การเลือกตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิด ตัวเก็บประจุสตาร์ท – ตัวเก็บประจุรัน

SELECTION OF AN OPTIMIZED CAPACITOR VALUE FOR A SINGLE PHASE CAPACITOR START-CAPACITOR RUN INDUCTION MOTOR

นายกิตติพงศ์ โชคกิตเดชา

นายพงศวีร์ ทิพยานนท์

นายศุภสิทธิ์ ปัทมารัง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

การเลือกตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิด ตัวเก็บประจุสตาร์ท – ตัวเก็บประจุรัน

SELECTION OF AN OPTIMIZED CAPACITOR VALUE FOR A SINGLE PHASE CAPACITOR START-CAPACITOR RUN INDUCTION MOTOR

นายกิตติพงศ์ โชคกิตเดชา

นายพงศวีร์ ทิพยานนท์

นายศุภสิทธิ์ ปัทมารัง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SELECTION OF AN OPTIMIZED CAPACITOR VALUE FOR A SINGLE PHASE CAPACITOR START-CAPACITOR RUN INDUCTION MOTOR

KITTIPONG CHOKKITDECHAR

PONGSAWEE THIPAYANON

SUPASIT PATTAMARANG

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENERGY ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2559

การเลือกตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิด ตัวเก็บประจุสตาร์ท – ตัวเก็บประจุรัน

SELECTION OF AN OPTIMIZED CAPACITOR VALUE FOR A SINGLE PHASE CAPACITOR START-CAPACITOR RUN INDUCTION MOTOR

โดย

นายกิตติพงศ์ โชคกิตเดชา

นายพงศวีร์ ทิพยานนท์

นายศุภสิทธิ์ ปัทมารัง

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม

ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเลือกตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิด ตัวเก็บประจุสตาร์ท - ตัวเก็บประจุรัน

ผู้จัดทำ

1.นายกิตติพงศ์ โชคกิตเดชา

2.นายพงศวีร์ ทิพยานนท์

3.นายศุภสิทธิ์ ปัทมารัง

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม)

....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิด ตัวเก็บประจุสตาร์ท – ตัวเก็บประจุรัน

นายกิตติพงศ์	โชคกิตเดชา	
นายพงศวีร์	ทิพยานนท์	
นายศุภสิทธิ์	ปัทมารัง	
ผศ.ดร.วรชาติ	สุวรรณงาม	อ.ที่ปรึกษา
ดร.ธีรพล	โพธิ์พงศ์วิวัฒน์	อ.ที่ปรึกษาร่วม

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอโครงงานการเลือกตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน โดยใช้หลักการจีเนติกอัลกอริธึม เพื่อให้ได้มากซึ่งค่าตัวเก็บประจุที่ดีที่สุด ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องอาศัยค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวยนำ 1 เฟส ด้วยเหตุนี้ ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบหาค่าพารามเตอร์โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 114-2010 ผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์โดยอาศัยจีเนติกอัลกอริธึมนั้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยอาศัยโปรแกรม MATLAB/Simulink และการคำนวณจากวงจรสมมูลโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEEE 114-2010 ซึ่งผลที่ได้พบว่า ค่าตัวเก็บประจุที่ได้จาการคำนวณโดยอาศัยจีเนติกอัลกอริธึม ณ ค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมนั้น มีค่าใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์และการคำนวณโดยอาศัยวงจรสมมูลโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 1% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณโดยอาศัยวงจรสมมูล ผลที่ได้จากโครงงานวิจัยนี้จะถูกนำไปเป็นวิธีการในการเลือกค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับการผลิตมอเตอร์ 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SELECTION OF AN OPTIMIZED CAPACITOR VALUE FOR A SINGLE PHASE CAPACITOR START-CAPACITOR RUN INDUCTION MOTOR

Mr.Kittipong	Chokkitdechar	
Mr.Pongsawee	Thipayanon	
Mr.Supasit	Pattamarang	
Asst.Prof.Dr.Warachart	Suwan-ngam	Advisor
Dr.Teeraphon	Phophongviwat	Co-Advisor

Academic Year 2017

ABSTRACT

This thesis presents the detail of the project titled Selection of an optimized capacitor value for a single-phase capacitor start-capacitor run induction motor. The objective of this thesis is to apply genetic algorithm for selection of the optimized capacitors. The proposed method requires the parameters of the single-phase induction motor for calculation of the capacitors. Therefore, the parameter estimation based on IEEE standard 114-2010 was performed. Once the optimized capacitors are selected, the operation results are then compared to the results from computer simulation using MATLAB/Simulink program and the results from calculation based on the equivalent circuit. As shown in the results, the deviation of the results from genetic algorithm is less than 1% from the results from calculation using equivalent circuit. The results from this project can then be used for design of the single phase induction motor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับคำแนะนำและคำปรึกษาทางวิชาการเกี่ยวกับการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสชนิดตัวเก็บประจุรันและตัวเก็บประจุสตาร์ท รวมทั้งรายละเอียดด้านอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัยจาก ผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ การออกแบบการทดลอง การใช้อุปกรณ์เครื่องมือทางไฟฟ้า คำแนะนำในการใช้ชีวิตในด้านต่างๆ ซึ่งคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในการช่วยเหลือและสนับสนุนจาก ผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม ที่ดีเสมอมา

ขอขอบคุณ ดร.ธีรพล โพธิ์พงศ์วิวัฒน์ ที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการ การออกแบบ การวางแผนขั้นตอนการทำปริญญานิพนธ์รวมทั้งคำแนะนำในการใช้ชีวิต ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์และขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการ PEDEC (Power Electronics Drive and Energy Conversion) ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ไฟฟ้าและมอเตอร์ สำหรับการทำวิจัย

ขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ แสงศรี เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้การยืมอุปกรณ์เครื่องมือและอำนวยความสะดวกรวมถึงเจ้าหน้าที่ทางภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือตลอดการทำวิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณ บิดา มารดาและครอบครัว ที่ให้การสนับสนุนทางด้านการศึกษา การเงิน และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา รวมถึงเพื่อนๆที่ทำงานร่วมกันมา ตลอดจนผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้

หากมีข้อผิดพลาดประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิตติกรรมประกาศ IIII

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูปภาพ VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน 2

1.4 วิธีการดำเนินโครงงาน 2

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 บทนำ 4

2.2 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 4

2.1.1 สเตเตอร์ 5

2.1.2 โรเตอร์ 5

2.2 สนามแม่เหล็กหมุน 6

2.2.1 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน 7

2.2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 8

2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 9

2.3.1 ทฤษฎีคู่สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 11

2.3.2 ประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 13

2.3.3 แผนภาพวงกลม 19

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กำลังไฟฟ้าและการสูญเสียในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 27
2.5.2 การวิเคราะห์การสูญเสียของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 28
2.6 ความสัมพันธ์ของแรงบิดและกำลังไฟฟ้า 30
2.7 การพิจารณาประสิทธิภาพของมอเตอร์ผ่านกระบวนการทางจีเนติก 31
2.7.1 จีเนติกอัลกอริธึม (Genetic Algorithm: GA) 32
บทที่ 3 การทำงานและการออกแบบการทดลอง 35
3.1 บทนำ 35
3.2 การทดสอบหาพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 35
3.2.1 การทดสอบทางไฟฟ้ากระแสตรง 36
3.2.2 การทดสอบแบบยึดโรเตอร์ 37
3.2.3 การทดสอบแบบไม่มีภาระทางกล 39
3.3 การทดสอบหากำลังที่สูญเสียของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 41
3.3.1 การทดสอบหากำลังที่สูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ (P_{cus}) 42
3.3.2 การทดสอบหาแรงเสียดทานและแรงต้านอากาศ (P_f) 42
3.3.3 การทดสอบหากำลังที่สูญเสียในแกนเหล็ก (P_{core}) 44
3.3.4 การทดสอบหากำลังที่สูญเสียในขดลวดโรเตอร์ (P_{cur}) 44
3.3.5 การทดสอบหาค่ากำลังสูญเสียจากภาระการใช้งาน (P_{stray}) 45
3.3.6 สรุปกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปในสภาวะไม่มีภาระทางกล 45
3.4 จำลองผลการทดสอบด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink 47
3.5 การหาประสิทธิภาพมอเตอร์โดยวิธีคำนวณจากวงจรสมมูล 49
3.6 การประยุกต์จีเนติกกับการประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 53
บทที่ 4 ผลการทดสอบ 56
4.1 บทนำ 56
4.2 การหาประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสโดยวิธีจีเนติก 56
4.3 ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink 58
4.4 ผลการหาประสิทธิภาพมอเตอร์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล 61
4.4.1 ผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลเมื่อทดสอบที่ระดับความเร็วต่างๆ 61
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลเมื่อคำนวณที่พิกัดกำลัง.................................65
4.5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์....68
4.6 การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ดีที่สุดด้วยวิธีแผนภาพวงกลม.................................70
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.................................72
5.1 บทสรุป.................................72
5.2 ข้อเสนอแนะ.................................73
เอกสารอ้างอิง.................................74
ภาคผนวก.................................75
ภาคผนวก ก อุปกรณ์และชุดทดลองที่ใช้ทดสอบ.................................76
ภาคผนวก ข แผนภาพการต่อมอเตอร์ในการทดสอบ.................................81
ภาคผนวก ค บทความวิชาการ.................................83
ประวัติผู้เขียน.................................88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน 3

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสตรง 37

ตารางที่ 3.2 ผลจากการทดสอบแบบยึดโรเตอร์ 39

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบแบบไม่มีภาระทางกล 40

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 40

ตารางที่ 3.5 สรุปกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในมอเตอร์ 46

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมที่คำนวณได้จากวิธีจีเนติกอัลกอริธึม 58

ตารางที่ 4.2 ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink 58

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลเมื่อคำนวณที่พิกัดกำลัง 65

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ตารางที่ 1 68

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ตารางที่ 2 69

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ตารางที่ 3 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอก 4
รูปที่ 2.2 สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 5
รูปที่ 2.3 โรเตอร์แบบกรงกระรอก 6
รูปที่ 2.4 โรเตอร์แบบขดลวด 6
รูปที่ 2.5 การต่อมอเตอร์เข้ากับระบบไฟฟ้า 3 เฟส 7
รูปที่ 2.6 สัญญาณกระแสไฟฟ้าในขดลวดสเตเตอร์ที่เวลาต่างๆ 7
รูปที่ 2.7 สนามแม่เหล็กในสเตเตอร์ในแต่ละช่วงเวลา 8
รูปที่ 2.8 การเกิดแรงบิดในโรเตอร์ 8
รูปที่ 2.9 แผนผังค่าสลิป 9
รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำในขณะที่ไม่มีขดลวดสตาร์ท 9
รูปที่ 2.11 ผลรวมของแรงบิดด้าน Forward และ Backward 10
รูปที่ 2.12 การเคลื่อนที่ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านช่องว่างอากาศของขดลวดเหนี่ยวนำ 12
รูปที่ 2.13 องค์ประกอบของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า 12
รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า 1 เฟสชนิดแยกเฟสออกจากกัน 14
รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 15
รูปที่ 2.16 กราฟการนำหน้าขดลวดหลักต่อขดลวดสตาร์ท 15
รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ของแรงบิดของขดลวดหลักและขดลวดสตาร์ท 16
รูปที่ 2.18 ไดอะแกรมในด้านต่างๆของมอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท 17
รูปที่ 2.19 ไดอะแกรมในด้านต่างๆของมอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุรัน 18
รูปที่ 2.20 ไดอะแกรมในด้านต่างๆของมอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน 18
รูปที่ 2.21 วงจรสมมูลในสภาวะคงตัวของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิดตัวเก็บประจุรัน 19
รูปที่ 2.22 เฟสเซอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ทที่สภาวะความเร็วเท่ากับศูนย์ 20
รูปที่ 2.23 แผนภาพเฟสเซอร์ของมอเตอร์ที่มีแรงบิดเริ่มต้นต่อกระแสมากที่สุด 22
รูปที่ 2.24 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิดตัวเก็บประจุรัน 24
รูปที่ 2.25 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle) 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.26 Power Flow ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 28
รูปที่ 2.27 ผลรวมของแรงบิดด้าน Forward และ Backward 30
รูปที่ 2.28 เงื่อนไขน้อยกว่าศูนย์และเท่ากับศูนย์ของฟังก์ชัน 31
รูปที่ 2.29 คำตอบของค่าต่ำสุด f(x) และ ค่าสูงสุด –f(x) 32
รูปที่ 2.30 แผนผังการคำนวณของจีเนติกอัลกอริธึม 33
รูปที่ 2.31 ครอสโอเวอร์แบบวันพอยท์ 34
รูปที่ 2.32 การมิวเตชันเปลี่ยน Bit ข้อมูลจาก 1 เป็น 0 34
รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 35
รูปที่ 3.2 แผนภาพการต่ออุปกรณ์วัดการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสตรง 35
รูปที่ 3.3 วงจรสมมูลที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบยึดโรเตอร์ 38
รูปที่ 3.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 40
รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส โดยแยกตามขดลวด 41
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างข้อมูลที่ทำการทดลอง 43
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $P_{in} - P_{out}$ กับ V^3 43
รูปที่ 3.8 ไดอะแกรมการออกแบบโปรแกรม MATLAB/Simulink 47
รูปที่ 3.9 บล็อคไดอะแกรมที่ใช้ในการจำลองมอเตอร์ผ่านโปรแกรม MATLAB/Simulink 48
รูปที่ 3.10 การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับโปรแกรม MATLAB/Simulink 49
รูปที่ 3.11 ไดอะแกรมของวิธีการคำนวณจากวงจรสมมูล 51
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างโค้ดการคำนวณ 52
รูปที่ 3.13 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส 53
รูปที่ 4.1 โปรแกรมคำนวณสำหรับหาค่าสลิปและค่าตัวเก็บประจุ 57
รูปที่ 4.2 ผลลัพธ์ที่แสดงในหน้าต่าง Command Window 57
รูปที่ 4.3 การคำนวณของจีเนติกอัลกอริธึม ตั้งแต่เจเนเรชันที่ 1 57
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์กระแสกับค่าตัวเก็บประจุที่ได้จากการทำจำลองทางคอมพิวเตอร์ 59
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าขาเข้ากับค่าตัวเก็บประจุที่ได้จากการทำจำลองทางคอมพิวเตอร์ 59
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ค่าตัวประกอบกำลังกับค่าตัวเก็บประจุที่ได้จากการทำจำลองทางคอมพิวเตอร์ 60
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ประสิทธิภาพกับค่าตัวเก็บประจุที่ได้จากการทำจำลองทางคอมพิวเตอร์ 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ขดลวดหลักกับความเร็วรอบจากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล 61
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ขดลวดสตาร์ทกับความเร็วรอบจากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล 62
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาเข้ามอเตอร์กับความเร็วรอบจากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล 62
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของมุมกระแส 63
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบจากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล 63
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังขาออกกับความเร็วรอบจากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล 64
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับความเร็วรอบจากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล 64
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับค่าตัวเก็บประจุจากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล 66
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าขาเข้ากับค่าตัวเก็บประจุจากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล 66
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังกับค่าตัวเก็บประจุจากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล 67
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับค่าตัวเก็บประจุจากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล 67
รูปที่ 4.19 แผนภาพวงกลมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสเมื่อเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุ 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ เครื่องต้นกำลังในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีได้แก่ โครงสร้างแข็งแรง ทนทาน และบำรุงรักษาง่าย การสตาร์ทมอเตอร์ที่ไม่ยุ่งยาก การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานมีค่าน้อยและมีราคาถูก มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เรียกชื่อตามระบบไฟฟ้าที่ใช้ ด้วยเหตุผลที่ระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่ใช้งานระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส ทั้งในครัวเรือน, สำนักงาน และในพื้นที่ชนบท เป็นต้น ระบบไฟฟ้า 1 เฟส มีความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ไม่สูงมากนัก การนำมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 1 เฟส จึงเพียงพอต่อการใช้งานและถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น พัดลม, เครื่องปรับอากาศ, ระบบปั้มน้ำ, อุปกรณ์ในครัวเรือน, ตู้เย็น และอื่นๆ เป็นต้น มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์ชนิดแยกเฟส (Split-Phase Motor) มอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท (Capacitor Start Motor) มอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุรัน (Capacitor Run Motor) และมอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน (Capacitor Start-Capacitor Run Motor) สำหรับปริญญานิพนธ์เล่มนี้ทางคณะผู้จัดทำเลือกพิจารณามอเตอร์ประเภทตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน (Capacitor Start-Capacitor Run Motor) ในการศึกษา

แต่ทว่าเดิมทีมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส มีปัญหาเรื่องแรงบิดขณะสตาร์ท ดังนั้นเพื่อที่จะให้มีการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด การศึกษาถึงปัญหาและวิธีเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส จึงเป็นวิธีการที่จะถูกนำไปใช้ศึกษาและพัฒนาต่อใช้งานได้จริง ซึ่งวิธีในการเพิ่มประสิทธิภาพในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสที่ใช้ในการศึกษานี้คือการหาตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อต้องการประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่สภาวะต่างกันไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์ในการหาค่าตัวเก็บประจุสตาร์ทและตัวเก็บประจุรันสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน โดยใช้หลักการจีเนติกอัลกอริธึมเพื่อให้ได้มากซึ่งค่าตัวเก็บประจุที่ดีที่สุด และทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ได้กับผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองทางคอมพิวเตอรีที่สภาวะใดๆ โดยอาศัยโปแกรม MATLAB/Simulink และเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณผ่านวงจรสมมูล

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

ขอบเขตงานวิจัยคือผู้วิจัยสามารถทำการหาค่าตัวเก็บประจุสตาร์ท และ ตัวเก็บประจุรัน ที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน โดยอาศัยจีเนติกอัลกอริธึมได้ และสามารถทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับการจำลองทางคอมพิวเตอร์และการทดสอบโดยอาศัยการคำนวณผ่านวงจรสมมูลตามมาตรฐาน IEEE114-2010

1.4 วิธีการดำเนินโครงงาน

1.4.1 ศึกษาการทำงาน คุณสมบัติ และวิธีการควบคุมการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

1.4.2 ศึกษาประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

1.4.3 ศึกษาวิธีการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

1.4.4 สร้างและจัดเตรียมอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทดสอบ

1.4.5 ทำการทดสอบหาพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส, ทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบ, และทดลองการทำงานของมอเตอร์ที่สภาวะต่างๆจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

1.4.6 ศึกษาและทดสอบหาความสูญเสียของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ด้วยวิธีการตามมาตรฐาน IEEE114-2010 และทดลองการทำงานที่สภาวะต่างๆ

1.4.7 ออกแบบโปรแกรมช่วยคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส และแสดงผลของกราฟเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงตัวเก็บประจุที่สภาวะพิกัดได้

1.4.8 เก็บข้อมูล วิเคราะห์ผล และสรุปผล

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 10 เดือน ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2559 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	เดือน									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ค้นคว้าหาข้อมูลหัวข้อโครงงาน										
2.วางแผนการดำเนินงานและสร้างแบบจำลอง										
3.จัดเตรียมและสร้างอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทดลอง										
4.จำลองการทำงานผ่านคอมพิวเตอร์										
5.ทดลองและสรุปผลการทดลอง										
6.จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

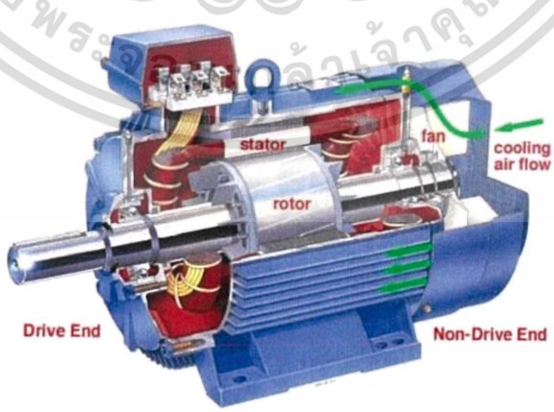
บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาหลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน (Capacitor Start-Capacitor Run Motor) การพิจารณาเลือกตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสจึงจำเป็นที่จะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีคู่สนามแม่เหล็กหมุน (Double Revolving Field Theory) เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานของมอเตอร์เช่น แรงบิดทางไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงของแรงบิด กำลังไฟฟ้าส่วนต่างๆ การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน เป็นต้น

2.2 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำประกอบด้วยโครงสร้างหลัก 2 ส่วนคือ สเตเตอร์ (Stator) และโรเตอร์ (Rotor) โดยสเตเตอร์จะเป็นโครงสร้างส่วนที่อยู่กับที่ ส่วนโรเตอร์เป็นส่วนที่หมุนและขับเคลื่อนภาระทางกล ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) ส่วนโรเตอร์อีกชนิดหนึ่งคือโรเตอร์แบบขดลวด (Wound Rotor) ในรูปที่ 2.1 จะแสดงโครงสร้างโดยรวมของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบ 3 เฟส



Credit: etpmm.wordpress.com

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 สเตเตอร์

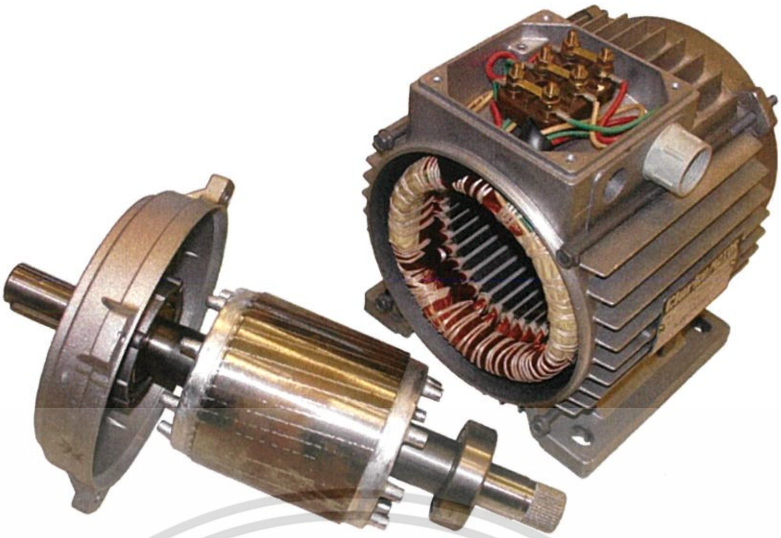
สเตเตอร์จะมีขดลวดวางอยู่ในร่องสล็อตซึ่งเป็นแกนเหล็ก ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Field) ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กหลักที่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำที่โรเตอร์ ขดลวดสเตเตอร์จะต่อเข้ากับระบบไฟฟ้า โดยรับพลังงานไฟฟ้ามาแปลงเป็นพลังงานสนามแม่เหล็กส่งข้ามช่องว่างอากาศไปยังโรเตอร์และแปลงเป็นพลังงานกล ทั้งขดลวดและแกนเหล็กสเตเตอร์จะติดตั้งอยู่ภายในกรอบของโครงเหล็ก (Frame) ตามรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

2.2.2 โรเตอร์

เป็นส่วนที่รับการถ่ายทอดพลังงานจากสเตเตอร์ ที่ส่งผ่านช่องว่างอากาศออกมาในรูปของสนามแม่เหล็กหมุนซึ่งถูกเรียกว่า กำลังที่ส่งผ่านช่องว่างอากาศ (Air-gap Power) พลังงานนั้นจะถูกเปลี่ยนให้เป็นพลังงานทางกล และส่งต่อไปขับภาระทางกล (Mechanical Load) ที่ต่ออยู่กับเพลา ในรูปที่ 2.3 แสดงภาพมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Rotor) ซึ่งใช้งานแพร่หลายมากทั้งตามที่อยู่อาศัย และในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนรูปที่ 2.4 แสดงภาพมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบขดลวด (Wound Rotor) เป็นมอเตอร์ชนิดที่การใช้งานจะต่อร่วมกับตัวต้านทานจากภายนอก ทำให้ต้องมีการบำรุงรักษามากกว่าโรเตอร์แบบกรงกระรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โรเตอร์แบบกรงกระรอก

รูปที่ 2.4 โรเตอร์แบบขดลวด

2.3 สนามแม่เหล็กหมุน

สนามแม่เหล็กหมุน (Rotating Field) เป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่ง ที่ทำให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถหมุนได้ เกิดจากการกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดสเตเตอร์และรูปแบบการวางขดลวดที่เหมาะสม ขนาดของสนามแม่เหล็กลัพธ์จะมีค่าคงที่และหมุนรอบจุดศูนย์กลางของสเตเตอร์ ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนจะถูกเรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) มีค่าขึ้นอยู่กับความถี่ของระบบไฟฟ้าและจำนวนขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ดังสมการที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$n_s = \frac{120f}{P} \tag{2.1}$$

เมื่อ

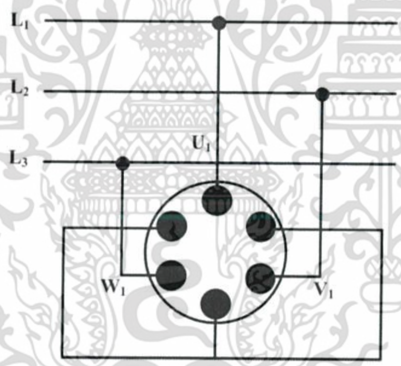
n_s คือ ความเร็วซิงโครนัส (RPM)

f คือ ความถี่ของกระแสไฟฟ้า (Hz)

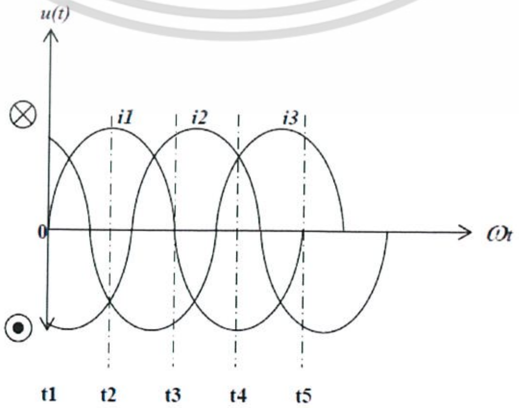
P คือ จำนวนขั้วแม่เหล็ก (pole)

2.3.1 การเกิดสนามแม่เหล็กหมุน

การเกิดสนามแม่เหล็กหมุนสามารถอธิบายให้เข้าใจได้โดยง่าย ผ่านการพิจารณามอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 3 เฟสที่ถูกจ่ายกระแสเข้าตามรูปที่ 2.5 เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้ามาที่ช่วงเวลาใดๆจะมีขนาดที่ไม่เท่ากันตามรูปที่ 2.6 จะก่อให้เกิดทิศทางของสนามแม่เหล็กลัพธ์ขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไปสนามแม่เหล็กลัพธ์นั้นก็จะเปลี่ยนทิศทางไปตามขนาดกระแส เกิดเป็นสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นตามรูปที่ 2.7

