

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพิจารณาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ขณะทำงานภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ

Efficiency Consideration of Induction Motor

Operating Under Various Conditions



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2550

การพิจารณาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ขณะทำงานภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ

Efficiency Consideration of Induction Motor

Operating Under Various Condition



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ชัยวุฒิ

ฉัตรอุทัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

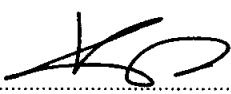
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพิจารณาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะทำงานภายใต้เงื่อนไขต่างๆ

ผู้จัดทำ

1. นาย กมล ขจรบุญ
2. นาย กวี พิพัฒน์ผลสกุล
3. นาย คงฤทธิ์ โกมาสถิตย์
4. นางสาว คณนา ใจใหญ่



..........อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยวุฒิ จิตรอุทัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะทำงานภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ

นาย กมล ขจรบุญ

นาย กวี พิพัฒน์ผลสกุล

นาย คงฤทธิ์ โกมาสถิตย์

นางสาว คณนา ใจใหญ่

รศ.ดร. ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะใช้งานจริง ด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ วิธีใช้ค่าสลิป และวิธีใช้ค่ากระแส โดยทำการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสองขนาดคือ 0.75 kW และ 2.2 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพล่า ที่สภาวะแรงดันต่างๆ ได้แก่ สภาวะแรงดันสูงกว่าสภาวะปกติ 5 เปอร์เซ็นต์, 10 เปอร์เซ็นต์ สภาวะแรงดันต่ำกว่าสภาวะปกติ 5 เปอร์เซ็นต์, 10 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีการต่างๆ แล้วจึงนำค่าที่ได้จากวิธีการต่างๆ มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ในห้องปฏิบัติการ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเทียบกับค่าในห้องปฏิบัติการ แล้วทำการเขียนโปรแกรมช่วยประเมินค่าประสิทธิภาพเหนี่ยวนำสามเฟส เพื่อหาระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อทำการเปลี่ยนมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมาใช้แทน

Efficiency Consideration of Induction Motor Operating Under Various Conditions

Mr. Kamon Kajonboon

Mr. Kawee Pipatpolsakul

Mr. Kongrit Komastid

Miss Kanana Jaiyai

Assoc.Prof.Dr. Chaiwut Chat-Uthai

2007

ABSTRACT

This thesis studies the consideration of 3-phase induction motor operating under various condition using slip and electric current value by evaluating efficiency of 3-phase induction motor in 0.75 kW and 2.2 kW with the axle torque in various conditions when voltages are higher than the normal condition 5%, 10% and lower than the normal condition 5%, 10%. Then, estimate the efficiency values in mathematical methods and take them compared with the practical values in percent error and code with program to calculate the efficiency values and period of time for paying back when replace with another high efficiency motor.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการรู้สึกซาบซึ้งต่อความกรุณาที่ รศ.ดร.ชัยวุฒิ ฉัตรรุฑ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้กับผู้จัดทำในครั้งนี ถ้าปราศจากท่านเหล่านี้ โครงการนี้ก็คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เบิกใช้เครื่องมือ และผู้จัดทำต้องขอขอบคุณเพื่อนร่วมห้องปฏิบัติการ (Lab) ที่ให้ความช่วยเหลือสำหรับทุกๆ ปัญหาที่เกิดขึ้น

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัดทำต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยส่งเสียเงินทอง ให้ผู้จัดทำเรียนหนังสือจนจบในครั้งนี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ III จออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ.....	4
2.2 โครงสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำเหนี่ยวนำสามเฟส.....	4
2.3 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	5
2.4 วงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	9
2.5 ประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	11
2.5.1 ความสูญเสียในขดลวดทองแดง (Copper Loss: P_{cu}).....	12
2.5.2 ความสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss: P_c).....	12
2.5.3 ความสูญเสียจากแรงเสียดทานและลม (Friction and Windage Loss).....	13
2.5.4 ความสูญเสียปลิกย่อยเนื่องจากโหลด (Stray-load Loss).....	13
2.6 Over-Under Voltage Condition.....	14
2.7 วิธีหาค่าประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงาน.....	15
2.7.1 วิธีป้ายพิกัด (Nameplate Method).....	15
2.7.2 วิธีการใช้ค่าสลลิปแบบที่ 1 (Slip Method I).....	15
2.7.3 วิธีค่าสลลิปแบบที่ 2 (Slip Method II).....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ IV ให้อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4	วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 1 (Current Method I).....	17
2.7.5	วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 2 (Current Method II).....	17
2.7.6	วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 3 (Current Method III).....	18
2.7.7	วิธีการวัดแรงบิดที่เพลลา (Shaft Torque Method).....	18
2.8	การประหยัดพลังงาน.....	18
2.8.1	การใช้งานมอเตอร์ให้ประหยัดพลังงาน.....	18
2.8.2	การเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานมอเตอร์.....	19
2.8.3	การนำมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมาใช้.....	19
2.8.4	การลดการสิ้นเปลืองพลังงาน.....	20
บทที่ 3 การทดสอบหาค่าประสิทธิภาพในห้องปฏิบัติการ		
3.1	บทนำ.....	21
3.2	การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในสภาวะปกติ.....	21
3.2.1	วิธีการทดลอง.....	22
3.2.2	ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	23
3.3	การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพด้วยการใช้วงจรสมมูล.....	26
3.4	วิเคราะห์ผลเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ สภาวะแรงดันปกติ.....	28
3.4.1	วิเคราะห์ผลค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW.....	28
3.4.2	วิเคราะห์ผลค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 2.2 kW.....	30
3.5	การทดลองมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในสภาวะแรงดันเกินและแรงดันต่ำกว่า สภาวะปกติ.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ **▼** ้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าและต่ำกว่าสภาวะปกติ.....	33
3.5.2 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าและต่ำกว่าสภาวะปกติ.....	37
3.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในสภาวะแรงดันเกินและแรงดันต่ำกว่าสภาวะปกติ.....	41
3.6.1 วิเคราะห์ผลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW.....	41
3.6.2 วิเคราะห์ผลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW.....	43
3.7 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	45
บทที่ 4 วิธีการประเมินค่าประสิทธิภาพขณะใช้งาน	
4.1 บทนำ.....	46
4.2 ตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพโดยวิธีการต่างๆ.....	46
4.3 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีการต่างๆ ที่สภาวะแรงดันปกติ.....	48
4.4 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีการใช้ค่าสลิป ที่สภาวะแรงดันสูงและต่ำกว่าแรงดันปกติ.....	50
บทที่ 5 โปรแกรมการพิจารณาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเพื่อการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์	
5.1 บทนำ.....	55
5.2 การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ (Replacement motor).....	55
5.2.1 หลักการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	55
5.2.2 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรม.....	56
5.2.3 ปัจจัยที่มีส่วนสำคัญในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	58
5.3 การใช้งานโปรแกรมเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์.....	60
5.4 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมเพื่อการจัดการพลังงาน.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ **VI** จ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1 วิเคราะห์การคืนทุนด้วยวิธีประเมินประสิทธิภาพแบบต่าง.....	65
5.4.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	69
5.5 ผลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	72
บทที่ 6 บทสรุป.....	74
บรรณานุกรม.....	75
ภาคผนวก.....	76
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบที่สภาวะแรงดันสูงและต่ำกว่าสภาวะปกติ	
ที่กำลังที่ได้คงที่.....	77
ภาคผนวก ข วิธีการคำนวณวงจรสมมูล.....	85
ภาคผนวก ค ผลการเลือกข้อมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	88
ภาคผนวก ง ผลการคำนวณด้วยวิธีการต่างๆ.....	89
ประวัติผู้เขียน.....	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ **VII** อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำเหนี่ยวนำสามเฟสชนิดกรงกระรอก.....	4
2.2 ตำแหน่งการวางขดลวดของแต่ละเฟส.....	6
2.3 ผลรวมของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า.....	8
2.4 วงจรสมมูลต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	9
2.5 วงจรสมมูลแบบประมาณของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	11
2.6 แผนภูมิการส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	12
3.1 วงจรการทดสอบมอเตอร์.....	22
3.2 การเปรียบเทียบค่ากระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW.....	28
3.3 การเปรียบเทียบกำลังป้อนเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW.....	28
3.4 การเปรียบเทียบแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW.....	29
3.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW.....	29
3.6 การเปรียบเทียบค่ากระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW.....	30
3.7 การเปรียบเทียบกำลังป้อนเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW.....	30
3.8 การเปรียบเทียบค่าแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW.....	31
3.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW.....	31
3.10 การเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW ที่ค่าแรงบิดคงที่.....	41
3.11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW ที่ค่าแรงบิดคงที่.....	41
3.12 การเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW ที่ค่ากำลังที่ได้คงที่.....	42

3.13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	
ขนาด 0.75 kW ที่ค่ากำลังที่ได้คงที่.....	42
3.14 การเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	
ขนาด 2.2 kW ที่ค่าแรงบิดคงที่.....	43
3.15 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	
ขนาด 2.2 kW ที่ค่าแรงบิดคงที่.....	43
3.16 การเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	
ขนาด 2.2 kW ที่ค่ากำลังที่ได้คงที่.....	44
3.17 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	
ขนาด 2.2 kW ที่ค่ากำลังที่ได้คงที่.....	44
4.1 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของมอเตอร์ขนาด 0.75 kW ที่สภาวะปกติ.....	48
4.2 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ที่สภาวะปกติ.....	49
4.3 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	
ขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์.....	50
4.4 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	
ขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์.....	50
4.5 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	
ขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์.....	51
4.6 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	
ขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์.....	51
4.7 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	
ขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์.....	52
4.8 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	
ขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์.....	52
4.9 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	

ขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์.....	53
4.10 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	
ขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์.....	53
5.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์	
(Flow chart)	56-57
5.2 หน้าแรกของโปรแกรม (Start form).....	60
5.3 หน้าหลักของโปรแกรม (Main form).....	61
5.4 ข้อมูลที่ป้อนมีความถูกต้อง.....	61
5.5 หน้าการคืนทุน (Payback form).....	62
5.6 การคำนวณการคืนทุนโดยวิธีป้อนค่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสใหม่ (User).....	63
5.7 การคำนวณการคืนทุนโดยวิธีเลือกฐานข้อมูล (Catalog).....	64
5.8 ฐานข้อมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูง.....	64
ค-1 การเปรียบเทียบผลทดสอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW.....	88
ค-2 การเปรียบเทียบผลทดสอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 2.2 kW.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ **x** ฝังอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการทำงาน.....	3
2.1 เปอร์เซนต์ความสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 4 ขั้ว.....	14
2.2 การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะต่างๆ เมื่อแรงดันไฟฟ้าและความถี่ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมีการเปลี่ยนแปลง.....	14
3.1 ป้ายพิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 0.75 kW.....	23
3.2 ป้ายพิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 2.2 kW.....	23
3.3 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 0.75 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันปกติ.....	24
3.4 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันปกติ.....	25
3.5 บันทึกผล No Load Test และ Block Rotor Test สำหรับ มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW.....	26
3.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW.....	26
3.7 บันทึกผลสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW.....	27
3.8 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW.....	27
3.9 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 0.75 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10%.....	33
3.10 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 0.75 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5%.....	34
3.11 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 0.75 kW	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ **XI** อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5%.....	35
3.12 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 0.75 kW	
ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10%.....	36
3.13 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 2.2 kW	
ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10%.....	37
3.14 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 2.2 kW	
ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5%.....	38
3.15 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 2.2 kW	
ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5%.....	39
3.16 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 2.2 kW	
ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10%.....	40
4.1 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาด 0.75 kW	
ในสภาวะปกติ (220 โวลต์).....	48
4.2 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาด 2.2 kW	
ในสภาวะปกติ (220 โวลต์).....	49
5.1 ข้อมูลที่ป้ายพิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (Nameplate data).....	65
5.2 ข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงาน (Field data).....	65
5.3 เปรียบเทียบวิธีการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีต่าง ๆ.....	65
5.4 เปรียบเทียบการคำนวณด้วยวิธีการประเมินประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ	
ของตัวอย่างที่ 1.....	66
5.5 ข้อมูลที่ป้ายพิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (Nameplate data).....	67
5.6 ข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงาน (Field data).....	67
5.7 เปรียบเทียบวิธีการประเมินประสิทธิภาพแบบต่าง ๆ.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ **XII** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.8 เปรียบเทียบการคืนทุนด้วยวิธีการประเมินประสิทธิภาพแบบต่างๆ	
ของตัวอย่างที่ 2.....	68
5.9 ข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ใช้ในการเปรียบเทียบ.....	69
5.10 ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส.....	70
5.11 ผลวิเคราะห์การคืนทุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสดัวที่ 1.....	71
5.12 ผลวิเคราะห์การคืนทุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสดัวที่ 2.....	71
5.13 ผลวิเคราะห์การคืนทุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสดัวที่ 3.....	72
5.14 ผลของชั่วโมงการทำงานต่อปีที่มีต่อการคืนทุน.....	73
ก-1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้).....	77
ก-2 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้).....	78
ก-3 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้).....	79
ก-4 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้).....	80
ก-5 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้).....	81
ก-6 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้).....	82
ก-7 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 5 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้).....	83
ก-8 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้).....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ XIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-1 ผลการคำนวณวงจรสมมูล.....	87
ง-1 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟสขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์.....	89
ง-2 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟสขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์.....	89
ง-3 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์.....	90
ง-4 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์.....	90
ง-5 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์.....	91
ง-6 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์.....	91
ง-7 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์.....	92
ง-8 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์.....	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ **xiv** อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจัดว่ามีความใกล้ชิดและคุ้นเคยกับอุตสาหกรรมทั่วไปเป็นอย่างมาก ทั้งในอุตสาหกรรมในประเทศหรือต่างประเทศไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กหรือว่าอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งในชีวิตประจำวันสำหรับวิศวกรไฟฟ้ากำลังจึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เลยที่จะต้องเจอกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมีทั้งขนาดเล็ก (แรงม้าต่ำ) และขนาดใหญ่ (แรงม้าสูง) ซึ่งมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น โรเตอร์แบบกรงกระรอก (squirrel-cage type) และโรเตอร์แบบขดลวดพัน (wound rotor type) เป็นต้น ซึ่งมอเตอร์แต่ละตัวย่อมมีลักษณะและความแตกต่างกันไปตามการออกแบบของผู้ผลิต โดยผู้ใช้จะรู้ได้อย่างไรว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตัวนั้นดีหรือไม่ดีได้อย่างไร มอเตอร์นั้นมีการใช้งานที่คุ้มกับการลงทุนหรือไม่ และถ้าต้องมีการเลือกที่จะเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่มาใช้งานจะคุ้มกับการลงทุนหรือไม่และจะมีระยะเวลาคุ้มทุนเมื่อไร ดังนั้นการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส จึงเป็นสิ่งหนึ่งที่สามารถบ่งชี้พฤติกรรมของมอเตอร์ตัวนั้นๆ ได้ว่ามีการทำงานที่คุ้มกับการลงทุนหรือไม่ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นการหาค่าประสิทธิภาพเมื่อมอเตอร์ตัวนั้นอยู่ในอุตสาหกรรมเป็นสิ่งที่เรียกว่าแทบจะทำการหาค่าประสิทธิภาพไม่ได้เลย เพราะจะต้องมีการถอดมอเตอร์ตัวที่ต้องการจะทำการหาค่าประสิทธิภาพออกจากการใช้งานในระบบการผลิต แล้วนำไปทดสอบหาค่าประสิทธิภาพในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงมีการพิจารณาเลือกเทคนิคในการประเมินหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเหนี่ยวนำขณะทำงานอยู่ในอุตสาหกรรม (On Site) โดยจะทำการประเมินด้วยวิธีการเช่น ใช้ค่าความเร็ว (Slip Method) ใช้ค่ากระแส (Current Method) และนำมาทำการเปรียบเทียบกับหาค่าประสิทธิภาพในห้องปฏิบัติการ (Shaft Torque Method) เพื่อให้ได้การประเมินค่าประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด (ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ) เราจำเป็นต้องศึกษาว่าวิธีไหนเหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาวิเคราะห์ค่าของประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส และแต่ละวิธีที่นำมาใช้ในการประเมินค่าประสิทธิภาพนั้นมีความเหมาะสมกับการทำงานในช่วงไหนเนื่องจากแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสีย

ทั้งนี้เพราะค่าประสิทธิภาพที่ได้เป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งนำมาพิจารณาการตัดสินใจเลือกซื้อมอเตอร์ตัวใหม่ หรือการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม โดยหัวใจหลักของการพิจารณาค่าประสิทธิภาพคือสามารถช่วยในการบริหารจัดการการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพราะการจัดการพลังงานขณะนี้กำลังเป็นสิ่งจำเป็นและเป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติ ด้วยวิธีการคิดจุดคุ้มทุนโดยนำหลักการทางเศรษฐศาสตร์มาวิเคราะห์ซึ่งเป็นวิธีการที่มีการใช้งานจริงในปัจจุบันนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงาน และคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส
2. เพื่อศึกษาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงานที่แรงดันพิกัด และที่สภาวะระดับแรงดันสูงหรือต่ำกว่าที่พิกัด
3. เพื่อศึกษาวิธีการประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสด้วยเทคนิคการทดสอบแบบต่างๆ
4. เพื่อศึกษาวิธีการจัดการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสอย่างประหยัด

1.3 ขอบเขตของและข้อกำหนดของโครงการ

1. ทำการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 2 ขนาด ได้แก่ 0.75 kW และ 2.2 kW
2. ทำการทดสอบผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในขณะที่เกิดสภาวะแวลต์ลอมที่ผิดปกติ (Over-Under Voltage)
3. ทำการประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสทั้งในห้องปฏิบัติการ และขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสทำงานในสภาพแวลต์ลอมจริง
4. ทำการเขียนโปรแกรมช่วยในการประเมินค่าประสิทธิภาพและการหาระยะเวลาในการคืนทุน ในกรณีที่มีการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ใหม่

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ทำการประเมินค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีการต่างๆ ได้แก่ วิธีวงจรมุมูล, การใช้แรงบิดที่เพลา (Shaft Torque Method), การใช้ค่าสลลิป (Slip method) และการใช้ค่ากระแส (Current Method)
2. ทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่ได้จากวิธีการต่างๆ ข้างต้น

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ศึกษาและทบทวนทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้อง

วางแผนการทำงาน แสดงในตารางที่ 1.1

ทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

วิเคราะห์ผลการทดลอง

อภิปรายผลการทดลอง

รายงานและวิทยานิพนธ์

เอกสารอ้างอิง 1.1 แผนการทำงาน
เอกสารอ้างอิง 1.1 แผนการทำงาน เป็นการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Jun	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar
Study and review Theory	←→									
Planning Scheme	←→									
Setting and test several motor		←→	←→	←→	←→	←→	←→			
Analysis results				←→	←→	←→	←→	←→		
Discussion					←→	←→	←→	←→		
Reports and thesis							←→	←→	←→	←→

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจหลักการทำงาน และคุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสได้เป็นอย่างดี
2. เข้าใจผลกระทบต่อค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงานที่แรงดันพิกัด และที่สภาวะระดับแรงดันสูงหรือต่ำกว่าที่พิกัด
3. เข้าใจวิธีการประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะที่มอเตอร์ทำงานในสภาพแวดล้อมจริงด้วยเทคนิคการทดสอบแบบต่างๆ ได้
4. เข้าใจวิธีการจัดการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสอย่างประหยัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน ตลอดจนชนิด โครงสร้าง ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส และทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่จำเป็นกับโครงงานนั้นประกอบไปด้วย หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ทฤษฎีสนามแม่เหล็กหมุน วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส วิธีการคำนวณค่าพารามิเตอร์ และวิธีการประเมินหาค่าประสิทธิภาพต่างๆ ในขณะที่มอเตอร์ทำงานอยู่

2.2 โครงสร้างมอเตอร์เหนี่ยวนำเหนี่ยวนำสามเฟส [1]



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำเหนี่ยวนำสามเฟสชนิดกรงกระรอก

โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ดังภาพที่ 2.1 นั้นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) และส่วนที่หมุน (Rotor) โดยสเตเตอร์นั้นจะมีหน้าที่ยึดขดลวดอาร์มาเจอร์ที่บรรจุอยู่ในร่องสลีต ทำด้วยแผ่นลามิเนตบางๆ อัดเป็นรูปทรง และโรเตอร์นั้นจะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage) และแบบขดลวดพันรอบโรเตอร์ (Wound Rotor) ซึ่งแบบกรงกระรอกนั้นจะมีแท่งตัวนำ (Rotor Bar) คล้ายกรงกระรอกฝังตัวอยู่ภายในโรเตอร์ ที่ปลายทั้งสองด้านของแท่งตัวนำถูกลัดวงจรด้วยตัวนำรูปวงแหวน แท่งตัวนำของโรเตอร์มักจะมีลักษณะเฉียงเพราะจะทำให้โรเตอร์หมุนได้ราบเรียบ และลดปัญหาเสียงฮัมของแม่เหล็ก (Magnetic Hum) ส่วนขดลวดแบบพันรอบโรเตอร์นั้นจะต่างจากขดลวดแบบกรงกระรอก คือ มีขดลวดทองแดงพันรอบตัวโรเตอร์ ส่วนปลายของขดลวดนี้จะต่อกับสลีปริ่ง ซึ่งมีแปรงถ่านติดตั้งอยู่ และมีข้อจำกัดคือ โรเตอร์จะต้องมีจำนวนขั้วเท่ากับจำนวนขั้วที่เกิดจากสเตเตอร์

มอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากเป็นมอเตอร์อินดักชันสามเฟส เพราะว่ามีมอเตอร์ชนิดนี้มีราคาไม่แพงมากนัก ต้องการการดูแลรักษาน้อยและมีความเร็วเกือบคงที่ คือ ความเร็วลดลงจากสภาพไม่มีโหลดจนกระทั่งขั้วโหลดเต็มทีเพียงไม่กี่เปอร์เซ็นต์ แต่มีข้อเสียคือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่เสียค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ควบคุมความเร็วได้ยาก
2. ขณะมีโหลดน้อยจะทำงานที่ power factor ต่ำและล่าหลัง
3. กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นหมุน มักจะเป็น 5 เท่าหรือ 7 เท่าของกระแสไฟฟ้าขณะขับโหลดเต็มที่ (หรือกระแสไฟฟ้าที่พิกัด)

2.3 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส [1]- [7]

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าประเภทเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current machine) ที่แปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยอาศัยการป้อนพลังงานไฟฟ้าเข้าทางสเตเตอร์ และส่งผ่านพลังงานไปยังโรเตอร์ผ่านช่องอากาศโดยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่โรเตอร์เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กหมุน

เมื่อทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้กับขดลวดสเตเตอร์จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุน ที่เคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาตามลักษณะการป้อนไฟ 3 เฟสและเนื่องผลรวมของเวกเตอร์ลัพธ์ไม่เป็นศูนย์ จึงส่งผลทำให้มอเตอร์เริ่มหมุน ซึ่งต่างจากมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสที่ไม่สามารถเริ่มต้นหมุนได้เพราะสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนั้นไม่ใช่สนามแม่เหล็กหมุน จึงทำให้โรเตอร์ไม่สามารถเริ่มหมุนได้ เมื่อ ไม่มีแรงบิดเริ่มหมุน ดังนั้นมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวจึงไม่สามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตัวมันเอง เมื่อสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบสามเฟสถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับในขดลวดสเตเตอร์จะสร้างพัลส์ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กขึ้น ซึ่งเสมือนกับมีคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กสองคลื่นที่มีขนาดเท่ากัน แต่หมุนในทิศทางตรงกันข้ามกันด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วซิงโครนัส และคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กทั้งสองนี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสขึ้นในวงจรรโรเตอร์ทำให้สามารถอธิบายหลักการการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสได้

เมื่อขดลวดอาร์มาเจอร์สามเฟส ได้รับค่ากระแสไฟฟ้าสามเฟสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กพัลส์ F_1 ซึ่งมีลักษณะเคลื่อนที่ไปรอบๆ ช่องอากาศด้วยความเร็วซิงโครนัส n_s โดยความเร็วนี้จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าและจำนวนขั้วแม่เหล็กของเครื่องจักรไฟฟ้า

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

โดย f คือ ความถี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์

P คือ จำนวนขั้วของมอเตอร์

ซึ่งสามารถกำหนดทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนนี้ได้โดยการสลับลำดับเฟสของสัญญาณกระแสไฟฟ้าสามเฟสคู่ใดคู่หนึ่ง แ่งตัวนำต่างๆที่วางอยู่บนโรเตอร์จะเกิดการตัดกับสนามแม่เหล็กหมุนนี้โดยจะต้องพิจารณาแนวการตัดสนามแม่เหล็กของแ่งตัวนำในลักษณะแนวการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ แ่งตัวนำจะเกิดการเหนี่ยวนำแรงดันขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_{ind} = (v \times B_s) \cdot l \quad (2.2)$$

โดย v คือ ความเร็วของโรเตอร์

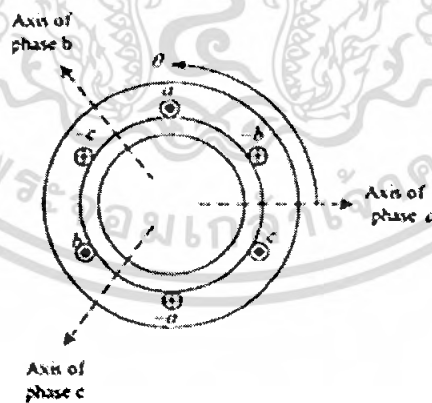
B_s คือ ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กของขดลวดที่สเตเตอร์

l คือ ความยาวของโรเตอร์

ซึ่งทำให้เกิดค่ากระแสเหนี่ยวนำ ในทิศทางพุ่งเข้าเนื่องจากแท่งตัวนำมีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า ค่ากระแสเหนี่ยวนำในแท่งตัวนำนี้จะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น ค่ากระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดแรงทางกลกระทำกับแท่งตัวนำต่างๆในทิศทางที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปในแนวทางเดียวกันกับสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วโรเตอร์ N_r จะเห็นได้ว่าความเร็วโรเตอร์จะไม่สามารถมีขนาดเท่ากับความเร็วซิงโครนัส ทั้งนี้เนื่องจากถ้าความเร็ว $N_r = N_s$ แท่งตัวนำจะมีสภาพอยู่กับที่เมื่อเทียบกับสนามแม่เหล็กหมุนจะทำให้ไม่เกิดแรงดันเหนี่ยวนำเพราะไม่มีการตัดกันของสนามแม่เหล็ก และไม่สามารถเกิดแรงทางกลกระทำกับแท่งตัวนำ ดังนั้นจากหลักการพื้นฐานดังกล่าวจึงเรียกเครื่องจักรกลไฟฟ้านี้ว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

การเกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กหมุนในขดลวดสามเฟส

การวางขดลวดในแต่ละเฟส มีระยะห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า ทำให้มีแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละเฟสต่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า และมีทิศทางการหมุนตามลำดับเฟส (Phase Sequence) A, B และ C ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ตำแหน่งการวางขดลวดของแต่ละเฟส

จากภาพที่ 2.2 กระแสในแต่ละเฟสจะมีค่าเท่ากัน

$$i_a = I_m \cos(\omega t) \quad (2.3)$$

$$i_c = I_m \cos(\omega t - 120^\circ) \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_c = I_m \cos(\omega t - 240^\circ) \quad (2.5)$$

สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetomotive force, mmf) ในแต่ละเฟสมีค่าดังนี้

mmf เฟส a

$$\mathfrak{F}_{a1} = \mathfrak{F}_{a1}^+ + \mathfrak{F}_{a1}^- \quad (2.6)$$

$$\mathfrak{F}_{a1}^+ = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) \quad (2.7)$$

$$\mathfrak{F}_{a1}^- = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta + \omega t) \quad (2.8)$$

mmf เฟส b

$$\mathfrak{F}_{b1} = \mathfrak{F}_{b1}^+ + \mathfrak{F}_{b1}^- \quad (2.9)$$

$$\mathfrak{F}_{b1}^+ = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) \quad (2.10)$$

$$\mathfrak{F}_{b1}^- = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta + \omega t) \quad (2.11)$$

mmf เฟส c

$$\mathfrak{F}_{c1} = \mathfrak{F}_{c1}^+ + \mathfrak{F}_{c1}^- \quad (2.12)$$

$$\mathfrak{F}_{c1}^+ = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) \quad (2.13)$$

$$\mathfrak{F}_{c1}^- = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta + \omega t) \quad (2.14)$$

$$F_{\text{total}} = \frac{3}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) \quad (2.15)$$

โดย \mathfrak{F} คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า

F_{\max} คือ ขนาดของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุด

P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก (Pole)

i_a คือ กระแสของแต่ละเฟส (Amp)

ผลรวมของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าสามเฟส

$$\mathfrak{F}(\theta, t) = \mathfrak{F}_{a1} + \mathfrak{F}_{b1} + \mathfrak{F}_{c1} \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

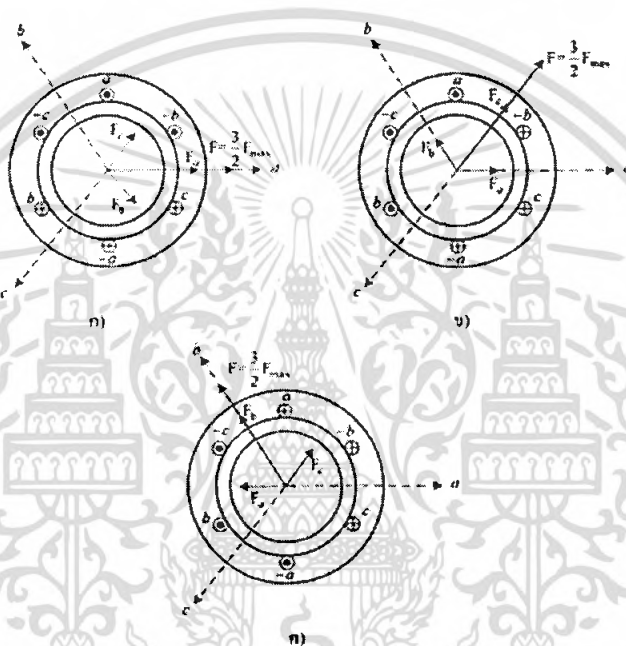
$$\mathfrak{I}(\theta, t) = \mathfrak{I}^+(\theta, t) + \mathfrak{I}^-(\theta, t) \quad (2.17)$$

$$\mathfrak{I}^+(\theta, t) = \mathfrak{I}^+_{a1} + \mathfrak{I}^+_{b1} + \mathfrak{I}^+_{c1} \quad (2.18)$$

$$\mathfrak{I}^-(\theta, t) = \mathfrak{I}^-_{a1} + \mathfrak{I}^-_{b1} + \mathfrak{I}^-_{c1} \quad (2.19)$$

จากผลรวมพบว่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้ามีเฉพาะ Forward Field ซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$\mathfrak{I}^+(\theta, t) = \mathfrak{I}^+_{a1} + \mathfrak{I}^+_{b1} + \mathfrak{I}^+_{c1} \quad (2.20)$$



ภาพที่ 2.3 ผลรวมของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า

ทิศทางของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำบนโรเตอร์นั้น จะมีลักษณะที่ทำให้กระแสเหนี่ยวนำเกิดขึ้นในทิศทางที่ต่อต้านการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้เกิดขึ้นมา โดยการเกิดการเหนี่ยวนำและแรงเคลื่อนนั้นเราจะอาศัยทฤษฎีของเลนซ์ซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรมของการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนได้ดังภาพที่ 2.3

พิจารณาการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะเริ่มหมุน (โรเตอร์เหนี่ยวนำอยู่กับที่เมื่อกำลังจะเริ่มหมุน $N_r = 0$) แท่งตัวนำจะตัดกับสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส และเมื่อโรเตอร์เกิดการหมุน แท่งตัวนำจะตัดกับสนามแม่เหล็กด้วยความเร็ว $N_s - N_r$ จะเห็นได้ว่าขณะที่โรเตอร์เริ่มเดินหมุนจะเกิดการเหนี่ยวนำมากที่สุด และต่อจากนั้นการเหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับความเร็วโรเตอร์ ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามค่าภาระทางกล การเพิ่มขึ้นของกระแสเหนี่ยวนำในลักษณะนี้เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมีความต้องการกำลัง (กระแสไฟฟ้า) ที่เพิ่มขึ้นจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกตามความต้องการของภาระทางกลที่เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ได้ เพราะค่า I_0 มีค่า 30-50 % ของกระแสไฟฟ้าที่พิกัด ทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม X_m เป็นจำนวนมากจึงต้องคงค่า X_m ไว้ในวงจรสมมูล

วงจรสมมูลไฟฟ้าสามารถย้ายข้างรวมกันได้ ถ้าทราบค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ ในทำนองเดียวกันถ้าทราบค่าอัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวดที่สเตเตอร์กับโรเตอร์ (Turn ratio: a) ก็จะย้ายค่าในวงจรสมมูลของขดลวดทั้งสองมารวมกันได้เช่นกัน

ในที่นี้ต้องการย้ายค่าของวงจรเทียบเคียงโรเตอร์มายังวงจรเทียบเคียงสเตเตอร์ซึ่งหาค่าต่าง ๆ ของวงจรสมมูลได้ดังนี้คือ

$$E_2 = aE_2 = E_1 \quad (2.21)$$

โดย $E_2 =$ แรงดันไฟฟ้าขณะโรเตอร์อยู่กับที่ที่ย้ายมายังด้านสเตเตอร์

$$I_2' = \frac{I_2}{a} \quad (2.23)$$

โดย $I_2' =$ กระแสของโรเตอร์ที่ย้ายมายังด้านสเตเตอร์

$$R_2' = a^2 R_2 \quad (2.23)$$

$$X_2' = a^2 X_2 \quad (2.24)$$

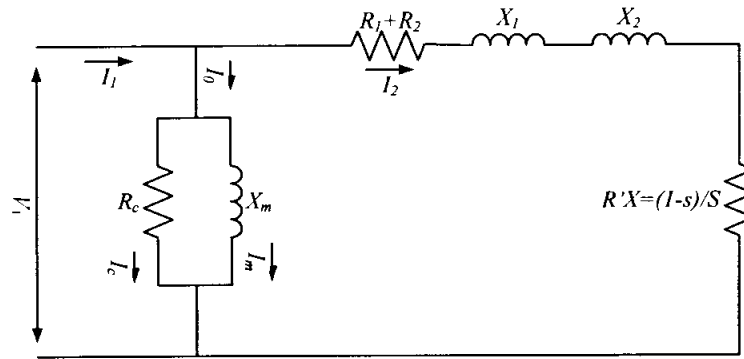
โดย $R_2' =$ ความต้านทานของโรเตอร์ที่ย้ายค่ามายังด้านสเตเตอร์

$X_2' =$ รีแอกแตนซ์ของโรเตอร์ที่ย้ายค่ามายังด้านสเตเตอร์

จากภาพที่ 2.4 ค่าของ $\frac{R_2}{s}$ สามารถแยกเทอมออกได้เป็น

$$\frac{R_2}{s} = R_2 + R_2 \frac{(1-s)}{s} \quad (2.25)$$

นำค่าที่ได้จากสมการที่ (2.21) ถึง (2.25) มาเขียนวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจะได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 2.5 วงจรสมมูลแบบประมาณของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

จากภาพที่ 2.5 ส่วนโหลดความต้านทาน R'_L มีค่าเท่ากับ

$$R'_L = R'_L \frac{(1-s)}{s} \quad (2.26)$$

การหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น R_c , X_m , R_1 , R_2 , X_1 และ X_2 นั้นสามารถหาได้จากการทำ No load Test และ Block Rotor Test ซึ่งการทำทั้งสองวิธีนั้นสามารถกระทำดังนี้

การทำ No load Test นั้นจะต้องทำการถอดมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสออกมาจากการใช้งานตามปกติเพื่อทำการวัด และหลังจากนั้นทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด (220 โวลต์) ให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส แล้วทำการบันทึกค่าต่างๆ เช่น ค่าแรงดัน ค่ากระแส ตัวประกอบกำลัง และกำลังป้อนเข้า

การทำ Block Rotor Test นั้นจะต้องทำการยึดโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสให้หยุดนิ่งอยู่กับที่ แล้วทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่พิกัดให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส แล้วทำการบันทึก ค่าแรงดัน ค่ากระแส ตัวประกอบกำลัง และกำลังป้อนเข้า (ตัวอย่างการคำนวณสามารถดูได้จากการคำนวณหา Equivalent Circuit ในบทที่ 3) (ในการทดสอบ Block Rotor Test นั้น ตามมาตรฐาน ของ IEEE Std 112 นั้นจะต้องทำการทดสอบที่ 25% ของความถี่มูลฐานด้วย)

2.5 ประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส [8],[9]

ประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจะถูกนิยามโดยความสัมพันธ์

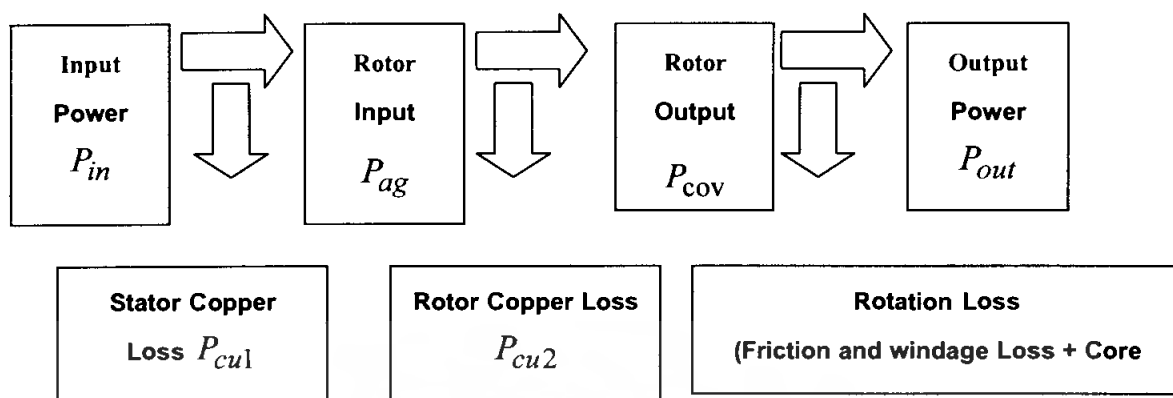
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \quad (2.27)$$

โดยที่ P_{in} เป็นค่ากำลังป้อนเข้าจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า P_{out} เป็นกำลังทางกลที่ออกจากรวมอเตอร์ ส่วนค่า P_{loss} นั้นจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ

$$P_{loss} = P_{cu} + P_c + P_{rotation} + P_{stray} \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งสามารถแสดงค่ากำลังสูญเสียที่ส่วนต่างๆ ได้ดังไดอะแกรมดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แผนภูมิการส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส [1]

2.5.1 ความสูญเสียในขดลวดทองแดง (Copper Loss: P_{cu})

เป็นความสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์และขดลวดโรเตอร์ ซึ่งจะเป็นลักษณะของการสูญเสียที่มีค่าไม่คงที่เนื่องจากการสูญเสียที่เกิดจากค่ากระแสและค่าของกระแสจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามโหลดต่างๆ โดยค่าความสูญเสียจะเป็นตาม $I^2 R$

2.5.2 ความสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss: P_c)

ซึ่งจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ

(1) การสูญเสียเนื่องจากฮิสเตอร์ซิส

การใช้ไฟฟ้ากระแสสลับเหนี่ยวนำวงจรขดลวดที่พันรอบแกนเหล็ก ให้เกิดอำนาจแม่เหล็กในแต่ละรอบ (Cycle) การสูญเสียภายในแกนเหล็กอันเกิดจากฮิสเตอร์ซิส จะเท่ากับพื้นที่ภายในวงฮิสเตอร์ซิสนั้นซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กและชนิดของสารแม่เหล็กที่ใช้ทำแกน ดังนั้นค่าโดยประมาณของการสูญเสียจากฮิสเตอร์ซิสของสารแม่เหล็กที่ความถี่ f หาได้จาก

$$P_h = K_h f B_m^n \quad (2.29)$$

P_h คือ การสูญเสียจากฮิสเตอร์ซิส (W)

K_h คือ ค่าคงที่ของวงจรแม่เหล็กที่ทำการทดลอง

f คือ ค่าความถี่ไฟฟ้าของแหล่งจ่าย (Hz)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n คือ สไตน์เมทซ์เอกโพเนนท์ (Steinmetz exponent) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.5 - 2.0 แต่โดยทั่วไปใช้ประมาณ 1.6

(2) การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy Current Loss)

กระแสไหลวนจะทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นเนื่องจากกระแสที่ไหลอยู่ภายในสารแม่เหล็ก โดยถ้าทำให้สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านตัวนำ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นภายในตัวนำนั้น แต่ถ้าเราใส่แกนเหล็กเข้าไปในขดลวดที่มีกระแสสลับไหลอยู่ ก็จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงเป็นลักษณะของรูปคลื่นไซน์ด้วย การเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นภายในแกนเหล็กและแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นภายในแกนเหล็กนี้จะเป็นตัวทำให้เกิดกระแสไหลวนภายในแกนเหล็กนั้น ซึ่งเรียกว่ากระแสไฟฟ้าไหลวน กระแสไหลวนจะเกิดขึ้นในแกนเหล็กของสารทุก ๆ ชนิดของสารที่เป็นตัวนำไฟฟ้า กระแสนี้จะไหลผ่านความต้านทานไฟฟ้าของสารแม่เหล็กซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนขึ้น ความร้อนเกิดขึ้นจากกำลังสูญเสียซึ่งมีค่า $I^2 R$ และเนื่องจากความต้านทานของเหล็กมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับสารชนิดอื่น ๆ ดังนั้นกำลังสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนเมื่อเส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงแบบรูปคลื่นไซน์สามารถหาได้จากสมการ

$$P_c = K_e f^2 B_m^2 \quad (2.30)$$

P_c คือ การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน

K_e คือ ค่าคงที่ของวงจรมแม่เหล็ก

2.5.3 ความสูญเสียจากแรงเสียดทานและลม (Friction and Windage Loss)

ความสูญเสียจากแรงเสียดทานจะมาจากความฝืดและแปรงถ่าน ส่วนความสูญเสียจากลมนี้จะรวมถึงกำลังไฟฟ้าที่ถูกใช้ในการระบายอากาศภายในเครื่องจักรกล บางครั้งอาจเรียกความสูญเสียเหล่านี้ว่า ความสูญเสียทางกล (Mechanic Loss) ความสูญเสียนี้จะคงที่เมื่อมีความเร็วคงที่ เมื่อนำความสูญเสียจากแรงเสียดทานและลมนี้นี้ไปรวมกับการสูญเสียในแกนเหล็ก จะรวมเรียกได้ว่า ความสูญเสียจากการหมุน (Rotational Loss)

2.5.4 ความสูญเสียปลีกย่อยเนื่องจากโหลด (Stray-load Loss)

เป็นความสูญเสียที่เพิ่มขึ้นในกำลังสูญเสียฮีสเตอร์ซิส และกำลังสูญเสียที่เพิ่มขึ้นจากกระแสไหลวน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าของโหลดนั้นจะมีผลให้เกิดความผิดเพี้ยนของฟลักซ์ไปได้บ้าง แต่ความสูญเสียในข้อนี้จะยุ่งยากในการวัด ดังนั้นโดยปกติแล้วจึงถือว่าความสูญเสียนี้จะประมาณเป็น 1% ของกำลังไฟฟ้านอกของเครื่องจักรกล ซึ่งสามารถสรุปค่าความสูญเสียเป็นร้อยละที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ได้ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 4 ขั้ว

รายการความสูญเสีย	ขนาดประมาณ	องค์ประกอบที่ทำให้เกิดความสูญเสีย
1. สูญเสียที่สเตเตอร์	35 - 40 %	ขนาดตัวนำของสเตเตอร์
2. สูญเสียที่โรเตอร์	15 - 25 %	ขนาดตัวนำของโรเตอร์
3. สูญเสียในแกน	15 - 25 %	ชนิดและปริมาณวัสดุที่เป็นสารแม่เหล็ก
4. สูญเสียจากแรงเสียดทานและลม	5 - 10 %	พัดลมและแบร์ริง
5. สูญเสียปลั๊กย่อยจากโหลด	5 - 10 %	การออกแบบจากโรงงาน

2.6 Over-Under Voltage Condition [6]

การเปลี่ยนแปลงสมบัติต่าง ๆ ของมอเตอร์จากสาเหตุการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของศักดาไฟฟ้าและความถี่ของระบบป้อน ถ้าเกิดความไม่สม่ำเสมอของขนาดของศักดาไฟฟ้า $\pm 10\%$ แต่เพียงอย่างเดียว, หรือ $\pm 5\%$ ของความถี่แต่เพียงอย่างเดียว, หรือความไม่สม่ำเสมอรวม $\pm 10\%$ ของทั้งความถี่และศักดาไฟฟ้าแล้วโดยกรณีปกติอาจกล่าวได้ว่ามอเตอร์ดังกล่าวจะสามารถเดินเครื่องใช้งานได้โดยไม่มีปัญหาที่พิกัดกำลังของตน แต่อย่างไรก็ดีในสภาพการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลทำให้ลักษณะสมบัติของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 ดังนั้นในการเลือกและการใช้งานของมอเตอร์จะต้องมีการพิจารณาถึงข้อมูลเหล่านี้อย่างละเอียด

ตารางที่ 2.2. การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะต่างๆ เมื่อแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมีการเปลี่ยนแปลง

ลักษณะ	ศักดาไฟฟ้าเปลี่ยน		ความถี่เปลี่ยน	
	+10%	-10%	+5%	-5%
แรงบิดเริ่มสตาร์ท	+ 21%	- 19%	- 10%	+ 11%
ความเร็วซิงโครนัส	ไม่เปลี่ยน	ไม่เปลี่ยน	+ 5%	- 5%
ความเร็วโหลดเต็ม	+ 0.5 ~ 3%	- 0.5 ~ -3%	เพิ่มเล็กน้อย	ลดลงเล็กน้อย
กระแสเต็มพิกัดโหลด	+ 0 ~ -7%	+ 5 ~ 15%	ลดลงเล็กน้อย	เพิ่มขึ้นเล็กน้อย
กระแสขณะเริ่มสตาร์ท				
กำลังงานสูงสุด	+ 10%	- 10%	- 5 ~ -6%	+5 ~ 6%
แรงบิดสูงสุด	+ 21%	- 19%	ลดลงเล็กน้อย	เพิ่มขึ้นเล็กน้อย
อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น	+ 21%	- 19%	- 10%	+ 11%
	- 2 ~ +10°C	+ 1 ~ 7°C	ลดลงเล็กน้อย	เพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ในกรณีมอเตอร์สามเฟส ถ้าศักดาไฟฟ้าป้อนเข้าระบบไฟสามเฟสอยู่ในสภาวะไม่สมดุลย์ (แรงดันมีค่าลดลง) จะมีผลทำให้อัตราส่วนของกระแสไม่สมดุลย์ที่เพิ่มขึ้น สูงขึ้นกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนของศักดาไฟฟ้าที่ไม่สมดุลย์มาก เป็นสาเหตุที่จะทำให้กำลังใช้งานของมอเตอร์ตกและทำให้อุณหภูมิของมอเตอร์สูงมากขึ้น

2.7 วิธีหาค่าประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงาน [8]

ในส่วนนี้เป็นการหาค่าประสิทธิภาพโดยวิธีการต่าง ๆ โดยอธิบายถึงข้อดี-ข้อเสียและขอบเขตของวิธีการต่าง ๆ ในการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ขณะทำงาน

2.7.1 วิธีป้ายพิกัด (Nameplate Method)

เป็นวิธีการประเมินประสิทธิภาพขณะทำงานที่ซับซ้อนน้อยที่สุด คือการใช้ข้อมูลที่ได้จากป้ายพิกัด วิธีการนี้จะสมมุติว่าประสิทธิภาพของมอเตอร์คงที่และเท่ากับที่ป้ายพิกัด วิธีการนี้ จะมีความถูกต้องเมื่อความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพและความเร็วมีความคงที่ และที่ภาระเต็มพิกัดจะมีความเที่ยงตรงมากที่สุด โดยทั่วไปโหลดแฟคเตอร์ (Load factor) ของอุตสาหกรรมจะเท่ากับ 75% อาจทำให้ได้ประสิทธิภาพที่ไม่ค่อยถูกต้อง วิธีการป้ายพิกัดสามารถใช้สำหรับมอเตอร์บางชนิดเท่านั้น และมีความไม่แม่นยำในมอเตอร์หลายชนิด สำหรับวิธีป้ายพิกัดอาจพบปัญหา 3 อย่างที่อาจเกิดขึ้น อันดับแรกคือข้อมูลจากป้ายพิกัดอาจมาจากมาตรฐานอื่นที่ไม่ใช่ IEEE-std 112 อันดับสองคือมอเตอร์อาจมีการพันขดลวดขึ้นใหม่ อันดับสามคืออาจจะมีฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้า หรือเกิดสภาวะแรงดันไม่สมดุลย์ ซึ่งทำให้ค่าประสิทธิภาพจริงไม่ตรงกับที่ป้ายพิกัด

ประสิทธิภาพที่ป้ายพิกัดสามารถที่จะหาได้จากหลายๆมาตรฐาน มาตรฐานที่นิยมใช้ เช่น NEMA (National Electrical Manufacture Association), IEEE-112, JEC (Japanese Electrotechnical Committee), IEC (International Electrotechnical Commission) สำหรับมอเตอร์ที่พันขดลวดใหม่ จะมีความไม่ถูกต้องของข้อมูลป้ายพิกัด ความสูญเสียแกนเหล็กของมอเตอร์ที่พันขดลวดใหม่อาจจะเพิ่มหรืออาจจะไม่เพิ่มขึ้นซึ่งขึ้นอยู่กับภาระและความสะอาดสเตเตอร์ ความสูญเสียในขดลวดขึ้นกับการยืดขยายและขนาดลวด ซึ่งประสิทธิภาพอาจเปลี่ยนแปลงลดลงได้ถึง 2% ของมอเตอร์ ซึ่งมาตรฐานการพันขดลวดใหม่ควรเป็นไปตาม EASA (Electrical Apparatus Service Association) สภาวะแวดล้อมขณะทำงานที่เกี่ยวกับเรื่องแรงดันที่ไม่สมดุลย์และฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้าโดยทั่วไปแล้วส่งผลกระทบต่อเลวร้ายสำหรับการประเมินประสิทธิภาพขณะทำงานด้วยการใช้วิธีป้ายพิกัด

2.7.2 วิธีการใช้ค่าสลิปแบบที่ 1 (Slip Method I)

เป็นวิธีการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ โดยการใช้หลักการเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์ที่เกิดขึ้น กับความเร็วที่พิกัดมอเตอร์ ใช้สมการพื้นฐานดังนี้

$$Load \text{ p.u.} = \frac{Slip}{Slip_{rated}} \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{out} = \frac{Slip}{Slip_{rated}} \cdot P_{out,rated} \quad (2.32)$$

$$\eta = \frac{Slip}{Slip_{rated}} \cdot \frac{P_{out,rated}}{P_{input}} \cdot 100 \quad (2.33)$$

$Slip$ คือ ค่าสลลิปที่วัดได้

$Slip_{rated}$ คือ ค่าสลลิปที่พิกัดของมอเตอร์

$P_{out,rated}$ คือ ค่าพิกัดกำลังที่ได้ของมอเตอร์

$Slip$ หมายถึงความแตกต่างของความเร็วเชิงโรตกับความเร็วของโรเตอร์ โดยที่ค่าความเร็วของโรเตอร์นี้จะใช้ Optical tachometer ซึ่งมีสิ่งรบกวนต่ำทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ วิธีนี้จะดีกว่า nameplate method โดยเฉพาะ load curve ไม่เรียบคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20% จาก nameplate method และที่ภาระโหลดน้อยจะให้ผลของการทำนายแม่นยำกว่าที่ภาระโหลดมาก

ขอบเขตของการใช้ค่าสลลิปแบบที่ 1 Slip Method วิธีนี้ยังไม่แม่นยำสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริง เพราะ

- วิธีนี้ไม่ได้ทำการวัดค่ากระแสจริงในการพิจารณาค่าการสูญเสียที่ภาวะ load test และ no load test และความเร็วของมอเตอร์ (Speed) กับ load นั้นไม่ได้เป็นเชิงเส้นกัน
- จากการคำนวณโดยใช้ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm) ที่ full load จากข้อมูลของ nameplate พบว่าเป็นตัวเลขโดยเฉลี่ยจากการทดสอบมอเตอร์ของผู้ผลิต ซึ่งสามารถคลาดเคลื่อนได้ 5 รอบต่อนาที
- ในการคำนวณวิธีนี้ไม่ได้คำนึงถึงเรื่องอุณหภูมิและแรงดันที่เปลี่ยนแปลงขณะใช้งานจริง ซึ่งจะมีผลต่อความเร็วของมอเตอร์ขณะ full load
- ในการประเมินประสิทธิภาพขณะใช้งานจริง มีข้อจำกัดคือบางกรณีไม่สามารถวัดความเร็วได้ จึงต้องใช้วิธีการประเมินประสิทธิภาพวิธีอื่นแทน

2.7.3 วิธีค่าสลลิปแบบที่ 2 (Slip Method II) [10]

สำหรับวิธีการนี้เป็นการปรับแก้วิธีการของ Slip Method (Ontario Slip Method) โดยจะมีการแก้ไขแรงดัน เพื่อให้สามารถใช้ในการทำนายกำลังที่ได้ในสภาวะที่แรงดันมีค่าเกินพิกัดและแรงดันต่ำกว่าที่พิกัด โดยหาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{Slip}{Slip_{rated}} \cdot \frac{P_{out,rated}}{P_{input}} \cdot \left(\frac{V}{V_{rated}}\right)^2 \cdot 100 \quad (2.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V คือ ค่าแรงดันที่ได้จากการวัด

V_{rated} คือ ค่าแรงดันที่ป้ายพิกัด

2.7.4 วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 1 (Current Method I)

วิธีการนี้เป็นการหาค่ากำลัง output ของมอเตอร์โดยเชื่อว่ากำลัง output จะแปรผันตรงกับค่าของ กระแสที่เปลี่ยนแปลงไปโดยสามารถหาได้จากสมการ

$$Load \text{ p.u.} = \frac{I}{I_{fl}} \quad (2.35)$$

$$P_{out} = \frac{I}{I_{fl}} \cdot P_{out,rated} \quad (2.36)$$

$$\eta = \frac{I}{I_{fl}} \cdot \frac{P_{out,rated}}{P_{input}} \cdot 100 \quad (2.37)$$

I คือ กระแสที่ทำการวัดจากด้านขาเข้าของมอเตอร์ ณ load ใดๆ

I_{fl} คือ กระแสที่ได้จากการอ่านค่าที่ nameplate ของมอเตอร์

$P_{out,rated}$ คือ กำลัง output ที่ full load

2.7.5 วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 2 (Current Method II)

จากสมการในข้อที่ 2.7.4 จะเห็นได้ว่าเป็นสมการเส้นตรง แต่ในความเป็นจริงแล้ว สัดส่วนระหว่างกระแสกับโหลดจะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกัน จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมการเพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงที่สุดจึงได้สมการเป็น

$$\eta = \frac{I - I_{nl}}{I_{fl} - I_{nl}} \cdot \frac{P_{output,rated}}{P_{input}} \cdot 100 \quad (2.38)$$

