



สงขลานครินทร์

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์

EFFICIENCY DETERMINATION OF MOTOR

โดย

นายบุญทัน ศรีบุญเรือง

ลงทะเบียนวันที่	13 พ.ย. 2549
ลงทะเบียน	069468
เลขหมู่	อห Tk หคธ พ464ก
หัวเรื่อง	มอเตอร์ไฟฟ้า ... ศึกษ

ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูป
 คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
 ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2548

คำนิยม

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของมอเตอร์ หลังจากใช้งานไปแล้ว เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงการใช้งานของมอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในการวิจัยครั้งนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากเจ้าหน้าที่และอาจารย์ในภาควิชาทุกท่าน โดยเฉพาะนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ของภาควิชา ตลอดจนขอขอบคุณหัวหน้าภาควิชาที่ได้อนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองด้วยดีตลอดมา และผลของงานวิจัยคงเป็นประโยชน์กับการพัฒนาต่อไป

บุญทัน ศรีบุญเรือง

กรกฎาคม 2549

บทคัดย่อ

มอเตอร์ไฟฟ้าแบ่งออกตามประเภทของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ก็สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งในปัจจุบันกล่าวได้ว่ากว่า 90 เปอร์เซ็นต์ของเครื่องต้นกำลังในอุตสาหกรรมใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำทั้งสิ้น การทำโครงการวิศวกรรมครั้งนี้ได้นำมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมาทำการทดสอบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของมอเตอร์หลังจากใช้งานไปแล้ว 500 ชั่วโมง โดยคาดหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่อบุคคลทั่วไป ซึ่งการทดสอบเริ่มจากการนำมอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้าและขนาด 1 แรงม้าจำนวนอย่างละหนึ่งตัวมาต่อเข้ากับอุปกรณ์ทดสอบ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบมี เครื่องวัดค่ากระแสไฟฟ้า เครื่องวัดค่ากำลังไฟฟ้า ฐานที่ใช้ประกอบมอเตอร์เข้ากับชุดทดลอง ชุดทดลองสร้างแรงบิดให้กับมอเตอร์โดยกำหนดป้อนภาระให้กับเครื่องทดสอบมอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้ากำหนดป้อนภาระเท่ากับ 2.1 Nm. และเครื่องทดสอบมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า กำหนดป้อนภาระเท่ากับ 6.5 Nm. ซึ่งในการทดสอบแต่ละครั้งจะให้เครื่องทดสอบทำงานครั้งละ 10 ชั่วโมงจะได้วันละ 1 ครั้ง และจะทำการทดสอบจนกระทั่งครบ 500 ชั่วโมง ซึ่งจะเก็บผลทุกๆ 10 ชั่วโมง และนำผลที่ได้มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ

ผลของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทำการทดสอบครั้งนี้คือมอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้า สามารถวัดค่าประสิทธิภาพเริ่มต้นได้เท่ากับ 0.655 หรือ 65.5 เปอร์เซ็นต์ หลังจากทดสอบไปแล้ว 500 ชั่วโมง สามารถวัดค่าประสิทธิภาพได้เท่ากับ 0.656 หรือ 65.6 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพของมอเตอร์ ได้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าสามารถวัดค่าประสิทธิภาพเริ่มต้นได้เท่ากับ 0.997 หรือ 99.7 เปอร์เซ็นต์ หลังจากทำการทดสอบไปแล้ว 500 ชั่วโมง สามารถวัดค่าประสิทธิภาพได้เท่ากับ 0.968 หรือ 96.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งประสิทธิภาพของมอเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างเห็น ได้ชัดกว่ามอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้า

ABSTRACT

Electric motor can be generally classified by type of electric power transmitted to motor into 2 types; DC motor and AC motor. Presently, over 90 percent the induction motor has been used as power generator in industrial. The objective of this project is to study the 3-phase induction motor efficiency after 500-hours using.

The experiment consists of two main components; testing base and testing set. The testing base is comprised of two types of AC induction motor; $\frac{1}{2}$ - horsepower and 1-horsepower, Amp meter and Power meter. In this project, the testing set is identified as power generating that transmits torque force to the motor. Within testing, there is two load sizes are taken into the $\frac{1}{2}$ - horsepower motor and the 1- horsepower motor are 2.1 Nm. And 6.5 Nm., respectively. The testing data is recorded for 10 hours per day until complete in 500-hours using. After that, those testing records are used to calculate the value of motor efficiency.

From the testing, the result shows that at a starting point, the $\frac{1}{2}$ - horsepower motor present its efficiency at 65.5 percent since 500-hours using, its efficiency indicates at 65.6 percent. It seems to hardly change on this type of motor with 0.01 percent. On the other hand, by measuring the 1 – horsepower efficiency at a starting point, its efficiency points to 99.7 percent. As consequence, after 500-hours using its efficiency has dramatically changed to 96.8 percent. The differences in between would be around 2.9 percent.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
สารบัญ	ค
สารบัญตาราง	ง
สารบัญภาพ	จ
อธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 สถานที่ทำการวิจัย	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
2.1 ส่วนที่อยู่กับที่	3
2.2 คิวทมน	4
2.3 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	5
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	16
3.1 อุปกรณ์	16
3.2 วิธีการ	16
3.3 วิธีการทดสอบ	19
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์	21
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	23
5.1 สรุปผลการทดลอง	23
5.2 ข้อเสนอแนะ	23
เอกสารอ้างอิง	24
ภาคผนวก	25
ภาคผนวก ก	25
ภาคผนวก ข	30
ภาคผนวก ค	37

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การคำนวณโครงการ	17
ตารางผนวกที่	
ก.1 แสดงค่าต่างที่วัดได้จากมอเตอร์ 1/2 แรงม้า เมื่อกำหนดให้รับภาระโหลด 2.1 Nm. ที่อุณหภูมิ 25 °C ระยะเวลาการทำงาน 500 hr. โดยจะทำการวัดค่าทุกๆ 10 hr.	25
ก.2 แสดงค่าต่างที่วัดได้จากมอเตอร์ 1 แรงม้า เมื่อกำหนดให้รับภาระโหลด 6.5 Nm. ที่อุณหภูมิ 25 °C ระยะเวลาการทำงาน 500 hr. โดยจะทำการวัดค่าทุกๆ 10 hr.	27
ก.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆระหว่าง Name Plate กับ Test Final ของมอเตอร์ขนาด ½ แรงม้าและขนาด 1 แรงม้า	29

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงลักษณะของส่วนที่อยู่กับที่ (Stator)	3
2.2 แสดงลักษณะของตัวหมุนแบบวาวด์	4
2.3 แสดงลักษณะของตัวหมุนแบบกรงกระรอก	5
2.4 แสดงการเกิดแรงที่ตัวนำรูปบันไดเมื่อสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่	5
2.5 แสดงการส่งผ่านกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	7
2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว-ทอร์ก ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก	10
2.7 แสดงรูปคลื่นแรงบิดเมื่อตัวหมุนไม่เป็นการเหนี่ยวนำ	12
2.8 แสดงรูปคลื่นแรงบิดเมื่อตัวหมุนเป็นการเหนี่ยวนำ	13
3.1 แสดงการติดตั้งมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้ากับชุดทดสอบและเครื่องมือวัดค่าต่างๆ	19
3.2 แสดงการติดตั้งมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้ากับชุดทดสอบและเครื่องมือวัดค่าต่างๆ	19
4.1 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วรอบระหว่าง Name Plate กับ Test Final ของมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้าและขนาด 1 แรงม้า	21
4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าของกระแสไฟฟ้าระหว่าง Name Plate กับ Test Final ของมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้าและขนาด 1 แรงม้า	22
ภาพผนวกที่	
ข.1 เครื่องทดสอบมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้า	30
ข.2 ตัวสร้างภาระโหลดให้กับมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้า	30
ข.3 เครื่องทดสอบมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า	31
ข.4 ตัวสร้างภาระโหลดให้กับมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า	31
ข.5 มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า	32
ข.6 มอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้า	32
ข.7 เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (METRIX MX 0098)	33
ข.8 เครื่องวัดค่ากำลังไฟฟ้า (METRIX MX 0095)	33
ข.9 เครื่องวัดค่ากระแสไฟฟ้า (AC CLAMP METER , DIGICON DM-661)	34
ข.10 การติดตั้งมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้าเข้ากับตัวสร้างภาระโหลด	34
ข.11 การติดตั้งมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าเข้ากับตัวสร้างภาระโหลด	35
ข.12 แสดงการทดสอบมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้า	35
ข.13 แสดงการทดสอบมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า	36

อธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

n_s	=	ความเร็วเชิงโคโรนัส (rpm)
f	=	ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส (Hz)
P	=	จำนวนขั้วแม่เหล็กต่อเฟส
S	=	สลิป
n_r	=	ความเร็วโรเตอร์ (rpm)
E_1	=	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สเตเตอร์ขณะบังคับให้โรเตอร์อยู่กับที่
E_2	=	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโรเตอร์เมื่อโรเตอร์หมุนในสภาวะปกติ
P_{core}	=	กำลังสูญเสียที่แกนเหล็กของสเตเตอร์
P_{js}	=	กำลังสูญเสียที่ขดลวดสเตเตอร์
P_{fw}	=	กำลังสูญเสียจากความฝืดและแรงต้านจากลม
η	=	ประสิทธิภาพของมอเตอร์
T_m	=	ทอร์กที่มอเตอร์สร้างขึ้นที่ความเร็วใดๆ (Nm.)
P_r	=	กำลังที่โรเตอร์ (W)
9.55	=	ค่าตัวคงที่ เกิดจากการเปลี่ยนหน่วยจากค่า $\frac{60}{2\pi}$
I_2	=	กระแสไฟฟ้าที่ตัวหมุนในตำแหน่งพร้อมหมุน
θ_2	=	มุมระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ตัวหมุนกับกระแสไฟฟ้าที่ตัวหมุน
K_1	=	ค่าคงตัวอื่นๆ
E_2	=	แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวหมุนต่อเฟสตำแหน่งพร้อมหมุน
R_2	=	ความต้านทานของตัวหมุนต่อเฟส
X_2	=	รีแอกแตนซ์ของตัวหมุนต่อเฟส ในตำแหน่งพร้อมหมุน
Z_2	=	อินพีแดนซ์ของตัวหมุนต่อเฟส ในตำแหน่งพร้อมหมุน
P_{in}	=	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขั้วมอเตอร์ (W)
P_{out}	=	กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับโหลด (W)

