

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับอุตสาหกรรมที่เหมาะสม OPTIMAL INDUCTION MOTOR SELECTION FOR INDUSTRY



โดย
นาย เชิงชาย ลิ่มทอง
นาย เดชอุดม ประภาสสันติกุล
นาย ตะวัน หลวงยี่

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62571
วัน,เดือน,ปี 19 ส.ค. 2549

b. 1162629x
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2548

การเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับอุตสาหกรรมที่เหมาะสม
OPTIMAL INDUCTION MOTOR SELECTION FOR INDUSTRY



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับอุตสาหกรรมที่เหมาะสม

ผู้จัดทำ



1. นาย เชิงชาย ลิ่มทอง
2. นาย เดชอุดม ประภาสสันติกุล
3. นาย ตะวัน หลวงยี่

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยวุฒิ จิตรอุทัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับอุตสาหกรรมที่เหมาะสม

นาย เชิงชาย ลี้มทอง

นาย เดชอุดม ประภาสสันติกุล

นาย ตะวัน หลวงยี่

รศ.ดร. ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อนำไปเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับอุตสาหกรรมที่เหมาะสม โดยทั่วไปแล้วการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์หาได้โดยคำนวณจากป้ายพิกัด และวิธีคำนวณจากสลิป ซึ่งวิธีดังกล่าวมีความแม่นยำน้อย อีกวิธีหนึ่งหาได้โดยใช้วิธีทดสอบไ้ภาระ และยึดโรเตอร์ทำให้ได้พารามิเตอร์ของวงจรสมมูล จากวงจรสมมูลนำไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ ซึ่งวิธีนี้เป็นการยุ่งยากในกรณีที่มอเตอร์ใช้งานอยู่ และถ้าจะทำการเปลี่ยนมอเตอร์ตัวที่จะใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยนำมอเตอร์ตัวใหม่เข้ามาแทนที่ จะคุ้มทุนในระยะเวลาเท่าใด ดังนั้น ปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริงโดยใช้จันติกอัลกอริทึมซึ่งวิธีนี้ไม่ต้องหยุดโรเตอร์ไปทดสอบด้วยภาระ และยึดโรเตอร์ โดยวิธีการนี้ ข้อมูลอินพุตโดยการทดสอบมอเตอร์ 3 แรงม้า จากนั้นทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์โดยวิธีต่างๆ และวิธีจันติกอัลกอริทึมนี้จะมีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 5% จากการทดสอบภาระ และสำหรับการเปลี่ยนมอเตอร์นั้นได้ใช้จันติกอัลกอริทึมเข้ามาช่วยเพื่อที่จะหาค่าประสิทธิภาพได้ทุกภาระและสร้างโปรแกรมที่ช่วยในการตัดสินใจในการเลือกและเปลี่ยนมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OPTIMAL INDUCTION MOTOR SELECTION FOR INDUSTRY

Choengchai Limthong

Dedaudom Praphasantikun

Tawan Laungyee

Assoc.Prof.Dr.Chaiwut Chat-uthai Advisor

2005

Abstract

This thesis is a study of optimal induction motor selection for industry. Normally, the efficiency of motor can be defined both nameplate method and slip method, which are low accuracy. Furthermore, another method is called standard IEEE method (no-load test and blocked rotor test). This method gives the parameter of equivalent circuit that can be calculated the efficiency. And if you change the present motor by the new one, how long will you achieve break even point. Therefore, thesis introduce the efficiency measurement method, while the motor is in process. This method is based on "the genetic algorithm" which can be used without no-load test and blocked-rotor test. The results of 1 hp three-phase induction motor are presented. The comparison and analysis of different method are also illustrated. The result show that the genetic algorithm provides the good accuracy rated (less than 5%). And in changing motor, we use genetic algorithm to help in finding efficiency for any load and to build program to assist in decision making in order to choose and change the induction motor.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและความร่วมมือจากหลายฝ่าย บุคคลแรกที่จะต้องกล่าวถึงคือ เพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ รศ.ดร.ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำ และให้ความช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ นั่นคือบิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้าน อันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายเชิงชาย ลี้มทอง
นายเดชอุดม ประภาสสันติกุล
นายตะวัน หลวงยี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	VI
สารบัญสัญลักษณ์	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.2 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.3 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานมอเตอร์เหนี่ยวนำ	3
2.1 ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed)	3
2.2 สนามแม่เหล็กหมุน (Rotating field)	4
2.3 โครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	5
2.4 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	5
2.5 กำลังและแรงบิด	6
2.6 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส	8
บทที่ 3 วิธีการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	10
3.1 กระบวนการพื้นฐานสำหรับการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ	10
3.1.1. Nameplate Method	10
3.1.2 Slip Method	11
3.1.3 Current Method	12
3.1.4. Shaft Torque Method	12
3.2 การหาค่าประสิทธิภาพโดยใช้โปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง	13
3.3 การทดสอบด้วยมาตรฐาน IEEE 112	13
3.3.1 Method B การแยกค่าสูญเสียต่าง ๆ ออกจากกัน	13
3.3.2 Method F วงจรสมมูล	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	14
4.1 การทดสอบในขณะที่ไม่มีโหลด (No Load Test)	14
4.2 การทดสอบ Block Rotor Test	18
4.3 การทดสอบภาระของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (load test) แบบโหลดไฟฟ้า	21
4.4 การทดสอบตามมาตรฐาน IEEE 112 Method B	26
บทที่ 5 การหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	37
5.1 วิธีการหาค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานจริง (Field Test)	37
5.2 วิธีการหาค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก	40
5.3 ผลการทดสอบ	43
บทที่ 6 โปรแกรมการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับงานอุตสาหกรรม	46
6.1 หลักการทำงานของโปรแกรม	46
6.2 การใช้งานของโปรแกรม	47
6.3 ผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม	54
6.4 สรุป	56
บทที่ 7 บทสรุป	57
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
รูปที่ 2.1	ลักษณะของโรเตอร์แบบกรงกระรอก	5
รูปที่ 2.2	วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบประมาณ	8
รูปที่ 3.1	ประสิทธิภาพเทียบกับ load curves ของมอเตอร์ MITSUBISHI	10
รูปที่ 3.2	ตำแหน่งการต่อ Torque Detector	12
รูปที่ 4.1	การต่อวงจรสำหรับ VI method	18
รูปที่ 4.2	วงสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่แสดงค่าพารามิเตอร์	20
รูปที่ 4.3	การต่อวงจรสำหรับทดสอบ Load test	22
รูปที่ 4.4	การต่อวงจรสำหรับการทดสอบ No-Load	28
รูปที่ 4.5	การต่อวงจรสำหรับการทดสอบ Under-Load	28
รูปที่ 4.6	กราฟเปรียบเทียบการหาประสิทธิภาพด้วยวิธีต่างๆ	36
รูปที่ 5.1	วงจรสมมูลที่ใช้ในโปรแกรม Field Test	37
รูปที่ 5.2	ขั้นตอนการทำงานของ Field test	39
รูปที่ 5.3	รูปวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	40
รูปที่ 5.4	วงจรสมมูลที่ได้จากโปรแกรมของมอเตอร์ขนาด 2200 W MITSUBISHI	43
รูปที่ 5.5	วงจรสมมูลที่ได้จากโปรแกรมของมอเตอร์ขนาด 2200 W TECO	43
รูปที่ 5.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์	45
รูปที่ 5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าประสิทธิภาพที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์	45
รูปที่ 6.1	ส่วนประกอบหลักของโปรแกรม	47
รูปที่ 6.2	หน้าหลักของ Field Test	48
รูปที่ 6.3	หน้าเปรียบเทียบการใช้พลังงาน	49
รูปที่ 6.4	หน้าเปรียบเทียบมอเตอร์ทั้ง 2 ยี่ห้อ	50
รูปที่ 6.5	หน้าหลักของ Non Field test	51
รูปที่ 6.6	หน้าต่างแสดงผล	52
รูปที่ 6.7	เปรียบเทียบโดยวิธี Non Field test ของมอเตอร์ทั้ง 2 ยี่ห้อ	53
รูปที่ 7.1	การเปรียบเทียบการวัดแรงบิดของมอเตอร์ 3 hp, 380 V, 50 Hz	58
รูปที่ 7.2	การเปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีต่างๆของมอเตอร์	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 3.1	ผลของค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลบน nameplate ตามมาตรฐานต่าง ๆ ของมอเตอร์ขนาด 100 hp	11
ตารางที่ 4.1	ผลการทดสอบ No load test	17
ตารางที่ 4.2	การทดสอบ Block rotes test	19
ตารางที่ 4.3	การทดสอบ VI method	19
ตารางที่ 4.4	การทดสอบ Load test ครั้งที่ 1	23
ตารางที่ 4.5	การทดสอบ Load test ครั้งที่ 2	24
ตารางที่ 4.6	ผลการทดสอบโดย Current Method	25
ตารางที่ 4.7	ผลการทดสอบ Slip Method , Full Load Slip = 0.053	25
ตารางที่ 4.8	การทดสอบ Method B No-Load test	29
ตารางที่ 4.9	การทดสอบ Method B No-load ลดแรงดัน	30
ตารางที่ 4.10	การทดสอบ Method B Rated Load Temperature Test	31
ตารางที่ 4.11	การทดสอบ Method B Under Load Test	32
ตารางที่ 4.12	การหาประสิทธิภาพตามมาตรฐาน IEEE 112 Method B	33
ตารางที่ 4.13	การหาประสิทธิภาพตามมาตรฐาน IEC	34
ตารางที่ 4.14	การเปรียบเทียบวิธีการหาประสิทธิภาพ	35
ตารางที่ 5.1	ผลการรันโปรแกรมการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อกโดยทำการทดสอบมอเตอร์ขนาด 2200 W MITSUBISHI	44
ตารางที่ 5.2	ผลการรันโปรแกรมการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อกโดยทำการทดสอบมอเตอร์ขนาด 2200 W TECO	44
ตารางที่ 6.1	ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโปรแกรม Replacement แบบ Field Test	54
ตารางที่ 6.2	ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโปรแกรม Replacement แบบ Non Field Test	55
ตารางที่ 7.1	ข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในแคทาล็อกของบริษัทผู้ผลิต	58

สารบัญสัญลักษณ์

n	=	ความเร็วแม่เหล็กหมุน
n_r	=	ความเร็วของโรเตอร์
s	=	ผลต่างของความเร็วเชิงโคโรนัสกับความเร็วโรเตอร์ในรูปร้อยละ
f	=	ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ
P	=	จำนวนขั้วแม่เหล็ก
P	=	กำลังไฟฟ้าจริง
V_1	=	ค่าแรงดันต่อเฟสที่จ่ายให้กับมอเตอร์
I_1	=	ค่ากระแสต่อเฟสที่จ่ายให้กับมอเตอร์
I_2	=	ค่ากระแสต่อเฟสของโรเตอร์
ω_s	=	ค่าความเร็วรอบของสนามแม่เหล็กหมุนเมื่อคิดเป็น องศาเรเดียนต่อวินาที
ω_r	=	ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์เมื่อคิดเป็น องศาเรเดียนต่อวินาที
R_1	=	ความต้านทานของสเตเตอร์
X_1	=	ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของสเตเตอร์
X_2	=	ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของโรเตอร์
X_m	=	ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำกระตุ้นแม่เหล็ก
R_2	=	ค่าความต้านทานของโรเตอร์
R_r	=	ค่าความต้านทานกระตุ้นแม่เหล็ก
P_m	=	กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายให้กับมอเตอร์
P_{cu}	=	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก
$P_{cu,1}$	=	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดสเตเตอร์
$P_{cu,2}$	=	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดหรือแท่งตัวนำของโรเตอร์
P_r	=	กำลังไฟฟ้าสูญเสียอันเนื่องมาจากความฝืดของแบร์ริง
P_s	=	กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายให้กับโรเตอร์
P_r	=	กำลังที่ออกจากโรเตอร์
T_s	=	แรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า
P_o	=	กำลังที่ออกจากมอเตอร์
V_{phase}	=	แรงบิดมอเตอร์
NEMA	=	National Electrical Manufacturers Association
IEEE	=	Institute of Electrical and Electronics Engineering
JEC	=	Japanese Electrotechnical Committee
IEC	=	International Electrotechnical Commission
hp	=	ปริมาณแรงม้าของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญสัญลักษณ์ (ต่อ)

%eff	=	ค่าประสิทธิภาพ
I_{sc}	=	ค่ากระแสเมื่อมอเตอร์ทำการชั้บภาระที่พิกัด
I_m	=	ค่ากระแสขณะมอเตอร์ทำงานโดยไม่มีภาระต่อภาระ
OPT	=	การทำการวัดค่ากระแส, แรงดัน, กำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ค่าภาระค่าหนึ่ง
TPT	=	การทำการวัดค่ากระแส, แรงดัน, กำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ค่าภาระสองค่า
R_{str}	=	ค่า stray load loss ที่พิจารณาในรูปของตัวต้านทาน
V_{line}	=	ค่าแรงดันเมื่อวัดแรงดัน line to line
V_{ph-n}	=	ค่าแรงดันเมื่อวัดแรงดัน line to neutral
MITSU	=	MITSUBISHI
TEC	=	TECO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

โครงการนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริงโดยวิธี Current method , Slip method และศึกษาถึงแนวทางในการนำวิธีจันดิอัลกอริทึมเข้ามาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลทั้ง 2 แบบ คือ วงจรสมมูลแบบประมาณและวงจรสมมูลแบบสมบูรณ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ซึ่งจะช่วยลดขั้นตอนการทดสอบที่ยุ่งยากและซับซ้อนและง่ายต่อการวิเคราะห์ หาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องนำโหลดที่ต่ออยู่กับมอเตอร์เหนี่ยวนำออกขณะทดสอบ ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ค่ากระแสอินพุท, แรงดันอินพุท ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า และความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำเพียงสามจุดที่ได้จากการทำงานก็จะสามารถหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลได้ ซึ่งจะสามารถนำไปพิจารณาคุณลักษณะของมอเตอร์ต่อไป

ผลจากการศึกษาจะนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบภาระมอเตอร์เหนี่ยวนำ(load test) ในแบบโหลดทางไฟฟ้า และผลที่ได้จากวงจรสมมูลแบบประมาณ

การประเมินค่าประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำในขณะใช้งานจริงนั้น จำเป็นต้องใช้เทคนิคที่สามารถปรับให้เข้ากับสภาวะใช้งานจริง เพื่อให้ได้ผลของการประเมินค่าประสิทธิภาพให้ใกล้เคียงค่าจริงมากที่สุด

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ให้นักศึกษามีความเข้าใจในหลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสและการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสและสามารถนำทฤษฎีที่ศึกษามาใช้ได้
2. ให้นักศึกษามีความเข้าใจและทำการทดสอบภาระมอเตอร์ (load test) ทั้งแบบโหลดทางไฟฟ้า โหลดทางกล และการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลแบบประมาณ, วงจรสมมูลแบบสมบูรณ์ ตามมาตรฐาน IEEE standard 112-2004[1]
3. เพื่อเป็นการนำเสนอแนวความคิด และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวิธีจันดิอัลกอริทึมเข้ามาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง
4. เพื่อศึกษาโปรแกรมในการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำ
5. เพื่อให้นักศึกษาสามารถนำทฤษฎีมาประยุกต์ใช้งานและมีความสามารถในการทำงานเป็นกลุ่มและนำเสนอผลงานได้

1.2 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริงโดยวิธี nameplate method, current method และ slip method
2. ศึกษาวิธีการหาวงจรมูล โดยวิธี no load, block rotor และ load test
3. ศึกษาวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE standard 112-1996 [1]
4. ศึกษาโปรแกรมการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริง (Field test)
5. ศึกษาแนวทางและนำวิธีจันติกัลลอรี่เข้ามาช่วยในการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรมูลแบบประมาณและวงจรมูลแบบสมบูรณ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง
6. สร้างโปรแกรมการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับงานอุตสาหกรรม
7. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีการต่างๆ

1.3 วิธีการดำเนินงาน

รายงานฉบับนี้ดำเนินการวิจัยโดยมีการกำหนดขั้นตอนรายละเอียดต่าง ๆ เป็นลำดับดังต่อไปนี้

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำและการวิเคราะห์วงจรมูลแบบสมบูรณ์ และแบบประมาณ

บทที่ 3 จะกล่าวถึงวิธีการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดย nameplate method, slip method, current method และ shaft torque method จากนั้นจะศึกษาโปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง (field test) ศึกษาการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE 112 method B กับ method F

บทที่ 4 เป็นการกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากการทดสอบหาประสิทธิภาพด้วยวิธีต่างๆ ที่ได้ศึกษามาและเปรียบเทียบผลของการทดลองดังกล่าว

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในปัจจุบัน โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (three phase induction motor) เนื่องจากมีความเร็วค่อนข้างคงที่สะดวกในการบำรุงรักษาแข็งแรง ทนทาน โครงสร้างไม่ซับซ้อน และสามารถขับโหลดทางกลได้มาก แต่ค่าตัวประกอบกำลังจะต่ำ และมีความสูญเสีย ถ้าเป็นโรงงานขนาดใหญ่ ที่มีมอเตอร์เหนี่ยวนำจำนวนมาก จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อที่จะทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง เพื่อไม่ให้มีค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (reactive power) มากเกินไป ทำให้มีค่าใช้จ่ายในเรื่องค่าไฟฟ้าสูง

2.1 ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous speed)

ความเร็วซิงโครนัส หมายถึง ความเร็วสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส หรือมอเตอร์ซิงโครนัส

ความเร็วซิงโครนัส (n_s) หาได้จากสมการ

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

n_s = ความเร็วซิงโครนัส (rpm)

f = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส (Hz)

P = จำนวนขั้วของมอเตอร์

ความเร็วโรเตอร์ (n_r) สามารถวัดได้ที่เพลลาของมอเตอร์ โดยความเร็วโรเตอร์ (n_r) จะมีความเร็วต่ำกว่า n_s เสมอ เพราะถ้า $n_r = n_s$ จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำ ทำให้มอเตอร์ไม่หมุน ผลต่างความเร็วซิงโครนัสกับความเร็วโรเตอร์เรียกว่า สลิป (slip)

