



การทำงานของกรุปของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล  
UNBALANCED VOLTAGE OPERATIONS OF A GROUP OF INDUCTION MOTORS



โดย  
นาย ชีรยุทธ สุวรรณชาติ  
นาย ชีรวัชร จรเจริญ  
นาย ชีรินทร์ ประวาลปัทม์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน... 45957  
วัน, เดือน, ปี 26 ก.พ. 2546

.b.....  
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

122092604

ปีการศึกษา 2544

การทำงานของกรุปของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล  
UNBALANCED VOLTAGE OPERATIONS OF A GROUP OF INDUCTION MOTORS



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. อานันท์วัฒน์ คุณากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

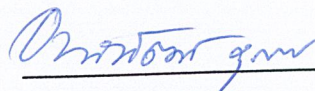
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การทำงานของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

ผู้จัดทำ

- 1) นาย ชีรยุทธ สุวรรณชาติ
- 2) นาย ชีรวัชร จรเจริญ
- 3) นาย ชีรินทร์ ประवालปัทม์

 อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ดร. อนันต์วัฒน์ คุณากร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทำงานของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

นาย ชีรยุทธ สุวรรณชาติ

นาย ชีรวัชร จรเจริญ

นาย ชีรินทร์ ประवालπίทม์

ดร. อานันท์วัฒน์ คุณากร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2544

### บทคัดย่อ

สถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเกิดขึ้นจากสาเหตุหลายประการ เมื่อมอเตอร์เหนี่ยวนำได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลจากระบบ มอเตอร์จะมีพารามิเตอร์ในการทำงานแตกต่างออกไปเมื่อเทียบกับการทำงานในสถานะแรงดันไฟฟ้าสมดุล โครงการนี้เป็นการศึกษาการทำงานของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล โดยทดสอบมอเตอร์และกลุ่มของมอเตอร์ในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลเงื่อนไขแตกต่างกันแล้วบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จากนั้นนำวงจรมวลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสและทฤษฎีขององค์ประกอบสมมาตรมาวิเคราะห์สถานะการทำงานและหาข้อสรุปถึงผลกระทบที่มีต่อมอเตอร์และกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

## UNBALANCED VOLTAGE OPERATIONS OF A GROUP OF INDUCTION MOTORS

Teerayut Suwannachart

Theerawat Jonjareon

Theerin Prawalpath

Dr. Anantawat Kunakorn Advisor

2001

### ABSTRACT

The unbalanced voltage conditions in a distribution system can occur due to various causes. When an induction motor is supplied by the unbalanced voltages from the system, the parameters of the motor are different from those in a balanced condition. This project is aimed to study the operations of a group of induction motors supplied by an unbalanced voltage source. The motors are tested under the different unbalanced voltage conditions and the parameters are recorded in each case. Equivalent circuits of a three - phase induction motor and symmetrical components are used to analyse the unbalanced operating conditions of the motors.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	I
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 การวางแผนทำโครงการ	4
1.5 เนื้อหาภายในเล่ม	5
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ภายใน โครงการงาน	6
2.1 ทฤษฎีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	6
2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	6
2.1.2 ความเร็วเชิงโรตอร์ ความเร็วโรเตอร์และสลลิป	7
2.1.3 การส่งผ่านกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	8
2.1.4 เส้นความสัมพันธ์ของความเร็วและแรงบิด	9
2.1.5 ลักษณะเฉพาะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบกรงกระรอก	10
2.2 ทฤษฎีของระบบไฟฟ้า 3 เฟส	11
2.2.1 ระบบแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสแบบสมดุล	11
2.2.2 ระบบไฟฟ้ากำลัง 3 เฟสของประเทศไทย	12
2.2.3 การต่อภาระทางไฟฟ้าแบบ Star isolated neutral	13
2.3 ทฤษฎีขององค์ประกอบสมมาตร	14
2.3.1 การสังเคราะห์เฟสเซอร์ไม่สมมาตรจากองค์ประกอบสมมาตร	15
2.3.2 องค์ประกอบสมมาตรของเฟสเซอร์ไม่สมมาตร	16
2.3.3 กำลังไฟฟ้าในรูปขององค์ประกอบสมมาตร	18
2.4 การวิเคราะห์ผลของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลที่มีต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ และกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีองค์ประกอบสมมาตร	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การกำหนดปริมาณของแรงดัน ไฟฟ้าป้อนเข้าในสถานะไม่สมดุล	23
2.6 การคำนวณหาค่า VUF	26
2.7 การออกแบบ Drum ที่ใช้ในการขับภาระทางกล	26
บทที่ 3 การทดสอบและวิธีการทดสอบ	28
3.1 การทดสอบทางจรรยาบรรณของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	28
3.1.1 การทดสอบหาค่าความต้านทานสเตเตอร์	28
3.1.2 การทดสอบขณะไม่มีโหลดและการทดสอบด้วยการยึด โรเตอร์อยู่กับที่	30
3.1.3 การทดสอบหาค่าสลลิป	31
3.2 การทดสอบในสถานะที่แรงดัน ไฟฟ้าไม่สมดุลขณะไร้ภาระทางกล และขณะขับภาระทางกล	31
3.2.1 การทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ	31
3.2.2 การทดสอบกับกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	32
3.3 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	34
บทที่ 4 ผลที่ได้จากการทำการทดสอบ	35
4.1 ผลการทดสอบทางจรรยาบรรณของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	35
4.1.1 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานสเตเตอร์	35
4.1.2 ผลการทดสอบขณะไม่มีโหลดและการทดสอบด้วยการยึด โรเตอร์อยู่กับที่	35
4.1.3 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้จากการทดสอบ	36
4.2 ค่าปริมาณของแรงดัน ไฟฟ้าป้อนเข้าในสถานะไม่สมดุล	37
4.3 ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ มอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่แรงดัน ไฟฟ้าไม่สมดุลขณะไร้ภาระทางกล	38
4.3.1 ผลการทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1	38
4.3.2 ผลการทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2	39
4.4 ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ กลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่แรงดัน ไฟฟ้าไม่สมดุลขณะไร้ภาระทางกล	40
4.5 ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ มอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่แรงดัน ไฟฟ้าไม่สมดุลขณะขับภาระทางกล	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญ (ต่อ)	หน้า
4.5.1 ผลการทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1	43
4.5.2 ผลการทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2	47
4.6 ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบ กลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาวะที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลขณะขับภาระทางกล	51
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์โครงการ	63
5.1 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ	63
5.1.1 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบการทดสอบมอเตอร์ในสภาวะไร้ภาระทางกล	63
5.1.2 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบการทดสอบมอเตอร์ในสภาวะขับภาระทางกล	64
5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบในการทำโครงการ	65
ภาคผนวก	66
กราฟแสดงผลการทดสอบในลักษณะต่างๆ	67
ตัวอย่างโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ช่วยคำนวณ	124
กิตติกรรมประกาศ	128
บรรณานุกรม	129

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 : มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	6
รูปที่ 2.2 : โรเตอร์แบบกรงกระรอก	7
รูปที่ 2.3 : การส่งผ่านกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	8
รูปที่ 2.4 : เส้นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิด	10
รูปที่ 2.5 : เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและภาระทางไฟฟ้าที่ต่อแบบ Star	11
รูปที่ 2.6 : ลำดับเฟสทั้ง 2 แบบของระบบไฟฟ้า 3 เฟส	12
รูปที่ 2.7 : การต่อขดลวดมอเตอร์ด้านนอกแบบ Star isolated neutral	13
รูปที่ 2.8 : เฟสเซอร์ขององค์ประกอบสมมาตร	15
รูปที่ 2.9 : วงจรสมมูลลำดับบวกและลบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	20
รูปที่ 2.10 : ลำดับเฟส abc และกฎของโคไซน์	21
รูปที่ 2.11 : ภาพ Drawing ของ Drum	27
รูปที่ 2.12 : ภาพ Drum	27
รูปที่ 3.1 : วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ	28
รูปที่ 3.2 : วงจรการทดสอบหาค่าความต้านทานสเตเตอร์	29
รูปที่ 3.3 : วงจรการทดสอบขณะไม่มีโหลดและการทดสอบด้วยการยึด โรเตอร์อยู่กับที่	30
รูปที่ 3.4 : วงจรการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล	31
รูปที่ 3.5 : วงจรการทดสอบกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล	32
รูปที่ 3.6 : อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	34
รูปที่ 4.1 : กราฟของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1	35
รูปที่ 4.2 : กราฟของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2	35
รูปที่ 4.3 : กราฟของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1	36
รูปที่ 4.4 : กราฟของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2	36
รูปที่ 4.5 : วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้จากการทดสอบ	36

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความต้านทานสเตเตอร์	35
ตารางแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าในสถานะไม่สมดุลจากนิยามของ PVUR (%)	37
ตารางแสดงผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1 ขณะไร้ภาระทางกล	38
ตารางแสดงผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2 ขณะไร้ภาระทางกล	39
ตารางแสดงผลการทดสอบหาคะแสของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะไร้ภาระทางกล	40
ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าลิ่งไฟฟ้าของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะไร้ภาระทางกล	41
ตารางแสดงค่า VUF และค่าสลิปของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะไร้ภาระทางกล	42
ตารางแสดงผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1 ขณะขับภาระทางกล	43
ตารางแสดงผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2 ขณะขับภาระทางกล	47
ตารางแสดงผลการทดสอบหาคะแส ค่านิ่งไฟฟ้าของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ขณะไร้ภาระทางกล ค่า VUF และค่าสลิปของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะไร้ภาระทางกล	51

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของโครงการ

#### 1.1.1 สาเหตุของการเกิดสภาวะความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย<sup>[3], [5], [8]</sup>

ในระบบไฟฟ้ากำลัง 3 เฟส แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัญญาณไฟฟ้ารูปไซน์ที่มีค่าความแตกต่างระหว่างเฟสเป็นมุม  $120^\circ$  การที่ด้านปลายของระบบส่งจ่ายอาจถูกต่ออยู่กับภาระทางไฟฟ้า 1 เฟสตามบ้านพักอาศัยที่ไม่สมดุลซึ่งก่อให้เกิดการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละเฟสไม่เท่ากันรวมถึงภาระทางไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้นเป็นสาเหตุให้แรงดันไฟฟ้าในหม้อแปลงและอิมพีแดนซ์ของสายส่งไม่เท่ากัน ผลคือแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไม่สมดุลที่จุดต่อร่วม นอกจากนี้การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ไม่สมบรูณ์ในสายส่ง การแก้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้ได้ตามค่าที่ต้องการ การขัดข้องที่เกิดขึ้นกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 3 เฟส การต่อขดลวดหม้อแปลงแบบ open - delta พิวต์ในชุดตัวเก็บประจุ 3 เฟสขาด ต่างก็ทำให้เกิดความไม่สมดุลขึ้นในระบบไฟฟ้า 3 เฟส

ปัจจุบันปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างไปจากในอดีต ภาระทางไฟฟ้า 1 เฟสมีความผันผวนต่อเนื่องและเปลี่ยนแปลงอย่างมากในแต่ละชั่วโมง ทำให้เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าในระบบไม่สมดุลตลอดเวลา ผลของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสที่มีขนาดไม่เท่ากันจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสซึ่งต่อร่วมอยู่ในระบบส่งจ่ายเกิดการเปลี่ยนแปลง

#### 1.1.2 ผลของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ<sup>[3], [8]</sup>

ผลกระทบจากความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นอย่างรุนแรงกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ สามารถอธิบายได้ในรูปขององค์ประกอบลำดับลบ (Negative sequence component) ผลจากแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลทำให้เกิดกระแสไหลวนจำนวนมากในโรเตอร์รวมทั้งแรงบิดเอาต์พุตลดลง บ่อยครั้งพบว่าการใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลทำให้ขดลวดไหม้เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นจนมากเกินไปเมื่อเทียบกับขณะได้รับแรงดันไฟฟ้าสมดุล (ปกติแล้วลักษณะของอุณหภูมิในมอเตอร์ขึ้นอยู่กับแรงดันลำดับลบและจะไม่แยกออกจากโซนการป้องกันโอเวอร์โหลด)

นอกจากนี้แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลยังทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำมีกำลังสูญเสียที่ขดลวดและแกนเหล็กเพิ่มมากขึ้น ความเร็วรอบเมื่อจ่ายภาระทางกลลดลง เกิดความเสียหายต่อมอเตอร์เป็นเหตุให้มอเตอร์มีอายุการใช้งานสั้นลง อีกทั้งกระแสไฟฟ้าที่สร้างแรงบิดด้านภาระทางกลที่สูงกว่าปกติจะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสายไฟเพิ่มขึ้น นับเป็นความสูญเสียทางเศรษฐกิจของประเทศ ปัญหาความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการรบกวนต่อองค์กรต่างๆมาเป็นระยะเวลายาวนานจึงเป็นปัญหาสำคัญที่ควรพิจารณาเพื่อหาทางแก้ไขและป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.1.3 การศึกษาเกี่ยวกับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ผ่านมา <sup>[3] . [5]</sup>

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสเป็นภาระทางไฟฟ้าที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรม การพาณิชย์และในที่พักอาศัย เมื่อแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลจะเกิดผลเสียกับมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งส่งผลกระทบต่ออย่างรุนแรงกับทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภค จึงมีการพยายามศึกษาการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950 โดย Williams พิสูจน์ว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำงานภายใต้สถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลจะมีประสิทธิภาพลดลง ต่อมาในปี ค.ศ. 1959 Gafford ทำการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าอุณหภูมิของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำงานภายใต้สถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลมีค่าสูงขึ้น Gafford บ่งชี้ว่าแรงดันไฟฟ้าที่ไม่สมดุลทำให้อุณหภูมิในมอเตอร์เหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นอย่างมากและทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์สั้นลง ในปี ค.ศ. 1963 Berndt ได้เสนอทฤษฎีในการคำนวณหาพิกัดกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทศวรรษที่ผ่านมา นักวิจัยในสายงานนี้มุ่งประเด็นไปที่วิธีการป้องกัน เช่น Cumming ได้ศึกษาวิธีป้องกันมอเตอร์เหนี่ยวนำจากสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล เป็นต้น

ปัจจุบันการวัดกระแสโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในงานในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลพบว่าที่ค่าความไม่สมดุล 5 % อายุการใช้งานของมอเตอร์จะลดลง 30 % นอกจากนี้ในมาตรฐาน IEC ได้จำกัดขอบเขตความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าที่ 1 % และควรหยุดการใช้งานมอเตอร์ถ้าสถานะไม่สมดุลสูงขึ้น อย่างไรก็ตามในมาตรฐาน ANSI และ IEEE ไม่มีข้อจำกัดดังกล่าว จากการศึกษาในปัจจุบันของ ANSI , NEMA และ IEC ได้เสนอขอบเขตความไม่สมดุลไว้ที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่อเนื่อง 5 % และกระแสไฟฟ้าไม่สมดุลต่อเนื่อง 10 %

### 1.1.4 กรณีความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า <sup>[5]</sup>

สถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลที่ทำการทดสอบ และสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดสถานะเหล่านั้นแบ่งออกได้เป็นกรณีที่แตกต่างกัน 4 กรณี ดังนี้

#### 1) แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส (1 $\phi$ -UV)

ถ้ามีภาระทางไฟฟ้า 1 เฟสขนาดใหญ่ในระบบ และไม่มีการชดเชยที่เพียงพอ แรงดันไฟฟ้าในเฟสนี้จะมีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าอีก 2 เฟส

#### 2) แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส (2 $\phi$ -UV)

ถ้าแรงดันไฟฟ้า 2 ใน 3 เฟสมีภาระทางไฟฟ้าขนาดใหญ่และไม่มีการชดเชยที่เพียงพอ แรงดันไฟฟ้าใน 2 เฟสนั้นจะมีค่าแรงดันตกสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่เหลือ

#### 3) แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 1 เฟส (1 $\phi$ -OV)

เพื่อรักษาค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบให้อยู่ที่ค่าพิกัด นิยมใช้ตัวเก็บประจุเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าจินตภาพของระบบ ถ้าแรงดันไฟฟ้า 1 ใน 3 เฟสมีการชดเชยมากเกินไป แรงดันไฟฟ้าในเฟสนี้จะมีค่าสูงกว่าค่าพิกัด ทำให้เกิดสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 1 เฟส

#### 4) แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 2 เฟส (2 $\phi$ -OV)

ถ้ามีการชดเชยมากเกินไปใน 2 เฟส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าใน 2 เฟสมีค่าสูงกว่าค่าพิกัด ซึ่งจะทำให้เกิดสถานะของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 2 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการงาน

โครงการนี้มุ่งเน้นการศึกษาการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำและกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาวะที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล เพื่อหาข้อสรุปถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการทำงานภายใต้สภาวะความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบกับระหว่างมอเตอร์เหนี่ยวนำและกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำว่าแตกต่างกันหรือไม่ รวมทั้งสังเกตว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อพิจารณาควบคู่ไปกับแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงซึ่งได้จากการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องประกอบกัน

การศึกษาเริ่มจากการทดสอบหาจรรยาบรรณของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จากนั้นจึงทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำและกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ซึ่งจะทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าในสภาวะต่างๆ ตามที่คำนวณได้จากการกำหนดปริมาณของแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าในสภาวะไม่สมดุล อ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE Std 141 โดยการทดสอบทุกครั้งจะบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆไว้ แล้วจึงนำทฤษฎีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส กับทฤษฎีองค์ประกอบสมมาตร (Symmetrical Component) มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์สภาพการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำและกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เพื่อหาข้อสรุปถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำและกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

## 1.3 ขอบเขตของโครงการงาน

โครงการนี้เป็นการศึกษาสภาวะการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำและกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งมีการต่อขดลวดสเตเตอร์ด้านนอกเป็นแบบ Star isolated neutral ทั้งขณะไร้ภาระทางกล (No – load condition) และขณะรับภาระทางกล (On – load condition) ภายใต้แรงดันไฟฟ้าความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ การศึกษาของโครงการจะแบ่งสภาวะความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าออกเป็น 2 สภาวะคือ แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ (Over Voltage Unbalance) และแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ (Under Voltage Unbalance) โดยกำหนดให้ระดับของแรงดันไฟฟ้าระดับปกติมีค่าเท่ากับ 220 โวลต์ (Vac) นอกจากนี้ยังแบ่งกรณีความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละสภาวะข้างต้นทั้ง 2 สภาวะออกเป็น 2 กรณีคือ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับแรงดันไฟฟ้า 1 เฟสและความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับแรงดันไฟฟ้า 2 เฟส

การศึกษาของโครงการเลือกจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 5 ระดับคือ 1% , 2% , 3% , 4% และ 5% ให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำและกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้งในขณะไร้ภาระทางกลและขณะรับภาระทางกล โดยที่ขณะรับภาระทางกลจะแบ่งขนาดภาระทางกลออกเป็น 5 ระดับคือ 20% , 40% , 60% , 80% และ 100% เทียบจากขนาดพิกัดภาระทางกลสูงสุดของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ระบุไว้บน Name plate ในการทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อให้ข้อมูลที่ได้น่าเชื่อถือ จึงทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเดียวกัน 2 ตัวเพื่อดูแนวทางความถูกต้องของข้อมูล สำหรับการทดสอบกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะทำโดยการทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเดียวกัน 2 ตัวต่อขนานกัน

## 1.4 การวางแผนทำโครงการ

No	Project Planing	Project I					Project II				
		Jun 01	Jul 01	Aug 01	Sep 01	Oct 02	Nov 02	Dec 02	Jan 02	Feb 02	Mar 02
1	ศึกษาทฤษฎีในการทำโครงการ										
2	จัดหามอเตอร์เหนี่ยวนำและทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ในวงจรสมมูล										
3	ออกแบบรูปแบบการทดสอบ										
4	คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า										
5	ทดสอบมอเตอร์และกลุ่มของมอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลขณะไร้ภาระทางกล										
6	ศึกษาโปรแกรม MATLAB เพื่อช่วยในการคำนวณ										
7	ใช้วิธีองค์ประกอบสมมาตรและวงจรสมมูลวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้น										
8	ทำ Drum และแทนวางมอเตอร์										
9	ทดสอบมอเตอร์และกลุ่มของมอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลขณะขับภาระทางกล										
10	ใช้วิธีองค์ประกอบสมมาตรและวงจรสมมูลวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้น										
11	ทดสอบหา Harmonic ที่เกิดขึ้นกับกระแสไฟฟ้าขณะที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล										
12	วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบตลอดทั้งโครงการ										
13	จัดทำปริญญานิพนธ์และไปสเตอร์ในการนำเสนอผลงาน										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 เนื้อหาภายในเล่ม

บทที่ 1 กล่าวถึงที่มาของโครงการ สาเหตุที่ศึกษาการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำและกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล วัตถุประสงค์ ขอบเขต และการวางแผนในการทำโครงการ

บทที่ 2 อธิบายทฤษฎีพื้นฐานทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการ เริ่มจากทฤษฎีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ทฤษฎีระบบไฟฟ้า 3 เฟส การหาค่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้า ทฤษฎีองค์ประกอบสมมาตรและการวิเคราะห์ผลด้วยวิธีองค์ประกอบสมมาตร การหาค่า VUF รวมถึงการออกแบบ Drum เพื่อขั้วภาระทางกลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำและกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ตั้งแต่การหาจรรยาบรรณ การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำและกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลทั้งขณะไร้ภาระทางกลและขณะขั้วภาระทางกล รวมทั้งรายการอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

บทที่ 4 กล่าวถึงจรรยาบรรณของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้จากการทดสอบ ค่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าในสถานะไม่สมดุล ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่ได้จากการทดสอบตามวิธีการทดสอบในบทที่ 3 โดยนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตาราง

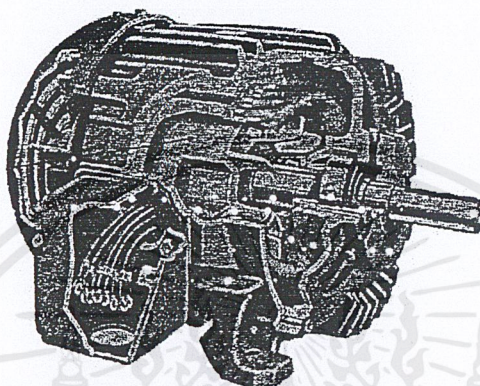
บทที่ 5 ประกอบด้วยการวิจารณ์โครงการ ข้อสรุปถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำและกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำเนื่องจากอิทธิพลของความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย การวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบผลจากการทดสอบจริง และผลจากการคำนวณด้วยวิธีองค์ประกอบสมมาตรตลอดจนปัญหาและอุปสรรคระหว่างการทำโครงการซึ่งมีผลต่อความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

ภาคผนวก แสดงกราฟของผลการทดสอบ และผลการคำนวณในลักษณะต่าง ๆ ตัวอย่างโปรแกรม MATLAB ที่ใช้ช่วยคำนวณ

## บทที่ 2

# ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ภายในโรงงาน

### 2.1 ทฤษฎีของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส <sup>[7]</sup>



รูปที่ 2.1 : มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (Three phase induction motor) นิยมใช้แพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะว่ามีแรงทนทาน ราคาถูก ความเร็วค่อนข้างคงที่ สะดวกในการบำรุงรักษาเพราะ โครงสร้างไม่ยุ่งยาก ซ้ำซ้อนเนื่องจากโรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก ด้วยข้อดีเหล่านี้จึงนิยมนำใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำในการขับเคลื่อนทางกลมากกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นใด อย่างไรก็ตามมีข้อเสียตรงที่ค่าตัวประกอบกำลังต่ำและล้าหลัง โรงงานอุตสาหกรรมที่มีมอเตอร์เหนี่ยวนำจำนวนมากจึงควรปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังเพื่อไม่ให้ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมากเกินไป ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองค่าไฟฟ้าโดยไม่จำเป็น

#### 2.1.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

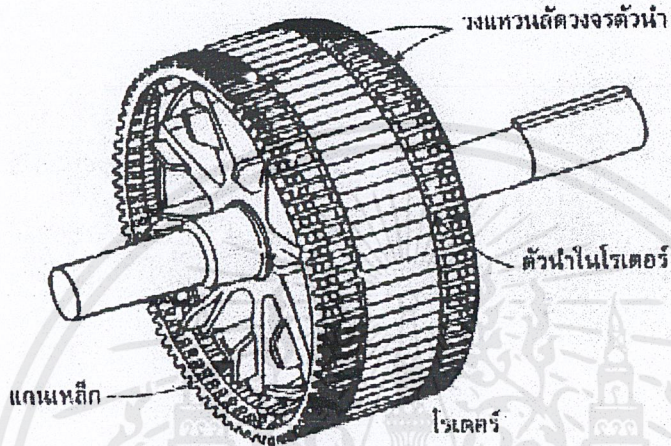
มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสมีโครงสร้างเรียบง่ายโดยมีส่วนประกอบหลักคือ ส่วนอยู่กับที่หรือสเตเตอร์ ส่วนหมุนหรือโรเตอร์ และฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ที่ทำหน้าที่ยึดเพลา ปกติแล้วระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ จะถูกคั่นด้วยช่องอากาศขนาดเล็กที่มีค่าระหว่าง 0.4 – 4 มิลลิเมตรขึ้นอยู่กับขนาดกำลังของมอเตอร์ รายละเอียดของส่วนประกอบที่สำคัญของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสมีดังนี้

##### 1) สเตเตอร์

เป็นส่วนที่อยู่กับที่และมีโครงสร้างเหมือนกับสเตเตอร์ของมอเตอร์ชนิดอื่นๆคือ ทำจากแผ่นเหล็กบางอัดซ้อนกันและอัดเป็นแท่งรูปทรงกระบอกเพื่อทำหน้าที่เป็นร่องวางขดลวด 3 เฟส

## 2) โรเตอร์

ส่วนหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบ่งออกตามโครงสร้างได้ 2 ชนิดคือโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel – cage rotor) และโรเตอร์แบบพันขดลวด (Wound – rotor motor) โครงงานที่ศึกษาเลือกมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก ซึ่งเป็นโรเตอร์รูปทรงกระบอก ผิวรอบๆ โรเตอร์เรียบ ผิวด้านนอกฝังแท่งตัวนำที่ทำจากทองแดงตลอดแนวความยาวของโรเตอร์ ที่ปลายแต่ละด้านของแท่งตัวนำบนโรเตอร์ต่อลวดวงจรด้วยวงแหวนทองแดง สำหรับโรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเล็กและกลางจะใช้แท่งตัวนำอะลูมิเนียมฉีดเข้าไปในโรเตอร์ ลักษณะของโรเตอร์แบบกรงกระรอกแสดงได้ตามรูป



รูปที่ 2.2 : โรเตอร์แบบกรงกระรอก

### 2.1.2 ความเร็วซิงโครนัส ความเร็วโรเตอร์และสลิป

#### 1) ความเร็วซิงโครนัส

เป็นความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส หาได้ดังนี้

$$n_s = 120f / P$$

เมื่อ

$n_s$  = ความเร็วซิงโครนัส (rpm)

$f$  = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส (Hz)

$P$  = จำนวนขั้วแม่เหล็กต่อเฟส

จากสมการข้างต้นแสดงให้เห็นว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนเพิ่มตามความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแต่จะลดตามจำนวนขั้วแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น ความเร็วในการหมุนของโรเตอร์ต้องต่ำกว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนเสมอเพราะว่าแรงบิดที่เกิดขึ้นกับตัวนำแต่ละตัวของโรเตอร์จะเกิดหลังจากสนามแม่เหล็กหมุนเคลื่อนที่ผ่านตัวนำนั้นไปแล้ว

## 2) ความเร็วโรเตอร์และสลลิป

จากการที่ความเร็วโรเตอร์มีค่าต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส ผลต่างของค่าความเร็วทั้งสองเรียกว่า สลลิป (Slip) ปกติค่าสลลิปจะบอกในรูปของร้อยละเมื่อเทียบกับความเร็วซิงโครนัส ดังนั้นสมการของสลลิปคือ

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

เมื่อ

$$S = \text{สลลิป}$$

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

$$n_r = \text{ความเร็วโรเตอร์ (rpm)}$$

ขณะที่มอเตอร์เหนี่ยวนำไว้ภาระทางกลสลลิปจะมีค่าเท่ากับศูนย์และเมื่อใดก็ตามที่โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำถูกยึดอยู่กับที่ค่าสลลิปจะเท่ากับ 1 นั่นคือความเร็วของโรเตอร์เป็นศูนย์ ดังนั้นความเร็วโรเตอร์จะเป็นไปตามสมการ

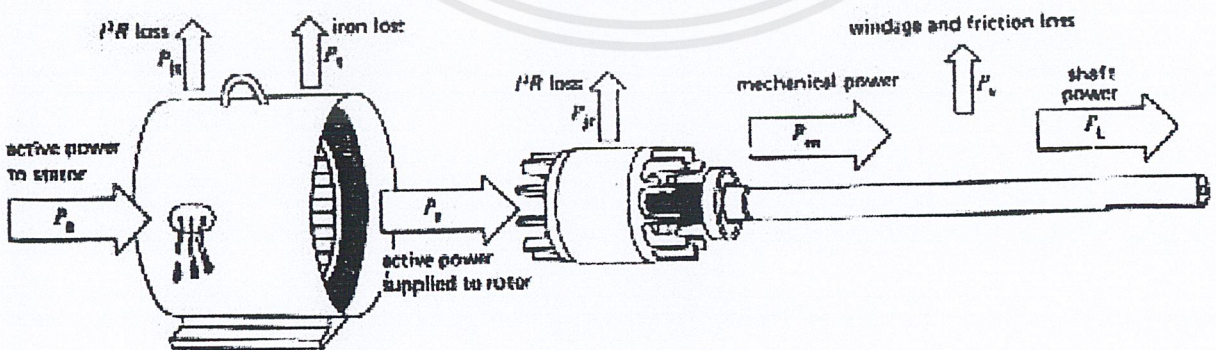
$$n_r = (1 - S) n_s$$

ในทำนองเดียวกันความถี่โรเตอร์ ( $f_r$ ) จะมีค่าเท่ากับสลลิปคูณกับความถี่ของแรงดันที่จ่ายให้กับสเตเตอร์

$$f_r = S f_s$$

### 2.1.3 การส่งผ่านกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าอินพุตจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปยังเพลลาของมอเตอร์เป็นไปตามลำดับการไหลของพลังงานดังนี้



รูปที่ 2.3 : การส่งผ่านกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังงานอินพุตเป็นพลังงานไฟฟ้าอินพุต ( $P_{in}$ ) ที่มอเตอร์ได้รับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส ผ่านขดลวดสเตเตอร์ ที่สเตเตอร์จะมีการสูญเสีย 2 ส่วน ได้แก่กำลังสูญเสียของขดลวดสเตเตอร์ ( $P_{js}$ ) มีค่าเท่ากับ  $I^2R$  และกำลังสูญเสียในแกนเหล็กของสเตเตอร์ ( $P_{core}$ ) กำลังที่เหลือออกมาคือกำลังที่ส่งผ่านช่องอากาศมายังโรเตอร์ ( $P_r$ ) อย่างไรก็ตามพลังงานที่ส่งมายังโรเตอร์มีการสูญเสียจากขดลวดของโรเตอร์ ( $P_{jr}$ ) เท่ากับ  $I^2R$  นั่นคือพลังงานกลที่ออกมาจากโรเตอร์ ( $P_m$ ) คือผลต่างของ  $P_r - P_{jr}$  ซึ่งพลังงานกลนี้จะต้องเอาชนะการสูญเสียจากความฝืดและแรงต้านจากลม ซึ่งเป็นกำลังสูญเสียที่เพลลาของโรเตอร์ ( $P_{fw}$ ) จึงจะได้กำลังกลที่เพลลาของโรเตอร์ ( $P_{out}$ ) ที่สามารถส่งให้กับโหลดได้ จากแผนผังดังกล่าวคำนวณหาประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสได้ดังนี้

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

$$\text{กำลังที่โรเตอร์ คือ } P_r = P_{in} - (P_{js} + P_{core})$$

เมื่อกำหนดให้  $P_{core}$  คือ กำลังสูญเสียที่แกนเหล็กของสเตเตอร์

$P_{js}$  คือ กำลังสูญเสียที่ขดลวดสเตเตอร์

$$\text{กำลังกลที่ออกจากโรเตอร์ คือ } P_m = P_r - P_{jr}$$

เมื่อ  $P_{jr}$  คือ กำลังสูญเสียที่ขดลวดของโรเตอร์

$$\text{กำลังกลที่เพลลาของโรเตอร์ คือ } P_{out} = P_m - P_{fw}$$

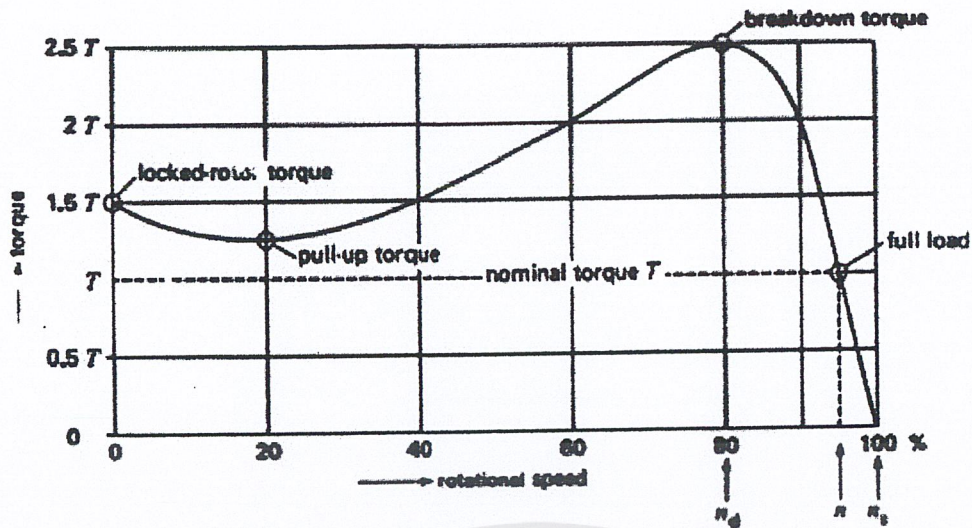
เมื่อ  $P$  คือ กำลังสูญเสียจากความฝืดและแรงต้านจากลม

$$\text{ดังนั้นประสิทธิภาพของมอเตอร์ คือ } \% \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100\%$$

#### 2.1.4 เส้นความสัมพันธ์ของความเร็วและแรงบิด

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอกในสถานะที่ขั้วภาระทางกลเต็มพิกัดแสดงได้ในรูปของเส้นโค้งความสัมพันธ์ จะเห็นได้ว่าแรงบิดในสถานะปกติที่ภาระทางกลเต็มพิกัดคือ  $T$  และแรงบิดในสถานะที่โรเตอร์ถูกยึดอยู่กับที่มีค่าเท่ากับ 1.5 เท่าของแรงบิดเต็มพิกัดสำหรับแรงบิดเบรกควานจะมีค่าประมาณ 2.5 เท่าของแรงบิดเต็มพิกัด

ที่ภาระทางกลเต็มพิกัดความเร็วของมอเตอร์จะเท่ากับ  $n_s$  แต่ถ้าแรงบิดของภาระทางกลเพิ่มขึ้นความเร็วจะตกลงจนกระทั่งมอเตอร์สร้างแรงบิดได้เท่ากับแรงบิดของภาระทางกล สถานะดังกล่าวมอเตอร์ยังคงหมุนไปได้ แต่ถ้าแรงบิดของภาระทางกลเกินกว่า 2.5 เท่าของแรงบิดเต็มพิกัดที่เรียกว่า แรงบิดเบรกควาน มอเตอร์จะหยุดหมุนอย่างรวดเร็วเพราะว่ามอเตอร์ไม่สามารถสร้างแรงบิดขึ้นมาเท่ากับแรงบิดของภาระทางกลได้ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสที่มีขนาดเล็กกว่า 10 kW ความเร็วที่แรงบิดเบรกควานจะมีค่าประมาณ 80% ของความเร็วซิงโครนัส แต่ถ้ามอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดใหญ่ที่มีพิกัดกำลังมากกว่า 1000 kW ความเร็วที่แรงบิดเบรกควานมีค่าประมาณ 98% ของความเร็วซิงโครนัส



รูปที่ 2.4 : เส้นความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิด

### 2.1.5 ลักษณะเฉพาะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบกรงกระรอก

#### 1) ขณะไร้ภาระทางกล

เมื่อมอเตอร์เดินเครื่องที่สภาวะไร้ภาระทางกล ค่ากระแสไฟฟ้าในสเตเตอร์จะมีค่าประมาณ 0.5 และ 0.3 เปรอ์ยูนิตของกระแสไฟฟ้าเต็มพิกัด ค่ากระแสไฟฟ้าขณะไร้ภาระทางกลเหมือนกันกับค่ากระแสกระตุ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งเกิดจากองค์ประกอบของแม่เหล็กที่ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กหมุน  $\phi_m$  และองค์ประกอบจริงขนาดเล็กซึ่งจ่ายค่าการสูญเสียเนื่องจากความฝืดและแรงต้านจากลมในโรเตอร์ร่วมกับค่าการสูญเสียในแกนเหล็กของสเตเตอร์ โดยที่เส้นแรงแม่เหล็ก  $\phi_m$  เชื่อมระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์มีลักษณะเหมือนกับเส้นแรงแม่เหล็ก mutual ในหม้อแปลงไฟฟ้า

เพื่อให้ค่าของกำลังไฟฟ้าริแอกทีฟที่จำเป็นในการสร้างสนามแม่เหล็กหมุนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้จะต้องมีช่องอากาศขนาดสั้นประมาณค่าความคลาดเคลื่อนทางกล ค่าตัวประกอบกำลังขณะไร้ภาระทางกลมีค่าต่ำประมาณ 0.2 หรือ 20% ในมอเตอร์ขนาดเล็กจนถึง 0.05 ในมอเตอร์ขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพมีค่าเป็นศูนย์จากการที่ไม่มีกำลังเอาต์พุตออกมา

#### 2) ขณะขับภาระทางกล

เมื่อมอเตอร์ขับภาระทางกลค่ากระแสไฟฟ้าในโรเตอร์จะสร้าง mmf ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็ก mutual สถานะนี้ทำให้กระแสไฟฟ้าในสเตเตอร์ไหลกลับทิศ mmf กลับทิศของโรเตอร์และสเตเตอร์จะเหมือนกับ mmf กลับทิศในขด secondary และ primary ในหม้อแปลงไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (kW) ที่มอเตอร์ใช้จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของภาระทางกลซึ่งเป็นการแปรตามค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ถูกปรับอย่างรวดเร็วขณะที่ภาระทางกลเพิ่มขึ้น ขณะภาระทางกลเต็มพิกัดค่าตัวประกอบกำลังมีค่าตั้งแต่ 0.8 ในมอเตอร์ขนาดเล็กถึง 0.9 ในมอเตอร์ขนาดใหญ่ ประสิทธิภาพขณะภาระทางกลเต็มพิกัดมีค่าสูงถึง 98% ในมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดใหญ่หลายๆ

3) ลักษณะเฉพาะขณะยึดโรเตอร์อยู่กับที่

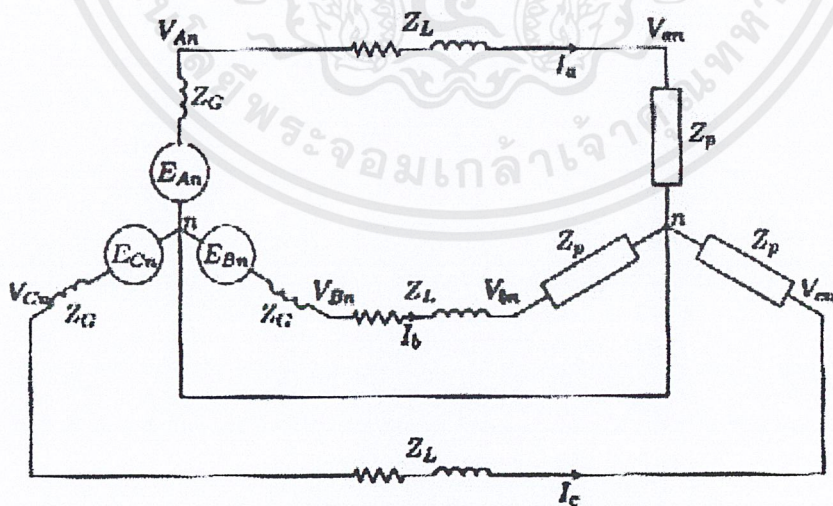
กระแสไฟฟ้าขณะยึดโรเตอร์อยู่กับที่มีค่า 5 – 6 เท่าเทียบกับขณะภาระทางกลเต็มพิกัด ค่าการสูญเสียในรูป  $I^2R$  มีค่า 25 – 36 เท่าเทียบกับขณะปกติ ดังนั้นการยึดโรเตอร์อยู่กับที่จะกระทำได้นานไม่กัวินาทีเท่านั้น แม้ว่ากำลังกลขณะหยุดหนึ่งมีค่าเป็นศูนย์แต่มอเตอร์จะมีแรงบิดขนาดใหญ่ ค่าตัวประกอบกำลังต่ำจากผลของค่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟที่ใช้สร้างเส้นแรงแม่เหล็กไว้ในขดลวดโรเตอร์และสเตเตอร์ โดยจะมีจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กสูงกว่าเมื่อเทียบกับในหม้อแปลงไฟฟ้าเนื่องจากขดลวดสเตเตอร์และโรเตอร์ไม่ได้คั่นกันอย่างแน่น

2.2 ทฤษฎีของระบบไฟฟ้า 3 เฟส

2.2.1 ระบบแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสแบบสมมูล<sup>[9]</sup>

การผลิตไฟฟ้า การส่งและการแจกจ่ายกระแสไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังกระทำได้โดยการใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส ที่โรงไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้ารูปคลื่น 3 เฟสจะถูกผลิตขึ้นให้มีขนาดแอมพลิจูดเท่ากันแต่มีมุมเฟสห่างกัน 120 องศา เรียกว่า “ แหล่งจ่ายสมมูล ” ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่าสูงสุดเท่ากับที่พิกัดและอยู่ในลำดับเฟส ABC จะเรียกสภาวะนี้ว่า Positive – phase sequence ในทางตรงกันข้ามถ้าลำดับเฟสเป็น CBA จะเรียกสภาวะดังกล่าวว่า Negative – phase sequence

ในระบบไฟฟ้ากำลัง 3 เฟส กำลังไฟฟ้าถูกจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าภายนอกที่มีค่าค่อนข้างจะคงที่ เช่น วงจรไฟฟ้าเฟส อย่างไรก็ตามมอเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสซึ่งมีค่าแรงบิดคงที่จะสตาร์ทและเดินเครื่องได้ดีกว่ามอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส ลักษณะเด่นของระบบไฟฟ้ากำลัง 3 เฟสเปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้า 1 เฟสคือที่ขนาดกำลังไฟฟ้าเท่ากันจะมีประสิทธิภาพในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในสายส่งที่ดีกว่าแม้ว่าจะใช้จำนวนสายส่งมากกว่าก็ตาม นั่นคือเหตุผลที่ทำให้ระบบไฟฟ้า 3 เฟสเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป



รูปที่ 2.5 : เครื่องกำเนิด ไฟฟ้าและภาระทาง ไฟฟ้าที่ต่อแบบ Star

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งมีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Star ปกติจะใช้กับการต่อภาระทางไฟฟ้าทั้งแบบ Delta และ Star เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่นิยมต่อแบบ Delta เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าจะไม่สมดุลอย่างสมบูรณ์เนื่องจากมี net voltage รวมทั้งเกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนรอบ Delta ต่างก็เป็นผลให้แรงดันไฟฟ้าเฟสต่ำกว่าการต่อแบบ Star ที่มีประโยชน์กว่าตรงที่สามารถลดคณวนไฟฟ้าลงได้ จากรูป 2.5 แสดงการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Star ที่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าที่ต่อแบบ Star ผ่านระบบสายส่งไฟฟ้า 3 เฟส สมมติว่าลำดับเฟสเป็น ABC (Positive – phase sequence) ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้คือ

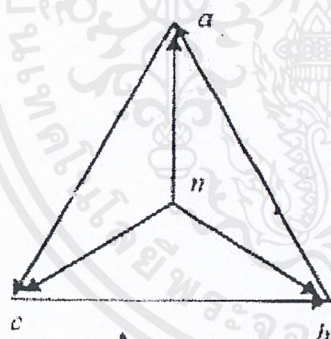
$$E_{an} = |E_p| \angle 0^\circ$$

$$E_{bn} = |E_p| \angle -120^\circ$$

$$E_{cn} = |E_p| \angle -240^\circ$$

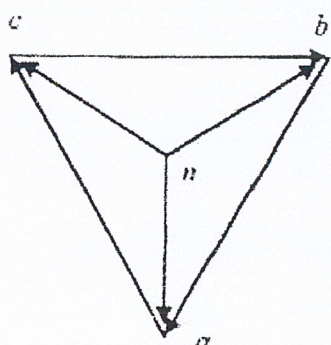
ในระบบไฟฟ้ากำลังภาระทางไฟฟ้าของสายส่งที่สมดุลเป็นเรื่องที่ต้องใส่ใจอย่างมาก สำหรับภาระทางไฟฟ้าที่สมดุล แรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าเฟสที่จุดต่อภาระทางไฟฟ้าจะสมดุล

2.2.2 ระบบไฟฟ้ากำลัง 3 เฟสของประเทศไทย <sup>[8]</sup>



(a) Sequence abc

$$\begin{aligned} \vec{V}_{ab} &= V_l \angle 120^\circ \\ \vec{V}_{bc} &= V_l \angle 0^\circ \\ \vec{V}_{ca} &= V_l \angle 240^\circ \\ \vec{V}_{an} &= (V_l/\sqrt{3}) \angle 90^\circ \\ \vec{V}_{bn} &= (V_l/\sqrt{3}) \angle -30^\circ \\ \vec{V}_{cn} &= (V_l/\sqrt{3}) \angle -150^\circ \end{aligned}$$



(b) Sequence cba

$$\begin{aligned} \vec{V}_{cb} &= V_l \angle 120^\circ \\ \vec{V}_{ba} &= V_l \angle 0^\circ \\ \vec{V}_{ac} &= V_l \angle 240^\circ \\ \vec{V}_{cn} &= (V_l/\sqrt{3}) \angle -90^\circ \\ \vec{V}_{bn} &= (V_l/\sqrt{3}) \angle 30^\circ \\ \vec{V}_{an} &= (V_l/\sqrt{3}) \angle 150^\circ \end{aligned}$$

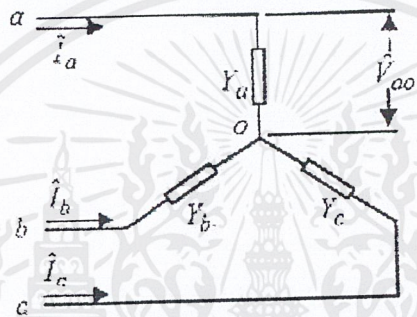
รูปที่ 2.6 : ลำดับเฟสทั้ง 2 แบบของระบบไฟฟ้า 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นระบบแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส มีขนาดของแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย 380 V ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ในระบบไฟฟ้าที่สมดุลจะมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากันทั้ง 3 เฟส และมีมุมต่างกันระหว่างเฟส 120 และ 240 องศาทางไฟฟ้าตามลำดับ ซึ่งจะมีลำดับเฟส 2 ลำดับที่ขึ้นอยู่กับลักษณะของการต่อ แรงดันไฟฟ้าทั้ง 2 ลำดับสามารถแสดงรายละเอียดในรูปของเฟสเซอร์ดังรูปที่ 2.6

### 2.2.3 การต่อภาระทางไฟฟ้าแบบ Star isolated neutral <sup>[8]</sup>

ปกคิมอเตอร์จะมีการต่อขดสเตเตอร์ด้านนอกได้ 2 ลักษณะคือ แบบ Star และแบบ Delta ตามลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์ สำหรับการทดสอบในโรงงานนี้จะทำการต่อขดสเตเตอร์ด้านนอกของมอเตอร์แบบ Star isolated neutral หรือที่นิยมเรียกกันว่า Star 3 สาย แสดงได้ตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 : การต่อขดสเตเตอร์ด้านนอกแบบ Star isolated neutral

เมื่อเกิดสภาวะความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าขึ้นในระบบจะทำให้กระแสไฟฟ้าเฟสในแต่ละเฟสไม่เท่ากันอีกทั้งแรงดันไฟฟ้าคร่อมโหนดในแต่ละเฟสก็ไม่เท่ากันด้วย ดังนั้นจุดต่อร่วมของการต่อขดสเตเตอร์ด้านนอกแบบ Star จะเกิดความต่างศักย์กับจุด neutral ของระบบเนื่องจากจุดทั้ง 2 จุดไม่ได้ต่อยู่ด้วยกัน ทำให้แรงดันไฟฟ้าเฟสของระบบไม่เท่ากับแรงดันไฟฟ้าคร่อมโหนดต่อเฟสเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไม่เท่ากันในแต่ละเฟส ทำให้มีแรงดันระหว่าง neutral กับจุด Star point ของโหนดเรียกว่า Displacement neutral voltage

ในการทดสอบมอเตอร์แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามอเตอร์วัดเทียบจุด neutral ของระบบ แต่ในการคำนวณจะใช้แรงดันคร่อมโหนดดังนั้นจึงต้องหาแรงดันคร่อมโหนดจากแรงดันไฟฟ้าต่อเฟสของระบบ

สามารถหาแรงดันไฟฟ้าคร่อมโหนดได้จากสมการ

$$V_{ao} = V_{an} + V_{no}$$

$$V_{bo} = V_{bn} + V_{no}$$

$$V_{co} = V_{cn} + V_{no}$$

เมื่อ  $V_{an}$ ,  $V_{bn}$  และ  $V_{cn}$  เป็นแรงดันไฟฟ้าเฟสของระบบโดยวัดระหว่างสายไฟกับจุด neutral ของระบบและ  $V_{ao}$ ,  $V_{bo}$  และ  $V_{co}$  เป็นแรงดันไฟฟ้าคร่อมโหนดวัดเทียบระหว่างสายไฟกับจุดต่อร่วมของโหนดหรือจุด Star point โดยที่  $V_{no}$  คือ Displacement neutral voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{on} = \frac{V_{an}Y_a + V_{bn}Y_b + V_{cn}Y_c}{Y_a + Y_b + Y_c}$$