บทที่ 1

บทนำ

ในยุคปัจจุบัน มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทั้งทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ประเทศไทยซึ่งเป็นหนึ่งในประเทศที่มีโรงงานอุตสาหกรรมเกิดขึ้นอย่างมากมายไม่ว่าจะทางด้านอุตสาหกรรม การเกษตรหรืออุตสาหกรรมด้านต่างๆ โดยที่โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะนำเครื่องมือที่เป็นเครื่องจักรกลเข้ามาแทนที่แรงงานคนในการดำเนินงานเป็นส่วนมาก ซึ่งในองค์ประกอบของเครื่องจักรกลส่วนใหญ่จะใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนเครื่องจักรนั้นๆ เช่น เครื่องสูบน้ำจะใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนใบพัดเพื่อสร้างความแตกต่างของความดันอากาศภายนอกและภายในเครื่องสูบน้ำ , เครื่องอัดอากาศจะใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนลูกสูบในการอัดอากาศ , ลิฟต์จะใช้มอเตอร์ในการขับเคลื่อนลวดสลิง เป็นต้น จากการที่กล่าวมาข้างต้นมอเตอร์ที่ใช้งานในเครื่องจักรกลเวลานานเข้าจะเกิดการสูญเสียต่างๆ เช่น กำตึงตกลง, แรงบิดตกลง, เพลาสึกหรอ, ตลับลูกปืนฝืด เป็นต้น ทำให้เกิดการสูญเสียทางด้านพลังงานและงบประมาณเกิดขึ้น ซึ่งเป็นการสูญเสียที่เปล่าประโยชน์ทางด้านทรัพยากรหลายประเทศจึงมีการศึกษาค้นคว้าพัฒนามอเตอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ดังนั้น จากการสูญเสียข้างต้นจึงได้จัดทำโครงการงานวิศวกรรม เพื่อที่จะศึกษาในเรื่องของประสิทธิภาพของมอเตอร์ว่ามีประสิทธิภาพและการสูญเสียเป็นอย่างไร โครงการนี้จึงได้มุ่งเน้นมอเตอร์ 3 เฟส ที่โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ใช้ มาดำเนินการทดสอบ และนำข้อมูลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการศึกษาหาวิธีการแก้ไขปัญหาการสูญเสียต่างๆที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ในอนาคตต่อไป ซึ่งอาจจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะช่วยให้ประเทศชาติมีการสูญเสียพลังงานและลดค่าใช้จ่ายให้น้อยลงได้ในระดับหนึ่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของมอเตอร์หลังจากการทดสอบ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาถึงตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของมอเตอร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 500 ชั่วโมง
- 1.3.2 มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า จำนวน 1 ตัว
- 1.3.3 มอเตอร์ขนาด ½ แรงม้า จำนวน 1 ตัว
- 1.3.4 มอเตอร์ 3 เฟส 380 V 50 Hz
- 1.3.5 มอเตอร์ที่ผลิตในประเทศไทย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 รู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของมอเตอร์
- 1.4.2 เพื่อเป็นแนวทางในการที่จะปรับปรุงพัฒนามอเตอร์ต่อไป
- 1.4.3 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปออกแบบเครื่องจักรกลที่ใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนกำลัง

1.5 สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปอาหาร คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กรุงเทพมหานคร ๓๑๒๐๖

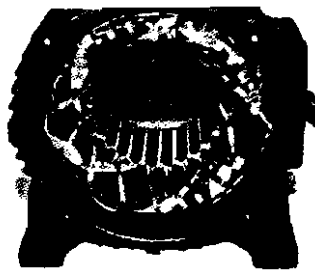
บทที่ 2 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor) หรือเรียกว่า มอเตอร์อินดักชัน นิยมใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป มีข้อดี คือ ไม่มีแปรงถ่านทำให้การสูญเสียเนื่องจากความเสียดสีมีค่าน้อย มีตัวประกอบกำลังสูง การบำรุงรักษาน้อย เริ่มหมุนได้ง่าย โดยเฉพาะชนิดกรงกระรอก สร้างง่าย ทนทาน ราคาถูก ไม่เสียดง่ายและมีประสิทธิภาพสูง มีข้อเสียอยู่บ้างคือ การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ทำได้ยากเนื่องจากความเร็วรอบจะแปรผันตรงกับภาระแรงบิดเริ่มหมุนก่อนข้างต่ำกว่าแรงบิดเริ่มหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซิงค์ มีค่าประกอบกำลังต่ำและมีความต่ำ (ปัญญา, 2547)

โครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จะประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วนด้วยกันคือ 1. ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) 2. ตัวหมุน (Rotor)

2.1 ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator)

ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) จะใช้หลักการเดียวกันกับของซิงโครนัสมอเตอร์ หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับโดยทำจากแผ่นเหล็กบางๆที่มีค่าของความซาบซึมได้(Permeability) สูง มีความสูญเสียจากฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loss) ต่ำ และมีค่าการสูญเสียเนื่องจากกระแสวน (Eddy-current loss) ต่ำ (ถาวร, 2545) มาอัดซ้อนกันทำเป็นช่องสล็อตไว้บรรจุขดลวด 3 เฟส และจำนวนขั้วแม่เหล็กจะเป็นตัวกำหนดความเร็วรอบของมอเตอร์ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับขดลวดส่วนที่อยู่กับที่จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งสนามแม่เหล็กนี้จะหมุน (Revolves or Rotate) ด้วยความเร็วที่เรียกว่าความเร็วซิงโครนัส สนามแม่เหล็กหมุนจะเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในตัวหมุนโดยเป็นไปตามกฎของการเหนี่ยวนำ



ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะของส่วนที่อยู่กับที่ (Stator)

ที่มา : Chapman (1998)

2.2 ตัวหมุน (Rotor)

ตัวหมุน (Rotor) จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ 1. ตัวหมุนแบบวาวด์ หรือเฟสวาวด์ (Wound Rotor or Phase Wound Rotor) 2. ตัวหมุนแบบกรงระรอก (Squirrel Cage Rotor Motor)

2.2.1 ตัวหมุนแบบวาวด์ หรือเฟสวาวด์ (Wound Rotor or Phase Wound Rotor) เรียกมอเตอร์ชนิดนี้ว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำแบบเฟสวาวด์มอเตอร์ หรือสลีปรिंगมอเตอร์ การพันขดลวดจะเป็นแบบสองชั้น เหมือนกับที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ภายในตัวหมุนจะถูกต่อแบบสตาร์มีปลายสายออกมา 3 เส้น ต่อเข้ากับสลีปรिंगที่ติดกับเพลลาของตัวหมุน สามารถนำความต้านทานที่ต่อแบบสตาร์มาต่อเข้ากับสลีปรึงที่ต่อมาจากขดลวดในตัวหมุนแบบวาวด์เพื่อเพิ่มแรงบิดเริ่มหมุน เมื่อมอเตอร์หมุนเข้าสู่ความเร็วปรกติ สลีปรึงจะถูกตัดวงจร ทำให้ตัวหมุนทำงานแบบกรงระรอก

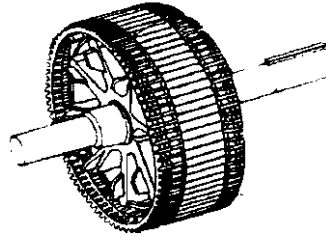


ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะของตัวหมุนแบบวาวด์

ที่มา : Chapman (1998)

2.2.2 ตัวหมุนแบบกรงระรอก (Squirrel Cage Rotor Motor) มอเตอร์ที่ใช้ตัวหมุนชนิดนี้เรียกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงระรอก โดยประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางๆอัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก และถูกทำให้เป็นช่องสล็อตขนานกันเพื่อบรรจุตัวนำของตัวหมุน ในช่องสล็อตนั้น ตัวนำที่ฝังจะเป็นแท่งทองแดง อะลูมิเนียม หรืออัลลอย โดยในหนึ่งสล็อตจะบรรจุตัวนำเพียงหนึ่งแท่งเท่านั้น ปลายสุดของแท่งตัวนำทั้ง 2 ด้านจะถูกตัดวงจรเข้าด้วยกันโดยการบัดกรี หรือเชื่อมด้วยไฟฟ้าอย่างถาวร จึงไม่สามารถที่จะนำความต้านทานภายนอกมาต่ออนุกรมเข้ากับวงจรตัวหมุนเพื่อช่วยในการเริ่มหมุนได้ สล็อตของตัวหมุนจะวางให้มีลักษณะที่ไม่ขนานกับเพลลา โดยเฉียงเล็กน้อย เพื่อช่วยให้อัตราการเริ่มหมุนได้เร็ว ด้วยการลดการฮัมของเส้นแรงแม่เหล็ก (magnetic hum)

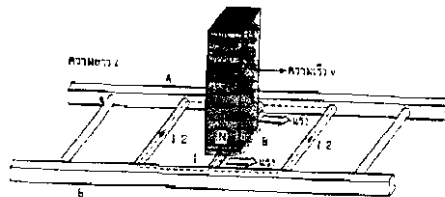
(ณรงค์, 2530) และช่วยในการลดการเกิดการลื่นของตัวหมุนอันเนื่องมาจากสนามแม่เหล็กคดโค้งอยู่ที่พื้นของตัวที่อยู่กับที่กับตัวหมุน ส่วนตัวหมุนแบบอื่นๆก็มีลักษณะคล้ายกันกับตัวหมุนแบบกรงระรอก โดยประกอบด้วยแท่งเหล็กทรงกระบอกตัน มอเตอร์จะหมุนได้ขึ้นอยู่กับการเกิดกระแสไหลวนในแท่งเหล็กของตัวหมุน



ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะของตัวหมุนแบบกรงกระรอก
ที่มา : นภัทรและประเสริฐ (2544)

2.3 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

จะเป็นไปตามกฎของฟาราเดย์ที่กล่าวไว้เกี่ยวกับแรงที่เกิดขึ้นจากการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวนำ



ภาพที่ 2.4 แสดงการเกิดแรงที่ตัวนำรูปบันไดเมื่อสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่
ที่มา : นภัทรและประเสริฐ (2544)

จากภาพที่ 2.4 พิจารณาปรากฏการณ์เหนี่ยวนำตามลำดับดังนี้

- 1) เมื่อขั้วแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่ลูกศรชี้ และมีความเร็วเท่ากับ V เส้นแรงแม่เหล็ก B จะตัดตัวนำ L ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวนำนี้เท่ากับ $E = BLV$
- 2) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E จะทำให้เกิดกระแส I ไหลในตัวนำตามทิศทางที่แสดงในรูป
- 3) เนื่องจากมีกระแสไหลในขดลวดตัวนำ ขณะที่ตัวนำนั้นอยู่ภายใต้เส้นแรงแม่เหล็ก จึงเกิดแรงขึ้น และแรงที่เกิดขึ้นนี้มีทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของขั้วแม่เหล็ก

