

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากรณีศึกษา  
หม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 1 เฟส

Effect of Ambient Temperature on Performance of Electrical Machines  
(A Case Study of Single Phase Transformer and Induction Motor)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากรณีศึกษา  
หม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 1 เฟส

Effect of Ambient Temperature on Performance of Electrical Machines  
(A Case Study of Single Phase Transformer and Induction Motor)



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2560

Effect of Ambient Temperature on Performance of Electrical Machines  
(A Case Study of Single Phase Transformer and Induction Motor)



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากรณีศึกษา  
หม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 1 เฟส  
Effect of Ambient Temperature on Performance of Electrical Machines  
(A Case Study of Single Phase Transformer and Induction Motor)



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สมชาติ จิริวิภากร  
ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากรณีศึกษาหม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 1 เฟส

ผู้จัดทำ

- |                  |            |
|------------------|------------|
| 1.นายพงษ์ประภัทร | ป้อมบุญมี  |
| 2.นายพนม         | สุขวิบูลย์ |
| 3.นายพัฒนชัย     | ตันติรักษ์ |
| 4.นายภาคิณ       | ตันหยงทอง  |



.....  
อ. พิมพ์ต์/

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.สมชาติ จิรวิภากร)

.....  


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า  
กรณีศึกษาหม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 1 เฟส

นายพงษ์ประภัทร ป้อมบุญมี

นายพนม สุขวิบูลย์

นายพัฒนชัย ตันตริกส์

นายภาคิณ ตันหยงทอง

รศ.ดร.สมชาติ จิริวิภากร อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.นิรุช จิรสสุวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าอุณหภูมิแวดล้อมอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส เมื่อใช้ตู้อบที่ร้อนขึ้นโดยชุดทดสอบไล่และหม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้า 1 เฟสสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งความร้อนที่สามารถปรับได้สำหรับอุณหภูมิที่กำหนดไว้ในอุณหภูมิต่างๆเช่นปรับอุณหภูมิห้องได้ถึง 70 องศาเซลเซียส มีกรณีศึกษาสองกรณีในโครงการนี้ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสและมอเตอร์เหนี่ยวนำ การทดสอบทั้งสองกรณีได้รับการดำเนินการตั้งแต่ไม่มีการโหลดไปจนถึงการทดสอบแบบเต็มกำลังและผลได้รับการวิเคราะห์ พบว่าเครื่องไฟฟ้ามีประสิทธิภาพไม่ดีขึ้นในการเพิ่มอุณหภูมิห้อง ผลการศึกษานี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานติดตั้งและเป็นคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ว่างานจะต้องสอดคล้องกับมาตรฐานการติดตั้ง โดยเฉพาะเครื่องไฟฟ้าขนาดกลางและใหญ่ที่มีระบบระบายความร้อนที่เหมาะสม ในท้ายที่สุดก็กลายเป็นความสำคัญที่เป็นการประหยัดพลังงานด้วยการติดตั้งเครื่องจักรไฟฟ้าที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Effect of Ambient Temperature on Performance of Electrical Machines (A Case Study of Single Phase Transformer and Induction Motor)

Pongprapat Pombunmee

Panom Sukviboon

Pattanachai Tantirak

Pakin Tanyongthong

Assoc.Prof.Dr.Somchat Jiriwibhakorn Advisor

Asst.Prof.Dr.Nirudh Jirasuwankul Co-Advisor

## Abstract

This project deals with an experimental study to investigate whether ambient temperature can affect performance of 1-phase electrical machines. By using an incubator that is heated up by a set of incandescent light bulbs and 1-phase variac, it can be applied as an adjustable heat source for various ambient temperature setpoints, i.e., adjustable from room temperature up to 70 degree celcius. There are two case studies in this project, 1-phase transformer and induction motor. Experiment of both two cases has been performed from no-load to full-load test and the results has been analyzed. It is found that electrical machines have adverse efficiency to the raising ambient temperature. This study results can be applied in installation work and it is helpful guide that the work must be complied to installation standards, especially for medium and large electrical machines with proper cooling system. It is finally turned out significant energy saving with proper installation of electrical machines.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์จากผู้มีพระคุณ คือ รศ.ดร.สมชาติ จิรวินาการ และ ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่อง ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ และ พระคุณบิดาและมารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ ตลอดจนสนับสนุนทุกอย่าง ให้ การจัดทำโครงการจนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้จนมาเป็นปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ จึงขอกราบ ขอบพระคุณผู้มีพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

I

ABSTRACT

II

กิตติกรรมประกาศ

III

สารบัญ

IV

สารบัญรูปภาพ

VII

สารบัญตาราง

X

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1

1.4 วิธีที่ใช้ในโครงการ

2

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

2

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าหนึ่งเฟส

4

2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำเฟสเดียว (Induction Motor)

4

2.1.2 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส (Single Phase Transformer)

13

2.2 ผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

25

2.2.1 การสูญเสียของมอเตอร์ไฟฟ้า

25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

2.2.2 การสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้า	26
2.2.3 สาเหตุหลักของการเครียดที่ส่งผลกระทบต่อส่วนประกอบของมอเตอร์	27
2.3 อุณหภูมิกับเครื่องจักรกลไฟฟ้า	28
2.3.1 อุณหภูมิกับการใช้งานมอเตอร์	28
2.3.2 อุณหภูมิกับการใช้งานหม้อแปลง	30
2.4 การระบายความร้อนของเครื่องจักรกลไฟฟ้า	31
2.4.1 การระบายความร้อนของมอเตอร์ไฟฟ้า	31
2.4.2 การระบายความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้า	37
บทที่ 3 การออกแบบการทดลองของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส	
3.1 การออกแบบการทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส	40
3.1.1 อุปกรณ์การทดลอง	41
3.2 การออกแบบการทดลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส (induction motor)	42
3.2.1 อุปกรณ์การทดลอง	43
3.3 การออกแบบการทำนายค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟสใน GUI	44
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 การทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส	47
4.1.1 วิธีทำการทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้า	47
4.1.2 ผลการทดลอง	50
4.2 การทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส	65
4.1.1 วิธีทำการทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้า	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