เนื่องจาก Admittance ภายในมอเตอร์เท่ากันทั้ง 3 เฟสดังนั้นกำหนดได้ว่า  $Y_a = Y_b = Y_c$

$$V_{on} = 1/3 * (V_{an} + V_{bn} + V_{cn})$$

สามารถหาแรงดันไฟฟ้าคร่อมโพลต์ได้จากสมการข้างต้นทั้ง 5 สมการร่วมกัน

### 2.3 ทฤษฎีขององค์ประกอบสมมาตร<sup>[1]</sup>

หนึ่งในวิธีการที่มีประสิทธิภาพอย่างมากในการจัดการกับปัญหาสถานะความไม่สมดุลที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า 3 เฟส คือวิธีการองค์ประกอบสมมาตร วิธีดังกล่าวถูกเสนอแนะขึ้นโดย C.L. Fortescue ซึ่งได้ทำการพิสูจน์ว่าระบบ 3 เฟสที่ไม่สมดุลสามารถเปลี่ยนไปเป็นระบบ 3 เฟสที่สมดุลด้วยการใช้วิธีการองค์ประกอบสมมาตรของเฟสเซอร์ดั้งเดิม เฟสเซอร์ 3 เฟสจะมีองค์ประกอบที่เท่ากันทั้งขนาดและมุมระหว่างเฟสเซอร์ที่อยู่ติดกัน แม้ว่าวิธีนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบหลายเฟสที่ไม่สมดุลก็ตาม โดยทั่วไปมักจำกัดการใช้งานเพื่อพิจารณาระบบไฟฟ้า 3 เฟสเป็นหลัก

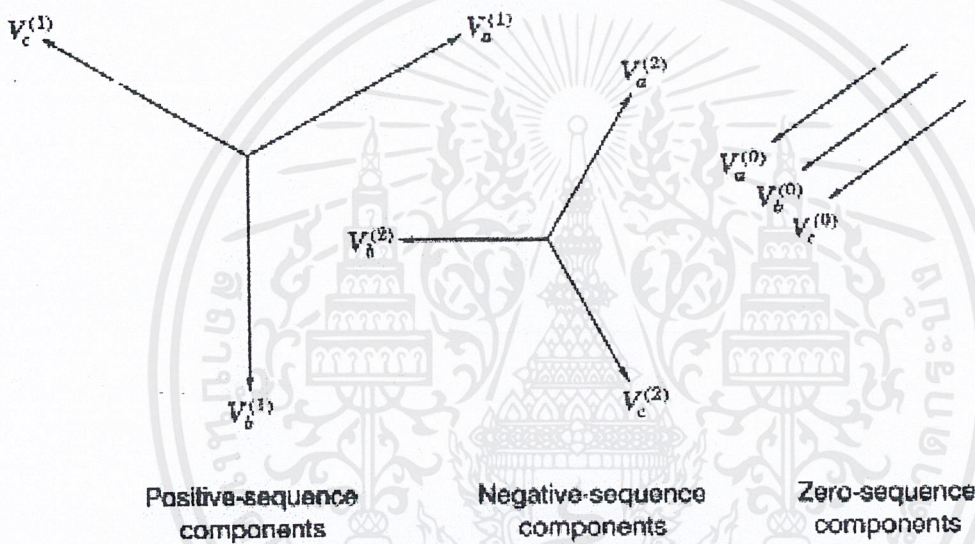
ปกติแล้วในระบบไฟฟ้า 3 เฟส ความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากความไม่สมดุลของระบบจะเป็นเหตุให้กระแสไฟฟ้าเฟสและแรงดันไฟฟ้าเฟสไม่สมดุล กรณีที่กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าสัมพันธ์กับอิมพีแดนซ์ค่าคงที่ ระบบจะเรียกว่า “ระบบเชิงเส้น” ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้หลักการ Superposition ผลตอบสนองของแรงดันไฟฟ้าในระบบเชิงเส้นที่มีต่อกระแสไฟฟ้าไม่สมดุลสามารถพิจารณาได้โดยการคำนึงถึงผลตอบสนองที่แบ่งแยกออกเป็นแต่ละส่วนประกอบในองค์ประกอบสมมาตรของกระแสไฟฟ้า ส่วนประกอบในระบบไฟฟ้าที่จำเป็นต้องพิจารณาคือ เครื่องจักรกลไฟฟ้า หม้อแปลง สายส่ง และภาระทางไฟฟ้าที่มีการต่อแบบ Delta หรือ Star

วิธีการองค์ประกอบสมมาตรแสดงให้เห็นว่าผลตอบสนองของส่วนประกอบในระบบขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อและองค์ประกอบของกระแสไฟฟ้า วงจรสมมูลที่เรียกว่า Sequence circuits ถูกพัฒนาให้ตอบสนองกับผลตอบสนองแต่ละส่วนขององค์ประกอบกระแส ในระบบไฟฟ้า 3 เฟสจะมีวงจรสมมูล 3 วงจรของแต่ละองค์ประกอบ โดยการผสมวงจรสมมูลแต่ละวงจรเข้ากับโครงข่ายที่มีการเชื่อมโยงระหว่างแต่ละองค์ประกอบ เราจะใช้แนวคิดของ Sequence networks ทั้ง 3 วงจรแก้ปัญหาในสถานะผิดปกติซึ่งจะให้องค์ประกอบสมมาตรของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่สามารถใช้ร่วมกันเพื่อตอบสนองผลกระทบจากสถานะความไม่สมดุลของกระแสไฟฟ้าในระบบทั้งหมด การวิเคราะห์โดยวิธีการองค์ประกอบสมมาตรเป็นวิธีที่มีประโยชน์โดยสามารถคำนวณพอลต์ไม่สมมาตรได้อย่างง่ายดายเช่นเดียวกับการคำนวณพอลต์ 3 เฟส

### 2.3.1 การสังเคราะห์เฟสเซอร์ไม่สมมาตรจากองค์ประกอบสมมาตร

จากทฤษฎีของ Fortescue เฟสเซอร์ไม่สมดุล 3 เฟสเซอร์ของระบบไฟฟ้า 3 เฟสสามารถเปลี่ยนเป็นระบบที่สมดุลของเฟสเซอร์ทั้ง 3 เฟสเซอร์ โดยมีองค์ประกอบต่างๆดังนี้

- 1) Positive – sequence components ประกอบด้วยเฟสเซอร์ 3 เฟสเซอร์ที่มีขนาดเท่ากัน วางห่างกัน 120 องศา โดยมีลำดับเฟสเหมือนกับระบบเดิม
- 2) Negative – sequence components ประกอบด้วยเฟสเซอร์ 3 เฟสเซอร์ที่มีขนาดเท่ากัน วางห่างกัน 120 องศา โดยมีลำดับเฟสตรงกันข้ามกับระบบเดิม
- 3) Zero – sequence components ประกอบด้วยเฟสเซอร์ 3 เฟสเซอร์ที่มีขนาดเท่ากัน วางห่างกัน 0 องศา



รูปที่ 2.8 : เฟสเซอร์ขององค์ประกอบสมมาตร

โดยทั่วไปการแก้ปัญหาด้วยวิธีองค์ประกอบสมมาตรจะกำหนดชื่อให้กับเฟสทั้ง 3 เฟสของระบบเป็น a b และ c เพื่อใช้บอกถึงลำดับเฟสของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในระบบให้เป็น abc ดังนั้นลำดับเฟสของ Positive – sequence components ในระบบไม่สมดุลจึงเป็น abc โดยที่ลำดับเฟสของ Negative – sequence components เป็น cba ถ้าเฟสเซอร์ดั้งเดิมเป็นแรงดันไฟฟ้า เราจะกำหนดเป็น  $V_a$ ,  $V_b$  และ  $V_c$

องค์ประกอบสมมาตรทั้ง 3 องค์ประกอบจะถูกระบุเพิ่มเติมโดยการใช้เครื่องหมายดังนี้

- 1 สำหรับ Positive – sequence components
- 2 สำหรับ Negative – sequence components
- 0 สำหรับ Zero – sequence components

ดังนั้น Positive – sequence components ของ  $V_a$ ,  $V_b$  และ  $V_c$  จึงเป็น  $V_a^{(1)}$ ,  $V_b^{(1)}$  และ  $V_c^{(1)}$  เช่นเดียวกับ Negative – sequence components ที่เป็น  $V_a^{(2)}$ ,  $V_b^{(2)}$  และ  $V_c^{(2)}$  โดยที่ Zero – sequence components จะเป็น  $V_a^{(0)}$ ,  $V_b^{(0)}$  และ  $V_c^{(0)}$  ตามลำดับ จากการศึกษาที่แต่ละเฟสเซอร์ไม่สมดุลดั้งเดิมเป็นการรวมแต่ละองค์ประกอบเข้าด้วยกัน ดังนั้นเฟสเซอร์ดั้งเดิมสามารถแสดงได้ในรูปองค์ประกอบสมมาตรดังนี้

$$V_a = V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)}$$

$$V_b = V_b^{(0)} + V_b^{(1)} + V_b^{(2)}$$

$$V_c = V_c^{(0)} + V_c^{(1)} + V_c^{(2)}$$

ข้อได้เปรียบมากมายของการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังด้วยวิธีองค์ประกอบสมมาตรจะเห็นได้อย่างชัดเจนมากขึ้นเรื่อยๆเมื่อได้ประยุกต์ใช้วิธีการนี้ในการศึกษาฟอลต์ไม่สมมาตรหรือระบบที่สมมาตร อาจกล่าวได้ว่าวิธีการประกอบไปด้วยขั้นตอนคร่าวๆคือการหาองค์ประกอบสมมาตรของกระแสฟอลต์ จากนั้นค่าของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่างๆในระบบหาได้จากค่ากึ่งกลางของเมตริกซ์อิมพีแดนซ์ของสายส่ง ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนและสามารถทำนายพฤติกรรมของระบบได้อย่างแม่นยำ

### 2.3.2 องค์ประกอบสมมาตรของเฟสเซอร์ไม่สมมาตร

การสังเคราะห์เฟสเซอร์ไม่สมมาตรทั้ง 3 เฟสเซอร์จากเฟสเซอร์สมมาตร 3 เฟสเซอร์ถูกทำให้สอดคล้องกันกับสมการ ดังนั้นจึงควรตรวจสอบสมการดังกล่าวเพื่อหาวิธีเปลี่ยนเฟสเซอร์ไม่สมมาตร 3 เฟสเซอร์ด้วยวิธีการขององค์ประกอบสมมาตร เริ่มจากลดจำนวนของปริมาณที่ไม่ทราบค่าลงด้วยการลดองค์ประกอบ  $V_b$  และ  $V_c$  โดยทำเป็นองค์ประกอบในรูปของ  $V_a$  ซึ่งจะทำการแปลงตัวแปรผ่าน  $a$  – operator ( $a = 1 \angle 120^\circ$ ) เพื่อให้อยู่ในรูปของตัวแปรเพียงตัวเดียวคือ  $V_a$  ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} V_b^{(0)} &= V_a^{(0)} & V_c^{(0)} &= V_a^{(0)} \\ V_b^{(1)} &= a^2 V_a^{(1)} & V_c^{(1)} &= a V_a^{(1)} \\ V_b^{(2)} &= a V_a^{(2)} & V_c^{(2)} &= a^2 V_a^{(2)} \end{aligned}$$

นำกลับไปแทนในสมการ 3 สมการข้างต้นได้ว่า

$$\begin{aligned} V_a &= V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)} \\ V_b &= V_a^{(0)} + a^2 V_a^{(1)} + a V_a^{(2)} \\ V_c &= V_a^{(0)} + a V_a^{(1)} + a^2 V_a^{(2)} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จัดให้อยู่ในรูปเมตริกซ์

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix}$$

เมื่อ  $A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$

จากนั้นทำการ Invert A

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

แล้วนำ  $A^{-1}$  คูณทั้ง 2 ข้างของสมการเพื่อหา  $V_a^{(0)}$ ,  $V_a^{(1)}$  และ  $V_a^{(2)}$

$$\begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = A^{-1} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

จะเป็นการเปลี่ยนเฟสเซอร์ไม่ถวมมาตร 3 เฟสเซอร์ให้เป็นองค์ประกอบสมมาตร ความสัมพันธ์นี้มีความสำคัญต่อการแยกสมการในรูปขยาย จากเมตริกซ์ข้างต้นจะได้สมการดังนี้

$$V_a^{(0)} = \frac{1}{3} * (V_a + V_b + V_c)$$

$$V_a^{(1)} = \frac{1}{3} * (V_a + aV_b + a^2V_c)$$

$$V_a^{(2)} = \frac{1}{3} * (V_a + a^2V_b + aV_c)$$

จากนั้นหาองค์ประกอบ  $V_b^{(0)}$ ,  $V_b^{(1)}$ ,  $V_b^{(2)}$ ,  $V_c^{(0)}$ ,  $V_c^{(1)}$  และ  $V_c^{(2)}$  เพื่อย้อนกลับไปหา  $V_a$ ,  $V_b$  และ  $V_c$  ภายหลังการคำนวณสถานะไม่สมดุลในรูปองค์ประกอบสมมาตร แล้วจึงเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าเฟสไปเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสคือเปลี่ยนจาก  $V_a$ ,  $V_b$  และ  $V_c$  ไปเป็น  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$  และ  $V_{ca}$  ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าถ้าผลบวกของเฟสเซอร์ไม่สมดุลมีค่าเป็นศูนย์จะทำให้ Zero – sequence components ไม่มีปฏิกิริยาของค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสในระบบ 3 เฟสแม้จะมีค่าเป็นศูนย์ Zero – sequence components จึงไม่เคยปรากฏในแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสไม่ว่าระดับของความไม่สมดุลจะมีค่าเท่าใดก็ตาม อย่างไรก็ตามผลบวกของเฟสเซอร์แรงดันไฟฟ้าเฟสไม่จำเป็นต้องเป็นศูนย์ดังนั้นจึงอาจมีองค์ประกอบลำดับศูนย์ในแรงดันไฟฟ้าเฟสก็ได้

สมการดังกล่าวสามารถเขียนได้หลายรูปแบบที่เกี่ยวข้องกับเฟสเซอร์ จึงอาจเขียนให้อยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้าแทนที่จะเป็นแรงดันไฟฟ้าซึ่งหาคำตอบได้ทั้งเชิงวิเคราะห์และเชิงการเขียนเพราะว่าสมการดังกล่าวเป็นสมการพื้นฐาน สมการขององค์ประกอบสมมาตรในรูปของกระแสไฟฟ้าเขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} I_a &= I_a^{(0)} + I_a^{(1)} + I_a^{(2)} \\ I_b &= I_a^{(0)} + a^2 I_a^{(1)} + a I_a^{(2)} \\ I_c &= I_a^{(0)} + a I_a^{(1)} + a^2 I_a^{(2)} \\ I_a^{(0)} &= 1/3 * (I_a + I_b + I_c) \\ I_a^{(1)} &= 1/3 * (I_a + a I_b + a^2 I_c) \\ I_a^{(2)} &= 1/3 * (I_a + a^2 I_b + a I_c) \end{aligned}$$

ท้ายที่สุดผลลัพธ์ที่ได้สามารถแปลงให้เป็นกระแสเฟสของวงจรที่มีการต่อแบบ Delta โดยการแปลง  $I_a$ ,  $I_b$  และ  $I_c$  ไปเป็น  $I_{ab}$ ,  $I_{bc}$  และ  $I_{ca}$  ตามลำดับ

### 2.3.3 กำลังไฟฟ้าในรูปขององค์ประกอบสมมาตร

เมื่อทราบองค์ประกอบสมมาตรของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในวงจร 3 เฟสสามารถคำนวณได้โดยตรงจากองค์ประกอบสมมาตรนั้น เพื่อแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนจะยกตัวอย่างเป็นเมตริกซ์ขององค์ประกอบสมมาตร

ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (Total complex power) ที่ไหลในเฟส a , b และ c ของวงจร 3 เฟสมีค่า

$$S = P + jQ = V_a I_a^* + V_b I_b^* + V_c I_c^*$$

เมื่อ  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$  เป็นแรงดันไฟฟ้าวัดเทียบกับจุดต่อกับจุด neutral และ  $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  เป็นกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรทั้ง 3 เฟส การต่อ neutral อาจแสดงไว้หรือไม่ก็ได้ สมการข้างต้นเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$S = \begin{bmatrix} V_a & V_b & V_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}^* = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}^*$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตริกซ์สังยุค (Conjugate matrix) เป็นการเรียงเรียงสมาชิกซึ่งเป็นค่าสังยุคที่ตรงตามแต่ละตำแหน่งของแต่ละสมาชิกจากเมตริกซ์เดิม สามารถเขียนสมการรูปเมตริกซ์ดังกล่าวให้อยู่ในรูปองค์ประกอบสมมาตรของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

$$S = \begin{bmatrix} AV \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} AI \end{bmatrix}^*$$

จากกฎ Reversal rule ของพีชคณิตของเมตริกซ์ซึ่งกำหนดการ transpose ผลของเมตริกซ์ทั้ง 2 เมตริกซ์ให้มีค่าเท่ากับผลการ transpose ในรูปที่กลับกัน จากกฎดังกล่าวจะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} AV \end{bmatrix}^T = V^T A^T$$

ดังนั้น 
$$S = V^T A^T \begin{bmatrix} AI \end{bmatrix}^* = V^T A^T A^* I^*$$

แต่  $A^T = A$  และ  $a$  กับ  $a^2$  เป็นสังยุคซึ่งกันและกันจึงได้ว่า

$$S = \begin{bmatrix} Va_0 & Va_1 & Va_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Ia_0 \\ Ia_1 \\ Ia_2 \end{bmatrix}^*$$

โดยที่  $A^T A^*$  มีค่าเท่ากับ

$$3 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

จะได้ 
$$S = 3 \begin{bmatrix} Va_0 & Va_1 & Va_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Ia_0 \\ Ia_1 \\ Ia_2 \end{bmatrix}^*$$

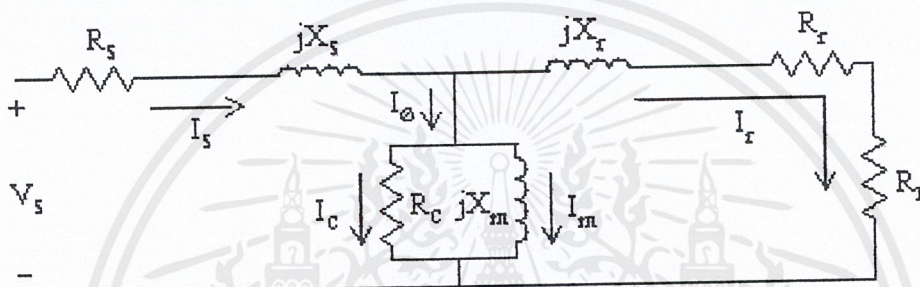
ดังนั้น Complex power มีค่าเท่ากับ  $VaIa^* + VbIb^* + VcIc^* = 3V_0I_0^* + 3V_1I_1^* + 3V_2I_2^*$

ซึ่งแสดงให้เห็นว่า Complex power สามารถคำนวณได้จากองค์ประกอบสมมาตรของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของวงจร 3 เฟสที่ไม่สมดุลได้นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การวิเคราะห์ผลของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลที่มีต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำและกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำด้วยวิธีองค์ประกอบสมมาตร <sup>61</sup>

การวิเคราะห์มอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลใช้วิธีองค์ประกอบสมมาตร โดยคำนวณค่าแรงดัน Sequence line - to - neutral จากวงจรสมมูลลำดับบวก(Positive - sequence equivalent circuits)และวงจรสมมูลลำดับลบ(Negative - sequence equivalent circuits) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำแล้วคำนวณค่ากระแสลำดับ(Sequence currents)จากค่าแรงดัน Sequence line - to - neutral สำหรับการหาค่าเน็ทเวิร์คลำดับศูนย์(Zero - sequence network)ไม่จำเป็นเพราะมอเตอร์เหนี่ยวนำต่อแบบ Star isolated neutral ทำให้กระแสและแรงดันลำดับศูนย์มีค่าเป็นศูนย์ จากนั้นกระแสเฟสคำนวณได้จากการแปลงกระแสลำดับกลับ ไปเป็นกระแสเฟสในแต่ละสาย แล้วจึงคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าแต่ละเฟสได้ในที่สุด



รูปที่ 2.9 : วงจรสมมูลลำดับบวกและลบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

วงจรรูปที่ 2.9 ใช้ได้กับทั้งเน็ทเวิร์คลำดับบวกและลบซึ่งมีข้อแตกต่างที่ค่าของ “Load resistance”  $RL$

$$RL_i = \frac{1 - S_i}{S_i} * Rr_i$$

สลิปของลำดับบวก (Positive sequence slip) :  $S_1 = \frac{n_s - n_r}{n_s}$

เมื่อ  $n_s$  เป็นความเร็วซิง โครนัสและ  $n_r$  เป็นความเร็วของโรเตอร์

สลิปของลำดับลบ (Negative sequence slip) :  $S_2 = 2 - S_1$

Load resistance ลำดับลบ( $RL_2$ ) เป็นค่าลบทำให้กำลังที่เพลลาในลำดับลบมีค่าเป็นลบ

ถ้ารู้ค่าสลิปลำดับบวก( $S_1$ ) Input sequence impedance ของเน็ทเวิร์คลำดับบวกและลบคือ

$$ZM_i = \frac{Rs_i + jXs_i + ((Rc * jXm_i)/(Rc + jXm_i))( Rr_i + RL_i + jXr_i)}{Rr_i + RL_i + j(Xm_i + Xr_i)}$$

เมื่อ  $i = 1$  แสดงค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลลำดับบวก

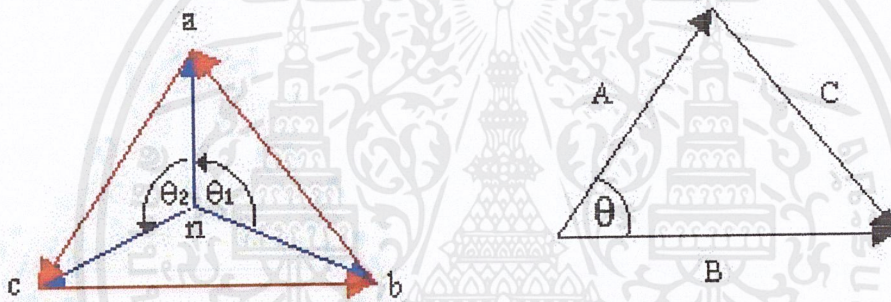
เมื่อ  $i = 2$  แสดงค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลลำดับลบ

สำหรับวิธีการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆในวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ได้แก่  $R_s$ ,  $R_r$ ,  $R_c$ ,  $X_s$ ,  $X_r$ ,  $X_m$  และ  $S_1$  ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 โดยค่า  $X_s$  และ  $X_r$  สามารถแยกค่าทั้ง 2 ค่าได้จากผลการทดสอบตามมาตรฐาน IEEE Std 112 ได้ว่า  $X_s$  มีค่าเท่ากับ  $X_r$  เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในโรงงานเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ class A

เมื่อรู้ค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ การวิเคราะห์หามอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำงานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสามารถทำได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

**ขั้นตอนที่ 1** แปลงค่าแรงดัน line - to - neutral ไปเป็นค่าแรงดัน Sequence line - to - neutral ซึ่งจะต้องทราบมุมของแรงดัน line - to - neutral ทั้ง 3 เฟสก่อน โดยหามุมจากค่าแรงดัน line - to - line ร่วมกับกฎของโคไซน์ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าอยู่ในสภาวะไม่สมดุล จึงทำให้มุมระหว่างเฟสไม่เท่ากับ  $120^\circ$  องศาทางไฟฟ้า

การหามุมเฟสของแรงดันในแต่ละเฟส เมื่อกำหนดให้เฟส a เป็นเฟสอ้างอิง ต้องวัดขนาดของแรงดันระหว่างเฟสแล้วใช้กฎของโคไซน์ที่ว่า  $C^2 = A^2 + B^2 - 2AB\cos\theta$  หามุมเฟส แสดงได้ตามรูป



รูปที่ 2.10 : ค่าคัมเฟส abc และกฎของโคไซน์

ในที่นี้กำหนดให้แรงดันป้อนเข้าขดลวดมีค่าคัมเฟส abc ดังนั้นเมื่อทราบค่าแรงดันระหว่างเฟส  $V_{ab}$  และ  $V_{ca}$  จะสามารถนำมาหามุมเฟสของแรงดัน  $V_{bn}$  และ  $V_{cn}$  โดยใช้กฎของโคไซน์ได้ดังนี้

$$V_{ab}^2 = V_{an}^2 + V_{bn}^2 - 2V_{an}V_{bn}\cos\theta_1$$

$$V_{ac}^2 = V_{an}^2 + V_{cn}^2 - 2V_{an}V_{cn}\cos\theta_2$$

จากความสัมพันธ์ตามสมการข้างต้นจะได้มุมเฟส  $\theta_1$  และ  $\theta_2$  ดังนี้

$$\theta_1 = \cos^{-1} \left[ \frac{V_{an}^2 + V_{bn}^2 - V_{ab}^2}{2V_{an}V_{bn}} \right]$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left[ \frac{V_{an}^2 + V_{cn}^2 - V_{ac}^2}{2V_{an}V_{cn}} \right]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคำนวณหามุมเฟสของแรงดันเฟสทั้ง 3 เฟสได้แล้วจึงแปลงค่าแรงดัน line - to - neutral ไปเป็นค่าแรงดัน Sequence line - to - neutral

$$\begin{bmatrix} Van_0 \\ Van_1 \\ Van_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Van \\ Vbn \\ Vcn \end{bmatrix} \quad \text{เมื่อ } a = 1 \angle 120^\circ$$

กำหนดให้มุมเฟสของ  $Van$  เป็นมุมเฟสอ้างอิง จึงมีค่าเท่ากับ 0 องศา

ค่าของ  $Van_0$  และ  $Ia_0$  มีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำมีการต่อแบบ Star isolated neutral

**ขั้นตอนที่ 2** คำนวณค่ากระแส Sequence line ที่เข้าสู่มอเตอร์เหนี่ยวนำ

$$Ia_0 = 0$$

$$Ia_1 = \frac{Van_1}{ZM_1}$$

$$Ia_2 = \frac{Van_2}{ZM_2}$$

**ขั้นตอนที่ 3** แปลงค่ากระแส Sequence line ไปเป็นค่ากระแสเฟส

$$\begin{bmatrix} Ia \\ Ib \\ Ic \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Ia_0 \\ Ia_1 \\ Ia_2 \end{bmatrix}$$

เมื่อรู้ค่ากระแสเฟส , ค่าแรงดัน line - to - neutral และค่ามุมระหว่างกระแสและแรงดันแล้ว สามารถคำนวณ Input - phase - powers และ total three - phase input power ได้ดังนี้

$$Pa = Van * Ia * \cos \theta \quad \text{เมื่อ } \theta \text{ เป็นมุมระหว่าง } Van \text{ กับ } Ia$$

$$Pb = Vbn * Ib * \cos \theta \quad \text{เมื่อ } \theta \text{ เป็นมุมระหว่าง } Vbn \text{ กับ } Ib$$

$$Pc = Vcn * Ic * \cos \theta \quad \text{เมื่อ } \theta \text{ เป็นมุมระหว่าง } Vcn \text{ กับ } Ic$$

$$P_{3\phi} = Pa + Pb + Pc$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการวิเคราะห์กลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ทำงานในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล จะทำการคำนวณเพื่อหาค่ากระแสเฟสแต่ละเฟส ค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละเฟสและค่ากำลังไฟฟ้า 3 เฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำแต่ละตัวคือ มอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1 และมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2 จากนั้นการหาค่ากระแสเฟสรวมแต่ละเฟส ค่ากำลังไฟฟารวมในแต่ละเฟสและค่ากำลังไฟฟ้า 3 เฟสรวม ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระทำได้โดย

1) การคำนวณกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะไว้ภาระทางกล

เนื่องจากความเร็วทางกลที่เพลารอเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้ง 2 ตัวเท่ากัน ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้งค่ากระแสเฟสแต่ละเฟส ค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละเฟสและค่ากำลังไฟฟ้า 3 เฟส จึงมีค่าเป็น 2 เท่าของค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวเดียว

2) การคำนวณกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะขับเคลื่อนภาระทางกล

เนื่องจากความเร็วทางกลที่เพลารอเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้ง 2 ตัวต่างกัน ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้งค่ากระแสเฟสแต่ละเฟส ค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละเฟสและค่ากำลังไฟฟ้า 3 เฟส จึงมีค่าเท่ากับการนำเอาค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้ง 2 ตัวมารวมกัน

## 2.5 การกำหนดปริมาณของแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าในสถานะไม่สมดุล<sup>[4]</sup>

การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสในสถานะแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าไม่สมดุล สามารถคำนวณหาแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าได้จากนิยามที่เกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

ตามมาตรฐานของ IEEE Std 141 ได้ให้นิยามของเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าเฟส ( phase voltage unbalance in percent ) หรือ PVUR ( % ) ไว้ดังนี้

$$\text{PVUR ( \% )} = \frac{\text{maximum voltage deviation from average phase voltage magnitude}}{\text{average phase voltage magnitude}} \times 100 \%$$

$$= \frac{\max [ |V_a - V_{\text{Pavg}}|, |V_b - V_{\text{Pavg}}|, |V_c - V_{\text{Pavg}}| ]}{V_{\text{Pavg}}} \times 100 \%$$

$$\text{เมื่อ } V_{\text{Pavg}} = \frac{V_a + V_b + V_c}{3}$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าในสถานะไม่สมดุล 1 เฟส

- แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส 5 เปอร์เซ็นต์

$$\begin{aligned} V_b, V_c &= 220 \text{ Volt} & \% \text{ PVUR} &= 5 \\ V_{\text{avg}} &= \frac{V_a + V_b + V_c}{3} = \frac{V_a + 440}{3} \end{aligned}$$

ตั้งสมมติฐาน

$$\begin{aligned} \text{กรณีที่ 1} & \quad |V_{\text{avg}} - V_a| \Rightarrow \text{MAX} \\ 5 &= \frac{[V_a + 440 - V_a] * 100}{3} \end{aligned}$$

$$\frac{V_a + 440}{3}$$

$$5 = \frac{100V_a + 44000 - 300V_a}{V_a + 440}$$

$$5V_a + 2200 = 44000 - 200V_a$$

$$205V_a = 41800$$

$$V_a = 203.9$$

$$\begin{aligned} \text{กรณีที่ 2} & \quad |220 - V_{\text{avg}}| \Rightarrow \text{MAX} \\ 5 &= \frac{[220 - \frac{V_a + 440}{3}] * 100}{3} \end{aligned}$$

$$\frac{V_a + 440}{3}$$

$$5 = \frac{66000 - 100V_a - 44000}{V_a + 440}$$

$$5V_a + 2200 = 22000 - 100V_a$$

$$105V_a = 19800$$

$$V_a = 188.57$$

คำตอบที่ถูกคือ  $V_a$  จะต้องน้อยกว่า  $V_{\text{avg}}$  ไม่นเกิน 5 %

$$\begin{aligned} V_{\text{avg1}} &= [203.9 + 440] / 3 \\ &= 214.33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{avg2}} &= [188.57 + 440] / 3 \\ &= 209.52 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PVUR} (\%) &= [214.33 - 203.9] / 214.33 \\ &= 0.048 \Rightarrow 5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PVUR} (\%) &= [209.52 - 188.57] / 209.52 \\ &= 0.099 \Rightarrow 10\% \end{aligned}$$

เห็นได้ว่ากรณีที่ 2 นั้นไม่เป็นจริงเนื่องจากเราต้องการคิดแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส 5 เปอร์เซ็นต์

$$\therefore V_a = 203.9 \quad V_b = 220 \quad V_c = 220$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตัวอย่างการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าในสถานะไม่สมดุล 2 เฟส

- แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส 5 เปอร์เซ็นต์

$$\begin{aligned} V_c &= 220 \text{ Volt} & \% \text{ PVUR} &= 5 \\ V_{\text{avg}} &= \frac{V_a + V_b + V_c}{3} &= &\frac{2V_a + 220}{3} \end{aligned}$$

### ตั้งสมมติฐาน

กรณีที่ 1  $|V_{\text{avg}} - V_a| \Rightarrow \text{MAX}$       กรณีที่ 2  $|220 - V_{\text{avg}}| \Rightarrow \text{MAX}$

$$5 = \frac{[ \frac{2V_a + 220 - V_a}{3} ] * 100}{\frac{2V_a + 220}{3}} \quad \Bigg| \quad 5 = \frac{[ 220 - \frac{2V_a + 220}{3} ] * 100}{\frac{2V_a + 220}{3}}$$

$$5 = \frac{200V_a + 22000 - 300V_a}{2V_a + 220} \quad \Bigg| \quad 5 = \frac{66000 - 200V_a - 22000}{2V_a + 220}$$

$$\begin{aligned} 10V_a + 1100 &= 22000 - 100V_a & 10V_a + 1100 &= 44000 - 200V_a \\ 110V_a &= 20900 & 210V_a &= 42900 \\ V_a &= 190 & V_a &= 204.3 \end{aligned}$$

คำตอบที่ถูกต้อง  $V_a$  จะต้องน้อยกว่า  $V_{\text{avg}}$  ไม่เกิน 5%

$$\begin{aligned} V_{\text{avg}1} &= [2*190 + 220] / 3 & V_{\text{avg}2} &= [2*204.3 + 220] / 3 \\ &= 200 & &= 209.53 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PVUR}(\%) &= [200 - 190] / 200 & \text{PVUR}(\%) &= [209.53 - 204.3] / 209.53 \\ &= 0.05 \Rightarrow 5\% & &= 0.025 \Rightarrow 2.5\% \end{aligned}$$

และ  $V_c$  (220 v) ก็จะต้องมากกว่า  $V_{\text{avg}}$  ไม่เกิน 5% ด้วยเช่นกัน

$$\begin{aligned} \text{PVUR}(\%) &= [220 - 200] / 200 & \text{PVUR}(\%) &= [220 - 209.53] / 209.53 \\ &= 0.10 \Rightarrow 10\% & &= 0.049 \Rightarrow 5\% \end{aligned}$$

เห็นได้ว่ากรณีที่ 1 ไม่เป็นจริงเนื่องจากเราต้องการคิดแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส 5 เปอร์เซ็นต์

$$\therefore V_a = 204.3 \quad V_b = 204.3 \quad V_c = 220$$

หมายเหตุ สถานะความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า 2 เฟสจะกำหนดให้ค่าแรงดันไฟฟ้าใน 2 เฟสที่เกิดความผิดปกติมีค่าเท่ากัน เพื่อให้ง่ายกับการพิจารณา

## 2.6 การคำนวณหาค่า VUF<sup>[5]</sup>

VUF (Voltage unbalance factor) คืออัตราส่วนขององค์ประกอบแรงดันไฟฟ้าลำดับลบ (Negative - sequence voltage component) ต่อองค์ประกอบแรงดันไฟฟ้าลำดับบวก (Positive - sequence voltage component)

จากนิยามของ VUF ดังกล่าวสามารถหาค่า VUF ในรูปเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{VUF} (\%) &= \frac{\text{Negative - sequence voltage component}}{\text{Positive - sequence voltage component}} * 100 \% \\ &= \frac{V^{(2)}}{V^{(1)}} * 100 \% \end{aligned}$$

เมื่อ  $V^{(1)}$  และ  $V^{(2)}$  หาจากการแปลงองค์ประกอบสมมาตร (symmetrical component transformation)

## 2.7 การออกแบบ Drum ที่ใช้ในการขับเคลื่อนทางกล

จากความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุต แรงบิดและอัตราเร็วเชิงมุมของมอเตอร์

$$P = T * \omega$$

เมื่อ  $P$  เป็น กำลังเอาต์พุต ( $W$ ) ซึ่งมอเตอร์ที่ใช้มีขนาด  $\frac{1}{2}$  แรงม้า หรือ 373  $W$

$T$  เป็น แรงบิด ( $N\cdot m$ )

$\omega$  เป็น อัตราเร็วเชิงมุม ( $rad/s$ )

เมื่อทราบขนาดมอเตอร์ที่ใช้ อัตราเร็วรอบที่พิกัด สามารถนำมาหารค่า Drum ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} P &= T * \omega = (W * R) * \omega \\ W &= P / (R * \omega) \\ &= P / (R * 2\pi N / 60) \end{aligned}$$

เมื่อ  $R$  เป็น รัศมีของ Drum ( $m$ )

$N$  เป็น อัตราเร็วรอบที่พิกัดของมอเตอร์ (rpm)

$W$  เป็น น้ำหนักที่มอเตอร์ออกแรงยก ( $N$ ) มีค่าเท่ากับ  $W_1 - W_2$

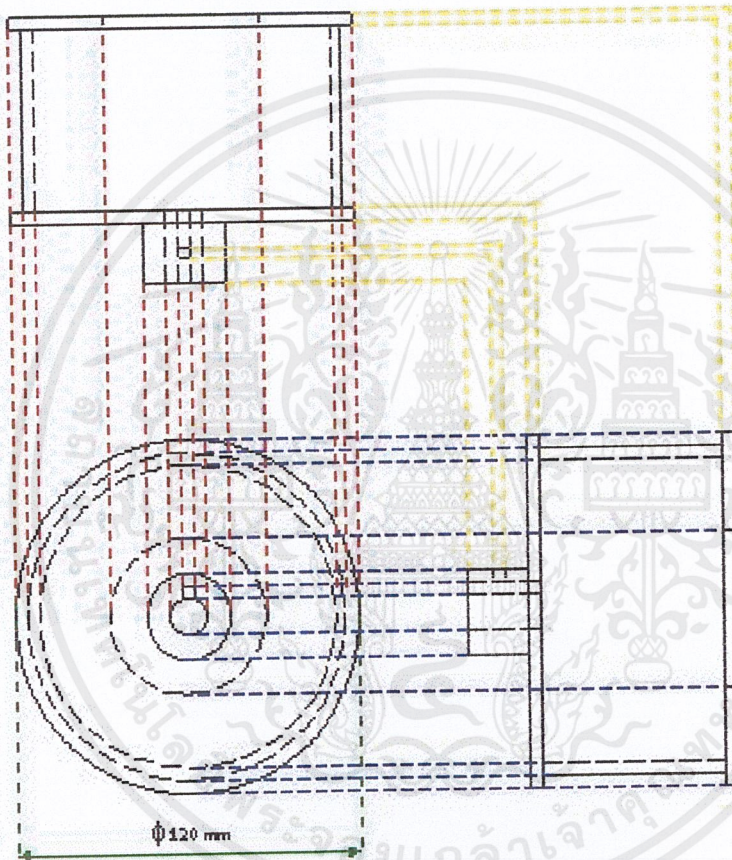
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองแทนค่าพบว่ารัศมี Drum ,  $R = 0.06 \text{ m}$  จะให้ค่าน้ำหนัก  $W$  ที่เหมาะสมซึ่งมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned} W &= 373 / (0.06 * 2\pi * 1410 / 60) \\ &= 42.1 \text{ N} \end{aligned}$$

รัศมี Drum (  $R$  )  $0.06 \text{ m}$  และ น้ำหนัก  $42.1 \text{ N}$  (  $4.3 \text{ kg}$  ) มีความเหมาะสมกับขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ ความสูงของแท่นวางมอเตอร์และตุ้มน้ำหนักที่มีอยู่

เมื่อทราบรัศมี Drum แล้ว สามารถนำมาออกแบบขนาด Drum ได้ดังนี้



รูปที่ 2.11 : ภาพ Drawing ของ Drum



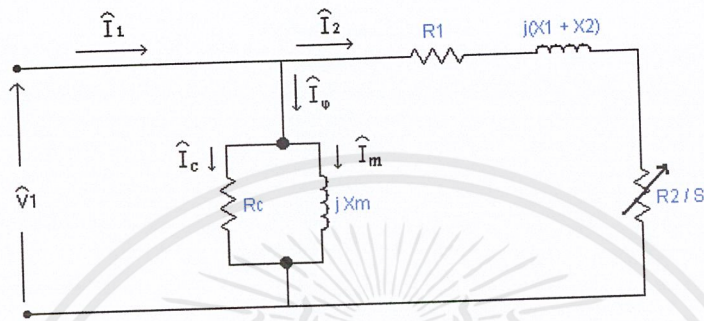
รูปที่ 2.12 : ภาพ Drum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การทดสอบและวิธีการทดสอบ

#### 3.1 การทดสอบหาวงจรมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.1 : วงจรมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

$X_1$  : Stator leakage reactance

$X_2$  : Rotor leakage reactance transfer to stator

$X_m$  : Magnetizing reactance

$R_1$  : Stator resistance

$R_2$  : Rotor resistance transfer to stator

$R_c$  : Fix - loss resistance

$S$  : Slip

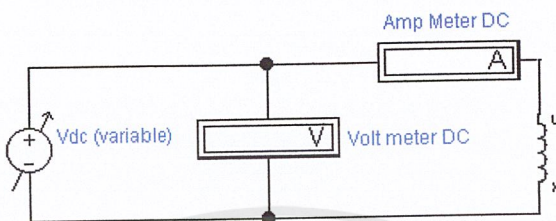
การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในวงจรมูลโดยประมาณ ได้แก่  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_c$ ,  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_m$  และ  $S$  เนื่องจากค่าต่างๆเหล่านี้ใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าทอร์ก กำลังกล กำลังไฟฟ้าในส่วนต่างๆของมอเตอร์ กระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งจะใช้วิเคราะห์ผลตอบสนองของมอเตอร์ขณะปฏิบัติงานจริงเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นเราควรทำความเข้าใจในหลัก การทดสอบอันได้แก่ การทดสอบหาค่าความต้านทานสเตเตอร์ การทดสอบขณะไม่มีโหลด (No - load test) การทดสอบด้วยการยึดโรเตอร์อยู่กับที่ (Blocked - rotor test) และการทดสอบหาค่าสลลิป

##### 3.1.1 การทดสอบหาค่าความต้านทานสเตเตอร์

ค่าความต้านทานโรเตอร์ ( $R_2$ ) มีบทบาทสำคัญอย่างมากในการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อเปรียบเทียบกับค่าอื่นๆ  $R_2$  เป็นตัวกำหนดรูปร่างของ Torque - speed curve รวมทั้งกำหนดความเร็วในขณะที่เกิดการลุดกระชากของแรงบิด การทดสอบมอเตอร์ตามมาตรฐานเรียกว่า “ การทดสอบด้วยการยึดโรเตอร์อยู่กับที่ ” สามารถใช้พิจารณาค่าความต้านทานรวมของวงจรมอเตอร์ อย่างไรก็ตามการทดลองนี้สามารถหาได้เพียงค่าความต้านทานรวม ในการหาค่าความต้านทานโรเตอร์หรือ  $R_2$  โดยเฉพาะ จำเป็นที่จะต้องทราบค่า  $R_1$  ซึ่งสามารถหักออกจากค่าความต้านทานรวมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบหาค่า  $R_1$  เฉพาะส่วนที่แยกออกจาก  $R_2$ ,  $X_1$  และ  $X_2$  เรียกว่า “ การทดสอบแบบ DC test ” ซึ่งทำได้โดยใช้วิธีโวลต์แอมป์ โดยพื้นฐานค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจะถูกจ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เนื่องจากเป็นกระแสตรงจึงไม่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันที่เกิดในวงจรของโรเตอร์ รวมทั้งไม่มีผลต่อการไหลของกระแสโรเตอร์ จึงทำให้ค่า Reactance ของมอเตอร์มีค่าเป็นศูนย์เมื่อมีการจ่ายกระแสตรง ดังนั้นสิ่งที่จำกัดขนาดการไหลของกระแสในมอเตอร์โดยเฉพาะคือ ความต้านทานสเตเตอร์ นั่นเอง



รูปที่ 3.2 : วงจรการทดสอบหาค่าความต้านทานสเตเตอร์

วงจรพื้นฐานของการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 ทำการต่อแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับปลายของขดลวดขดใดขดหนึ่งจากขดลวดในมอเตอร์เหนี่ยวนำ (ในที่นี้เลือกขด u - x) ในการทำการทดสอบกระแสในขดสเตเตอร์จะถูกปรับให้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามระดับที่กำหนด ค่าแรงดันระหว่างขั้วในระดับต่างๆที่สัมพันธ์กับขนาดกระแสจะถูกวัดไปตามลำดับ ค่ากระแสในขดสเตเตอร์จะถูกปรับจนถึงค่าพิกัดที่จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นในขดลวดจนมีค่าเท่ากับอุณหภูมิระหว่างการใช้งานปกติ (ค่าความต้านทานขดลวดเป็นฟังก์ชันแปรตามอุณหภูมิ) จากค่าแรงดันกระแสตรง ( $V_{DC}$ ) และค่ากระแสตรง ( $I_{DC}$ ) ที่วัดได้สามารถนำมาหาค่าความต้านทาน  $R_1$  ของขดลวดสเตเตอร์และ  $R_2$  ของขดลวดโรเตอร์ได้ตามลำดับ

$$R_1 = \frac{V_{DC}}{I_{DC}}$$

$$R_2 = R_b - R_1$$

เมื่อ  $R_b$  คือ ความต้านทานรวมที่ได้จากวิธีการทดสอบด้วยการยึด โรเตอร์อยู่กับที่

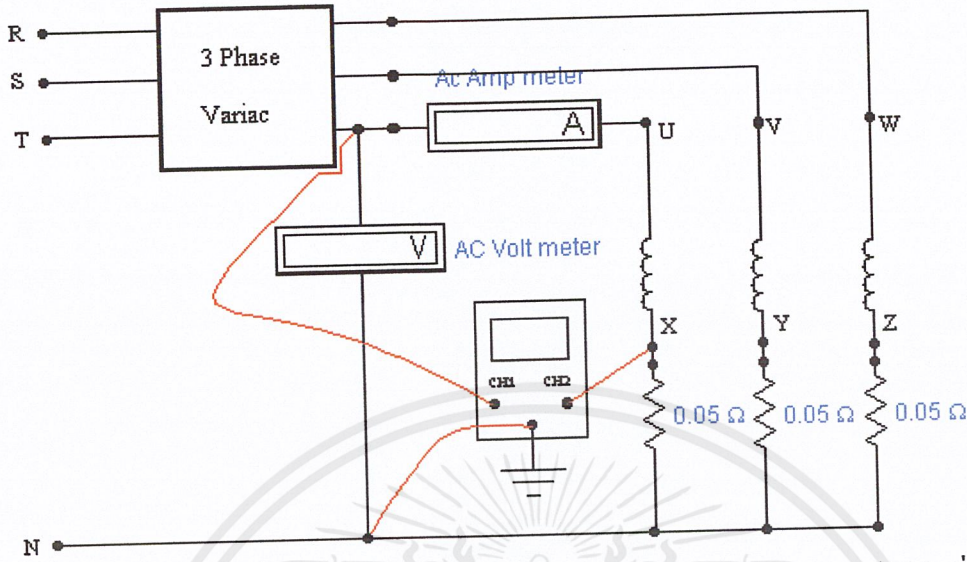
ที่ค่า  $R_1$  นี้เอง ค่า Stator copper loss ขณะไม่มีโหลด สามารถหาได้ ซึ่งค่าความสูญเสียจากการหมุนคำนวณได้จากความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าเข้าขณะไม่มีโหลดกับค่า Stator copper loss นั่นเอง

ค่า  $R_1$  ที่คำนวณได้ยังไม่ถูกต้องโดยแน่นอนอย่างสมบูรณ์ ตั้งแต่การละการพิจารณา Skin effect ซึ่งเกิดขึ้นขณะที่แรงดันกระแสสลับถูกจ่ายให้กับขดลวด รายละเอียดเพิ่มเติมที่ถูกต้องสำหรับอุณหภูมิและ Skin effect สามารถหาได้จาก IEEE Standard 112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 การทดสอบขณะไม่มีโหลดและการทดสอบด้วยการยึดโรเตอร์อยู่กับที่

จากวงจรการทดสอบทางด้านขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส



รูปที่ 3.3 : วงจรการทดสอบขณะไม่มีโหลดและการทดสอบด้วยการยึดโรเตอร์อยู่กับที่

การทำทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ อันได้แก่  $R_1, R_2, R_c, X_1, X_2$  และ  $X_m$  เพื่อหาวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

#### 1) การทดสอบขณะไม่มีโหลด (No – load test)

จะทำการทดสอบที่พิกัดศักดาไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำแล้วบันทึกค่า  $V_0, I_0$  และ  $\phi_0$  (เป็นค่าต่อเฟส) คำนวณหาค่า  $R_c$  (Fix – loss resistance) และค่า  $X_m$  (Magnetizing reactance) ได้โดย

$$R_c = \frac{V_0}{I_0 \cos \phi_0}$$

$$X_m = \frac{V_0}{I_0 \sin \phi_0}$$

#### 2) การทดสอบด้วยการยึดโรเตอร์ (Blocked – rotor test)

จะทำการทดสอบโดยการยึดตัวหมุนให้หยุดนิ่ง แล้วค่อยๆ ปรับศักดาไฟฟ้าจนกระทั่งกระแสป้อนเข้าเป็นค่าที่พิกัดกระแส แล้วบันทึกค่า  $V_b, I_b$  และ  $\phi_b$  (เป็นค่าต่อเฟส) คำนวณหาค่าความต้านทานรวม  $R_b$  (Total resistance) และค่ารีแอกแตนซ์รวม  $X_b$  (Total reactance) ได้โดย

$$Z_b = \frac{V_b \angle 0^\circ}{I_b \angle -\phi_b} = R_b + jX_b$$

$$R_b = R_1 + R_2$$

$$X_b = X_1 + X_2$$

### 3.1.3 การทดสอบหาค่าสลลิป

เนื่องจากแรงดันเหนี่ยวนำในแท่งตัวนำของ โรเตอร์ขึ้นอยู่กับความเร็วสัมพัทธ์ของ โรเตอร์เทียบกับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน จึงมีการกำหนดทอมที่ใช้บอกอัตราความเร็วสัมพัทธ์ของ โรเตอร์เมื่อเทียบกับสนามแม่เหล็กหมุน มีชื่อเรียกว่า สลิป (Slip) ซึ่งนิยามบอกค่าสลลิปนี้ให้อยู่ในรูปของค่าเปอร์เซ็นต์