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นที่ตัวนำรูปบันไดและเป็นผลให้ตัวนำนั้นเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามแม่เหล็กที่เคลื่อนที่อยู่นั้น หลักการนี้คือหลักการที่โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอกหมุนไปได้ภายใต้สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดกับสเตเตอร์

ความเร็วซิงโครนัส หมายถึง ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส หรือมอเตอร์ซิงโครนัส ความเร็วซิงโครนัส (n_s) หาได้จากสมการ (2.1)

$$n_s = \frac{120f}{P} \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ n_s = ความเร็วซิงโครนัส (rpm)
 f = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส (Hz)
 P = จำนวนขั้วแม่เหล็กต่อเฟส

จากสมการ (2.1) แสดงให้เห็นว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนจะเพิ่มตามความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ และจะลดตามจำนวนขั้วแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น และความเร็วในการหมุนของโรเตอร์จะต้องต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอ เพราะว่าทอร์กที่เกิดขึ้นกับตัวนำแต่ละตัวโรเตอร์ จะเกิดหลังจากสนามแม่เหล็กหมุนเคลื่อนที่ผ่านตัวนำนั้นไปแล้ว

ความเร็วโรเตอร์และสลลิป

ความเร็วโรเตอร์ (Rotor speed หรือ n_r) ดังที่กล่าวมาแล้วในเบื้องต้นว่าความเร็วของโรเตอร์จะต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอ ผลต่างของทั้งสองเรียกว่าสลลิป (Slip หรือ S) ดังนั้นความเร็วสลลิปคือผลต่างของความเร็วทั้งสอง กล่าวคือ $n_s - n_r$

ค่าของสลลิปจะใช้ในรูปแบบร้อยละเมื่อเทียบกับความเร็วซิงโครนัส ดังนั้นสมการของสลลิป คือ

$$S = n_s - \left(\frac{n_r}{n_s}\right) \dots\dots\dots(2.2)$$

หรือ
$$S = n_s - \left(\frac{n_r}{n_s}\right) \times 100\%$$

เมื่อ S = สลลิป
 n_s = ความเร็วซิงโครนัส (rpm)
 n_r = ความเร็วโรเตอร์ (rpm)

เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำไม่มีโหลด ค่าของสลิปจะเท่ากับ 0 (หรือ 0 %) และเมื่อใดก็ตามที่โรเตอร์ ถูกล๊อคอยู่กับที่ ค่าสลิปจะเท่ากับ 1 (หรือ 100%) ความเร็วของโรเตอร์จะเป็นศูนย์ ดังนั้นความเร็ว ของโรเตอร์เป็นไปตามสมการ

$$n_r = (1-S)n_s \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

และในทำนองเดียวกัน ความถี่ของโรเตอร์ (F_r) จะมีค่าเท่ากับสลิปคูณกับความถี่ของแรงดันที่จ่ายให้กับสเตเตอร์ ดังสมการ (2.4)

$$F_r = Sf_s \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในโรเตอร์

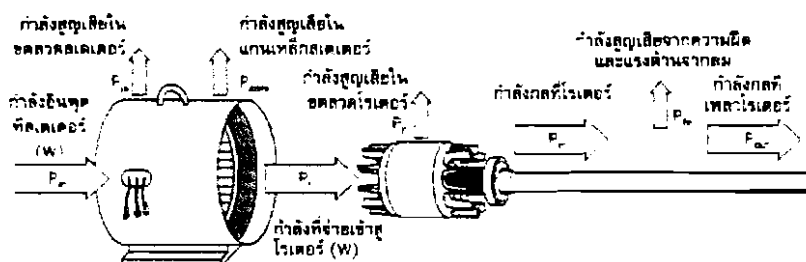
แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ขึ้นอยู่กับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนและจำนวนรอบของขดลวดที่พันอยู่บนสเตเตอร์และโรเตอร์คล้ายกับความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในหม้อแปลงไฟฟ้า ระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ เมื่อบังคับให้โรเตอร์อยู่กับที่ค่าความเร็วโรเตอร์จะเป็นศูนย์ ความถี่ของโรเตอร์เท่ากับความถี่ของแรงดันในสเตเตอร์ ดังนั้นสลิปเป็น 1 และเมื่อโรเตอร์เริ่มหมุนค่าสลิปจะลดลง ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ (E_2) จึงลดลงไปตามสัดส่วนของสลิปที่ลดลง ดังสมการ (2.5)

$$E_2 = SE_1 \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

เมื่อกำหนดให้ E_1 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สเตเตอร์ขณะบังคับให้โรเตอร์อยู่กับที่
 E_2 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโรเตอร์เมื่อโรเตอร์หมุนในสภาวะปกติ
 S = สลิป

การส่งผ่านกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

การส่งผ่านของกำลังไฟฟ้าอินพุตจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า ไปยังเพลารวมของมอเตอร์นั้นเป็นไปตามลำดับการไหลของพลังงาน



ภาพที่ 2.5 แสดงการส่งผ่านกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

ที่มา : นภัทรและประเสริฐ (2544)

จากภาพที่ 2.5 กำลังงานอินพุตคือ พลังงานไฟฟ้าอินพุต (P_{in}) ที่มอเตอร์ได้รับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสผ่านขดลวดสเตเตอร์ ที่สเตเตอร์จะมีการสูญเสีย 2 ส่วนคือ กำลังสูญเสียของขดลวดสเตเตอร์ (P_{js}) คือ I^2R และกำลังสูญเสียในแกนเหล็กของสเตเตอร์ (P_{core}) กำลังที่เหลือออกมาคือกำลังที่ส่งผ่านช่องอากาศมายังโรเตอร์คือ (P_r) อย่างไรก็ตาม พลังงานที่ส่งมายังโรเตอร์มีการสูญเสียจากขดลวดของโรเตอร์เป็นลักษณะ I^2R เรียกว่า (P_{out}) ที่สามารถส่งให้กับโหลดได้ จากผังการส่งผ่านพลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพภาพกำลังไฟฟ้าส่วนต่างๆและทอร์กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสได้

ประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

กำลังอินพุต คือ $P_{in} = \sqrt{3}V_L I_L \cos\phi$ (ทวีชัย, 2540)(2.6)

กำลังโรเตอร์ คือ $P_r = P_{in} - (P_{js} + P_{core})$ (2.7)

เมื่อกำหนดให้ P_{core} คือกำลังสูญเสียที่แกนเหล็กของสเตเตอร์

P_{js} คือกำลังสูญเสียที่ขดลวดสเตเตอร์

กำลังกลที่ออกจากโรเตอร์ คือ

$$P_m = P_r - P_{jr} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

เมื่อกำหนดให้ P_{jr} คือกำลังสูญเสียที่ขดลวดของโรเตอร์

กำลังกลที่เพลของโรเตอร์ คือ

$$P_{out} = P_m - P_{fw} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

เมื่อกำหนดให้ P_{fw} คือกำลังสูญเสียจากความฝืดและแรงต้านจากลม ดังนั้นประสิทธิภาพของมอเตอร์ (η) คือ

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

ทอร์คและกำลังกลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จากสมการ (2.7) เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่โรเตอร์ (P_r) เกิดจากความเร็วยังเส้นแรงแม่เหล็ก และทอร์คที่เกิดจากผลของสนามแม่เหล็ก ดังสมการ

$$\text{ดังนั้น} \quad P_r = \frac{n_s T_{mag}}{9.55} \quad \dots\dots\dots(2.10.1)$$

แต่ทอร์คทางกล (T_m) จะเท่ากับทอร์คที่เกิดจากสนามแม่เหล็ก (T_{mag})

$$\text{ดังนั้น} \quad T_m = T_{mag} \quad \dots\dots\dots(2.10.2)$$

จากสมการที่ (2.8) กำลังกลที่โรเตอร์ (P_m) คือผลของความเร็วยังโรเตอร์กับทอร์คทางกลที่โรเตอร์ ดังสมการ

$$\text{ดังนั้น} \quad P_m = \frac{n_r T_{(mag)}}{9.55} \quad \dots\dots\dots(2.10.3)$$

แทนค่าสมการ(2.10.1) (2.10.2) และ (2.10.3) ในสมการ (2.8) จะได้ว่า

$$P_{jr} = SP_r \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\text{และ} \quad P_m = (1-S)P_r \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

ทอร์คของมอเตอร์ (T_m) หรือทอร์คทางกล คือทอร์คที่มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสสร้างขึ้นที่ความเร็วใดๆในขณะที่โรเตอร์หมุน ดังสมการ

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{9.55P_m}{n_r} \\ &= \frac{9.55(1-S)P_r}{n_s - (1-S)} \\ T_m &= \frac{9.55P_r}{n_s} \quad \dots\dots\dots(2.13) \end{aligned}$$