4.1.2 ผลการทดลอง	67
4.3 การประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส โดย GUI.	77
4.3.1 การหาสมการการประมาณค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส	77
4.3.2 การหาสมการการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส	79
4.3.3 การทดสอบ GUI. การประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า	81
<b>บทที่ 5 บทสรุปข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	83
5.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาที่พบ	83
5.3 แนวทางการพัฒนา	84

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว (Induction Motor)	4
2.2 ขดลวดในมอเตอร์	5
2.3 กระแสที่ไหลในขดลวด	5
2.4 โครงสร้างของมอเตอร์ 1 เฟส	6
2.5 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของโรเตอร์ต่อเฟส 2 รูปแบบ	8
2.6 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของสเตเตอร์ต่อเฟส	9
2.7 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อพิจารณาทางด้านสเตเตอร์	10
2.8 ภาระทางกลของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้มู่เส้	10
2.9 กราฟของค่าสูญเสียมอเตอร์ ประสิทธิภาพมอเตอร์ และค่าตัวประกอบกำลังต่อโหลด	13
2.10 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	14
2.11 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะมีโหลด	16
2.12 ส่วนประกอบของค่ากระแสกระตุ้น	18
2.13 วงจรสมมูลของค่ากระแสกระตุ้น	19
2.14 แบบจำลองการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริง	20
2.15 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริง	21
2.16 เวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริง	22
2.17 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบประมาณ	22
2.18 เวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบประมาณ	23
2.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้ากับเปอร์เซ็นต์โหลด	25

## สารบัญรูป (ต่อ)

2.20	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมต่างกัน	28
2.21	กราฟแสดงประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ช่วงเวลาแตกต่างกันในแต่ละวัน	29
2.22	กราฟแสดงการสูญเสียในแกนเหล็กของมอเตอร์ที่ช่วงเวลาแตกต่างกันในแต่ละวัน	29
2.23	กราฟแสดงการสูญเสียจากภาระการใช้งานของมอเตอร์ที่ช่วงเวลาแตกต่างกันในแต่ละวัน	29
2.24	การระบายความร้อนของมอเตอร์	36
2.25	ครีบบล้อแปลงแบบแผง	37
2.26	ครีบบล้อแปลงแบบลอนลูกฟูก	38
2.27	Self-cooling and Oil circulation	38
2.28	Forced air cooling and Oil circulation	39
2.29	Water cooling and Oil circulation	39
3.1	วงจรการทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส	40
3.2	วงจรการทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส	42
3.3	การเปิดโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้งาน GUI.	44
3.4	การสร้างโปรแกรม GUI.	44
3.5	ปุ่มควบคุมต่างๆ	45
3.6	โปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส	46
4.1	โพลต์ที่ 100 เปอร์เซนต์	47
4.2	การวัดค่าทางไฟฟ้าจาก AC POWER METER	48
4.3	การวัดค่าอุณหภูมิจาก IR THERMOMETER	48
4.4	การให้ความร้อนหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อทำการทดลอง	49

## สารบัญรูป (ต่อ)

4.5 ภาพรวมของการทดลอง	49
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด	54
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด	59
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด	64
4.9 โหลดที่ 100 เปอร์เซ็นต์	65
4.10 การวัดความเร็วรอบของมอเตอร์	66
4.11 การวัดค่าอุณหภูมิจาก IR THERMOMETER	67
4.12 ภาพรวมของการทดลอง	67
4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด	70
4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด	73
4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด	76
4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลด	77
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับอุณหภูมิการทดลอง	78
4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลด	79
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับอุณหภูมิการทดลอง	80
4.20 การประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าใน GUI.	81
4.21 การประมาณค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าใน GUI.	81

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางการดำเนินงาน	3
2.1 วิธีการระบายความร้อนตามมาตรฐาน IEC 60034-6	31
2.2 เปรียบเทียบการระบายความร้อนตามมาตรฐานของ NEMA และ IEC	33
2.3 ตัวอย่างวิธีการระบายความร้อนของมอเตอร์ไฟฟ้า	34
4.1 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	50
4.2 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	51
4.3 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	52
4.4 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	53
4.5 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	54
4.6 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	55
4.7 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	56
4.8 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	57
4.9 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	58
4.10 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	59
4.11 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	60
4.12 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	61
4.13 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	62
4.14 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	63
4.15 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

4.16 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	68
4.17 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	68
4.18 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	69
4.19 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	69
4.20 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	70
4.21 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	71
4.22 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	71
4.23 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	72
4.24 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	72
4.25 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	73
4.26 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	74
4.27 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	74
4.28 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส	75
4.29 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	75
4.30 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	76
4.31 แสดงผลเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลGUI. ของหม้อแปลงไฟฟ้า(ค่าประสิทธิภาพ)	82
4.32 แสดงผลเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลGUI. ของมอเตอร์ไฟฟ้า(ค่าประสิทธิภาพ)	82