การทดสอบหาค่าสลลิปทำได้โดยการติดแถบสะท้อนแสงไว้ที่เพลลาของโรเตอร์ Tachometer จะวัดค่าความเร็วทางกลที่เพลลาของโรเตอร์ด้วยหลักการของการสะท้อนแสง สามารถคำนวณหาค่าสลลิปได้จาก

$$s = \frac{n_{\text{sync}} - n_r}{n_{\text{sync}}}$$

เมื่อ  $n_{\text{sync}}$  คือความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน และ  $n_r$  คือความเร็วทางกลที่เพลลาของโรเตอร์

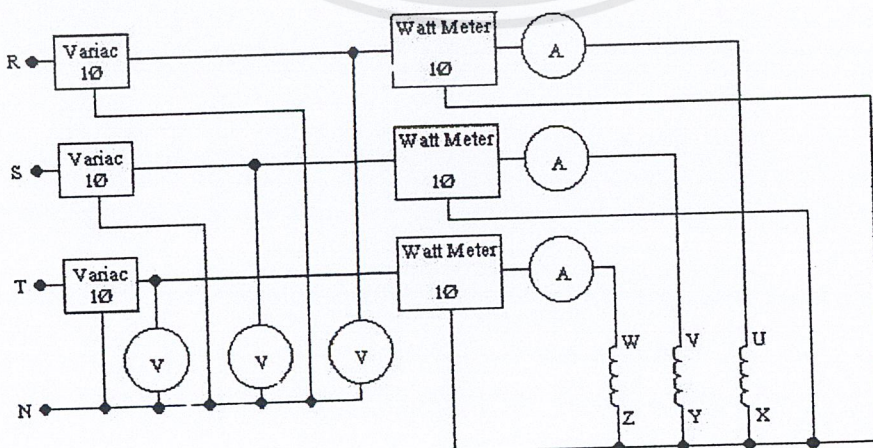
### 3.2 การทดสอบในสถานะที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ขณะไว้ภาระทางกลและขณะขับภาระทางกล

รูปแบบการทดสอบตามเหตุการณ์ความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ที่ป้อนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำและกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำ แบ่งออกเป็น 4 กรณีคือ

- 1) แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส (1Ø – Under Voltage Unbalance)
- 2) แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส (2Ø – Under Voltage Unbalance)
- 3) แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 1 เฟส (1Ø – Over Voltage Unbalance)
- 4) แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 2 เฟส (2Ø – Over Voltage Unbalance)

ในแต่ละกรณีจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 5 ระดับคือ 1% , 2% , 3% , 4% และ 5% สำหรับค่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าตามเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าเฟสได้กล่าววิธีการหาและตัวอย่างการคำนวณไว้ในบทที่ 2 พร้อมทั้งได้ทำแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าตามเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าเฟสไว้ในตารางที่ 4.3 ซึ่งอยู่ในบทที่ 4 แล้ว

#### 3.2.1 การทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ



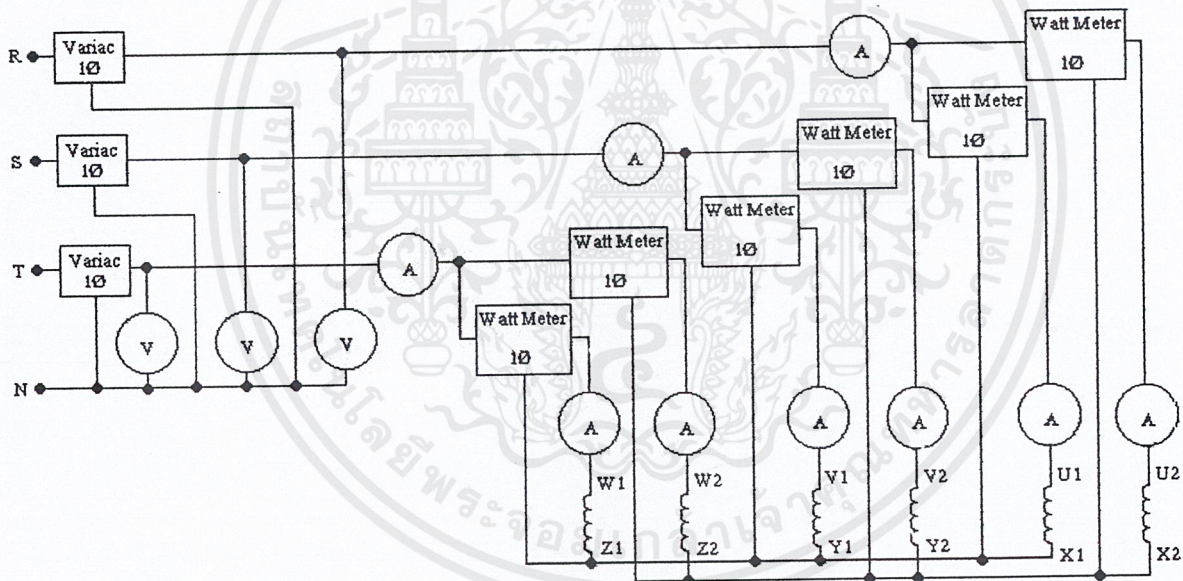
รูปที่ 3.4: วงจรการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรการทดสอบรูปที่ 3.4 การทดสอบขณะไร้ภาระทางกลจะใช้วัตต์มิเตอร์ 1 เฟส 3 ตัว ในการวัดค่ากำลังไฟฟ้าแต่ละเฟส แอมป์มิเตอร์กระแสสลับ 3 ตัวมีหน้าที่วัดกระแสเฟสถูกต่อเข้ากับปลายขดลวดมอเตอร์ด้านเข้าคือ ปลาย U , V และ W มอเตอร์ต่อแบบ Star isolated neutral ดังนั้นปลายขดลวดมอเตอร์ด้านออกได้แก่ ปลาย X , Y และ Z จึงต่อเข้าด้วยกัน ทำการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าแต่ละเฟสโดยปรับ Variac 1 เฟส 3 ตัว ตามสภาวะความไม่สมดุลทั้ง 4 กรณีและ 5 ระดับเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุล ค่าความเร็วทางกลที่เพลลาของโรเตอร์อ่านค่าได้จาก Tachometer

สำหรับการทดสอบขณะขับภาระทางกลจะติดตั้งชุดขับภาระทางกลเข้ากับเพลลาของโรเตอร์ ทำการทดสอบด้วยการใส่ตุ้มน้ำหนักเพื่อเพิ่มภาระทางกลที่ระดับจนครบ 5 ระดับ บันทึกค่ากระแสเฟส กำลังไฟฟ้าแต่ละเฟส ความเร็วทางกลที่เพลลาของโรเตอร์และค่าน้ำหนักที่อ่านได้จากตาชั่งสปริง ( $W_2$ ) เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมีความน่าเชื่อถือจึงทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเดียวกัน 2 ตัว เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลที่ทดสอบได้

### 3.2.2 การทดสอบกับกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำ



รูปที่ 3.5 : วงจรการทดสอบกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสภาวะที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

วงจรการทดสอบรูปที่ 3.5 ทำการขนานมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดเดียวกัน 2 ตัว การทดสอบขณะไร้ภาระทางกลใช้วัตต์มิเตอร์ 1 เฟส 6 ตัววัดค่ากำลังไฟฟ้าแต่ละเฟสและแอมป์มิเตอร์กระแสสลับ 6 ตัวมีหน้าที่วัดกระแสเฟสถูกต่อเข้ากับปลายขดลวดมอเตอร์ด้านเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้ง 2 ตัวได้แก่ปลาย  $U_1$  ,  $U_2$  ,  $V_1$  ,  $V_2$  ,  $W_1$  และ  $W_2$  เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้ง 2 ตัวต่อแบบ Star isolated neutral ดังนั้นปลายขดลวดมอเตอร์ด้านออกได้แก่ ปลาย  $X_1$  ,  $Y_1$  และ  $Z_1$  จึงต่อเข้าด้วยกันเช่นเดียวกันกับปลาย  $X_2$  ,  $Y_2$  และ  $Z_2$  (จุดต่อร่วม Star คนละจุดกัน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะวัดค่ากระแสเฟสรวมของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในแต่ละเฟสจึงต่อแอมป์มิเตอร์กระแส สลับอีก 3 ตัวไว้ที่แต่ละเฟสก่อนถึงจุดต่อขนานระหว่างปลายขดลวดเคลื่อนที่ด้านเข้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้ง 2 ตัว ทำการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าแต่ละเฟสโดยปรับ Variac 1 เฟส 3 ตัว ตามสถานะความไม่สมดุลทั้ง 4 กรณี และ 5 ระดับเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุล ค่าความเร็วทางกลที่เพลลาของ โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้ง 2 ตัวอ่าน ค่าได้จาก Tachometer

สำหรับการทดสอบขณะขับภาระทางกลจะติดตั้งชุดขับภาระทางกลเข้ากับเพลลาของ โรเตอร์ของ มอเตอร์เหนี่ยวนำทั้ง 2 ตัว ทำการทดสอบด้วยการใส่ค้อนน้ำหนักเพื่อเพิ่มภาระทางกลที่ระดับจนครบ 5 ระดับ (การเพิ่มระดับภาระทางกลจะทำพร้อมกันที่ระดับให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้ง 2 ตัว)บันทึกค่ากระแสเฟสรวม ของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในแต่ละเฟส ค่ากระแสเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1 ค่ากระแสเฟสของ มอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2 ค่ากำลังไฟฟ้าแต่ละเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1 ค่ากำลังไฟฟ้าแต่ละเฟสของ มอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2 ค่าความเร็วทางกลที่เพลลาของ โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้ง 2 ตัวรวมทั้งค่าน้ำหนัก ที่อ่านได้จากตาชั่งสปริง ( $W_2$ ) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั้ง 2 ตัว (สำหรับการหาค่ากำลังไฟฟ้าแต่ละเฟสรวมของ กลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะหาได้จากการนำเอาค่ากำลังไฟฟ้าแต่ละเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1 และค่า กำลังไฟฟ้าแต่ละเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2 มารวมเข้าด้วยกัน)

#### หมายเหตุ

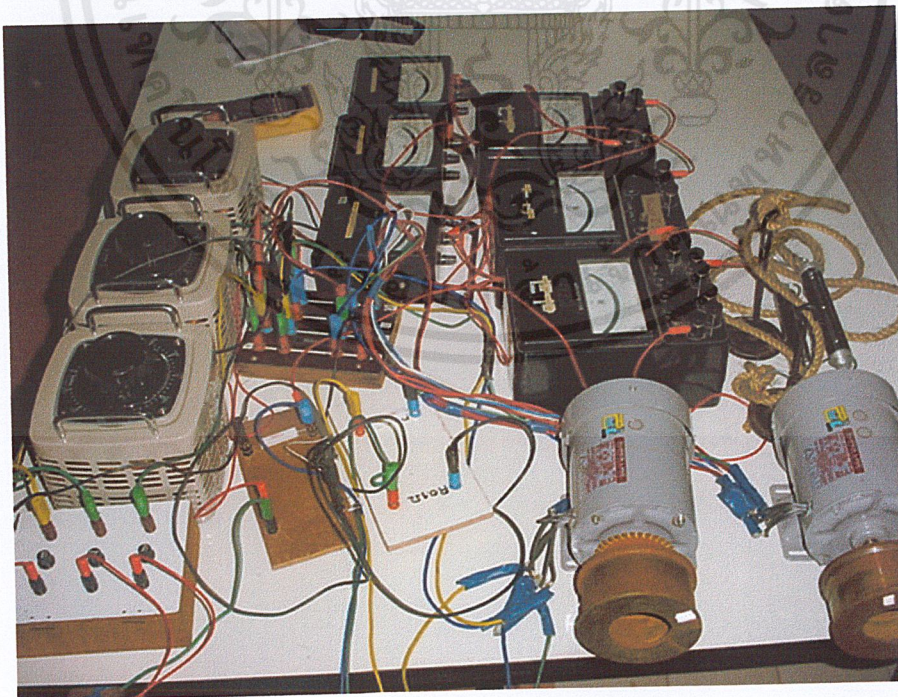
มอเตอร์ที่ทำการทดสอบเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด  $\frac{1}{2}$  แรงม้า ยี่ห้อมิชซูบิชิ ขนาดแรงดัน ไฟฟ้าป้อนเข้า 380 โวลต์ (แรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส)  
ขนาดกระแสไฟฟ้าพิกัด 1.15 แอมป์  
จำนวนขั้วแม่เหล็ก 4 ขั้ว  
ความเร็วรอบ 1410 รอบต่อนาที  
ความถี่ระบบ ไฟฟ้า 50 เฮิร์ตซ์  
โรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก  
มอเตอร์ต่อแบบ Star isolated neutral  
มอเตอร์มีลำดับเฟส ABC (มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมองเข้าไปทางด้านเพลลา)

สถานที่ทำการทดสอบไม่ได้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ในแต่ละครั้งของการ ทดสอบมอเตอร์มีอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับอุณหภูมิของสถานที่ทำการทดสอบและขณะ ทำการทดสอบมอเตอร์มีอุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส

### 3.3 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1) มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ขนาด 1/2 แรงม้า	2 ตัว
2) วัดคีมเตอร์ 1 เฟส	6 ตัว
3) แอมป์มิเตอร์กระแสสลับ	9 ตัว
4) โวลต์มิเตอร์กระแสสลับ	3 ตัว
5) Single phase variable transformer (Variac) จ่ายกระแสไฟฟ้าสูงสุด 5 แอมป์	3 ตัว
6) ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) พร้อมโพรบ (Probe) 2 เส้น	1 ชุด
7) Junction Box	4 กล่อง
8) สายไฟต่อวงจร	60 เส้น
9) แผงตัวต้านทานสำหรับวัดกระแส	1 ชุด
10) VOM	1 เครื่อง
11) ทาโคมิเตอร์ (Tachometer)	1 เครื่อง
12) คาซังสปริงแบบแขวนพร้อมเชือกและตะขอเกี่ยวค้ำน้ำหนัก	2 ชุด
13) ค้ำเหล็กขนาดน้ำหนัก 1 กิโลกรัม	10 ชุด
14) Drum ทดสอบการขับเคลื่อนทางกลของมอเตอร์	2 ตัว
15) แท่นวางมอเตอร์ขณะทดสอบการขับเคลื่อนทางกล	2 แท่น



รูปที่ 3.6 : อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลที่ได้จากการทำการทดสอบ

#### 4.1 ผลการทดสอบหาจรรยาสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

##### 4.1.1 ผลการทดสอบหาค่าความต้านทานสเตเตอร์

$V_{DC}$ (V)	12	14	16	18	20	22	24
$I_{DC}$ (A)	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
$R_1$ ( $\Omega$ )	20	20	20	20	20	20	20

ตารางที่ 4.1 : ตารางแสดงผลการทดสอบหาค่าความต้านทานสเตเตอร์

จาก  $R_1 = V_{DC} / I_{DC}$  ดังนั้นค่า Stator resistance per phase average :  $R_1 =$  ค่าเฉลี่ยของ  $V_{DC} / I_{DC} = 20 \Omega$

##### 4.1.2 ผลการทดสอบขณะไม่มีโหลดและการทดสอบด้วยการยึดโรเตอร์อยู่กับที่

กำหนดให้ —  $CH_1$  ของ Oscilloscope ใช้วัดค่าแรงดันของขดลวดในแต่ละเฟส

—  $CH_2$  ของ Oscilloscope ใช้วัดค่ากระแสในแต่ละเฟส

รายละเอียดของ Oscilloscope : Volt / div ของ  $CH_1 = 10$  v      Volt / div ของ  $CH_2 = 5$  mv

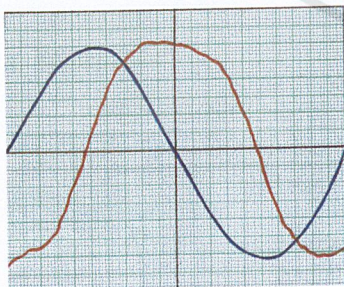
Time / div = 2 msec

Probe ของ  $CH_1 =$  คูณ 10

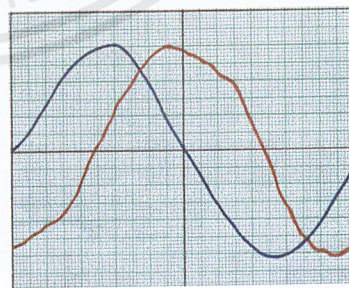
Probe ของ  $CH_2 =$  คูณ 1

ค่าความต้านทานที่ต่อเพิ่มเพื่อวัดกระแส =  $0.05 \Omega$

##### 1) ผลการทดสอบขณะไม่มีโหลด



รูปที่ 4.1 : กราฟของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1



รูปที่ 4.2 : กราฟของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2

ค่าที่ได้จาก No-load test ซึ่งอ่านค่าจาก Volt meter, Amp meter และ Oscilloscope คือ

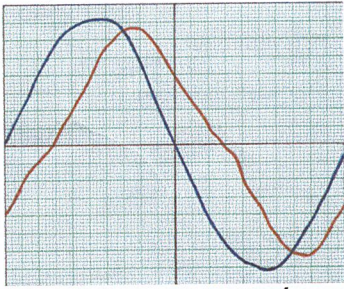
$$V_0 = 220 \text{ v (พิกัดศักดาไฟฟ้าของมอเตอร์)}$$

$$I_0 = 0.72 \text{ A}$$

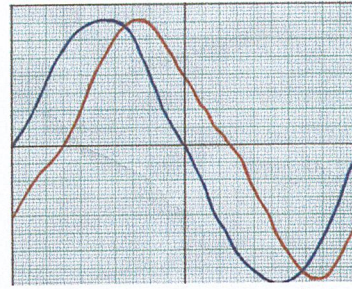
$$\phi_0 = 2.3 * 36^\circ = 82.8^\circ$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ผลการทดสอบด้วยการยึด โรเตอร์อยู่กับที่



รูปที่ 4.3 : กราฟของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1



รูปที่ 4.4 : กราฟของมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2

ค่าที่ได้จาก Blocked - rotor test ซึ่งอ่านค่าจาก Volt meter , Amp meter และ Oscilloscope คือ

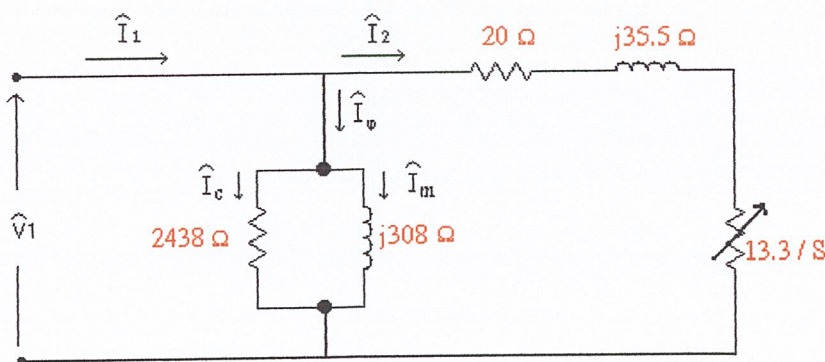
$V_b = 56 \text{ v}$                        $I_b = 1.15 \text{ A}$  (พิกัดกระแสของมอเตอร์)                       $\phi_b = \frac{1.3 * 36^\circ}{1} = 46.8^\circ$

4.1.3 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้จากการทดสอบ

No - load test	Blocked - rotor test
$V_0 = 220 \text{ v}$ , $I_0 = 0.72 \text{ A}$ และ $\phi_0 = 82.8^\circ$ ได้ว่า	$V_b = 56 \text{ v}$ , $I_b = 1.15 \text{ A}$ และ $\phi_b = 46.8^\circ$ ได้ว่า
$R_c = \frac{V_0}{I_0 \cos \phi_0} = \frac{220}{0.72 \cos 82.8^\circ} = 2438 \Omega$	$Z_b = \frac{V_b \angle 0^\circ}{I_b \angle -\phi_b} = \frac{56 \angle 0^\circ}{1.15 \angle -46.8^\circ} = 48.7 \angle 46.8^\circ \Omega$
$X_m = \frac{V_0}{I_0 \sin \phi_0} = \frac{220}{0.72 \sin 82.8^\circ} = 308 \Omega$	$Z_b = R_b + jX_b = 48.7 \angle 46.8^\circ = 33.3 + j35.5 \Omega$
	$R_b = R_1 + R_2 = 33.3 \Omega$ และ $X_b = X_1 + X_2 = 35.5 \Omega$

ทดสอบหาค่าความต้านทานสเตเตอร์ได้  $R_1 = 20 \Omega$  ดังนั้น  $R_2 = R_b - R_1 = 33.3 - 20 = 13.3 \Omega$

จากการทดสอบหาค่าความต้านทานสเตเตอร์ การทดสอบขณะไม่มีโหลด การทดสอบด้วยการยึดโรเตอร์อยู่กับที่และการทดสอบหาค่าสลิป สามารถหาวงจรมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ดังนี้



รูปที่ 4.5 : วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ค่าปริมาณของแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าในสถานะไม่สมดุล

สถานะความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า	แรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟส (V)		
	V <sub>A</sub>	V <sub>B</sub>	V <sub>C</sub>
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส 1 %	216.7	220	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส 2 %	213.4	220	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส 3 %	210.2	220	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส 4 %	207	220	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส 5 %	203.9	220	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส 1 %	216.7	216.7	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส 2 %	213.5	213.5	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส 3 %	210.4	210.4	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส 4 %	207.3	207.3	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส 5 %	204.3	204.3	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 1 เฟส 1 %	223.3	220	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 1 เฟส 2 %	226.7	220	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 1 เฟส 3 %	230.1	220	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 1 เฟส 4 %	233.5	220	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 1 เฟส 5 %	236.9	220	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 2 เฟส 1 %	223.3	223.3	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 2 เฟส 2 %	226.7	226.7	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 2 เฟส 3 %	230.2	230.2	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 2 เฟส 4 %	233.8	233.8	220
แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 2 เฟส 5 %	237.4	237.4	220

ตารางที่ 4.2 : ตารางแสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าในสถานะไม่สมดุลจากนิยามของ PVUR (%)

หมายเหตุ สถานะความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส ทั้งกรณีต่ำกว่าปกติและสูงกว่าปกติในการทดสอบให้เกิดขึ้นกับเฟส A ส่วนสถานะความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า 2 เฟส ให้เกิดขึ้นกับเฟส A และเฟส B ซึ่งกำหนดให้ค่าของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากันทั้ง 2 เฟส เพื่อให้ง่ายกับการพิจารณา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่

#### แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ขณะไร้ภาระทางกล

##### 4.3.1 ผลการทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1

Case	VUF (%)	I (A)			P (W)			Slip (p.u.)
		Ia	Ib	Ic	Pa	Pb	Pc	
1Ø-Under Voltage 1%	0.88	0.66	0.75	0.71	30	37	23	0.002
1Ø-Under Voltage 2%	1.75	0.62	0.75	0.75	27	42	21	0.002
1Ø-Under Voltage 3%	2.39	0.58	0.76	0.76	22	48	19	0.002
1Ø-Under Voltage 4%	3.55	0.54	0.76	0.77	20	54	15	0.002
1Ø-Under Voltage 5%	4.25	0.51	0.77	0.8	14	61	13	0.002
2Ø-Under Voltage 1%	1.08	0.66	0.7	0.73	24	36	30	0.002
2Ø-Under Voltage 2%	1.75	0.64	0.67	0.74	20	36	31	0.002
2Ø-Under Voltage 3%	2.95	0.63	0.64	0.76	14	38	34	0.002
2Ø-Under Voltage 4%	3.65	0.61	0.61	0.78	7	40	38	0.002
2Ø-Under Voltage 5%	4.62	0.6	0.57	0.81	0	42	41	0.002
1Ø-Over Voltage 1%	1.63	0.74	0.73	0.68	38	24	31	0.002
1Ø-Over Voltage 2%	2.38	0.77	0.74	0.66	44	20	33	0.002
1Ø-Over Voltage 3%	3.41	0.82	0.76	0.64	50	14	35	0.002
1Ø-Over Voltage 4%	3.9	0.87	0.77	0.62	56	6	40	0.002
1Ø-Over Voltage 5%	5.97	0.92	0.78	0.6	65	0	46	0.002
2Ø-Over Voltage 1%	1.1	0.72	0.79	0.69	42	31	25	0.002
2Ø-Over Voltage 2%	1.88	0.73	0.82	0.66	49	30	20	0.002
2Ø-Over Voltage 3%	3.15	0.77	0.88	0.64	61	28	18	0.002
2Ø-Over Voltage 4%	4.09	0.8	0.93	0.63	70	28	12	0.002
2Ø-Over Voltage 5%	5.37	0.84	1.01	0.61	84	28	10	0.002

ตารางแสดงผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1 ขณะไร้ภาระทางกล

## 4.3.2 ผลการทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2

Case	VUF (%)	I (A)			P (W)			Slip (p.u.)
		Ia	Ib	Ic	Pa	Pb	Pc	
1Ø-Under Voltage 1%	0.88	0.66	0.74	0.72	30	37	24	0.002
1Ø-Under Voltage 2%	1.75	0.62	0.75	0.73	27	42	22	0.002
1Ø-Under Voltage 3%	2.39	0.59	0.75	0.75	24	47	20	0.002
1Ø-Under Voltage 4%	3.55	0.56	0.75	0.78	19	53	18	0.002
1Ø-Under Voltage 5%	4.25	0.52	0.76	0.8	14	60	16	0.002
2Ø-Under Voltage 1%	1.08	0.66	0.7	0.72	26	31	30	0.002
2Ø-Under Voltage 2%	1.75	0.65	0.67	0.74	20	34	32	0.002
2Ø-Under Voltage 3%	2.95	0.64	0.62	0.76	13	36	37	0.002
2Ø-Under Voltage 4%	3.65	0.62	0.6	0.78	6	40	39	0.002
2Ø-Under Voltage 5%	4.62	0.61	0.55	0.81	0	40	45	0.002
1Ø-Over Voltage 1%	1.63	0.74	0.74	0.69	38	26	30	0.002
1Ø-Over Voltage 2%	2.38	0.77	0.74	0.66	44	20	35	0.002
1Ø-Over Voltage 3%	3.41	0.82	0.75	0.64	50	13	40	0.002
1Ø-Over Voltage 4%	3.9	0.87	0.75	0.63	52	7	44	0.002
1Ø-Over Voltage 5%	5.97	0.93	0.77	0.6	66	0	49	0.002
2Ø-Over Voltage 1%	1.1	0.72	0.78	0.67	42	31	25	0.002
2Ø-Over Voltage 2%	1.88	0.74	0.81	0.66	50	30	23	0.002
2Ø-Over Voltage 3%	3.15	0.78	0.87	0.64	60	29	20	0.002
2Ø-Over Voltage 4%	4.09	0.8	0.92	0.63	70	28	15	0.002
2Ø-Over Voltage 5%	5.37	0.84	0.99	0.61	84	28	10	0.002

ตารางแสดงผลการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2 ขณะไร้ภาระทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่ แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลขณะไร้ภาระทางกล

ตารางที่ 1 : ตารางค่ากระแสไฟฟ้า

Case	I total (A)			$I_1 + I_2$ (A)			$I_1$ (A)			$I_2$ (A)		
	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic
1Ø UV1%	1.37	1.41	1.41	1.36	1.41	1.42	0.68	0.71	0.71	0.68	0.7	0.71
1Ø UV2%	1.33	1.41	1.44	1.3	1.41	1.45	0.65	0.71	0.73	0.65	0.7	0.72
1Ø UV3%	1.29	1.4	1.45	1.27	1.4	1.47	0.64	0.71	0.74	0.63	0.69	0.73
1Ø UV4%	1.24	1.4	1.47	1.22	1.39	1.48	0.61	0.7	0.74	0.61	0.59	0.74
1Ø UV5%	1.2	1.39	1.48	1.18	1.39	1.5	0.59	0.7	0.75	0.59	0.69	0.75
2Ø UV1%	1.38	1.37	1.41	1.38	1.39	1.42	0.7	0.71	0.71	0.68	0.68	0.71
2Ø UV2%	1.34	1.32	1.42	1.34	1.33	1.44	0.67	0.67	0.72	0.67	0.66	0.72
2Ø UV3%	1.31	1.28	1.43	1.31	1.29	1.44	0.65	0.65	0.72	0.66	0.64	0.72
2Ø UV4%	1.29	1.22	1.44	1.29	1.23	1.46	0.64	0.62	0.73	0.65	0.61	0.73
2Ø UV5%	1.27	1.18	1.45	1.26	1.17	1.46	0.63	0.59	0.73	0.63	0.58	0.73
1Ø OV1%	1.46	1.42	1.39	1.45	1.42	1.41	0.72	0.71	0.71	0.73	0.71	0.7
1Ø OV2%	1.51	1.43	1.39	1.5	1.44	1.4	0.75	0.72	0.7	0.75	0.72	0.7
1Ø OV3%	1.56	1.45	1.38	1.55	1.45	1.39	0.77	0.73	0.7	0.78	0.72	0.69
1Ø OV4%	1.61	1.46	1.37	1.61	1.48	1.39	0.81	0.75	0.7	0.8	0.73	0.69
1Ø OV5%	1.67	1.47	1.35	1.65	1.49	1.36	0.82	0.76	0.68	0.83	0.73	0.68
2Ø OV1%	1.45	1.47	1.41	1.44	1.49	1.42	0.72	0.75	0.71	0.72	0.74	0.71
2Ø OV2%	1.49	1.53	1.41	1.48	1.53	1.42	0.74	0.77	0.71	0.74	0.76	0.71
2Ø OV3%	1.5	1.56	1.4	1.52	1.59	1.42	0.76	0.8	0.71	0.76	0.79	0.71
2Ø OV4%	1.55	1.65	1.39	1.56	1.67	1.42	0.78	0.84	0.71	0.78	0.83	0.71
2Ø OV5%	1.61	1.73	1.39	1.6	1.76	1.42	0.8	0.88	0.71	0.8	0.88	0.71

ตารางแสดงผลการทดสอบหากระแสของกุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะไร้ภาระทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 : ตารางค่ากำลังไฟฟ้า

Case	P total (W)			P <sub>1</sub> + P <sub>2</sub> (W)			P <sub>1</sub> (W)			P <sub>2</sub> (W)		
	Pa	Pb	Pc	Pa	Pb	Pc	Pa	Pb	Pc	Pa	Pb	Pc
1Ø UV1%	55	60	41	55	64	47	28	32	22	27	32	25
1Ø UV2%	50	69	40	48	71	44	24	36	21	24	35	23
1Ø UV3%	44	74	36	44	76	41	22	38	20	22	38	21
1Ø UV4%	40	83	30	39	81	39	20	40	19	19	41	20
1Ø UV5%	36	88	29	35	87	38	18	44	18	17	43	20
2Ø UV1%	50	56	50	51	61	60	26	31	30	25	30	30
2Ø UV2%	42	69	50	45	62	60	22	32	30	23	30	30
2Ø UV3%	32	60	52	36	63	60	18	32	30	18	31	30
2Ø UV4%	24	62	59	29	63	61	15	32	30	14	31	31
2Ø UV5%	17	64	60	23	65	63	12	33	31	11	32	32
1Ø OV1%	65	48	50	65	55	59	32	28	29	33	27	30
1Ø OV2%	70	41	55	70	48	61	35	24	30	35	24	31
1Ø OV3%	76	27	60	75	43	63	38	22	30	37	21	33
1Ø OV4%	83	26	66	81	37	67	40	19	32	41	18	35
1Ø OV5%	90	17	70	88	30	73	44	16	35	44	14	38
2Ø OV1%	69	53	45	68	58	57	34	28	32	34	30	25
2Ø OV2%	80	53	41	77	59	48	39	29	25	38	30	23
2Ø OV3%	92	50	40	86	60	41	43	30	20	43	30	21
2Ø OV4%	105	48	35	96	61	39	48	31	19	48	30	20
2Ø OV5%	118	47	30	110	63	38	55	32	19	55	31	19

ตารางแสดงผลการทดสอบกำลังไฟฟ้าของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะไว้ภาระทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 : ตารางค่า VUF และค่าสลลิป

Case	VUF (%)		Slip (p.u.)	
	VUF <sub>1</sub>	VUF <sub>2</sub>	Slip <sub>1</sub>	Slip <sub>2</sub>
1Ø-Under Voltage 1%	0.88	0.88	0.002	0.002
1Ø-Under Voltage 2%	1.75	1.75	0.002	0.002
1Ø-Under Voltage 3%	2.39	2.39	0.002	0.002
1Ø-Under Voltage 4%	3.55	3.55	0.002	0.002
1Ø-Under Voltage 5%	4.25	4.25	0.002	0.002
2Ø-Under Voltage 1%	1.08	1.08	0.002	0.002
2Ø-Under Voltage 2%	1.75	1.75	0.002	0.002
2Ø-Under Voltage 3%	2.95	2.95	0.002	0.002
2Ø-Under Voltage 4%	3.65	3.65	0.002	0.002
2Ø-Under Voltage 5%	4.62	4.62	0.002	0.002
1Ø-Over Voltage 1%	1.63	1.63	0.002	0.002
1Ø-Over Voltage 2%	2.38	2.38	0.002	0.002
1Ø-Over Voltage 3%	3.41	3.41	0.002	0.002
1Ø-Over Voltage 4%	3.9	3.9	0.002	0.002
1Ø-Over Voltage 5%	5.97	5.97	0.002	0.002
2Ø-Over Voltage 1%	1.1	1.1	0.002	0.002
2Ø-Over Voltage 2%	1.88	1.88	0.002	0.002
2Ø-Over Voltage 3%	3.15	3.15	0.002	0.002
2Ø-Over Voltage 4%	4.09	4.09	0.002	0.002
2Ø-Over Voltage 5%	5.37	5.37	0.002	0.002

ตารางแสดงค่า VUF และค่าสลลิปของกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะ ไร้ภาระทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่

แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลขณะขับภาระทางกล

### 4.5.1 ผลการทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 1

ตารางที่ 1 : สถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 1 เฟส (1Ø - Under Voltage)

PVUR (%)	Load (%)	VUF (%)	I (A)			P (W)			Slip (p.u.)	Torque (N-m)
			Ia	Ib	Ic	Pa	Pb	Pc		
1%	20%	4.17	0.68	0.75	0.72	60	70	50	0.015	0.706
	40%	4.17	0.73	0.8	0.76	84	100	76	0.024	1.117
	60%	4.17	0.8	0.85	0.82	106	120	100	0.033	1.646
	80%	4.17	0.86	0.92	0.89	128	150	122	0.043	2.176
	100%	4.17	0.91	0.98	0.98	140	170	146	0.051	2.587
2%	20%	5.04	0.63	0.74	0.76	50	80	50	0.014	0.647
	40%	5.04	0.67	0.8	0.81	70	110	76	0.025	1.058
	60%	5.04	0.72	0.85	0.86	90	130	100	0.034	1.558
	80%	5.04	0.79	0.93	0.93	112	150	124	0.038	2.117
	100%	5.04	0.86	1	1	130	180	148	0.055	2.528
3%	20%	5.7	0.59	0.75	0.77	46	90	50	0.013	0.706
	40%	5.7	0.63	0.81	0.83	66	120	76	0.025	1.117
	60%	5.7	0.69	0.88	0.89	86	140	102	0.034	1.588
	80%	5.7	0.75	0.95	0.96	106	160	126	0.046	2.117
	100%	5.7	0.82	1.03	1.02	126	180	148	0.057	2.528
4%	20%	7.62	0.55	0.76	0.78	42	100	46	0.017	0.676
	40%	7.86	0.58	0.82	0.84	60	120	74	0.027	1.117
	60%	7.86	0.64	0.9	0.9	80	150	100	0.037	1.588
	80%	7.86	0.7	0.98	0.98	98	170	122	0.047	2.058
	100%	7.86	0.77	1.06	1.04	118	190	146	0.058	2.47
5%	20%	7.12	0.52	0.79	0.81	40	100	46	0.015	0.647
	40%	7.12	0.55	0.84	0.86	58	130	74	0.027	1.058
	60%	8.1	0.6	0.92	0.93	76	150	100	0.04	1.529
	80%	8.1	0.67	1	1	94	180	122	0.047	2.058
	100%	8.1	0.74	1.08	1.08	110	200	146	0.06	2.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 : สภาวะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 2 เฟส (2 $\phi$  - Under Voltage)

PVUR (%)	Load (%)	VUF (%)	I (A)			P (W)			Slip (p.u.)	Torque (N-m)
			Ia	Ib	Ic	Pa	Pb	Pc		
1%	20%	2.86	0.66	0.68	0.77	48	70	64	0.014	0.676
	40%	2.86	0.76	0.75	0.79	82	90	88	0.022	1.117
	60%	3.06	0.83	0.81	0.84	106	110	112	0.034	1.588
	80%	3.27	0.89	0.87	0.91	126	130	136	0.043	2.058
	100%	4.02	0.96	0.94	0.98	146	150	158	0.055	2.47
2%	20%	3.74	0.67	0.67	0.75	48	70	64	0.015	0.676
	40%	4.39	0.72	0.7	0.81	70	90	92	0.024	1.058
	60%	5.13	0.78	0.76	0.88	92	110	118	0.035	1.529
	80%	5.13	0.85	0.82	0.95	112	130	140	0.047	2.058
	100%	5.13	0.92	0.91	1.03	134	150	164	0.055	2.47
3%	20%	4.85	0.65	0.63	0.78	38	50	68	0.014	0.676
	40%	4.85	0.7	0.67	0.85	60	100	100	0.026	1.058
	60%	4.85	0.75	0.73	0.92	84	120	126	0.035	1.558
	80%	4.85	0.82	0.82	1.01	104	140	152	0.046	2.058
	100%	4.85	0.9	0.9	1.1	126	160	174	0.059	2.47
4%	20%	5.32	0.64	0.6	0.81	30	70	74	0.015	0.676
	40%	5.32	0.68	0.65	0.89	50	90	104	0.025	1.058
	60%	5.61	0.74	0.71	0.98	72	120	136	0.036	1.529
	80%	5.73	0.8	0.8	1.05	94	140	160	0.048	1.94
	100%	5.73	0.88	0.89	1.15	116	160	186	0.06	2.47
5%	20%	6	0.63	0.58	0.83	28	70	78	0.015	0.647
	40%	6.39	0.67	0.63	0.92	46	100	112	0.026	1.058
	60%	6.39	0.73	0.7	1	68	120	142	0.038	1.529
	80%	6.39	0.8	0.79	1.09	90	140	170	0.049	2.058
	100%	6.68	0.86	0.87	1.18	110	160	194	0.063	2.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 : สภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 1 เฟส (1Ø - Over Voltage)

PVUR (%)	Load (%)	VUF (%)	I (A)			P (W)			Slip (p.u.)	Torque (N-m)
			Ia	Ib	Ic	Pa	Pb	Pc		
1%	20%	1.48	0.78	0.74	0.69	72	60	58	0.013	0.647
	40%	1.48	0.83	0.78	0.73	100	80	84	0.025	1.117
	60%	1.48	0.9	0.84	0.8	122	110	108	0.033	1.588
	80%	1.73	0.96	0.9	0.86	146	130	130	0.043	2.117
	100%	1.97	1.04	0.97	0.93	166	150	150	0.053	2.587
2%	20%	1.18	0.82	0.73	0.65	78	50	58	0.014	0.647
	40%	1.18	0.86	0.77	0.69	104	70	82	0.025	1.058
	60%	1.18	0.84	0.82	0.75	130	100	106	0.035	1.529
	80%	1.18	1	0.87	0.82	152	120	126	0.046	2.058
	100%	1.18	1.09	0.94	0.9	176	140	150	0.053	2.528
3%	20%	0.38	0.85	0.73	0.63	84	40	62	0.014	0.647
	40%	0.38	0.92	0.76	0.67	112	70	84	0.022	1.058
	60%	0.38	0.98	0.8	0.73	140	90	108	0.034	1.529
	80%	1.11	1.05	0.86	0.8	164	100	130	0.044	2.058
	100%	1.33	1.14	0.92	0.89	186	120	152	0.055	2.528
4%	20%	1.12	0.91	0.74	0.62	94	40	66	0.014	0.647
	40%	1.12	0.98	0.77	0.66	124	60	90	0.023	1.058
	60%	0.63	1.06	0.81	0.72	154	80	112	0.034	1.529
	80%	0.63	1.13	0.85	0.78	196	100	132	0.046	2.058
	100%	0.63	1.2	0.91	0.86	202	120	152	0.052	2.47
5%	20%	1.63	0.96	0.74	0.6	100	30	68	0.013	0.647
	40%	1.63	1.04	0.78	0.64	134	50	92	0.023	1.058
	60%	1.4	1.11	0.81	0.7	162	70	114	0.032	1.529
	80%	1.4	1.18	0.85	0.77	188	90	134	0.043	2.058
	100%	1.4	1.25	0.85	0.84	204	108	150	0.051	2.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 : สภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 2 เฟส (2Ø - Over Voltage)

PVUR (%)	Load (%)	VUF (%)	I (A)			P (W)			Slip (p.u.)	Torque (N-m)
			Ia	Ib	Ic	Pa	Pb	Pc		
1%	20%	5.24	0.7	0.77	0.72	64	70	52	0.015	0.647
	40%	5.24	0.75	0.82	0.76	90	100	80	0.026	1.058
	60%	5.48	0.82	0.87	0.83	114	130	104	0.036	1.529
	80%	5.48	0.9	0.95	0.9	136	150	128	0.045	2
	100%	5.72	0.98	1.03	0.98	158	180	150	0.056	2.47
2%	20%	2.65	0.78	0.82	0.63	82	60	42	0.013	0.647
	40%	2.92	0.84	0.87	0.68	112	90	64	0.024	1.058
	60%	2.92	0.91	0.93	0.72	136	120	88	0.033	1.529
	80%	3.04	0.98	0.99	0.78	160	140	110	0.043	2
	100%	3.04	1.07	1.06	0.86	182	160	132	0.053	2.47
3%	20%	2.95	0.8	0.87	0.62	90	60	36	0.012	0.647
	40%	3.22	0.86	0.92	0.65	120	90	58	0.023	1.058
	60%	3.22	0.93	0.98	0.69	146	120	80	0.033	1.529
	80%	3.53	1	1.03	0.75	168	140	100	0.045	2
	100%	3.61	1.08	1.09	0.81	190	160	122	0.053	2.47
4%	20%	3.44	0.82	0.92	0.6	100	60	30	0.013	0.647
	40%	3.67	0.88	0.96	0.61	126	80	50	0.023	1.058
	60%	3.67	0.95	1	0.65	154	120	70	0.033	1.529
	80%	3.67	1.03	1.07	0.71	180	140	92	0.042	2
	100%	3.67	1.1	1.13	0.77	204	160	114	0.051	2.47
5%	20%	4.85	0.85	0.95	0.56	110	60	24	0.013	0.647
	40%	5.35	0.9	1	0.56	138	90	42	0.023	1.058
	60%	5.68	0.97	1.04	0.59	164	120	66	0.031	1.529
	80%	5.74	1.07	1.1	0.65	192	140	82	0.043	2.058
	100%	6.06	1.14	1.15	0.7	214	160	102	0.053	2.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5.2 ผลการทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำตัวที่ 2

ตารางที่ 1 : สถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 1 เฟส (1Ø - Under Voltage)

PVUR (%)	Load (%)	VUF (%)	I (A)			P (W)			Slip (p.u.)	Torque (N-m)
			Ia	Ib	Ic	Pa	Pb	Pc		
1%	20%	3.17	0.7	0.71	0.71	56	60	53	0.013	0.588
	40%	3.17	0.74	0.75	0.75	75	85	74	0.022	1.117
	60%	3.17	0.77	0.79	0.79	92	102	92	0.029	1.529
	80%	3.17	0.81	0.85	0.86	110	125	114	0.038	2
	100%	3.17	0.88	0.92	0.93	130	145	136	0.047	2.47
2%	20%	4.29	0.64	0.73	0.74	50	75	50	0.013	0.588
	40%	4.29	0.66	0.76	0.78	67	95	70	0.022	1.117
	60%	4.29	0.71	0.81	0.83	82	115	89	0.029	1.529
	80%	4.29	0.75	0.87	0.87	100	135	108	0.038	2
	100%	4.29	0.83	0.95	0.95	124	162	134	0.049	2.41
3%	20%	5	0.59	0.73	0.76	44	75	48	0.015	0.588
	40%	5	0.62	0.78	0.81	60	105	69	0.023	1.117
	60%	5	0.67	0.82	0.84	77	122	91	0.031	1.529
	80%	5	0.73	0.89	0.91	96	142	112	0.04	2
	100%	5	0.78	0.96	0.96	114	165	132	0.049	2.412
4%	20%	6.63	0.56	0.74	0.77	31	85	46	0.014	0.588
	40%	6.63	0.58	0.78	0.82	54	110	67	0.024	1.117
	60%	6.63	0.62	0.84	0.87	69	125	88	0.031	1.529
	80%	6.63	0.67	0.9	0.92	84	145	108	0.04	2
	100%	6.63	0.72	0.99	0.99	102	175	130	0.048	2.412
5%	20%	7.36	0.52	0.75	0.79	35	95	44	0.015	0.588
	40%	7.36	0.54	0.8	0.85	48	115	66	0.023	1.117
	60%	7.36	0.57	0.86	0.89	62	135	87	0.031	1.529
	80%	7.36	0.62	0.94	0.96	78	160	110	0.041	2
	100%	7.36	0.7	1.03	1	101	185	129	0.05	2.412

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 : สภาวะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 2 เฟส (2Ø - Under Voltage)

PVUR (%)	Load (%)	VUF (%)	I (A)			P (W)			Slip (p.u.)	Torque (N-m)
			Ia	Ib	Ic	Pa	Pb	Pc		
1%	20%	3.06	0.7	0.68	0.73	52	55	59	0.013	0.588
	40%	3.06	0.74	0.71	0.76	70	75	80	0.021	1.117
	60%	3.06	0.78	0.74	0.81	86	95	99	0.027	1.529
	80%	3.06	0.83	0.8	0.87	106	115	120	0.035	2
	100%	3.06	0.89	0.86	0.94	126	135	142	0.044	2.412
2%	20%	3.02	0.7	0.64	0.78	49	65	75	0.017	0.588
	40%	3.44	0.76	0.69	0.85	76	95	110	0.028	1.117
	60%	3.44	0.85	0.79	0.96	107	125	144	0.043	1.529
	80%	3.87	0.93	0.86	1.05	132	150	170	0.056	2
	100%	4.16	1	0.95	1.12	146	160	186	0.065	2.412
3%	20%	4.72	0.67	0.61	0.8	39	65	76	0.016	0.588
	40%	4.72	0.72	0.67	0.89	64	95	112	0.029	1.117
	60%	4.85	0.79	0.75	0.97	88	120	140	0.041	1.529
	80%	5.14	0.87	0.83	1.06	110	140	166	0.053	2
	100%	5.14	0.93	0.91	1.14	130	160	189	0.064	2.412
4%	20%	6.3	0.64	0.58	0.82	30	65	80	0.017	0.588
	40%	6.3	0.7	0.64	0.93	56	95	121	0.029	1.117
	60%	6.3	0.79	0.74	1.03	82	125	152	0.046	1.529
	80%	6.3	0.84	0.81	1.11	100	135	174	0.057	2
	100%	6.43	0.91	0.89	1.19	120	160	196	0.067	2.412
5%	20%	6.19	0.63	0.56	0.85	25	70	84	0.017	0.588
	40%	6.19	0.69	0.63	0.95	48	95	123	0.031	1.117
	60%	6.19	0.76	0.7	1.04	71	115	155	0.044	1.529
	80%	6.19	0.82	0.79	1.13	91	135	180	0.054	2
	100%	6.11	0.89	0.88	1.22	112	155	204	0.065	2.412

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 : สภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 1 เฟส (1Ø - Over Voltage)

PVUR (%)	Load (%)	VUF (%)	I (A)			P (W)			Slip (p.u.)	Torque (N-m)
			Ia	Ib	Ic	Pa	Pb	Pc		
1%	20%	2.26	0.78	0.71	0.69	71	50	64	0.015	0.588
	40%	2.52	0.85	0.75	0.74	99	75	91	0.025	1.117
	60%	2.52	0.92	0.81	0.81	124	102	115	0.035	1.529
	80%	2.52	0.99	0.87	0.88	145	122	136	0.043	2
	100%	2.52	1.04	0.92	0.94	162	135	153	0.051	2.411
2%	20%	1.91	0.32	0.7	0.65	76	45	63	0.012	0.588
	40%	1.91	0.89	0.74	0.7	108	65	88	0.023	1.117
	60%	2.13	0.95	0.8	0.76	130	85	110	0.035	1.529
	80%	2.13	1.03	0.85	0.84	154	110	133	0.044	2
	100%	2.36	1.09	0.9	0.9	176	130	154	0.053	2.411
3%	20%	2.53	0.83	0.69	0.64	102	35	63	0.013	0.588
	40%	3	0.89	0.71	0.68	132	55	88	0.024	1.117
	60%	3.22	0.97	0.76	0.75	156	75	112	0.034	1.529
	80%	3.22	1.04	0.82	0.82	188	105	134	0.045	2
	100%	3.42	1.11	0.87	0.9	194	120	136	0.055	2.411
4%	20%	0.71	0.92	0.7	0.63	86	25	67	0.012	0.588
	40%	1.03	0.96	0.7	0.65	116	45	92	0.024	1.117
	60%	1.73	1.04	0.75	0.72	146	65	114	0.035	1.529
	80%	2.18	1.11	0.8	0.79	170	85	136	0.044	2
	100%	3.05	1.19	0.86	0.88	192	105	155	0.055	2.411
5%	20%	1.88	0.95	0.71	0.61	94	25	71	0.011	0.588
	40%	1.88	1.03	0.74	0.65	128	35	95	0.023	1.117
	60%	1.66	1.11	0.78	0.71	158	60	117	0.034	1.529
	80%	1.18	1.18	0.82	0.78	184	80	136	0.041	2
	100%	1.18	1.24	0.86	0.85	202	100	154	0.049	2.411