เมื่อกำหนดให้

$$T_m = \text{ทอร์กที่มอเตอร์สร้างขึ้นที่ความเร็วใดๆ (Nm)}$$

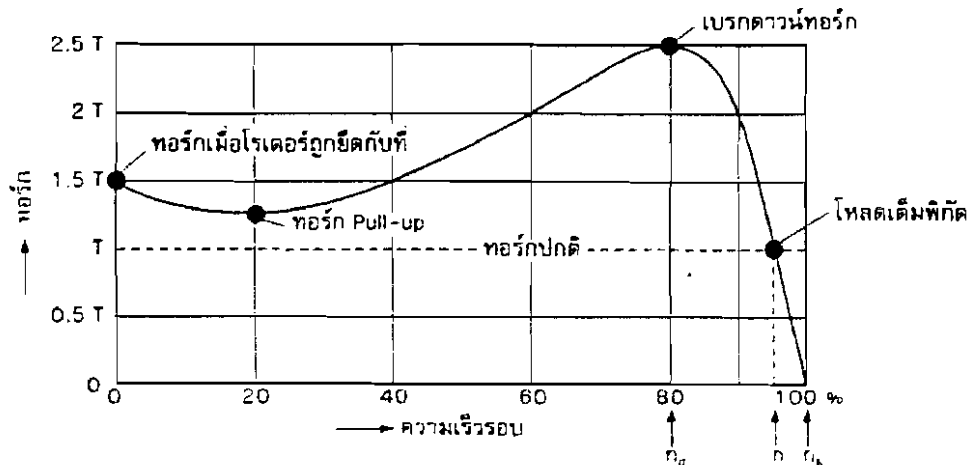
$$P_r = \text{กำลังที่โรเตอร์ (W)}$$

$$n_s = \text{ความเร็วซิงโครนัส (rpm)}$$

$$9.55 = \text{ค่าตัวคงที่ เกิดจากการเปลี่ยนหน่วยจากค่า } \frac{60}{2\pi}$$

เส้นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและทอร์ก

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและทอร์กของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอกในสถานะที่ขั้วโหลดเต็มพิกัด ดังแสดงในภาพที่ 2.6 จะพบว่าทอร์กในสถานะปกติที่โหลดเต็มพิกัดคือ T และทอร์กในสถานะที่โรเตอร์ถูกยึดอยู่กับที่เท่ากับ $1.5T$ เท่าของทอร์กเต็มพิกัด สำหรับเบรกคาว์ทอร์กจะมีค่าประมาณ $2.5T$ เท่าของทอร์กเต็มพิกัดที่โหลดเต็มพิกัดของมอเตอร์ ความเร็วของมอเตอร์จะเท่ากับ n_r แต่ถ้าทอร์กของโหลดเพิ่มขึ้นความเร็วจะตกลง จนกระทั่งมอเตอร์สร้างทอร์กได้เท่ากับทอร์กของโหลด ในสถานะดังกล่าวมอเตอร์ยังคงหมุนไปได้ แต่เมื่อใดก็ตามที่ทอร์กของโหลดเกินกว่า $2.5T$ เท่าของทอร์กเต็มพิกัด ซึ่งเรียกว่าเบรกคาว์ทอร์ก จะทำให้มอเตอร์หยุดหมุนอย่างรวดเร็ว เพราะวามอเตอร์ไม่สามารถสร้างทอร์กขึ้นมาเท่ากับทอร์กของโหลดได้ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่มีขนาดต่ำกว่า 10 kW ความเร็วที่เบรกคาว์ทอร์ก (n_d) จะเท่ากับประมาณ 80% ของความเร็วซิงโครนัส (n_s) แต่สำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่ที่มีพิกัดมากกว่า 1,000 kW ความเร็วที่เบรกคาว์ทอร์กเท่ากับประมาณ 98% ของความเร็วซิงโครนัส (นักทร และ ประเสริฐ, 2544)



ภาพที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว-ทอร์ก ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก

ที่มา : นักทรและประเสริฐ (2544)

ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ตัวหมุน (Frequency of Rotor Current)

ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ตัวหมุนจะมีค่าเท่ากับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวอยู่กับ
 ที่ในขณะที่ตัวหมุนยังไม่หมุน แต่เมื่อตัวหมุนเริ่มหมุนความถี่ของตัวหมุนจะขึ้นอยู่กับความเร็วสัมพัทธ์
 (relative speed) หรือความเร็วสลลิป ถ้ากำหนดให้ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ตัวหมุนที่ความเร็วสลลิปใดๆมี
 ค่า f' ดังนั้นจะได้

$$N_s - N = \frac{120f'}{P} \dots\dots\dots(2.14)$$

เมื่อ $N_s = \frac{120f}{P} \dots\dots\dots(2.15)$

สมการ (2.14) หากรดด้วยสมการ (2.15) จะได้

$$\begin{aligned} \frac{(N_s - N)}{N_s} &= S \\ &= \left(\frac{120f'}{P}\right) \left(\frac{P}{120f}\right) \end{aligned}$$

ดังนั้น $S = \frac{f'}{f}$

ความถี่กระแสที่ตัวหมุนมีค่า

$$f' = Sf \dots\dots\dots(2.16)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและตัวประกอบกำลังของหมุน (Relation Between Torque and Rotor Power Factor)

แรงบิดที่ตัวหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (T_a) เกิดขึ้นจากกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์และ
 เส้นแรงแม่เหล็กค่อขั้ว ($T_a \sim \phi I_a$) ส่วนแรงบิดในมอเตอร์เหนี่ยวนำจะเกิดจากผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็ก
 ที่ตัวอยู่กับที่ค่อขั้ว กระแสไฟฟ้าที่ตัวหมุนและตัวประกอบกำลังของตัวหมุน ดังนั้นจะได้

$$T \sim \phi I_2 \cos \theta_2$$

หรือ $T = K\phi I_2 \cos \theta_2 \dots\dots\dots(2.17)$

โดยที่ I_2 = กระแสไฟฟ้าที่ตัวหมุนในตำแหน่งพร้อมหมุน
 θ_2 = มุมระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น

ที่ตัวหมุนกับกระแสไฟฟ้าที่ตัวหมุน

$$K = \text{ค่าคงตัว}$$

แทนค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ตัวหมุนที่ตำแหน่งพร้อมหมุนด้วย E_2 จะได้

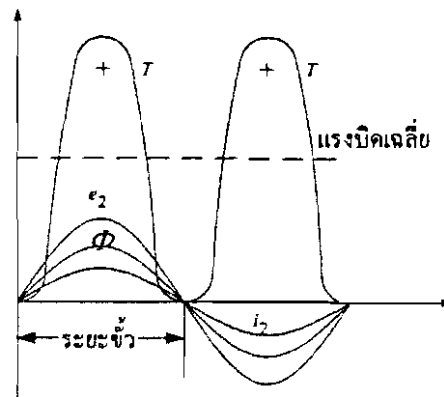
$$E_2 \sim \theta$$

$$T \sim E_2 I_2 \cos \theta_2$$

หรือ $T = K_1 E_2 I_2 \cos \theta_2$ (2.18)

โดยที่ $K_1 = \text{ค่าคงตัวอื่นๆ}$

ผลของตัวประกอบกำลังที่ตัวหมุนและแรงบิดที่ตัวหมุน แสดงดังภาพที่ 2.7 จากสมการที่ (2.18) พบว่าแรงบิดขึ้นอยู่กับ θ_2 เมื่อ θ_2 เพิ่มขึ้น ($\cos \theta_2$ จะมีค่าลดลง) แรงบิดก็จะลดลง เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กที่หมุนที่ตัวอยู่กับที่เป็นคลื่นไซน์เกิดการเหนี่ยวนำกับตัวนำของตัวหมุน ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่ตัดกับตัวนำ ($E = BLV$ โวลต์) ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นตัวหมุนจึงเป็นคลื่นไซน์ด้วย การพิจารณาตัวหมุนในภาวะต่างๆ พิจารณาดังนี้



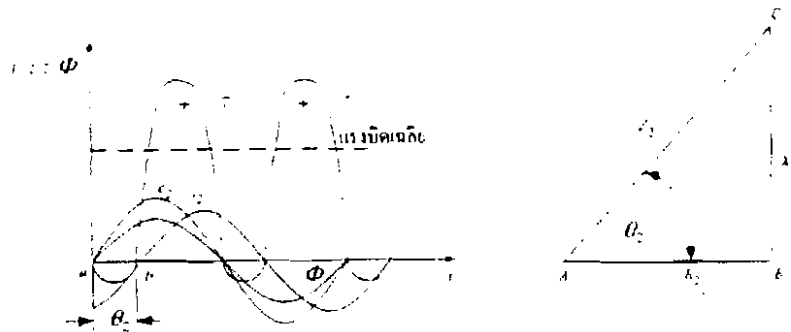
ภาพที่ 2.7 แสดงรูปคลื่นแรงบิดเมื่อตัวหมุนไม่เป็นการเหนี่ยวนำ
ที่มา: ปัญญา (2547)

- 1) ถ้าตัวหมุนเป็นภาระแบบความต้านทาน (resistive load) ($\theta_2 = 0$) กรณีนี้กระแสไฟฟ้าที่ตัวหมุน (I_2) จะเกิดพร้อมกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในตัวหมุน (E_2) แสดงในภาพ ค่าแรงบิดชั่วขณะ ที่นำเพียงตัวเดียวในตัวหมุน กำหนดโดยค่าชั่วขณะใดขณะหนึ่งของเส้นแรงและกระแสไฟฟ้าที่ตัวหมุน (เพราะว่า $F \sim BI_2$) ดังนั้นเส้นโค้งของแรงบิดจึงเขียนได้จากผลของเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ (หรือความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กคือ B) และ I_2 ดังนั้นแรงบิดจะมีค่าเป็นบวก (positive)
- 2) สมมติให้ตัวหมุนเป็นภาระแบบเหนี่ยวนำ (inductive load) ดังแสดงในภาพที่ 2.5 เมื่อ I_2 ถ่าหลัง E_2 อยู่เป็นมุม θ_2

$$\text{มุม } \theta_2 = \frac{\tan^{-1} X_2}{R_2} \dots\dots\dots(2.19)$$

โดยที่ R_2 เป็นความต้านทานของตัวหมุนต่อเฟสในตำแหน่งพร้อมหมุน

จากรูปคลื่นในภาพที่ 2.8 พบว่าตำแหน่ง ab นั้นเป็นระยะพิชชของซั้ว ซึ่งเป็นช่วงที่แรงบิดมีค่าเป็นลบ(negative) ดังนั้นแรงบิดรวมมีค่าเท่ากับผลต่างของ แรงบิดข้างหน้า (forward) กับแรงบิดย้อนกลับ (backward) โดยมีค่าลดลง ถ้า $\theta_2 = 90^\circ$ แรงบิดรวมจะเปิดศูนย์ เพราะแรงบิดย้อนกลับกับแรงบิดข้างหน้าจะมีค่าเท่ากัน แต่มีทิศตรงกันข้าม



ภาพที่ 2.8 แสดงรูปคลื่นแรงบิดเมื่อตัวหมุนเป็นการเหนี่ยวนำ

ที่มา : ปัญญา (2547)

แรงบิดเริ่มหมุน (Starting Torque)

ขณะมอเตอร์เริ่มหมุนจะเกิดแรงบิดขึ้น เราเรียกว่า แรงบิดเริ่มหมุน บางครั้งมีค่ามากกว่าแรงบิดของมอเตอร์เมื่อหมุนปรกติ และบางครั้งก็อาจจะต่ำกว่า เมื่อมอเตอร์หมุนปรกติกำหนดให้

E_2 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในตัวหมุนต่อเฟส ตำแหน่งพร้อมหมุน

R_2 = ความต้านทานของตัวหมุนต่อเฟส

X_2 = รีแอกแตนซ์ของตัวหมุนต่อเฟส ในตำแหน่งพร้อมหมุน

Z_2 = อินพีแดนซ์ของตัวหมุนต่อเฟส ในตำแหน่งพร้อมหมุน

$$(Z_2)^2 = (R_2)^2 + (X_2)^2 \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{E_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (X_2)^2}} \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\cos\theta_2 = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{R_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (X_2)^2}} \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