I_{nl} คือ กระแสของมอเตอร์ขณะ no load

ข้อจำกัดของวิธีการนี้คือ ในบางกรณีมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ใช้งาน เราไม่สามารถวัดกระแสขณะ no load ได้ นอกจากจะมีข้อมูล no load test ของมอเตอร์อยู่แล้วจึงจะสามารถใช้วิธีนี้ได้

2.7.6 วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 3 (Current Method III) [10]

สำหรับวิธีการนี้เป็นการปรับแก้วิธีการ Current method (Modify Current Method) ทั้งสองวิธี โดยจะมีการแก้ไขที่ค่ากระแส เพื่อให้สามารถใช้ในการทำนายกำลังที่ได้เพื่อไม่ให้ช่วงค่ากระแสมีค่าความผิดพลาดมากเกินไป โดยหาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{2I - I_{nl}}{2I_{fl} - I_{nl}} \cdot \frac{P_{output, rated}}{P_{input}} \cdot 100 \quad (2.39)$$

2.7.7 วิธีการวัดแรงบิดที่เพลลา (Shaft Torque Method)

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ยุงยากที่สุดเนื่องจากเราต้องมีการต่ออุปกรณ์ต่างๆ เพื่อทำการวัดค่า ทั้งแรงดันไฟฟ้า กระแส ความถี่ แรงบิด ความเร็ว และกำลังที่ได้ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นวิธีการนี้ก็จะมีค่าความแม่นยำมากที่สุดด้วยเช่นกัน นั่นคือ การวัดโดยตรงที่แกนเพลลา ซึ่งเราจะไม่ต้องคิดค่าความสูญเสียต่างๆ เช่น Stator Copper Losses, Rotor Copper Losses หรือ Core Losses เป็นต้น โดยค่าที่เราทำการวัดได้จะเป็นค่ากำลังงานที่สามารถนำไปใช้ได้เลย วิธีการหาค่าประสิทธิภาพวิธีการนี้จะนิยมใช้ในห้องปฏิบัติการมากกว่าการนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะสามารถทำได้ยากและมีค่าใช้จ่ายสูง (ซึ่งสามารถดูวิธีการทดสอบได้ในบทที่ 3) อย่างไรก็ตามการวัดจะมีความถูกต้องแม่นยำมากเท่าไร ขึ้นอยู่กับความละเอียดของเครื่องมือที่ใช้วัด

2.8 การประหยัดพลังงาน [6]

2.8.1 การใช้งานมอเตอร์ให้ประหยัดพลังงาน

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานมอเตอร์ให้ประหยัดพลังงาน นอกเหนือจากการนำเอามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมาใช้แทนมอเตอร์ตัวเก่าแล้ว การใช้งานของโหลด สภาพแวดล้อมของตัวมอเตอร์ จะมีผลทำให้ระบบการใช้งานมอเตอร์และค่าใช้จ่ายที่แปรเปลี่ยนไปได้ ซึ่งพอจะแยกสาเหตุและวิธีการใช้งานมอเตอร์มอเตอร์ออกเป็นดังนี้

- 1) ไม่ควรให้มอเตอร์ทำงานโดยไม่มีภาระทางไฟฟ้า เนื่องจากกำลังของมอเตอร์จะเป็นกำลังสูญเสียทั้งหมด ทำให้สูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์
- 2) ควรพิจารณาเลือกขนาดของฟักัดกำลังมอเตอร์ให้มี ความเหมาะสมกับภาระทางไฟฟ้า คือ ควรเลือกภาระของมอเตอร์ให้มีขนาดมากกว่า 75% ของฟักัดกำลังมอเตอร์ เพราะจะเป็นช่วงที่มีประสิทธิภาพมอเตอร์สูงกว่าช่วงภาระน้อยๆ
- 3) ควรพิจารณาการใช้งานอินเวอร์เตอร์เพื่อขับภาระทางกล เพราะสามารถประหยัดพลังงานได้มากขึ้น โดยอินเวอร์เตอร์จะสามารถปรับเปลี่ยนจุดทำงาน (Torque speed curve) ให้เหมาะสมกับภาระที่เปลี่ยนแปลงไปได้

2.8.2 การเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิธีการในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับมอเตอร์ในการนำใช้งานมีอยู่หลายประการ คือ
- 1) ลดการใช้พลังงานเดิมของอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิม โดยการควบคุมความต้องการหรือปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง
 - 2) พิจารณาให้มีการประหยัดเท่าที่จะทำได้ โดยการเปลี่ยนแปลงให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงเท่าที่จะทำได้
 - 3) พิจารณาให้มีการประหยัดเท่าที่จะทำได้ โดยการปรับปรุงประสิทธิภาพของการส่งกำลังทางกลระหว่างมอเตอร์กับโหลด เช่น เปลี่ยนจากระบบเกลิยวเป็นระบบเกียร์ หรือเปลี่ยนระบบสายพานให้เหมาะสม เป็นต้น

2.8.3 การนำมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมาใช้

การพิจารณาในการนำมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมาใช้งานนั้น จะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบต่างๆ หลายๆ ด้าน เพื่อให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด เนื่องจากหากยังไม่เหมาะสมแล้ว การเปลี่ยนอาจจะเป็นการลงทุนที่สูงเกินไป ดังนั้น จึงพอสรุปเป็นแนวทางในการพิจารณาที่จะนำมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมาใช้งานได้ ดังนี้

- 1) ในการพิจารณาจัดซื้อเครื่องจักรใหม่ ควรพิจารณาเลือกจัดหามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมาใช้งาน เนื่องจากเป็นการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลง อีกทั้งยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลงอีกด้วย นอกจากนั้นแล้วสภาพแวดล้อมในบริเวณเครื่องจักรที่ติดตั้งก็จะดีกว่า เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นน้อยกว่าเครื่องจักรที่ใช้มอเตอร์ธรรมดาตนเอง
- 2) การที่มอเตอร์เก่าชำรุดเสียหาย หรือใช้งานมาเป็นเวลานานจนค่าซ่อมบำรุงรักษามีค่าสูงถึง 65 % ของราคามอเตอร์ใหม่ ก็ควรพิจารณาหามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมาใช้งานแทน
- 3) เมื่อมอเตอร์ทั่วไปที่ใช้งานอยู่ แม้ว่าจะยังมีสภาพดีแต่ก็มีขนาดใหญ่กว่าการขับโหลดที่ใช้งานอยู่มาก เนื่องจากในครั้งแรกได้ทำการคำนวณเผื่อขนาดของมอเตอร์ไว้มากเกินไป ก็ควรพิจารณาจัดหามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงและมีขนาดเหมาะสมกับโหลดมาใช้งานแทน ซึ่งเป็นการลดพลังงานลงได้เป็นอย่างมาก
- 4) เครื่องจักรที่มีช่วงการใช้งานที่ยาวนาน จะยังเป็นการประหยัด แต่เนื่องจากการลงทุนสูง จึงต้องมีการพิจารณาจุดคุ้มทุนด้วย ปกติควรอยู่ประมาณ 3 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ธรรมดาทั่วไป
- 5) มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงถูกออกแบบมาให้ใช้งานที่ต้องการความสูญเสียต่ำ และมีประสิทธิภาพสูง โดยให้มูลค่าสลิปต่ำเมื่อมีโหลดเต็มที่ และให้มีทอร์คขณะสตาร์ทต่ำ จึงอาจไม่เหมาะกับงานที่ต้องการสตาร์ทบ่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุดที่โหลดประมาณ 90 % ดังนั้นจึงอาจไม่เหมาะกับการใช้งานที่โหลดน้อยๆ
- 7) การที่แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปจากค่าตามพิกัดมากๆ ทำให้อาจไม่เหมาะนักที่จะนำมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมาใช้งาน

2.8.4 การลดการสิ้นเปลืองพลังงาน

วิธีการลดพลังงานโดยไม่ต้องเปลี่ยนโหลดของมอเตอร์มี 3 วิธีคือ

- 1) ปิดเครื่องมือเครื่องใช้ที่ไม่จำเป็น โดยกระบวนการใช้งานยังคงต่อเนื่องดังเดิมและสภาพแวดล้อมก็ยังคงดี
- 2) ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมปริมาณการใช้พลังงานในการปลดโหลด เพื่อไม่ให้เกินค่าขอบเขตสูงสุดในการใช้พลังงาน
- 3) ปรับปรุงตัวประกอบกำลังโดยการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับปรับปรุงตัวประกอบกำลังที่โหลด เพื่อเป็นการลดกำลังสูญเสีย I^2R ในหม้อแปลง สายไฟ และ ในมอเตอร์

อย่างไรก็ตาม การประหยัดพลังงานในปัจจุบันเป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากปัญหาสภาวะโลกร้อน และพลังงานขาดแคลนที่กำลังประสบอยู่ ดังนั้นเราจึงควรร่วมมือกันประหยัดพลังงานซึ่งหลักการประหยัดพลังงานที่กล่าวมาข้างต้นและวิธีการหาค่าประสิทธิภาพ เพื่อนำไปใช้ในการตัดสินใจในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์และคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนหลังจากเปลี่ยนมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงมาใช้งานแทน โดยจะนำหลักการนี้มาใช้ในการออกแบบโปรแกรมช่วยคำนวณค่าประสิทธิภาพและคำนวณระยะเวลาการคืนทุน ซึ่งกล่าวถึงในบทที่ 5 ต่อไป

บทที่ 3

การทดสอบหาค่าประสิทธิภาพในห้องปฏิบัติการ

3.1 บทนำ

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดลองและผลการทดลองในห้องปฏิบัติการซึ่งประกอบด้วย การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในสภาวะปกติ สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ (5%, 10%) และสภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ (5%, 10%) โดยจะทำการทดสอบมอเตอร์ 2 ขนาด ได้แก่ 1 H.P. (0.75 kW) และ 3 H.P. (2.2 kW) และทำการเปรียบเทียบค่าสมรรถนะต่างๆ ที่สภาวะแรงดันต่างๆ และทำการเปรียบเทียบการใช้วงจรสมมูลในการหาค่าประสิทธิภาพโดยเทียบกับค่าประสิทธิภาพที่สภาวะปกติ (220 V)

3.2 การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในสภาวะปกติ

ในการทดสอบจ่ายไฟฟ้าสามเฟสจะทำการต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบสตาร์ และทำการจ่ายแรงดัน 380 โวลต์ (V_{Line}) เข้าที่ขั้วลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสโดยมีอุปกรณ์ดังนี้

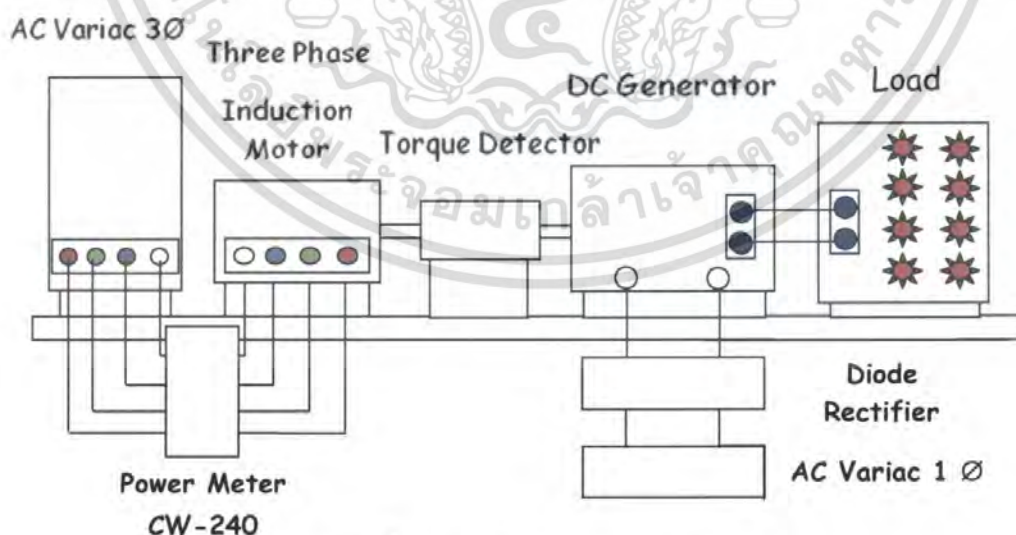
- | | |
|--|-----------|
| 1. มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW | 1 ตัว |
| 2. มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW | 1 ตัว |
| 3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง | 1 เครื่อง |
| 4. AC Variac-3 phase | 1 เครื่อง |
| 5. AC Variac-1 phase | 1 เครื่อง |
| 6. Torque Detector (ONO SOKKI) | 1 เครื่อง |
| 7. Digital Power Meter Yokogawa (CW-240) | 1 เครื่อง |
| 8. DC Volt-Meter 0-300 V | 1 เครื่อง |
| 9. DC Amp-Meter 0-10 A | 1 เครื่อง |
| 10. Tachometer | 1 เครื่อง |
| 11. หลอดไฟ ขนาด 10W, 40W, 60W, 100W | 1 ชุด |
| 12. แผงต่อวงจร (Junction Box) | 1 ชุด |
| 13. สายไฟ | 1 ชุด |

เอกสาร 14. Diode Rectifier ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 วิธีการทดลอง

ทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในสภาวะปกติขนาด 0.75 kW และ 2.2 kW

1. บันทึกข้อมูลพิกัดต่างๆ ของมอเตอร์จาก Nameplate ของมอเตอร์ที่จะทำการทดสอบ
2. ต่อดังตามภาพที่ 3.1 โดยที่มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสต่อกลับปิ้งเข้ากับเครื่องวัดแรงบิด และ DC Generator (DC Generator ให้ทำการต่อวงจรแบบสนามแม่เหล็กกระตุ้นแบบแยกส่วน)
3. ค่อยๆ ปรับแหล่งจ่ายไฟกระแสลับให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสให้ได้แรงดันเท่ากับแรงดัน ที่พิกัดของมอเตอร์และมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่
4. เพิ่มกระแสกระตุ้นของ DC Generator โดยการปรับแรงดันที่ AC Variac-1 phase จนถึงพิกัดกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{in}), กระแสไฟฟ้า (I_{in}), กำลังไฟฟ้า (P_{in}), ตัวประกอบกำลัง ($\cos \phi$), แรงบิด (T), ความเร็วรอบ (N_r) และความถี่ (f) ลงในตาราง จากนั้นทำการปรับลดกระแสกระตุ้นของ DC Generator ให้ค่ากำลังไฟฟ้าอินพุตของมอเตอร์ลดลงเป็น Step จนกระทั่งกระแสกระตุ้นของ DC Generator มีค่าลดลงเป็นศูนย์
5. บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.3
6. ทำการทดลองตามข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 5 โดยเปลี่ยนเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW
7. บันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.4



ภาพที่ 3.1 วงจรการทดสอบมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

ในการทดสอบมอเตอร์ทั้งสองขนาด ซึ่งข้อมูลจากป้ายพิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 ป้ายพิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 0.75 kW

Serial Number	536	Frequency (Hz)	50	
Date of manufacture		Voltage (V)	220	380
Type :	SF-JR	Full-load current (A)	3.4	2
Frame	100L	Design Letter		
Power (Watt)	1HP 4P	Block-rotor current (A)		
Time rating	cont.	Nominal efficiency		
Maximum ambient temperature	40 C	Service factor		
Insulation system designation	Class F	Service factor amps		
Full-load speed (rpm)	1400	Bearing	6204-6203 zz	

ตารางที่ 3.2 ป้ายพิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 2.2 kW

Serial Number	603	Frequency (Hz)	50	60		
Date of manufacture		Voltage (V)	220	380	220	380
Type :	SF-JR	Full-load current (A)	8.7	5	8.3	4.8
Frame	100L	Design Letter				
Power (Watt)	3HP 4P	Block-rotor current (A)				
Time rating	cont.	Nominal efficiency				
Maximum ambient temperature	40 C	Service factor				
Insulation system designation	Class F	Service factor amps				
Full-load speed (rpm)	1420	Bearing	6206-6205 zz			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 0.75 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพล่า ที่สภาวะแรงดันปกติ

Step	%Load	Input Voltage(V)			Input Current(A)			Input Power(Watt)				T (N.m)	Speed (rpm)	Pout (Watt)	%Eff
		an	bn	cn	a	b	c	a	b	c	total				
1	28.99	219.5	220.5	220.2	1.10	1.16	1.11	102	113	99	314	1.4	1475	216.25	68.87
2	45.15	219.5	220.2	219.9	1.20	1.26	1.21	150	160	145	455	2.2	1462	336.82	74.03
3	56.91	219.5	220.0	219.7	1.30	1.35	1.29	185	195	177	557	2.8	1448	424.58	76.23
4	68.49	220.2	220.9	220.6	1.40	1.46	1.41	216	229	213	658	3.4	1435	510.93	77.65
5	77.96	220.1	220.9	220.7	1.50	1.57	1.51	246	260	245	751	3.9	1424	581.57	77.44
6*	87.34	220.5	221.4	221.0	1.60	1.68	1.62	273	289	272	834	4.4	1414	651.52	78.12
7	94.47	219.7	220.5	220.4	1.70	1.77	1.72	300	313	302	915	4.8	1402	704.72	77.02
8	99.66	219.8	220.6	220.2	1.80	1.86	1.81	322	336	321	979	5.1	1392	743.43	75.94
9	108.72	219.8	220.7	220.3	1.90	1.97	1.91	349	365	349	1063	5.6	1383	811.03	76.30
10	115.64	219.7	220.6	220.2	2.00	2.09	2.02	373	393	373	1139	6	1373	862.68	75.74

(* เป็นการยกตัวอย่างในบทที่ 4 เพื่อแสดงการคำนวณ)

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลลา ที่สภาวะแรงดันปกติ (ภาคผนวก)

Step	% Load	Input Voltage(V)			Input Current(A)			Input Power(Watt)				T (N.m)	Speed (rpm)	Pout (Watt)	%Eff
		an	bn	cn	a	b	c	a	b	c	total				
1	12.55	220	220.7	221.2	2.44	2.5	2.5	131	150	135	416	1.8	1490	280.858	67.51
2	37.19	220.3	221.1	221.4	2.74	2.86	2.83	309	336	307	952	5.4	1472	832.396	87.44
3	51.20	220.5	221.3	221.7	3.09	3.19	3.17	453	472	448	1373	7.5	1459	1145.9	83.46
4	64.37	220.5	221.6	221.7	3.42	3.58	3.52	556	586	559	1701	9.5	1448	1440.52	84.69
5	72.05	220.5	221.4	221.1	3.72	3.87	3.75	635	666	627	1928	10.7	1439	1612.4	83.63
6	80.24	220	221.2	220.8	4	4.16	4.03	709	742	705	2156	12	1429	1795.73	83.29
7	87.77	220	220.9	220.5	4.32	4.45	4.32	778	806	769	2353	13.2	1421	1964.25	83.48
8	94.48	220.1	221	220.7	4.58	4.78	4.65	848	891	846	2585	14.3	1412	2114.46	81.80
9	101.90	220.2	220.8	220.5	4.9	5	4.92	916	947	914	2777	15.5	1405	2280.53	82.12
10	108.59	220.3	220.4	221.2	5.25	5.31	5.28	994	1009	993	2996	16.6	1398	2430.21	81.12

3.3 การคำนวณหาค่าประสิทธิภาพด้วยการใช้วงจรสมมูล

ในการคำนวณหาค่าวงจรสมมูลนั้นจะต้องมีการทดสอบทั้ง No Load Test และ Block Rotor Test ซึ่งแสดงได้ตารางที่ 3.5 ถึงตารางที่ 3.8 (ภาคผนวก)

ตารางที่ 3.5 บันทึก No Load Test และ Block Rotor Test ผลสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW

No Load Test	V_o	I_o	Power Factor	$P_{in,nl}$
Phase a	219.5	1.03	0.131	29
Phase b	221.0	1.10	0.172	42
Phase c	220.6	1.02	0.137	31

Block Rotor Test	V_b	I_b	Power Factor	P_b
Phase a	54.0	2.01	0.733	80
Phase b	54.4	2.00	0.737	80
Phase c	54.2	1.98	0.740	79

ตารางที่ 3.6 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW

	R_1	R_2	R_c	X_m	X_1	X_2
Phase a	9.85	9.95	2597	217.69	9.08	9.08
Phase b	9.85	10.15	1624	217.67	9.27	9.27
Phase c	9.85	10.30	2345	218.50	9.26	9.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 บันทึก No Load Test และ Block Rotor Test ผลสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW

No load test	V_o	I_o	Power Factor	$P_{in,nl}$
Phase a	220.0	2.42	0.113	60
Phase b	220.5	2.49	0.137	75
Phase c	220.8	2.47	0.109	60

Block rotor test	V_b	I_b	Power Factor	P_b
Phase a	50.6	5.01	0.661	168
Phase b	50.7	5.05	0.67	172
Phase c	50.9	5.05	0.666	171

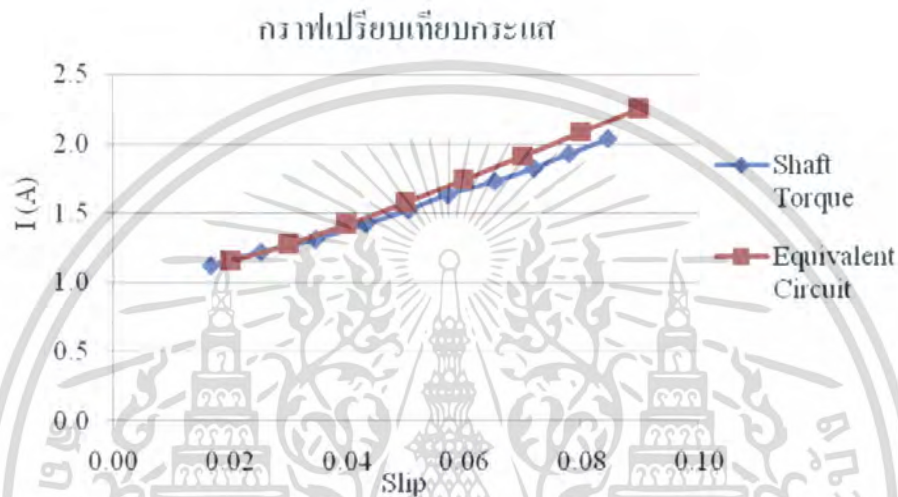
ตารางที่ 3.8 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW

	R_1	R_2	R_c	X_m	X_1	X_2
Phase a	3.8	2.89	1282.27	90.34	3.78	3.78
Phase b	3.9	2.844	956.72	87.72	3.72	3.72
Phase c	3.7	3	1302.62	88.85	3.76	3.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

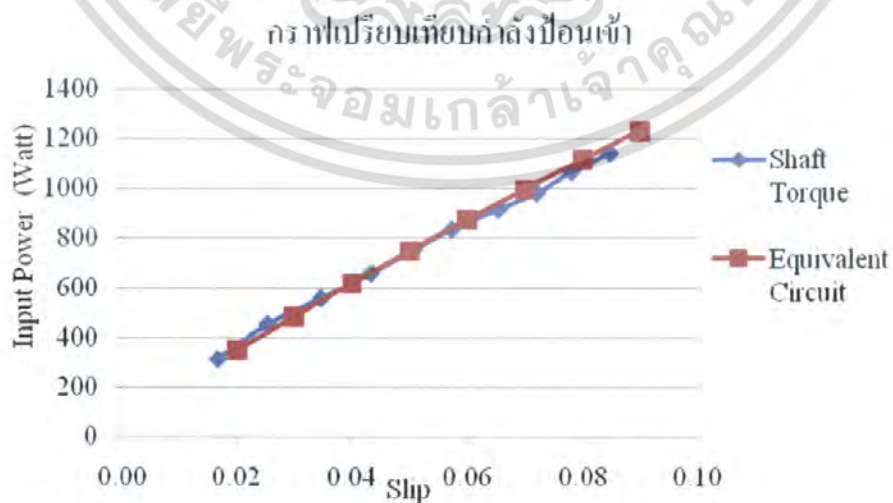
3.4 วิเคราะห์ผลเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่สภาวะแรงดันปกติ

3.4.1 วิเคราะห์ผลค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW



ภาพที่ 3.2 การเปรียบเทียบค่ากระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW

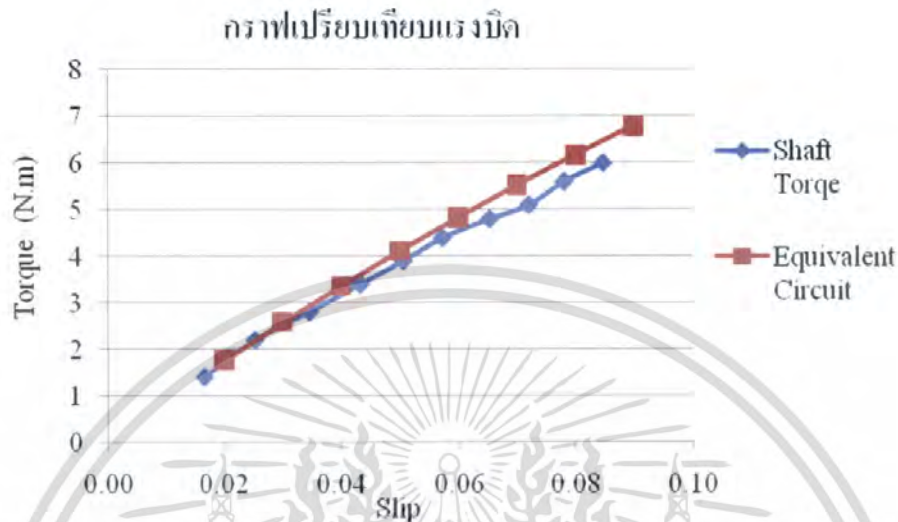
จากภาพที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า ค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีวงจรมูล จะมีค่ากระแสที่สูงกว่า ค่ากระแสที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการวัดแรงบิดที่เพลลา



ภาพที่ 3.3 การเปรียบเทียบกำลังป้อนเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW

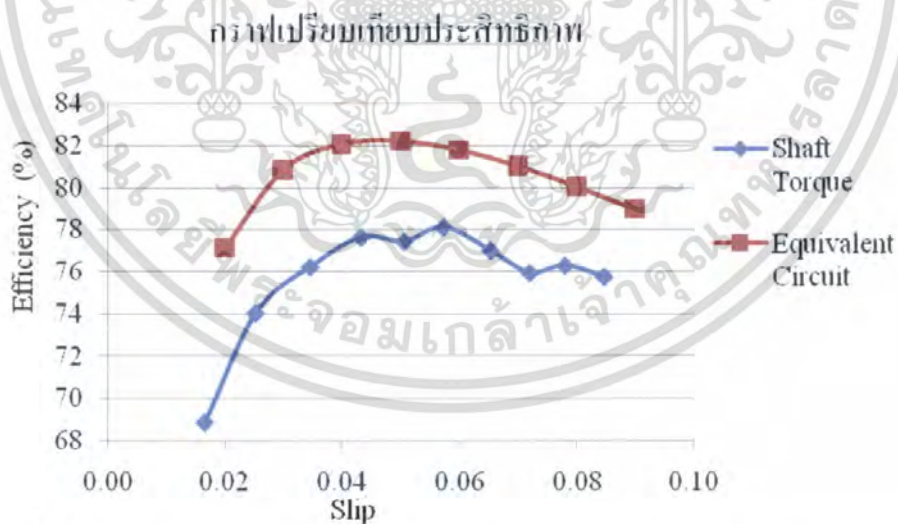
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.3 จะเห็นได้ว่า ค่ากำลังป้อนเข้าของทั้ง Shaft Torque และวิธีวงจรมุมูล จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันตลอดทุกๆ ช่วง Slip



ภาพที่ 3.4 การเปรียบเทียบแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW

จากภาพที่ 3.4 จะเห็นได้ว่า ค่าแรงบิดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีวงจรมุมูล จะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการวัดแรงบิดที่เพลาล็กน้อย