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 : สภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 2 เฟส (2Ø - Over Voltage)

PVUR (%)	Load (%)	VUF (%)	I (A)			P (W)			Slip (p.u.)	Torque (N-m)
			Ia	Ib	Ic	Pa	Pb	Pc		
1%	20%	2.3	0.76	0.76	0.67	72	50	50	0.013	0.588
	40%	2.5	0.81	0.79	0.71	96	80	75	0.023	1.117
	60%	2.5	0.88	0.85	0.77	120	105	97	0.033	1.529
	80%	2.5	0.94	0.9	0.82	140	125	116	0.039	2
	100%	2.5	1	0.96	0.88	158	140	132	0.047	2.411
2%	20%	2.65	0.77	0.8	0.65	78	55	43	0.014	0.588
	40%	3.17	0.81	0.84	0.67	103	85	64	0.023	1.117
	60%	3.86	0.87	0.88	0.72	124	105	85	0.032	1.529
	80%	3.86	0.92	0.93	0.77	144	125	103	0.039	2
	100%	3.86	1	0.99	0.83	164	150	122	0.051	2.411
3%	20%	3	0.79	0.83	0.62	86	60	40	0.013	0.588
	40%	3.27	0.84	0.87	0.64	112	80	60	0.022	1.117
	60%	3.34	0.9	0.91	0.68	134	100	78	0.031	1.529
	80%	3.34	0.97	0.96	0.73	158	125	98	0.041	2
	100%	3.34	1.05	1.03	0.79	180	150	118	0.051	2.411
4%	20%	2.94	0.84	0.89	0.61	98	60	37	0.013	0.588
	40%	2.94	0.88	0.93	0.63	124	90	56	0.023	1.117
	60%	2.84	0.95	0.97	0.67	150	110	76	0.032	1.529
	80%	2.84	1.01	1.02	0.72	172	140	96	0.043	2
	100%	2.84	1.09	1.07	0.77	192	155	114	0.053	2.411
5%	20%	3.94	0.85	0.92	0.58	106	60	32	0.014	0.588
	40%	3.94	0.92	0.96	0.58	138	80	50	0.025	1.117
	60%	3.94	0.99	1.01	0.61	164	110	68	0.033	1.529
	80%	3.94	1.07	1.07	0.66	190	130	88	0.043	2
	100%	3.94	1.14	1.11	0.71	212	150	106	0.051	2.411

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบกลุ่มของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะที่

แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลขณะขับภาระทางกล

สถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 1 เฟส (1Ø - Under Voltage)

ตารางที่ 1 : ตารางค่ากระแสไฟฟ้า

PVUR (%)	LOAD (%)	I total (A)			I <sub>1</sub> +I <sub>2</sub> (A)			I <sub>1</sub> (A)			I <sub>2</sub> (A)		
		Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic
1%	20%	1.3	1.3	1.4	1.42	1.48	1.47	0.69	0.77	0.74	0.73	0.71	0.73
	40%	1.4	1.4	1.5	1.56	1.62	1.62	0.75	0.84	0.81	0.81	0.78	0.81
	60%	1.6	1.6	1.7	1.74	1.79	1.8	0.84	0.92	0.9	0.9	0.87	0.9
	80%	1.8	1.8	1.9	1.95	2	2	0.93	1.02	0.99	1.02	0.98	1.01
	100%	2	2	2.1	2.19	2.23	2.22	1.05	1.13	1.09	1.14	1.1	1.13
2%	20%	1.2	1.3	1.4	1.35	1.49	1.48	0.66	0.77	0.75	0.69	0.72	0.73
	40%	1.3	1.4	1.5	1.48	1.63	1.62	0.72	0.84	0.81	0.76	0.79	0.81
	60%	1.5	1.6	1.7	1.67	1.81	1.8	0.8	0.92	0.9	0.87	0.89	0.9
	80%	1.7	1.8	1.9	1.88	2.02	2	0.9	1.02	0.99	0.98	1	1.01
	100%	2	2	2.1	2.12	2.26	2.24	1.01	1.13	1.1	1.11	1.13	1.14
3%	20%	1.2	1.3	1.4	1.31	1.5	1.5	0.63	0.77	0.76	0.68	0.73	0.74
	40%	1.3	1.4	1.5	1.42	1.64	1.64	0.68	0.84	0.83	0.74	0.8	0.81
	60%	1.5	1.6	1.7	1.61	1.83	1.82	0.77	0.93	0.91	0.84	0.9	0.91
	80%	1.7	1.8	1.9	1.82	2.04	2.03	0.87	1.03	1.01	0.95	1.01	1.02
	100%	1.9	2.1	2.2	2.06	2.29	2.26	0.98	1.15	1.11	1.08	1.14	1.15
4%	20%	1.1	1.3	1.4	1.25	1.5	1.53	0.6	0.77	0.77	0.65	0.73	0.76
	40%	1.3	1.5	1.6	1.37	1.65	1.67	0.65	0.84	0.84	0.72	0.81	0.83
	60%	1.4	1.6	1.7	1.55	1.85	1.85	0.74	0.94	0.92	0.81	0.91	0.93
	80%	1.6	1.9	1.9	1.76	2.06	2.04	0.83	1.03	1	0.93	1.03	1.04
	100%	1.9	2.1	2.2	1.99	2.31	2.27	0.94	1.15	1.1	1.05	1.16	1.17
5%	20%	1.1	1.3	1.4	1.19	1.51	1.55	0.57	0.78	0.78	0.62	0.73	0.77
	40%	1.2	1.5	1.6	1.32	1.67	1.69	0.63	0.85	0.85	0.69	0.82	0.84
	60%	1.4	1.7	1.8	1.49	1.86	1.86	0.71	0.95	0.92	0.78	0.91	0.94
	80%	1.6	1.9	2	1.7	2.08	2.06	0.8	1.04	1.01	0.9	1.04	1.05
	100%	1.8	2.1	2.2	1.95	2.32	2.3	0.91	1.16	1.12	1.04	1.16	1.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 : ตารางค่ากำลังไฟฟ้า

PVUR (%)	Load (%)	P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub> (W)			P <sub>1</sub> (W)			P <sub>2</sub> (W)		
		Pa	Pb	Pc	Pa	Pb	Pc	Pa	Pb	Pc
1%	20%	134	135	126	64	75	58	70	60	68
	40%	193	198	189	93	108	89	100	90	100
	60%	257	258	258	123	138	124	134	120	134
	80%	315	318	317	149	168	151	166	150	166
	100%	375	377	380	179	197	182	196	180	198
2%	20%	126	139	123	60	79	57	66	60	66
	40%	185	210	186	89	110	88	96	100	98
	60%	240	260	250	114	140	120	126	120	130
	80%	302	329	312	142	169	150	160	160	162
	100%	363	390	376	171	200	180	192	190	196
3%	20%	126	153	119	56	83	57	70	70	62
	40%	182	215	184	82	115	88	100	100	96
	60%	240	274	247	110	144	119	130	130	128
	80%	297	334	311	137	174	151	160	160	160
	100%	366	404	374	166	204	180	200	200	194
4%	20%	122	156	117	52	86	55	70	70	62
	40%	137	228	183	77	118	87	110	110	96
	60%	245	289	246	105	149	118	140	140	128
	80%	299	345	306	129	175	144	170	170	162
	100%	357	405	370	157	205	174	200	200	196
5%	20%	105	171	115	49	91	53	56	80	62
	40%	158	233	181	74	123	85	84	110	96
	60%	214	292	242	100	152	114	114	140	128
	80%	268	360	307	124	180	145	144	180	162
	100%	328	420	373	152	210	175	176	210	198

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 : ตารางค่า VUF ค่าสลลิปและค่าแรงบิด

PVUR (%)	Load (%)	VUF (%)		Slip (p.u.)		Torque (N-m)	
		VUF <sub>1</sub>	VUF <sub>2</sub>	Slip <sub>1</sub>	Slip <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
1%	20%	0.61	0.25	0.015	0.017	0.588	0.47
	40%	0.61	0.25	0.03	0.033	0.882	0.823
	60%	0.88	0.25	0.043	0.046	1.294	1.058
	80%	1.13	0.25	0.056	0.061	1.646	1.411
	100%	1.13	0.25	0.069	0.077	2	1.764
2%	20%	0.94	0.42	0.017	0.019	0.529	0.529
	40%	1.2	0.42	0.03	0.033	0.882	0.882
	60%	1.2	0.42	0.045	0.048	1.235	1.117
	80%	1.2	0.42	0.056	0.061	1.646	1.411
	100%	1.73	0.42	0.07	0.078	2	1.646
3%	20%	1.83	1.02	0.017	0.018	0.529	0.529
	40%	2.37	1.02	0.031	0.033	0.882	0.823
	60%	2.37	1.02	0.045	0.047	1.235	1.117
	80%	2.64	1.02	0.058	0.063	1.646	1.411
	100%	3.16	1.02	0.075	0.079	2	1.646
4%	20%	2.49	1.37	0.02	0.02	0.529	0.47
	40%	2.49	1.37	0.031	0.034	0.882	0.823
	60%	2.49	1.37	0.045	0.048	1.235	1.117
	80%	2.49	1.37	0.059	0.063	1.646	1.411
	100%	2.49	1.37	0.073	0.079	1.94	1.646
5%	20%	2.89	1.48	0.019	0.019	0.529	0.47
	40%	3.18	1.48	0.031	0.033	0.941	0.823
	60%	3.41	1.48	0.045	0.048	1.235	1.117
	80%	3.41	1.48	0.056	0.065	1.646	1.411
	100%	3.41	1.48	0.072	0.081	1.94	1.646

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 2 เฟส (2Ø - Under Voltage)

### ตารางที่ 1 : ตารางค่ากระแสไฟฟ้า

PVUR (%)	LOAD (%)	I total (A)			I <sub>1</sub> +I <sub>2</sub> (A)			I <sub>1</sub> (A)			I <sub>2</sub> (A)		
		Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic
1%	20%	1.3	1.3	1.4	1.41	1.44	1.45	0.68	0.74	0.73	0.73	0.7	0.72
	40%	1.4	1.4	1.5	1.56	1.56	1.59	0.75	0.8	0.79	0.81	0.76	0.8
	60%	1.6	1.5	1.7	1.74	1.74	1.77	0.84	0.89	0.88	0.9	0.85	0.89
	80%	1.8	1.7	1.9	1.96	1.95	2	0.94	0.99	0.98	1.02	0.96	1.02
	100%	2	2	2.1	2.18	2.18	2.21	1.03	1.09	1.07	1.15	1.09	1.14
2%	20%	1.3	1.2	1.4	1.39	1.38	1.47	0.67	0.71	0.74	0.72	0.67	0.73
	40%	1.4	1.3	1.5	1.54	1.53	1.62	0.74	0.78	0.81	0.8	0.75	0.81
	60%	1.6	1.5	1.7	1.71	1.7	1.82	0.82	0.86	0.9	0.89	0.84	0.92
	80%	1.8	1.7	1.9	1.92	1.92	2.02	0.91	0.97	0.99	1.01	0.95	1.03
	100%	2	1.9	2.2	2.15	2.15	2.26	1.02	1.07	1.09	1.13	1.08	1.17
3%	20%	1.2	1.1	1.4	1.37	1.34	1.49	0.66	0.69	0.75	0.71	0.65	0.74
	40%	1.4	1.3	1.6	1.5	1.48	1.64	0.72	0.76	0.82	0.78	0.72	0.82
	60%	1.5	1.5	1.8	1.67	1.68	1.85	0.8	0.86	0.91	0.87	0.82	0.94
	80%	1.8	1.7	2	1.89	1.89	2.07	0.9	0.96	1.01	0.99	0.93	1.06
	100%	2	1.9	2.2	2.14	2.12	2.32	1.01	1.06	1.13	1.13	1.06	1.19
4%	20%	1.2	1.1	1.4	1.33	1.3	1.51	0.64	0.67	0.76	0.69	0.63	0.75
	40%	1.3	1.3	1.6	1.46	1.44	1.68	0.7	0.74	0.84	0.76	0.7	0.84
	60%	1.5	1.4	1.8	1.64	1.63	1.89	0.78	0.83	0.93	0.86	0.8	0.96
	80%	1.7	1.7	2.1	1.86	1.86	2.13	0.88	0.94	1.04	0.98	0.92	1.09
	100%	2	1.9	2.3	2.18	2.09	2.4	1.07	1.03	1.17	1.11	1.06	1.23
5%	20%	1.2	1.1	1.5	1.38	1.23	1.52	0.7	0.62	0.8	0.68	0.61	0.72
	40%	1.3	1.2	1.6	1.51	1.37	1.75	0.76	0.69	0.89	0.75	0.68	0.86
	60%	1.5	1.4	1.9	1.7	1.57	1.98	0.85	0.78	1	0.85	0.79	0.98
	80%	1.7	1.6	2.2	1.92	1.82	2.21	0.95	0.9	1.1	0.97	0.92	1.11
	100%	1.9	2	2.4	2.17	2.18	2.5	1.07	1.02	1.25	1.1	1.16	1.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 : ตารางค่ากำลังไฟฟ้า

PVUR (%)	Load (%)	P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub> (W)			P <sub>1</sub> (W)			P <sub>2</sub> (W)		
		Pa	Pb	Pc	Pa	Pb	Pc	Pa	Pb	Pc
1%	20%	132	132	131	62	72	61	70	60	70
	40%	193	191	195	93	101	93	100	90	102
	60%	252	251	259	120	131	123	132	120	136
	80%	312	309	322	150	159	154	162	150	168
	100%	371	368	378	175	188	178	196	180	200
2%	20%	123	121	136	57	71	64	66	50	72
	40%	181	190	201	85	100	95	96	90	106
	60%	240	249	265	114	129	127	126	120	138
	80%	302	308	326	142	158	156	160	150	170
	100%	362	364	387	168	184	183	194	180	204
3%	20%	113	122	142	53	72	66	60	50	76
	40%	171	191	206	81	101	98	90	90	108
	60%	229	251	271	109	131	129	120	120	142
	80%	293	308	336	137	158	160	156	150	176
	100%	354	365	400	164	185	190	190	180	210
4%	20%	104	123	147	48	73	69	56	50	78
	40%	158	191	214	74	101	102	84	90	112
	60%	219	250	280	103	130	134	116	120	146
	80%	278	306	345	130	156	165	148	150	180
	100%	354	350	414	172	170	200	182	180	214
5%	20%	98	105	161	48	55	81	50	50	80
	40%	156	175	232	76	85	116	80	90	116
	60%	218	230	298	106	110	148	112	120	150
	80%	280	290	364	136	140	180	144	150	184
	100%	344	345	430	164	165	210	180	180	220

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 : ตารางค่า VUF ค่าสลลิปและค่าแรงบิด

PVUR (%)	Load (%)	VUF (%)		Slip (p.u.)		Torque (N-m)	
		VUF <sub>1</sub>	VUF <sub>2</sub>	Slip <sub>1</sub>	Slip <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
1%	20%	0.73	0.63	0.019	0.019	0.588	0.529
	40%	0.73	0.63	0.031	0.033	0.941	0.823
	60%	0.93	0.63	0.045	0.047	1.352	1.117
	80%	0.93	0.63	0.062	0.062	1.764	1.352
	100%	0.93	0.63	0.073	0.077	2.117	1.646
2%	20%	1	0.77	0.018	0.018	0.588	0.588
	40%	1	0.77	0.032	0.033	0.941	1.058
	60%	1.03	0.77	0.047	0.047	1.352	1.529
	80%	1.03	0.77	0.058	0.063	1.705	1.94
	100%	1.49	0.68	0.074	0.081	2.117	2.234
3%	20%	1.35	1.25	0.019	0.018	0.588	0.588
	40%	1.35	1.25	0.032	0.033	0.941	1.011
	60%	1.35	1.25	0.046	0.047	1.352	1.47
	80%	1.35	1.25	0.06	0.064	1.705	1.823
	100%	1.42	1.35	0.075	0.083	2.117	2.117
4%	20%	2.02	1.75	0.017	0.022	0.588	0.576
	40%	2.02	1.75	0.032	0.035	0.941	1
	60%	2.02	1.75	0.046	0.049	1.352	1.47
	80%	2.02	1.75	0.059	0.067	1.793	1.823
	100%	2.02	1.75	0.073	0.086	2.176	2.117
5%	20%	2.59	2.08	0.017	0.019	0.588	0.529
	40%	2.59	2.08	0.03	0.034	0.941	1.058
	60%	2.75	2.08	0.043	0.05	1.352	1.411
	80%	2.73	2.21	0.056	0.067	1.823	1.764
	100%	3.01	2.21	0.071	0.087	2.176	2.058

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 1 เฟส (1Ø - Over Voltage)

ตารางที่ 1 : ตารางค่ากระแสไฟฟ้า

F.VUR (%)	LOAD (%)	I total (A)			I <sub>1</sub> +I <sub>2</sub> (A)			I <sub>1</sub> (A)			I <sub>2</sub> (A)		
		Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic
1%	20%	1.4	1.3	1.3	1.59	1.48	1.42	0.8	0.75	0.72	0.79	0.73	0.7
	40%	1.5	1.4	1.5	1.73	1.6	1.55	0.87	0.81	0.78	0.86	0.79	0.77
	60%	1.7	1.6	1.6	1.92	1.75	1.75	0.97	0.88	0.88	0.95	0.87	0.87
	80%	1.9	1.8	1.8	2.13	1.95	1.96	1.07	0.98	0.98	1.06	0.97	0.98
	100%	2.1	2	2.1	2.37	2.16	2.18	1.18	1.07	1.08	1.19	1.09	1.1
2%	20%	1.4	1.3	1.3	1.64	1.49	1.39	0.83	0.75	0.7	0.81	0.74	0.69
	40%	1.6	1.4	1.4	1.79	1.61	1.52	0.9	0.81	0.76	0.89	0.8	0.76
	60%	1.7	1.6	1.6	1.96	1.74	1.69	0.98	0.87	0.84	0.98	0.87	0.85
	80%	1.9	1.7	1.8	2.17	1.93	1.9	1.08	0.96	0.94	1.09	0.97	0.96
	100%	2.2	1.9	2	2.4	2.13	2.13	1.19	1.05	1.05	1.21	1.08	1.08
3%	20%	1.5	1.3	1.3	1.71	1.49	1.38	0.86	0.75	0.69	0.85	0.74	0.69
	40%	1.7	1.4	1.4	1.86	1.6	1.51	0.93	0.8	0.75	0.93	0.8	0.76
	60%	1.8	1.6	1.6	2.04	1.73	1.68	1.02	0.86	0.83	1.02	0.87	0.85
	80%	2	1.7	1.8	2.24	1.9	1.89	1.11	0.94	0.93	1.13	0.96	0.96
	100%	2.2	1.9	2	2.46	2.1	2.12	1.21	1.03	1.04	1.25	1.07	1.08
4%	20%	1.6	1.4	1.3	1.76	1.51	1.36	0.89	0.76	0.68	0.87	0.75	0.68
	40%	1.7	1.4	1.4	1.91	1.6	1.48	0.96	0.8	0.74	0.95	0.8	0.74
	60%	1.9	1.6	1.5	2.09	1.73	1.65	1.04	0.86	0.82	1.05	0.87	0.83
	80%	2.1	1.7	1.7	2.28	1.9	1.86	1.13	0.94	0.92	1.15	0.96	0.94
	100%	2.3	1.9	2	2.5	2.09	2.08	1.23	1.03	1.02	1.27	1.06	1.06
5%	20%	1.6	1.4	1.3	1.81	1.51	1.35	0.91	0.76	0.68	0.9	0.75	0.67
	40%	1.8	1.4	1.4	1.97	1.61	1.44	0.98	0.81	0.72	0.99	0.8	0.72
	60%	2	1.6	1.5	2.15	1.73	1.62	1.07	0.86	0.8	1.08	0.87	0.82
	80%	2.1	1.7	1.7	2.34	1.89	1.84	1.16	0.94	0.91	1.18	0.95	0.93
	100%	2.4	1.9	1.9	2.56	2.08	2.06	1.26	1.02	1.01	1.3	1.06	1.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 : ตารางค่ากำลังไฟฟ้า

PVUR (%)	Load (%)	P <sub>1</sub> + P <sub>2</sub> (W)			P <sub>1</sub> (W)			P <sub>2</sub> (W)		
		Pa	Pb	Pc	Pa	Pb	Pc	Pa	Pb	Pc
1%	20%	162	100	138	82	50	70	80	50	68
	40%	224	160	200	114	80	100	110	80	100
	60%	290	220	262	146	110	130	144	110	132
	80%	352	290	322	176	140	160	176	150	162
	100%	412	350	384	204	170	190	208	180	194
2%	20%	170	100	138	86	50	70	84	50	68
	40%	234	150	198	118	70	98	116	80	100
	60%	298	220	258	148	110	128	150	110	130
	80%	358	270	316	178	130	156	180	140	160
	100%	420	335	376	206	160	184	214	175	192
3%	20%	180	90	144	90	40	72	90	50	72
	40%	248	140	204	124	70	102	124	70	102
	60%	308	200	260	152	100	128	156	100	132
	80%	370	270	320	182	130	156	188	140	164
	100%	434	320	378	212	150	184	222	170	194
4%	20%	190	80	144	94	40	72	96	40	72
	40%	258	140	200	128	70	100	130	70	100
	60%	320	190	258	158	90	128	162	100	130
	80%	384	250	316	188	120	156	196	130	160
	100%	444	320	374	216	150	182	228	170	192
5%	20%	196	75	148	98	40	74	98	35	74
	40%	266	120	202	132	60	100	134	60	102
	60%	332	190	260	164	90	128	168	100	132
	80%	394	245	316	192	120	154	202	125	162
	100%	456	310	374	224	150	182	232	160	192

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 : ตารางค่า VUF ค่าสลลิปและค่าแรงบิด

PVUR (%)	Load (%)	VUF (%)		Slip (p.u.)		Torque (N-m)	
		VUF <sub>1</sub>	VUF <sub>2</sub>	Slip <sub>1</sub>	Slip <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
1%	20%	1.11	1.07	0.017	0.019	0.588	0.588
	40%	0.82	1.07	0.032	0.031	1.029	1.058
	60%	0.82	1.07	0.045	0.045	1.47	1.411
	80%	0.82	0.54	0.058	0.059	1.823	1.764
	100%	0.82	0.54	0.07	0.077	2.176	1.94
2%	20%	1.86	1.59	0.018	0.017	0.588	0.47
	40%	1.86	1.59	0.031	0.031	0.941	1
	60%	1.6	1.07	0.043	0.044	1.352	1.352
	80%	1.6	1.07	0.056	0.059	1.705	1.646
	100%	1.6	1.07	0.069	0.073	2.117	1.882
3%	20%	2.13	2.1	0.017	0.018	0.647	0.47
	40%	2.13	2.1	0.03	0.031	0.941	0.882
	60%	2.13	2.1	0.042	0.044	1.323	1.235
	80%	2.13	2.1	0.053	0.058	1.705	1.646
	100%	2.13	2.1	0.067	0.073	2.117	1.882
4%	20%	2.87	2.36	0.017	0.017	0.588	0.47
	40%	2.87	2.36	0.03	0.029	0.941	0.882
	60%	2.87	2.36	0.041	0.042	1.352	1.235
	80%	2.61	2.36	0.053	0.058	1.705	1.646
	100%	2.61	2.13	0.066	0.073	2.117	1.94
5%	20%	3.36	3.36	0.017	0.019	0.588	0.529
	40%	3.36	2.86	0.029	0.031	0.941	0.882
	60%	3.11	2.86	0.041	0.045	1.352	1.294
	80%	3.11	2.86	0.053	0.057	1.705	1.646
	100%	3.11	2.86	0.066	0.073	2.117	1.882

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 2 เฟส (2Ø - Over Voltage)

ตารางที่ 1 : ตารางค่ากระแสไฟฟ้า

PVUR (%)	LOAD (%)	I total (A)			I <sub>1</sub> +I <sub>2</sub> (A)			I <sub>1</sub> (A)			I <sub>2</sub> (A)		
		Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic	Ia	Ib	Ic
1%	20%	1.4	1.4	1.3	1.56	1.52	1.42	0.78	0.76	0.71	0.78	0.76	0.71
	40%	1.5	1.5	1.5	1.7	1.63	1.54	0.85	0.81	0.77	0.85	0.82	0.77
	60%	1.7	1.6	1.6	1.89	1.78	1.7	0.94	0.88	0.84	0.95	0.9	0.86
	80%	1.9	1.8	1.8	2.08	1.98	1.91	1.03	0.97	0.94	1.05	1.01	0.97
	100%	2.1	2	2	2.31	2.18	2.14	1.13	1.06	1.05	1.18	1.12	1.09
2%	20%	1.4	1.4	1.3	1.59	1.59	1.4	0.8	0.8	0.71	0.79	0.79	0.69
	40%	1.5	1.5	1.4	1.73	1.7	1.51	0.87	0.85	0.76	0.86	0.85	0.75
	60%	1.7	1.7	1.6	1.9	1.85	1.67	0.95	0.92	0.83	0.95	0.93	0.84
	80%	1.9	1.9	1.8	2.1	2.01	1.86	1.04	0.99	0.92	1.06	1.02	0.94
	100%	2.1	2.1	2	2.34	2.22	2.08	1.15	1.08	1.02	1.19	1.14	1.06
3%	20%	1.5	1.5	1.4	1.63	1.65	1.38	0.82	0.83	0.69	0.81	0.82	0.69
	40%	1.6	1.6	1.4	1.78	1.77	1.48	0.89	0.88	0.74	0.89	0.89	0.74
	60%	1.8	1.7	1.5	1.95	1.9	1.63	0.97	0.94	0.81	0.98	0.96	0.82
	80%	2	1.9	1.7	2.15	2.08	1.81	1.07	1.03	0.89	1.08	1.05	0.92
	100%	2.2	2.1	1.9	2.38	2.36	2.03	1.17	1.11	0.99	1.21	1.25	1.04
4%	20%	1.5	1.6	1.3	1.68	1.73	1.37	0.85	0.87	0.69	0.83	0.86	0.68
	40%	1.6	1.7	1.4	1.82	1.85	1.46	0.91	0.93	0.73	0.91	0.92	0.73
	60%	1.8	1.8	1.5	1.99	1.97	1.59	0.99	0.98	0.79	1	0.99	0.8
	80%	2	2	1.7	2.19	2.11	1.76	1.08	1.06	0.87	1.11	1.05	0.89
	100%	2.2	2.1	1.9	2.42	2.31	1.97	1.19	1.14	0.96	1.23	1.17	1.01
5%	20%	1.5	1.7	1.3	1.71	1.8	1.36	0.86	0.9	0.69	0.85	0.9	0.67
	40%	1.7	1.8	1.3	1.86	1.91	1.43	0.93	0.95	0.72	0.93	0.96	0.71
	60%	1.8	1.9	1.5	2.03	2.04	1.56	1.01	1.01	0.78	1.02	1.03	0.78
	80%	2	2	1.6	2.22	2.19	1.73	1.1	1.08	0.86	1.12	1.11	0.87
	100%	2.3	2.2	1.8	2.4	2.36	1.92	1.2	1.16	0.94	1.2	1.2	0.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 : ตารางค่ากำลังไฟฟ้า

PVUR (%)	Load (%)	P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub> (W)			P <sub>1</sub> (W)			P <sub>2</sub> (W)		
		Pa	Pb	Pc	Pa	Pb	Pc	Pa	Pb	Pc
1%	20%	160	100	128	80	50	64	80	50	64
	40%	222	170	188	110	80	92	112	90	96
	60%	286	230	248	140	110	122	146	120	126
	80%	344	290	306	168	140	150	176	150	156
	100%	406	350	368	196	170	180	210	180	188
2%	20%	172	100	120	86	50	60	86	50	60
	40%	234	170	178	116	80	88	118	90	90
	60%	294	230	238	144	110	118	150	120	120
	80%	356	290	294	174	140	144	182	150	150
	100%	418	360	354	204	170	172	214	190	182
3%	20%	184	110	116	92	50	58	92	60	58
	40%	250	170	170	124	80	84	126	90	86
	60%	312	240	228	154	120	112	158	120	116
	80%	370	290	286	182	140	138	188	150	148
	100%	450	360	344	230	170	166	220	190	178
4%	20%	200	120	110	100	60	54	100	60	56
	40%	262	180	162	130	90	80	132	90	82
	60%	324	240	216	160	120	106	164	120	110
	80%	384	290	274	188	140	134	196	150	140
	100%	446	370	334	216	180	162	230	190	172
5%	20%	210	120	102	104	60	52	106	60	50
	40%	274	180	152	134	90	76	140	90	76
	60%	336	250	206	164	120	102	172	130	104
	80%	398	310	264	194	150	128	204	160	136
	100%	454	360	320	222	170	156	232	190	164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 : ตารางค่า VUF ค่าสลลิปและค่าแรงบิด

PVUR (%)	Load (%)	VUF (%)		Slip (p.u.)		Torque (N-m)	
		VUF <sub>1</sub>	VUF <sub>2</sub>	Slip <sub>1</sub>	Slip <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>
1%	20%	0.87	1.39	0.017	0.019	0.588	0.529
	40%	0.87	0.66	0.029	0.031	1	0.941
	60%	0.87	0.56	0.041	0.045	1.411	1.352
	80%	0.37	0.56	0.055	0.06	1.823	1.646
	100%	0.37	0.56	0.067	0.074	2.234	1.823
2%	20%	1.29	1.09	0.017	0.018	0.588	0.529
	40%	1.29	1.09	0.029	0.033	0.941	0.882
	60%	1.29	0.9	0.041	0.045	1.411	1.235
	80%	1.29	0.9	0.053	0.059	1.764	1.529
	100%	1.29	0.9	0.067	0.072	2.117	1.764
3%	20%	1.7	2.48	0.017	0.018	0.529	0.529
	40%	1.7	1.9	0.028	0.03	0.941	0.882
	60%	1.7	1.9	0.041	0.041	1.294	1.176
	80%	1.7	1.9	0.051	0.055	1.705	1.529
	100%	1.7	1.9	0.066	0.069	2.117	1.764
4%	20%	2.96	2.87	0.015	0.017	0.529	0.529
	40%	2.96	2.87	0.028	0.029	0.882	0.941
	60%	2.96	2.87	0.038	0.042	1.294	1.235
	80%	2.96	2.87	0.051	0.056	1.705	1.588
	100%	2.96	2.87	0.063	0.069	2.117	1.882
5%	20%	3.15	3.72	0.017	0.016	0.529	0.529
	40%	3.15	3.72	0.025	0.028	0.882	0.941
	60%	3.15	3.43	0.037	0.041	1.294	1.235
	80%	3.06	3.43	0.049	0.053	1.764	1.588
	100%	3.06	3.43	0.061	0.069	2.234	1.882

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปและวิจารณ์โครงการ

#### 5.1 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

##### 5.1.1 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบการทดสอบมอเตอร์ในสภาวะไร้ภาระทางกล

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสภาวะต่าง ๆ ให้มอเตอร์ตัวเดียว สังเกตแวนโวลต์ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าตามเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลที่เพิ่มขึ้น ได้ดังนี้

- สภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส กระแสในเฟสที่แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ (เฟส A) มีค่าลดลง ในขณะที่กระแสในเฟสอื่นมีแวนโวลต์เพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับกำลังไฟฟ้าในเฟส B มีแวนโวลต์เพิ่มขึ้น ในขณะที่กำลังไฟฟ้าในเฟส C มีแวนโวลต์ลดลงเช่นเดียวกับกำลังไฟฟ้าในเฟส A

- สภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส กระแสในเฟส A และ B มีแวนโวลต์ลดลง ในขณะที่กระแสในเฟส C มีแวนโวลต์เพิ่มขึ้น สำหรับกำลังไฟฟ้าในเฟส A มีค่าลดลง แต่กำลังไฟฟ้าในเฟส B และ C มีค่าเพิ่มขึ้น

- สภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 1 เฟส กระแสและกำลังไฟฟ้าในเฟสที่แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ (เฟส A) มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่กระแสในเฟส B มีค่าค่อนข้างคงที่ ส่วนกระแสไฟฟ้าในเฟส C มีแวนโวลต์ลดลง สำหรับกำลังไฟฟ้าในเฟส A และ C มีค่าเพิ่มขึ้นแต่กำลังไฟฟ้าในเฟส B มีค่าลดลง

- สภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 2 เฟส กระแสเข้ามอเตอร์ในเฟสที่แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ (เฟส A และ B) มีแวนโวลต์เพิ่มขึ้น ในขณะที่กระแสในเฟส C มีค่าลดลง สำหรับกำลังไฟฟ้าในเฟส A เพิ่มขึ้น แต่กำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลงในเฟส B และ C

ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าป้อนเข้าในแต่ละเฟสของมอเตอร์ที่นำมาต่อขนานกัน และกระแสกับกำลังไฟฟ้าป้อนเข้ารวมในแต่ละเฟส ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่าง ๆ มีแวนโวลต์เช่นเดียวกับค่ากระแส และกำลังไฟฟ้าจากการทดสอบมอเตอร์ตัวเดียวในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสภาวะเดียวกัน และมีค่าเป็นสองเท่าของค่ากระแส และกำลังไฟฟ้าป้อนเข้าจากการทดสอบมอเตอร์ตัวเดียวเนื่องจาก มอเตอร์ที่นำมาขนานกันนั้นเป็นมอเตอร์ขนาดเดียวกันกับมอเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบกรณีที่ไม่ได้ต่อขนาน

สำหรับค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าป้อนเข้ามอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่าง ๆ ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีองค์ประกอบสมมาตรมีแวนโวลต์เช่นเดียวกับค่าจากการทดสอบจริง แต่มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเนื่องจากค่าพารามิเตอร์ในวงจรสมมูลที่นำมาคำนวณ เช่น ค่า  $R_c$  อาจมีค่า

ไม่คงที่ เนื่องจากขณะทดสอบมอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ แกนเหล็กที่เป็นส่วนประกอบของมอเตอร์เกิดการอิ่มตัว ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่น กับความเข้มสนามแม่เหล็ก หรือ ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดัน และ กระแสสร้างสนามแม่เหล็กไม่เป็นเชิงเส้น

### 5.1.2 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบการทดสอบมอเตอร์ในสภาวะขับภาระทางกล

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสภาวะต่าง ๆ ให้กลุ่มของมอเตอร์ที่ต่อขนานกัน พบว่าค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าในแต่ละเฟสเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์โหลด สำหรับการคำนวณค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าป้อนเข้ามอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่าง ๆ จากวิธีองค์ประกอบสมมาตรมีแนวโน้มเช่นเดียวกับค่าจากการทดสอบ และมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่ากรณีที่ทดสอบในสภาวะไร้อโหลด เนื่องจากกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ส่วนมากไม่ได้เป็นกระแสกระตุ้น ( exciting current ) ดังเช่นการทดสอบในสภาวะไร้อโหลด จึงไม่มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากพารามิเตอร์ในส่วนนี้มากนัก

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน เมื่อต่อมอเตอร์สองตัวขนานกัน และทดสอบมอเตอร์ทีละตัว พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะคล้ายกัน และแตกต่างจากการทดสอบในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุลปกติเพียงเล็กน้อย เนื่องจากมอเตอร์ที่ทำการทดสอบมีขนาดเล็ก ( 1/2 แรงม้า ) และ เปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลยังไม่สูงมากนัก ( 5 เปอร์เซ็นต์ )

ประสิทธิภาพของมอเตอร์มีค่ามากขึ้นเมื่อขับโหลดมากขึ้น โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 65 - 70 เปอร์เซ็นต์ที่ค่าสลิป 0.04 - 0.06 และประสิทธิภาพมอเตอร์ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าใกล้เคียงกับประสิทธิภาพในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุลที่เปอร์เซ็นต์โหลดเดียวกัน

เมื่อพิจารณากราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสที่ไหลในมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 จากการทดสอบมอเตอร์ทีละตัว และจากการขนานมอเตอร์ รวมทั้งกระแสรวมจากการขนานมอเตอร์ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์โหลดต่างๆกันในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่าง ๆ กัน พบว่าค่ากระแสรวมจากการขนานมอเตอร์มีค่าประมาณ 2 เท่าของกระแสของมอเตอร์ที่ต่อขนานกัน เนื่องจากแกน ( core ) ของมอเตอร์ยังอาจทำงานอยู่ในช่วงเชิงเส้นของกราฟ B- H ที่ค่าความไม่สมดุล 1- 5 เปอร์เซ็นต์ที่ได้ทำการทดสอบ และกระแสของมอเตอร์แต่ละตัวในแต่ละเฟสที่ต่อขนานกันมีค่าสูงกว่ากระแสรวมเมื่อทดสอบโดยไม่ต่อขนานที่สภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

## 5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบในการทำโครงการ

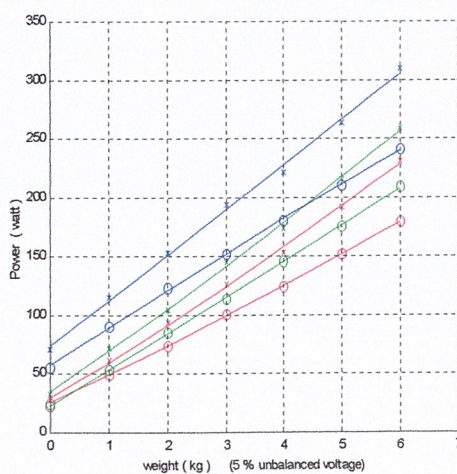
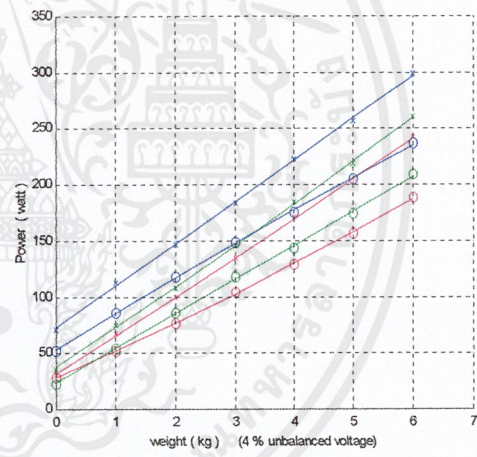
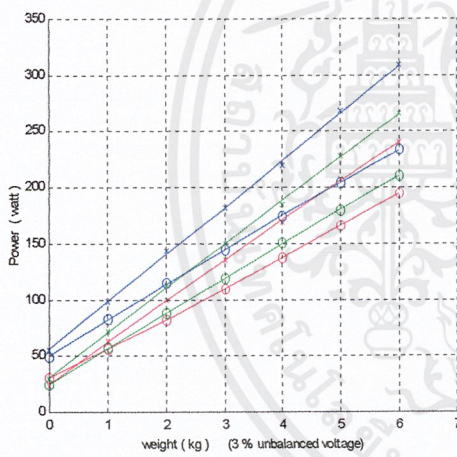
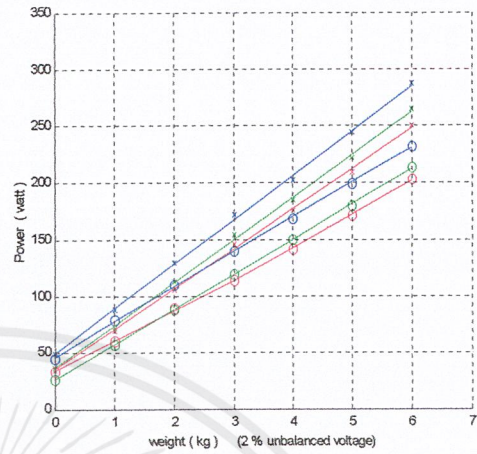
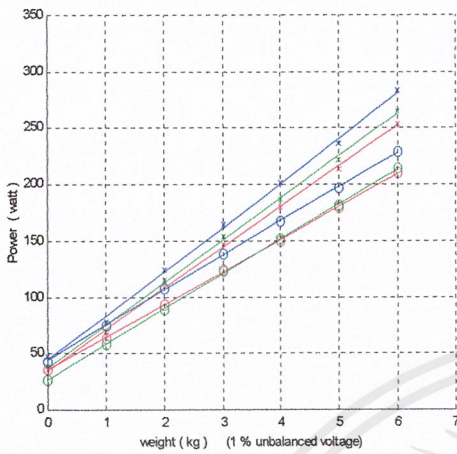
- 1) ปัญหาจากผู้ทำการทดสอบ ได้แก่ ความเที่ยงตรงในการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าในแต่ละครั้ง
- 2) ปัญหาจากอุปกรณ์ในการทดสอบ ได้แก่ อุปกรณ์ในการทดสอบและเครื่องมือวัดที่ชำรุดอยู่ก่อนส่ง ผลให้ผลการทดสอบผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนได้
- 3) ปัญหาจากเครื่องมือวัด ได้แก่ Range ของเครื่องมือวัดที่หยابเกินไปและความแม่นยำของเครื่องมือวัด





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

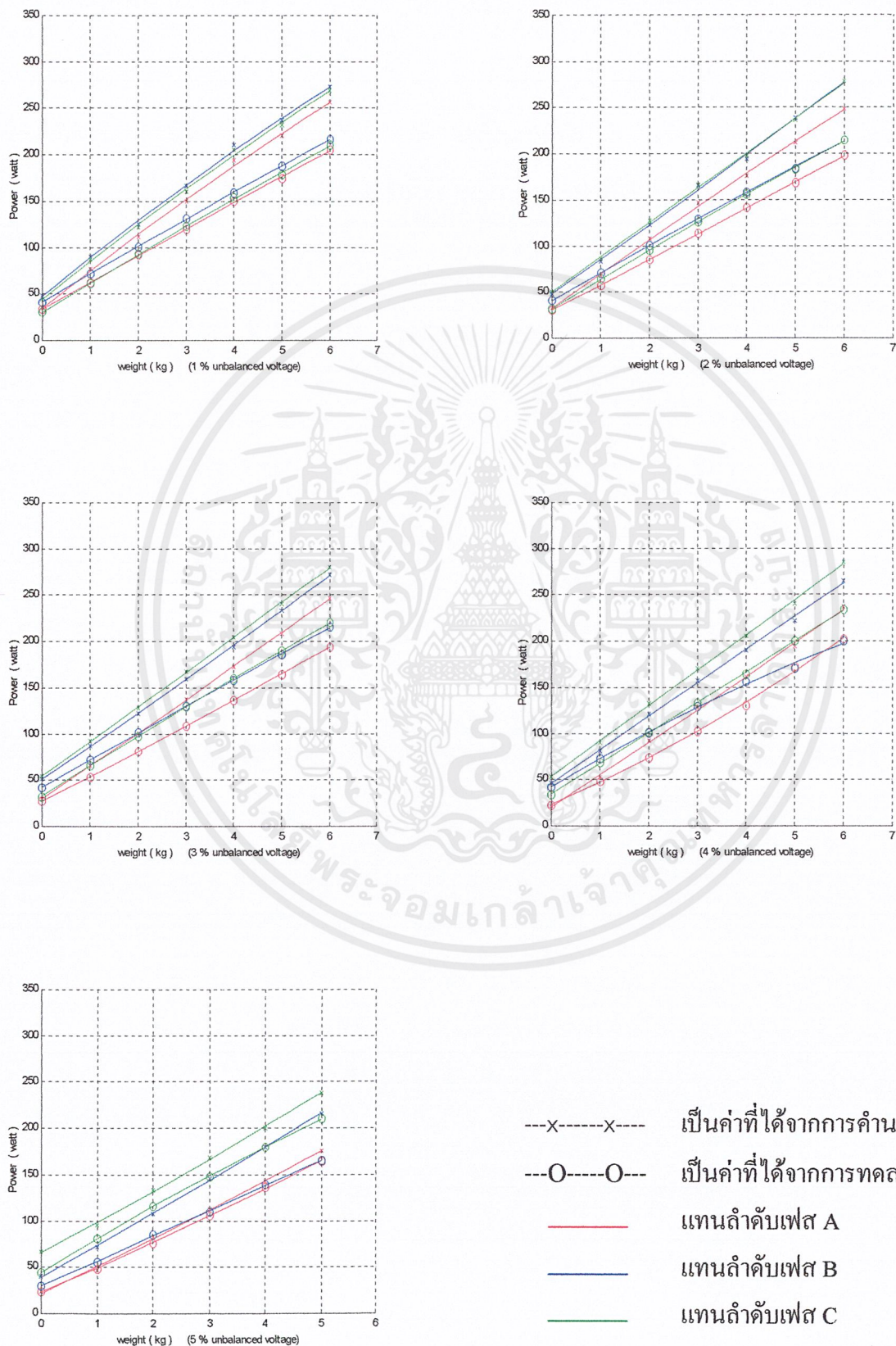
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์และจากการคำนวณ ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 1 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — แทนลำดับเฟส A
- — — แทนลำดับเฟส B
- — — แทนลำดับเฟส C

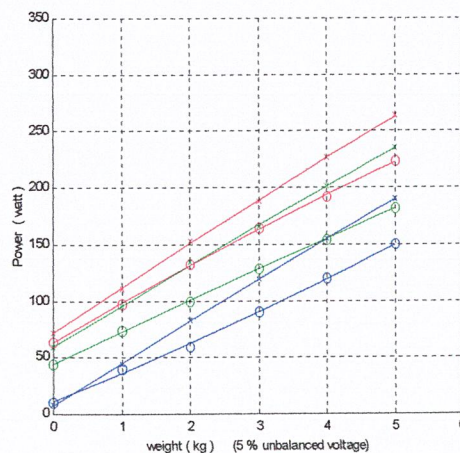
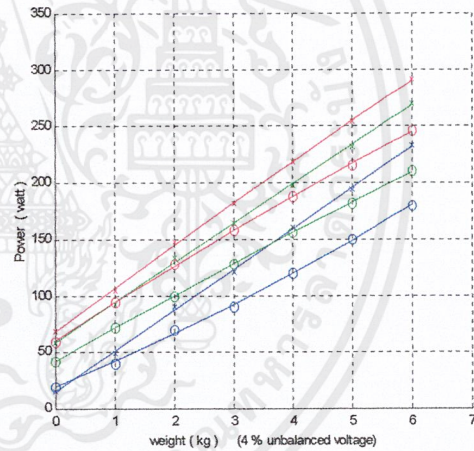
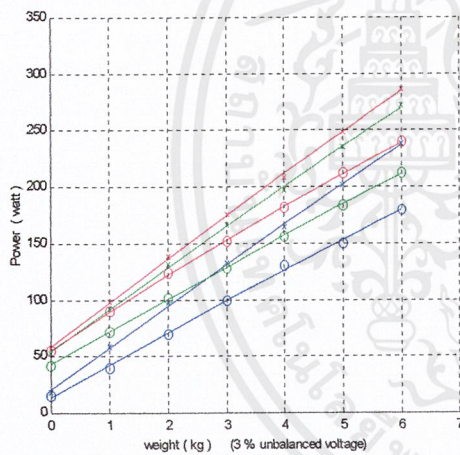
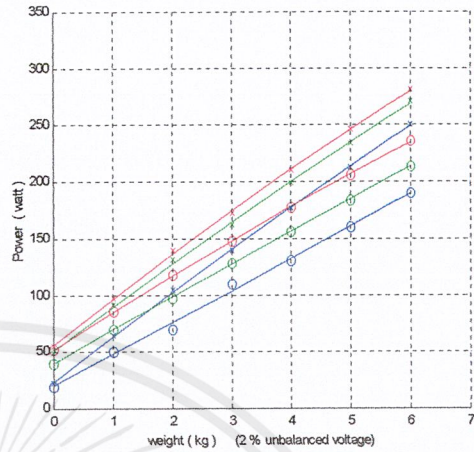
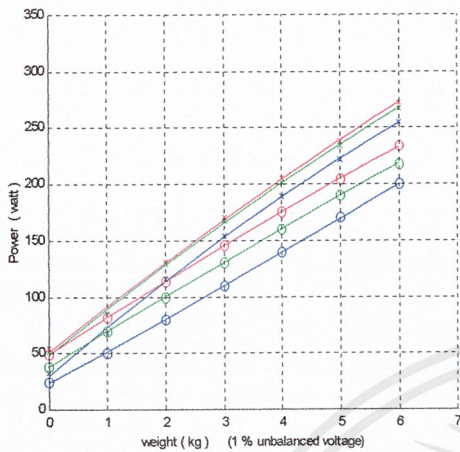
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์และจากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

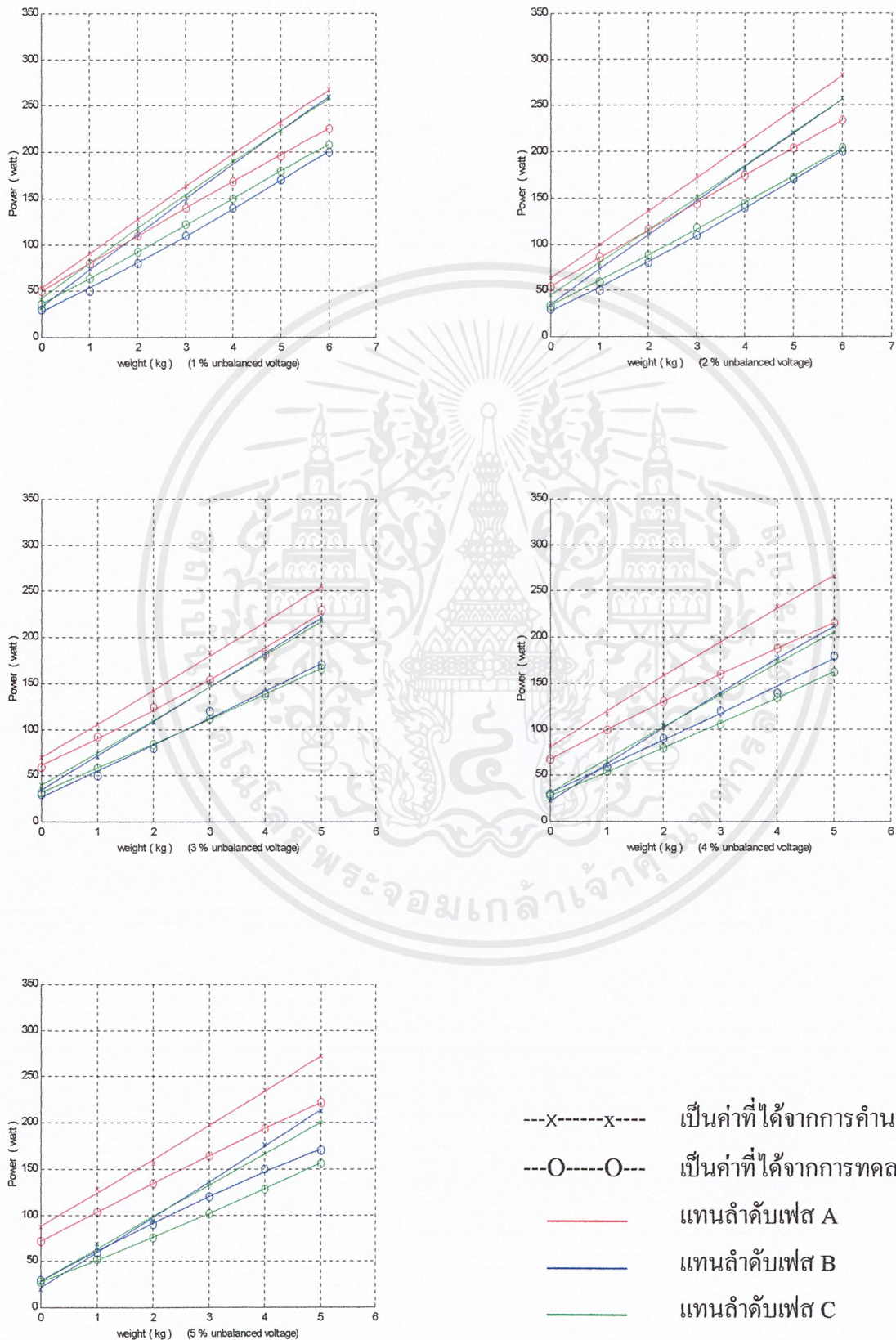
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์ และจากการคำนวณ ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 1 เฟส