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (2.2)$$

เมื่อ s เป็นค่าสลิปของมอเตอร์เหนี่ยวนำไม่มีหน่วย จึงสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง n_s และ n_r ซึ่งแสดงอยู่ในรูปสมการ

$$n_r = (1 - s)n_s \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่เริ่มหมุนค่าสลิปจะเท่ากับ 1 และขณะที่ไม่มีภาระทางกลค่าสลิปจะมีค่าน้อยมาก (เข้าใกล้ศูนย์) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่าสลิปของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าเป็นบวกและอยู่ระหว่างค่า 0 ถึง 1 และค่าสลิปจะไม่มีค่าเป็นศูนย์

2.2 สนามแม่เหล็กหมุน (Rotating field)

ขดลวดอาร์มาเจอร์ที่สเตเตอร์จะประกอบด้วยขดลวดตัวนำ 3 ชุด คือ ชุด a, -a ชุด b, -b ชุด c, -c วางอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน โดยขดลวดตัวนำ a, b และ c จะวางห่างกันเป็นมุม 120° และขดลวดตัวนำ -a, -b และ -c จะวางห่างกันเป็นมุม 120° โดยขดลวด a, b และ c จะสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นมา ซึ่งขึ้นกับลักษณะของสัญญาณกระแสไฟฟ้าในแต่ละขดลวดดังนี้

$$i_a = I_m \cos \omega t \quad (2.4)$$

$$i_b = I_m \cos(\omega t - 120^\circ) \quad (2.5)$$

$$i_c = I_m \cos(\omega t - 240^\circ) \quad (2.6)$$

เมื่อ i_a , i_b และ i_c เป็นค่ากระแสไฟฟ้าในขดลวด a, b และ c ตามลำดับ

แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากการป้อนกระแส I_a เข้าที่ขดลวดเฟส a

$$F_a(\theta, t) = F_{\max} \cos(\theta) \cos(\omega t)$$

$$F_a(\theta, t) = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) + \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta + \omega t) \quad (2.7)$$

แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากการป้อนกระแส I_b เข้าที่ขดลวดเฟส b

$$F_b(\theta, t) = F_{\max} \cos(\theta - 120^\circ) \cos(\omega t - 120^\circ)$$

$$F_b(\theta, t) = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) + \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta + \omega t - 240^\circ) \quad (2.8)$$

แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดจากการป้อนกระแส I_c เข้าที่ขดลวดเฟส c

$$F_c(\theta, t) = F_{\max} \cos(\theta - 240^\circ) \cos(\omega t - 240^\circ)$$

$$F_c(\theta, t) = \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) + \frac{1}{2} F_{\max} \cos(\theta + \omega t - 120^\circ) \quad (2.9)$$

แรงเคลื่อนของสนามแม่เหล็กพัทธ์ที่เกิดจากการป้อนกระแสเข้าขดลวดทั้งสามเฟส

$$F_r(\theta, t) = F_a(\theta, t) + F_b(\theta, t) + F_c(\theta, t)$$

$$F_r(\theta, t) = \frac{3}{2} F_{\max} \cos(\theta - \omega t) \quad (2.10)$$

เมื่อ $F_r(\theta, t)$ = ค่าของแรงเคลื่อนสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating mmf wave) ที่มุม θ และเวลา t ใด ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

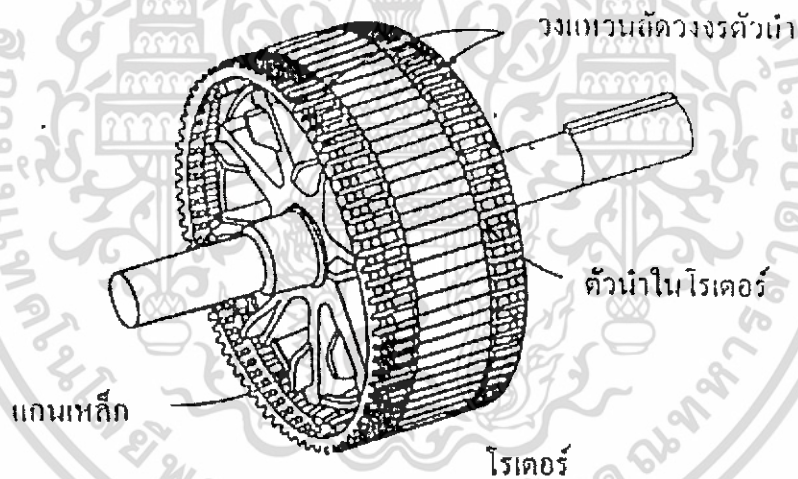
มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมีส่วนประกอบเบื้องต้นคือ ประกอบด้วยส่วนที่อยู่กับที่ ส่วนที่หมุนและฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ ที่ทำหน้าที่ยึดเฟลา

1. สเตเตอร์ (stator) เป็นที่อยู่กับที่ ซึ่งมีโครงสร้างที่ทำมาจากแผ่นเหล็กบางอัดซ้อนกัน แล้วอัดเป็นแท่งรูปทรงกระบอก เพื่อทำหน้าที่เป็นสล๊อต 3 เฟส

2. โรเตอร์ (rotor) เป็นส่วนที่หมุนแบ่งได้ตามโครงสร้างได้ 2 ชนิด

- โรเตอร์แบบกรงกระรอก (squirrel – cage rotor) แกนโรเตอร์ทำด้วยเหล็กแผ่นลามิเนต (laminated sheet steel) เชาะผิวด้านนอกให้เป็นร่องเรียกว่าสล๊อต ตรงกลางแผ่นเจาะรูสำหรับสอดเฟลา ผึงแท่งตัวนำตลอดความยาวของโรเตอร์ ที่ปลายแต่ละด้านของแท่งตัวนำจะถูกลัดวงจรด้วยทองแดงรูปวงแหวน สำหรับมอเตอร์ขนาดเล็ก และขนาดกลาง จะใช้แท่งตัวนำอลูมิเนียม

- โรเตอร์แบบพันขดลวดหรือแบบวาล์วโรเตอร์ (wound rotor) เป็นโรเตอร์ที่มีร่องสล๊อตบนแผ่นลามิเนต ใช้สำหรับวางขดลวดอาบนำยามี 3 เฟส ซึ่งขดลวดทั้ง 3 เฟสจะต่อแบบ Y และปลายทั้ง 3 จะต่อกันเพื่อรับแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส โดยผ่านทางสล๊อบริง



รูปที่ 2.1 ลักษณะของโรเตอร์แบบกรงกระรอก

2.4 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เมื่อขดลวดอาร์มาเจอร์สามเฟสได้รับค่ากระแสไฟฟ้าสามเฟสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กลัพธ์ F , ขึ้นมา ซึ่งจะมีลักษณะเคลื่อนที่หมุนไปรอบ ๆ ช่องอากาศด้วยความเร็วซิงโครนัส n , โดยความเร็วนี้จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า และจำนวนขั้วแม่เหล็กของเครื่องจักรไฟฟ้า ซึ่งสามารถกำหนดทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนนี้ได้โดยการสลับลำดับเฟสของสัญญาณกระแสไฟฟ้าสามเฟสคู่ใดคู่หนึ่ง แท่งตัวนำต่าง ๆ ที่วางอยู่บนโรเตอร์จะเกิดสภาพของการลัดกับสนามแม่เหล็กหมุนนี้โดยจะต้องพิจารณาแนวการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัดสนามแม่เหล็กของแท่งตัวนำในลักษณะแนวเคลื่อนที่สัมพัทธ์ แท่งตัวนำจะเกิดการเหนี่ยวนำแรงดันขึ้นมาซึ่งทำให้เกิดค่ากระแสเหนี่ยวนำในแท่งตัวนำในทิศทางพุ่งเข้าเนื่องจากแท่งตัวนำมีการเชื่อมต่อถึงกันทางไฟฟ้า ค่ากระแสเหนี่ยวนำนี้จะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น ค่ากระแสเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดแรงทางกลกระทำกับแท่งตัวนำต่าง ๆ ในทิศทางที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปในแนวเดียวกันกับสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วโรเตอร์ n_r จะเห็นได้ว่าความเร็วโรเตอร์จะไม่สามารถมีขนาดเท่ากับความเร็วซิงโครนัสทั้งนี้เนื่องจากถ้าความเร็ว $n_r = n_s$ แท่งตัวนำจะมีสภาพหยุดนิ่งอยู่กับที่เมื่อเทียบกับสนามแม่เหล็กหมุนจะทำให้ไม่เกิดแรงดันเหนี่ยวนำเพราะไม่มีการตัดกับสนามแม่เหล็ก และไม่สามารถเกิดแรงทางกลกระทำกับแท่งตัวนำ ดังนั้นจากหลักพื้นฐานดังกล่าวเครื่องจักรไฟฟ้านี้จึงเรียกชื่อว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำ

พิจารณาการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะเริ่มหมุน (โรเตอร์เหนี่ยวนำอยู่กับที่ กำลังจะหมุน $n_r = 0$) แท่งตัวนำจะตัดกับสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส n_s และเมื่อโรเตอร์เกิดการหมุนด้วยความเร็ว n_r แท่งตัวนำจะตัดกับสนามแม่เหล็กด้วยความเร็ว $n_s - n_r$ จะเห็นได้ว่าในขณะที่เริ่มหมุนโรเตอร์จะเกิดการเหนี่ยวนำมากที่สุด และต่อจากนั้นการเหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับความเร็วโรเตอร์ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าภาระทางกล การเพิ่มขึ้นของกระแสเหนี่ยวนำในลักษณะนี้เป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำมีความต้องการกำลังไฟฟ้า (กระแสไฟฟ้า) ที่เพิ่มขึ้นจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอกตามความต้องการของภาระทางกลที่เปลี่ยนแปลงไป

2.5 กำลังและแรงบิด

กำลังงาน input คือ พลังงานไฟฟ้า input (P_m) ที่มอเตอร์ได้รับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสผ่านขดลวดสเตเตอร์ จะทำให้เกิดความสูญเสียในส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. การสูญเสียที่สเตเตอร์ ประกอบด้วย การสูญเสียในแกนเหล็ก (core loss (P_{core})) ซึ่งหมายถึง eddy current และ hysteresis ที่แกนเหล็กสเตเตอร์และเกิดการสูญเสียที่ขดลวดสเตเตอร์ (stator copper loss ($P_{cu,1}$))
2. การสูญเสียที่โรเตอร์ จะเกิดการสูญเสียที่ขดลวดมอเตอร์ (rotor copper loss ($P_{cu,2}$))
3. การสูญเสียทางกล เป็นการสูญเสียจากการเสียดและแรงต้านจากลม (friction & windage loss (P_r))

กำลัง input ของโรเตอร์ จะเกิดจากผลต่างระหว่างกำลัง input กับ การสูญเสียที่สเตเตอร์

($P_{cu,1}$) หรือผลรวมของกำลัง output ของโรเตอร์ กับ โรเตอร์ copper loss

กำลัง output ของโรเตอร์ จะเกิดจากผลรวมของกำลังของ output กับการสูญเสียทางกลหรือผลต่างของโรเตอร์ copper กับ $P_{cu,2}$

ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ (Input power – Electrical Power)

$$P_m = 3V_1 I_1 \cos \theta \quad (2.11)$$

ค่าสูญเสียจากขดลวดทองแดงที่สเตเตอร์ (Stator Copper Loss)

$$P_{cu,1} = 3I_1^2 R_1 \quad (2.12)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโรเตอร์ (Rotor Input Power Across air gap)

$$P_g = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} \quad (2.13)$$

ค่าสูญเสียจากขดลวดทองแดงที่โรเตอร์ (Rotor Copper Loss)

$$P_{cu,2} = 3I_2^2 R_2 = sP_g \quad (2.14)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากโรเตอร์ (Rotor Output – Electromagnetic Power)

$$P_e = P_g - P_{cu,2} = (1-s)P_g \quad (2.15)$$

ค่าแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Torque)

$$T_r = \frac{P_e}{\omega_r} = \frac{P_g}{\omega_s} \quad (2.16)$$

ค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากมอเตอร์ (Output Power – Mechanical Power)

$$P_o = P_e - P_r \quad (2.17)$$

ค่าแรงบิดมอเตอร์ (Output Torque)

$$T_o = \frac{P_o}{\omega_r} \quad (2.18)$$

แรงบิดทางไฟฟ้า (T_e) เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นจากกำลังทางไฟฟ้างังสมการ

$$E_b I_a = T_e \omega_r \quad (2.19)$$

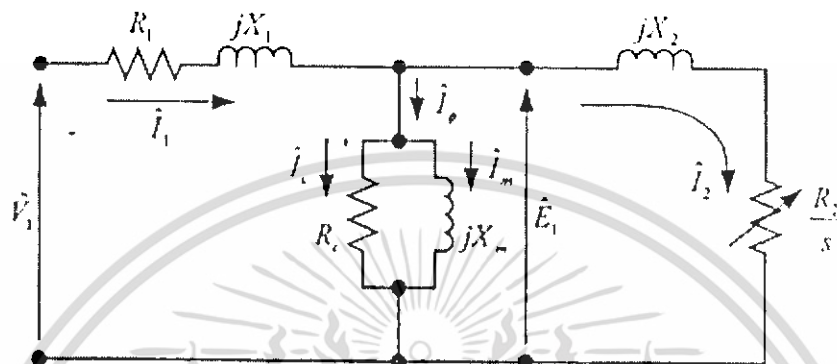
จะเป็นแรงบิดที่ยังไม่ได้คิดผลของความผิดและการต่อตัวทางกลต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงบิดปลายเพลลา T_{out} เป็นแรงบิดที่ออกจากมอเตอร์ ซึ่งจะเป็นค่าคงที่ที่จะนำไปใช้
งาน

$$P_o = T_{out} \omega_r \quad (2.20)$$

2.6 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบประมาณ

Input current

$$\hat{I}_1 = \hat{I}_2 + \hat{I}_\phi \quad (2.21)$$

$$\hat{I}_\phi = \frac{\hat{V}_1}{R_c} + \frac{\hat{V}_1}{jX_m} \quad (2.22)$$

Load current

$$\hat{I}_2 = \frac{\hat{V}_1}{\left(R_1 + \frac{R_2}{s}\right) + j(X_1 + X_2)} \quad (2.23)$$

Power transfer across air-gap

$$P_g = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} \quad (2.24)$$

Electromagnetic torque (T_c)

$$T_c = \frac{1}{\omega_s} P_g \quad (2.25)$$

$$T_c = \frac{1}{\omega_s} \times 3I_2^2 \frac{R_2}{s} \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input power (P_i)

$$P_i = 3V_1 I_1 \cos \theta_1 \quad (2.27)$$

Output power (P_o)

$$P_o = T_e \omega_r \quad (2.28)$$

Synchronous angular velocity (ω_s)

$$\omega_s = \frac{2\pi N_s}{60} \quad (2.29)$$

Rotor angular velocity (ω_r)

$$\omega_r = \frac{2\pi N_r}{60} \quad (2.30)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

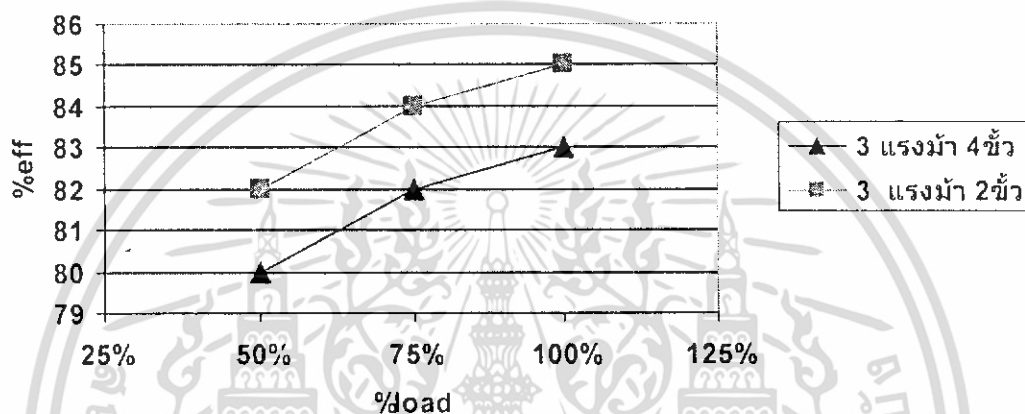
บทที่ 3

วิธีการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

3.1 กระบวนการพื้นฐานสำหรับการหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในส่วนนี้เป็นการอธิบายที่เกี่ยวข้องกับการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และค่าความผิดพลาดที่เกี่ยวข้องกับวิธีต่างๆ

3.1.1. Nameplate Method



รูปที่ 3.1 ประสิทธิภาพเทียบกับ load curves ของมอเตอร์ MITSUBISHI

วิธีนี้เป็นวิธีที่มีความแม่นยำน้อยในการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริง วิธีนี้เป็นการสมมติว่า ประสิทธิภาพของมอเตอร์คงที่และเท่ากับค่าใน nameplate (ประสิทธิภาพตอน full load สามารถใช้งานได้กับสภาพ load ส่วนใหญ่) จากรูปที่ 3.1 เป็นการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เทียบกับ load curves โดยเปรียบเทียบมอเตอร์ที่มีจำนวนขั้วและกำลังต่าง ๆ กันจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ 4 และ 2 ขั้ว ของมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า มีความคลาดเคลื่อนในช่วงโหลด ที่แสดงในกราฟ ดังนั้น nameplate method จึงสามารถใช้ได้กับมอเตอร์บางตัวเท่านั้น เพราะจะเกิดความคลาดเคลื่อนสูงสำหรับมอเตอร์บางชนิด

สาเหตุที่มีการคลาดเคลื่อนอาจเนื่องมาจาก

- มอเตอร์ถูกพันใหม่ ทำให้ข้อมูลบน nameplate กับความเป็นจริงไม่ตรงกัน
- ข้อมูลจาก nameplate ที่ได้มาจากสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน อุณหภูมิต่างกัน

การหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ใช้ข้อมูลจาก nameplate มีหลายมาตรฐานด้วยกัน ที่นิยมมี 3 แบบ คือ

1. NEMA (National Electrical Manufacturers Association) ซึ่งใช้ IEEE standard 112-1996
2. JEC (Japanese Electrotechnical Committee)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. IEC (International Electrotechnical Commission)