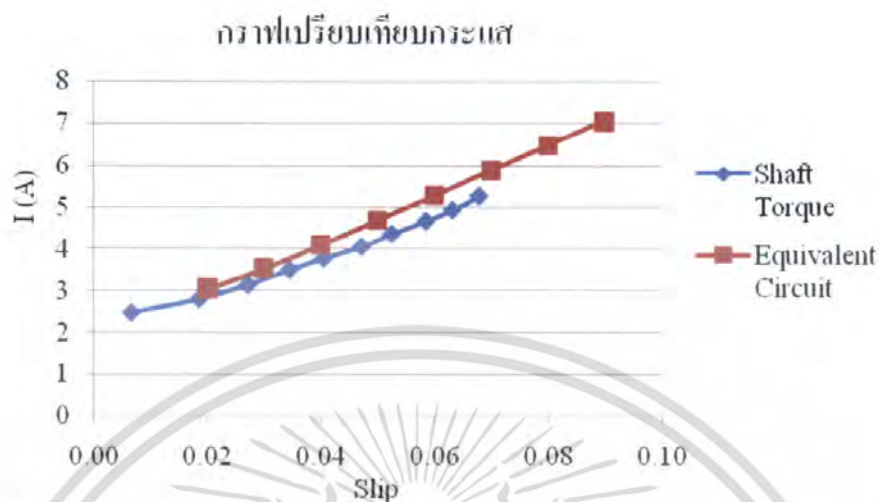


ภาพที่ 3.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW

จากภาพที่ 3.5 จะเห็นได้ว่า ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการคำนวณด้วย วิธีวงจรมุมูลจะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบด้วย วิธีการวัดแรงบิดที่เพลาล็กอยู่ประมาณ 5%

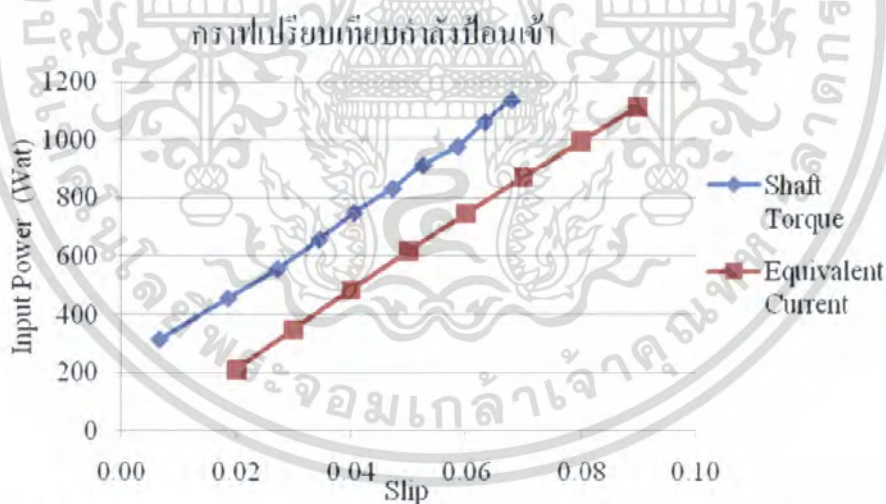
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 วิเคราะห์ผลค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW



ภาพที่ 3.6 การเปรียบเทียบค่ากระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW

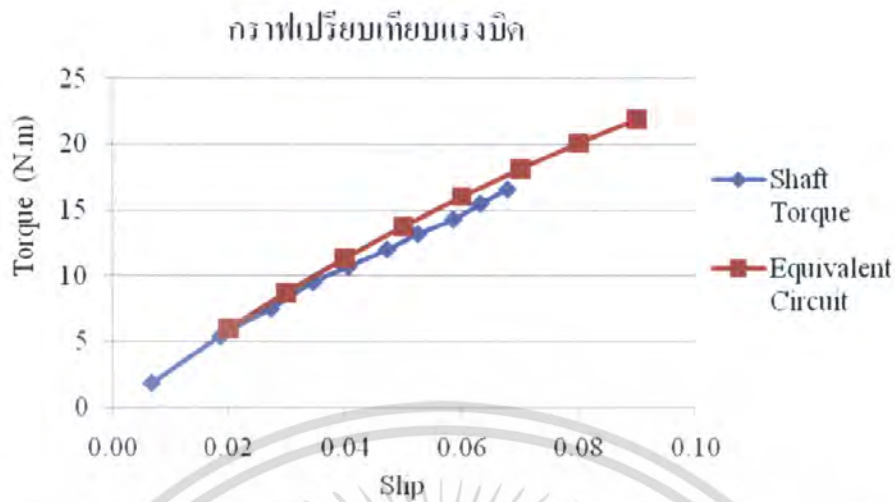
จากภาพที่ 3.6 จะเห็นได้ว่า ค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีวงจรมุมล จะมีค่ากระแสที่สูงกว่า ค่ากระแสที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการวัดแรงบิดที่เพลลา



ภาพที่ 3.7 การเปรียบเทียบกำลังป้อนเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW

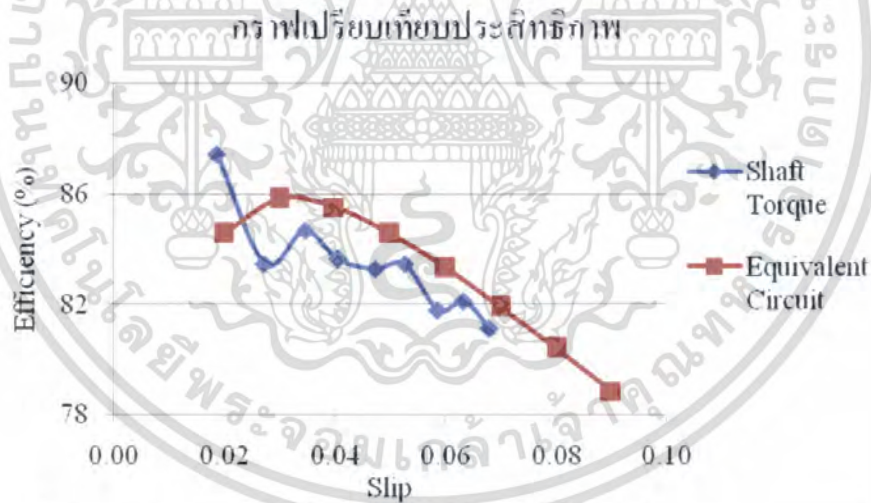
จากภาพที่ 3.7 จะเห็นได้ว่า ค่ากำลังป้อนเข้าที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการวัดแรงบิดที่เพลลานั้น จะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีวงจรมุมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.8 การเปรียบเทียบค่าแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW

จากภาพที่ 3.8 จะเห็นได้ว่า ค่าแรงบิดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีวงจรมูลจะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการวัดแรงบิดที่เพลาล็กน้อย



ภาพที่ 3.9 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW

จากภาพที่ 3.9 จะเห็นได้ว่า ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการวัดแรงบิดที่เพลลา และค่าที่คำนวณจากวิธีวงจรมูลจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ทุกๆช่วง Slip

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสทั้ง 0.75 kW และ 2.2 kW นั้นจะเห็นได้ว่าจะมีค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 75-85% และค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีวงจรมวล นั้นจะเห็นได้ว่าทุก ๆ พารามิเตอร์ที่คำนวณได้จะมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการวัดแรงบิดที่เพลลา และค่าประสิทธิภาพที่ได้ก็มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการประมาณค่าด้วยวิธีวงจรมวล จึงสามารถนำมาใช้ในการประมาณได้ แต่ในการประมาณค่าด้วยวิธีการนี้จะต้องมีการทดสอบ No load Test และ Lock Rotor Test ซึ่งเป็นวิธีการที่ค่อนข้างยุ่งยาก และในการประมาณค่าด้วยวิธีวงจรมวล จะไม่สามารถใช้ในการประมาณค่าที่ระดับแรงดันสูงกว่าหรือที่ระดับแรงดันต่ำกว่าแรงดันที่พิกัดได้

3.5 การทดลองมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในสภาวะแรงดันเกินและแรงดันต่ำกว่าสภาวะปกติ

ในการทดสอบที่สภาวะแรงดันสูงกว่าและต่ำกว่าระดับแรงดันปกตินี้ จะทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟสจะทำการต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบสตาร์ และทำการจ่ายแรงดันที่มากกว่าแรงดันปกติและต่ำกว่าปกติเข้าที่มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดยทำการทดลองตามวิธีการข้างล่าง ดังนี้

- 1) ต่อวงจรมตามภาพที่ 3.1 โดยที่มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสต่อคลัทช์เข้ากับเครื่องวัดแรงบิด และ DC Generator (DC Generator ให้ทำการต่อวงจรมตามแม่เหล็กกระตุ้นแบบแยกส่วน)
- 2) ค่อย ๆ ปรับแหล่งจ่ายไฟกระแสลับให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสให้ได้แรงดันต่ำกว่าปกติ 10% และให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่
- 3) เพิ่มกระแสกระตุ้นของ DC Generator โดยการปรับแรงดันที่ AC Variac-1 phase ให้ได้ค่าแรงบิดเท่ากับค่าแรงบิดที่สภาวะปกติ บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{in}), กระแสไฟฟ้า (I_{in}), กำลังไฟฟ้า (P_{in}), ตัวประกอบกำลัง ($\cos\phi$), แรงบิด (τ), ความเร็วรอบ (N_r) และความถี่ (f) ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง จากนั้นทำการปรับลดกระแสกระตุ้นของ DC Generator ให้ค่าแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำลดลงเป็น Step ตามค่าแรงบิดที่สภาวะแรงดันปกติ และบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 3.9
- 4) ทำการทดสอบตามข้อที่ 2-4 โดยเปลี่ยนระดับแรงดันให้ต่ำกว่าสภาวะแรงดันปกติ 5% และให้ระดับแรงดันสูงกว่าสภาวะแรงดันปกติเป็น 5% และ 10% ตามลำดับและบันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 3.10 ถึงตารางที่ 3.12
- 5) ทำการทดสอบตามข้อที่ 1 ถึงข้อที่ 6 โดยทำการเปลี่ยนเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 2.2 kW และบันทึกผลการทดลองในตารางที่ 3.13 ถึงตารางที่ 3.16

3.5.1 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าและต่ำกว่าสภาวะปกติ

ตารางที่ 3.9 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 0.75 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10%

Step	%Load	Input Voltage(V)			Input Current(A)			Input Power(Watt)				T (N.m)	Speed (rpm)	Pout (Watt)	%Eff
		an	bn	cn	a	b	c	a	b	c	Total				
1	28.89	199.6	200.4	200.3	0.97	1.03	0.99	97	106	97	300	1.4	1470	215.51	71.84
2	44.81	200.2	200.1	200.9	1.12	1.14	1.14	146	152	146	444	2.2	1451	334.29	75.29
3	56.52	200.0	200.7	200.6	1.22	1.29	1.26	176	188	180	544	2.8	1438	421.64	77.51
4	67.77	199.5	200.3	200.2	1.38	1.43	1.41	212	222	226	660	3.4	1420	505.59	76.60
5	76.92	199.5	200.1	200.1	1.52	1.58	1.54	244	256	249	749	3.9	1405	573.81	76.61
6	85.85	199.5	200.2	200.1	1.65	1.71	1.67	274	286	277	837	4.4	1390	640.47	76.52
7	92.85	199.5	200.3	200.2	1.78	1.84	1.80	301	314	305	920	4.8	1378	692.66	75.29
8	98.08	199.5	200.1	200.2	1.86	1.91	1.89	317	328	324	969	5.1	1370	731.68	75.51
9	106.67	199.6	199.4	200.3	2.06	2.08	2.09	358	364	364	1086	5.6	1357	795.79	73.28
10	113.28	199.6	199.4	200.0	2.16	2.18	2.18	380	386	383	1149	6.0	1345	845.09	73.55

ตารางที่ 3.10 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 0.75 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพล่า ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5%

Step	%Load	Input Voltage(V)			Input Current(A)			Input Power(Watt)				T (N.m)	Speed (rpm)	Pout (Watt)	%Eff
		an	bn	cn	a	b	c	a	b	c	Total				
1	28.99	209.6	209.8	209.7	1.02	1.06	1.01	93	100	89	282	1.4	1475	216.25	76.68
2	45.09	210	210.1	210.1	1.12	1.16	1.12	135	143	133	411	2.2	1460	336.36	81.84
3	56.76	210.4	210.6	210.7	1.26	1.29	1.26	179	182	178	539	2.8	1444	423.40	78.55
4	68.35	209.9	210.3	210.3	1.35	1.39	1.36	204	212	207	623	3.4	1432	509.86	81.84
5	77.68	210.2	209.8	211.1	1.5	1.51	1.52	244	245	246	735	3.9	1419	579.53	78.85
6	86.72	210.1	210.4	211.5	1.62	1.65	1.97	274	273	283	830	4.4	1404	646.92	77.94
7	94.00	209.8	210.3	211.4	1.72	1.76	1.77	297	305	306	908	4.8	1395	701.20	77.23
8	99.15	209.9	210	211.2	1.82	1.84	1.85	320	322	324	966	5.1	1385	739.69	76.57
9	107.70	209.7	209.9	211	1.96	1.98	2	353	356	358	1067	5.6	1370	803.41	75.30
10	114.71	209.7	209.8	210.9	2.07	2.09	2.11	375	379	382	1136	6	1362	855.77	75.33

ตารางที่ 3.11 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 0.75 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เฟลา ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5%

Step	%Load	Input Voltage(V)			Input Current(A)			Input Power(Watt)				T (N.m)	Speed (rpm)	Pout (Watt)	%Eff
		an	bn	cn	a	b	c	a	b	c	Total				
1	29.03	230.3	230.7	231.0	1.22	1.27	1.22	113	120	110	343	1.4	1477	216.54	63.13
2	45.21	229.5	230.2	230.3	1.28	1.35	1.31	156	168	154	478	2.2	1464	337.28	70.56
3	57.15	229.7	230.4	230.5	1.36	1.43	1.39	188	199	187	574	2.8	1454	426.34	74.27
4	68.73	229.6	230.4	230.4	1.46	1.53	1.48	223	235	222	680	3.4	1440	512.71	75.40
5	78.34	229.6	230.4	230.4	1.54	1.64	1.57	248	264	252	764	3.9	1431	584.43	76.50
6	87.71	230.0	230.7	230.6	1.66	1.74	1.68	284	299	286	869	4.4	1420	654.29	75.29
7	95.34	230.0	230.9	230.9	1.73	1.81	1.77	304	321	311	936	4.8	1415	711.26	75.99
8	101.02	229.8	230.6	230.5	1.78	1.86	1.81	320	336	323	979	5.1	1411	753.57	76.97
9	109.98	229.6	230.6	230.4	1.90	1.97	1.93	350	364	353	1067	5.6	1399	820.42	76.89
10	117.33	229.8	230.6	230.7	1.99	2.06	2.02	374	386	377	1137	6.0	1393	875.25	76.98

ตารางที่ 3.12 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 0.75 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10%

Step	%Load	Input Voltage(V)			Input Current(A)			Input Power(Watt)				T (N.m)	Speed (rpm)	Pout (Watt)	%Eff
		an	bn	cn	a	b	c	a	b	c	Total				
1	29.14	240	241	240.6	1.31	1.41	1.31	110	123	101	334	1.4	1483	217.42	65.10
2	45.37	240.2	241.1	240.7	1.38	1.48	1.38	151	166	145	462	2.2	1469	338.43	73.25
3	57.35	240.2	241.3	240.9	1.44	1.55	1.45	184	201	180	565	2.8	1459	427.80	75.72
4	69.16	240	240.9	240.7	1.52	1.6	1.53	220	233	220	673	3.4	1449	515.91	76.66
5	78.83	239.7	240.7	240.3	1.58	1.66	1.59	242	258	243	743	3.9	1440	588.11	79.15
6	88.26	239.7	239.7	240.1	1.69	1.75	1.69	282	291	277	850	4.4	1429	658.44	77.46
7	95.88	239.5	239.6	240.2	1.76	1.81	1.78	309	316	307	932	4.8	1423	715.28	76.75
8	101.59	240	240.2	240.8	1.81	1.86	1.83	321	329	321	971	5.1	1419	757.85	78.05
9	110.76	239.5	240.2	240	1.9	1.98	1.9	351	365	348	1064	5.6	1409	826.28	77.66
10	118.25	239.4	240.4	240.2	1.97	2.07	1.99	370	388	370	1128	6	1404	882.16	78.21

3.5.2 ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าและต่ำกว่าสภาวะปกติ

ตารางที่ 3.13 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10%

Step	%Load	Input Voltage(V)			Input Current(A)			Input Power(Watt)				T (N.m)	Speed (rpm)	Pout (Watt)	%Eff
		an	bn	cn	a	b	c	a	b	c	Total				
1	12.54	199.6	200.7	200.7	1.92	2.04	1.99	110	133	112	355	1.8	1489	280.67	79.06
2	37.04	200	201.1	201.2	2.38	2.54	2.5	291	325	304	920	5.4	1466	829.00	90.11
3	51.03	200.4	201.4	201.5	2.83	3.02	2.95	424	459	433	1316	7.5	1454	1141.97	86.78
4	63.79	199.5	200.7	200.7	3.3	3.51	3.45	530	572	550	1652	9.5	1435	1427.59	86.42
5	71.45	200.5	201.3	201.6	3.7	3.88	3.82	621	657	634	1912	10.7	1427	1598.96	83.63
6	79.40	200.5	201.3	201.7	4.04	4.2	4.19	690	728	714	2132	12	1414	1776.88	83.34
7	86.78	200.1	201	201.4	4.43	4.59	4.55	766	804	790	2360	13.2	1405	1942.13	82.29
8	93.14	222	200.9	201.4	4.8	4.96	4.92	844	881	864	2589	14.3	1392	2084.51	80.51
9	100.23	200.3	201.3	201.5	5.3	5.46	5.39	950	983	962	2895	15.5	1382	2243.20	77.49
10	106.65	200.4	201.3	201.7	5.67	5.8	5.74	1017	1048	1034	3099	16.6	1373	2386.75	77.02

ตารางที่ 3.14 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เฟลา ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5%

Step	%Load	Input Voltage(V)			Input Current(A)			Input Power(Watt)				T (N.m)	Speed (rpm)	Pout (Watt)	%Eff
		an	bn	cn	a	b	c	a	b	c	Total				
1	12.55	210.1	211.1	211.2	2.16	2.26	2.21	124	143	126	393	1.8	1490	280.86	71.47
2	37.17	209.9	211	211	2.51	2.71	2.63	300	337	302	939	5.4	1471	831.83	88.59
3	51.13	209.9	210.3	211.2	2.99	3.07	3.07	445	463	451	1359	7.5	1457	1144.33	84.20
4	64.32	209.8	210.5	211.5	3.41	3.5	3.54	553	575	571	1699	9.5	1447	1439.53	84.73
5	71.95	210.3	211.4	211.4	3.69	3.82	3.75	614	647	624	1885	10.7	1437	1610.16	85.42
6	80.24	210	211	211	4.04	4.21	4.09	704	740	705	2149	12	1429	1795.73	83.56
7	87.77	209.9	211	212.1	4.3	4.45	4.49	761	789	788	2338	13.2	1421	1964.25	84.01
8	94.55	210.3	211.2	212.3	4.65	4.73	4.82	838	856	868	2562	14.3	1413	2115.96	82.59
9	101.54	209.7	210.7	211.7	5.04	5.22	5.23	928	966	955	2849	15.5	1400	2272.42	79.76
10	107.81	209.7	210.7	211.7	5.34	5.56	5.57	988	1033	1022	3043	16.6	1388	2412.83	79.29

ตารางที่ 3.15 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เพลา ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5%

Step	% Load	Input Voltage(V)			Input Current(A)			Input Power(Watt)				T (N.m)	Speed (rpm)	Pout (Watt)	%Eff
		an	bn	cn	a	b	c	a	b	c	Total				
1	12.57	229.9	231.1	231.1	2.77	2.89	2.86	141	171	132	444	1.8	1493	281.42	63.38
2	37.27	230.1	231.1	231.3	3.01	3.17	3.1	345	385	342	1072	5.4	1475	834.09	77.81
3	51.38	229.7	230.6	231	3.27	3.42	3.39	464	498	471	1433	7.5	1464	1149.82	80.24
4	64.59	229.7	230.7	230.9	3.58	3.78	3.7	564	608	564	1736	9.5	1453	1445.50	83.27
5	72.35	229.6	230.6	230.7	3.81	4.01	3.91	638	681	638	1957	10.7	1445	1619.12	82.74
6	80.69	230.3	231.5	231.6	4.1	4.3	4.2	724	766	730	2220	12	1437	1805.79	81.34
7	88.32	230.2	231.4	231.4	4.35	4.53	4.43	783	826	789	2398	13.2	1430	1976.69	82.43
8	95.22	230	230.1	231.1	4.62	4.83	4.72	868	911	871	2650	14.3	1423	2130.93	80.41
9	102.84	230.5	231.8	231.8	4.95	5.14	5.02	951	992	957	2900	15.5	1418	2301.64	79.37
10	109.52	230.4	231.4	231.4	5.11	5.28	5.24	984	1028	1003	3015	16.6	1410	2451.07	81.30

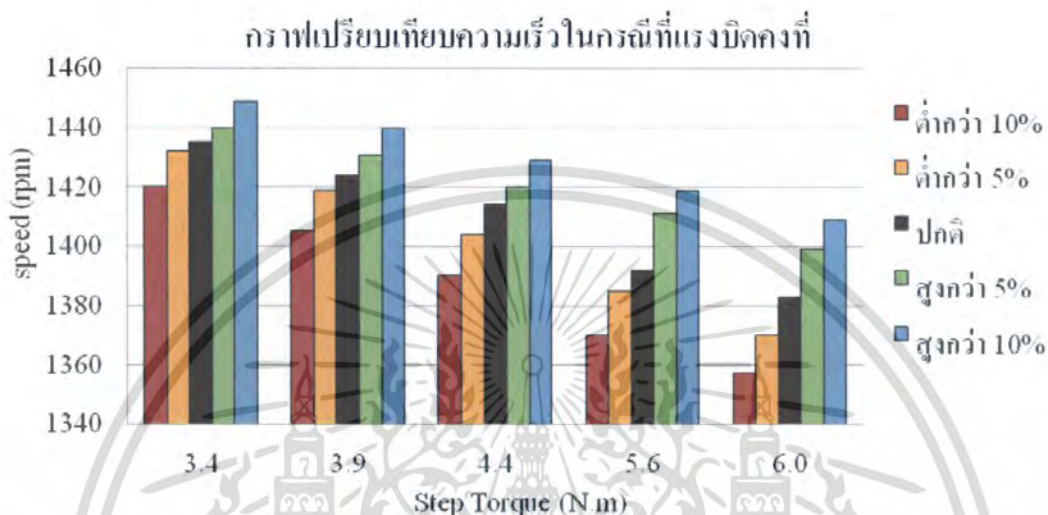
ตารางที่ 3.16 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ด้วยวิธีการแรงบิดที่เฟลา ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10%

Step	%Load	Input Voltage(V)			Input Current(A)			Input Power(Watt)				T (N.m)	Speed (rpm)	Pout (Watt)	%Eff
		an	bn	cn	a	b	c	a	b	c	Total				
1	12.57	240.4	240.8	241.6	3.22	3.29	3.33	175	194	163	532	1.8	1493	281.42	52.90
2	37.32	239.9	240.1	241	3.4	3.49	3.5	376	389	350	1115	5.4	1477	835.22	74.91
3	51.52	239.5	239.8	240.7	3.61	3.66	3.69	473	484	462	1419	7.5	1468	1152.96	81.25
4	64.86	239.7	240	240.9	3.88	3.91	3.95	579	594	575	1748	9.5	1459	1451.47	83.04
5	72.75	239.5	240.7	240.9	3.99	4.19	4.12	629	674	635	1938	10.7	1453	1628.09	84.01
6	81.19	240	240.4	241.5	4.27	4.35	4.4	719	742	727	2188	12	1446	1817.10	83.05
7	88.88	240	240.6	241.6	4.5	4.62	4.65	804	837	814	2455	13.2	1439	1989.13	81.02
8	95.95	239.6	240.3	240.5	4.7	4.8	4.85	870	893	885	2648	14.3	1434	2147.40	81.10
9	103.57	239.9	240.5	241.5	4.94	5.04	5.07	933	957	942	2832	15.5	1428	2317.87	81.85
10	110.22	240	240.6	241.6	5.23	5.31	5.34	1015	1033	1024	3072	16.6	1419	2466.72	80.30

3.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในสภาวะแรงดันเกินและแรงดันต่ำกว่าสภาวะปกติ

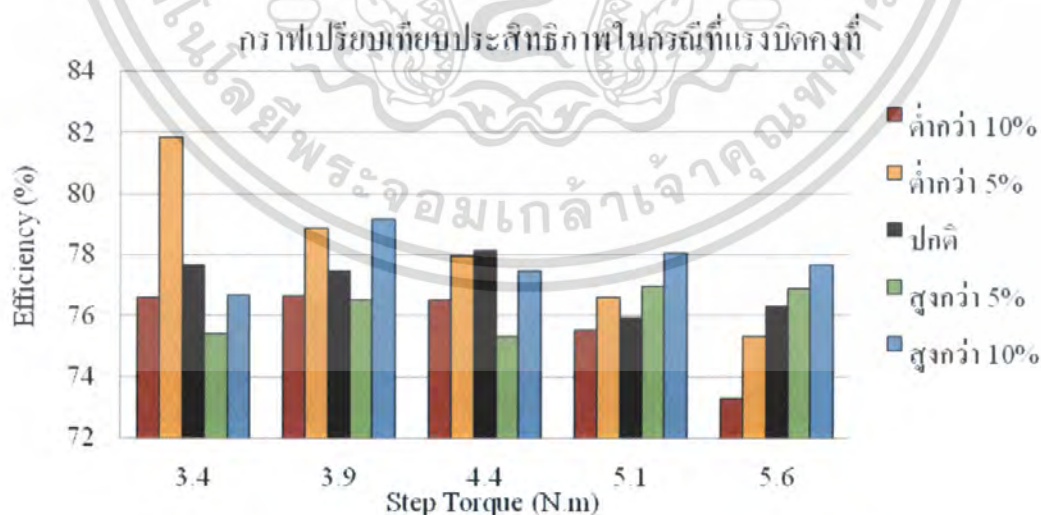
3.6.1 วิเคราะห์ผลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW

- กรณีที่ค่าแรงบิดมีค่าเท่ากับที่สภาวะแรงดันปกติ



ภาพที่ 3.10 การเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW ที่ค่าแรงบิดคงที่

จากภาพที่ 3.10 จะเห็นได้ว่าค่าของความเร็วจะเป็นไปตามระดับของแรงดัน คือระดับแรงดันมีค่ามากความเร็วก็จะมาก ระดับแรงดันน้อยความเร็วก็จะน้อย

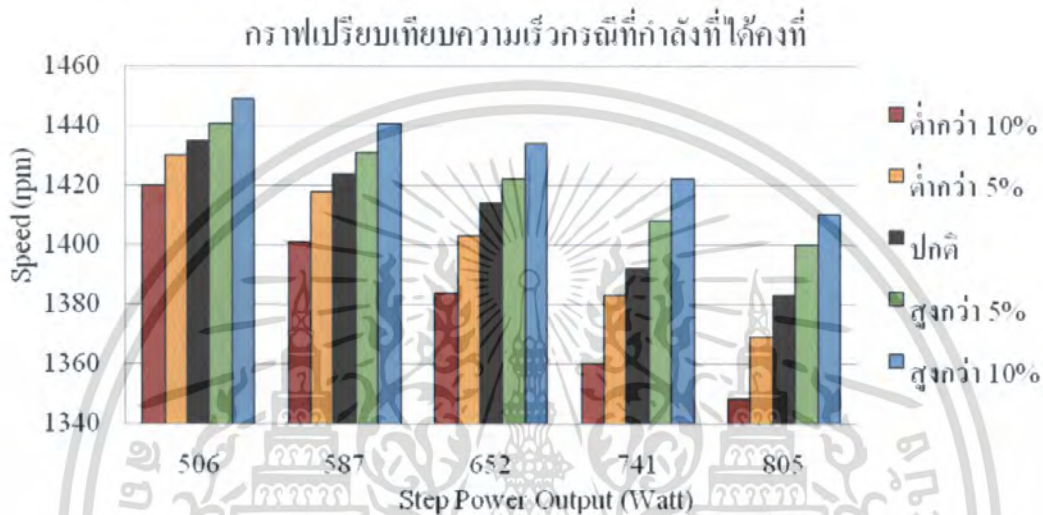


ภาพที่ 3.11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW ที่ค่าแรงบิดคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

