

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบโดยใช้เทคนิคของโมเมนต์ความเฉื่อย
ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

INERTIA TECHNIQUE FOR EVALUATION TORQUE-SPEED
CHARACTERISTICS OF THREE PHASE INDUCTION MOTOR



เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 61772

วัน,เดือน,ปี 21 ก.ค. 2549

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบ โดยใช้เทคนิคของโมเมนต์ความเฉื่อยของมอเตอร์
เหนี่ยวนำ 3 เฟส

INERTIA TECHNIQUE FOR EVALUATION TORQUE-SPEED
CHARACTERISTICS OF THREE PHASE INDUCTION MOTOR

ผู้จัดทำ

1. นาย มนตรี คงกะพันธ์ รหัสประจำตัว 44010370
2. นาย มุนินทร์ ตียะวงศ์สุวรรณ รหัสประจำตัว 44010381
3. นาย รัฐเขต คนยืน รหัสประจำตัว 44010395
4. นาย วรเดช เกรียงสันติกุล รหัสประจำตัว 44010409





อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.พิชิต ถ้ายอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบโดยใช้เทคนิคของโมเมนต์ความเฉื่อยของมอเตอร์เหนี่ยวนำ สามเฟส

นายมนตรี คงกะพันท์ 44010370

นายมนินทร์ ดิยะวงศ์สุวรรณ 44010381

นายรัฐเขต คนยืน 44010395

นายวรเดช เกรียงสันติกุล 44010409

รศ.พิชิต ถ้ายองอาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2547

บทคัดย่อ

ปฏิญานี้พจนนี้นำเสนอการหาคุณสมบัติแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 1 แรงม้า และ 3 แรงม้า โดยอาศัยวิธีการเร่งความเร็ว ได้ระบุไว้ใน IEEE standard 112-1996 [1] ซึ่งวิธีการทดสอบกระทำโดยการสตาร์ทมอเตอร์ที่อยู่ในสถานะไร้ภาระ (no-load) โดยทำการสตาร์ทมอเตอร์ 3 วิธี 1. สตาร์ทตรงแบบสตาร์ท(star direct on-line starting) 2. สตาร์ทแบบเดลต้า (delta direct on-line starting) 3. สตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลต้า (star-delta starting) และ 4. สตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์ โดยแรงบิดของมอเตอร์สามารถคำนวณได้จากข้อมูลความเร็วรอบของมอเตอร์ขณะเร่งความเร็วรอบจากหยุดนิ่งจนถึงความเร็วเชิงโรตอร์ในสถานะคงตัว (steady state) โดยคุณสมบัติแรงบิด-ความเร็วรอบที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็วที่ได้จากการคำนวณจากวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าวิธีการทดสอบหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบด้วยวิธีนี้ เป็นวิธีที่สะดวกและเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

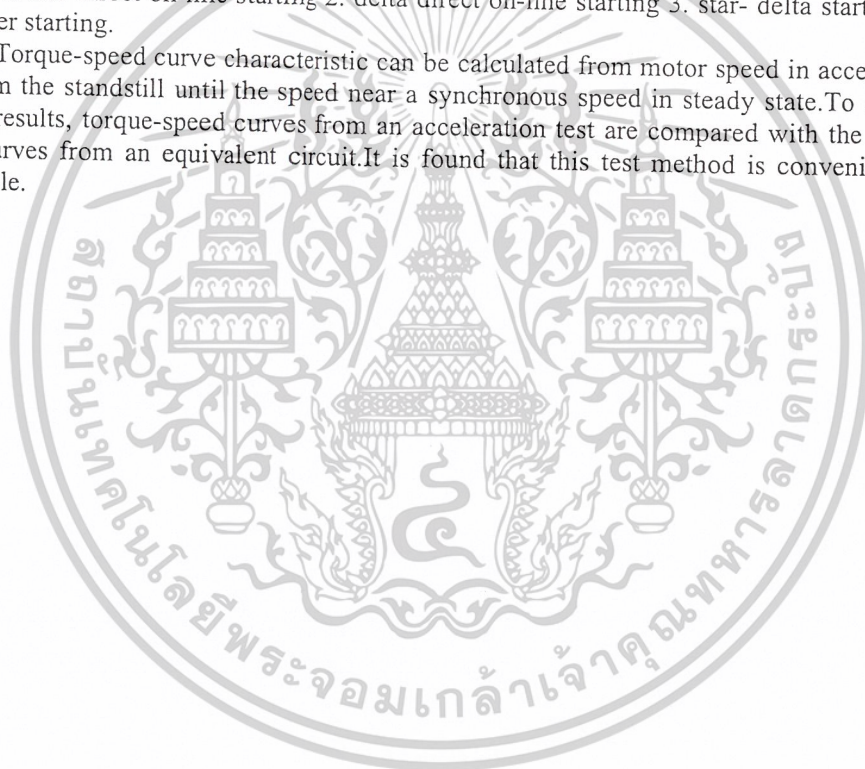
Inertia Technique for Evaluation Torque-Speed Characteristics of Three Phase Induction Motor

Montree Kongkaphan
 Munin Tiyawongsuwan
 Rattaket Konyune
 Voradej Kriengsantikul
 Assoc. Prof. Pichit Lumyong Advisor

ABSTRACT

This thesis presents a method to evaluate torque-speed curve characteristic of 1 hp and 3 hp 3 phase induction motor by using acceleration method. This method is specified in IEEE standard 112-1993 [1]. Test is performed on stating an induction motor at a no-load state by 1. star direct on-line starting 2. delta direct on-line starting 3. star- delta starting and 4. inverter starting.

Torque-speed curve characteristic can be calculated from motor speed in acceleration test, from the standstill until the speed near a synchronous speed in steady state. To confirm the test results, torque-speed curves from an acceleration test are compared with the torque-speed curves from an equivalent circuit. It is found that this test method is convenient and reasonable.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จากท่านผู้มีพระคุณต่อไปนี้

1. รศ.พิชิต ถ้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆ ที่เป็นแนวทางในการทำโครงการให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และยังให้คำสอนที่เป็นประโยชน์ต่อไปในการทำงานในภายภาคหน้า

2. นายเจตนิพัทธ์ เจริญสุข นักศึกษาปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งเป็นผู้คอยให้คำปรึกษา แนะนำช่วยเหลือในการทำงาน

และต้องขอขอบคุณศูนย์พัฒนาวิศวกรรมที่อำนวยความสะดวกในเรื่องสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือในการทดลอง

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆที่ยังไม่ได้กล่าวถึงอีกมากมาย



นายมนตรี คงกะพันท์

นายมนินทร์ ดิยะวงศ์สุวรรณ

นายรัฐเขต คนยี่น

นายวรเดช เกรียงสันติกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 วิธีการดำเนินการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	2
2.1 บทนำ	4
2.1.1 สเตเตอร์	4
2.1.2 โรเตอร์	5
2.1.2.1 โรเตอร์แบบกรงกระรอก	5
2.1.2.2 โรเตอร์แบบขดลวดพันรอบโรเตอร์	6
2.2 หลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	6
2.3 การเกิดแรงบิดในมอเตอร์เหนี่ยวนำ	7
2.3.1 การเกิดแรงบิดในมอเตอร์ชนิดไม่มีขั้วยื่น	7
2.3.2 การเกิดแรงบิดในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	11
2.4 วงจรสมมูลย์	11
2.5 การวิเคราะห์วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	15
2.6 การสลับทำแบบสตาร์ท-เคลด้า	17
2.7 อินเวอร์เตอร์เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ	18
2.7.1 Voltage-Source Inverter	18
2.7.2 Current-Source Inverter	18
บทที่ 3 วิธีการหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	20
3.1 บทนำ	20
3.2 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	20
3.3 การคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้าที่
3.4 การคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีเร่งความเร็ว	22
3.4.1 สมการแรงบิดมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาวะ dynamic	23
3.4.2 เทคนิคในการเพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อยให้แก่โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	24
3.4.3 การคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของล้อช่วยแรงที่ใช้ในการทดสอบ	24
3.5 การคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์	25
3.6 กระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณหาคุณลักษณะแรงบิด- ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	26
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	27
4.1 บทนำ	27
4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ	27
4.2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	27
4.2.2 DC Tachogenerator	27
4.2.3 ล้อช่วยแรง	28
4.2.4 Analyzing Recorder	29
4.2.5 แท่นสำหรับทดสอบมอเตอร์	29
4.2.6 แท่นสำหรับทดสอบภาระของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	30
4.3 วิธีการทดสอบ	30
4.3.1 การทดสอบด้วยวิธีห้วงความเร็ว	30
4.3.2 การทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็ว	31
4.3.3 การทดสอบภาระของมอเตอร์	31
4.4 ผลการทดลอง	31
4.4.1 การทดสอบด้วยวิธีห้วงความเร็ว	31
4.4.2 การทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็ว	34
4.4.2.1 สตาร์ทด้วยวิธีสตาร์ทตรง	34
4.4.2.1.1 ต่อแบบสตาร์ท	34
4.4.2.1.2 ต่อแบบเดลต้า	40
4.4.2.2 สตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลต้า	45
4.4.2.3 สตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์	62
บทที่ 5 บทสรุป	78
บรรณานุกรม	80

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 4-1 พิกัดต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดสอบ	25
ตารางที่ 4-2 ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และมวลของล้อช่วยแรงที่ใช้ในการทดสอบ	26
ตารางที่ 4-3 ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์ที่ได้จากการห้วงความเร็ว	29
ตารางที่ 4-4 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	34
ตารางที่ 4-5 ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทแบบสตาร์ท-เคลด้า มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2	52
ตารางที่ 4-6 ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทแบบสตาร์ท-เคลด้า มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2	52
ตารางที่ 4-7 ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทแบบสตาร์ท-เคลด้า มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2	61
ตารางที่ 4-8 ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทแบบสตาร์ท-เคลด้า มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2	61
ตารางที่ 4-9 ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์กับมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2	65
ตารางที่ 4-10 ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2	68
ตารางที่ 4-11 ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2	73
ตารางที่ 4-12 ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้าที่
รูปที่2-1 สเคตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส	4
รูปที่2-2 โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก	5
รูปที่2-3 เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสองขั้วอย่างง่าย (a) แบบจำลองพื้นฐาน (b) ไดอะแกรมเวกเตอร์ของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก	8
รูปที่2-4 วงจรสมมูลย์ทางด้านสเคตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	12
รูปที่2-5 วงจรสมมูลย์ทางด้านโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ความถี่สถิต	13
รูปที่2-6 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	14
รูปที่2-7 วงจรสมมูลย์ในอีกรูปแบบหนึ่ง	16
รูปที่2-8 การต่อแบบสตาร์และเดลต้า	17
รูปที่3-1 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	20
รูปที่3-2 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำของมอเตอร์ ในการออกแบบต่างๆ ตามมาตรฐาน NEMA	21
รูปที่3-3 รูปทรงของล้อช่วยแรงที่ใช้เพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อยให้แก่โรเตอร์	25
รูปที่4-1 ล้อช่วยแรงที่ใช้ในการทดสอบ	28
รูปที่4-2 Analyzing Recorder ที่ใช้ในการทดสอบ	29
รูปที่4-3 แท่นสำหรับทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ	29
รูปที่4-4 แท่นสำหรับทดสอบภาระของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	30
รูปที่4-5 ผลการทดสอบ retardation test ของมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าเมื่อทำการทดสอบ กับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2	32
รูปที่4-6 ผลการทดสอบ retardation test ของมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าเมื่อทำการทดสอบ กับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2	32
รูปที่4-7 ผลการทดสอบ retardation test ของมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าเมื่อทำการทดสอบ กับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2	33
รูปที่4-8 ผลการทดสอบ retardation test ของมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าเมื่อทำการทดสอบ กับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2	33
รูปที่4-9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลา ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2	35
รูปที่4-10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลา ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2	35
รูปที่4-11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลา ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้าที่
รูปที่4-28 เปรียบเทียบกราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า ที่ได้จากการทดสอบภาระกับกราฟที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็ว	44
รูปที่4-29 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อยช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m ²	45
รูปที่4-30 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อยช่วยแรง ขนาด 0.0868 kg-m ²	45
รูปที่4-31 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 3 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อยช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m ²	46
รูปที่4-32 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 3 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อยช่วยแรง ขนาด 0.0868 kg-m ²	46
รูปที่4-33 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อยช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m ²	47
รูปที่4-34 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อยช่วยแรง ขนาด 0.0868 kg-m ²	47
รูปที่4-35 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อยช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m ²	48
รูปที่4-36 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อยช่วยแรง ขนาด 0.196 kg-m ²	48
รูปที่4-37 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อยช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m ²	49
รูปที่4-38 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้า ซึ่งทดสอบกับล้อยช่วยแรง ขนาด 0.196 kg-m ²	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้าที่
รูปที่4-39 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 6 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลต้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.196 kg-m^2	50
รูปที่4-40 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 6 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลต้า ซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.196 kg-m^2	50
รูปที่4-41 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 8 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลต้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.196 kg-m^2	51
รูปที่4-42 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 8 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลต้า ซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.196 kg-m^2	51
รูปที่4-43 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลต้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2	53
รูปที่4-44 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลต้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.448 kg-m^2	53
รูปที่4-45 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลต้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2	54
รูปที่4-46 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลต้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.448 kg-m^2	54
รูปที่4-47 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 6 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลต้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2	55
รูปที่4-48 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 6 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลต้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.448 kg-m^2	55
รูปที่4-49 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 8 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลต้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่4-50	กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 8 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อย่อยแรง ขนาด 0.448 kg-m ²	56
รูปที่4-51	กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อย่อยแรงขนาด 0.497 kg-m ²	57
รูปที่4-52	กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อย่อยแรง ขนาด 0.497 kg-m ²	57
รูปที่4-53	กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อย่อยแรงขนาด 0.497 kg-m ²	58
รูปที่4-54	กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อย่อยแรง ขนาด 0.497 kg-m ²	58
รูปที่4-55	กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 6 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อย่อยแรงขนาด 0.497 kg-m ²	59
รูปที่4-56	กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 6 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อย่อยแรง ขนาด 0.497 kg-m ²	59
รูปที่4-57	กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 8 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อย่อยแรงขนาด 0.497 kg-m ²	60
รูปที่4-58	กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ 8 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้าซึ่งทดสอบกับล้อย่อยแรง ขนาด 0.497 kg-m ²	60
รูปที่ 4-59	กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 3 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อย่อยแรงขนาด 0.0868 kg-m ²	62
รูปที่ 4-60	กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 3 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อย่อยแรงขนาด 0.0868 kg-m ²	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 4-83 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์
เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 7 วินาที เมื่อทดสอบ
กับล้อยช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 75
- รูปที่ 4-84 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบ
ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 7 วินาที
เมื่อทดสอบกับล้อยช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 76
- รูปที่ 4-85 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์
เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 9 วินาที เมื่อทดสอบ
กับล้อยช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 76
- รูปที่ 4-86 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบ
ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 9 วินาที
เมื่อทดสอบกับล้อยช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 77



บทที่ 1

บทนำ

Introduction

1.1 ความสำคัญและที่มา

จากอดีตจนถึงปัจจุบัน ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมได้มีการนำเอามอเตอร์เหนี่ยวนำไปใช้ เป็นต้น กำลังการผลิตและประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายและกว้างขวาง เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำมีข้อ ได้เปรียบกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นที่ขายในท้องตลาด เพราะเมื่อเทียบแล้วมอเตอร์เหนี่ยวนำมีความแข็งแรงทนทาน และมีความน่าเชื่อถือสูง มีหลายกำลังพิกัดตั้งแต่หนึ่งแรงม้าถึงหลายร้อยแรงม้า มีโครงสร้างบำรุงรักษาได้ง่าย สามารถขับสาร์ทมอเตอร์ได้หลายแบบ จึงสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายทุกกระบวนการผลิต ซึ่งเป็น หน้าที่ของวิศวกรหรือผู้ที่ใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำจำเป็นต้องทราบคุณลักษณะต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ อย่างชัดเจน จึงจะเลือกใช้มอเตอร์ได้อย่างถูกต้องกับงานและประเภทของงาน คุณสมบัติที่มีความสำคัญอย่าง ยิงในการตัดสินใจในการเลือกชนิดและขนาดของมอเตอร์คือ คุณสมบัติแรงบิด-ความเร็วรอบ เนื่องจากเป็น คุณสมบัติที่ใช้ในการตัดสินใจว่ามอเตอร์ที่เลือกเหมาะสมกับภาระที่ต้องการขับหรือไม่ เพราะภาระใน กระบวนการอุตสาหกรรมมีหลากหลาย เช่น พัดลม งานเจาะ งานบด งานโม้ เป็นต้น ซึ่งภาระแต่ละชนิดมี คุณสมบัติแรงบิด-ความเร็วรอบที่ต่างกัน ไป ดังนั้น การทราบคุณสมบัติแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์จึงมี ความสำคัญเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรม

วิธีการในการหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีหลายวิธีเช่น การคำนวณ จากวงจรสมมูลย์ (Equivalent Circuit) หรือทำการวัดค่าแรงบิดโดยตรงแล้วนำค่าแรงบิดที่ทำการวัดได้นามา พล็อตกับข้อมูลความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ความเร็วรอบต่างๆ เป็นต้น วิธีการแต่ละอย่างต่างก็มีข้อดีและ ข้อเสียในตัวเอง ดังนั้นวิศวกรหรือผู้ที่ใช้งานมอเตอร์จึงต้องใช้วิจารณญาณในการเลือกใช้วิธีการทดสอบ เพื่อความสะดวกและความเหมาะสมกับประเภทของงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วิธีการที่ใช้ในการหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ได้มีการระบุไว้ใน IEEE standard 112-1996 [1] ด้วยกัน 4 วิธีคือ 1. วิธีการวัดค่าเอาต์พุต (Output Measurement) 2. วิธีการ เร่งความเร็ว (Acceleration) 3. วิธีการวัดค่าอินพุต (Input Measurement) และ 4. วิธีวัดค่าโดยตรง (Direct Measurement)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบ (Torque-speed Characteristics) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีการเร่งความเร็ว (Acceleration) ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่ สามารถหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ตลอดย่านความเร็วของมอเตอร์ ตั้งแต่ หยุดนิ่งจนกระทั่งความเร็วเข้าสู่สภาวะคงตัวโดยใช้เวลาในการบันทึกข้อมูลที่สั้นมาก แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นกับวิธี ดังกล่าวคือผลกระทบจากสภาวะทรานเซียนต์ทางไฟฟ้า (Electrical Transient), สัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทางกล (Noise) ที่ส่งผลกระทบต่อข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณ ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการนำเทคนิคทางด้านวิศวกรรมและวิธีการทางสถิติมาช่วยในการกำจัดสัญญาณรบกวนดังกล่าว เพื่อให้ได้ข้อมูลที่นำเชื่อถือและสามารถนำไปประกอบการใช้งานจริงได้ เทคนิคที่จะทำให้บรรลุจุดประสงค์ของงานวิจัยคืออาศัยเทคนิคการเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อยให้แก่โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งเป็นวิธีการที่ได้นำเสนอในปริญญานิพนธ์นี้

ในการทดสอบเพื่อหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีเร่งความเร็ว ได้ทำการทดสอบโดยการสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วย 4 วิธีด้วยกันคือ 1. สตาร์ทตรงแบบสตาร์ท 2. สตาร์ทตรงแบบเดลต้า 3. สตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลต้า 4. สตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์ แล้วทำการบันทึกข้อมูลแรงดัน, กระแส, ความเร็วรอบ, และเวลาของมอเตอร์ในช่วงที่มอเตอร์เร่งความเร็วที่นานพอ ที่จะทำให้ผลของสภาวะทรานเซียนต์ทางไฟฟ้าจากมอเตอร์หรือเครื่องมือวัด ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อข้อมูลต่างๆที่ทำการบันทึกนั้นหมดไป ดังนั้นแนวคิดที่ใช้ในการวิจัยคือ การเพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อยให้แก่โรเตอร์โดยการนำล้อช่วยแรง (Flywheel) มาทำการคัปปลิง (Coupling) เข้ากับเพลาของมอเตอร์เพื่อทำให้ค่าของโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์สูงขึ้นส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้นด้วย

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ขอบเขตของงานวิจัยนี้คือการนำเสนอเทคนิคและกระบวนการในการหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยทำการทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 1 และ 3 แรงม้า โดยทำการสตาร์ทมอเตอร์ในแบบต่างๆคือ 1. สตาร์ทตรงแบบสตาร์ท, 2. สตาร์ทตรงแบบเดลต้า 3. สตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลต้า 4. สตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์ ในการทดสอบได้ทำการเพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อยให้แก่โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีขนาดต่างๆกัน แล้วใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการทำให้ข้อมูลมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการคำนวณ และวิเคราะห์หาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบ จากนั้นนำผลกราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการเร่งความเร็ว และผลที่ได้จากการทดสอบภาระ และผลที่ได้จากการคำนวณจากพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากวงจรสมมุติมาเปรียบเทียบกันเพื่อยืนยันผลการทดลอง

1.4 วิธีการดำเนินการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ดำเนินการวิจัยโดยมีการกำหนดขั้นตอนรายละเอียดต่างๆเป็นลำดับดังต่อไปนี้
บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยเริ่มการเกิดแรงบิดในเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโรเตอร์ประเภท ไม่มีขั้วขั้ว (Non-Salient Pole) และเชื่อมโยงไปถึงการเกิดแรงบิดในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จากนั้นจะเป็นการอธิบายปรากฏการณ์ในมอเตอร์เหนี่ยวนำและนำเสนอวงจรสมมุติของมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อใช้ในการคำนวณหาคุณลักษณะต่างๆ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

บทที่ 3 เป็นการกล่าวถึงวิธีการที่ใช้ในการหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยนำเสนอการหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบด้วยวิธีเร่งความเร็วโดยอาศัยเทคนิคการเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อยให้แก่โรเตอร์ซึ่งวิธีอ้างอิงตาม IEEE standard 112-1996 [1] จากนั้นเป็นการออกแบบล้อช่วยแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อยให้แก่โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ และนำเสนอการหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์โดยอาศัย IEC standard 34-2[2]

บทที่ 4 เป็นการนำเสนอการทดลองและผลการทดลองโดยการทดลองจะแบ่งออกเป็น การสตาร์ทมอเตอร์ตรงแบบสตาร์ท, การสตาร์ทตรงมอเตอร์แบบเคลด้า, การสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์ท-เคลด้า และการสตาร์ทมอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์

บทที่ 5 เป็นการสรุปผลงานวิจัยที่ได้จากปริญญาณิพนธ์นี้ พร้อมข้อเสนอแนะ และวิจารณ์ผลการทดลองเพื่อการวิจัยต่อไปในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

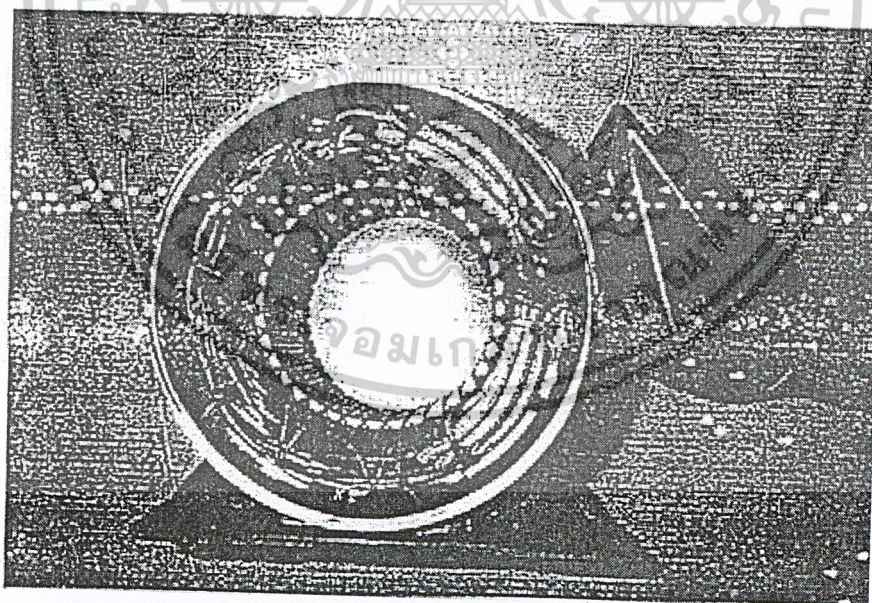
ทฤษฎีพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

2.1 บทนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor) เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าประเภทเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Machine) โดยอาศัยแหล่งจ่ายพลังงานเป็นแหล่งกำเนิดแรงดันแบบไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ซึ่งส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ 1. สเตเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่กับที่ และ 2. โรเตอร์ ซึ่งเป็นส่วนที่มีการหมุน โดยแต่ละส่วนจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 สเตเตอร์ (stator)

สเตเตอร์เป็นส่วนที่อยู่นิ่งมีแกนเป็นแผ่นลามิเนตประกบกันซึ่งทำมาจากเหล็กกล้าซิลิคอน (silicon steel) และมีขดลวดอาร์เมเจอร์ (armature) ฝังตัวอยู่ในร่องสลิตของแกนเหล็ก โดยขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีการพันขดลวดแบบกระจายเพื่อทำให้เกิดการกระจายสนามแม่เหล็กแบบไซน์ซอยด์ (sinusoidal) ซึ่งรูปร่างของสเตเตอร์แสดงดังรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

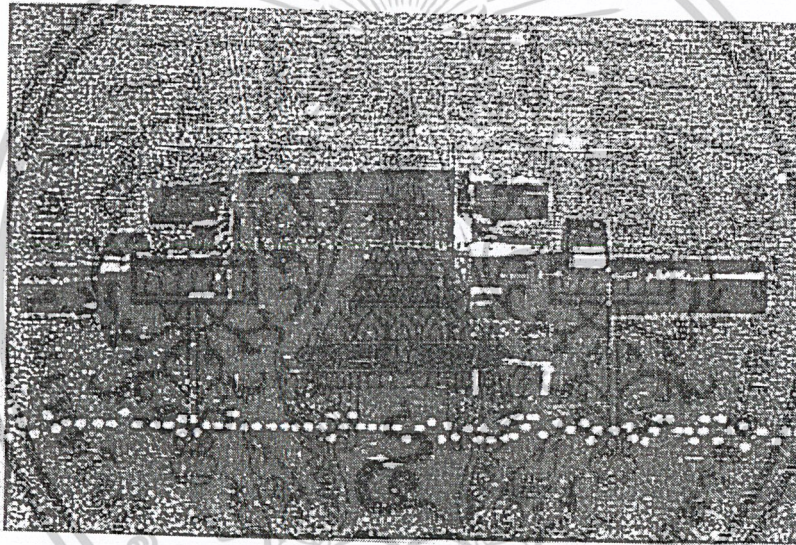
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 โรเตอร์(Rotor)

โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นโรเตอร์ชนิดไม่มีขั้วยื่น (Non – Salient-pole) หรือทรงกระบอก (Cylindrical Rotor) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

2.1.2.1 โรเตอร์แบบทรงกระบอก (Squirrel Cage Rotor)

โรเตอร์ประเภทนี้จะมีความแข็งแรงทางกลสูงและมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับ โรเตอร์แบบขดลวดพันรอบ (wound rotor) ส่วนประกอบของโรเตอร์จะมีแท่งตัวนำซึ่งมีการต่อลวดจรทางด้านหัวและท้ายของแท่งตัวนำ แท่งตัวนำดังกล่าวจะฝังตัวอยู่ในเหล็กกล้าซิลิคอน โดยชนิดของแท่งตัวนำจะเป็นอลูมิเนียมหรือทองแดงขึ้นอยู่กับพิกัดกำลังของมอเตอร์ ในกรณีมอเตอร์เล็กกว่า 250 kW จะใช้อลูมิเนียมเป็นแท่งตัวนำ ถ้าขนาดพิกัดสูงกว่า 250 kW จะใช้ทองแดงเป็นแท่งตัวนำ [3] ลักษณะของสล๊อตของโรเตอร์มีผลต่อกราฟคุณลักษณะแรงบิดความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ รูปร่างของโรเตอร์แบบทรงกระบอกแสดงดังรูป ที่ 2-2



รูปที่ 2-2 โรเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก (squirrel cage rotor)

2.1.2.2 โรเตอร์แบบขดลวดพันรอบโรเตอร์ (Wound Rotor)

โรเตอร์ประเภทนี้มีขดลวดพันอยู่ในร่องสล๊อตเช่นเดียวกับสเตเตอร์ โดยส่วนปลายของขดลวดจะต่ออยู่กับแหวนลื่น (slip ring) และมีแปรงถ่านสัมผัสอยู่โดยแปรงถ่านจะต่ออยู่กับวงจรภายนอกเพื่อทำการต่อวงจรแบบสตาร์หรือเดลต้า มอเตอร์ที่มีโรเตอร์ประเภทนี้มีข้อจำกัดคือจะต้องมีจำนวนขั้วเท่ากับจำนวนขั้วของสเตเตอร์และไม่สามารถหมุนเร็วมากได้ เนื่องจากความแข็งแรงทางกลต่ำนอกจากนี้ยังมีราคาสูงเมื่อเปรียบเทียบกับโรเตอร์แบบกรงกระรอก แต่ข้อดีของโรเตอร์ประเภทนี้คือสามารถกำหนดแรงบิดขณะสตาร์ทได้โดยอาศัยการต่อความต้านทานภายนอก

2.2 หลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องกลไฟฟ้าประเภทกระตุ้นเดี่ยว (single excited) ซึ่งอาศัยการป้อนพลังงานเข้าทางสเตเตอร์ พลังงานดังกล่าวจะถูกส่งไปยังโรเตอร์โดยอาศัยการเหนี่ยวนำเช่นเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้าผ่านช่องว่างอากาศ (air gap) ระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์

เมื่อมีการป้อนแรงดันให้แก่สเตเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนที่ช่องว่างอากาศซึ่งสนามแม่เหล็กดังกล่าวจะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส (synchronous speed) ดังสมการ

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

โดยที่ N_s = ความเร็วซิงโครนัสของสนามแม่เหล็ก (rpm)

f = ความถี่ของแหล่งจ่าย (Hz)

P = จำนวนขั้วแม่เหล็กของขดลวดสเตเตอร์

ในกรณีที่มีการป้อนแรงดันให้แก่สเตเตอร์และทำการล๊อคโรเตอร์ให้อยู่กับที่ จะเกิดกระแสเหนี่ยวนำไหลในโรเตอร์ตามหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งความถี่ของแรงดันและกระแสทางด้านโรเตอร์มีค่าเท่ากับทางด้านสเตเตอร์ ระดับของแรงดันและกระแสของโรเตอร์จะแปรตามอัตราส่วนรอบ (turn ratio) ระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ ในสภาวะนี้มอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีสภาพเหมือนหม้อแปลงที่มีการลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิ (secondary) แต่ถ้าหากมีการขยับโรเตอร์ของมอเตอร์ให้หมุนในทิศเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างโรเตอร์และสนามแม่เหล็กหมุนจะเท่ากับศูนย์ ซึ่งไม่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นที่โรเตอร์ ดังนั้นจึงไม่เกิดกระแสไหลในมอเตอร์ทำให้ไม่เกิดแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic torque) แต่ถ้าโรเตอร์หมุนที่ความเร็วใด ๆ ในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุนและมีค่าน้อยกว่าความเร็วซิงโครนัส จะเกิดการเหนี่ยวนำขึ้นที่โรเตอร์ทำให้เกิดกระแสไหลในโรเตอร์ซึ่งความแตกต่างระหว่างความเร็วซิงโครนัสและความเร็วรอบของโรเตอร์เรียกว่า สลิป (slip) ในการอธิบายค่าสลิปจะแสดงอยู่ในรูปสมการของเปอร์ยูนิตสลิป (per-unit-slip)

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

$$s = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (2.2)$$

โดยที่ ω_s = ความถี่เชิงมุมทางไฟฟ้าของสเตเตอร์ (rad/s)

ω_r = ความถี่เชิงมุมทางไฟฟ้าของโรเตอร์ (rad/s)

เมื่อโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นที่โรเตอร์ดังได้กล่าวไว้ข้างต้น แล้วความถี่ของสัญญาณไฟฟ้าทางด้านโรเตอร์จะมีค่าเท่ากับ sf แรงบิดที่เกิดขึ้นในกรณีที่มีมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบใด ๆ เรียกว่าแรงบิดอะซิงโครนัส (asynchronous torque)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การเกิดแรงบิดในมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นเครื่องจักรกลฟ้าหมุนที่มีโรเตอร์เป็นประเภทไม่มีขั้วยื่น ดังนั้นช่องว่างอากาศระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์จึงมีขนาดเท่ากันตลอด (uniform air-gap) การเกิดแรงบิดในมอเตอร์เหนี่ยวนำจึงมีหลักการเดียวกับการเกิดแรงบิดในเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดที่โรเตอร์ไม่มีขั้วยื่น

2.3.1 การเกิดแรงบิดในมอเตอร์ชนิดไม่มีขั้วยื่น

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในสเตเตอร์และโรเตอร์จะทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็กขึ้นที่สเตเตอร์และโรเตอร์ ฟลักซ์แม่เหล็กดังกล่าวจะเกี่ยวคล้องกันผ่านช่องอากาศระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งฟลักซ์แม่เหล็กที่เกี่ยวข้องระหว่างขดลวดทั้งสองนี้เรียกว่าฟลักซ์แม่เหล็กร่วม (mutual flux) ซึ่งเป็นฟลักซ์แม่เหล็กส่วนมากในเครื่องจักรกลไฟฟ้า ในส่วนของฟลักซ์แม่เหล็กส่วนน้อยที่ไม่ได้ผ่านช่องว่างอากาศ แต่จะเกี่ยวคล้องเฉพาะตัวขดลวดที่กำเนิดฟลักซ์นั้นเรียกว่าฟลักซ์แม่เหล็กรั่วไหล (leakage flux) ในส่วนฟลักซ์แม่เหล็กที่ทำให้เกิดแรงบิดในเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นจะพิจารณาเฉพาะฟลักซ์แม่เหล็กร่วม (mutual flux) เท่านั้น ส่วนฟลักซ์แม่เหล็กรั่วไหลจะมีผลต่อสมรรถนะของเครื่องจักร โดยผลของฟลักซ์แม่เหล็กรั่วไหลจะมีคุณลักษณะทางไฟฟ้าในรูปของค่าความเหนี่ยวนำรั่วไหล (leakage inductance)

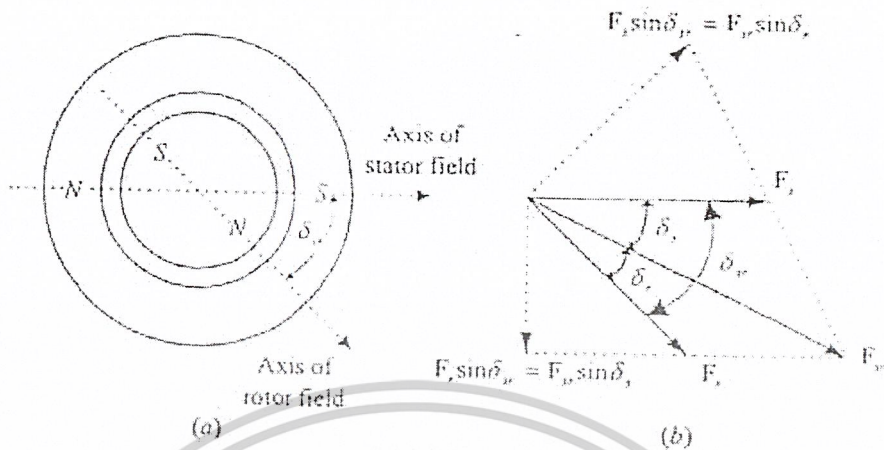
ในการพิจารณาการเกิดแรงบิดจะพิจารณาจากฟลักซ์ร่วมลัพธ์ (resultant mutual flux) โดยพิจารณาในเทอมของ magnetic coenergy ที่สะสมอยู่ในช่องว่างอากาศในรูปของแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่สเตเตอร์, โรเตอร์และมุม δ_{sr} ระหว่างแกนแม่เหล็กทั้งสอง ซึ่งแรงบิดสามารถคำนวณจากการหาอนุพันธ์เชิงซ้อน (partial derivative) ของ coenergy กับมุม δ_{sr}