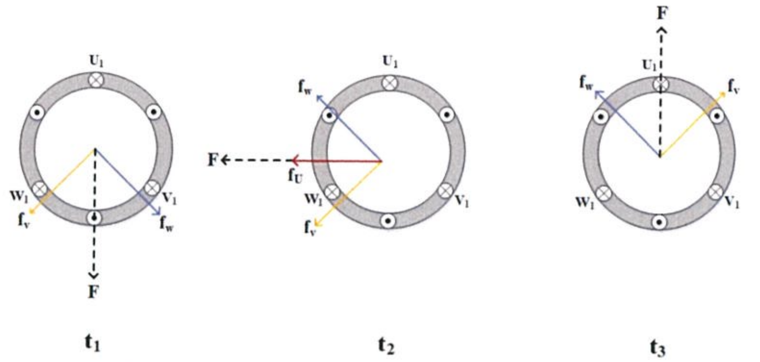


รูปที่ 2.5 การต่อมอเตอร์เข้ากับระบบไฟฟ้า 3 เฟส



รูปที่ 2.6 สัญญาณกระแสไฟฟ้าในขดลวดสเตเตอร์ที่เวลาต่างๆ

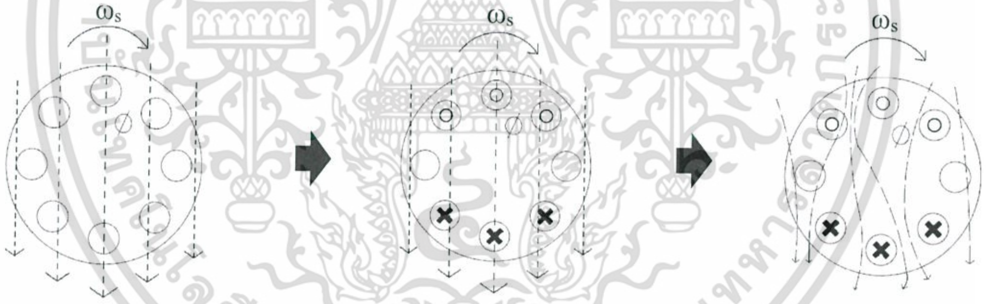
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 สนามแม่เหล็กในสเตเตอร์ในแต่ละช่วงเวลา

2.2.2 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

การเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนที่มีขนาดความเร็วเชิงมุมเท่ากับความเร็วซิงโครนัส (ω_s) กับตัวนำในโรเตอร์ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induce EMF) กระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กขึ้นในโรเตอร์ตามลำดับ สนามแม่เหล็กหมุนและสนามแม่เหล็กในโรเตอร์จะกระทำกันและเกิดแรงบิดขึ้นที่โรเตอร์ ทำให้โรเตอร์หมุนไปได้ด้วยความเร็วค่าหนึ่งเรียกว่า ความเร็วเชิงมุมโรเตอร์ (ω_r) ตามรูปที่ 2.8



(A) สนามแม่เหล็กตัดผ่านขดลวด

(B) เกิด Induce EMF ตัวนำโรเตอร์

(C) สนามแม่เหล็กในโรเตอร์ผลักกับสนามแม่เหล็กหมุน

รูปที่ 2.8 การเกิดแรงบิดในโรเตอร์

การเหนี่ยวนำระหว่างสนามแม่เหล็กหมุนกับตัวนำในโรเตอร์ เกิดขึ้นได้เพราะความเร็วรอบสนามแม่เหล็กหมุนจึงสูงกว่าความเร็วรอบของโรเตอร์อยู่เสมอ ความเร็วที่แตกต่างกันนี้เป็นความเร็วที่ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้น เรียกความเร็วนี้ว่าความเร็วสลิป (Slip Speed) เมื่อคิดค่าความเร็วสลิปเป็นระบบต่อหน่วย จะเรียกค่านี้ว่า สลิป (Slip) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

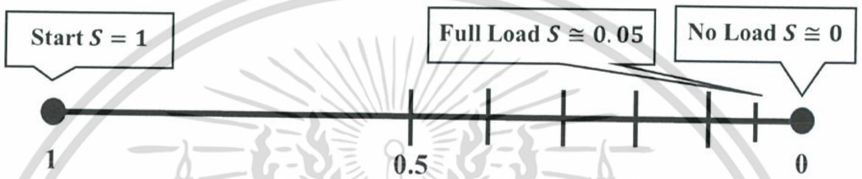
$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \tag{2.2}$$

เมื่อ s คือ สลิป

n_s คือ ความเร็วซิงโครนัส (RPM)

n_r คือ ความเร็วโรเตอร์ (RPM)

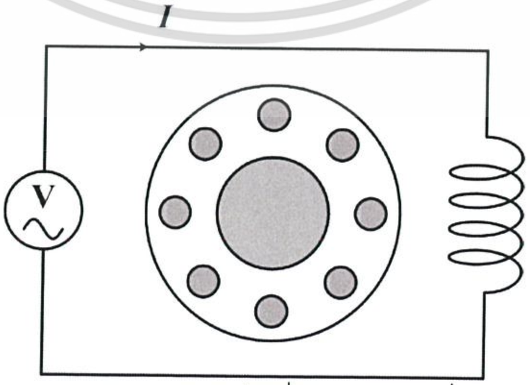
ค่าสลิปตลอดการทำงานของมอเตอร์สามารถแสดงได้ด้วยเส้นการทำงานของสลิป ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แผนผังค่าสลิป

2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส [11]

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้มุ่งศึกษามอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสมีส่วนประกอบคล้ายมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยมีขดลวดอยู่ที่สเตเตอร์คือ ขดลวดหลัก (Main Winding) และขดลวดสตาร์ท (Auxiliary Winding) ขดลวดสเตเตอร์พันอยู่ในร่องสล็อตของแกน สเตเตอร์ที่สร้างจากเหล็กสไลด์บางๆ มาประกอบกันเป็นโครงสร้างมอเตอร์แบบกรงกระรอก



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำในขณะที่ไม่มีขดลวดสตาร์ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากพิจารณาวงจรจากรูปที่ 2.10 จะพบว่าการมีขดลวดเพียงขดลวดหลัก จะส่งผลให้แรงเคลื่อนแม่เหล็กหมุน (MMF) ทางด้าน Forward และ Backward มีค่าเท่ากันซึ่งจะทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสไม่สามารถออกสตาร์ทด้วยตัวเองได้ที่สภาวะความเร็วเป็นศูนย์ เนื่องจากแรงบิดทางด้าน Forward และ Backward มีค่าเท่ากัน

ซึ่งเราสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของสมการเพื่อง่ายต่อการพิจารณาได้ โดยให้กระแสขาเข้าสเตเตอร์เป็นฟังก์ชันของโคไซน์ ซึ่งจะได้แรงเคลื่อนแม่เหล็กบริเวณช่องว่างอากาศ ดังนี้

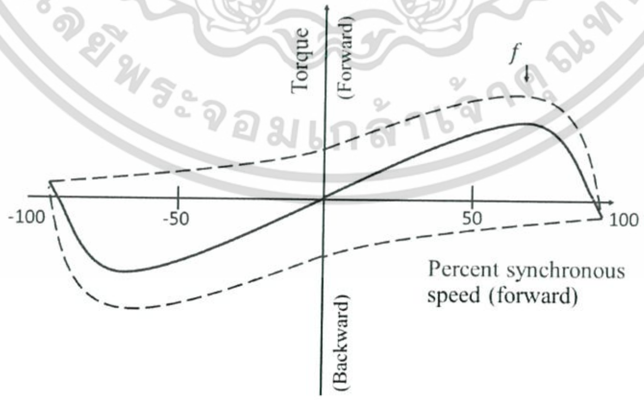
$$F_{ag} = F_{\max}\cos(\theta_{ae})\cos(\omega_e t) \tag{2.3}$$

จากสมการข้างต้น สามารถแยกสมการออกเป็น 2 สมการ ซึ่งแสดงผลของแรงเคลื่อนแม่เหล็กทางด้าน Forward และ Backward ได้

$$F_{ag}^{+} = F_{\max}\cos(\theta_{ae} - \omega_e t) \tag{2.4}$$

$$F_{ag}^{-} = F_{\max}\cos(\theta_{ae} + \omega_e t) \tag{2.5}$$

เมื่อพิจารณาสมการข้างต้นจะพบว่าแรงบิดที่เกิดขึ้นจะมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องมาจากผลของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าทั้ง 2 ฝั่ง มีค่าเท่ากันมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสจึงไม่สามารถออกสตาร์ทได้ด้วยตัวเอง



รูปที่ 2.11 ผลรวมของแรงบิดด้าน Forward และ Backward

จากรูปจะเห็นได้ว่าผลรวมแรงบิดขณะสตาร์ทเป็นศูนย์

ซึ่งการที่จะทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสสามารถสตาร์ทด้วยตัวเองในสภาวะความเร็วเป็นศูนย์ได้นั้น จำเป็นที่จะต้องมีการติดตั้งขดลวดสตาร์ท ต่อขนานเข้าไปกับขดลวดหลัก ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขดลวดสตาร์ทจะมีอัตราส่วนความต้านทานต่อค่ารีแอกแทนซ์ ที่แตกต่างจากขดลวดหลัก เพื่อให้มุมของกระแสในขดลวดทั้ง 2 แตกต่างกันส่งผลให้แรงเคลื่อนแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในขดลวดหลักและขดลวดสตาร์ทมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งในความเป็นจริงแล้วหลักการที่กล่าวมาข้างต้นเป็นหลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 2 เฟสแบบสมมาตร ก่อนที่กล่าวถึงหลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

2.3.1 ทฤษฎีคู่สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส [4,11]

หลักการของทฤษฎีคู่สนามแม่เหล็กหมุน ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เป็นหลักการที่อธิบายการเคลื่อนที่ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเกิดขึ้นในมอเตอร์เหนี่ยวนำ กล่าวคือเมื่อมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า ขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์ค่าหนึ่ง

$$F_{ag} = \frac{4}{\pi}\left(\frac{k_w N_{ph}}{poles}\right) i_a \cos\left(\frac{poles}{2}\theta_a\right) \tag{2.6}$$

$$F_{\max} = \frac{4}{\pi}\left(\frac{k_w N_{ph}}{poles}\right) i_a \tag{2.7}$$

เมื่อกระแสในขดลวดถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณ Sinusoidal Wave ที่คาบเวลาต่างๆ และที่ความถี่ทางไฟฟ้า จะได้สมการของกระแส ดังนี้

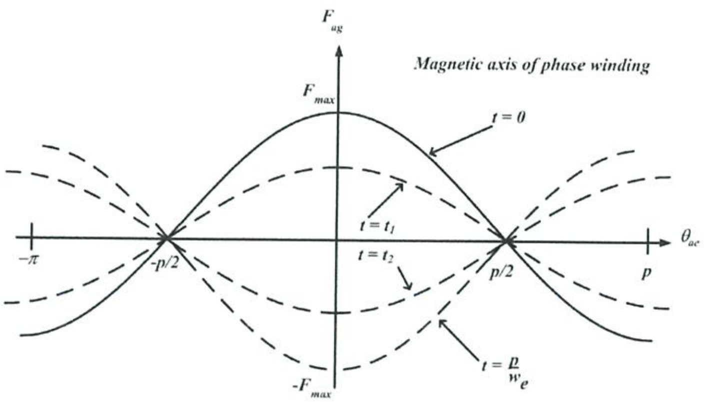
$$i_a(t) = I_a \cos \omega_e t \tag{2.8}$$

และสมการของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านไปยังช่องว่างอากาศ ที่ความถี่ทางไฟฟ้า และพิจารณาที่เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิด 2 ขั้ว จะได้สมการดังนี้

$$F_{ag} = F_{\max} \cos\left(\frac{poles}{2}\theta_a\right)\cos(\omega_e t) \tag{2.9}$$

$$= F_{\max} \cos(\theta_{ae})\cos(\omega_e t) \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

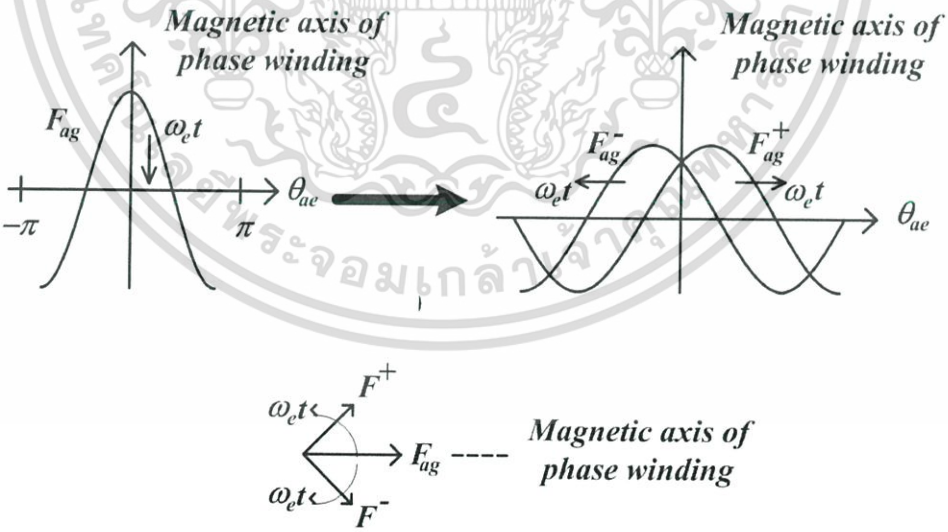


รูปที่ 2.12 การเคลื่อนที่ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านช่องว่างอากาศของขดลวดเหนี่ยวนำ 1 เฟส ณ เวลาใดๆ

ด้วยสมการดังกล่าว เราสามารถใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์ในการแบ่งแยกสมการใหม่ ได้ดังต่อไปนี้

$$F_{ag} = F_{\max} \cos(\theta_{ae}) \cos(\omega_e t) \quad (2.11)$$

$$F_{ag} = F_{\max} \left[\frac{1}{2} \cos(\theta_{ae} - \omega_e t) + \frac{1}{2} \cos(\theta_{ae} + \omega_e t) \right] \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.13 องค์ประกอบของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า
F_{ag} แบ่งออกเป็น 2 องค์ประกอบ คือการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กด้านบวก (Positive Travelling Wave) และการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กด้านลบ (Negative Travelling Wave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น สามารถเขียนผลรวมของการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กด้านบวก (Positive Travelling Wave) และด้านลบได้(Negative Travelling Wave) ซึ่งขนาดของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าของทั้งคู่มีค่าเท่ากัน และหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) การเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กด้านบวก สามารถเขียนให้อยู่ในรูปดังนี้

$$F_{ag}^{+} = F_{\max}\left[\frac{1}{2}\cos\left(\theta_{ae} - \omega_e t\right)\right] \tag{2.13}$$

และการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็กด้านลบ สามารถเขียนให้อยู่ในรูปดังนี้

$$F_{ag}^{-} = F_{\max}\left[\frac{1}{2}\cos\left(\theta_{ae} + \omega_e t\right)\right] \tag{2.14}$$

การที่แรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่สเตเตอร์ถูกแบ่งออกเป็น 2 องค์ประกอบนั้น มีผลให้ในแต่ละองค์ประกอบจะเกิดการเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าขึ้นที่โรเตอร์และจะสร้างแรงบิดในทิศทางตรงกันข้ามกัน ผลลัพธ์ลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นเช่นเดียวกันกับมอเตอร์หลายเฟสสมมาตร

2.3.2 ประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส [11]

ซึ่งโดยทั่วไปมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสเมื่อจำแนกสามารถแบ่งตามลักษณะของหลักการทำงานออกเป็น 4 ชนิด คือ

1.มอเตอร์ชนิดแยกเฟส (Split-Phase Motor)

2.มอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท (Capacitor Sart Motor)

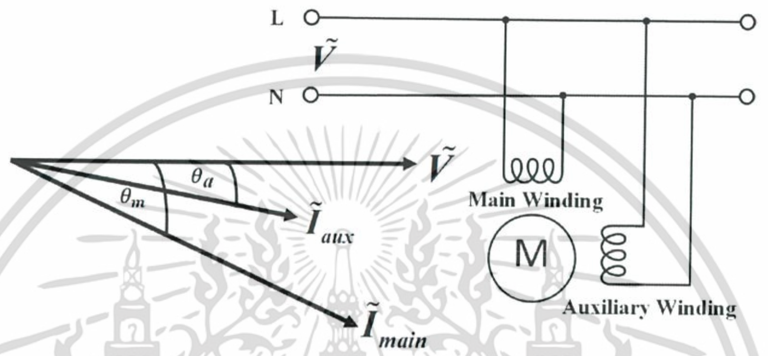
3.มอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุรัน (Capacitor Run Motor)

4.มอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน (Capacitor Start-Capacitor Run Motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสชนิดแยกเฟสออกจากกัน มีส่วนประกอบคือ

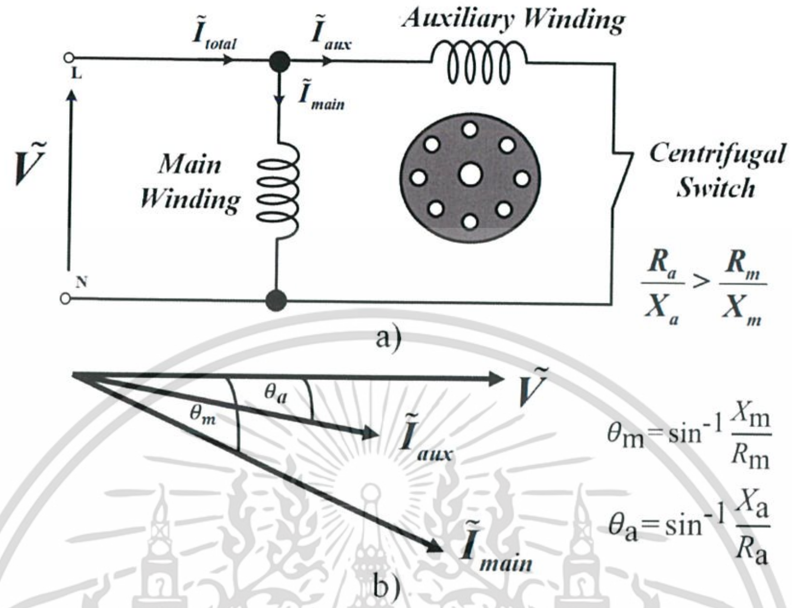
1.) สเตเตอร์ มีขดลวด 2 ชุด ชุดหนึ่งมีไว้สำหรับใช้งานตามปกติเรียกว่าขดลวดหลัก ชุดที่สองเป็นชุดสำหรับทำให้เริ่มหมุนได้คือขดลวดสตาร์ท ขดลวดชุดที่สองนี้จะพันลงในสล็อตทำมุมห่างไปจากขดลวดหลัก 90° ทางไฟฟ้า เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนขณะสตาร์ท ซึ่งผลของอัตราส่วนของอิมพีแดนซ์ที่มีต่อขดลวดหลักและขดลวดสตาร์ทนั้น มีผลต่อการเกิดมุมระหว่างแรงดันและกระแสของขดลวดนั้น ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ไดอะแกรมลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า 1 เฟสชนิดแยกเฟสออกจากกัน

เมื่อ $\theta_m \neq \theta_a$ จะทำให้เกิดคู่สนามแม่เหล็กหมุน ที่ขดลวดสเตเตอร์และจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า และเกิดแรงบิดมอเตอร์จึงหมุนได้ วิธีการทำให้ความต้านทานของขดลวดสตาร์ทมากกว่าของขดลวดหลัก ปัจจุบันทำโดยการพันขดลวดสตาร์ท ด้วยเส้นลวดขนาดเล็กกว่าขดลวดหลัก ปกติแล้วขดลวดสตาร์ทจะต่ออนุกรมอยู่กับสวิตช์แรงเหวี่ยง (Centrifugal Switch) ซึ่งจะทำงานที่ 75 เปอร์เซ็นต์ของความเร็วซิงโครนัส (Synchronous Speed) ดังรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16

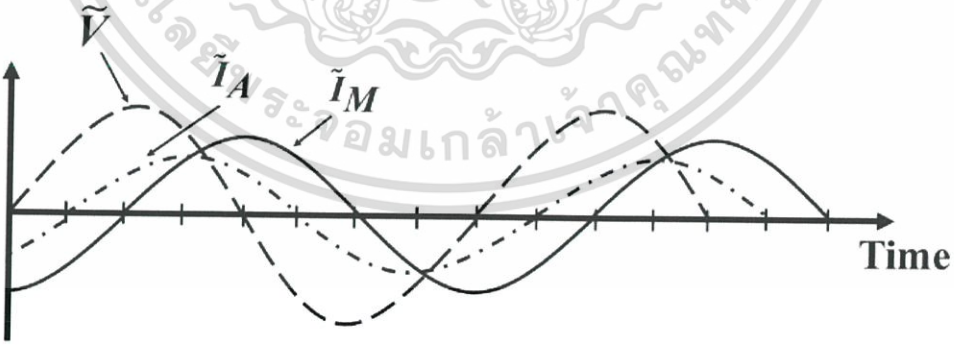
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ไดอะแกรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

a) ไดอะแกรมลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสชนิดแยกเฟสออกจากกัน

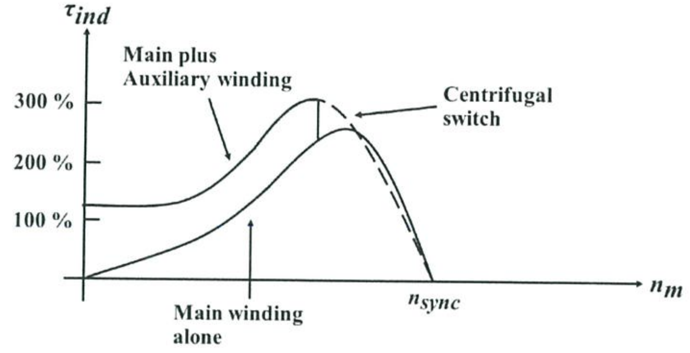
b) ไดอะแกรมกระแสของมอเตอร์ขณะสตาร์ท



รูปที่ 2.16 กราฟการนำหน้าของขดลวดหลัก

ต่อขดลวดสตาร์ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ของแรงบิดของขดลวดหลัก และขดลวดสตาร์ท

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสประเภทนี้ มีแรงบิดเริ่มต้นไม่สูงมากนักและมีกระแสขณะสตาร์ทค่อนข้างต่ำ จึงใช้ในงานที่ไม่ต้องการแรงบิดเริ่มต้นสูงๆ เช่น พัดลม (Blower) และปั้มน้ำชนิดแรงเหวี่ยง (Centrifugal Pump)

2.) โรเตอร์ เป็นแบบกรงกระรอกธรรมดา โดยที่แกนของตัวหมุนจะมีสวิตช์แรงเหวี่ยงติดอยู่ด้วย เพื่อตัดขดลวดสตาร์ทออกไปหลังจากที่มอเตอร์มีความเร็วประมาณ 75% ของความเร็วซิงโครนัส

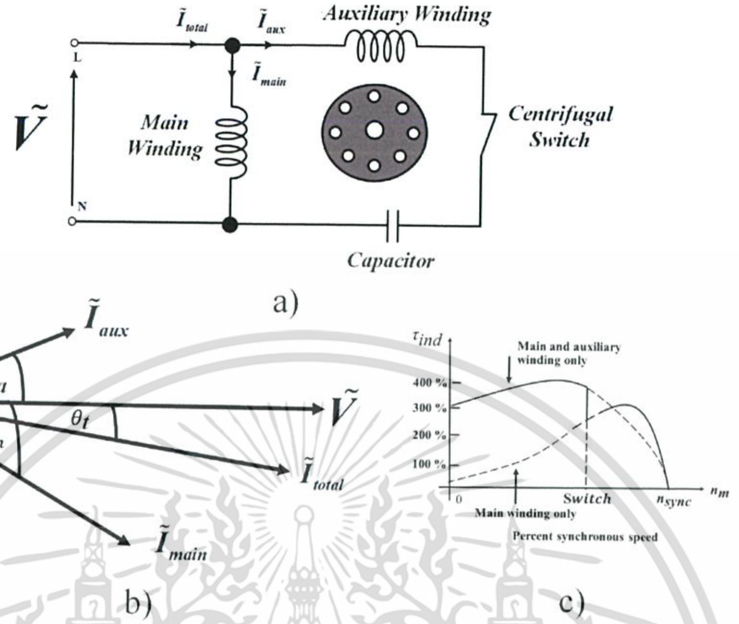
2.3.2.2 มอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุถูกใช้งานในการเพิ่มความสามารถในการเริ่มขับแรงบิดและในการเพิ่มสมรรถนะในการขับเคลื่อนของมอเตอร์ ทั้งนี้การเลือกขนาดของตัวเก็บประจุและวิธีการเชื่อมต่อเข้าสู่มอเตอร์ก็เป็นส่วนสำคัญเช่นกัน ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเน้นศึกษาพฤติกรรมของมอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุเป็นหลัก

2.3.2.2.1 มอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท

มอเตอร์ชนิดนี้เป็นส่วนหนึ่งของมอเตอร์แบบแยกเฟสออกจากกัน มีความแตกต่างตรงที่มีการนำตัวเก็บประจุมาต่ออนุกรมกับขดลวดสตาร์ท ซึ่งมีสวิตช์แรงเหวี่ยงเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตชตัดวงจรเมื่อความเร็วมอเตอร์มีความเร็วประมาณ 75% ของความเร็วซิงโครนัส ดังรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ไดอะแกรมในด้านต่างๆของมอเตอร์ชนิดตัวประจุสตาร์ท

a) ไดอะแกรมวงจรของมอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท

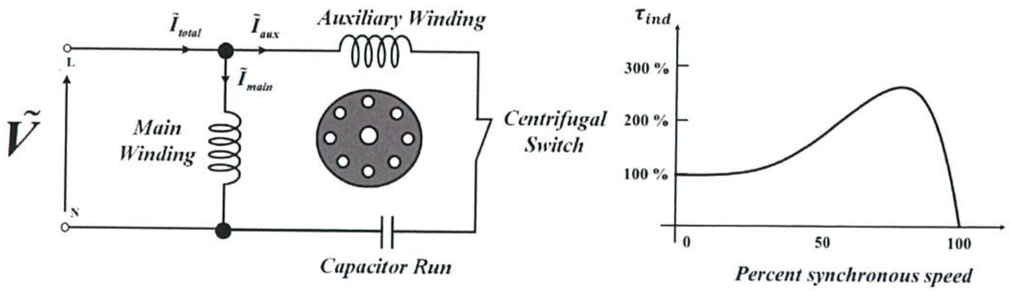
b) ไดอะแกรมของมุมของกระแส I_a และ I_m

c) กราฟของแรงบิดและความเร็วซิงโครนัส

2.3.2.2.2 มอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุรัน

มอเตอร์ชนิดนี้จะนำตัวเก็บประจุชนิดรันต่ออนุกรมเข้าสู่ขดลวดสตาร์ท ซึ่งจะให้ลักษณะของความสัมพันธ์ แรงบิดและความเร็ว (Torque - Speed Characteristic) ที่ดีขึ้น โดยตัวเก็บประจุชนิดรันในขดลวดสตาร์ทจะมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับตัวเก็บประจุชนิดสตาร์ท และจะอยู่ในวงจรของมอเตอร์โดยไม่ถูกตัดออกหลังจากมอเตอร์หมุนแล้ว ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้จะมีวงจรที่ง่ายกว่ามอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท เนื่องจากไม่มีการเชื่อมต่อกับสวิตช์แรงเหวี่ยง ในขณะขับโหลดปกติจะมีประสิทธิภาพและค่าตัวประกอบกำลังที่ดีกว่า รวมทั้งมีลักษณะแรงบิดที่เรียบกว่ามอเตอร์ชนิดอื่น อย่างไรก็ตามมอเตอร์ชนิดนี้จะให้แรงบิดเริ่มต้นที่ต่ำกว่ามาก ดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a) b)