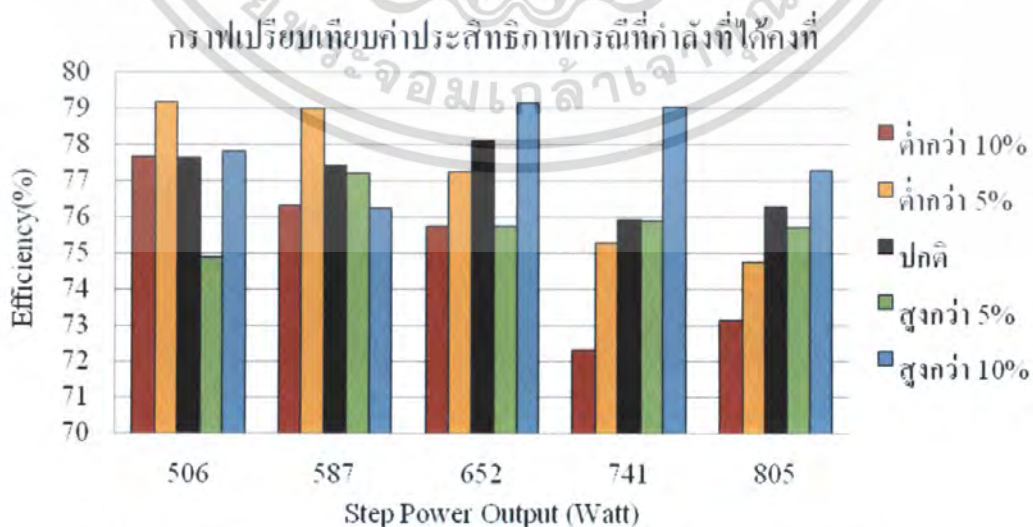
จากภาพที่ 3.11 จะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพในช่วง Step Load ที่ 7-9 นั้น ค่าของประสิทธิภาพที่ระดับแรงดันที่สูงกว่า 5%-10% จะมีค่าที่มากกว่าที่ระดับแรงดันปกติ (ซึ่งคิดเป็นช่วง 90-100% Load) แต่ในช่วงระดับ 90%Load ลงไปค่าประสิทธิภาพ ที่ระดับแรงดันต่ำกว่าปกติ 5%-10% ค่าประสิทธิภาพจะมีค่ามากกว่าที่ระดับแรงดัน 220 V

- กรณีที่ค่ากำลังที่ได้มีค่าเท่ากับที่สภาวะแรงดันปกติ



ภาพที่ 3.12 การเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW ที่ค่ากำลังที่ได้คงที่

จากภาพที่ 3.12 จะเห็นได้ว่าค่าของความเร็วจะเป็นไปตามระดับของแรงดัน คือระดับแรงดันมีค่ามากความเร็วก็จะมาก ระดับแรงดันน้อยความเร็วก็จะน้อย



ภาพที่ 3.13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

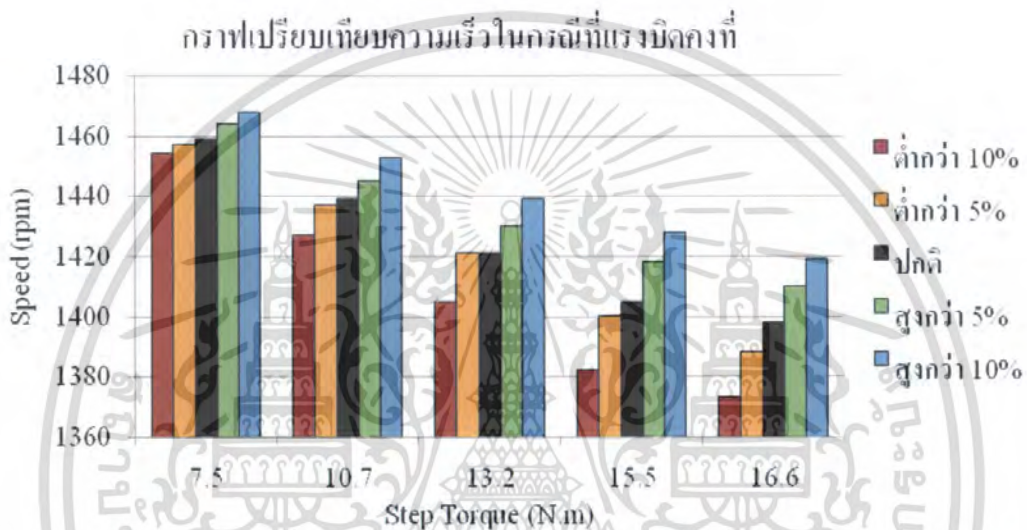
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ขนาด 0.75 kW ที่ค่ากำลังที่ได้คงที่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.13 จะเห็นได้ว่าที่ระดับแรงดันต่ำกว่าสภาวะปกติ ในช่วงที่โหลดน้อยๆ ค่าประสิทธิภาพจะมีค่ามากกว่าที่สภาวะปกติ แต่เมื่อโหลดมีค่ามากขึ้น ค่าประสิทธิภาพในระดับแรงดันที่ต่ำกว่าจะมีค่าค่อยๆ น้อยลงและน้อยกว่าที่สภาวะปกติ ส่วนที่ระดับแรงดันสูงกว่าปกติ ค่าประสิทธิภาพจะมีค่าค่อยๆ มากและใกล้เคียงกับที่สภาวะปกติในช่วงที่โหลดมีค่ามาก

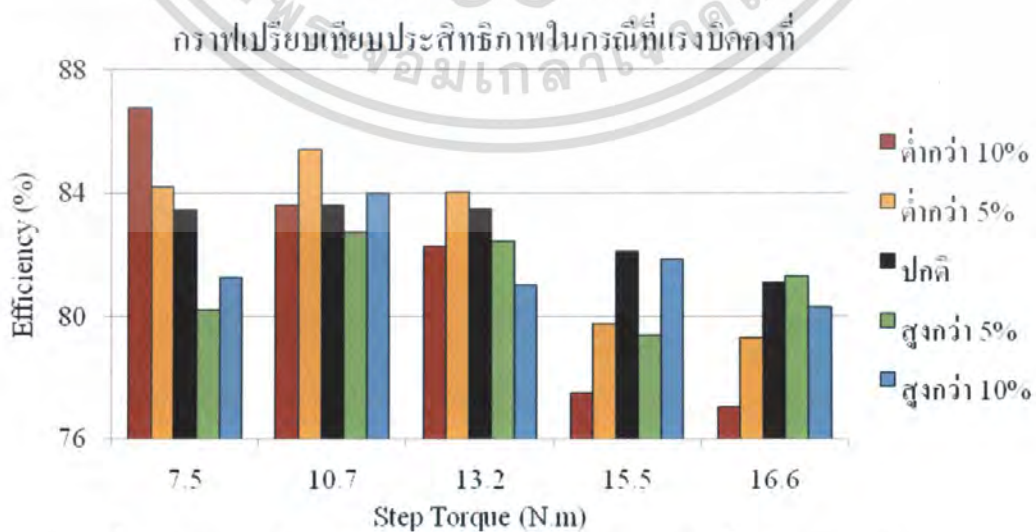
3.6.2 วิเคราะห์ผลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW

- กรณีที่ค่าแรงบิดมีค่าเท่ากับที่สภาวะแรงดันปกติ



ภาพที่ 3.14 การเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ที่ค่าแรงบิดคงที่

จากภาพที่ 3.14 จะเห็นได้ว่าค่าของความเร็วจะเป็นไปตามระดับของแรงดัน คือระดับแรงดันมีค่ามากความเร็วก็จะมาก ระดับแรงดันน้อยความเร็วก็จะน้อย

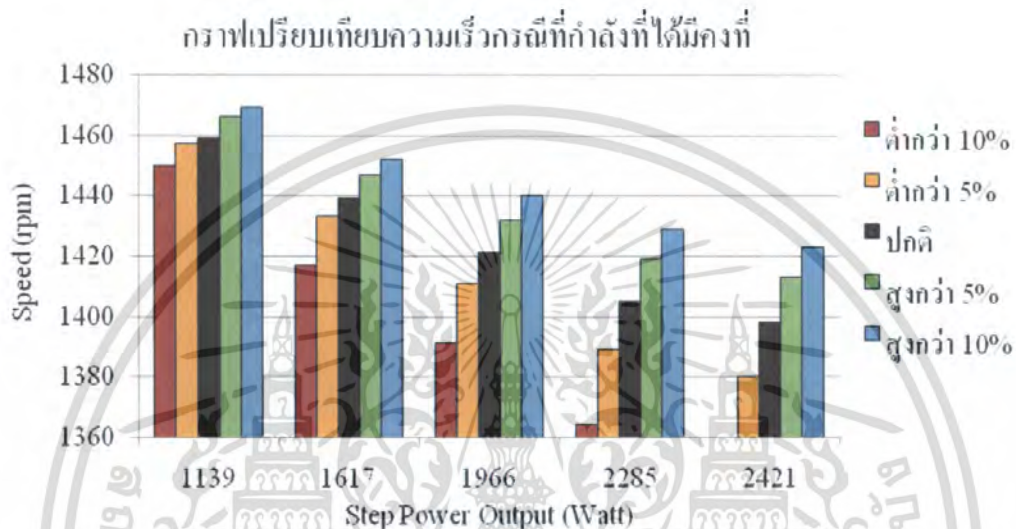


ภาพที่ 3.15 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่นใด และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

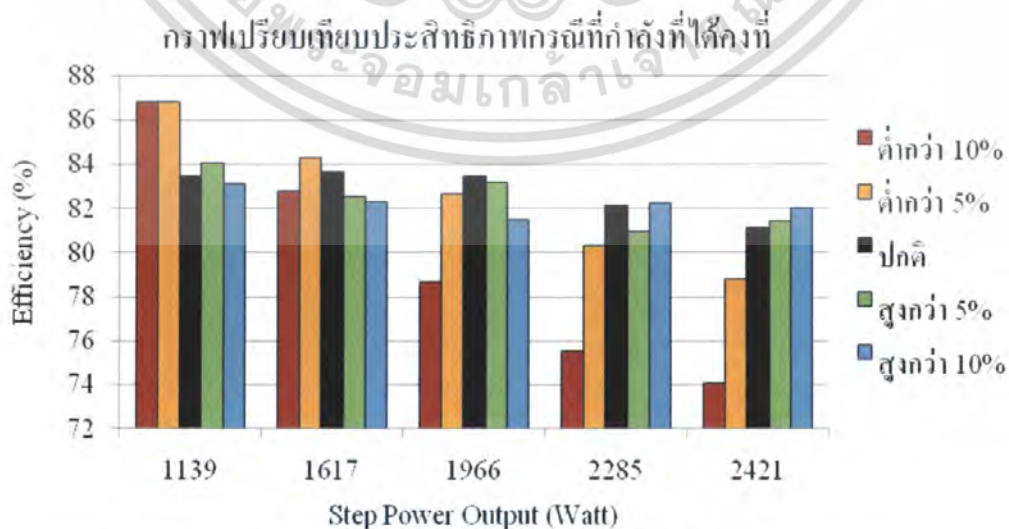
จากภาพที่ 3.15 จะเห็นได้ว่าที่ระดับแรงดันต่ำกว่าสภาวะปกติ ในช่วงที่โหลดน้อยๆ ค่าประสิทธิภาพจะมีค่ามากกว่าที่สภาวะปกติ แต่เมื่อโหลดมีค่ามากขึ้น ค่าประสิทธิภาพในระดับแรงดันที่ต่ำกว่าจะมีค่าน้อยกว่าที่สภาวะปกติ และที่สภาวะปกติจะมีค่าประสิทธิภาพมากกว่าในระดับแรงดันสูงกว่า

- กรณีที่ค่ากำลังที่ได้มีค่าเท่ากับที่สภาวะแรงดันปกติ



ภาพที่ 3.16 การเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 2.2 kW ที่ค่ากำลังที่ได้คงที่

จากภาพที่ 3.16 จะเห็นได้ว่าค่าของความเร็วจะเป็นไปตามระดับของแรงดัน คือระดับแรงดันมีค่ามากความเร็วก็จะมาก ระดับแรงดันน้อยความเร็วก็จะน้อย แต่ในช่วงที่โหลดน้อยๆ ความเร็วจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกๆระดับแรงดัน



ภาพที่ 3.17 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ขนาด 2.2 kW ที่ค่ากำลังที่ได้คงที่

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.17 จะเห็นได้ว่า ในช่วงที่โหลดน้อยๆ ค่าประสิทธิภาพที่ระดับแรงดันต่ำกว่าสภาวะปกติค่าประสิทธิภาพจะมีค่าที่มากกว่า และจะค่อยๆ น้อยลง เมื่อโหลดมากขึ้นและในช่วงโหลดมากๆ ที่สภาวะปกติและที่ระดับแรงดันสูงกว่าปกติ ค่าประสิทธิภาพจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

3.7 วิจัยรณัผลการทดลอง

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า เมื่อมอเตอร์มีการทำงานระดับแรงดันไฟฟ้าที่ผิดจากสภาวะปกติคือที่ระดับแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าหรือต่ำกว่าระดับแรงดันปกติ จะเห็นได้ว่ามอเตอร์นั้นจะมีค่าประสิทธิภาพที่เปลี่ยนไปโดยจากการทดลองจะทำการคงที่ค่ากำลังที่ได้ (Power Output) แล้วศึกษาว่าค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่า เมื่อค่าระดับแรงดันมีค่าต่ำกว่าที่พิกัดค่าของกระแสจะมีค่าที่น้อยกว่าระดับแรงดันที่สูงกว่าที่พิกัดและเป็นในช่วงก่อนที่มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจะเกิดการอิมตัวและในช่วงหลังจะจากมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสอิมตัวแล้วค่าของกระแสจะน้อยลงตามระดับแรงดันที่เพิ่มขึ้น โดยจะเห็นได้ว่าในช่วงแรกที่มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสยังไม่อิมตัวนั้นค่าของกระแสและระดับของแรงดันมีลักษณะเหมือน B-H Curve แต่เมื่อแกนเหล็กอิมตัวแล้วนั้นเมื่อระดับของแรงดันต่ำกว่าระดับแรงดันที่พิกัดเพื่อที่จะให้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขับโหลดที่เท่ากับกำลังขับที่พิกัดตั้งนั้นมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสจึงจะต้องดึงกระแสให้มากขึ้น ซึ่งถ้าขดลวดในมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสได้รับกระแสที่มากกว่าค่ากระแสที่พิกัดจะเป็นสาเหตุทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสไหม้ได้

จากการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ จะเห็นได้ว่า ค่าประสิทธิภาพนั้นจะมีค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกๆ ระดับแรงดัน ซึ่งในความเป็นจริงนั้นค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดควรจะเป็นที่สภาวะปกติ ซึ่งเป็นแรงดันที่พิกัดเพราะไม่มีผลจากการที่มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสรับกระแสมากเกินไปที่ระดับแรงดันที่ต่ำกว่าที่พิกัด และไม่เกิดการอิมตัวของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเนื่องจากได้รับแรงดันที่เกินพิกัด เมื่อต้องการขับภาระทางกลเท่าเดิม

บทที่ 4

วิธีการประเมินค่าประสิทธิภาพขณะใช้งาน

4.1 บทนำ

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงการประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสด้วยวิธีการต่าง ๆ ขณะที่มอเตอร์ใช้งานจริง (Field Test) โดยจะทำการคำนวณและเปรียบเทียบว่าวิธีการต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษานั้นจะมีค่ากำลังที่ได้เท่าไรและค่าประสิทธิภาพเป็นเท่าไร มีค่าความแม่นยำอยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์โหลดเท่าไรและทำการเปรียบเทียบมอเตอร์ 2 ขนาดคือ 2.2 kW และ 0.75 kW ว่าวิธีการใดเหมาะกับมอเตอร์ขนาดเท่าไร โดยทำการเปรียบเทียบเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากค่าประสิทธิภาพที่ได้จากมอเตอร์ในห้องปฏิบัติการ (Shaft Torque Method)

4.2 ตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพโดยวิธีการต่าง ๆ

ในการคำนวณค่ากำลังที่ได้และค่าประสิทธิภาพจะสามารถคำนวณได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้ โดยจะทำการยกตัวอย่างการคำนวณโดยใช้ Step Load ที่ 6 ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW ในสภาวะแรงดันปกติ (220 โวลต์) เป็นตัวอย่างในการคำนวณ

วิธีใช้ค่าสลลิปแบบที่ 1 (Slip Method I)

$$\eta = \frac{Slip}{Slip_{rated}} \cdot \frac{P_{out, rated}}{P_{input}} \cdot 100 \quad (4.1)$$

$$\eta = \frac{0.057}{0.067} \cdot \frac{746}{834} \cdot 100$$

$$\eta = 76.93\%$$

วิธีใช้ค่าสลลิปแบบที่ 2 (Slip Method II)

$$\eta = \frac{Slip}{Slip_{rated}} \cdot \frac{P_{out, rated}}{P_{input}} \cdot \left(\frac{V}{V_{rated}}\right)^2 \cdot 100 \quad (4.2)$$

$$\eta = \frac{0.057}{0.067} \cdot \frac{746}{834} \cdot \left(\frac{221}{220}\right)^2 \cdot 100$$

$$\eta = 77.60\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 1 (Current Method I)

$$\eta = \frac{I}{I_{fl}} \cdot \frac{P_{out,rated}}{P_{input}} \cdot 100 \quad (4.3)$$

$$\eta = \frac{1.63}{2} \cdot \frac{746}{834} \cdot 100$$

$$\eta = 73.05 \%$$

วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 2 (Current Method II)

$$\eta = \frac{I - I_{nl}}{I_{fl} - I_{nl}} \cdot \frac{P_{output,rated}}{P_{input}} \cdot 100 \quad (4.4)$$

$$\eta = \frac{1.63 - 1.05}{2 - 1.05} \cdot \frac{746}{834} \cdot 100$$

$$\eta = 55.64 \%$$

วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 3 (Current Method III)

$$\eta = \frac{2I - I_{nl}}{2I_{fl} - I_{nl}} \cdot \frac{P_{output,rated}}{P_{input}} \cdot 100 \quad (4.5)$$

$$\eta = \frac{2(1.63) - 1.05}{2(2) - 1.05} \cdot \frac{746}{834} \cdot 100$$

$$\eta = 67.36 \%$$

*** ในตารางแสดงการคำนวณสัญลักษณ์ต่างๆแสดงได้ดังนี้ ***

SM I = วิธีใช้ค่าสลลิป (Slip Method I)

SM II = วิธีใช้ค่าสลลิปแบบที่ 2 (Slip Method II)

CM I = วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 1 (Current Method I)

CM II = วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 2 (Current Method II)

CM III = วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 3 (Current Method III)

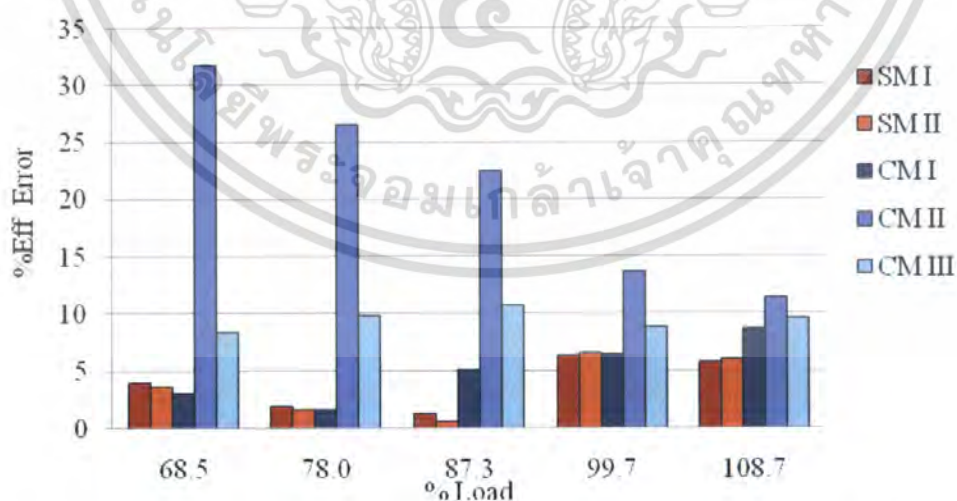
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่สภาวะแรงดันปกติ

จากตัวอย่างการคำนวณค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีการต่าง ๆ ข้างต้น จะได้ผลการคำนวณ ดังนี้ โดยพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาด 0.75 kW ในสภาวะปกติ (220 โวลต์)

%Load	%Eff	Error	%Eff	Error	%Eff	Error	%Eff	Error	%Eff	Error
	SM I	SM I	SM II	SM II	CM I	CM I	CM II	CM II	CM III	CM III
28.99	59.39	9.47	59.43	9.44	133.44	64.57	22.86	46.01	97.32	28.46
45.15	62.30	11.72	62.23	11.80	100.29	26.26	32.68	41.35	78.21	4.18
56.91	69.64	6.58	69.48	6.75	87.95	11.72	39.12	37.10	72.00	4.22
68.49	73.69	3.96	74.07	3.58	80.68	3.04	45.97	31.68	69.35	8.30
77.96	75.49	1.95	75.88	1.56	75.83	1.61	50.86	26.58	67.67	9.77
87.34	76.93	1.19	77.60	0.52	73.05	5.07	55.64	22.48	67.36	10.76
94.47	79.90	2.88	80.04	3.03	70.52	6.50	58.84	18.18	66.71	10.31
99.66	82.30	6.36	82.45	6.51	69.47	6.47	62.32	13.62	67.13	8.80
108.72	82.11	5.81	82.31	6.01	67.61	8.69	64.87	11.42	66.71	9.58
115.64	83.18	7.44	83.31	7.57	66.70	9.04	67.97	7.77	67.11	8.63



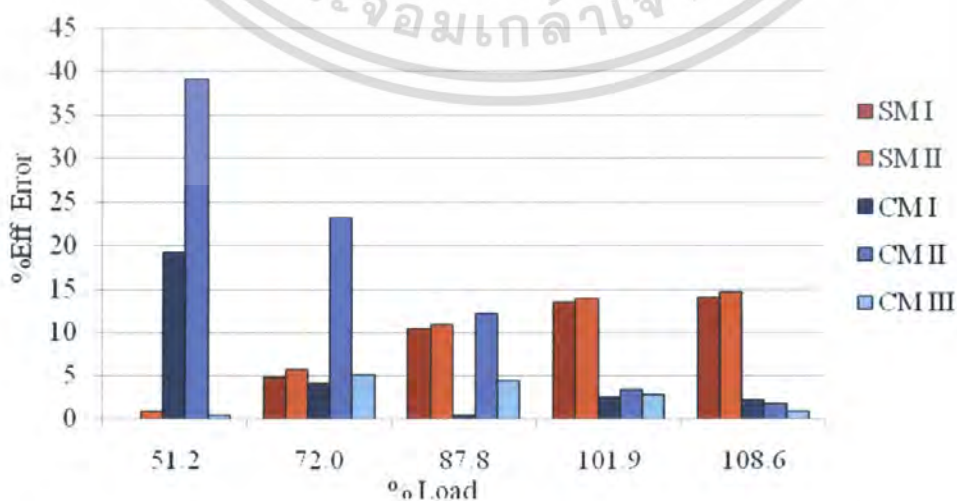
ภาพที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของมอเตอร์ขนาด 0.75 kW ที่สภาวะปกติ

จากตารางและภาพที่ 4.1 การคำนวณประสิทธิภาพวิธีใช้ค่าสลิปแบบที่ 1 และ วิธีใช้ค่าสลิปแบบที่ 2 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณประสิทธิภาพมีค่าน้อยมากที่สุดที่ต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการทั้งสองวิธีนี้มีความแม่นยำสูงและสามารถนำมาใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพของมอเตอร์ได้โดยไม่ต้องกังวลถึงค่าความคลาดเคลื่อนมากนัก อย่างไรก็ตาม การคำนวณประสิทธิภาพด้วยวิธีใช้ค่าสลิปแบบที่ 1 และ วิธีใช้ค่าสลิปแบบที่ 2 นั้นยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่โหลดของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงบ่อยครั้ง ซึ่งอาจทำให้ผลการคำนวณไม่ตรงกับค่าจริงได้ ดังนั้น การคำนวณประสิทธิภาพของมอเตอร์ควรใช้วิธีการที่แม่นยำและเชื่อถือได้มากที่สุด ซึ่งก็คือการวัดค่าประสิทธิภาพโดยตรงด้วยเครื่องมือที่ถูกต้องและเหมาะสม

เปอร์เซ็นต์โหลดเข้าใกล้ Full load เมื่อเทียบกับการหาประสิทธิภาพโดยวิธี Shaft torque Method ส่วนการคำนวณประสิทธิภาพโดยวิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 1, แบบที่ 2 และแบบที่ 3 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณประสิทธิภาพมีค่าน้อยลงที่เปอร์เซ็นต์โหลดเข้าใกล้ full load

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาด 2.2 kW ในสภาวะปกติ (220 โวลต์)

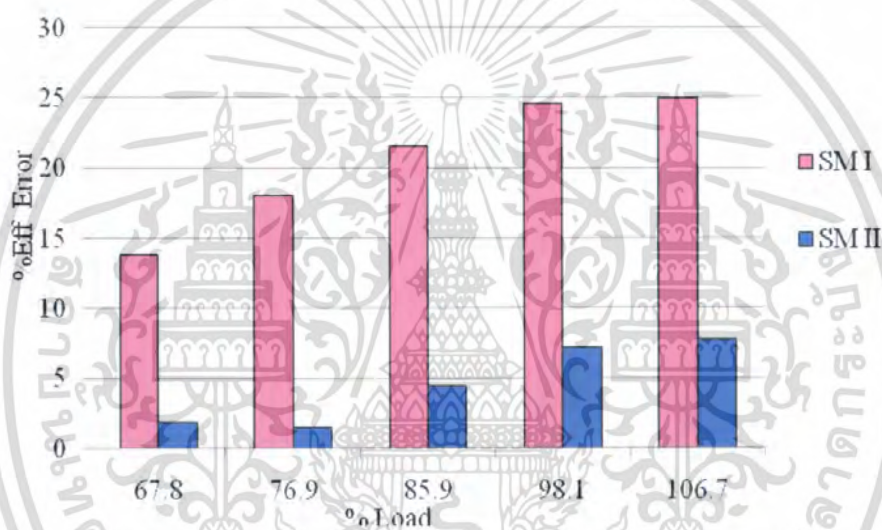
%Load	%Eff	Error	%Eff	Error	%Eff	Error	%Eff	Error	%Eff	Error
	SM I	SM I	SM II	SM II	CM I	CM I	CM II	CM II	CM III	CM III
12.55	67.25	0.27	67.64	0.12	266.84	199.32	4.24	63.28	178.38	110.86
37.19	82.28	5.16	82.98	4.46	132.12	44.68	32.39	55.04	98.52	11.09
51.20	83.54	0.08	84.43	0.97	102.69	19.23	44.28	39.18	83.01	0.45
64.37	85.52	0.83	86.51	1.82	92.27	7.59	54.22	30.47	79.45	5.23
72.05	88.51	4.88	89.32	5.69	87.76	4.12	60.32	23.31	78.51	5.12
80.24	92.13	8.84	92.68	9.39	84.36	1.07	65.52	17.77	78.01	5.28
87.77	93.92	10.45	94.32	10.84	83.00	0.48	71.27	12.21	79.05	4.43
94.48	95.23	13.44	95.75	13.96	80.86	0.93	75.33	6.47	79.00	2.80
101.90	95.70	13.58	96.14	14.01	79.62	2.50	78.69	3.44	79.31	2.81
108.59	95.24	14.13	95.79	14.68	78.88	2.23	82.93	1.82	80.25	0.87