---x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ  
 ---o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง  
 --- เป็นค่าระดับเฟส A  
 --- เป็นค่าระดับเฟส B  
 --- เป็นค่าระดับเฟส C

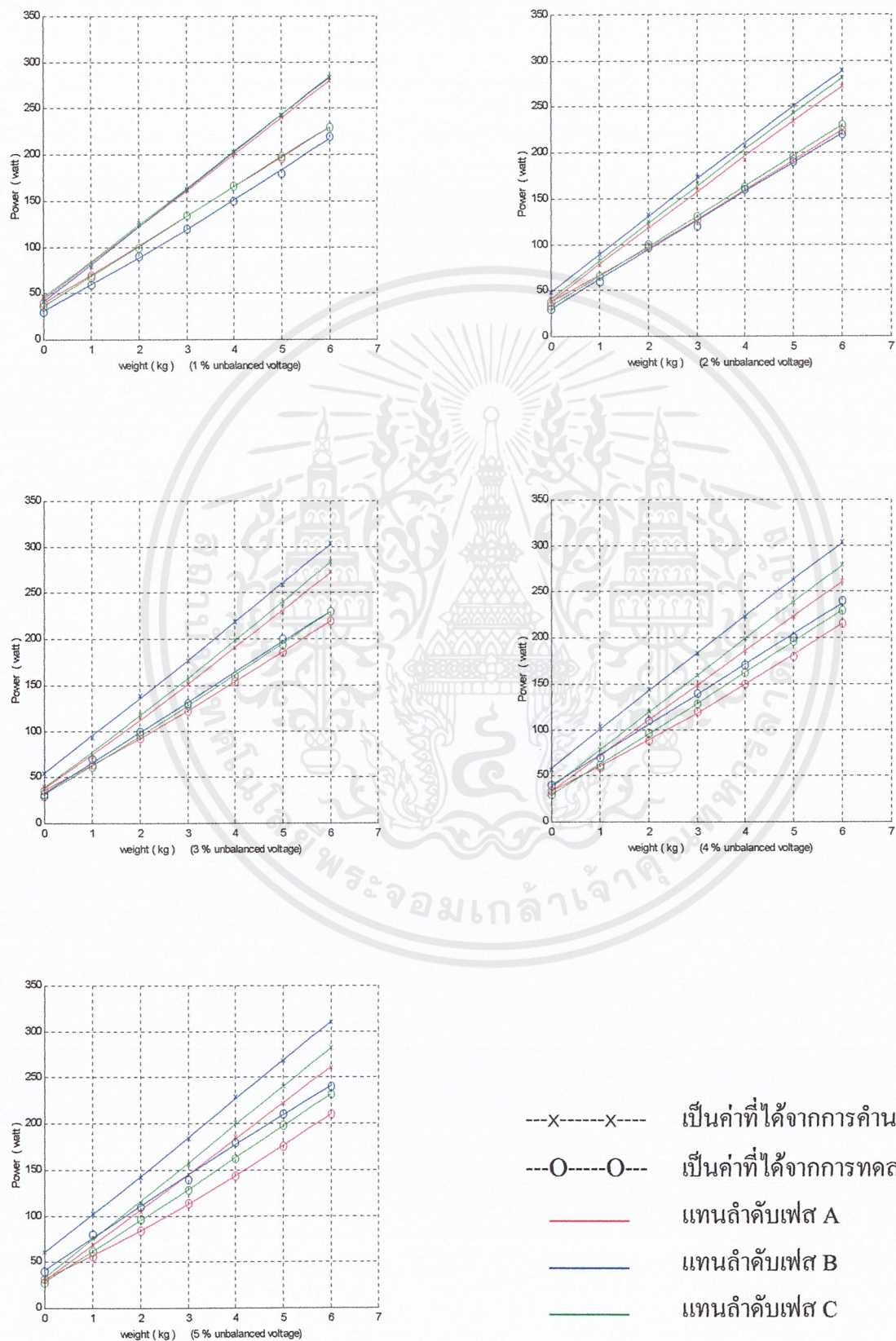
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์และจากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 2 เฟส



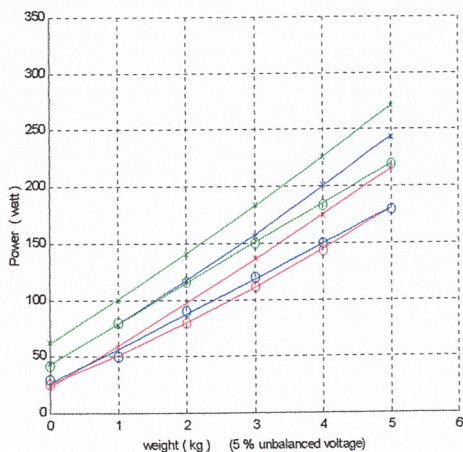
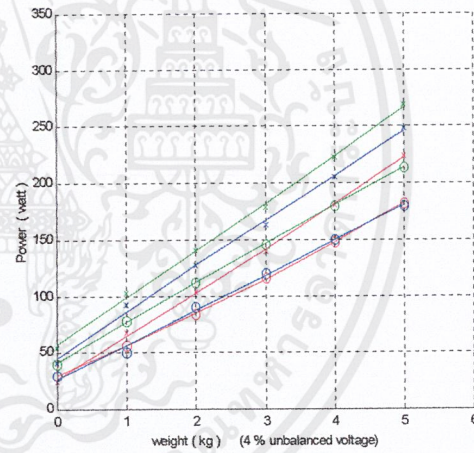
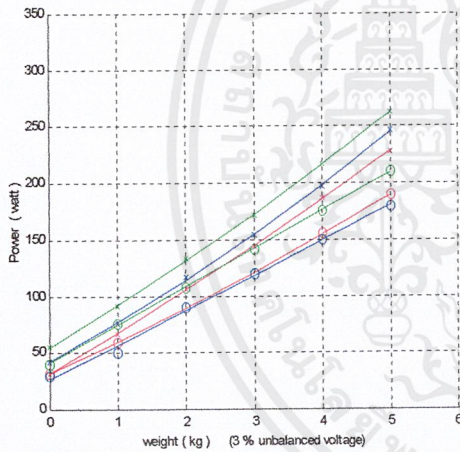
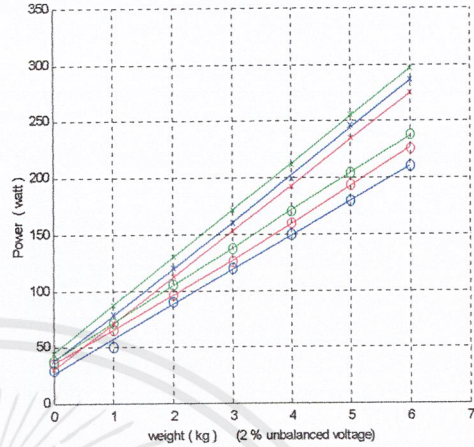
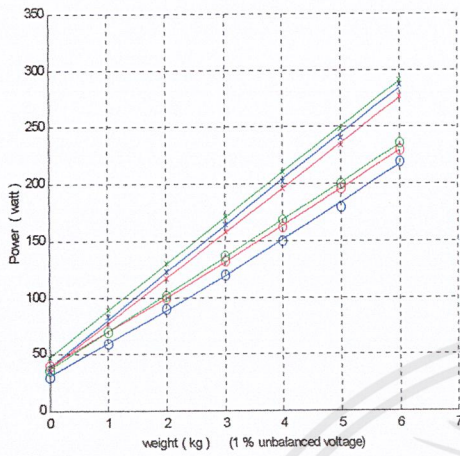
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 2 จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์และจากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 1 เฟส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

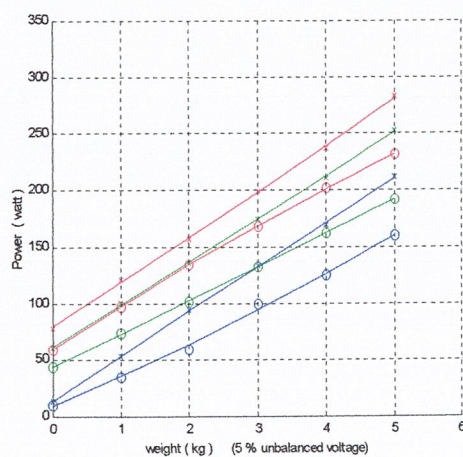
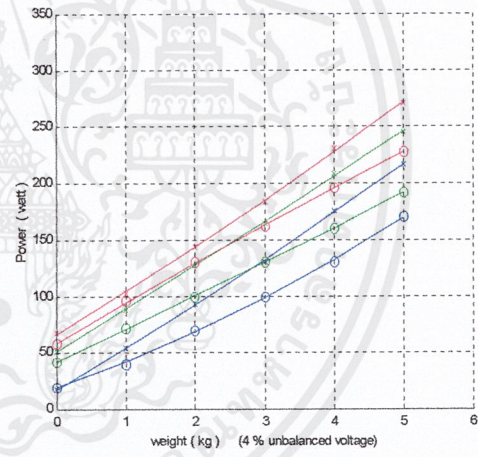
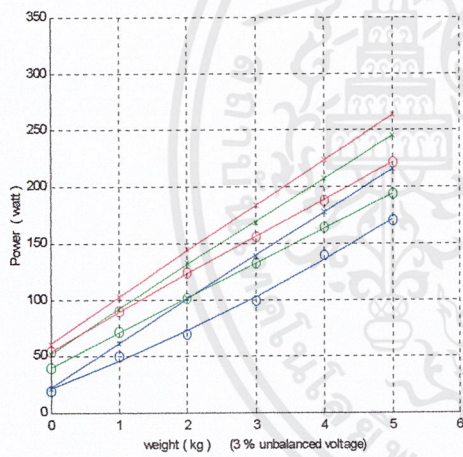
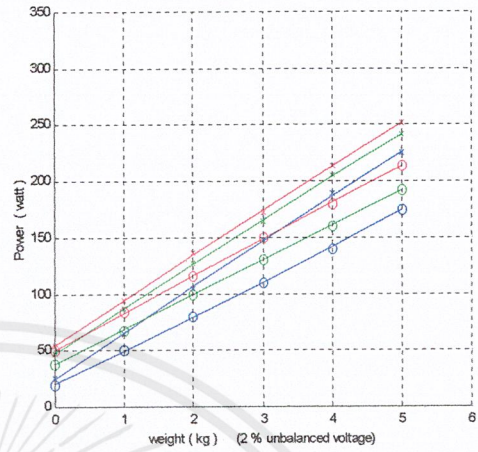
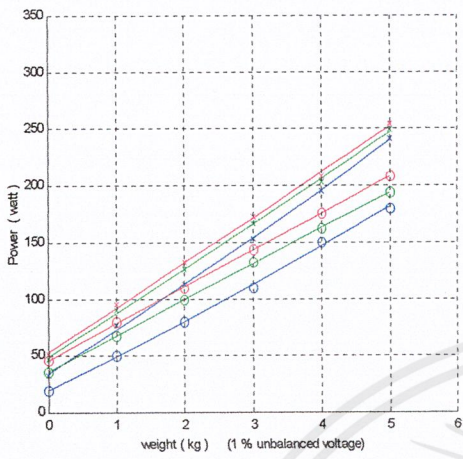
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 2 จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์และจากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — — — แทนลำดับเฟส A
- — — — — แทนลำดับเฟส B
- — — — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

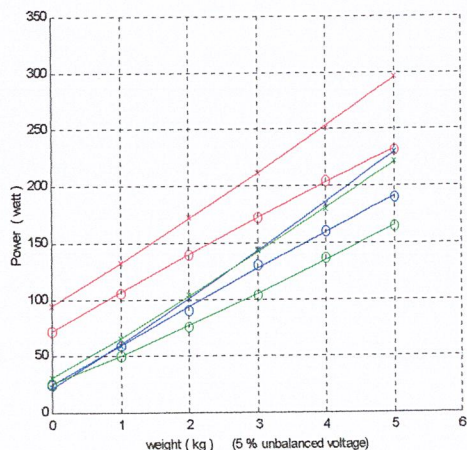
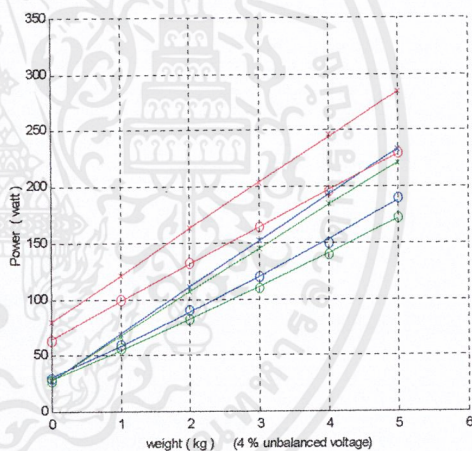
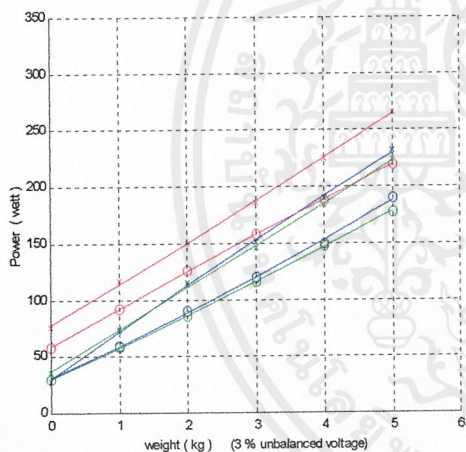
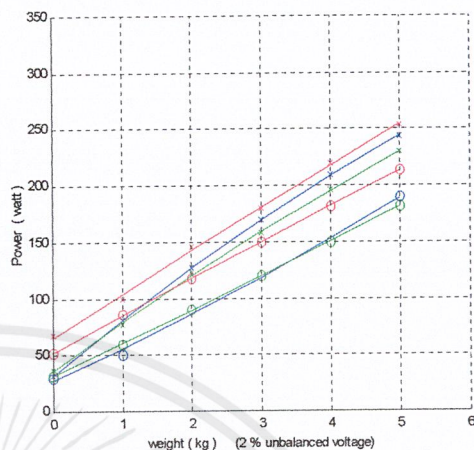
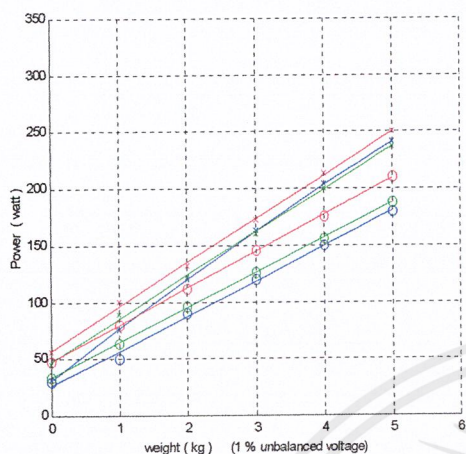
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 2 จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์และจากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 1 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — — — แทนลำดับเฟส A
- — — — — แทนลำดับเฟส B
- — — — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

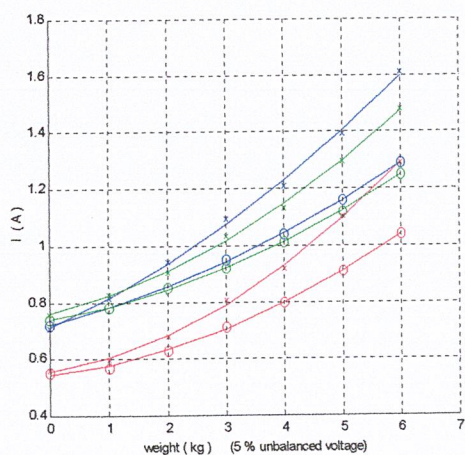
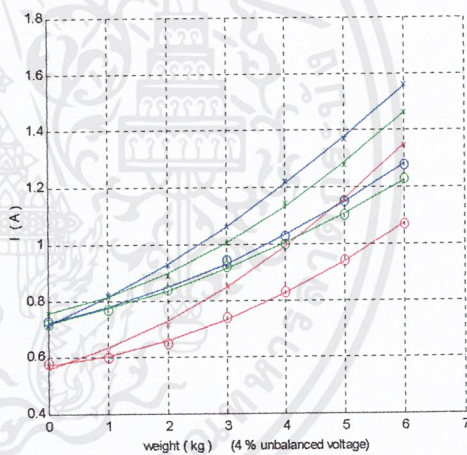
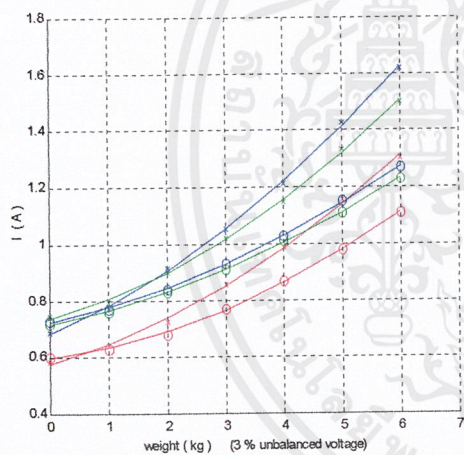
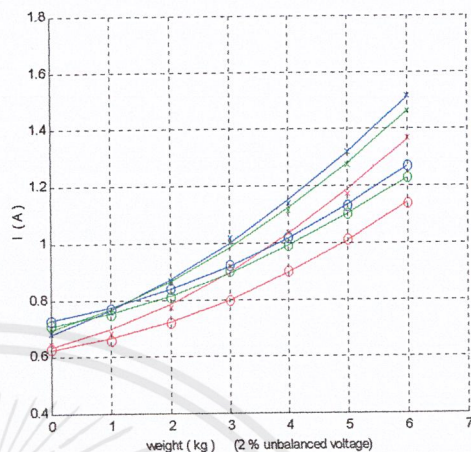
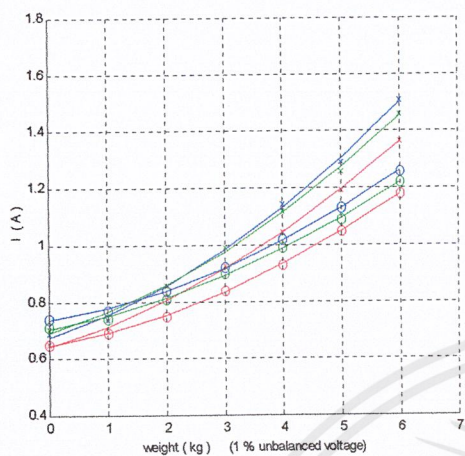
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 2 จากการทดลองต่อขนาน มอเตอร์และจากการคำนวณ ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 2 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — — — แทนลำดับเฟส A
- — — — — แทนลำดับเฟส B
- — — — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

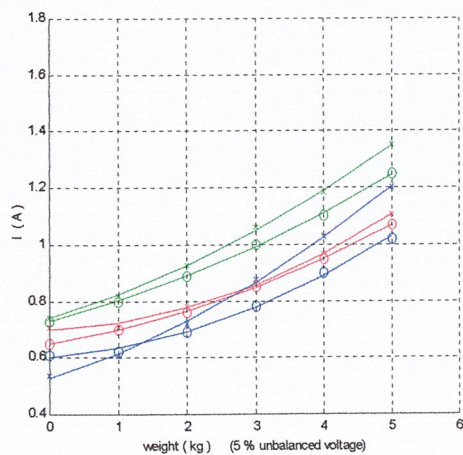
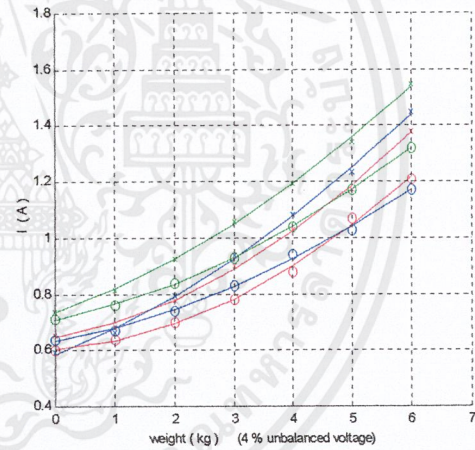
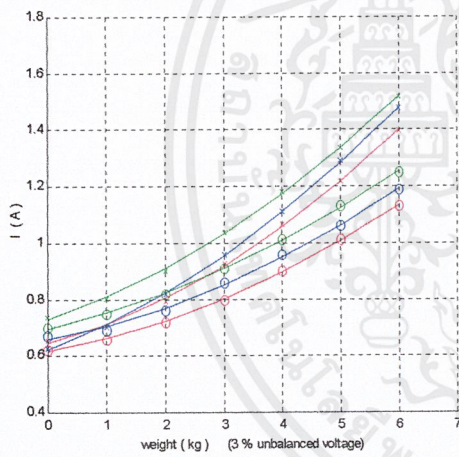
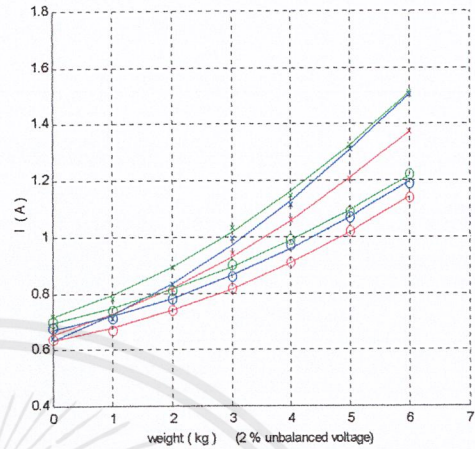
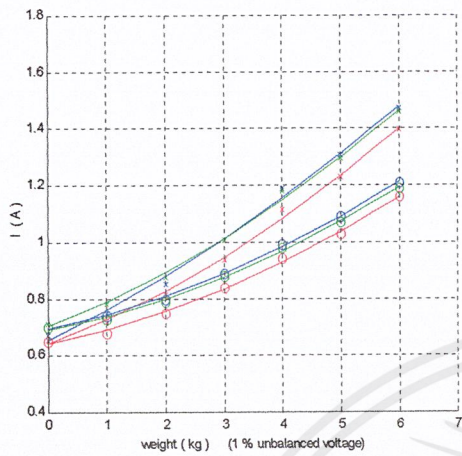
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 จากการทดลองต่อ  
ขานมอเตอร์และจากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 1 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- O---O--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — — — แทนลำดับเฟส A
- — — — — แทนลำดับเฟส B
- — — — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

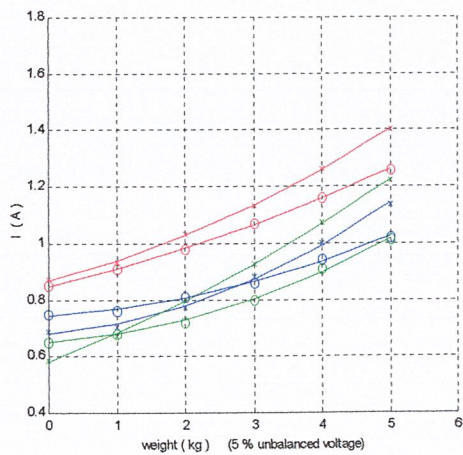
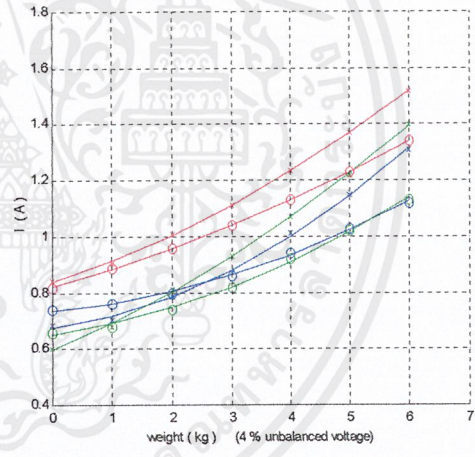
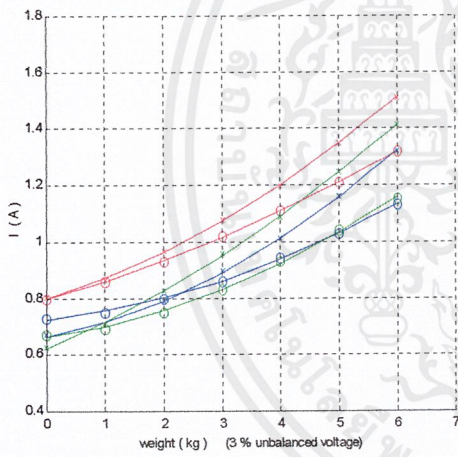
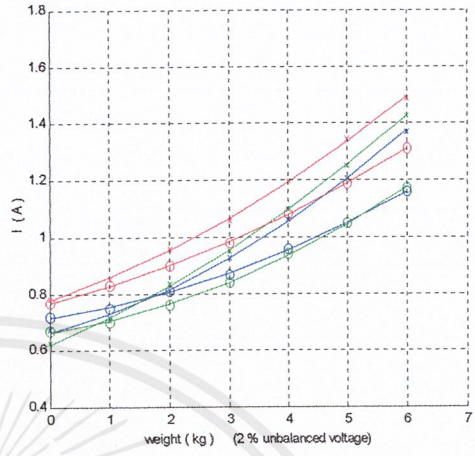
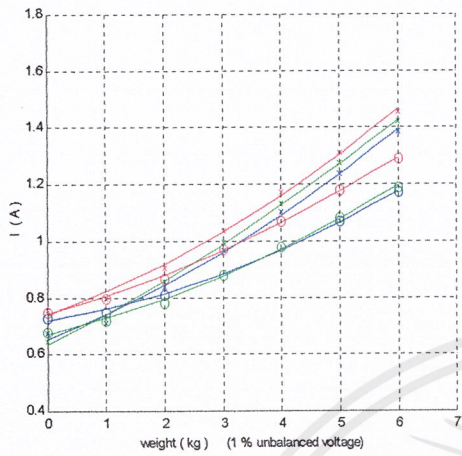
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 จากการทดลองต่อ  
ขานานมอเตอร์และจากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — แทนลำดับเฟส A
- — — แทนลำดับเฟส B
- — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

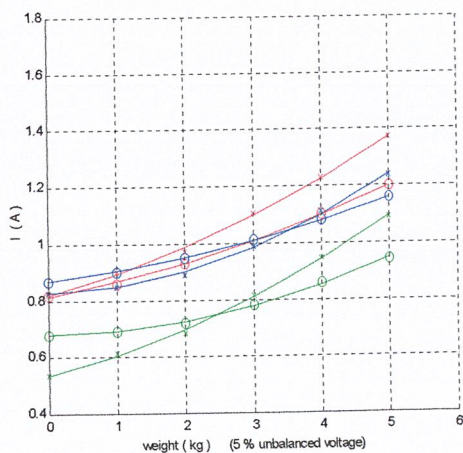
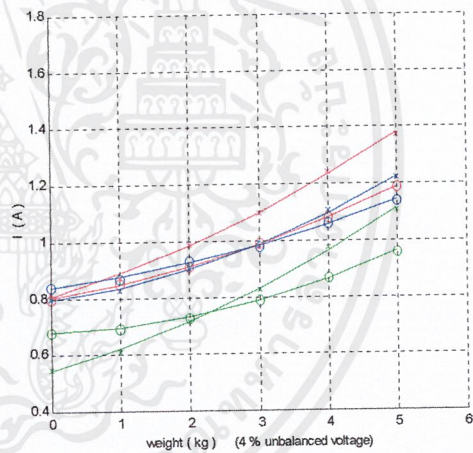
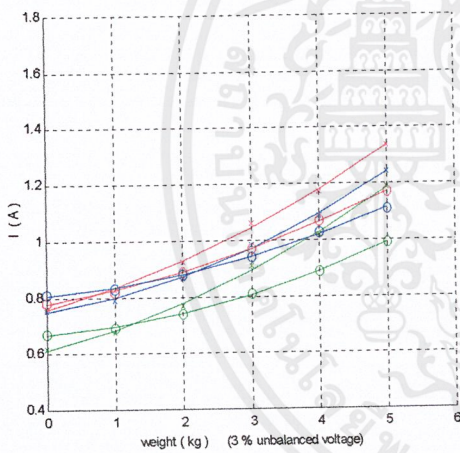
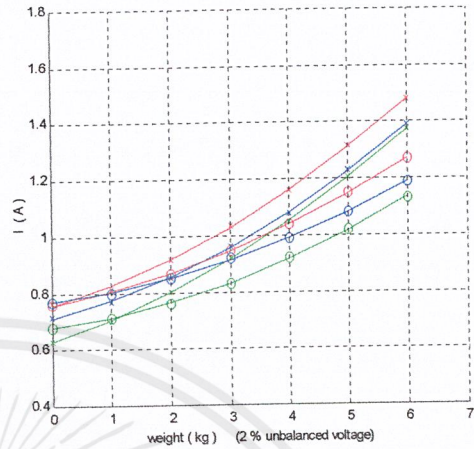
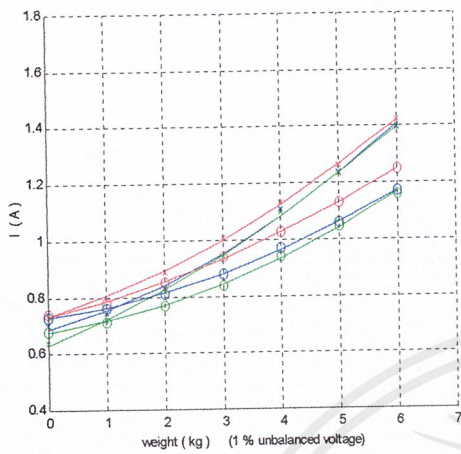
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 จากการทดลองต่อ  
 ขนนามอเตอร์และจากการคำนวณ ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 1 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — — — แทนลำดับเฟส A
- — — — — แทนลำดับเฟส B
- — — — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

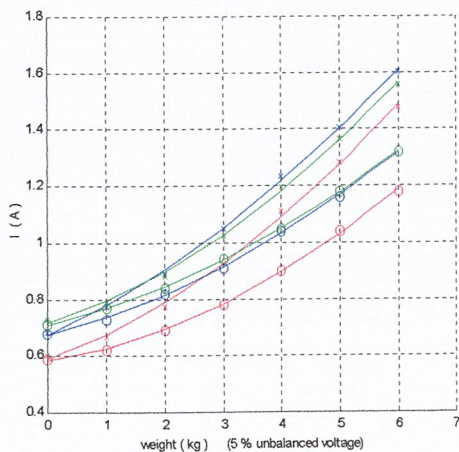
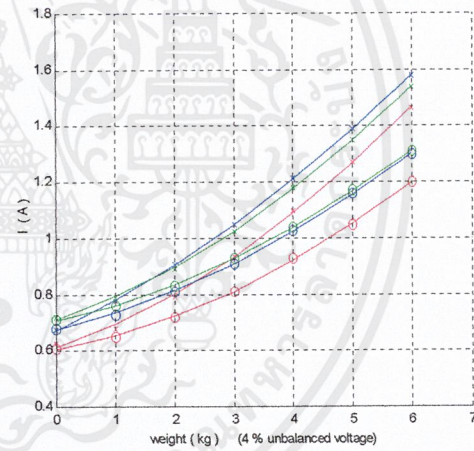
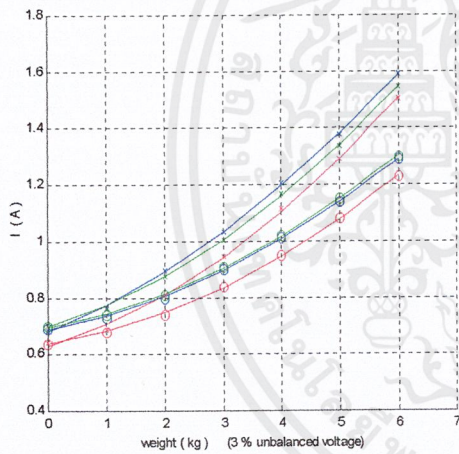
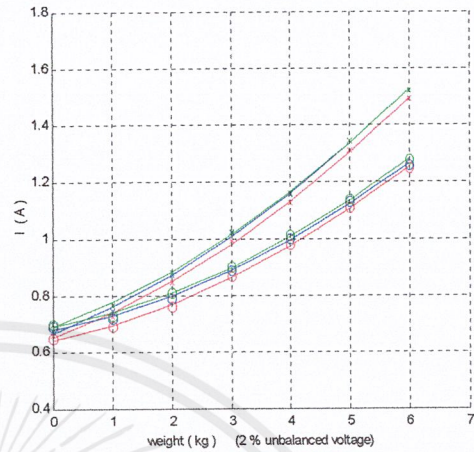
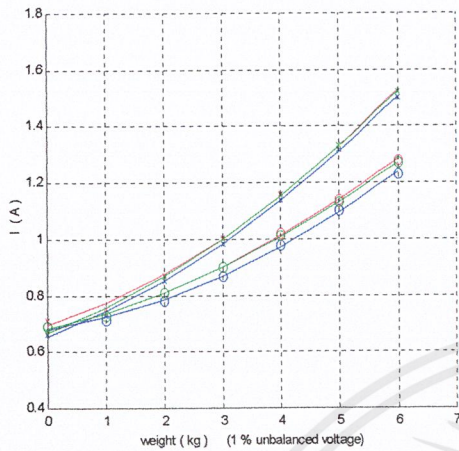
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 1 จากการทดลองต่อ  
ขนานมอเตอร์และจากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 2 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — แทนลำดับเฟส A
- — — แทนลำดับเฟส B
- — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

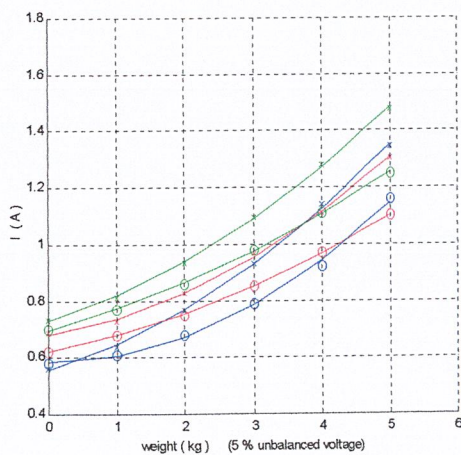
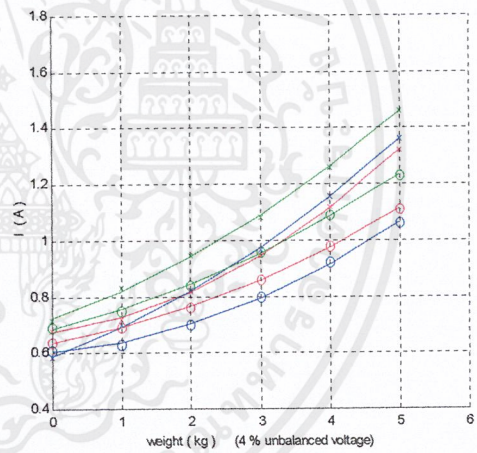
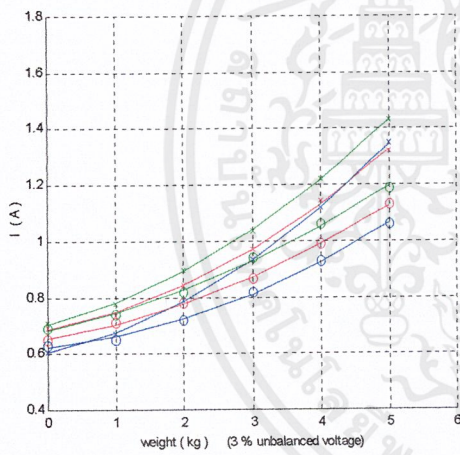
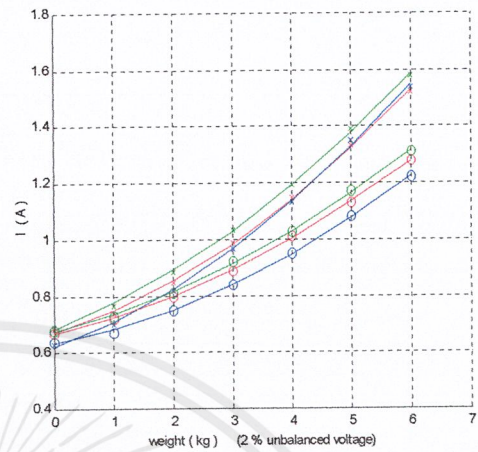
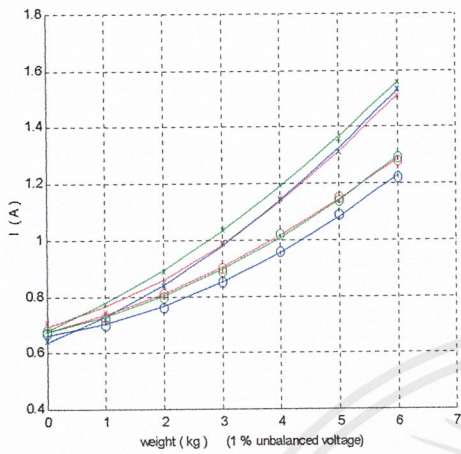
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 2 จากการทดลองต่อ  
ขานมอเตอร์และจากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 1 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- O---O--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — แทนลำดับเฟส A
- — — แทนลำดับเฟส B
- — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

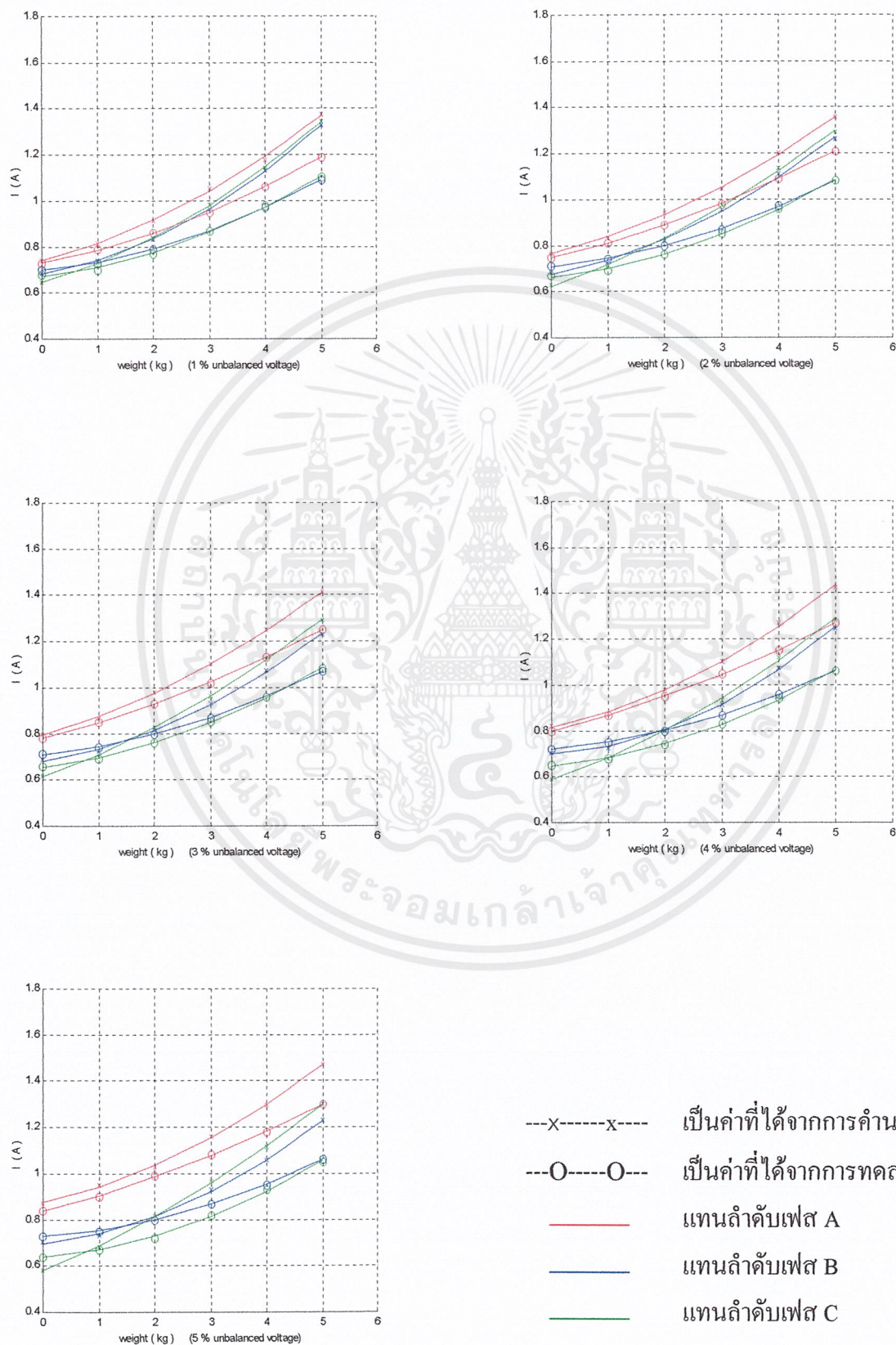
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 2 จากการทดลองต่อ  
ขนานมอเตอร์และจากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — — — แทนลำดับเฟส A
- — — — — แทนลำดับเฟส B
- — — — — แทนลำดับเฟส C

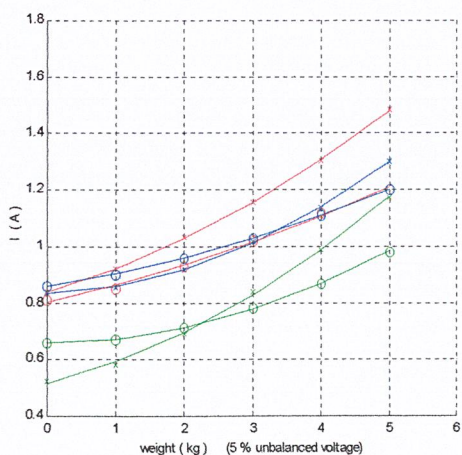
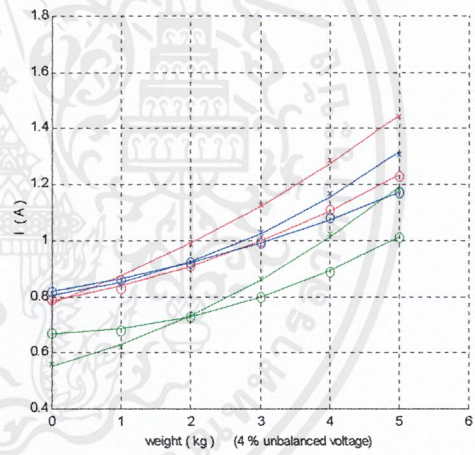
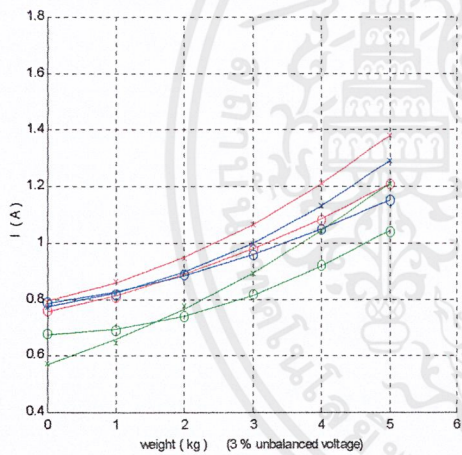
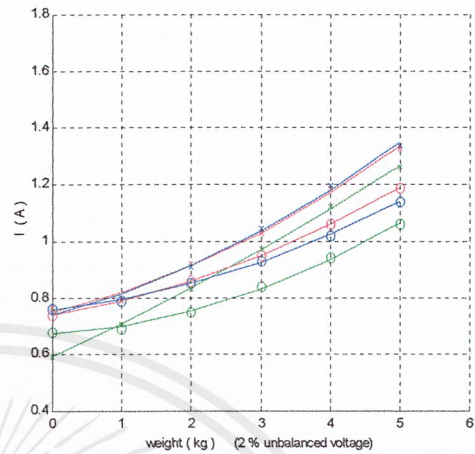
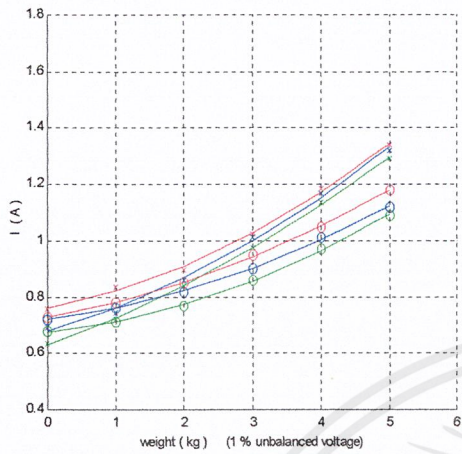
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 2 จากการทดลองต่อ  
ขนานมอเตอร์และจากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 1 เฟส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

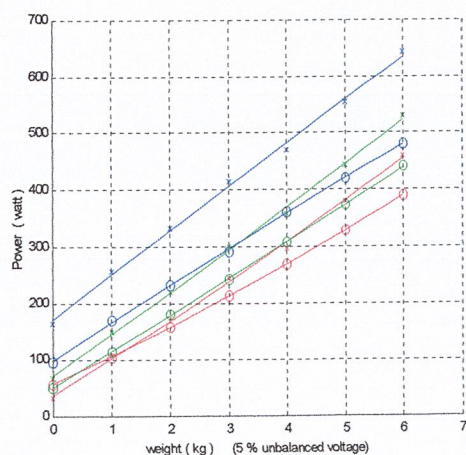
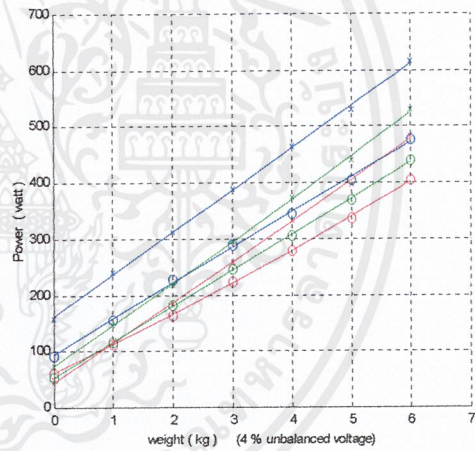
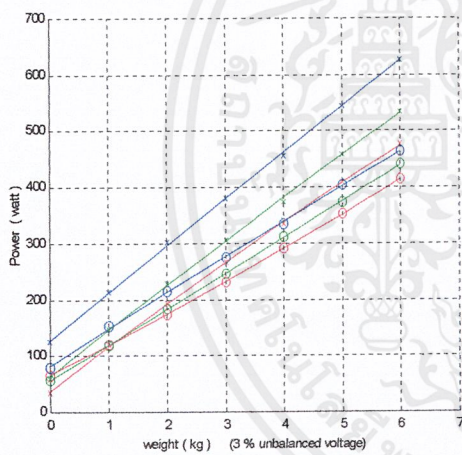
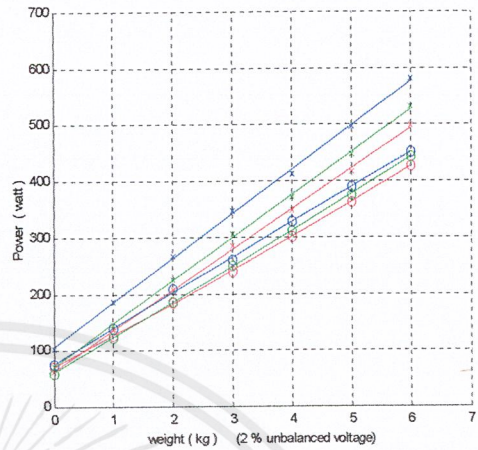
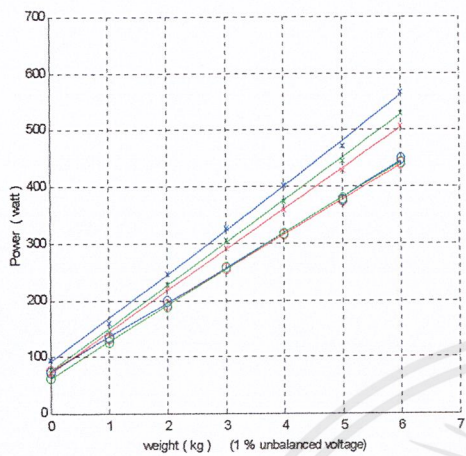
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ตัวที่ 2 จากการทดลองต่อ  
ขนานมอเตอร์และจากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 2 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — แทนลำดับเฟส A
- — — แทนลำดับเฟส B
- — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