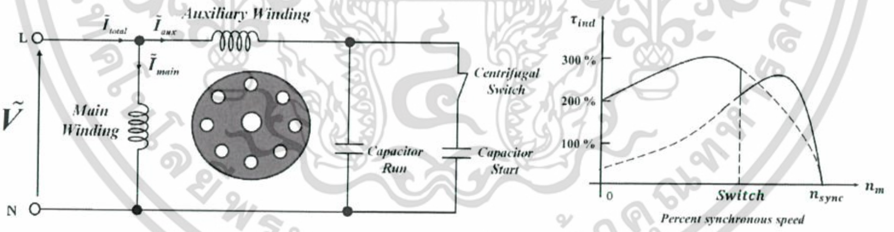
รูปที่ 2.19 ไดอะแกรมในด้านต่างๆของมอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุรัน

a) ไดอะแกรมวงจรของมอเตอร์ตัวเก็บประจุชนิดรัน

b) ความสัมพันธ์แรงบิดและความเร็ว

2.3.2.2.3 มอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน

มอเตอร์ชนิดนี้จะนำตัวเก็บประจุสตาร์ทต่ออนุกรมเข้าสู่สวิตช์แรงเหวี่ยง และตัวเก็บประจุรันต่ออนุกรมเข้าสู่ขดลวดสตาร์ท โดยตัวเก็บประจุทั้งสองจะต่อขนานกัน ดังรูปที่ 2.20 ตัวเก็บประจุสตาร์ทจะถูกนำมาใช้ในการเพิ่มแรงบิดขณะเริ่มต้น และตัวเก็บประจุชนิดรันถูกนำมาใช้งานในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่มอเตอร์ ทำให้มอเตอร์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด



a) b)

รูปที่ 2.20 ไดอะแกรมในด้านต่างๆของมอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน

a) ไดอะแกรมของวงจรมอเตอร์ชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน

b) กราฟแสดงความสัมพันธ์ แรงบิดและความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 แผนภาพวงกลม [5,9]

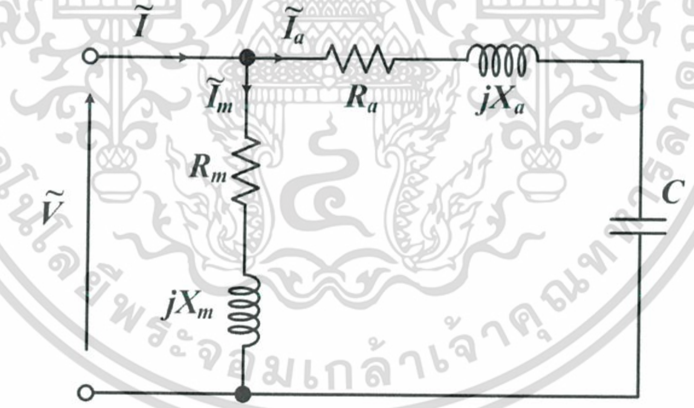
แผนภาพวงกลม (Circle Diagram) คือ แผนภาพเฟสเซอร์ที่แสดงขนาดและมุมของกระแสที่ขดลวดต่างๆของมอเตอร์โดยเทียบกับแรงดันไฟฟ้า แผนภาพวงกลมถูกใช้ในการหาความความสัมพันธ์ของกระแสที่ขดลวดซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในการหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ได้แรงบิดและแรงบิดสูงสุดต่อกระแสขาเข้าสูงที่สุด

พื้นฐานของแผนภาพวงกลมคือการที่นำเวกเตอร์ของกระแสที่ขดลวดต่างๆมาต่อกัน จากรูปที่ 2.22 แสดงแผนภาพวงจรอย่างง่ายของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดใช้ตัวเก็บประจุ

โดยที่ R_a, jX_a คือ ความต้านไฟฟ้าและความต้านทานเหนี่ยวนำของขดลวดสตาร์ทเมื่อรวมค่าอิมพีแดนซ์ของฝั่งโรเตอร์

R_m, jX_m คือ ค่าความต้านไฟฟ้าและความต้านทานเหนี่ยวนำของขดลวดหลักเมื่อรวมค่าอิมพีแดนซ์ของฝั่งโรเตอร์

jX_c คือ ความต้านทานเหนี่ยวนำของตัวเก็บประจุ



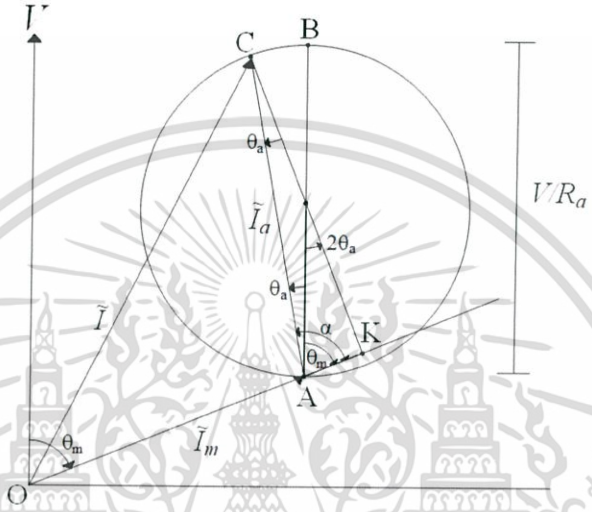
รูปที่ 2.21 วงจรสมมูลในสภาวะคงตัวของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิดตัวเก็บประจุรัน

แผนภาพวงกลมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสที่สภาวะหยุดนิ่งแสดงอยู่ในรูปที่ 2.22 กระแสที่ขดลวดหลัก $\tilde{I}_m = \overrightarrow{OA}$ จะตามหลังแรงดัน (V) ด้วยมุม $\hat{\theta}_m$ กระแสที่ขดลวดสตาร์ท $\tilde{I}_a = \overrightarrow{OC}$ จะนำหน้าแรงดัน (V) ด้วยมุม $\hat{\theta}_a$ ส่วนกระแสอินพุต $\tilde{I}_m + \tilde{I}_a = \overrightarrow{OC}$ ถ้าขนาดของ $jX_c = jX_a$ จะทำให้กระแสที่ขดลวดสตาร์ทมีค่ามากสุด มีขนาดเท่ากับ $\dfrac{V}{R_a}$ และมุมเฟสตรงกันกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟสของแรงดัน ซึ่งถูกแสดงโดยเส้นตรง $\overrightarrow{AB}$ เมื่อกำหนดให้ขนาดและมุมของ I_m มีค่าคงที่ จะสามารถหาแรงบิดสตาร์ท (T_{st}) ที่เกิดขึ้นได้จากสมการ

$$T_{st} = KI_a I_m \sin\alpha \tag{2.15}$$
$$\propto I_a \sin\alpha$$
$$\propto \textit{ความยาว } \overrightarrow{CK}$$



รูปที่ 2.22 เฟสเซอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ทที่สภาวะความเร็วเท่ากับศูนย์

2.3.3.1 การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้แรงบิดเริ่มต้นสูงสุด

จากรูปที่ 2.22 เส้นตรง $\overrightarrow{CK}$ จะแสดงขนาดของแรงบิดที่เกิดขึ้น ซึ่งจะมีค่ามากที่สุด เมื่อเส้นตรงลากตัดผ่านศูนย์กลางของวงกลมตามรูปที่ 2.22 จากทฤษฎีทางเรขาคณิตจะสามารถหาขนาดของ θ_a ได้จาก

$$\theta_a = \frac{90^\circ - \theta_m}{2}$$

ดังนั้น

$$\tan\theta_a = \left(\frac{1-\cos 2\theta_a}{1+\cos 2\theta_a}\right)^{\frac{1}{2}}$$
$$= \left(\frac{1-\cos(90^\circ - \theta_m)}{1+\cos(90^\circ - \theta_m)}\right)^{\frac{1}{2}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \left(\frac{1 - \sin\theta_m}{1 + \sin\theta_m} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left(\frac{1 - \left(X_m / |Z_m| \right)}{1 + \left(X_m / |Z_m| \right)} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left(\frac{|Z_m| - X_m}{|Z_m| + X_m} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{R_m}{|Z_m| + X_m} \quad (2.16)$$

และ

$$\tan\theta_a = \frac{X_c - X_a}{R_a} \quad (2.17)$$

จากสมการที่ (2.16) และ (2.17) จะได้สมการที่สามารถใช้คำนวณหาค่า X_c ที่ทำให้แรงบิดสตาร์ทของมอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่ามากสุด คือ

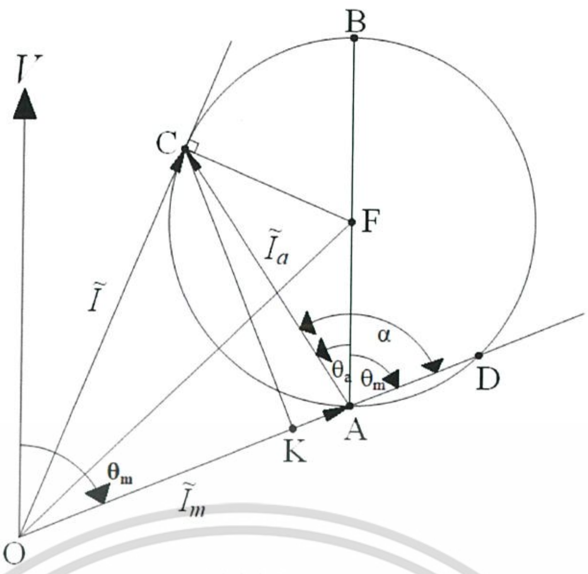
$$X_c = X_a + \frac{R_a R_m}{|Z_m| + X_m} \quad (2.18)$$

$$C = \frac{1}{\omega X_c} \quad (2.19)$$

2.3.3.2 การคำนวณหาค่าตัวประจุที่ทำให้แรงบิดเริ่มต้นต่อกระแสมากที่สุด

จากแผนภาพเฟสเซอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำตามรูปที่ 2.23 ขนาดของกระแสจะถูกแสดงผ่านเส้นตรง $\overrightarrow{OC}$ และขนาดของแรงบิดเริ่มต้นจะถูกแสดงผ่านเส้นตรง $\overrightarrow{CK}$ ค่าแรงบิดต่อกระแส $\left(\overrightarrow{CK} / \overrightarrow{OC}\right)$ จะมีค่ามากที่สุดเมื่อเส้นตรงสัมผัสกับวงกลม $ABCD$ ซึ่งจะเกิดขึ้นได้เมื่อมุม $O\hat{C}F$ มีค่าเท่ากับ 90°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แผนภาพเฟสเซอร์ของมอเตอร์ที่มีแรงบิดเริ่มต้นต่อกระแสมากที่สุด

จากแผนภาพเฟสเซอร์และใช้ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิต จะสามารถสร้างสมการเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้ได้แรงบิดเริ่มต้นต่อกระแสมากที่สุดได้ดังนี้

$$
\begin{aligned}
I^2 &= \overrightarrow{OC}^2 \\
&= \overrightarrow{OF}^2 - \overrightarrow{AF}^2 \\
&= \overrightarrow{OA}^2 + \overrightarrow{AF}^2 - 2\overrightarrow{OA}\overrightarrow{AF}\cos\angle O\hat{C}F - \overrightarrow{AF}^2 \\
&= \overrightarrow{OA}^2 + 2\overrightarrow{OA}\overrightarrow{AF}\cos\theta_m \\
&= I_m^{\ 2} + 2|I_m|\frac{V}{2R_a}\frac{R_m}{Z_m} \\
&= I_m^{\ 2}\left(1+\frac{R_m}{R_a}\right)
\end{aligned}
$$

$$\frac{I^2}{I_m^{\ 2}} = \frac{R_m + R_a}{R_a} \tag{2.20}$$

และจากความสัมพันธ์ของค่ากระแส

$$\tilde{I}_m = \frac{V}{Z_m}$$

$$\tilde{I}_a = \frac{V}{Z_a}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\tilde{I} = \tilde{I}_a + \tilde{I}_m = V\frac{Z_a + Z_m}{Z_a Z_m}$$

ดังนั้น

$$\frac{\tilde{I}}{\tilde{I}_m} = \frac{Z_a + Z_m}{Z_a}$$

$$\frac{I^2}{I_m^{\ 2}} = \frac{\left|Z_a + Z_m\right|^2}{\left|Z_a\right|^2} \qquad (2.21)$$

จากสมการ (2.20) และ (2.21)

$$\frac{R_a + R_m}{R_a} = \frac{\left|Z_a + Z_m\right|^2}{\left|Z_a\right|^2}$$

$$= \frac{\left(R_a + R_m\right)^2 + \left(X_m - X_A\right)^2}{R_a^2 + X_A^2} \qquad (2.22)$$

เมื่อ $X_A = X_c - X_a$ จากสมการที่ 2.22 ซึ่งค่าของ X_A เป็นสมการกำลังสอง ทำให้สามารถหาคำตอบของสมการได้เป็น

$$X_A = \frac{-X_m R_a \pm \left|Z_m\right|\sqrt{R_a\left(R_a + R_m\right)}}{R_m} \qquad (2.23)$$

เมื่อกระแสที่ขดลวดสตาร์ทนำหน้าแรงดัน ค่าความต้านทานเหนี่ยวนำของขดลวดสตาร์ท (X_A) จะมีค่าเป็นบวก ดังนั้น

$$X_A = X_c - X_a$$

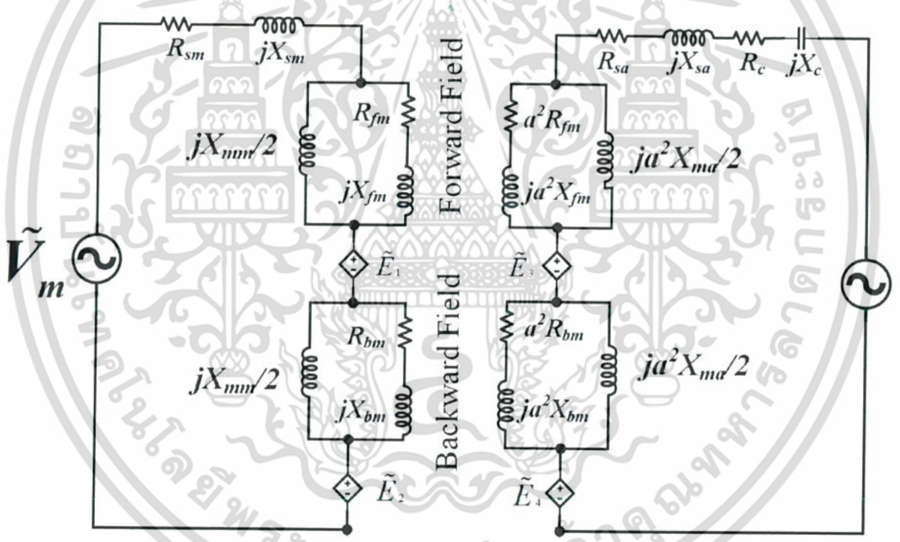
$$= \frac{-X_m R_a + \left|Z_m\right|\sqrt{R_a\left(R_a + R_m\right)}}{R_m}$$

$$X_c = X_a + \frac{-X_m R_a + \left|Z_m\right|\sqrt{R_a\left(R_a + R_m\right)}}{R_m} \qquad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส [2]

ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส สิ่งแรกที่ผู้วิจัยต้องการทราบคือแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส เนื่องจากสมการดังกล่าวเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการนำไปใช้ในการวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมทางพลวัตของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสและยังถูกนำไปใช้ในการควบคุมอีกด้วย สำหรับสมการทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิดแยกเฟสออกจากกัน มีลักษณะคล้ายคลึงกับสมการทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน ซึ่งในหัวข้อนี้จะมีการอธิบายสมการเหล่านี้ ซึ่งสนามแม่เหล็กจะมีการกระจายตัวแบบ Sinusoidal และไม่คิดผลของการอิ่มตัวและความสูญเสียในแกนเหล็ก ซึ่งได้มีการศึกษามาจากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสชนิดตัวเก็บประจุชนิดรัน



รูปที่ 2.24 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิดตัวเก็บประจุรัน

การเหนี่ยวนำของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าในขดลวดรัน ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสชนิดตัวเก็บประจุรัน ด้วย Forward และ Backward Revolving Fields เป็นไปสมการดังนี้

$$\tilde{E}_{fm} = \tilde{I}_m Z_{fm} \tag{2.25}$$

$$\tilde{E}_{bm} = \tilde{I}_m Z_{bm} \tag{2.26}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเหนี่ยวนำของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าในขดลวดสตาร์ทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสชนิดตัวเก็บประจุรันด้วย Forward และ Backward Revolving Fields เป็นไปสมการดังนี้

$$\tilde{E}_{fa} = \tilde{I}_a a^2 Z_{fm} \tag{2.27}$$

$$\tilde{E}_{ba} = \tilde{I}_a a^2 Z_{bm} \tag{2.28}$$

เพราะว่าขดลวดหลักและขดลวดสตาร์ทวางทำมุมกัน 90° ทางไฟฟ้า ส่งผลขดลวดสตาร์ทมีการเหนี่ยวนำของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้าทำมุมล้าหลังขดลวดรัน 90° ทางไฟฟ้าทั้ง Forward และ Backward Revolving Fields ด้วยเช่นกัน ดังนั้นขดลวดรันมีค่า $\frac{1}{a}$ เท่าของขดลวดสตาร์ท ดังสมการต่อไปนี้

$$\tilde{E}_1 = -j\frac{\tilde{E}_{fa}}{a} \tag{2.29}$$

$$\tilde{E}_2 = j\frac{\tilde{E}_{ba}}{a} \tag{2.30}$$

$$\tilde{E}_3 = ja\tilde{E}_{fm} \tag{2.31}$$

$$\tilde{E}_4 = -ja\tilde{E}_{bm} \tag{2.32}$$

จาก Kirchhoff's Voltage Law เราสามารถหาสมการแรงดันได้ดังต่อไปนี้

$$\tilde{V}_m = \tilde{I}_m Z_{sm} + \tilde{E}_{fm} + \tilde{E}_{bm} + \tilde{E}_1 + \tilde{E}_2 \tag{2.33}$$

$$\tilde{V}_a = \tilde{I}_a \left(Z_{sa}^* + Z_c\right) + \tilde{E}_{fa} + \tilde{E}_{ba} + \tilde{E}_3 + \tilde{E}_4 \tag{2.34}$$

เมื่อ Z_{sa}^* คือค่าอิมพีแดนซ์ของขดลวดสตาร์ทที่ถูกแปลงค่ามาฝั่งขดลวดหลัก

$$Z_{sa}^* = R_{sa} + ja^2 X_{sm} \tag{2.35}$$

จัดรูปสมการใหม่เพื่อลดรูปสมการได้ดังต่อไปนี้

$$Z_{11} = Z_{sm} + Z_{fm} + Z_{bm} \tag{2.36}$$

$$Z_{12} = -ja\left[Z_{fm} - Z_{bm}\right] \tag{2.37}$$

$$Z_{21} = ja\left[Z_{fm} - Z_{bm}\right] \tag{2.38}$$

$$Z_{22} = Z_{sa}^* + Z_c + a^2\left[Z_{fm} + Z_{bm}\right] \tag{2.39}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้สมการแรงดันไฟฟ้าใหม่ดังนี้

$$\tilde{V}_m = \tilde{I}_m Z_{11} + \tilde{I}_a Z_{12} \tag{2.40}$$

$$\tilde{V}_a = \tilde{I}_m Z_{21} + \tilde{I}_a Z_{22} \tag{2.41}$$

กระแสไฟฟ้าในขดลวดหลักและขดลวดสตาร์ท มีค่าดังต่อไปนี้

$$\tilde{I}_m = \frac{\tilde{V}_m (Z_{22} - Z_{12})}{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}} \tag{2.42}$$

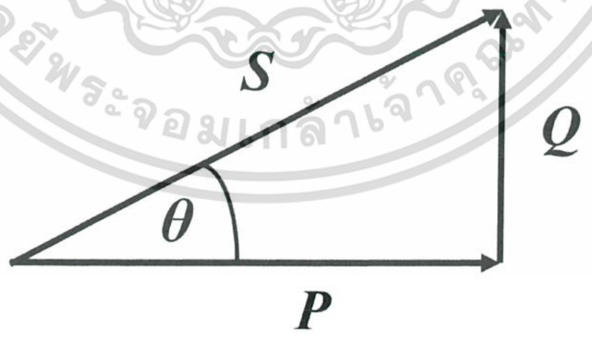
$$\tilde{I}_a = \frac{\tilde{V}_a (Z_{11} - Z_{21})}{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}} \tag{2.43}$$

กระแสไฟฟ้ารวมสามารถคำนวณจาก

$$\tilde{I}_L = \mathrm{Re}\left[\tilde{I}_m + \tilde{I}_a\right] \tag{2.44}$$

จะสามารถหาตัวประกอบกำลังจะได้

$$pf. = \cos\theta \tag{2.45}$$



รูปที่ 2.25 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle)

เมื่อ θ คือมุมระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ารวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กำลังไฟฟ้าและการสูญเสียในมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส [1,8]

2.5.1 กำลังไฟฟ้า

วงจรไฟฟ้ากระแสสลับมีกำลังไฟฟ้า 3 ชนิด ปกติจะคำนวณเฉพาะขนาด มีรายละเอียดดังนี้

2.5.1.1 กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power, (P)) หน่วยเป็น W

คำนวณได้จาก
$$P = VI\cos\theta \tag{2.46}$$

2.5.1.2 กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power, (Q)) หน่วยเป็น var

คำนวณได้จาก
$$Q = VI\sin\theta \tag{2.47}$$

2.5.1.3 กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power, (S)) หน่วยเป็น VA

คำนวณได้จาก
$$S = VI = P + jQ \tag{2.48}$$

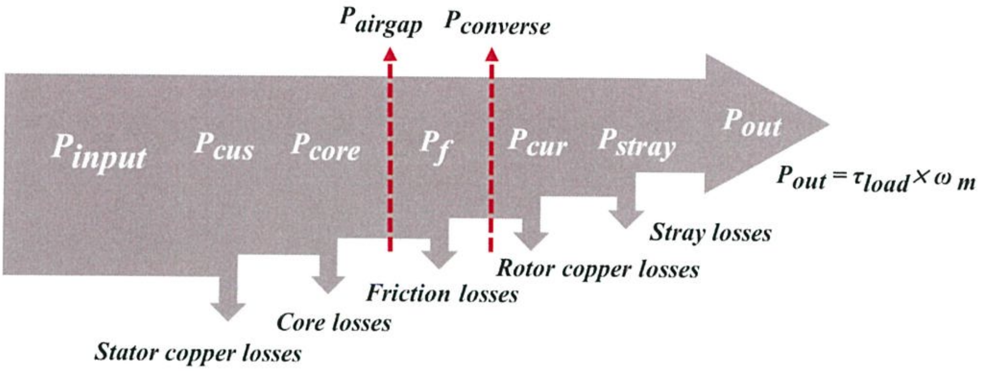
เมื่อ θ คือมุมระหว่าง V กับ I ไม่เจาะจงว่ามุมจะนำหน้า หรือล้าหลัง เป็นมุมเดียวกับ θ ในสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.25

2.5.1.4 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) หรือ PF. มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

คำนวณได้จาก
$$pf. = \frac{P}{S} = \cos\theta \tag{2.49}$$

ซึ่งกำลังไฟฟ้าจริงคือกำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดขึ้นแล้วนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง ต่างกับกำลังไฟฟ้าเสมือนที่เป็นจำนวนจินตภาพเอามาใช้ทำงานไม่ได้ ส่วนใหญ่ใช้ในการเกิดสนามแม่เหล็กหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอินดัคทีฟโหลด เช่น มอเตอร์ บัลลาสต์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 Power Flow ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

2.5.2 การวิเคราะห์กำลังสูญเสียของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส [3]

จากรูปที่ 2.26 กำลังสูญเสียในส่วนต่างๆ ซึ่งค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าของกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ จึงสามารถแบ่งกำลังสูญเสียเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.5.2.1 กำลังสูญเสียคงที่ (Constant or No-Load Losses) ถึงแม้มอเตอร์ไม่ได้รับภาระการใช้งานหรือไม่มีโหลด แต่ก็ยังคงมีค่ากำลังสูญเสียเกิดขึ้นตลอดเวลาเมื่อมอเตอร์ทำงานแบ่งเป็น

2.5.2.1.1 กำลังสูญเสียทางกล (Mechanical Losses) เช่น กำลังสูญเสียเกิดจากความเสียดทานในตลับลูกปืนของมอเตอร์ และแรงต้านของครีบระบายอากาศของตัวมอเตอร์ (Friction& Windage Losses)

2.5.2.1.2 กำลังสูญเสียทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Losses) เช่น กำลังสูญเสียที่แกนเหล็ก (Core Losses) ซึ่งประกอบด้วยกำลังสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กในแกนเหล็ก (Hysteresis Losses) และกำลังสูญเสียจากกระแสไหลวน (Eddy Current Losses) ในวงจรแม่เหล็กของมอเตอร์กำลังสูญเสียเมื่อมอเตอร์ไม่มีโหลดจะมีค่าประมาณ 30% ของค่ากำลังสูญเสียรวม (ในอัตราที่มอเตอร์ทำงานเต็มพิกัด) และเกิดขึ้นไม่ว่ามอเตอร์จะหมุนตัวเปล่า หรือขณะใช้งาน

2.5.2.2 กำลังสูญเสียเมื่อมอเตอร์ต้องรับภาระหรือโหลดที่เกิดขึ้น (Variable or Load losses)

2.5.2.2.1 กำลังสูญเสียทางไฟฟ้า (Electrical Losses) คือ กำลังสูญเสียในรูปความร้อนที่สเตเตอร์ และโรเตอร์ เป็นผลของความต้านทานของวัสดุที่ใช้เป็นตัวนำที่สเตเตอร์และตัวนำที่โรเตอร์ ซึ่งเราสามารถควบคุมค่ากำลังสูญเสียนี้ได้ด้วยการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2.2 กำลังสูญเสียจากภาระการใช้งาน (Stray Losses) เป็นผลที่เกิดจากกระแสฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Current) ในตัวนำของโรเตอร์ขณะที่มอเตอร์มีโหลด และกำลังสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนในขดลวดสเตเตอร์ ดังนั้นกำลังที่สูญเสียในขดลวดที่ภาระทางกลต่างๆ จะแปรตามกำลังงานปรากฏยกกำลังสอง เมื่อเริ่มพิจารณาจากวงจรสมมูลรูปที่ 2.24 จะได้สมการกระแสอินพุตที่สเตเตอร์คือ

$$\tilde{I}_1 = \frac{\tilde{V}_1}{R_1 + jX_1 + 0.5Z_f + 0.5Z_b} \tag{2.50}$$

กำลังที่ส่งผ่านช่องอากาศที่เกิดขึ้น จะประกอบด้วย กำลังไฟฟ้าส่งผ่านช่องอากาศสำหรับสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหน้า [9] คือ

$$P_{gf} = \mathrm{Re}\left(\tilde{E}_f I_m^* + ja\tilde{E}_b I_a^*\right) \tag{2.51}$$

กำลังที่ส่งผ่านช่องอากาศที่เกิดขึ้น จะประกอบด้วย กำลังไฟฟ้าส่งผ่านช่องอากาศสำหรับสนามแม่เหล็กหมุนไปข้างหลัง

$$P_{gb} = \mathrm{Re}\left(\tilde{E}_f I_m^* - ja\tilde{E}_b I_a^*\right) \tag{2.52}$$

