U2B 214.3 V	I2B 0.639 A	U2B 378.8 V	U2B 214.1 V	I2B 0.619 A
U3B 379.2 V	U3B 220.7 V	I3B 0.612 A	U3B 377.8 V	U3B 219.9 V	I3B 0.627 A
P1B 0.019KW	S1B 0.146KVA	Q1B -0.144KVAR	P1B 0.041KW	S1B 0.144KVA	Q1B -0.138KVAR
P2B 0.019KW	S2B 0.135KVA	Q2B -0.133KVAR	P2B 0.038KW	S2B 0.132KVA	Q2B -0.126KVAR
P3B 0.022KW	S3B 0.135KVA	Q3B -0.133KVAR	P3B 0.043KW	S3B 0.137KVA	Q3B -0.130KVAR
P2B 0.060KW	S2B 0.414KVA	Q2B -0.410KVAR	P2B 0.122KW	S2B 0.412KVA	Q2B -0.394KVAR
PF2: 0.14 PF1: 0.13 PF2: 0.14 PF3: 0.16			PF2: 0.29 PF1: 0.28 PF2: 0.28 PF3: 0.31		
PFH: 0.24 ϕ 1:- 82.4° ϕ 2:- 82.1° ϕ 3:- 80.6°			PFH: 0.17 ϕ 1:- 72.3° ϕ 2:- 71.6° ϕ 3:- 73.2°		
WH: 0.027KWH SH: 0.114KVAH QH: 0.110KVARH			WH: 0.009KWH SH: 0.053KVAH QH: 0.052KVARH		
HZ: 50.0 SEC: 0 CT: 1 UT: 1 RE: 35			HZ: 50.0 SEC: 0 CT: 1 UT: 1 RE: 2		

(ก)

(ข)

รูปที่ 3.2 ค่ากำลังไฟฟ้าที่สถานะไว้โหลด (ก) และ ที่สถานะโหลด 20% (ข)

4. ที่สถานะ โหลด 30% เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ใช้ที่สถานะไว้โหลดประมาณ 0.06 KW และกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีพิกัดเท่ากับ 0.37 KW

4.1 วิธีการคำนวณโหลด 30%

เริ่มจากการหาช่วงระหว่างสถานะไว้โหลด กับสถานะพิกัดโหลดได้ ดังนี้

$$0.37 - 0.06 = 0.310 \text{ KW}$$

หาปริมาณกำลังไฟฟ้าต่อ 1% ได้ดังนี้

$$0.310 \text{ KW} \div 100 = 0.00310 \text{ KW}$$

หาปริมาณกำลังไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 30% ได้ดังนี้

$$0.00310 \times 30 = 0.093 \text{ KW}$$

ผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่สภาวะไร้โหลด กับกำลังไฟฟ้าที่สภาวะ โหลด 30% ได้ดังนี้

$$0.060 + 0.093 = 0.153 \text{ KW}$$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 20% มีค่า 0.153 KW

U1: 381.0 V	U1B: 223.1 V	I1: 0.657 A	U12: 377.9 V	U1B: 222.3 V	I1: 0.679 A
U2: 379.3 V	U2B: 214.3 V	I2: 0.630 A	U23: 379.8 V	U2B: 213.6 V	I2: 0.647 A
U3: 379.2 V	U3B: 220.7 V	I3: 0.612 A	U31: 378.9 V	U3B: 220.5 V	I3: 0.648 A
P1: 0.019KW	S1: 0.146KVA	Q1: -0.144KVAR	P1: 0.050KW	S1: 0.150KVA	Q1: -0.141KVAR
P2: 0.019KW	S2: 0.135KVA	Q2: -0.133KVAR	P2: 0.049KW	S2: 0.138KVA	Q2: -0.129KVAR
P3: 0.022KW	S3: 0.135KVA	Q3: -0.133KVAR	P3: 0.054KW	S3: 0.142KVA	Q3: -0.131KVAR
PΣ: 0.060KW	SΣ: 0.414KVA	QΣ: -0.410KVAR	PΣ: 0.153KW	SΣ: 0.429KVA	QΣ: -0.401KVAR
PFΣ: 0.14	PF1: 0.13	PF2: 0.14	PFΣ: 0.35	PF1: 0.33	PF2: 0.35
PFH: 0.24	φ1: - 82.4°	φ2: - 82.1°	PFH: 0.18	φ1: - 67.8°	φ2: - 65.2°
WH: 0.027KWH	SH: 0.114KVAH	QH: 0.110KVARH	WH: 0.002KWH	SH: 0.011KVAH	QH: 0.011KVARH
HZ: 50.0	MD: 0.337KVA	MD: 0.080KW -10	HZ: 50.0	MD: VA	MD: M -10
3φ4W	SEC: 0	CT: 1	3φ4W	SEC: 0	CT: 1

(ก)

(ข)

รูปที่ 3.3 ค่ากำลังไฟฟ้าที่สภาวะไร้โหลด (ก) และ ที่สภาวะ โหลด 30% (ข)

3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.2.1 ขั้นตอนและวิธีการทดลองการเดินเครื่องของพัดลม 1 เฟส แบ่งเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ทดลองเดินเครื่องพัดลมที่แรงดันไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่พัดลมทำงานจนถึงแรงดันไฟฟ้า 240 V

1. ต่อวงจรเพื่อเดินเครื่องพัดลมโดยใช้ Variac เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส โดยใช้เพียง 1 เฟส และใช้แมกเนติกคอนแทกเตอร์ และสวิตช์ปุ่มกด เพื่อช่วยในการตัดต่อวงจร

2. ติดตั้งเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer เพื่อใช้วัดค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงในการทดลอง

3. เดินเครื่องพัลลัมแรงดันไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่พัลลัมเริ่มทำงาน แล้วทำการบันทึกผลการทดลองลงในเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer

4. ใช้เครื่องวัดความเร็วลมและความเร็วรอบโดยวัดค่าความเร็วลมใช้หน่วยในการวัดเป็น ฟุต/นาที

5. บันทึกผลการทดลองลงในเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer ในทุกๆการปรับแรงดันไฟฟ้าลงครั้งละ 10 V แล้ววัดความเร็วลมและความเร็วรอบควบคู่กันไปด้วยแล้วบันทึกผลการทดลองในหลายๆการปรับลดแรงดันไฟฟ้าไฟฟ้าลง 10 V ด้วยเช่นกัน

6. เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าลงจนถึง 240 V แล้วกดปุ่มหยุดการทำงาน

กรณีที่ 2 ทดลองเดินเครื่องพัลลัมที่ 240 V แล้วทำการปรับลดแรงดันไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่พัลลัมเริ่มทำงาน

1. หลังจากทดลองเดินเครื่องพัลลัมที่แรงดันไฟฟ้าที่น้อยที่สุดที่พัลลัมเริ่มทำงานจนถึงแรงดันไฟฟ้า 240 V แล้วเริ่มทดลองปรับลดแรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 240 V แล้วบันทึกผลการทดลองลงในเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer

2. ทดลองเหมือนกรณีที่ 1 ในขั้นตอนที่ 4 ถึงขั้นตอนที่ 6 ทดลองซ้ำอีก 2 ครั้งในการทดลองเดินเครื่องพัลลัมทั้ง 2 กรณี

3.2.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลองการเดินเครื่องของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส

การทดลองเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสขณะไร้อโหลด

1. ศึกษาข้อมูลการต่อวงจร การเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ดีไซน์มอเตอร์ แมคเนติกคอนแทกเตอร์ และ สวิตช์ปุ่มกด และการใช้เครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer แล้วรวบรวมข้อมูลที่ได้มาใช้ในการทดลอง

2. ต่อวงจรมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยต่อไฟจากแหล่งจ่ายไฟเข้ามายัง Variac แล้วต่อเข้ากับแมคเนติกคอนแทกเตอร์ และสวิตช์ปุ่มกดและต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเดลต้า (Δ) เพราะทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถขับ โหลดได้มากขึ้นแล้วนำเครื่องวัด มาต่อเพื่อทำการวัดพารามิเตอร์ต่างๆที่เปลี่ยนไปในการปรับลดแรงดันไฟฟ้า

3. เริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเท่ากับ 380 V แล้วปรับลดแรงดันไฟฟ้าด้วย Variac ลงครั้งละ 10 V แล้วบันทึกค่าลงในเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer ในทุกๆการปรับแรงดันไฟฟ้าลงครั้งละ 10 V จนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำไม่สามารถ โหลดได้

4. ใช้เครื่องวัดความเร็วรอบวัดความเร็วรอบทุกๆการปรับแรงดันไฟฟ้าลงครั้งละ 10 แล้วบันทึกผลการทดลอง

5. ทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

การทดลองเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสที่สภาวะโหลด 10%

1. ศึกษาข้อมูล การต่อวงจร การเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ดิจิตอลมอเตอร์แมคเนติกคอนแทกเตอร์ และ สวิตช์ปุ่มกด และการใช้เครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer แล้วรวบรวมข้อมูลที่ได้มาใช้ในการทดลอง

2. ต่อวงจรมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยต่อไฟจากแหล่งจ่ายไฟเข้ามายัง Variac แล้วต่อเข้ากับแมคเนติกคอนแทกเตอร์ และสวิตช์ปุ่มกด และต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบเดลต้าเพราะทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถขับโหลดได้มากขึ้น แล้วนำเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer มาต่อเพื่อทำการวัดพารามิเตอร์ต่างๆที่เปลี่ยนไปในการปรับลดแรงดันไฟฟ้า

3. ต่อดิจิตอลมอเตอร์กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยการต่อให้มีการผูกโหลดโดยตรง

4. เริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเท่ากับ 380 V แล้วปรับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายดิจิปรับค่าได้ ให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่คำนวณไว้ที่สภาวะโหลด 10% คือประมาณ 0.091 KW เมื่อปรับจนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับค่าที่คำนวณไว้แล้ว ก็ทำการบันทึกผลการทดลองลงในเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer

5. ปรับลดแรงดันไฟฟ้าที่ Variac ลงครั้งละ 10 V แล้วบันทึกค่าลงในเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer ในทุกๆการปรับแรงดันไฟฟ้าลงครั้งละ 10 V

6. ใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ วัดความเร็วรอบทุกๆการปรับแรงดันไฟฟ้าลงครั้งละ 10 V แล้วบันทึกผลการทดลอง

7. เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าที่ Variac ลงจนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำไม่สามารถผูกโหลดได้

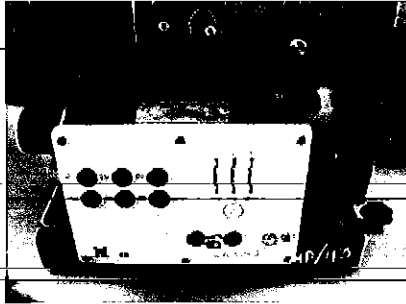
8. ทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง

การทดลองเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสที่สภาวะโหลด 20% และ 30%

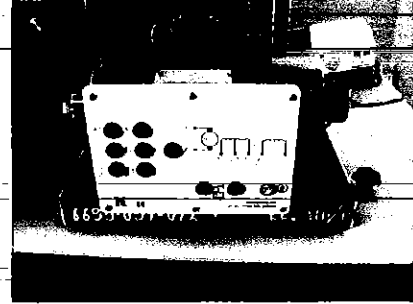
1. ทดลองเหมือนการทดลองสภาวะโหลด 10% ทุกขั้นตอนต่างกันแค่เพียงในขั้นตอนที่ 4 คือปรับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายดิจิปรับค่าได้ ให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำใช้กำลังไฟฟ้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่คำนวณไว้ที่สภาวะโหลด 20% คือประมาณ 0.122 KW และ 30% คือ 0.153 KW

2. ทดลองซ้ำอีก-2 ครั้ง

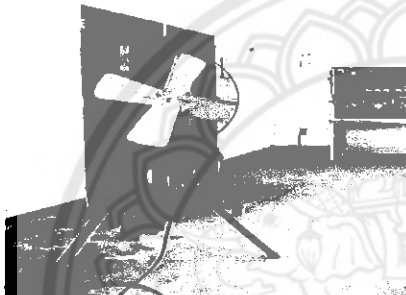
3.3 รูปอุปกรณ์ในการทดลอง



รูปที่ 3.4 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ



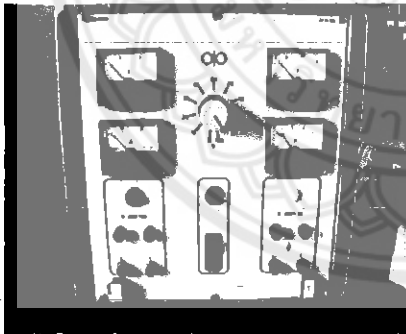
รูปที่ 3.5 คีชีมอเตอร์



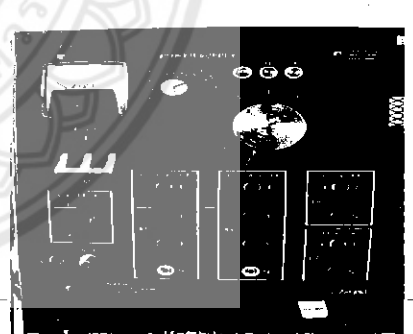
รูปที่ 3.6 พัดลม



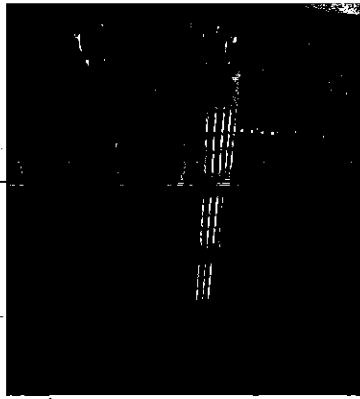
รูปที่ 3.7 เครื่องวัดความเร็วรอบ



รูปที่ 3.8 AC Supply 24 V



รูปที่ 3.9 Power Supply



รูปที่ 3.10 Variac 3 Phase



รูปที่ 3.11 Power & Harmonics Analyzer



รูปที่ 3.12 แมกเนติกคอนแทกเตอร์



รูปที่ 3.13 สวิตช์ปุ่มกดสี่ขั้ววปกติปิด



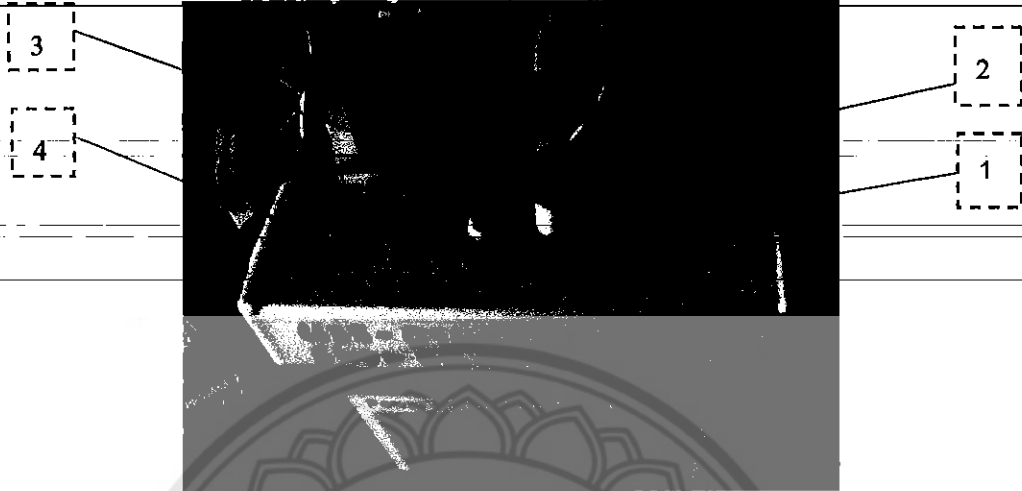
รูปที่ 3.14 สวิตช์ปุ่มกดสี่ขั้ววปกติปิด



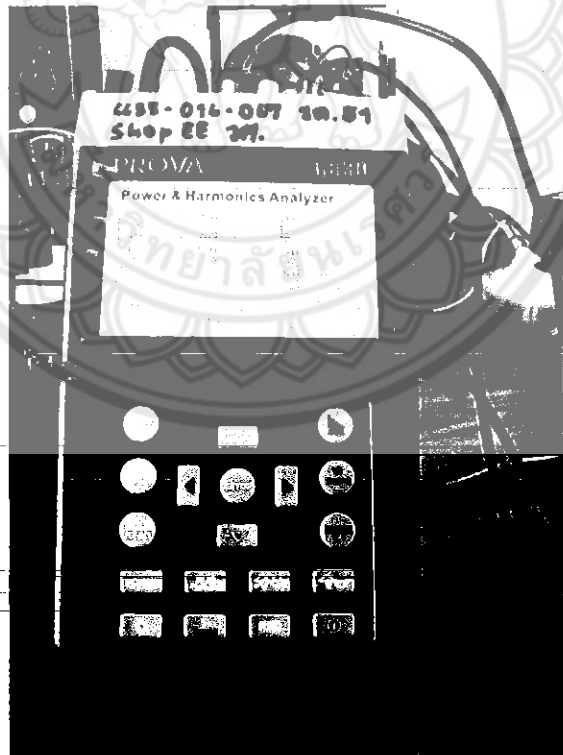
รูปที่ 3.15 แคลมปีมิเตอร์

3.4 วิธีการใช้งานเครื่องวัด Power & Harmonics Analyzer

1. รายละเอียดเกี่ยวกับตัวเครื่อง Power & Harmonics Analyzer



รูปที่ 3.16 การต่อสายวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าและแหล่งจ่ายภายนอก








รูปที่ 3.17 เครื่อง Power & Harmonics Analyzer

จากรูปที่ 3.16 อธิบายรายละเอียดตัวเครื่อง Power & Harmonics Analyzer ได้ดังนี้

1. ช่องต่อสายเคเบิลวัดกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส จากรูปที่ 3.16
2. ช่องต่อสายวัดแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส
3. ช่องต่อสายวัดนิวทรอล
4. ช่องต่อสายแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกให้กับเครื่องวัด

วิธีการใช้งานของตัวเครื่องจากรูปที่ 3.17

1. กดปุ่ม  เพื่อเปิดเครื่องวัด
2. กดปุ่ม  เลือกลำดับเฟสเมื่อต้องการปรับการวัดในรูปแบบเฟสต่างๆคือในการทดลองเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำใช้ 3 เฟส 4 สายและเดินเครื่องพัดลมใช้ 1 เฟส 2 สาย
3. กดปุ่ม  เพื่อให้อยู่ในรูปแบบการวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า
4. กดปุ่ม  เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าลงจนได้ค่าที่ต้องบันทึกแล้ว เพื่อกำหนดจ็อยซ์ขณะวัดค่า
5. กดปุ่ม  เพื่อบันทึกค่าที่วัดได้ไว้ในหน่วยความจำของเครื่องวัด

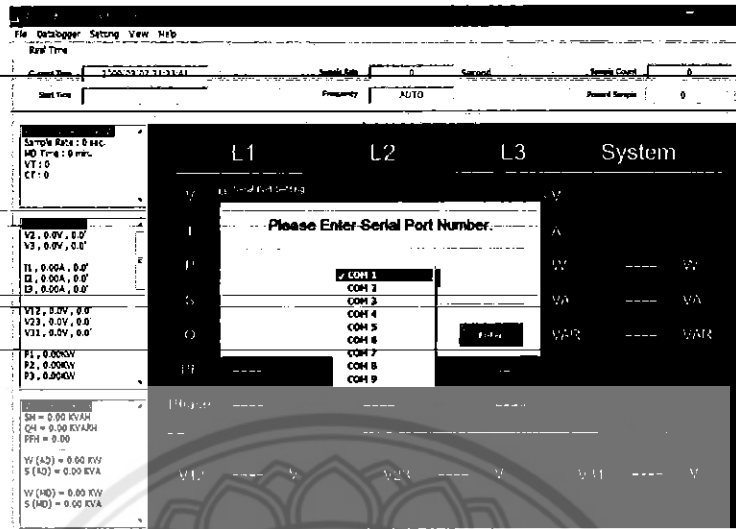
วิธีการโหลดค่าจากเครื่อง Power & Harmonics Analyzer

1. เปิดโปรแกรม Power & Harmonics Analyzer



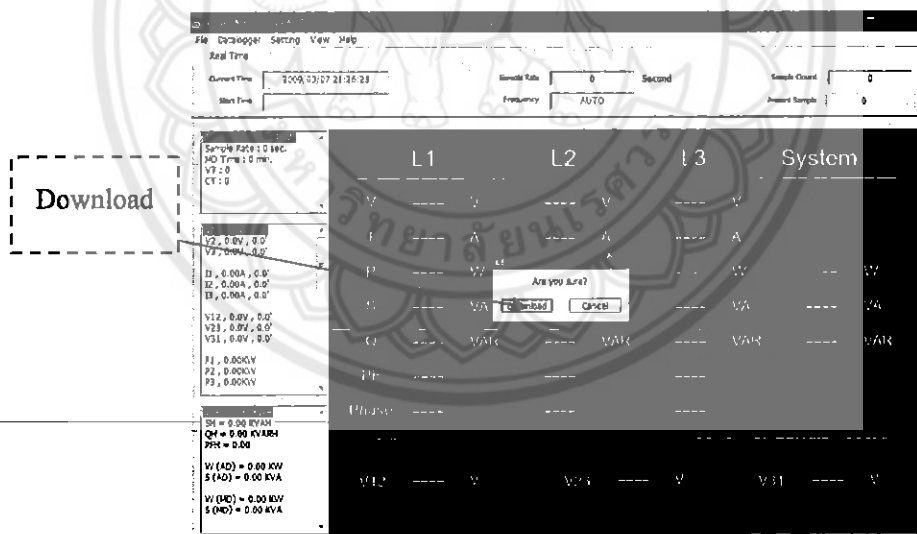
รูปที่ 3.18 การเปิดโปรแกรมเพื่อโหลดค่าจากเครื่อง Power & Harmonics Analyzer