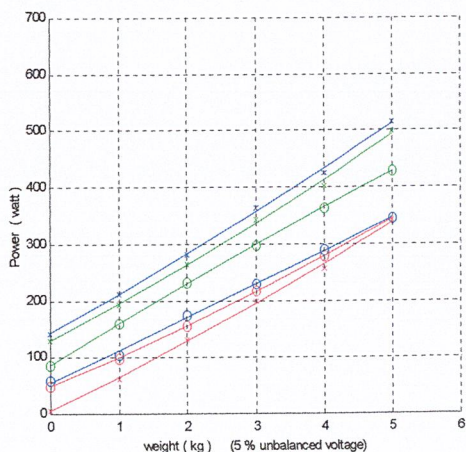
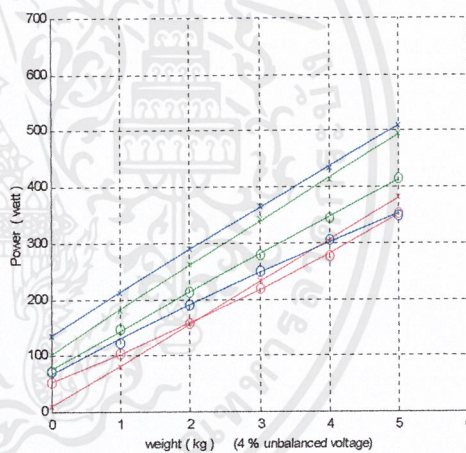
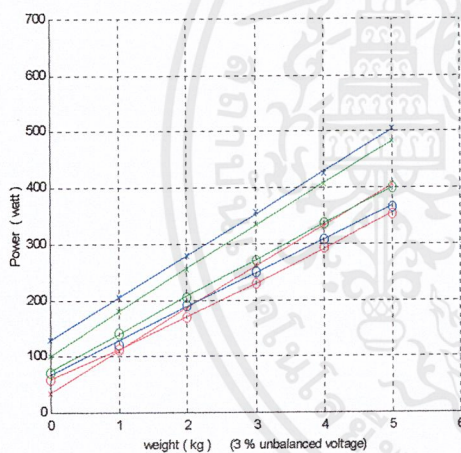
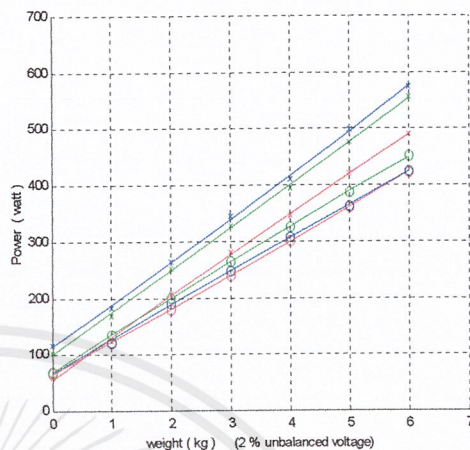
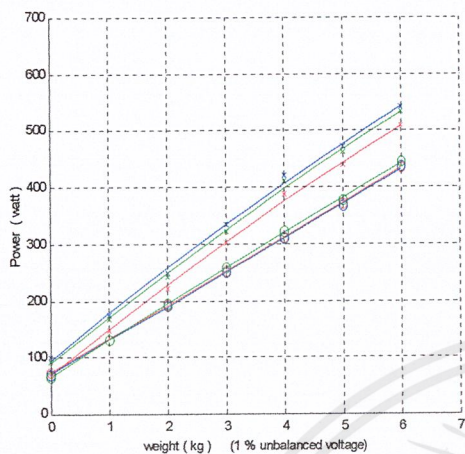
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้รวม ที่ได้จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์  
เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 1 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — แทนลำดับเฟส A
- — — แทนลำดับเฟส B
- — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

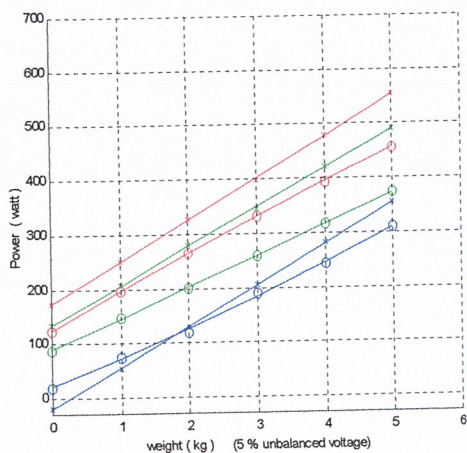
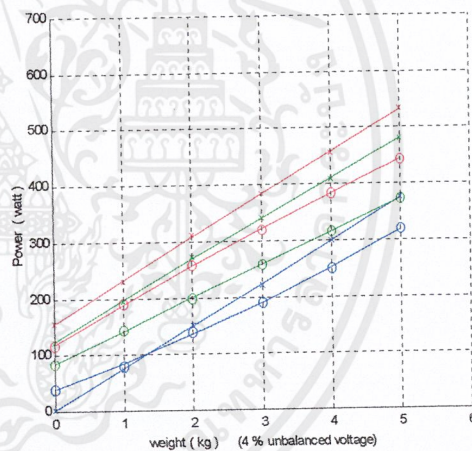
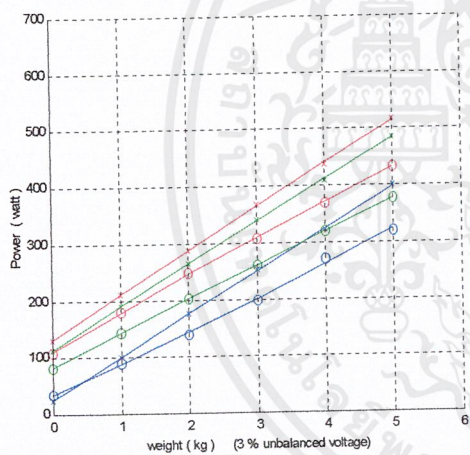
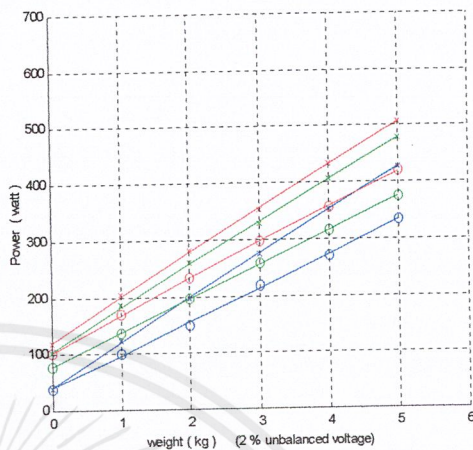
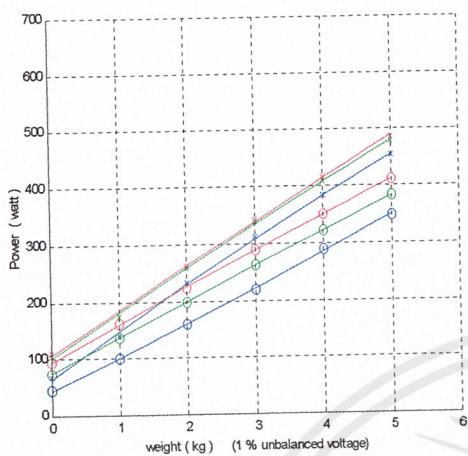
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้รวม ที่ได้จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์  
เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — — — แทนลำดับเฟส A
- — — — — แทนลำดับเฟส B
- — — — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

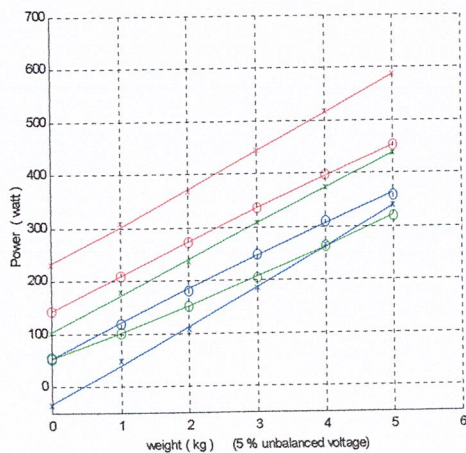
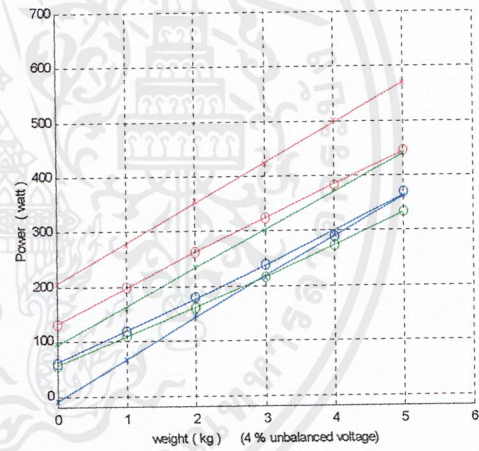
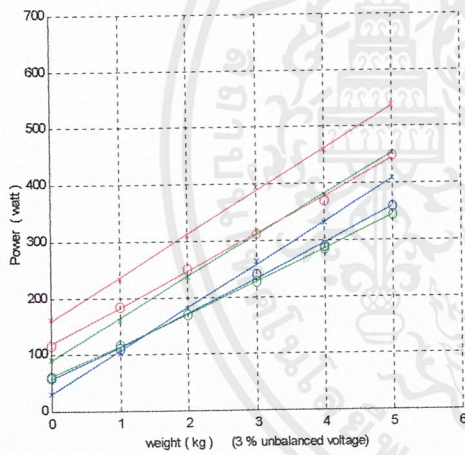
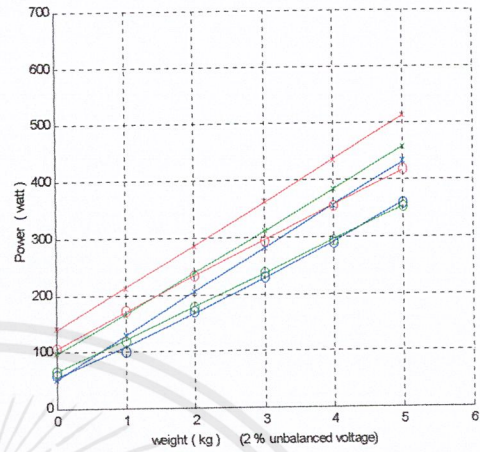
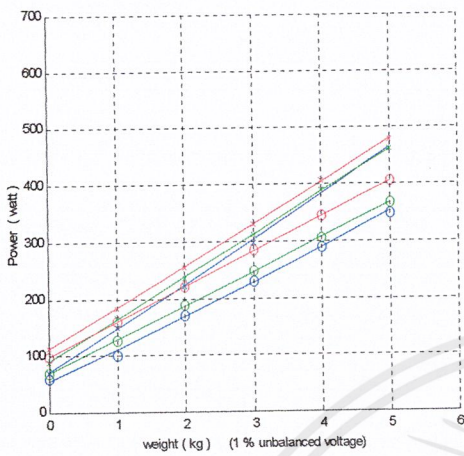
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟารวม ที่ได้จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์  
เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 1 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — — — แทนลำดับเฟส A
- — — — — แทนลำดับเฟส B
- — — — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

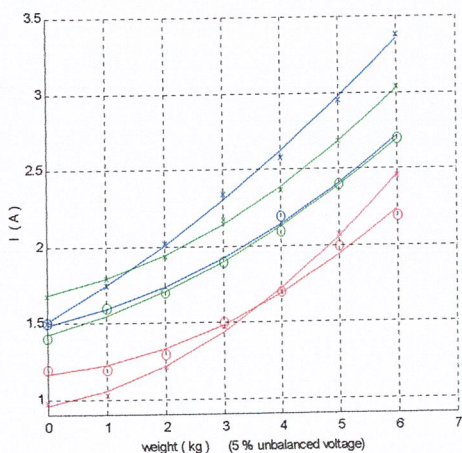
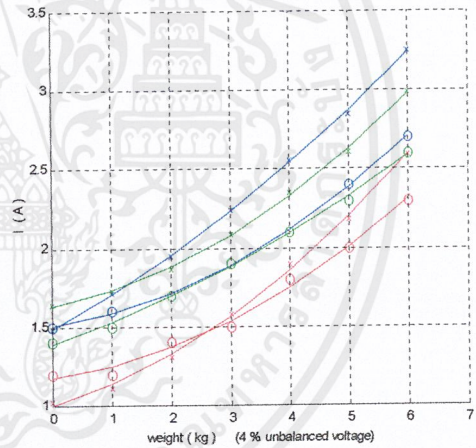
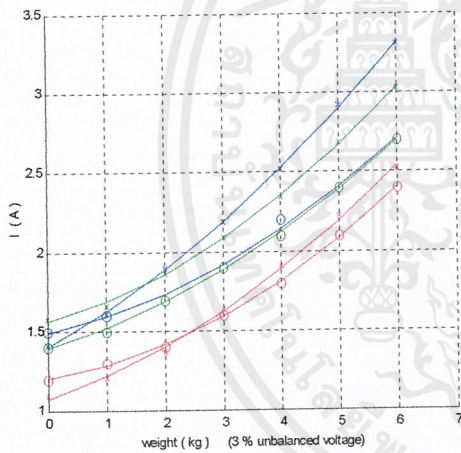
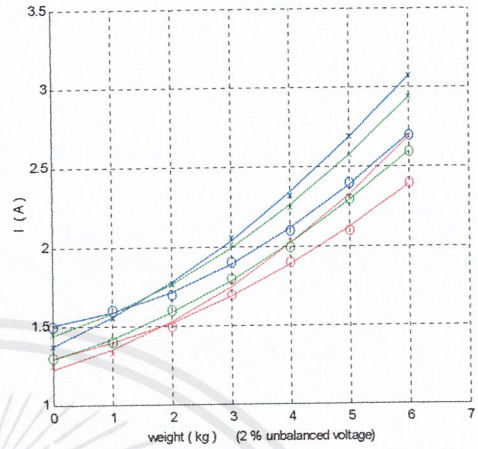
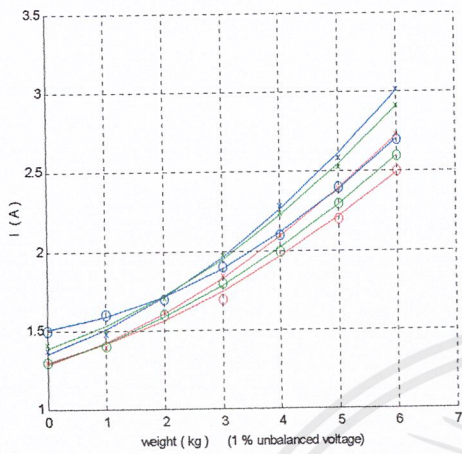
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ารวม ที่ได้จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์  
เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 2 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- O---O--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — — — แทนลำดับเฟส A
- — — — — แทนลำดับเฟส B
- — — — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

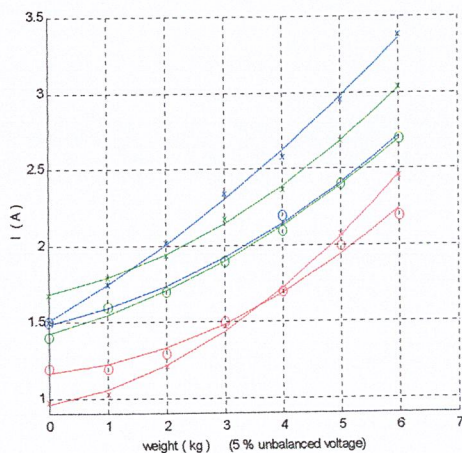
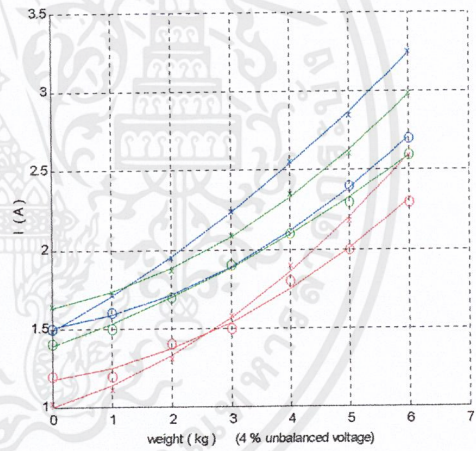
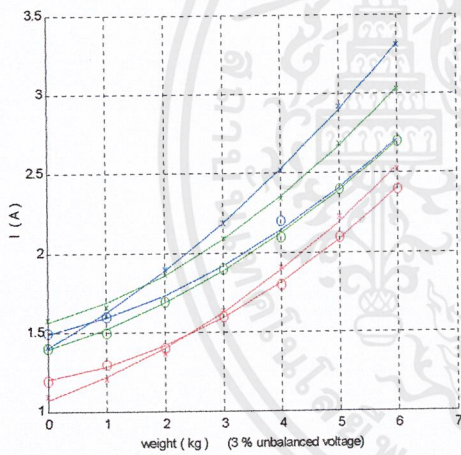
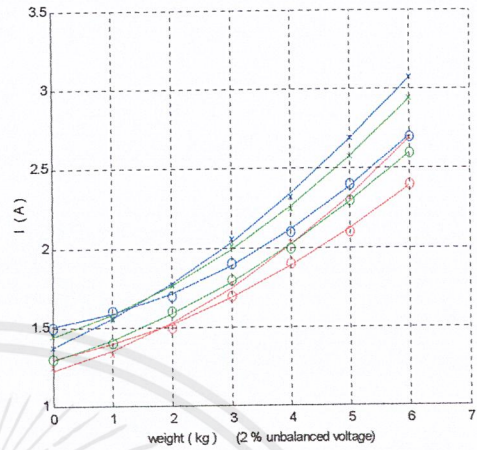
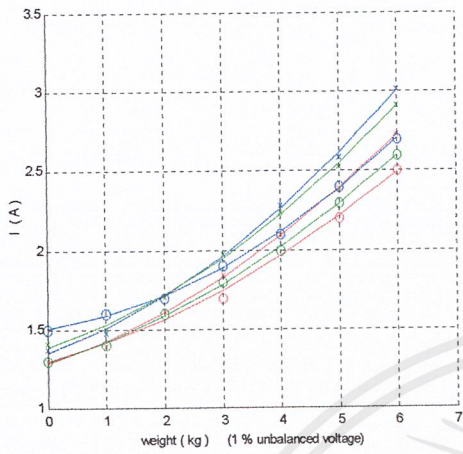
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้รวม ที่ได้จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์  
เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 1 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- o---o--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — แทนลำดับเฟส A
- — — แทนลำดับเฟส B
- — — แทนลำดับเฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

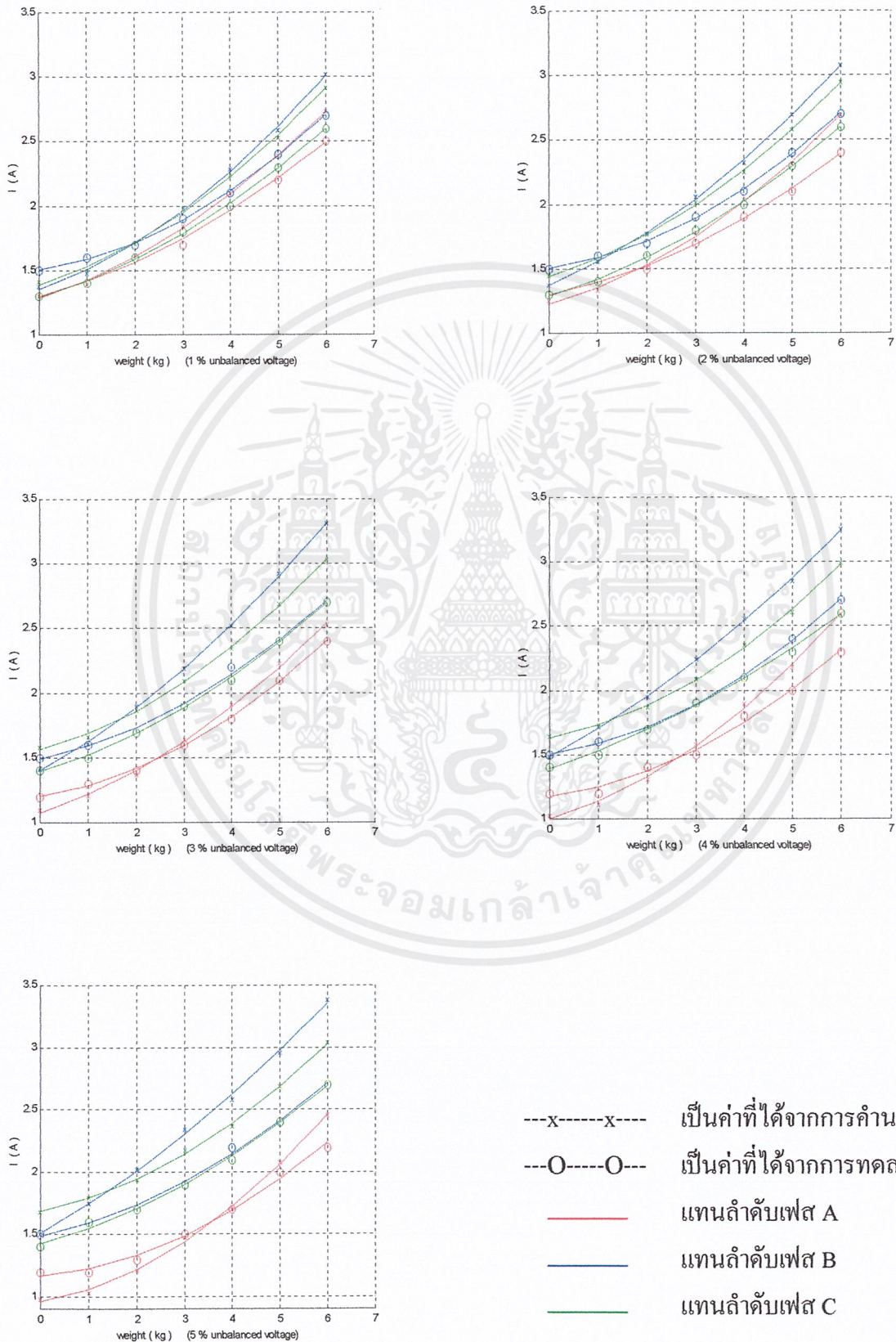
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟารวม ที่ได้จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์  
เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- O---O--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — — — แทนลำดับเฟส A
- — — — — แทนลำดับเฟส B
- — — — — แทนลำดับเฟส C

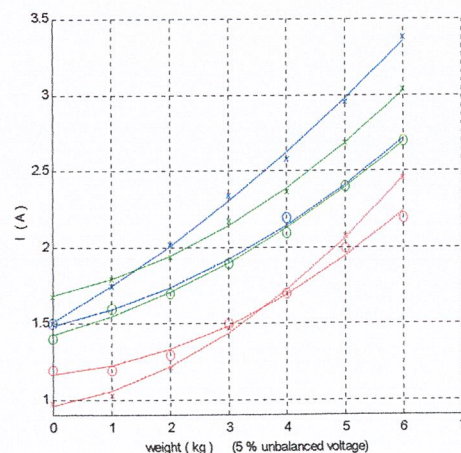
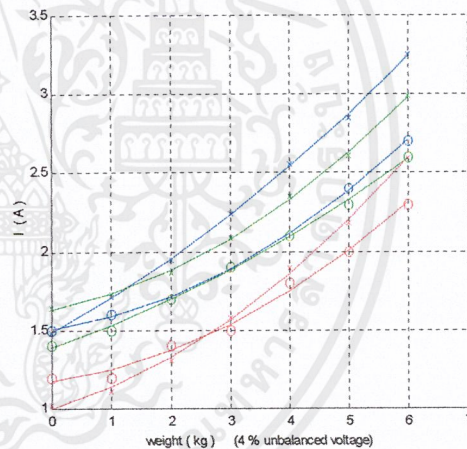
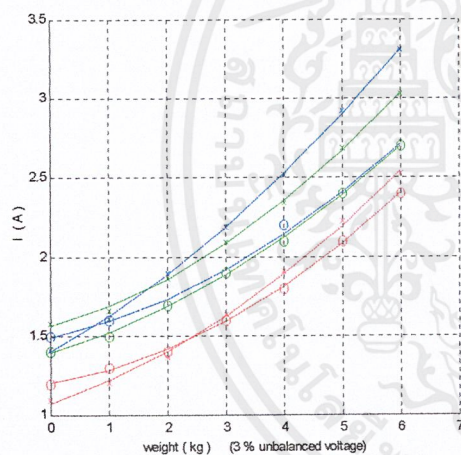
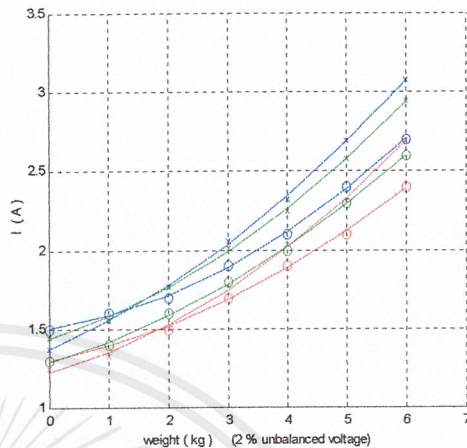
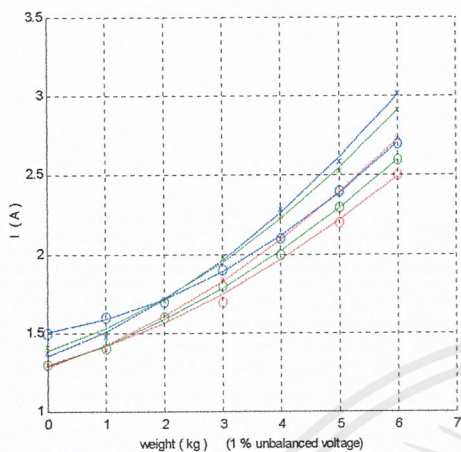
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ารวม ที่ได้จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์  
เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 1 เฟส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ารวม ที่ได้จากการทดลองต่อขนานมอเตอร์  
เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ 2 เฟส

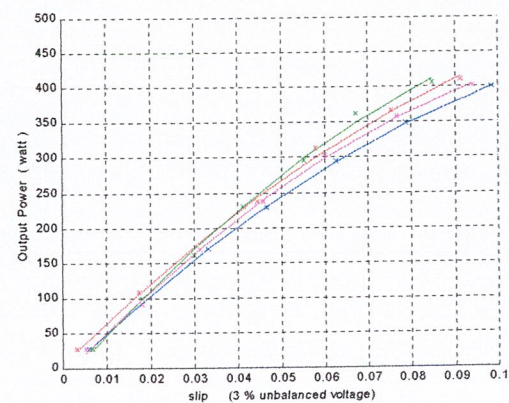
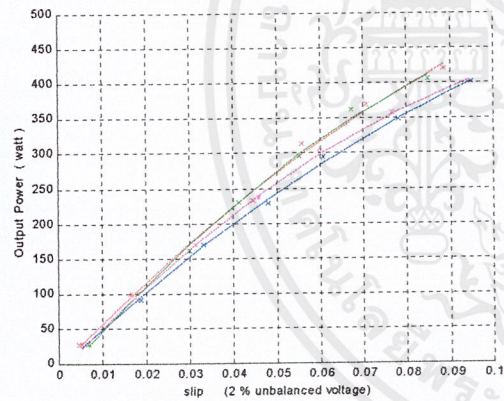
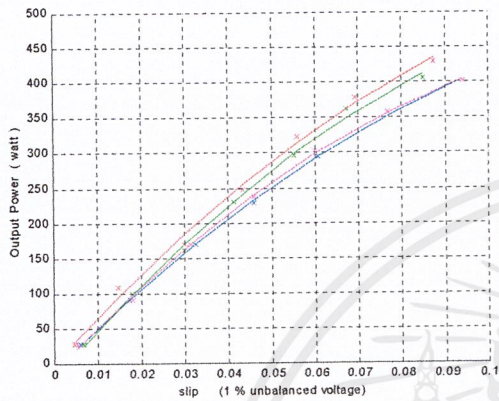


- x---x--- เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ
- O---O--- เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง
- — — — — แทนลำดับเฟส A
- — — — — แทนลำดับเฟส B
- — — — — แทนลำดับเฟส C

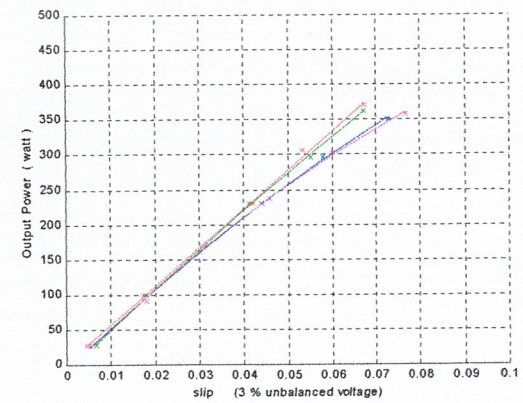
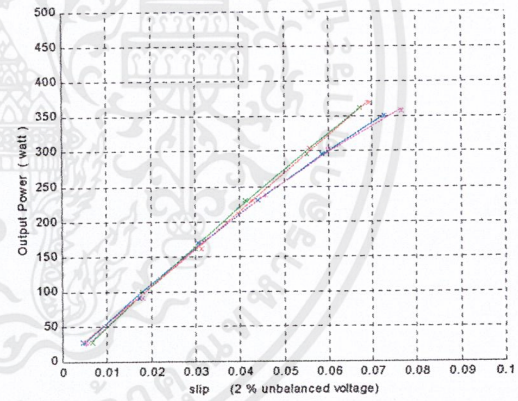
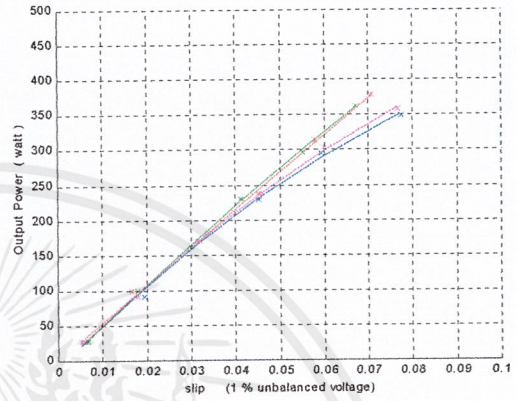
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุต กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( มอเตอร์ทั้งสองตัวต่อขนานกัน )

ต่ำกว่าปกติ 1 เฟส



สูงกว่าปกติ 1 เฟส

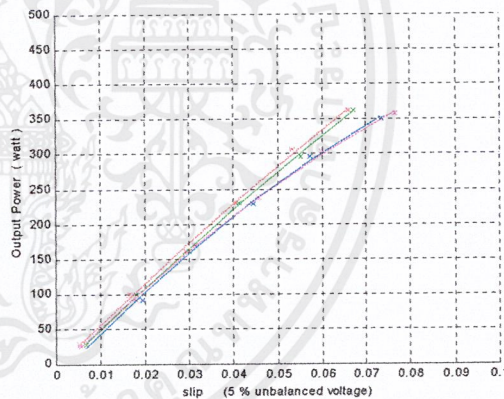
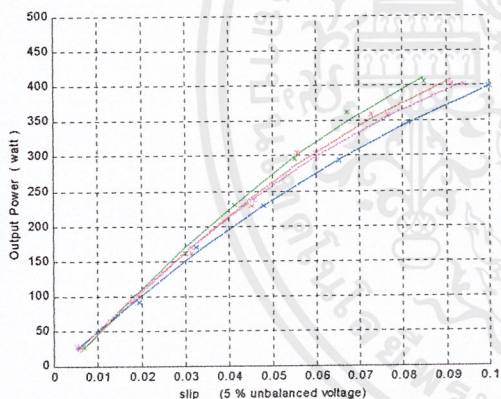
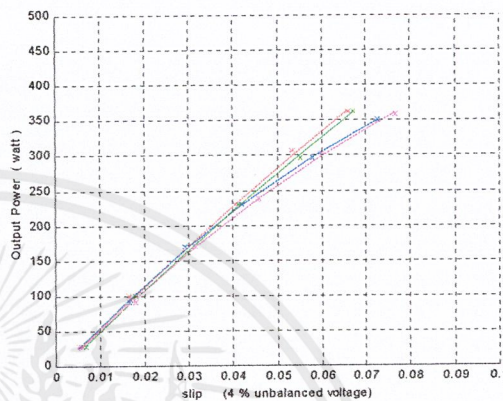
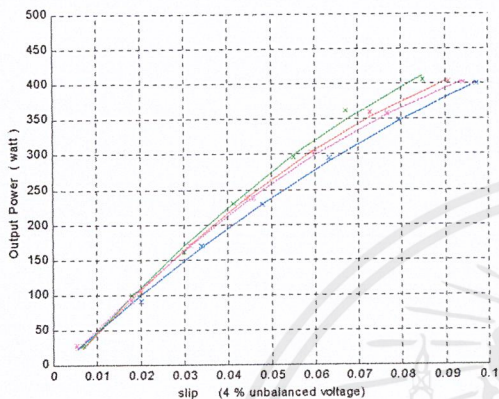


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุต กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน( มอเตอร์ทั้งสองตัวต่อขนานกัน )

ต่ำกว่าปกติ 1 เฟส

สูงกว่าปกติ 1 เฟส



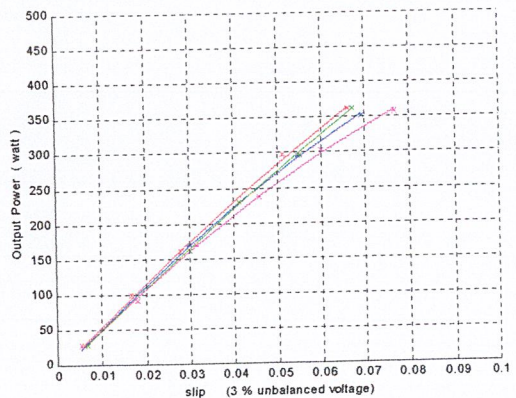
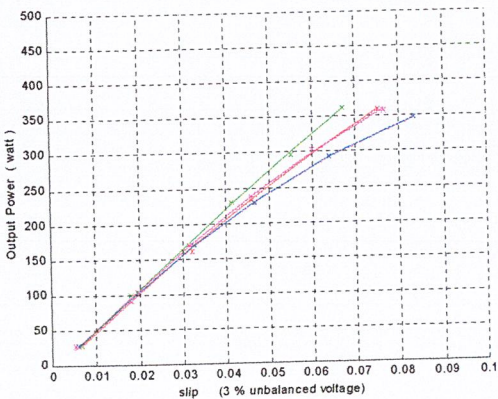
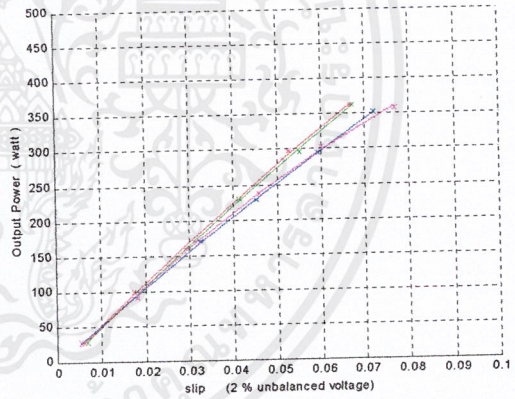
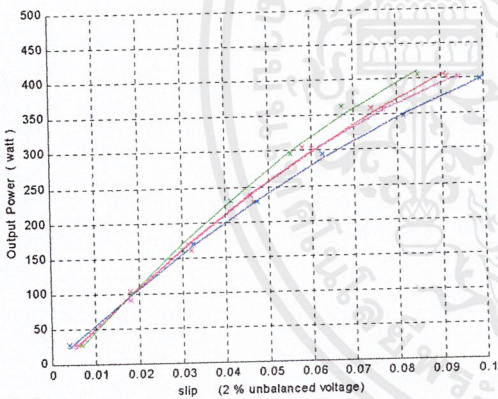
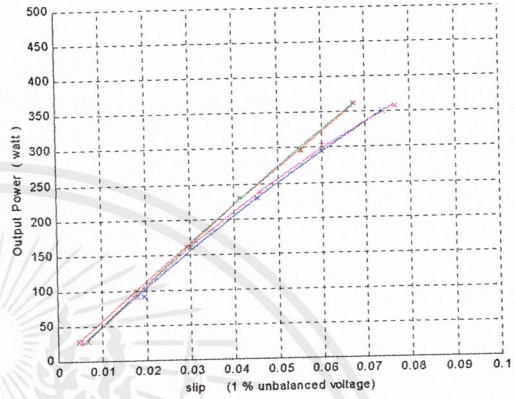
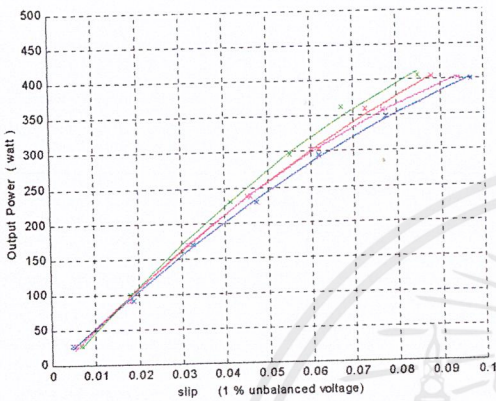
- แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล
- แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุต กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( มอเตอร์ทั้งสองตัวต่อขนานกัน )

ต่ำกว่าปกติ 2 เฟส

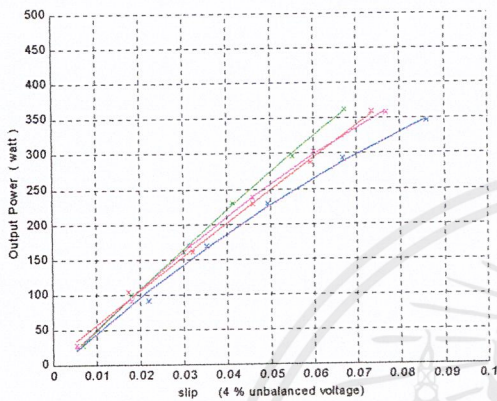
สูงกว่าปกติ 2 เฟส



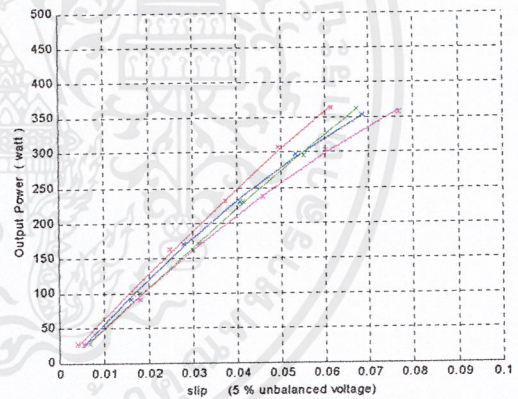
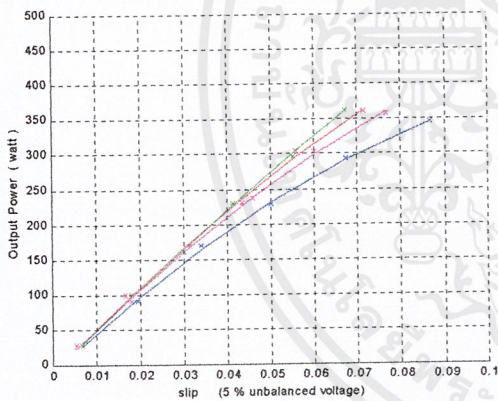
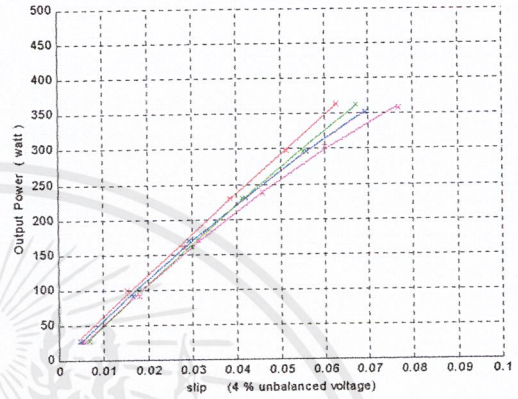
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุต กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( มอเตอร์ทั้งสองตัวต่อขนานกัน )

ต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



สูงกว่าปกติ 2 เฟส

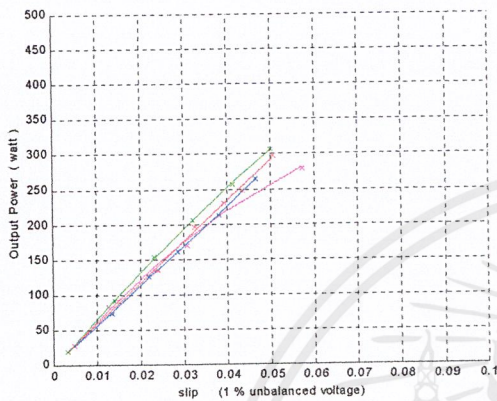


- แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล
- แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล

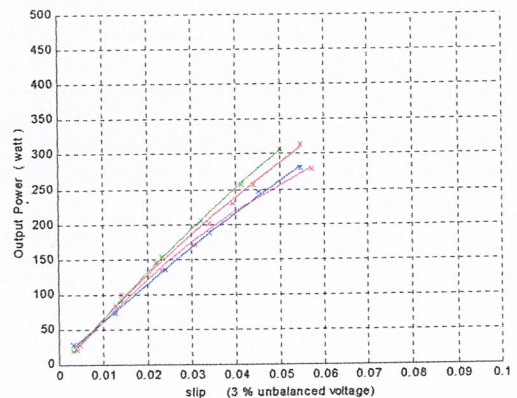
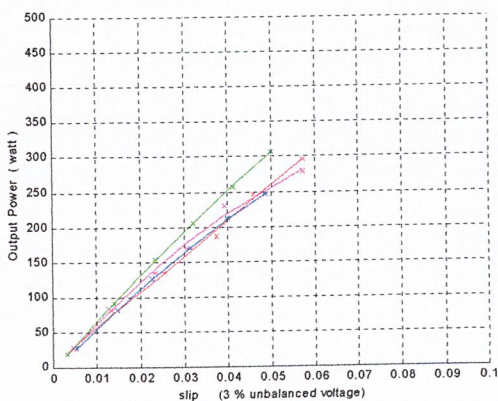
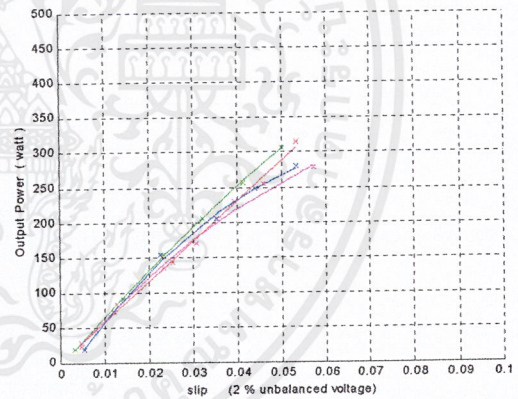
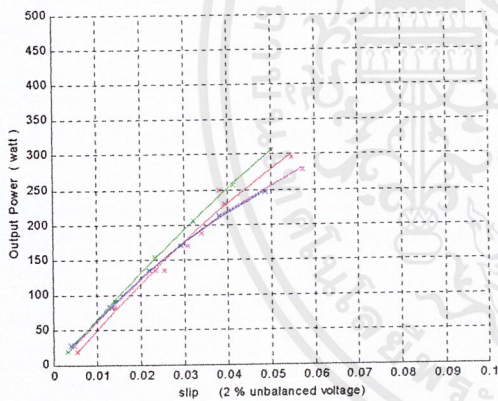
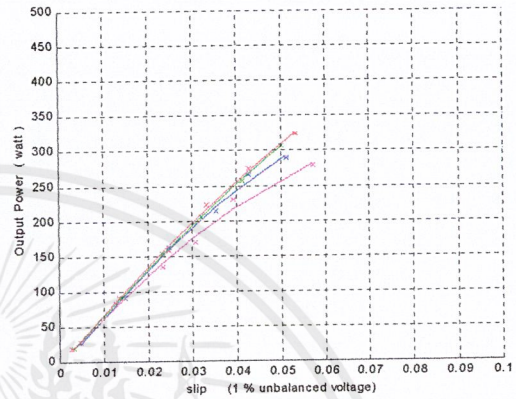
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุต กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( ทดสอบมอเตอร์ทีละตัว )

ต่ำกว่าปกติ 1 เฟส



สูงกว่าปกติ 1 เฟส

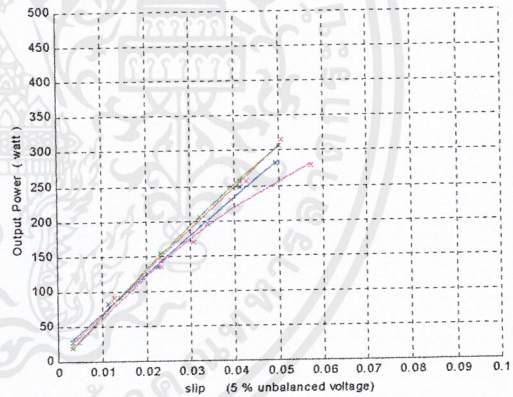
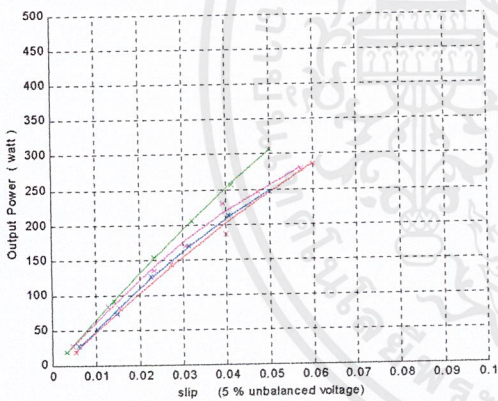
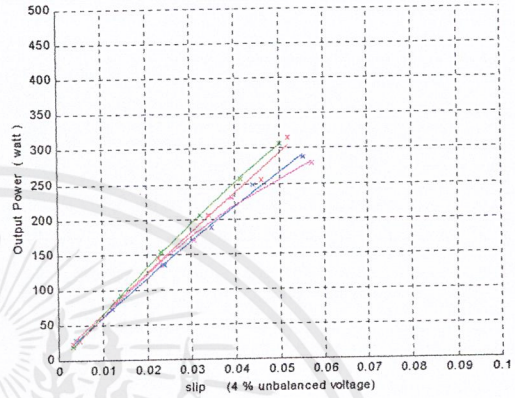
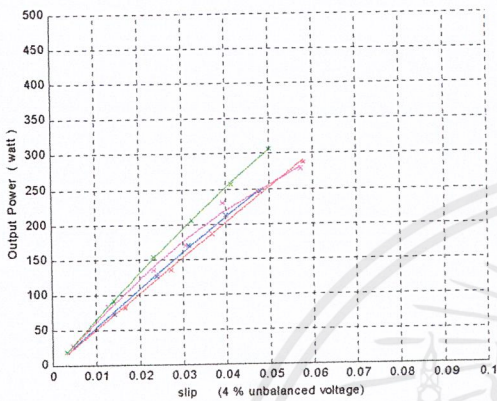


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุต กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( ทดสอบมอเตอร์ทีละตัว )

ต่ำกว่าปกติ 1 เฟส

สูงกว่าปกติ 1 เฟส

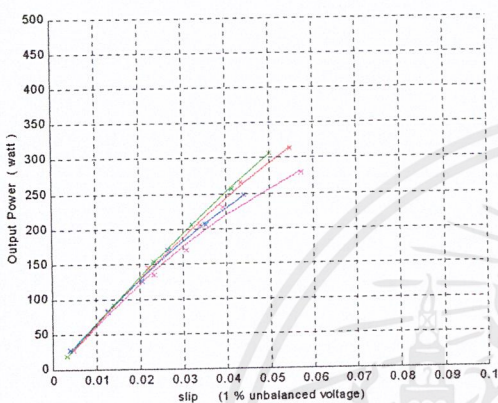


- แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสมดุล
- แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสมดุล

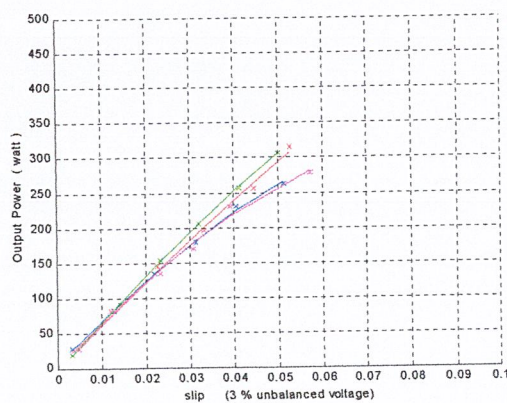
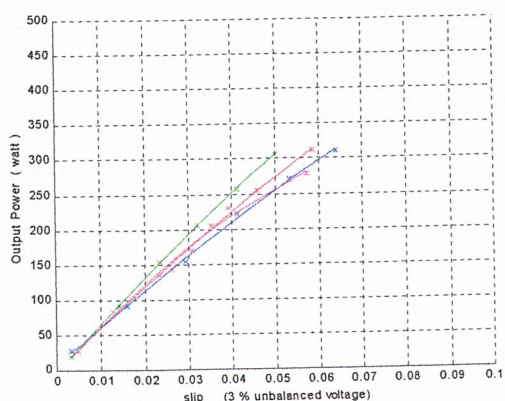
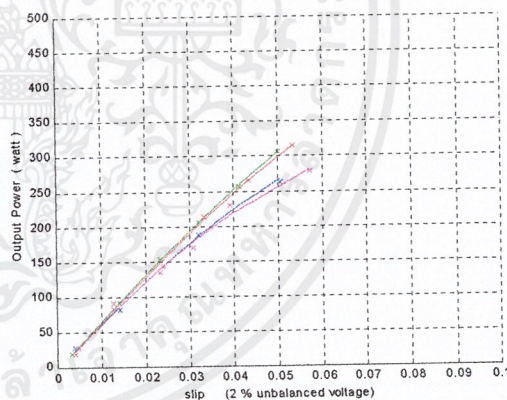
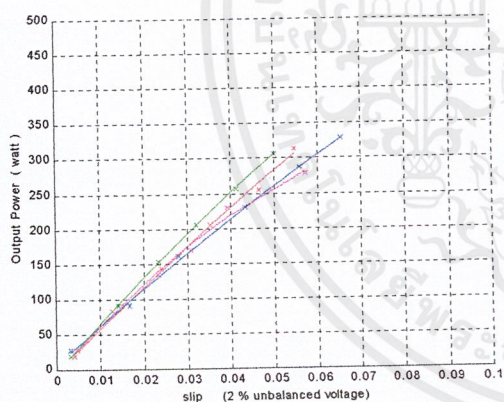
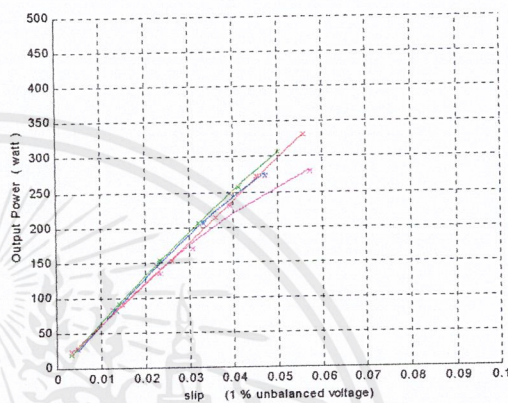
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุต กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( ทดสอบมอเตอร์ทีละตัว )