แรงบิด ในตำแหน่งพร้อมหมุน หรือแรงบิดเริ่มหมุน

$$\begin{aligned} T_s &= K_1 E_2 I_2 \cos\theta_2 \\ &= K_1 E_2 \left[\frac{E_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (X_2)^2}} \right] \left[\frac{R_2}{\sqrt{(R_2)^2 + (X_2)^2}} \right] \\ T_s &= \frac{K_1 (E_2)^2 R_2}{[(R_2)^2 + (X_2)^2]} \quad \dots\dots\dots(2.23) \end{aligned}$$

ถ้าจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า V ให้คงตัว ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็ก (Φ) และ E_2 จะมีคงตัวด้วย

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{K_2 R_2}{[(R_2)^2 + (X_2)^2]} \\ &= \frac{K_2 R_2}{(Z_2)^2} \quad \dots\dots\dots(2.24) \end{aligned}$$

โดยที่ K_2 คือ ค่าคงตัว

การวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ (By Actual Measurement of Motor Speed)

การวัดสลิปด้วยการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ทำได้โดยการวัดความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะมอเตอร์ทำงานเต็มพิกัด (N) และคำนวณหาความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน (n_s) ซึ่ง N วัดได้โดยใช้เครื่องวัดความเร็วรอบ (speedo-meter) และ n_s

จาก
$$n_s = \frac{120f}{P}$$

สลิปหาได้จากสมการ

$$S = \left[\frac{(n_s - N)}{n_s} \right] \times 100$$

นอกจากนี้ยังสามารถหาแรงม้าของมอเตอร์ได้จากสูตรคำนวณ (สมพงษ์, 2538)

$$\text{แรงม้า} = \frac{\text{แรงบิด} \times \text{ความเร็วรอบต่อนาที}}{84,000}$$

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบได้รับการสนับสนุนจาก คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร ซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์ได้นำเสนอไว้ในภาคผนวก

- มอเตอร์ 3 เฟส 1/2 แรงม้า จำนวน 1 ตัว
- มอเตอร์ 3 เฟส 1 แรงม้า จำนวน 1 ตัว
- เครื่องวัดค่ากระแสไฟฟ้า (AC CLAMPMETER , DIGICON DM-661)
- เครื่องวัดค่ากำลังไฟฟ้า (METRIX MX 0095)
- เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (METRIX MX 0098)
- ฐานที่ใช้ประกอบมอเตอร์เข้ากับชุดทดลอง
- ชุดทดลองสร้างแรงบิดให้กับมอเตอร์ (EL WE 10 15 000 , LENZE)

3.2 วิธีการ

3.2.1 แผนการทดลอง

ระยะเวลาในการดำเนินการในครั้งนี้ได้ใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 11 เดือน คือ ตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2547 จนกระทั่งถึงเดือน ตุลาคม 2548 เป็นกรดำเนินการแบบต่อเนื่องจากโครงการวิศวกรรม 1 ไปยังโครงการวิศวกรรม 2 ซึ่งขั้นตอนในการดำเนินงานทั้งหมด ได้ถูกสรุปไว้ในตารางแสดงระยะเวลาในการดำเนินงานดังนี้

ตารางที่ 3.1 การดำเนินโครงการ

ลักษณะงาน	2547		2548										
	พ.ช.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	
1. เสนอโครงการ วิศวกรรม	←→												
2. ศึกษาและรวบรวม ข้อมูล		←→											
3. ส่งแบบร่าง โครงการ				←→									
4. นำเสนอแบบร่าง โครงการ					←→								
5. ดำเนินการทำ โครงการ							←→						
6. สรุปและวิเคราะห์ ผลการทำโครงการ											←→		
7. เขียนรายงานและ นำเสนอโครงการ								←→					
8. แก้ไขโครงการ												←→	
9. ส่งรูปเล่มโครงการ												←→	

3.2.2 การทดสอบ

3.2.2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ

ประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

$$\text{กำลังอินพุต คือ } P_{in} = \sqrt{3}V_L I_L \cos \phi$$

$$P_{out} = \frac{(2\pi T n)}{60}$$

เมื่อกำหนดให้ P_{in} คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับมอเตอร์

P_{out} คือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับโหลด

ดังนั้นประสิทธิภาพของมอเตอร์ (η) คือ

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\%$$

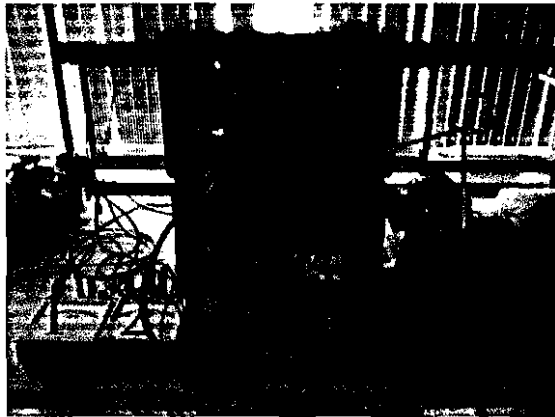
3.2.2.2 การเตรียมการทดสอบ

ในการทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์นั้นจะใช้มอเตอร์ 1 แรงม้าที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน มาทดสอบหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ เพื่อที่จะได้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือจึงใช้มอเตอร์ 2 ขนาดคือขนาด 1/2 แรงม้ากับขนาด 1 แรงม้าจำนวนอย่างละ 1 ตัวโดยไม่ต้องคำนึงถึงรุ่น หรือบริษัท ที่ผลิต เพราะโดยมาตรฐานนั้นมอเตอร์ที่ขนาดแรงม้าเท่ากันนั้นค่าต่างๆ ในทางเทคนิคถือว่าเท่ากัน

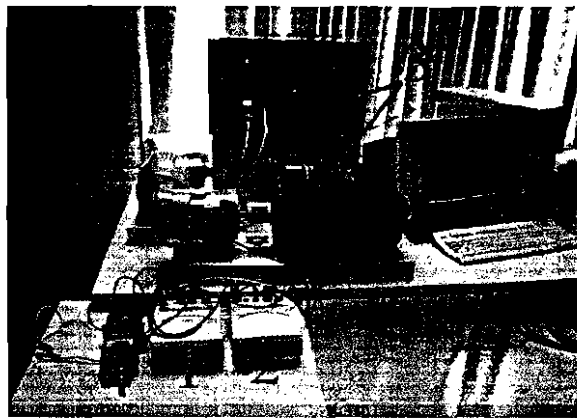
3.3 วิธีการทดสอบ

การทดลองแบ่งเป็น 2 ชุดทดลอง ชุดที่ 1 ทดลองมอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ HP ชุดที่ 2 ทดลองมอเตอร์ขนาด 1 HP ซึ่งทั้ง 2 ชุดทดลองจะทำการทดลองเหมือนกัน คือ

3.3.1 นำมอเตอร์ (5) ที่เตรียมไว้มาติดตั้งเข้ากับชุดทดลองสร้างแรงบิดให้กับมอเตอร์ (3) และเครื่องมือที่ใช้วัดค่าซึ่งประกอบด้วย เครื่องวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ (1) , เครื่องวัดค่ากำลังไฟฟ้า (2) และ เครื่องวัดค่ากระแสไฟฟ้า (4)



ภาพที่ 3.1 แสดงการติดตั้งมอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้ากับชุดทดสอบและเครื่องมือวัดค่าต่างๆ



ภาพที่ 3.2 แสดงการติดตั้งมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้ากับชุดทดสอบและเครื่องมือวัดค่าต่างๆ

3.3.2 เริ่มทำการทดลองโดยปรับภาระหรือโหลดที่ชุดทดลองของมอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ HP ไปที่ 2.1 Nm. และปรับภาระหรือโหลดที่ชุดทดลองของมอเตอร์ขนาด 1 HP ไปที่ 6.5 Nm. และให้ค่าทั้งสองคงที่ตลอดไปจนจบการทดลองที่ 500 ชั่วโมง

3.3.3 ทำการวัดค่าความเร็ว,แรงบิด,กระแสไฟฟ้า,กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับมอเตอร์,เพาเวอร์แฟกเตอร์แล้วทำการจดบันทึกผลทุกๆ 10 ชั่วโมงจนกระทั่งครบ 500 ชั่วโมง

3.3.4 นำค่าต่างๆที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของมอเตอร์

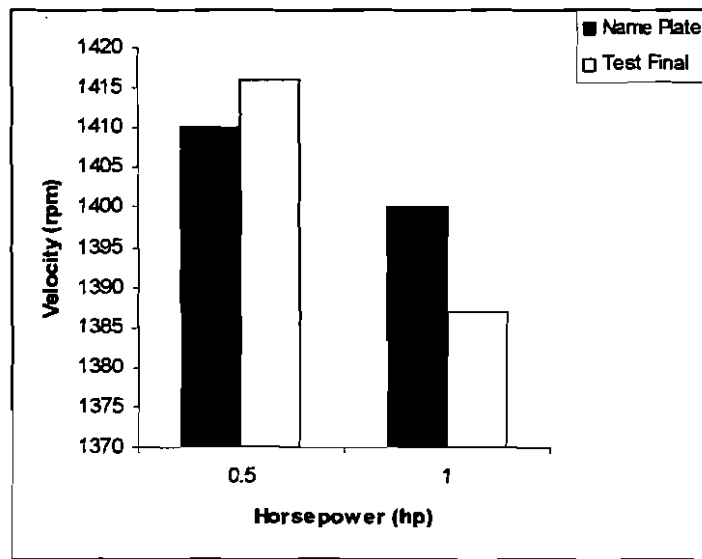
3.4 สถานที่ทำการทดสอบ

คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

บทที่ 4

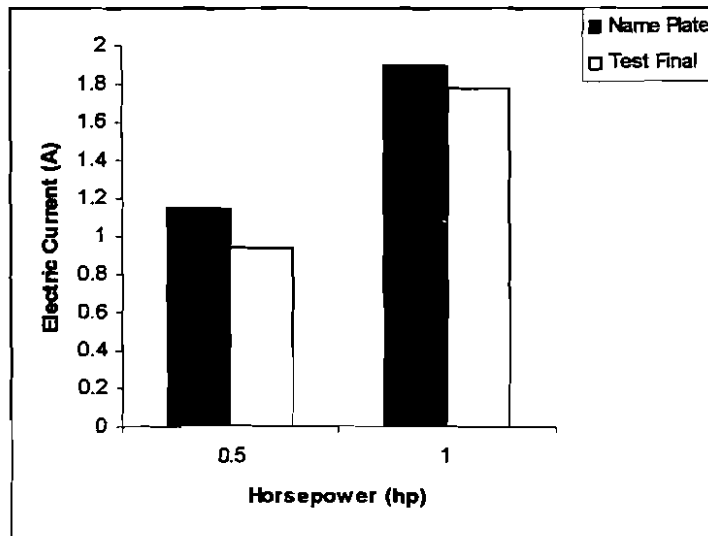
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