ในการพิจารณา กำหนดให้สนามแม่เหล็กในแนวเส้นสัมผัสมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังนั้นจึงพิจารณาเฉพาะสนามแม่เหล็ก H ในแนวเส้นผ่าศูนย์กลางเท่านั้น เมื่อทำการอินทิเกรตเชิงเส้นความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ผ่านช่องว่างอากาศจะได้เท่ากับ H_g ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงเคลื่อนแม่เหล็กลัพธ์ \mathcal{F}_{sr} ดังสมการ

$$H_g = \mathcal{F}_{sr} \quad (2.3)$$

สัญลักษณ์ \mathcal{F}_{sr} แสดงให้เห็นว่าค่า mmf wave เป็นฟังก์ชันของมุมรอบ ๆ เส้นรอบวงของสเตเตอร์ เวกเตอร์ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กลัพธ์ F_{sr} เกิดจากผลรวมทางเวกเตอร์ระหว่างแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่สเตเตอร์ F_s และโรเตอร์ F_r ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการการรวมกันทางเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$F_{sr}^2 = F_s^2 + F_r^2 + 2F_s F_r \cos \delta_{sr} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2-3 เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสองขั้วอย่างง่าย (a) แบบจำลองพื้นฐาน (b) โดอะแกรมของเวกเตอร์ของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก

ค่า F แทนค่าสูงสุดของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก ดังนั้นสนามแม่เหล็กลัพธ์ H มีการกระจายตัวแบบไซนูซอยด์ ซึ่งค่าสูงสุดของสนามแม่เหล็กลัพธ์หาได้จากสมการ

$$H_{peak} = \frac{F_{sr}}{g} \quad (2.5)$$

ค่าของ coenergy density ในช่องว่างอากาศ ณ จุดใด ๆ ในเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีความเข้มสนามแม่เหล็กเท่ากับ H มีค่าเท่ากับ $\frac{\mu_0}{2} H^2$ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของ coenergy density มีค่าเท่ากับ

$$\frac{\mu_0 H_{peak}^2}{2} = \frac{\mu_0}{4} \left(\frac{F_{sr}}{g} \right)^2 \quad (2.6)$$

- โดย μ_0 = ค่าความซึมซาบแม่เหล็กของอากาศ
 F_{sr} = ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กลัพธ์ (ampere-turn.)
 g = ระยะช่องว่างอากาศ
 H_{peak} = ค่าสูงสุดของความเข้มสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นค่า coenergy ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} W_{fd} &= (\text{ค่าเฉลี่ยของ coenergy density})(ปริมาตรของช่องว่างอากาศ) \\ &= \frac{\mu_0}{4} \left(\frac{F_{sr}}{g} \right)^2 \pi D l g \\ &= \frac{\mu_0 \pi D l}{4g} F_{sr}^2 \end{aligned} \quad (2.7)$$

โดย D = ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่าศูนย์กลางของช่องอากาศ (m)

l = ความยาวในแนวแกนของช่องว่างอากาศ (m)

g = ระยะช่องว่างอากาศ (m)

จากสมการที่ 2.4 จะได้ค่า coenergy ที่สะสมอยู่ในช่องว่างอากาศในรูปของค่าสูงสุดของขนาดแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่สเตเตอร์และโรเตอร์ดังสมการ

$$W_{fd} = \frac{\mu_0 \pi D l}{4g} (F_s^2 + F_r^2 + 2F_s F_r \cos \delta_{sr}) \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.8 สามารถหาสมการของแรงบิดแม่เหล็กไฟฟ้าได้โดยทำการหาอนุพันธ์เชิงซ้อนระหว่าง coenergy และมุมระหว่างแกนของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์และโรเตอร์ซึ่งจะได้สมการแรงบิดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีสองขั้วดังนี้

$$T = + \frac{\partial W'_{fd}}{\partial \delta_{sr}} = \frac{\mu_0 \pi D l}{2g} F_s F_r \sin \delta_{sr} \quad (2.9)$$

ในกรณีที่เครื่องจักรกลไฟฟ้ามีจำนวน P ขั้วจะได้สมการแรงบิดอยู่ในรูปแบบ

$$T = \frac{P}{2} \frac{\mu_0 \pi D l}{2g} F_s F_r \sin \delta_{sr} \quad (2.10)$$

จากรูปที่ 2.3b จะพบว่า $F_r \sin \delta_{sr}$ เป็นส่วนประกอบของ F_r ในแนวตั้งฉากกับ F_s และ $F_r \sin \delta_{sr}$ เป็นส่วนประกอบของ F_s ในแนวตั้งฉากกับ F_r ซึ่งจากสมการที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่าค่าแรงบิดแปรผันกับผลคูณเชิงเวกเตอร์ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กของสเตเตอร์และโรเตอร์ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2-3b จะมีความสัมพันธ์

$$F_s \sin \delta_{sr} = F_{sr} \sin \delta_r \quad (2.11)$$

$$F_r \sin \delta_{sr} = F_s \sin \delta_s \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.11 และ 2.12 เมื่อทำการแปลงรูปแบบสมการให้อยู่ในรูปของแรงเคลื่อนแม่เหล็กลัพธ์จะได้

$$T = -\frac{P}{2} \frac{\pi}{2} \frac{\mu_0 D l}{g} F_s F_{sr} \sin \delta_s \quad (2.13)$$

$$T = \frac{P}{2} \frac{\pi}{2} \frac{\mu_0 D l}{g} F_r F_{sr} \sin \delta_r \quad (2.14)$$

จากสมการที่ 2.10, 2.13 และ 2.14 เป็นการนำเสนอรูปแบบของสมการแรงบิดใน 2 รูปแบบคือ

1. แสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนแม่เหล็กของแต่ละส่วนโดยแยกเป็นส่วนของสเตเตอร์และโรเตอร์ดังสมการที่ 2.10

2. แสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนแม่เหล็กลัพธ์และส่วนของสเตเตอร์หรือโรเตอร์ดังสมการที่ 2.13 และ 2.14

จากสมการที่ 2.10, 2.13 และ 2.14 พบว่าค่าสนามแม่เหล็กจะถูกนำเสนอในรูปแบบของค่าสูงสุดของรูปคลื่นของแรงเคลื่อนแม่เหล็ก ถ้ากำหนดให้แกนเหล็กไม่มีการอิ่มตัว จะพบว่าค่าสนามแม่เหล็กสามารถนำเสนอในรูปค่าสูงสุดของรูปคลื่นของความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กหรือฟลักซ์ต่อขั้ว ดังนั้นค่าสูงสุดของค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B จะได้จากสมการ $\mu_0 F/g$ เมื่อ F แทนค่าสูงสุดของรูปคลื่นแรงเคลื่อนแม่เหล็กดังนั้นจากสมการที่ 2.14 เมื่อต้องการนำเสนอแรงบิดในรูปของฟลักซ์ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กลัพธ์และแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่โรเตอร์จะได้ดังสมการ

$$T = -\frac{P}{2} \frac{\pi D l}{2} B_{sr} F_r \sin \delta_r \quad (2.15)$$

ในการออกแบบอุปกรณ์ทางด้าน electromagnetic จะมีข้อจำกัดอยู่ที่การอิ่มตัวของสารแม่เหล็กซึ่งค่าสูงสุดของรูปคลื่นความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กลัพธ์ B_{sr} มีค่าอยู่ระหว่าง 1.5 ถึง 2.0 T เพื่อให้เกิดความสะดวกในการออกแบบเครื่องจักรกลไฟฟ้า นั้นจึงสามารถแปลงรูปสมการให้อยู่ในรูปของฟลักซ์แม่เหล็กลัพธ์โดย

$$\phi = (\text{ค่าเฉลี่ยของค่า B ในแต่ละขั้ว})(\text{พื้นที่ของขั้วแม่เหล็ก}) \quad (2.16)$$

ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นสัญญาณแบบไซน์ซอซอด์ในครึ่งลูกคลื่นมีค่าเท่ากับ $2/\pi$ คูณกับค่าสูงสุดของรูปคลื่นดังสมการ

$$\phi = \frac{2}{\pi} B \frac{\pi D l}{P} = \frac{2 D l}{P} B \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า B แทนค่าสูงสุดของรูปคลื่นของความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก ดังนั้นผลลัพธ์ของสมการที่ 2.15 คือ

$$T = -\frac{\pi}{2} \left(\frac{P}{2} \right)^2 \phi_{sr} F_r \sin \delta_r \quad (2.18)$$

โดยที่ ϕ = ฟลักซ์แม่เหล็กที่สร้างขึ้นโดยสเตเตอร์และโรเตอร์
 δ_r = มุมระหว่างแรงเคลื่อนแม่เหล็กของโรเตอร์และแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่สร้างขึ้น

2.3.2 การเกิดแรงบิดในกรณีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.3 ซึ่งค่าแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีลักษณะเดียวกับการเกิดแรงบิดในเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดไม่มีขั้วขึ้นซึ่งสมการการแรงบิดแสดงสมการที่ 2.18 จากสมการที่ 2.18 พิจารณาเทอม ϕ_{sr} โดยกำหนดให้ ϕ_{sr} มีค่าคงที่เมื่อมีการป้อนแรงดันและความถี่ที่คงที่ให้แก่สเตเตอร์ทำให้เทอม $-\frac{\pi}{2} \left(\frac{P}{2} \right)^2 \phi_{sr}$ ของสมการที่ 2.18 มีค่าคงที่ เมื่อพิจารณาค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กที่โรเตอร์ F_r ซึ่งค่าดังกล่าวจะมีแปรผันตามขนาดของกระแสที่โรเตอร์ I_r ดังนั้นเมื่อจัดรูปแบบสมการแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่ายจะได้สมการดังแสดงในสมการที่ 2.19

$$T = KI_r \sin \delta_r \quad (2.19)$$

โดยที่ K = ค่าคงที่

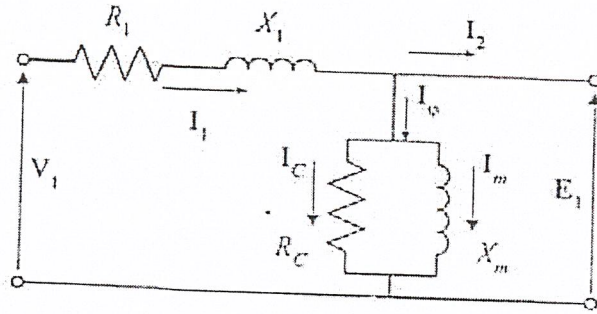
2.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

รูปแบบหนึ่งในการพิจารณารูปคลื่นของฟลักซ์แม่เหล็กและแรงเคลื่อนแม่เหล็กคือ การพิจารณาจากวงจรสมมูลโดยพิจารณาให้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสได้รับการกระตุ้นจากแหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟสสมดุลในการพิจารณาวงจรสมมูลนั้นจะทำการพิจารณาแยกเป็นเฟสไปโดยกำหนดให้มีการต่อวงจรของมอเตอร์เป็นแบบ Y และแรงดันที่ปรากฏที่ขั้วของวงจรเป็นแรงดันเฟสส่วนกระแสเป็นกระแสไลน์ ลักษณะของวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะเหมือนกับหม้อแปลง โดยเริ่มพิจารณาจากทางด้านสเตเตอร์ก่อนซึ่งสมการซึ่งอธิบายวงจรสมมูลทางด้านสเตเตอร์เป็นดังนี้

$$V_1 = E_1 + I_1(R_1 + jX_1) \quad (2.20)$$

โดย V_1 = แรงดันไฟฟ้าที่สเตเตอร์ (V)
 E_1 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำสร้างจากฟลักซ์แม่เหล็กที่ช่องว่างอากาศ (V)
 I_1 = กระแสสเตเตอร์ (A)
 R_1 = ความต้านทานทางด้านสเตเตอร์ (Ω)
 X_1 = ค่า reactance ที่สเตเตอร์ (Ω)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-4 วงจรสมมูลทางด้านสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ฟลักซ์แม่เหล็กที่ช่องว่างอากาศถูกสร้างจากผลรวมของแรงเคลื่อนแม่เหล็กของสเตเตอร์และโรเตอร์ ซึ่งจากรูปที่ 2.4 กระแสสเตเตอร์ I_1 สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน โดยส่วนแรกคือส่วนประกอบทางด้านภาระ (load component) I_2 ซึ่งเป็นส่วนที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อสร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็กทางด้านโรเตอร์ และส่วนที่สองคือ ส่วนประกอบทางด้านกระตุ้นหรือกระแสกระตุ้น (exciting component) I_e ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการสร้างฟลักซ์แม่เหล็กในช่องว่างอากาศและเป็นฟังก์ชันของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ E_1 กระแสกระตุ้นจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกอยู่ในรูปการสูญเสียที่แกนเหล็ก (core loss component) I_c ซึ่งจะมีเฟสทับกับแรงเคลื่อนไฟฟ้า E_1 ส่วนที่สองอยู่ในรูปของกระแสที่สร้างสนามแม่เหล็ก I_m ซึ่งจะล่าหลัง E_1 อยู่ 90 องศา ซึ่งอยู่ในวงจรสมมูลจะแสดงการสูญเสียในแกนเหล็กในรูปของ R_c ต่อขนานอยู่กับส่วนที่สร้างสนามแม่เหล็กในรูปของ X_m ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะต่ออยู่กับแรงเคลื่อนไฟฟ้า E_1

เมื่อพิจารณาโรเตอร์ที่ความเร็วรอบและฟลักซ์เดียวกัน โดยใช้หลักการเดียวกับของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการ transfer ส่วนประกอบทางด้าน secondary มาด้าน primary โดยอาศัยความสัมพันธ์ของ primary และ secondary ในรูปของ turn ratio

$$E_{2s} = aE_{rotor} \quad (2.21)$$

โดย E_{2s} = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในวงจรสมมูลของโรเตอร์

E_{rotor} = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจริงที่โรเตอร์

a = turn ratio

ในส่วนของความสัมพันธ์ทางด้านกระแสก็เช่นเดียวกับแรงดันไฟฟ้า โดยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสจริงที่โรเตอร์ I_{rotor} และกระแสในวงจรสมมูลของโรเตอร์ I_{2s} เป็นดังสมการที่ 2.22

$$I_{2s} = \frac{I_{rotor}}{a} \quad (2.22)$$

เมื่อนำสมการที่ 2.21 มาหารด้วยสมการที่ 2.22 จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า impedance ของวงจรสมมูลของโรเตอร์ Z_{2s} และค่า impedance ของวงจรโรเตอร์จริง Z_{rotor}

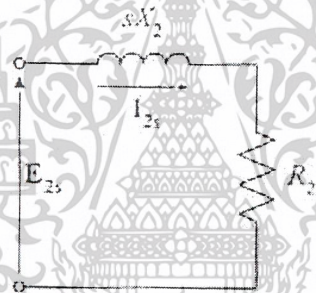
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_{2s} = \frac{E_{2s}}{I_{2s}} = \frac{a^2 E_{2s}}{I_{rotor}} = a^2 Z_{rotor} \quad (2.23)$$

จากสมการที่ 2.21, 2.22 และ 2.23 ค่า E_{2s} , I_{2s} และ Z_{2s} เป็นค่าที่ได้จากการ transfer ตัวแปร และพารามิเตอร์ทางด้านโรเตอร์มาทางสเตเตอร์โดยอาศัยหลักการของหม้อแปลงโดยมองจากกรอบอ้างอิงของโรเตอร์ (rotor reference frame) โดยมีแนวความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.24

$$\frac{E_{2s}}{I_{2s}} = Z_{2s} = R_2 + jsX_2 \quad (2.24)$$

โดยที่ Z_{2s} = ค่า impedance ของโรเตอร์ที่ความถี่สลิปอ้างอิงสู่ด้านสเตเตอร์
 R_2 = ค่าความต้านทานของโรเตอร์อ้างอิงสู่ด้านสเตเตอร์
 sX_2 = ค่า reactance ของโรเตอร์อ้างอิงสู่ด้านสเตเตอร์ที่ความถี่สลิป



รูปที่ 2-5 วงจรสมมูลทางด้านโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ความถี่สลิป

สมการที่ 2.24 จะได้ค่า reactance มีค่าแปรผันกับค่าสลิปของมอเตอร์โดยที่ X_2 เป็นค่า reactance ที่ความถี่เดียวกับสเตเตอร์ เมื่อมองโรเตอร์จาก กรอบอ้างอิงของโรเตอร์ (rotor reference frame) จะได้วงจรสมมูลดังแสดงในรูปที่ 2.5

เมื่อพิจารณาค่าตัวแปรต่าง ๆ ของโรเตอร์โดยมองจากกรอบอ้างอิงของสเตเตอร์ (stator reference frame) พบว่าเมื่อมองจากด้านสเตเตอร์จะพบว่ารูปคลื่นของฟลักซ์แม่เหล็กและแรงเคลื่อนแม่เหล็กจะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส โดยฟลักซ์แม่เหล็กดังกล่าวจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สเตเตอร์ E_1 และแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ E_{2s} ซึ่งหากว่าไม่มีผลจากความเร็วของโรเตอร์ (โรเตอร์หยุดนิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสเตเตอร์) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้าน โรเตอร์จะเท่ากับที่สเตเตอร์และ โรเตอร์เท่ากับ s ซึ่งส่งผลให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้าน โรเตอร์มีความสัมพันธ์กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำทางด้านสเตเตอร์ดังสมการที่ 2.25

$$E_{2s} = sE_1 \quad (2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนประกอบทางด้านภาระ (load component) I_2 ของกระแสทางด้านสเตเตอร์ใช้สำหรับสร้างแรงเคลื่อนแม่เหล็กเพื่อต่อต้านแรงเคลื่อนแม่เหล็กทางด้านโรเตอร์ เพื่อรักษาระดับฟลักซ์แม่เหล็กในช่องว่างอากาศไว้ และเนื่องจากสมมติให้จำนวนรอบของขดลวดทางด้านโรเตอร์และสเตเตอร์มีจำนวนเท่ากัน ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง I_2 และ I_{2s} เป็นสมการที่ 2.26

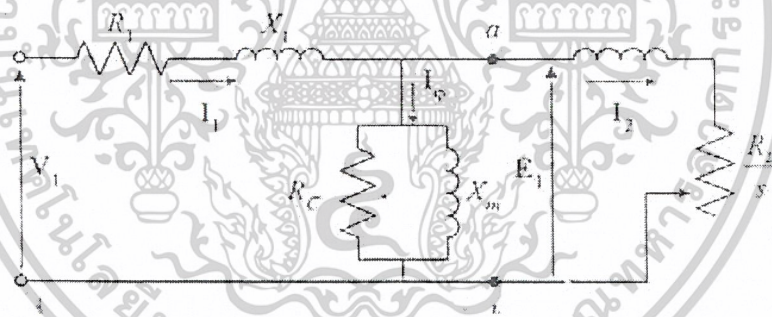
$$I_{2s} = I_2 \quad (2.26)$$

เมื่อนำสมการที่ 2.25 หาค่าด้วยสมการที่ 2.26 จะได้

$$\frac{E_{2s}}{I_{2s}} = \frac{sE_1}{I_2} \quad (2.27)$$

เมื่อนำผลของความเร็วยุโรปมอเตอร์เหนี่ยวนำเข้ามาพิจารณาพร้อมกับสมการที่ 2.24 และสมการที่ 2.27 จะได้ความสัมพันธ์

$$\frac{sE_1}{I_2} = \frac{E_{2s}}{I_{2s}} = R_2 + jsX_2 \quad (2.28)$$



รูปที่ 2-6 วงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เมื่อนำค่าสลิปหารทั้งสองข้างของสมการที่ 2.28 จะได้

$$\frac{E_1}{I_2} = \frac{R_2}{s} + jX_2 \quad (2.29)$$

เป็นการพิจารณาองค์ประกอบของโรเตอร์จากกรอบอ้างอิงของสเตเตอร์ เมื่อพิจารณาทางกายภาพพบว่าสัญญาณไฟฟ้าบนโรเตอร์ซึ่งมีความถี่ sf โดยมีทิศทางไปในทางเดียวกันกับโรเตอร์ซึ่งมีความถี่เท่ากับ $(1-s)f$ ดังนั้นเมื่อมองจากกรอบอ้างอิงของสเตเตอร์จะพบว่าสัญญาณไฟฟ้าบนโรเตอร์จะมีความถี่เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

sf แต่เมื่อพิจารณาจากกรอบอ้างอิงของสเตเตอร์จะพบว่า สัญญาณไฟฟ้าบนโรเตอร์จะมีความถี่เท่ากับ ความถี่ซิงโครนัสนั่นเอง (synchronous frequency) เมื่อพิจารณาในรูปของวงจรสมมูลจะได้ดังรูปที่ 2.6

2.5 การวิเคราะห์วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ภายหลังจากได้วงจรสมมูลแล้วสามารถนำวงจรสมมูลมาคำนวณหาสมรรถนะและคุณลักษณะต่าง ของมอเตอร์เหนี่ยวนำอันได้แก่ กำลังไฟฟ้า, แรงบิด เป็นต้น

เมื่อพิจารณาวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.6 ค่ากำลังไฟฟ้าที่ transfer ผ่านช่องว่างอากาศ (power transfer across the airgap) P_{g1} สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.30 โดยอยู่ในรูปของพารามิเตอร์ทางด้านโรเตอร์

$$P_{g1} = q_1 I_2^2 \frac{R_2}{s} \quad (2.30)$$

ค่า q_1 แทนจำนวนเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จากสมการที่ 2.30 กำลังไฟฟ้าที่ได้เป็นกำลังไฟฟ้า ทั้งหมดที่ส่งผ่านช่องว่างอากาศโดยกำลังไฟฟ้างี้สามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นการ สูญเสียที่สเตเตอร์ในรูปของความร้อนดังสมการที่ 2.31[4]

$$rotor I^2 R_{loss} = q_1 I_2^2 R_2 \quad (2.31)$$

อีกส่วนคือส่วนที่แปลงรูปพลังงานมาเป็นพลังงานกลดังสมการที่ 2.23

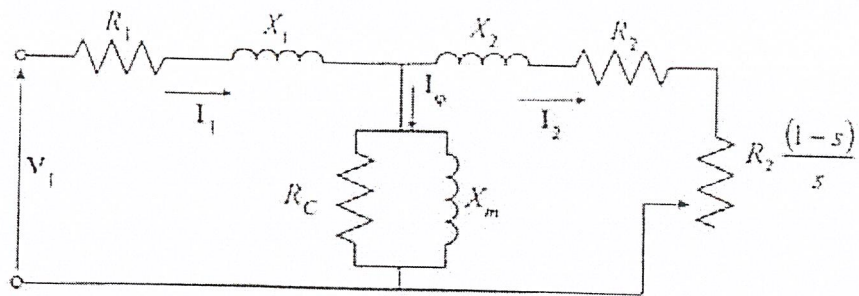
$$P = P_{g1} - rotor I^2 R_{loss} = q_1 I_2^2 \frac{R_2}{s} - q_1 I_2^2 R_2 \quad (2.32)$$

จากสมการที่ 2.32 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปที่กะทัดรัดขึ้นได้

$$P = q_1 I_2^2 R_2 \frac{(1-s)}{s} \quad (2.33)$$

จากสมการที่ 2.32, 2.33 และ 2.34 เมื่อนำมาเขียนในรูปของวงจรสมมูลซึ่งแยกองค์ประกอบที่เป็น การสูญเสียในรูปความร้อนและในรูปของกำลังทางกลออกได้ดังรูปที่ 2.7 โดยค่า R_2 แทนส่วนของ ความสูญเสียในรูปความร้อน และ $R_2 \frac{(1-s)}{s}$ แทนส่วนที่เป็นกำลังทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-7 วงจรสมมูลในอีกรูปแบบหนึ่ง

ค่า electromagnetic torque T_c เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์ ซึ่งคุณระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบของโรเตอร์ที่ความเร็วเชิงโคโรนัส ω_s จะได้กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในมอเตอร์ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงอยู่ในสมการที่ 2.35

$$P = (1-s)\omega_s T_c \quad (2.35)$$

เมื่อนำสมการที่ 2.33 มาพิจารณาพร้อมกับสมการที่ 2.35 จะได้สมการแรงบิดดังสมการที่ 2.36

$$T_c = \frac{1}{\omega} q_1 I_2^2 \frac{R_2}{s} \quad (2.36)$$

ในกรณีที่มีมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นมอเตอร์ 3 เฟส ค่า q_1 จะมีค่าเท่ากับ 3 ดังนั้นสมการที่ 2.36 จะกลายเป็น

$$T_c = 3I_2^2 \frac{R_2}{s\omega_s} \quad (2.37)$$

ในส่วนของค่าความเร็วเชิงโคโรนัส ω_s สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.38

$$\omega_s = \frac{4\pi f}{p} \quad (2.38)$$

โดยที่ P = จำนวนขั้วของมอเตอร์
 f = ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแรงบิดที่ได้จากสมการ 2.37 เป็นค่าแรงบิดในมอเตอร์เท่านั้นซึ่งยังไม่เป็นค่าแรงบิดที่ใช้ขั้วภาระต่าง ๆ ซึ่งต้องนำค่าความสูญเสียทางกลเนื่องจากความเสียดทานแรงต้านของลมและค่า stray losses ออกเสียก่อนจึงจะได้ค่าแรงบิดที่เพลลาที่ใช้บังคับภาระจริง ๆ

2.6 การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า

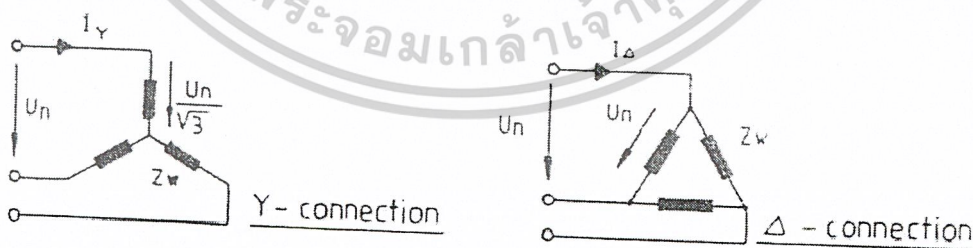
การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลตา (Y- Δ) (Star-Delta starting) นี้เป็นวิธีการสตาร์ทที่เริ่มด้วยต้นด้วยการต่อแบบสตาร์ท ทำให้กระแสไฟฟ้าสตาร์ทต่ำแต่ทอร์คเริ่มเดินก็จะลดลงด้วยเช่นเดียวกันจึงกล่าวได้ว่าการสตาร์ทวิธีนี้จะให้แรงบิดเริ่มเดินต่ำ แต่กระแสสตาร์ทก็จะลดลงมากด้วย และวิธีนี้ก็มิมีข้อดีเช่นกัน คือ ราคาจะไม่สูงมากนัก

การต่อมอเตอร์ 3 เฟสแบบสตาร์ทจะมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเพียง 220 โวลต์ แต่หากต่อวงจรเป็นเดลต้าจะมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเป็น 380 โวลต์ สมมุติว่ามอเตอร์ที่มีค่าอิมพีแดนซ์เป็น 0.5 โอห์มต่อเฟส จะทำการคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าคือ

- หากต่อวงจรสตาร์ทเป็นสตาร์ จะใช้กระแสขณะสตาร์ท = $220/0.5 = 440$ แอมป์
- หากต่อวงจรสตาร์ทเป็นเดลต้า จะใช้กระแสขณะสตาร์ท = $380/0.5 = 760$ แอมป์

จะเห็นว่าการสตาร์ทมอเตอร์แบบเดลต้าจะใช้กระแสไฟฟ้าสูงเป็น 1.73 เท่าของสตาร์ทแบบสตาร์ และแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมมอเตอร์ขณะสตาร์ทแบบเดลต้า ก็สูง 1.73 เท่าของสตาร์ทแบบสตาร์เช่นเดียวกัน วิธีสตาร์ทนี้เป็นระบบที่เหมาะสมในการนำมาใช้สตาร์ทมอเตอร์

นอกจากนั้นแล้ว การสตาร์ทแบบสตาร์-เดลต้า ก็สามารถจะใช้คอนแทกเตอร์ได้อีกด้วย โดยเมื่อเริ่มสตาร์ทก็ให้คอนแทกเตอร์แบบแม่เหล็ก K2 ทำงานก่อน แล้วให้คอนแทกช่วย (NO) ของ K2 สั่งให้คอนแทกเตอร์หลัก K1 ทำงาน ทำให้ไฟฟ้าไหลเข้ามอเตอร์ในภาวะสตาร์ เมื่อมอเตอร์หมุนได้ความเร็วประมาณ 75% ของปกติ ก็ให้ตัดคอนแทกเตอร์ K2 ออก แล้วต่อให้คอนแทกเตอร์แบบแม่เหล็ก K3 ทำงาน โดยที่คอนแทกเตอร์ K1 ก็ยังทำงานอยู่ด้วย สุดท้ายจะได้ภาวะที่มอเตอร์ทำงานเป็นภาวะเดลต้า



รูปที่ 2-8 การต่อแบบสตาร์และเดลต้า

2.7 อินเวอร์เตอร์เพื่อการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในงานการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะต้องสามารถเปลี่ยนแรงดันและความถี่ได้ ซึ่งจะทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างระบบสายไฟ (Utility Power System) และมอเตอร์ ดังนั้นมอเตอร์ที่ดีควรมีคุณสมบัติพื้นฐานที่สอดคล้องกับความต้องการของมอเตอร์ดังต่อไปนี้

- สามารถที่จะปรับความถี่ได้เป็นสัดส่วนกับความเร็วมอเตอร์ที่ต้องการ
- สามารถปรับแรงดันเอาท์พุท เพื่อรักษาอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่ (V / f) ให้คงที่ตลอดช่วงแรงบิดคงที่ตามต้องการ
- สามารถจ่ายกระแสเต็มพิกัดที่ความถี่ใดๆ ซึ่งอยู่ในช่วงทอร์คคงที่ที่ต้องการ

พื้นฐานของอินเวอร์เตอร์คือแหล่งจ่ายไฟเข้าเอซี จะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดันดีซี โดยใช้รีกติไฟเออร์ที่สามารถควบคุมแรงดันได้ หรือควบคุมแรงดันไม่ได้ (Controlled or Uncontrolled rectifier) และอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันและความถี่ได้ โดยทั่วไประบบอินเวอร์เตอร์สามารถจำแนกออกตามชนิดของอินเวอร์เตอร์ได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. อินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดัน (Voltage-Source Inverter) : VSI
2. อินเวอร์เตอร์แบบจ่ายกระแส (Current-Source Inverter) : CSI

โดยอินเวอร์เตอร์ทั้งสองแบบนี้จะให้คุณสมบัติ และลักษณะของรูปคลื่นของแรงดันและกระแสที่ต่างกันและเหมาะสมกับการใช้งานที่แตกต่างกันออกไปด้วย

2.7.1 Voltage-Source Inverter

โครงสร้างแรงดันดีซีลิงค์มีขนาด Filter Capacitor C ที่มีค่ามาก อาจกล่าวได้ว่าแรงดันอินพุทของอินเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ ทำให้แรงดันเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์คงที่ไม่ขึ้นอยู่กับโหลด ข้อดีของโวลท์เทจซอร์สอินเวอร์เตอร์ สามารถควบคุมแรงดันและความถี่ได้ง่ายซึ่งปรับความถี่ได้ในย่านที่กว้างและสามารถใช้ได้กับมอเตอร์หลายๆ ตัวพร้อมๆ กัน ส่วนข้อเสียก็มีปัญหาในเรื่องของการลัดวงจร (Shot Through) ของอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งภายในกิ่งเดียวกันของอินเวอร์เตอร์ ในทางปฏิบัติใช้วงจรลัดเอาท์ที่มีการสร้างเดดไทม์ (Dead Time) เป็นส่วนในการป้องกัน

2.7.2 Current-Source Inverter

วงจรกิจจของ Current Source อินเวอร์เตอร์ จะประกอบด้วยไทรสเตอร์เรกติไฟเออร์ ที่สามารถควบคุมได้โดยการควบคุมเฟสของ ac line และยังมีอินดักเตอร์ขนาดใหญ่ต่ออนุกรมอยู่ แต่ไม่มีตัวเก็บประจุต่อขนานอยู่ด้วย เพื่อสร้างแหล่งจ่ายกระแสให้กับอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นข้อแตกต่างของโครงสร้างทางวงจรจากโวลท์เทจซอร์สอินเวอร์เตอร์ อย่างไรก็ตามอาจใช้ไดโอดเรกติไฟเออร์ กับ dc chopper เพื่อทำหน้าที่ควบคุมกระแสได้เหมือนกัน ในส่วนของอินเวอร์เตอร์จะมีไทรสเตอร์เพื่อทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่สามารถเปลี่ยนความถี่ได้เพื่อจ่ายให้กับเครื่องกล

Current Fed Inverter Drive มีข้อดีหลายๆอย่างซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ วงจรกิจจจะใหญ่ และไว้วางใจได้ดี และไม่มีโอกาสที่จะมรการ Short Through อย่างเช่นใน Voltage Fed Inverter อินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถฟื้นตัวจากการล้มเหลว Commutation ของไทรสเตอร์ได้ กระแสฟลอร์ทที่เกิดขึ้นในอินเวอร์เตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งสามารถเคลียร์โดยการลดสัญญาณเกทของเร็คติไฟเออร์ได้ นอกจากนี้จำนวนคอมโพเนนต์ในอินเวอร์เตอร์ยิ่งน้อยจะทำให้การสูญเสียเนื่องจากการคอมมิวเตทก่อนข้างต่ำลง เพราะมีการควบคุมไทรสเตอร์เพียง 6 ตัว ทำให้วงจรควบคุมง่ายและมีเสถียรภาพมากขึ้น อินเวอร์เตอร์สามารถออกแบบให้ใช้ไทรสเตอร์ที่มีเกท Low Speed ในส่วนของเร็คติไฟเออร์ได้ ลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งของ Current Fed Inverter คือการทำงานในโหมดของรีเจนเนอเรทีฟ (Regenerative) โดยเครื่องกลจะทำหน้าที่เป็น Generator ที่มี Slip เป็นลบ และมุมจุดชนวนของไทรสเตอร์อินเวอร์เตอร์จะปรับค่า เพื่อให้แรงดันอินพุท V_1 กลับชั่วขณะที่กระแส I_d ยังคงมีทิศทางเดิมอยู่ แรงดันเร็คติไฟเออร์ V_d จะทำการหน่วงมุมจุดชนวน ดังนั้นจึงมีกำลังไฟฟ้ากลับเข้ามายัง Source

ถึงแม้ว่าจะมีข้อดีมากมายที่ได้กล่าวมาแล้วสำหรับ Current Fed Inverter แต่ยังมีข้อจำกัดอีกมากมาย คือ ช่วงความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่สามารถปรับได้ค่อนข้างต่ำ และไม่สามารถทำงานได้ที่สภาวะไร้โหลด ซึ่งต้องมีกระแสไหลค้อย่างน้อยที่สุดที่จะทำให้มีการคอมมิวเตทในอินเวอร์เตอร์ และนอกจากนี้ขนาดของ DC Link Inductance และตัวเก็บประจุของการคอมมิวเตทจะใหญ่ ทำให้อินเวอร์เตอร์แบบนี้ค่อนข้างใหญ่ เทอะทะ ราคาแพง การคอมมิวเตทจะขึ้นอยู่กับค่าชับทรานเซียน ซึ่งเป็นการเพิ่มค่า Transient Over Voltage ที่เทอร์มินอลของเครื่องกลได้ การตอบสนองของ Drive นี้ค่อนข้างช้า และมีแนวโน้มที่จะมีปัญหาของการเสถียรภาพที่ Light Load และที่สภาวะความเร็วรอบสูง Current Fed Inverter นี้จะใช้ไดโอดเพียงตัวเดียว และมีขนาดกำลังปานกลางไปจนถึงขนาดกำลังสูง ถ้านำไปใช้กับมอเตอร์หลายๆตัวจะมีปัญหามาก