ต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



สูงกว่าปกติ 2 เฟส

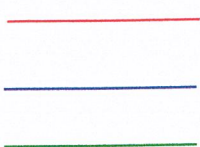
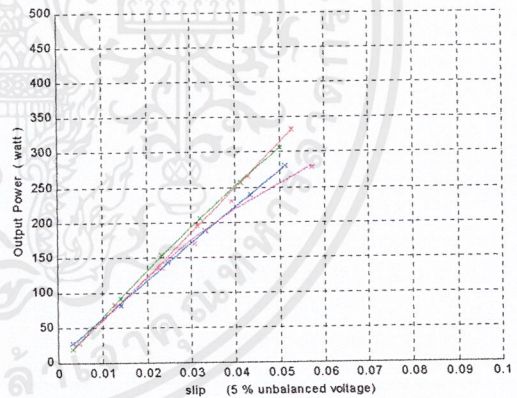
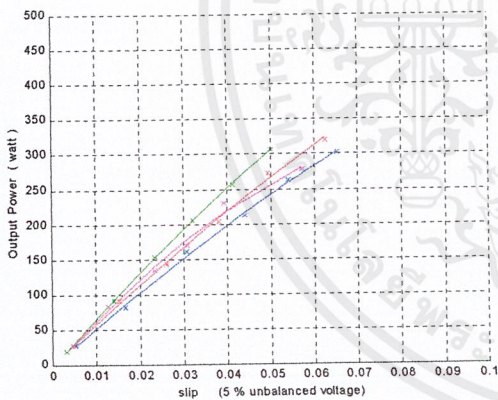
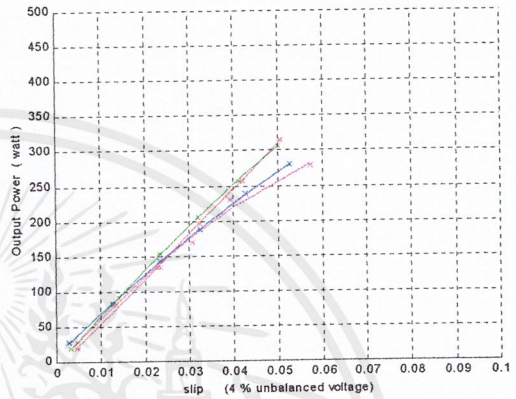
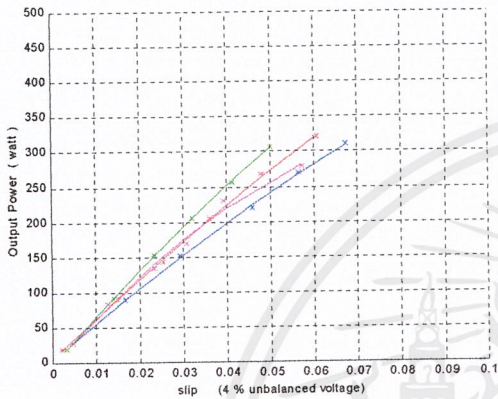


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเอาต์พุต กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( ทดสอบมอเตอร์ทีละตัว )

ต่ำกว่าปกติ 2 เฟส

สูงกว่าปกติ 2 เฟส



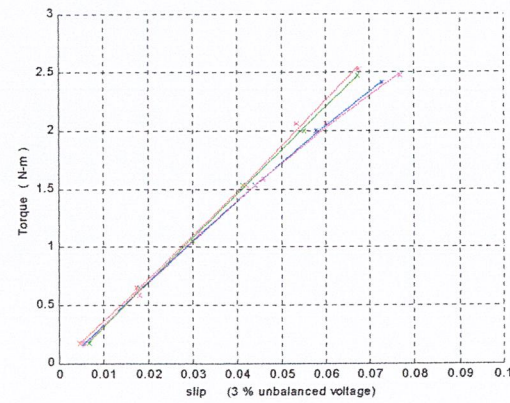
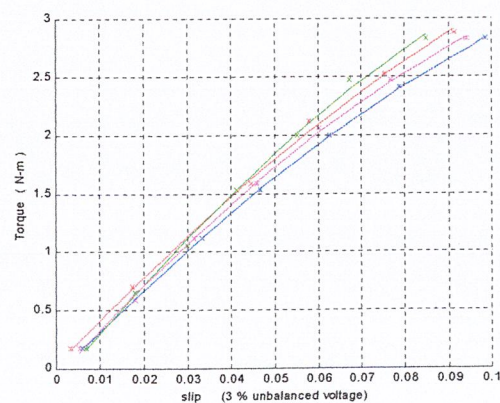
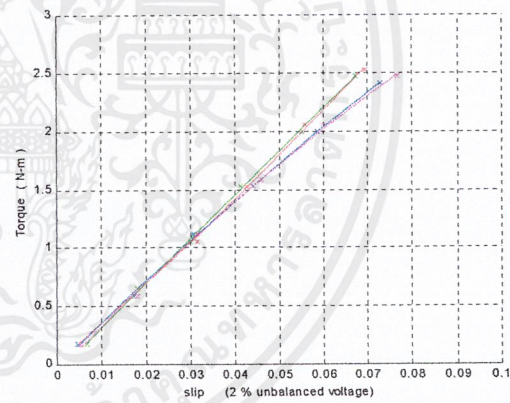
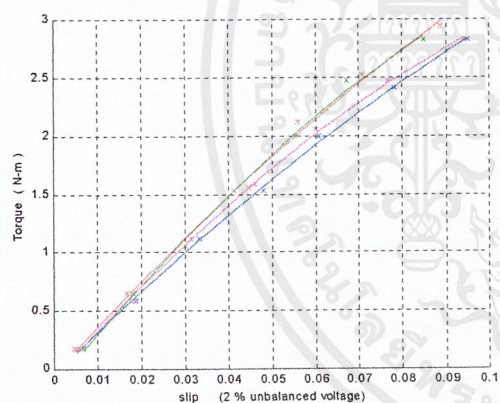
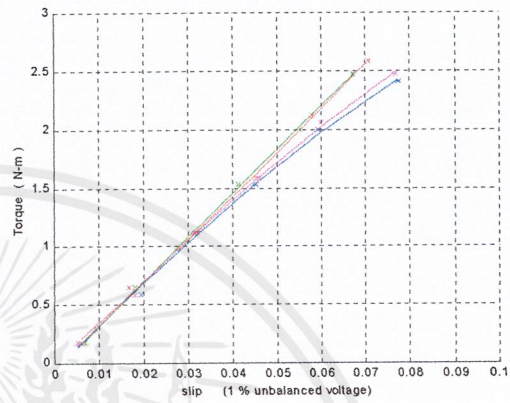
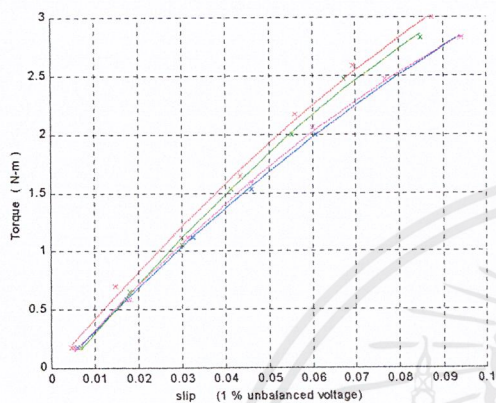
แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล  
 แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล  
 แทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนแทนกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( มอเตอร์ทั้งสองตัวต่อขนานกัน )

ต่ำกว่าปกติ 1 เฟส

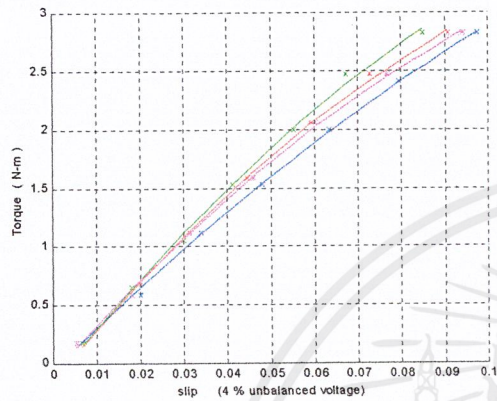
สูงกว่าปกติ 1 เฟส



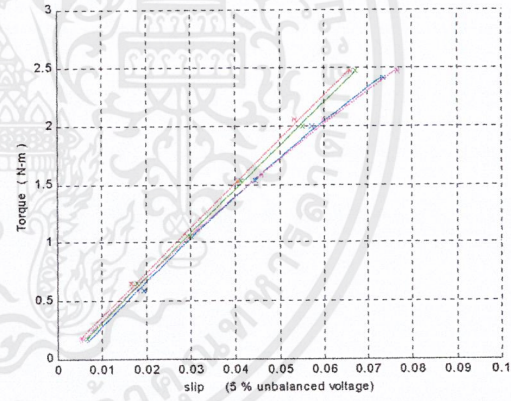
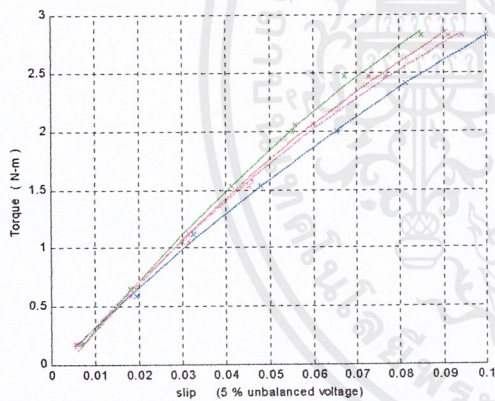
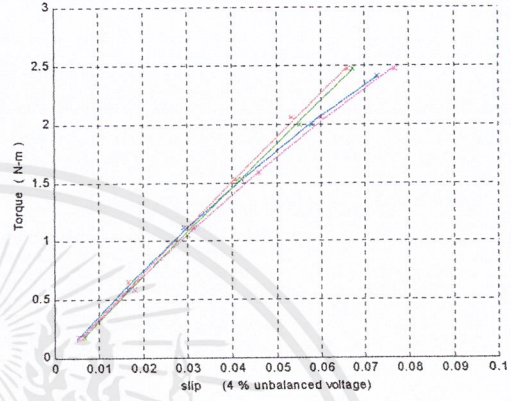
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( มอเตอร์ทั้งสองตัวต่อขนานกัน)

ต่ำกว่าปกติ 1 เฟส



สูงกว่าปกติ 1 เฟส



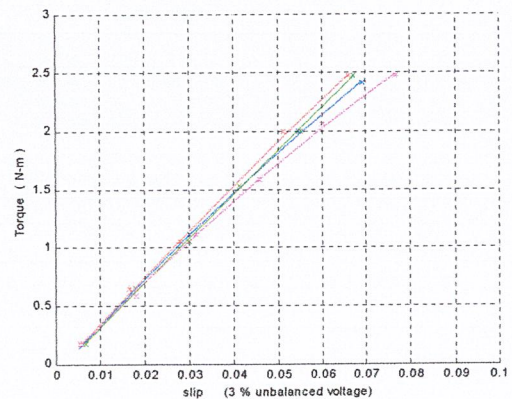
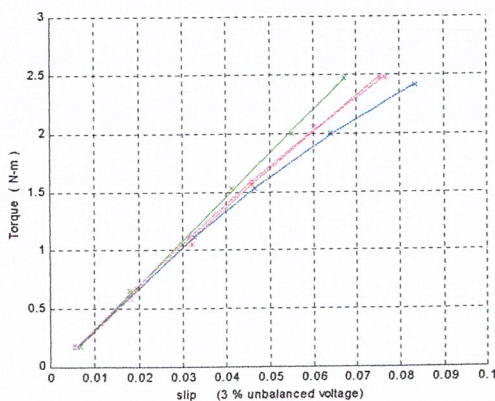
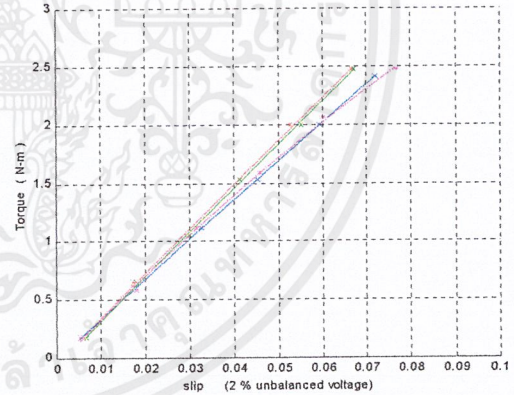
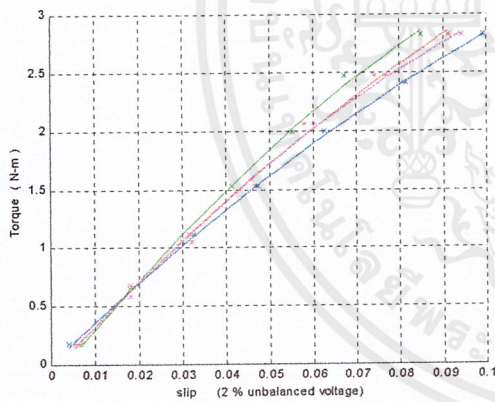
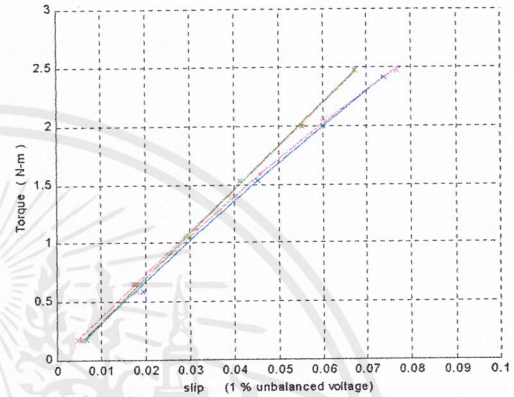
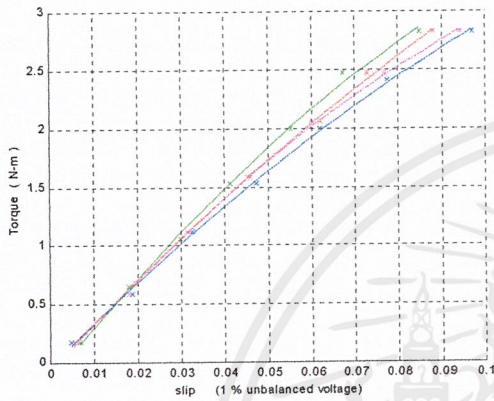
- แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสมดุล
- แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( มอเตอร์ทั้งสองตัวต่อขนานกัน )

ต่ำกว่าปกติ 2 เฟส

สูงกว่าปกติ 2 เฟส

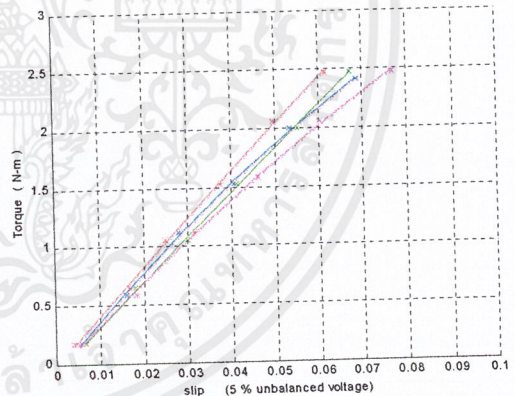
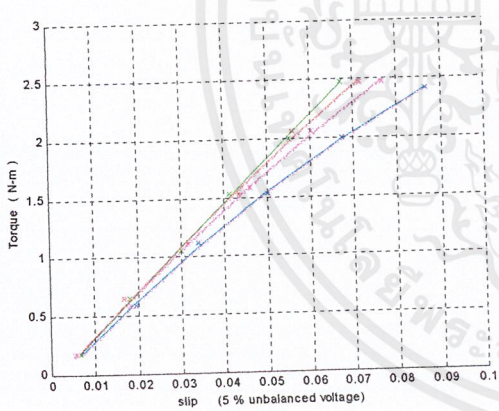
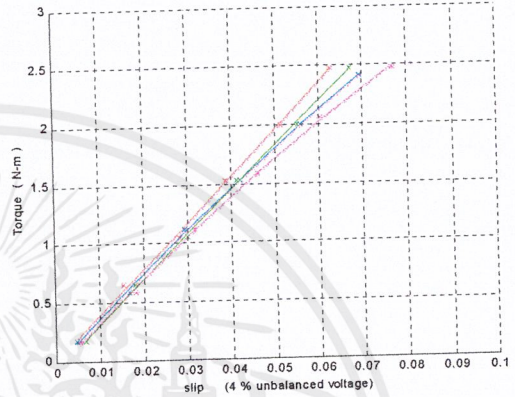
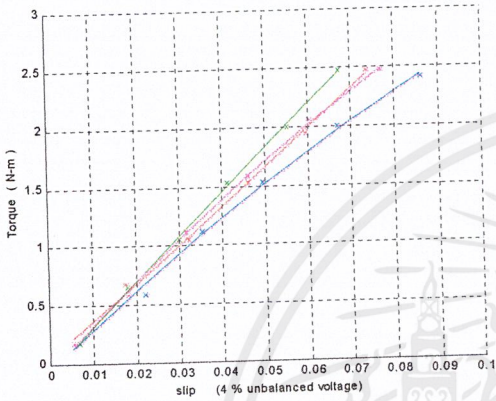


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( มอเตอร์ทั้งสองตัวต่อขนานกัน)

ต่ำกว่าปกติ 2 เฟส

สูงกว่าปกติ 2 เฟส



- 
- 
- 

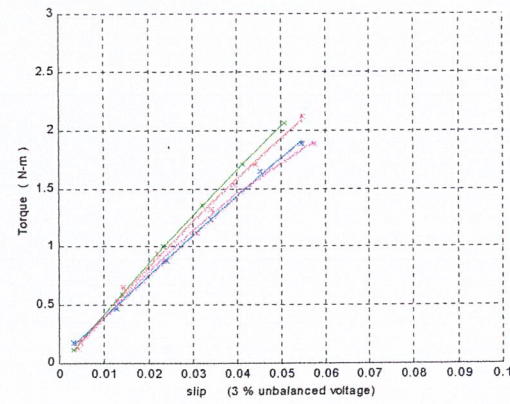
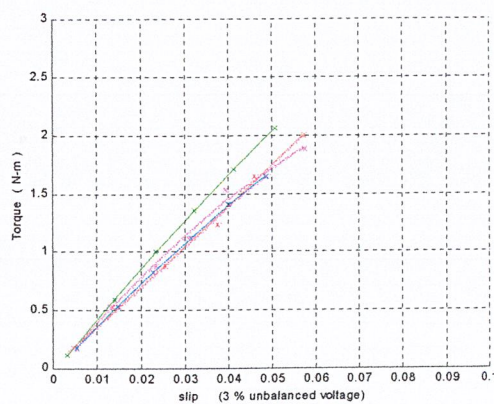
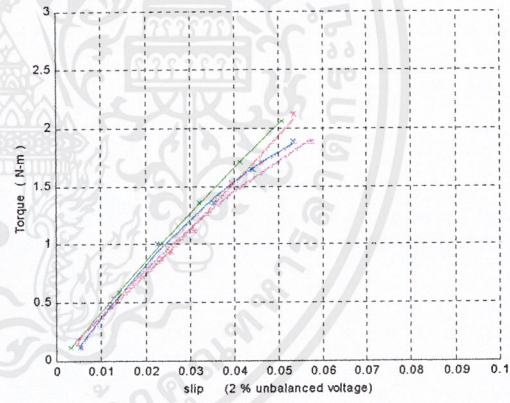
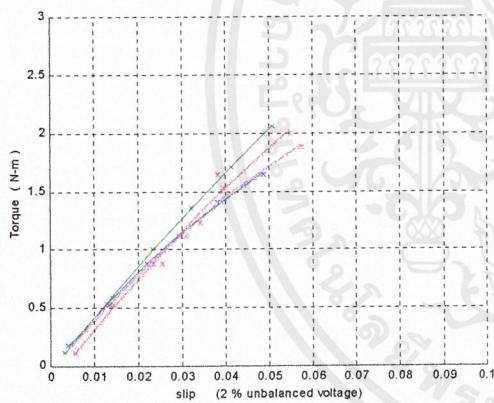
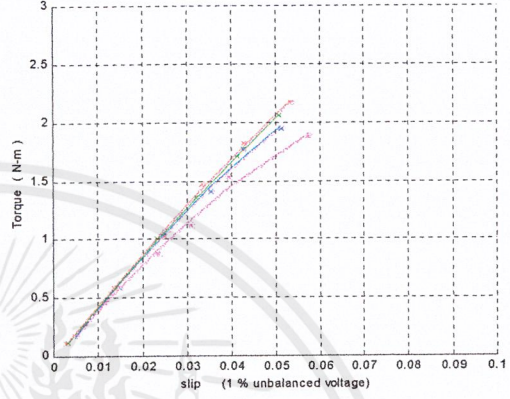
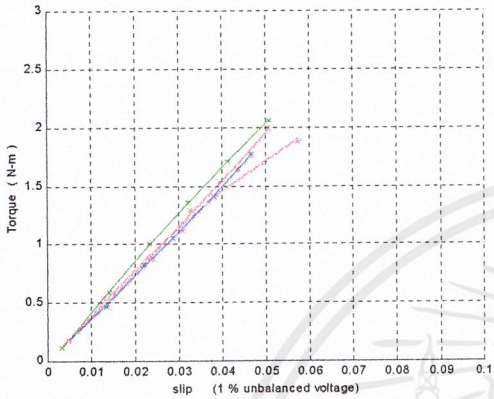
แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล  
 แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล  
 แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( ทดสอบมอเตอร์ทีละตัว )

ต่ำกว่าปกติ 1 เฟส

สูงกว่าปกติ 1 เฟส

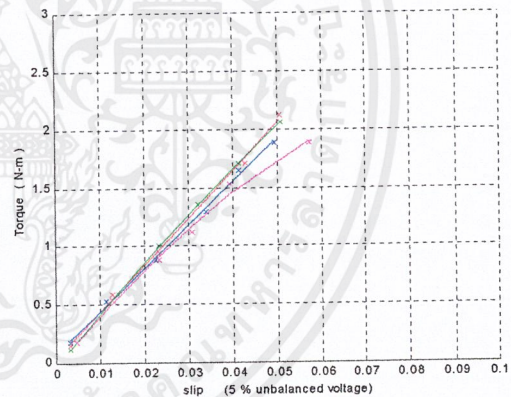
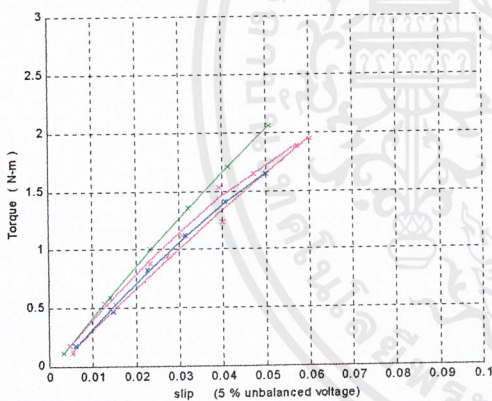
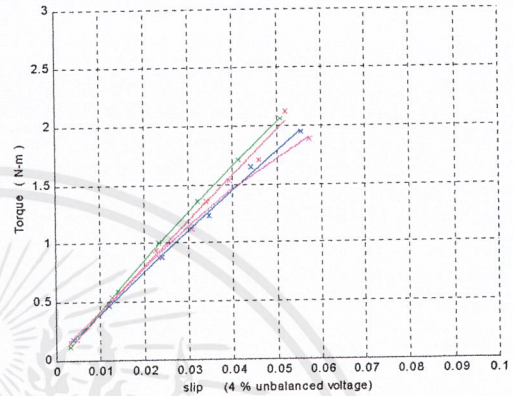
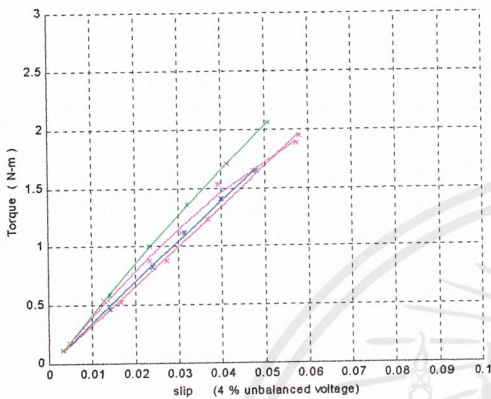


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( ทดสอบมอเตอร์ทีละตัว )

ต่ำกว่าปกติ 1 เฟส

สูงกว่าปกติ 1 เฟส



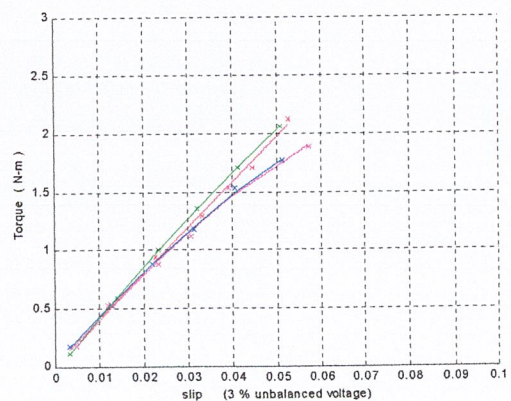
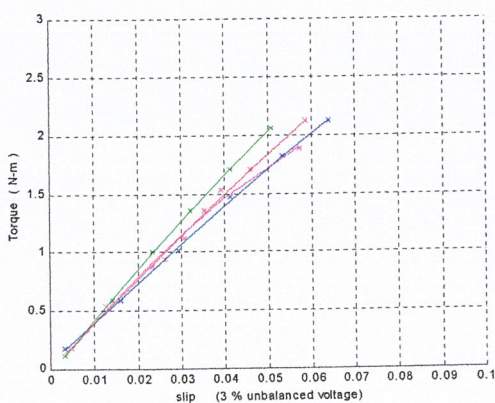
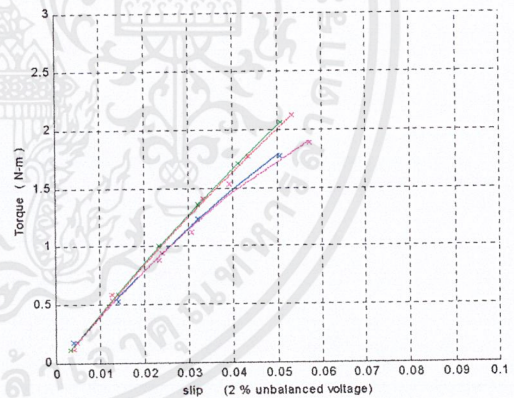
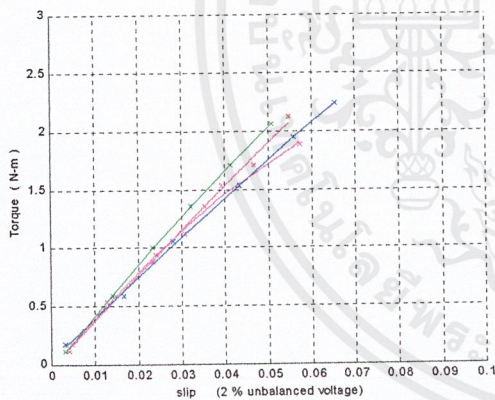
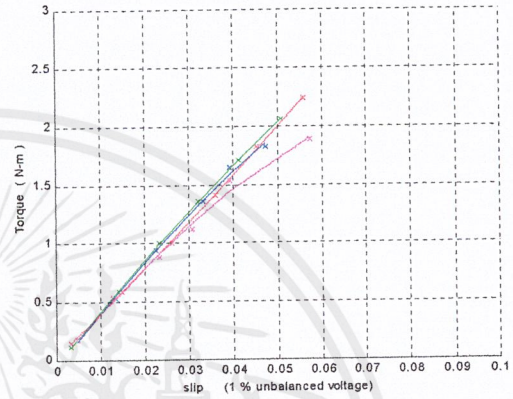
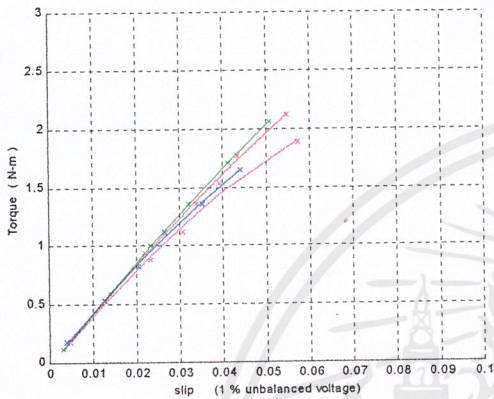
- แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสมดุล
- แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( ทดสอบมอเตอร์ทีละตัว )

ต่ำกว่าปกติ 2 เฟส

สูงกว่าปกติ 2 เฟส

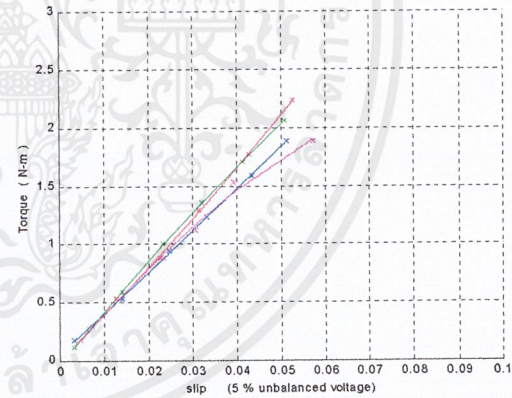
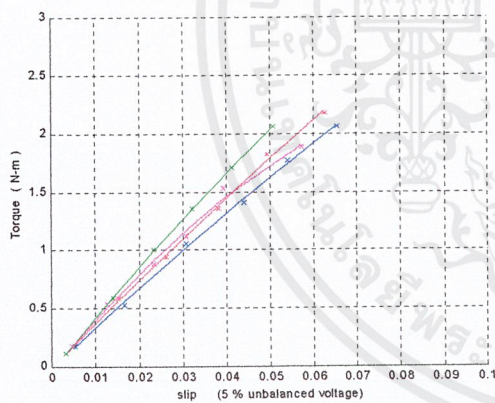
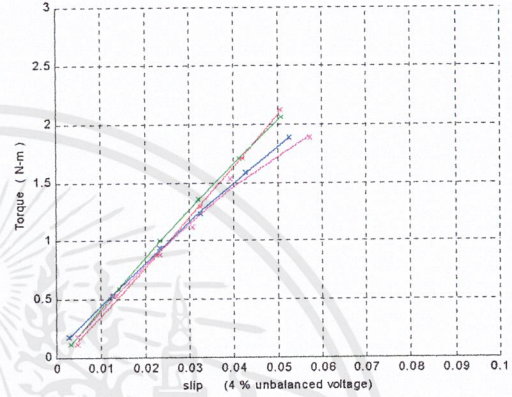
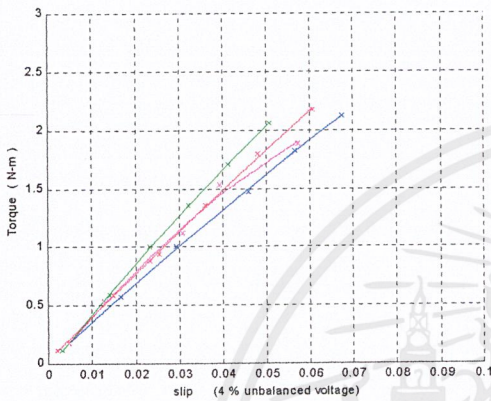


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( ทดสอบมอเตอร์ทีละตัว )

ต่ำกว่าปกติ 2 เฟส

สูงกว่าปกติ 2 เฟส



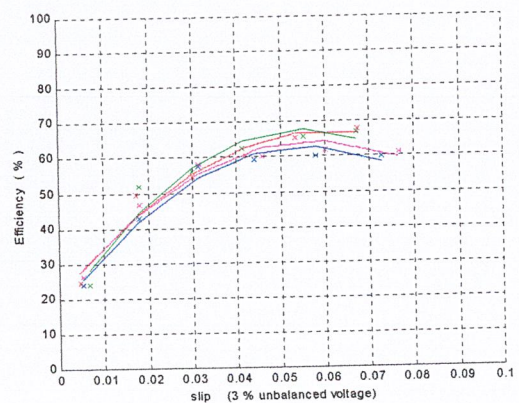
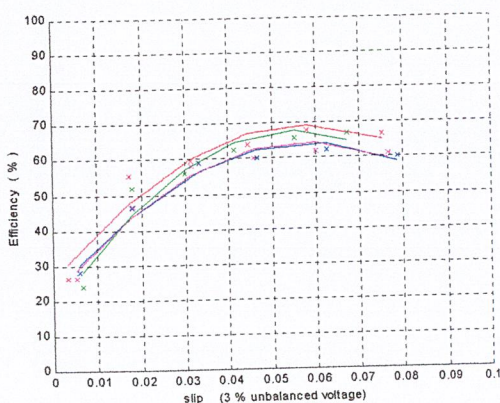
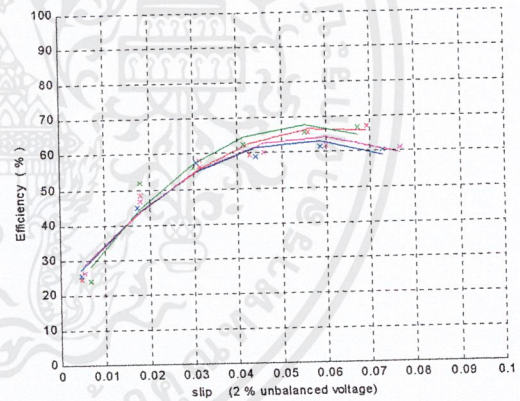
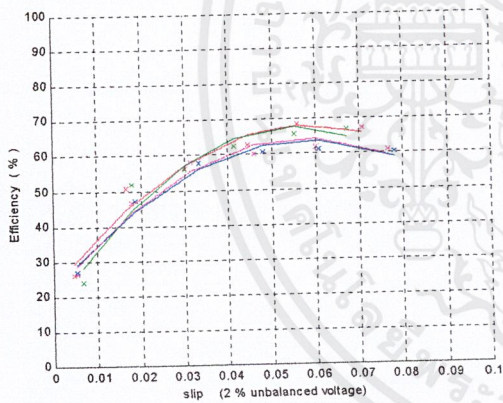
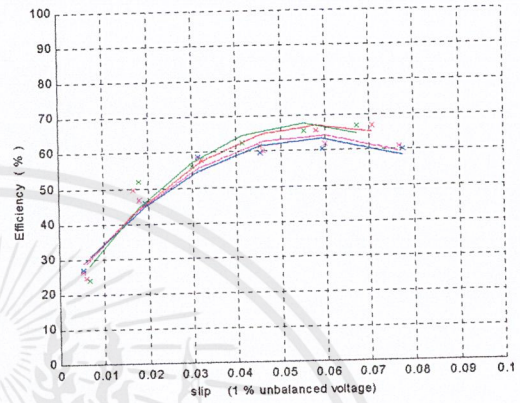
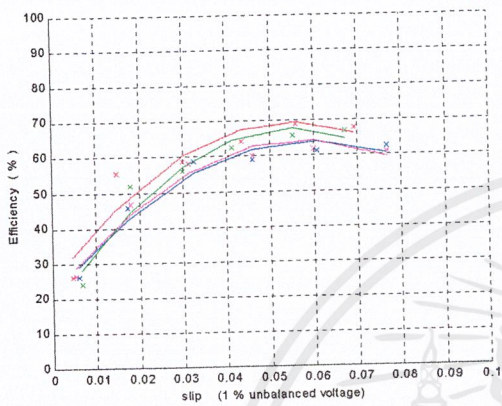
- แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนแรงบิดของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ซึ่งผู้ที่ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( มอเตอร์ทั้งสองตัวต่อขนานกัน )

ต่ำกว่าปกติ 1 เฟส

สูงกว่าปกติ 1 เฟส

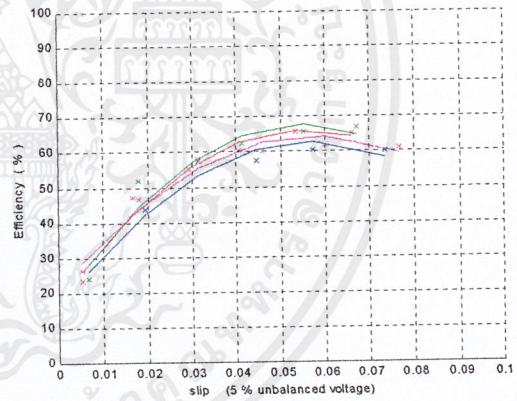
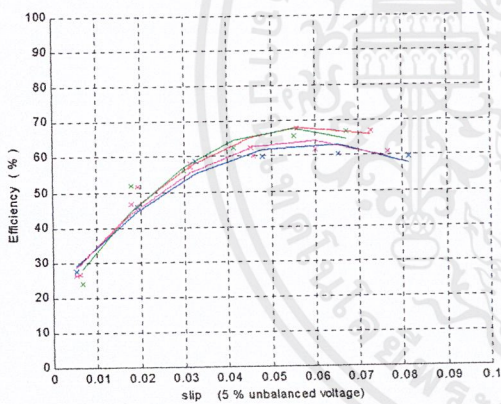
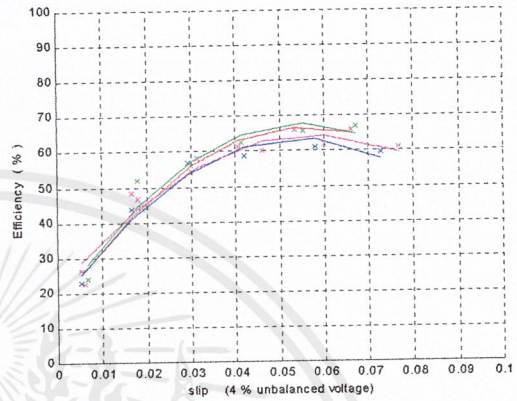
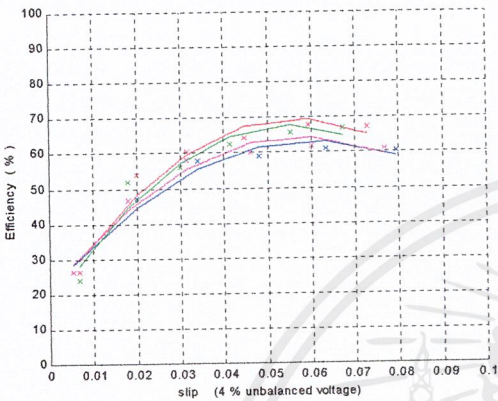


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( มอเตอร์ทั้งสองตัวต่อขนานกัน )

ต่ำกว่าปกติ 1 เฟส

สูงกว่าปกติ 1 เฟส

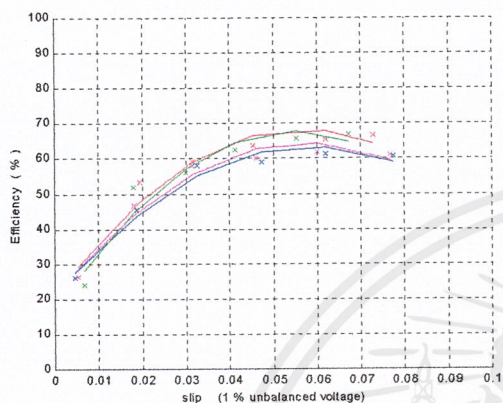


- แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสมดุล
- แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสถานะแรงดันไฟฟ้าสมดุล

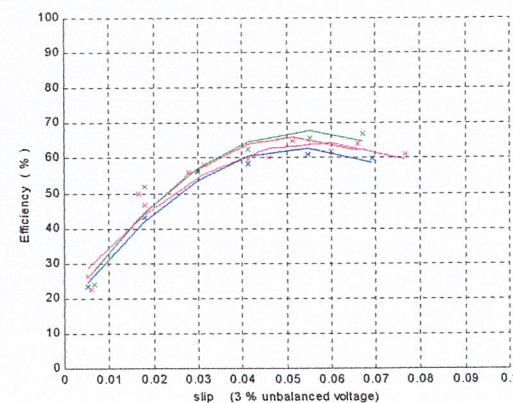
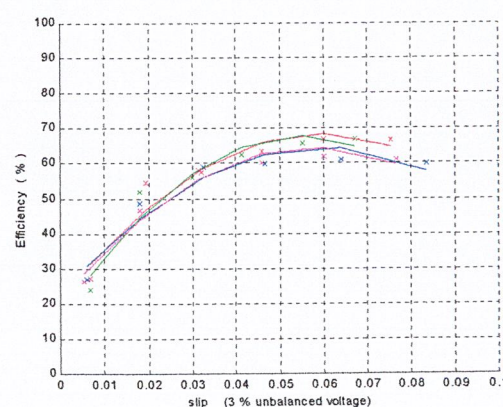
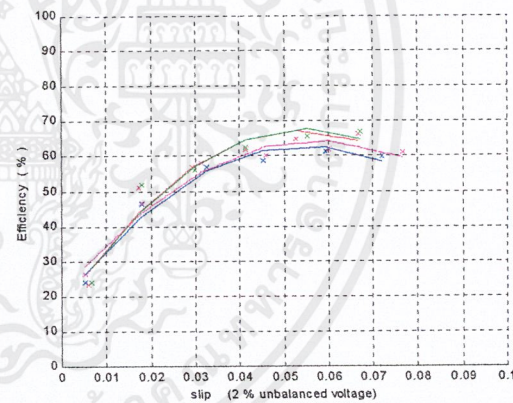
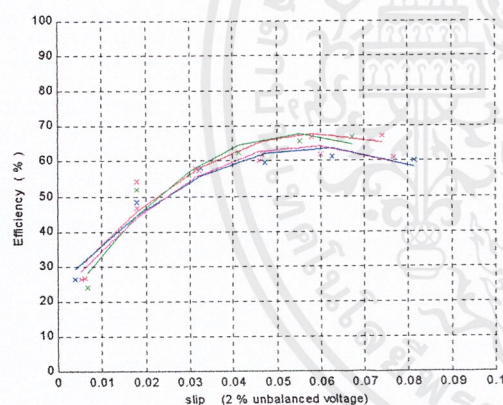
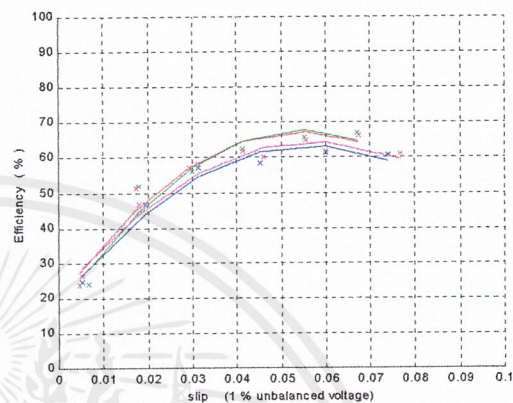
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( มอเตอร์ทั้งสองตัวต่อขนานกัน )

ต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



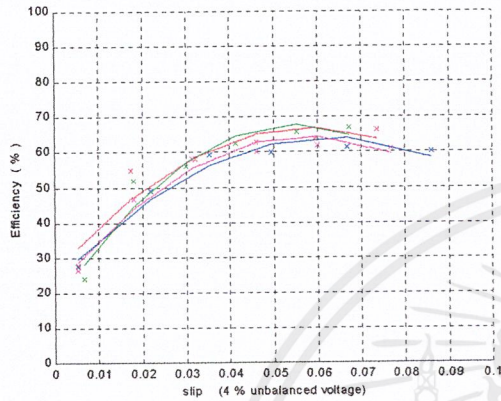
สูงกว่าปกติ 2 เฟส



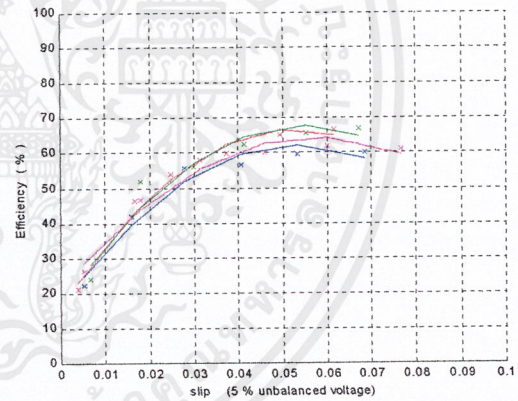
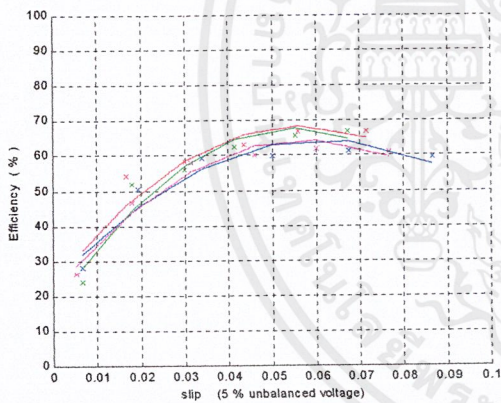
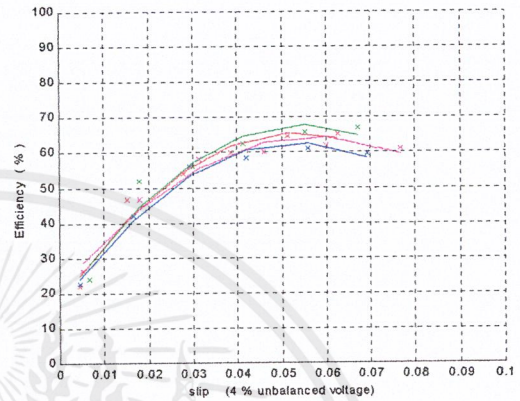
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( มอเตอร์ทั้งสองตัวต่อขนานกัน )

ต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



สูงกว่าปกติ 2 เฟส

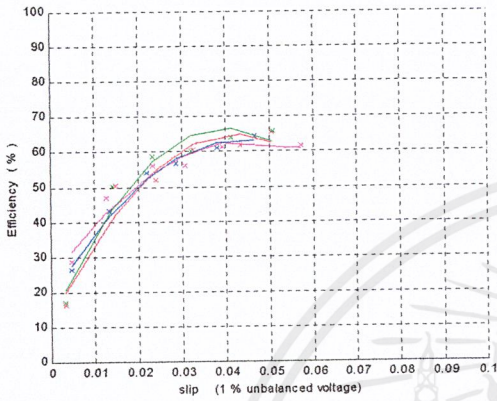


- แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล
- แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล

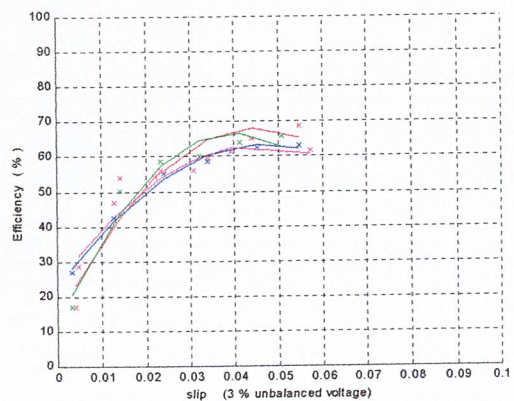
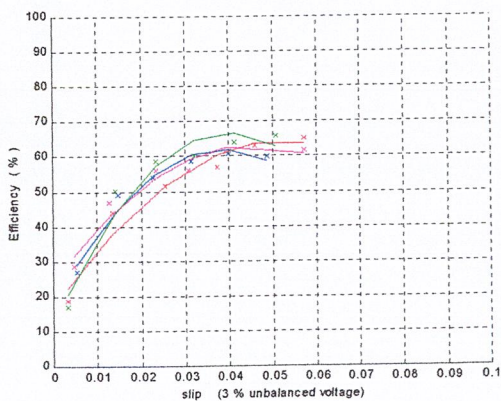
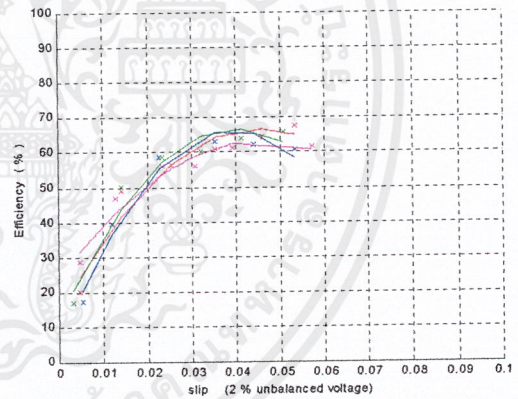
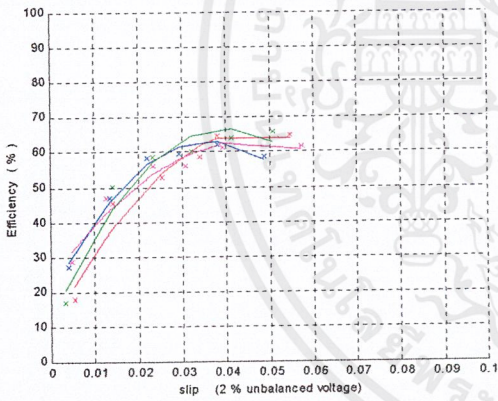
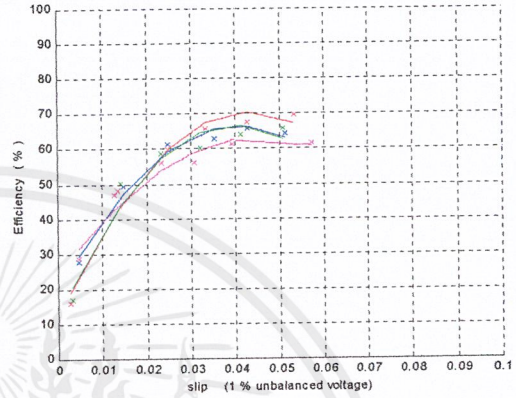
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( ทดสอบมอเตอร์ทีละตัว )