จากการทดลองสามารถนำค่าต่างๆมาแสดงในรูปภาพได้ดังนี้



ภาพที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วรอบระหว่าง Name Plate กับ Test Final ของมอเตอร์ขนาด ½ แรงม้าและขนาด 1 แรงม้า

ในการทดลองได้มีกำหนดขนาดภาระโหลดให้กับมอเตอร์ ก็เพื่อที่จะเป็นการป้องกันความเสียหายให้กับมอเตอร์ในกรณีที่ค่ากระแสไฟฟ้าสูงเกินไป จากค่า Name Plate ของมอเตอร์ขนาด ½ แรงม้า มีค่าความเร็วรอบเท่ากับ 1410 rpm. ที่ภาระโหลด 2.5 Nm. แต่ค่า Test Final มีค่าความเร็วรอบเท่ากับ 1416 rpm. ที่ภาระโหลด 2.1 Nm. มีค่าภาระโหลดต่ำกว่าค่าของ Name Plate ซึ่งไม่สามารถกำหนดภาระโหลดได้สูงกว่าค่า Name Plate ก็เพราะค่ากระแสไฟฟ้าจะสูงเกินกว่าที่ค่า Name Plate กำหนดไว้จะทำให้เกิดความเสียหายกับมอเตอร์ได้ ส่วนมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าค่า Name Plate มีค่าความเร็วรอบเท่ากับ 1400 rpm. ที่ภาระโหลด 5 Nm. แต่ค่า Test Final มีค่าความเร็วรอบเท่ากับ 1387 rpm. ที่ภาระโหลด 6.5 Nm. ซึ่งมีค่าภาระโหลดสูงเกินกว่าค่าที่ Name Plate กำหนดไว้แต่มอเตอร์สามารถทำงานได้ตามปกติ และค่ากระแสไฟฟ้าก็ไม่สูงเกินกว่าที่ Name Plate กำหนดไว้ เป็นเช่นนี้แสดงให้เห็นว่ามอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า มีความสามารถในการทำงานจริงเกินกว่าค่าที่ Name Plate กำหนดไว้



ภาพที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าของกระแสไฟฟ้าระหว่าง Name Plate กับ Test Final ของมอเตอร์ขนาด ½ แรงม้าและขนาด 1 แรงม้า

จากค่า Name Plate ของมอเตอร์ขนาด ½ แรงม้า มีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 1.15 A. ที่ภาระโหลด 2.5 Nm. แต่ค่า Test Final มีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.94 A. ที่ภาระโหลด 2.1 Nm. ค่าภาระโหลดที่ใช้มีค่าต่ำกว่าค่าของ Name Plate ซึ่งไม่สามารถกำหนดภาระโหลดได้สูงกว่าค่า Name Plate ก็เพราะจะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงเกินกว่าที่ค่า Name Plate กำหนดไว้จะทำให้เกิดความเสียหายกับมอเตอร์ได้ ส่วนมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าค่า Name Plate มีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 1.9 A. ที่ภาระโหลด 5 Nm. แต่ค่า Test Final มีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 1.78 A. ที่ภาระโหลด 6.5 Nm. ซึ่งค่าภาระโหลดที่ใช้มีค่าสูงเกินกว่าที่ Name Plate กำหนดไว้แต่มอเตอร์สามารถทำงานได้ตามปกติ และค่ากระแสไฟฟ้าก็ไม่สูงเกินกว่าที่ Name Plate กำหนดไว้ เป็นเช่นนี้แสดงให้เห็นว่ามอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า มีความสามารถในการทำงานจริงเกินกว่าค่าที่ Name Plate กำหนดไว้โดยไม่เกิดความเสียหาย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการทดสอบการทำงานของมอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้าซึ่งให้ทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 25°C รับภาระโหลด 2.1 Nm. สามารถวัดค่าประสิทธิภาพเริ่มต้นได้เท่ากับ 0.655 หรือ 65.5 % และหลังจากทดสอบครบ 500 ชั่วโมงแล้วสามารถวัดค่าประสิทธิภาพได้เท่ากับ 0.656 หรือ 65.6 % ซึ่งประสิทธิภาพมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ผลการทดสอบการทำงานของมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งให้ทำงานที่อุณหภูมิประมาณ 25°C รับภาระโหลด 6.5 Nm. สามารถวัดค่าประสิทธิภาพเริ่มต้นได้เท่ากับ 0.997 หรือ 99.7 % และหลังจากทดสอบครบ 500 ชั่วโมงแล้วสามารถวัดค่าประสิทธิภาพได้เท่ากับ 0.968 หรือ 96.8 % ซึ่งประสิทธิภาพมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างเห็น ได้ชัดกว่ามอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้า

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรเพิ่มระยะเวลาในการทดสอบให้มากกว่านี้ เพื่อที่จะสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของมอเตอร์ได้มากกว่านี้

5.2.2 ควรจำลองโหลดให้เหมือนกับการใช้งานจริงมากที่สุด

5.2.3 ควรทดลองภายใต้ตัวแปรที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด เช่น อุณหภูมิ

5.2.4 ควรจะทำการเปิดเครื่องต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

- รัชชชัย อัครวิบูลย์กุล. 2540. ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ. เจริญรุ่งเรืองการพิมพ์, นนทบุรี. 50 น.
- ณรงค์ ชอนตะวัน. 2530. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ. เอราวัณการพิมพ์, กรุงเทพฯ. 4 น.
- ปัญญา ขอดโอวาท. 2547. เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ. ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, กรุงเทพฯ. 199-223 น.
- นภัทร วัฒนเทพินทร์ และ ประเสริฐ ปิ่นปฐมรัฐ. 2544. ทฤษฎีเครื่องกลไฟฟ้า 2. สภาชนูปถัมภ์, ธานี. 119- 135 น.
- ถาวร อมคกิตติ. 2545. การส่งกำลังและการประหยัดพลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ. เอ็มแอนคี่, กรุงเทพฯ. 25 น.
- สมพงษ์ บุญธรรมจินดา. 2538. หลักการทำงานและซ่อมบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้า. ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ. 143 น.
- Chapman, J. 1998. Electric Machinery Fundamentals. 3rd ed., McGraw-Hill series in electrical and computer engineering, Inc., Singapore, 358 p.

ภาคผนวก ก

ตารางผนวกที่ ก.1 แสดงค่าต่างที่วัดได้จากมอเตอร์ 1/2 แรงม้า เมื่อกำหนดให้รับภาระโหลด

2.1 Nm. ที่อุณหภูมิ 25 °C ระยะเวลาการทำงาน 500 hr. โดยจะทำการวัดค่า
ทุกๆ 10 hr.

Time (hr)	Velocity (rpm)	Power out (W)	Electric Current (A)	Voltage (V)	Power in (W)	Power factor	Efficiency
0	1417	311.615	0.93	387.502	475.915	0.76	0.655
10	1418	311.834	0.94	383.378	478.282	0.76	0.652
20	1415	311.175	0.93	370.178	461.115	0.77	0.675
30	1417	311.615	0.94	380.396	469.692	0.76	0.663
40	1419	312.054	0.94	381.351	470.369	0.76	0.663
50	1417	311.615	0.93	382.140	473.467	0.77	0.658
60	1418	311.834	0.94	382.790	484.569	0.78	0.644
70	1419	312.054	0.94	384.919	480.504	0.77	0.649
80	1416	311.395	0.94	380.651	474.668	0.77	0.656
90	1417	311.615	0.93	377.683	470.463	0.77	0.662
100	1416	311.395	0.93	378.248	471.167	0.77	0.661
110	1417	311.615	0.94	382.845	475.740	0.76	0.655
120	1418	311.834	0.93	378.638	470.643	0.77	0.663
130	1417	311.615	0.93	385.753	472.752	0.76	0.659
140	1418	311.834	0.94	385.257	475.694	0.76	0.656
150	1417	311.615	0.94	384.962	475.836	0.76	0.655
160	1416	311.395	0.94	384.400	474.636	0.76	0.656
170	1415	311.175	0.94	375.493	468.236	0.77	0.665
180	1421	312.494	0.93	380.866	461.610	0.75	0.677
190	1418	311.834	0.95	390.632	473.143	0.74	0.659
200	1419	312.054	0.94	383.762	482.642	0.77	0.647
210	1418	311.834	0.94	380.373	472.668	0.76	0.660
220	1418	311.834	0.94	384.004	476.674	0.76	0.654
230	1420	312.274	0.94	381.865	480.256	0.77	0.650
240	1419	312.054	0.94	380.962	472.397	0.76	0.661
250	1415	311.175	0.93	387.884	474.342	0.76	0.656

ตารางผนวกที่ ก.1 (ต่อ)

Time (hr)	Velocity (rpm)	Power out (W)	Electric Current (A)	Voltage (V)	Power in (W)	Power factor	Efficiency
260	1417	311.615	0.93	388.411	475.498	0.76	0.655
270	1419	312.054	0.93	394.512	478.150	0.75	0.653
280	1415	311.175	0.94	385.613	470.871	0.75	0.661
290	1417	311.615	0.94	386.371	477.069	0.76	0.653
300	1418	311.834	0.94	389.124	476.674	0.75	0.654
310	1417	311.615	0.94	378.845	466.779	0.76	0.668
320	1415	311.175	0.93	377.405	461.527	0.76	0.674
330	1416	311.395	0.93	383.243	471.189	0.76	0.661
340	1419	312.054	0.93	377.898	468.211	0.77	0.666
350	1420	312.274	0.94	384.421	476.180	0.76	0.656
360	1415	311.175	0.93	381.464	468.500	0.76	0.664
370	1414	310.955	0.93	382.896	467.739	0.76	0.665
380	1414	310.955	0.94	382.380	470.632	0.76	0.661
390	1415	311.175	0.93	387.012	473.276	0.76	0.657
400	1418	311.834	0.95	381.922	475.095	0.76	0.656
410	1416	311.395	0.94	381.737	478.059	0.77	0.651
420	1417	311.615	0.94	386.887	476.688	0.76	0.654
430	1423	312.934	0.94	386.333	471.750	0.75	0.663
440	1416	311.395	0.94	384.922	476.294	0.76	0.654
450	1416	311.395	0.94	382.508	471.292	0.76	0.661
460	1419	312.054	0.93	379.353	466.407	0.76	0.669
470	1416	311.395	0.94	413.977	476.000	0.71	0.654
480	1418	311.834	0.93	409.208	468.000	0.71	0.666
490	1418	311.834	0.93	423.922	478.000	0.70	0.652
500	1416	311.395	0.94	407.370	475.000	0.72	0.656

ตารางผนวกที่ ก.2 แสดงค่าต่างที่วัดได้จากมอเตอร์ 1 แรงม้า เมื่อกำหนดให้รับภาระโหลด 6.5 Nm. ที่อุณหภูมิ 25 °C ระยะเวลาการทำงาน 500 hr. โดยจะทำการวัดค่าทุกๆ 10 hr.