และกำลังที่ส่งผ่านช่องอากาศที่เกิดขึ้น

$$P_g = P_{gf} - P_{gb} \tag{2.53}$$

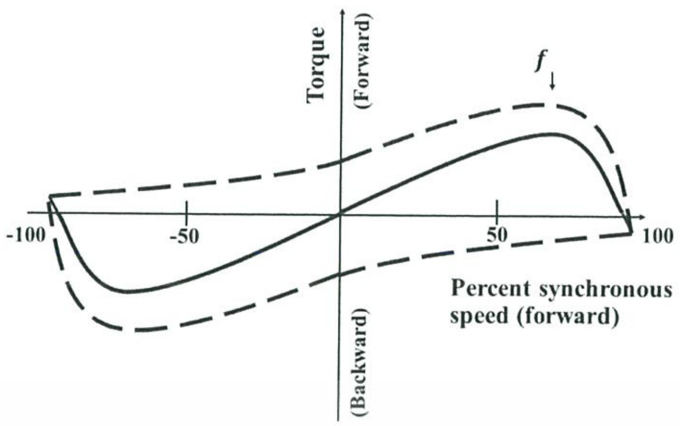
$$P_g = \mathrm{Re}\left(\tilde{E}_f - \tilde{E}_b\right)\tilde{I}_m^* + ja\left(\tilde{E}_f + \tilde{E}_b\right)\tilde{I}_a^* \tag{2.54}$$

$$P_g = \left(R_f - R_b\right)\left(I_m^{\,2} + (aI_a)^2\right) + 2aI_m I_a\left(R_f + R_b\right)\sin\left(\theta_a - \theta_m\right) \tag{2.55}$$

เมื่อ $\tilde{I}_m = I_m \angle \theta_m$

$\tilde{I}_a = I_a \angle \theta_a$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 ผลรวมของแรงบิดด้าน Forward และ Backward
จากรูปจะเห็นได้ว่าผลรวมแรงบิดขณะสตาร์ทเป็นศูนย์

2.6 ความสัมพันธ์ของแรงบิดและกำลังไฟฟ้า [1]

สมรรถนะของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสในเทอมของแรงบิดและกำลังไฟฟ้ากำหนดเป็นความสัมพันธ์ของแรงบิดทางแม่เหล็กไฟฟ้าและกำลังในช่องว่างอากาศตามรูปที่ 2.27 กำหนดได้ดังนี้

$$T_f = \frac{P_{gf}}{\omega_s} \qquad (2.56)$$

$$T_b = \frac{P_{gb}}{\omega_s} \qquad (2.57)$$

$$T_e = T_f - T_b \qquad (2.58)$$

ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นกำลังทางกล ดังนี้

$$P_{conv} = T_e \omega_r \qquad (2.59)$$

หรือ $$P_{conv} = (1-s)P_g \qquad (2.60)$$

กำลังไฟฟ้าขาออก $$P_{out} = P_{conv} - P_{rotational} \qquad (2.61)$$

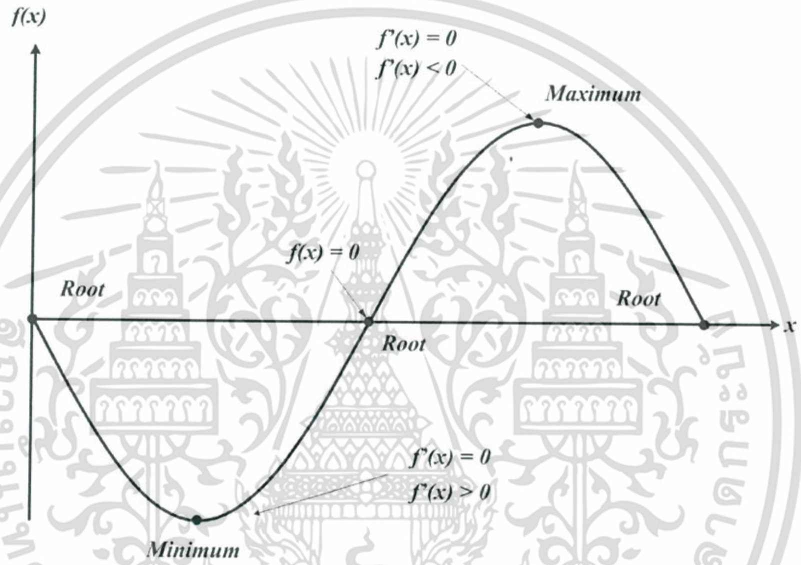
$$T_{load} = \frac{P_{out}}{\omega_r} \qquad (2.62)$$

การคำนวณประสิทธิภาพ $$\%Eff = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \qquad (2.63)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การพิจารณาประสิทธิภาพของมอเตอร์ผ่านกระบวนการทางจีเนติก [7]

หลักการทางจีเนติกเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมของฟังก์ชันเป้าหมาย โดยเลียนแบบวิธีการคัดสรรทางธรรมชาติ (Natural Selection) เพื่อหาผลลัพธ์ของคำตอบที่ดีที่สุดตามเงื่อนไขที่ผู้สนใจกำหนด ซึ่งรูปแบบของฟังก์ชันสามารถแบ่งได้เป็น 3 เงื่อนไข 1.เงื่อนไขน้อยกว่าศูนย์ (Inequality Constraint) 2.เงื่อนไขเท่ากับศูนย์ (Equality Constraint) และ 3.เงื่อนไขขนาด (Side Constraint)



รูปที่ 2.28 เงื่อนไขน้อยกว่าศูนย์และเท่ากับศูนย์ของฟังก์ชัน

$$F(x) \tag{2.64}$$

$$G_j(x) < 0 \qquad J = 1....,1 \tag{2.65}$$

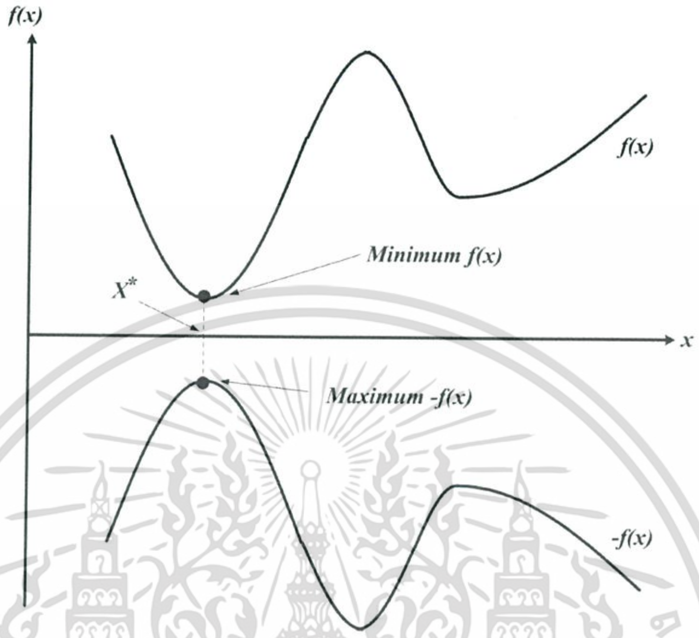
$$H_k(x) = 0 \qquad K = 1..., m \tag{2.66}$$

$$x_i^l \leq x_i \leq x_i^u \qquad I = 1...., n \tag{2.67}$$

เมื่อ $x = (x_1,...., x_n)$ เป็นเวคเตอร์ของตัวแปรสำหรับออกพิจารณาฟังก์ชันเป้าหมายและฟังก์ชันเงื่อนไขในการหาค่าที่เหมาะสม โดยฟังก์ชันดังกล่าวสามารถเป็นได้ทั้งฟังก์ชันเชิงเส้น (Linear) หรือฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-Linear)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมการ 2.65 F(x) คือฟังก์ชันเป้าหมายที่ต้องการหาค่าสูงสุดต่ำสุดโดยที่เงื่อนไขน้อยกว่าศูนย์ (Inequality Constraint) สามารถใช้หาค่าสูงสุดได้โดยการคูณ -1 ไปในสมการ ดังรูปที่ (2.30)



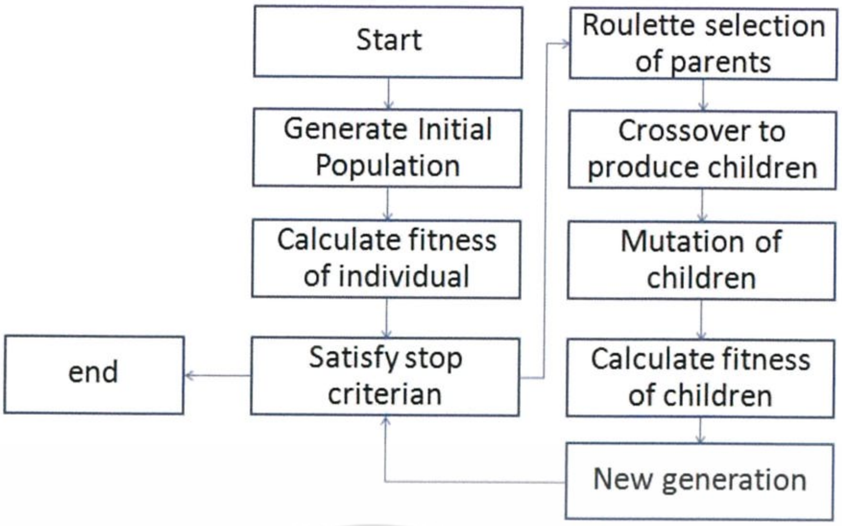
รูปที่ 2.29 คำตอบของค่าต่ำสุด f(x) และ ค่าสูงสุด –f(x)

สมการที่ 2.67 คือเงื่อนไขที่มีค่าเท่ากับศูนย์ (Equality Constraints) และสำหรับสมการที่ 2.68 คือสมการเงื่อนไขขนาด ซึ่งกำหนดขอบเขตของช่วงคำตอบที่ต้องการพิจารณา

2.7.1 จีเนติกอัลกอริธึม (Genetic Algorithm: GA) [7]

จีเนติกอัลกอริธึมเป็นกระบวนการหาคำตอบโดยเลียนแบบวิธีการคัดสรรทางธรรมชาติซึ่งวิธีจีเนติกถูกคิดค้นโดย จอห์น ฮอลแลนด์ ในปี 1995 โดยมีลักษณะการคำนวณดังรูปที่ 2.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 แผนผังการคำนวณของจีเนติกอัลกอริธึม

2.7.2 ขั้นตอนการคำนวณหาคำตอบด้วยจีเนติกอัลกอริธึม

2.7.2.1 กำหนดฟังก์ชันเป้าหมายที่ต้องการจะหาคำตอบขึ้นมา โดยวิธีการทางจีเนติกจะไม่สนใจพฤติกรรมของเป้าหมายที่สนใจหรือขั้นตอนในการแก้ปัญหาแต่จะพิจารณาจากการตัดสินว่าผลลัพธ์คำตอบนั้นสามารถทำให้มีผลลัพธ์ที่ดีกว่าเดิมได้หรือไม่ และเป็นคำตอบที่มีค่าใกล้เคียงกับฟังก์ชันเป้าหมาย

2.7.2.2 กำหนดรูปแบบโครโมโซม โดยเป็นการกำหนดค่าตัวแปรหรือพารามิเตอร์ให้อยู่ในเลขฐานสอง โดยความยาวของชุดโครโมโซมจะถูกกำหนดจากฟังก์ชันเป้าหมาย

2.7.2.3 การสร้างชุดประชากรเริ่มต้นของการแก้ปัญหาที่ถูกสร้างขึ้นโดยการสุ่ม ตามจำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่น ซึ่งประชากรชุดเริ่มต้นนี้จะถูกคัดเลือกและกลายเป็นโครโมโซมต้นแบบในการสร้างกลุ่มประชากรรุ่นถัดไป เช่น ชุดโครโมโซม 1 ประกอบด้วยกลุ่มประชากรโครโมโซมทั้ง 5 โครโมโซม 1101 1000 1010 0010 0110 โดยที่โครโมโซม ทั้ง 5 ชุดนี้ เกิดจากการสุ่มค่าเลขฐาน 2 เป็นจำนวน n ครั้ง

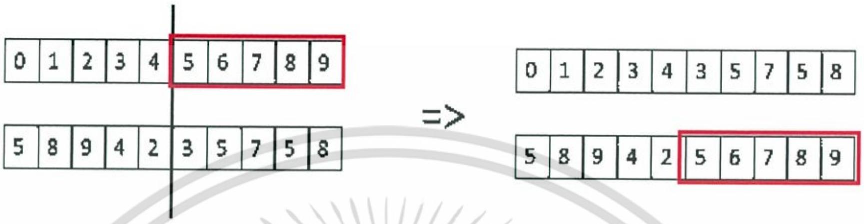
2.7.2.4 การวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสม เป็นการถอดรหัสจากรูปแบบของโครโมโซมที่กำหนดไว้เพื่อคำนวณค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันความเหมาะสมแต่ละโครโมโซม ซึ่งโดยปกติแล้วสมการเป้าหมายจะเป็นฟังก์ชันเป้าหมาย

2.7.2.5 การคัดเลือกโครโมโซม เป็นหนึ่งในขั้นตอนที่เลียนแบบวิธีการทางธรรมชาติเพื่อใช้ในการคัดเลือกกลุ่มประชากร โครโมโซมในรุ่นเก่าให้กลายเป็นกลุ่มประชากรโครโมโซมต้นแบบ หรือ รุ่นพ่อแม่ สำหรับการสร้างกลุ่มประชากร โดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของชุดประชากรโครโมโซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่ามีโอกาสถูกเลือกเป็นประชากรรุ่นต้นแบบแค่ไหน โดยค่าความเหมาะสมของชุดประชากรแต่ละชุดเทียบกับความเหมาะสมโดยรวม

2.7.2.6 การครอสโอเวอร์ (Crossover) เป็นการดำเนินการในการแลกเปลี่ยนส่วนของโครโมโซมรุ่นพ่อ-แม่ ตามกำหนดอัตราความน่าจะเป็นของครอสโอเวอร์ ซึ่งการครอสโอเวอร์ทำให้คำตอบของประชากรมีการพัฒนาขึ้น



รูปที่ 2.31 ครอสโอเวอร์แบบวันพอยท์

2.7.2.7 การมิวเตชัน (Mutation) ขั้นตอนการผ่าเหล่ากลายพันธ์หลังเกิดการครอสโอเวอร์ เพื่อให้ค่าความเหมาะสมดีขึ้นกว่าเดิม หรือเรียกง่ายๆว่า แทนเซตของเหตุการณ์ที่คาดไม่ถึง

รูปที่ 2.32 การมิวเตชันเปลี่ยน Bit ข้อมูลจาก 1 เป็น 0

2.7.2.8 ประชากรรุ่นใหม่เกิดจากชุดโครโมโซมที่พัฒนาหรือวิวัฒนาการต่างๆทั้งหมด ซึ่งประชากรรุ่นใหม่จะกลายเป็นประชากรรุ่นเก่าเพื่อช่วยในการอัพเดตค่าผลลัพธ์เพื่อให้สอดคล้องกับฟังก์ชันเป้าหมาย โดยจะซ้ำกระบวนการไปเรื่อยๆจนได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับคำตอบที่เราต้องการหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

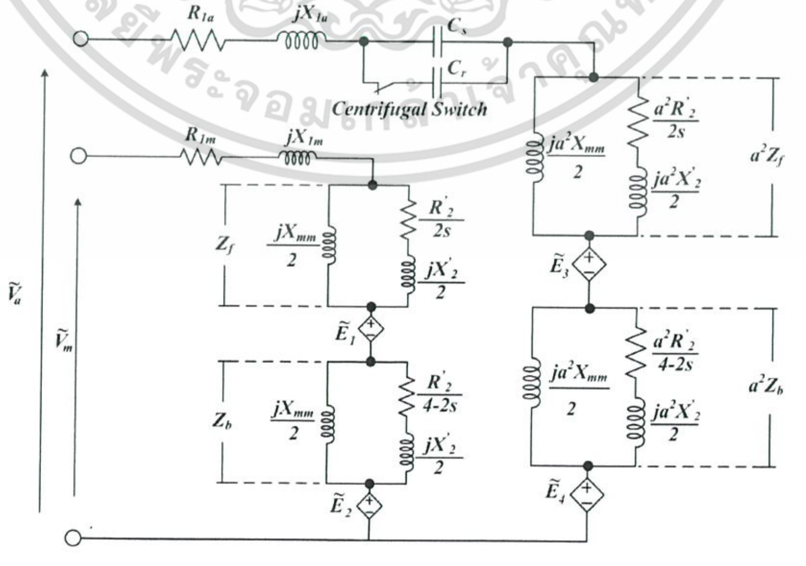
การทำงานและการออกแบบการทดลอง

3.1 บทนำ

เนื้อหาภายในบทนี้จะแสดงวิธีการในการทดสอบหาค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ซึ่งประกอบไปด้วย วิธีแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรม MATLAB/Simulink วิธีคำนวณแบบจีเนติกอัลกอริธึม สุดท้ายนำผลลัพธ์ที่ได้จาก 2 วิธีข้างต้นมาเปรียบเทียบกับวิธีคำนวณโดยตรงโดยใช้วงจรสมมูล โดยในตอนต้นของบทนี้จะแสดงวิธีทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ และการทดสอบหากำลังที่สูญเสียในมอเตอร์เพื่อที่จะใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพในขั้นตอนต่อไป

3.2 การทดสอบหาพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส [9,10]

จากทฤษฎีคู่สนามแม่เหล็กหมุน จะได้วงจรสมมูลของมอเตอร์ 1 เฟสชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน ตามรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงขดลวดสตาร์ท และขดลวดหลัก โดยความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ขดลวดแต่ละขดจะเกี่ยวข้องกับค่า Turn Ratio (a : อัตราส่วนระหว่างจำนวนรอบของขดลวดสตาร์ทต่อขดลวดหลัก)



รูปที่ 3.1 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

R_{1a} และ R_{1m}	คือ ความต้านของขดลวดสตาร์ท และขดลวดหลัก
X_{1a} และ X_{1m}	คือ ความต้านทานเหนี่ยวนำที่ขดลวดสตาร์ท และขดลวดหลัก
C_s และ C_r	คือ ตัวเก็บประจุสตาร์ท และตัวเก็บประจุรัน
X_{mm}	คือ ความต้านทานความเหนี่ยวนำ
R'_2	คือ ความต้านทานของขดลวดโรเตอร์ ที่ถูกแปลงไปด้านสเตเตอร์
X'_2	คือ ความเหนี่ยวนำของขดลวดโรเตอร์ ที่ถูกแปลงไปด้านสเตเตอร์
a	คือ อัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดสตาร์ทต่อขดลวดหลัก
$\tilde{E}_1, \tilde{E}_2$	คือ Forward และ Backward EMF ที่เกิดจาก Forward และ Backward EMF ด้านขดลวดสตาร์ท
$\tilde{E}_3, \tilde{E}_4$	คือ Forward และ Backward EMF ที่เกิดจาก Forward และ Backward EMF ด้านขดลวดรัน

มอเตอร์ที่นำมาทำการทดสอบนั้น จะมีจำนวนรอบของขดลวดสตาร์ท เท่ากับ 248 รอบ และจำนวนรอบของขดลวดหลัก เท่ากับ 192 รอบ ดังนั้นจะได้ค่า a = 1.29

3.2.1 การทดสอบทางไฟฟ้ากระแสตรง

การทดสอบด้วยวิธีนี้ จะเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานที่ขดลวดสเตเตอร์ โดยใช้หลักการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปที่ขดลวดสเตเตอร์ ในส่วนของความต้านทานความเหนี่ยวนำ (X_{1m}, X_{1a}) จะมีค่าเท่ากับศูนย์ ฉะนั้นจะเหลือความต้านทาน (R_{1a}, R_{1m}) เพียงอย่างเดียว จึงสามารถใช้กฎของโอห์ม คือ $V = IR$ มาคำนวณค่าความต้านทานได้

พารามิเตอร์ที่ได้ R_{1a}, R_{1m}

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	1.โวลต์มิเตอร์	จำนวน 1 เครื่อง
	2.แอมป์มิเตอร์	จำนวน 1 เครื่อง
	3.แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ	จำนวน 1 เครื่อง
	4.วงจรแปลงกระแส AC/DC	จำนวน 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดสอบ 1.ต่อวงจรตามรูปที่ 3.2

2.จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าที่ขดลวดสตาร์ทด้วยขนาดกระแสเริ่มต้นประมาณ 1 A แล้วบันทึกค่าแรงดันที่เกิดขึ้น ทำเช่นนี้ต่อไปโดยเพิ่มค่ากระแสในแต่ละรอบ จนกระทั่งกระแสมีค่าเข้าใกล้กระแสพิกัดของมอเตอร์ จากนั้นนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณ ซึ่งจากกฎของโอห์ม $R = \frac{V}{I}$ ซึ่งจะได้ค่าความต้านทานของขดลวดสตาร์ท

3.หาค่าความต้านทานของขดลวดหลัก โดยทำตามการทดลองข้อที่ 2 แต่เปลี่ยนมาจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าที่ขดลวดหลักแทน

(a) การทดสอบที่ขดลวดหลัก (b) การทดสอบที่ขดลวดสตาร์ท

รูปที่ 3.2 แผนภาพการต่ออุปกรณ์วัดการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสตรง

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบทางไฟฟ้ากระแสตรง

ขดลวด	ค่าจากการวัด								ความต้านทาน
	ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	
ขดลวดสตาร์ท	แรงดัน(V)	3.65	7.44	11.11	12.32	19.31	23.52	28.11	2.085 Ω
	กระแส(A)	2.11	4.05	6.01	8.13	10.11	12.12	13.92	
ขดลวดหลัก	แรงดัน(V)	0.93	1.69	2.44	3.46	5.26	6.75	8.78	0.9016 Ω
	กระแส(A)	1.11	2.14	3.22	4.16	6.01	8.03	10.21	

3.2.2 การทดสอบแบบยึดโรเตอร์

การทดสอบด้วยวิธีนี้ จะทดสอบที่ขดลวดหลักเพียงขดเดียวโดยจ่ายกระแสที่พิกัดของมอเตอร์เข้าขดลวดหลักที่สภาวะหยุดนิ่ง ค่า Forward และ Backward MMF ที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากันตามทฤษฎีคู่สนามแม่เหล็กหมุน ซึ่งจะได้ว่าค่าอิมพีแดนซ์ด้าน Forward และ Backward ที่โรเตอร์มีค่าเท่ากัน (Z_f = Z_b) ดังนั้นจะสามารถแสดงให้อยู่ในรูปวงจรสมมูลตามรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ที่ได้ X_{1m}, X_2', R_2'

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 1.ดิจิตัลมัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง

2.แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เครื่อง

วิธีการทดสอบ 1.ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ เข้ากับขดลวดรันของมอเตอร์

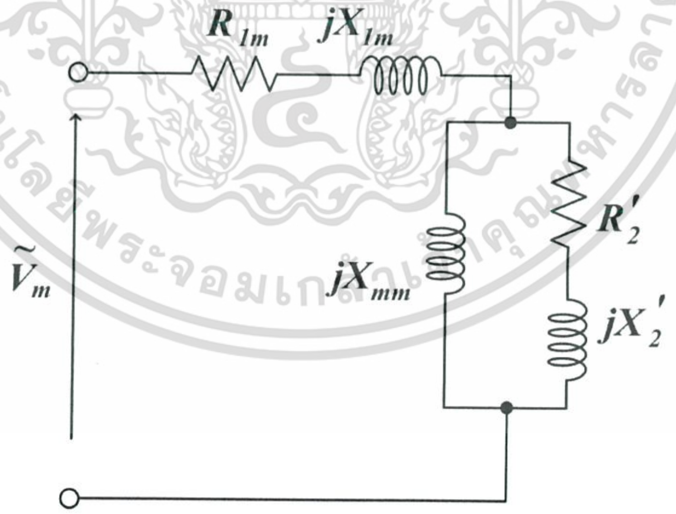
2.ต่อดิจิตัลมัลติมิเตอร์

3.ทำการยึดเพลาของมอเตอร์ให้แน่น จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้มีค่าประมาณพิกัดของมอเตอร์ จากนั้นบันทึกค่ากระแสที่ขดลวดหลัก (I_m), แรงดันที่ขดลวดหลัก (V_m) และ กำลังไฟฟ้า (P) ที่ได้นำมาคำนวณจากสมการที่ 3.1 ถึง 3.3 โดยจะกำหนดให้ $X_{1m} = X_2'$ และค่า R_{1m} คือ ค่าที่ได้จากการทดสอบแบบไฟฟ้ากระแสตรง

$$R_{1m} + R_2' \approx \frac{P}{I_m^2} \quad (3.1)$$

$$|Z_{sc}| = \frac{V_m}{I_m} \quad (3.2)$$

$$X_{1m} + X_2' \approx \sqrt{\left(\frac{V_m}{I_m}\right)^2 - \left(R_{1m} + R_2'\right)^2} \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.3 วงจรสมมูลที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบยึดโรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 3.2 ผลจากการทดสอบแบบยึดโรเตอร์

ค่าจากการวัด			ค่าจากการคำนวณ		
กำลังไฟฟ้า(W)	แรงดัน(V)	กระแส(A)	$X_{1m}(\Omega)$	$X_2'(\Omega)$	$R_2'(\Omega)$
618	64.1	16.02	1.5975	1.5975	1.5064

3.2.3 การทดสอบแบบไม่มีภาระทางกล

การทำการทดสอบด้วยวิธีนี้ จะทำการทดสอบโดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเข้าที่ขดลวดหลักเพียงขดเดียว ซึ่งมอเตอร์จะไม่สามารถหมุนได้ด้วยตัวเองเนื่องจากมีค่าแรงบิดด้าน Forward เท่ากับแรงบิดด้าน Backward จึงจำเป็นต้องใส่ตัวเก็บประจุสตาร์ทเข้ากับขดลวดสตาร์ทเข้าไปเพื่อช่วยในการเริ่มหมุน ที่สภาวะไม่มีภาระทางกลตัวเก็บประจุสตาร์ทและขดลวดสตาร์ทจะถูกสวิตช์แรงเหวี่ยงตัดออกจากวงจร ค่าสลิป (s) จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จึงได้ความสัมพันธ์ตามสมการที่ 3.4–3.5 จะได้วงจรสมมูลตามภาพที่ 3.5

$$j0.5X_2' + 0.5\frac{R_2'}{s} > 0.5X_{mm} \tag{3.4}$$

$$j0.5X_2' + \frac{0.5R_2'}{2-s} \approx j0.5X_2' + 0.25R_2' \ll 0.5X_{mm} \tag{3.5}$$

พารามิเตอร์ที่ได้ jX_{mm}

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 1.ดิจิตัลมัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง

2.แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เครื่อง

วิธีการทดสอบ 1. นำตัวเก็บประจุสตาร์ทต่ออนุกรมเข้ากับขดลวดสตาร์ท

2. ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้ากับขดลวดหลักของมอเตอร์

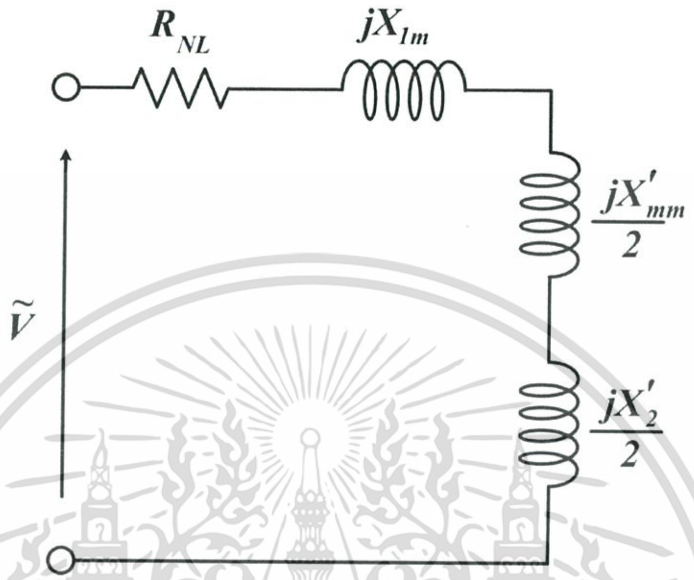
3. ต่อดิจิตัลมัลติมิเตอร์

4. จ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 230 V เข้าสู่มอเตอร์ บันทึกค่าแรงดัน ($\tilde{V}_{NL}$), กระแส ($\tilde{I}_{NL}$), กำลังไฟฟ้า (P_{NL}) จากนั้นมาคำนวณจากสมการที่ 3.6 - 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{NL} = \frac{P_{NL}}{I^2} \quad (3.6)$$

$$Z_{NL} = \sqrt{R_{NL}^2 + \left(0.5X_{mm} + X_1 + 0.5X_2'\right)^2} \quad (3.7)$$