ต่ำกว่าปกติ 1 เฟส



สูงกว่าปกติ 1 เฟส

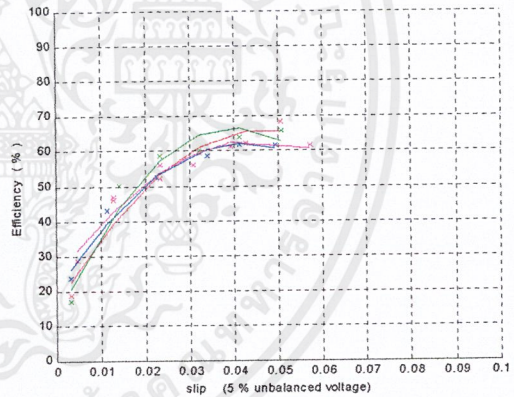
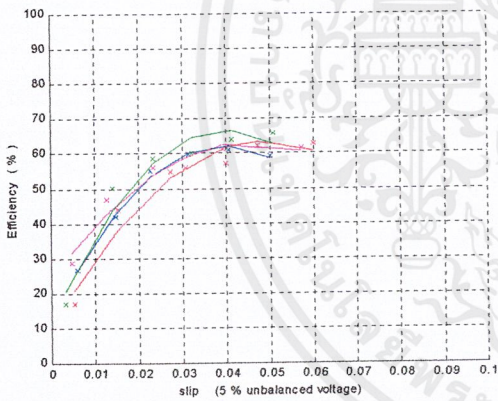
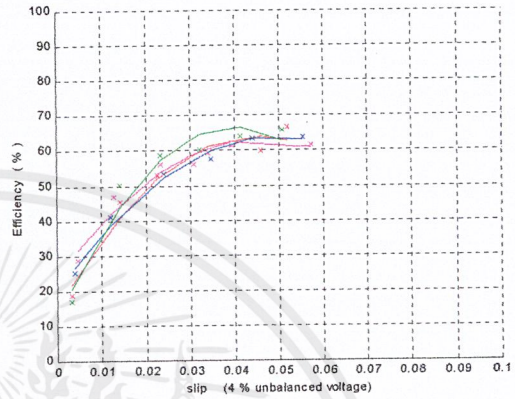
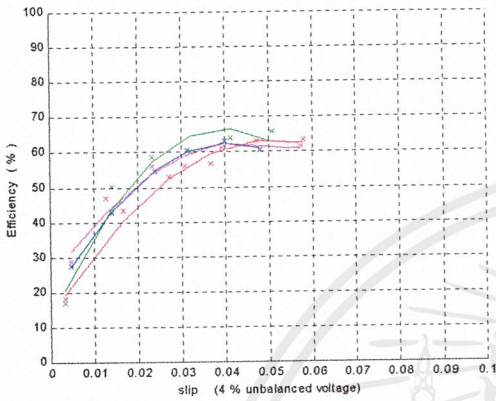


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( ทดสอบมอเตอร์ทีละตัว )

ต่ำกว่าปกติ 1 เฟส

สูงกว่าปกติ 1 เฟส

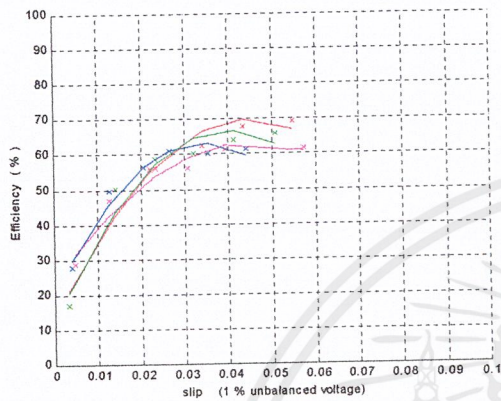


- แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล
- แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล
- แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล

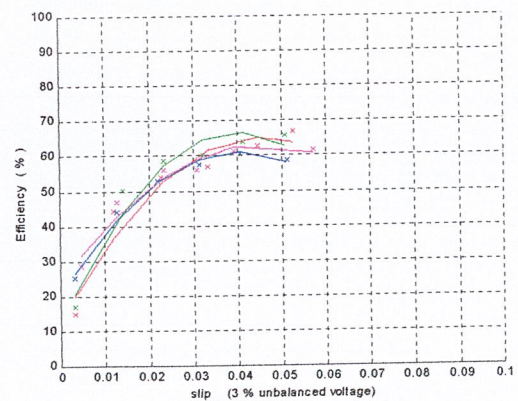
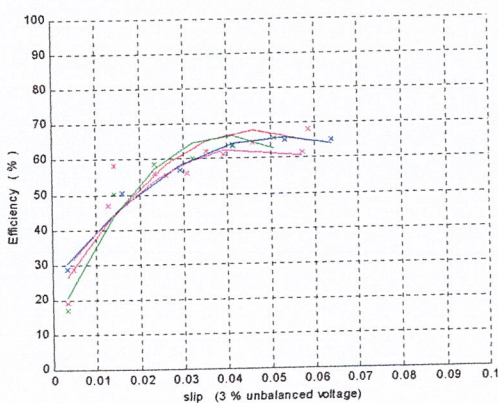
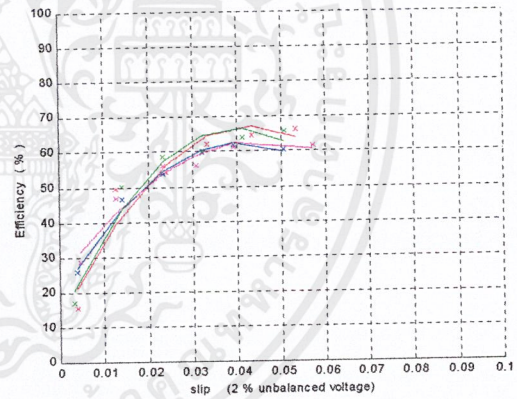
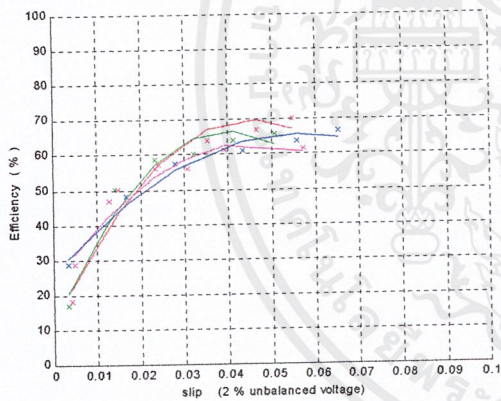
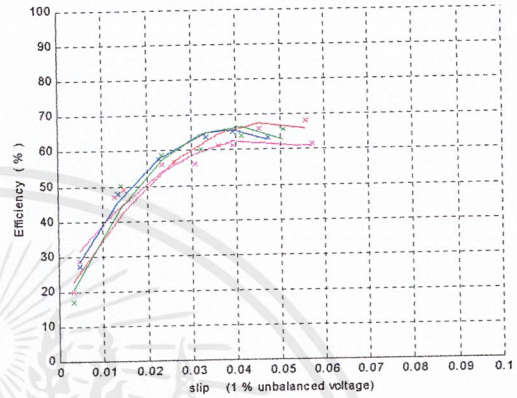
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( ทดสอบมอเตอร์ทีละตัว )

ต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



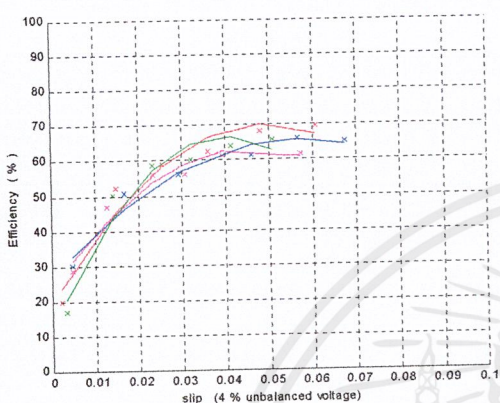
สูงกว่าปกติ 2 เฟส



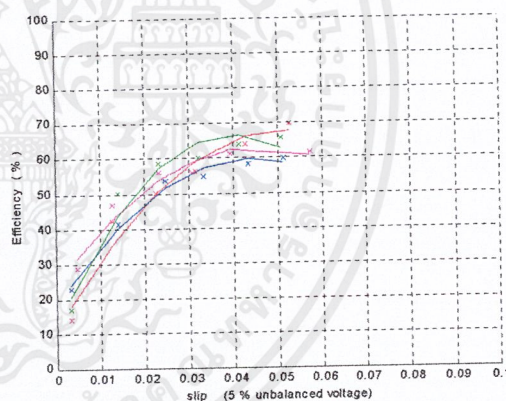
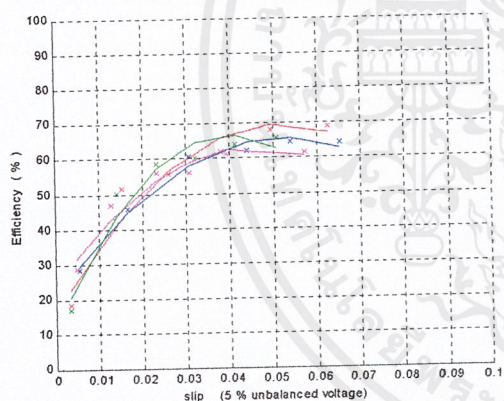
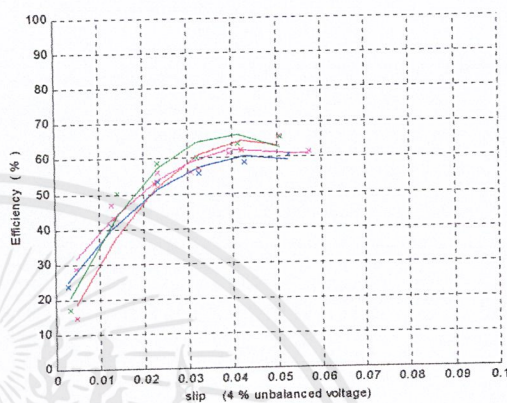
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพ กับสลิปของมอเตอร์ตัวที่ 1 และมอเตอร์ตัวที่ 2 เปรียบเทียบระหว่างกรณีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ และ สูงกว่าปกติที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลค่าเดียวกัน ( ทดสอบมอเตอร์ทีละตัว )

ต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



สูงกว่าปกติ 2 เฟส



แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

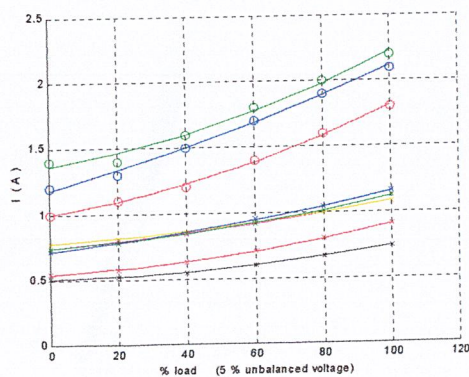
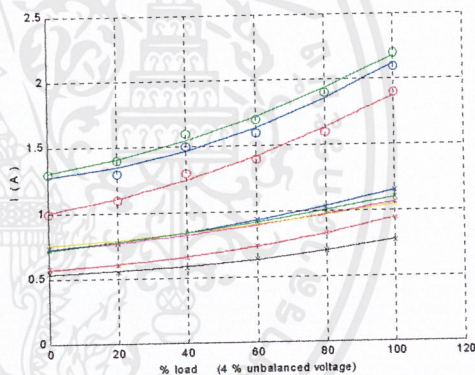
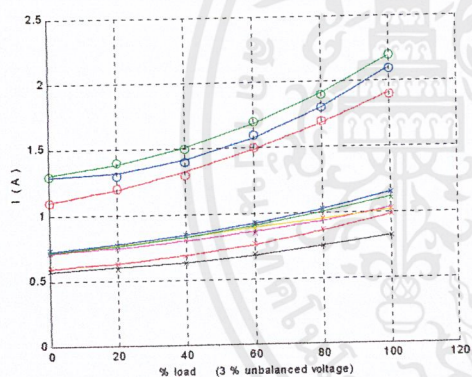
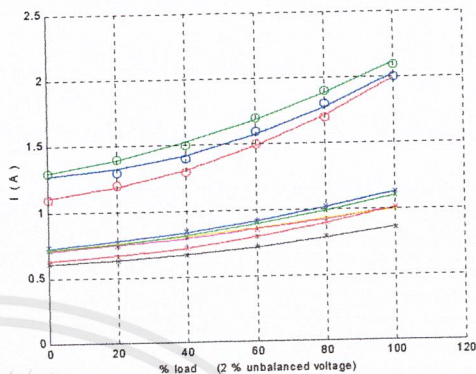
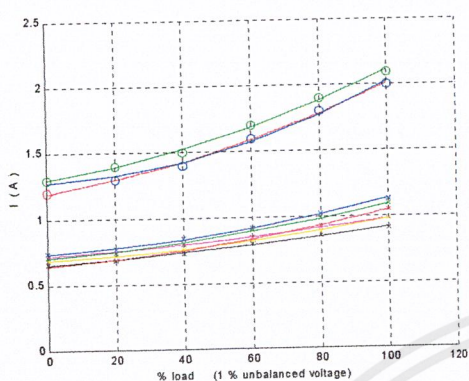
แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 1 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล

แทนประสิทธิภาพของมอเตอร์ตัวที่ 2 ในสภาวะแรงดันไฟฟ้าสมดุล

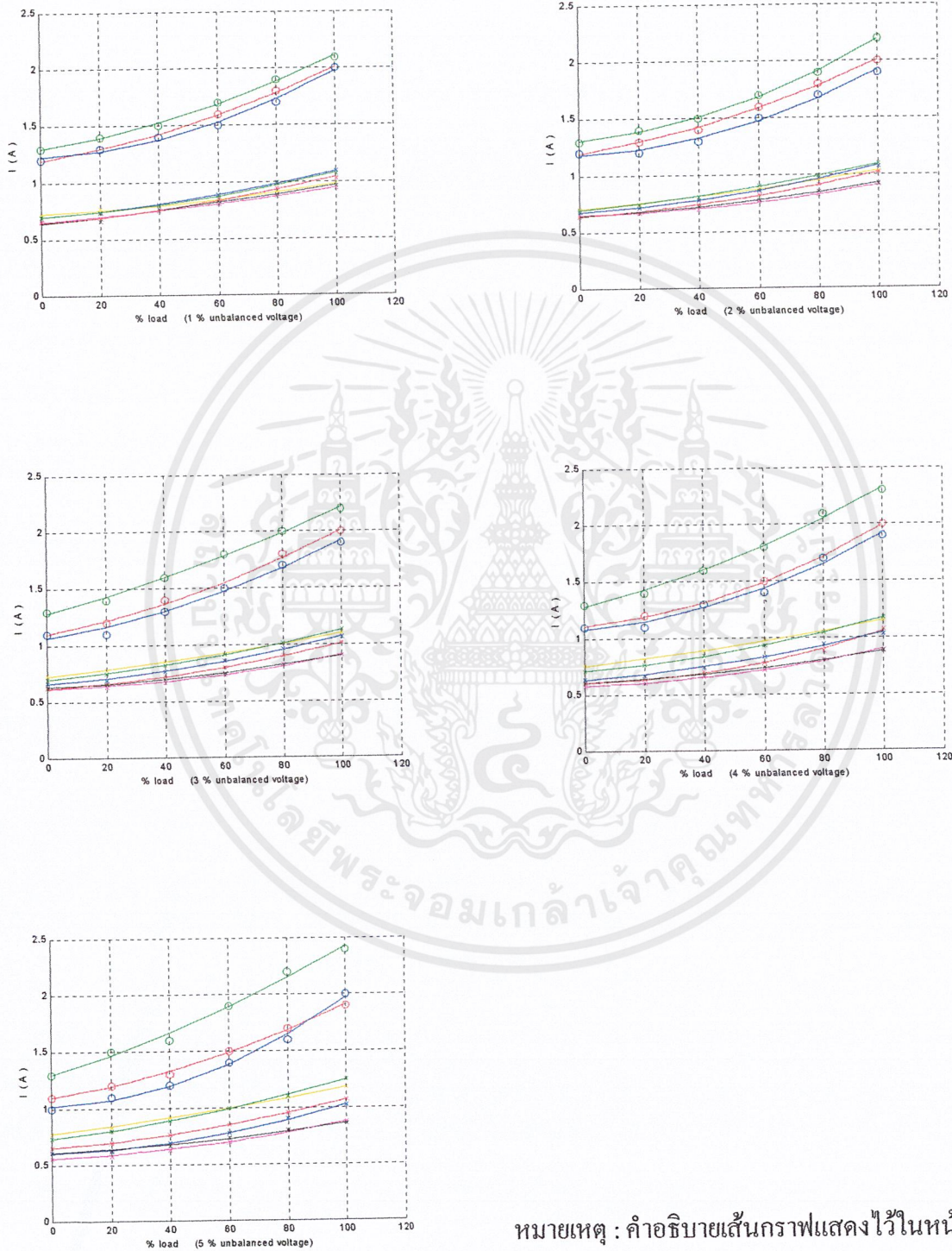
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสที่ไหลในมอเตอร์ตัวที่ 1 จากการทดสอบมอเตอร์ที่ละตัว และจากการขนานมอเตอร์ รวมทั้งกระแสรวมจากการขนานมอเตอร์ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์โหลดต่างๆกันในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส



หมายเหตุ : คำอธิบายเส้นกราฟแสดงไว้ในหน้า 123

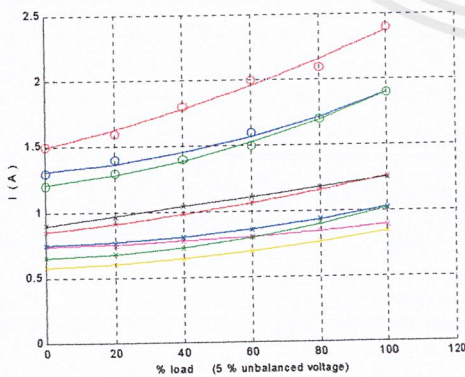
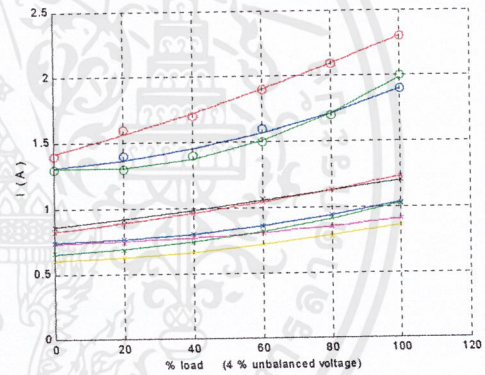
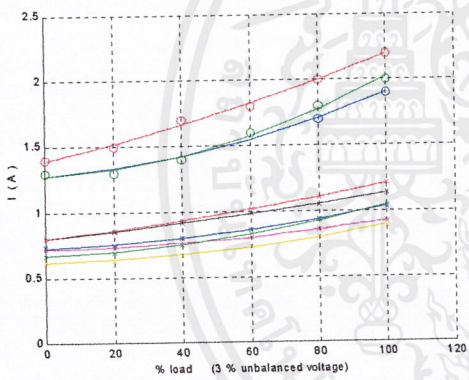
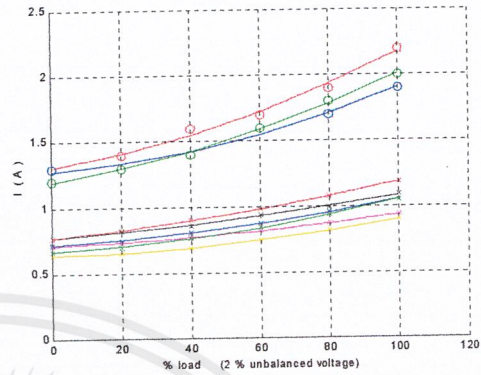
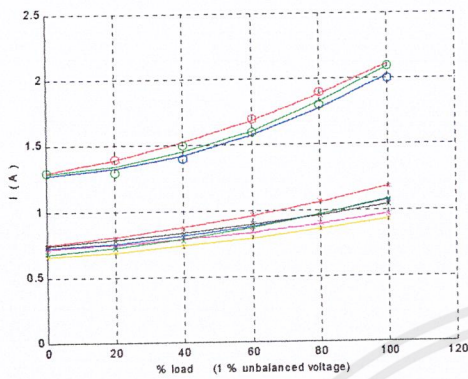
กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสที่ไหลในมอเตอร์ตัวที่ 1 จากการทดสอบมอเตอร์ทีละตัว และจากการขนานมอเตอร์ รวมทั้งกระแสรวมจากการขนานมอเตอร์ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์โหลดต่างๆกันในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



หมายเหตุ : คำอธิบายเส้นกราฟแสดงไว้ในหน้า 123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

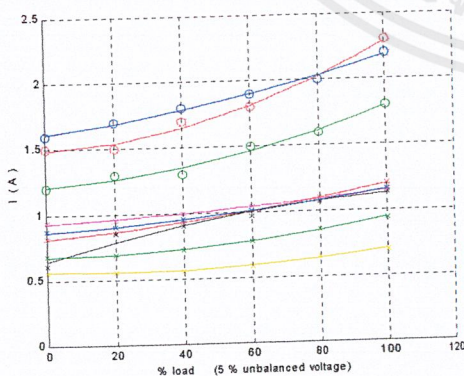
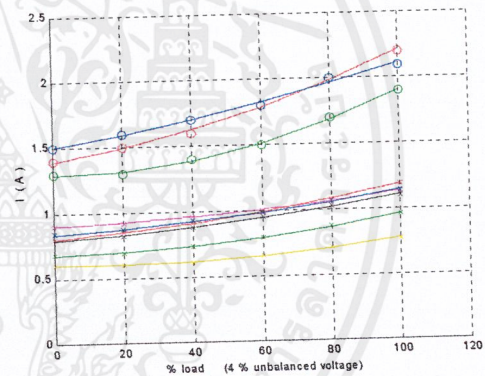
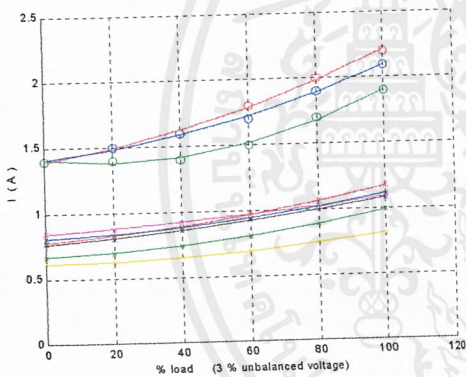
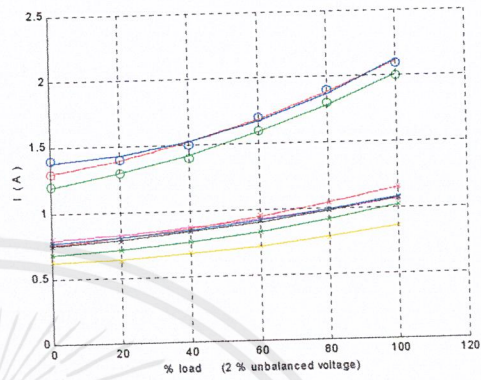
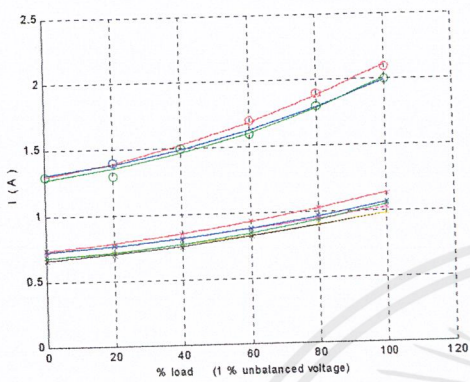
กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสที่ไหลในมอเตอร์ตัวที่ 1 จากการทดสอบมอเตอร์ที่ละตัว และจากการขนานมอเตอร์ รวมทั้งกระแสรวมจากการขนานมอเตอร์ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์โหลดต่างๆกันในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 1 เฟส



หมายเหตุ : คำอธิบายเส้นกราฟแสดงไว้ในหน้า 123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

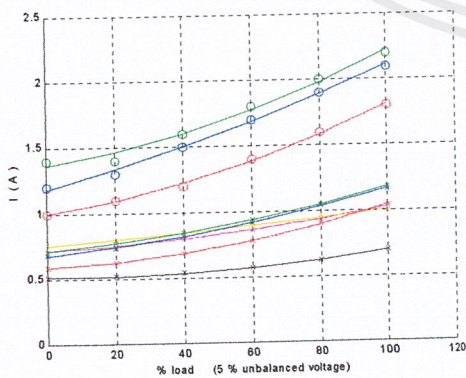
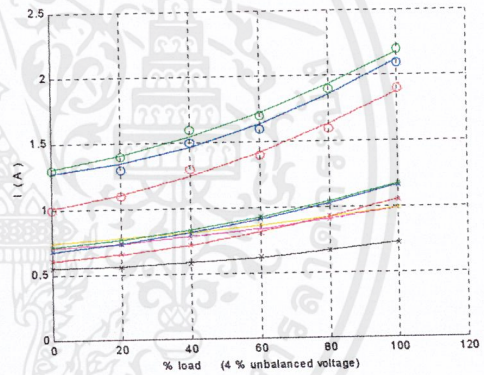
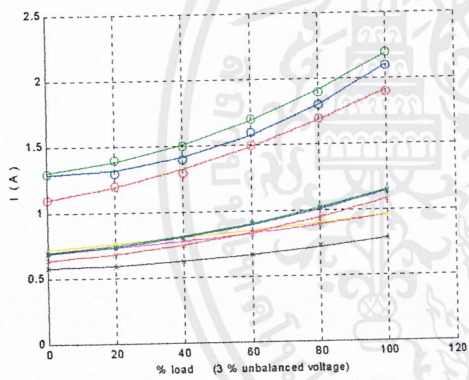
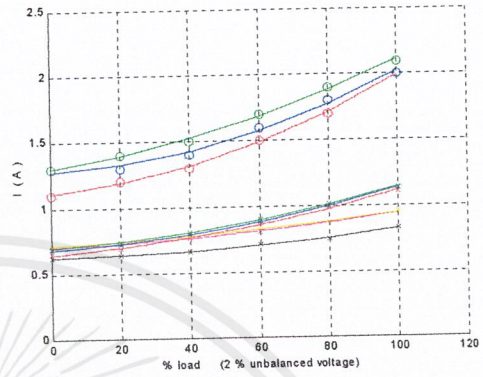
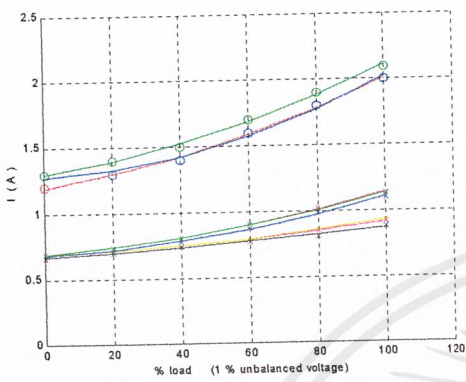
กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสที่ไหลในมอเตอร์ตัวที่ 1 จากการทดสอบมอเตอร์ที่ละตัว และจากการขนานมอเตอร์ รวมทั้งกระแสรวมจากการขนานมอเตอร์ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์โหลดต่างๆกันในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 2 เฟส



หมายเหตุ : คำอธิบายเส้นกราฟแสดงไว้ในหน้า 123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

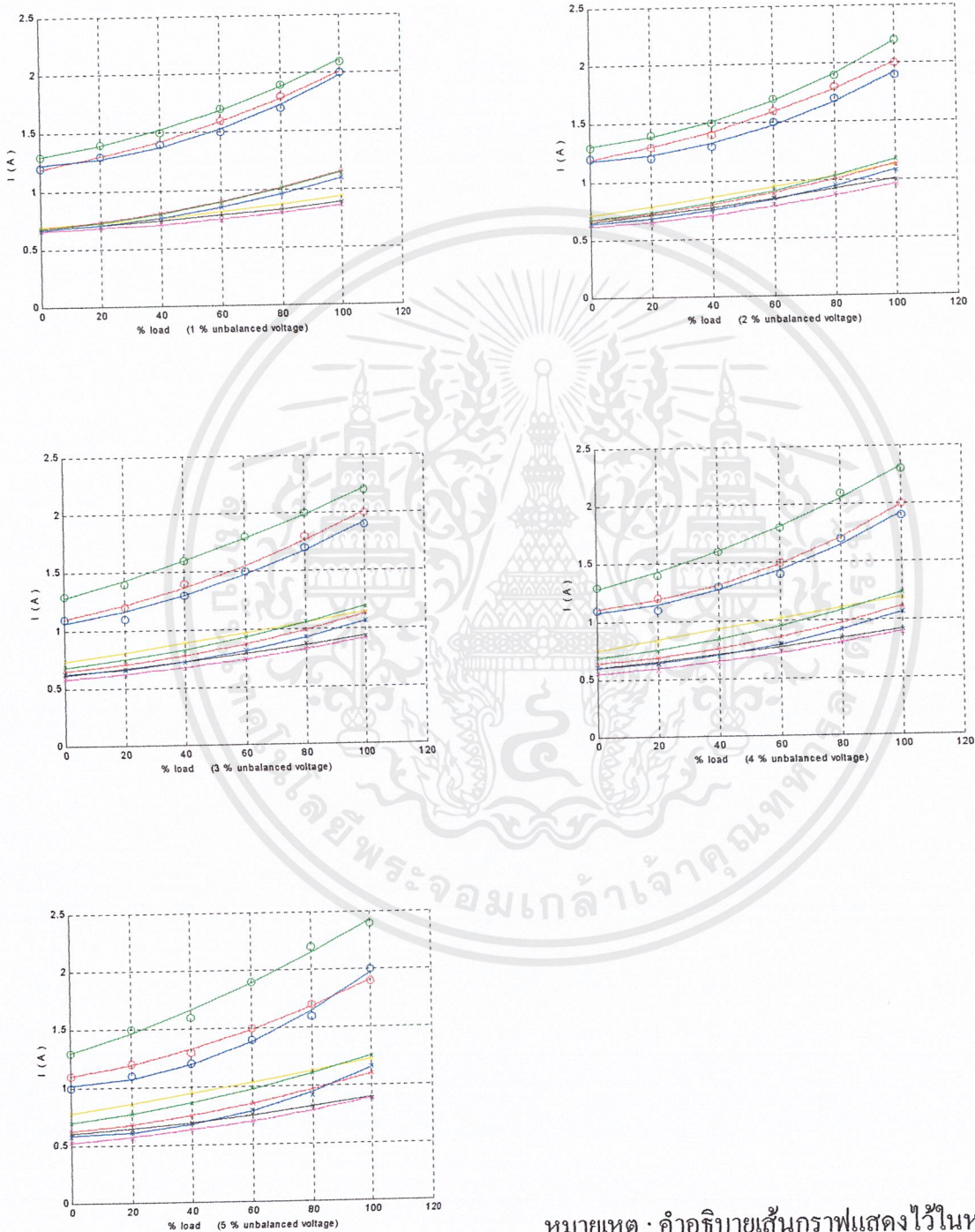
กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสที่ไหลในมอเตอร์ตัวที่ 2 จากการทดสอบมอเตอร์ที่ละตัว และจากการขนานมอเตอร์ รวมทั้งกระแสรวมจากการขนานมอเตอร์ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์โหลดต่างๆกันในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 1 เฟส



หมายเหตุ : ค่าอธิบายเส้นกราฟแสดงไว้ในหน้า 123

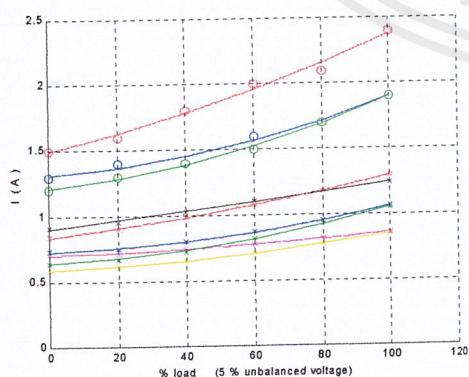
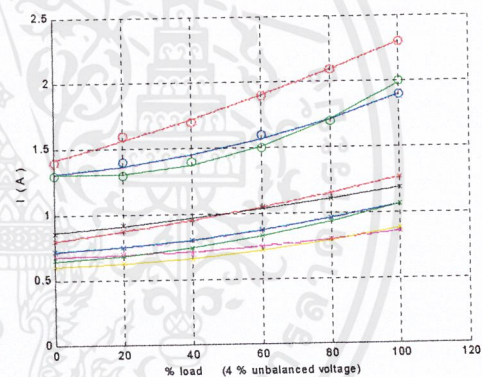
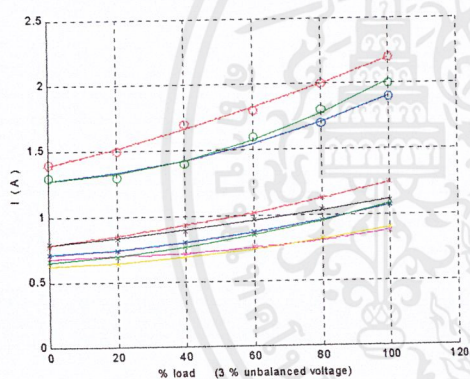
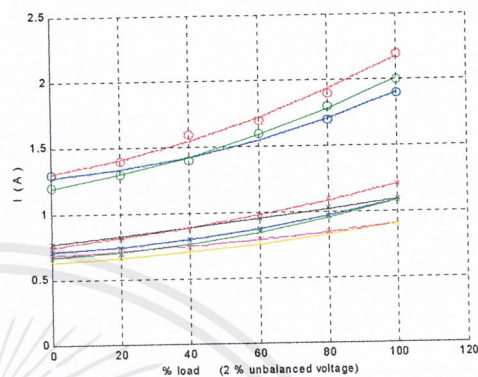
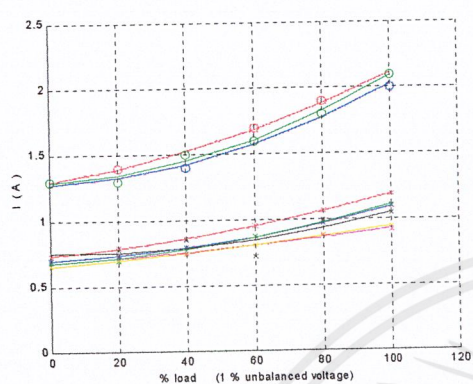
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสที่ไหลในมอเตอร์ตัวที่ 2 จากการทดสอบมอเตอร์ที่ละตัว และจากการขนานมอเตอร์ รวมทั้งกระแสรวมจากการขนานมอเตอร์ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์โหลดต่างๆกันในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลต่ำกว่าปกติ 2 เฟส



หมายเหตุ : คำอธิบายเส้นกราฟแสดงไว้ในหน้า 123

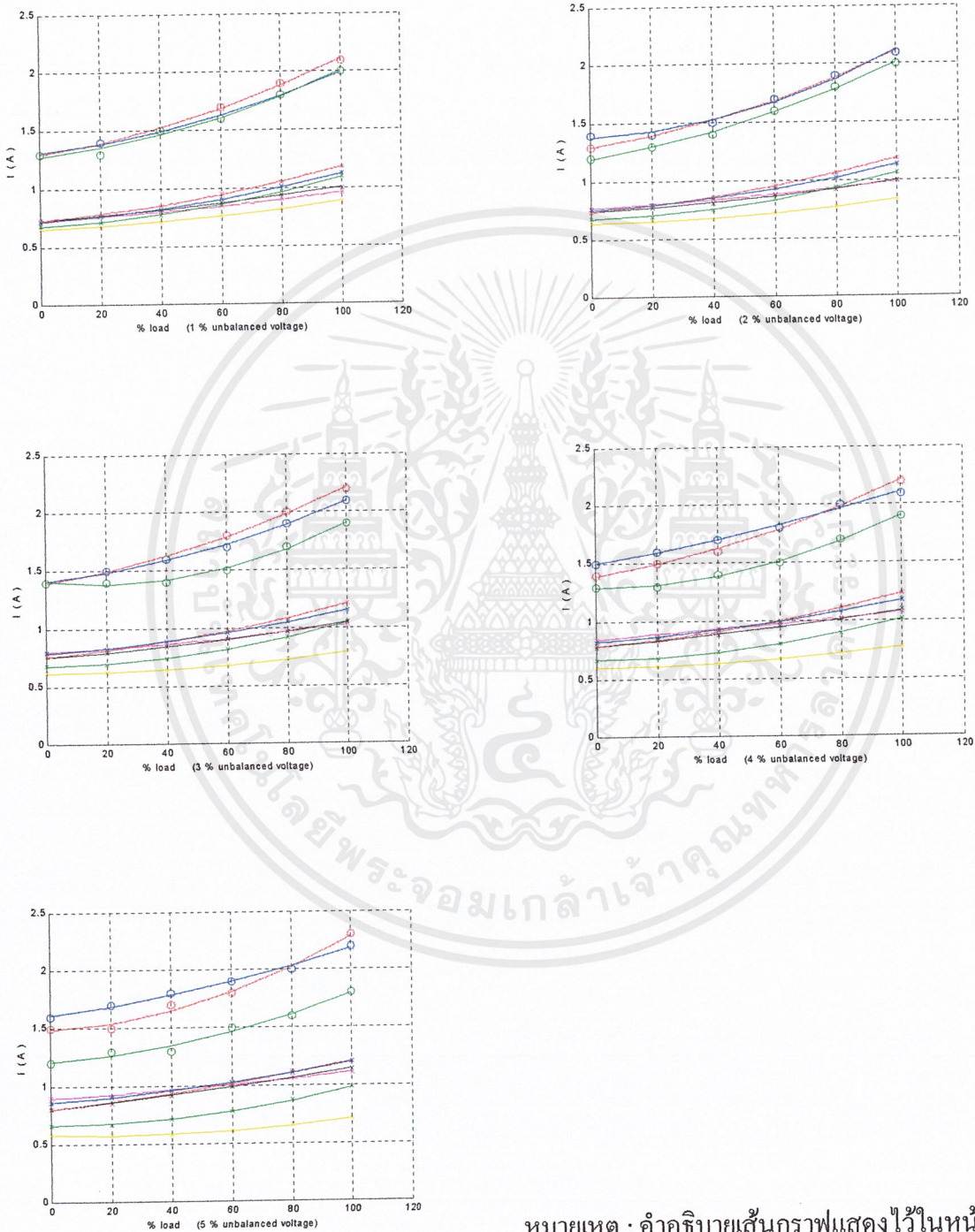
กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสที่ไหลในมอเตอร์ตัวที่ 2 จากการทดสอบมอเตอร์ที่ละตัว และจากการขนานมอเตอร์ รวมทั้งกระแสรวมจากการขนานมอเตอร์ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์โหลดต่างๆกันในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 1 เฟส



หมายเหตุ : คำอธิบายเส้นกราฟแสดงไว้ในหน้า 123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงการเปรียบเทียบกระแสที่ไหลในมอเตอร์ตัวที่ 2 จากการทดสอบมอเตอร์ที่ละตัว และจากการขนานมอเตอร์ รวมทั้งกระแสรวมจากการขนานมอเตอร์ ที่ค่าเปอร์เซ็นต์โหลดต่างๆกันในสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลสูงกว่าปกติ 2 เฟส



หมายเหตุ : คำอธิบายเส้นกราฟแสดงไว้ในหน้า 123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หมายเหตุ

- แทนกระแสรวมจากการขนานมอเตอร์ในเฟส A
- แทนกระแสรวมจากการขนานมอเตอร์ในเฟส B
- แทนกระแสรวมจากการขนานมอเตอร์ในเฟส C
- x—x— แทนกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ในเฟส A จากการขนานมอเตอร์
- x—x— แทนกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ในเฟส B จากการขนานมอเตอร์
- x—x— แทนกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ในเฟส C จากการขนานมอเตอร์
- x—x— แทนกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ในเฟส A เมื่อทดสอบมอเตอร์ทีละตัว
- x—x— แทนกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ในเฟส B เมื่อทดสอบมอเตอร์ทีละตัว
- x—x— แทนกระแสที่ไหลเข้ามอเตอร์ในเฟส C เมื่อทดสอบมอเตอร์ทีละตัว



## ตัวอย่างโปรแกรม MATLAB ที่ช่วยคำนวณ

```

n      = 6;
a      = -0.5 + 0.866i ;
aa     = a * a;
invmeta = 1/3 * [ 1 1 1; 1 a aa; 1 aa a ];
meta   =      [ 1 1 1; 1 aa a; 1 a aa ];
Rc     = 2438;
Xm     = 308i;
z1     = 20 + 17.75i ;
Zmid   = (Rc * Xm) / (Rc + Xm);
slip   = [ 1490 1475 1455 1435 1416 1393 ];

for k = 1 : n
    slip2(1,k) = (1500 - slip(1,k)) / 1500 ;
    z2(1,k)    = (13.3 / slip2(1,k)) + 17.75i ;
    zm1(1,k)   = z1 + (Zmid * z2(1,k)) / (Zmid + z2(1,k));
    z2negative(1,k) = 13.3 / (2 - slip2(1,k)) + 17.75i ;
    zm2(1,k)   = z1 + (Zmid * z2negative(1,k)) / (Zmid + z2negative(1,k));
end

svan = [ 216.7 213.5 210.4 207.3 204.3 ];
svbn = [ 216.7 213.5 210.4 207.3 204.3 ];
svcn = [ 220 220 220 220 220 ];
Van = svan ;

Vab = [ 355 354 354 353 353 352 ];
Vbc = [ 367 366 365 364 363 363 ];
Vca = [ 371 370 370 369 368 368 ];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

for k = 1 : n
    setaAB(1,k) = acos(( svan(1,5) ^ 2 + svbn(1,5)^2 - Vab(1,k) ^ 2) /
        ( 2 * svan(1,5) * svbn(1,5) ));
    setaCA(1,k) = acos(( svan(1,5) ^ 2 + svcn(1,5)^2 - Vca(1,k) ^ 2) /
        ( 2 * svan(1,5) * svcn(1,5) ));
    setaB = - setaAB(1,k) / pi * 180 ;
    setaC = setaCA(1,k) / pi * 180 ;
    Vbn(1,k) = svbn(1,5) * ( cos(- setaAB(1,k)) + sin(- setaAB(1,k))*i) ;
    Vcn(1,k) = svcn(1,5) * ( cos( setaCA(1,k)) + sin( setaCA(1,k))*i) ;
    Van012 = invmeta * [ Van(1,5); Vbn(1,k); Vcn(1,k) ] ;
    Ia012 = [ 0 ; Van012(2,1) / zm1(1,k); Van012(3,1) / zm2(1,k) ] ;
    Iabc = meta * Ia012 ;
    Ia(1,k) = abs(Iabc(1,1)) ;
    Ib(1,k) = abs(Iabc(2,1)) ;
    Ic(1,k) = abs(Iabc(3,1)) ;
    PowerA(1,k) = Van(1,5) * abs(Iabc(1,1)) * cos( angle(Iabc(1,1)) );
    PowerB(1,k) = abs(Vbn(1,k)) * abs(Iabc(2,1)) * cos( angle(Vbn(1,k)) -
        angle(Iabc(2,1)) );
    PowerC(1,k) = abs(Vcn(1,k)) * abs(Iabc(3,1)) * cos( angle(Vcn(1,k)) -
        angle(Iabc(3,1)) );
end
PowerA
PowerB
PowerC
Ia
Ib
Ic
weight = [ 0 1 2 3 4 5 ] ;
powerA = [ 24 48.4 76 106 136 164 ] ;

```

```
powerB = [ 30  55  85 110 140 165 ] ;
powerC = [ 44  81 116 148 180 210 ] ;
```

hold on

```
plot ( weight , PowerA , 'xr' ) ;
plot ( weight , PowerB , 'xb' ) ;
plot ( weight , PowerC , 'xg' ) ;
```

```
plot ( weight , powerA , 'or' ) ;
plot ( weight , powerB , 'ob' ) ;
plot ( weight , powerC , 'og' ) ;
```

```
n = 2 ;
PowerAf = polyfit ( weight , PowerA , n ) ;
PowerAv = polyval ( PowerAf , weight ) ;
plot ( weight , PowerAv , 'r' ) ;
```

```
PowerBf = polyfit ( weight , PowerB , n ) ;
PowerBv = polyval ( PowerBf , weight ) ;
plot ( weight , PowerBv , 'b' ) ;
```

```
PowerCf = polyfit ( weight , PowerC , n ) ;
PowerCv = polyval ( PowerCf , weight ) ;
plot ( weight , PowerCv , 'g' ) ;
```

```
powerAf = polyfit ( weight , powerA , n ) ;
powerAv = polyval ( powerAf , weight ) ;
plot ( weight , powerAv , 'r' ) ;
```

```
powerBf = polyfit ( weight , powerB , n ) ;
powerBv = polyval ( powerBf , weight ) ;
plot ( weight , powerBv , 'b' ) ;
```

```
powerCf = polyfit ( weight , powerC , n );  
powerCv = polyval ( powerCf , weight ) ;  
plot ( weight , powerCv , 'g' ) ;
```

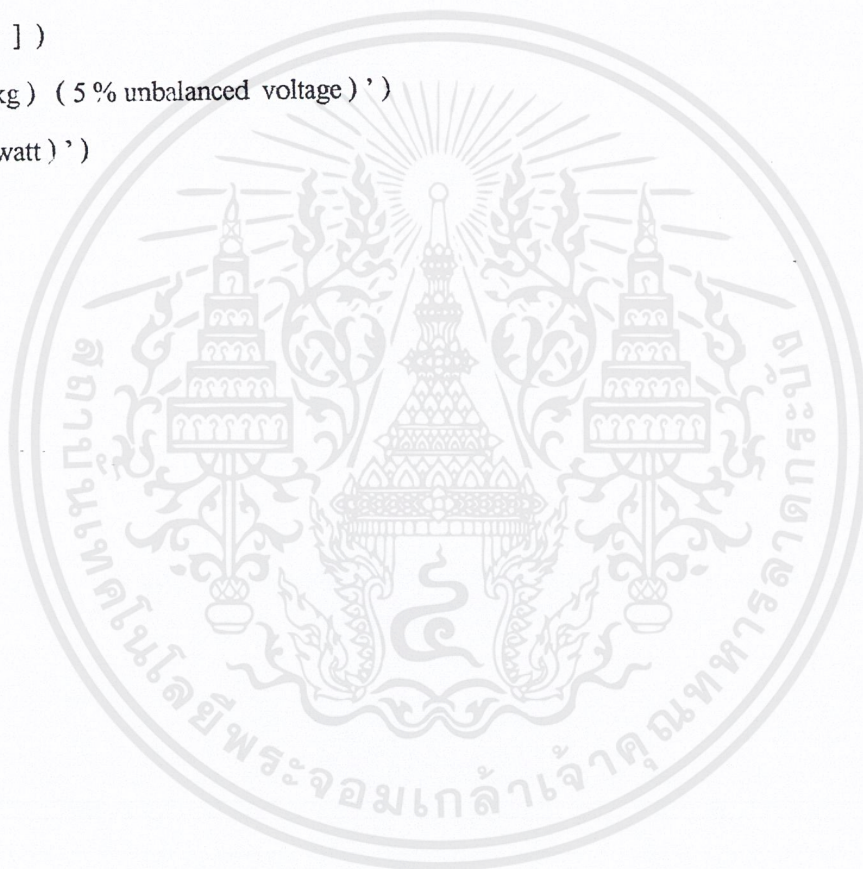
```
hold off
```

```
grid
```

```
axis ( [ 0 6 0 350 ] )
```

```
xlabel ( ' weight ( kg ) ( 5 % unbalanced voltage ) ' )
```

```
ylabel ( ' Power ( watt ) ' )
```



## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร. อานันท์วัฒน์ คุณากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และอาจารย์สุรินทร์ คำฝอยเป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความรู้ และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ พี่เอ และ พี่ตัวเล็ก รวมทั้งภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้ยืมเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับโครงการเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ พี่ไต้ง รุ่นพี่ปริญญาโทที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ และกำลังใจในการทำโครงการตลอดมา

ขอขอบคุณ พี่เฉลิมชาติ และ ศูนย์พัฒนาวิศวกรรม ( คีค 12 ชั้น ) ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ในการทดสอบ

และขอบคุณเพื่อน ๆ ห้อง 4B ที่เคยให้ความช่วยเหลือซึ่งไม่สามารถกล่าวถึงได้ครบทุกคน

ท้ายที่สุดขอขอบคุณคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และจริยธรรม

### บรรณานุกรม

- [ 1 ] John J. Grainger , William D. Stevenson , Jr. “ POWER SYSTEM ANALYSIS ” : McGraw – Hill , Inc . 1994
- [ 2 ] Stephen J. Chapman . “ Electric Machinery Fundamentals ” 3<sup>rd</sup> Ed . : McGraw – Hill . 1998
- [ 3 ] Vijay B. Bhavaraju and Prasad N. Enjeti . “ An Active Line Conditioner to Balance Voltages in a Three – Phase System ” IEEE . 1996
- [ 4 ] IEEE Std 141 - 1993 . “ IEEE Recommended practice for electric power distribution for industrial plants . ” : IEEE , 1993 . pp. 89 – 91
- [ 5 ] Ching – Yin Lee , Bin – Kwie Chen , Wei - Jen Lee , Yen - Feng Hsu . “ Effects of various unbalanced voltages on the operation performance of an induction motor under the same voltage unbalance factor condition . ” IEEE . 1997
- [ 6 ] Kersting W.H. , Phillips W.H.. “ Phase Frame Analysis of the Effects of Voltage Unbalance on Induction Machines . ” IEEE . 1997
- [ 7 ] Theodore Wildi . Electrical Machines , Drives , and Power Systems 4<sup>th</sup> Ed . : Prentice Hall International , Inc . 2000
- [ 8 ] รัชต มั่งมีชัย . การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อใช้งานในสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล . วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2543 .
- [ 9 ] Hadi Saadat . “ POWER SYSTEM ANALYSIS ” : McGRAW – Hill . 1999