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้ในทางอุตสาหกรรมนั้นเจริญเติบโตอย่างมากในประเทศไทย ซึ่งในทางอุตสาหกรรมนั้นมีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความสำคัญอย่างมากที่จะไม่ให้หม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์นั้นเกิดความขัดข้องหรือทำให้ระบบหยุดการทำงานได้ หรือแม้กระทั่งการใช้ไฟฟ้าภายในตึกอาคารและที่อยู่อาศัยต่างๆ ที่ต้องรับไฟฟ้ามาจากโรงไฟฟ้า ซึ่งไฟฟ้าที่จ่ายมาจากโรงไฟฟ้านั้นมีแรงดันไฟฟ้าที่สูง จึงจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแปลงแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าที่สูงมาเป็นแรงดันไฟฟ้าที่สามารถใช้ในงานทั่วไปได้หรือใช้ในความต้องการในงานต่างๆ และโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับกระบวนการผลิตงานต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นมีความสำคัญอย่างมากและมีราคาค่อนข้างสูงอีกด้วย ซึ่งเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นจะมีการติดตั้งการใช้งานในพื้นที่ที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมและการใช้งาน ซึ่งในแต่ละพื้นที่นั้นมีสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งอุณหภูมิแวดล้อมนั้นอาจจะมีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า จึงทำให้เกิดการศึกษาเรื่องผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า
2. เพื่อการวิเคราะห์และทำนายว่าที่อุณหภูมิแวดล้อมต่างๆนั้นมีผลต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้ามากน้อยอย่างไร
3. เพื่อส่งเสริมการควบคุมอุณหภูมิหรือการติดตั้งในพื้นที่เหมาะสมกับเครื่องจักรกลไฟฟ้า

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ขอบเขตในการศึกษาปริญญาโทฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากรณีศึกษาหม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้า เหนียวนาชนิด 1 เฟส ว่ามีผลกระทบต่อการทำงานหรือประสิทธิภาพอย่างไร และสามารถทำนายได้ว่าช่วงอุณหภูมินี้มีผลกระทบมากน้อยเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

วิธีการที่ใช้ในโครงการนี้จะนำเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส เข้าไปในโครงเหล็กที่ออกแบบมาเพื่อติดตั้งหลอดไฟเพื่อให้ความร้อนแก่เครื่องจักรกลไฟฟ้า ซึ่งทำให้อุณหภูมิแวดล้อมนั้นมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นกว่าอุณหภูมิห้องเพื่อนำไปใช้ในการทดลอง ซึ่งการทดลองนั้นจะใช้หลอดไฟอีกชุดเป็นโพลการทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้า และใช้ลูกตุ้มน้ำหนักเป็นโพลการทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้า หลังจากนั้นนำผลการทดลองไปหาค่าประสิทธิภาพของแต่ละอุณหภูมิการทดลอง และนำไปวาดกราฟเปรียบเทียบกัน และนำผลการทดลองไปหาสมการการประมาณค่าประสิทธิภาพเพื่อนำไปใช้ใน GUI MATLAB. เพื่ออำนวยความสะดวกการใช้งาน

#### 1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ระยะเวลาดำเนินการ 9 (เดือน) ตั้งแต่ 1 สิงหาคม 2560 ถึง 30 เมษายน 2561

1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับเรื่องเครื่องจักรกลไฟฟ้าและผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อม
2. ออกแบบวงจรการทดลองเพื่อนำเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส ไปทดลองในช่วงอุณหภูมิต่างๆ เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ต่อไป
3. ทำการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง
4. นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปสร้างกราฟเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการทดลองกับค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง
5. นำข้อมูลทั้งหมดที่ได้มาจากการทดลองมาประยุกต์ใน GUI (Graphical User Interface) เพื่ออำนวยความสะดวกในการใช้งานในการทำนายค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า
6. ปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้น
7. สรุปผลการทดลอง
8. จัดทำรูปเล่มปริณญาณิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน								
	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องจักรกลไฟฟ้า									
2. ออกแบบวงจรการทดลอง									
3. ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง									
4. สร้างกราฟเพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพและอุณหภูมิจากผลการทดลอง									
5. นำข้อมูลมาประยุกต์ใช้กับ GUI MATLAB.									
6. ปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้น									
7. สรุปผลการทดลอง									
8. จัดทำรูปเล่มปริญา นิพนธ์ฉบับสมบูรณ์									

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

### 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านเครื่องจักรกลไฟฟ้าว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดผลกระทบต่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าอย่างไร
2. เพื่อเป็นการพัฒนาการควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมต่อการติดตั้งเครื่องจักรกลไฟฟ้าในที่ต่างๆให้เหมาะสม
3. เพื่อสามารถทำนายค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้าจากการเกิดผลกระทบในช่วงอุณหภูมิแวดล้อมต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าหนึ่งเฟส

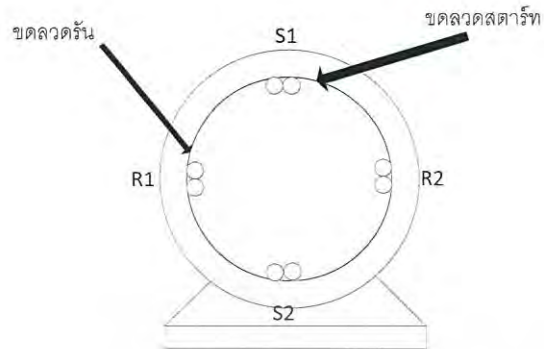
##### 2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำหนึ่งเฟส (Single Phase Induction Motors)