ตารางที่ 3.1 ผลของค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลบน nameplate ตามมาตรฐานต่าง ๆ ของมอเตอร์ขนาด 100 hp

IEEE 112 Method B	JEC37	IEC34-2
90.0%	93.1%	92.7%
Per H.Jordan and A.Gattozzi, 1979		

สภาพที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด คือ ความเร็วต่ำ พันมอเตอร์ใหม่ ไม่ลดทอนค่าประสิทธิภาพตามมาตรฐาน EASA มอเตอร์ที่ไม่ผ่านตาม มาตรฐาน IEEE และทำงานที่แหล่งจ่ายไม่เหมาะสมประสิทธิภาพต่ำกว่า 10 % จาก nameplate

3.1.2 Slip Method

เป็นวิธีการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้หลักการเปรียบเทียบความเร็วของมอเตอร์ที่เกิดขึ้น กับความเร็วที่พิกัดมอเตอร์ ใช้สมการพื้นฐานดังนี้

$$\text{Shaft Output Power} = \frac{(\text{Measure Slip})}{(\text{Rate Slip})} \times \text{Rated Output Power} \quad (3.1)$$

Slip ในเรื่องนี้ หมายถึง ความแตกต่างของความเร็วเชิงโรตกับความเร็วของมอเตอร์ โดยที่ความเร็วของมอเตอร์ จะใช้ optical tachometer วัด ซึ่งมีสิ่งรบกวนต่ำ ทำให้ความคลาดเคลื่อนต่ำ วิธีนี้จะดีกว่า nameplate method โดยเฉพาะ load curves ไม่เรียกความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20 % จาก nameplate และที่ภาระโหลดน้อยจะให้ผลของการทำนายแม่นยำกว่าที่ภาระโหลดมาก

ขอบเขตของการใช้ slip method

วิธีนี้ยังไม่แม่นยำสำหรับการคำนวณประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเพราะ

1. วิธีนี้ไม่ได้ทำการวัดกระแสจริงในการพิจารณาการสูญเสียที่ภาวะ load test และ no load test และความเร็วของมอเตอร์ (speed) กับ load นั้นไม่ได้เป็นเชิงเส้นกัน
2. จากการคำนวณ โดยใช้ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm) ที่ full load จากข้อมูลของ nameplate พบว่าเป็นตัวเลขโดยเฉลี่ยจากการทดสอบมอเตอร์ของผู้ผลิต ซึ่งสามารถคลาดเคลื่อนได้ 5 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในการคำนวณวิธีนี้ ไม่ได้คำนึงถึงเรื่องอุณหภูมิ และแรงดันที่เปลี่ยนแปลงขณะใช้งานจริง ซึ่งจำมีผลต่อความเร็วของมอเตอร์ขณะ full load

3.1.3 Current Method

เป็นวิธีการในการหากำลัง output ของมอเตอร์โดยเชื่อว่ากำลัง output จะแปรผันตรงกับค่าของ กระแสที่เปลี่ยนแปลงไปโดยสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{Shaft Output Power} = \left(\frac{I}{I_n} \right) \times \text{Rated Output Power} \quad (3.2)$$

I คือกระแสที่ทำการวัดด้านขาเข้าของมอเตอร์ ณ load ใด ๆ

I_n คือกระแสที่ได้จากการอ่านที่ nameplate ของมอเตอร์

Rated Output Power เป็นกำลัง Output ที่ full-load

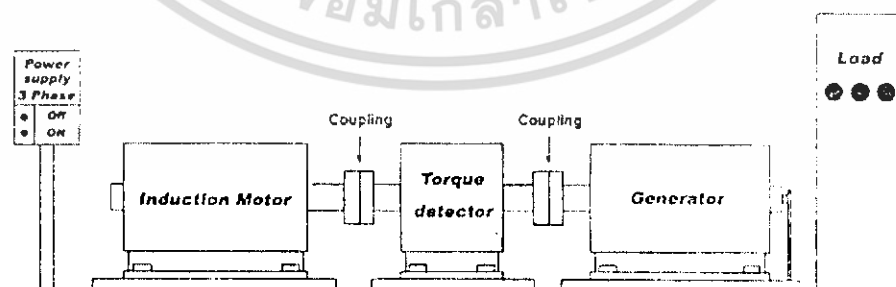
จะเห็นว่าสมการเป็นสมการเส้นตรง แต่ในความจริงแล้ว สัดส่วนระหว่างกระแสกับโหลดจะไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกัน จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมการเพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงที่สุด จึงได้สมการดังนี้

$$\text{Shaft Output Power} = \left(\frac{I - I_m}{I_n - I_m} \right) \times \text{Rated Output Power} \quad (3.3)$$

I_m คือกระแสของมอเตอร์ ขณะ no-load

3.1.4. Shaft Torque Method

เป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูงสุด นั่นก็คือ การวัดโดยตรงที่แกนเพลลา ซึ่งเราจะไม่ต้องนำค่าต่าง ๆ มาลบ เพื่อที่จะไปหาค่าประสิทธิภาพวิธีนี้นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการต่อ Torque Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทดสอบด้วยมาตรฐาน IEEE 112

3.2.1 Method B การแยกค่าสูญเสียต่าง ๆ ออกจากกัน

ขั้นตอนการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE 112 Method B

1. วัดความต้านทานขดลวดสเตเตอร์ (DC Resistance)
2. rated load temperature test บันทึกอุณหภูมิของขดลวดสเตเตอร์ ทุกครั้งชั่วโมง สิ้นสุดเมื่ออุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน 1°C ที่ rated load วัดค่าความต้านทานสุดท้ายและอุณหภูมิ โดยรอบ
3. test under load ใช้ dynamo meter เป็นโหลด อุณหภูมิสูงสุดต้องแตกต่างกันไม่เกิน 10°C จากข้อมูลที่พักตัวของมอเตอร์แบบเดียวกันตลอดการทดสอบ ทำการปรับโหลดตั้งแต่ 25-150%
4. no-load test ทำการรัน no-load บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิทุกครั้งชั่วโมง สิ้นสุดเมื่อค่ากำลังไฟฟ้าแตกต่างกันไม่เกิน 3% และอุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน 1°C
5. ทำการคำนวณโดยใช้แบบฟอร์มมาตรฐานของ IEEE 112 (ภาคผนวก ก)

3.3.2 Method F วงจรสมมูล

ขั้นตอนการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE 112 Method F

1. no-load test ทำการรัน no-load บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิทุกครั้งชั่วโมง สิ้นสุดเมื่อค่ากำลังไฟฟ้าแตกต่างกันไม่เกิน 3% และอุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน 1°C
2. Impedance test (lock rotor test) ถ้าเป็นแบบวาล์วโรเตอร์ ต้องทำการ short-circuit ก่อน แล้วทำการล็อกโรเตอร์ ค่อย ๆ จ่ายไฟเข้าและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนได้กระแสพิภักดยอมให้โรเตอร์ หมุนช้ามาก ๆ เพิ่มหาตำแหน่งที่เป็นค่าเฉลี่ยกระแสสูงสุด และกระแสต่ำสุด ล็อกให้โรเตอร์หยุดอยู่ที่ตำแหน่งค่าเฉลี่ย ทำการพล็อตกราฟ กระแสกับแรงดัน หาค่า total reactance และ rotor resistance จากกราฟ หาค่า rotor resistance (R_2), total leakage reactance (X_1+X_2)
3. ทำการคำนวณโดยใช้แบบฟอร์มมาตรฐานของ IEEE 112 (ภาคผนวก ข)

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

ในบทนี้จะนำเสนอการทดสอบ และผลการทดสอบภาวะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (load test) แบบโหลดไฟฟ้า รวมไปถึงการทดสอบเพื่อหาพารามิเตอร์ด้วยวิธี no load และ block rotor โดยจะแสดงผลการทดสอบของค่ากระแสอินพุท, ตัวประกอบกำลังอินพุท, กำลังไฟฟ้าอินพุทกำลังไฟฟ้าเอาต์พุท, แรงบิดและค่าประสิทธิภาพ

4.1 การทดสอบในกรณีที่ไม่มีโหลด (No Load Test)

ทำการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสที่อยู่ในสภาวะไร้ภาระจะทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีความเร็วรอบในการหมุนใกล้เคียงกับ Synchronous speed (N_s) กำลังที่ป้อนเข้ามอเตอร์จะสูญเสียใน

- Core loss (P_c)
- Stator copper loss เนื่องจากกระแสกระตุ้น
- Mechanical loss

ซึ่งเรียกรวมว่าเป็น Fix loss ข้อมูลที่ได้จาก No Load Test คือ P_o , V_o , I_o เป็นค่าต่อเฟส

$$\phi_o = \cos^{-1} \left(\frac{P_o}{V_o I_o} \right) \quad (4.1)$$

$$I_\phi = I_o \quad (4.2)$$

$$I_m = I_o \sin \phi_o \quad (4.3)$$

$$I_c = I_o \cos \phi_o \quad (4.4)$$

$$R_c = \frac{V_o}{I_c} \quad (4.5)$$

$$X_m = \frac{V_o}{I_m} \quad (4.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 5 แรงม้า	1	ตัว
2. แท่นทดสอบมอเตอร์	1	แท่น
3. AC variac	1	ตัว
4. Power Analyzer (PZ 4000)	1	เครื่อง
5. สายไฟต่อวงจร	15	เส้น

พิกัด Induction Motor

5 HP 4 POLE	TYPE SF-JR
Hert 50	Frame 112 M
Volt 220 380	Rating Cont
Amp 13.7 7.9	Ins class F
Rpm 1420	Amb Temp 40 C
JISC 4004	Weight 33 Kgs
JP 44	
JC 4	

4.1.2 วิธีการทดลอง

1. ทำการทดสอบโดยปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่บ่อนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำให้ได้แรงดันเท่ากับแรงดันที่พิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ในขณะที่มอเตอร์ไม่มีภาระทางกล

คือ $V_0 = 220 \text{ V}$

2. ทำการวัดค่าความต้านทานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (stator resistance) ก่อนและหลังการทดสอบ

คือ $R_1 =$ จาก Blocked Rotor Test $= 1.665 \Omega$

3. วัดและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า (V_0) , กระแสไฟฟ้า (I_0) , กำลังไฟฟ้า (P_0) แต่ละเฟสและความเร็วรอบ (N_r) มอเตอร์แล้วปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าลดลงเป็นศูนย์

คือ $V_0 = 220 \text{ V}$

$I_0 = 3.52 \text{ A}$

$\phi_0 = 82.96^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. คำนวณวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำมาหาค่า R_e , X_m

$$V_0 = 220 \text{ V} , I_0 = 3.52 \text{ A} , \phi_0 = 82.96^\circ$$

$$\begin{aligned} R_e &= \frac{V_0}{I_0 \cos \phi_0} \\ &= \frac{220}{3.52 \cos 82.96} \\ &= 509.94 \ \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_m &= \frac{V_0}{I_0 \sin \phi_0} \\ &= \frac{220}{3.52 \sin 82.96} = 62.97 \ \Omega \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1. ผลการทดสอบ No load test

V_{an}	V_{bn}	V_{cn}	I_{an}	I_{bn}	I_{cn}	I_{av}	P_a	P_b	P_c	P_t	P_{TIR}	θ
275.04	277.75	274.33	7.31	7.52	7.21	7.34	209	278	279	765	495.46	82.76°
250.25	252.34	249.63	5.07	5.19	5.07	5.07	120	172	164	456	327.46	83.14°
230.74	232.98	232.29	3.95	4.08	3.94	3.94	77	135	119	331	253.617	83.04°
220.30	222.05	219.82	3.53	3.67	3.52	3.52	62	122	103	286	224	82.96°
199.66	200.86	198.95	2.97	3.04	2.95	2.95	55	92	80	228	184.532	82.60°
177.43	178.96	176.93	2.51	2.61	2.51	2.51	42	71	66	179	147.456	82.31°
153.94	155.65	153.59	2.11	2.23	2.13	2.13	31	53	53	137	114.275	82.02°
133.24	134.78	133.28	1.8	1.9	1.83	1.83	27	38	41	106	89.273	81.69°
110.05	110.95	110.09	1.5	1.54	1.51	1.51	23	28	28	79	67.611	80.95°
87.59	88.42	87.41	1.2	1.25	1.21	1.21	16	21	20	57	49.687	79.81°
66.25	67.40	66.47	0.96	0.98	0.95	0.95	12	15	14	40	35.435	77.85°
44.25	44.62	44.17	0.68	0.71	0.68	0.68	8	9	9	26	23.65	73.50°
22.12	21.75	21.53	0.51	0.48	0.47	0.47	6	6	5	16	14.869	58.62°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาใดๆ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบ Block Rotor Test

4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 5 แรงม้า	1	ตัว
2. แท่นทดสอบมอเตอร์	1	แท่น
3. AC variac	1	ตัว
4. Power Analyzer (PZ 4000)	1	เครื่อง
5. สายไฟต่อวงจร	15	เส้น

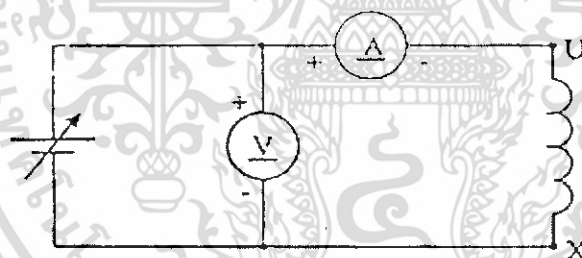
4.2.2 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 (Block Rotor)

1. ทำการล๊อคโรเตอร์ แล้วค่อยๆปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าจนอ่านค่ากระแสไฟฟ้าได้เท่ากับกระแสไฟฟ้าที่พิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำหรือใกล้เคียงที่สุด
2. วัดและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า (V_b), กระแสไฟฟ้า (I_b), กำลังไฟฟ้า (P_b) แล้วปรับแหล่งจ่ายลดลงเป็นศูนย์

ตอนที่ 2 (VI method)

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 4.1 แล้วทำการบันทึกค่ากระแส (I_{DC}) ที่ทุกระดับแรงดัน (V_{DC})



รูปที่ 4.1 การต่อวงจรสำหรับ VI method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2. การทดสอบ Block rotor test

V_b	I_b	P_b
42.91	7.84	618

ตารางที่ 4.3. การทดสอบ VI method

$I_{DC} (A)$	8	6	4	2
$V_{DC} (V)$	26.96	20.73	13.46	6.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองได้ $V_b = 42.91$, $I_b = 7.84$, $P_b = 618$

$$P_b = 3V_b I_b \cos \theta$$

$$\cos \theta = \frac{P_b}{3V_b I_b}$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{P_b}{3V_b I_b} \right)$$

$$= \cos^{-1} \left(\frac{618}{3 \times 42.91 \times 7.84} \right)$$

$$= 52.24$$

$$Z_b = \frac{V_b}{I_b \angle \cos \theta} = \frac{42.91}{7.84 \angle -52.24} = 7.67 \Omega$$

$$R_b = Z_b \cos \theta$$

$$= 5.47 \cos 52.24$$

$$= 3.35 \Omega$$

$$X_b = Z_b \sin \theta$$

$$= 5.47 \sin 52.24$$

$$= 4.32 \Omega$$

จาก VI method ได้ค่า $R_1 = \frac{3.33}{2} = 1.665 \Omega$

$$R_2 = R_b - R_1$$

$$= 3.35 - 1.665$$

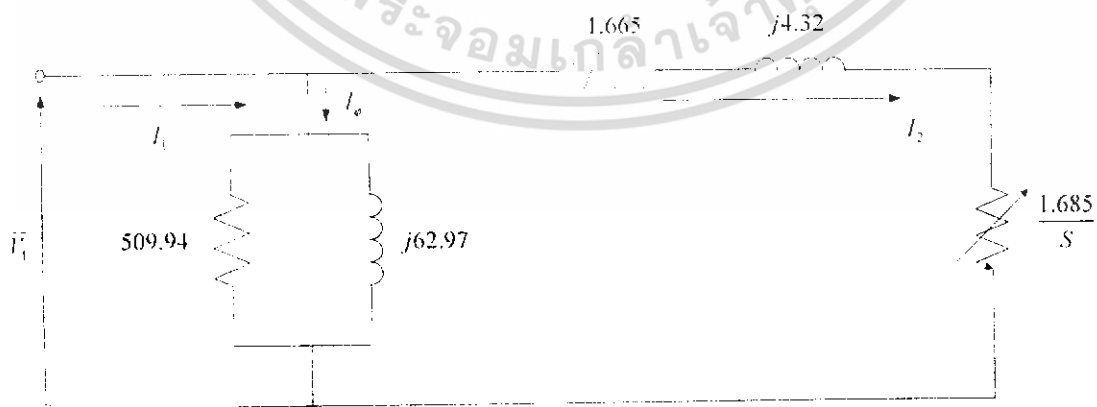
$$= 1.685 \Omega$$

ค่าพารามิเตอร์ ที่ได้จากการทดสอบ Blocked-rotor test มีดังนี้

$$R_1 = 1.665 \Omega$$

$$R_2 = 1.685 \Omega$$

$$(X_1 + X_2) = 4.32 \Omega$$



รูปที่ 4.2 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่แสดงค่าพารามิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดสอบภาระของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (load test) แบบโหลดไฟฟ้า

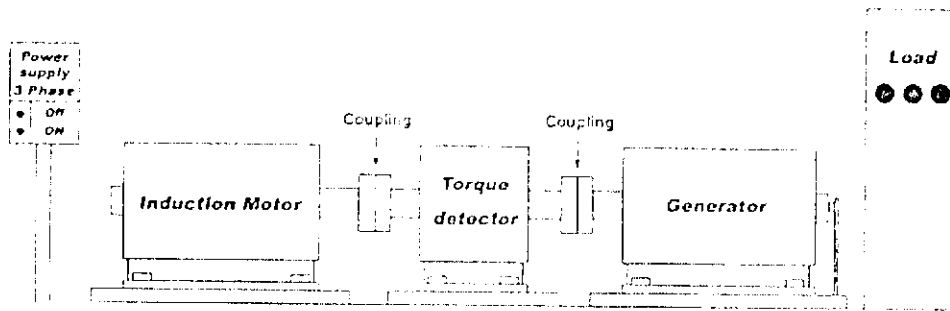
4.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. มอเตอร์เหนี่ยวนำ	1	เครื่อง
2. แท่นทดสอบมอเตอร์	1	แท่น
3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	1	เครื่อง
4. AC Variac	1	เครื่อง
5. Auto Transformer	1	เครื่อง
6. ชุด Rectifier	1	ตัว
7. Fluke meter	1	ตัว
8. Torque detector	1	เครื่อง
9. DC volt meter	1	เครื่อง
10. AC volt meter	1	เครื่อง
11. Power analyzer	1	เครื่อง
12. หลอดไฟ	46	หลอด
13. สายไฟ	30	เส้น