2. เลือก Serial Port



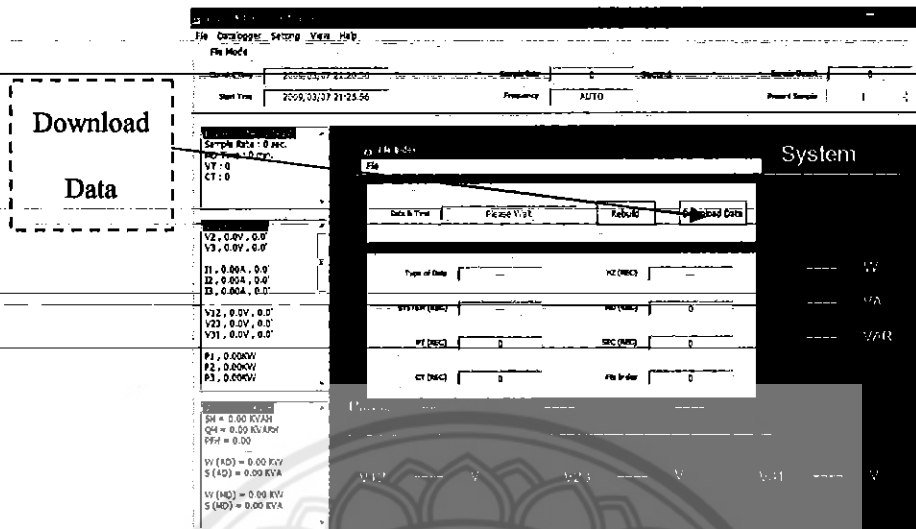
รูปที่ 3.19 การเลือก Serial Port

3. จากนั้นกด Ctrl + D เพื่อโหลดค่า แล้วกด Download



รูปที่ 3.20 การโหลดค่าจากโปรแกรม Power & Harmonics Analyzer

4. จากนั้นกด Download Data



รูปที่ 3.21 การโหลดค่าจากโปรแกรม Power & Harmonics Analyzer

5. ค่าที่ได้จากการโหลด

L1		System
V	239.6 V	
I	0.864 A	
P	0.163 KW	0.163 KW
S	0.207 KVA	0.207 KVA
Q	-0.127 KVAR	-0.127 KVAR
PF	0.78	
Phase	-21.9°	

รูปที่ 3.22 ค่าที่โหลดได้จากเครื่อง Power & Harmonics Analyzer

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทำโครงการนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

4.1 การทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อหาจรรยาบรรณ

4.1.1 วัดค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง $R_{(stator)}$

4.1.2 การทดสอบมอเตอร์แบบ No Load Test

4.1.3 การทดสอบมอเตอร์แบบ Lock Rotor Test

4.2 ผลที่ได้จากการทดลองปรับแรงดันไฟฟ้าของพัดลม

4.3 ผลที่ได้จากการทดลองลดแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลดต่างๆ

4.3.1 ผลจากการปรับลดแรงดันไฟฟ้าลงที่สภาวะโหลด 0%

4.3.2 ผลจากการปรับลดแรงดันไฟฟ้าลงที่สภาวะโหลด 10%

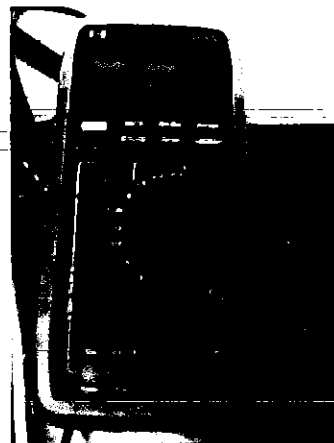
4.3.3 ผลจากการปรับลดแรงดันไฟฟ้าลงที่สภาวะโหลด 20%

4.3.4 ผลจากการปรับลดแรงดันไฟฟ้าลงที่สภาวะโหลด 30%

4.1 การทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อหาจรรยาบรรณ

ในการหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ส่วนต่างๆของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (Squirrel Cage) นั้นต้องทราบค่าของพารามิเตอร์ภายในของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพื่อนำมาหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย กำลังไฟฟ้าขาออก (P_{out}) และค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (η)

4.1.1 ทดสอบหาค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Test) มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยต่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ Y เพื่อหาค่า $R_{(stator)}$



รูปที่ 4.1 ค่า $R_{(stator)}$ ที่วัดได้

4.1.2 การทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะไม่มีโหลด (No Load Test)

U1 380.1 V	U2 220.2 V	I1 0.228 A
U2 380.6 V	U2 218.5 V	I2 0.209 A
U3 383.0 V	U3 221.7 V	I3 0.202 A
P1 0.005KW	S1 0.050KVA	Q1 -0.049KVAR
P2 0.007KW	S2 0.045KVA	Q2 -0.044KVAR
P3 0.008KW	S3 0.044KVA	Q3 -0.043KVAR
PΣ 0.020KW	SΣ 0.137KVA	QΣ -0.136KVAR
PFΣ: 0.14 PF1: 0.10 PF2: 0.15 PF3: 0.18		
PFH: 0.11 φ1: - 89.0° φ2: - 88.0° φ3: - 82.2°		
WH: 0.000KWH SH: 0.008KVAH QH: 0.007KVARH		
H2: 50.0 □ MD: VA MD: W -60		
3φ4W SEC: 0 CT: 1 UT: 1 REC 6		

รูปที่ 4.2 ค่าที่วัดได้จากการทดสอบขณะไม่มีโหลด

ตารางที่ 4.1 ผลของการทดสอบขณะไม่มีโหลด

No Load Test					
V	I1(A)	I2(A)	I3(A)	Psys(W)	Iavg
380	0.228	0.209	0.202	20	0.213

4.1.3 การทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะยึดโรเตอร์ (Lock Rotor Test)

U1 184.3 V	U2 105.9 V	I1 0.613 A
U2 185.4 V	U2 106.6 V	I2 0.621 A
U3 184.9 V	U3 107.8 V	I3 0.600 A
P1 0.040KW	S1 0.064KVA	Q1 -0.049KVAR
P2 0.043KW	S2 0.066KVA	Q2 -0.050KVAR
P3 0.041KW	S3 0.064KVA	Q3 -0.049KVAR
PΣ 0.124KW	SΣ 0.193KVA	QΣ -0.148KVAR
PFΣ: 0.64 PF1: 0.62 PF2: 0.65 PF3: 0.64		
PFH: 0.64 φ1: - 52.3° φ2: - 51.3° φ3: - 52.5°		
WH: 0.000KWH SH: 0.001KVAH QH: 0.000KVARH		
H2: 50.0 □ MD: VA MD: W -60		
3φ4W SEC: 0 CT: 1 UT: 1 REC 7		

รูปที่ 4.3 ค่าที่วัดได้จากการทดสอบขณะยึดโรเตอร์

ตารางที่ 4.2 ผลของการทดสอบขณะยึดโรเตอร์

Lock Rotor Test					
Vavg	I1(A)	I2(A)	I3(A)	Psys(W)	Iavg
184.867	0.613	0.621	0.6	124	0.611

4.1.4 นำค่าที่ได้จากการทดลองมาคำนวณหาวงจรมวลมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

จากการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ต่อแบบ Y

วัดค่า R_T ได้ $R_T = 108.2 \Omega$

เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อแบบ Y การหาค่า $R_{(stator)}$ ต่อเฟสจึงต้องนำค่าที่ได้จากการวัดได้มาหารด้วยสอง

$$R_{(stator)} \text{ ต่อเฟส} = \text{ค่าที่วัดได้} / 2$$

$$R_{(stator)} \text{ ต่อเฟส} = \frac{108.2}{2}$$

$$R_{(stator)} \text{ ต่อเฟส} = 54.1 \Omega / \text{Phase}$$

จากการทดสอบขณะไม่มีโหลด

$$V_{\phi, nl} = \frac{V_T}{\sqrt{3}} \text{ V}$$

$$V_{\phi, nl} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ V}$$

$$|Z_{nl}| = \frac{V_{\phi, nl}}{I_{nl}} \Omega$$

$$|Z_{nl}| = \frac{220}{0.213} = 1032.863 \Omega = X_1 + X_m$$

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_1$$

$$P_{SCL} = 3 \times (0.213)^2 \times 54.1 = 7.363 \text{ W}$$

$$P_{rot} = P_{core} + P_{F \& W} + P_{misc}$$

$$P_{rot} = P_{m, nl} - P_{SCL, nl}$$

$$P_{rot} = 20 - 7.363 = 12.636 \text{ W}$$

จากการทดสอบขณะยึดโรเตอร์

$$|Z_{LR}| = \frac{V_{\phi}}{I_A} = \frac{V_T}{\sqrt{3} \times I_A} \Omega$$

$$|Z_{LR}| = \frac{184.867}{\sqrt{3} \times 0.611} = 174.685 \Omega$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{P_m}{\sqrt{3} \times V_T \times I_L}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{124}{\sqrt{3} \times 184.867 \times 0.611} = \cos^{-1} 0.634$$

$$\theta = 50.654^\circ$$

$$R_{LR} = |Z_{LR}| \cos \theta$$

$$R_{LR} = 174.685 \cos 50.654^\circ$$

$$R_{LR} = 117.091 \Omega = R_1 + R_2$$

$$R_1 = 54.1 \Omega$$

$$R_2 = 117.091 - R_1$$

$$R_2 = 117.091 - 54.1 = 62.991 \Omega$$

$$X_{LR} = |Z_{LR}| \sin \theta$$

$$X_{LR} = 174.685 \sin 50.654^\circ = 135.089 \Omega$$

มอเตอร์ Class C

$$X_1 = 0.3X_{LR}$$

$$X_2 = 0.7X_{LR}$$

$$X_1 = 0.3 \times 135.089 \Omega$$

$$X_2 = 0.7 \times 135.089 \Omega$$

$$X_1 = 40.5267 \Omega$$

$$X_2 = 94.5623 \Omega$$

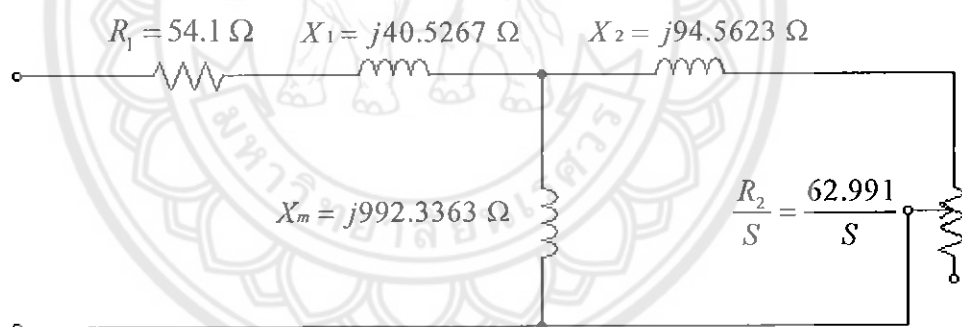
จะได้

$$X_m = |Z_m| - X_1$$

$$X_m = 1032.863 - 40.5267$$

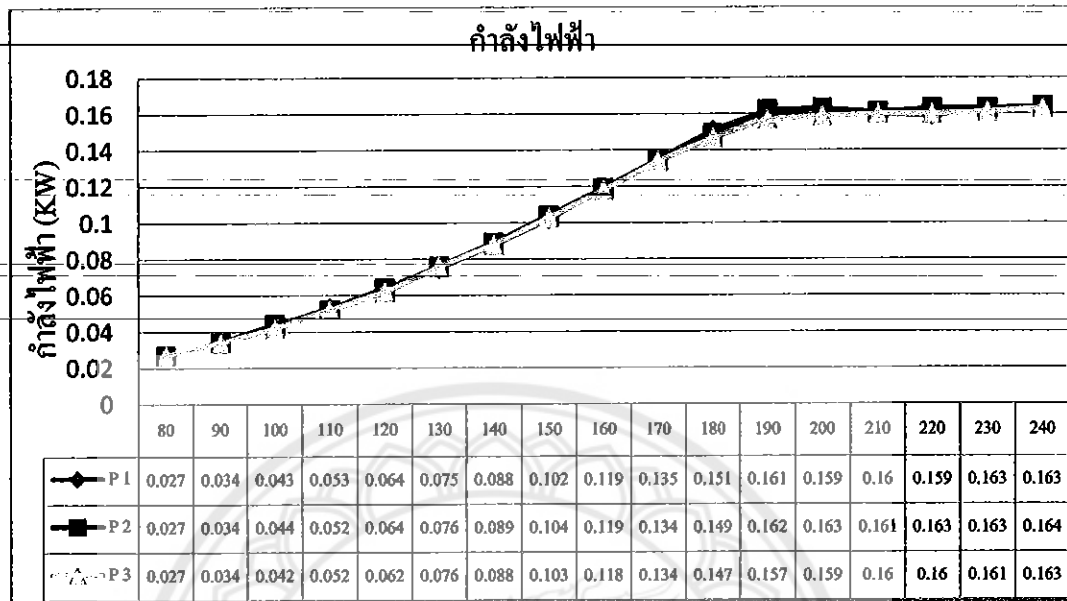
$$X_m = 992.3363 \Omega$$

จะได้วงจรสมมูลดังรูป

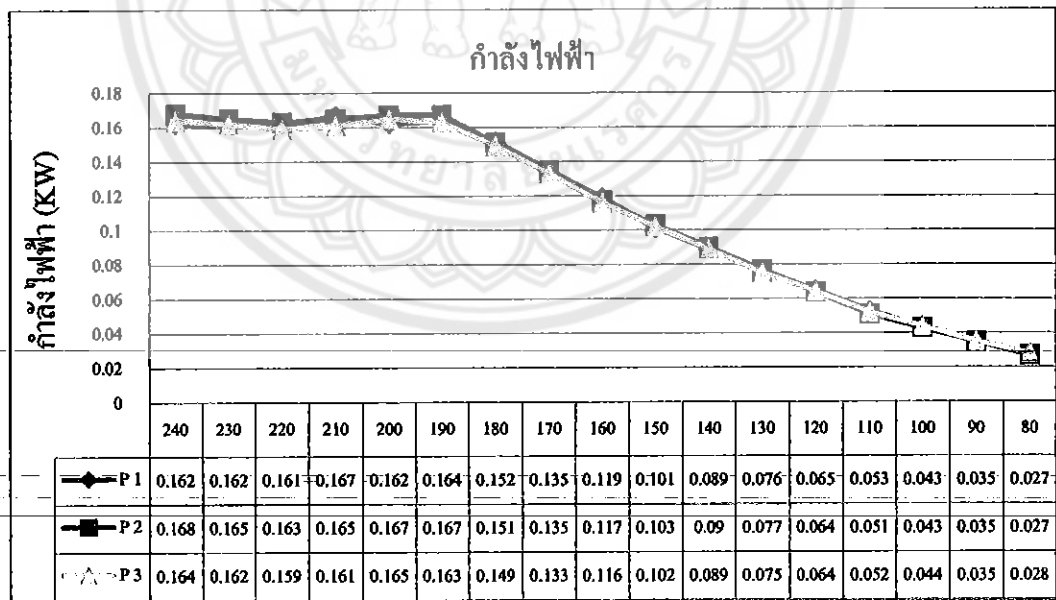


รูปที่ 4.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

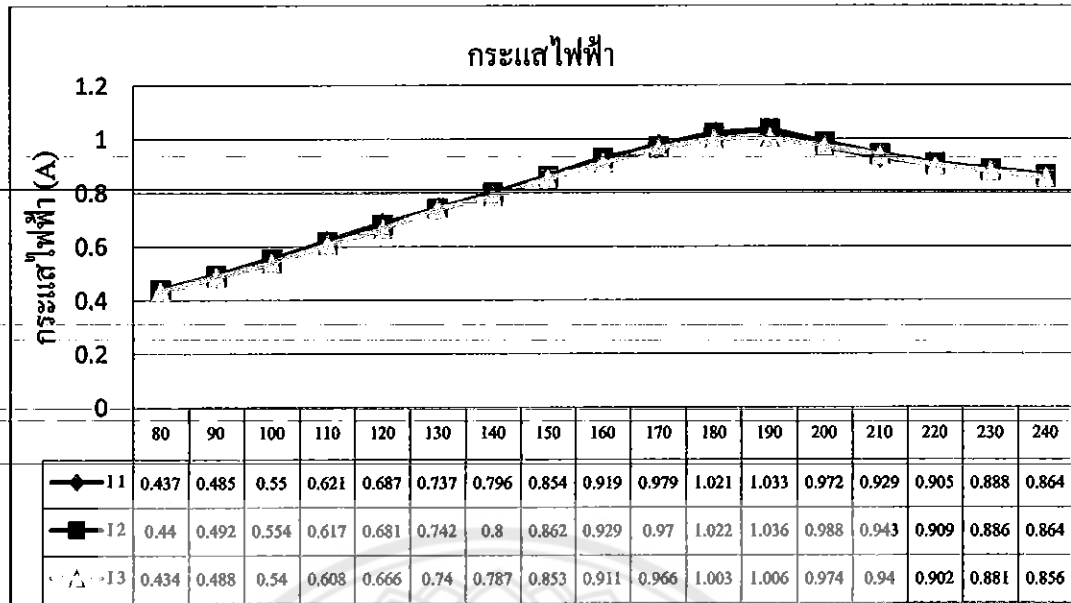
4.2 ผลที่ได้จากการทดลองปรับแรงดันไฟฟ้าของพัดลม



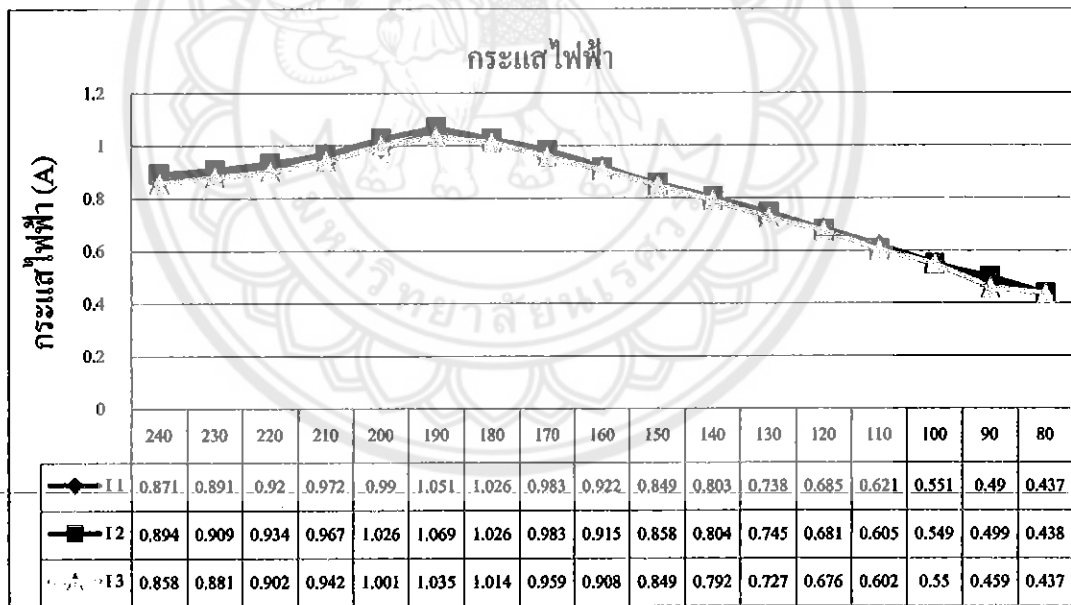
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการปรับแรงดันไฟฟ้าขึ้นรวมทั้ง 3 ครั้ง