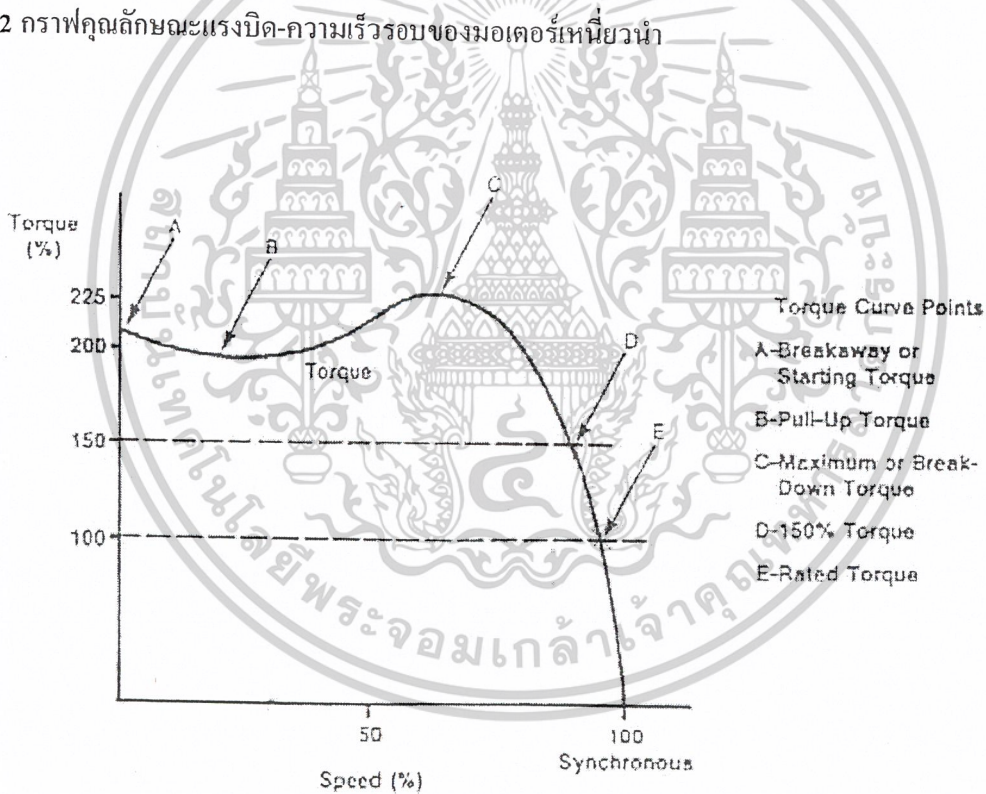
บทที่ 3

วิธีการหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

3.1 บทนำ

กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบของมอเตอร์ ณ ความเร็วใด ๆ จากความเร็วซิงโครนัส วิธีการในการหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีอยู่หลายวิธีซึ่งขึ้นอยู่กับวิศวกรหรือผู้ใช้งานมอเตอร์จะเลือกนำมาใช้ แต่ว่าการทดสอบหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้มีการกำหนดมาตรฐานไว้หลายมาตรฐานแต่ละมาตรฐานก็มีอยู่หลายวิธีที่ใช้ในการทดสอบ ในส่วนวิธีการที่นำเสนอในปฏิญานีพนธ์ฉบับนี้เป็นวิธีหนึ่งในสี่วิธีซึ่งได้กำหนดไว้ใน IEEE standard 112-1996[1]

3.2 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

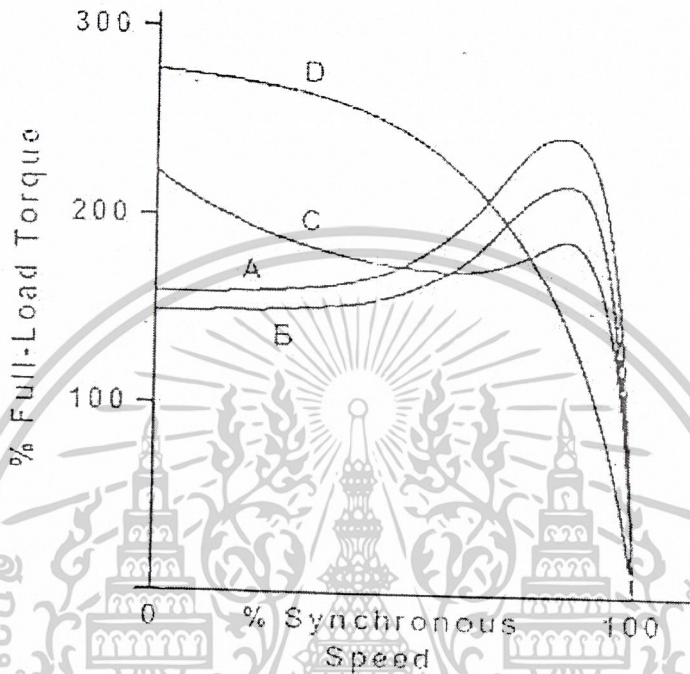


รูปที่ 3-1 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและความเร็วรอบของมอเตอร์ซึ่งวิศวกรหรือผู้ใช้งานมอเตอร์สามารถนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้มอเตอร์ได้ จุดต่าง ๆ บนกราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปดังแสดงในรูปที่ 3-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3-1 จุด A เรียกว่า Starting Torque หรือ Breakaway ซึ่งเป็นค่าแรงบิดขณะที่ความเร็วของมอเตอร์เท่ากับศูนย์ จุด B เรียกว่า Pull-up Torque ซึ่งเป็นแรงบิดที่น้อยที่สุดที่ถูกสร้างโดยมอเตอร์ขณะที่มอเตอร์เร่งความเร็วจากสภาวะหยุดนิ่งถึงความเร็วที่ให้แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์จุด E เป็นค่าแรงบิดพิกัดของมอเตอร์



รูปที่ 3-2 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำของมอเตอร์ในการออกแบบต่างๆ ตามมาตรฐาน NEMA

จากรูปที่ 3-2 แสดงให้เห็นถึงกราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำในการออกแบบที่แตกต่างกันตามมาตรฐานของ NEMA ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Design A เป็นมอเตอร์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานเฉพาะด้าน มีแรงบิดขณะสตาร์ทเท่ากับ 125% - 175% ของแรงบิดที่พิกัด ค่ากระแสขณะสตาร์ทเท่ากับ 5 - 7 เท่าของกระแสพิกัด มี speed regulation เท่ากับ 2% - 4%
- Design B เป็นมอเตอร์ที่ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานทั่ว ๆ ไป มีค่าแรงบิดขณะสตาร์ทเช่นเดียวกับ Design A มีค่ากระแสขณะสตาร์ทเท่ากับ 4 - 5.5 เท่ากระแสพิกัด และมี speed regulation เท่ากับ 3% - 5%
- Design C เป็นมอเตอร์ที่ถูกออกแบบมาให้มีแรงบิดขณะสตาร์ทสูง (เหมาะสำหรับภาระประเภทปั้มน้ำ) มีค่าแรงบิดขณะสตาร์ทเท่ากับ 200% - 275% ของแรงบิดที่พิกัด มีค่ากระแสขณะสตาร์ทเท่ากับ 3.5 - 5 เท่าของกระแสพิกัดและมี speed regulation เท่ากับ 4%-5%
- Design D เป็นมอเตอร์ที่ถูกออกแบบให้มีแรงบิดขณะสตาร์ทสูงเช่นกันแต่สูงกว่า Design C มีค่าแรงบิดขณะสตาร์ทเท่ากับ 250% - 300 % ของแรงบิดที่พิกัด มีค่ากระแสขณะสตาร์ทเท่ากับ 3.5 - 5 เท่ากับของกระแสพิกัดและมี speed regulation เท่ากับ 4% - 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีมอเตอร์ที่ถูกออกแบบในรูปแบบอื่นที่ไม่ได้แสดงในรูปที่ 3-2 คือ Design E และ Design F

- Design E เป็นมอเตอร์ที่ถูกออกแบบให้มีแรงบิดต่ำ ในมอเตอร์ขนาดต่ำกว่า 5.5 kw จะมีกระแสขณะสตาร์ทต่ำเช่นกัน มอเตอร์ที่มีขนาดมากกว่า 5.5 kw ควรสตาร์ทด้วยวิธี reduce voltage starting มีค่า speed regulation สูง (low slip)

- Design F เป็นมอเตอร์ที่ถูกออกแบบให้มีแรงบิดต่ำ สามารถสตาร์ทได้ที่แรงดันพิกัด มีค่ากระแสสตาร์ทต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับ design อื่นๆ มีค่ากระแสสตาร์ทประมาณ 2-4 เท่าของกระแสพิกัดและมีค่าแรงบิดขณะสตาร์ทเท่ากับ 125 % ของค่าแรงบิดที่พิกัด มีค่า speed regulation มากกว่า 5 % ในกรณีที่มีมอเตอร์มีขนาดสูงกว่า 18.5 kw จะถูกออกแบบมาเพื่อใช้แทนมอเตอร์ Design B

3.3 การหาคุณลักษณะแรงบิด – ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

การหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งได้นำเสนอในปฏิญานิพนธ์นี้ เป็นการทดสอบหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบตาม IEEE standard 112-1996[1] ซึ่งมาตรฐานดังกล่าวได้ระบุวิธีที่ใช้ในการทดสอบไว้ 4 วิธีได้แก่ 1. วิธีการวัดค่าเอาท์พุท, 2. วิธีเร่งความเร็ว, 3. วิธีการวัดค่าอินพุท และ 4. วิธีวัดค่าโดยตรง เนื่องจากว่าวิธีการหาแรงบิดของมอเตอร์ด้วยการทดสอบด้วยวิธีที่ 1 และวิธีที่ 4 นั้นจำเป็นต้องรักษาระดับความเร็วรอบของมอเตอร์ให้คงที่ก่อนที่จะทำการบันทึกข้อมูลได้ ในส่วนวิธีที่ 3 นั้นเป็นการทดสอบในกรณีที่ไม่สามารถปลดภาระออกจากเพลลาของมอเตอร์ได้ ซึ่งเป็นทำให้ค่าแรงบิดที่คำนวณได้นั้นไม่ครอบคลุมย่านความเร็วรอบของมอเตอร์เพราะความเร็วสูงสุดจะหยุดอยู่ที่ความเร็วพิกัดเท่านั้น และข้อเสียอีกประการคือต้องทำการประมาณค่าความสูญเสียจากสเตเตอร์ เนื่องจากไม่สามารถวัดค่าดังกล่าวได้โดยตรง ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอวิธีการหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบด้วยวิธีเร่งความเร็ว ซึ่งมีข้อดีคือใช้เวลาในการทำการทดสอบสั้นและให้ข้อมูลได้ครอบคลุมย่านความเร็วของมอเตอร์ เนื่องจากทำการทดสอบที่สภาวะไร้อะไร่ ซึ่งวิธีการในการทดสอบนั้นจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

3.4 การหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีเร่งความเร็ว

ได้ทำการสตาร์ทมอเตอร์แบบต่างๆคือ 1. สตาร์ทตรงแบบสตาร์ท, 2. สตาร์ทตรงแบบเดลต้า, 3. สตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลต้า และ 4. สตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์ โดยมอเตอร์อยู่ในสภาวะไร้อะไร่ จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลแรงดัน, กระแส, ความเร็วรอบ, และเวลาในช่วงที่มอเตอร์เร่งความเร็ว วิธีการหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบด้วยวิธีการเร่งความเร็วนี้ จะต้องอาศัยช่วงเวลาในการเร่งความเร็วที่นานพอที่จะทำให้ผลกระทบจากสภาวะทรานเซียนต์ทางไฟฟ้า จากเครื่องมือวัดและจากตัวมอเตอร์ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อข้อมูลความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำในขณะที่ทำการเร่งความเร็วได้ ดังนั้นจึงต้องมีวิธีการกำจัดผลกระทบดังกล่าวโดยต้องยืดช่วงเวลาในการเร่งความเร็วให้นานขึ้น โดยการดับปลั๊กช่วยแรงเข้ากับเพลลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำวิธีการดังกล่าวจะเป็นการเพิ่มค่าคงตัวเวลาทางกล (mechanical time constant) ให้แก่มอเตอร์เหนี่ยวนำทำให้เวลาในการเร่งความเร็วยาวนานขึ้น

ภายหลังการทำการสตาร์ทและบันทึกข้อมูลความเร็วรอบของมอเตอร์แล้ว นำข้อมูลความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำมาคำนวณหาแรงบิดที่เพลลาของมอเตอร์ด้วยสมการที่ 3.1[1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = \frac{J}{k} \cdot \frac{dn}{dt} \quad (3.1)$$

โดยที่ T = แรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (N-m)
 J = ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของส่วนที่มีการหมุน ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
 $\frac{dn}{dt}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm/s)
 k = 9.549

จากสมการที่ 3.1 เพื่อจัดสมการให้อยู่ในรูปที่นิยมใช้กันทั่วไปจัดรูปสมการใหม่เป็น

$$T = J \frac{d\omega}{dt} \quad (3.2)$$

โดยที่ $\frac{d\omega}{dt}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ (rad/s^2)

3.4.1 สมการแรงบิดมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะ dynamic

(5) เมื่อมอเตอร์อยู่ในสถานะ dynamic สมการแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะแสดงดังสมการที่ 3.3(1),

$$T_m = J_m \frac{d\omega_r}{dt} + D\omega_r + F\omega_r^2 + T_c + T_L \quad (3.3)$$

$$T_1 = D\omega_r + F\omega_r^2 + T_c + T_L \quad (3.4)$$

$$T_m = J_m \frac{d\omega_r}{dt} + T_1 \quad (3.5)$$

โดยที่ T_m = แรงบิดของมอเตอร์ (N-m)
 T_L = แรงบิดภาระ (N-m)
 T_c = แรงบิดเนื่องจาก coulomb friction (N-m)
 $D\omega_r$ = แรงบิดเนื่องจากความหนืด (viscous torque)(N-m)
 $F\omega_r^2$ = แรงบิดเนื่องจากแรงต้านของลม (windage torque) (N-m)
 J_m = ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)
 ω_r = ขนาดของความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (rad/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 เทคนิคในการเพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อยให้แก่โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.4 ซึ่งกล่าวไว้ว่าในการทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็วจำเป็นต้องอาศัยเวลาในการเร่งความเร็วที่นานพอที่จะทำให้ผลของ electrical transient จากมอเตอร์และเครื่องมือวัดซึ่งจะส่งผลกระทบต่อข้อมูลความเร็วรอบที่จะนำมาใช้คำนวณหาค่าแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำหมดไป[1], [3] ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มเวลาในการเร่งความเร็วโดยเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วของมอเตอร์แสดงดังสมการที่ 3.6

$$t = J \int_{\omega_1}^{\omega_2} \frac{1}{T_m - T_1} d\omega \quad (3.6)$$

โดยที่ t = เวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วของมอเตอร์จาก ω_1 ไปสู่ ω_2

เนื่องจากการทดสอบการทดสอบหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีเร่งความเร็วนั้นกระทำการทดสอบในสภาวะที่มอเตอร์อยู่ในสภาวะ no-load และค่า T_c และ $F\omega_r^2$ มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแรงบิดอื่น ๆ ดังนั้นสมการแรงบิดในสมการที่ 3.3 จะกลายเป็น [5], [18]

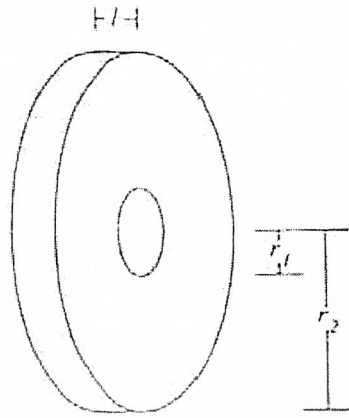
$$T_m = J_m \frac{d\omega_r}{dt} + D\omega_r \quad (3.7)$$

จากสมการที่ 3.6 เมื่อค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์มีค่าสูงขึ้นทำให้เวลาในการเร่งความเร็วของมอเตอร์สูงขึ้นซึ่งเมื่อทำการเพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อยขนาด J_1 ให้แก่โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำแล้วสมการแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำแสดงสมการที่ 3.8 [18]

$$J_m = (J_m - J_1) \frac{d\omega_r}{dt} + D\omega_r \quad (3.8)$$

3.4.3 การคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของล้อช่วยแรงที่ใช้ในการทดสอบ

ในส่วนของล้อช่วยแรงที่ใช้สำหรับเพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อยให้แก่โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสำหรับการทดสอบด้วยวิธีการเร่งความเร็วนั้นมีรูปทรงดังแสดงในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 รูปทรงของล้อช่วยแรงที่ใช้เพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อยให้แก่โรเตอร์

จากรูปที่ 3.3 สมการที่ใช้คำนวณค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของล้อช่วยแรงคือ

$$J_1 = \frac{1}{2} m (r_2^2 + r_1^2) \quad (3.9)$$

โดยที่ m = มวลของล้อช่วยแรง (kg)

r_1, r_2 = รัศมีภายในและภายนอกของล้อช่วยแรง (m)

3.5 การคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์

วิธีการเพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อยให้แก่โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นกระทำโดยการใช้ล้อช่วยแรงที่มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยค่าหนึ่งมาทำการคัปปลิ่งเข้ากับเพลาของมอเตอร์ซึ่งวิธีการในการคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์สามารถคำนวณโดยอาศัยข้อมูลจากการทดสอบด้วยวิธีหน่วงความเร็ว (retardation test) ซึ่งขั้นตอนการทดสอบกระทำตาม IEC standard 34-2 [2] โดยทำการเดินเครื่องมอเตอร์ที่สภาวะคงตัว (steady state) และมีการคัปปลิ่งล้อช่วยแรงที่มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยค่าหนึ่งเข้ากับเพลาของมอเตอร์ จากนั้นทำการปลดแหล่งจ่ายออกจากขั้วของสเตเตอร์ ค่าแรงบิดของมอเตอร์ (T_m) จะมีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้นสมการแรงบิดในช่วงที่มอเตอร์ลดความเร็วลงเป็นดังนี้ [9],[18]

$$J_m \frac{d\omega_{r1}}{dt} + D\omega_{r1} = 0 \quad (3.10)$$

$$(J_m + J_1) \frac{d\omega_{r2}}{dt} + D\omega_{r2} = 0 \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 3.10 และ 3.11 เมื่อทำการแก้สมการอนุพันธ์ (differential equation) จะได้ผลเฉลย (solution) ของสมการอยู่ในรูปแบบ

$$\omega_{r1}(t) = \omega_{0t} \left(\frac{D}{J_m}\right)t \quad (3.12)$$

$$\omega_{r2}(t) = \omega_{0t} \left(\frac{D}{J_m - J_1}\right)^t \quad (3.13)$$

จากสมการที่ 3.10 และ 3.11 นำสมการทั้งสองมาทำการหาผลลัพธ์ของสมการสองตัวแปรคือค่า J_m และค่า D โดยจัดรูปสมการให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ดังสมการที่ 3.14

$$\begin{bmatrix} \frac{d\omega_{r1}}{dt} \omega_{r1} \\ \frac{d\omega_{r1}}{dt} \omega_{r1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_m \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} O \\ -J_1 \frac{d\omega_{r2}}{dt} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

ผลลัพธ์ของสมการที่ 3.14 จะแสดงดังสมการที่ 3.15

$$\begin{bmatrix} J_m \\ D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{d\omega_{r1}}{dt} \omega_{r1} \\ \frac{d\omega_{r1}}{dt} \omega_{r2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} O \\ -J_1 \frac{d\omega_{r2}}{dt} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

ในการคำนวณสมการที่ 3.15 ให้การคำนวณที่ความเร็วพิกัด

3.6 กระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์ เหนี่ยวนำ

เนื่องจากข้อมูลความเร็วรอบที่บันทึกได้มีการแกว่งของสัญญาณมาก อันมีสาเหตุอันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ เช่น ชี commutator ของ DC tachogenerator, ความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ในการคัปปลิง รวมไปถึงตัวมอเตอร์เอง ทำให้สัญญาณที่บันทึกได้ไม่สามารถนำมาคำนวณหาแรงบิดได้ทันที จำจะต้องทำให้สัญญาณมีความเรียบก่อน โดยอาศัยกระบวนการ polynomial regression เพื่อจัดสัญญาณของข้อมูลดิบให้อยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3.16

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในการทดสอบหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีการทดสอบด้วยวิธีการเร่งความเร็ว (acceleration method) และ วิธีการหน่วงความเร็ว (retardation method) เป็นหลักซึ่งวิธีการดังกล่าวได้มีการระบุไว้ใน IEEE standard 112-1996 [1] และ IEC standard 34-2 [2] ตามลำดับ

ในบทนี้จะนำเสนอการทดสอบ ผลการทดสอบในรูปแบบต่างๆ และการคำนวณหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำพร้อมคุณลักษณะอื่นๆด้วย

4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

4.2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor)

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่ใช้ในการทดสอบเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ถูกสร้างขึ้นโดยอ้างอิงมาตรฐาน JIS C4004 เป็นมอเตอร์ประเภท totally enclosed fan cool (TEFC) โดยมอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด 1 และ 3 แรงม้า

พิกัดกำลัง (Hp)	พิกัดแรงดัน (V)	พิกัดกระแส (A)	พิกัดความเร็วรอบ (rpm)	พิกัดแรงบิด (N-m)
1	220/380	3.4/2.0	1400	5.0884
3	220/380	8.7/5.0	1420	15.0502

ตารางที่ 4-1 พิกัดต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดสอบ

4.2.2 DC Tachogenerator

DC Tachogenerator เป็นเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสตรงโดยประเภทหนึ่ง โดย DC Tachogenerator ที่นำมาใช้สำหรับทดสอบเป็นประเภทที่มีแปรงถ่าน โดยสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับความเร็วยรอบของ DC Tachogenerator แสดงดังสมการ

$$v = k\omega \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

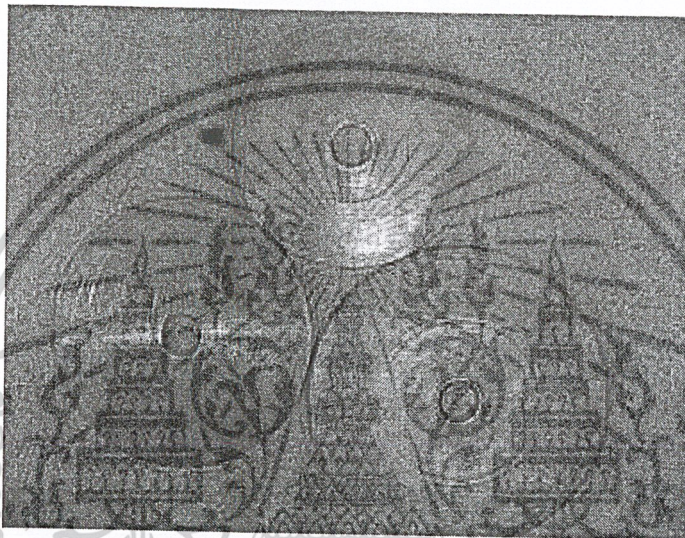
โดยที่ v = แรงดันเอาต์พุตของ DC Tachogenerator (V)

k = ค่าคงที่การแปรผันระหว่างแรงดันและอัตราเร็วเชิงมุม (V/(rad/s))

ω = อัตราเร็วเชิงมุมของโรเตอร์ (rad/s)

DC Tachogenerator ที่ใช้ในการทดสอบนี้มีค่าคงที่การแปรผันระหว่างแรงดันและอัตราเร็วเชิงมุมประมาณ 0.0297 (V/(rad/s))

4.2.3 ล้อช่วยแรง (Flywheel)



รูปที่ 4-1 ล้อช่วยแรงที่ใช้ในการทดสอบ

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดสอบกับล้อช่วยแรงที่มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อย 2 ขนาดเพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดของค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่แตกต่างกัน โดยค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดดังต่อไปนี้

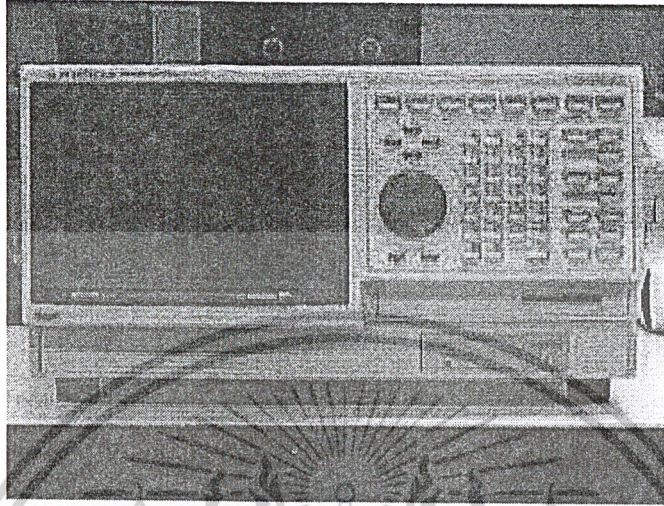
ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย ของล้อช่วยแรง ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)	ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง (m)	มวล (kg)
13.24	0.2234	0.0868
15.16	0.318	0.196
24.34	0.401	0.497
30.88	0.352	0.448

ตารางที่ 4-2 ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง, และมวลของล้อช่วยแรงที่ใช้ทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 Analyzing Recorder

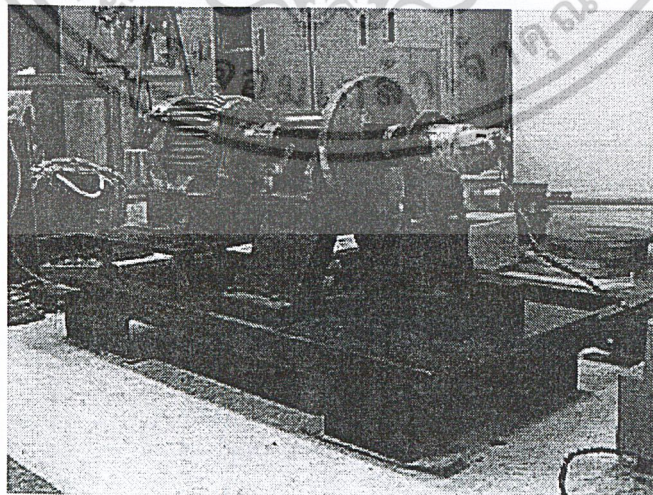
เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลแรงดัน, กระแส, ความเร็วรอบ และเวลาที่ใช้ในการทดสอบแต่ละครั้ง



รูปที่ 4-2 Analyzing Recorder ที่ใช้ในการทดสอบ

4.2.5 แท่นสำหรับทดสอบมอเตอร์

เนื่องจากการทดสอบมอเตอร์ด้วยวิธีเร่งความเร็ว โดยการเพิ่ม โหลดที่ความถี่มีโอกาสดันทรายสูง และการใช้ล้อช่วยแรงมากับปลั๊กกับเพลลาของมอเตอร์ โดยตรงซึ่งเป็นไปได้ยากเนื่องจากไม่มีจุดที่ใช้ล้อล้อช่วยแรงให้ติดกับเพลลา ดังนั้นจึงต้องมีแท่นทดสอบเพื่อใช้สำหรับเป็นจุดติดตั้งมอเตอร์ และชุดเพลลาที่ใช้สำหรับติดตั้งล้อช่วยแรง โดยที่ปลายทั้งสองข้างของชุดเพลลานั้นจะค้ำปลั๊กอยู่กับมอเตอร์เหนี่ยวนำและ DC Tachogenerator

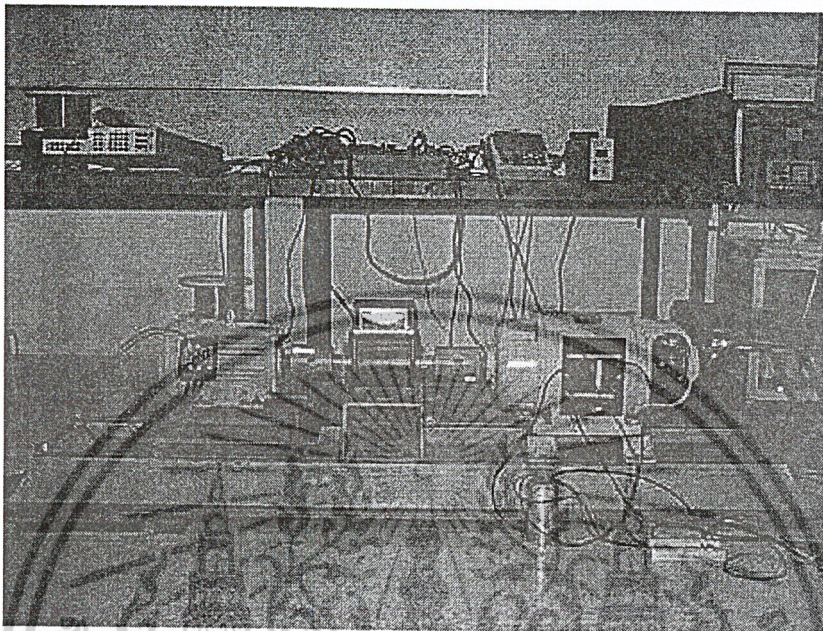


รูปที่ 4-3 แท่นสำหรับทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 แทนสำหรับทดสอบภาระของมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Load Test)

ในการทดสอบภาระของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะทำให้เราทราบค่าแรงบิดที่พิกัดของมอเตอร์ เพื่อนำมา ยืนยันกับแรงบิดที่ได้จากการทดสอบที่



รูปที่ 4-4 แทนสำหรับทดสอบภาระของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

4.3 วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบได้ทำการต่อมอเตอร์เป็นแบบสตาร์โดยทำการต่อแหล่งจ่ายผ่าน analyzing recorder เพื่อบันทึกข้อมูลต่างๆก่อนที่จะเข้าสู่มอเตอร์ ในการทดสอบจะต้องมีการทดสอบการสตาร์ทมอเตอร์ 4 วิธีด้วยกันคือ 1. การสตาร์ทตรงแบบสตาร์ 2. การสตาร์ทตรงแบบเคลดต้า 3. การสตาร์ทแบบสตาร์-เคลดต้า และ 4. สตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะทำการทดสอบด้วยวิธีการเร่งความเร็ว การสตาร์ทตรงยังต้องทำการหน่วงความเร็วเพื่อหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์ และทำการทดสอบภาระเพื่อหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์ในช่วงความเร็วพิกัดถึงความเร็วในสถานะไร้ภาระ โดยการทดสอบนี้ก็เพื่อยืนยันความ น่าเชื่อถือได้ของกราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากการทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็วโดยรายละเอียดของการทดสอบทั้งหมดสามารถแจกแจงได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 การทดสอบด้วยวิธีหน่วงความเร็ว (Retardation Test)

การทดสอบหน่วงความเร็วเป็นการทดสอบโดยอ้างอิงตาม IEC standard 34-2 [2] การทดสอบหน่วงความเร็วกระทำโดยการเดินเครื่องมอเตอร์เหนี่ยวนำจนกระทั่งความเร็วของมอเตอร์เข้าสู่สภาวะคงตัว จากนั้นทำการปลดแหล่งจ่ายออกจากสเตรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ แล้วทำการบันทึกความเร็วรอบของมอเตอร์ในช่วงที่ความเร็วรอบของมอเตอร์อยู่ในย่าน 101% - 99% ของพิกัดความเร็วรอบ ภายหลังจากได้ ข้อมูลของความเร็วรอบของมอเตอร์ช่วงที่มอเตอร์ลดความเร็วลง ให้นำข้อมูลดังกล่าวมาทำการหาแนวโน้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของข้อมูล ในการทดสอบต้องทำการทดสอบโดยการเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อยที่ทราบค่าให้แก่โรเตอร์และทำการทดสอบอย่างน้อย 2 ครั้งโดยแต่ละครั้งต้องเพิ่มค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่ต่างกัน จากนั้นนำข้อมูลแนวโน้มดังกล่าวมาทำการคำนวณ โดยทำการแก้สมการเพื่อหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย

4.3.2 การทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็ว (Acceleration)

การทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็วเป็นการทดสอบโดยอ้างอิงตาม IEEE standard 112-1996 [1] ในการทดสอบทำการต่อมอเตอร์แบบต่างๆคือ 1. ต่อแบบสตาร์โดยป้อนแรงดันไลน์เท่ากับ 380 โวลต์ 2. ต่อแบบเดลต้าโดยป้อนแรงดันเท่ากับ 220 โวลต์ 3. ต่อแบบสตาร์เดลต้าโดยป้อนแรงดันเท่ากับ 220 โวลต์ และ 4. ต่อโดยใช้อินเวอร์เตอร์ จากนั้นทำการสตาร์ทมอเตอร์จากสภาวะหยุดนิ่ง ในการทดสอบแต่ละครั้งจะทำการเปลี่ยนขนาดของล้อช่วยแรงให้มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยต่างๆกัน เพื่อเป็นการศึกษาผลกระทบของค่าโมเมนต์ความเฉื่อยต่อผลการทดลอง ในการทดสอบนั้นต้องทำการบันทึกข้อมูลแรงดัน, กระแส, ความเร็วรอบ, และเวลาในช่วงที่มอเตอร์เร่งความเร็วจนกระทั่งความเร็วของมอเตอร์เข้าสู่สภาวะคงตัวที่ความเร็วเข้าใกล้ความเร็วซิงโครนัส (synchronous speed)

4.3.3 การทดสอบภาระของมอเตอร์ (Load Test)

ในการทดสอบภาระของมอเตอร์ทำการทดสอบโดยใส่ภาระให้แก่มอเตอร์ คือ นำ DC Generator มาต่อเป็นภาระให้กับมอเตอร์ แล้วทำการเพิ่มภาระโดยการค่อยๆ เพิ่มกระแสกระตุ้นให้กับ DC Generator แล้วทำการบันทึกค่าแรงบิด, ความเร็วรอบจาก Torque Detector และทำการบันทึกค่ากระแส, แรงดัน, กำลังไฟฟ้า และ power factor จาก power meter

4.4 ผลการทดสอบ

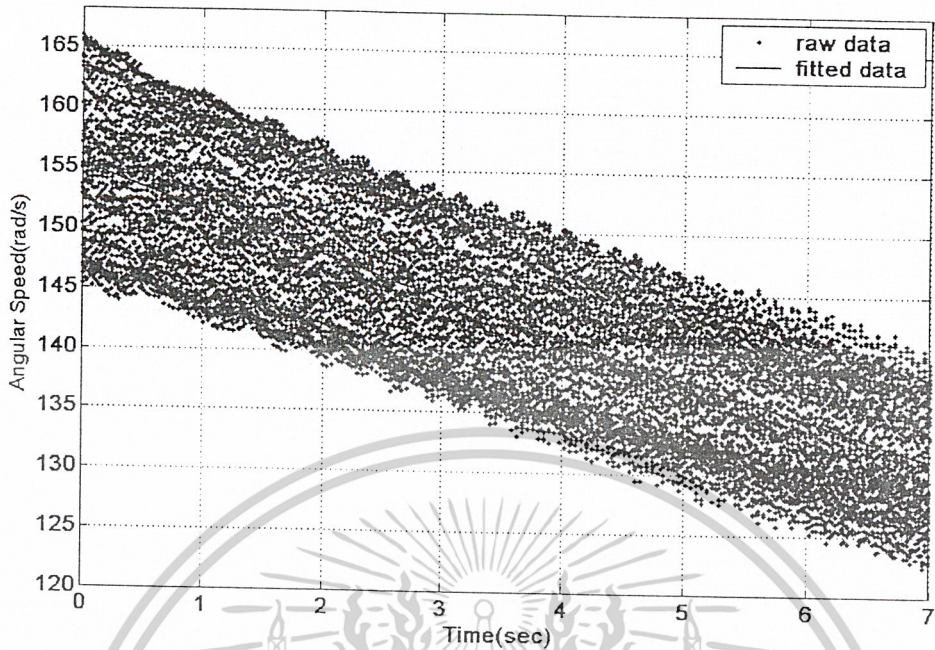
4.4.1 การทดสอบด้วยวิธีห้วงความเร็ว

ผลการทดสอบด้วยวิธีห้วงความเร็วจะได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์