4.3.2 วิธีการทดลอง

- 1) ในการทดสอบภาระมอเตอร์จะใช้วงจรในการทดสอบ ดังแสดงในรูป โดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำไปขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแล้วจ่ายให้แผงโหลดหลอดไฟ
- 2) ทำการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยค่อย ๆ ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าจนถึงพิกัดแรงดันในสภาวะไม่มีโหลด
- 3) ปรับแรงดันจ่ายไฟกระแสตรง จ่ายกระแสสร้างสนามแม่เหล็กให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (ขณะไม่มีโหลด)
- 4) เพิ่มภาระโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยการเปิดหลอดไฟจนถึงค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ แล้วทำการปิดหลอดไฟครั้งละ 4 หลอด จนกระทั่งปิดหลอดไฟหมด
- 5) วัดและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแส, ตัวประกอบกำลังอินพุท, กำลังไฟฟ้าอินพุท และความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ
- 6) วัดและบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
- 7) นำผลการทดลองที่ได้มาคำนวณหาค่าแรงบิด, กำลังไฟฟ้าเอาต์พุท และประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การต่อวงจรสำหรับทดสอบ Load test



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การทดสอบ Load test ครั้งที่ 1

จำนวนรอบต่อไฟ	speed (rpm)	s	Current(A)			Voltage(V)			θ			P _{in} (w)			DC-generator			Torque (N.m)	P _{out} (W)	Efficiency (%)
			I _{an}	I _{bn}	I _{cn}	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	θ_a	θ_b	θ_c	P _a	P _b	P _c	V	I	W			
46	1425	0.050	7.95	7.50	7.49	219.5	217.3	218.1	30.43	29.06	32.05	1506	1424	1384	160.4	17.6	2823	24.8	3700.8	85.79
41	1437	0.042	7.25	6.93	6.87	219.2	217.2	218.1	32.80	30.90	32.60	1336	1274	1233	164	15.8	2591.2	22.1	3325.7	86.53
39	1437	0.042	7.08	6.67	6.62	219.8	217.2	218.2	34.40	31.12	34.70	1280	1240	1180	167	15.2	2538.4	21.6	3250.4	87.85
37	1440	0.040	6.88	6.44	6.42	219.5	217.0	217.6	33.47	31.32	35.01	1243	1199	1148	169	14.5	2450.5	20.8	3136.6	87.37
35	1443	0.038	6.63	6.24	6.18	219.3	217.1	218.0	34.38	32.51	36.52	1200	1141	1082	172	13.8	2373.6	20.1	3037.3	88.73
33	1446	0.036	6.48	6.10	6.02	220.0	217.6	218.4	35.51	33.44	37.50	1161	1107	1043	175	13.2	2310	19.1	2829.2	87.35
31	1446	0.036	6.22	5.86	5.85	220.2	218.1	219.8	36.65	34.88	38.98	1106	1049	1000	178	12.5	2225	18.5	2801.4	88.79
27	1452	0.032	5.90	5.5	5.40	219.0	216.6	217.2	38.12	35.87	40.63	1017	965	897	184	11.0	2024	16.5	2508.9	87.10
21	1464	0.024	5.27	4.88	4.89	219.5	216.7	218.9	42.10	40.17	44.68	858	802	761	193	8.8	1698.4	13.9	2131.0	88.00
17	1470	0.020	4.82	4.45	4.44	218.7	216.4	215.7	45.65	42.94	48.39	737	705	636	200	7.2	1440	11.7	1801.1	86.67
13	1473	0.018	4.39	4.02	4.07	217.7	215.4	216.0	52.19	48.2	54.76	586	577	507	206	5.6	1153.6	9.4	1450	86.83
9	1479	0.014	4.06	3.66	3.75	217.9	216.4	218.0	57.31	57.24	63.58	478	429	364	213	4.0	852	7.1	1099.7	86.52
5	1488	0.008	3.80	3.42	3.51	220.1	217.9	218.8	64.79	63.83	68.2	357	329	284	219	2.2	481.8	5.2	810.0	83.50
1	1497	0.002	3.65	3.28	3.42	220.8	218.9	219.2	74.54	74.01	78.73	215	198	147	225	0.5	112.5	2.8	438.9	78.40
	1497	0.002	3.59	3.23	3.37	220.1	218.5	219.7	78.57	76.82	83.65	157	161	82	226			2.1	329.2	70.20

ตารางที่ 4.5 การทดสอบ Load test ครั้งที่ 2

%load	S	Voltage (V)			Current(A)			Cos θ			P _{in} (W)			Torque (N.m)	Speed (rpm)	P _{out} (W)	%eff
		V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _{an}	I _{bn}	I _{cn}	θ_a	θ_b	θ_c	P _a	P _b	P _c				
100	0.050	219.5	217.3	218.1	8.12	7.70	7.66	0.85	0.84	0.84	1512	1410	1396	25.0	1425	3730.0	86.38
75	0.036	220.2	218.1	219.8	6.46	6.02	5.98	0.83	0.83	0.85	1180	1098	1130	18.5	1446	2801.4	86.68
50	0.020	220.1	218.4	219.6	4.92	4.50	4.40	0.72	0.73	0.77	780	715	742	12.2	1470	1878.0	84.00
25	0.010	220.2	219.2	219.4	3.72	3.40	2.80	0.58	0.57	0.63	478	430	452	6.8	1485	1057.5	83.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบโดย Current Method

%Load	I_{av}	P_{in}	P_{out}	%eff
25	3.46	1360	1633.65	120.3
50	4.60	2237	2171.90	97.2
75	6.15	3398	2903.70	85.5
100	7.83	4318	3696.95	85.6

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบ Slip Method , Full Load Slip = 0.053

%Load	%S	P_{in}	P_{out}	%eff
25	0.010	1360	703.8	53.1
50	0.020	2237	1407.6	63.0
75	0.036	3398	2533.6	74.6
100	0.050	4318	3518.9	81.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบตามมาตรฐาน IEEE 112 Method B

4.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส	1	เครื่อง
2. มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 5 แรงม้า	1	เครื่อง
3. แทนทดสอบมอเตอร์	1	เครื่อง
4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	1	เครื่อง
5. AC variac 1-phase	1	เครื่อง
6. ชุด Rectifier	1	ชุด
7. แผงหลอดไฟ	2	แผง
8. Fluke Meter (V,A,W)	1	เครื่อง
9. Torque Detector	1	เครื่อง
10.Tacho Meter	1	เครื่อง
11.Thermo Couple	1	เครื่อง
12.Power Analyzer PZ4000	1	เครื่อง
13.สายไฟต่อวงจร	20	เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 วิธีการทดลอง

4.4.2.1 การทดสอบ no-load

ทำการวัดค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์

1. ทำการเดินมอเตอร์แบบ No-load ที่แรงดันพิกัด 380 V วัดค่ากระแส, กำลังไฟฟ้า และอุณหภูมิ เริ่มทำการจับเวลา บันทึกค่าต่าง ๆ ทุกครึ่งชั่วโมง สิ้นสุดขั้นตอนนี้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 1°C

2. หลังจากที่ปลดแหล่งจ่ายออกแล้ว ทำการวัดค่าความต้านทานที่อุณหภูมิสุดท้ายภายในเวลา 30 วินาที นับจากเวลาปลดแหล่งจ่ายออก

3. ทำการเดินมอเตอร์แบบ No-load โดยเริ่มที่แรงดันพิกัด 380 V วัดค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสและกำลังไฟฟ้า ทำการลดแรงดันลงมาทีละ 10% บันทึกค่าต่าง ๆ สิ้นสุดที่แรงดัน 10% ของแรงดันพิกัด (ถ้าที่แรงดัน 10% มอเตอร์ไม่มีการหมุน และกระแสพุ่งขึ้นสูงสามารถหยุดที่ 20% แทนได้)

4.4.2.2 การทดสอบ under load และ rated load temperature test

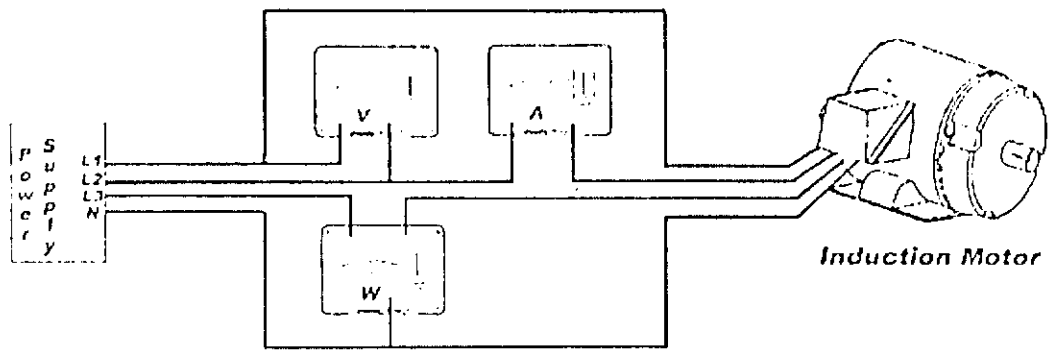
1. ทำการต่อมอเตอร์ดังรูปที่ 4.4

2. ทำการเดินมอเตอร์ที่แรงดันพิกัด ทำการวัดกระแส, แรงบิดเอาต์พุต, ความเร็วรอบ, กำลังไฟฟ้า และ อุณหภูมิค้อย ๆ เพิ่มโหลดขึ้น(เปิดสวิตช์โหลดไฟฟ้า) จนค่ากระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าเท่ากระแสพิกัด เริ่มทำการจับเวลา บันทึกค่าต่าง ๆ ทุกครึ่งชั่วโมง สิ้นสุดขั้นตอนนี้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 1°C

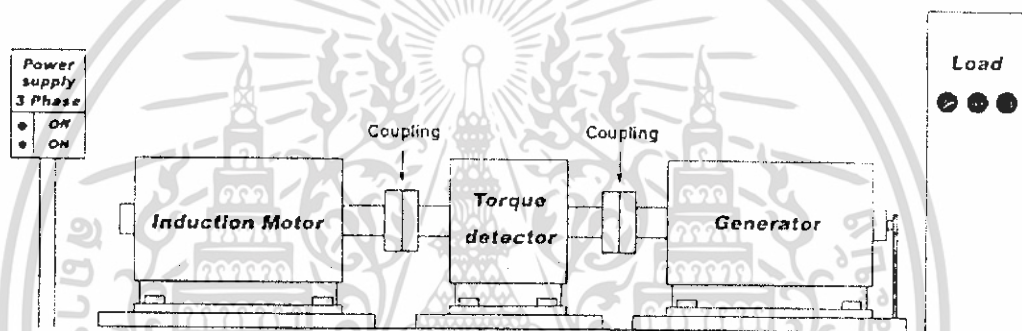
3. หลังจากที่ปลดแหล่งจ่ายออกแล้ว ทำการวัดค่าความต้านทานที่อุณหภูมิสุดท้ายภายในเวลา 30 วินาที นับจากเวลาปลดแหล่งจ่ายออก

4. ทำการเดินมอเตอร์ ที่แรงดันพิกัด ทำการวัดกระแส แรงบิดเอาต์พุต ความเร็วรอบ และกำลังไฟฟ้า ค้อย ๆ เพิ่มโหลดขึ้น(เปิดสวิตช์โหลดไฟฟ้า) จนค่ากระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าเท่ากระแสพิกัด ทำการบันทึกค่า ทำการปรับลดภาระทางไฟฟ้าลง (สวิตช์โหลดไฟ) โดยปรับลงทีละ 20% (หรือใกล้เคียง) แต่ค่าสุดท้ายคือค่าที่ภาระทางไฟฟ้า 10%

5. นำค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองนี้ ไปคำนวณหาค่าประสิทธิภาพออกมา โดยใช้แบบฟอร์มมาตรฐานของ IEEE 112 ในการทดสอบนี้ให้ทำ 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง



รูปที่ 4.4 การต่อวงจรสำหรับการทดสอบ No-Load



รูปที่ 4.5 การต่อวงจรสำหรับการทดสอบ Under-Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การทดสอบ Method B No-Load test

Time	V _{phase} (V)			Current (A)				θ			P _{in} (W)			P _i (W)	f (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)
	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _{an}	I _{bn}	I _{cn}	θ _u	θ _v	θ _w	P _a	P _b	P _c				
15.30	220.57	219.24	220.30	3.67	3.41	3.63	80.52	81.87	86.40	133	106	50	289	50	1498	
16.00	221.30	219.99	221.04	3.65	3.39	3.61	80.65	81.79	86.98	131	106	48	285	50	1498	

ความต้านทานขดลวดหลังการทดลอง $R_{1-2} = 4.03 \Omega$

$R_{2-3} = 4.20 \Omega$

$R_{3-1} = 4.03 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 การทดสอบ Method B No-load ลดแรงดัน

%V	V _{phase} (V)			Current (A)			θ			P _{in} (W)			P _t (W)	f (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)
	V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _{an}	I _{bn}	I _{cn}	θ _a	θ _b	θ _c	P _a	P _b	P _c			
100	221.30	219.99	221.04	3.65	3.39	3.61	80.65	81.79	86.58	131	106	48	285	50	1498
90	197.59	196.53	197.22	2.94	2.80	2.87	80.53	81.67	85.64	95	80	43	218	50	1498
80	176.29	175.00	175.64	2.53	2.41	2.41	79.87	81.75	84.91	78	60	38	176	50	1498
70	154.76	154.02	153.89	2.17	2.10	2.05	79.33	81.61	85.23	62	47	26	135	50	1498
60	132.48	131.69	132.19	1.81	1.78	1.79	80.31	80.94	83.62	40	37	26	103	50	1498
50	110.80	110.06	110.05	1.53	1.47	1.46	79.30	81.14	83.05	32	25	19	76	50	1498
40	88.09	87.38	87.22	1.24	1.19	1.16	77.60	80.80	81.72	23	17	15	55	50	1498
30	66.63	66.21	66.37	0.95	0.94	0.94	76.37	77.42	80.25	15	14	11	40	50	1498
20	43.55	43.90	43.34	0.67	0.71	0.62	71.73	73.08	75.41	9	9	7	25	50	1498
10	22.32	22.21	22.40	0.47	0.46	0.48	58.86	57.92	63.68	5	5	5	15	50	1498

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 การทดสอบ Method B Rated Load Temperature Test

Time	Temp	V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			P _i (W)	f (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)	Torque (N.m)	P _{out} (W)
		V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _{an}	I _{bn}	I _{cn}	P _a	P _b	P _c					
12.00	36	219.08	216.71	218.39	7.84	7.41	7.51	1483	1406	1403	4292	50	1428	24.9	3723.5
12.30	47	219.3	216.48	218.31	7.74	7.30	7.37	1471	1378	1377	4226	50	1419	23.9	3551.5
13.00	52	217.09	215.14	216.16	7.60	7.27	7.22	1435	1371	1337	4143	50	1416	23.5	3484.7
13.30	54	218.40	216.90	217.23	7.57	7.19	7.23	1439	1365	1345	4149	50	1419	23.5	3492.0
14.00	54	218.60	216.33	217.52	7.57	7.15	7.26	1433	1350	1349	4132	50	1416	23.4	3469.8

ความต้านทานขดลวดหลังการทดลอง $R_{1-2} = 4.20 \ \Omega$
 $R_{2-3} = 4.38 \ \Omega$
 $R_{3-1} = 4.20 \ \Omega$

ตารางที่ 4.11 การทดสอบ Method B Under Load Test

%Load	Temp	V _{phase} (V)			Current (A)			P _{in} (W)			P _t (W)	f (Hz)	ความเร็วรอบ (rpm)	Torque (N.m)	P _{out} (W)
		V _{an}	V _{bn}	V _{cn}	I _{an}	I _{bn}	I _{cn}	P _a	P _b	P _c					
100	89.7	219.6	217.5	218.5	8.12	7.70	7.66	1542	1462	1427	4431	50	1425	25.0	3730.6
75	88.6	218.7	216.5	217.8	6.46	5.97	6.02	1147	1054	1031	3232	50	1446	18.5	2801.4
50	86.4	219.2	217.1	218.2	5.09	4.66	4.68	801	721	682	2204	50	1470	12.2	1878.0
25	82.7	219.8	217.7	218.8	4.10	3.66	3.75	440	381	337	1158	50	1485	6.0	933.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 การหาประสิทธิภาพตามมาตรฐาน IEEE 112 Method B

Cold Stator Winding Resistance Between terminals 1.666 Ohms at 25 °C					
Hot Stator Winding Resistance Between Terminals 2.13 Ohms at 97.3 °C in 27 °C					
Rated Load Temp. Test Stator Temperature Rise 70.3 °C					
Total Stator Temperature, t_s , 95.3 °C in 25 °C Ambient					
Item	Description(Motoring)(Generating)	100%	75%	50%	25%
8	Ambient Temperature , in °C	27	27	27	27
9	Stator Winding Temperature , t_s , in °C	89.70	88.60	86.40	82.40
10	Frequency , in Hz	50	50	50	50
11	Synchronous Speed , in r/min	1500	1500	1500	1500
12	Speed , in r/min	1425	1446	1470	1485
13	Slip Speed , in r/min	75	54	30	15
14	Slip Speed , in p.u. -	0.05	0.036	0.02	0.01
15	Line-to-Line Voltage , in V	378.50	377.00	377.90	378.90
16	Line Current , in A	7.83	6.15	4.81	3.84
17	Stator Power , in w	4431	3232	2204	1158
18	Core Loss , in w	196.67	196.67	196.67	196.67
19	Stator I^2R Loss , in w	382.62	234.90	143.00	90.20
20	Power Across Air Gap , in w	3851.7	2800.4	1864.3	871.1
21	Rotor I^2R Loss , in w	192.59	100.82	37.29	8.71
22	Friction And Windage Loss , in w	11.20	11.20	11.20	11.20
23	Total Conventional Loss , in w	780.06	543.59	388.16	306.78
24	Torque , in N.m	25.00	18.50	12.20	6.00
25	Dynamometer Correction , in w	0.00	0.00	0.00	0.00
26	Corrected Torque , in N.m	25.00	18.50	12.20	6.00
27	Shaft Power , in w	3730	2801	1878	933
28	Apparent Total Loss , in w	700.20	430.60	325.90	224.90
29	Stray-Load Loss , in w	-82.86	-112.99	-62.26	-81.88
34	Stator I^2R Loss , in w , at t_s	389.4	240.2	146.9	93.7
35	Corrected Power Across Air Gap , in w	3844.9	2883.0	2005.7	1045.5
36	Corrected Slip , in p.u.	0.051	0.037	0.021	0.010
37	Corrected Speed , in r/min	1423.5	1445.0	1468.5	1484.6
38	Rotor I^2R Loss , in w , at t_s	196.1	105.8	42.1	10.8
39	Corrected Stray-Load Loss , in w	-121.44	-118.92	-113.32	-106.57
40	Corrected Total Loss , in w	671.93	434.95	283.55	205.80
41	Corrected Shaft Power , in w	3759.1	2797.1	1920.5	952.2
42	Efficiency , in %	84.84	86.54	87.13	82.23
43	Power Factor , in %	86.32	80.48	79.01	45.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 การหาประสิทธิภาพตามมาตรฐาน IEC