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวมีโครงสร้างเช่นเดียวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบกรงกระรอกโดยที่สเตเตอร์จะมีขดลวดเพียงเฟสเดียว เมื่อขดลวดเฟสเดียวได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว กระแสในขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนที่มีขนาดเท่ากันหมุนในทิศทางตรงกันข้ามกัน ทำให้เกิดแรงบิดที่สเตเตอร์ในทั้งสองทิศทางที่มีขนาดเท่ากัน ซึ่งมีผลทำให้โรเตอร์ไม่สามารถเกิดแรงบิดเริ่มต้นหมุนได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องต้องมีวิธีทำให้มอเตอร์ชนิดนี้สามารถเกิดแรงบิดเริ่มต้นหมุนเพื่อเริ่มเดินได้ด้วยตัวเอง โดยทั่วไปมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวจะมีลักษณะเป็นแบบ 2 หรือ 4 ขั้วแม่เหล็ก พิกัดกำลังไม่เกิน 5 H.P. มีการใช้งานอยู่เป็นจำนวนมากในชีวิตประจำวัน



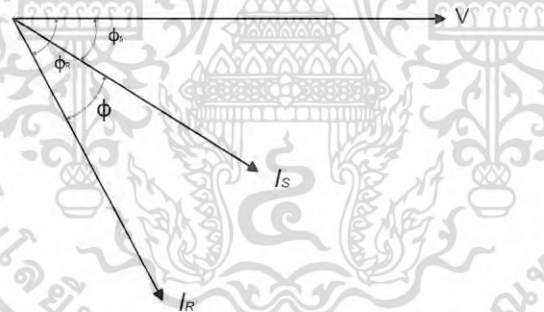
รูปที่ 2.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟส

### 2.1.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์แบบหนึ่งเฟส



รูปที่ 2.2 ขดลวดในมอเตอร์

จากรูปที่ 2.2 เป็นการแสดงการวางขดลวดในมอเตอร์ ซึ่งจะประกอบด้วยขดลวดสตาร์ท (Starting winding) มีต้นคอยล์คือ S1 และปลายคอยล์คือ S2 และขดลวดรัน (Running winding) มีต้นคอยล์คือ R1 และปลายคอยล์คือ R2



รูปที่ 2.3 กระแสที่ไหลในขดลวด

จากรูป 2.3 เป็นเฟเซอร์ไดอะแกรมกระแสในขดลวดทั้งสองขด ซึ่งจะไม่อินเฟสกันเนื่องจากคุณสมบัติของขดลวดทั้งสองคือขนาดและจำนวนรอบของขดลวดโดยที่  $I_S$  เป็นกระแสที่ไหลในขดลวดสตาร์ทและ  $I_R$  เป็นกระแสที่ไหลในขดลวดรัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

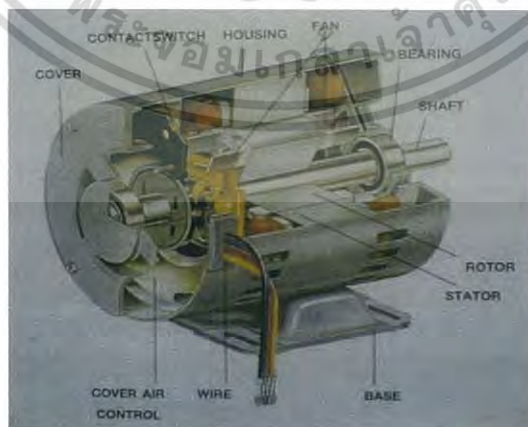
มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด

1. มอเตอร์สปลิทเฟส (Split-Phase Motor)
2. มอเตอร์คาปาซิเตอร์ (Capacitor Motor)
3. มอเตอร์ยูนิเวอร์แซล (Universal Motor)
4. มอเตอร์เซ็ดเด็ดโพล (Shaded-pole Motor)
5. มอเตอร์รีพัลชัน (Repulsion-type Motor)

ส่วนประกอบที่สำคัญของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เคลื่อนที่ กับ ส่วนที่อยู่กับที่

1. ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) ประกอบด้วย
  - โครง (Frame)
  - แกนเหล็กสเตเตอร์
  - ขดลวดสเตเตอร์
2. ส่วนที่หมุน (Rotor) ประกอบด้วย
  - แกนเหล็กโรเตอร์
  - ขดลวดโรเตอร์
  - แกนหมุน



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของมอเตอร์ 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรหาความเร็วของมอเตอร์

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

เมื่อ  $n_s$  = ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากขดลวดสนามแม่เหล็ก (รอบ/นาที)  
 $f$  = ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ  
 $P$  = จำนวนขั้วแม่เหล็ก

โดยปกติความเร็วของโรเตอร์จะมีค่าน้อยกว่าความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์

### 2.1.1.2 วงจรสมมูลของมอเตอร์ไฟฟ้า (Equivalent Circuit of Induction Motor)

-วงจรสมมูลของโรเตอร์ต่อเฟส (Per Phase Rotor Equivalent Circuit)

การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถแสดงให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ของค่าสลิป (Slip)

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

เมื่อ  $s$  เป็นค่าสลิปของมอเตอร์เหนี่ยวนำไม่มีหน่วย  $n_s$  และ  $n_r$  มีหน่วยเป็น rpm