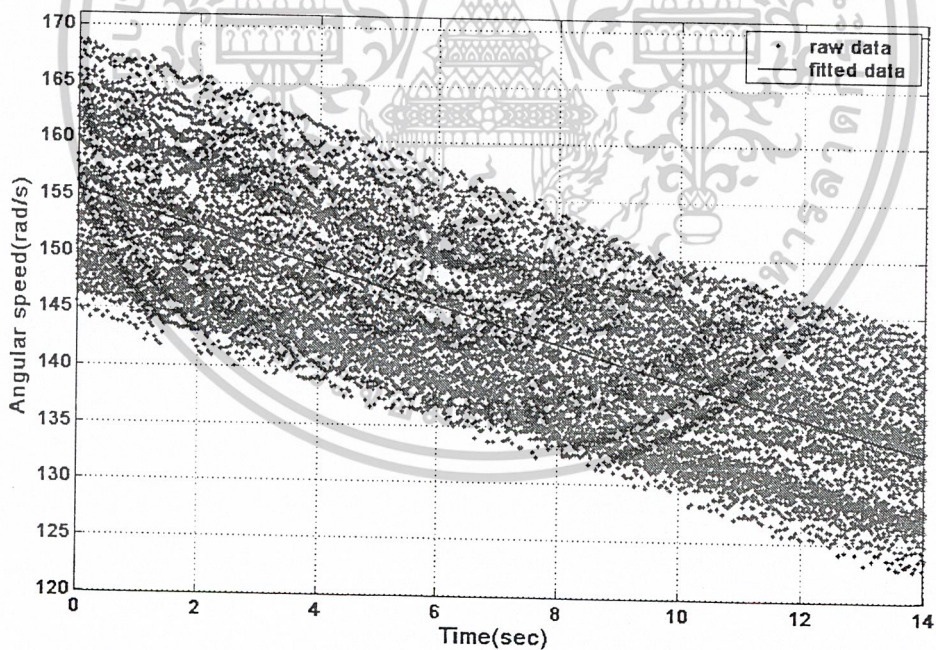
ขนาดของ มอเตอร์ (Hp)	ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย ของโรเตอร์ (kg-m ²)
1	0.0028
3	0.0056

ตารางที่ 4-3 ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์ที่ได้จากการทดสอบห้วงความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

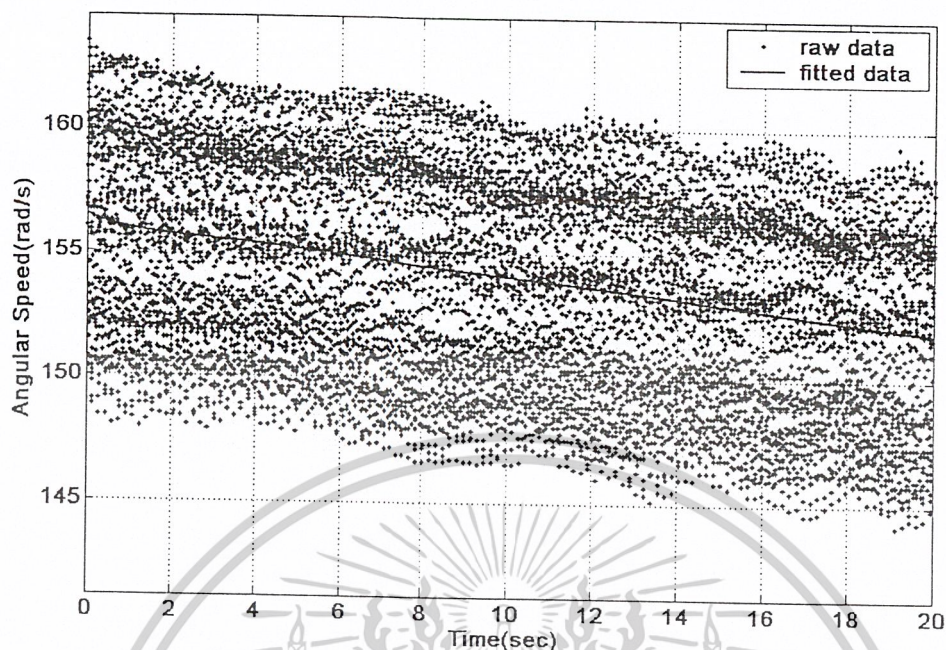


รูปที่ 4-5 ผลการทดสอบ retardation test ของมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าเมื่อทำการทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2

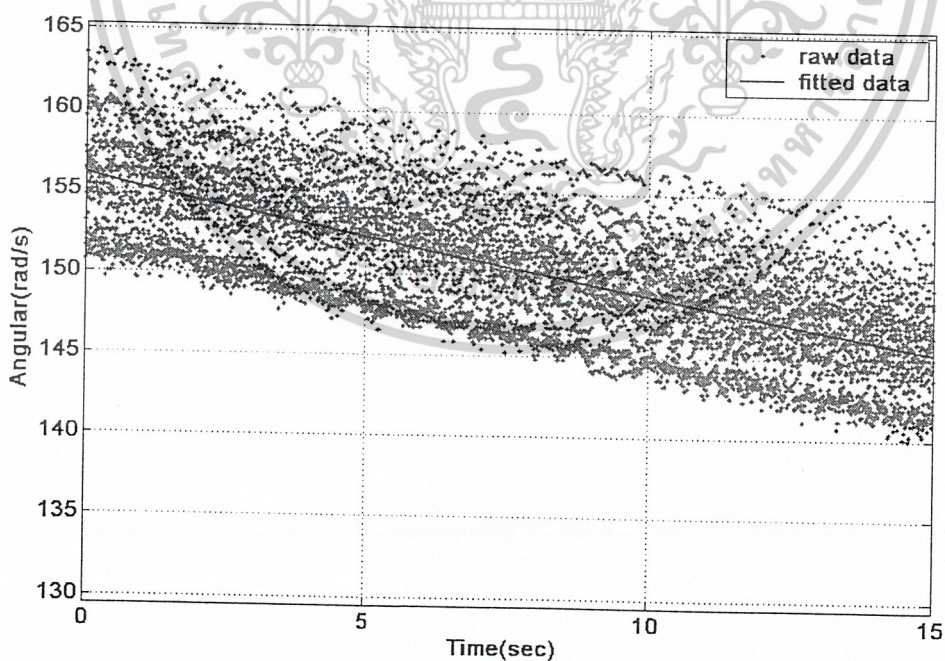


รูปที่ 4-6 ผลการทดสอบ retardation test ของมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าเมื่อทำการทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-7 ผลการทดสอบ retardation test ของมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าเมื่อทำการทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2



รูปที่ 4-8 ผลการทดสอบ retardation test ของมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าเมื่อทำการทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในรูปที่ 4-5 ถึง 4-8 เป็นการทดสอบด้วยวิธีห้วงความเร็ว ซึ่งแต่ละรูปแสดงความเร็วรอบของมอเตอร์ในช่วงที่มอเตอร์ลดความเร็วลง โดยเส้นสีแดงในแต่ละรูปเป็นเส้นแนวโน้มการลดความเร็วของมอเตอร์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ least square regression โดยพล็อตร่วมกับข้อมูลจริง ภายหลังได้เส้นแนวโน้มของแต่ละการทดสอบแล้วนำมาทำการคำนวณตามสมการที่ 3.10 และ 3.11 โดยทำการแก้สมการ 2 ตัวแปรตามสมการที่ 3.14 จะได้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์

4.4.2 การทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็ว

พารามิเตอร์(Ω)	1 Hp	3Hp
R_1	10.5000	3.7800
X_1	9.8050	3.8575
R_2	10.1322	3.2899
X_2	9.8056	3.8575
R_c	2366.2	625.0
X_m	216.6351	81.1024

ตารางที่ 4-4 ค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากค่าพารามิเตอร์ที่เราทดสอบได้ ทำให้เราคำนวณค่าต่างๆ ได้ดังนี้

มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 Hp

1. Torque Start = 11.56 N-m
2. Torque Maximum = 14.12 N-m
3. Current Start = 7.73 A

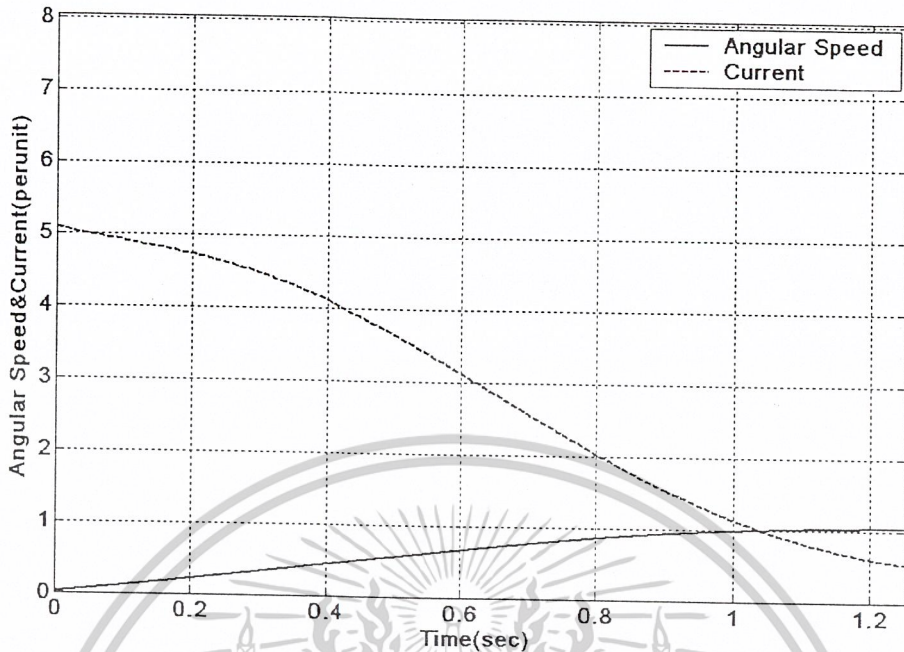
มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 Hp

1. Torque Start = 27.7 N-m
2. Torque Maximum = 37.38 N-m
3. Current Start = 21 A

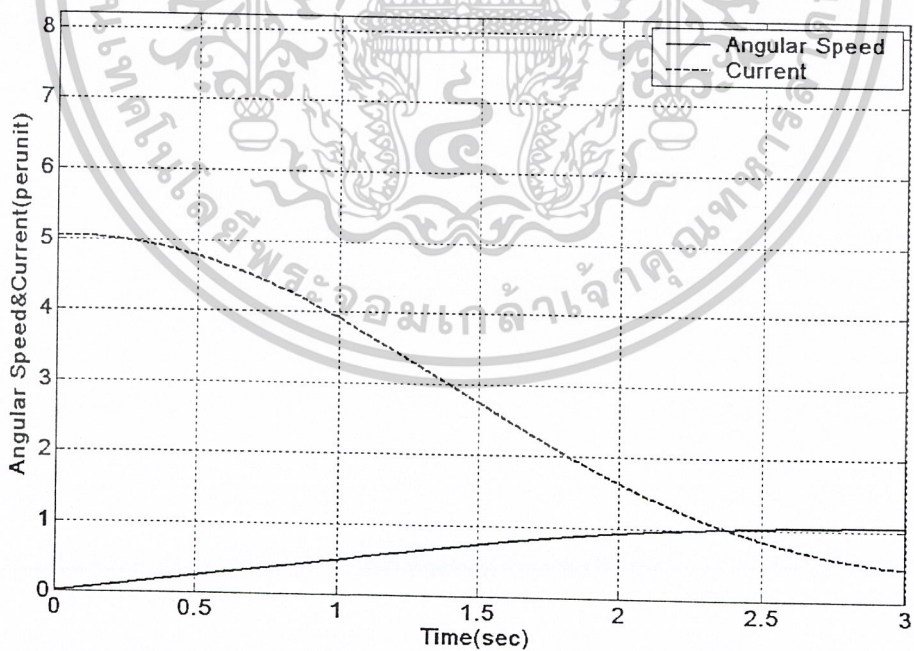
4.4.2.1 สตาร์ทด้วยวิธีการสตาร์ทตรง(direct on-line starting)

4.4.2.1.1 ต่อแบบสตาร์ท(star connect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

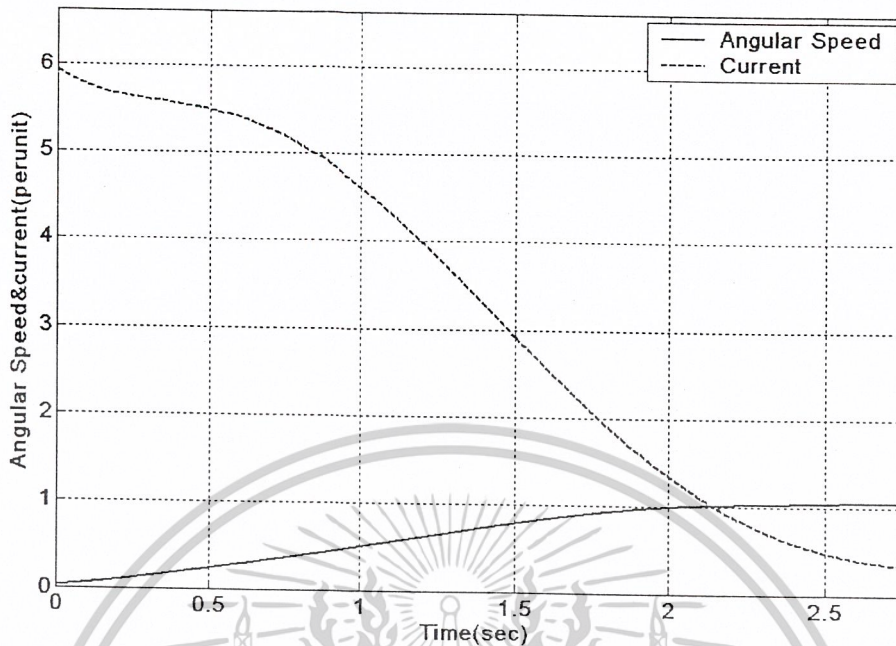


รูปที่ 4-9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

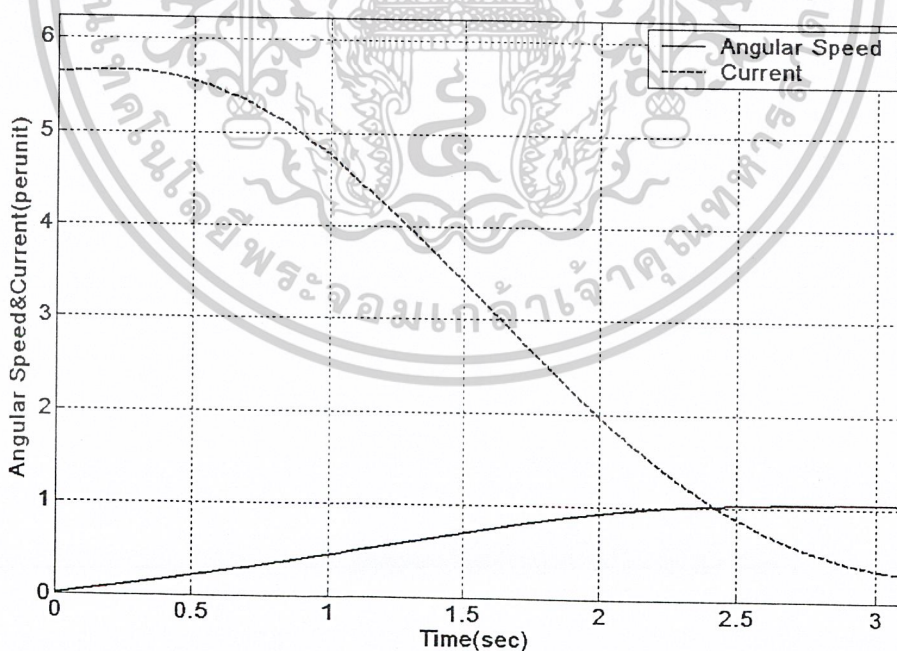


รูปที่ 4-10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

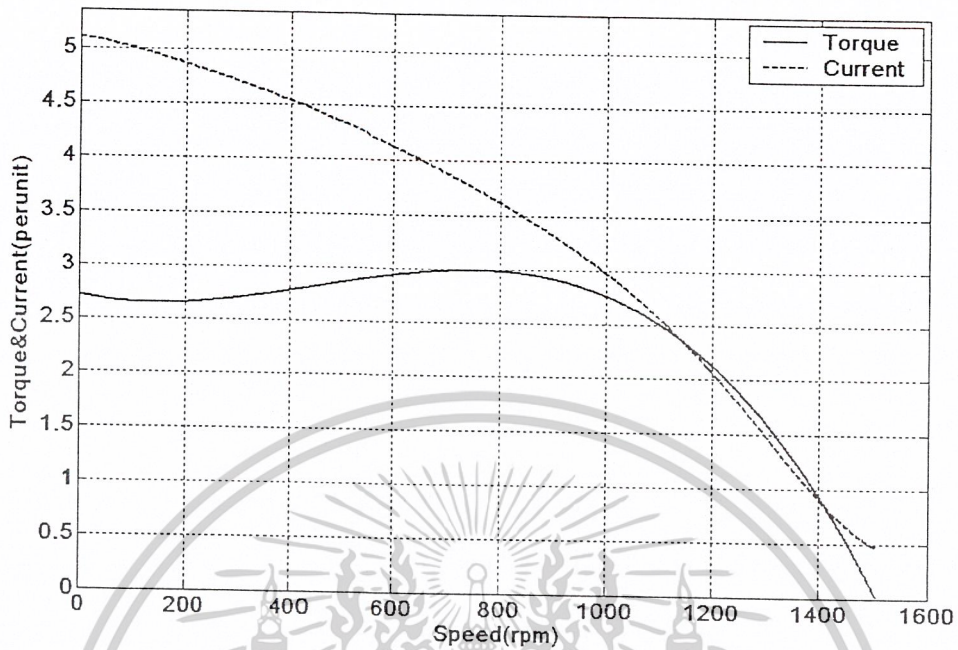


รูปที่ 4-11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อทดสอบกับ ล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

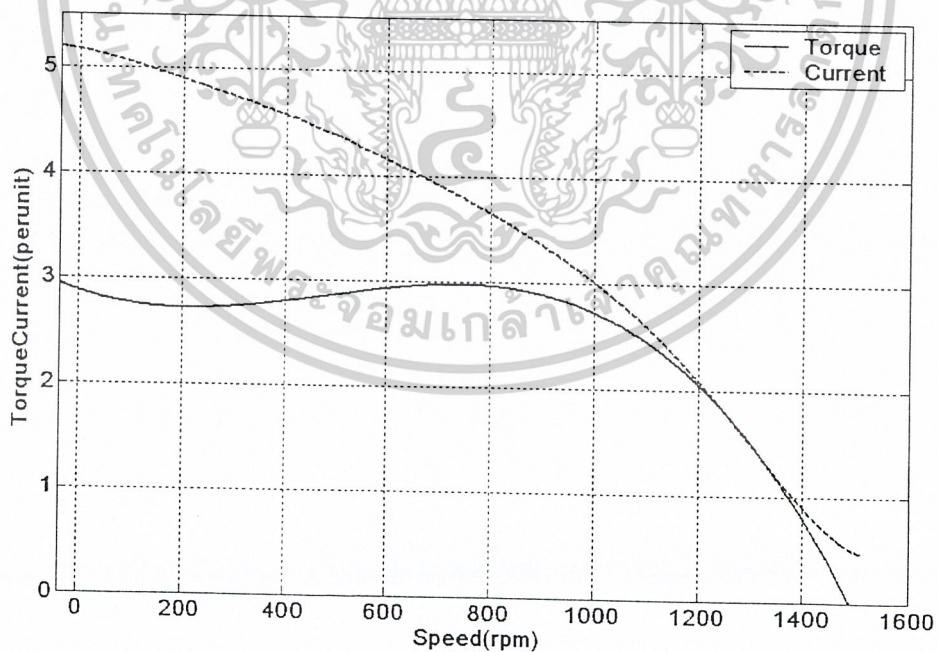


รูปที่ 4-12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อทดสอบกับ ล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

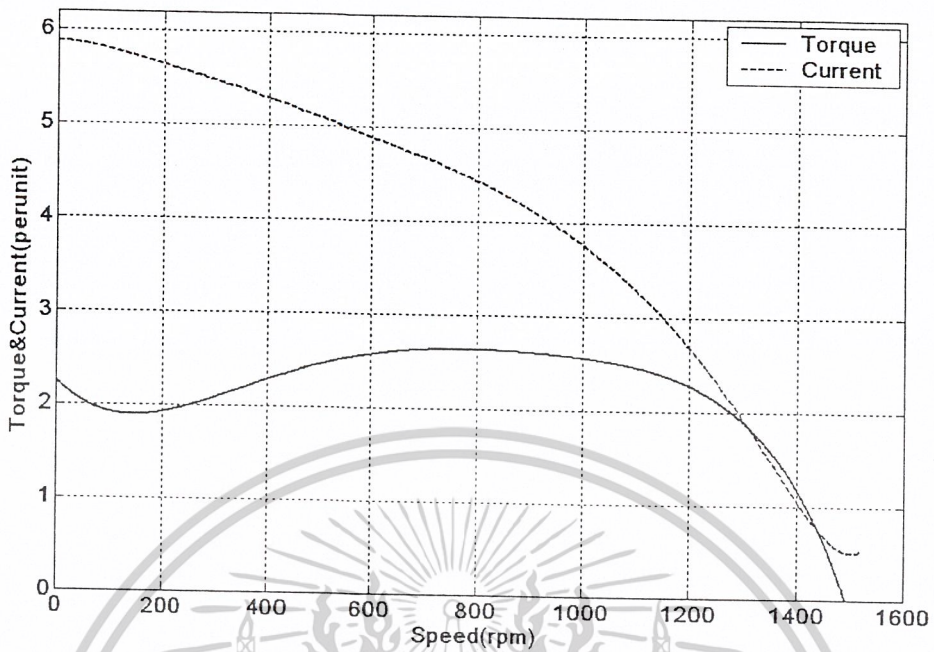


รูปที่ 4-13 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

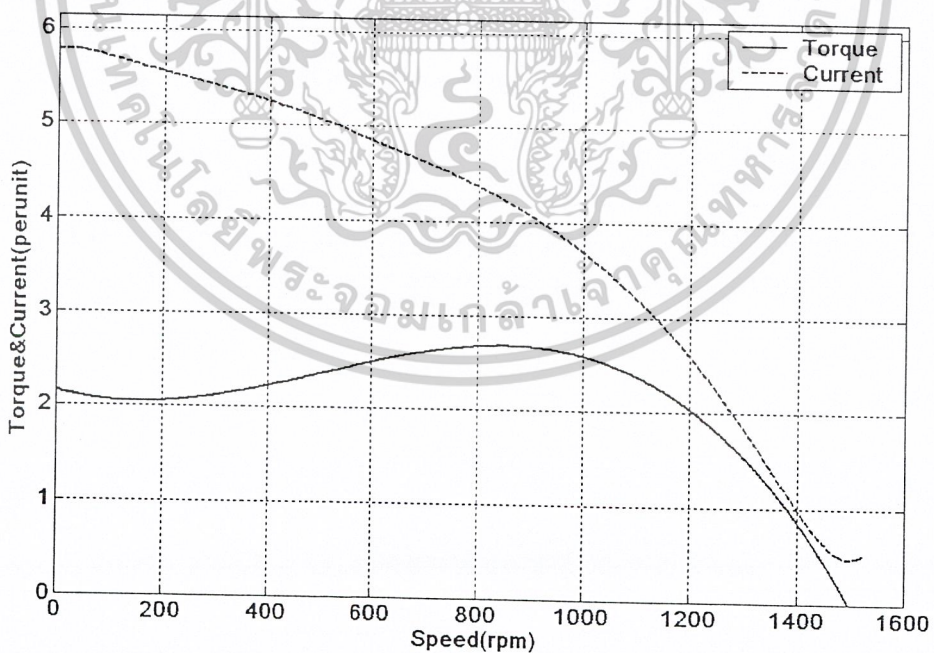


รูปที่ 4-14 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

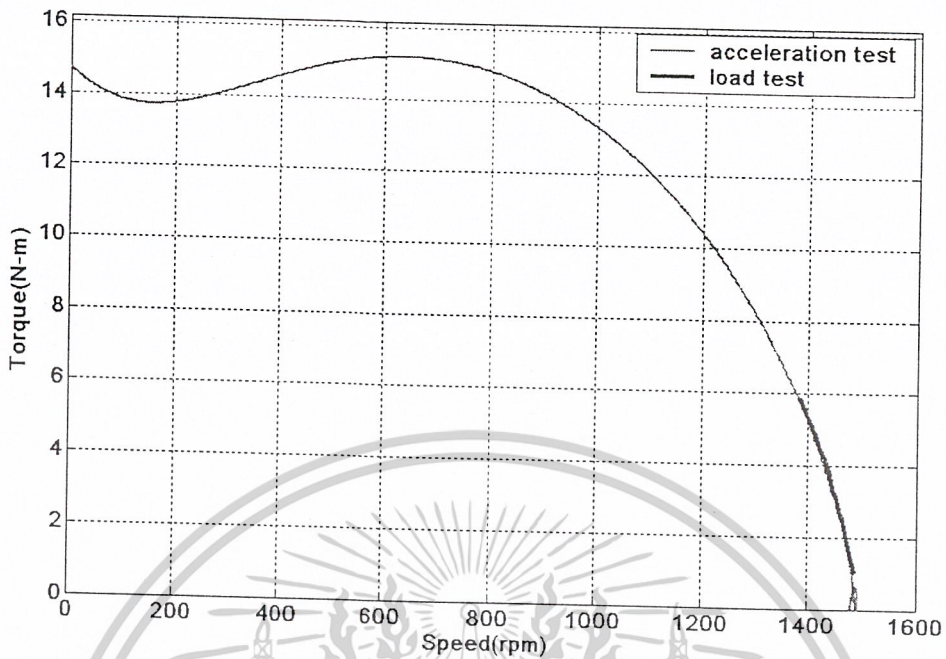


รูปที่ 4-15 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์ เหนี่ยวน้ำหนัก 3 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

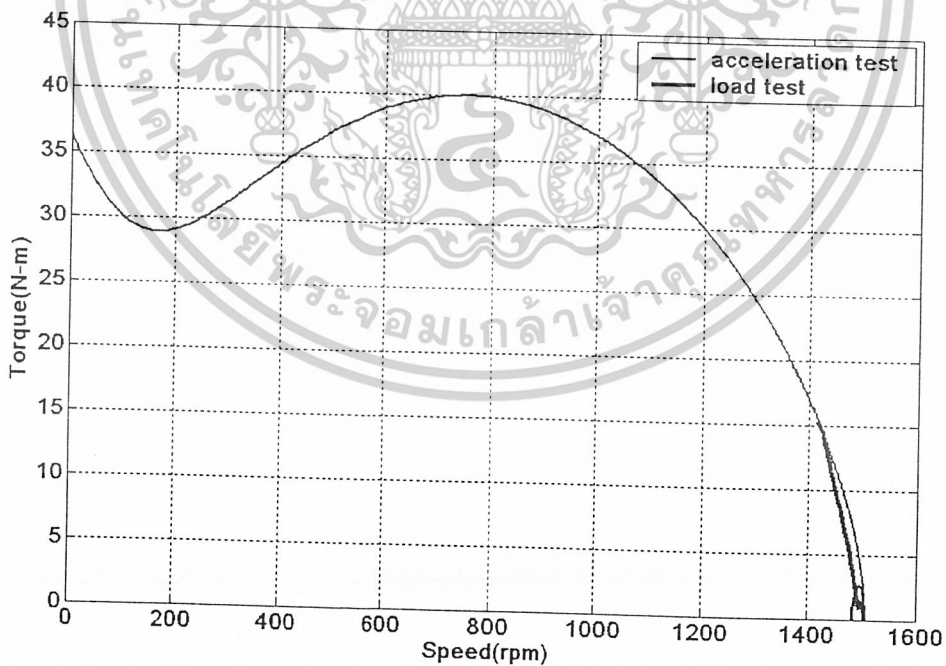


รูปที่ 4-16 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์ เหนี่ยวน้ำหนัก 3 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



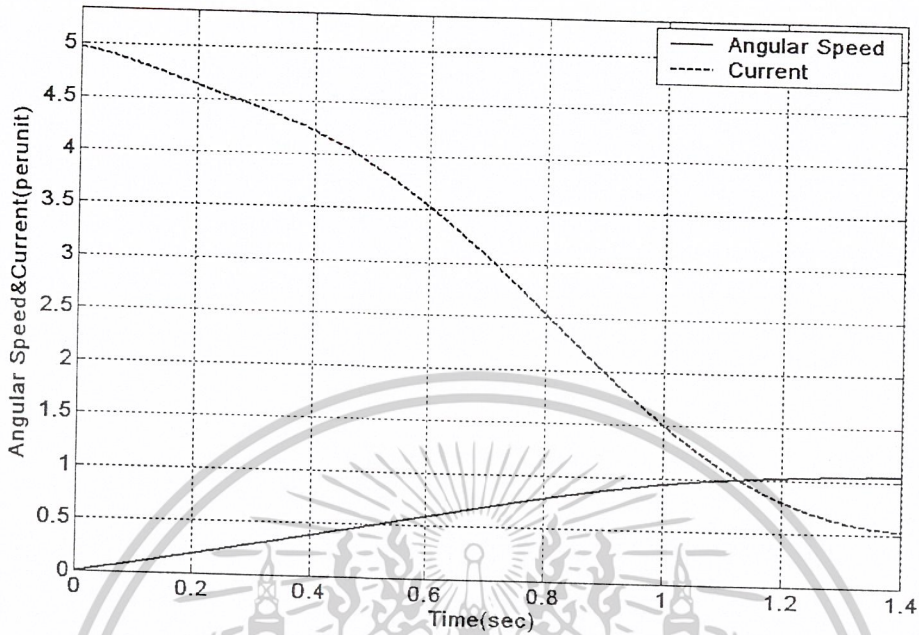
รูปที่ 4-17 เปรียบเทียบกราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า ที่ได้จากการทดสอบภาระกับกราฟที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็ว



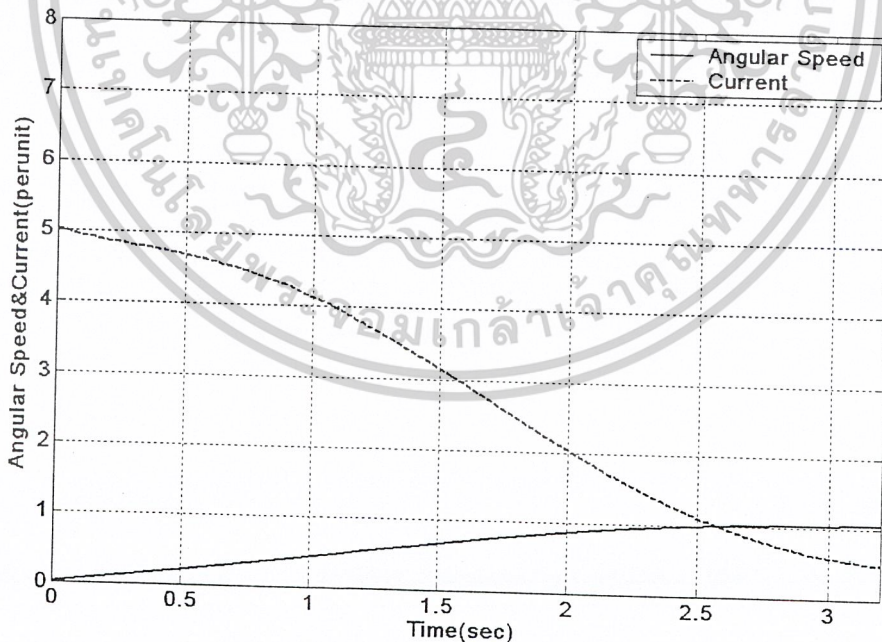
รูปที่ 4-18 เปรียบเทียบกราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า ที่ได้จากการทดสอบภาระกับกราฟที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.1.2 ต่อแบบเคลตต้า