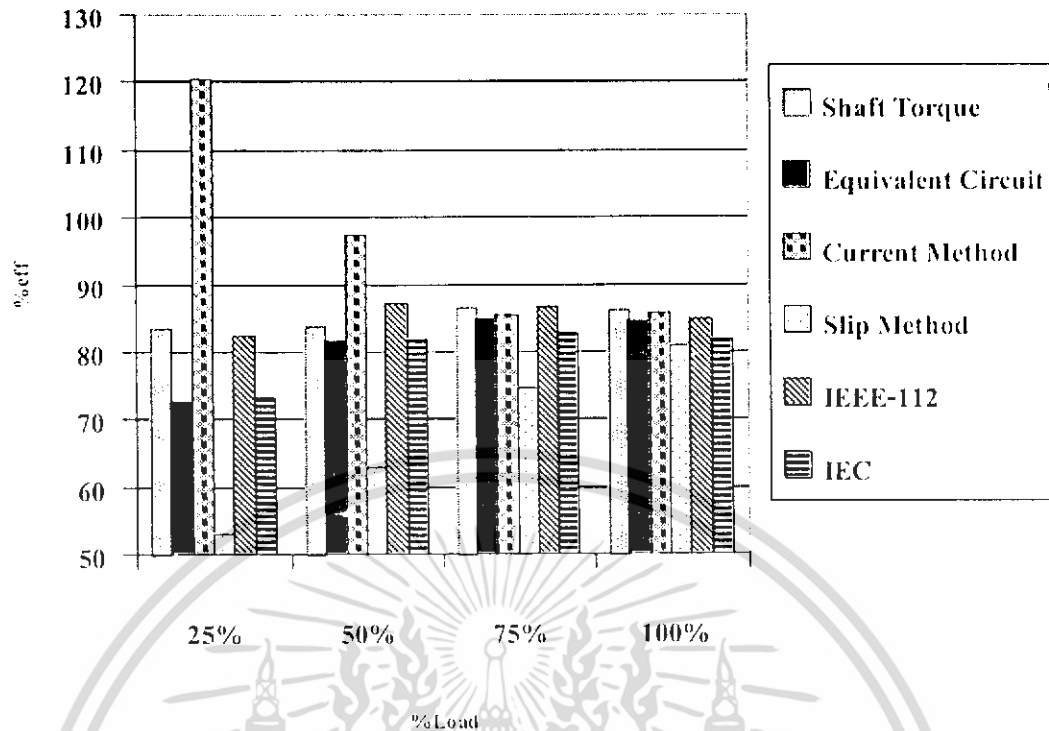
%Load	$I_{av}(A)$	$R_{av}(\Omega)$	$P_{stator}(W)$	$P_{rotor}(W)$	$P_{core}(W)$	$P_{friction}(W)$	$P_{sil}(W)$	$P_{in}(W)$	$P_{out}(W)$	%eff
25	3.84	2.04	90.2	8.7	196.7	11.2	5.79	1158	845.4	73.01
50	4.81	2.06	143.0	37.3	196.7	11.2	11.02	2204	1804.8	81.89
75	6.15	2.07	234.9	100.8	196.7	11.2	16.16	3232	2672.2	82.68
100	7.83	2.08	382.6	192.6	196.7	11.2	22.15	4431	3625.8	81.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 การเปรียบเทียบวิธีการหาประสิทธิภาพ

%Load	%efficiency					
	Shaft torque	Equivalent Circuit	Current Method	Slip Method	IEEE Method B	IEC
25	83.60	72.60	120.30	53.10	82.23	73.01
50	84.00	81.60	97.20	63.00	87.13	81.89
75	86.68	84.70	85.45	74.60	86.54	82.68
100	86.38	84.50	85.60	81.00	84.84	81.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบการหาประสิทธิภาพด้วยวิธีต่างๆ

โดยรวมแล้วจะเห็นว่า shaft torque , method B , equivalent circuit และ IEC-34 ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากทั้ง 4 วิธีนี้มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่าที่ได้จาก current method และ slip method นั้นจะมีความคลาดเคลื่อนจากกลุ่มค่อนข้างสูงดังนั้นทั้ง 2 วิธีนี้จึงไม่ค่อยเหมาะสมนักที่จะนำไปใช้

บทที่ 5

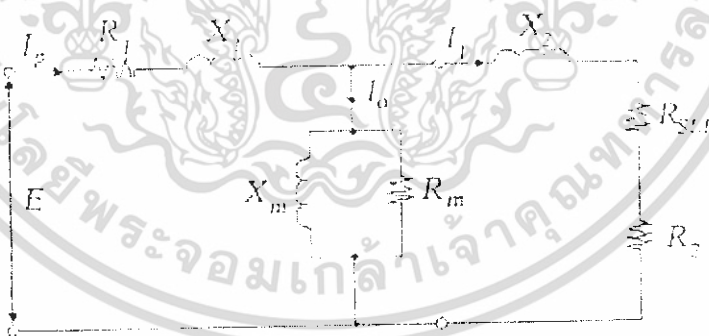
การหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

การพิจารณาถึงค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดลงได้เมื่อมีการเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ จำเป็นต้องทราบถึงค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวเดิมขณะใช้งานจริงเพื่อทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้กับข้อมูลสมรรถนะของมอเตอร์ใหม่ที่ได้จากแคทาล็อกของบริษัทผู้ผลิต จะเห็นได้ว่าการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริงเป็นข้อมูลที่สำคัญในการวางแผนการจัดการพลังงานที่เชื่อถือได้ ดังนั้นวิธีการตรวจสอบหาค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานจะต้องมีความแม่นยำสูง และมีความสะดวกในการตรวจสอบโดยไม่จำเป็นต้องปลดมอเตอร์ออกจากระบบการผลิตเพื่อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติเนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

ดังนั้นในบทนี้จะนำเสนอวิธีการใหม่ 2 แนวทาง คือ การใช้ข้อมูลขณะใช้งานจริง และการใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก

5.1 วิธีการหาค่าประสิทธิภาพขณะใช้งานจริง (Field Test)

วิธีการนี้เป็นการประมาณค่าประสิทธิภาพในขณะที่ทำงานอยู่ในระบบ โดยไม่ต้องปลดมอเตอร์ออกจากการใช้งาน และไม่ต้องวัดค่ากำลังทางกลที่เกิดขึ้น ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์สามารถพิจารณาได้โดยใช้หลักการวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรจะคำนวณได้จาก ข้อมูลของค่าแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า และความเร็รรอบของมอเตอร์ที่วัดได้ขณะที่ทำงาน ซึ่งวงจรสมมูลทางไฟฟ้านั้นได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-1



รูปที่ 5.1 วงจรสมมูลที่ใช้ในโปรแกรม Field Test

แบบจำลองที่แสดงนี้ได้ทำการตัดค่า stray-load loss ออก ซึ่งการละเลยในส่วนนี้จะนำมาซึ่งความผิดพลาดในการประมาณค่า ซึ่งค่า stray-load loss นี้จะลดลงตามค่า output ที่ลดลงเป็นสัดส่วนกัน ซึ่งแสดงในรูปของ R_{stl}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{slip} = \frac{m(1-s_1)R_2}{s_1} \quad (5.1)$$

ค่า m คือค่าแปรมันมีค่าระหว่าง $0.002 < m < 0.018$ และ s_1 คือค่า slip ที่ full-load จากวงจรสมมูลค่ากระแส I_1 จะเป็นตัวกำหนดกำลังอินพุตได้เป็น

$$I_1 = \frac{V_1}{Z_{total}} \quad , \quad P_{input} = 3V_1 I_1 (PF) \quad (5.2)$$

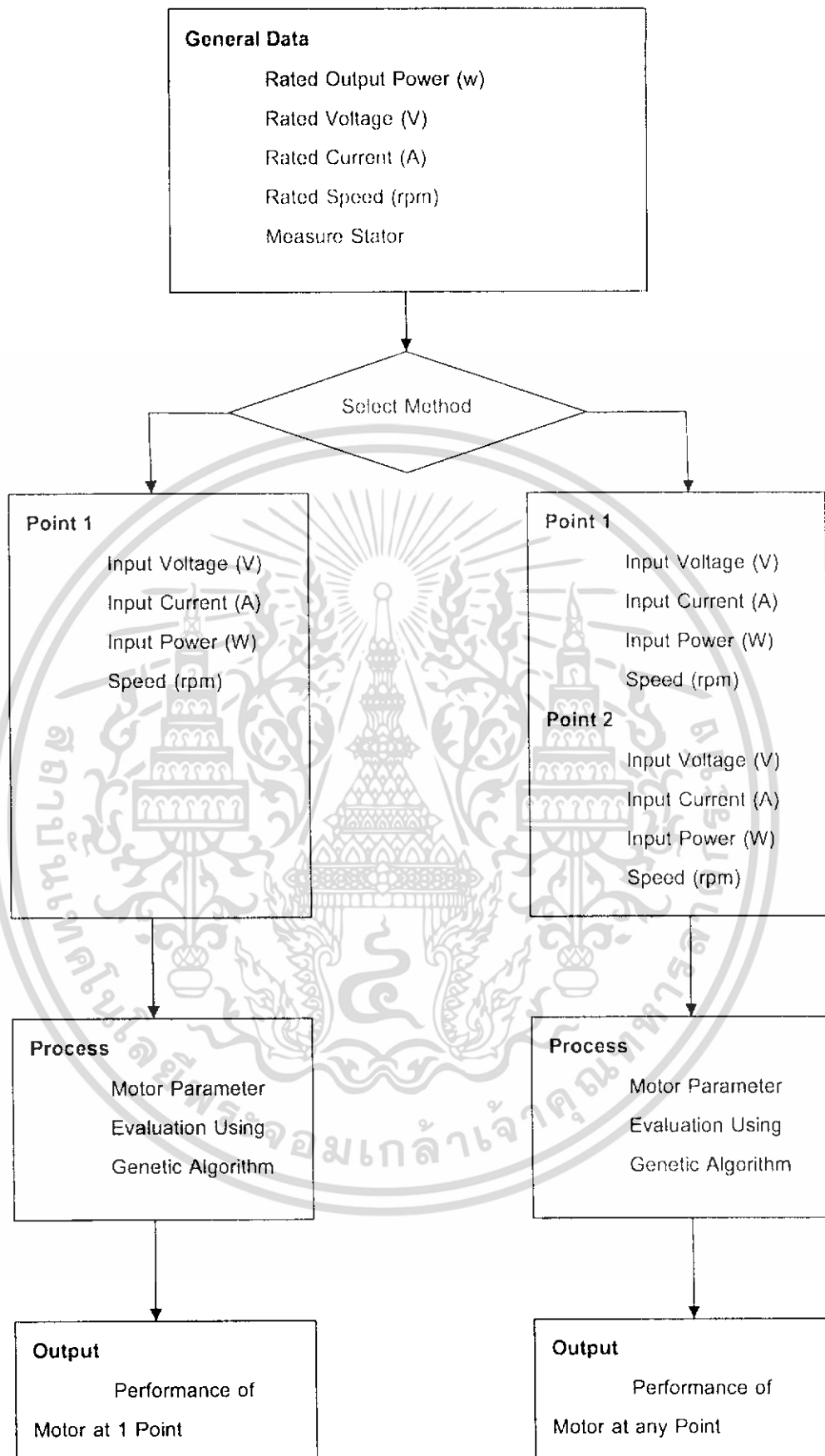
เมื่อค่า V_1 และ I_1 เป็นค่า rms

ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลนี้ สามารถประมาณได้จากข้อมูลการทดสอบคิดร่วมกับค่า algorithm โดยค่าผิดพลาดที่น้อยที่สุดได้จากสมการต่อไปนี้

$$F_{objective} = \sum_{i=1}^n \left| \frac{I_{1,cat}}{I_{1,mea}} - 1 \right|^2 + \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{input,1,cat}^2}{P_{input,1,mea}^2} - 1 \right|^2 \quad (5.3)$$

$$Fitness = \frac{100}{100 + F_{objective}} \quad (5.4)$$

เมื่อ Z_{total} เป็นค่าอิมพีแดนซ์รวมของวงจรสมมูล $I_{1,cat}$ และ $P_{input,cat}$ เป็นค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการคำนวณตามลำดับ $I_{1,mea}$ และ $P_{input,mea}$ เป็นค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวัดขณะมอเตอร์ทำงานตามลำดับ จากสมการที่ (5.3) จะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรสมมูลซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาสมรรถนะต่างๆของมอเตอร์ได้ โดยค่าที่ได้ออกมามีค่าน้อย (ในทางทฤษฎีเท่ากับ 0) นั้นหมายถึงความผิดพลาดน้อยมาก และจากสมการที่ (5.4) ถ้าผลที่ได้ออกมาเท่ากับ 1 หมายถึงสามารถประเมินประสิทธิภาพได้ใกล้เคียงกับความจริง



รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการทำงานของ Field Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

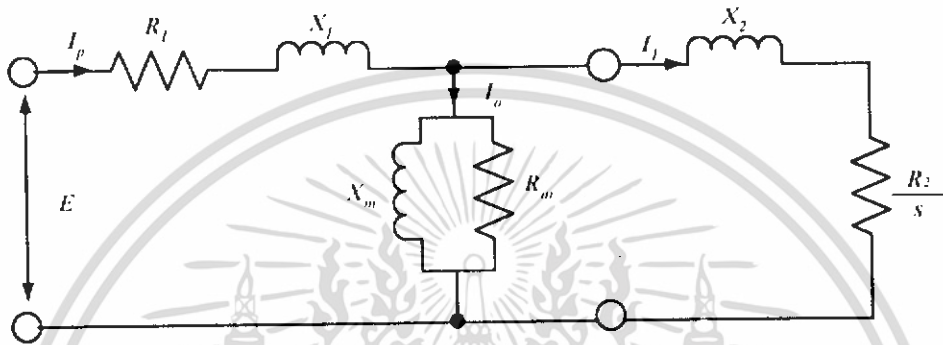
5.2 วิธีการหาค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาลอก

การหาค่าประสิทธิภาพของโดยใช้ข้อมูลแคทาลอก นั้นแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล
2. การหาค่าประสิทธิภาพ

5.2.1 การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล

การหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลนั้น จะใช้วิธีการของจันเติกอัลกอริทึมเข้ามาช่วย ในการ หาค่าพารามิเตอร์โดยพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลนั้นจะมีค่าต่างๆตั้งแสดงในรูป 5-3



รูปที่ 5.3 รูปวงจรสมมูลทางไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

จากรูปที่ 5-3 จะเห็นว่า ค่าความต้านทานของโรเตอร์ (R_2) จะมีสลิป (S) ทหารอยู่ นั้น หมายถึงค่าความต้านทานของโรเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับค่าสลิป ในลักษณะ แปรผกผัน และค่าความต้านทานของโรเตอร์ (R_2/S) จะเป็นตัวแสดงถึงค่ากำลังเอาต์พุต แต่ เนื่องจาก ค่าสลิปจะแปรผกผันกับค่าความเร็วรอบของโรเตอร์ (N_r) ตามสมการ $S = (N_s - N_r) / N_s$ นั่นคือ ถ้าความเร็วรอบมากค่าสลิปจะน้อย ถ้าความเร็วรอบน้อยค่าสลิปจะมาก ซึ่งค่า ความเร็วรอบนี้จะส่งผลไปยังค่ากำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ด้วย และค่าพารามิเตอร์ของวงจร สมมูลหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$F(Z_{max}) = \frac{1}{2} \left[\frac{I_{FI, prog}}{I_{FI, cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{PF_{FI, prog}}{PF_{FI, cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{P_{FI, prog}}{P_{FI, cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{Eff_{FI, prog}}{Eff_{FI, cata}} - 1 \right]^2 + \frac{1}{2} \left[\frac{T_{max, prog}}{T_{max, cata}} - 1 \right]^2 \quad (5.5)$$

เมื่อ *prog* เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม และ *cata* เป็นค่าที่ได้จาก ข้อมูลแคทาลอก อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าความแม่นยำของการทำนายสมรรถนะของมอเตอร์ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิธีนี้จะไม่สามารถพิจารณาเปรียบเทียบกับสมรรถนะของมอเตอร์

เมื่อนำไปใช้งานจริงทั้งนี้ เพราะวิธีการนี้ใช้ข้อมูลอ้างอิงตามข้อมูลที่บริษัทผู้ผลิตระบุไว้ในแคตตาล็อกซึ่งเป็นค่าโดยประมาณจากมอเตอร์จำนวนมากในระบบการผลิตของฟักัดนั้นๆ

5.2.1.1 ค่า input ที่โปรแกรมต้องการ ค่าอินพุตที่โปรแกรมต้องการนั้นสามารถหาได้จากแคตตาล็อก โดยทั่วไปแล้วแคตตาล็อก ของมอเตอร์จะให้ค่าพิกัดมอเตอร์ (KW) , ประสิทธิภาพ (Eff) , ค่ากระแส (I) , เพาเวอร์แฟคเตอร์ (p.f) ที่ค่าโหลด 3 ค่า คือ 50% , 75% และ 100 % และค่าความเร็วรอบที่โหลดพิกัด ซึ่งค่าต่างๆเหล่านี้จะสามารถนำไปหาค่าแฟคเตอร์ต่างๆที่โปรแกรมต้องการได้