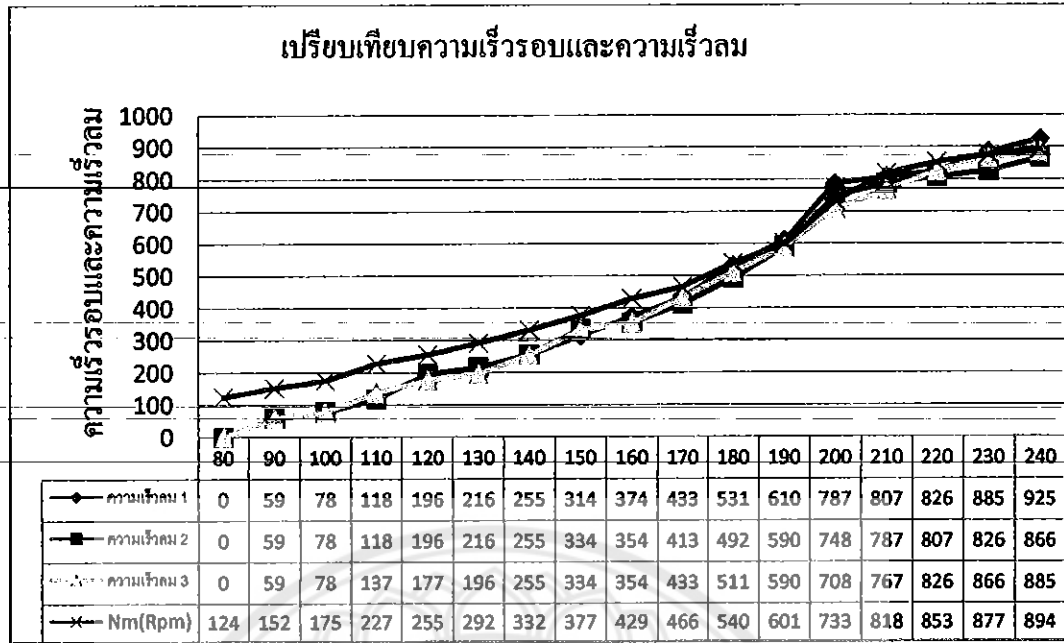
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการปรับลดแรงดันไฟฟ้าลงรวมทั้ง 3 ครั้ง



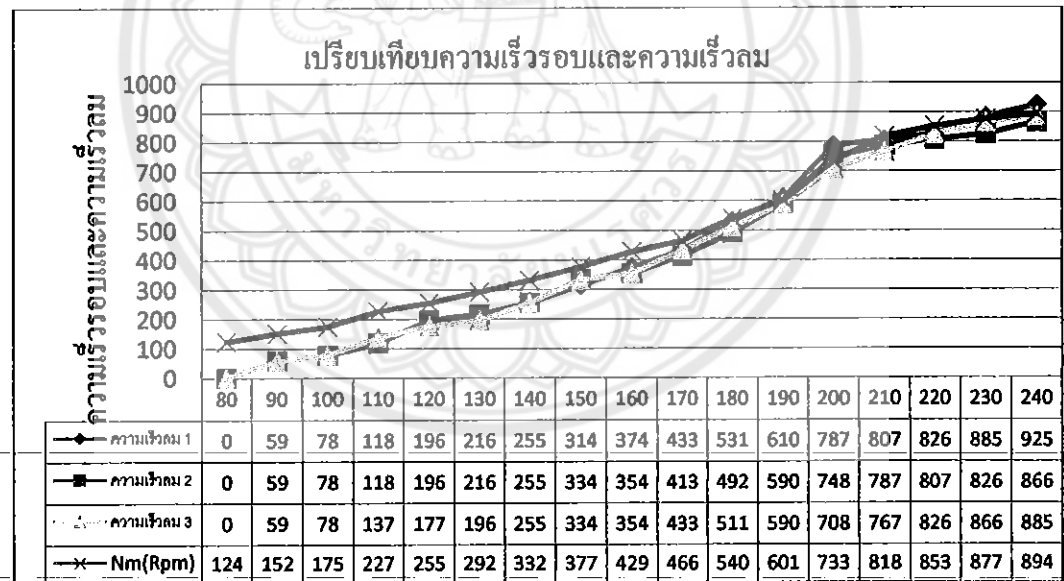
รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการปรับแรงดันไฟฟ้าขึ้นรวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการปรับลดแรงดันไฟฟ้าลงรวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบความเร็วรอบและความเร็วลมจากการปรับแรงดันไฟฟ้าขึ้นรวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบความเร็วรอบและความเร็วลมจากการปรับแรงดันไฟฟ้าลงรวมทั้ง 3 ครั้ง

จากการทดลองทดสอบมอเตอร์พัฒนาแบ่งเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 ปรับแรงดันไฟฟ้าจาก 80 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่พัฒนาเริ่มทำงานแล้วปรับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึง 240 โวลต์

สังเกตจากรูปที่ 4.5 จะพบว่ากำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตั้งแต่ระดับแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้นคือ 80 โวลต์ และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงระดับแรงดันไฟฟ้า 190 โวลต์ กำลังไฟฟ้าก็จะเริ่มคงที่และในขณะเดียวกันกระแสไฟฟ้าที่แสดงในรูปที่ 4.7 จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีการปรับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและมากที่สุดที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 190 โวลต์ แล้วเริ่มลดลงจนถึงระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดคือ 240 โวลต์ แต่เมื่อมีการปรับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกกระแสไฟฟ้าจะเริ่มลดลง แต่ความเร็วรอบและความเร็วรอบของพัฒนาในรูปที่ 4.9 จะเพิ่มขึ้นในทุกๆระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ปรับเพิ่มขึ้น อธิบายได้จากสมการ

$$P = VI \cos \theta$$

จากสมการเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขึ้นก่อนถึงระดับแรงดันไฟฟ้า 190 โวลต์ กำลังไฟฟ้าที่ได้ยังไม่ถึงพิกัดกำลังไฟฟ้าของพัฒนา กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจึงเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ระดับพิกัดของพัฒนาคือที่ 190 โวลต์ กำลังไฟฟ้าจะเริ่มคงที่ ดังนั้นเมื่อมีการปรับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกในขณะที่พัฒนาต้องการกำลังไฟฟ้าคงที่ กระแสไฟฟ้าที่พัฒนาต้องการใช้จึงลดลง ในส่วนของค่า $\cos \theta$ หรือค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ จากการทดลองพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมากจึงไม่มีผลกับค่าของกำลังไฟฟ้ามานัก

จากการทดลองใน กรณีที่ 1 พบว่าถ้าต้องการลดการใช้พลังงานฟาลง เมื่อไม่มีความต้องการใช้ความเร็วรอบที่มากกว่า 510 r/min ก็ไม่จำเป็นต้องเดินเครื่องพัฒนาที่ 190 – 240 โวลต์ก็ได้ เพื่อให้ได้ความเร็วตามความต้องการ ดังนั้น เมื่อกำหนดให้มีการเดินเครื่องพัฒนาทุกวัน วันละ 8 ชั่วโมง จึงได้แสดงค่าที่ลดการใช้พลังงานต่อเดือนไว้ใน ตารางที่ 4.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงในช่วง 90 – 180 โวลต์ เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าขึ้น

แรงดัน (V)	ความเร็วลมเฉลี่ย (ft/min)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อ ชั่วโมง (kW-hr)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อวัน (kW-hr)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อ เดือน (kW-hr)
90	59	0.12933	1.03464	31.0392
100	78	0.12033	0.96264	28.8792
110	124.33	0.111	0.888	26.64
120	189.66	0.1	0.8	24
130	209.33	0.08766	0.70128	21.0384
140	255	0.075	0.6	18
150	327.33	0.06033	0.4826	14.476
160	360.66	0.04466	0.35728	10.7184
170	426.33	0.029	0.232	6.96
180	511.33	0.01433	0.11464	3.4392

กรณีที่ 2 ปรับแรงดันไฟฟ้าลงจาก 240 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่สูงสุดที่มอเตอร์เริ่มทำงานแล้ว ปรับแรงดันไฟฟ้าลดลงจนถึง 80 โวลต์

สังเกตจากรูปที่ 4.6 จะพบว่ากำลังไฟฟ้าในช่วงที่ปรับแรงดันไฟฟ้าลงในช่วง 240 - 190 โวลต์ กำลังไฟฟ้ามียาค่าค่อนข้างคงที่ แตกต่างจากค่าของกระแสไฟฟ้าในรูปที่ 4.8 ที่จะค่อยๆเพิ่มขึ้น และสูงที่สุดที่ระดับแรงดันไฟฟ้า-190 โวลต์ และหลังจากปรับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 190-โวลต์ค่าของกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆในลักษณะเดียวกันตามแรงดันไฟฟ้าที่ปรับลดลงจนถึงระดับ 80 โวลต์ แต่ความเร็วลมและความเร็วรอบของพัดลมในรูปที่ 4.10 จะลดลงในทุกๆระดับของแรงดันไฟฟ้าที่ปรับลดลง อธิบายได้จากสมการ

$$P = VI \cos \theta$$

จากสมการเนื่องจากในช่วงแรงดันไฟฟ้า 240 - 190 โวลต์ เป็นช่วงที่กำลังไฟฟ้าพิกัดของพัดลม กำลังไฟฟ้าจึงมีค่อนข้างค่าคงที่แต่กระแสไฟฟ้าในรูปที่ 4.8 เพิ่มขึ้นเพราะพัดลมต้องการใช้กำลังไฟฟ้าคงที่แต่เมื่อมีการปรับลดแรงดันไฟฟ้าลงความต้องการใช้กระแสไฟฟ้าของพัดลมจึงมากขึ้น จนถึงระดับกระแสไฟฟ้าพิกัดของพัดลมและเมื่อแรงดันไฟฟ้าต่ำมากคือที่ระดับ 190 โวลต์ จนไม่สามารถสร้างกำลังไฟฟ้าที่พิกัดของพัดลมได้ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่พัดลมใช้จึงลดลงเรื่อยๆในลักษณะเดียวกันจนถึงที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำที่สุดที่พัดลมทำงานคือ 80 โวลต์ ในส่วนของค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ จากการทดลองพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมากจึงไม่เป็นผลกับค่าของกำลังไฟฟ้ามานัก

จากการทดลองใน กรณีที่ 2 พบว่าถ้าต้องการลดการใช้พลังงานฟาลง เมื่อไม่มีความต้องการใช้ความเร็วลมที่มากกว่า 550 ft/min ก็สามารถลดแรงดันไฟฟ้าลงมาต่ำกว่า 190 โวลต์ได้ เพื่อให้ได้ความเร็วลมตามความต้องการ ได้ ดังนั้น เมื่อกำหนดให้มีการเดินเครื่องพัดลมทุกวัน วันละ 8 ชั่วโมง จึงแสดงค่าที่ลดการใช้พลังงานต่อเดือนไว้ใน ตารางที่ 4.4 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงในช่วง 90 – 180 โวลต์ เมื่อปรับแรงดันไฟฟ้าลง

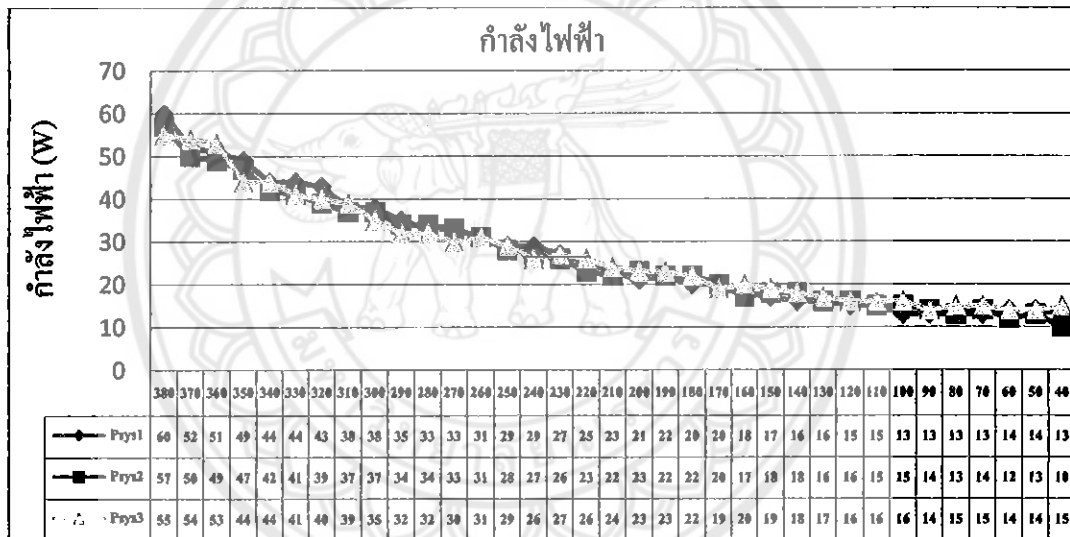
แรงดัน (V)	ความเร็วลมเฉลี่ย (ft/min)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อชั่วโมง (kW-hr)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อวัน (kW-hr)	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลงในต่อเดือน (kW-hr)
180	550.66	0.014	0.112	3.66
170	445.66	0.03033	0.24264	7.2792
160	426.33	0.04733	0.37864	11.3592
150	354	0.06266	0.50128	15.0384
140	314	0.07533	0.60264	18.0792
130	275	0.08866	0.6928	20.784
120	229.33	0.10033	0.80264	24.0792
110	183.33	0.11266	0.90128	27.0384
100	111.33	0.12133	0.97064	29.1192
90	59	0.12966	1.03728	31.1184

จากการทดลองทั้ง 2 กรณีนั้น พบว่าในกรณีที่ 1 ความเร็วลมเฉลี่ยจะน้อยกว่ากรณีที่ 2 ประมาณ 20 - 30 ft/min อาจเป็นเพราะเริ่มเดินจากแรงดันไฟฟ้าที่น้อยทำให้กำลังไฟฟ้าเริ่มขับไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำก็น้อยต่างจาก-กรณีที่ 2 ที่มีแรงเฉยจากการเดินเครื่องพัฒนาใน ระดับไฟฟ้าที่สูงกว่าทำให้ได้ความเร็วลมที่สูงกว่า กรณีที่ 1 เล็กน้อย แต่ในช่วงแรงดันตั้งแต่ 190 – 240 โวลต์ นั้น เป็นช่วงที่ใช้กำลังไฟฟ้าที่พิกัดของพัฒนาแล้วความเร็วลมจึงไม่แตกต่างกัน มากเหมือนช่วงแรกมากนัก

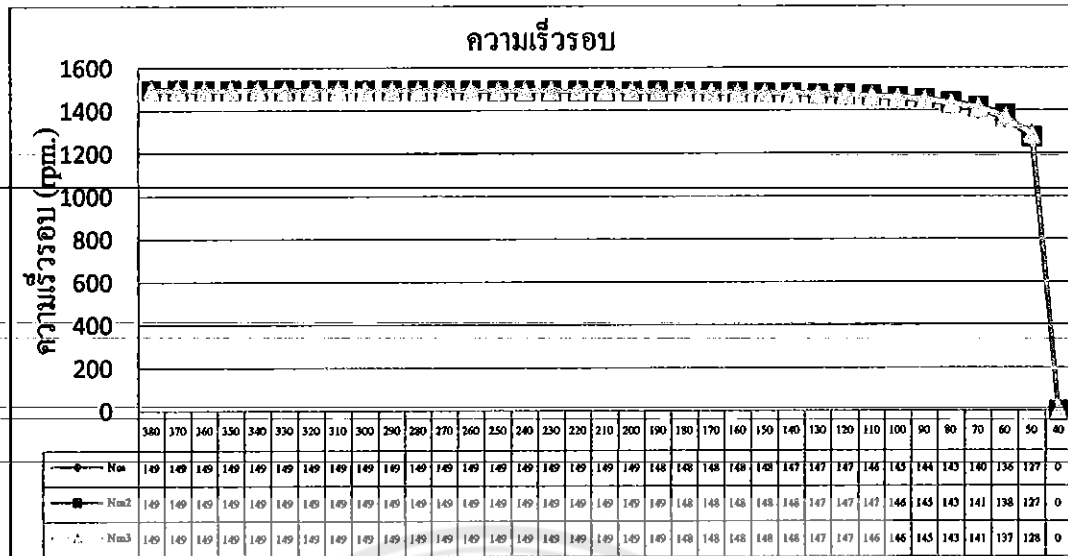
4.3 ผลที่ได้จากการทดลองลดแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สถานะโหลด

ต่างๆ

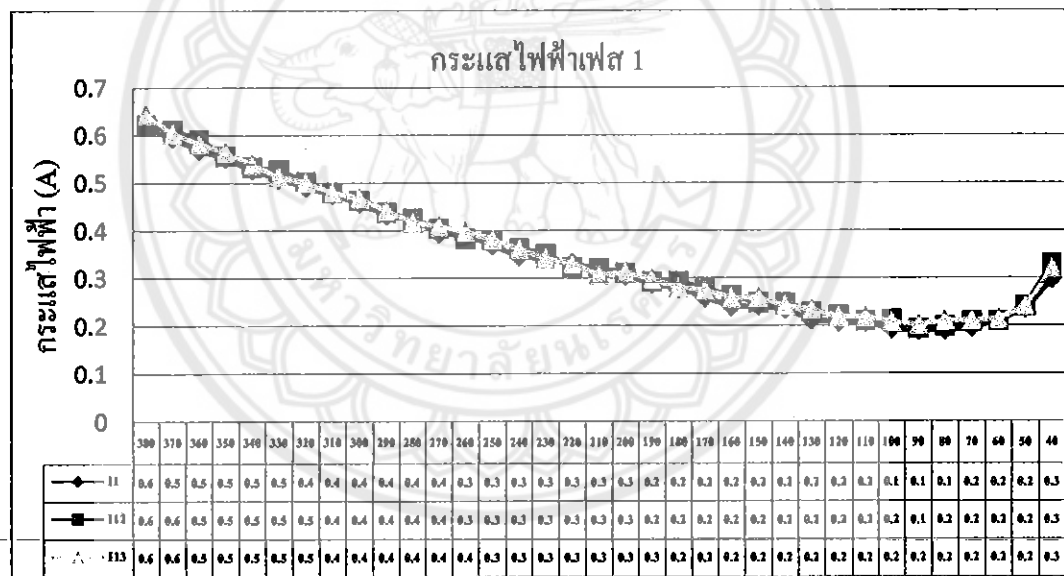
4.3.1 ผลจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะโหลด 0%



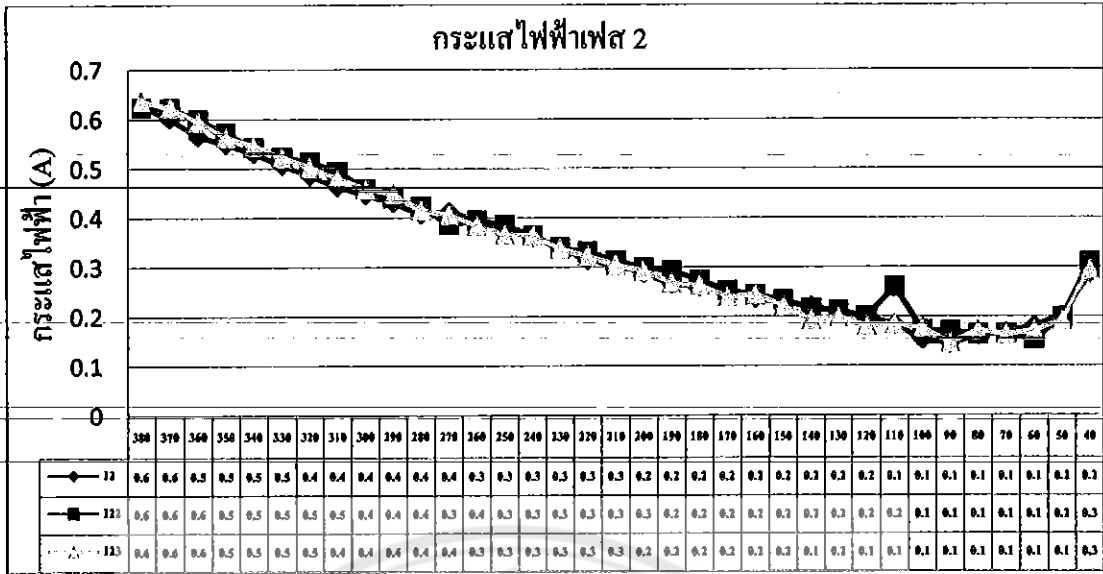
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะโหลด 0% รวมทั้ง 3 ครั้ง



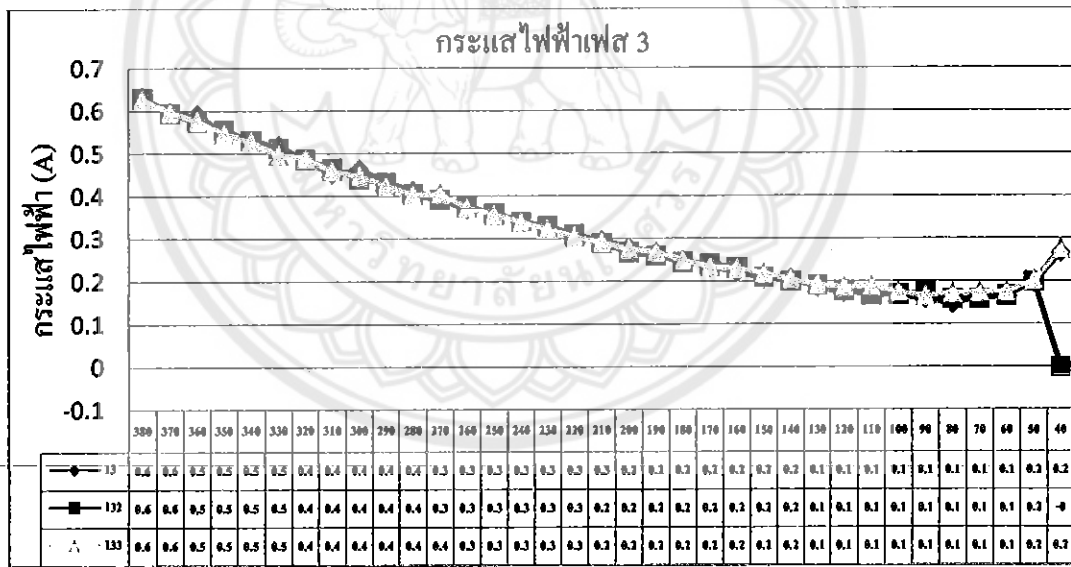
รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบความเร็วรอบจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะ โหลด 0% รวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 1 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะ โหลด 0% รวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 2 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 0% รวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 3 จากการปรับลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 0% รวมทั้ง 3 ครั้ง

จากการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะไร้อะไหล่รูปที่ 4.11 แสดงกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขณะทดสอบ พบว่าเมื่อทำการลดแรงดันไฟฟ้าลง กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำใช้จะลดลงตามไปด้วยและจะค่อนข้างคงที่ ขณะที่แรงดันไฟฟ้าเป็น 90 โวลต์ รูปที่ 4.12 แสดงความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อ

ลดแรงดันไฟฟ้าจนถึง 90 โวลต์ และรูปที่ 4.13 - 4.15 พบว่ากระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงลดลง และจะค่อนข้างคงที่ขณะที่ช่วงแรงดันไฟฟ้าเป็น 60 - 90 โวลต์ โดยกระแสไฟฟ้าจะเริ่มเพิ่มขึ้นใน ขณะที่ปรับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 90 โวลต์ สามารถอธิบายได้จากสมการ

$$P = VI \cos \theta$$

จากสมการพบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 90 โวลต์ เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้องการกำลังไฟฟ้าคงที่แต่เมื่อมีการปรับแรงดันไฟฟ้าลง มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงต้องการใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เพื่อให้กำลังไฟฟ้ายังคงที่ ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้นเรื่อยๆ และหลังจากการปรับแรงดันไฟฟ้าลงจนถึงแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 40 โวลต์ มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะหยุดหมุน เพราะว่าแรงดันต่ำเกินไป สังเกตจากรูปที่ 4.11 กำลังไฟฟ้าค่อนข้างคงที่แต่ในรูปที่ 4.13 - 4.15 แต่กระแสไฟฟ้าที่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำใช้นั้นมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สเตเตอร์มาก ดังนั้นกำลังไฟฟ้าขาออกที่ได้ จึงน้อยลงเมื่อมีการปรับลดแรงดันไฟฟ้าลงอีก เป็นผลให้กำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอที่จะขับมอเตอร์ให้หมุนได้ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สเตเตอร์หาได้จาก

$$P_{scl} = 3(I_1)^2 R_1$$

โดยที่ I_1 คือกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้สเตเตอร์ หลังจากปรับแรงดันไฟฟ้าลงต่ำกว่า 90 โวลต์ กระแสไฟฟ้าจะค่อนข้างคงที่และเริ่มเพิ่มขึ้นที่แรงดันไฟฟ้าเป็น 60 โวลต์ ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สเตเตอร์เพิ่มขึ้น ในขณะที่กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำค่อนข้างคงที่เป็นผลให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ได้รับกำลังไฟฟ้าไม่พอที่จะหมุนต่อไปได้

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อมีความจำเป็นที่ต้องขับมอเตอร์ที่สภาวะไร้อโหลด เพื่อเป็นการลดพลังงานลงก็สามารถใช้วิธีลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ จากผลการทดลอง สามารถหาพลังงานที่ประหยัดได้โดยเปรียบเทียบผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ที่ 380 โวลต์ และช่วงแรงดันไฟฟ้า 60-90 โวลต์ โดยยังได้คำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อมีการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทุกวันวันละ 8 ชั่วโมงต่อเดือน ได้ดัง ตารางที่ 4.5 ดังนี้

ตารางที่ 4.5 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงในสภาวะไร้โหลด

ช่วงแรงดัน — (V) —	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง ต่อชั่วโมง (kW-hr)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อ วัน (kW-hr)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อเดือน (kW-hr)
90	0.043667	0.349336	10.48008
80	0.043667	0.349336	10.48008
70	0.043333	0.346664	10.39992
60	0.044	0.352	10.56

จากตารางที่ 4.5 พบว่าสามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 10.48008 – 10.56 kW-hr ต่อเดือน สามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้มาก ถ้ามีความจำเป็นที่จะต้องเดินเครื่องในสภาวะไร้โหลด

4.3.2 ผลจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 10%

ตัวอย่าง วิธีการหาค่ากำลังไฟฟ้าขาออก และค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลด 10% ที่แรงดันไฟฟ้า 380 V

โดยหาค่าสลิปที่สภาวะ โหลด 10% ก่อน โดยใช้ค่าจากผลการทดลองครั้งที่ 1 ผลการทดลองมีค่า ดังนี้

$$Nm = 1488$$

$$I_1 = 0.661 \quad I_2 = 0.619 \quad I_3 = 0.615$$

$$P_m = 91 \text{ W}$$

ค่าสลิป (S)

$$S = \frac{n_s - n_m}{n_s}$$

$$S = \frac{1500 - 1488}{1500}$$

$$S = 0.008$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าขาออก (P_{out}) ได้โดย

หาค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสที่แรงดันไฟฟ้า 380 V ได้ดังนี้

$$(I_1 + I_2 + I_3) / 3 = (0.661 + 0.619 + 0.615) / 3$$

$$I_{avg} = 0.632$$

เนื่องจาก I_{avg} ต่อแบบเดลต้ากระแสไฟฟ้าจึงต้องหารด้วย $\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$I_{avg} = I_1 = \frac{0.632}{\sqrt{3}} = 0.36488 A$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงของสเตเตอร์ (P_{SCL})

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_1$$

$$P_{SCL} = 3 \times (0.36488)^2 \times 54.1$$

$$P_{SCL} = 21.5811 \text{ W}$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าในช่องอากาศ (P_{AG})

$$P_{AG} = P_m - P_{SCL}$$

$$P_{AG} = 91 - 21.5811$$

$$P_{AG} = 69.4139 \text{ W}$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล (P_{conv})

$$P_{conv} = (1 - 0.008) P_{AG}$$

$$P_{conv} = (1 - 0.008)69.4139$$

$$P_{conv} = 68.8586 \text{ W}$$

I_1 คือค่ากระแสไฟฟ้าที่สภาวะไร้อะโหลดซึ่งแสดงอยู่ดังรูป 4.16

U1: 380.2 V	U2: 224.0 V	I1: 0.678 A
U2: 381.5 V	U3: 220.8 V	I2: 0.655 A
U3: 380.4 V	U4: 214.8 V	I3: 0.609 A
P1: 0.012KW	S1: 0.151KVA	Q1: -0.150KVAR
P2: 0.021KW	S2: 0.144KVA	Q2: -0.142KVAR
P3: 0.016KW	S3: 0.130KVA	Q3: -0.129KVAR
PΣ: 0.049KW	SΣ: 0.423KVA	QΣ: -0.421KVAR
PFΣ: 0.11	PF1: 0.07	PF2: 0.14
PF3: 0.12	φ1: - 84.3°	φ2: - 82.3°
φ3: - 81.8°	WH: 0.000KWH	SH: 0.006KVAH
QH: 0.006KVARH	HZ: 50.0 Hz	MD: VA MD: 0
3φ4w	SEC: 0	CT: 1
	VT: 1	REL: 2

รูปที่ 4.16 ค่าที่สภาวะไร้อะโหลดต่อแบบเดลต้า

หาค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย $I_{avg(NL)}$

$$(I_1 + I_2 + I_3) / 3 = (0.678 + 0.655 + 0.609) / 3$$

$$I_{avg(NL)} = 0.6473 \text{ A}$$

เนื่องจาก $I_{avg(NL)}$ ต่อแบบเดลต้ากระแสไฟฟ้าจึงต้องการด้วย $\sqrt{3}$

$$P_{SCL(NL)} = 3 \frac{I^2}{\sqrt{3}} R_1 = 3(0.3737)^2 54.1 = 22.67$$

$$P_{rot} = P_{m(NL, \Delta)} - P_{SCL(NL)} = 49 - 22.67 = 26.3299$$

$$P_{out} = P_{conv} - P_{rot}$$

$$P_{out} = 68.8586 - 26.3299$$

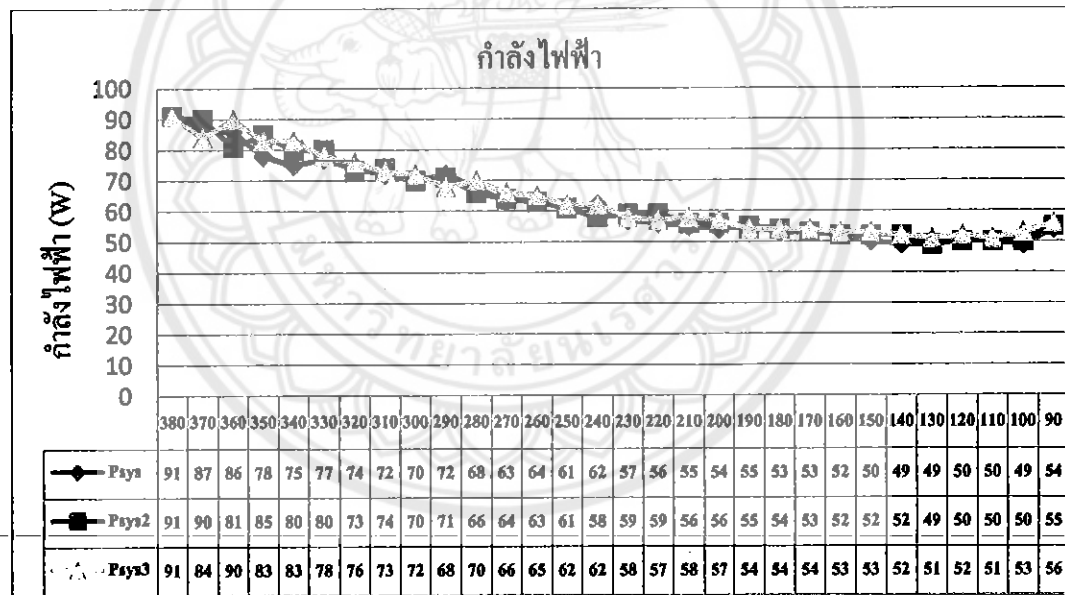
$$P_{out} = 42.5287 \text{ W}$$

หาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สถานะโหลด 10% ที่แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ ได้
ดังนี้

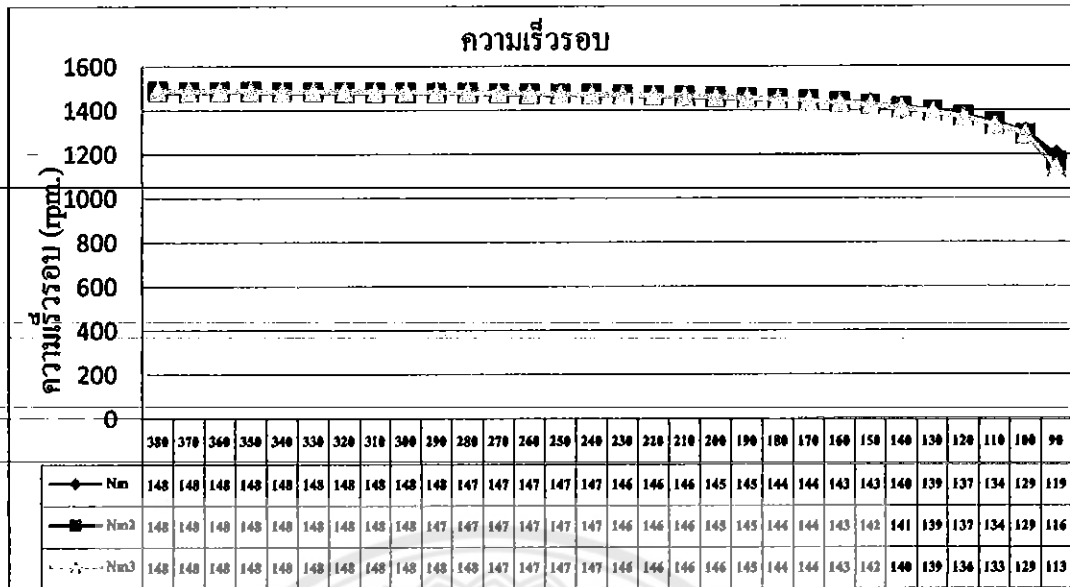
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{42.5287}{91} \times 100\%$$

$$\eta = 46.735 \%$$

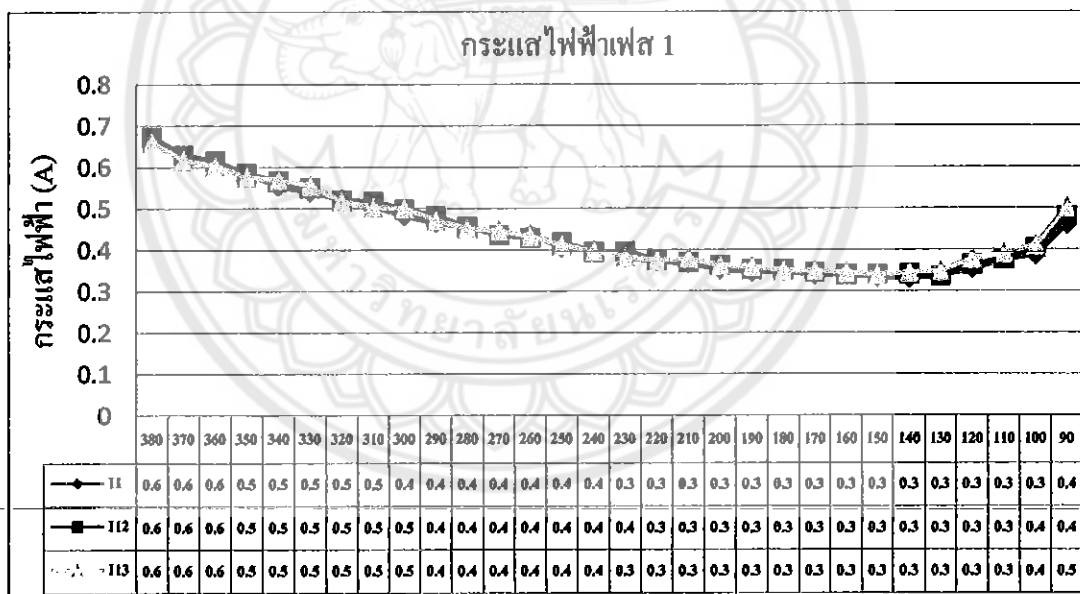
เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (η) แล้วบันทึก
ผลการทดลอง โดยแรงดันไฟฟ้าที่ปรับลงในค่าอื่นๆก็ใช้ค่าความเร็วรอบ ค่ากระแสไฟฟ้าและค่า
กำลังไฟฟ้าขาเข้า (P_{in}) ในระดับแรงดันไฟฟ้าที่ปรับลงครั้งละ 10 โวลต์



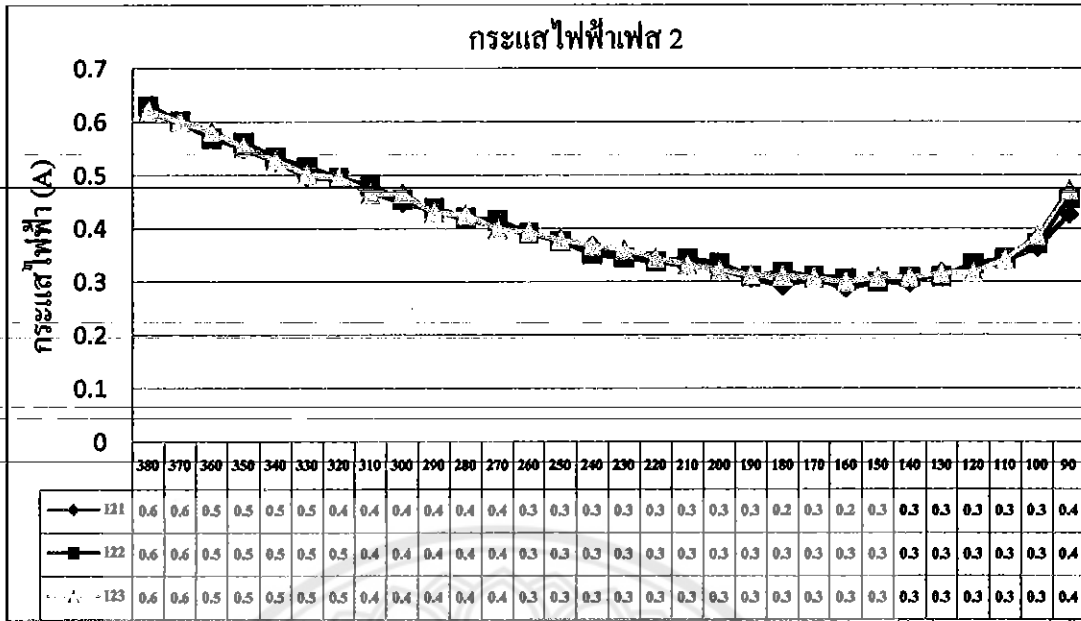
รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะโหลด 10% รวมทั้ง 3 ครั้ง



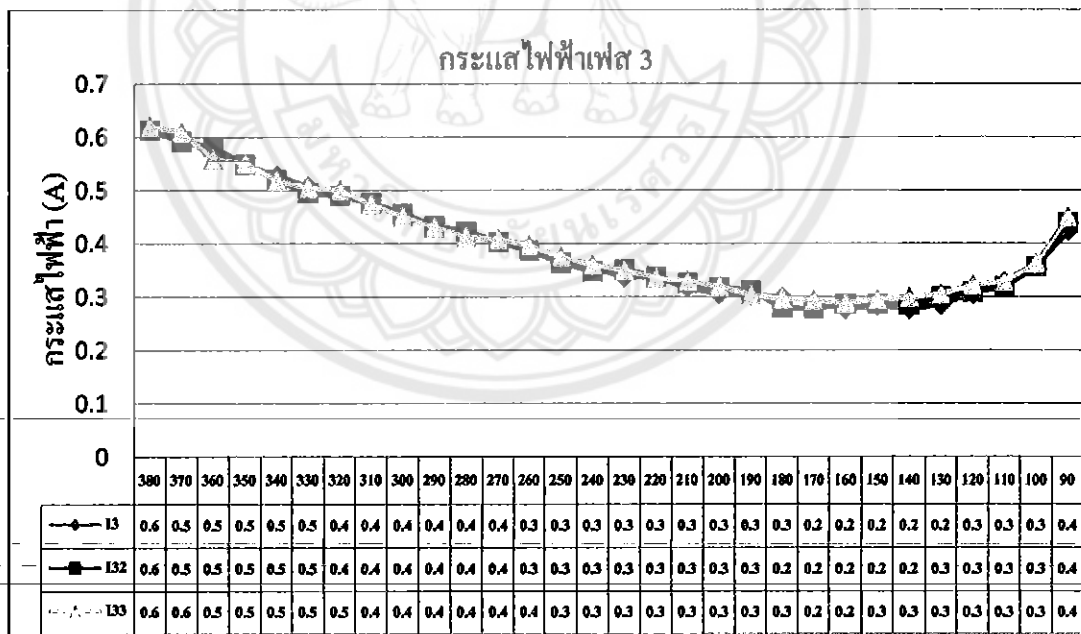
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบความเร็วรอบจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะ โหลด 10% รวมทั้ง 3 ครั้ง



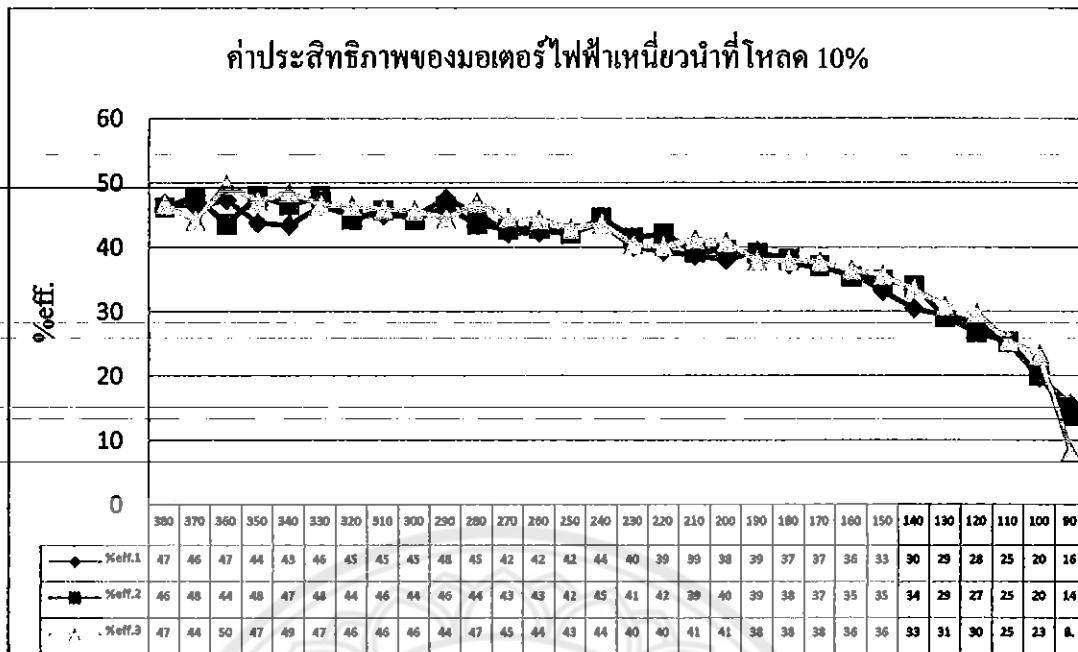
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 1 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะ โหลด 10%
รวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 2 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 10%
รวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 3 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 10%
รวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลด 10% ของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

จากการทดลองเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลด 10% จากรูปที่ 4.17 พบว่าเมื่อมีการลดแรงดันไฟฟ้าลง กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำใช้ก็จะลดลงตามไปด้วยและเริ่มคงที่ ที่แรงดันไฟฟ้า 190 โวลต์ และค่าของกระแสไฟฟ้าจะลดลงจนถึงช่วงที่กระแสไฟฟ้าคงที่คือช่วงแรงดันไฟฟ้า 190 - 140 โวลต์ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.19 - 4.21 และในช่วงที่กระแสไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นสังเกตได้จากรูปที่ 4.18 หลังจากนั้นกระแสไฟฟ้าจะเริ่มเพิ่มขึ้นหลังจากปรับลดแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 140 โวลต์อธิบายได้จากสมการ

$$P = VI \cos \theta$$

จะเห็นได้ว่าหลังจากปรับแรงดันไฟฟ้าลงจากแรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้องการใช้นั้นจะลดลงเรื่อยๆจนถึงแรงดันไฟฟ้า 190 โวลต์ กำลังไฟฟ้าจะค่อนข้างเริ่มคงที่หลังจากปรับแรงดันไฟฟ้าลงอีกสังเกตได้จากรูปที่ 4.17 แสดงว่ากำลังไฟฟ้าในช่วงที่คงที่เป็นกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมจะใช้ขับที่สภาวะโหลด 10% ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และในรูปที่ 4.19 - 4.21 เมื่อลดแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 140 โวลต์ กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆเนื่องจากการลดแรงดันไฟฟ้าลงแต่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้องการกำลังไฟฟ้าคงที่ ดังนั้นมอเตอร์จึงมีความต้องการใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สเตเตอร์มาก

ดังนั้น กำลังไฟฟ้าขาออก ที่ได้จึงได้น้อยกว่าช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ 190 - 140 โวลต์ ทำให้กำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอที่จะขับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สเตเตอร์หาได้จาก

$$P_{sc1} = 3(I_1)^2 R_1$$

โดย I_1 คือกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับสเตเตอร์ และพบว่าหลังจากปรับแรงดันไฟฟ้าลงต่ำกว่า 140 โวลต์ กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแล้วทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สเตเตอร์เพิ่มขึ้นทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้รับกำลังไฟฟ้าไม่พอที่จะขับโหลดที่สถานะ 10% ได้

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อต้องขับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สถานะ โหลด 10% เพื่อเป็นการลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นลง สามารถเลือกใช้วิธีลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยสามารถหาพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้โดยเปรียบเทียบผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ 380 โวลต์ และในช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ค่ากระแสไฟฟ้าค่อนข้างคงที่คือ 190 - 140 โวลต์ และคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อมีการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทุกวันวันละ 8 ชั่วโมงต่อเดือนได้ ดัง ตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงในสถานะ โหลด 10%

ช่วงแรงดัน (V)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อชั่วโมง (kW-hr)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อวัน (kW-hr)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อเดือน (kW-hr)
280	0.023	0.184	5.52
190	0.036333	0.290664	8.71992
180	0.037333	0.298664	8.95992
170	0.037667	0.301336	9.04008
160	0.038	0.304	9.12
150	0.039333	0.314664	9.43992
140	0.040	0.32	9.6

จากตารางที่ 4.6 พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 140 โวลต์ สามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดถึง 9.6 kW-hr ต่อเดือน แต่จาก รูปที่ 4.22 พบว่าค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แรงดันไฟฟ้า 140 โวลต์ จะต่ำที่สุดแต่ที่แรงดันไฟฟ้า 190 โวลต์ ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สูงกว่าที่แรงดันไฟฟ้า 140 โวลต์ หรือถ้าต้องการค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สูงเท่ากับแรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ ก็สามารถลดแรงดันไฟฟ้าได้ถึงแรงดันไฟฟ้า

280 โวลต์ ซึ่งจาก รูปที่ 4.22 ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่แรงดันไฟฟ้า 280 โวลต์ เท่ากับ 380 โวลต์

ดังนั้นระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สถานะโหลด 10% คือ 280 โวลต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการทำงานเท่ากับเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ 380 V ตามปกติที่ไม่มีการปรับแรงดันไฟฟ้าลง แต่จะลดพลังงานไฟฟ้าได้น้อยกว่าในช่วงแรงดันไฟฟ้า 190-140 โวลต์ คือ 5.52 kW-hr ต่อเดือน แต่ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการทำงานจะดีกว่า

4.3.3 ผลจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะโหลด 20%

ตัวอย่าง วิธีการหาค่ากำลังไฟฟ้าขาออก และค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (η) ที่สถานะโหลด 20% ที่แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ โดยหาค่าสลิปที่สถานะโหลด 20% ก่อนโดยใช้ค่าในการทดลองครั้งที่ 1 ผลการทดลองมีค่าดังนี้

$$N_m = 1471$$

$$I_1 = 0.642 \text{ A} \quad I_2 = 0.614 \text{ A} \quad I_3 = 0.63 \text{ A}$$

$$P_m = 115 \text{ W}$$

ค่าสลิป

$$S = \frac{n_s - n_m}{n_s}$$

$$S = \frac{1500 - 1471}{1500}$$

$$S = 0.01933$$

หา P_{out} ได้โดย-

หาค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ที่แรงดันไฟฟ้า 380 V ได้ดังนี้

$$(I_1 + I_2 + I_3) / 3 = (0.642 + 0.614 + 0.63) / 3$$

$$I_{avg} = 0.62866$$

เนื่องจาก I_{avg} คือแบบเฉลี่ยค่ากระแสไฟฟ้าจึงต้องหารด้วย $\sqrt{3}$

$$\text{ดังนั้น} \quad I_{avg} = I_1 = \frac{0.62866}{\sqrt{3}} = 0.363 \text{ A}$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงของสเตเตอร์

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_t$$

$$P_{SCL} = 3 \times (0.363)^2 \times 54.1$$

$$P_{SCL} = 21.3815 \text{ W}$$

กำลังไฟฟ้าในช่องว่างอากาศ

$$P_{AG} = P_{in} - P_{SCL}$$

$$P_{AG} = 115 - 21.3815$$

$$P_{AG} = 93.6185 \text{ W}$$

กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล

$$P_{conv} = (1 - 0.01933) P_{AG}$$

$$P_{conv} = (1 - 0.01933) 93.6185$$

$$P_{conv} = 91.8085 \text{ W}$$

หาค่าเฉลี่ย $I_{avg(ML)}$

I_1 คือค่ากระแสไฟฟ้าที่สภาวะไร้อะไรโหลดซึ่งแสดงอยู่ดังรูปที่ 4.16

$$(I_1 + I_2 + I_3) / 3 = (0.678 + 0.655 + 0.609) / 3$$

$$I_{avg(NL)} = 0.6473 \text{ A}$$

เนื่องจาก $I_{avg(NL)}$ ต่อแบบเคลด้ากระแสไฟฟ้าจึงต้องการด้วย $\sqrt{3}$

$$P_{SCL(NL)} = 3 \frac{I_1^2}{\sqrt{3}} R_1 = 3(0.3737)^2 54.1 = 22.67$$

$$P_{tot} = P_{m(NL,\Delta)} + P_{SCL(NL)} = 49 + 22.67 = 26.3299$$

$$P_{out} = P_{conv} - P_{tot}$$

$$P_{out} = 91.8085 - 26.3299$$

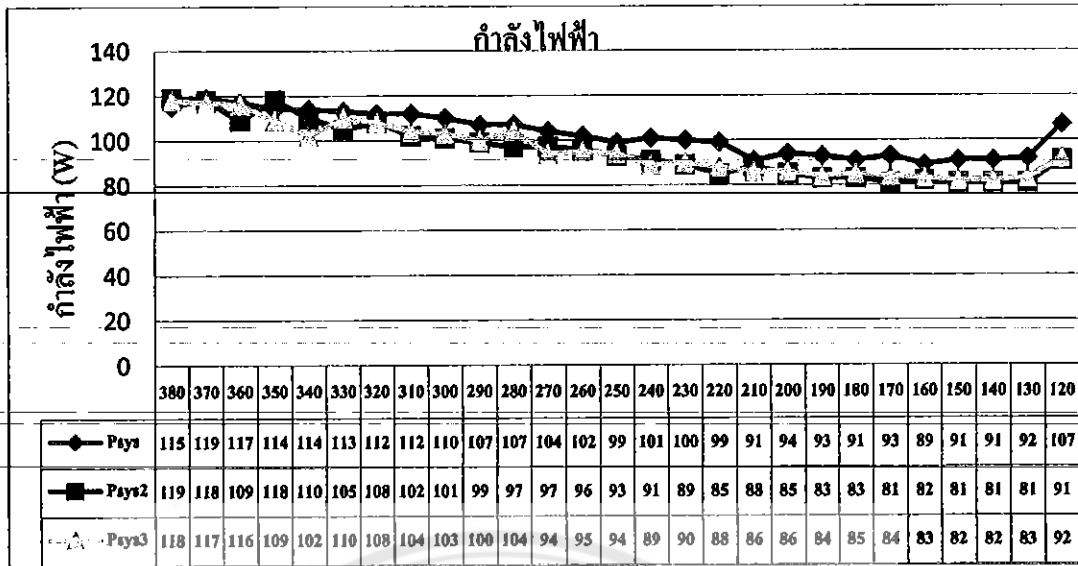
$$P_{out} = 65.4786 \text{ W}$$

หาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (η) ที่สภาวะโหลด 10% ที่แรงดันไฟฟ้า 380 V ได้
โดย

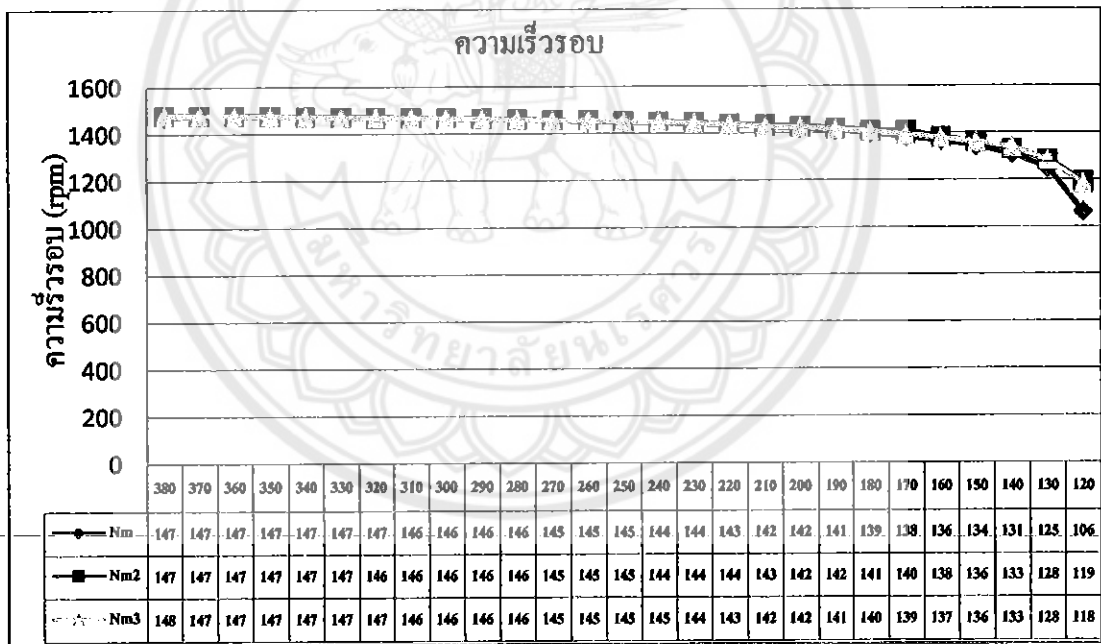
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_m} \times 100 \% = \frac{65.4786}{115} \times 100 \%$$

$$\eta = 56.938 \%$$

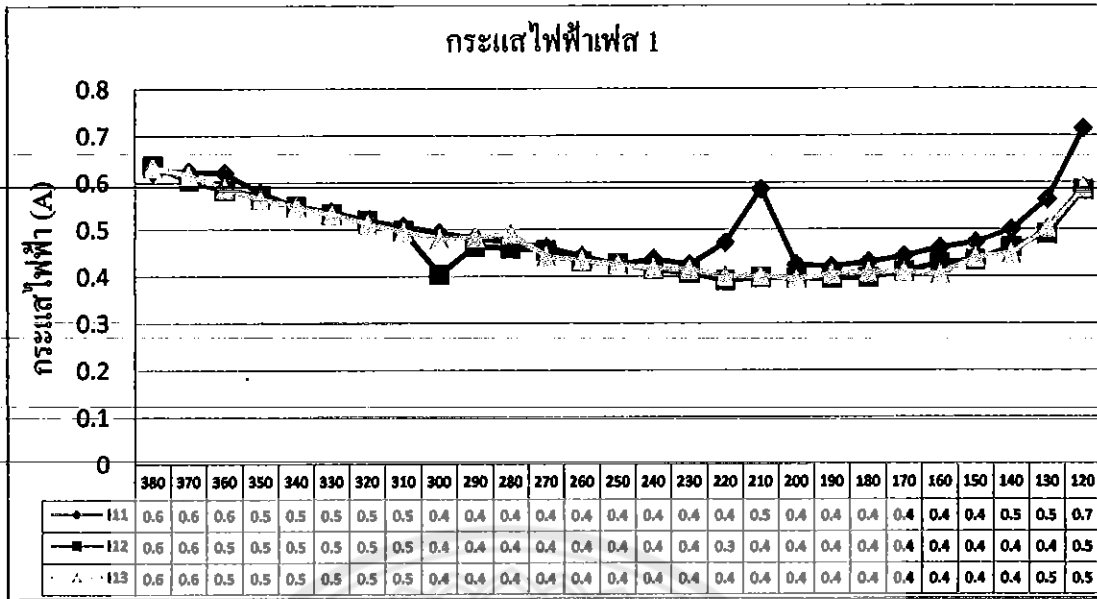
เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแล้วบันทึกผล
การทดลอง โดยแรงดันไฟฟ้าที่ปรับลงในค่าอื่นๆก็ใช้ค่าความเร็วรอบ ค่ากระแสไฟฟ้าและค่า
กำลังไฟฟ้าขาเข้า ในระดับแรงดันไฟฟ้าที่ปรับลงครั้งละ 10 โวลต์



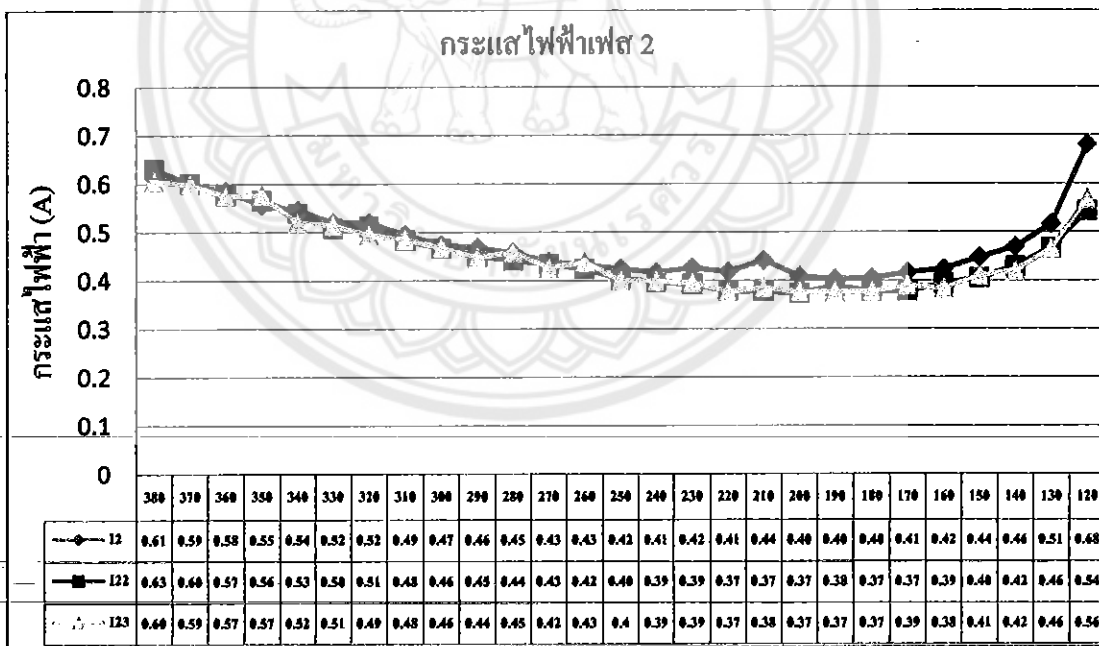
รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 20% รวมทั้ง 3 ครั้ง



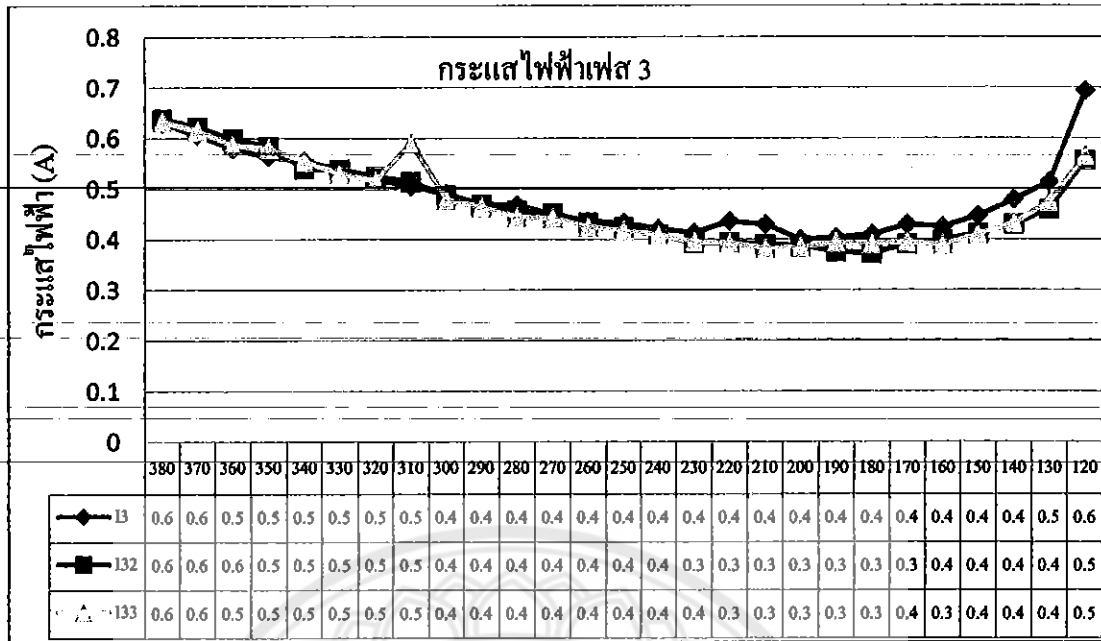
รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบความเร็วรอบจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 20% รวมทั้ง 3 ครั้ง



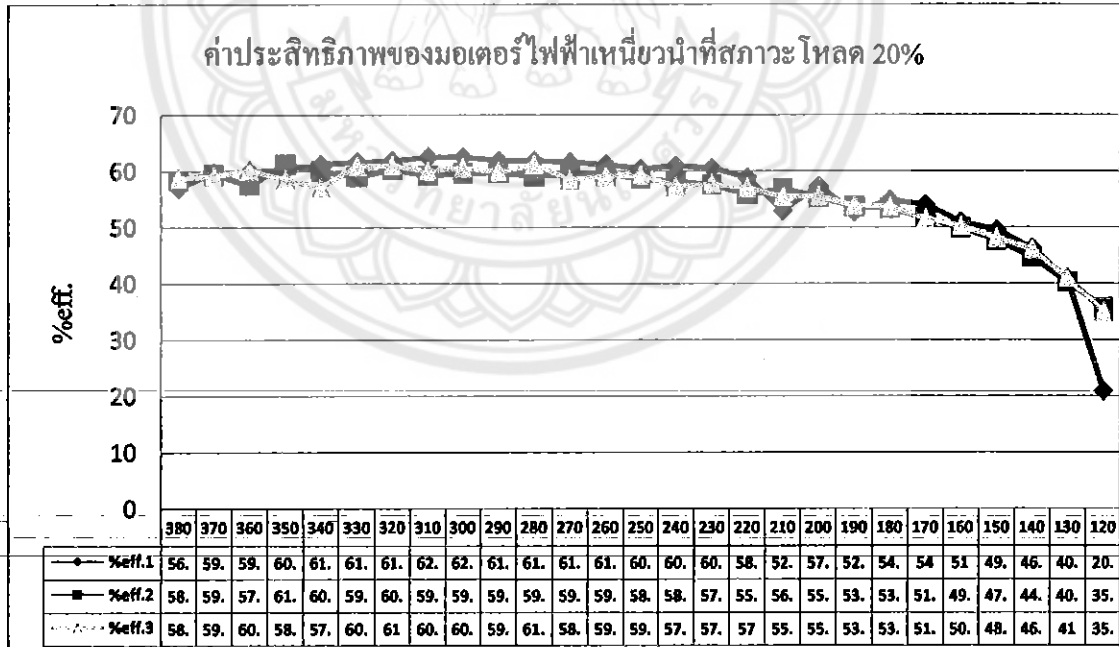
รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 1 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะโหลด 20% รวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 2 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะโหลด 20% รวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.27 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 3 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะ โหลด 20% รวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.28 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สถานะ โหลด 20% ของ การทดลองทั้ง 3 ครั้ง

จากการทดลองเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะต่อโหลด 20% จากรูปที่ 4.23 พบว่าเมื่อมีการลดแรงดันไฟฟ้าลง กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำใช้ก็จะลดลงตามไปด้วย และก่อนข้างจะคงที่ ที่แรงดันไฟฟ้า 220-โวลต์-และค่าของกระแสไฟฟ้าจะลดลงจนถึงช่วงที่กระแสไฟฟ้าก่อนข้างคงที่ คือช่วงแรงดันไฟฟ้า 220 - 170 โวลต์ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.25 - 4.27 และในช่วงที่กระแสไฟฟ้าก่อนข้างคงที่ ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สังเกตได้จากรูปที่ 4.24 หลังจากนั้นกระแสไฟฟ้าจะเริ่มเพิ่มขึ้นหลังจากปรับลดแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 170 โวลต์ อธิบายได้จากสมการ

$$P = VI \cos \theta$$

จะเห็นได้ว่าหลังจากปรับแรงดันไฟฟ้าลงจากแรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้องการใช้นั้นจะลดลงเรื่อยๆจนถึงแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ และกำลังไฟฟ้าก่อนข้างจะคงที่ หลังจากปรับแรงดันไฟฟ้าลงอีกสังเกตได้จาก รูปที่ 4.23 แสดงว่ากำลังไฟฟ้าในช่วงที่คงที่ เป็นกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมจะใช้ขับ โหลด 20% ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และในรูปที่ 4.25 - 4.27 พบว่าเมื่อลดแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 170 โวลต์ (V) กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการลดแรงดันไฟฟ้าลง แต่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้องการกำลังไฟฟ้าคงที่ ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงมีความต้องการใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สเตเตอร์มาก ดังนั้นกำลังไฟฟ้าขาออก ที่ได้จึงมีค่าน้อยกว่าช่วงแรงดันไฟฟ้า 220 - 170 โวลต์ ทำให้กำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอที่จะขับมอเตอร์ที่สภาวะ โหลด 20% ได้ โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สเตเตอร์หาได้จาก

$$P_{sc} = 3(I_1)^2 R_1$$

โดย I_1 คือกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับสเตเตอร์ พบว่าหลังจากปรับแรงดันไฟฟ้าลงต่ำกว่า 170 โวลต์ กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแล้วทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สเตเตอร์เพิ่มขึ้นทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้รับกำลังไฟฟ้าไม่พอที่จะขับ โหลดต่อไปได้

จากการทดลองพบว่า เมื่อต้องขับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะ โหลด 20% เพื่อเป็นการลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นลง สามารถเลือกใช้วิธีลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ 380 โวลต์ กับกำลังไฟฟ้าของช่วงแรงดันไฟฟ้า ที่กระแสไฟฟ้าคงที่คือ 220 - 170 โวลต์ และคำนวณค่าการใช้พลังงาน ไฟฟ้าเมื่อมีการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทุกวัน วันละ 8 ชั่วโมง ต่อเดือนได้ ดังตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงในภาวะ โหลด 20%

ช่วงแรงดัน (V)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อ ชั่วโมง (kW-hr)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อ วัน (kW-hr)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อ เดือน (kW-hr)
220	0.026667	0.21336	6.4008
210	0.029	0.232	6.96
200	0.029	0.232	6.96
190	0.030667	0.245336	7.36008
180	0.031	0.248	7.44
170	0.031333	0.250664	7.51992

จากตารางที่ 4.7 พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 170 โวลต์ สามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดถึง 7.51992 kW-hr ต่อเดือน แต่จากรูปที่ 4.28 จะพบว่าค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แรงดันไฟฟ้า 170 โวลต์ จะต่ำที่สุด แต่ที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สูงกว่าค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แรงดันไฟฟ้า 140 โวลต์ โดยจะมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับที่แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ ดังนั้นที่สภาวะโหลด 20% สามารถลดแรงดันไฟฟ้าได้ถึง 220 โวลต์ โดยจากรูปที่ 4.28 ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ จะใกล้เคียงกับที่แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์

ดังนั้นระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลด 20% คือ 220 โวลต์ โดยประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการทำงานมีค่าใกล้เคียงกับการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ ตามปกติที่ไม่มีการปรับแรงดันไฟฟ้าลง และสามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 6.4008 kW-hr ต่อเดือน

4.3.4 ผลจากการปรับลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 30%

ตัวอย่าง วิธีการหาค่ากำลังไฟฟ้าขาออกและค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลด 30% ที่แรงดันไฟฟ้า 380 V

โดยหาค่าสลิปที่สภาวะ โหลด 30% ก่อน โดยใช้ค่าในการทดลองครั้งที่-1 ผลการทดลองมีค่าดังนี้

$$Nm = 1473 \text{ rpm.}$$

$$I_1 = 0.679 \text{ A} \quad I_2 = 0.647 \text{ A} \quad I_3 = 0.648 \text{ A}$$

$$P_m = 154 \text{ W}$$

ค่าสลิป

$$S = \frac{n_s - n_m}{n_s}$$

$$S = \frac{1500 - 1473}{1500}$$

$$S = 0.018$$

หา P_{out} ได้โดย

หาค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสที่แรงดันไฟฟ้า 380 V ได้ดังนี้

$$(I_1 + I_2 + I_3) / 3 = (0.679 + 0.647 + 0.648) / 3$$

$$I_{avg} = 0.658 \text{ A}$$

เนื่องจาก I_{avg} ต่อแบบเคลด้ากระแสไฟฟ้าจึงต้องหารด้วย $\sqrt{3}$

ดังนั้น

$$I_{avg} = I_1 = \frac{0.658}{\sqrt{3}} = 0.38 \text{ A}$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดทองแดงของสเตเตอร์

$$P_{SCL} = 3I_1^2 R_1$$

$$P_{SCL} = 3 \times (0.38)^2 \times 54.1$$

$$P_{SCL} = 23.709 \text{ W}$$

กำลังไฟฟ้าในช่องว่างอากาศ

$$P_{AG} = P_m - P_{SCL}$$

$$P_{AG} = 154 - 23.709$$

$$P_{AG} = 130.291 \text{ W}$$

กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล

$$P_{conv} = (1 - 0.018)P_{AG}$$

$$P_{conv} = (1 - 0.018)130.291$$

$$P_{conv} = 127.9458 \text{ W}$$

หาค่าเฉลี่ย $I_{avg(NL)}$

I_1 คือค่ากระแสไฟฟ้าที่สถานะไร้อุณหภูมิซึ่งแสดงอยู่ดังรูปที่ 4.16

$$(I_1 + I_2 + I_3) / 3 = (0.678 + 0.655 + 0.609) / 3$$

$$I_{avg(NL)} = 0.6473 \text{ A}$$

เนื่องจาก $I_{avg(NL)}$ ต่อแบบเซลล์ค่ากระแสไฟฟ้าจึงต้องหารด้วย $\sqrt{3}$

$$P_{SCL(NL)} = 3 \frac{I_1^2}{\sqrt{3}} R_1 = 3(0.3737)^2 54.1 = 22.67$$

$$P_{rot} = P_{in(NL, \Delta)} - P_{SCL(NL)} = 49 - 22.67 = 26.3299$$

$$P_{out} = P_{conv} - P_{rot}$$

$$P_{out} = 127.9458 - 26.3299$$

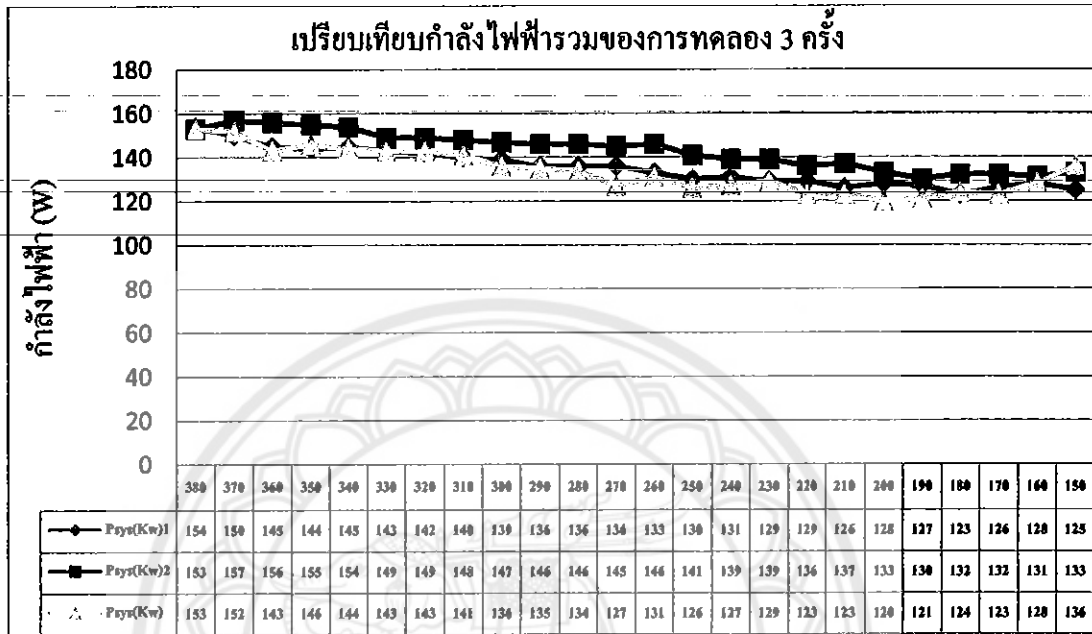
$$P_{out} = 101.6158 \text{ W}$$

หาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (η) ที่สถานะโหลด 10% ที่แรงดันไฟฟ้า 380 V ได้โดย

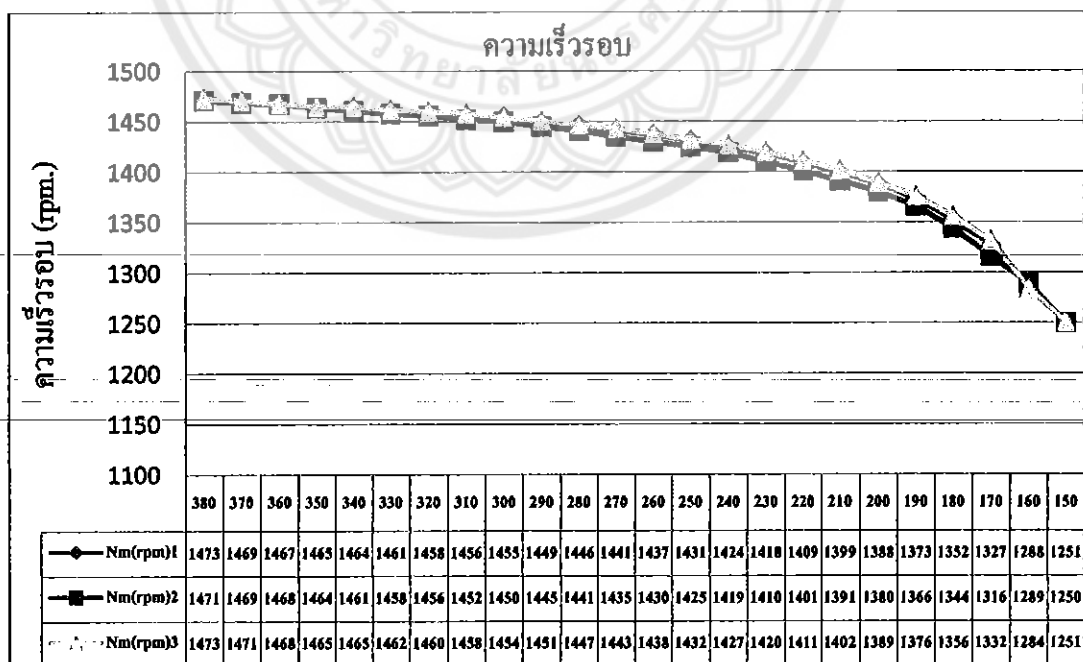
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% = \frac{101.6158}{154} \times 100 \%$$

$$\eta = 65.984 \%$$

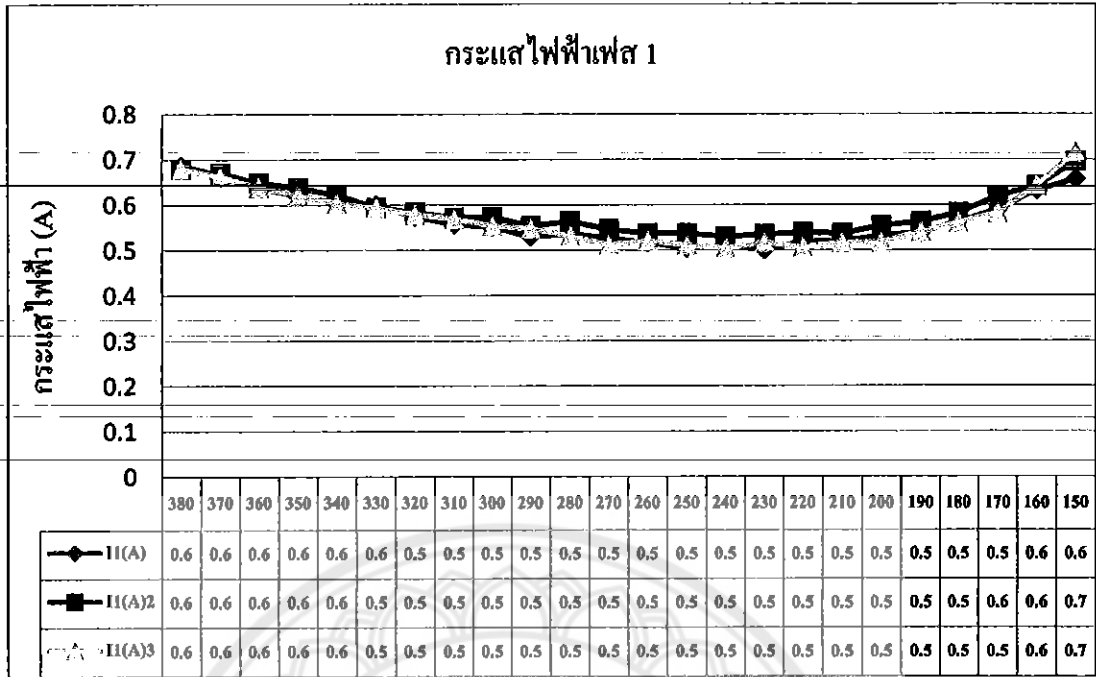
เมื่อได้ค่ากำลังไฟฟ้าขาออกและประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแล้วบันทึกผลการทดลอง โดยแรงดันไฟฟ้าที่ปรับลงในค่าอื่นๆก็ใช้ค่าความเร็วรอบ ค่ากระแสไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าขาเข้า ในระดับแรงดันไฟฟ้าที่ปรับลงครั้งละ 10 โวลต์



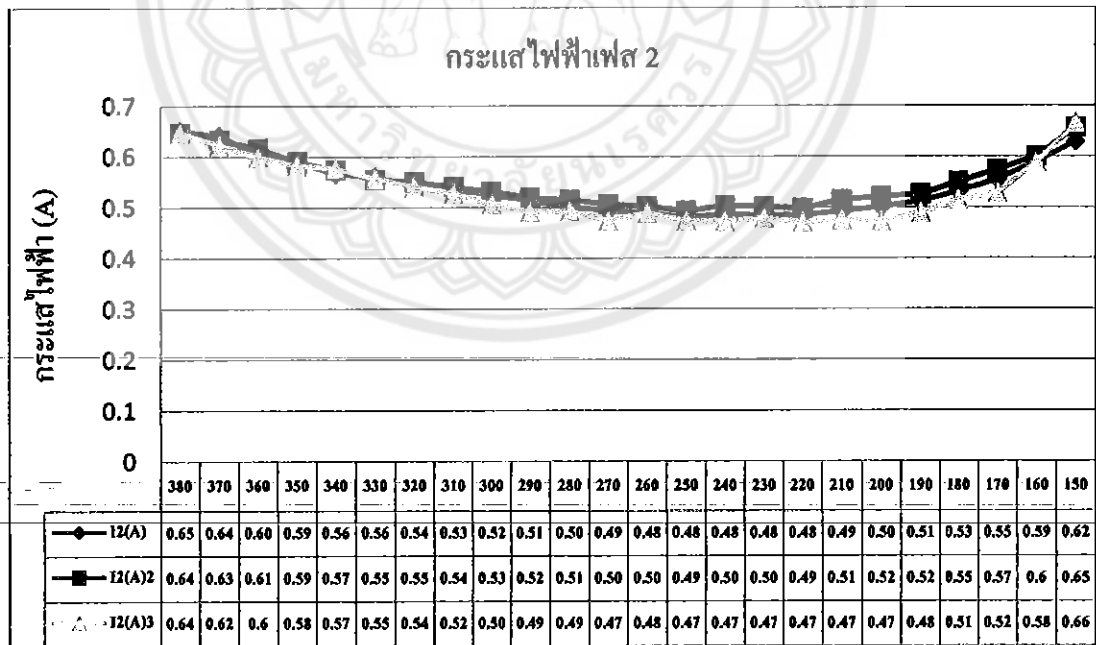
รูปที่ 4.29 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 30% รวมทั้ง 3 ครั้ง



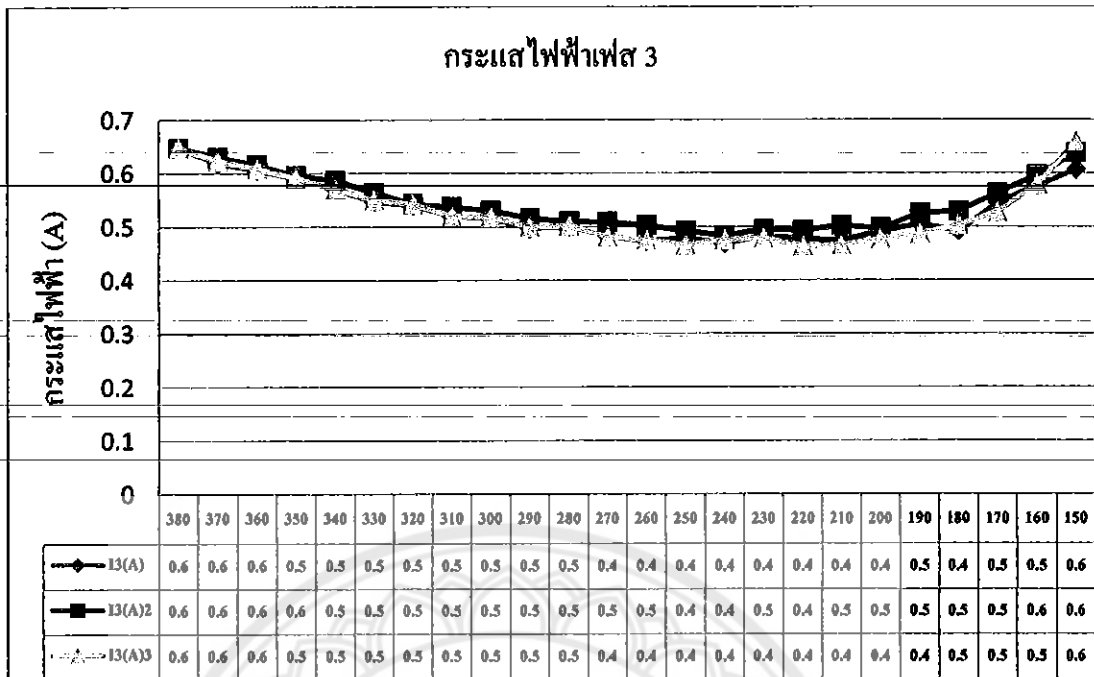
รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบความเร็วรอบจากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 30% รวมทั้ง 3 ครั้ง