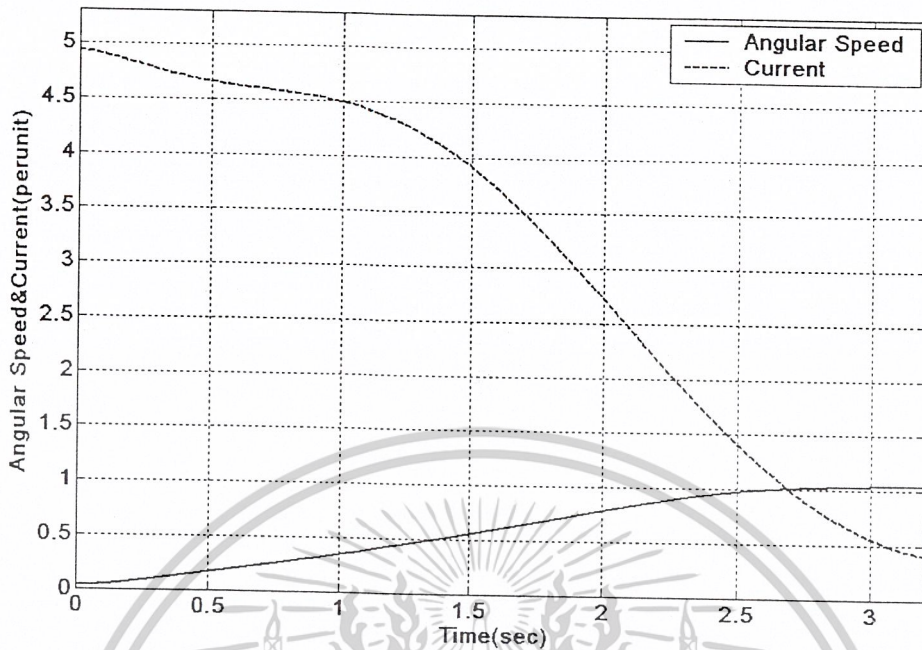


รูปที่ 4-19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

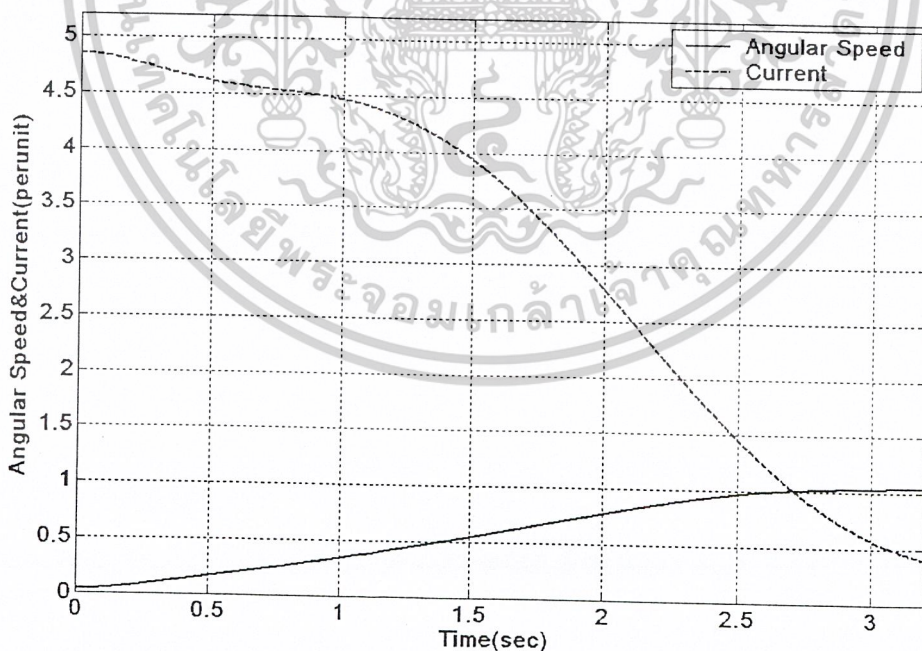


รูปที่ 4-20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

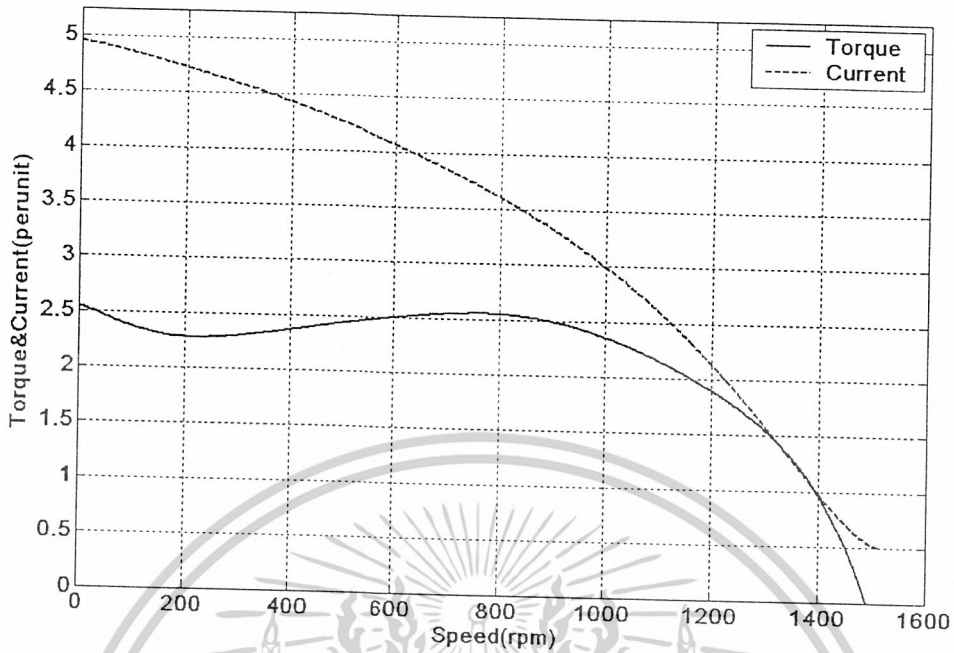


รูปที่ 4-21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

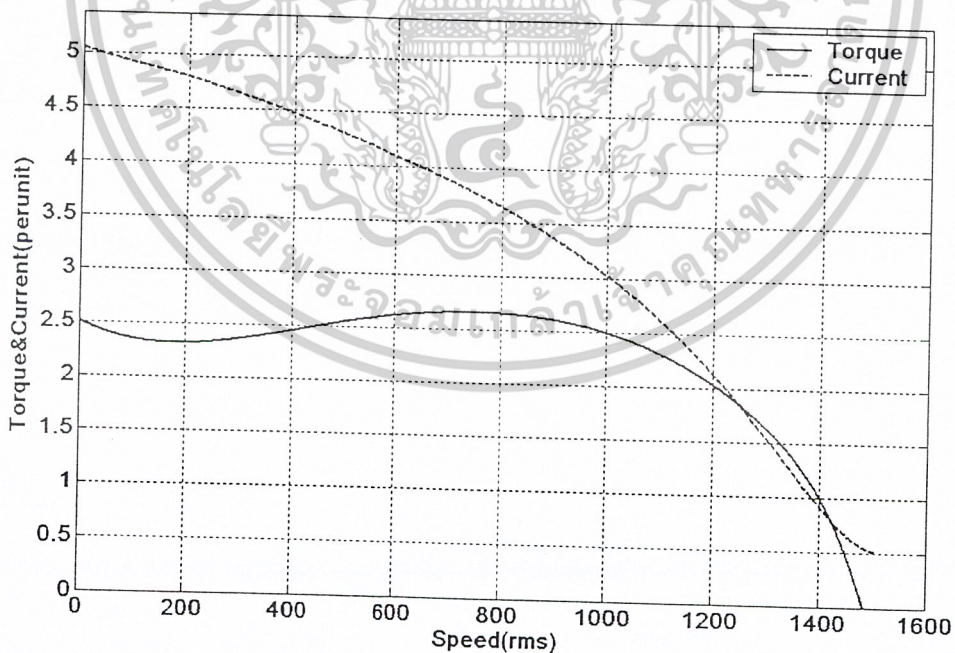


รูปที่ 4-22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

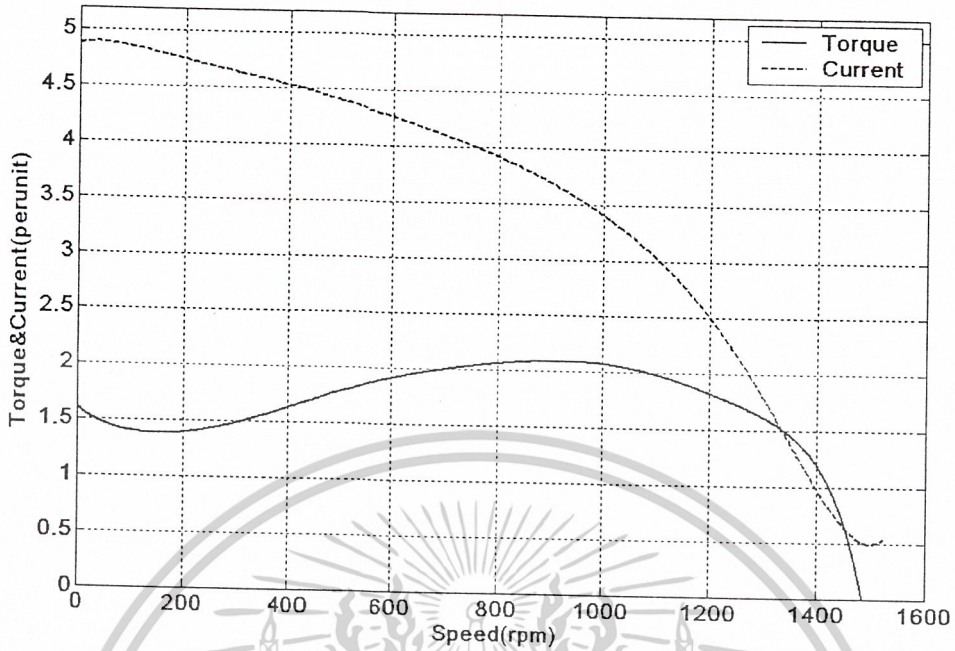


รูปที่ 4-23 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

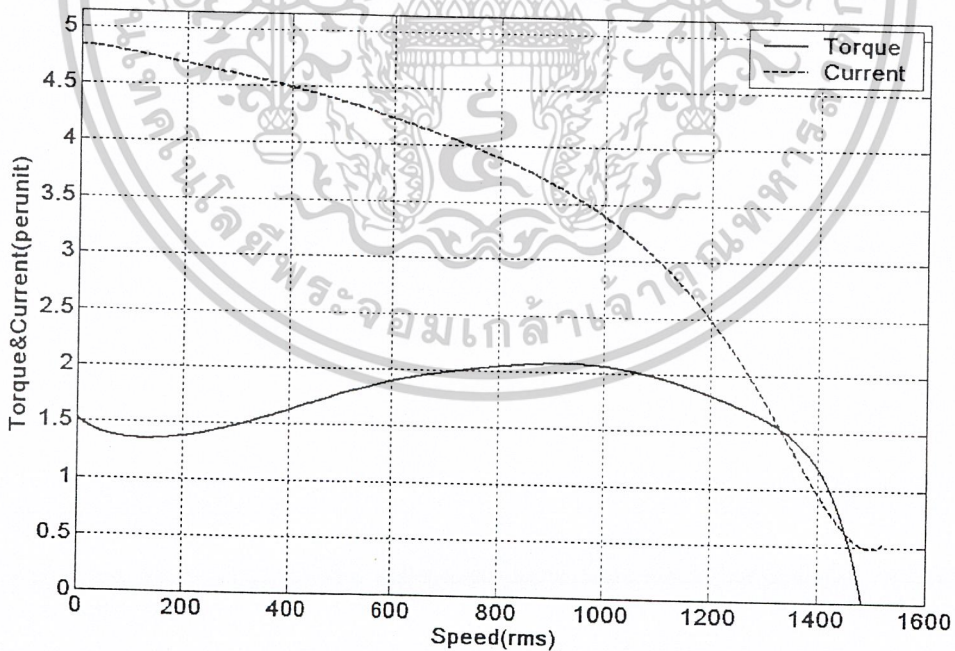


รูปที่ 4-24 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

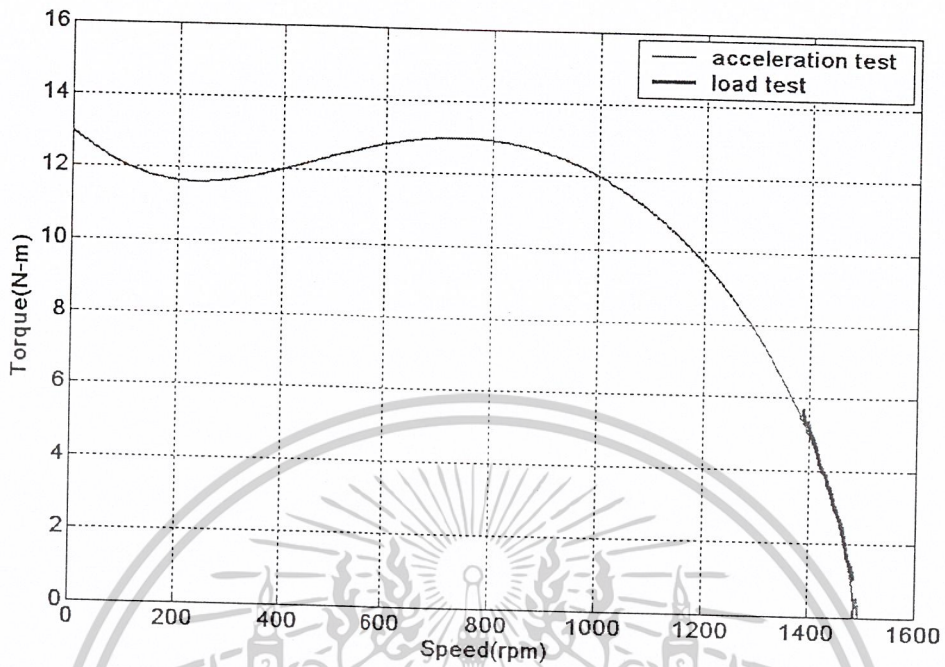


รูปที่ 4-25 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit = 15.0502 N-m , กระแส 1 perunit = 5 A)

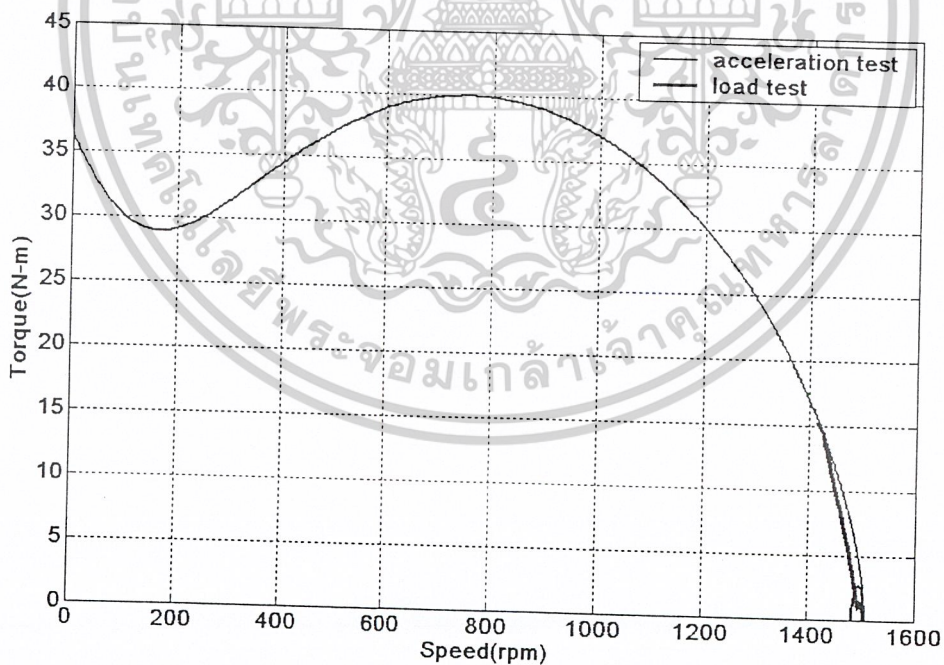


รูปที่ 4-26 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit = 15.0502 N-m , กระแส 1 perunit = 5 A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



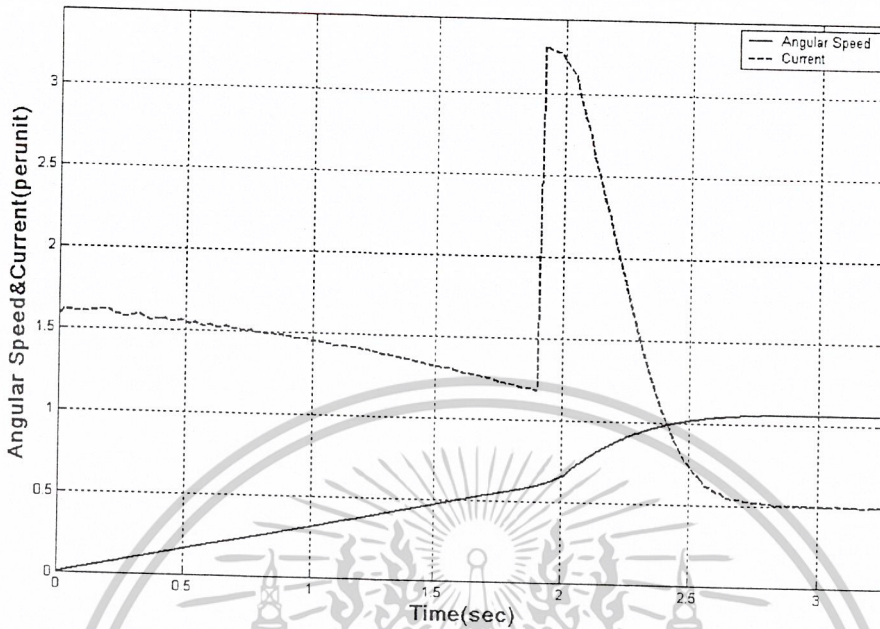
รูปที่ 4-27 เปรียบเทียบกราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า ที่ได้จากการทดสอบ ภาะกับกราฟที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็ว



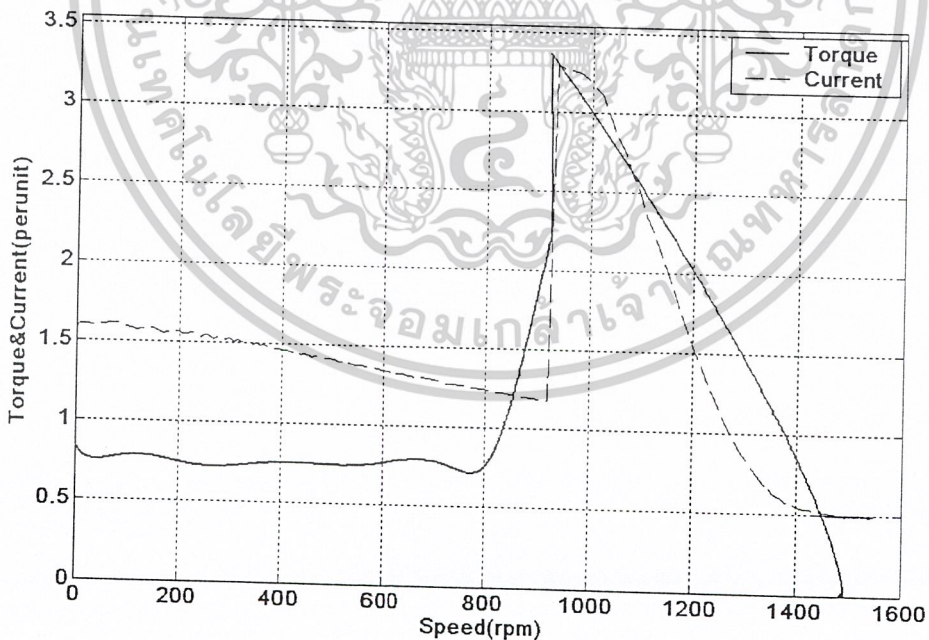
รูปที่ 4-28 เปรียบเทียบกราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า ที่ได้จากการทดสอบ ภาะกับกราฟที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.2 สตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลด้า

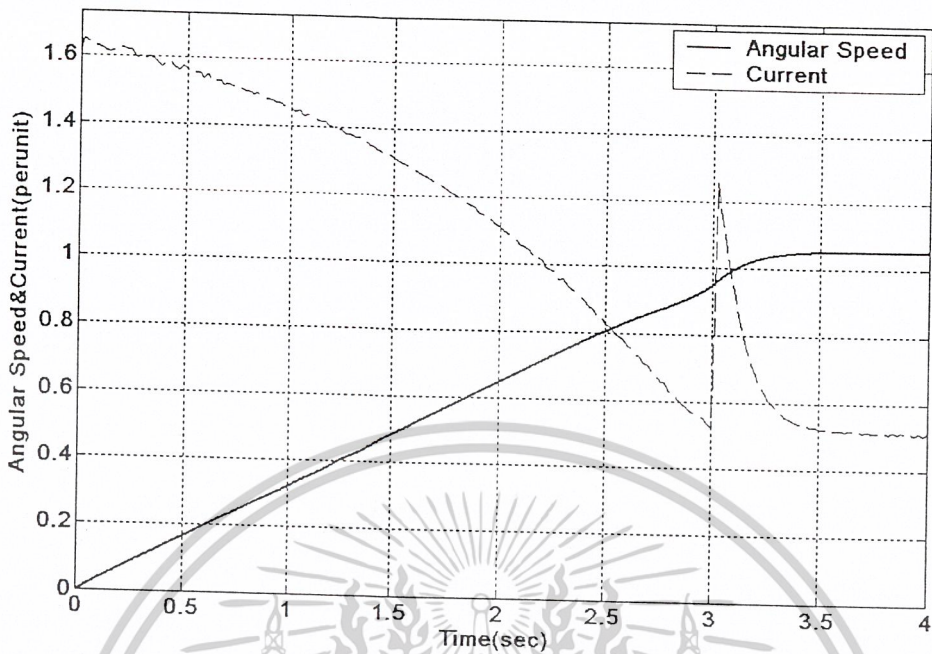


รูปที่ 4-29 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลด้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

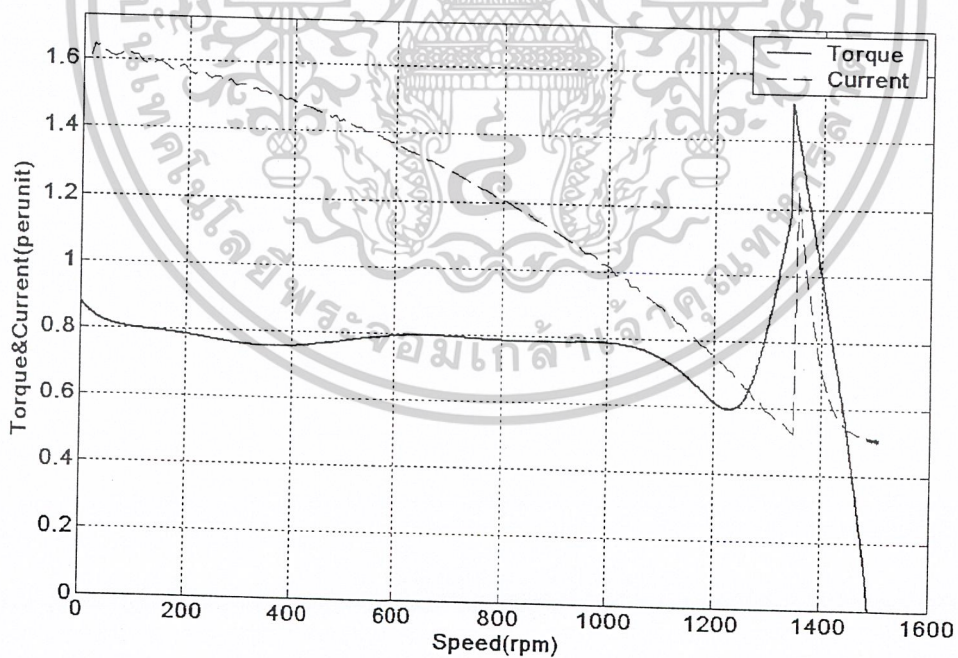


รูปที่ 4-30 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลด้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.0868 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

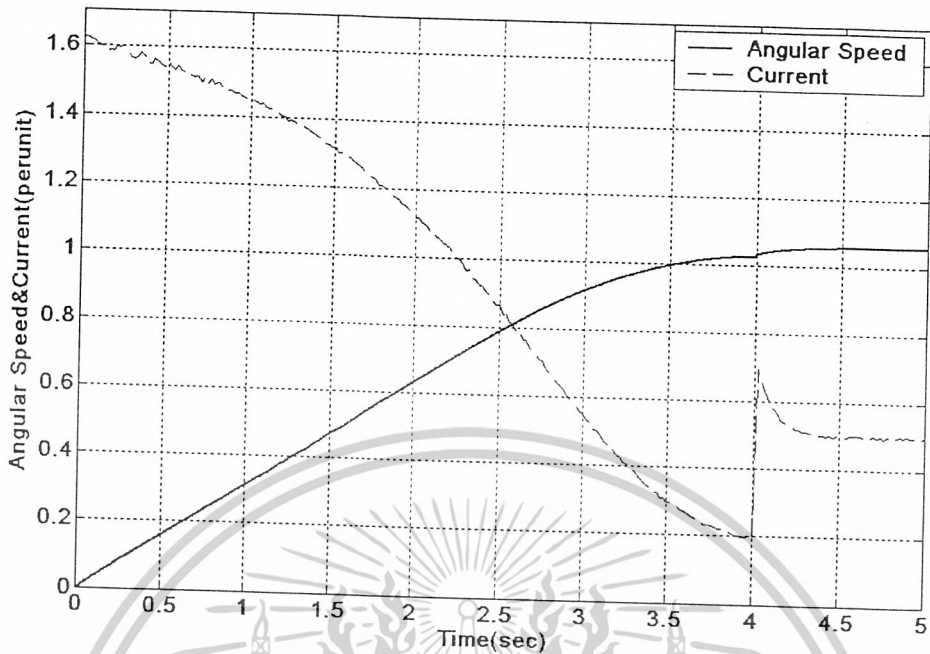


รูปที่ 4-31 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อ สตาร์ทแบบสตาร์ท 3 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลด้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2 (อัตราเร็ว เชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

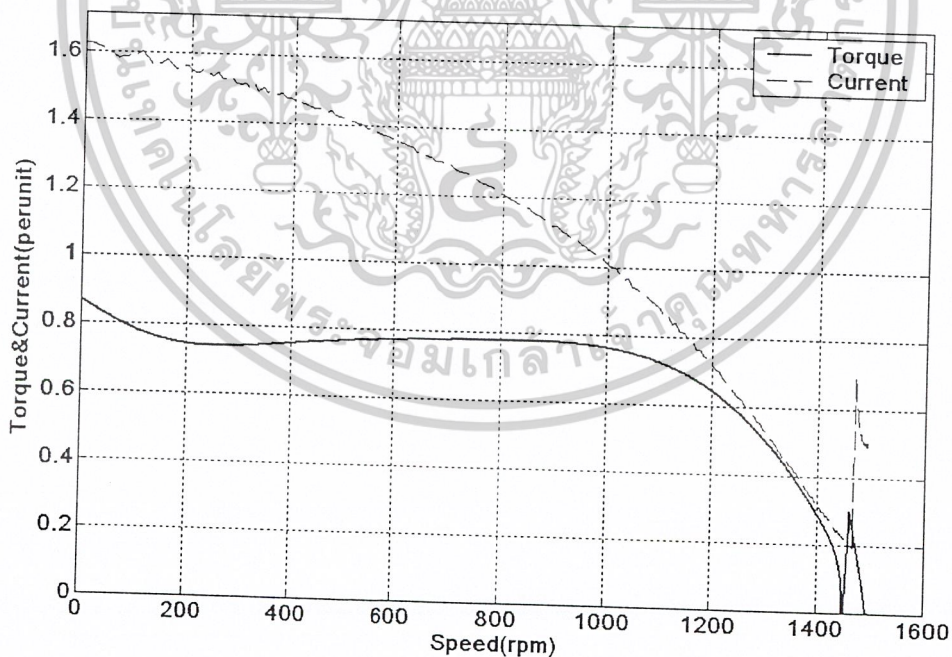


รูปที่ 4-32 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 3 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลด้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.0868 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

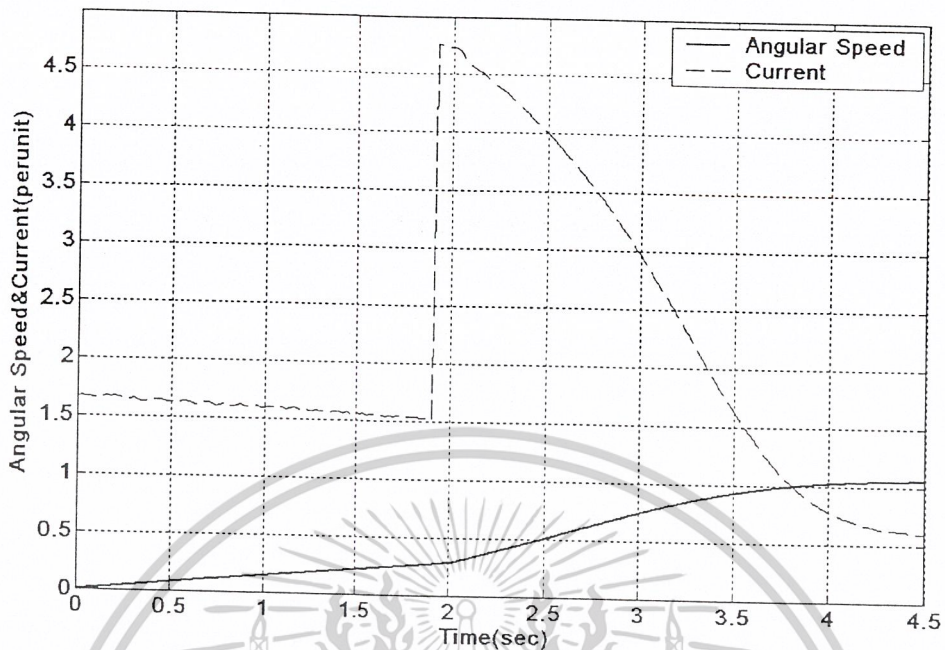


รูปที่ 4-33 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อ สตาร์ทแบบสตาร์ท 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลดค่าซึ่งทดสอบกับด้อยช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2 (อัตราเร็ว เชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

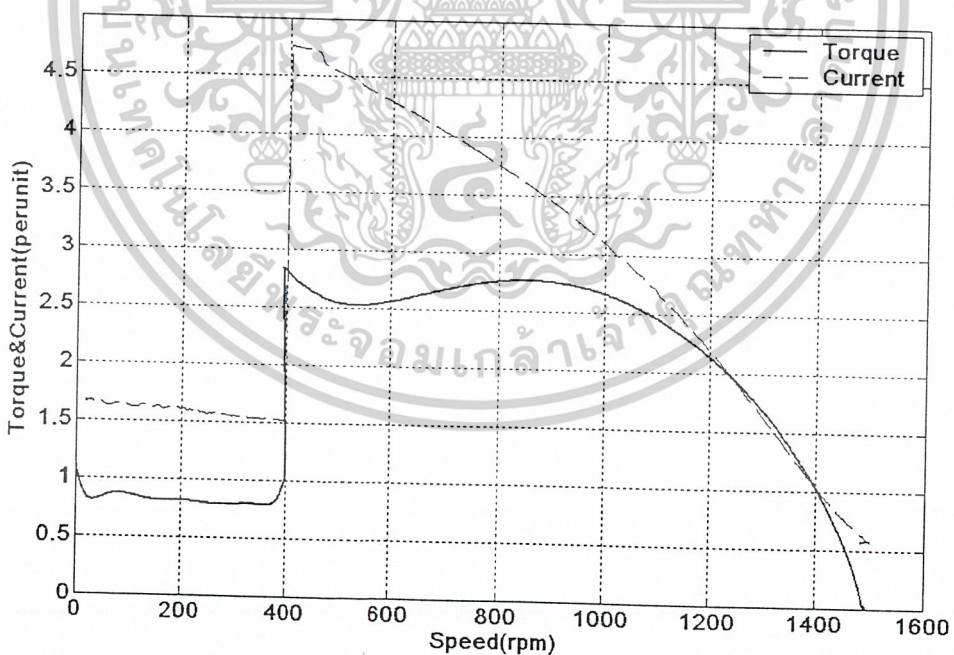


รูปที่ 4-34 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลดค่าซึ่งทดสอบกับด้อยช่วยแรง ขนาด 0.0868 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

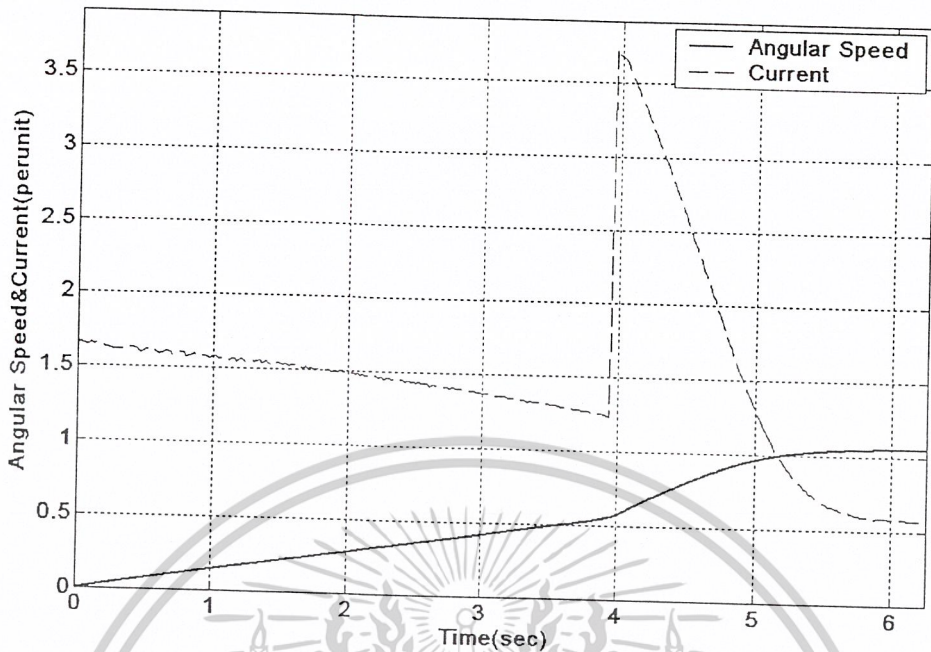


รูปที่ 4-35 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลดค่าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

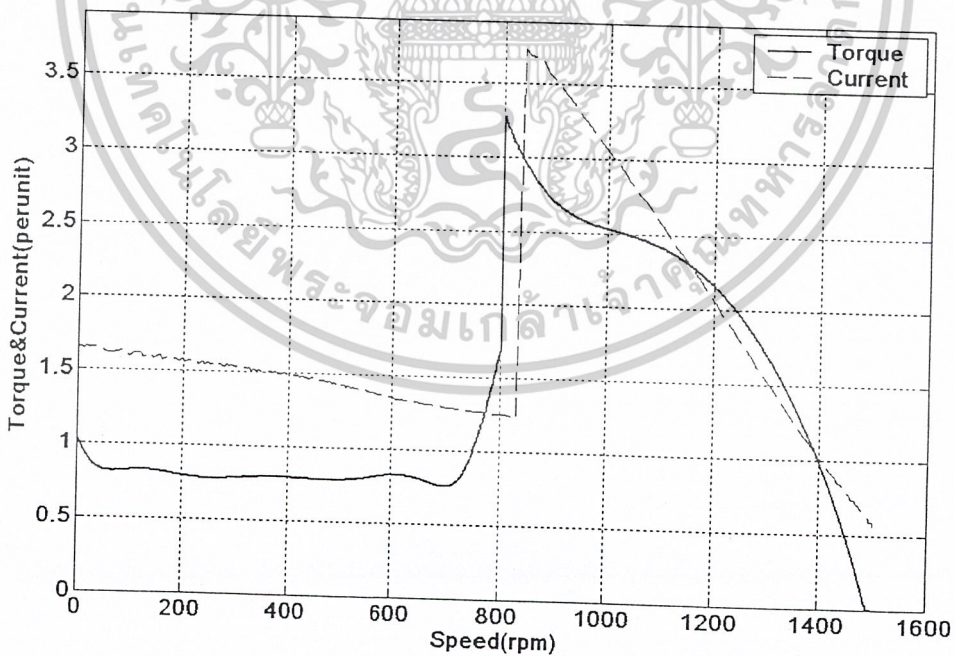


รูปที่ 4-36 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลดค่าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.196 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

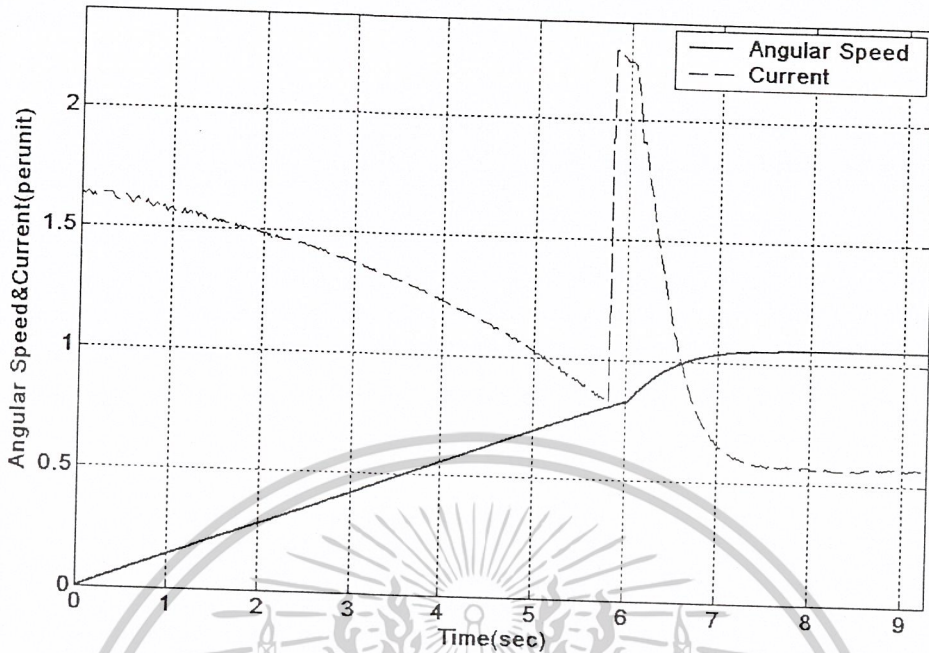


รูปที่ 4-37 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลด้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