ค่าที่โปรแกรมต้องการได้แก่

1. ค่าการสูญเสียรวม (loss) ที่โหลด 50% , 75% และ 100%
2. ค่ากำลังเอาต์พุต (P_{out}) ที่โหลด 50% , 75% และ 100%
3. ค่ากระแสอินพุต (I_{in}) ที่โหลด 50% , 75% และ 100%
4. ค่าประสิทธิภาพ (Eff) ที่โหลด 50% , 75% และ 100%
5. ค่ากำลังอินพุต (P_{in}) ที่โหลด 50% , 75% และ 100%
6. ค่าช่วงการทำงานของสลีป (S) ที่โหลด 50% , 75% และ 100%

5.2.1.2 ค่าตัวแปรที่เป็นตัวกำหนดค่าความถูกต้องและช่วงการค้นหา ค่าตัวแปรนี้เป็นค่าที่จำเป็นมากเพราะเป็นค่าที่ส่งผลต่อความถูกต้องของคำตอบ การกำหนดค่าต่างๆนี้ต้องอยู่ในช่วงที่เป็นไปได้ เพราะถ้ากำหนดผิดพลาดจากความเป็นจริง คำตอบที่ได้ออกมาก็จะผิดพลาด แต่ถ้าใช้วิธีการกำหนดช่วงให้กว้างแทนเพื่อที่จะได้ครอบคลุม จะทำให้คำตอบที่ได้ขาดความละเอียด ซึ่งเราอาจแก้ไขได้โดยการเพิ่มรอบการคำนวณแทน แต่ว่าต้องใช้เวลาที่มากขึ้นในการให้โปรแกรมหาคำตอบที่เหมาะสมออกมาให้ ดังนั้นการกำหนดค่าช่วงนี้ ควรกำหนดให้เหมาะสม

ค่าช่วงการค้นหาที่โปรแกรมต้องการมีดังนี้

- R_1 = ความต้านทานของสเตเตอร์
- X_1 = ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของสเตเตอร์
- X_2 = ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของโรเตอร์
- X_m = ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำกระตุ้นแม่เหล็ก
- R_2 = ค่าความต้านทานของโรเตอร์
- R_c = ค่าความต้านทานกระตุ้นแม่เหล็ก

5.2.2 การหาค่าประสิทธิภาพ

การหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสนี้ จะอยู่บนพื้นฐานของ วงจรสมมูลโดยค่าพารามิเตอร์ของวงจรมอเตอร์นั้น เราได้มาจากการรันโปรแกรมในส่วนของโปรแกรม แคลคูล็อกในส่วนนี้จะเป็นการใช้โปรแกรมของวงจรสมมูลเพื่อหาประสิทธิภาพต่อไป

5.2.2.1 Input ที่โปรแกรมต้องการ

R_1 = ความต้านทานของสเตเตอร์

X_1 = ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของสเตเตอร์

X_2 = ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของโรเตอร์

X_m = ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำกระตุ้นแม่เหล็ก

R_2 = ค่าความต้านทานของโรเตอร์

R_c = ค่าความต้านทานกระตุ้นแม่เหล็ก

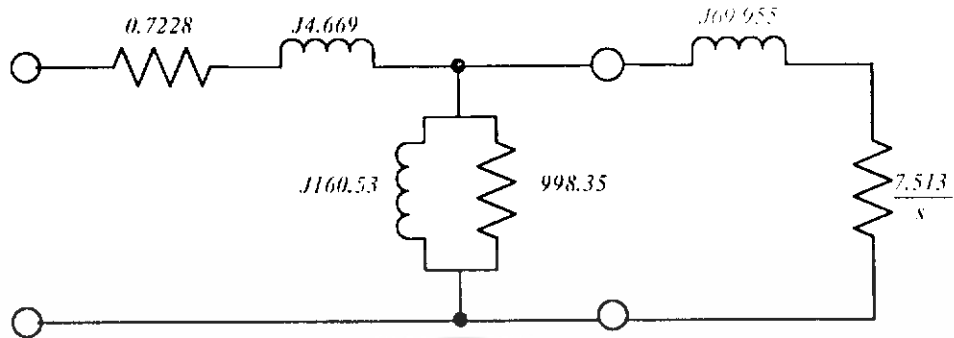
โดยค่าต่างๆเหล่านี้เราสามารถหาได้จากการรันโปรแกรมแคลคูล็อก โดยในส่วนนี้เราจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าของความเร็วรอบ แล้วให้โปรแกรมเป็นตัวคำนวณตามหลักของ วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ คำนวณทาง polar, rectangular, series impedance, parallel impedance โดยเราจะให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเป็นค่าคงที่ที่มุม 0 องศา ให้ความเร็วรอบเป็นตัวเปลี่ยนแปลง นั่นคือค่า R_2 เป็นตัวเปลี่ยนแปลง ซึ่งค่า R_2 นี้เป็นตัวแปรที่จะ แสดงผลของกำลังเอาต์พุตซึ่งจะเปลี่ยนแปลงอันเนื่องจากผลของค่าสลิป

5.2.2.2 ความละเอียดของการคำนวณ

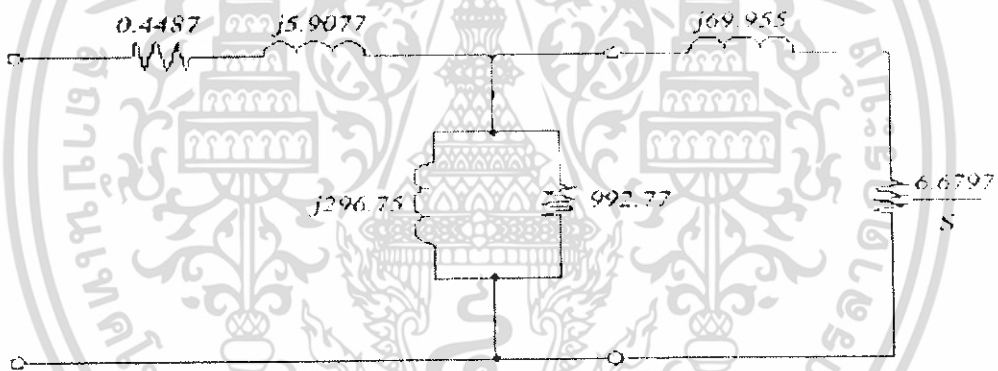
ความละเอียดของการคำนวณของโปรแกรมนี จะขึ้นอยู่กับค่าความเร็วรอบที่เราทำการเปลี่ยนแปลง โดยเราสามารถที่จะพิจารณาให้เปลี่ยนแปลงความเร็วรอบได้ตามที่ต้องการ เช่นเปลี่ยนแปลงที่ละ 2 รอบ 5 รอบ หรือ 10 รอบ ยิ่งเราเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วรอบละเอียดมากเพียงไร การคำนวณก็จะละเอียดมากขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์โหลดก็จะเปลี่ยนแปลงละเอียดขึ้น กราฟที่เรานำค่ามา plot ก็จะมีละเอียดและถูกต้องมากขึ้นตามไปด้วย

5.3 ผลการทดสอบ

5.3.1 ผลของการหาค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูล



รูปที่ 5.4 วงจรสมมูลที่ได้จากโปรแกรมของมอเตอร์ขนาด 2200 W MITSUBISHI



รูปที่ 5.5 วงจรสมมูลที่ได้จากโปรแกรมของมอเตอร์ขนาด 2200 W TECO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการรันโปรแกรมแคทาล็อก

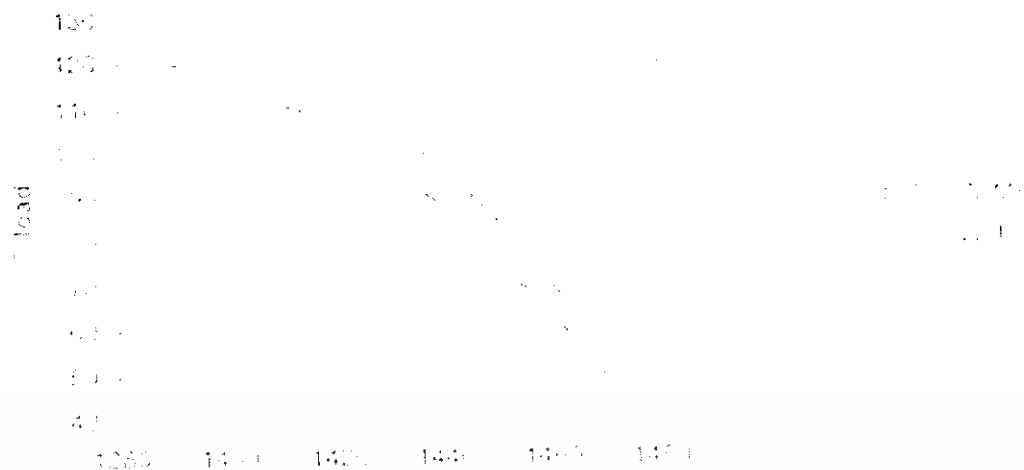
ตารางที่ 5.1 ผลการรันโปรแกรมการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก
โดยทำการทดสอบมอเตอร์ขนาด 2200 W MITSUBISHI

% Load	Pout	Eff (%)	Speed (rpm)
120	2640	79.327	1389
116.31	2558.82	79.58	1399
112.63	2477.86	79.69	1407
108.94	2396.68	80.21	1414
105.26	2315.72	80.82	1419
101.58	2234.76	81.43	1424
97.89	2153.58	81.01	1429
94.21	2072.62	80.97	1433
90.52	1991.44	80.63	1437
86.84	1910.48	80.47	1441

ตารางที่ 5.2 ผลการรันโปรแกรมการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์โดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก
โดยทำการทดสอบมอเตอร์ขนาด 2200 W TECO

% Load	Pout	Eff (%)	Speed (rpm)
120	2640	77.43	1407
116.31	2558.82	78.31	1414
112.63	2477.86	78.82	1420
108.94	2396.68	79.48	1425
105.26	2315.72	79.92	1430
101.58	2234.76	80.12	1434
97.89	2153.58	80.34	1438
94.21	2072.62	80.57	1441
90.52	1991.44	80.60	1445
86.84	1910.48	80.62	1448

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับโหลดที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์

จากรูปที่ 5.6 จะเห็นว่าที่โหลดค่าเดียวกับมอเตอร์ TECO นั้นจะมีความเร็วรอบที่สูงกว่ามอเตอร์ของ MITSUBISHI



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับค่าประสิทธิภาพที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์

จากรูปที่ 5.7 จะเห็นว่ามอเตอร์ของ MITSUBISHI นั้นโดยรวมแล้วจะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์ของ TECO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

โปรแกรมการเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำ สำหรับงานอุตสาหกรรม

การทราบค่าประสิทธิภาพที่แท้จริงของมอเตอร์นั้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือ การที่ทราบค่าประสิทธิภาพขณะที่ทำงานอยู่ เมื่อทราบแล้วก็จะสามารถนำไปทำการตรวจสอบ ได้ว่ามอเตอร์ตัวนั้นๆ ถึงเวลาที่จะทำการเปลี่ยนไปใช้งานตัวใหม่และยังสามารถช่วยในการ ตัดสินใจที่จะเลือกซื้อมอเตอร์ตัวใหม่อีกด้วย

ประโยชน์ในส่วนนี้ ได้ถูกนำมาใช้ในโปรแกรม เพื่อให้ง่ายต่อการนำประสิทธิภาพของ มอเตอร์มาใช้งาน โดยภายในโปรแกรมนี้ จะให้เลือก ทั้งในกรณีที่ซื้อมอเตอร์ที่เหมาะสม มาเปลี่ยนกับมอเตอร์ที่ทำงานอยู่ก่อนแล้ว ซึ่งจะทำให้ง่ายในการตัดสินใจ

6.1 หลักการทำงานของโปรแกรม

ในกรณีการเลือกซื้อมอเตอร์ ให้เหมาะกับความต้องการนั้น สามารถบอกถึง เปอร์เซนต์โหลดและประสิทธิภาพที่โหลดนั้นๆ ของมอเตอร์ได้ และยังสามารถบอกถึงปริมาณ การใช้งานไฟฟ้าต่อปีและค่าไฟฟ้าต่อปี โดยข้อมูลเหล่านั้นจะเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจที่จะ เลือกซื้อมอเตอร์ได้ง่ายขึ้น

ส่วนในกรณีการหา มอเตอร์มาเปลี่ยนกับมอเตอร์ที่มีอยู่ก่อนแล้วนั้น จะสามารถบอก ได้ถึงประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวใหม่และตัวปัจจุบัน และเมื่อทำการเปลี่ยนแล้วจะสามารถ บอกถึงการประหยัดเงินค่าไฟฟ้าต่อปี และระยะเวลาที่สามารถคืนต้นทุน ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อ การตัดสินใจ ที่จะเปลี่ยนมอเตอร์

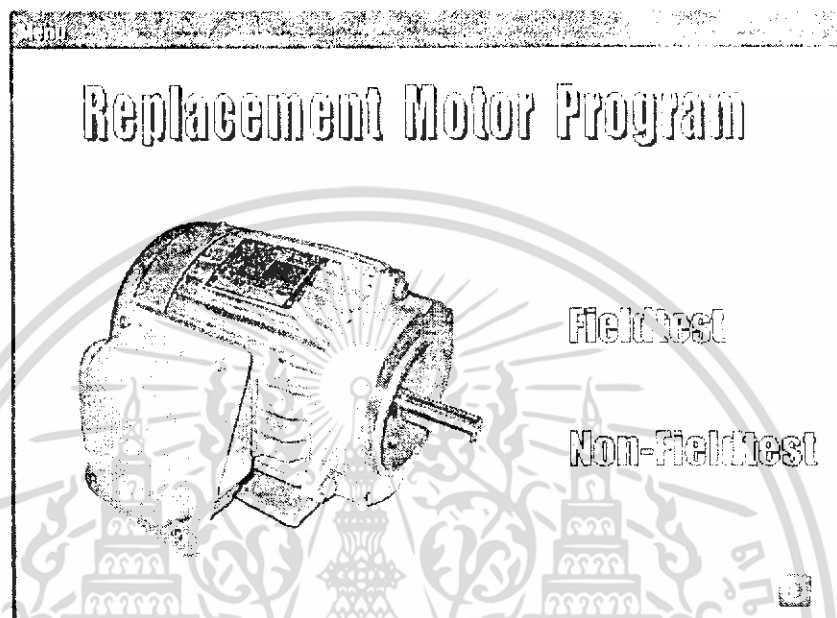
6.1.1 หลักการทำงานของ Replacement Motor

จะทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่มีอยู่หรือใช้งานอยู่ และเลือกมอเตอร์ ตัวใหม่ที่เหมาะสม โดยการหาประสิทธิภาพนั้น มีให้เลือกหาโดยมีวิธี Field test กับ Non-Field test (slip method & current method) โดยจะต้องระบุค่าต่างๆ ลงไปในแต่ละวิธี โดย แต่ละวิธีจะระบุ ข้อมูลไม่เหมือนกัน หลังจากนั้น จะทำการเลือกมอเตอร์ตัวใหม่เพื่อที่จะดูและ วิเคราะห์ บอกถึงประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวใหม่ และการประหยัดเงินต่อปี รวมถึง ระยะเวลาในการคืนทุน ในกรณี ที่ต้องการตรวจสอบดูว่าถ้าหามอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพที่ ดีกว่าที่โปรแกรมมีให้ ก็สามารถตรวจสอบได้เช่นกัน ซึ่งจะง่ายต่อการตัดสินใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การใช้งานโปรแกรม

จากรูปที่ 6.1 ในหน้าแรกที่จะเห็นนั้น สามารถเข้าไปทำรายการได้ โดยจะมี 2 วิธีหลักๆ คือ Field test กับ Non-Field test และออกจากโปรแกรม



รูปที่ 6.1 ส่วนประกอบหลักของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Field Test

ข้อมูล Nameplate

ขนาดมอเตอร์ 7.5 Hp

แรงดันที่ขั้ว 300 V

กระแสที่ขั้ว 11.8 A

ความเร็วขั้ว 1430 rpm

จำนวนขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว

ค่าที่ได้จากการวัด

แรงดัน (line) 302.0 V

กระแส (line) 11.24 A

ความเร็วรอบ 1439 rpm

กำลังกลออก 6130 W

Field Test

ข้อมูลมอเตอร์ที่ใช้อยู่

ขั้ว Load ที่ 91.46 % Load

ประสิทธิภาพ 82.06 %

การเลือกมอเตอร์

เลือกชื่อมอเตอร์ที่ต้องการ

Mitsubishi Teco

Select

Confirm

ข้อมูลมอเตอร์ตัวใหม่

ขั้ว Load ที่ 91.46 % Load

ประสิทธิภาพ 85.24 %

ราคา 10200 บาท

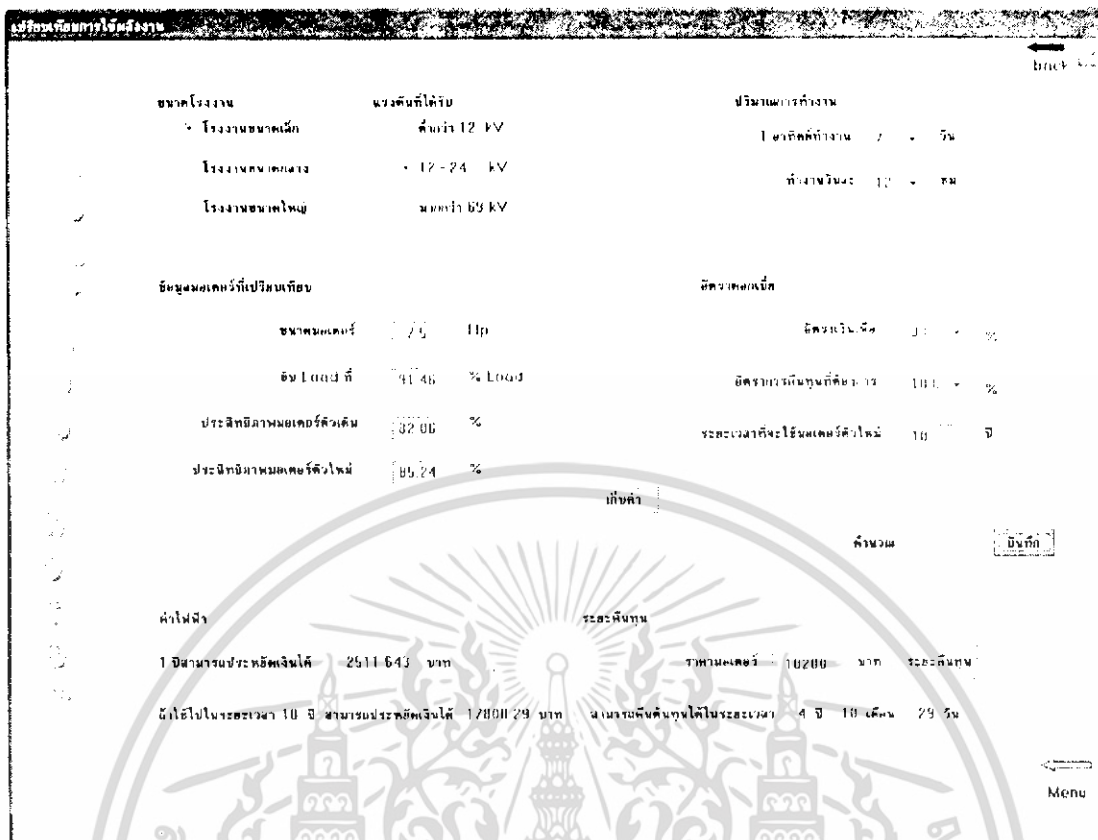
Compare

Menu

รหัส	ชื่อ	กำลัง	ความเร็ว	ขั้วแม่เหล็ก	เฟส
020	SF-JR	5595	1430	4	F
023	SF-JR	7460	1430	4	F
026	SF-J	11190	1430	4	F