รูปที่ 3.4 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส
ขณะทำการทดสอบแบบไม่มีภาระทางกล

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 3.3 ผลการทดสอบแบบไม่มีภาระทางกล

ค่าจากการวัด			ค่าจากการคำนวณ
แรงดัน (V)	กระแส (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	jX_{mm} (Ω)
230	15.21	559	25.062

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

สรุปผลการหาค่าพารามิเตอร์						
Turn Ratio	R_{1a}	R_{1m}	jX_{1m}	jX_2'	R_2'	jX_{mm}
1.29	0.9016	2.085	1.5975	1.5975	1.5064	25.062

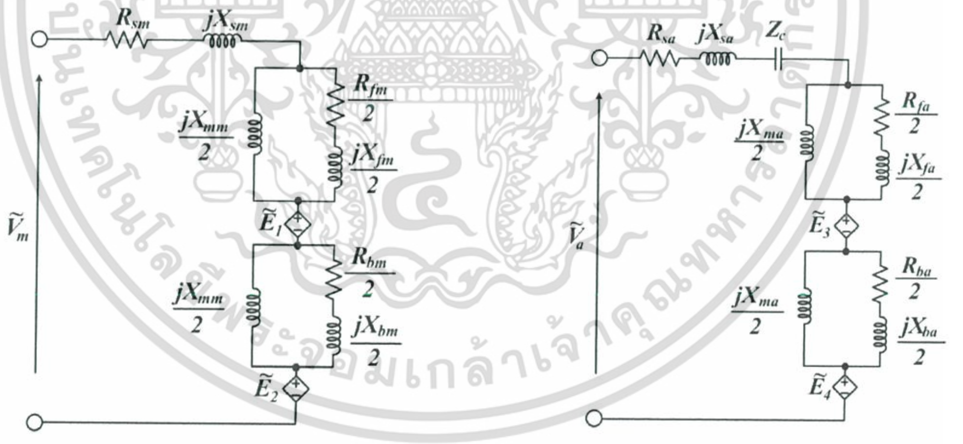
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดสอบหากำลังที่สูญเสียของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส [3]

การทดสอบหากำลังที่สูญเสีย เป็นส่วนที่สำคัญที่จะทำให้ผลการคำนวณจากพารามิเตอร์มีความแม่นยำมากขึ้น ในการทดสอบจะทำการทดสอบตามมาตรฐานของ IEEE Std 114-2010 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส โดยในมาตรฐานนี้ จะแบ่งกำลังที่สูญเสียในมอเตอร์ออกเป็น 6 ประเภท ดังนี้

- กำลังที่สูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ (Stator Copper Loss : P_{cus})
- กำลังที่สูญเสียในขดลวดโรเตอร์ (Rotor Copper Loss : P_{cur})
- แรงเสียดทานและแรงต้านอากาศ (Friction and Windage Loss : P_f)
- กำลังที่สูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss : P_{core})
- กำลังสูญเสียจากภาระการใช้งาน (Stray Load Loss : P_{stray})
- กำลังที่สูญเสียแปรงถ่าน (สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบขดลวด)

ในการทดสอบนี้ จะใช้พิกัดแรงดันขนาด 230 V และมีวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำตามรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.5 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส โดยแยกตามขดลวด

โดยค่ากำลังสูญเสียที่นำมาพิจารณาในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ จะประกอบไปด้วยกำลังที่สูญเสียในขดลวดสเตเตอร์และโรเตอร์ แรงเสียดทานและแรงต้านอากาศ กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก และกำลังสูญเสียเนื่องจากภาระการใช้งาน ซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{total,loss} = P_{cus} + P_{cur} + P_f + P_{core} + P_{stray} \quad (3.8)$$

3.3.1 การทดสอบหากำลังที่สูญเสียในขดลวดสเตเตอร์ (P_{cus})

ในการทดสอบเป็นการหาความสูญเสียที่สภาวะไม่มีภาระทางกล โดยใช้ค่ากระแสที่วัดได้จากขดลวดแต่ละขด เมื่อจ่ายแรงดันขนาด 230 V

สูตรคำนวณ $$P_{cus} = I^2 R \quad (3.9)$$

เมื่อ R คือความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์

I คือกระแสที่วัดได้

ขดลวดหลัก $P_{cus} = 15^2 \times 0.9016$

$P_{cus} = 202.80\,\text{W}$

ขดลวดสตาร์ท $P_{cus} = 5.30^2 \times 2.085$

$P_{cus} = 58.56\,\text{W}$

จะได้กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียที่สเตเตอร์ทั้งหมด ; $P_{total,cus} = 202.80 + 58.56 = 261.37\,\text{W}$

3.3.2 การทดสอบหาแรงเสียดทานและแรงต้านอากาศ (P_f)

วิธีการทดลอง

1. จ่ายแรงดันแรงดันประมาณ 125% ของพิกัดแรงดัน เข้าที่ขดลวดหลักเพียงขดลวดเดียว

2.ลดแรงดันที่จ่ายเข้าไปที่ขดลวดหลักทีละขั้น ขั้นละประมาณ 4 V โดยแต่ละขั้นที่ลดแรงดันทำการบันทึกค่าแรงดัน (V_{in}) กระแส (I_s)และกำลังไฟฟ้า (P_{in})

3.ทำการทดลองจนกระทั่งเมื่อลดแรงดันแล้วกระแสเพิ่ม จากนั้นนำค่ากระแสในแต่ละขั้นมาคำนวณหา ค่าTotal Resistive Loss จากสมการที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_l = \frac{I_s^2}{2}\left(R_m + \frac{P_L}{I_1^2}\right) \tag{3.10}$$

เมื่อ P_L คือ กำลังไฟฟ้าขณะทำการยึดโรเตอร์ที่สภาวะ 50% พิกัดกำลัง

R_m คือ ความต้านทานของขดลวดหลัก

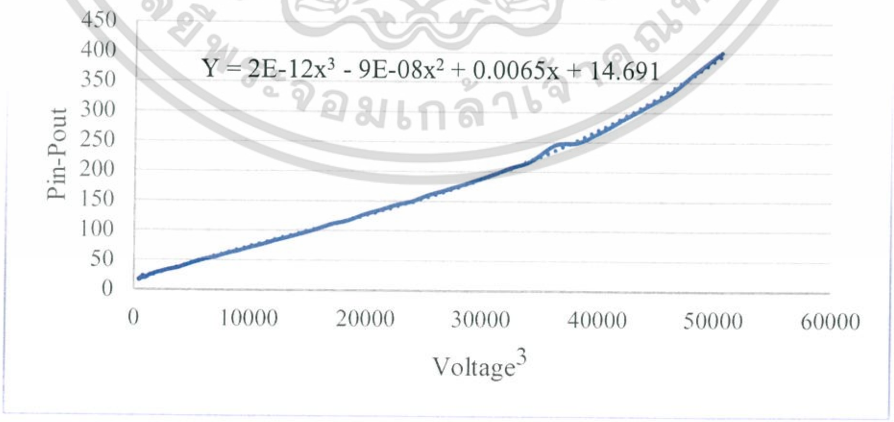
I_1 คือ กระแสขณะทำการยึดโรเตอร์ที่สภาวะ 50% พิกัดกำลัง

4. จากนั้นทำการพล็อตกราฟโดยให้แกน X เป็นแรงดันไฟฟ้าในแต่ละขั้นยกกำลังสาม (V^3) ส่วนแกน Y เป็นค่า $P_{in} - P_l$ ในแต่ละขั้น จากนั้นจะหาแรงเสียดทานและแรงต้านอากาศจาก จุดตัดแกนY ($V^3 = 0$)

ผลการทดสอบ

At only main winding	Vin	Is	Pin	Pl
power @ noload 575 w	224.9	13.88	514	113.0343
it=15.0	219.7	13.04	466	99.76693
V=230V	215.3	12.27	424	88.33251
	209.8	11.5	386	77.59382
	204.9	10.93	357	70.09253
locked rotor	199.8	10.35	327	62.85099
v=60.3	195.3	9.88	306	57.27239
it=14.85	190.4	9.43	297	52.17408
power 535.87	185	8.96	265	47.10288
	180.4	8.58	250	43.19227
	175.3	8.25	233	39.93368
	169.9	7.88	217	36.43207
	164.8	7.59	204	33.79987
	159.6	7.19	191	30.33117
	154.7	6.95	178	28.34008
	150	6.65	169	25.94626
	145.2	6.39	158	23.95704
	140.8	6.15	149.3	22.19125
	135.2	5.9	136.7	20.42375
	130.6	5.62	129.8	18.53122

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างข้อมูลที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $P_{in} - P_{out}$ กับ V^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป แรงเสียดทานและแรงต้านอากาศ (P_f)= 14.69 W

3.3.3 การทดสอบหากำลังที่สูญเสียในแกนเหล็ก (P_{core})

ในการทดสอบที่ไม่มีภาระทางกล ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้เท่ากับค่ากำลังที่สูญเสียทั้งหมด (Total loss)

$$P_{no-load} = P_{cus} + P_{cur} + P_{core} + P_f$$

จะได้

$$P_{core} = P_{no-load} - P_{cur} - P_{cur} - P_f$$

เมื่อ

ขดลวดหลัก $P_{no-load} = 575\ W$

$P_{cus} = 202.80$

ขดลวดสตาร์ท $P_{no-load} = 213\ W$

$P_{cus} = 58.56$

และที่สภาวะไม่มีภาระทางกล จะพิจารณาให้ $P_{cur} = 0\ W$

จะสามารถคำนวณค่ากำลังที่สูญเสียในแกนเหล็กของขดลวดทั้งสองได้

ขดลวดหลัก $P_{total\ core} = 575 - 202.80$

$P_{core,total} = 357.51\ W$

ขดลวดสตาร์ท $P_{core,total} = 213 - 58.56$

$= 139.75\ W$

ทั้งสองขดลวด $P_{total,core-loss} = 357.509 + 139.749 - 14.691$

$= 511.94W$

3.3.4 การทดสอบหากำลังที่สูญเสียในขดลวดโรเตอร์ (P_{cur})

$$P_{cur} = \left(P_0 - P_{cus} - P_{core} - P_f\right)s$$

เมื่อ

P_0 = กำลังไฟฟ้าขาเข้าที่วัดได้จากสเตเตอร์

P_{cus} = กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียที่สเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_{core} = กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากแกนเหล็ก

P_f = กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากแรงเสียดทานและแรงต้านลม

s = สลิป

3.3.5 การทดสอบหาค่ากำลังสูญเสียจากภาระการใช้งาน (P_{stray})

จากสมการ

$$P_{stray} = P_{Sll}\left(\frac{T}{T_0}\right)^2$$

เมื่อ

P_{Sll} คือค่า P_{stray} ที่พิกัดกำลังของมอเตอร์

โดยกำหนดให้มีค่า 1.8% ของพิกัดกำลัง

T คือแรงบิดที่สภาวะโหลดนั้นๆ

T_0 คือแรงบิดที่สภาวะพิกัดโหลด

ที่สภาวะพิกัด

$$T = 0.77 \text{ N}\cdot\text{m}$$

โดย T_0 หาได้จาก

$$T_0 = \frac{kP}{n}$$

k คือค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 9.549 N•m

P คือค่ากำลังของมอเตอร์จาก nameplate (W)

n คือค่าความเร็วรอบของมอเตอร์จาก nameplate (RPM)

จะได้

$$T_0 = \frac{9.549\times(3\times746)}{1430}$$

$$T_0 = 14.9 \text{ N}\cdot\text{m}$$

ดังนั้น

$$P_{stray} = 0.018\times(3\times746)\left(\frac{0.77}{14.9}\right)^2$$

$$= 0.11 \text{ W}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 สรุปกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปในสภาวะไม่มีภาระทางกล

เมื่อรวมกำลังสูญเสียทั้งขดลวดหลักและสตาร์ทและจากวิธีการที่ได้ทำการทดสอบที่สภาวะไร้ภาระทางกล สามารถนำมาคำนวณหากำลังที่สูญเสียที่สภาวะพิกัดกำลังได้ โดยในการทดสอบใช้ค่าตัวเก็บประจุขนาด 60 μF และแรงดันไฟฟ้า 230 V

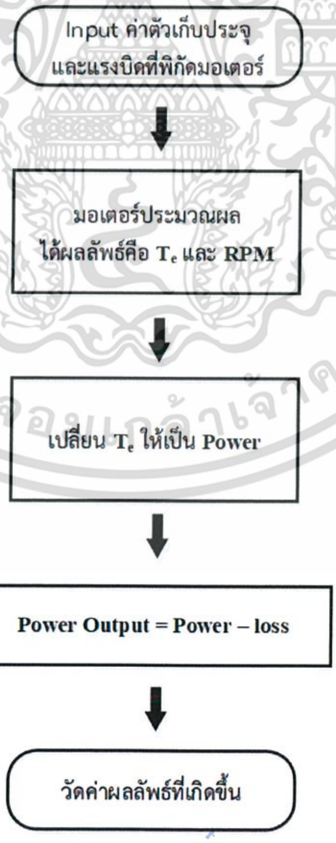
ตารางที่ 3.5 สรุปกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในมอเตอร์

ชนิดของกำลังสูญเสีย	กำลังสูญเสียที่สภาวะไร้ภาระทางกล (W)	กำลังสูญเสียที่สภาวะพิกัดกำลัง (W)
กำลังสูญเสียที่ขดสเตเตอร์	261.37	259.60
กำลังสูญเสียที่โรเตอร์	0	128
ความเสียดทานและแรงต้าน	14.69	14.69
กำลังสูญเสียที่แกนเหล็ก	511.95	511.94
กำลังสูญเสียจากภาระการใช้งาน	0.11	41
กำลังสูญเสียทั้งหมด	788	955.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 จำลองผลการทดสอบด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

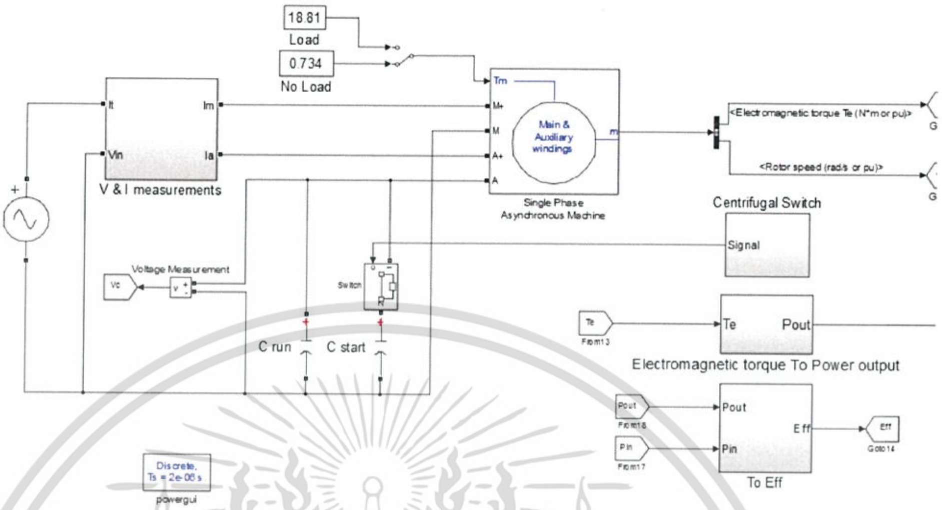
ในหัวข้อนี้แสดงการนำพารามิเตอร์และค่ากำลังสูญเสียที่ทดสอบและคำนวณได้จากหัวข้อที่แล้ว มาทำการจำลองเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส โดยโปรแกรม MATLAB ในส่วนของการ Simulink เพื่อดูพฤติกรรมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส เช่น เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า 230 V ค่าความเร็วของมอเตอร์จะมีค่าเท่าใด ค่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุรันมีค่าเท่าใด เป็นต้น ซึ่งจะนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลจากวิธีการคำนวณการโดยใช้วงจรสมมูลที่กล่าวในหัวข้อถัดไป เพื่อดูว่าผลที่ได้จากการจำลองใกล้เคียงกับผลการคำนวณมากน้อยเพียงใด และการทำ MATLAB/Simulink ยังสามารถใช้คาดการณ์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส เมื่อเราลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตัวใดตัวหนึ่ง เช่น การเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุ จากนั้นศึกษาพฤติกรรมของแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงไป เป็นต้น โดยไดอะแกรมในการออกแบบ สามารถแสดงได้ตามรูปที่ 3.8



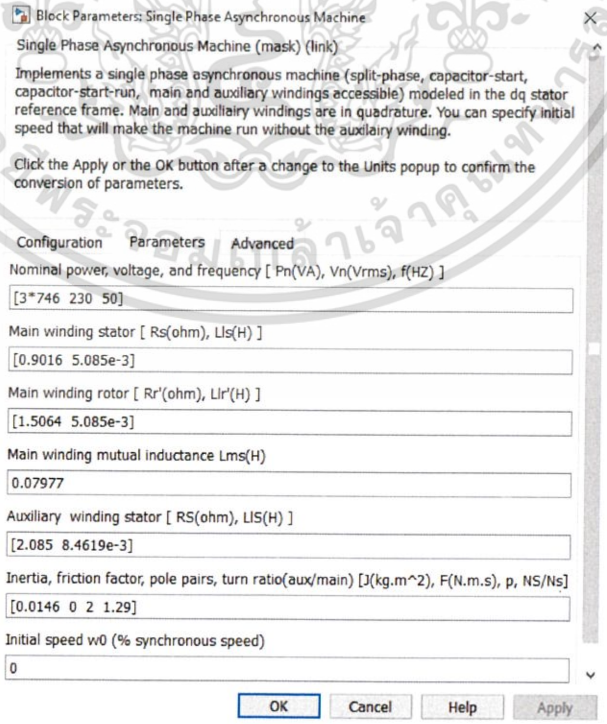
รูปที่ 3.8 ไดอะแกรมการออกแบบโปรแกรม

MATLAB/Simulink

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 บล็อคไดอะแกรมที่ใช้ในการจำลองมอเตอร์ผ่านโปรแกรม MATLAB/Simulink



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 การตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับโปรแกรม
MATLAB/Simulink

3.5 การหาประสิทธิภาพมอเตอร์โดยวิธีคำนวณจากวงจรสมมูล [2,3]

ในหัวข้อนี้ จะแสดงวิธีการที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของมอเตอร์ โดยใช้ทฤษฎีการคำนวณตามมาตรฐาน IEEE และบทที่ 2 มาคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการคำนวณ ในส่วนนี้จะพิจารณาที่พิกัดกำลังของมอเตอร์คือ 3 แรงม้า เท่ากับ 2238 W ในการคำนวณผ่านโปรแกรม MATLAB แต่ละครั้งนั้นจะใช้ค่าตัวเก็บประจุค่าหนึ่ง จากนั้นทำการคำนวณให้ได้ค่ากำลังขาออกเท่ากับค่ากำลังที่พิกัดของมอเตอร์ ต่อมาทำการบันทึกค่าผลลัพธ์ที่คำนวณได้ เช่น กระแสที่ขดลวดหลัก กระแสที่ขดลวดสตาร์ท กำลังไฟฟ้าขาเข้า เป็นต้น ภายหลังนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพที่ได้จากค่าตัวเก็บประจุแต่ละตัว บันทึกผลและเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพที่ได้จากค่าตัวเก็บประจุอื่นๆ โดยหลักวิธีการคำนวณสามารถนำแสดงในรูปของไดอะแกรมได้ตามรูปที่ 3.1

จากสูตรการหาค่าประสิทธิภาพ

$$\%Eff = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{3.11}$$

เมื่อ P_{out} คือ กำลังทางกลมอเตอร์
P_{in} คือ กำลังทางไฟฟ้าด้านเข้ามอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

ค่า P_{in} สามารถใช้สูตรการหากำลังทางไฟฟ้าโดยตรงคือ

$$P_{in} = VI_t \cos\theta_t \tag{3.12}$$

$$P_{in} = V\left(I_m + I_a\right)\cos\theta_t \tag{3.13}$$

เมื่อ

$$\tilde{I}_t = I_t \angle \theta_t \tag{3.14}$$

$$\tilde{I}_m = I_m \angle \theta_m \tag{3.15}$$

$$\tilde{I}_a = I_a \angle \theta_a \tag{3.16}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าสมการที่ใช้การคำนวณหาค่ากระแสสามารถคำนวณมาได้จากสมการที่ 3.16 และสมการที่ 3.17

$$\tilde{I}_m = \frac{\tilde{V}_m\left(Z_{21} - Z_{12}\right)}{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}} \quad (3.17)$$

$$\tilde{I}_a = \frac{\tilde{V}_a\left(Z_{11} - Z_{21}\right)}{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}} \quad (3.18)$$

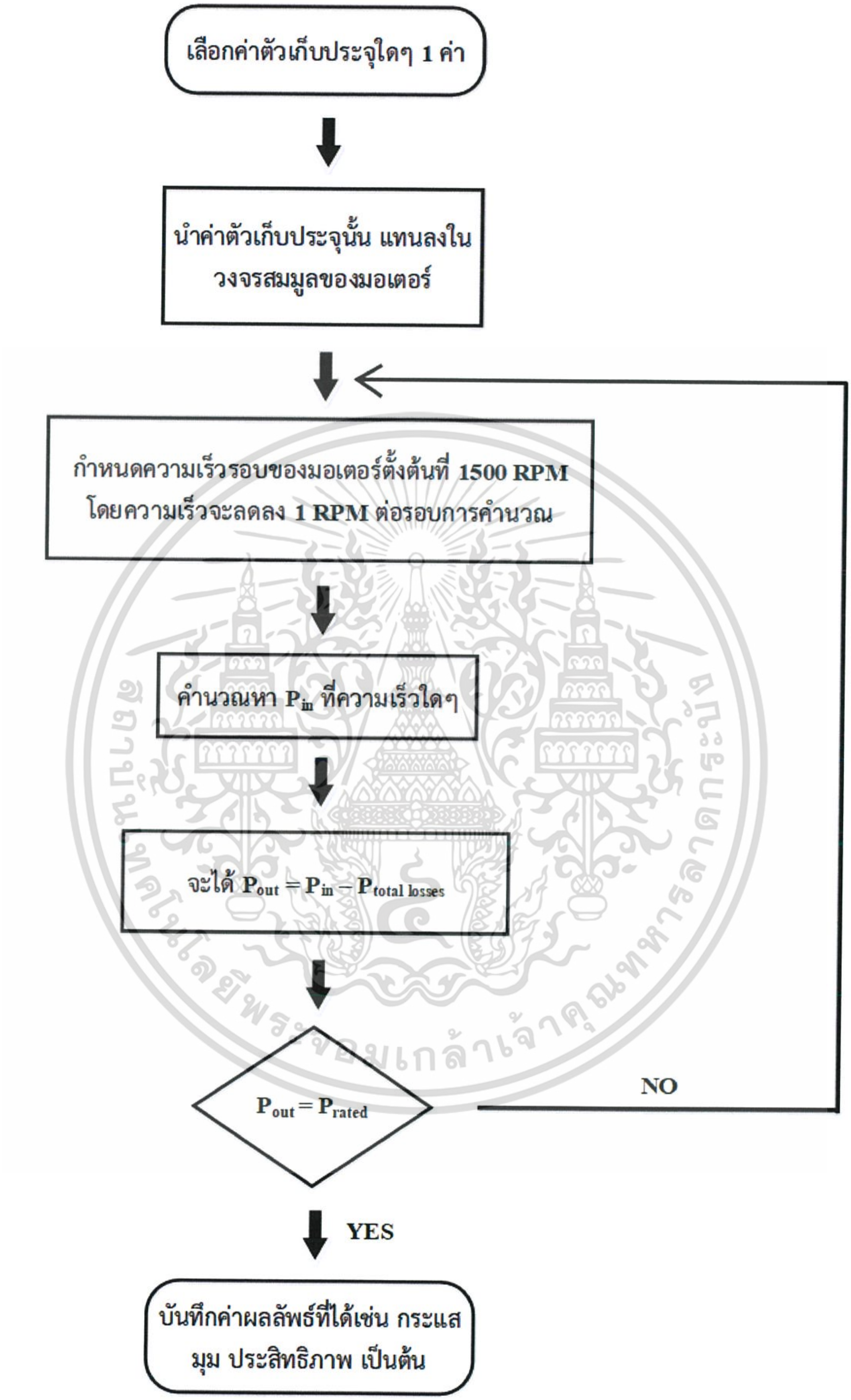
ค่า P_{out} ในการแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ และการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลนี้ จะคำนวณจากค่าพลังงานขาเข้ามอเตอร์ (P_{out}) ลบด้วย ค่ากำลังสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานทางกล ซึ่งสามารถแสดงให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$P_{out} = P_{in} - P_{total,loss} \quad (3.19)$$

$P_{total,loss}$ สามารถคำนวณมาได้ จากทดสอบหากำลังที่สูญเสียในมอเตอร์ในหัวข้อที่แล้ว จากสมการ (3.8) คือ

$$P_{total,loss} = P_{cus} + P_{cur} + P_f + P_{core} + P_{stray}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ไดอะแกรมของวิธีการคำนวณจากวงจรสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

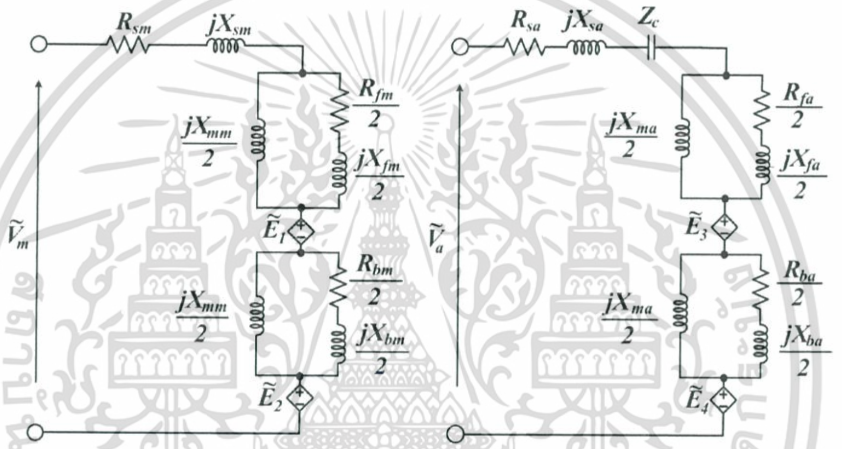
```
clear all
clc
%parameter 3HP
%main winding parameter
a=1.29;
R1m=0.9016;X1m=1.5975;Xmm=25.062;
R2=1.5064; X2=1.5975;  %R2 X2 Õèá»ÅSáÅéÇ
%auxiliary winding parameter
R1a=2.085;X1a=2.6583;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%at respective slip

ns=((120*50)/4);
kk=1;
s =linspace(0.15,0.001,300);
%linspace(0.06,0.00267,20);
%s=0.054;
nr=ns-(s*ns);
Vm=230;

Crun=60e-6;
Zc=-(1/(100*pi*(Crun)));  %-159.15;
Zc=Zc*i;

%%%%%%%%%%%%%%%%%
%calculator main winding
Rfm=(R2./(2*s));
Xbm=(X2/2); Xfm=Xbm;
Xmm1=(Xmm/2);
```

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างโค้ดการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การประยุกต์จีเนติกกับการประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