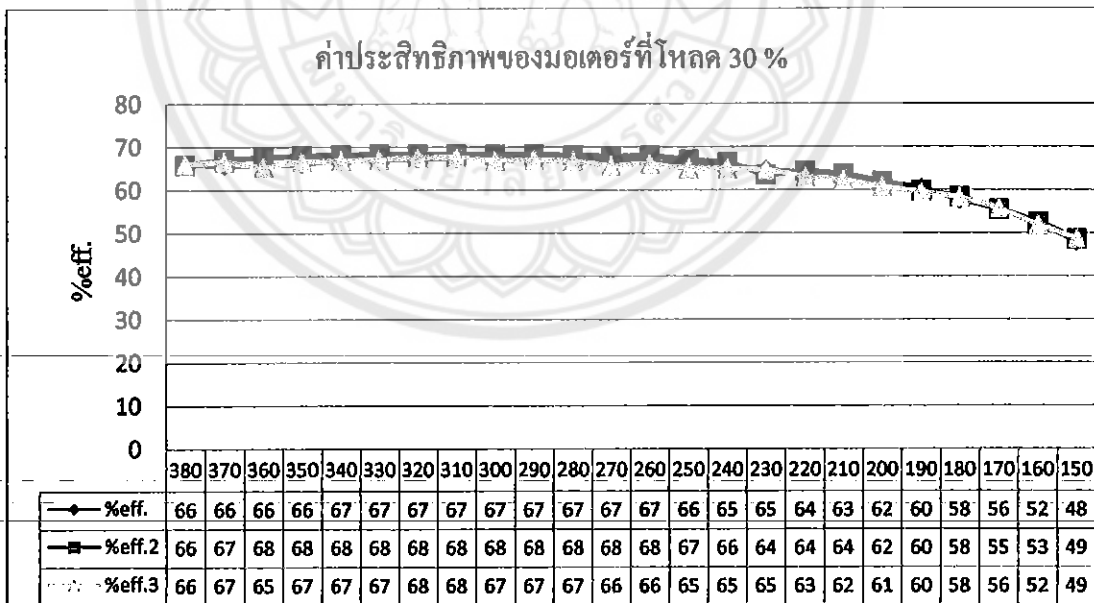
รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 1 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะโหลด 30% รวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 2 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สถานะโหลด 30% รวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.33 เปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่เฟส 3 จากการลดแรงดันไฟฟ้าที่สภาวะโหลด 30% รวมทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.34 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะ โหลด 30% ของ การทดลองทั้ง 3 ครั้ง

จากการทดลองเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะต่อโหลด 30% จากรูปที่ 4.29 พบว่าเมื่อมีการลดแรงดันไฟฟ้าลงกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำใช้ก็จะลดลงตามไปด้วย และเริ่มครั้งที่ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ และค่าของกระแสไฟฟ้าจะลดลงจนถึงช่วงที่กระแสไฟฟ้าครั้งที่คือช่วงแรงดันไฟฟ้า 240 - 210 โวลต์ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.31 - 4.33 และในช่วงที่กระแสไฟฟ้าครั้งที่ความเร็รรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นสังเกตได้จาก รูปที่ 4.30 หลังจากนั้นกระแสไฟฟ้าจะเริ่มเพิ่มขึ้นหลังจากปรับลดแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 210 โวลต์อธิบายได้จากสมการ

$$P = VI \cos \theta$$

จะเห็นได้ว่าหลังจากปรับแรงดันไฟฟ้าลงจากแรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้องการใช้นั้นจะลดลงเรื่อยๆจนถึงแรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ กำลังไฟฟ้าก่อนข้างเริ่มจะคงที่หลังจากปรับแรงดันไฟฟ้าลงอีกสังเกตได้จากรูปที่ 4.29 แสดงว่ากำลังไฟฟ้าในช่วงที่ค่อนข้างคงที่นี้เป็นกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมจะใช้ขับโหลด 30% ของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และในรูปที่ 4.31 - 4.33 เมื่อลดแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 210 โวลต์ กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีการลดแรงดันไฟฟ้าลง แต่มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้องการกำลังไฟฟ้าคงที่ ดังนั้นมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจึงมีความต้องการใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สเตเตอร์มากขึ้น สังเกตได้จากตารางที่ 4.21 - 4.23 ดังนั้นกำลังไฟฟ้าขาออก ที่ได้จึงมีค่าน้อยกว่าช่วงแรงดันไฟฟ้า 240 - 210 โวลต์ ทำให้กำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอที่จะขับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลด 30% ได้ โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สเตเตอร์หาได้จาก

$$P_{scl} = 3(I_1)^2 R_1$$

โดย I_1 คือกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้กับสเตเตอร์ พบว่าหลังจากปรับแรงดันไฟฟ้าลงต่ำกว่า 210 โวลต์ กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแล้วทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สเตเตอร์เพิ่มขึ้นทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้รับกำลังไฟฟ้าไม่พอที่จะขับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลด 30% ได้

จากการทดลองจะเห็นได้ว่า เมื่อต้องขับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลด 30% เพื่อเป็นการลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นลง สามารถเลือกใช้วิธีลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ สามารถหาพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้โดยเปรียบเทียบผลต่างของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ 380 โวลต์ และในช่วงแรงดันไฟฟ้าที่

กระแสไฟฟ้าคงที่คือ 240 - 210 โวลต์ และคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อมีการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำทุกวันวันละ 8 ชั่วโมง ต่อเดือนได้ ดังตารางที่ 4.8 ดังนี้

ตารางที่ 4.8 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงในสภาวะโหลด 30%

ช่วงแรงดัน (V)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลง ต่อชั่วโมง (kW-hr)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อวัน (kW-hr)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงต่อเดือน (kW-hr)
240	0.021	0.168	5.04
230	0.021	0.168	5.04
220	0.024	0.192	5.76
210	0.024667	0.197336	5.92

จากตารางที่ 4.8 พบว่าที่แรงดัน 210 โวลต์ สามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดถึง 5.92 kW-hr ต่อเดือน แต่จากรูปที่ 4.28 จะพบว่าค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์ จะต่ำที่สุดแต่ที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สูงกว่าที่แรงดันไฟฟ้า 210 โวลต์ ถ้าต้องการค่าประสิทธิภาพของ มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ที่แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ ก็สามารลดแรงดันไฟฟ้าได้ถึงแรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ โดยสังเกตจากรูปที่ 4.34 ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แรงดันไฟฟ้า 240 โวลต์ จะใกล้เคียงกับแรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์

ดังนั้นระดับแรงดัน ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สภาวะโหลด 30% คือ 240 โวลต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำในการทำงานใกล้เคียงกับการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ ตามปกติที่ไม่มีการปรับแรงดันไฟฟ้าลง และสามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 5.04 kW-hr ต่อเดือน

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลองในโครงการนี้ พร้อมเสนอแนะแนวทางในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองทั้ง 2 ประเภท คือ การเดินเครื่องพัดลมไฟฟ้า 1 เฟสและมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ในส่วนของการเดินเครื่องพัดลมนั้น ได้ทำการทดลอง 2 กรณีคือ กรณีที่ 1 การเดินเครื่องพัดลมจากแรงดันไฟฟ้า 80 V แล้วปรับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 V จนถึง 240 V และกรณีที่ 2 คือ เดินเครื่องพัดลมที่แรงดัน 240 V แล้วปรับแรงดันไฟฟ้าลดลงครั้งละ 10 V จนถึง 80 V พบว่าทั้งสองกรณีมีค่าใกล้เคียงกันมากคือ ในช่วงแรงดันไฟฟ้า 80 – 190 V ค่าของกระแสไฟฟ้า ความเร็วลม ความเร็วรอบของพัดลมและกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามค่าของแรงดันที่เพิ่มขึ้น แต่กำลังไฟฟ้าจะคงที่ ระหว่างช่วงแรงดันไฟฟ้า 190 - 240 V ต่างจากกระแสไฟฟ้าที่จะลดลงเรื่อยๆจนถึง 240 V เนื่องจากความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าคงที่แต่กำลังไฟฟ้ามักมีการปรับเพิ่มขึ้นจึงทำให้กระแสไฟฟ้าน้อยลงและในส่วนของความเร็วรอบของพัดลมและความเร็วลมนั้นจะเพิ่มขึ้นตามระดับแรงดันที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นในการเลือกใช้ระดับแรงดันไฟฟ้า ควรเลือกตามความเร็วลมที่ต้องการในขณะนั้น เพื่อให้พัดลมใช้กำลังไฟฟ้าน้อยลงและได้ความเร็วลมตามความต้องการใช้ได้ ทำให้สามารถลดการใช้พลังงานได้ในระดับหนึ่ง ในส่วนของการทดลองปรับลดแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟส ให้ขับโหลดในทีสถานะโหลด 0% , 10% , 20% และ 30% นั้น ผลที่ได้จากการทดลองที่สถานะโหลดต่างๆนั้น จะมีระดับแรงดันไฟฟ้าที่ปรับลดลงแล้วจะมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดน้อยลงและเหมาะสมกับแต่ละขนาดของโหลดและไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของมอเตอร์เปลี่ยนแปลง ฉะนั้นในการเลือกใช้ระดับแรงดันไฟฟ้า เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งานในแต่ละสถานะโหลดและความเร็วรอบที่ต้องการใช้งาน ทำให้สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ในระดับหนึ่ง

5.2 ประเมินผล

จากการดำเนินงานโครงการเมื่อเทียบกับวัตถุประสงค์ ได้ผลดังนี้

5.2.1 สามารถต่อวงจรการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำและพัฒมได้

5.2.2 สามารถบันทึกผล และวัดค่ากำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความเร็วรอบและความเร็วลมของพัฒมได้

5.2.3 สามารถบันทึกผลและวัดค่ากำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้

5.2.4 สามารถทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ภายในของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้

5.2.5 สามารถวิเคราะห์ผลของการปรับลดแรงดันไฟฟ้าในการเดินเครื่องพัฒมสำหรับการประหยัดพลังงานได้

5.2.6 สามารถวิเคราะห์ผลของการปรับลดแรงดัน ไฟฟ้าที่สภาวะโหลดต่างๆ ในการเดินเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสำหรับการประหยัดพลังงานได้

5.3 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข

5.3.1 ปัญหาเกิดจากคีมมอเตอร์ที่ใช้ต่อเป็น โหลด เมื่อเดินเครื่องให้หมุนกลับทางกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเป็นเวลานานและขนาดโหลดสูงๆจะเกิดความร้อนมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพของคีมมอเตอร์ลดลงมาก ทำให้ผลที่ได้จากการทดลองคลาดเคลื่อนมาก โดยเฉพาะที่โหลดสูงๆ จึงไม่สามารถทดลองเก็บค่าการทดลองที่โหลดสูงกว่า 30 % ได้ ดังนั้นเมื่อทดลองเสร็จในแต่ละรอบจะต้องพักให้คีมมอเตอร์เย็นลงก่อน จึงจะสามารถทดลองต่อได้

5.3.2 ปัญหาเกิดจากอุปกรณ์ในการทดลองมีประสิทธิภาพไม่ค่อยดีนัก ทำให้ได้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงไปบ้าง ดังนั้นก่อนใช้ต้องมีการทดสอบอุปกรณ์แต่ละตัวเสียก่อน

5.3.3 ปัญหาเกิดจากเครื่องมือวัด Power & Harmonics Analyzer เป็นเครื่องมือวัดแบบใหม่จึงต้องใช้เวลาในการศึกษาการใช้งานพอสมควร

5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

ผลที่ได้จากการศึกษาและทดลองใน โครงการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ใน โรงงานอุตสาหกรรมหรือครัวเรือนได้ โดยเมื่อมอเตอร์ขับโหลดน้อยๆหรือถ้ามีความจำเป็นที่ จะต้องเดินเครื่องมอเตอร์ตัวเปล่า ก็สามารถลดการใช้พลังงานได้โดยการปรับลดแรงดันลงในระดับ ที่เหมาะสมกับแต่ละขนาดโหลดหรือเหมาะสมกับระดับการทำงานที่ความต้องการที่ต่อการใช้ใน ขณะนั้น สำหรับการทดลองในโครงการนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการลดพลังงานทั้งใน โรงงานอุตสาหกรรมและครัวเรือนได้



เอกสารอ้างอิง

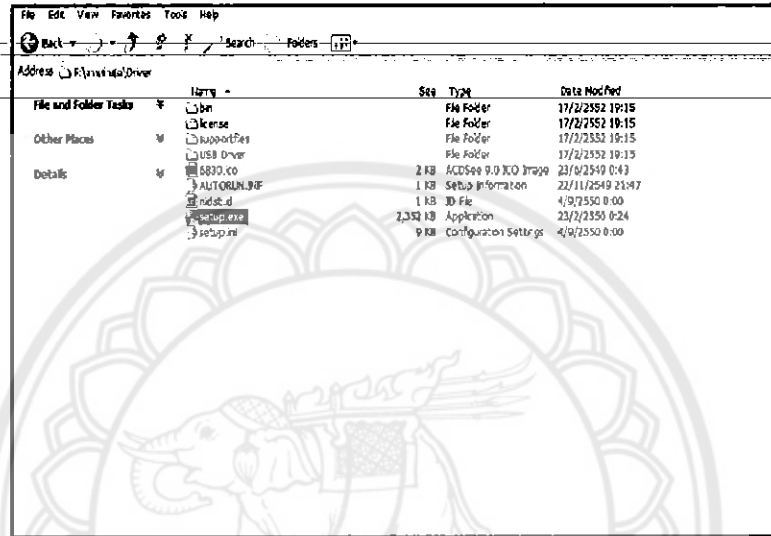
- [1] Stephen J. Chapman. **Electric Machinery Fundamentals**. 4th Ed. Singapore : McGraw-Hill. 2005.
- [2] มงคล ทองสงคราม. **เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ**. กรุงเทพมหานคร : รามการพิมพ์. 2535.
- [3] วิชระ มิ่งวิทิตกุล. **กระบวนการและเทคโนโลยีการจ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม**. กรุงเทพมหานคร : ไรไทย-เพรส จำกัด. 2548.
- [4] บทที่2. ” [Online]. Available : www.ee.mut.ac.th. 2552.
- [5] ประเภทของการสตาร์ท. ” [Online]. Available : <http://montri.rmutl.ac.th/electrical/e09/starting.html>. 2552.
- [6] <http://dir.indiamart.com/impcat/single-phase-ac-induction-motor.html>, สืบค้นวันที่ 20 ก.พ. 52
- [7] www.answers.com/topic/motor, สืบค้นวันที่ 20 ก.พ. 52
- [8] <http://www.gemotors.com.br/products/motors/squirrel>, สืบค้นวันที่ 20 ก.พ. 52
- [9] flickr.com/photos/12359558@N00/103635876, สืบค้นวันที่ 20 ก.พ. 52



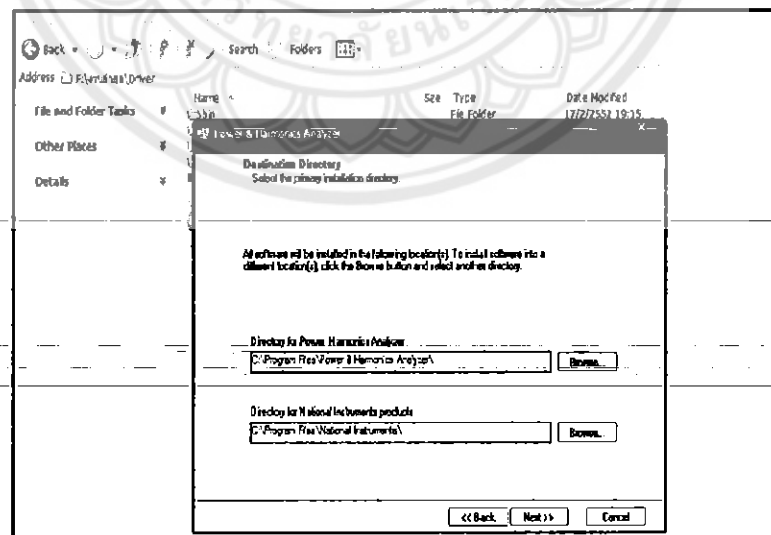
ภาคผนวก

ขั้นตอนการติดตั้งโปรแกรม Power & Harmonics Analyzer

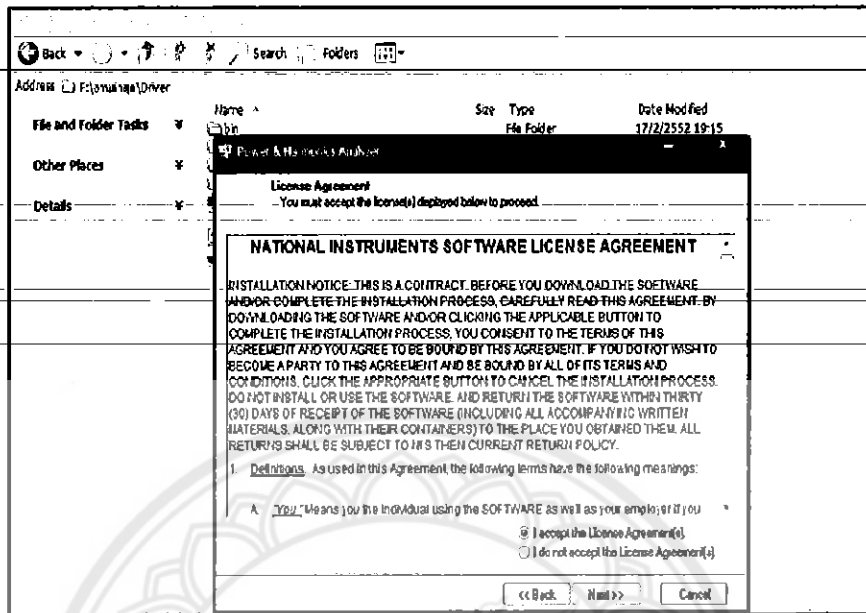
1. ใส่แผ่นซีดีรอมลงในเครื่องคอมพิวเตอร์
2. เปิดข้อมูลเลือก setup.exe



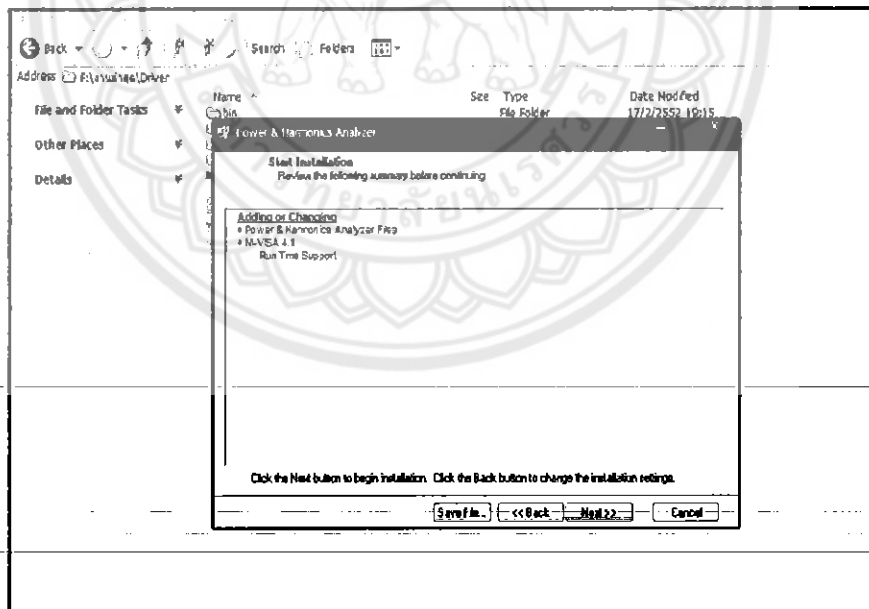
3. คลิกที่ Next



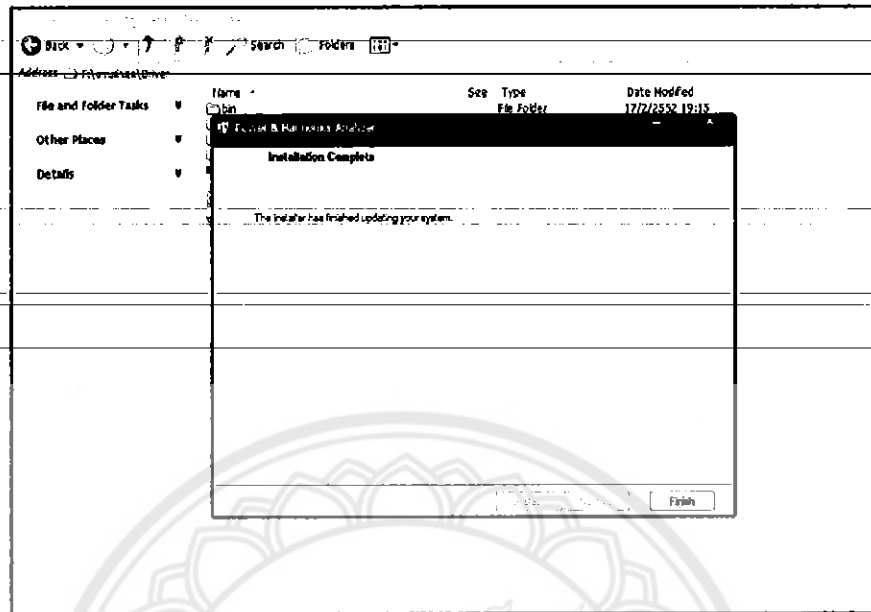
4. คลิกที่ I accept the License Agreement(s). แล้วคลิก Next