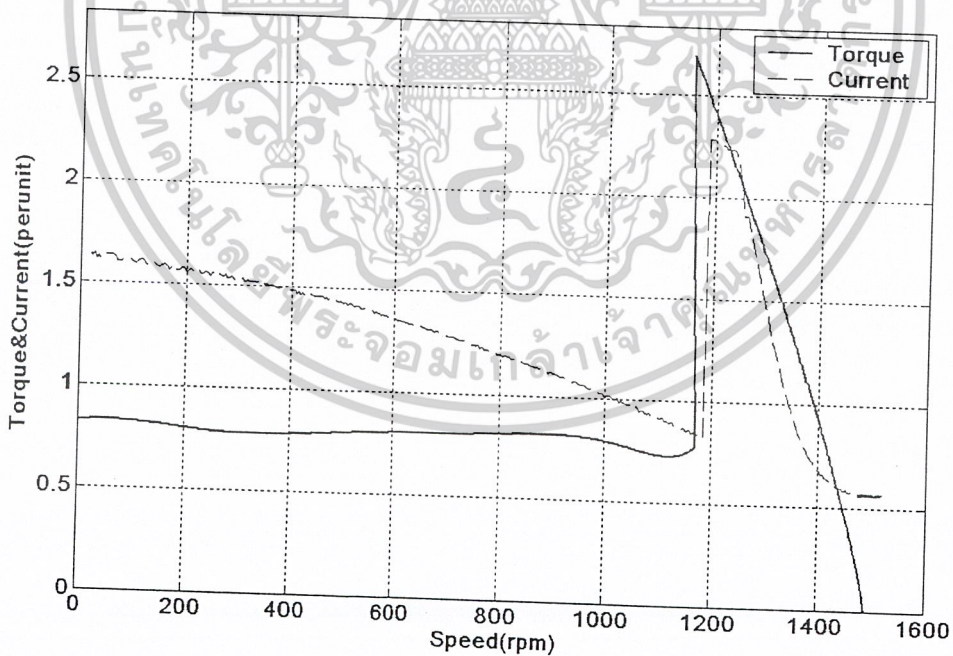


รูปที่ 4-38 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลด้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.196 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

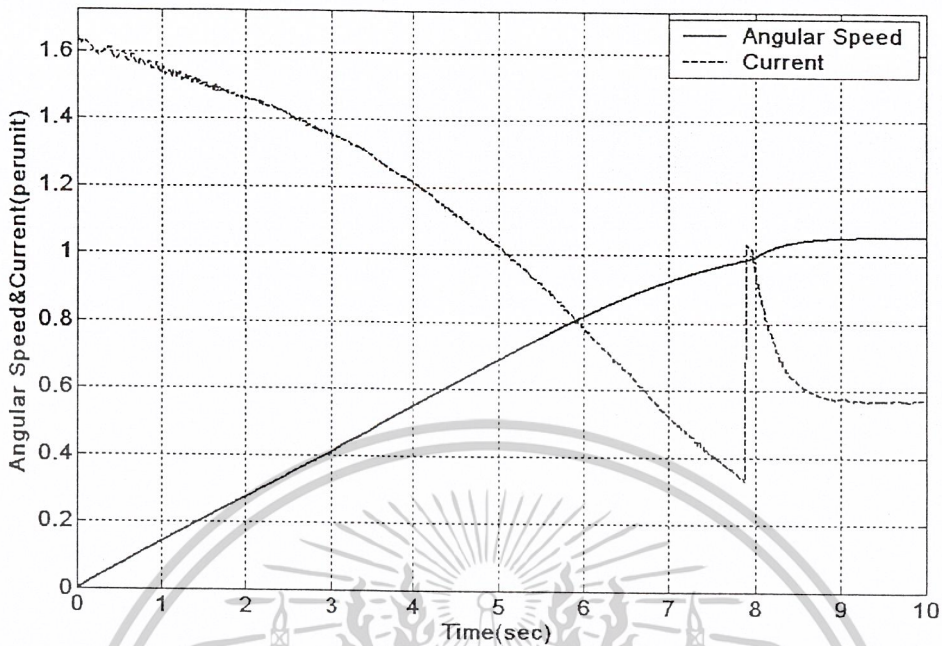


รูปที่ 4-39 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 6 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลดค่าซึ่งทดสอบกับล้อยช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2 (อัตราเร็ว เชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

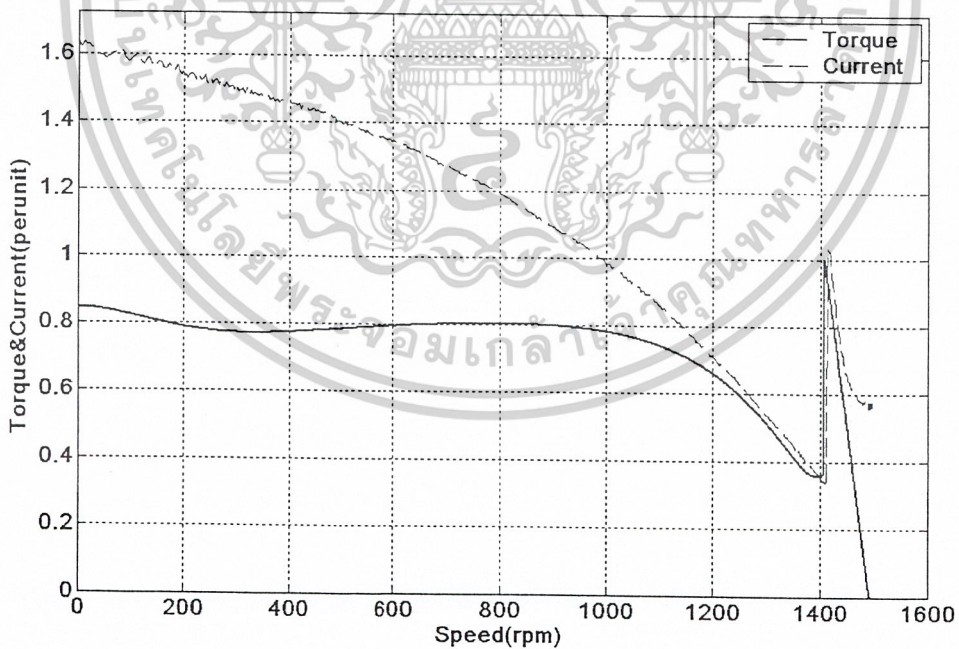


รูปที่ 4-40 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 6 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลดค่าซึ่งทดสอบกับล้อยช่วยแรง ขนาด 0.196 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-41 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 8 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลดค่าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2 (อัตราเร็ว เชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)



รูปที่ 4-42 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 8 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลดค่าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.196 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

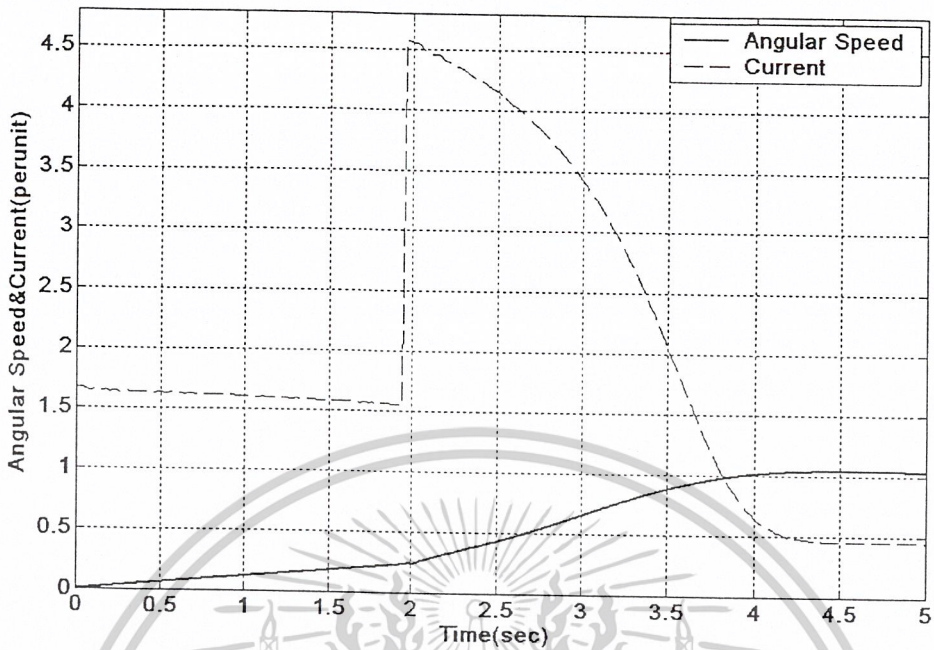
เวลาในการสตาร์ท แบบสตาร์ท	กระแสสตาร์ทของ สตาร์ท	กระแสสตาร์ทของ เดลดต้า	แรงบิดสตาร์ทของ สตาร์ท	แรงบิดสตาร์ทของ เดลดต้า
2	1.65	3.3	0.85	3.35
3	1.65	1.25	0.875	1.525
4	1.65	0.7	0.875	3.3

ตารางที่4-5ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลดต้า มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง
ขนาด 0.0868 kg-m^2

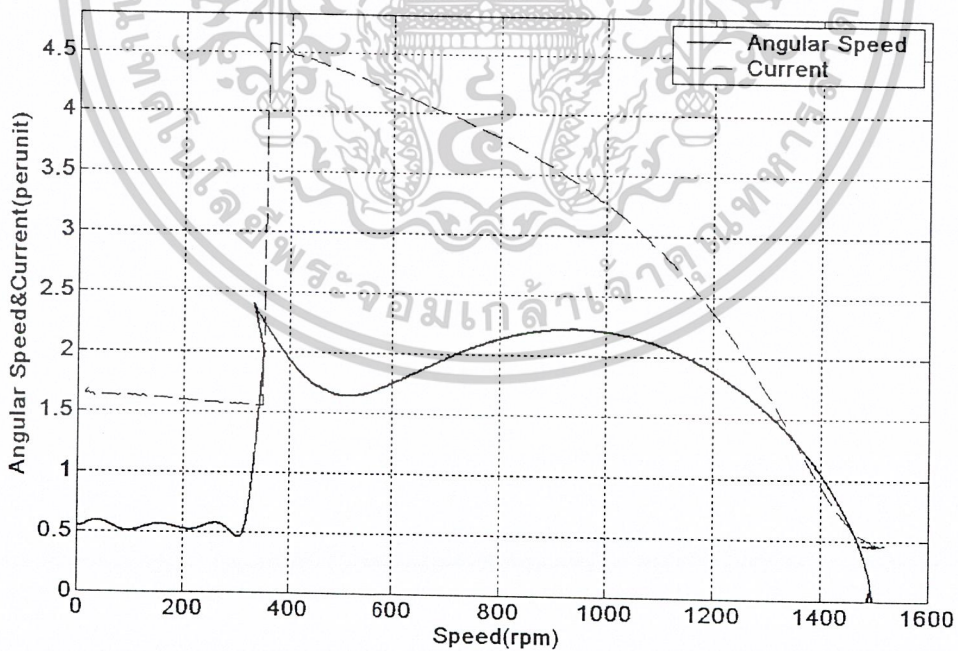
เวลาในการสตาร์ท แบบสตาร์ท	กระแสสตาร์ทของ สตาร์ท	กระแสสตาร์ทของ เดลดต้า	แรงบิดสตาร์ท ของสตาร์ท	แรงบิดสตาร์ทของ เดลดต้า
2	1.675	4.75	1.025	2.875
3	1.675	3.75	1.0	3.25
4	1.65	2.3	0.85	2.75
8	1.65	1.25	0.85	1.0

ตารางที่4-6ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลดต้า มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง
ขนาด 0.196 kg-m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

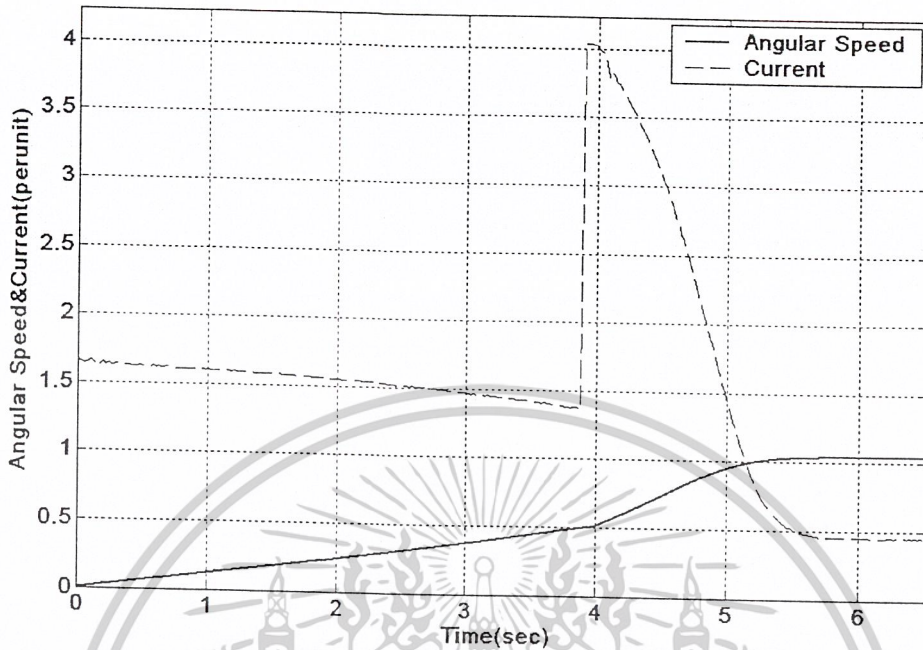


รูปที่ 4-43 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดดค่าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (อัตราเร็ว เชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

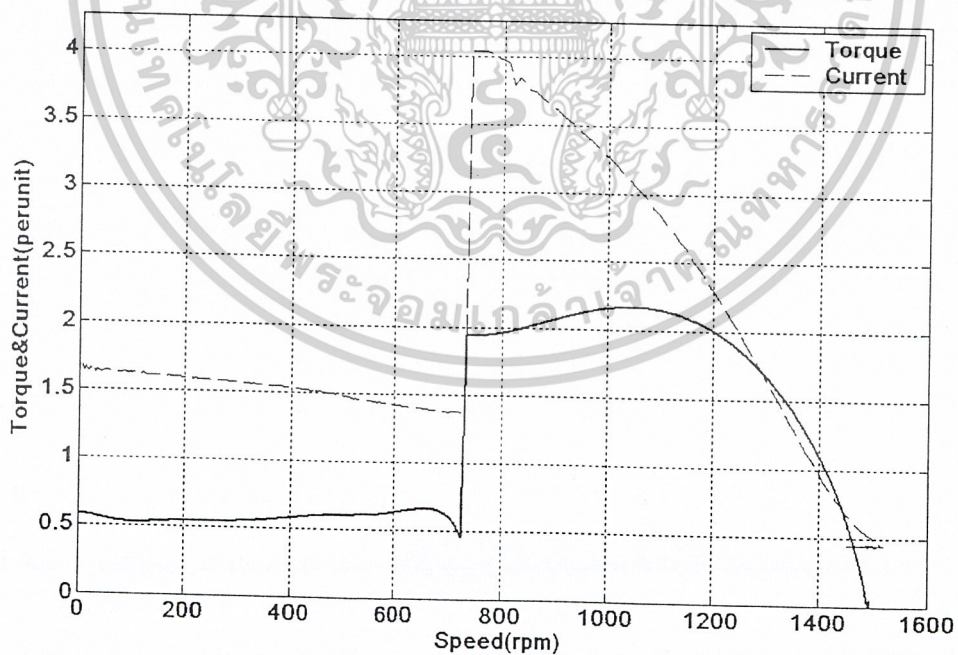


รูปที่ 4-44 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดดค่าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.448 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

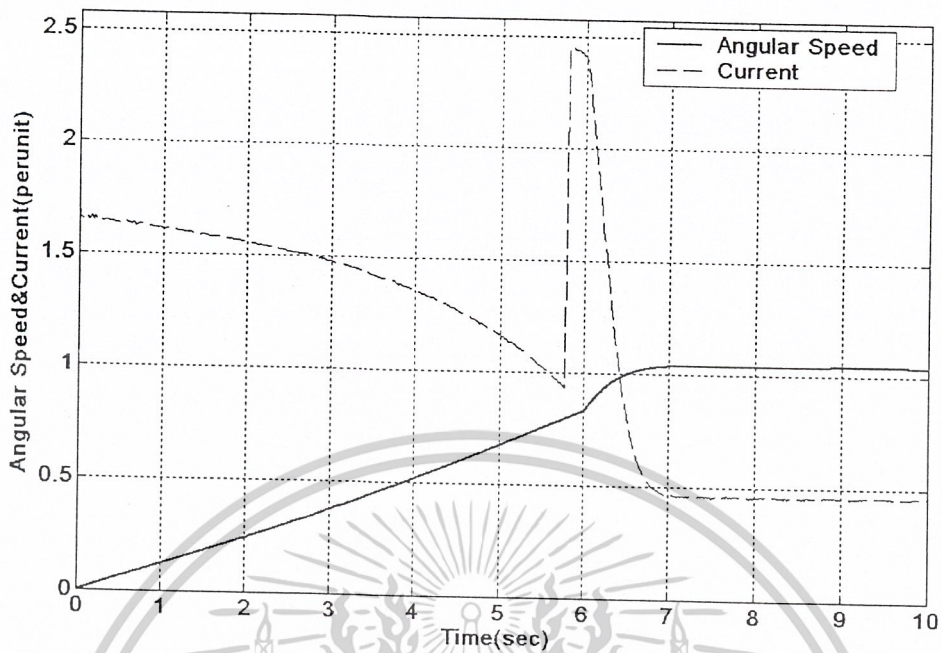


รูปที่ 4-45 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลด้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (อัตราเร็ว เชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

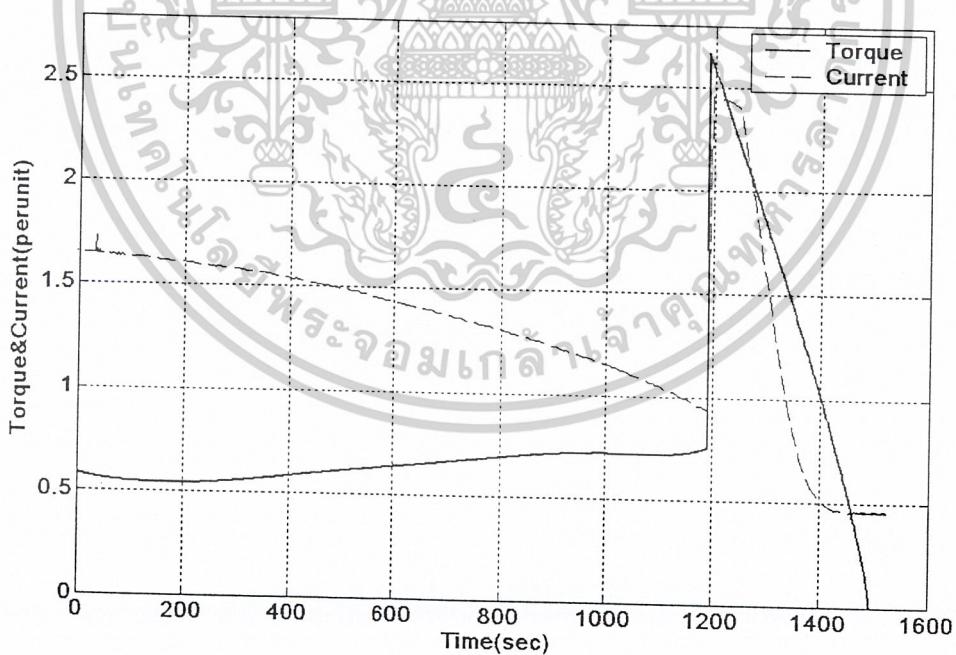


รูปที่ 4-46 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลด้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.448 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

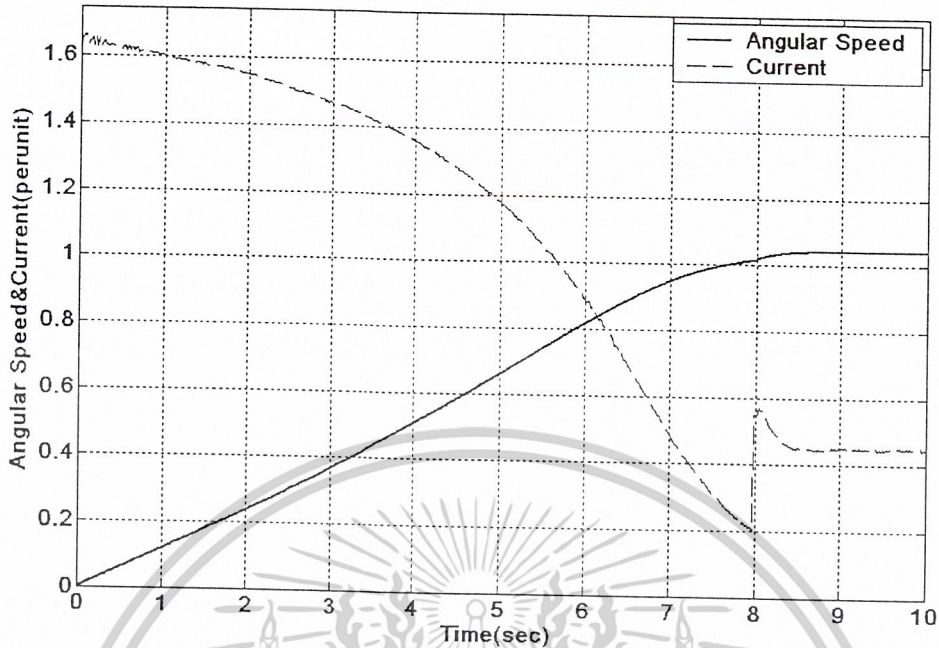


รูปที่ 4-47 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 6 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดสตัลซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

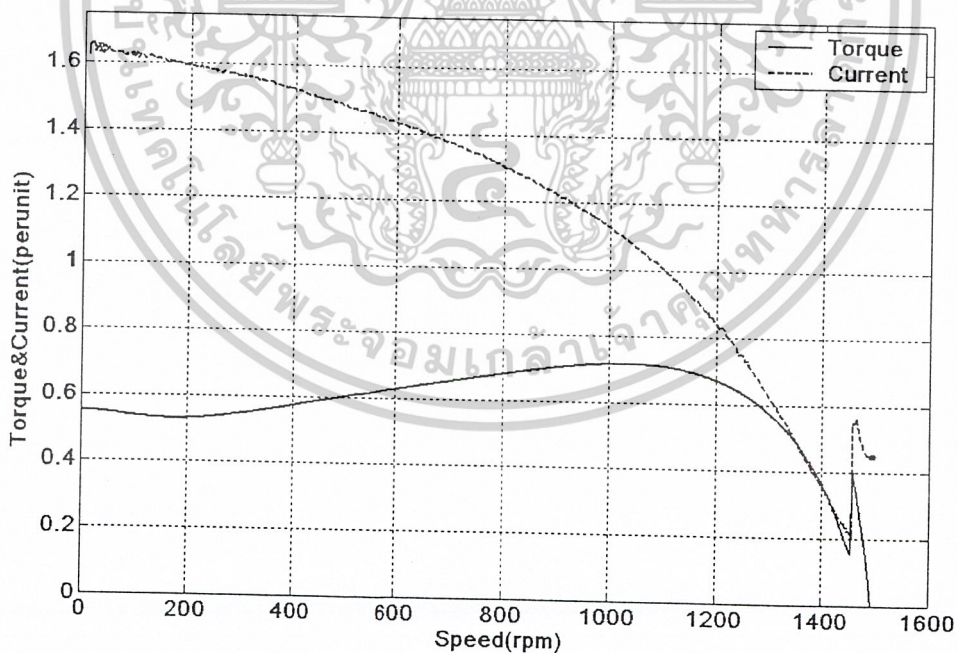


รูปที่ 4-48 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 6 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดสตัลซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.448 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

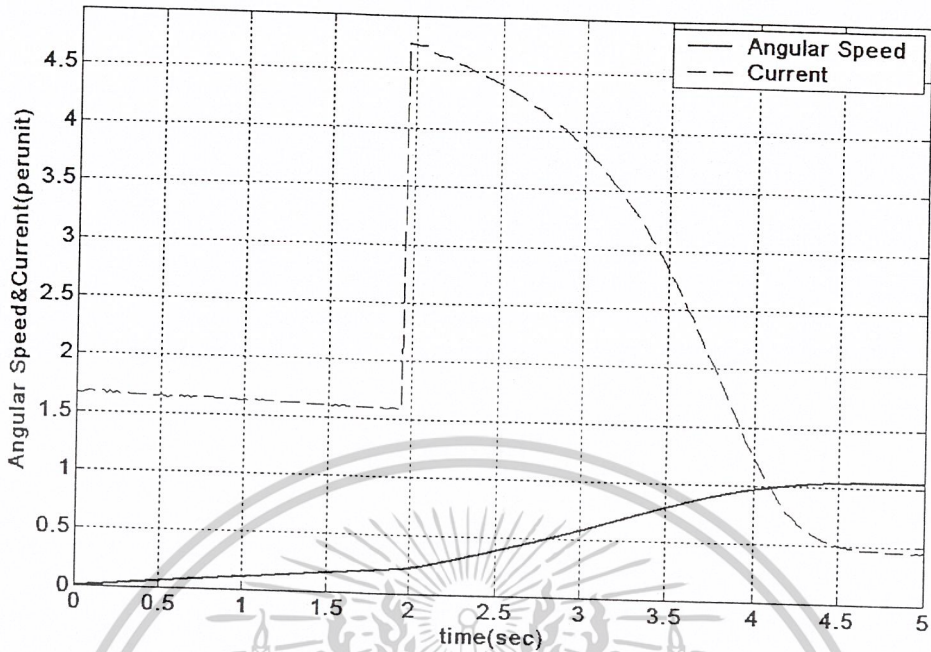


รูปที่ 4-49 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 8 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดสค้ำซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (อัตราเร็ว เชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

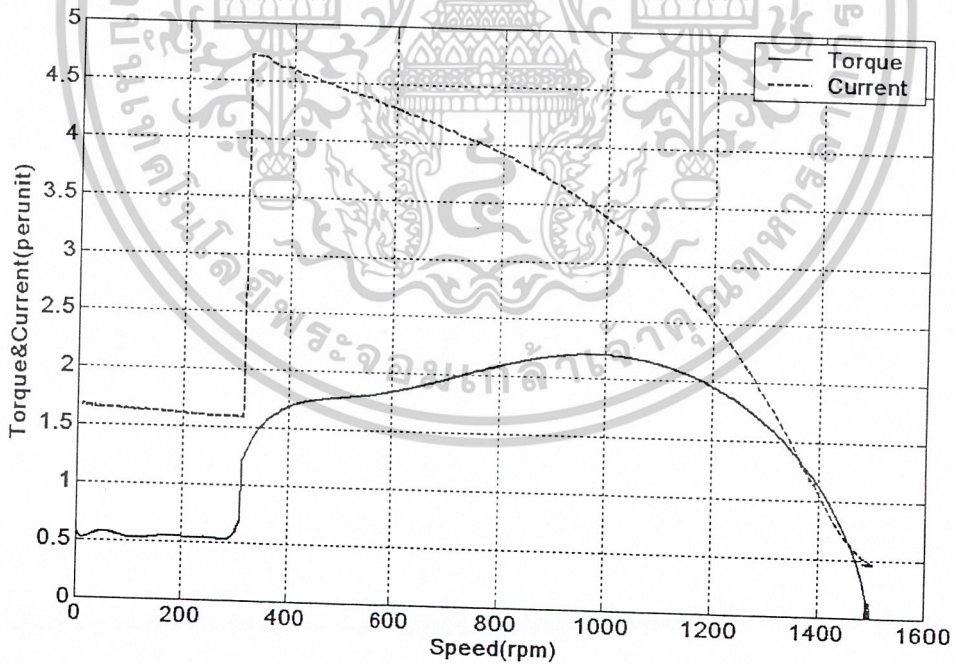


รูปที่ 4-50 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 8 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดสค้ำซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.448 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

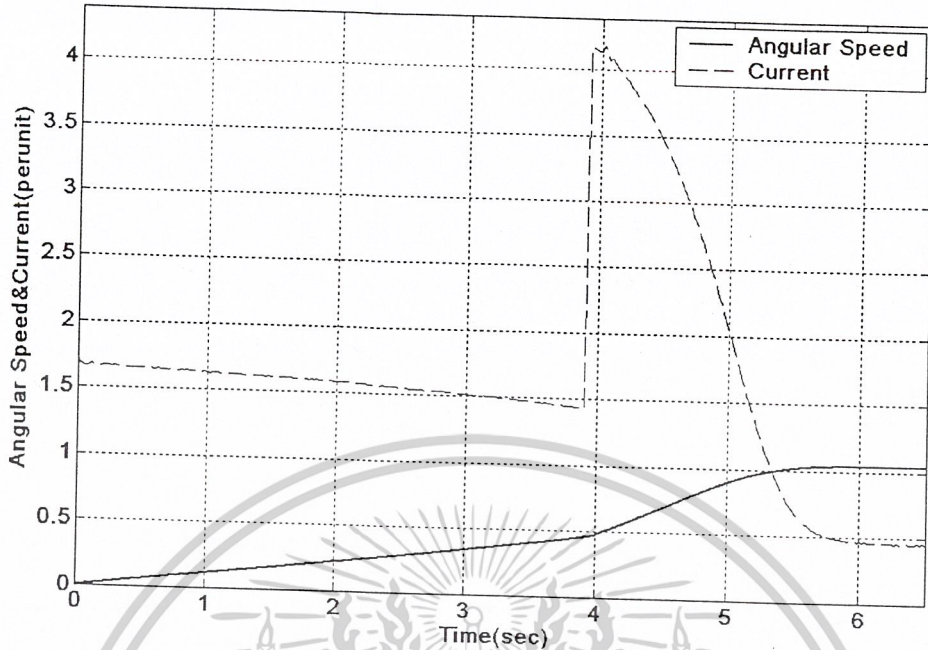


รูปที่ 4-51 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลดต้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (อัตราเร็ว เชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

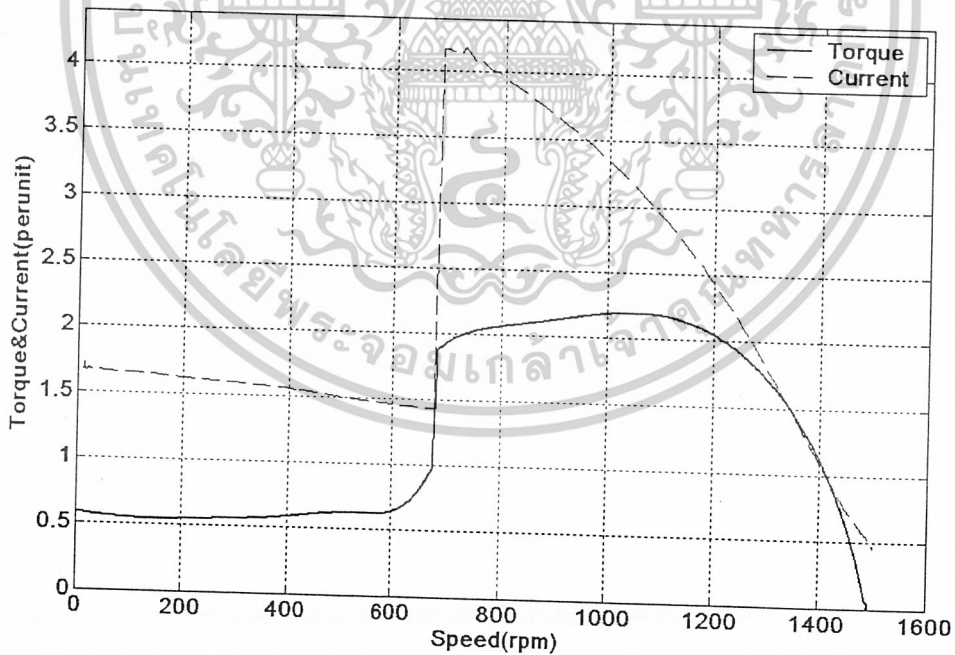


รูปที่ 4-52 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 2 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเคลดต้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.497 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

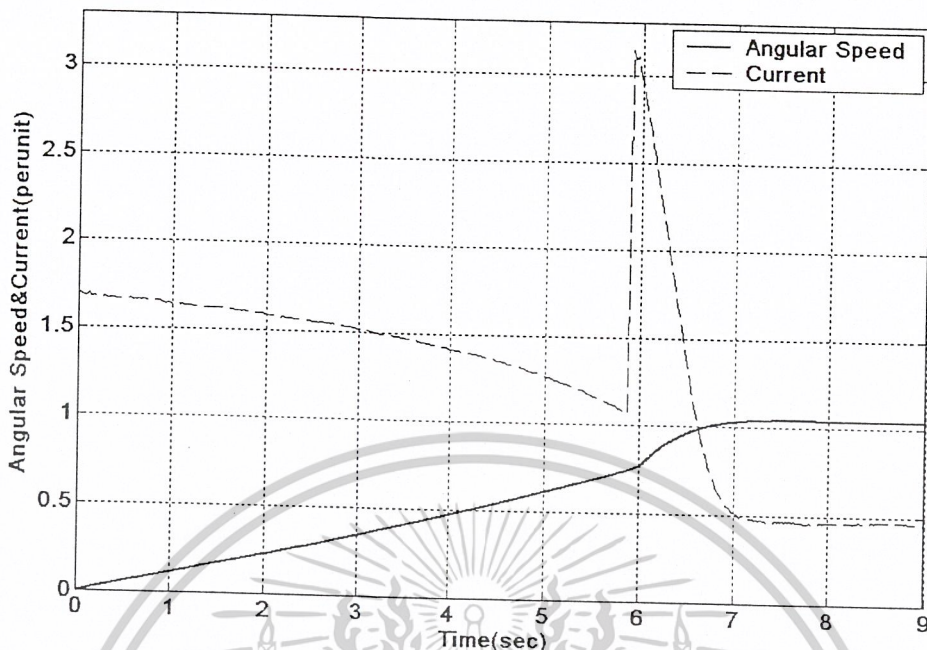


รูปที่ 4-53 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลด้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (อัตราเร็ว เชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

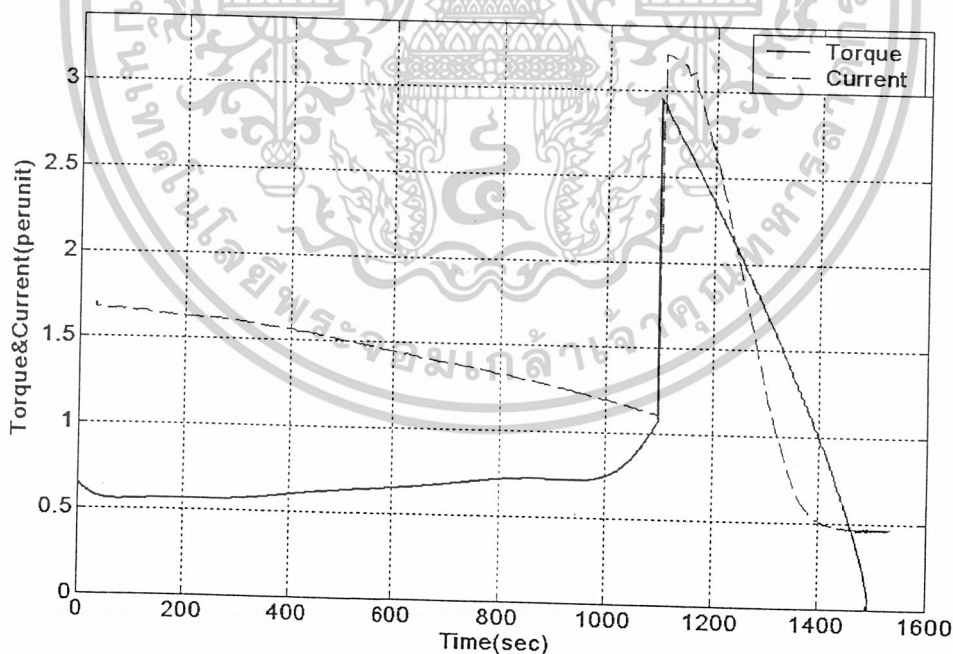


รูปที่ 4-54 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 4 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดลด้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.497 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