ในการใช้วิธีการทางจีเนติกเข้ากับการประเมินประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งใช้วิธีการทางจีเนติกแม้จะมีข้อได้เปรียบที่หลักการจีเนติกจะไม่สนถึงพฤติกรรมหรือหลักการของตัวมอเตอร์เหนี่ยวนำ สนใจเพียงแต่ฟังก์ชันเป้าหมายแต่การศึกษาพฤติกรรมมอเตอร์เหนี่ยวนำผ่านการทดลองจริงและเก็บผลทำให้สามารถเขียนฟังก์ชันเป้าหมายได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิดความเข้าใจโดยรวมถึงตัวแปรที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของมอเตอร์ โดยการพิจารณาวงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส เพื่อตั้งฟังก์ชันเป้าหมายสามารถพิจารณาได้จากวงจรสมมูลดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส
แบบแยกเป็นขดลวดหลักและขดลวดสตาร์ท

โดยฟังก์ชันที่ต้องการที่จะหาค่าที่เหมาะสมคือ ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function)

$$Objective\ Function = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (3.20)$$

โดยฟังก์ชันที่ 3.19 เป็นฟังก์ชันในการคำนวณหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ซึ่ง

$$P_{out} = P_{ag} - P_{cur} - P_f \quad (3.21)$$

$$P_{ag} = P_{agf} + P_{agb} \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P_{ag} คือ กำลังที่ส่งผ่านข้ามช่องว่างอากาศระหว่างสเตเตอร์และโรเตอร์ โดยจากทฤษฎีคู่สนามแม่เหล็กหมุนสามารถแยกให้เป็น 2 ส่วนคือส่วน Forward (P_{agf}) และ Backward (P_{agb})

$$P_{agf} - P_{agb} = \left(R_f - R_b\right)\left(I_m{}^2 + (aI_a)^2\right) + 2aI_mI_a\left(R_f + R_b\right)\sin\left(\theta_a - \theta_m\right) \quad (3.23)$$

$$P_{cus} = I_m^2R_m + I_a^2R_a \quad (3.24)$$

P_{cus} คือ กำลังสูญเสียที่ส่วนขดลวดสเตเตอร์ ใช้ในการหากำลังสูญเสียในขดลวดโรเตอร์

$$P_{cur} = \left(P_{in} - P_{cus} - P_f - P_{core}\right)s \quad (3.25)$$

กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก ,กำลังสูญเสียจากภาระการใช้งาน และกำลังสูญเสียจากแรงเสียดทานและแรงต้านทานอากาศ เป็นค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้จากสภาวะไม่มีภาระทางกล

$$P_{cur} = P_{core} + P_f + P_{stray} \quad (3.26)$$

$$\%Eff = \frac{P_{out}}{V_{in}I_t\cos(\theta_t)} \times 100 \quad (3.27)$$

ในปริญญานิพนธ์นี้ได้พิจารณาวงจรสมมูลเพื่อหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสม ณ ความเร็วพิกัด P_{out} จึงมีค่า 2238 ซึ่งคือกำลังทางกลขาออกมอเตอร์ที่ต้องการโดยหากต้องการหาประสิทธิภาพที่ความเร็วต่างๆสามารถกำหนดตัวแปรความเร็วขึ้นมาเพื่อใช้ในการพิจาณาประสิทธิภาพของมอเตอร์ได้

$$\tilde{V}_m = \tilde{I}_m\left(Z_{1m} + Z_f + Z_b\right) + E_1 + E_2$$
$$\tilde{V}_a = \tilde{I}_a\left(Z_c + Z_{1a} + a^2Z_f + a^2Z_b\right) + E_3 + E_4$$
$$\tilde{V}_m = \tilde{V}_a$$
$$E_1 = -j\tilde{I}_a aZ_f$$
$$E_2 = j\tilde{I}_a aZ_b$$
$$E_3 = j\tilde{I}_m aZ_f$$
$$E_4 = -j\tilde{I}_m aZ_b$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาให้

$$Z_{11} = Z_{sm} + Z_{fm} + Z_{bm}$$
$$Z_{12} = -ja\left(Z_{fm} - Z_{bm}\right)$$
$$Z_{21} = ja\left(Z_{fm} - Z_{bm}\right)$$
$$Z_{22} = Z_{sa} + Z_c + a^2\left(Z_{fm} + Z_{bm}\right)$$

จากสมการ 2.42 – 2.43

$$\tilde{I}_m = \frac{\tilde{V}_m\left(Z_{22} - Z_{12}\right)}{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}}$$

$$\tilde{I}_a = \frac{\tilde{V}_a\left(Z_{11} - Z_{21}\right)}{Z_{11}Z_{22} - Z_{12}Z_{21}}$$

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความเร็วและตัวเก็บประจุ

$$R_{fm} = \frac{R_2'}{2(2s)} \quad (3.28)$$

$$R_{fa} = \frac{a^2R_2'}{2(2s)} \quad (3.29)$$

$$R_{bm} = \frac{R_2'}{2(2-s)} \quad (3.30)$$

$$R_{ba} = \frac{a^2R_2'}{2(2-s)} \quad (3.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลลัพธ์จากการหาค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าประสิทธิภาพที่สุดด้วย 3 วิธีที่ได้กล่าวในบทที่แล้ว คือการหาผลลัพธ์ด้วยวิธีจีเนติกอัลกอริธึม การหาผลลัพธ์โดยวิธีใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink และการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล โดยในการเปรียบเทียบผลนั้น จะเปรียบขณะที่มอเตอร์ทำงานที่พิกัดกำลังโดยใช้ค่าแรงดันขนาด 230 V

4.2 การหาประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสโดยวิธีจีเนติก

4.2.1 ขั้นตอนการประเมิน

1. ป้อนค่าข้อมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน $\tilde{V}_m$, $\tilde{V}_a$, $\tilde{V}_t$, f, a และค่าขดลวดต่างๆ ภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำ

2. พิจารณาประสิทธิภาพมอเตอร์ที่ความเร็วพิกัดกำลัง

3. เปรียบเทียบผลลัพธ์ค่าตัวเก็บประจุที่ดีที่สุดกับวิธีการทดสอบอื่นๆ

```
%%Genetic Algorithm
FitFcn = @Information3 ;
nvars = 1 ;
nonlc = @Constraint2 ;
LB = 20 ;
UB = 90 ;
options = gaoptimset('PopulationSize', 500,...
'Generations',25*nvars,...
'TolFun',1e-4,...
'CrossoverFcn',@crossoverheuristic,...
'MutationFcn',@mutationadaptfeasible,...
'PlotFcns',@gaplotbestf,...
'Display','iter');
[x,fval] = ga(FitFcn,nvars,[],[],[],[],LB,UB,nonlc,options);
```

รูปที่ 4.1 โปรแกรมสำหรับคำนวณหาค่าสลิป และค่าตัวเก็บประจุ

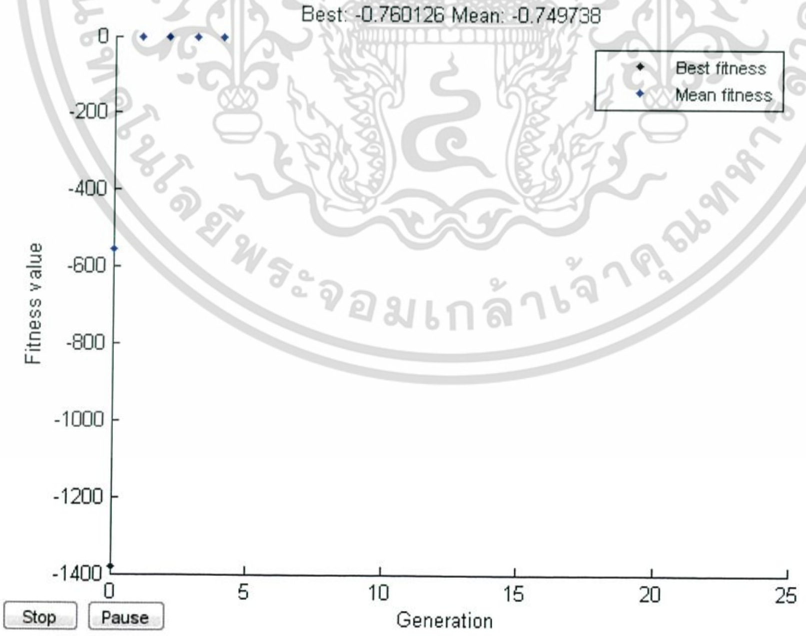
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 LB และ UB คือขอบเขตบนและขอบเขตล่างของ ขนาดของตัวเก็บประจุที่ใส่ไปในขดลวดสตาร์ท โดยสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับค่าฟังก์ชันเป้าหมายได้ เช่น ที่ความเร็วที่พิกัดกำลังเท่ากับ 1430 RPM สามารถวิเคราะห์ให้ขอบบนและขอบล่างของค่าตัวเก็บประจุมีค่าอยู่ในช่วงที่พิจารณาหรือค่าตัวเก็บประจุที่มีค่ามากที่สุดซึ่งมีขายในท้องตลาดได้

FitFcn	@Information3		
LB	20	20	20
UB	90	90	90
fval	-0.7494	-0.7494	-0.749
nonlc	@Constraint2		
nvars	1	1	1
options	<1x1 struct>		
x	71.4558	71.4558	71.45

รูปที่ 4.2 ผลลัพธ์ที่แสดงในหน้าต่าง Command Window

```
                              Best         max           Stall
Generation   f-count          f(x)      constraint    Generations
    1         13509       -0.698219     4.714e-010         0
    2         26518       -0.698219     1.705e-013         0
    3         39530       -0.698219          0             0
    4         52530       -0.749416          0             0
Optimization terminated: average change in the fitness value less than options.T
 and constraint violation is less than options.TolCon.
```



รูปที่ 4.3 การคำนวณของจีเนติกอัลกอริธึม ตั้งแต่เจเนเรชันที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมที่คำนวณได้จากวิธีจีเนติกอัลกอริธึม

ที่ความเร็ว 1400 – 1500 rpm โดยใช้ค่าตัวเก็บประจุ 20 – 90 µF		
Best Capacitor Run (µF)	Speed (rpm)	Efficiency (%)
71	1430	74.94

4.3 ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

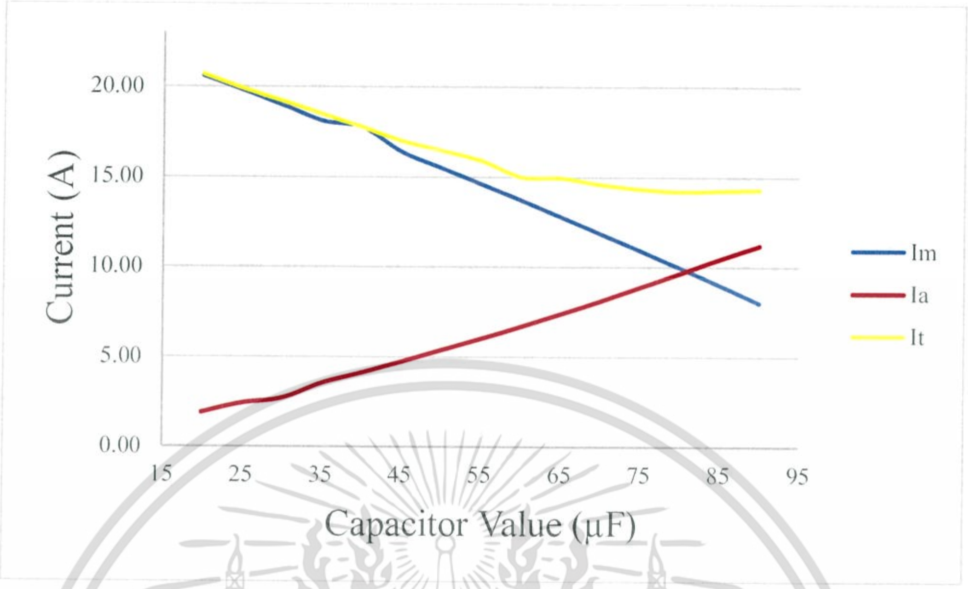
ในการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink นั้น จะทำการทดลองค่าโหลดที่พิกัดกำลังโดยจะจำลองผ่านการกำหนดแรงบิดทางกล และทำการเปลี่ยนค่าขนาดของตัวเก็บประจุ จากนั้นบันทึกผล แล้วนำผลลัพธ์ที่มาเปรียบเทียบ เพื่อหาค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพดีที่สุด โดยผลลัพธ์ถูกแสดงผ่านตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

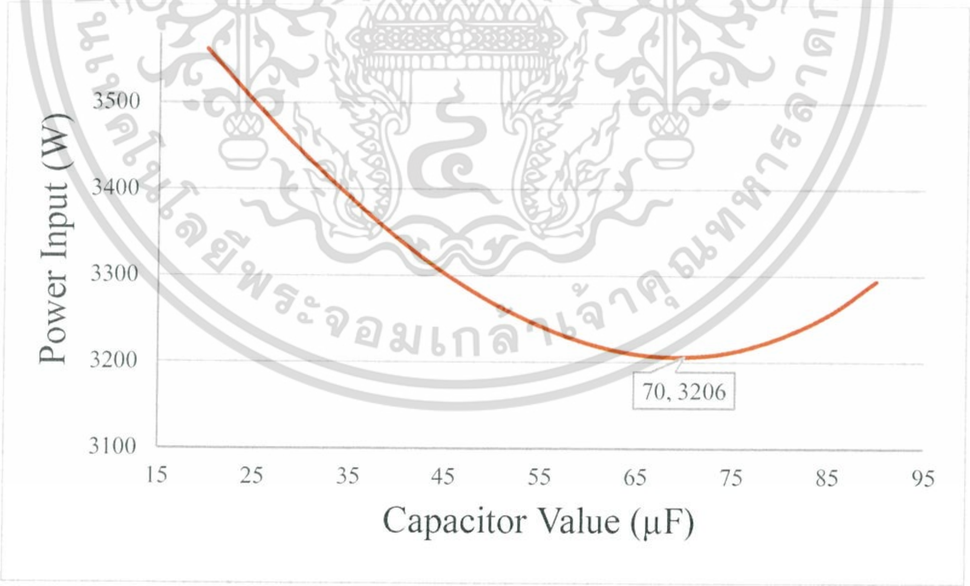
Capacitor (µF)	P_{out} (W)	P_{in} (W)	T_{sh} (N•m)	I_m (A)	I_a (A)	I_t (A)	Speed (RPM)	*pf.*	%Eff
20	2201	3562	15.09	20.60	1.90	20.70	1392	0.748	61.70
25	2207	3500	15.09	19.80	2.42	19.90	1396	0.765	63.00
30	2212	3442	15.09	18.96	2.69	19.20	1399	0.779	64.20
35	2218	3390	15.10	18.10	3.53	18.47	1402	0.798	65.43
40	2223	3343	15.09	17.75	4.11	17.76	1406	0.818	66.50
45	2228	3302	15.09	16.38	4.72	17.00	1409	0.845	67.50
50	2233	3268	15.10	15.50	5.35	16.46	1412	0.863	68.00
55	2237	3241	15.10	14.60	6.00	15.89	1414	0.887	69.00
60	2241	3221	15.10	13.70	6.68	15.00	1417	0.934	69.60
65	2246	3209	15.10	12.78	7.39	14.94	1420	0.934	69.90
70	2250	3206	15.10	11.86	8.11	14.59	1422	0.955	70.16
75	2253	3212	15.10	10.92	8.87	14.34	1424	0.974	70.14
80	2257	3229	15.10	9.97	9.64	14.20	1427	0.989	69.90
85	2260	3255	15.10	9.00	10.45	14.25	1429	0.993	69.40
90	2263	3294	15.09	8	11.2	14.3	1431	1.000	68.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์พบว่า ค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้มอเตอร์ตัวนี้มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 70 ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 70.16 %

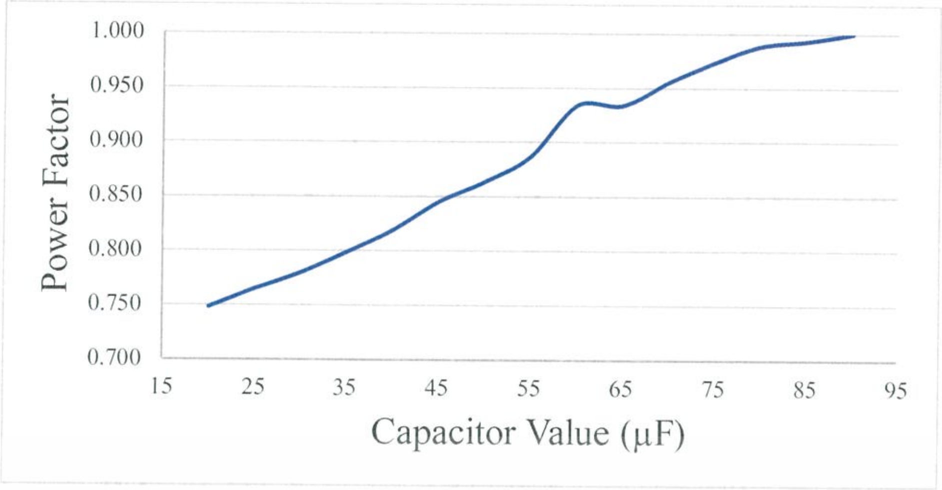


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์กระแสกับค่าตัวเก็บประจุ
ที่ได้จากการทำจำลองทางคอมพิวเตอร์

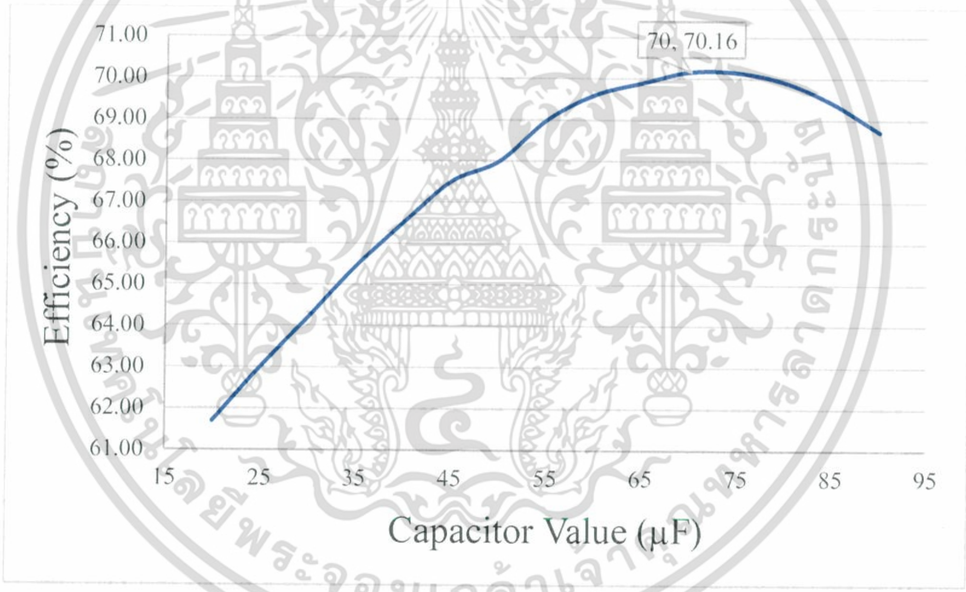


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้าขาเข้ากับค่าตัวเก็บประจุ
ที่ได้จากการทำจำลองทางคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ค่าตัวประกอบกำลังกับค่าตัวเก็บประจุที่ได้จากการทำจำลองทางคอมพิวเตอร์



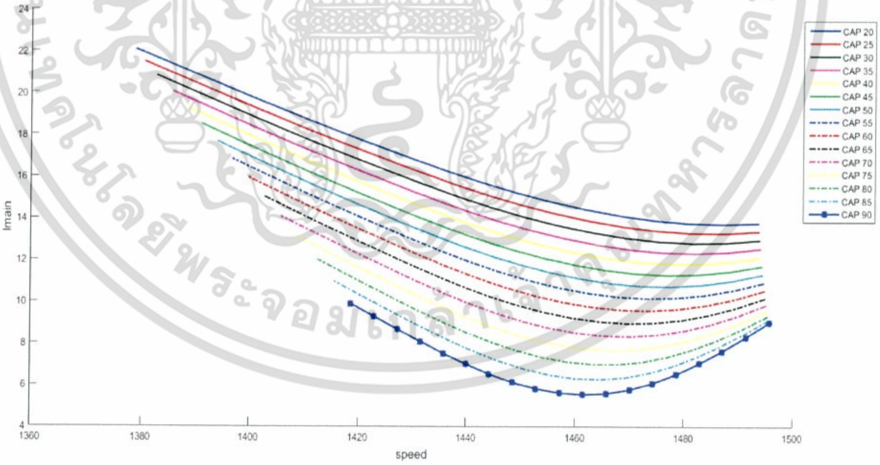
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ประสิทธิภาพกับค่าตัวเก็บประจุที่ได้จากการทำจำลองทางคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการหาประสิทธิภาพมอเตอร์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล

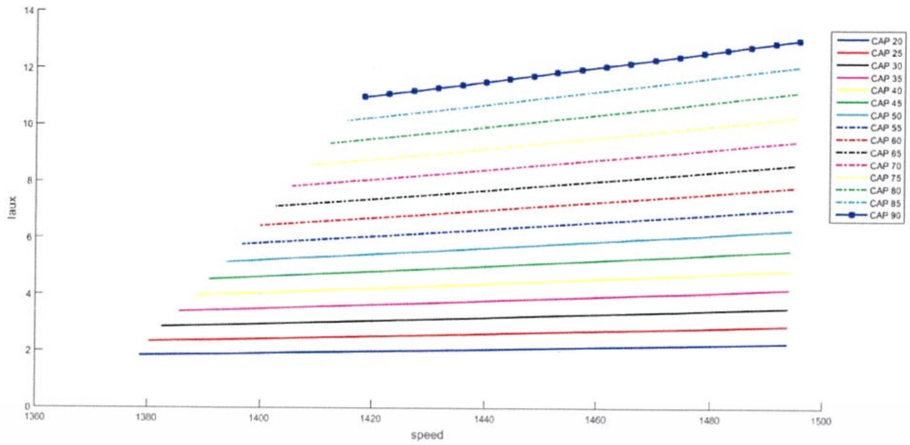
ในหัวข้อนี้จะใช้การคำนวณโดยตรงเพื่อคาดการณ์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ เมื่อลองเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุรันที่ขนาดตั้งแต่ 20μF - 90μF ด้วยโปรแกรม MATLAB จากนั้นนำผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากค่าตัวเก็บประจุแต่ละตัว มาแสดงเป็นกราฟเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น โดยเนื้อหาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรก จะเป็นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสที่ขดลวดหลัก ($\tilde{I}_m$) , กระแสที่ขดลวดสตาร์ท ($\tilde{I}_a$), กระแสขาเข้ามอเตอร์ ($\tilde{I}_t$), ความต่างของมุมกระแสที่ขดลวดหลักและขดลวดสตาร์ท (Zetamain&aux), แรงบิด (Torque), กำลังไฟฟ้าขาออก (Power output) และค่าประสิทธิภาพ (Eff) เทียบกับความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ระดับความเร็วต่างๆ และในส่วนที่สอง จะเป็นการแสดงค่าผลลัพธ์ต่างๆของมอเตอร์ที่เปลี่ยนไปเมื่อทำการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุที่พิกัดกำลังของมอเตอร์

4.4.1 ผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลเมื่อทดสอบที่ระดับความเร็วต่างๆ

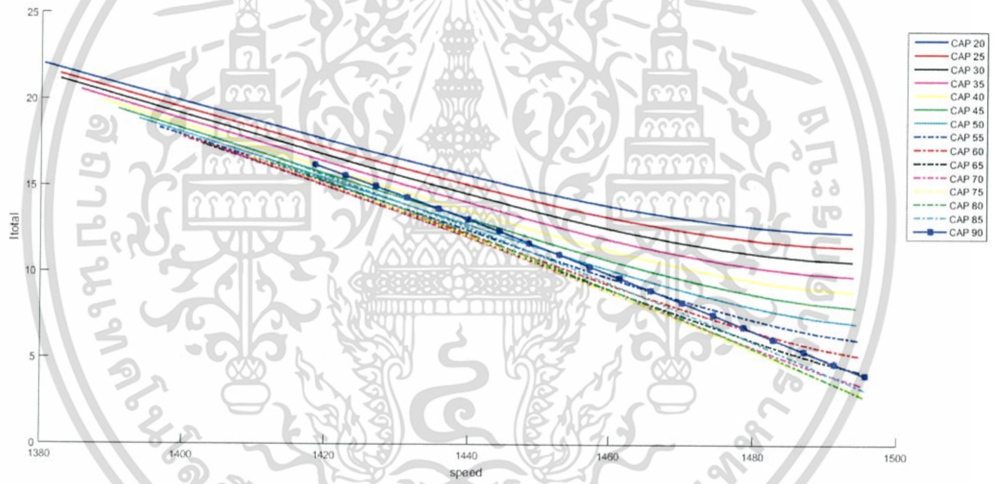


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ขดลวดหลักกับความเร็วรอบ
จากการคำนวโดยใช้วงจรสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

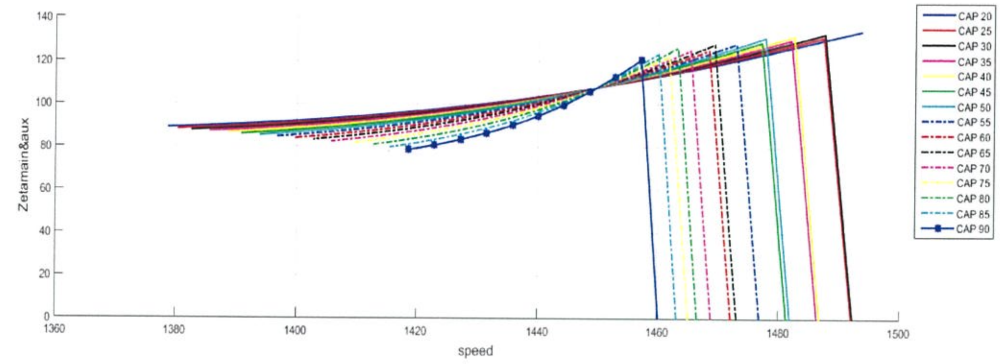


รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ขดลวดสตาร์ทกับความเร็วรอบ
จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล

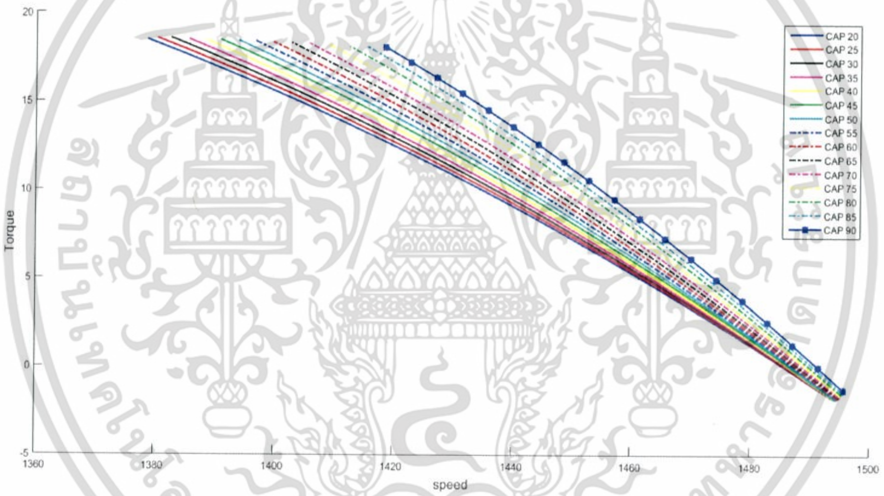


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสขาเข้ามอเตอร์กับความเร็วรอบ
จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