รูปที่ 6.2 หน้าหลักของ Field test

ในรูปที่ 6.2 Field test เราต้องระบุข้อมูลจาก Nameplate และค่าที่ได้จากการวัด เมื่อระบุเรียบร้อยแล้วจึงทำการกดปุ่ม "Field Test" เพื่อหา %โหลด และประสิทธิภาพ ของมอเตอร์ที่ใช้อยู่ ในขั้นตอนการเลือกมอเตอร์ เลือกชื่อมอเตอร์ที่ต้องการ แล้วกดปุ่ม "Select" เพื่อเลือกแบบของมอเตอร์ แล้วจึงกดปุ่ม "Confirm" เพื่อจะทราบถึง %โหลด ประสิทธิภาพ และราคา ของมอเตอร์ตัวใหม่ แล้วจึงกดปุ่ม "Compare" เพื่อไปหน้าถัดไป



รูปที่ 6.3 หน้าเปรียบเทียบการให้พลังงาน

ในรูปที่ 6.3 ในหน้าต่างนี้เราต้องระบุเรื่อง ขนาดของโรงงาน แรงดันที่ได้รับ จำนวน ชั่วโมงที่ทำงานใน 1 วัน จำนวนวันที่ทำงานใน 1 สัปดาห์ อัตราเงินเพื่อ อัตราเงินคืนทุนที่ต้องการ และระยะเวลาที่จะใช้มอเตอร์ตัวใหม่ เมื่อระบุเรียบร้อยแล้ว ให้กดปุ่ม "คำนวณ" โปรแกรมจะทำการคำนวณหา ค่าไฟฟ้าว่า 1 ปีจะประหยัดเงินได้เท่าไร 10 ปีจะประหยัดได้เท่าไร แล้วจึงกดปุ่ม "ระยะคืนทุน" เพื่อหาระยะคืนทุนได้ในระยะเวลาเท่าใด และจะต้องบันทึกค่าที่ได้โดยการกดปุ่ม "บันทึก" เพื่อไปสู่นำหน้าต่างถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Record

Data

← back

1 สัปดาห์ทำงาน 7 วัน อัตราเงินเฟ้อ 3.0 %

ทำงานวันละ 12 ชม อัตราการคืนทุนที่คิดรวมการ 100 %

ระยะเวลาที่จะใช้มอเตอร์ตัวใหม่ 10 ปี

DATA

ยี่ห้อ	code	ราคา	การใช้งานวันต่อสัปดาห์	การใช้งานชั่วโมงต่อวัน	การใช้งานชั่วโมงต่อปี
Mitsubishi	SF-JR	10200	7	12	4380
Teco	TECO	7500	7	12	4380

Add Record Delete

รูปที่ 6.4 หน้าเปรียบเทียบมอเตอร์ทั้ง 2 ยี่ห้อ

เป็นหน้าต่างที่เปรียบเทียบมอเตอร์ทั้ง 2 ยี่ห้อ โดยต้องกดปุ่ม "Add" แล้วจึงกดปุ่ม "Record" โปรแกรมจะประมวลผลที่ได้คิดมาทั้งหมดมาเปรียบเทียบกันของทั้ง 2 ยี่ห้อ ไม่ว่าจะเป็น ราคา การใช้งานวันต่อสัปดาห์ ชั่วโมงต่อวัน ชั่วโมงต่อปี อัตราเงินเฟ้อ อัตราคืนทุนที่ต้องการ ประหยัดเงินได้เท่าไรใน 1 หรือ 10 ปี และระยะคืนทุนเป็นระยะเวลาที่ปี ก็เดือน ก็วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Non-Field test

ชื่อจาก Nameplate

ชื่อจาก Nameplate	Value	Unit	Slip Method	Value	Unit	Current Method	Value	Unit
ขนาดมอเตอร์	10	Hp	ความเร็วรอบ	1446	rpm	กระแส(Line)	14.95	A
แรงดันที่พิกัด	180	V	กำลังอินพุต	0520	W	กระแส no load	5.75	A
กระแสที่พิกัด	15.4	A				กำลังอินพุต	0520	W
ความเร็วที่พิกัด	1430	rpm	จำนวน			จำนวน		
จำนวนขั้วแม่เหล็ก	4	ขั้ว	กำลังเบรก	5754.86	W	กำลังเบรก	7115.23	W
ความถี่	50	Hz	ขั้ว load ที่	77.14	% load	ขั้ว load ที่	95.38	% load
			ประสิทธิภาพ	67.55	%	ประสิทธิภาพ	61.91	%

การเลือกมอเตอร์

เลือกชื่อมอเตอร์ที่ต้องการ

Mitsubishi Teco

Select

ข้อมูลมอเตอร์ตัวใหม่

Slip	Current
ขั้ว Load ที่ 77.14 % Load	ขั้ว Load ที่ 95.38 % Load
ประสิทธิภาพ 67.55 %	ประสิทธิภาพ 61.91 %

ราคา 12,700 บาท

Compare

Menu

รูปที่ 6.5 หน้าหลักของ Non Field test

ถ้าต้องการทำการวัดแบบ Non Field Test ซึ่งเป็นการวัดแบบใช้วิธี Slip method และ Current method ให้ทำการกดปุ่ม "Non Field Test" ของรูปที่ 6-4

เมื่อกดปุ่ม "Non Field Test" โปรแกรมจะแสดงกรอบให้กรอกข้อมูล ขนาดมอเตอร์ แรงดันที่พิกัด กระแสที่พิกัด ความเร็วที่พิกัด จำนวนขั้วแม่เหล็ก ความถี่ สำหรับ Slip method ต้องให้ข้อมูล ความเร็วรอบ กำลังอินพุต แล้วกดปุ่ม "คำนวณ" เพื่อหากำลังเอาต์พุต % ขั้ว Load ประสิทธิภาพ และ Current method ต้องกรอกข้อมูล กระแส(Line) กระแส no-load กำลังอินพุต แล้วกดปุ่ม "คำนวณ" เพื่อหากำลังเอาต์พุต % ขั้ว Load ประสิทธิภาพ

แล้วจึงเลือกชื่อมอเตอร์ที่ต้องการ แล้วกดปุ่ม "Select" แล้วจึงกด "Confirm" เพื่อหาข้อมูลมอเตอร์ตัวใหม่ แล้วกดปุ่ม "Compare" เพื่อไปหน้าถัดไป

ขนาดโรงงาน	แรงดันที่ได้รับ	ปริมาณการใช้งาน
โรงงานขนาดเล็ก	ต่ำกว่า 12 KV	1 คนต่อชั่วโมง 7 วัน
โรงงานขนาดกลาง	12 - 24 KV	จำนวนวันละ 12 คน
โรงงานขนาดใหญ่	มากกว่า 24 KV	

เมื่อใช้ slip method	เมื่อใช้ current method	ประสิทธิภาพ
ขนาดมอเตอร์ 10 Hp	ขนาดมอเตอร์ 10 Hp	คิดรวมในผล 100 %
รับ Load ที่ 77.14 % Load	รับ Load ที่ 95.38 % Load	คิดรวมวันชดเชยที่คิดรวม 100 %
eff มอเตอร์ตัวเดิม 67.55 %	eff มอเตอร์ตัวเดิม 80.54 %	ระยะเวลาที่จะใช้มอเตอร์ตัวใหม่ 10 ปี
eff มอเตอร์ตัวใหม่ 88.78 %	eff มอเตอร์ตัวใหม่ 88.65 %	

ค่าไฟฟ้าเมื่อใช้ slip method	ระยะคืนทุน
SM 1 ปีสามารถประหยัดเงินได้ 21493.903 บาท	ราคามอเตอร์ 12700 บาท ระยะคืนทุน
ถ้าใช้ไปในระยะเวลา 10 ปี สามารถประหยัดเงินได้ 155843.3 บาท	สามารถคืนต้นทุนได้ในระยะเวลา 0 ปี 7 เดือน 9 วัน
ค่าไฟฟ้าเมื่อใช้ current method	ระยะคืนทุน
CM 1 ปีสามารถประหยัดเงินได้ 5333.55 บาท	ราคามอเตอร์ 12700 บาท ระยะคืนทุน
ถ้าใช้ไปในระยะเวลา 10 ปี สามารถประหยัดเงินได้ 37816.449 บาท	สามารถคืนต้นทุนได้ในระยะเวลา 2 ปี 8 เดือน 7 วัน

รูปที่ 6.6 หน้าต่างแสดงผล

มาถึงในหน้าตอนนี้ ต้องระบุเรื่อง ขนาดของโรงงาน แรงดันที่ได้รับ จำนวนชั่วโมงที่ทำงานใน 1 วัน จำนวนวันที่ทำงานใน 1 สัปดาห์ อัตราเงินเฟ้อ อัตราเงินคินทุนที่ต้องการ และระยะเวลาที่จะใช้มอเตอร์ตัวใหม่ แล้วกดปุ่ม “เก็บค่า” เพื่อเก็บค่าข้อมูลต่างๆที่ได้กรอกไป แล้วจึงกดปุ่ม “SM” เพื่อหาค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เมื่อใช้วิธี Slip method และกดปุ่ม “ระยะคืนทุน” เพื่อหาระยะคืนทุน แล้วจึงกดปุ่ม “CM” เพื่อหาค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้เมื่อใช้วิธี Current method และกดปุ่ม “ระยะคืนทุน” เพื่อหาระยะคืนทุน แล้วจึงกดปุ่ม “บันทึก” เพื่อบันทึกข้อมูลต่างๆที่มีทั้งหมด เพื่อไปสู่นำถัดไป

Input

Data

จำนวนเงินคงเหลือ	7	50	จำนวนเงินคงเหลือ	0	0
จำนวนเงินคงเหลือ	12	00	จำนวนเงินคงเหลือ	100	0
			จำนวนเงินคงเหลือ	0	0

Current Method

14 < DATA > > X

รหัส	code	ราคา	การใช้งานต่อสัปดาห์	การใช้งานต่อปี	การใช้งานต่อปี	ราคาต่อปี
Mitsubishi	SF-JR	32700	7	32	0	327
Teeco	TECO	35300	7	32	0	353

Add Record Delete

Current Method

14 < DATA > > X

รหัส	code	ราคา	การใช้งานต่อสัปดาห์	การใช้งานต่อปี	การใช้งานต่อปี	ราคาต่อปี
Mitsubishi	SF-JR	32700	7	32	0	327
Teeco	TECO	35300	7	32	0	353

Add Record Delete

รูปที่ 6.7 เปรียบเทียบโดยวิธี Non Field test ของมอเตอร์ทั้ง 2 ยี่ห้อ

เป็นหน้าต่างที่เปรียบเทียบมอเตอร์ทั้ง 2 ยี่ห้อ สำหรับวิธี Slip method และ Current method โดยต้องกดปุ่ม "Add" แล้วจึงกดปุ่ม "Record" โปรแกรมจะประมวลผลที่ได้คิดมาทั้งหมดมาเปรียบเทียบกันของทั้ง 2 ยี่ห้อ ไม่ว่าจะเป็น ราคา การใช้งานวันต่อสัปดาห์ ชั่วโมงต่อวัน ชั่วโมงต่อปี อัตราเงินเฟ้อ อัตราค่านทุนที่ต้องการ ประหยัดเงินได้เท่าไรใน 1 หรือ 10 ปี และระยะคืนทุนเป็นระยะเวลากี่ปี กี่เดือน กี่วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ผลการทดสอบโดยการใช้โปรแกรม

6.3.1 Replacement Motor

-Field Test

ตารางที่ 6.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโปรแกรม Replacement แบบ Field Test

ข้อมูลจาก Nameplate				ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าไฟ ต่อ		ปริมาณ งาน	
hp	V	A	rpm	p.f.	V ₁	I ₁	rpm1	P _{m1}	หน่วย	ชม.	วัน
7.5	380	11.8	1430	0.84	382.8	11.24	1439	6130	2,4649	12	7

P _{out} (W)	% Load	ข้อมูลมอเตอร์ตัวใหม่				% eff		ราคา (บาท)	ประหยัด เงิน ต่อ ปี	ระยะเวลาคืนทุน		
		ยี่ห้อ	W	rpm	ขั้ว	Motor ปัจจุบัน	Motor ใหม่			ปี	เดือน	วัน
5606.5	91.46	Mitsubishi	5500	1430	4	82.06	85.24	10200	2511.643	4	10	29
		TECO	5500	1445	4	86.57	86.57	7500	3507.387	2	4	20

- Non Field Test

ตารางที่ 6.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบโปรแกรม Replacement แบบ Non Field Test

ข้อมูลจาก Nameplate				ค่าที่ได้จากการวัด				ค่าไฟ ต่อ		ปริมาณ งาน	
hp	V	A	rpm	p.f.	P _{in}	rpm	I	I _{no-load}	หน่วย	ชม.	วัน
7.5	380	11.8	1430	0.84	6130	1439	11.24	4.87	2.4649	12	7

Method	P _{out} (W)	ข้อมูลมอเตอร์ตัวใหม่				% eff		ราคา (บาท)	ประหยัด เงิน ต่อ ปี	ระยะเวลาคืนทุน		
		ยี่ห้อ	W	rpm	ขั้ว	% Load	Motor ปัจจุบัน			Motor ใหม่	ปี	เดือน
Slip	4875.64	Mitsubishi	5595	1430	4	87.14	79.54	10200	4519.293	2	6	12
		TECO	5595	1445		87.14	7500	5479.136	1	5	25	
Current	5142.88	Mitsubishi	5595	1430	4	91.92	83.90	10200	1025.077	17	1	25
		TECO	5595	1445		91.92	7500	2033.669	4	4	20	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 สรุป

6.4.1 Replacement Motor

ในส่วนของการ replacement นี้ จะเห็นได้ว่าการแสดงตารางมี 2 ส่วนด้วยกันคือ field test และ non field test

- Field test จากตาราง 6.1 โดยจะให้มอเตอร์ที่ใช้งานอยู่มีขนาด 5500w หรือ 7.5hp ซึ่งจะหามอเตอร์ตัวใหม่มาเปลี่ยน ในส่วนนี้จำเป็นต้องใส่ค่าแรงดัน กระแส ความเร็ว และกำลังอินพุต ดังที่แสดงไว้ในตาราง 6.1 เพื่อที่จะหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่มีอยู่แล้ว แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ มอเตอร์ตัวใหม่ที่โปรแกรมได้เลือกให้อย่างเหมาะสม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับกันแล้ว ก็จะสามารถเห็นการประหยัดค่าไฟฟ้าต่อ 1 ปี และระยะเวลาการคืนทุน ซึ่งจะช่วยให้ง่ายต่อการตัดสินใจในการเลือกซื้อหรือเปลี่ยน

- Non field test กรณีนี้จะใช้มอเตอร์ขนาด 5500w หรือ 7.5hp เป็นตัวทดสอบ ในการหามอเตอร์ตัวใหม่มาทำการเปลี่ยนในกรณีนี้ ค่าที่ได้จากการวัดจะมีกำลังอินพุต, ความเร็วรอบ, กระแสขณะทำงาน และกระแสขณะไม่มีโหลดต่ออยู่ โดยโปรแกรมจะนำค่าเหล่านี้ไปทำการหาประสิทธิภาพโดยใช้ slip method และ current method แล้วนำมาเปรียบเทียบกับมอเตอร์ตัวใหม่ พอนำมาเปรียบเทียบ ก็จะทราบถึงการประหยัดค่าไฟฟ้าและระยะเวลาคืนทุน เมื่อนำมอเตอร์ตัวนั้นๆ มาทำการเปลี่ยนซึ่งจะแสดงอยู่ในตาราง 6.2

บทที่ 7

บทสรุป

การหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะทำงานจริงมีประโยชน์มาก โดยเฉพาะด้านพลังงาน การจะใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าจำเป็นต้องทราบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะมีมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ การที่เราจะทราบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จำเป็นต้องทราบค่ากำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุต แต่เนื่องจากความเป็นจริงแล้วการวัดค่ากำลังทางกลด้านเอาต์พุตของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะทำงานจริงนั้นทำได้ยาก และเสียเวลามาก เนื่องจากต้องใช้เทอร์มิเตอร์ต่อเข้าไประหว่างเพลามอเตอร์กับโหลด ซึ่งในขณะทำงานจริงไม่สามารถทำได้ ดังนั้นเราจึงทำการศึกษา วิธีการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะทำงานจริง ด้วยวิธีการพื้นฐานต่างๆ ซึ่งได้แก่ การคำนวณจากป้ายพิกัด (nameplate method), วิธีคำนวณจากสลิป (slip method), วิธีคำนวณจากกระแส (current method) และการทดสอบตามมาตรฐาน (IEEE 112 method B) เพื่อเป็นตัวอ้างอิงกับวิธีที่ทำการศึกษา