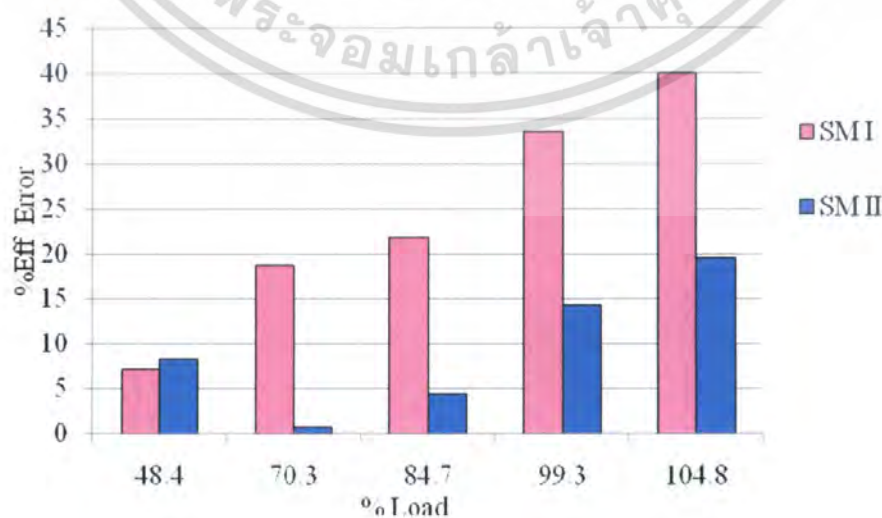
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางและภาพที่ 4.2 เมื่อเราเปลี่ยนมอเตอร์เป็นขนาด 2.2 kW สภาวะแรงดันปกติที่ 220 โวลต์ สามารถใช้ Slip Method I และ Slip Method II ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพที่เกือบทุกเปอร์เซ็นต์โหลด แต่เมื่อใกล้ๆช่วง full load จะมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น ส่วนการคำนวณประสิทธิภาพโดยวิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 1, แบบที่ 2 และวิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 3 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนในการคำนวณประสิทธิภาพมีค่าน้อยลงที่เปอร์เซ็นต์โหลดเข้าใกล้ full load

4.4 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีการใช้ค่าสลิป ที่สภาวะแรงดันสูงและต่ำกว่าแรงดันปกติ

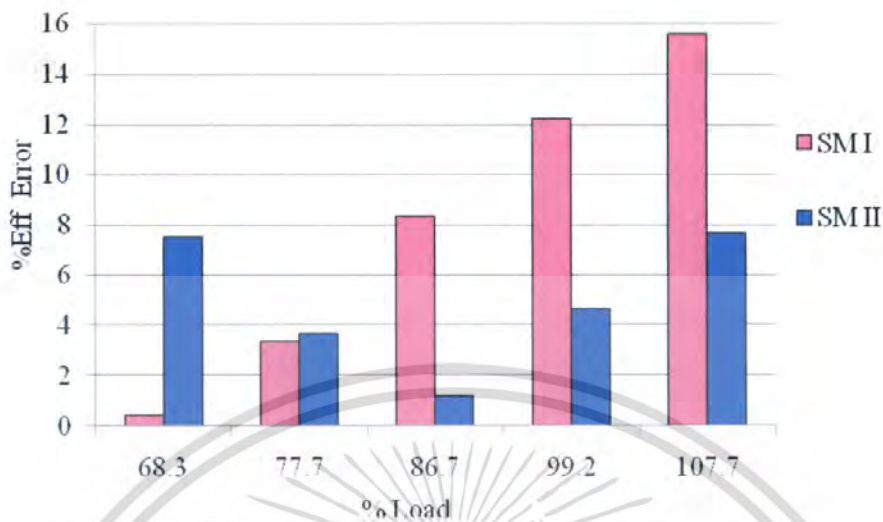


ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์

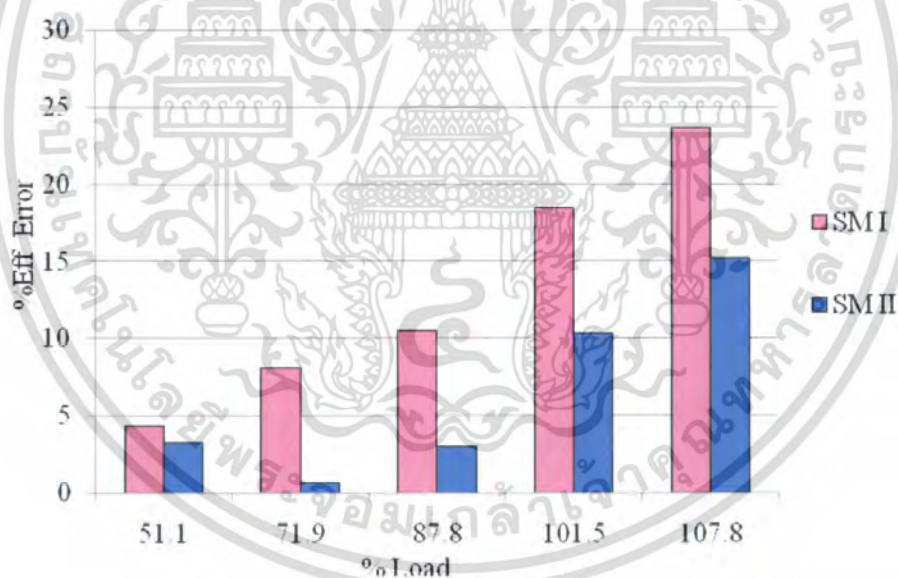


ภาพที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อใช้เฉพาะในวงจำกัดเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



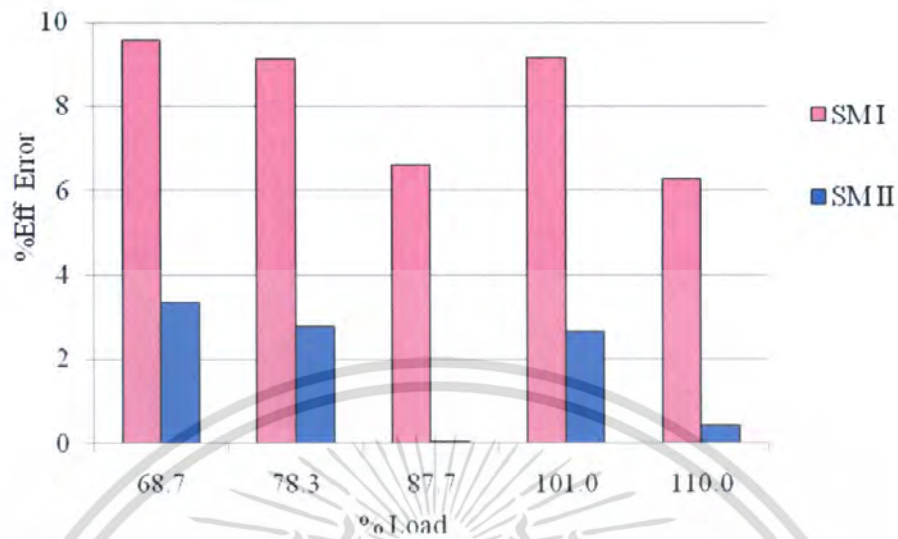
ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์



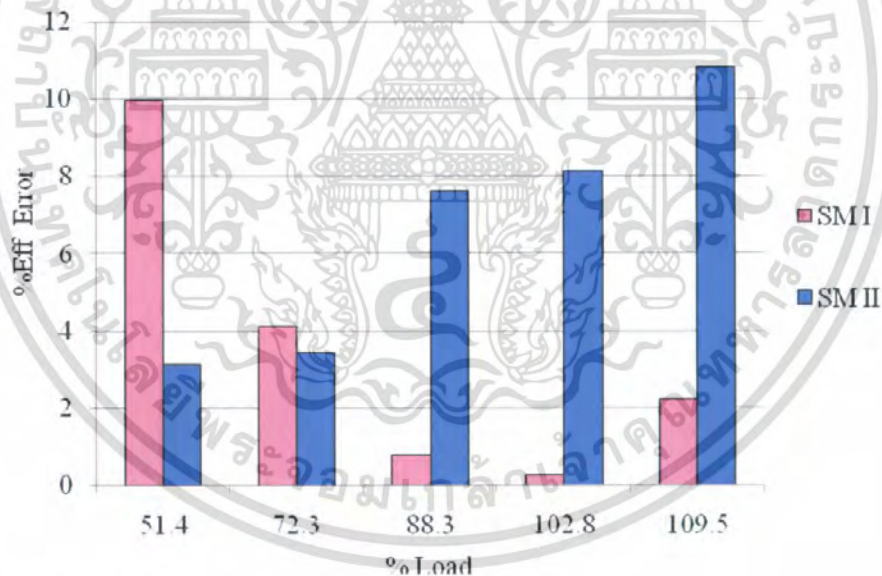
ภาพที่ 4.6 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์

จากภาพที่ 4.3 ถึงภาพที่ 4.6 เมื่อแรงดันต่ำกว่าแรงดันปกติ การหาค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานจริงโดยวิธีการใช้ค่าสลลิปแบบที่ 2 (Slip Method II) จะมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีการใช้ค่าสลลิปแบบที่ 1 (Slip Method I) เนื่องจากการชดเชยในเรื่องของแรงดันดังสมการที่ 2.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

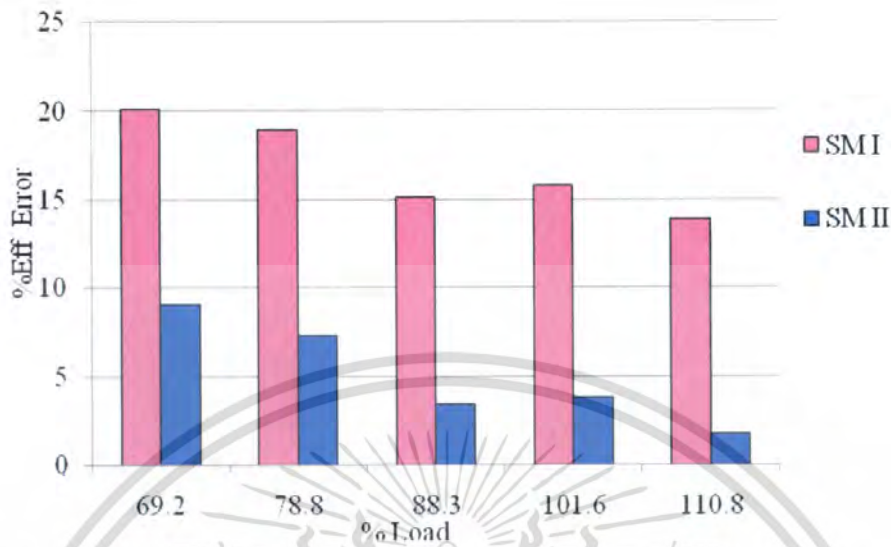


ภาพที่ 4.7 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์

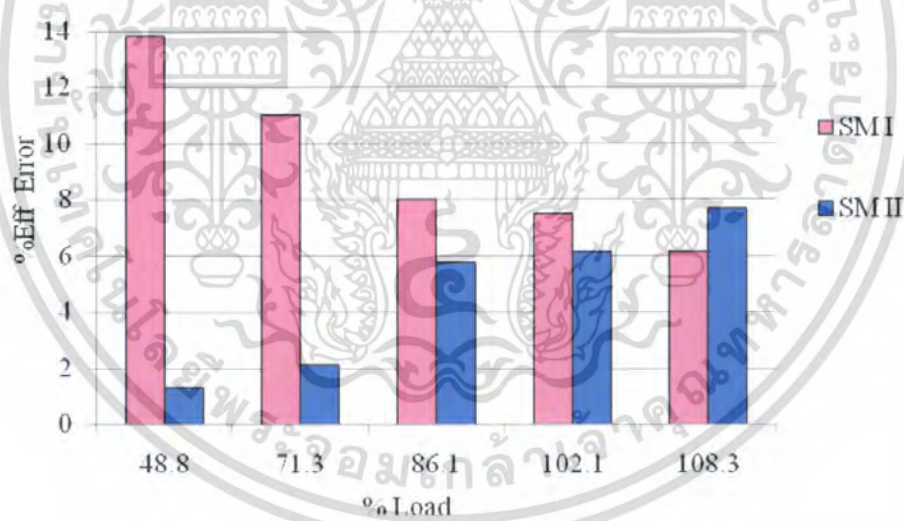


ภาพที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธีของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์

จากภาพที่ 4.7 ถึงภาพที่ 4.10 เมื่อแรงดันสูงกว่าแรงดันปกติ การหาค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานจริงจะต้องเลือกวิธีการที่เหมาะสมกับการใช้งานมอเตอร์ โดยรวมแล้ววิธีการใช้ค่าสลลิป แบบที่ 2 (Slip Method II) จะมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า วิธีการใช้ค่าสลลิปแบบที่ 1 (Slip Method I) เนื่องจากการชดเชยในเรื่องของแรงดันดังสมการที่ 2.34 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามการประเมินประสิทธิภาพขณะใช้งานด้วยวิธีการต่างๆ นี้จะมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตัวแปรต่างๆ เช่น เปอร์เซนต์โหลดขณะใช้งาน แรงดันขณะใช้งาน ขนาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ใช้งาน (การทดสอบในโครงการนี้ มอเตอร์ที่ใช้จัดว่าเป็นมอเตอร์ขนาดเล็กทั้งสองขนาด) และวิธีการที่เลือกในการประเมินประสิทธิภาพ ซึ่งแต่ละวิธีจะเหมาะสมกับสภาวะที่แตกต่างกัน เราจึงควรเลือกวิธีการประเมินประสิทธิภาพที่มีความแม่นยำกับการประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ใช้งานขณะนั้น เพราะหากเราเลือกวิธีการประเมินประสิทธิภาพที่ไม่เหมาะสมจะทำให้มีผลต่อการจัดการพลังงานและระยะเวลาในการคืนทุนสำหรับการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่ 5 ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

โปรแกรมการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส เพื่อการจัดการพลังงาน

5.1 บทนำ

การประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงานสามารถนำไปใช้ในการจัดการพลังงานได้ โปรแกรมการจัดการพลังงานนี้สามารถช่วยในการตัดสินใจเลือกมอเตอร์ตัวใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า เพื่อนำมาเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ตัวเก่าที่ใช้งานอยู่ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าได้อย่างเหมาะสม จุดเด่นของโปรแกรมนี้นี้ คือ จะช่วยอำนวยความสะดวกในการคำนวณประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่ายต่างๆ ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และสะดวกรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์การลงทุน เช่น อัตราเงินเฟ้อ อัตราดอกเบี้ย ค่าไฟฟ้า เป็นต้น

โปรแกรมการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ (Replacement motor) เป็นโปรแกรมที่ออกแบบจากความต้องการของผู้ใช้งาน (User requirement) โดยสามารถคำนวณประสิทธิภาพขณะทำงาน และสามารถคำนวณการลงทุนได้ อีกทั้งตัวโปรแกรมนำเสนอในรูปแบบ Graphic User Interface (GUI) ซึ่งเข้าใจได้ง่าย

5.2 การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ (Replacement motor)

5.2.1 หลักการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเป็นการพิจารณาถึงค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้มากขึ้นจากการที่เรานำมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Motor) มาเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตัวเก่า (Standard motor) ซึ่งมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีประสิทธิภาพที่ต่ำ จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีประสิทธิภาพสูง สิ่งที่สำคัญในการวิเคราะห์นั้นก็คือ เราจะประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงาน จากนั้นจะเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูง และพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องเปรียบเทียบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตัวใหม่เป็นกรณีๆ ไป ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

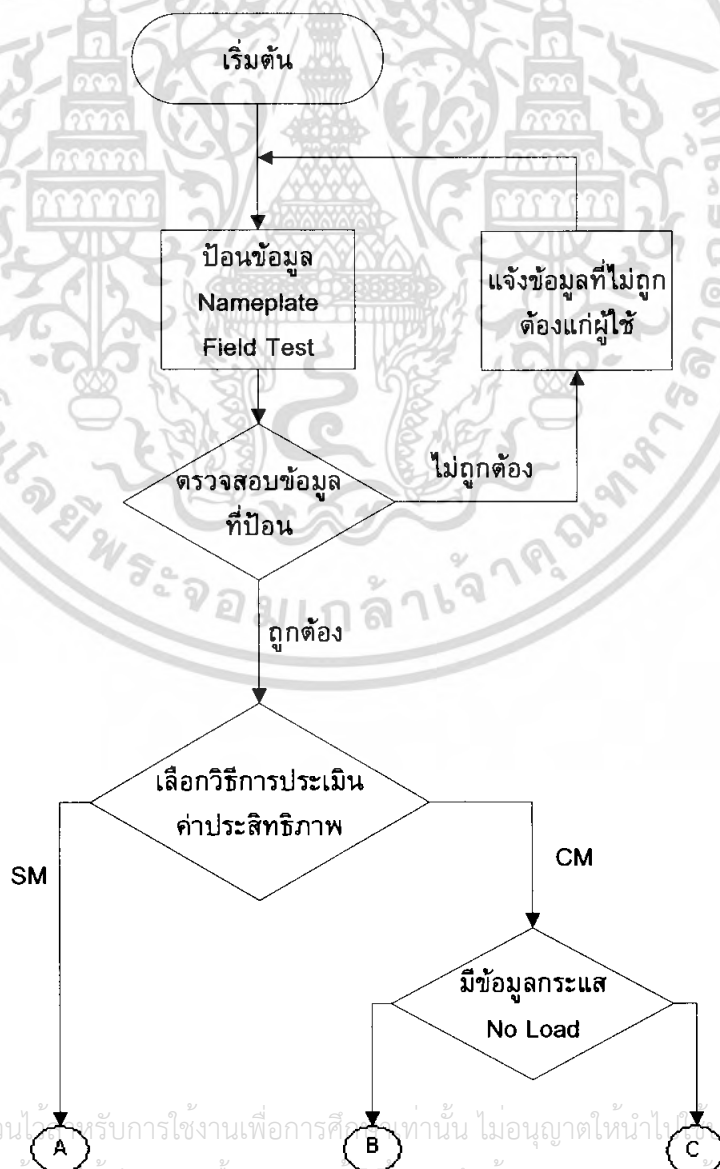
อันดับแรก ทำการประเมินค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงาน โดยใช้วิธีแบบไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน (Non-Intrusive) เช่น วิธีใช้ค่าสลิป (Slip method) และวิธีค่ากระแส (Current method)

อันดับที่สอง ทำการวิเคราะห์การคืนทุนโดยเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อคำนวณหาระยะการคืนทุน โดยจะต้องเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีระยะการคืนทุนน้อยที่สุดในแต่ละกรณีไป (Case by Case)

อันดับที่สาม ติดตามผลเพื่อประเมินความถูกต้องของข้อมูลที่ได้รับมา ซึ่งการประเมินค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีที่เหมาะสม จะทำให้การตัดสินใจมีความถูกต้องมากขึ้น

5.2.2 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรม

แผนภูมิขั้นตอนการดำเนินงานของโปรแกรมการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเหนี่ยวนำสามเฟสเพื่อการจัดการพลังงานแสดงดังภาพที่ 5.1





ภาพที่ 5.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ (Flow chart)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลระบบไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 ปัจจัยที่มีส่วนสำคัญในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

ชั่วโมงในการทำงานต่อปี (Annual Operating Hours)

ชั่วโมงในการทำงานต่อปีส่งผลต่อพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี (Kilo-watthour per years) เมื่อนำราคาพลังงานมาคูณ เราก็จะได้การประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปี (Annual saving per years) ในกรณีมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีชั่วโมงในการทำงานต่อปีมาก จะทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้ามก การคืนทุนจะเร็วขึ้น กรณีมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีชั่วโมงในการทำงานต่อปีน้อย จะทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าน้อย การคืนทุนจะช้ากว่า

ราคาและส่วนลด (Cost and discount motor)

การเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อใช้ในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสนั้น มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีประสิทธิภาพสูงจะมีราคาแพงกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นราคาและส่วนลดจึงเป็นปัจจัยสำคัญ โดยเราจะเปรียบเทียบการประหยัดพลังงาน (ค่าไฟฟ้า) ที่ลดลงของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูงเทียบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีประสิทธิภาพต่ำ กรณีราคามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสูงกว่าการประหยัดค่าไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน แสดงว่าไม่ควรเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส แต่อย่างไรก็ตามถ้าอายุการใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมากขึ้น การประหยัดค่าไฟฟ้าก็จะมากขึ้นทำให้คืนทุนได้เร็วขึ้น กรณีราคามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสต่ำกว่าการประหยัดค่าไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน กรณีนี้ควรเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส เพราะอายุการใช้งานที่มากขึ้น ก็จะประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากขึ้นอีกด้วยโดยมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่มีส่วนลดมาก ก็จะทำให้เงินที่ใช้ในการลงทุนน้อยไปด้วย

อัตราดอกเบี้ย (Interest rate)

อัตราดอกเบี้ยนั้นจะเกี่ยวข้องกับค่าเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยค่าเงินในปัจจุบันนั้นเราจะถือว่ามีค่ามากกว่าค่าเงินในอนาคต อัตราดอกเบี้ยจะทำให้มูลค่าเงินในอนาคตลดลง ในการพิจารณาการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสนั้น เราจะพิจารณาเปรียบเทียบการลงทุนซื้อมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูงเทียบกับการฝากเงินในธนาคาร

ตัวอย่าง ถ้ามีเงิน 10,000 บาท จะนำเงินไปลงทุนในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสหรือฝากธนาคาร ที่อัตราดอกเบี้ย 10% โดยมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตัวใหม่ทำให้เกิดการประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 1,800 บาทต่อปี โดยพิจารณาโครงการเป็นเวลา 10 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการฝากธนาคาร จะได้ผลตอบแทนในอัตรา 10% ต่อปี โครงการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส จะต้องทำการวิเคราะห์การประหยัดค่าไฟฟ้าตลอด 10 ปี เทียบเป็นค่าเงินปัจจุบันโดยจะใช้อัตราดอกเบี้ย 10 % เมื่อได้มูลค่าเงินในปัจจุบันแล้วก็หักค่าลงทุน 10,000 บาท กรณีมูลค่าปัจจุบันเท่ากับศูนย์ แสดงว่าเราจะทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสหรือไม่เปลี่ยนก็ได้ กรณีมูลค่าปัจจุบันมากกว่าศูนย์ แสดงว่าเราควรทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส เพราะการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสให้กำไร (ดอกเบี้ย) มากกว่า 10% กรณี มูลค่าปัจจุบันน้อยกว่าศูนย์ แสดงว่าเราไม่ควรทำการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส เพราะให้ผลกำไร (ดอกเบี้ย) น้อยกว่า 10% ดังนั้นจะสรุปได้ว่า อัตราดอกเบี้ยก็คืออัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ต้องการนั่นเอง

อัตราเงินเฟ้อ (Inflation rate)

อัตราเงินเฟ้อส่งผลต่อมูลค่าของตัวเงิน ซึ่งอัตราเงินเฟ้อจะเป็นตัวแปรในการคิดลด (Discount factor) โดยอัตราเงินเฟ้อที่มาก จะทำให้ค่าของเงินลดลงเมื่อกระแสเงินสดที่คาดหวังในอนาคตเท่าเดิม หรือในอีกความหมายก็คือ ราคาของสินค้าและบริการจะมีค่ามากขึ้น การเปลี่ยนแปลงอัตราเงินเฟ้อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งในอัตราต้นทุนของเงินทุน และกระแสเงินสดที่คาดหวังในอนาคต ดังนั้นอัตราเงินเฟ้อจะส่งผลต่อการลงทุนหรือไม่ขึ้นขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงานไฟฟ้าด้วย (Electric cost)

ค่าเสื่อมราคาและค่าซาก (Depreciation and salvage value)

ค่าเสื่อมราคานั้นจะส่งผลต่อรายได้ก่อนหักภาษี (Before Tax Income) โดยเมื่อเราหักค่าเสื่อมราคามากขึ้น จะทำให้เราเสียค่าภาษีน้อยลง ส่วนค่าซากนั้นจะส่งผลต่อค่าเสื่อมราคาด้วย โดยค่าซากจะเป็นมูลค่าของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสเมื่อครบอายุการทำงาน

อัตราภาษี (Tax rate)

อัตราภาษีนั้นจะมีผลต่อการคืนทุนแบบคิดลด (Discount pay back) อัตราภาษีนั้นจะหักจากราคาค่าไฟฟ้าที่ลดลงโดยหักค่าเสื่อมราคาออกก่อน โดยอัตราภาษีมีค่ามากขึ้น จะทำให้การคืนทุนช้าลง และอัตราภาษีน้อยลง ก็จะทำให้การคืนทุนเร็วขึ้น

อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Ft (Ft changing rate)

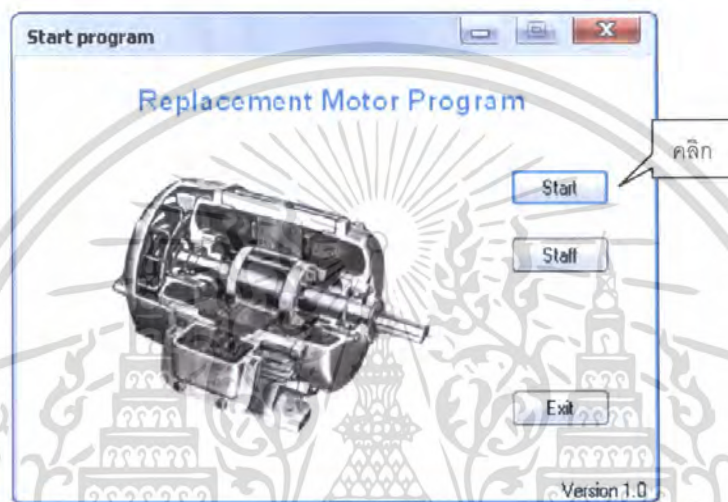
อัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Ft ส่งผลโดยตรงกับราคาพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี โดยเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Ft มีค่ามาก ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าปีถัดไปแพงขึ้น และทำให้การประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปี (Annual saving cost) เพิ่มมากขึ้น การคืนทุนก็จะเร็วขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การใช้งานโปรแกรมเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์

ขั้นตอนที่ 1

ให้ทำการกดปุ่ม "Start" ดังภาพที่ 2 เพื่อเข้าสู่หน้าจอหลักของโปรแกรม ส่วนเมื่อกดปุ่ม "Staff" จะแสดงรายชื่อที่ปรึกษาและผู้ออกแบบโปรแกรม และถ้าต้องการออกจากโปรแกรมให้เลือก "Exit"



ภาพที่ 5.2 หน้าแรกของโปรแกรม (Start form)

ขั้นตอนที่ 2

ที่หน้าจอหลักนั้น ผู้ใช้จะต้องกรอกค่าข้อมูลป้ายพิกัด (Name plate) และข้อมูลขณะทำงาน (Field test) ให้ครบถ้วน โดยข้อมูลพิกัดมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสนั้นสามารถเลือกได้ทั้งแบบกิโลวัตต์และแบบแรงม้า อีกทั้งสามารถเลือกหน่วยของแรงดัน รูปแบบการป้อนข้อมูล และการต่อขดลวดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ส่วนวิธีการประเมินขณะทำงานจะเป็นวิธีสลลิป (Slip method) และวิธีกระแส (Current method) แสดงดังภาพที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5.3 หน้าหลักของโปรแกรม (Main form)