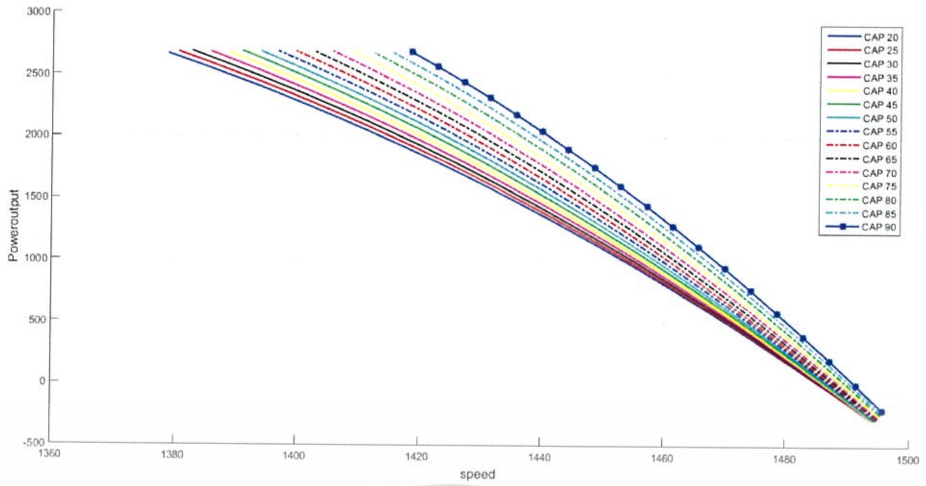


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของมุมกระแสที่ขดลวดหลัก และขดลวดสตาร์ทกับความเร็วรอบจากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล

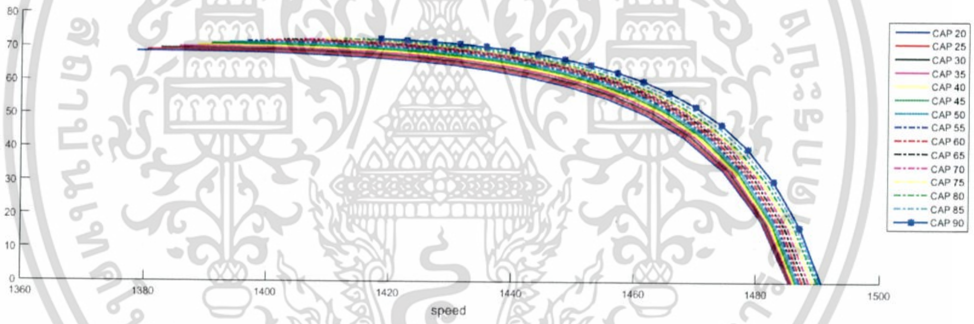


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วรอบ จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังขาออกกับความเร็วรอบ
จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับความเร็วรอบ
จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

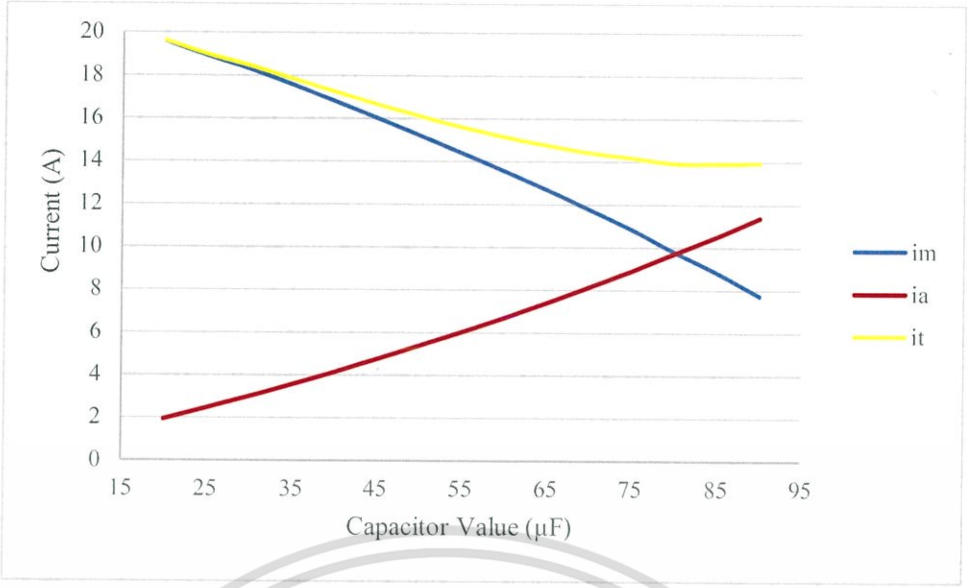
4.4.2 ผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลเมื่อคำนวณที่พิกัดกำลัง

ในหัวข้อนี้จะแสดงข้อมูลต่างๆที่ได้จากการคำนวณเมื่อกำหนดให้ค่ากำลังด้านขาออกของมอเตอร์มีขนาดเท่ากับพิกัดของมอเตอร์ คือ 3x746 = 2238 W

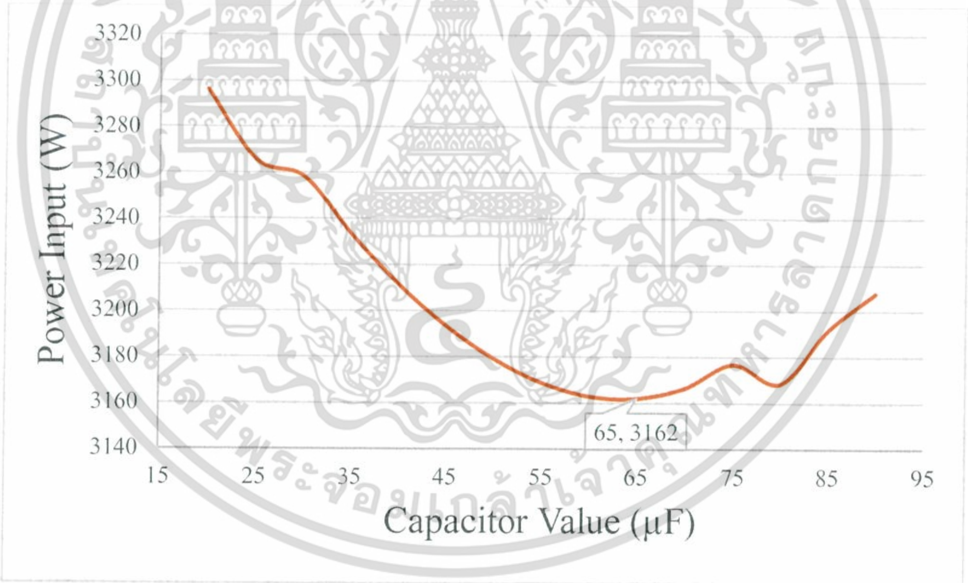
ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลเมื่อคำนวณที่พิกัดกำลัง

Capacitor (μF)	P_{out} (W)	P_{in} (W)	T_{sh} (W)	I_m (W)	I_a (W)	I_t (W)	Speed (RPM)	*pf.*	%Eff
20	2241	3296.1	15.26	19.59	1.92	19.62	1402	0.730	67.99
25	2234.5	3265.5	15.1943	18.90	2.45	18.98	1404.3	0.748	68.43
30	2244.2	3258.2	15.244	18.27	2.99	18.44	1405.8	0.768	68.88
35	2239.5	3233.5	15.188	17.54	3.55	17.82	1408.1	0.789	69.26
40	2235.9	3211.8	15.139	16.78	4.14	17.22	1410.3	0.811	69.62
45	2233	3193.6	15.098	16.00	4.74	16.65	1412.5	0.834	69.92
50	2231.9	3179.1	15.0648	15.21	5.37	16.10	1414.8	0.858	70.21
55	2234.8	3168.8	15.04	14.38	6.02	15.60	1417	0.883	70.53
60	2233	3162.9	15.024	13.54	6.70	15.14	1419	0.908	70.60
65	2235	3162	15.018	12.67	7.40	14.75	1421.5	0.932	70.68
70	2239	3166.4	15.02	11.77	8.13	14.42	1423.8	0.955	70.71
75	2245	3176.7	15.03	10.84	8.89	14.18	1426	0.974	70.67
80	2231	3168.5	14.91	9.79	9.69	13.93	1429	0.989	70.41
85	2239.9	3191.7	14.94	8.81	10.51	13.91	1431.2	0.998	70.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

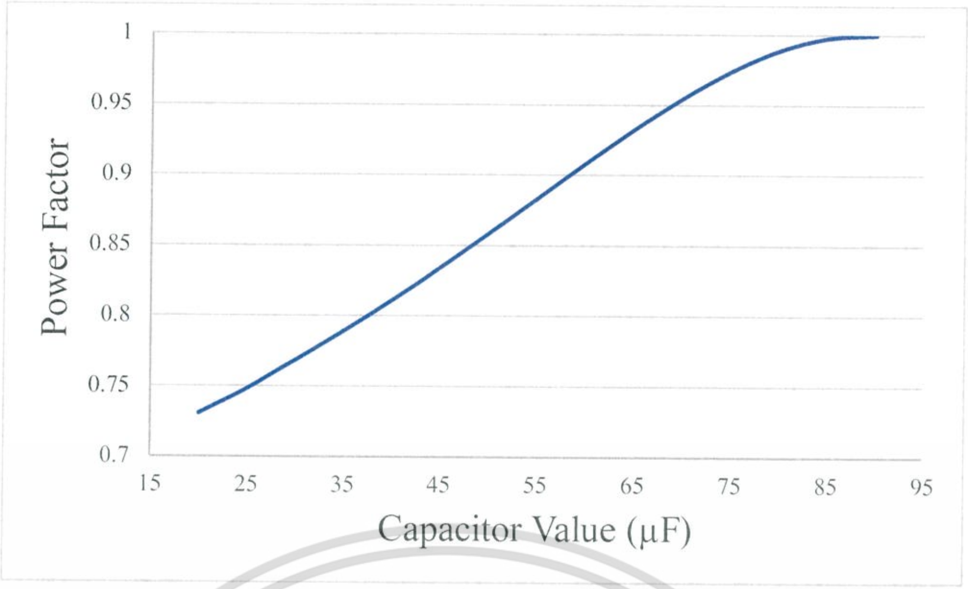


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับค่าตัวเก็บประจุ
จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล

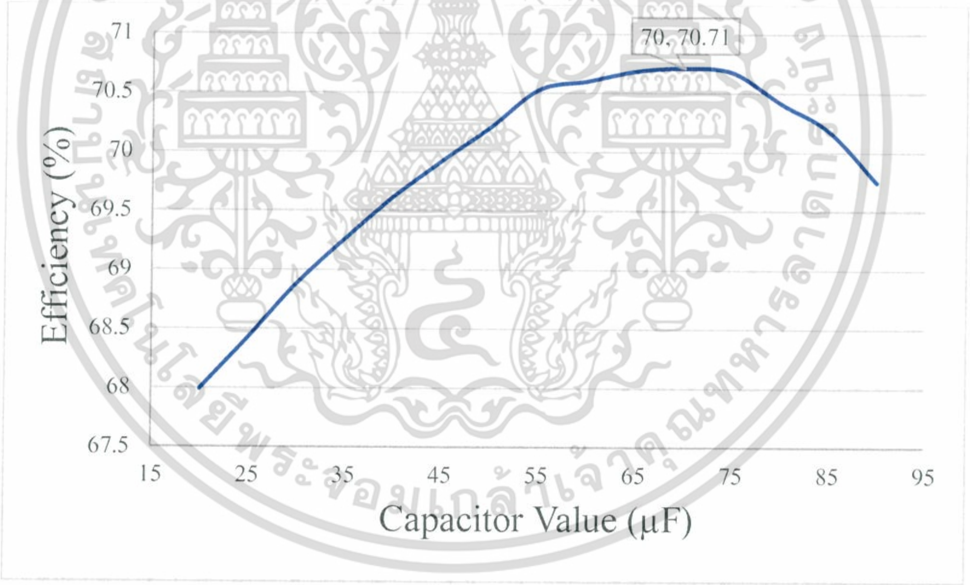


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าขาเข้ากับค่าตัวเก็บประจุ
จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบกำลังกับค่าตัวเก็บประจุ
จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับค่าตัวเก็บประจุ
จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์

ในหัวข้อนี้ จะนำผลลัพธ์ที่สภาวะพิกัดกำลังของมอเตอร์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของประสิทธิภาพที่คำนวณได้จากทั้ง 2 วิธี

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ตารางที่ 1

ค่าตัวเก็บประจุ (μF)	ค่ากระแส (A)					
	คำนวณโดยใช้วงจรสมมูล			แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์		
	I_m	I_a	I_t	I_m	I_a	I_t
20	19.59	1.92	19.62	20.6	1.9	20.7
25	18.9027	2.4495	18.9816	19.8	2.42	19.9
30	18.269	2.9895	18.438	18.96	2.69	19.2
35	17.536	3.553	17.822	18.1	3.53	18.47
40	16.783	4.137	17.2233	17.75	4.11	17.76
45	16	4.74	16.648	16.38	4.72	17
50	15.209	5.37	16.104	15.5	5.35	16.46
55	14.38	6.024	15.598	14.6	6	15.89
60	13.541	6.7	15.14	13.7	6.68	15
65	12.67	7.4	14.746	12.78	7.39	14.94
70	11.77	8.13	14.42	11.86	8.11	14.59
75	10.84	8.89	14.18	10.92	8.87	14.34
80	9.79	9.69	13.93	9.97	9.64	14.2
85	8.81	10.51	13.91	9.01	10.45	14.25
90	7.7376	11.372	13.9479	8	11.2	14.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ตารางที่ 2

ค่าตัวเก็บประจุ (μF)	คำนวณโดยใช้วงจรสมมูล				แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์			
	P_{in}	P_{out}	%Eff	RPM	P_{in}	P_{out}	%Eff	RPM
20	3296.1	2241	67.99	1402	3562	2201	61.70	1392
25	3265.5	2234.5	68.43	1404.3	3500	2207	63.00	1396
30	3258.2	2244.2	68.88	1405.8	3442	2212	64.20	1399
35	3233.5	2239.5	69.26	1408.1	3390	2218	65.43	1402
40	3211.8	2235.9	69.62	1410.3	3343	2223	66.50	1406
45	3193.6	2233	69.92	1412.5	3302	2228	67.50	1409
50	3179.1	2231.9	70.21	1414.8	3268	2233	68.00	1412
55	3168.8	2234.8	70.53	1417	3241	2237	69.00	1414
60	3162.9	2233	70.60	1419	3221	2241	69.60	1417
65	3162	2235	70.68	1421.5	3209	2246	69.90	1420
70	3166.4	2239	70.71	1423.8	3206	2250	70.16	1422
75	3176.7	2245	70.67	1426	3212	2253	70.14	1424
80	3168.5	2231	70.41	1429	3229	2257	69.90	1427
85	3191.7	2239.9	70.18	1431.2	3256	2260	69.40	1429
90	3207.7	2237.2	69.74	1433.9	3294	2263	68.70	1431

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณโดยใช้วงจรสมมูลกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์ตารางที่ 3

ตัวเก็บประจุ (μF)	ประสิทธิภาพ (%)		
	คำนวณโดยใช้วงจรสมมูล	แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์	ความแตกต่าง* (%)
20	67.99	61.70	9.250616
25	68.43	63.00	7.931752
30	68.88	64.20	6.792425
35	69.26	65.43	5.528955
40	69.62	66.50	4.474842
45	69.92	67.50	3.462606
50	70.21	68.00	3.141359
55	70.53	69.00	2.16252
60	70.60	69.60	1.416104
65	70.68	69.90	1.107919
70	70.71	70.16	0.779534
75	70.67	70.14	0.751119
80	70.41	69.90	0.726961
85	70.18	69.40	1.10988
90	69.74	68.70	1.497859

*ค่าความแตกต่าง สามารถหาได้จากสมการที่ 4.1

$$\text{ความแตกต่าง} = \frac{\text{ค่าจากคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล} - \text{ค่าจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์}}{\text{ค่าจากคำนวณโดยใช้วงจรสมมูล}} \qquad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ดีที่สุดด้วยวิธีแผนภาพวงกลม

จากผลการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่ได้ จะสามารถนำมาคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์ตัวนี้ได้โดย

- แรงบิดสตาร์ทสูงสุด

$$X_c = X_a + \frac{R_a R_m}{|Z_m| + X_m}$$

$$= 5.282 + \frac{4.2933 \times 1.327}{2.06 + 1.5768}$$

$$= 7.62\ \Omega$$

$$C = 417.94\ \mu F$$

- แรงบิดสตาร์ทต่อกระแสสูงสุด

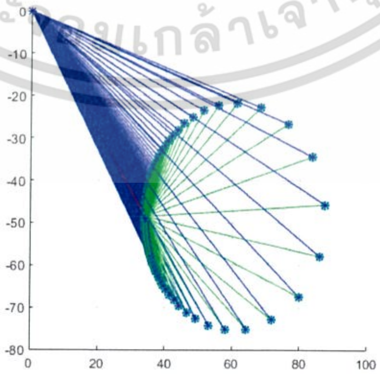
$$X_c = = X_a + \frac{-X_m R_a + |Z_m| \sqrt{R_a (R_a + R_m)}}{R_m}$$

$$= = 5.282 + \frac{-1.5768 \times 4.2933 + 2.06 \sqrt{4.293(4.2933 + 1.327)}}{1.327}$$

$$X_c = 8.38\ \Omega$$

$$C = 380.02\ \mu F$$

แผนภาพวงกลมเป็นไดอะแกรมที่แสดงค่าเฟสเซอร์ของกระแสที่ขดลวดต่างๆของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ที่ค่าตัวเก็บประจุต่างๆ ซึ่งแนวโน้มในของขนาด และทิศทางของกระแส เมื่อเปลี่ยนค่าเก็บประจุสามารถแสดงได้ตามรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.19 แผนภาพวงกลมของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส
เมื่อเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการเลือกตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิด ตัวเก็บประจุสตาร์ท–ตัวเก็บประจุรัน โดยการพิจารณาความเหมาะสมในด้านประสิทธิภาพและการใช้พลังงานในแต่ละช่วงสภาวะโหลดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ซึ่งในการพิจารณาหาค่าตัวเก็บประจุสตาร์ทและตัวเก็บประจุรันได้ถูกออกแบบให้พิจารณาที่ต่างสภาวะกันเนื่องจากคุณสมบัติที่ต่างกัน กล่าวคือตัวเก็บประจุสตาร์ทถูกพิจาณาที่สภาวะยึดโรเตอร์ (Block Rotor Condition) และตัวเก็บประจุรันถูกพิจารณาที่สภาวะมีหรือไม่มีภาระทางกล (Loads or No-Load Condition) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลของประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส จึงพิจารณาแค่ตัวเก็บประจุชนิดรัน ในการทดลองหาค่าตัวเก็บประจุที่ดีที่สุดจึงได้มีการออกแบบการการทดลองต่างๆ เช่น การจำลองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากวงจรสมมูล,การใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink และการใช้จีเนติกอัลกอริธึม เพื่อช่วยในการเปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพที่สภาวะต่างๆ และนำไปสู่การหาค่าตัวเก็บประจุที่ดีที่สุดต่อไป ในการทดลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากวงจรสมมูลด้วย MATLAB เป็นทางเลือกเพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และสามารถช่วยในการคาดการณ์ความสัมพันธ์ของกราฟได้ ทำให้เราสามารถวิเคราะห์แนวโน้มของการเพิ่มค่าตัวเก็บประจุที่สภาวะต่างๆได้ ในส่วนของการใช้ MATLAB/Simulink เป็นการช่วยจำลองวงจรมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส โดยมีต้นแบบจากวงจรสมมูลของมอเตอร์และใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการทำงานของมอเตอร์ที่สภาวะต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายต่อการใช้งานโดยที่ไม่ต้องอาศัยความรู้พื้นฐานมากนัก ในส่วนสุดท้ายการใช้จีเนติกอัลกอรีธึมอาศัยหลักการคำนวณหาค่าสูงสุดต่ำสุดของหลักการทางจีเนติก อัลกอริธึมเริ่มการจำลองด้วยหลักการทางจีเนติกในสภาวะพิกัดกำลัง โดยแนวโน้มที่ได้จากหลักการทางจีเนติกอัลกอริธึมทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ดีที่สุดที่ตัวเก็บประจุขนาด 70 ไมโครฟารัดมีค่าใกล้เคียง 75% ซึ่งในท้ายที่สุดการจำลองค่าโดย MATLAB/Simulink และผลลัพธ์ที่ได้เทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากวงจรสมมูลด้วย MATLAB ว่ามีความเที่ยงตรงในระดับนัยสำคัญ ซึ่งจากการทดลองเป็นการทดสอบค่าที่สภาวะพิกัดและแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความเที่ยงตรงค่อนข้างสูงมีค่าความผิดพลาดประมาณ 1-2% โดยเป็นค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการหาประสิทธิภาพของมอเตอร์ชนิดใดๆ คือผลของความสูญเสียของมอเตอร์ ซึ่งในการทดสอบความสูญเสียของมอเตอร์นั้นได้ทดสอบตามมาตรฐาน IEEE ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ทำให้สามารถเป็นค่าที่ยอมรับได้ สิ่งหนึ่งที่ส่งผลต่อความสูญเสียในมอเตอร์นั่นคือกระแสไฟฟ้าในขดลวด ซึ่งที่สภาวะไม่มีภาระทางกลกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าโรเตอร์จะมีค่าน้อยเป็นเพราะผลของอิมพีแดนซ์และสลิปและกระแสจะมากขึ้นเมื่อสลิปมากขึ้นนั่นก็จะทำให้ค่าความสูญเสียเพิ่มมาตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

สิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญต่อผลการทดลองคือวงจรสมมูล ดังนั้นควรที่จะเลือกใช้วงจรสมมูลให้ตรงตามประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสแต่ละชนิดด้วย ซึ่งคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท-ตัวเก็บประจุรัน และได้มีการนำผลของการเหนี่ยวนำย้อนกลับ (Back EMF) ของขดลวดหลักและขดลวดสตาร์ทมาคำนวณด้วย

ในการคำนวณหาค่าการทดสอบค่าพารามิเตอร์และความสูญเสียของมอเตอร์นั้นมีหลากหลายทฤษฎีในการทดสอบ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้เลือกพิจารณาตามมาตรฐาน IEEE มาเป็นมาตรฐานในการอ้างอิง

การวัดค่าพารามิเตอร์ด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของอุปกรณ์, วิธีใช้งาน และผู้ทดลองด้วย

หลักการทางจีเนติกจะให้ผลลัพธ์ที่เที่ยงตรงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับวงจรสมมูลที่ผู้สนใจใช้เป็นแหล่งอ้างอิงในการเขียนฟังก์ชันเป้าหมาย และ ขอบเขตในการหาค่าของหลักการทางจีเนติก ปกติแล้วจีเนติกจะหาค่าน้อยที่สุดของฟังก์ชันเป้าหมาย การที่จะหาค่ามากที่สุดของฟังก์ชันเป้าหมายต้องคูณ -1 ในฟังก์ชันเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Chapman, S. J. (2005). Electric machinery Fundamentals. McGRAW-HILL.

[2] Ghial, V. K., Saini, L. M., & Saini, J. S. (2013). Parameter Estimation of Permanent-Split Capacitor-Run Single-Phase Induction Motor Using computed Complex Voltage Ratio. IEEE.

[3] (2010). IEEE 114: IEEE Standard Test Procedure for Single-Phase. New York: IEEE.

[4] KRAUSE, P. C., & WASYNCZUK, O. (1989). Elctromechanical Motion Devices. McGraw–Hill.

[5] Lin, D., Zhou, P., & Lambert, N. (2010). Starting Winding Optimization in Single-Phase Induction Motor Design. Rome: IEEE.

[6] Mademlis, C., Kioskeridis, I., & Theodoulidis, T. (2005). Optimization of Single-Phase Induction Motors–Part I: Maximum Energy Efficiency Control. New York: IEEE.

[7] Rao, S. S. (2009). Engineering Optimization Theory and Practice. John Wiley & Sons, Inc.

[8] Sanagiotti, E., Oliveira Jr, A., Monteiro, J., & De Aguiar, M. (2007). A comparative study between Symmetrical two phase induction motor model using dq0 Transformation and Model using Spiral Vector Theory Operating under Unbalancing Voltage. New York: IEEE.

[9] P.C. Sen (1996). Principles of Electric Machines and Power Electronics. Ontario, Canada: John Wiley & Sons.

[10] Tekgun, B., Sozer, Y., & Tsukerman, I. (2016). Modeling and Parameter Estimation of Split-Phase Induction Motors. IEEE.

[11] Umans, S. D. (2014). Fitzgerald & Kingsley's Electric Machinery. McGraw–Hill Education.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

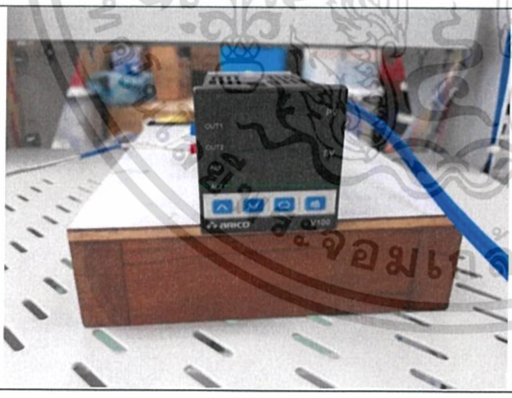
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

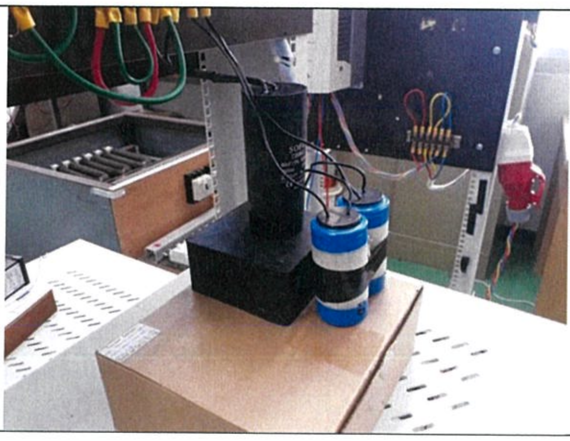
อุปกรณ์และชุดทดลองที่ใช้ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์และชุดลองที่ใช้ทดสอบ

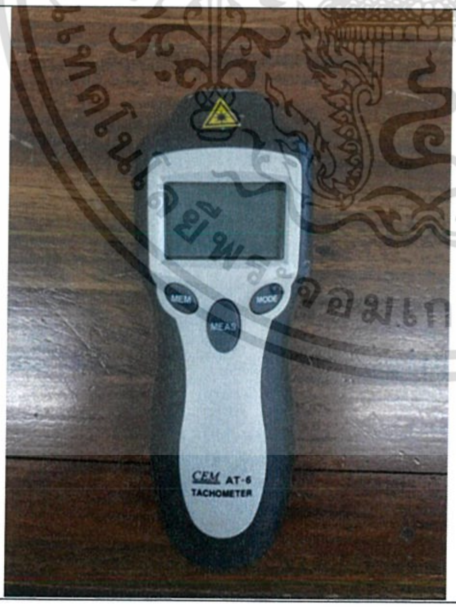
รูปถ่ายชิ้นงานและอุปกรณ์	รายละเอียด
	Multimeter
	Multimeter CHAUVIN ARNOUX
	Temperature Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



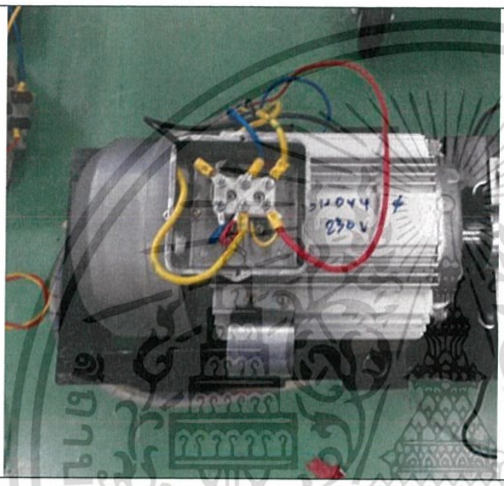
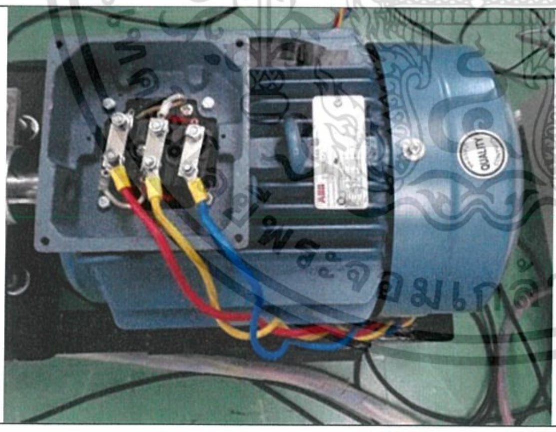
Capacitor Run(Black)
Capacitor Start(Blue)

Variable Speed Drive

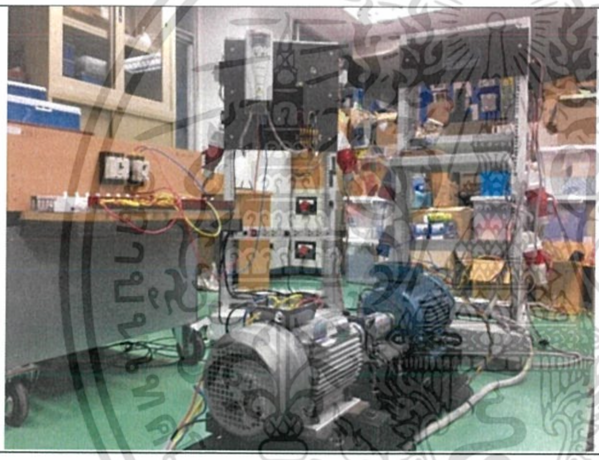


Tachometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Braking Resistor
	Single Phase Induction Motor Capacitor Run Capacitor Start (3HP)
	AC motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Nameplate of AC motor
	Single Phase Induction Motor Capacitor Run Capacitor Start experiment kit.