Time (hr)	Velocity (rpm)	Power out (W)	Electric Current (A)	Voltage (V)	Power in (W)	Power factor	Efficiency
0	1408	964.315	1.78	384.102	961.362	0.81	0.997
10	1389	952.409	1.76	392.023	993.579	0.83	0.959
20	1389	951.672	1.75	388.041	976.793	0.83	0.974
30	1394	951.766	1.75	392.028	975.496	0.82	0.976
40	1393	954.782	1.75	394.543	981.193	0.82	0.973
50	1386	946.303	1.76	386.175	974.317	0.83	0.971
60	1381	940.689	1.77	384.523	978.994	0.83	0.961
70	1391	952.672	1.75	392.083	976.746	0.82	0.975
80	1389	945.462	1.76	391.277	990.000	0.83	0.955
90	1389	945.462	1.76	390.881	989.000	0.83	0.956
100	1389	945.462	1.75	393.512	990.000	0.83	0.955
110	1391	946.824	1.76	393.648	984.000	0.82	0.962
120	1381	940.017	1.77	392.617	987.000	0.82	0.952
130	1389	945.462	1.75	393.512	990.000	0.83	0.955
140	1390	946.143	1.75	402.007	987.000	0.81	0.959
150	1391	946.824	1.76	390.047	975.000	0.82	0.971
160	1381	940.017	1.77	393.015	988.000	0.82	0.951
170	1387	944.101	1.75	392.276	975.000	0.82	0.968
180	1389	945.462	1.76	391.277	990.000	0.83	0.955
190	1386	943.420	1.75	392.276	975.000	0.82	0.968
200	1382	940.698	1.77	393.015	988.000	0.82	0.952
210	1389	945.462	1.75	393.512	990.000	0.83	0.955
220	1390	946.143	1.75	394.307	992.000	0.83	0.954
230	1392	947.504	1.76	390.047	975.000	0.82	0.972
240	1381	940.017	1.77	397.464	987.000	0.81	0.952
250	1389	945.462	1.75	393.512	990.000	0.83	0.955

ตารางผนวกที่ ก.2 (ต่อ)

Time (hr)	Velocity (rpm)	Power out (W)	Electric Current (A)	Voltage (V)	Power in (W)	Power factor	Efficiency
260	1390	946.143	1.75	393.512	990.000	0.83	0.956
270	1389	945.462	1.75	393.512	990.000	0.83	0.955
280	1385	942.740	1.77	382.493	985.000	0.84	0.957
290	1390	946.143	1.77	382.493	985.000	0.84	0.961
300	1389	945.462	1.76	388.905	984.000	0.83	0.961
310	1392	947.504	1.75	395.897	984.000	0.82	0.963
320	1386	943.420	1.76	385.837	988.000	0.84	0.955
330	1386	943.420	1.75	388.828	990.000	0.84	0.953
340	1386	943.420	1.77	387.887	987.000	0.83	0.956
350	1392	947.504	1.74	388.578	972.000	0.83	0.975
360	1391	946.824	1.75	395.897	984.000	0.82	0.962
370	1390	946.143	1.74	394.974	988.000	0.83	0.958
380	1390	946.143	1.76	392.067	992.000	0.83	0.954
390	1395	949.546	1.77	393.811	990.000	0.82	0.959
400	1388	944.782	1.75	392.276	975.000	0.82	0.969
410	1393	948.185	1.77	396.659	985.000	0.81	0.963
420	1390	946.143	1.76	393.648	984.000	0.82	0.962
430	1390	946.143	1.79	388.230	987.000	0.82	0.959
440	1391	946.824	1.75	392.276	975.000	0.82	0.971
450	1391	946.824	1.75	395.897	972.000	0.81	0.974
460	1390	946.143	1.76	399.723	987.000	0.81	0.959
470	1390	946.143	1.75	386.864	985.000	0.84	0.961
480	1389	945.462	1.76	388.905	984.000	0.83	0.961
490	1387	944.101	1.76	397.293	981.000	0.81	0.962
500	1387	944.101	1.78	383.793	975.000	0.82	0.968

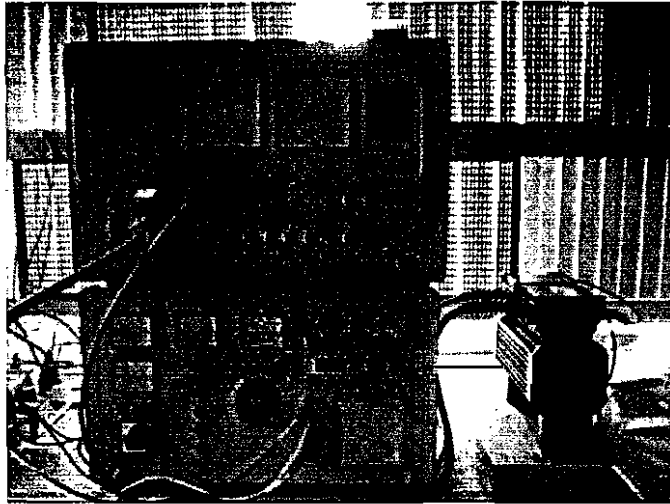
ตารางภาคผนวกที่ ก.3 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆระหว่าง Name Plate กับ Test Final ของ
มอเตอร์ขนาด ½ แรงม้าและขนาด 1 แรงม้า



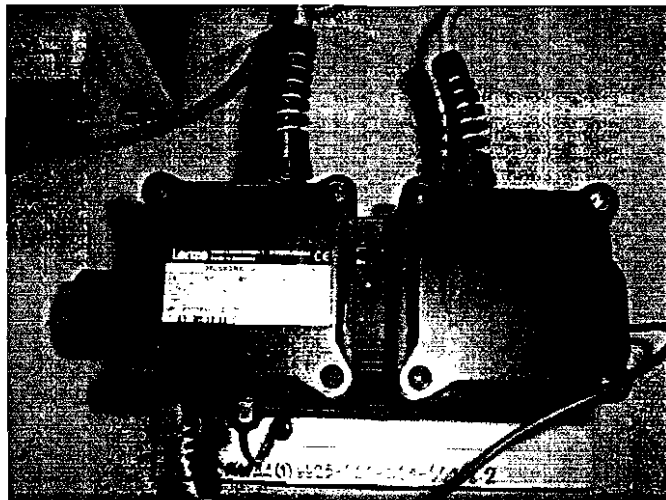
ผลการปฏิบัติงาน

horsepower (hr)		Velocity (rpm)	Electric Current (A)	Voltage (V)
1/2	Name Plate	1410	1.15	380
	Test Final	1416	0.94	407.38
1	Name Plate	1400	1.9	380
	Test Final	1387	1.78	383.793

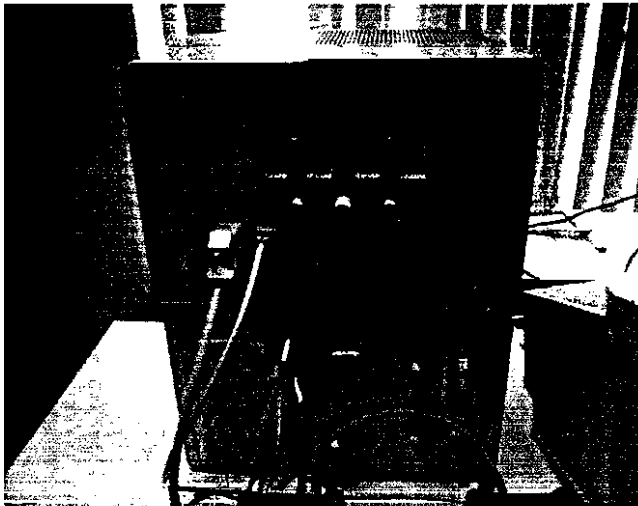
ภาคผนวก ข



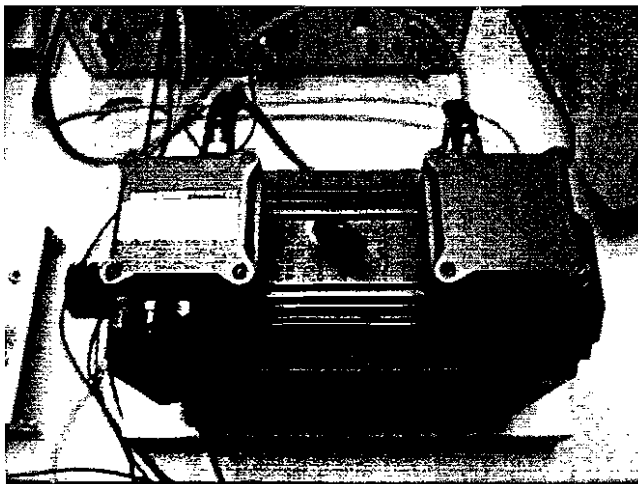
ภาพผนวกที่ ข.1 เครื่องทดสอบมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้า



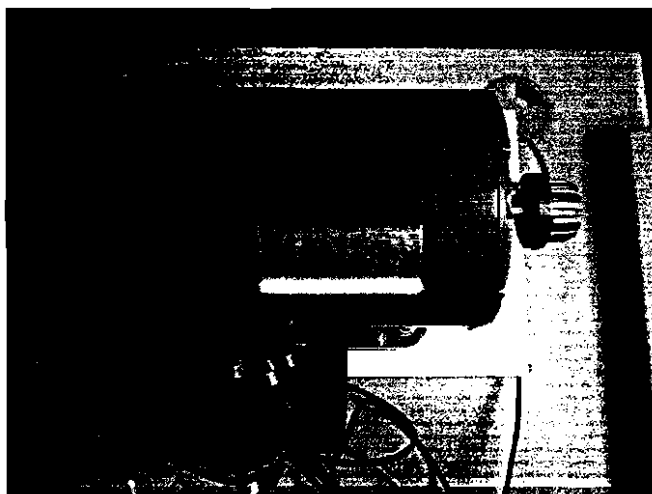
ภาพผนวกที่ ข.2 ตัวสร้างภาระโหลดให้กับมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้า