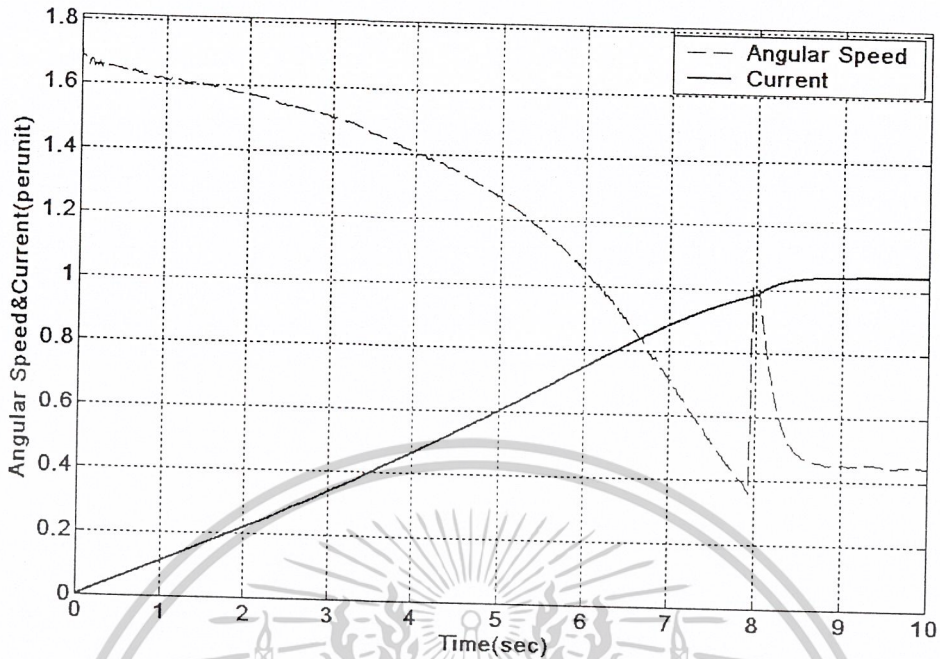


รูปที่ 4-55 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟฟลักตลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 6 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดดค่าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit= 148.7 rad/s , กระแส 1 perunit= 5 A)

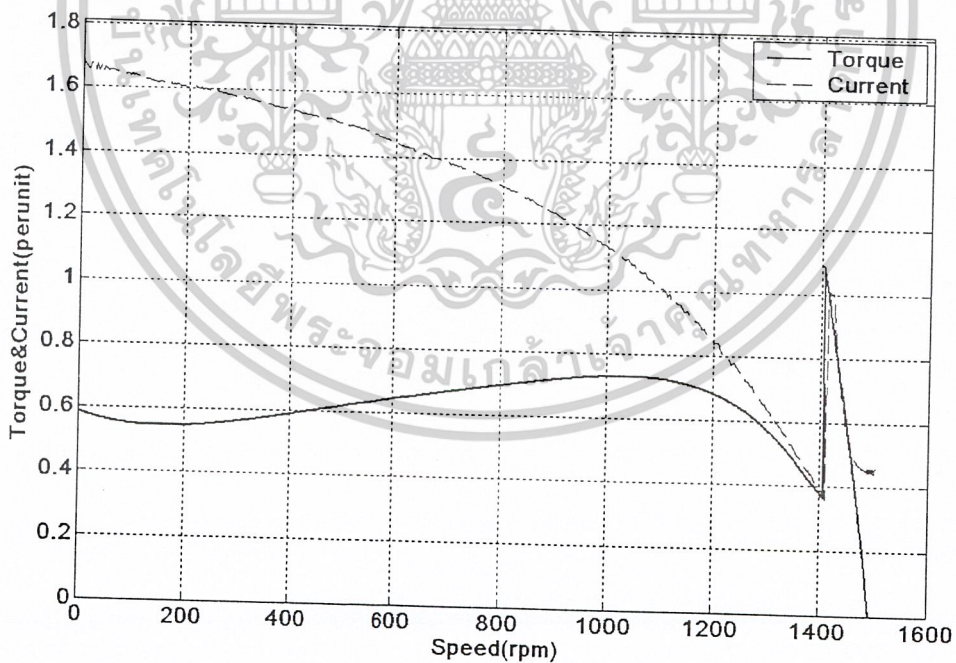


รูปที่ 4-56 กราฟฟลักตลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟฟลักตลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 6 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดดค่าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.497 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit= 15.0502 N-m , กระแส 1 perunit= 5 A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-57 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณสมบัติขณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 8 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดดค่าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)



รูปที่ 4-58 กราฟคุณสมบัติแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณสมบัติขณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า เมื่อสตาร์ทแบบสตาร์ท 8 วินาทีแล้วเปลี่ยนเป็นเดดค่าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรง ขนาด 0.497 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาในการสตาร์ท แบบสตาร์ท	กระแสสตาร์ทของ สตาร์ท	กระแสสตาร์ทของ เดลด้า	แรงบิดสตาร์ท ของสตาร์ท	แรงบิดสตาร์ทของ เดลด้า
2	1.625	4.625	0.55	2.375
4	1.65	4.1	0.55	1.9
6	1.625	2.4	0.55	2.625
8	1.625	0.575	0.55	0.4

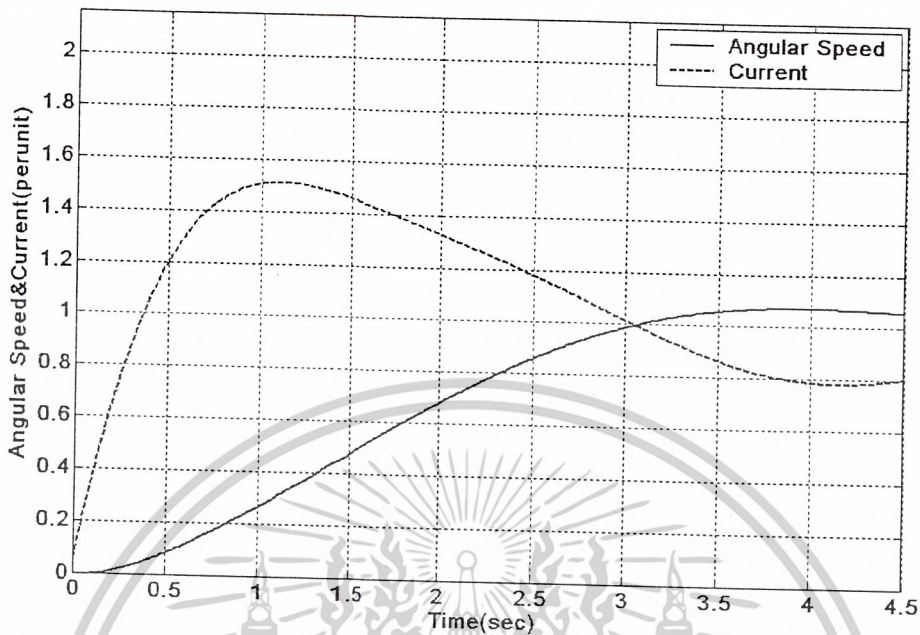
ตารางที่4-7ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลด้าของมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าซึ่งทดสอบกับ
ล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2

เวลาในการสตาร์ท แบบสตาร์ท	กระแสสตาร์ทของ สตาร์ท	กระแสสตาร์ทของ เดลด้า	แรงบิดสตาร์ท ของสตาร์ท	แรงบิดสตาร์ทของ เดลด้า
2	1.56	4.54	0.51	1.06
4	1.56	4.06	0.51	1.57
6	1.6	3.06	0.54	2.9
8	1.65	1.05	0.575	1.06

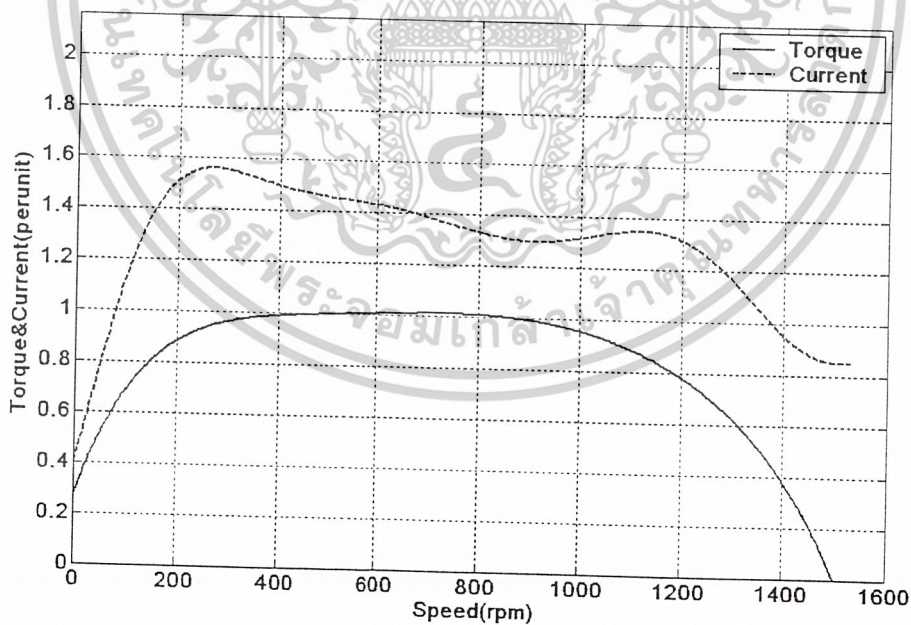
ตารางที่4-8ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทแบบสตาร์ท-เดลด้าของมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าซึ่งทดสอบกับ
ล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.3 สตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์

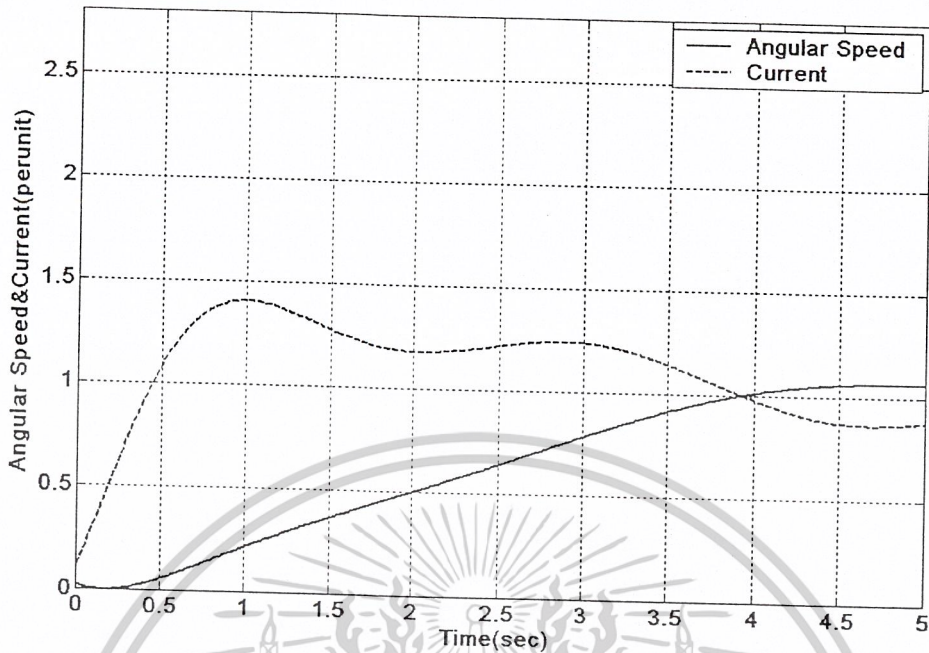


รูปที่ 4-59 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 3 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

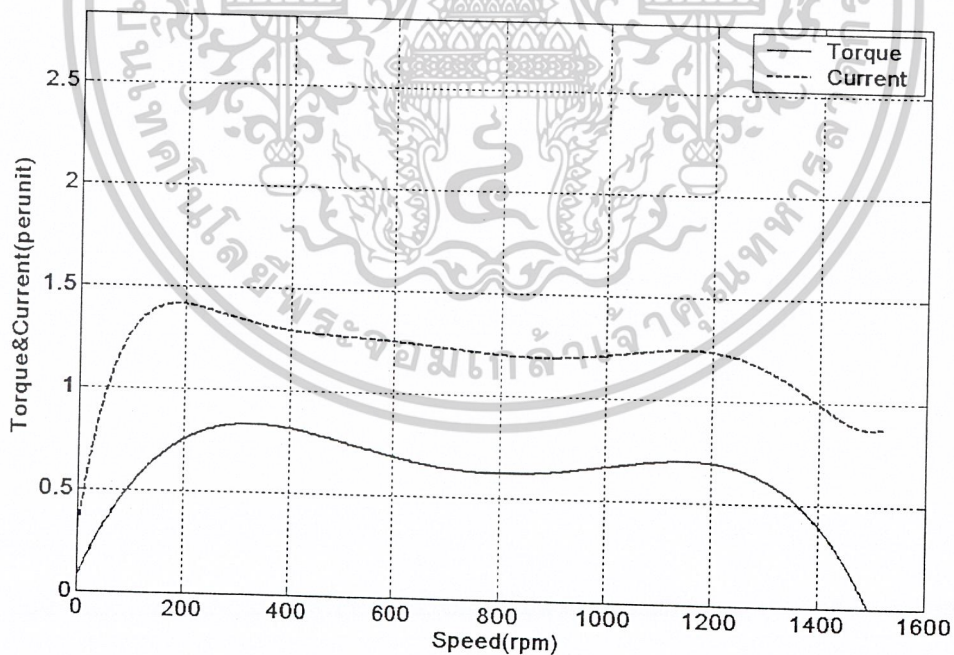


รูปที่ 4-60 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 3 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

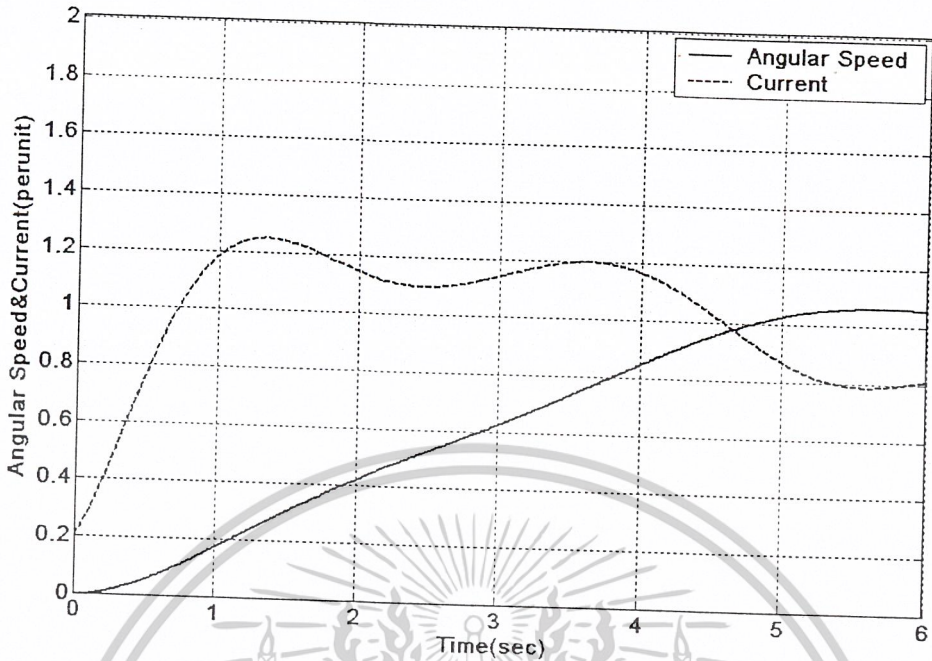


รูปที่ 4-61 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 4 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

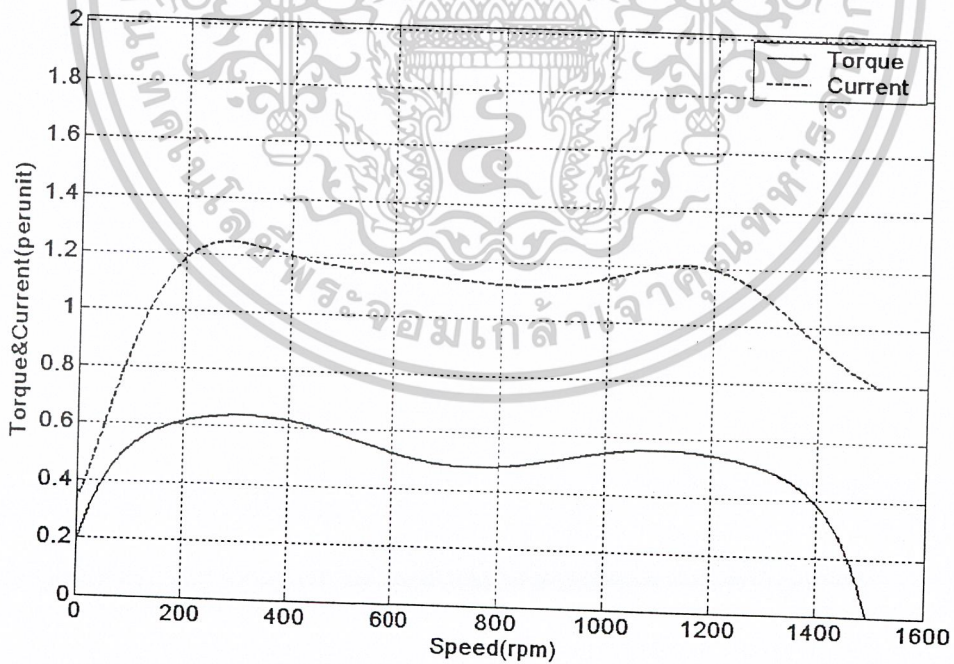


รูปที่ 4-62 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 4 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-63 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 5 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

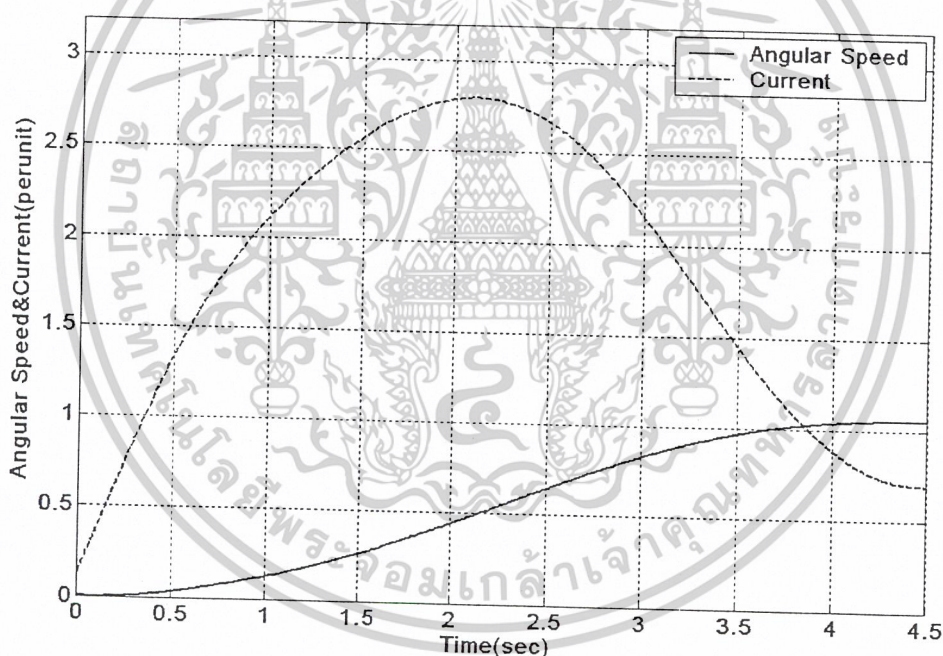


รูปที่ 4-64 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 5 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

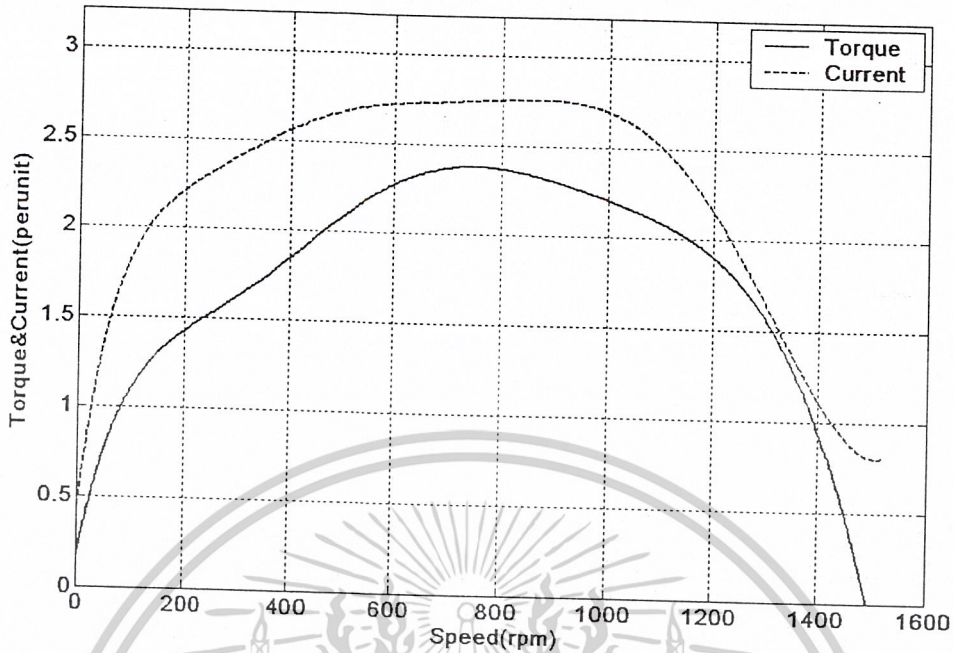
ช่วงเวลา accelerate time	กระแสสตาร์ท	กระแสสูงสุด	แรงบิดสตาร์ท	แรงบิดสูงสุด
3	0.41	1.55	0.3	1
4	0.3	1.4	0.1	0.8
5	0.35	1.25	0.2	0.65

ตารางที่ 4-9 ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์กับมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งทดสอบกับ
ล้อช่วยแรงขนาด 0.0868 kg-m^2

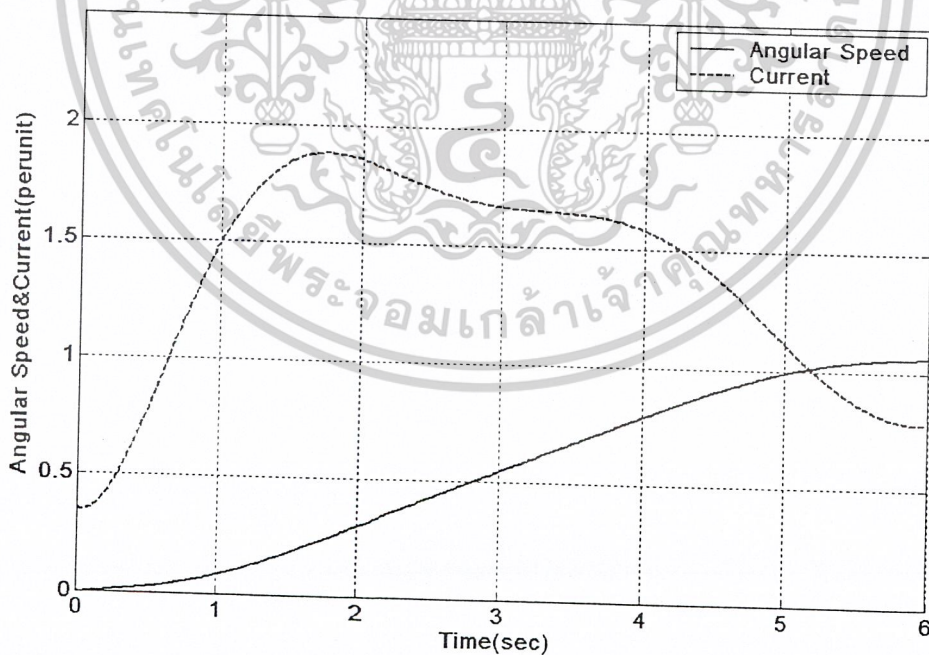


รูปที่ 4-65 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด
1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 3 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2
(อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

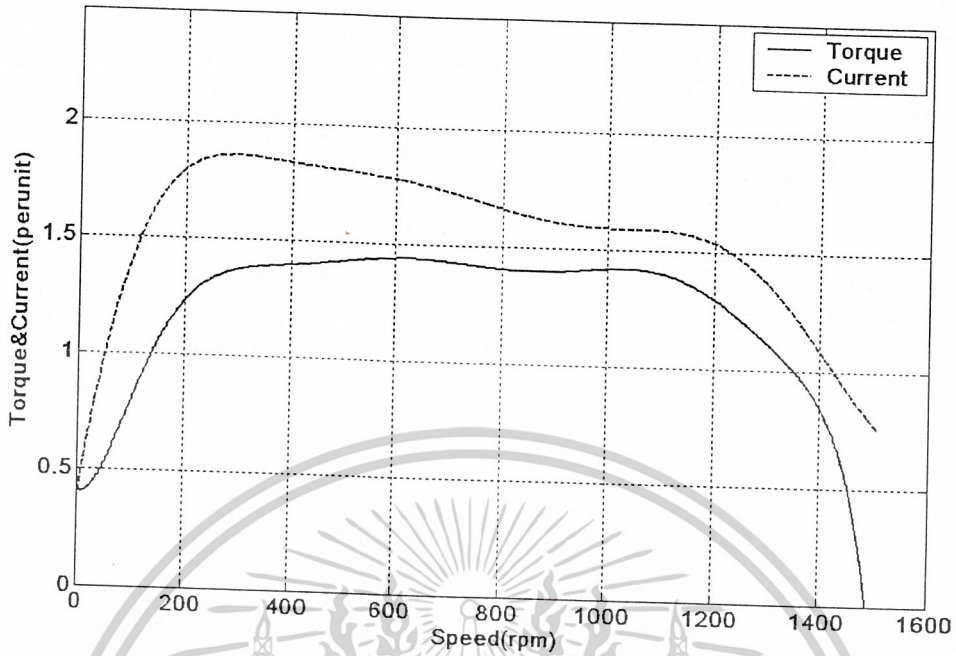


รูปที่ 4-66 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 3 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)

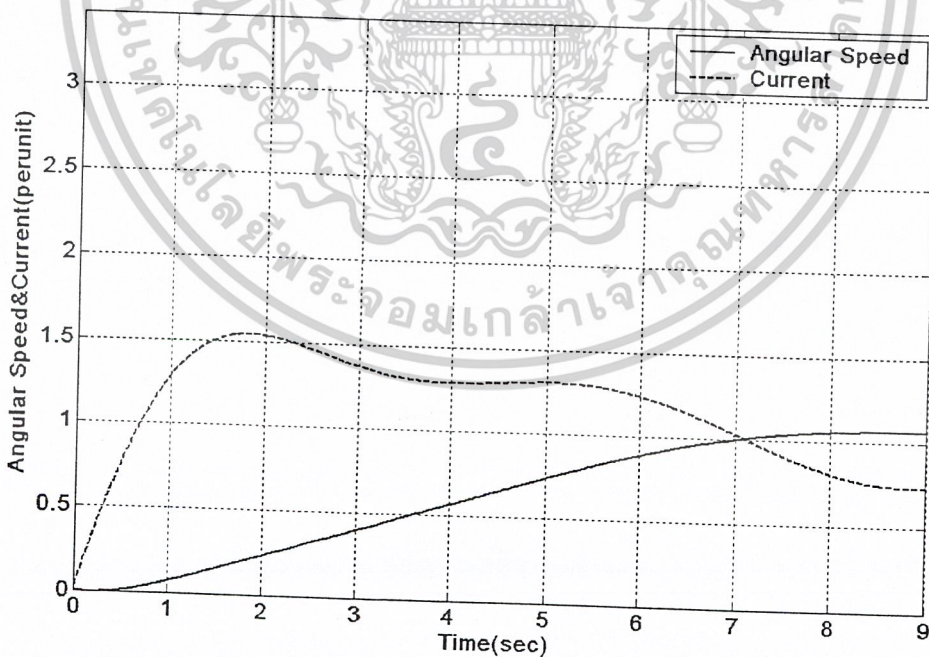


รูปที่ 4-67 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 5 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

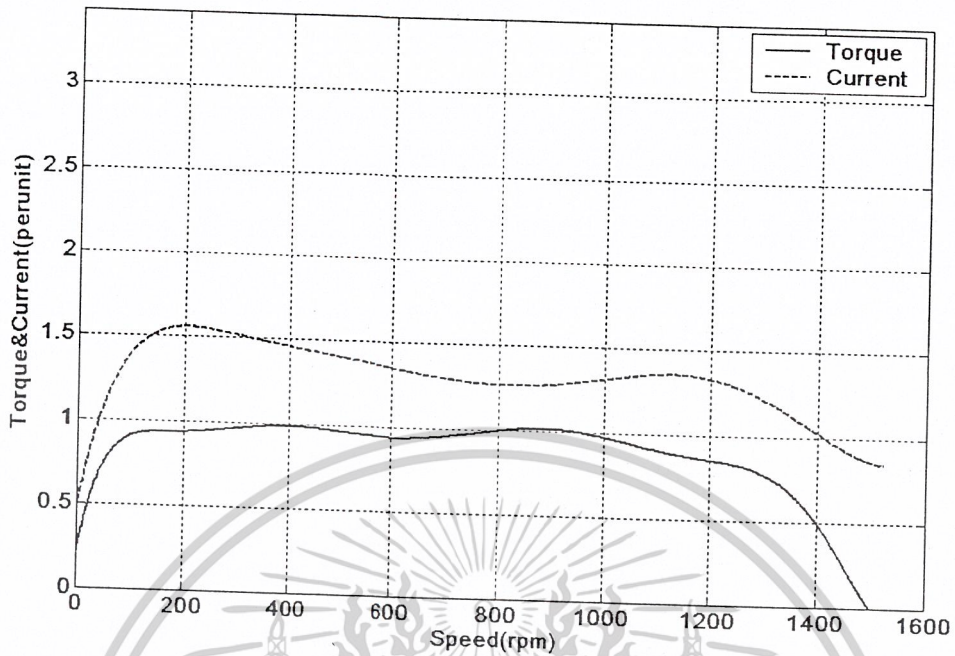


รูปที่ 4-68 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 5 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=5.0884N-m, กระแส 1 perunit=2A)



รูปที่ 4-69 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 7 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=146.6rad/s, กระแส 1 perunit=2A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

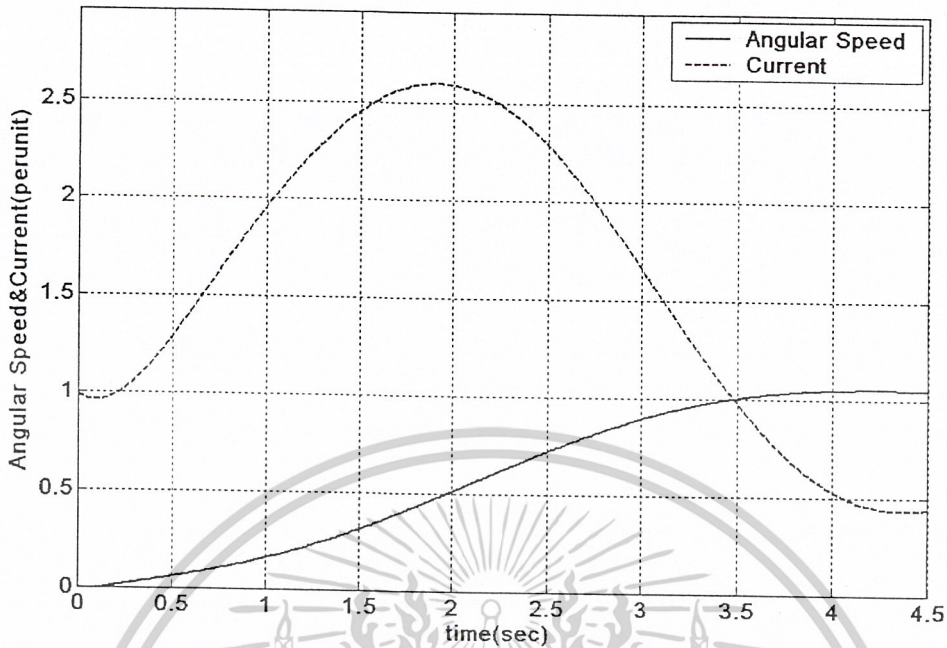


รูปที่ 4-70 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 1 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 7 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2 (แรงบิด 1 per unit = 5.0884 N-m , กระแส 1 per unit = 2 A)

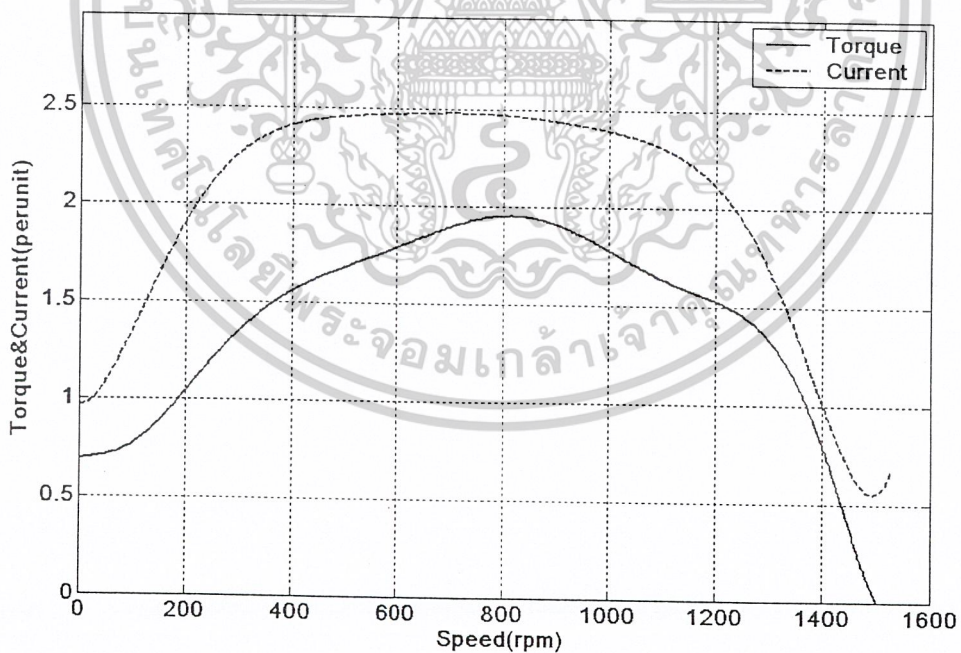
ช่วงเวลา accelerate time	กระแสสตาร์ท	กระแสสูงสุด	แรงบิดสตาร์ท	แรงบิดสูงสุด
3	0.5	2.75	0.2	2.4
5	0.4	1.875	0.4	1.425
7	0.5	1.55	0.25	1

ตารางที่ 4-10 ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.196 kg-m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

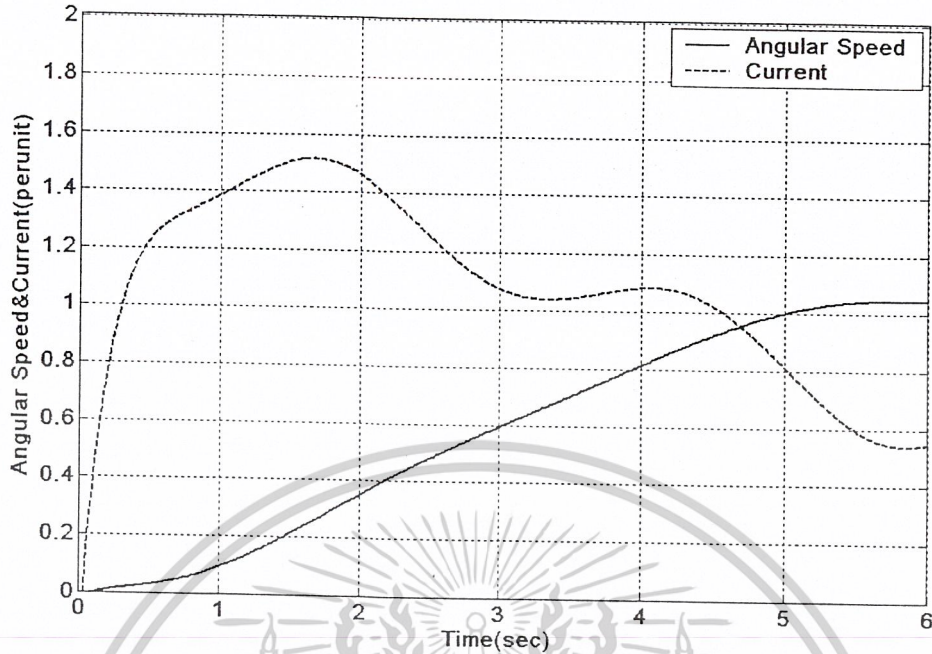


รูปที่ 4-71 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 3 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