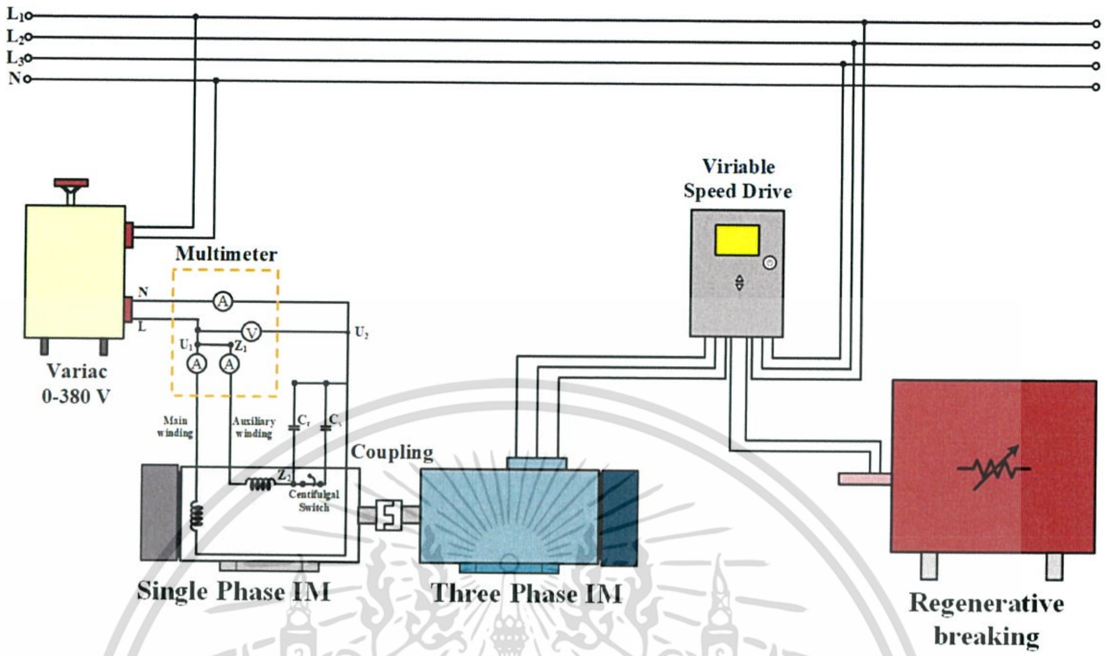
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แผนภาพการต่อมอเตอร์ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภาพการต่อมอเตอร์ในการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

บทความวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส ชนิด ตัวเก็บประจุสตาร์ท–ตัวเก็บประจุรัน

SELECTION OF AN OPTIMIZED CAPACITOR VALUE FOR A SINGLE PHASE CAPACITOR START-CAPACITOR RUN INDUCTION MOTOR

กิตติพงศ์ โชคกิตเดชา[a] พงศวีร์ ทิพยานนท์ [b] และนายศุภสิทธิ์ ปัทมารัง[c]

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร 0-2739-2478

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้นำเสนอการหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำหนึ่งเฟสโดยใช้กระบวนการทางจีเนติก, จำลองทางคอมพิวเตอร์ และ วิธีการจำลองค่าจากวงจรสมมูล โดยหาคำตอบจากวิธีการทางจีเนติก และนำมาเทียบกับผลจำลองทางคอมพิวเตอร์ และ วงจรสมมูล เพื่อที่จะทราบถึงว่าตัวเก็บประจุขนาดเท่าใดเมื่อใส่ไปในวงจรมอเตอร์ จะส่งผลให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพดีที่สุด

คำสำคัญ : มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟส, ตัวเก็บประจุรัน, ตัวเก็บประจุสตาร์ท, จีเนติก อัลกอริธึม

Abstract

This thesis demonstrates an efficient way to optimize a capacitor for single phase induction motor capacitor start capacitor run, by using genetic algorithm to find the best efficiency then compare the result with matlab/ simulink and direct calculation method.

Keyword: Single phase induction motor, capacitor start, capacitor run, genetic algorithm,

1. บทนำ

บทความนี้เขียนเพื่อศึกษาหลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟสตัวเก็บประจุรันตัวเก็บประจุสตาร์ท ซึ่งหลักการของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟสตัวเก็บประจุรันตัวเก็บประจุสตาร์ทนั้นได้ถูกอธิบายผ่านทฤษฎี Double Revolving Field โดยผู้จัดทำได้มีความสนใจเกี่ยวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟส และได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการหาค่าตัวเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับมอเตอร์ เพื่อที่จะทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพที่สูงที่สุดในทุกๆสภาวะ โดยแรกเริ่มอาศัยการทดลองจริงเก็บข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อเข้าใจถึงพฤติกรรมของตัวมอเตอร์ และ จากนั้นจึงใช้วิธีการทางจีเนติก และแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จำลองหาค่าตัวเก็บประจุ สุดท้ายจึงเทียบผลลัพธ์การจำลองกับวิธีการคำนวณผ่านวงจรสมมูลโดยอ้างอิงจากมาตรฐานการการทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส IEEE-114 ปี 2010 [3]

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 Double Revolving Field Theory

หลักการของ Double Revolving Field อธิบายการเคลื่อนที่ของแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า (mmf) ซึ่งเกิดขึ้นในมอเตอร์เหนี่ยวนา กล่าวคือเมื่อมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า (mmf) ขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์ค่าหนึ่งเมื่อกระแสในขดลวดถูกกระตุ้นด้วย (1)

$$F_{agl}=\frac{4}{\pi}\left(\frac{k_w N_{ph}}{poles}\right) I_a \cos\left(\frac{poles}{2}\theta_a\right) \quad (1)$$

$$F_{max}=\frac{4}{\pi}\left(\frac{k_w N_{ph}}{poles}\right) I_a \quad (2)$$

เมื่อกระแสในขดลวดถูกกระตุ้นด้วยสัญญาณ Sinusoidal Wave ที่คาบเวลาต่างๆ และที่ความถี่ทางไฟฟ้า(ω_e) จะได้สมการของกระแส (3)

$$\tilde{I}_a = I_a \cos \omega_e t \quad (3)$$

และ สมการของ (mmf) ที่ส่งผ่านไปยังช่องว่างอากาศ (air-gap) ที่ความถี่ทางไฟฟ้า (ω_e) และพิจารณาที่เครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิด 2 ขั้ว จะได้สมการ (4)

$$F_{agl}=F_{max}\cos(\theta_{ae})\cos(\omega_e t) \quad (4)$$

$$F_{agl}=F_{max}\left[\frac{1}{2}\cos(\theta_{ae}-\omega_e t)+\frac{1}{2}\cos(\theta_{ae}+\omega_e t)\right] \quad (5)$$

$$F^{+}_{agl}=F_{max}\left[\frac{1}{2}\cos(\theta_{ae}-\omega_e t)\right] \quad (6)$$

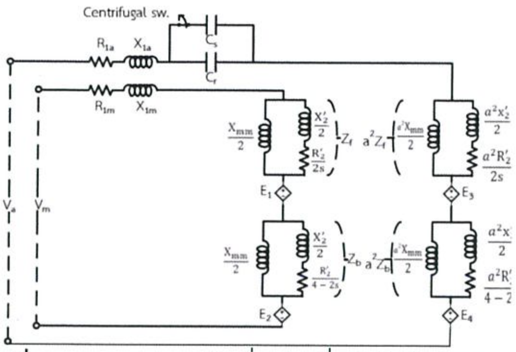
$$F^{-}_{agl}=F_{max}\left[\frac{1}{2}\cos(\theta_{ae}+\omega_e t)\right] \quad (7)$$

จากเอกลักษณ์ตรีโกณสมการที่ (5) สามารถแบ่งเป็นส่วน Forward (6) และ Backward (7)

2.2 วงจรสมมูล

ในการพิจารณาค่าพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะใช้วงจรสมมูลดังรูปที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 วงจรสมมูลมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสตัวเก็บประจุรันตัวเก็บประจุสตาร์ท

R_{1a} และ R_{1m}	คือ ความต้านของขดลวดสตาร์ท และขดลวดหลัก
X_{1a} และ X_{1m}	คือ ความต้านทานเหนี่ยวนำที่ขดลวดสตาร์ท และขดลวดหลัก
C_s และ C_r	คือ ตัวเก็บประจุสตาร์ท และตัวเก็บประจุรัน
X_{mm}	คือ ความต้านทานความเหนี่ยวนำ
$R_2^{'}$	คือ ความต้านทานของขดลวดโรเตอร์ ที่ถูกแปลงไปด้านสเตเตอร์
$X_2^{'}$	คือ ความเหนี่ยวนำของขดลวดโรเตอร์ ที่ถูกแปลงไปด้านสเตเตอร์
a	คือ Turn Ratio
$\tilde{E}_1$ $\tilde{E}_2$	คือ Forward และ Backward EMF ที่เกิดจาก Forward และ Backward EMF ด้านขดลวดสตาร์ท
$\tilde{E}_3$ $\tilde{E}_4$	คือ Forward และ Backward EMF ที่เกิดจาก Forward และ Backward EMF ด้านขดลวดรัน

$$R_{fm} = R_2 / 2(2s) \quad (8)$$

$$R_{fa} = a^2 R_2 / 2(2s) \quad (9)$$

$$R_{bm} = R_2 / 2(2-s) \quad (10)$$

$$R_{ba} = a^2 R_2 / 2(2-s) \quad (11)$$

จากวงจรสมมูลในรูปที่ 1 สามารถเขียนความสัมพันธ์จากวงจรสมมูลเพื่อใช้สำหรับเขียนฟังก์ชันเป้าหมาย และแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จากวงจรสมมูลในสภาวะรันและสตาร์ทได้ [9]

$$V_m = \tilde{I}_m(Z_{1m} + Z_f + Z_b) + \tilde{E}_1 + \tilde{E}_2 \quad (12)$$

$$V_a = \tilde{I}_a(Z_c + Z_{1a} + a^2 Z_f + a^2 Z_b + \tilde{E}_3 + \tilde{E}_4 \quad (13)$$

$$\tilde{E}_1 = -j\tilde{I}_a a Z_f \quad (14)$$

$$\tilde{E}_2 = j\tilde{I}_a a Z_b \quad (15)$$

$$\tilde{E}_3 = ja\tilde{I}_m Z_f \quad (16)$$

$$\tilde{E}_4 = -ja\tilde{I}_m Z_b \quad (17)$$

สมการที่ 10-13 แทนลงในสมการที่ 8-9 จากนั้น จัดรูปให้อยู่ในรูปของกระแสได้ดังสมการที่ 14 และ 15

$$\tilde{I}_m = \frac{\tilde{V}_m(Z_{22}-Z_{12})}{(Z_{11}Z_{22}-Z_{12}Z_{21})} \quad (18)$$

$$\tilde{I}_a = \frac{\tilde{V}_a(Z_{11}-Z_{21})}{(Z_{11}Z_{22}-Z_{12}Z_{21})} \quad (19)$$

$$Z_{11} = Z_{sm} + Z_{fm} + Z_{bm} \quad (20)$$

$$Z_{12} = -ja[Z_{fm} - Z_{bm}] \quad (21)$$

$$Z_{21} = ja[Z_{fm} - Z_{bm}] \quad (22)$$

$$Z_{22} = Z_{sa} + Z_c + a^2[Z_{fm} + Z_{bm}] \quad (23)$$

โดยที่สมการที่ 18 –19ใช้สำหรับการเขียนฟังก์ชันเป้าหมายของจีเนติก อัลกอริธึม

$$P_g = Re(E_f - E_b)\tilde{I}_m^{*} + ja(E_f + E_b)\tilde{I}_a^{*} \quad (24)$$

$$P_{total\ loss} = P_{sl} + P_{rl} + P_f + P_{core} + P_{stray} \quad (25)$$

$$P_{conv} = (1-s)P_g \quad (26)$$

ในการทดสอบหากำลังสูญเสียให้ทำตามขั้นตอนการเทสต์มอเตอร์มาตรฐาน IEEE-114 2010 ปี 2010 [3]

$$P_{out} = P_{conv} - P_{total\ loss} \quad (27)$$

$$P_{in} = VI\cos\theta \quad (28)$$

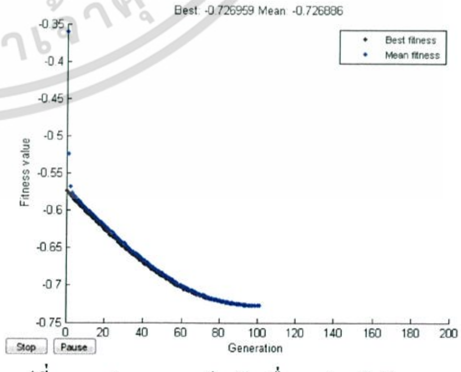
$$Eff\% = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100\% \quad (29)$$

สมการที่ 29 ในบทความนี้ บอกถึงประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสตัวเก็บประจุรันตัวเก็บประจุสตาร์ทซึ่งจะใช้สมการนี้ เพื่อคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด

3. ผลการทดลอง

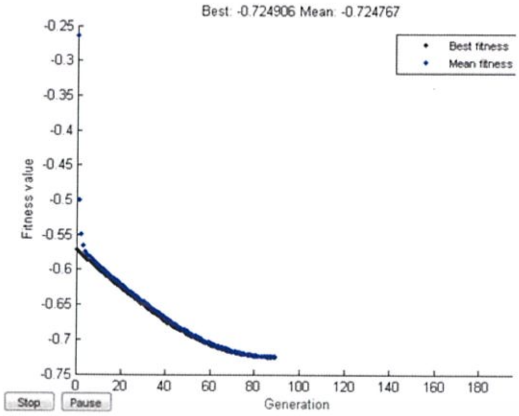
3.1 การจำลองทางคอมพิวเตอร์โดยจีเนติก อัลกอริธึม

การคำนวณโดยใช้จีเนติกจากวงจรสมมูลรูปที่ 1 และใช้สมการที่ (18) ,(19),(29)เขียนฟังก์ชันเป้าหมาย เพื่อหาค่าตัวเก็บประจุที่ทำให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพสูงที่สุด



รูปที่ 2 การคำนวณของจีเนติกเพื่อหาประสิทธิภาพมอเตอร์ เมื่อกำหนดขอบล่างของความเร็วที่ 1350 ซึ่งก็คือความเร็ว ณ Breakdown Torque

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

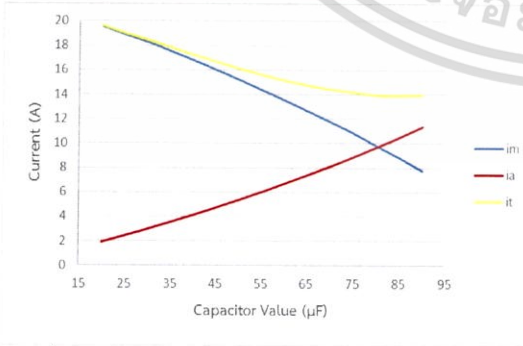


รูปที่ 3 การคำนวณของจีเนติกเพื่อหาประสิทธิภาพมอเตอร์ เมื่อกำหนดขอบล่างของความเร็วที่ 1400 ซึ่งก็คือความเร็ว

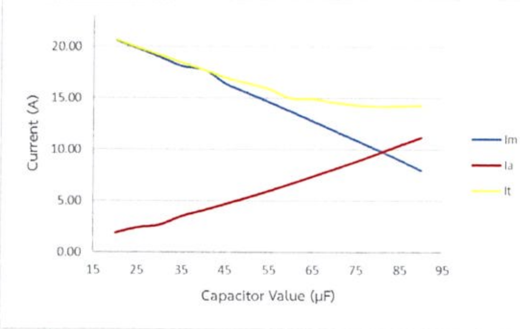
จากรูปที่ 2 – 3 ผลลัพธ์จากการคำนวณทางจีเนติกได้ค่าประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันแต่เนื่องจากที่ความเร็วต่ำกว่า 1350รอบต่อนาทีเป็นค่าที่ใกล้กับความเร็ว ณ Breakdown Torque ซึ่งเสี่ยงต่อการที่มอเตอร์จะเกิดการ Runaway ซึ่งทำให้ความเร็วตกลง และ กระแสในขดลวดเพิ่มขึ้นในการกำหนดขอบเขตจึงใช้ ขอบล่างของความเร็วที่ 1400รอบต่อนาที

3.2 การจำลองด้วย MATLAB/Simulink เทียบกับการคำนวณผ่านวงจรสมมูล

จากผลการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส เมื่อเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุพบว่า กระแสที่ขดลวดหลัก(i_m) และกระแสขาเข้ามอเตอร์(i_t) จะมีค่าลดลงเมื่อค่าตัวเก็บประจุมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่วนทางกับกระแสที่ขดลวดสตาร์ท(i_a) เมื่อค่าตัวเก็บประจุมากขึ้น กระแสก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ของกระแสต่อค่าตัวเก็บประจุสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 4 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ได้จากการคำนวณผ่านวงจรสมมูล และรูปที่ 5 เป็นความสัมพันธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

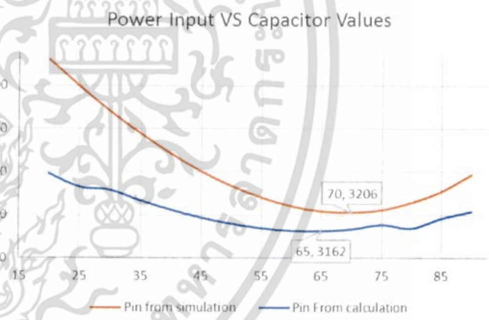


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าต่อค่าตัวเก็บประจุ โดยเป็นผลที่ได้จากการคำนวณผ่านวงจรสมมูล

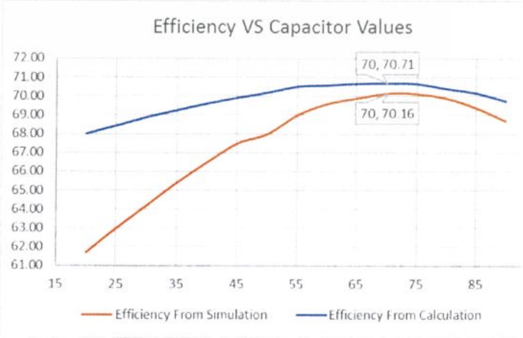


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าต่อค่าตัวเก็บประจุ โดยเป็นผลที่ได้จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

จากนั้น มาดูผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณผ่านวงจรสมมูลกับแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ของกำลังไฟฟ้าขาเข้ามอเตอร์พบว่า เมื่อเพิ่มค่าตัวเก็บประจุ จะทำให้กำลังไฟฟ้าขาเข้ามอเตอร์นั้นลดลง โดยจะลดลงเป็นแบบกราฟรูประฆังคว่ำ นั่นก็คือเมื่อ ทำการเพิ่มค่าตัวเก็บประจุถึงค่าหนึ่งที่ทำให้กำลังไฟฟ้าขาเข้านั้นต่ำสุด จากนั้นถ้าเพิ่มค่าตัวเก็บประจุเข้าไปอีก จะทำให้กำลังไฟฟ้าขาเข้ามอเตอร์มีค่ามากขึ้น จากภาพ พบว่าค่าตัวเก็บประจุขนาด 70 μF ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าขาเข้ามอเตอร์น้อยที่สุด



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าขาเข้าซึ่งแสดงอยู่ในแนวแกน Y กับค่าตัวเก็บประจุ ซึ่งแสดงอยู่ในแนวแกน X



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของมอเตอร์ซึ่งแสดงอยู่ในแนวแกน Y กับค่าตัวเก็บประจุแสดงอยู่ในแนวแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า กราฟของประสิทธิภาพต่อค่าตัวเก็บประจุจะแปรผกผันกับกราฟกำลังไฟฟ้าขาเข้ามอเตอร์ นั่นคือยิ่งค่ากำลังไฟฟ้าขาเข้ามอเตอร์มีค่าน้อย ยิ่งมีค่าประสิทธิภาพมาก โดยจะมีประสิทธิภาพมากที่สุดที่ค่าตัวเก็บประจุ 70 μF ให้ค่าประสิทธิภาพที่ 70.71% จากการคำนวณผ่านวงจรสมมูล และ 70.16% จากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

4.สรุป

ในการทดลองหาค่าตัวเก็บประจุที่ดีที่สุดจึงได้มีการออกแบบการการทดลองต่างๆ เช่น การจำลองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากวงจรสมมูล,การใช้ MATLAB/Simulink และการใช้จีเนติกอัลกอริธึม เพื่อช่วยในการเปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพที่สภาวะพิกัดกำลัง และนำไปสู่การหาค่าตัวเก็บประจุที่ดีที่สุดต่อไป โดยแนวโน้มที่ได้จากหลักการทางจีเนติกอัลกอริธึมทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ดีที่สุด ณ สภาวะพิกัดมีค่าอยู่ในช่วง 70 – 75 ไมโครฟารัด จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้ไปพิจารณาขอบเขตการจำลองค่าโดย MATLAB/Simulink และผลลัพธ์ที่ได้เทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากวงจรสมมูล[2]ด้วย MATLAB ว่ามีความเที่ยงตรงในระดับนัยสำคัญ ซึ่งจากการทดลองเป็นการทดสอบค่าที่สภาวะพิกัดและแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความเที่ยงตรงค่อนข้างสูงมีค่าความผิดพลาดประมาณ 1-2% โดยเป็นค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้

5.ข้อเสนอแนะ

สิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญต่อผลการทดลองคือวงจรสมมูล ดังนั้นควรที่จะเลือกใช้วงจรสมมูลให้ตรงตามประเภทของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสแต่ละชนิดด้วย ซึ่งคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้วงจรสมมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสชนิดตัวเก็บประจุสตาร์ท ตัวเก็บประจุรัน และได้มีการนำผลของการเหนี่ยวนำย้อนกลับ (Back EMF) ของขดลวดหลักและขดลวดสตาร์ทด้วย ซึ่งจะให้ค่าพารามิเตอร์ที่ทดสอบมาได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

อ้างอิง

[1] **Chapman, S. J. (2005).** Electric machinery Fundamentals. McGRAW-HILL.

[2] **Ghial, V. K., Saini, L. M., & Saini, J. S. (2013).** Parameter Estimation of Permanent-Split Capacitor-Run Single-Phase Induction Motor Using computed Complex Voltage Ratio. IEEE.

[3] **(2010).** IEEE 114: IEEE Standard Test Procedure for Single-Phas*e*. New York: IEEE.

[4] **KRAUSE, P. C., & WASYNCZUK, O. (1989).** Elctromechanical Motion Devices. McGraw–Hill.

[5] **Lin, D., Zhou, P., & Lambert, N. (2010).** Starting Winding Optimization in Single-Phase Induction Motor Design. Rome: IEEE.

[6] **Mademlis, C., Kioskeridis, I., & Theodoulidis, T. (2005).** Optimization of Single-Phase Induction Motors–Part I: Maximum Energy Efficiency Control. New York: IEEE.

[7] **Rao, S. S. (2009).** Engineering Optimization Theory and Practic*e*. John Wiley & Sons, Inc.

[8] **Sanagiotti, E., Oliveira Jr, A., Monteiro, J., & De Aguiar, M. (2007).** A comparative study between Symmetrical two phase induction motor model using dq0 Transformation and Model using Spiral Vector Theory Operating under Unbalancing Voltag*e*. New York: IEEE.

[9] **P.C. Sen (1996).** Principles of Electric Machines and Power Electronic*s*. Ontario, Canada: John Wiley & Sons.

[10] **Tekgun, B., Sozer, Y., & Tsukerman, I. (2016).** Modeling and Parameter Estimation of Split-Phase Induction Motors. IEEE.

[11] **Umans, S. D. (2014).** Fitzgerald & Kingsley's Electric Machinery. McGraw–Hill Education.

ประวัติผู้เขียนบทความ

นายกิตติพงศ์ โชคกิตเดชา [a]
55010267
เกิดวันที่ 26 ธันวาคม 2537
โทรศัพท์ 086-315-3600
E-mail: kittichian@hotmail.com

นายพงศวีร์ ทิพยานนท์ [b]
56010789
เกิดวันที่ 5 มกราคม 2538
โทรศัพท์ 083-264-1616
E-mail: nui_thipayanon@hotmail.com

นายศุภสิทธิ์ ปัทมารัง [c]
56011254
เกิดวันที่ 8 มกราคม 2538
โทรศัพท์ 097-162-1869
E-mail: supasit_fam@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายกิตติพงศ์ โชคกิตเดชา
วัน/เดือน/ปี เกิด 8 ก.ค. 2537
ภูมิลำเนา นราธิวาส
E-mail kittichian@hotmail.com

ชื่อ-นามสกุล นายพงศวีร์ ทิพยานนท์
วัน/เดือน/ปี เกิด 5 ม.ค. 2538
ภูมิลำเนา สมุทรปราการ
E-mail Nui_thipayanon@hotmail.com

ชื่อ-นามสกุล ศุภสิทธิ์ ปัทมารัง
วัน/เดือน/ปี เกิด 8 ม.ค. 2538
ภูมิลำเนา กาฬสินธุ์
E-mail Supasit_fam@hotmai.com

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้