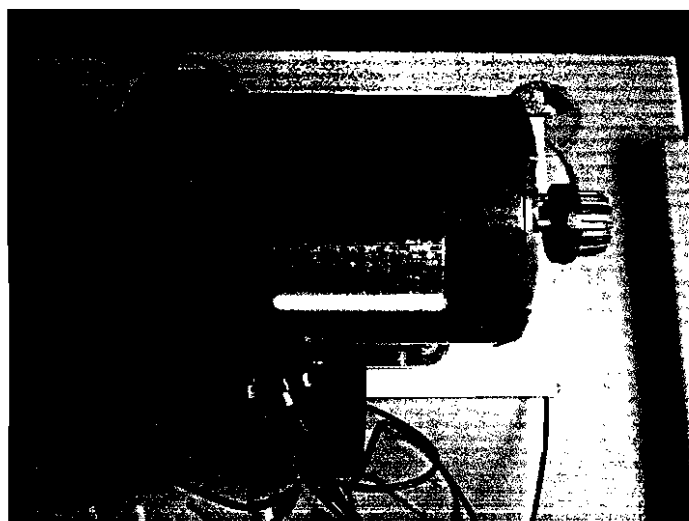
ภาพผนวกที่ ข.3 เครื่องทดสอบมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า



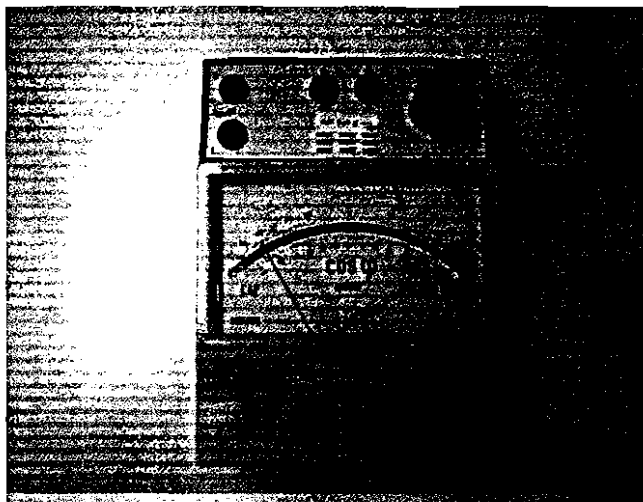
ภาพผนวกที่ ข.4 ตัวสร้างภาระโหลดให้กับมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า



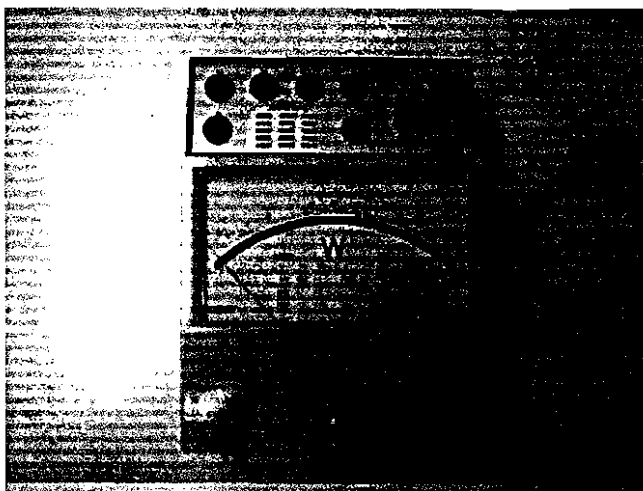
ภาพผนวกที่ ข.5 มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า



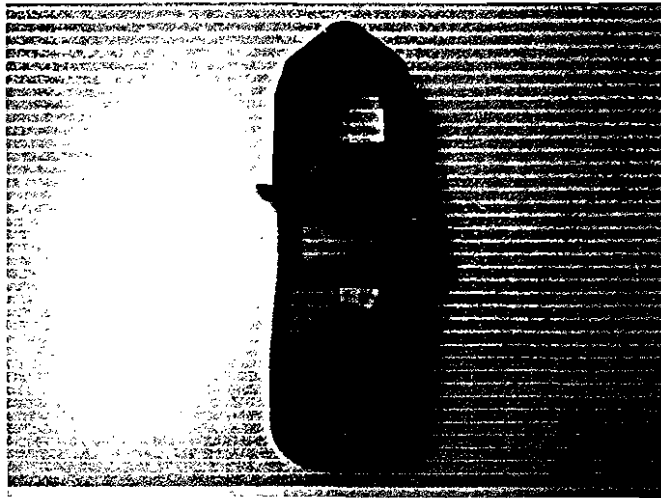
ภาพผนวกที่ ข.6 มอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้า



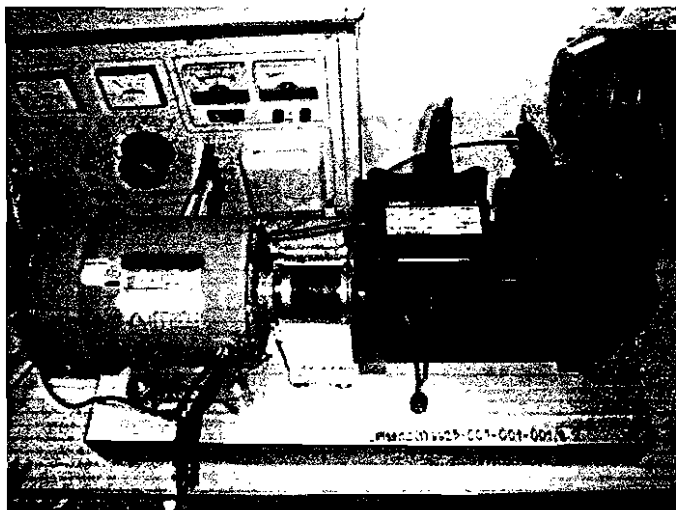
ภาพผนวกที่ ข.7 เครื่องวัดค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ (METRIX MX 0098)



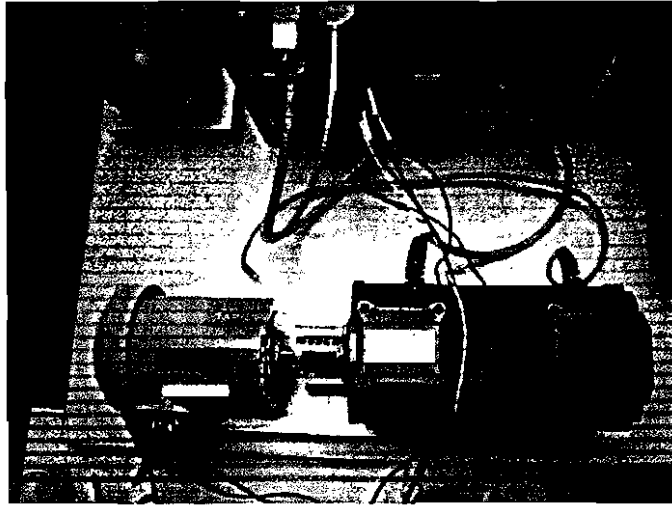
ภาพผนวกที่ ข.8 เครื่องวัดค่ากำลังไฟฟ้า (METRIX MX 0095)



ภาพผนวกที่ ข.9 เครื่องวัดค่ากระแสไฟฟ้า (ACA CLAMP METER ,
DIGICON DM-661)



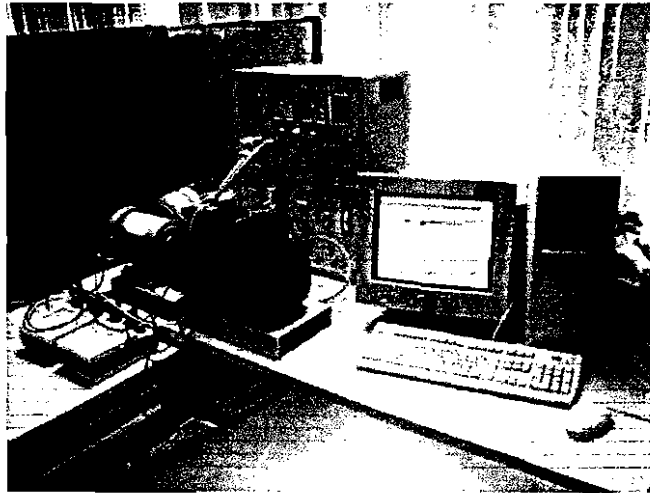
ภาพผนวกที่ ข.10 การติดตั้งมอเตอร์ขนาด 1/2 แรงม้าเข้ากับตัวสร้างภาระโหลด



ภาพผนวกที่ ข.11 การติดตั้งมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าเข้ากับตัวสร้างภาระโหลด



ภาพผนวกที่ ข.12 แสดงการทดสอบมอเตอร์ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้า



ภาพผนวกที่ ข.13 แสดงการทดสอบมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า

ภาคผนวก ค

1. วิธีการคำนวณ

1) ตัวอย่างการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ขนาด ½ แรงม้า

ที่ชั่วโมงการทำงาน 250 hr. ความเร็วรอบ 1415 rpm. ภาระโหลด 2.1 Nm. แรงดันไฟฟ้า 387.884 V. กระแสไฟฟ้า 0.93 A. $\cos\theta$ เท่ากับ 0.76

จากสูตร
$$P_{out} = \frac{(2\pi Tn)}{60}$$

$$P_{out} = \frac{(2\pi(2.1)(1415))}{60}$$

$$= 311.175 \text{ V.}$$

จากสูตร
$$P_{in} = \sqrt{3}V_L I_L \cos\phi$$

$$P_{in} = \sqrt{3}(387.884)(0.93)(0.76)$$

$$= 474.342 \text{ V.}$$

จากสูตร ประสิทธิภาพ
$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\%$$

$$\text{ประสิทธิภาพ } \eta = \frac{311.175}{474.342} \times 100\%$$

$$= 0.656 \times 100\%$$

$$= 65.6 \%$$



ตัวอย่างการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า
393.512 V: ประสิทธิภาพ 1.75 A. $\cos\theta$ เท่ากับ 0.83
393.512 V: ประสิทธิภาพ 1.75 A. $\cos\theta$ เท่ากับ 0.83

จากสูตร $P_{out} = \frac{(2\pi Tn)}{60}$

$$P_{out} = \frac{(2\pi(6.5)(1389))}{60}$$
$$= 945.462 \text{ V.}$$

จากสูตร $P_{in} = \sqrt{3}V_L I_L \cos\phi$

$$P_{in} = \sqrt{3}(393.512)(1.75)(0.83)$$
$$= 990 \text{ V.}$$

จากสูตร ประสิทธิภาพ $\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \times 100\%$

$$\text{ประสิทธิภาพ } \eta = \frac{945.462}{990} \times 100\%$$
$$= 0.955 \times 100\%$$
$$= 95.5 \%$$