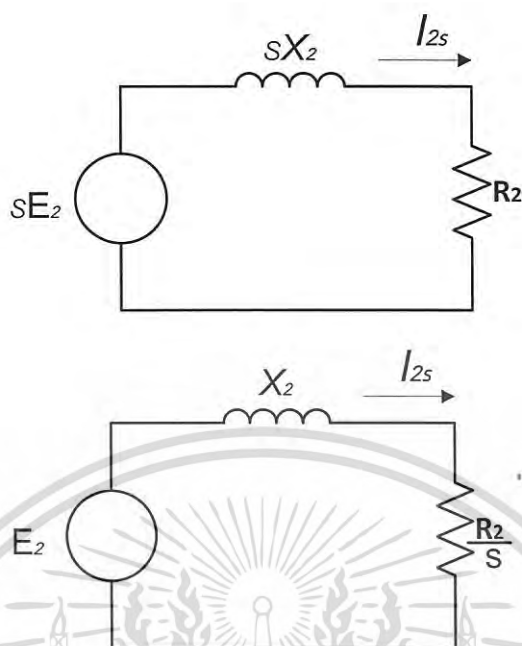
$$n_r = (1 - s)n_s \quad (2.3)$$

ในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุนค่าสลิปจะเท่ากับ 1 และขณะที่ไม่มีภาระทางกลค่าสลิปจะมีค่าน้อยมาก (เข้าใกล้ศูนย์) ดังนั้นค่าสลิปของมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าเป็นบวก และมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 และค่าสลิปจะไม่เท่ากับศูนย์

$$\text{ความถี่ของโรเตอร์} \quad f_r = s f_e \quad (2.4)$$

ในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุน (Starting) ค่าสลิปจะเท่ากับ 1 ความถี่โรเตอร์  $f_r$  จะมีค่าเท่ากับความถี่  $f_e$  ของสเตเตอร์

จากสมการที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าความถี่ของโรเตอร์จะมีค่าเปลี่ยนไปตามค่าสลิป ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าที่โรเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าสลิป



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของโรเตอร์ต่อเฟส 2 รูปแบบ (รูป ก. และ ข. ตามลำดับ)

$$x_{2s} = sX_2 \quad (2.5)$$

เมื่อ  $x_{2s}$  และ  $X_2$  เป็นค่า leakage reactance ของโรเตอร์ ที่ค่าสลิปใดๆ และ ขณะหยุดนิ่ง ตามลำดับ

$$E_{2s} = sE_2 \quad (2.6)$$

เมื่อ  $E_{2s}$  และ  $E_2$  เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโรเตอร์ ที่ค่าสลิปใดๆ และ ขณะหยุดนิ่ง ตามลำดับ

วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของโรเตอร์ต่อเฟสสามารถแสดงตามดังรูปที่ 2.5 จากรูปที่ 2.5 (ก) จะได้ว่า

$$I_{2s} = \frac{sE_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_2)^2}} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $I_{2s}$  เป็นค่ากระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำของโรเตอร์ที่ค่าสลิปใดๆ และ  $R_2$  เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าของโรเตอร์ จัดรูปสมการที่ 2.7 จะได้ว่า

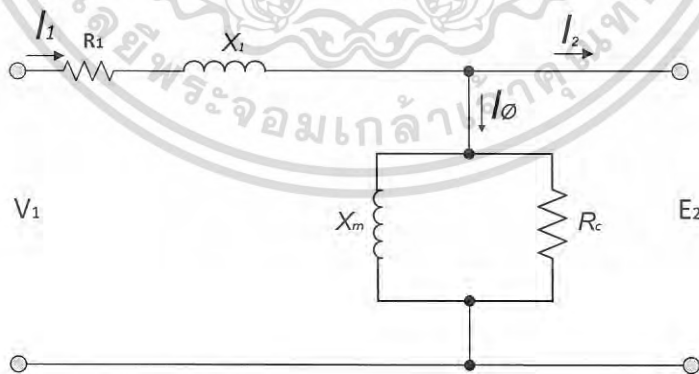
$$I_{2s} = \frac{E_2}{\sqrt{(R_2/s)^2 + X_2^2}} \quad (2.8)$$

ซึ่งสามารถแสดงเป็นวงจรสมมูลไฟฟ้าใหม่ได้ดังรูปที่ 2.5 (ข)

#### -วงจรสมมูลของสเตเตอร์ต่อเฟส (Per Phase Stator Equivalent Circuit)

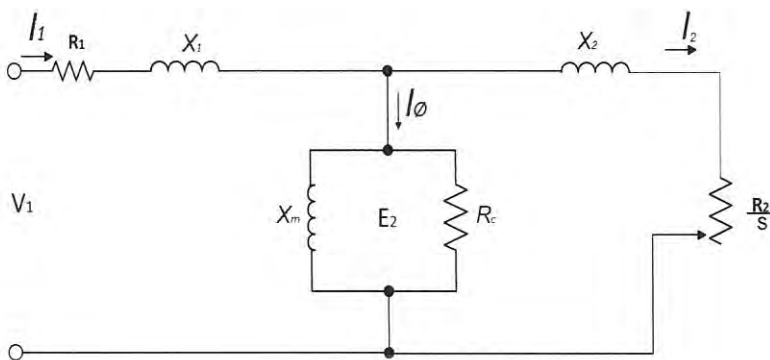
วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของสเตเตอร์ต่อเฟสสามารถแสดงได้ดังรูปที่...กำหนดให้  $V_1$ ,  $I_1$ ,  $R_1$  และ  $X_1$  เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าพิกัด ค่ากระแส ความต้านทานไฟฟ้า และความต้านทานเสมือน (Leakage reactance) ขณะหยุดนิ่งของสเตเตอร์ตามลำดับ  $R_c$  และ  $X_m$  เป็นค่าความต้านทานไฟฟ้าการสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss resistance) และค่าความต้านทานเสมือนการสร้างสนามแม่เหล็ก (Magnetizing reactance) ของสเตเตอร์ ตามลำดับ จากการพิจารณารวมวงจรสมมูลในรูปที่...และ... จะได้วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำดังรูปที่... โดยกำหนดให้ค่า  $E_2$ ,  $I_2$ ,  $R_2$  และ  $X_2$  เป็นค่าพิจารณาอยู่ทางด้าน