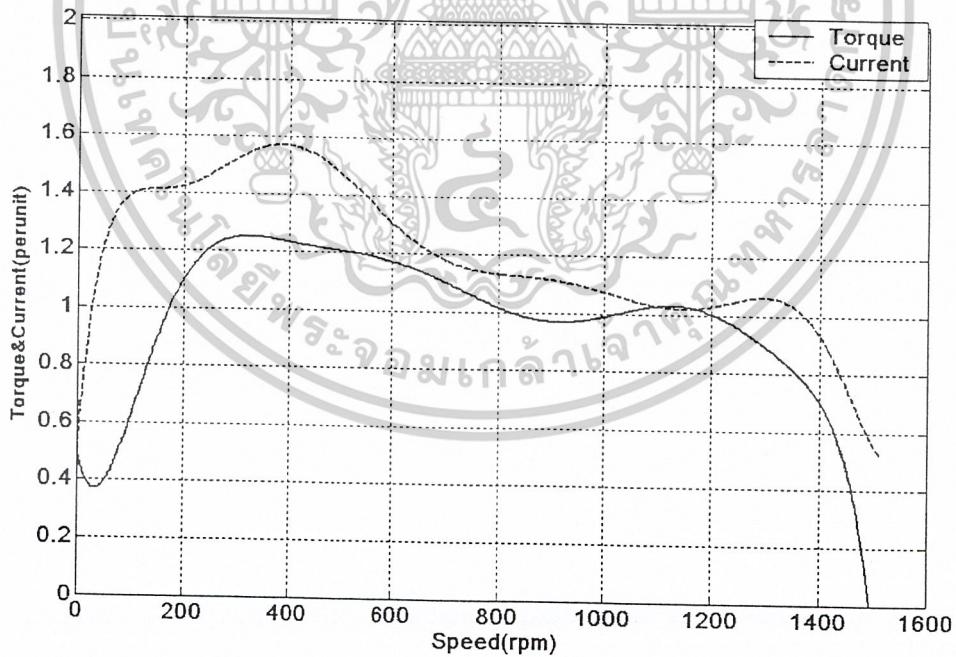


รูปที่ 4-72 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 3 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

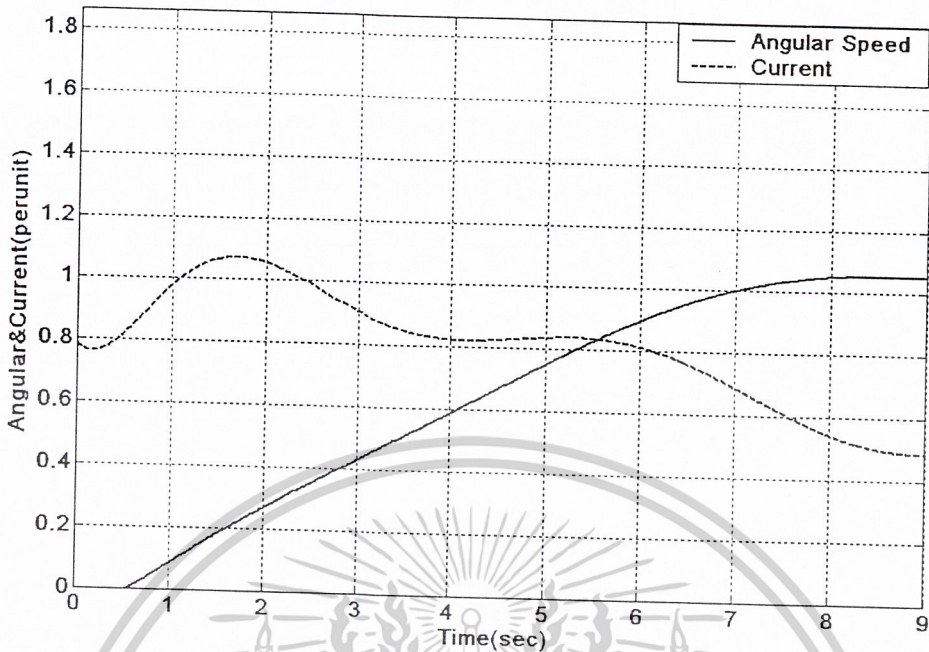


รูปที่ 4-73 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 5 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit = 148.7 rad/s , กระแส 1 perunit = 5 A)

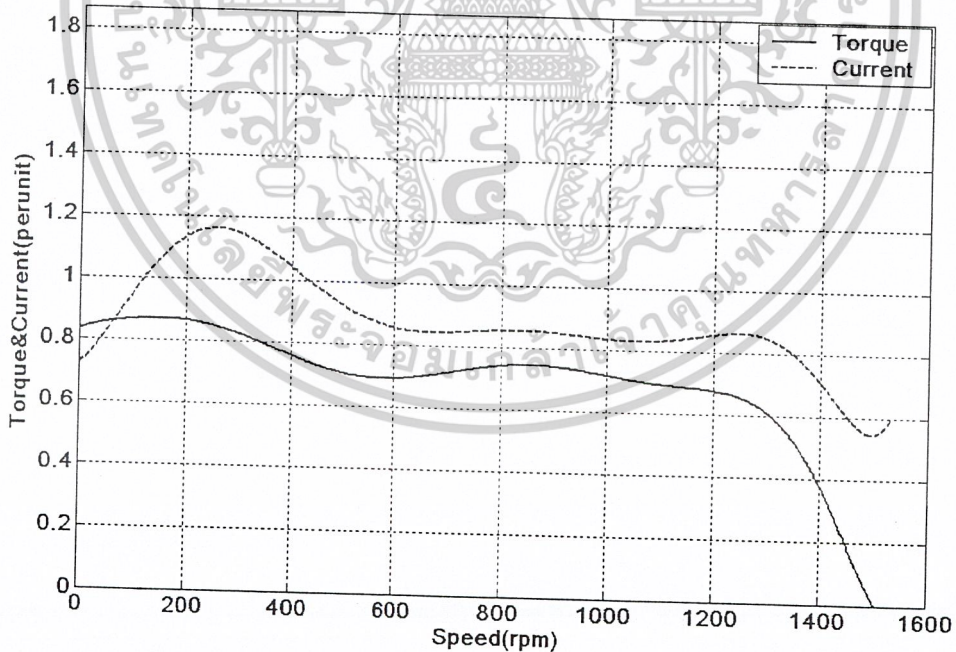


รูปที่ 4-74 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 5 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit = 15.0502 N-m , กระแส 1 perunit = 5 A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

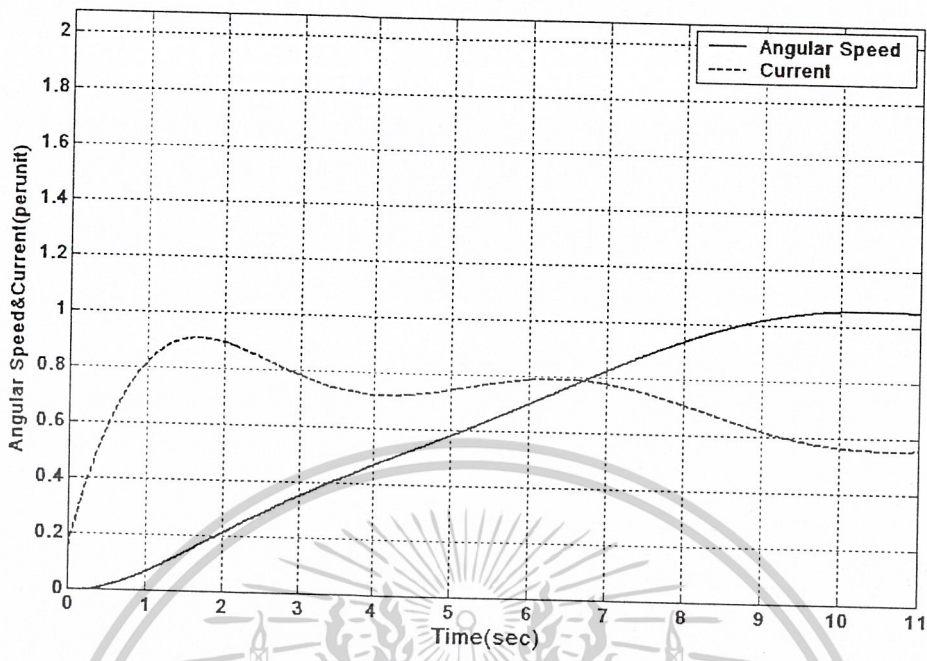


รูปที่ 4-75 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 7 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

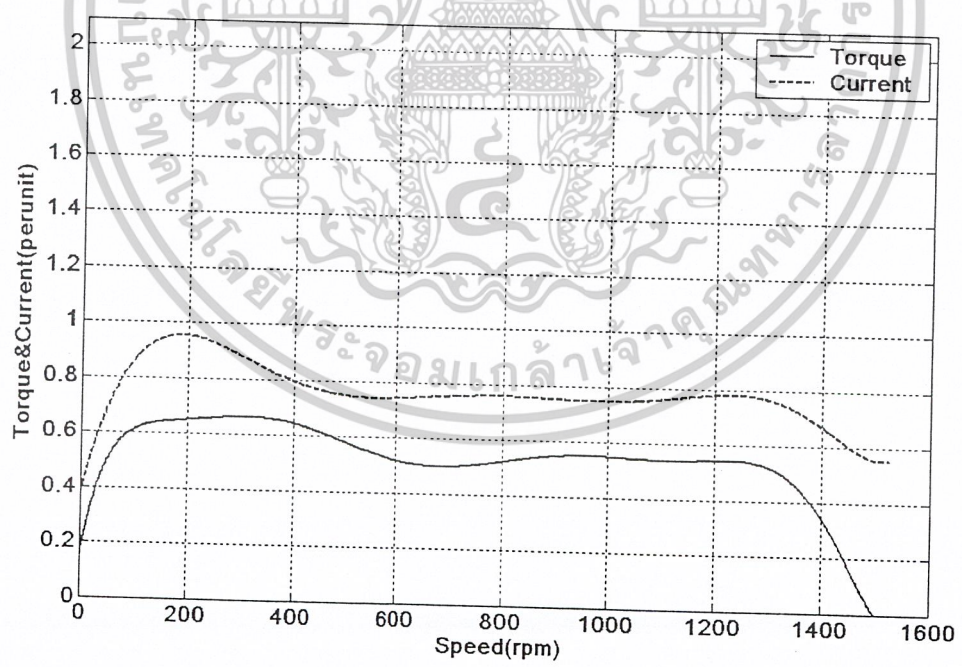


รูปที่ 4-76 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 7 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-77 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 9 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)



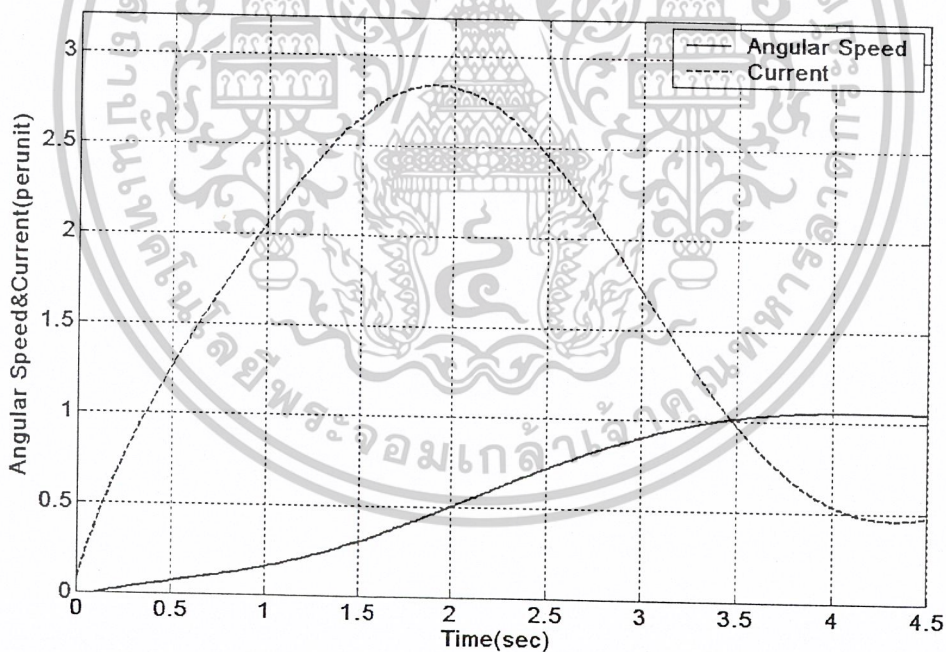
รูปที่ 4-78 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 9 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลา acceleration time	กระแสสตาร์ท	กระแสสูงสุด	แรงบิดสตาร์ท	แรงบิดสูงสุด
3	0.975	2.5	0.7	1.95
5	0.5	1.55	0.5	1.25
7	0.725	1.55	0.85	0.875
9	0.4	0.95	0.2	0.675

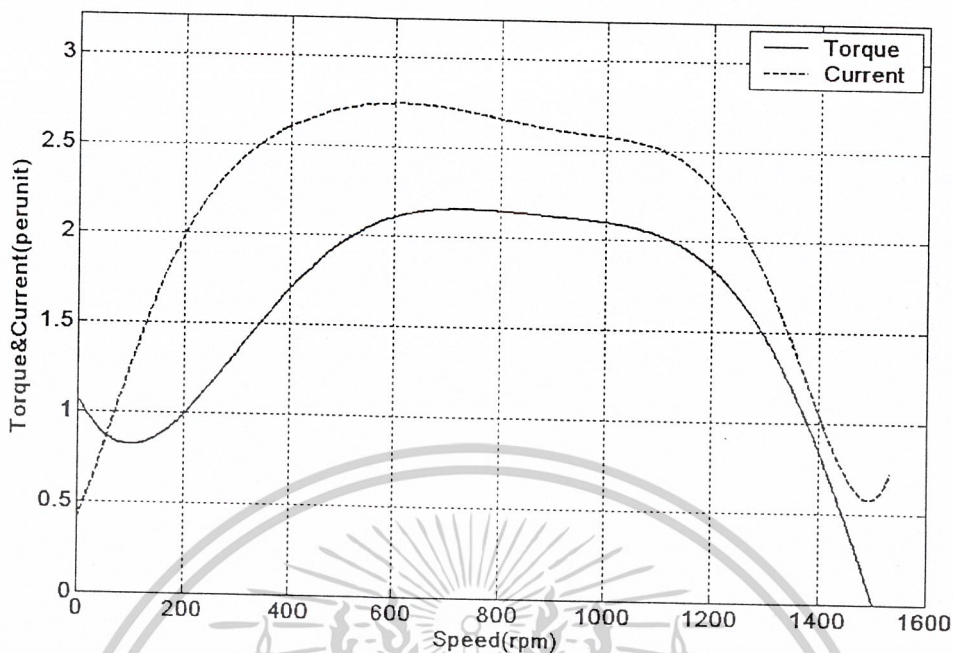
ตารางที่ 4-11 ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทที่ใช้อินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งทดสอบกับ

ล้อช่วยแรงขนาด 0.448 kg-m^2

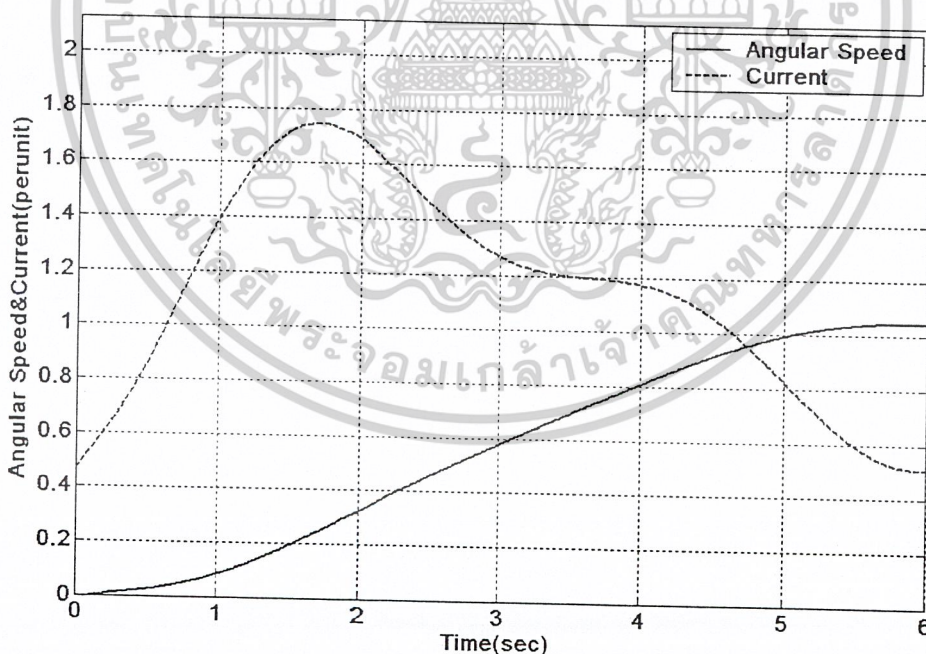


รูปที่ 4-79 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณสมบัติขณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 3 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม $1 \text{ perunit}=148.7 \text{ rad/s}$, กระแส $1 \text{ perunit}=5 \text{ A}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

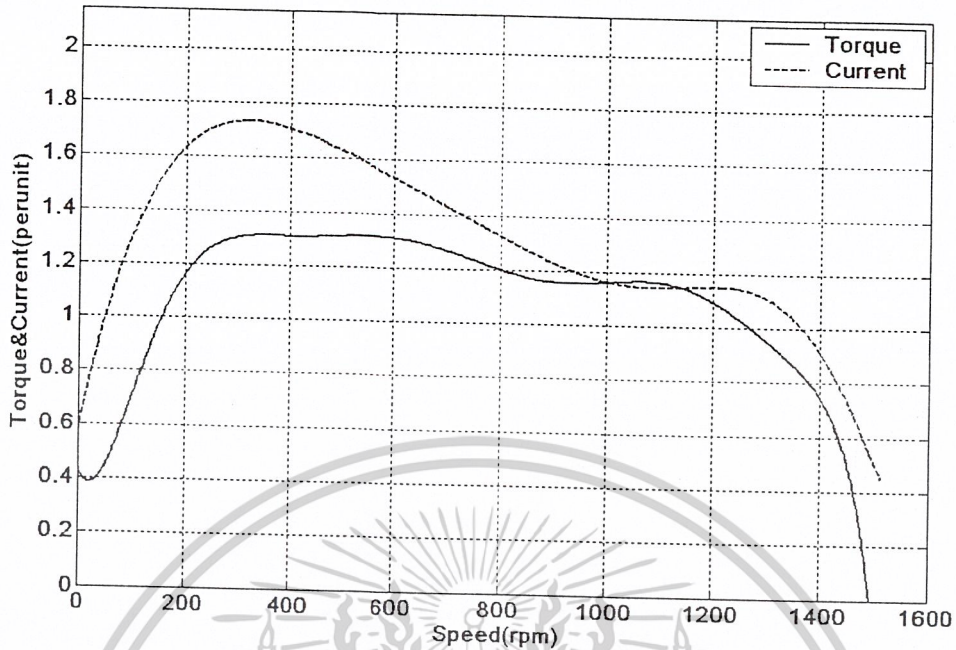


รูปที่ 4-80 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 3 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

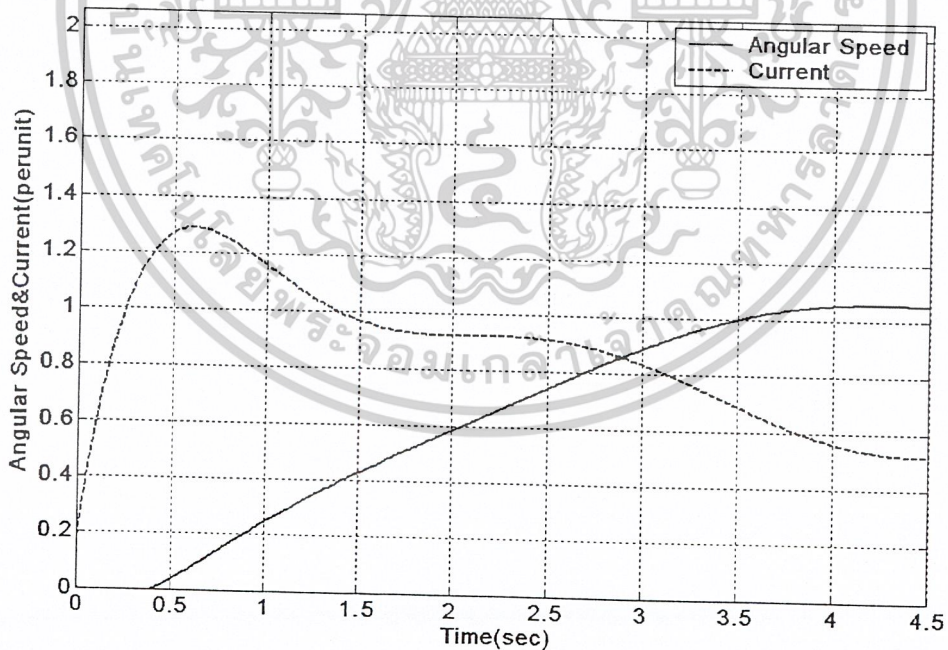


รูปที่ 4-81 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 5 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

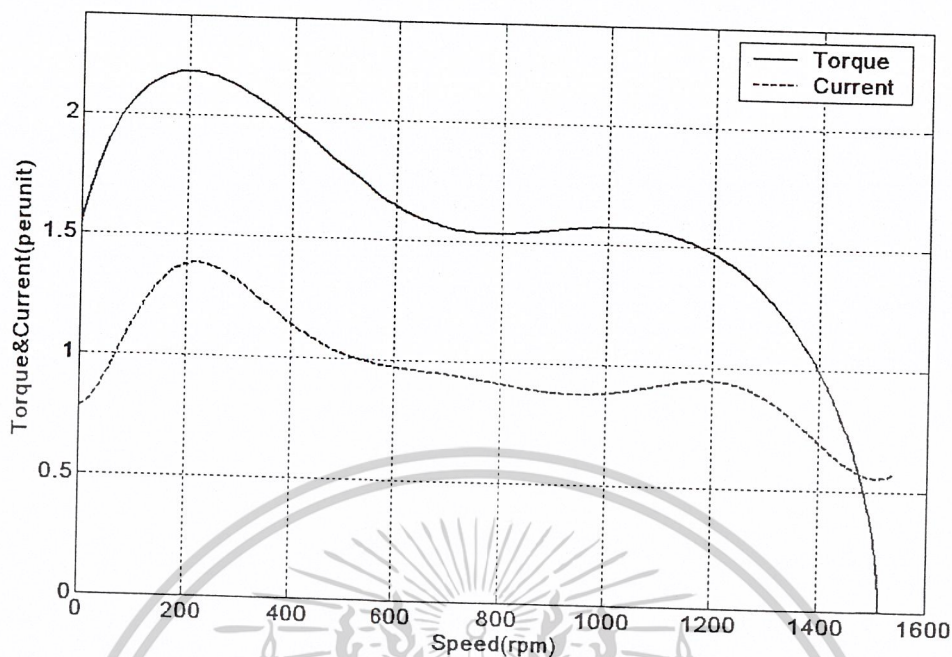


รูปที่ 4-82 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 5 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

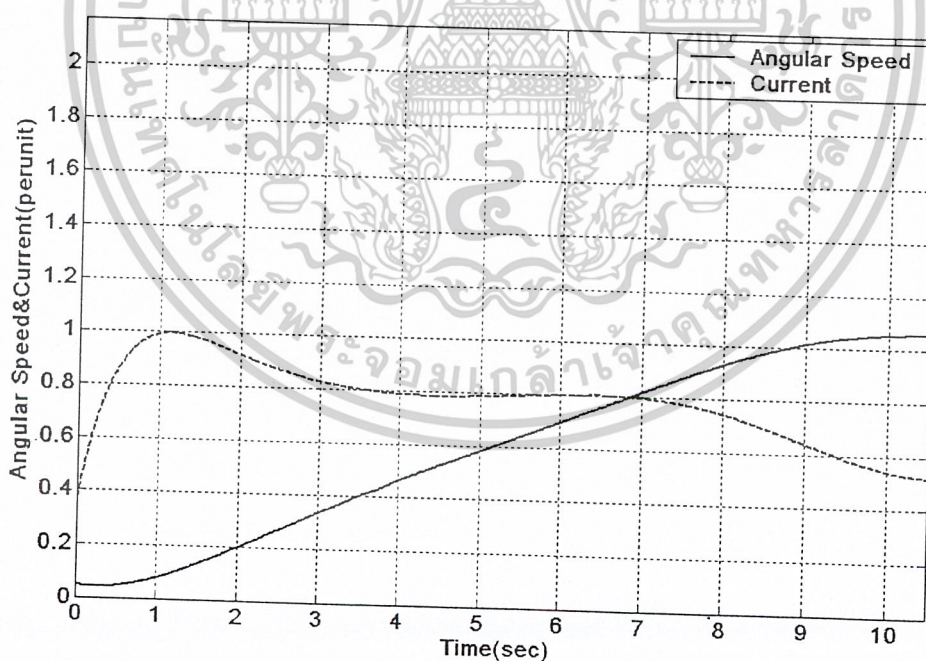


รูปที่ 4-83 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 7 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

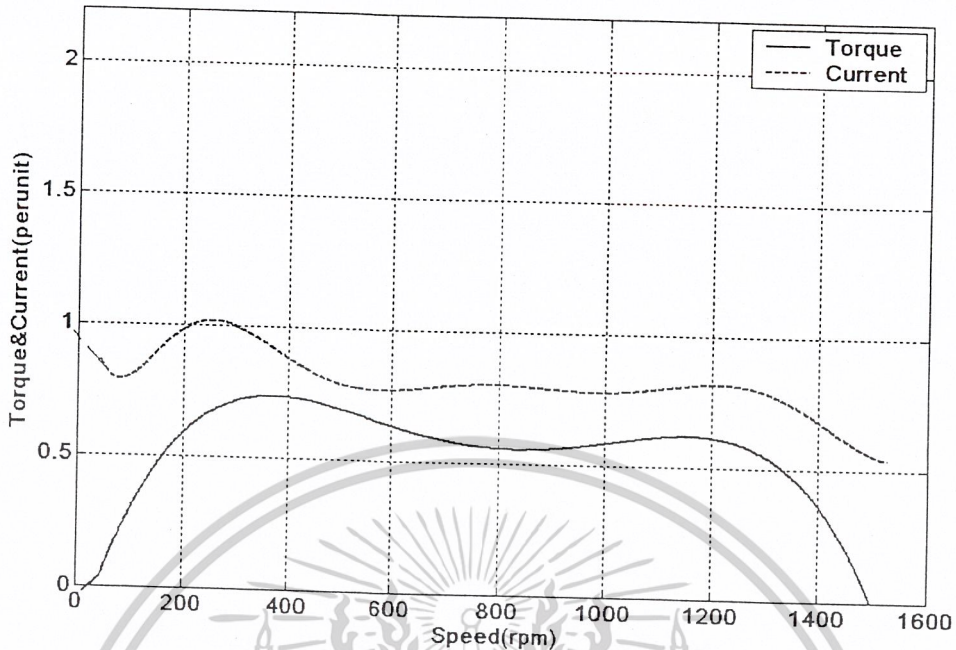


รูปที่ 4-84 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 7 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)



รูปที่ 4-85 กราฟระหว่างอัตราเร็วเชิงมุม-เวลาและกราฟคุณลักษณะกระแส-เวลาของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 9 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (อัตราเร็วเชิงมุม 1 perunit=148.7rad/s, กระแส 1 perunit=5A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-86 กราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบและกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 3 แรงม้า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการเร่งความเร็วเป็น 9 วินาที เมื่อทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2 (แรงบิด 1 perunit=15.0502N-m, กระแส 1 perunit=5A)

ช่วงเวลา acceleration time	กระแสสตาร์ท	กระแสสูงสุด	แรงบิดสตาร์ท	แรงบิดสูงสุด
3	0.425	2.75	1.075	2.2
5	0.6	1.75	0.425	1.3
7	0.8	1.375	1.525	2.3
9	0.95	1.025	0	0.8

ตารางที่ 4-12 ค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบการสตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์ของมอเตอร์ขนาด 3 แรงม้าซึ่งทดสอบกับล้อช่วยแรงขนาด 0.497 kg-m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป

ในการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีเร่งความเร็ว (acceleration method) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับทดสอบเพื่อทำการหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งอ้างอิงตาม IEEE standard 112-1996[1] ในการทดสอบได้ทำการเพิ่มช่วงเวลาในการเร่งความเร็วให้แก่มอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยอาศัยเทคนิคการเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อยให้แก่โรเตอร์ ซึ่งวิธีการเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อยให้แก่โรเตอร์นั้นกระทำโดยการนำลวดช่วยแรงเข้ามาค้ำปลีกับเพลลาของมอเตอร์ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งผลการทดลองได้แสดงไว้ในบทที่ 4

ในการทดลองได้ทำการทดลองกับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (squirrel cage) ขนาด 1 และ 3 แรงม้า ซึ่งเป็นมอเตอร์ประเภท totally enclosed fan cooled (TEFC) ในการทดสอบได้ทำการทดสอบการสตาร์ทมอเตอร์สี่วิธี ได้แก่ 1. การสตาร์ทตรงแบบสตาร์ท 2. การสตาร์ทตรงแบบเคลด้า 3. การสตาร์ทแบบสตาร์ท-เคลด้า 4. การสตาร์ทโดยใช้อินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ยังทำการทดสอบด้วยวิธีหน่วงความเร็ว (retardation test) ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบคือค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของโรเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 4-3 และยังทำการทดสอบภาระเพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลจากการทดสอบแบบสตาร์ทตรง

ในการทดสอบมอเตอร์ด้วยวิธีการสตาร์ทตรงทั้งแบบสตาร์ทและแบบเคลด้า นั้น ได้ทำการทดสอบกับลวดช่วยแรงที่มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยขนาดต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นผลของค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่เพิ่มขึ้นต่อเวลา ที่ค่ากระแสมอเตอร์เข้าสู่สภาวะคงตัว จะพบว่าเมื่อค่าโมเมนต์ความเฉื่อยสูงขึ้น เวลาที่กระใช้ในการเข้าสู่สภาวะคงตัวก็ยาวนานขึ้น เมื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบมาพล็อตกราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบ และกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ข้อมูลชุดนี้ได้ทำการพล็อตลงบนแกนเดียวกัน โดยทำการทดสอบกับค่าโมเมนต์ความเฉื่อยต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบผลของค่าโมเมนต์ความเฉื่อยต่อกราฟคุณลักษณะทั้งสอง ซึ่งจากผลที่ได้พบว่า กราฟคุณลักษณะทั้งสองประเภท เมื่อทำการทดสอบกับลวดช่วยแรงที่มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่แตกต่างกัน จะให้ผลการทดลองที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อนำกราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้จากการทดลอง มาทำการพล็อตเปรียบเทียบกับกราฟที่ได้จากการทดสอบภาระของมอเตอร์เหนี่ยวนำ พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งได้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือได้ของผลการทดสอบด้วยวิธีเร่งความเร็วในย่านความเร็วพิคก

ในส่วนการทดสอบมอเตอร์ด้วยวิธีการสตาร์ทแบบสตาร์ท-เคลด้า ได้ทำการทดสอบกับลวดช่วยแรงที่มีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยขนาดต่างกัน โดยจะเปลี่ยนช่วงเวลาในการสตาร์ทแบบสตาร์ทแล้วเปลี่ยนเป็นเคลด้า แล้วนำค่าที่ได้จากการทดสอบมาพล็อตกราฟคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบ และกราฟคุณลักษณะกระแส-ความเร็วรอบ จะพบว่าจากตาราง 4-5 ช่วงเวลาที่ใช้ในการสตาร์ทแบบสตาร์ทที่ 3 วินาทีเหมาะสมกับค่าโมเมนต์ความเฉื่อยนี้ที่สุดเพราะกระแสที่เคลด้าต่ำกว่ากระแสที่สตาร์ท และค่าแรงบิดมากกว่าที่ 4 วินาที ซึ่งมีผลดีเพราะจะทำให้มีกำลังในการขับภาระมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตาราง 4-6 จะพบว่าช่วงเวลาที่ใช้ในการสารถแบบสารถตั้งแต่ 6 ถึง 8 วินาทีเหมาะกับค่าโมเมนต์ความเฉื่อยนี้ที่สุด เพราะค่ากระแสเคลด้ามีค่าใกล้เคียงหรือน้อยกว่ากระแสที่สารถและแรงบิดมีค่าสูง ส่วนตาราง 4-7 จะให้ผลเช่นเดียวกับตาราง 4-6

จากตาราง 4-8 ควรจะใช้ช่วงเวลาในการสารถแบบสารถที่ 8 วินาที เพราะกระแสเคลด้าจะต่ำกว่าที่สารถและให้ค่าแรงบิดที่สูง

จากข้อมูลที่ได้พบว่าเมื่อค่าโมเมนต์ความเฉื่อยที่ค่าสูงขึ้น ช่วงเวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนสารถแบบสารถจะเพิ่มขึ้น

ส่วนการทดสอบมอเตอร์ด้วยวิธีการสารถโดยใช้อินเวอร์เตอร์นั้น ค่ากระแสและแรงบิดของมอเตอร์ขณะสารถจะต่ำกว่าค่ากระแสและแรงบิดสูงสุด ซึ่งค่ากระแสและแรงบิดจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงค่ากระแสและแรงบิดสูงสุด เนื่องจากการปรับค่าของแรงดันและความถี่ที่ค่าเวลาการเร่งที่ค่าต่างๆกัน

จากการทดสอบการสารถแบบสารถ-เคลด้าและการสารถโดยใช้อินเวอร์เตอร์นั้น จะพบว่าค่าแรงบิดขณะสารถของการสารถแบบสารถ-เคลด้าจะค่อนข้างสูงกว่าการสารถโดยใช้อินเวอร์เตอร์ แต่กระแสขณะสารถโดยใช้อินเวอร์เตอร์จะน้อยกว่าการสารถแบบสารถ-เคลด้า ดังนั้นจะเลือกใช้การสารถแบบไหนก็ต้องดูความเหมาะสมกับการขับภาระ ต้นทุนเพราะแต่ละวิธีจะใช้ต้นทุนต่างกันเนื่องจากขนาดของเครื่องป้องกันจะแตกต่างกัน

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ได้นำเสนอมาในปฏิญานีพนธ์นี้พบว่า การหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีเร่งความเร็ว โดยอาศัยเทคนิคการเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อยนี้เป็นวิธีที่สะดวกมากและใช้เวลาในการทำการทดสอบสั้น มีค่าใช้จ่ายต่ำ ซึ่งเทคนิคที่นำเสนอไม่น่าจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีที่สูงมากในการทดสอบ ซึ่งเหมาะสำหรับการทดสอบสำหรับวิศวกร โรงงานหรือผู้ที่ใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] IEEE Standard 112-1996, IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators.
- [2] IEC Standard 34-2 1982 Part 2: Method for Determining Losses and Efficiency of Rotating Electrical Machinery from Test (Excluding Machines for traction vehicle).
- [3] ผศ.ถาวร อมตกิตต์ “การส่งกำลังและการประหยัดพลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ” พิมพ์ครั้งที่ 1, กุมภาพันธ์ 2545 หน้า 142-144
- [4] วรชาติ แซ่ก๊ก ”เทคนิคการในการหาคุณลักษณะแรงบิด-ความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยการเพิ่มโมเมนต์ความเฉื่อย” วิทยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าปีการศึกษา 2545



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้