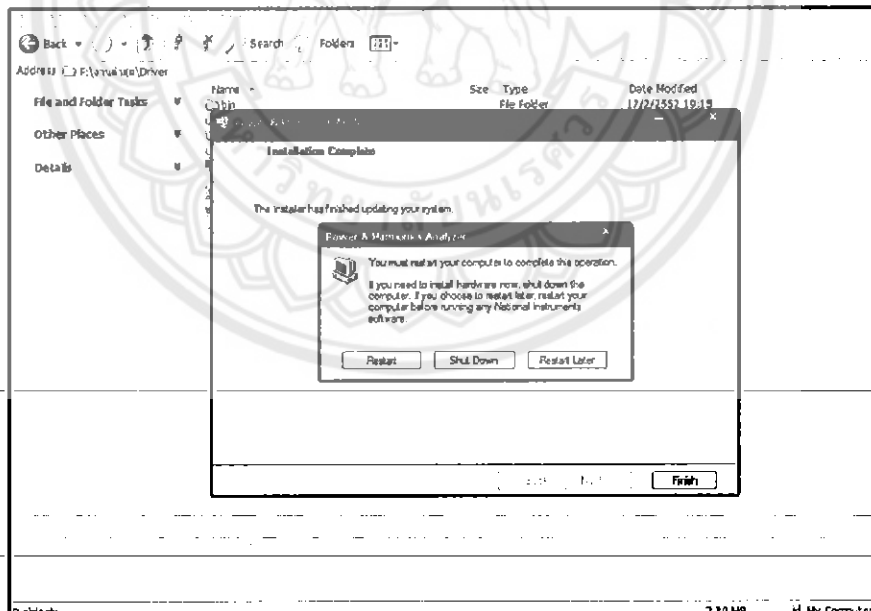
5. คลิกที่ Next



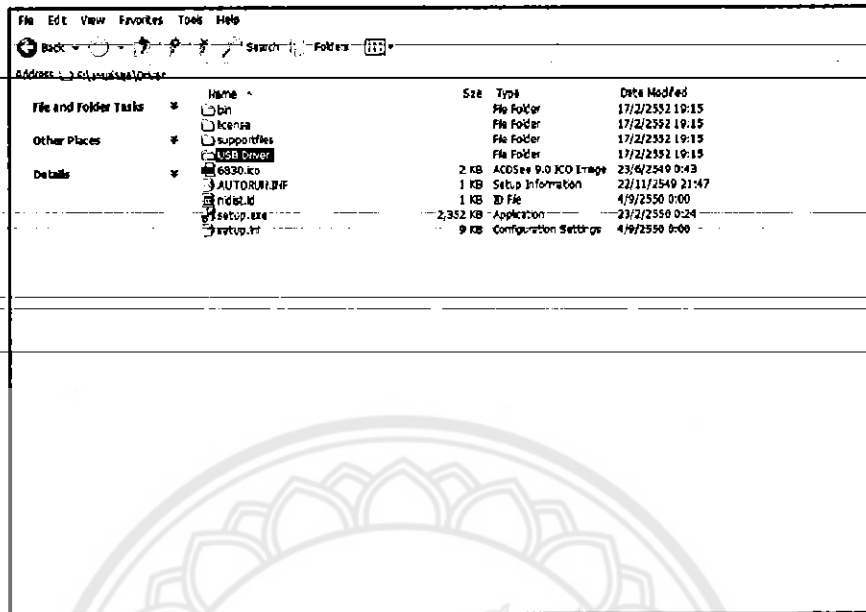
6. คลิกที่ Finish



7. คลิกที่ Restart



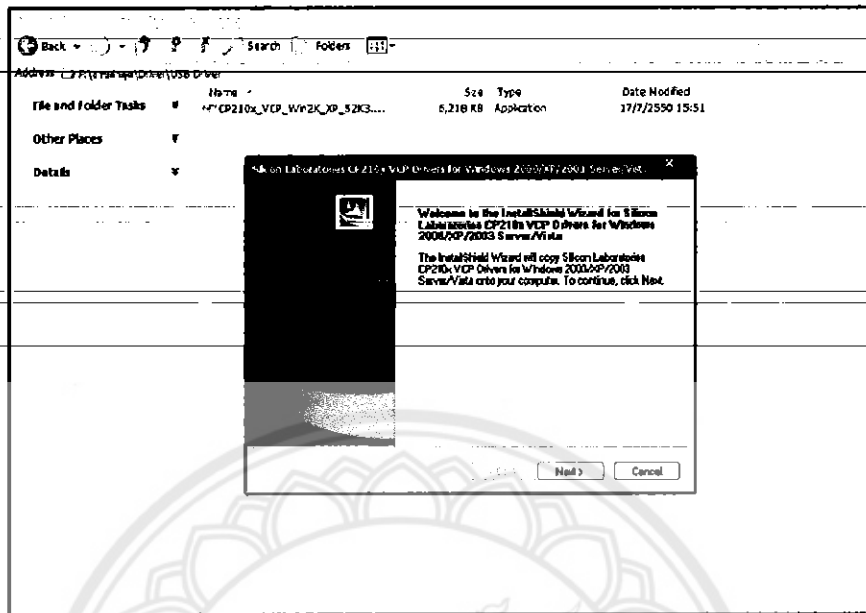
8. หลังจากทีคอมพิวเตอร์ Restart เลือก USB Driver



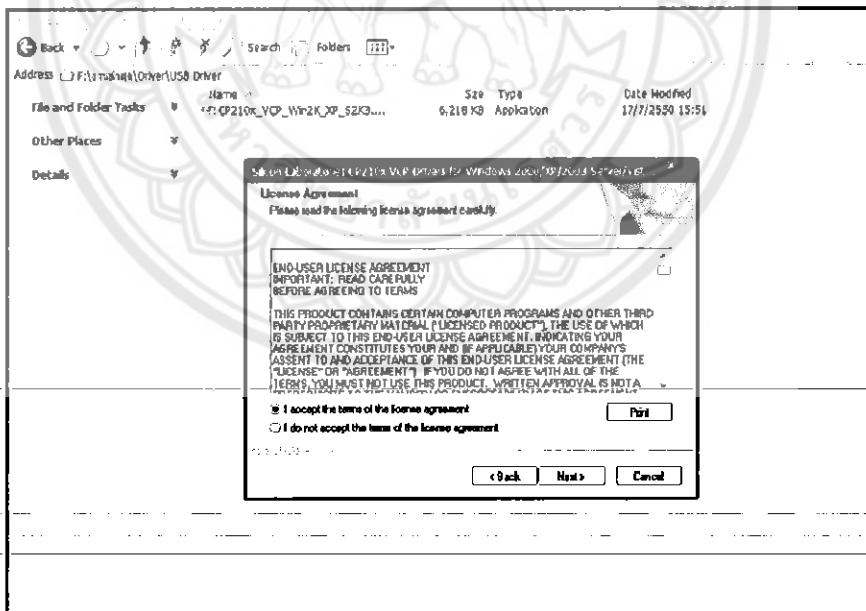
9. ดับเบิลคลิกที่ CP210x_VCP_Win2K_XP_S2K3.exe



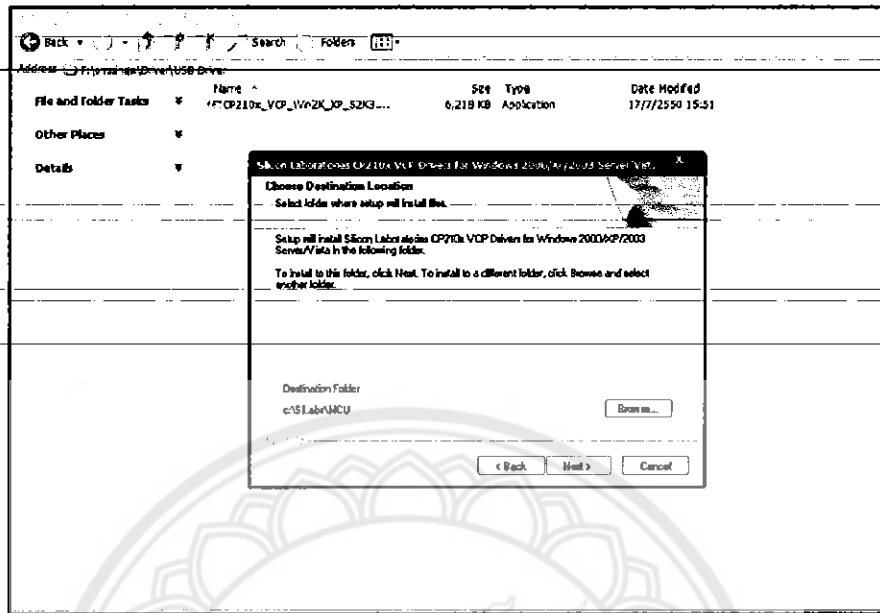
10. คลิกที่ Next



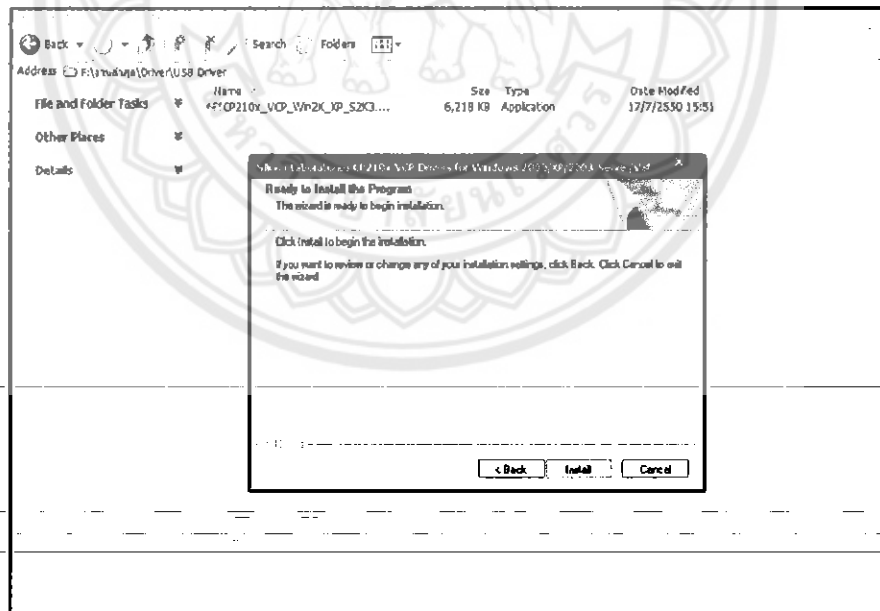
11. คลิกที่ I accept the terms of the License Agreement แล้วคลิกที่ Next



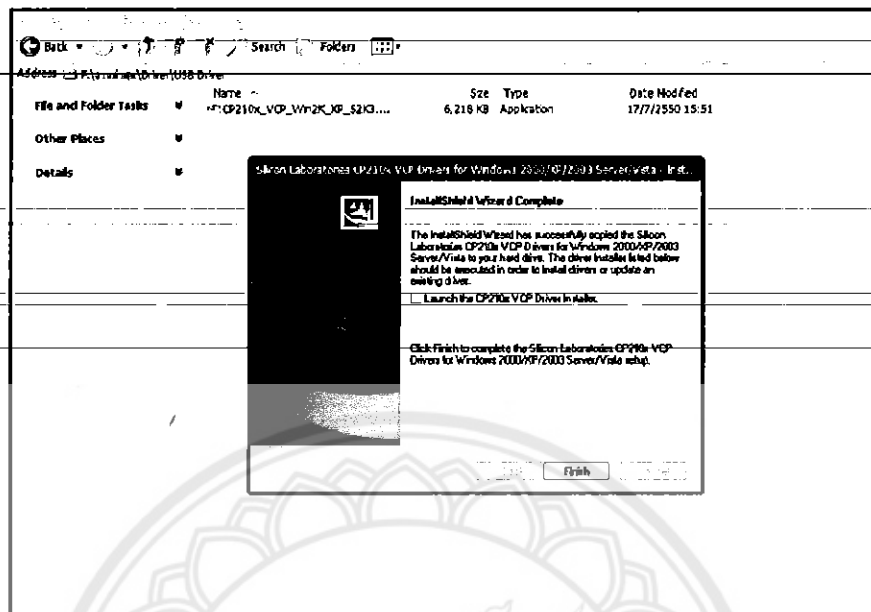
12. คลิกที่ Next



13. คลิกที่ Install



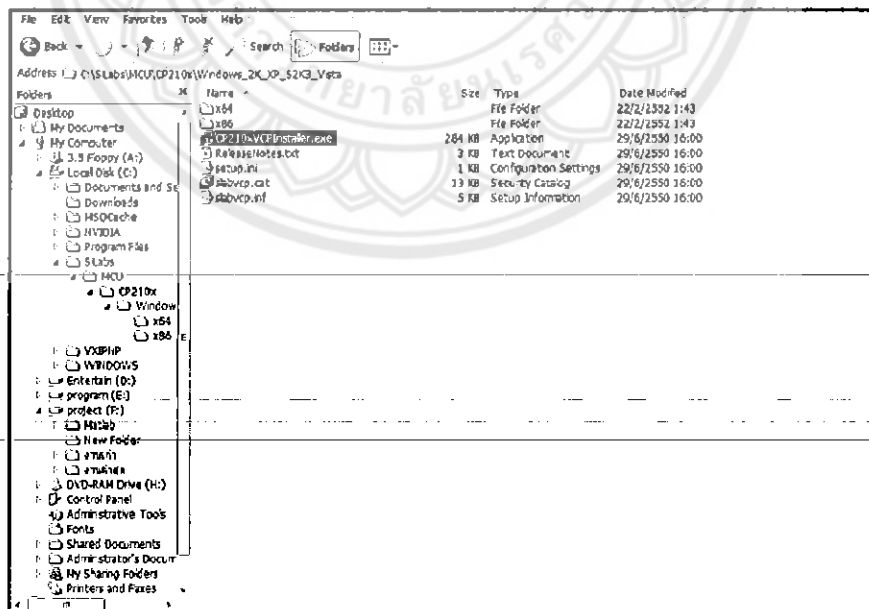
14. คลิกที่ Finish



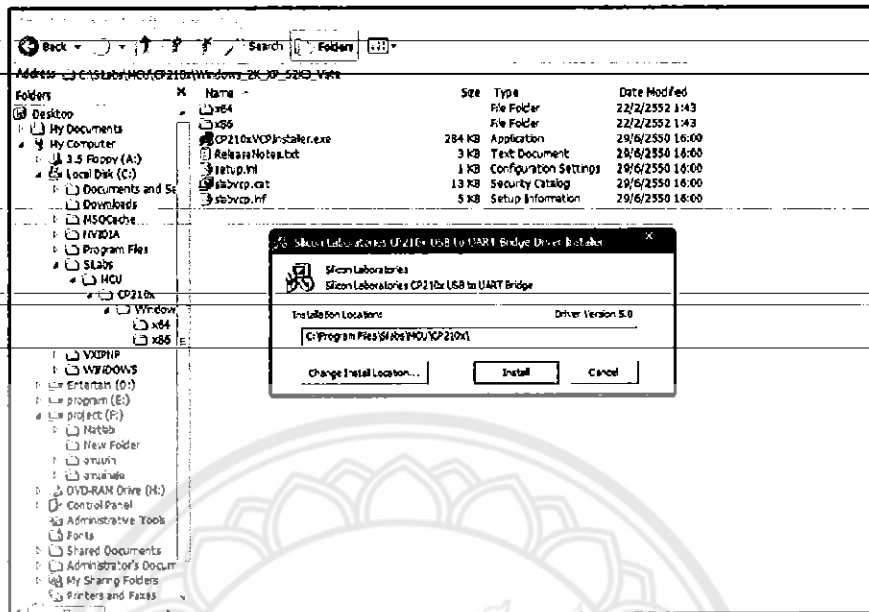
15. ต่อสาย USB interface cable ที่ คอมพิวเตอร์ เครื่องจะทำการ Detect อัตโนมัติ

16. กำหนด Driver ของ USB interface cable ซึ่งอยู่ที่

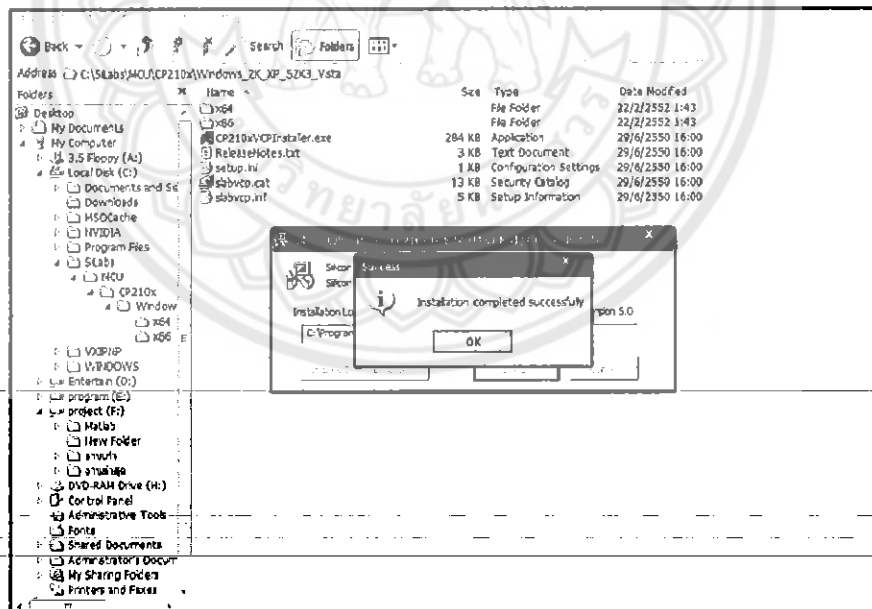
C:\SiLabs\MCU\CP210x\Windows_2K_XP_S2K3_Vista



17. กติกที่ Install



18. ให้คอมพิวเตอร์ทำการติดตั้ง USB interface cable จนจบขั้นตอน



19. คลิกขวาที่ My Computer แล้วคลิกที่ Properties

Open

Explore

Disk Cleanup

Control Panel

Device Manager

Search...

Manage

regedit

Copy To...

Move To...

Scan for viruses

Map Network Drive...

Disconnect Network Drive...

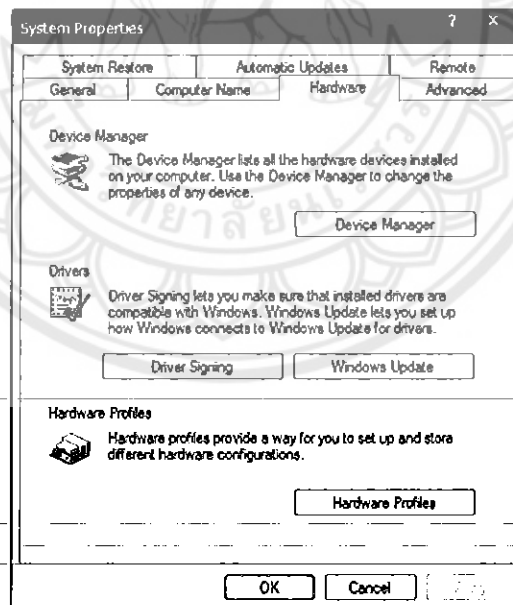
Create Shortcut

Delete

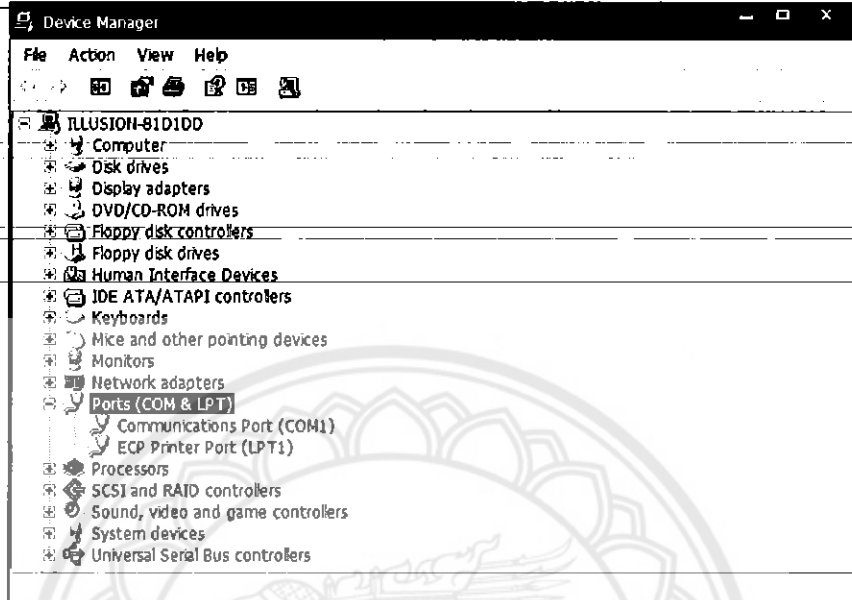
Rename

Properties

20. เลือกที่ Hardware แล้วคลิกที่ Device Manager



21. ตรวจสอบว่าคอมพิวเตอร์กำหนดให้ USB interface cable เป็น Com port อะไร
ซึ่งเราจะใช้ในการติดต่อกับ Software



ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นายวิรัตน์ สังกรณีย์
ภูมิลำเนา 199 ม.1 ต. นาสุ่น อ. ศรีเทพ จ. เพชรบูรณ์
67170

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนาสุ่นวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

E-mail : wirat_civic@hotmail.com



ชื่อ นายทวัช เวียงวิเศษ
ภูมิลำเนา 128 ม.1 ต. บ้านเป้า อ. หนองสูง จ. มุกดาหาร
49160

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองสูงสามัคคีวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

E-mail : tawat11@gmail.com