สเตเตอร์แล้ว



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของสเตเตอร์ต่อเฟส

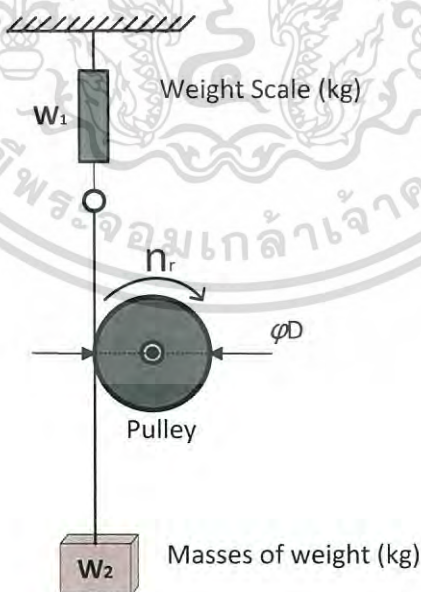
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าต่อเฟสของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อพิจารณาทางด้านสเตเตอร์

2.1.1.3 การทดสอบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟสขณะมีภาระทางกล

เป็นการทดสอบการขับภาระทางกลของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส โดยใช้ มู่เล่ (Pulley) ที่มีช่องใส่สำหรับระบายความร้อนเป็นภาระทางกล ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ใช้หลักการการเพิ่มภาระทางกลโดยเพิ่มลูกน้ำหนัก  $W_2$  จะเป็นการเพิ่มแรงบิดของภาระ



รูปที่ 2.8 ภาระทางกลของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้มู่เล่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าป้อนเข้ามอเตอร์ ( $P_{i/p}$ )

$$P_{i/p} = V_1 I_1 \cos \theta_1 \quad (2.9)$$

ความเร็วเชิงมุมทางกลของโรเตอร์ ( $\omega_r$ ) จาก

$$\omega_r = \frac{2\pi n_r}{60} \quad (2.10)$$

ทำให้สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าขาออก ( $P_{o/p}$ ) จาก

$$P_{o/p} = T_e \omega_r \quad (2.11)$$

ถ้า  $n_r = 0$  rpm แรงดึงในเส้นเชือกจะเท่ากันทำให้ได้ว่า

$$W_1 = W_2 \quad (2.12)$$

แต่ถ้า  $n_r > 0$  rpm เมื่อทิศทางของการหมุนทำให้ความฝืดช่วยดึงลูกน้ำหนักทำให้ค่าที่อ่านได้จากตราชั่งนั้น  $W_1$  จะน้อยกว่า  $W_2$  สามารถคำนวณแรงดึงของมอเตอร์ได้จาก

$$F_{o/p \text{ pulley}} = 9.81(W_2 - W_1) \quad (2.13)$$

ทำให้สามารถหาแรงบิดที่ขับภาระทางกล ( $T_{o/p \text{ pulley}}$ ) ได้จาก

$$T_{o/p \text{ pulley}} = 9.81(W_2 - W_1) \times \frac{D}{2} \quad (2.14)$$

และกำลังที่ใช้ในการขับภาระทางกลของมอเตอร์ ( $P_{o/p}$ )

$$P_{o/p} = T_{o/p \text{ pulley}} \times \omega_r \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $W_1$  คือ ค่าน้ำหนักที่อ่านได้จากเครื่องวัด (Kg.)

$W_2$  คือ ค่าน้ำหนักที่ใส่ (Kg.)

$D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของมู่เล่ (m)

#### 2.1.1.4 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า (Motor Efficiency)

มอเตอร์ไฟฟ้าจะมีค่าการสูญเสียที่แตกต่างกันอยู่ 4 ชนิด ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าคือ การสูญเสียทางไฟฟ้า การสูญเสียทางแม่เหล็กไฟฟ้า การสูญเสียทางกล และการสูญเสียจากภาระการใช้งาน การสูญเสียเหล่านี้สามารถลดลงได้โดยการใช้วัสดุที่มีคุณภาพ รวมทั้งการเพิ่มประสิทธิภาพของการออกแบบ

-การสูญเสียทางไฟฟ้า (Electrical loss) เป็นการสูญเสียในรูปความร้อนที่สเตเตอร์ (Stator) และ โรเตอร์ (Rotor) เป็นผลของความต้านทานของวัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวนำ ซึ่งการสูญเสียทางไฟฟ้าจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเราเพิ่มภาระทางกล และสามารถลดได้เมื่อเพิ่มขนาดของตัวนำไฟฟ้าที่สเตเตอร์และโรเตอร์

-การสูญเสียทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic loss) เกิดขึ้นจากการสูญเสียที่แกนเหล็ก (Core loss) ซึ่งประกอบไปด้วยความสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กในแกนเหล็ก (Hysteresis loss) และการสูญเสียจากกระแสไหลวน (Eddy current loss) ในวงจรมแม่เหล็กของมอเตอร์

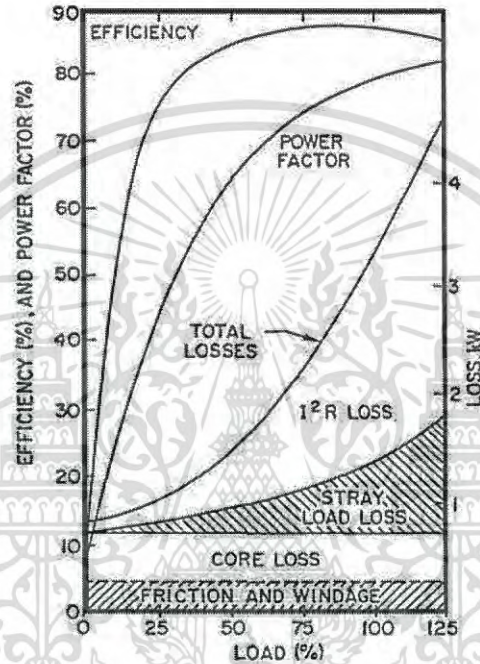
การสูญเสียเมื่อมอเตอร์ไม่มีโหลดจะมีค่าประมาณ 30% ของค่าความสูญเสียรวม (ในอัตราที่มอเตอร์ทำงานเต็มพิกัด) และเกิดขึ้นไม่ว่ามอเตอร์จะหมุนตัวเปล่า หรือใช้งานอยู่ก็ตาม

-การสูญเสียทางกล (Mechanical loss) เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานของแบร็ง และแรงต้านของครีบบรรยากาศของตัวมอเตอร์ (Friction & Wind age loss)

-การสูญเสียจากภาระการใช้งาน (Stray load loss) เป็นผลที่เกิดจากกระแสฮาร์โมนิกส์ (Harmonic- current) ในตัวนำของโรเตอร์ขณะที่มอเตอร์มีโหลด และการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนในขดลวดสเตเตอร์

ดังนั้นประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ค่ากำลังไฟฟ้าใดๆ จะสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{output}}{P_{input}} = \frac{P_{output}}{P_{output} + P_{loss}} = \frac{P_{input} - P_{loss}}{P_{input}} \quad (2.16)$$



รูปที่ 2.9 กราฟของค่าสูญเสียมอเตอร์ ประสิทธิภาพมอเตอร์ และค่าตัวประกอบกำลังต่อโหลด [2]

### 2.1.2 หม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส (Single Phase Transformer)

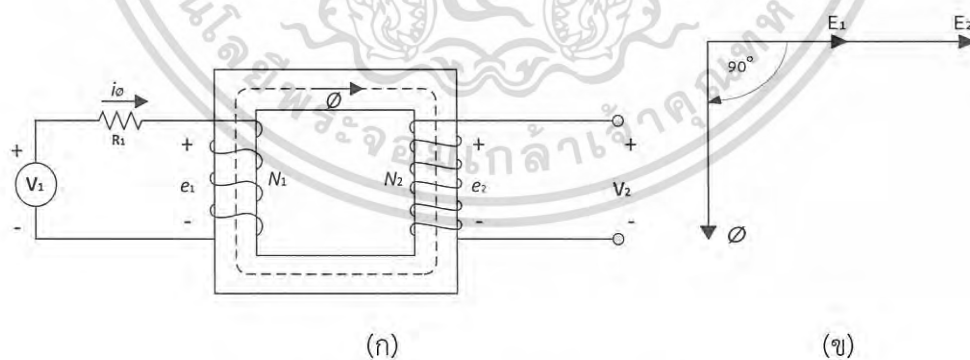
หม้อแปลงไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีหน้าที่ในการส่งผ่านค่ากำลังไฟฟ้าจากวงจรด้านหนึ่งไปยังอีกวงจรด้านหนึ่ง โดยมีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสโดยใช้หลักการของวงจรแม่เหล็กที่มีขดลวดซึ่งถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ จะสามารถทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดต่างๆในวงจรแม่เหล็กได้ โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดอย่างน้อย 2 ชุด พันอยู่บนวงจรแม่เหล็กเดียวกันเรียกชื่อว่า ขดลวดแรงดันสูง (High voltage winding) และขดลวดแรงดันต่ำ (Low voltage winding) ขณะที่นำหม้อแปลงมาใช้งานจะกำหนดให้เรียกชื่อขดลวดด้านที่รับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายว่าขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding) และเรียกชื่อขดลวดด้านที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าว่าขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding) โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อสาธารณะ โครงสร้างประกอบหลักของหม้อแปลงไฟฟ้าจะประกอบด้วยไมวากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แกนเหล็ก (Core) เป็นบริเวณที่มีพลังงานสนามแม่เหล็กปรากฏอยู่ โดยประกอบขึ้นมา โดยการใช้สารเฟอร์โรแมกเนติก ที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กที่ดีคือ มีความซึมซาบทางแม่เหล็กสูงเพื่อที่จะลดค่าสูญเสียทางแม่เหล็ก เรียกว่า ค่าสูญเสียจากวงฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loss) และเพื่อลดการเกิดสนามแม่เหล็กรั่ว โดยโครงสร้างส่วนมากจะใช้แผ่นเหล็กอ่อนบางๆมาเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ จนเกิดเป็นพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก เพื่อเป็นการลดค่าสูญเสียทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในแกนเหล็กที่เรียกว่าค่าสูญเสียจากกระแสไหลวน (Eddy current loss) ซึ่งการสูญเสียทั้งสองค่านี้รวมกันเรียกว่า การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss)