ภาพที่ 5.4 ข้อมูลที่ป้อนมีความถูกต้อง

โดยถ้าผู้ใช้กรอกค่าข้อมูลไม่ถูกต้องหรือผิดจากทฤษฎี อาทิเช่น ความเร็วมีค่ามากกว่าความเร็วซิงโครนัส(Synchronous speed), ป้อนข้อมูลไม่ครบ, ป้อนค่ามากหรือน้อยเกินไป โปรแกรมจะไม่ประเมินประสิทธิภาพและจะแจ้งสาเหตุของความผิดพลาด ถ้าผู้ใช้งานป้อนข้อมูลเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกต้องทั้งค่าพิกัด (Nameplate) และค่าขณะทำงาน (Field test) จึงจะสามารถประเมินประสิทธิภาพได้ดังภาพที่ 5.4

ขั้นตอนที่ 3

ที่หน้าจอกำหนดค่า ผู้ใช้งานเพียงเลือกข้อมูลที่เหมาะสมกับการคำนวณ ซึ่งข้อมูลต่างๆ จะเป็นปัจจัยของการวิเคราะห์การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (Replacement motor) นั้นเอง เช่น ชั่งโมงการทำงาน, ส่วนลดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส, ระดับแรงดันใช้งาน, ขนาดของโรงงานและอัตราดอกเบี้ย เป็นต้น

ภาพที่ 5.5 หน้าการคำนวณ (Payback form)

โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูงได้ 2 กรณี ดังแสดงภาพที่ 5.5 คือ

1. กรณีเลือกจากฐานข้อมูล วิธีนี้จะเป็นการเลือกไฟล์ฐานข้อมูล Access ซึ่งจะประกอบไปด้วยข้อมูลต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส เช่น พิกัด, แรงดัน, กระแส, ประสิทธิภาพ, ความเร็ว และราคา เป็นต้น ซึ่งจะทำให้การประเมินประสิทธิภาพเป็นไปด้วยความรวดเร็วและ

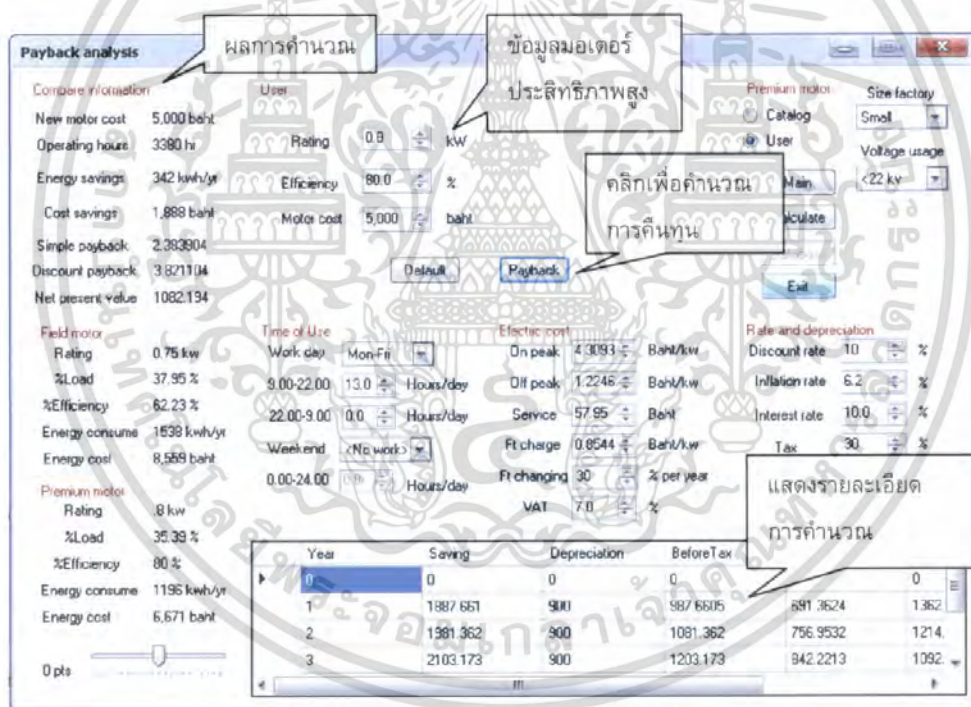
ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรณีผู้ใช้ป้อนค่าที่ต้องการ วิธีนี้ผู้ใช้งานจะเตรียมข้อมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูง (High efficiency motor) ซึ่งประกอบไปด้วยฟักัดมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส, ประสิทธิภาพและราคา โดยโปรแกรมจะสมมติว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูงใช้งานที่ฟักัดแรงดันเต็มฟักัด กระแสเต็มฟักัด ความเร็วเต็มฟักัด ความถี่ จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยเดียวกันกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ใช้งานอยู่

ขั้นตอนที่ 4

สำหรับกรณีผู้ใช้ป้อนค่า (User) เมื่อใส่ค่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูงแล้ว หลังจากนั้นก็คลิก "Payback" โปรแกรมก็จะแสดงผลการคำนวณแสดงดังภาพที่ 5.6



ภาพที่ 5.6 การคำนวณการคืนทุนโดยวิธีป้อนค่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสใหม่ (User)

สำหรับกรณีเลือกจากฐานข้อมูล (Catalog) ดังภาพที่ 5.8 ผู้ใช้งานแค่เพียงคลิกเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตัวใหม่ในรายการ แสดงดังภาพที่ 5.7 โปรแกรมก็จะทำการคำนวณการคืนทุนเช่นเดียวกับกรณีผู้ใช้ป้อนค่า

ผลการคำนวณของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูงแต่ละตัวจะไม่เท่ากัน เรา
จะตัดสินใจเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตัวใหม่ ที่มีค่าการคืนทุนเร็วที่สุด (Simple payback)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้งานได้ใช้เอกสารนี้แล้ว
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้าเราพิจารณามูลค่าของเงิน เราจะพิจารณาที่การคืนทุนแบบคิดลด (Discount payback) และมูลค่าปัจจุบัน (Net present value) พิจารณาเป็นกรณีๆไป

Payback analysis

ผลการคำนวณ

คลิกเพื่อคำนวณการคืนทุน

เลือกไฟล์ฐานข้อมูล

แสดงรายละเอียดการคำนวณ

ID	Brand	Rating (kw)	Voltage line(V)	Current line(A)	Speed (rpm)	Efficiency (%)
1	ABB	1.1	400	2.4	1420	83.9
2	ABB	2.2	400	4.8	1450	86.5
3	Siemens	1.1	400	2.45	1440	84
4	TECO	1.1	400	2.55	1420	84

Year	Saving	Depreciation	Before Tax	After Tax
0	0	0	0	0
1	5077.312	1800	3277.312	2294.173
2	5329.344	1800	3529.344	2470.546
3	5656.985	1800	3856.985	2639.889

ภาพที่ 5.7 การคำนวณการคืนทุนโดยวิธีเลือกฐานข้อมูล (Catalog)

ID	Brand	Rating	Voltage	Current	Full-load speed	Efficiency	Cost
5	ABB	1.5	400	3.2	1440	85.6	4,950
6	Siemens	1.5	400	3.3	1440	85	4,900
7	Siemens	2.2	400	4.55	1435	86.5	5,600
8	TECO	1.5	400	3.31	1420	85.1	4,900
9	TECO	2.2	400	4.63	1440	86.5	5,600
12	ABB	5.5	400	10.6	1460	89.3	11,000
14	Siemens	4	400	6.1	1440	88.5	10,500
17	ABB	7.5	400	8.5	1450	90.1	12,500
19	Siemens	5.5	400	10.6	1455	91.5	11,220
20	Siemens	7.5	400	14.3	1455	92	13,980
21	Mitsubishi	.75	380	2	1400	81	3,740
22	Mitsubishi	1.5	380	3.4	1430	85	4,820
23	Mitsubishi	2.2	380	5	1420	86.5	5,600
24	Mitsubishi	3.7	380	7.9	1420	88.5	8,080
25	Mitsubishi	5.5	380	11.8	1430	89.5	11,220
26	Mitsubishi	7.5	380	15.4	1430	90.3	13,980

ภาพที่ 5.8 ฐานข้อมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ตัวอย่างการใช้งานโปรแกรมเพื่อการจัดการพลังงาน

5.4.1 วิเคราะห์การคืนทุนด้วยวิธีประเมินประสิทธิภาพแบบต่าง

ตัวอย่างที่ 1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสพิกัด 0.75 kW ยี่ห้อมิตซูบิชิ (Mitsubishi) ชนิด SF- Jr ประเมินค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีการใช้ค่าสลลิป (Slip method), วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 1 (Current method I) และวิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 2 (Current method II) โดยใช้ค่ากระแสขณะไร้อภาระทางกล (Noload-current) 1.05 แอมป์ โดยมีข้อมูลที่ป้ายพิกัดและขณะทำงานตามตารางที่ 5.1 ตารางที่ 5.2 ตามลำดับ และผลการเปรียบเทียบการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีต่างๆ ตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลที่ป้ายพิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (Nameplate data)

Rating	Voltage (V)	Current (A)	Speed (rpm)	Pole	f (Hz)
0.8 kW	220 / 380	3.46 / 2.0	1400	4	50

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงาน (Field data)

Voltage (V)			Current (A)			Input Power (Watt)			Speed (rpm)
an	bn	cn	a	b	c	a	b	c	1414
220.5	221.4	221	1.6	1.68	1.62	273	289	272	

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบวิธีการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีต่างๆ

วิธีประเมินประสิทธิภาพ	วิธีวัดแรงบิดที่เพลลา	วิธีใช้ค่าสลลิป	วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 1	วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 2
เปอร์เซ็นต์โหลด (%)	87.34	86.5	81.67	75.14
กำลังทางกลที่ได้ (w)	651.52	650	610	560
ประสิทธิภาพ (%)	78.12	77.37	73.05	67.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์การคืนทุนกรณีประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีแบบต่างๆ โดยกำหนดมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูง (Premium motor) พิกัด 0.75 kW ราคา 2,992 บาท ประสิทธิภาพขณะโหลดเต็มพิกัด 81% อายุการใช้งาน 10 ปี โดยทำงานตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันเสาร์ เวลา 9.00 น. ถึง 18.00 น. ในการวิเคราะห์การคืนทุน จะใช้อัตราค่าไฟฟ้าของโรงงานขนาดเล็กที่ระดับแรงดันน้อยกว่า 22 kV อัตราดอกเบี้ย 3.5% อัตราเงินเฟ้อ 4.7% จะได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบการคืนทุนด้วยวิธีการประเมินประสิทธิภาพแบบต่างๆ ของตัวอย่างที่ 1

วิธีประเมินประสิทธิภาพ	วิธีวัดแรงบิดที่เพลลา	วิธีใช้ค่าสลิป	วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 1	วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 2
ประสิทธิภาพ (%)	78.12	77.37	73.05	67.21
พลังงานที่ใช้ต่อปี (kWh/year)	2,370	2,393	2,535	2,756
ค่าไฟฟ้าที่เสียไปต่อปี (baht/year)	11,856	11,970	12,675	13,771
พลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี (kWh/year)	84.29	107.21	248.83	469
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (baht/year)	419	534	1,237	2,334
การคืนทุนแบบง่าย (Year)	7.135	5.606	2.417	1.28
การคืนทุนแบบคิดลด (Year)	8.816	7.334	3.501	1.907

จากตารางที่ 5.4 พบว่าวิธีใช้ค่าสลิป, วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 1 และวิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 2 ประเมินค่าประสิทธิภาพได้เท่ากับ 77.37%, 73.05%, 67.21% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง (กรณีสมมติฐานว่าวิธีวัดกำลังที่เพลลามีความแม่นยำ 100%) ทำให้ประเมินการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสูงกว่าความเป็นจริง และได้ค่าการคืนทุนที่ได้เร็วกว่าความเป็นจริง ส่งผลต่อการตัดสินใจที่ไม่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2 จะนำเอาข้อมูลขณะทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 2.2 kW ยี่ห้อ มิตซูบิชิ (Mitsubishi) ชนิด SF- Jr โดยใช้ค่ากระแสขณะไร้พิกัด (No Load Current) 2.46 แอมป์ สำหรับวิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 2 โดยมีข้อมูลที่ป้ายพิกัดดังตารางที่ 5.5 และข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงานดังตารางที่ 5.6 และผลการเปรียบเทียบการประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีต่างๆ ตามตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลที่ป้ายพิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (Nameplate data)

Rating	Voltage (V)	Current (A)	Speed (rpm)	Pole	f (Hz)
2.2 kW	220 / 380 V	8.7 / 5.0 A	1420	4	50

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงาน (Field data)

Voltage (V)			Current (A)			Input Power (Watt)			Speed (rpm)
an	bn	cn	a	b	c	a	b	c	1429
220	221.2	220.8	4.0	4.16	4.03	709	742	708	

ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบวิธีการประเมินประสิทธิภาพแบบต่างๆ

วิธีประเมินประสิทธิภาพ	วิธีวัดแรงบิดที่เพลลา	วิธีใช้ค่าสลิป	วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 1	วิธีใช้ค่ากระแสแบบที่ 2
เปอร์เซ็นต์โหลด(%)	80.24	89.29	81.27	75.15
กำลังทางกลที่ได้(w)	1795.73	2,000	1,820	1,680
ประสิทธิภาพ(%)	83.29	92.68	84.36	78.01

วิเคราะห์การคืนทุนกรณีประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีแบบต่างๆ โดยกำหนดมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูง (Premium motor) พิกัด 2.2 kW ราคา 4,480 บาท ประสิทธิภาพขณะโหลดเต็มพิกัด 86.5% อายุการใช้งาน 10 ปี โดยทำงานตั้งแต่วันจันทร์ถึงวันเสาร์ เวลา 9.00 น. ถึง 18.00 น. ในการวิเคราะห์การคืนทุน จะใช้อัตราค่าไฟฟ้าของโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเล็กที่ระดับแรงดันน้อยกว่า 22 kV อัตราดอกเบี้ย 3.5% อัตราเงินเฟ้อ 4.7% จะได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบการคืนทุนด้วยวิธีการประเมินประสิทธิภาพแบบต่างๆ
ของตัวอย่างที่ 2

วิธีประเมินประสิทธิภาพ	Shaft torque method	Slip method	Current method I	Current method II
ประสิทธิภาพ (%)	83.29	92.68	84.36	78.01
พลังงานที่ใช้ต่อปี (kWh/year)	6,635	5,963	6,551	7,084
ค่าไฟฟ้าที่เสียไปต่อปี (baht/year)	33,072	29,728	32,654	35,307
พลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี (kWh/year)	246.23	*	162.07	695.32
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปี (baht/year)	1,225	*	806	3,459
การคืนทุนแบบง่าย (Year)	3.657	ไม่คืนทุน	5.556	1.295
การคืนทุนแบบคิดลด (Year)	5.113	ไม่คืนทุน	7.282	1.926

จากตารางที่ 5.8 ประสิทธิภาพที่แท้จริงของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตัวนี้คือ 83.29% (กรณีสมมติฐานว่าวิธีวัดกำลังที่เพลามีความแม่นยำ 100%) พบว่าวิธีใช้ค่าสลิปประเมินประสิทธิภาพได้สูงกว่าความเป็นจริง (Over evaluation) ทำให้ไม่ควรตัดสินใจเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ส่วนวิธีกระแสแบบที่ 2 ประเมินค่าประสิทธิภาพได้น้อยกว่าความเป็นจริง (Under evaluation) ทำให้ประเมินว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสใช้พลังงานไฟฟ้าสิ้นเปลือง ทั้งที่ความจริงมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตัวนี้มีการคืนทุนแบบง่ายคือ 3.657 ปี

* หมายเหตุ *

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ใช้งานมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

ประสิทธิภาพสูง (Premium motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

ในหัวข้อนี้จะวิเคราะห์การเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ใช้งานในระบบเปรียบเทียบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสประสิทธิภาพสูง (EFF1 class : High efficiency) โดยจะใช้ข้อมูลขณะทำงาน คือ แรงดันเฉลี่ยต่อเฟส 220.6 V กระแสเฉลี่ย 4.67 A ความเร็วรอบ 1412 rpm กำลังป้อนเข้า 2,585 watt เมื่อประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีกระแสแบบที่ 1 จะได้เปอร์เซ็นต์โหลดใช้งาน 93.4% กำลังทางกล 2,090 watt แรงบิด 14.1 N-m ค่าประสิทธิภาพ 80.86% และประเมินประสิทธิภาพด้วยวิธีวัดกำลังที่เพลลาได้ เปอร์เซ็นต์โหลดใช้งาน 94.48% กำลังทางกล 2,114 watt แรงบิด 14.3 N-m ประสิทธิภาพ 81.8% โดยจะมีข้อมูลที่ใช้เปรียบเทียบตามตาราง 5.9

ตารางที่ 5.9 ข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

	มอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟสที่ใช้งาน	มอเตอร์ เหนี่ยวนำสาม เฟสใหม่ I	มอเตอร์ เหนี่ยวนำสาม เฟสใหม่ II	มอเตอร์ เหนี่ยวนำสาม เฟสใหม่ III
ยี่ห้อ	Mitsubishi	Mitsubishi	Teco	Siemens
พิกัดมอเตอร์ เหนี่ยวนำ (KW)	2.2	3.7	2.2	2.2
พิกัดแรงดัน (V)	380	380	400	400
พิกัดกระแส (A)	5	7.9	4.63	4.55
ขั้วแม่เหล็ก (P)	4	4	4	4
ความถี่ (Hz)	50	50	50	50
ความเร็วเต็มพิกัด (rpm)	1420	1420	1440	1435
แรงบิดเต็มพิกัด (N-m)	15.05	24.88	14.84	14.64
ประสิทธิภาพที่ พิกัด(%)	86.5	88.5	86.6	86.7
ราคา (baht)	-	8,080	5700	5800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะพิจารณาใช้ค่าตัวแปรในการวิเคราะห์การคืนทุนตามตาราง 5.10

ตารางที่ 5.10 ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ในการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

	มอเตอร์ เหนี่ยวนำสาม เฟสที่ใช้งาน	มอเตอร์ เหนี่ยวนำสาม เฟสใหม่ I	มอเตอร์ เหนี่ยวนำสาม เฟสใหม่ II	มอเตอร์ เหนี่ยวนำสาม เฟสใหม่ III
พิกัดมอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟส (kW)	2.2	3.7	2.2	2.2
เปอร์เซ็นต์ใช้งาน (%)	93.4	56.49	95.01	95.01
ประสิทธิภาพ (%)	80.86	88.5	86.6	86.7
ระบบอัตราค่าไฟฟ้า	TOU	TOU	TOU	TOU
อัตราเงินเฟ้อ	4.7	4.7	4.7	4.7
อัตราดอกเบี้ย	3.5	3.5	3.5	3.5
วิธีคิดค่าเสื่อมราคา	เส้นตรง	เส้นตรง	เส้นตรง	เส้นตรง
มูลค่าซาก	0	0	0	0
อายุการใช้งาน	10	10	10	10
ชั่วโมงออนพีคต่อสัปดาห์	45	45	45	45
ชั่วโมงออฟพีคต่อสัปดาห์	9	9	9	9
ชั่วโมงการทำงานต่อปี	2,808	2,808	2,808	2,808
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	7,259	6,632	6,778	6,770
ค่าไฟฟ้าที่ใช้ต่อปี	36,174	33,058	33,782	33,743
มูลค่าปัจจุบัน	-	14,861	11,813	11,999
การคืนทุนแบบง่าย	-	2.59	2.38	2.39
การคืนทุนแบบคิดลด	-	4.71	4.51	4.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.11 ผลวิเคราะห์การคินทุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตัวที่ 1

ปี	ค่าไฟฟ้าที่ ประหยัดได้	ค่าเสื่อม ราคา	กระแสเงินสดก่อน หักภาษี	กระแสเงินสด ก่อนหักภาษี	กระแสเงิน สด	มูลค่า สะสม
2008	3,117	808	2,309	1,616	2,237	-5,843
2009	3,288	808	2,480	1,736	2,167	-3,677
2010	3,511	808	2,704	1,893	2,122	-1,554
2011	3,802	808	2,994	2,096	2,106	552
2012	4,179	808	3,371	2,360	2,120	2,672
2013	4,670	808	3,862	2,704	2,169	4,840
2014	5,308	808	4,500	3,150	2,256	7,096
2015	6,137	808	5,329	3,731	2,387	9,483
2016	7,215	808	6,407	4,485	2,569	12,052
2017	8,617	808	7,809	5,466	2,809	14,861

ตารางที่ 5.12 ผลวิเคราะห์การคินทุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตัวที่ 2

ปี	ค่าไฟฟ้าที่ ประหยัดได้	ค่าเสื่อม ราคา	กระแสเงินสดก่อน หักภาษี	กระแสเงินสด ก่อนหักภาษี	กระแสเงิน สด	มูลค่า สะสม
2008	2,393	570	1,823	1,276	1,703	-3,997
2009	2,525	570	1,955	1,368	1,650	-2,346
2010	2,696	570	2,126	1,488	1,617	-729
2011	2,919	570	2,349	1,644	1,606	877
2012	3,209	570	2,639	1,847	1,618	2,495
2013	3,585	570	3,016	2,111	1,656	4,150
2014	4,075	570	3,505	2,454	1,723	5,873
2015	4,712	570	4,148	2,899	1,824	7,698
2016	5,539	570	4,969	3,479	1,965	9,662
2017	6,615	570	6,045	4,232	2,150	11,813

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.13 ผลวิเคราะห์การคืนทุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตัวที่ 3

ปี	ค่าไฟฟ้าที่ ประหยัดได้	ค่าเสื่อม ราคา I	กระแสเงินสดก่อน หักภาษี	กระแสเงินสด ก่อนหักภาษี	กระแสเงิน สด	มูลค่า สะสม
2008	2,431	580	1,851	1,296	1,731	-4,069
2009	2,566	580	1,986	1,389	1,678	-2,391
2010	2,739	580	2,159	1,512	1,644	-747
2011	2,966	580	2,386	1,670	1,632	885
2012	3,261	580	2,681	1,877	1,644	2,529
2013	3,644	580	3,064	2,145	1,683	4,211
2014	4,141	580	3,561	2,493	1,751	5,962
2015	4,788	580	4,208	2,946	1,854	7,817
2016	5,629	580	5,049	3,535	1,997	9,814
2017	6,723	580	6,143	4,300	2,185	11,999

5.5 ผลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

ผลของชั่วโมงการทำงานต่อปี (Annual operating hour)

เมื่อวิเคราะห์ผลของชั่วโมงการทำงานต่อปี โดยกำหนดมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขณะทำงานจาก ข้อ 5.3.2 มีค่าประสิทธิภาพ 80.86% มีเปอร์เซ็นต์โหลดใช้งาน 93.4 % โดยมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตัวใหม่มี พิกัด 2.2 kW ราคา 5,700 บาท ประสิทธิภาพที่พิกัด 86.6 % อายุการใช้งาน 10 ปี ใช้อัตราค่าไฟฟ้าของโรงงานขนาดเล็กที่ระดับแรงดันน้อยกว่า 22 kV อัตราดอกเบี้ย 3.5% อัตราเงินเฟ้อ 4.7% ค่าเสื่อมราคาแบบเส้นตรง ใช้ข้อมูลชั่วโมงการทำงานต่อปี ตามตาราง 5.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.14 ผลของชั่วโมงการทำงานต่อปีที่มีต่อการคืนทุน

ชั่วโมงการทำงาน ต่อปี (hr)	1,820	2,808	4,056	5,148	6,708
ออฟฟิศ จันทร์ – ศุกร์ (09.00น. ถึง 22.00น.)	35	45	65	65	65
ออฟฟิศ จันทร์ – ศุกร์ (22.00น. ถึง 09.00น.)	0	0	0	10	40
ออฟฟิศ เสาร์ – อาทิตย์ (09.00น. ถึง 22.00น.)	9	9	13	24	24
กำลังไฟฟ้าที่ใช้ ต่อปี (kWh/hr)	5,814	7,136	10,307	13,082	17,046
ค่าไฟฟ้า ที่ประหยัดได้ (baht)	1,418	1,795	2,593	2,818	3,139
การคืนทุน อย่างง่าย (year)	3.049	2.422	1.677	1.497	1.298

จากตารางที่ 5.14 เมื่อชั่วโมงการทำงานต่อปีมากขึ้น จะทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อปีเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ต่อปีมีมูลค่ามากขึ้น การคืนทุนจึงเร็วขึ้นตามไปด้วย

โปรแกรมการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (Replacement motor) สามารถช่วยในการตัดสินใจเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่เหมาะสมกับการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดยสามารถวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ได้เพื่อที่จะทำให้การจัดการพลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม การได้มาซึ่งค่าประสิทธิภาพมีความสำคัญและส่งผลโดยตรงต่อการคืนทุน ซึ่งวิธีการประเมินประสิทธิภาพที่มีความแม่นยำ จะทำให้ได้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มีความถูกต้อง เมื่อข้อมูลมีความถูกต้องก็จะทำให้การตัดสินใจมีความเหมาะสม การวิเคราะห์การคืนทุนจะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เช่น ชั่วโมงการทำงานต่อปี อัตราเงินเฟ้อ อัตราดอกเบี้ย อัตราภาษี ประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสตัวใหม่ ราคาของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส เป็นต้น ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะส่งผลต่อการคืนทุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแทบทั้งสิ้น แต่ตัวแปรที่มีความสำคัญและเห็นภาพชัดเจน คือ ชั่วโมงการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

บทสรุป

จากการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส มอเตอร์ที่ทำการทดสอบนั้นเป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก ดังนั้นจะมีผลเนื่องจาก Core Loss มาก จากการทดสอบด้วยวงจรมุม จะเห็นได้ว่าค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ค่ากระแส, ค่ากำลังป้อนเข้า, ค่าแรงบิด และค่าประสิทธิภาพ ที่ได้จากการคำนวณด้วยวงจรมุม นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากวิธีวัดแรงบิดที่เพลลา แต่การได้มาซึ่งวงจรมุมนั้นค่อนข้างยุ่งยาก เพราะต้องมีการใช้ข้อมูล No Load Test และ Block Rotor Test ประกอบในการคำนวณ และจากผลการทดสอบที่สภาวะต่างๆ จะเห็นได้ว่า ค่าความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นขึ้นอยู่กับระดับแรงดัน คือที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติจะมีค่าความเร็วที่มากกว่าที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ และยิ่งภาระทางกลมีค่ามากความเร็วก็จะยิ่งน้อยลง ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบที่สภาวะแรงดันสูงกว่าสภาวะปกติ 5% และ 10% จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างน้อยกว่าค่าประสิทธิภาพที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าสภาวะปกติ ดังนั้นจึงไม่ควรใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาวะแรงดันต่ำกว่าสภาวะปกติ เพราะจะทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำได้รับกระแสเกินพิกัดเป็นสาเหตุให้มอเตอร์เหนี่ยวนำเกิดความเสียหาย

ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพด้วยวิธีการต่างๆ ที่สภาวะแรงดันปกติ การประเมินประสิทธิภาพโดยวิธีการใช้ค่าสลิปแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถใช้ประเมินประสิทธิภาพได้แต่มีคลาดเคลื่อนมากเมื่อเทียบกับวิธีวงจรมุม และการประเมินประสิทธิภาพโดยวิธีการใช้ค่ากระแสแบบที่ 2 ไม่เหมาะกับการประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์ขนาดเล็ก เพราะค่ากระแส No-Load ของมอเตอร์ขนาดเล็กจะมีค่าสูงเมื่อเทียบกับกระแสที่พิกัดของมอเตอร์ จึงควรใช้วิธีการนี้กับมอเตอร์ขนาดใหญ่ ซึ่งวิธีการใช้ค่ากระแสแบบที่ 1 และแบบที่ 3 ก็สามารถใช้ประเมินประสิทธิภาพได้แต่ก็มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อเทียบกับวิธีวงจรมุม สำหรับที่สภาวะแรงดันสูงหรือต่ำกว่าที่พิกัดการใช้วิธีใช้ค่าสลิปแบบที่ 2 จะมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าวิธีใช้ค่าสลิปแบบที่ 1 เพราะมีการชดเชยค่าแรงดัน

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอโปรแกรมการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์ (Replacement motor) ซึ่งใช้วิธีการประเมินประสิทธิภาพ คือ วิธีการใช้ค่าสลิป (Slip method) วิธีใช้ค่ากระแส (Current method) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก ไม่ซับซ้อน แต่ความแม่นยำยังมีค่าไม่สูงเมื่อเทียบกับวิธีวงจรมุม (Equivalent circuit method) ซึ่งเป็นวิธีที่แม่นยำกว่า แต่มีความซับซ้อน ไม่เหมาะสมกับการนำมาจัดการพลังงานจริงๆ การได้มาซึ่งค่าประสิทธิภาพมีความสำคัญและส่งผลโดยตรงต่อการลงทุน เพราะค่าใช้จ่ายจากการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เป็นต้นทุนระยะยาวของการใช้งานมอเตอร์ ซึ่งในการตัดสินใจเพื่อการเปลี่ยนทดแทนมอเตอร์นั้น การพิจารณาที่ราคาของมอเตอร์ใหม่เพียงอย่างเดียวนั้น อาจจะไม่มีความเหมาะสม ควรพิจารณาประสิทธิภาพของมอเตอร์เพื่อเปรียบเทียบกันด้วย ถึงแม้ความแตกต่างของประสิทธิภาพเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบที่สภาวะแรงดันสูงและต่ำกว่าสภาวะปกติที่กำลังที่ได้คงที่

ตารางที่ ก-1 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้)

step	%Load	Input Voltage (V)			Input Current (A)			Input Power (Watt)				T	speed	Slip	Pout	%Eff
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	Total					
1	28.87	200.2	201.9	200.6	0.96	1.05	0.98	98	113	102	313	1.4	1469	0.021	215.37	68.81
2	44.75	200.4	201.1	200.1	1.13	1.20	1.12	149	163	147	459	2.2	1449	0.034	333.83	72.73
3	56.36	200.3	201.1	200.0	1.24	1.30	1.23	180	190	177	547	2.8	1434	0.044	420.47	76.87
4	67.77	200.0	200.8	199.7	1.38	1.45	1.36	213	227	211	651	3.4	1420	0.053	505.59	77.66
5	78.67	199.9	200.5	200.6	1.54	1.59	1.58	251	261	257	769	4.0	1401	0.066	586.85	76.31
6	87.43	199.7	200.4	200.5	1.68	1.74	1.71	281	293	287	861	4.5	1384	0.077	652.19	75.75
7	94.51	199.6	200.3	200.4	1.79	1.84	1.83	306	316	312	934	4.9	1374	0.084	705.04	75.49
8	99.27	199.8	200.2	200.4	1.94	1.98	1.97	336	346	342	1024	5.2	1360	0.093	740.58	72.32
9	107.86	200.4	200.9	201.0	2.06	2.11	2.08	361	371	368	1100	5.7	1348	0.101	804.62	73.15
10	115.93	200.5	201.3	200.4	2.27	2.34	2.26	403	416	401	1220	6.2	1332	0.112	864.82	70.89

ตารางที่ ก-2 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้)

step	%load	Input Voltage (V)			Input Current (A)			Input Power (watt)				T	Speed	Slip	Pout	%Eff
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	Total					
1	29.01	210	211	211	1.01	1.08	1.03	95	107	93	295	1.4	1476	0.016	216.4	73.35
2	45.09	210	211	210	1.13	1.2	1.13	140	152	135	427	2.2	1460	0.027	336.4	78.77
3	56.87	210	211	210	1.22	1.29	1.23	169	180	166	515	2.8	1447	0.035	424.3	82.38
4	68.25	210	211	212	1.36	1.44	1.37	210	223	210	643	3.4	1430	0.047	509.1	79.18
5	77.63	210	211	211	1.48	1.55	1.49	239	254	240	733	3.9	1418	0.055	579.1	79.01
6	86.66	210	211	211	1.62	1.7	1.63	275	289	273	837	4.4	1403	0.065	646.5	77.23
7	94.13	210	211	211	1.68	1.76	1.69	290	303	289	882	4.8	1397	0.069	702.2	79.62
8	99.01	210	211	210	1.82	1.9	1.84	321	336	324	981	5.1	1383	0.078	738.6	75.29
9	109.5	210	211	210	1.99	2.07	2.01	359	373	361	1093	5.7	1369	0.087	817.2	74.76
10	114.7	210	210	210	2.07	2.13	2.08	375	387	375	1137	6	1362	0.092	855.8	75.27

ตารางที่ ก-3 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้)

step	%Load	Input Voltage (V)			Input Current (A)			Input Power (Watt)				T	speed	Slip	Pout	%Eff
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	Total					
1	29.03	229.7	231.1	230.5	1.20	1.29	1.21	109	126	106	341	1.4	1477	0.015	216.54	63.50
2	45.18	230.2	230.5	230.1	1.30	1.36	1.29	159	174	154	487	2.2	1463	0.025	337.05	69.21
3	57.11	230.0	230.5	229.8	1.39	1.43	1.35	188	201	182	571	2.8	1453	0.031	426.04	74.61
4	68.78	229.8	230.0	229.5	1.49	1.53	1.45	228	238	219	685	3.4	1441	0.039	513.06	74.90
5	78.34	229.9	230.0	229.6	1.56	1.61	1.53	251	264	242	757	3.9	1431	0.046	584.43	77.20
6	87.83	229.7	229.9	229.2	1.68	1.72	1.64	287	299	279	865	4.4	1422	0.052	655.21	75.75
7	95.21	230.1	231.2	230.8	1.73	1.83	1.75	305	326	306	937	4.8	1413	0.058	710.25	75.80
8	100.80	230.5	231.5	231.1	1.79	1.88	1.81	324	343	324	991	5.1	1408	0.061	751.97	75.88
9	108.09	230.4	231.4	230.9	1.88	1.98	1.90	347	369	349	1065	5.5	1400	0.067	806.34	75.71
10	115.37	230.4	231.4	230.9	1.97	2.07	1.99	369	390	371	1130	5.9	1393	0.071	860.66	76.16

ตารางที่ ก-4 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้)

step	%Load	Input Voltage (V)			Input Current (A)			Input Power (watt)				T	speed	Slip	Pout	%Eff
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	Total					
1	29.11	240	241.4	241.1	1.31	1.42	1.32	105	122	104	331	1.4	1481	0.0127	217.13	65.6
2	45.37	240	241.2	240.5	1.38	1.48	1.37	155	165	149	469	2.2	1469	0.0207	338.43	72.16
3	57.35	240	241.4	241.2	1.42	1.54	1.47	177	200	188	565	2.8	1459	0.0273	427.80	75.72
4	69.16	240	241.1	240.8	1.52	1.6	1.52	217	230	216	663	3.4	1449	0.0340	515.91	77.81
5	76.87	240	241.2	240.9	1.58	1.68	1.59	245	262	245	752	3.8	1441	0.0393	573.42	76.25
6	86.56	240	240.6	240.3	1.64	1.73	1.66	266	283	267	816	4.3	1434	0.0440	645.72	79.13
7	93.95	240	240.8	240.7	1.73	1.83	1.75	299	315	299	913	4.7	1424	0.0507	700.87	76.77
8	99.81	240	241.1	240.9	1.77	1.85	1.79	308	325	309	942	5	1422	0.0520	744.56	79.04
9	108.86	240	241	240.6	1.88	1.97	1.9	344	362	345	1051	5.5	1410	0.0600	812.10	77.27
10	116.28	240	240.8	240.5	1.97	2.05	1.98	368	383	369	1120	5.9	1404	0.0640	867.46	77.45

ตารางที่ ก-5 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้)

STEP	% Load	Input Voltage (V)			Input Current (A)			Input Power (watt)				T	Speed	Slip	Pout	%Eff
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	Total					
1	12.55	199.9	200.4	200.6	1.92	1.99	1.96	111	124	110	345	1.8	1490	0.0067	280.86	81.41
2	37.04	200.3	201	201	2.37	2.49	2.43	300	321	300	921	5.4	1466	0.0227	829.00	90.01
3	50.89	199.8	200.3	200.5	2.86	2.96	2.9	431	448	433	1312	7.5	1450	0.0333	1138.83	86.80
4	64.33	200.5	201.2	201.4	3.34	3.47	3.44	544	571	557	1672	9.6	1432	0.0453	1439.60	86.10
5	72.27	200.3	200.9	201.1	3.77	3.91	3.86	638	667	649	1954	10.9	1417	0.0553	1617.43	82.78
6	80.26	200.3	201.8	201.1	4.2	4.39	4.24	733	766	737	2236	12.2	1406	0.0627	1796.28	80.33
7	87.87	200.1	201.5	200.9	4.65	4.81	4.67	822	852	825	2499	13.5	1391	0.0727	1966.48	78.69
8	94.28	199.9	201.4	200.7	4.93	5.17	5.05	878	925	896	2699	14.6	1380	0.0800	2109.89	78.17
9	102.12	200.5	201.4	201.6	5.5	5.65	5.62	993	1023	1011	3027	16	1364	0.0907	2285.40	75.50
10	108.17	200	200.7	200.9	5.94	6.1	6.06	1071	1105	1092	3268	17.2	1344	0.1040	2420.79	74.08

ตารางที่ ก-6 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้)

STEP	% Load	Input Voltage (V)			Input Current (A)			Input Power (watt)				T	Speed	Slip	Pout	%Eff
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	Total					
1	12.56	210.2	211	211.3	2.15	2.22	2.21	109	134	121	364	1.8	1491	0.0060	281.05	77.21
2	37.14	210.2	210.8	211.2	2.53	2.64	2.62	302	328	311	941	5.4	1470	0.0200	831.27	88.34
3	51.13	210.4	210.9	211.5	2.94	3	3.02	429	446	443	1318	7.5	1457	0.0287	1144.33	86.82
4	64.10	210.3	211.1	211.4	3.4	3.48	3.47	558	576	567	1701	9.5	1442	0.0387	1434.56	84.34
5	71.75	210.4	210.8	211.4	3.66	3.79	3.77	622	651	632	1905	10.7	1433	0.0447	1605.68	84.29
6	80.45	210.3	210.7	211.3	4.07	4.16	4.14	719	736	728	2183	12.1	1421	0.0527	1800.56	82.48
7	87.81	210	210.6	211.1	4.39	4.43	4.47	783	794	800	2377	13.3	1411	0.0593	1965.20	82.68
8	94.40	210	210.4	211	4.77	4.81	4.82	869	878	878	2625	14.4	1401	0.0660	2112.66	80.48
9	102.04	209.8	210.4	211	5.1	5.14	5.19	937	951	955	2843	15.7	1389	0.0740	2283.66	80.33
10	108.48	209.7	210.2	210.8	5.44	5.57	5.57	1010	1041	1030	3081	16.8	1380	0.0800	2427.82	78.80

ตารางที่ ก-7 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 5 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้)

STEP	% Load	Input Voltage (V)			Input Current (A)			Input Power (watt)				T	Speed	Slip	Pout	%Eff
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	Total					
1	12.57	229.5	230	230.6	2.77	2.86	2.83	141	152	141	434	1.8	1492	0.0053	281.24	64.80
2	37.27	229.7	230.5	230.7	3.02	3.12	3.06	346	359	343	1048	5.4	1475	0.0167	834.09	79.59
3	50.76	229.8	230.7	230.7	3.25	3.41	3.33	440	468	443	1351	7.4	1466	0.0227	1136.04	84.09
4	64.59	229.8	230.6	230.7	3.57	3.76	3.69	564	603	572	1739	9.5	1453	0.0313	1445.50	83.12
5	71.77	229.9	230.6	230.9	3.8	3.88	3.91	637	668	641	1946	10.6	1447	0.0353	1606.21	82.54
6	80.18	229.9	230.7	230.9	4.1	4.22	4.15	718	739	723	2180	11.9	1440	0.0400	1794.48	82.32
7	87.78	229.5	230.3	230.5	4.29	4.44	4.39	774	805	782	2361	13.1	1432	0.0453	1964.46	83.20
8	94.21	229.7	230.4	230.6	4.57	4.72	4.63	853	880	852	2585	14.1	1428	0.0480	2108.51	81.57
9	102.3	229.7	230.4	231.4	4.79	5.08	5	911	973	943	2827	15.4	1419	0.0540	2288.40	80.95
10	108.4	229.7	231.3	231.4	5.01	5.24	5.2	965	1017	998	2980	16.4	1413	0.0580	2426.69	81.43

ตารางที่ ก-8 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ทำงานที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10% (กรณีพิจารณาที่กำลังที่ได้)

STEP	% Load	Input Voltage (V)			Input Current (A)			Input Power (watt)				T	Speed	Slip	Pout	%Eff
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	Total					
1	12.57	239.9	240.6	240.8	3.21	3.33	3.31	163	187	152	502	1.8	1493	0.0047	281.42	56.06
2	37.35	239.6	240.4	240.6	3.37	3.5	3.42	352	365	341	1058	5.4	1478	0.0147	835.79	79.00
3	50.87	240.1	240.1	241.1	3.59	3.64	3.67	454	460	455	1369	7.4	1469	0.0207	1138.37	83.15
4	64.17	240	239.8	240.9	3.87	3.89	3.91	592	587	587	1766	9.4	1459	0.0273	1436.19	81.32
5	72.02	240.2	239.9	241	4.04	4.1	4.14	647	663	648	1958	10.6	1452	0.0320	1611.76	82.32
6	79.89	240	240	241	4.28	4.3	4.32	737	741	734	2212	11.8	1447	0.0353	1788.05	80.83
7	87.59	239.7	240	240.5	4.45	4.56	4.54	792	819	795	2406	13	1440	0.0400	1960.35	81.48
8	94.54	239.9	239.9	240.2	4.66	4.75	4.72	844	874	854	2572	14.1	1433	0.0447	2115.89	82.27
9	101.6	240.1	241	241.2	4.85	5.02	4.95	910	943	913	2766	15.2	1429	0.0473	2274.60	82.23
10	108.5	239.6	240	240.2	5.09	5.22	5.19	974	1006	981	2961	16.3	1423	0.0513	2428.96	82.03

ภาคผนวก ข
วิธีการคำนวณวงจรสมมูล

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการคำนวณวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ตารางที่ 3.5 บันทึกผลสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ข้อมูลการทำ No Load Test และ Lock Rotor Test

วิธีทำ

จากการทดสอบ No Load Test จะสามารถคำนวณได้ค่าของ R_c และ X_m โดยทำการคำนวณได้ดังนี้

Phase a : ทำการคำนวณหาค่า P_{rot} โดย $P_{rot} = 3 \cdot P_{in, nl} - 3 \cdot I_o^2 R_l$

แทนค่า

$$P_{rot} = 3 \cdot (29) - 3 \cdot (1.03)^2 \cdot 9.85$$

$$P_{rot} = 3 \cdot (29) - 3 \cdot (1.03)^2 \cdot 9.85$$

$$P_{rot} = 55.65 \text{ Watt}$$

คิดเป็นต่อหนึ่งเฟสจะได้

$$P_{rot} = \frac{55.65}{3} = 18.55 \text{ Watt}$$

แทนค่า

$$R_c = \frac{V^2}{P}$$

$$R_c = \frac{219.5^2}{18.55}$$

$$R_c = 2597.3 \Omega$$

ทำการคำนวณค่า X_m

$$Q = \sqrt{(3 \cdot V \cdot I)^2 - P_{input}}$$

$$Q = \sqrt{(3 \cdot 219.5 \cdot 1.03)^2 - (102)^2}$$

$$Q = 670.54$$

$$X_m = \frac{Q}{3 \cdot I^2}$$

$$X_m = \frac{670.54}{3 \cdot (1.03)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ $3 \cdot (1.03)^2$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_m = \frac{670.54}{3 \cdot (1.03)^2}$$

$$X_m = 217.69$$

จากการทดสอบ Block Rotor Test จะสามารถคำนวณได้ค่าของ R_1 , X_1 และ X_2 โดยทำการคำนวณได้ดังนี้

$$V = I \cdot Z$$

$$Z = \frac{V}{I} \quad \text{แทนค่า} \quad Z = \frac{54}{2.01}$$

$$Z = 26.87$$

$$P = I^2 \cdot R$$

$$R = \frac{P}{I^2} \quad \text{แทนค่า} \quad R = \frac{80}{(2.01)^2}$$

$$R = 19.8 \Omega$$

$$R_2 = R - R_1 \quad \text{แทนค่า} \quad R_2 = 19.8 - 9.85$$

$$R_2 = 9.95 \Omega$$

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2}$$

$$X = \sqrt{(26.87)^2 - (19.8)^2}$$

$$X = 18.16$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X}{2} \quad \text{แทนค่า} \quad X_1 = X_2 = \frac{18.16}{2}$$

$$X_1 = X_2 = 9.08$$

ค่า R_1 เป็นค่าที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีการ DC Test

จากตัวอย่าง Phase b และ Phase c สามารถหาได้จากตัวอย่างข้างต้น

ผลการคำนวณวงจรสมมูลแสดงได้ดังตารางที่ ตารางที่ ข-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-1 ผลการคำนวณวงจรสมมูล

	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	R_C (Ω)	X_m	X_1	X_2
Phase a	9.85	9.95	2597	217.69	9.08	9.08
Phase b	9.85	10.15	1624	217.67	9.27	9.27
Phase c	9.85	10.30	2345	218.50	9.26	9.26



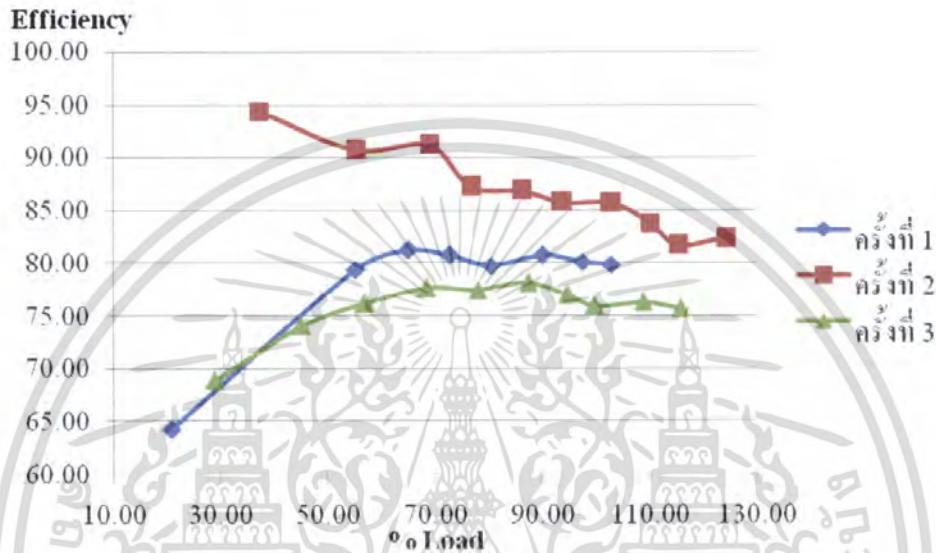
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการเลือกข้อมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

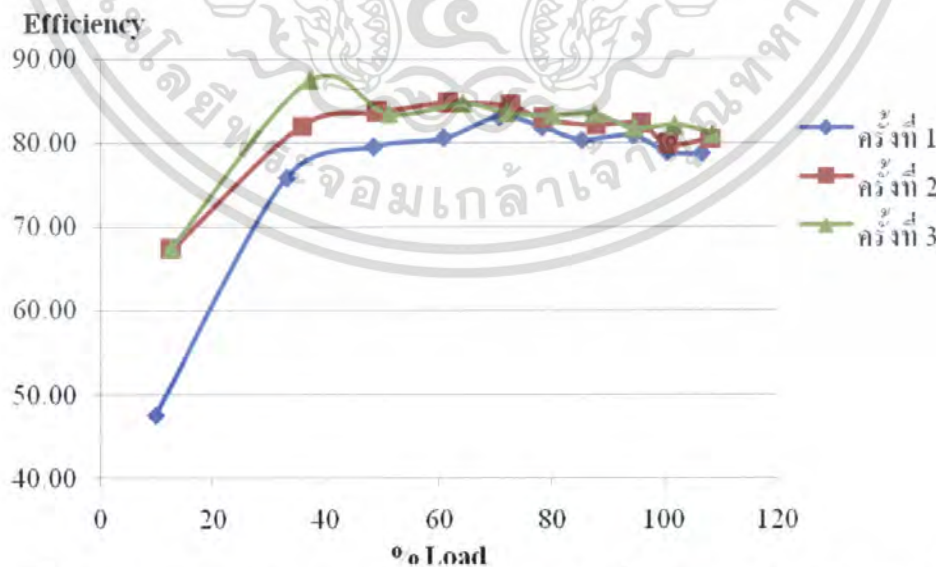
ข้อมูลในการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดยมีการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพ 3 ครั้ง

ผลการเปรียบเทียบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW



รูปที่ ค-1 การเปรียบเทียบผลทดสอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 0.75 kW

จากการเปรียบเทียบได้ทำการเลือกข้อมูลในการทดสอบครั้งที่ 3 มาทำการวิเคราะห์และแสดงผล



รูปที่ ค-2 การเปรียบเทียบผลทดสอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาด 2.2 kW

จากการเปรียบเทียบได้ทำการเลือกข้อมูลในการทดสอบครั้งที่ 3 มาทำการวิเคราะห์

และแสดงผล เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการคำนวณด้วยวิธีการต่าง ๆ

ตารางที่ ง-1 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์

% Load	%Eff SM I	Error SM I	%Eff SM II	Error SM II
28.89	74.6	2.7622	61.715	10.123
44.81	82.329	7.0391	68.313	6.9769
56.52	85.022	7.514	70.571	6.937
67.77	90.424	13.82	74.731	1.8733
76.92	94.619	18.009	78.12	1.5093
85.85	98.041	21.521	80.971	4.4521
92.85	98.926	23.637	81.757	6.4681
98.08	100.08	24.574	82.658	7.1493
106.67	98.23	24.953	80.993	7.7158
113.28	100.64	27.085	82.893	9.3428

ตารางที่ ง-2 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์

% Load	%Eff SM I	Error SM I	%Eff SM II	Error SM II
9.7542	82.06	23.847	68.41	10.194
33.039	87.895	7.7865	72.71	7.3954
48.438	92.955	7.1924	77.44	8.3245
60.768	100.41	14.772	83.29	2.3507
70.307	101.11	18.691	83.18	0.7525
77.849	101.73	20.503	84.27	3.044
84.689	103.39	21.938	85.96	4.5084
93.61	106.02	27.41	87.71	9.0974
99.297	112.86	33.52	93.71	14.369
104.8	119.41	39.957	99.04	19.596

ตารางที่ ง-3 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์

% Load	%Eff SM I	Error SM I	%Eff SM II	Error SM II
28.99	66.13	10.55	60.09	16.60
45.09	72.60	9.24	66.20	15.64
56.76	77.51	1.05	71.00	7.55
68.35	81.43	0.41	74.31	7.53
77.68	82.21	3.36	75.17	3.68
86.72	86.28	8.34	79.12	1.18
94.00	86.27	9.04	78.98	1.75
99.15	88.81	12.24	81.20	4.63
107.70	90.89	15.59	82.97	7.68
114.71	90.62	15.29	82.68	7.35

ตารางที่ ง-4 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์

% Load	%Eff SM I	Error SM I	%Eff SM II	Error SM II
12.55	71.18	0.28	65.35	6.11
37.17	86.40	2.19	79.20	9.39
51.13	88.52	4.31	81.01	3.19
64.32	87.27	2.54	79.97	4.76
71.95	93.50	8.08	86.03	0.61
80.24	92.43	8.86	84.75	1.19
87.77	94.53	10.51	86.95	2.94
94.55	95.00	12.41	87.60	5.01
101.54	98.19	18.43	90.07	10.30
107.81	102.96	23.67	94.44	15.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-5 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์

% Load	%Eff SM I	Error SM I	%Eff SM II	Error SM II
29.14	37.97	27.125	45.389	19.707
45.37	50.056	23.198	59.903	13.351
57.35	54.135	21.583	64.855	10.862
69.16	56.532	20.127	67.577	9.0816
78.83	60.242	18.911	71.833	7.3202
88.26	62.313	15.15	74.055	3.4085
95.88	61.633	15.113	73.206	3.5407
101.59	62.231	15.817	74.266	3.7825
110.76	63.803	13.855	75.867	1.7908
118.25	63.489	14.716	75.558	2.648

ตารางที่ ง-6 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 10 เปอร์เซ็นต์

% Load	%Eff SM I	Error SM I	%Eff SM II	Error SM II
9.7673	45.447	5.9897	54.24	14.779
33.196	59.927	12.412	71.48	0.8626
48.77	63.042	13.822	75.55	1.3169
61.442	63.934	12.715	76.21	0.435
71.289	67.327	11.036	80.46	2.0964
79.108	69.811	10.518	83.54	3.2138
86.127	72.029	8.0176	85.82	5.7691
95.751	72.431	7.9789	86.22	5.8129
102.09	72.383	7.5037	86.05	6.1594
108.3	73.91	6.1375	87.74	7.6918

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-7 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 0.75 kW ที่สภาวะแรงดันสูงกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์

% Load	%Eff SM I	Error SM I	%Eff SM II	Error SM II
29.03	50.02	13.11	54.99	8.14
45.21	56.18	14.38	61.41	9.15
57.15	59.78	14.49	65.46	8.82
68.73	65.82	9.57	72.03	3.37
78.34	67.37	9.12	73.72	2.77
87.71	68.68	6.62	75.34	0.05
95.34	67.75	8.24	74.43	1.56
101.02	67.82	9.16	74.32	2.66
109.98	70.61	6.28	77.31	0.42
117.33	70.20	6.77	76.98	0.00

ตารางที่ ง-8 ผลการคำนวณค่าประสิทธิภาพและค่าความผิดพลาดของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 2.2 kW ที่สภาวะแรงดันต่ำกว่าปกติ 5 เปอร์เซ็นต์

% Load	%Eff SM I	Error SM I	%Eff SM II	Error SM II
12.57	44.10	19.28	48.50	14.88
37.27	65.24	12.57	71.82	5.98
51.38	70.28	9.96	77.10	3.14
64.59	75.74	7.53	83.09	0.17
72.35	78.62	4.11	86.16	3.42
80.69	79.39	1.95	87.63	6.29
88.32	81.66	0.77	90.03	7.60
95.22	81.29	0.87	89.15	8.74
102.84	79.10	0.27	87.49	8.12
109.52	83.51	2.21	92.12	10.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายกมล ขจรบุญ

เกิดวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2528

จบมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนบางพลีราษฎร์บำรุง
จังหวัดสมุทรปราการ

E-mail: kamol_008@hotmail.com



นายทวี พิพัฒน์ผลสกุล

เกิดวันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2528

จบมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์
จังหวัดนครปฐม

E-mail: vivie_kp@hotmail.com



นายคงฤทธิ โกมาสถิตย์

วันเกิด 26 สิงหาคม พ.ศ. 2528

จบมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนเลยพิทยาคม
จังหวัดเลย

E-mail: capuchino_cartoon@hotmail.com



นางสาวคณนา ใจใหญ่

เกิดวันที่ 5 ตุลาคม พ.ศ. 2528

จบมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนอุตรดิตถ์
จังหวัดอุตรดิตถ์

E-mail: aonaana@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้