วิธีการคำนวณจากสลิป (slip method) ทำได้โดยใช้ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งวิธีการนี้นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน (IEEE 112 method B) นั้นจะนำเอาค่าแฟคเตอร์ต่างๆ มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ ทำการทดสอบด้วยภาระทางไฟฟ้า

จากนั้นนำผลการทดสอบค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีต่างๆ มาเปรียบเทียบโดยใช้กราฟ พบว่า วิธีการคำนวณจากสลิป (slip method) มีความแม่นยำน้อยแต่สะดวกในการใช้งาน วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน (IEEE 112 method B) มีความแม่นยำสูงแต่ยุ่งยากและไม่สะดวกต่อการใช้งานจริง ดังนั้นโครงการนี้จึงทำการศึกษาอีกหนึ่งวิธี ซึ่งนำมาใช้ในการหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำหน้างานจริงได้โดยไม่ต้องมีข้อมูล กระแส อินพุต, แรงดันอินพุต, กำลังไฟฟ้าอินพุต และความเร็วรอบของมอเตอร์ และการประมาณค่าประสิทธิภาพโดยใช้ข้อมูลจากแคทาล็อก แล้วจึงนำไปเปรียบเทียบการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะใช้งานจริง (Field Test) เพื่อหาค่าประสิทธิภาพ

การเปรียบเทียบสมรรถนะต่างๆของมอเตอร์ที่ได้จากวิธีต่างๆ ได้แก่ EPMI ECM STM FEE CM SM โดยทำการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในห้องปฏิบัติการตามวิธี ECM และ STM โดยมีข้อมูลของมอเตอร์ในแคทาล็อก ตามตารางที่ 7.1

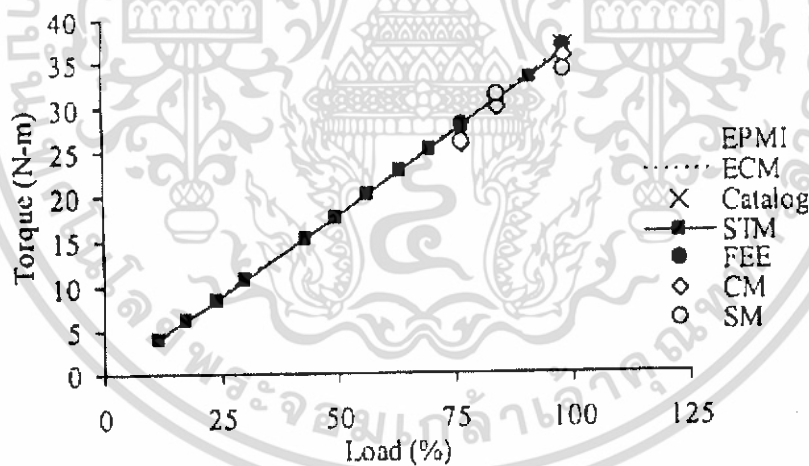
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mitsubishi 7.5 Hp , 380 V , 50 Hz

ตารางที่ 7.1 ข้อมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในแคตาล็อกของบริษัทผู้ผลิต

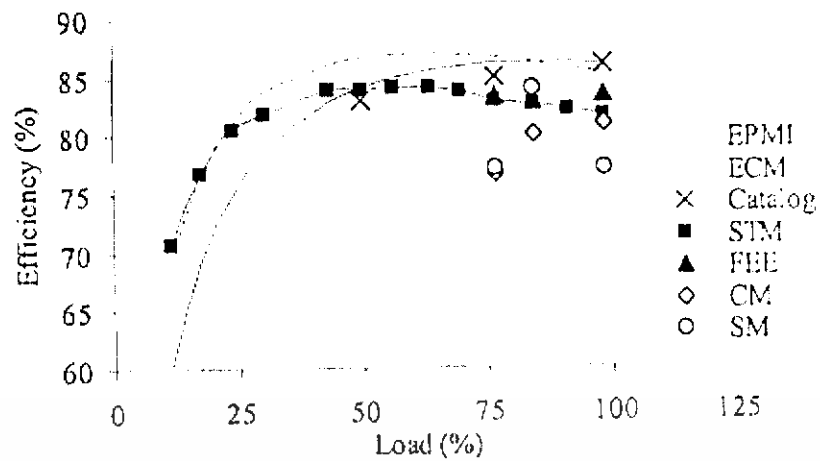
Load (%)	Current (A)	Power Factor	Efficiency (%)	Speed (rpm)	Torque (N-m)
100	11.6	0.84	86	1430	2.38
75	8.94	0.82	85	-	-
50	6.49	0.77	83	-	-

จากตารางที่ 7.1 บริษัทผู้ผลิตมอเตอร์ส่วนใหญ่จะให้ข้อมูลที่ครบถ้วนที่ 100 % load เท่านั้น ส่วนที่ 75 % และ 50 % load จะมีเพียงบางบริษัทที่ระบุข้อมูลแต่ก็ไม่ครบถ้วน ดังนั้นในกรณีที่นำมอเตอร์ไปใช้งานที่ % load อื่นๆ ผู้ซื้อจะไม่ทราบข้อมูลที่แม่นยำได้ รูปที่ 7.1 และรูปที่ 7.2 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของมอเตอร์ที่ได้จากการใช้วิธีต่างๆ จะเห็นว่าค่าที่ได้จากวิธี STM จะเป็นค่าที่เชื่อถือได้มากที่สุดเพราะได้มาจากการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้ และกำลังทางกลจริงของมอเตอร์ตัวนั้นๆ



รูปที่ 7.1 การเปรียบเทียบการวัดแรงบิดของมอเตอร์ 7.5 Hp, 380 V, 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 การเปรียบเทียบการวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีต่างๆของมอเตอร์

จากรูปที่ 7.1 ในกรณีค่าแรงบิด วิธีการส่วนใหญ่ให้ผลที่แตกต่างกันเล็กน้อย ยกเว้นวิธี CM (ข้อมูลกระแส) และ SM (ข้อมูลความเร็ว) ซึ่งจะแตกต่างกันมากเพราะใช้ข้อมูลในการพิจารณาน้อยกว่าวิธีการอื่น ๆ

จากรูปที่ 7.2 ในกรณีค่าประสิทธิภาพ จะเห็นได้ว่าวิธี EPMI และ ECM จะมีค่าใกล้เคียงกันกับข้อมูลที่ระบุในแคทาล็อก แต่จะแตกต่างจากสภาพจริง (STM) ของมอเตอร์อย่างมากเมื่อใช้งานในช่วง 75 % load ขึ้นไป ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากมอเตอร์ที่ใช้ทดสอบได้มีการใช้งานมานานแล้ว ส่วนวิธี FEE จะมีค่าใกล้เคียงกับวิธี STM เพราะใช้ข้อมูลจริงขณะใช้งาน และพบว่าการใช้วิธี CM และ SM จะมีความคลาดเคลื่อนอย่างมากถึงแม้จะใช้ข้อมูลจริงขณะใช้งานเช่นเดียวกันจึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการจัดการพลังงาน ดังนั้นสรุปได้ว่าวิธี EPMI จะเหมาะสมสำหรับการพิจารณาเลือกซื้อมอเตอร์ใหม่โดยใช้ค่าประสิทธิภาพที่อ้างอิงกับข้อมูลในแคทาล็อก ส่วนวิธี FEE จะเหมาะสมสำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์ขณะใช้งานจริง และใช้งานร่วมกับวิธี EPMI ในการพิจารณาเลือกซื้อมอเตอร์ใหม่ที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่ามาทดแทน

เอกสารอ้างอิง

- [1] " Comparison of induction Motor Field Efficiency Evaluation Method " ,
IEEE Transaction on Industry Application,vol 34, no.1 , 1998
- [2] Rochelle , " IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motor and Generators " , **IEEE** , 2004
- [3] รศ.ดร. ชัยวุฒิ จัตโรทัย , **Electrical Machines Part 2** , เอกสารประกอบการสอน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2546
- [4] รศ.ดร. ชัยวุฒิ จัตโรทัย , **Electrical Machines Part 1** , เอกสารประกอบการสอน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2546
- [5] นภัทร วัฒนเทพินทร์ , **ทฤษฎีเครื่องกลไฟฟ้า 2** , พิมพ์ครั้งที่ 1 , สกายบุ๊กส์; 2544
- [6] มงคล ทองสงคราม , **เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ** , พิมพ์ครั้งที่ 3 , ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พรินติ้ง , 2541
- [7] ผศ. ศุภชัย สุรินทร์วงศ์ , **อินดักชันมอเตอร์ 3 เฟส** , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี แห่งชาติพิมพ์ครั้งที่ 1 , 2544
- [8] T.Phumiphak and C.Chat-uthai , " Effective Estimation of Induction Motor Field Efficiency Based on On-site Measurements " , **Proceeding of The First Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunicaion, and Information Technology (ECTI) Annual Conference** , May 13-14, 2004
- [9] MITSUBISHI ELECTRIC Characteristics and Performance of 4 Pole Three Phase Motor , " Super Line Induction Motors " , **Oriental Electric Industry Company Limited**
- [10] Yehai El-Ibiary , " An Accurate Low-Cost Method for Determining Electric Motor's Efficiency for the Purpose of Plant Energy Managenent " , **IEEE transaction on Industry Application** ,vol 39, no. 4 , 2003
- [11] John J. Stoker ; " What's the Real Cost of Higher Efficiency " , **IEEE Industry Application Magazine** , 2003
- [12] TECO SPECIFICATION TABLE , " 3-phase Induction Motors " , **TECO ELECTRIC & MACHINERY (THAI) C ; LTD.**
- [13] Edward Swan , " Pushing Motor Efficiency to Limit " , **Machine Design** , Oct 8,1993
- [14] "การไฟฟ้านครหลวงฝ่ายบำรุงรักษา" ; **บันทึกผลการทดสอบประสิทธิภาพมอเตอร์ ตามมาตรฐาน IEEE std 112-1996 (Method B)** , เอกสารส่วนราชการ . 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cold Stator Winding Resistance Between terminals (1) Ohms at (2) °C From 6.4.1.1			
Hot Stator Winding Resistance Between Terminals (3) Ohms at (4) °C in (5) °C From 6.4.1.2			
Rated Load Temp. Test Stator Temperature Rise (6)°C (6) = (4) - (5)		$(4) = \{[(3) \div (1)] \times [k_1 + (2)]\} - k_1$	
Total Stator Temperature, t_s , (7) °C in 25 °C Ambient ถ้า (6) & (7) ไม่เท่ากับ (3), (4) และ (5) จะไม่มี			
Item	Description(Motoring)(Generating)	Source or Calculation	
8	Ambient Temperature , in °C		
9	Stator Winding Temperature , t_s , in °C		
10	Frequency , in Hz		
11	Synchronous Speed , in r/min		
12	Speed , in r/min		
13	Slip Speed , in r/min		
14	Slip Speed , in p.u.		
15	Line-to-Line Voltage , in V		
16	Line Current , in A		
17	Stator Power , in w		
18	Core Loss , in w		
19	Stator I^2R Loss , in w		
20	Power Across Air Gap , in w		
21	Rotor I^2R Loss , in w		
22	Friction And Windage Loss , in w		
23	Total Conventional Loss , in w		
24	Torque , in N.m		
25	Dynamometer Correction , in w		
26	Corrected Torque , in N.m		
27	Shaft Power , in w		
28	Apparent Total Loss , in w		
29	Stray-Load Loss , in w		
Intercept (30)	Slope (31)	Correlation Factor (32)	Point Deleted (33)
34	Stator I^2R Loss , in w , at t_s		
35	Corrected Power Across Air Gap , in w		
36	Corrected Slip , in p.u.		
37	Corrected Speed , in r/min		
38	Rotor I^2R Loss , in w , at t_s		
39	Corrected Stray-Load Loss , in w		
40	Corrected Total Loss , in w		
41	Corrected Shaft Power , in w		
42	Efficiency , in %		
43	Power Factor , in %		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Calculation Form

- (11) Is equal to $120 \cdot (10) / \text{number of poles}$
- (13) Is equal to (11) -(12) when speed is measured
- (12) Is equal to (11) -(13) when slip is measured For generator For generator operation slip is negative
- (19) Is equal to $1.5 \cdot (16)^2 \cdot (1) \cdot [K1 + (2)]$ where $K1 = 234.5$ for 100% LACS conductivity copper or 225 for aluminium , based on volume conductivity of 62%
- (20) Is equal to (17) – (18) – (19) for motor operation , and (17) + (18) + (19) for generator operation
- (21) Is equal to $[(20) \cdot (12)] / (11)$ positive for motor or generator operation
- (23) Is equal to (18) + (19) + (20) + (21) + (22)
- (25) 2"Corrects" for windage and bearing loss torque of dynamometer , and is equal to

$$\frac{k(W_A - W_B)}{P_I} - C$$

where

$$W_A = (P_I - W_I - W_B) \cdot (1 - s_1)$$

$$W_B = P_o - W_o - W_h$$

P_I = input power , in W , required to drive machine as a motor when couple to dynamometer with dynamometer armature circuit open (Test "A")

W_I = stator I^2R loss , in W during Test "A"

s_1 = slip , input , during Test "A"

P_o = input power , in W , required to drive machine as a motor running free and uncoupled (Test "B")

W_o = stator I^2R loss , in W , during Test "B"

W_h = core loss , in W

c = torque output registered by dynamometer during Test "A"

k = 9.549 for torque , in N*m

k = 7.043 for torque , in lbf*ft

n = rotational speed , in r/min during Test "A"

- (26) Is equal to (24)+(25) for motor operation , and (24) –(25)For generator operation

- (27) Is equal to $[(26) \cdot (12)] / k$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (28) Is equal to (17) –(27) for motor operation , and (27) –(17) for generator operation
- (29) Is equal to (28) –(23)
- (34) Is equal to $1.5 \cdot (16)^2 \cdot (3) \cdot [k_1 + (4) - (5) + 25^\circ\text{C}] / k_1 + (4)$
- (35) Is equal to $[(36)/(11)] \cdot [(17) - (34) - (18)]$
- (36) Is equal to See 4.3.2.2 Eq 4
- (37) Is equal to synchronous speed –(36)
- (38) Is equal to $\frac{(35) \cdot (36)}{(11)}$ positive for motor or generator operation
- (39) Is equal to AT^2

where

A =slope of curve of (29) vs. $(23)^2$ using a linear regression analysis

T =corrected torque = (26)

- (40) Is equal to (18)+(22)+(34)+(38)+(39)
- (41) Is equal to (17) –(40) for motor operation , and (17)+(40) for generator operation
- (42) Is equal to $100 \cdot (41)/(17)$ for motor operation , and $100 \cdot (41)/(17)$ for generator operation
- (43) Is equal to $\frac{(17) \cdot 100}{m \cdot (15) \cdot (16)}$

Where $m = \sqrt{3}$ for three phase power



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Form F1-Method F-F1

When the impedance data are determined following Method 1 or 2 a relation ship between x_1 and x_2 must be assumed. When design details are available , use the calculated ratio x_1/x_2

Otherwise , use

$$\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = 1.0 \text{ for Design A, Design D, and wound rotors} \quad (1)$$

$$\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = 0.67 \text{ for Design B} \quad (2)$$

$$\left(\frac{x_1}{x_2}\right) = 0.43 \text{ for Design C} \quad (3)$$

$$Q = \sqrt{(mVI_1)^2 - P^2} \quad (4)$$

$$x_M = \frac{mV^2_o}{Q_o - mL^2_o x_1} \left(\frac{1}{1 + \frac{x_1}{x_M}} \right)^2 \quad (5)$$

$$x_{1L} = \frac{Q_L}{mL^2_{1L} \left(1 + \frac{x_1}{x_2} + \frac{x_1}{x_M} \right)} \left(\frac{x_1}{x_2} + \frac{x_1}{x_M} \right) \quad (6)$$

$$x_1 = \frac{f}{f_L} x_{1L} \quad (7)$$

- 1) Solve Equation (5) for x_M , assuming a value of x_1/x_M and x_1
- 2) Solve Equation (6) for x_{1L} , assuming a value of x_1/x_M as above
- 3) Solve Equation (7) for x_1
- 4) Solve Equation (5) for x_M , using x_1 from (7) and a ratio of x_1/x_M from (5) and (7)
- 5) Continue iteration solution until stable values of x_1 and x_M are obtained within 0.1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B_M = \frac{1}{x_M} \quad (8)$$

$$x_2 = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_1 \\ x_3 \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$W_{sc} = W_{sc} - W_f - mL_{1L}^2 R_{1L} \quad (10)$$

$$G_{sc} = \frac{W_{sc}}{mV_{sc}^2} \left(1 + \frac{x_1}{x_M}\right)^2 \quad (11)$$

$$R_{sc} = \frac{1}{G_{sc}} \quad (12)$$

$$R_{2L} = \left(\frac{W_{1L}}{mL_{1L}^2} - R_{1L} \right) \left(1 + \frac{x_2}{x_M}\right)^2 - \left(\frac{x_2}{x_1} \right)^2 (x_{1L}^2 \mu G_{sc}) \quad (13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Nomenclature

V	=	phase voltage , V
f	=	frequency , in Hz
I_1	=	line or stator current , in A
I_2	=	rotor current , in A
m	=	number of phase
$R_{1,t}$	=	stator resistance at temperature during no-load test , in Ω
$R_{2,t}$	=	stator resistance at temperature during impedance test , in Ω
R_2	=	rotor resistance referred to stator at specified temperature , in Ω
x_1	=	stator leakage reactance , in Ω
x_2	=	rotor leakage reactance referred to stator , in Ω
x_M	=	magnetizing reactance , in Ω
B_M	=	magnetizing susceptance , in Ω
R_{fe}	=	core resistance , in Ω
G_{fe}	=	core conductance , in Ω
Q	=	reactive volt-ampere , in vars
W	=	power , in w
W_h	=	core loss , in w
W_f	=	friction and windage loss , in w
W_{sl}	=	stray-load loss , in w
L	=	to impedance test
O	=	quantities pertaining to no-load test or operation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้