2. ขดลวด (Winding) เป็นบริเวณที่ทำให้เกิดค่าสนามแม่เหล็กและแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยมีโครงสร้างพื้นฐานลักษณะเป็นกลุ่มลวดตัวนำไฟฟ้าทำด้วยทองแดงจำนวน 2 ชุด (ขดลวดแรงดันสูงและขดลวดแรงดันต่ำ) พันอยู่บนวงจรมแม่เหล็กเดียวกันแต่จะไม่มี การต่อร่วมกันทางไฟฟ้า จะเห็นได้ว่าในขดลวดทั้งสองชุดจะทำให้เกิดค่าสูญเสียทางไฟฟ้าจากการที่มีกระแสไหลผ่านความต้านทานไฟฟ้าของขดลวด ซึ่งเรียกว่าค่าสูญเสียจากลวดทองแดง (Copper loss)

### 2.1.2.1 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

#### ขณะไม่มีภาระ (No Load)



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

เมื่อขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้ามีจำนวนรอบ  $N_1$  ได้รับค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับ  $v_1$  จากแหล่งจ่ายโดยที่ขดลวดทุติยภูมิซึ่งมีจำนวนรอบ  $N_2$  อยู่ในสภาพเปิดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Open-circuited) จะทำให้เกิดค่ากระแสไฟฟ้าปริมาณหนึ่งไหลในขดลวด  $N_1$  ซึ่งจะเรียกว่ากระแสกระตุ้น (Exciting current) ดังนั้นเมื่อวงจรแม่เหล็กถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสสลับจะทำให้เกิดค่าเส้นแรงแม่เหล็ก  $\Phi$  ในวงจรแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะสัญญาณรูปไซน์ และจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิดังนี้

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} = N_1 \omega \phi_m \cos \omega t = E_{m1} \cos \omega t \quad (2.17)$$

$$e_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} = N_2 \omega \phi_m \cos \omega t = E_{m2} \cos \omega t \quad (2.18)$$

$$\text{เมื่อ } \phi = \phi_m \sin \omega t \quad (2.19)$$

โดยกำหนดให้  $E_1$  และ  $E_2$  เป็นค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square) ของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ  $e_1$  และ  $e_2$  ตามลำดับ และ  $B_m$  เป็นความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (Testa) และ  $A_c$  เป็นพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก จะได้

$$E_1 = 4.44 f N_1 \phi_m = 4.44 f N_1 B_m A_c \quad (2.20)$$

$$E_2 = 4.44 f N_2 \phi_m = 4.44 f N_2 B_m A_c \quad (2.21)$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้สามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปของอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้า (Voltage ratio) ได้ดังนี้

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.10 (ข) จะเห็นได้ว่าเวกเตอร์ของเส้นแรงแม่เหล็กตามหลังแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำอยู่ 90 องศา และจากรูปที่ 2.10 (ก) สมการของแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิแสดงได้ดังนี้

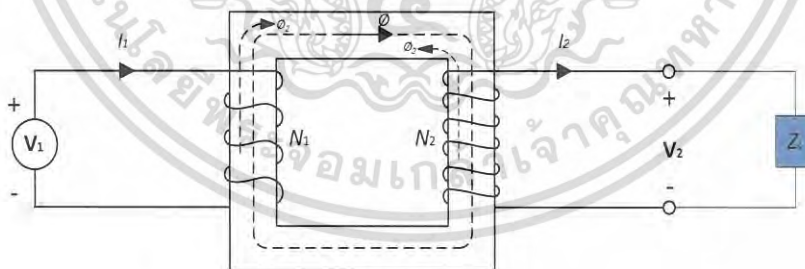
$$v_1 = R_1 i_0 + e_1, v_2 = e_2 \tag{2.23}$$

เมื่อ  $R_1$  เป็นความต้านทานไฟฟ้าของขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วค่า  $R_1$  และ  $i_0$  มีค่าน้อย

ในขณะที่ด้านทุติยภูมิไม่มีภาระไฟฟ้าจะไม่เกิดค่ากระแสในขดลวดทุติยภูมิจะมีเพียงค่ากระแสกระตุ้นเท่านั้น ขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่มีภาระจ่ายกำลังไฟฟ้าออกจากด้านทุติยภูมิแต่ได้มีการใช้กำลังไฟฟ้าด้านปฐมภูมิแล้ว คือ ค่ากำลังไฟฟ้ากระตุ้น (Exciting power) ซึ่งจะทำให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียไปเนื่องจากการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) ได้จากสมการ

$$P_C = V_1 I_0 \cos \theta_C \tag{2.24}$$

ขณะมีภาระ (Transformer Under Load)



รูปที่ 2.11 หลักการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะมีโหลด

ถ้ามีภาระไฟฟ้าต่อกับด้านทุติยภูมิ และปิดวงจรจะทำให้เกิดค่ากระแสเหนี่ยวนำในขดลวดทุติยภูมิซึ่งจะมีขนาดและเฟสขึ้นอยู่กัค่า  $Z_L$  ดังนี้

$$I_2 = \frac{V_2}{Z_L} \tag{2.25}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแส  $I_2$  นี้จะสร้างค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็ก  $N_2 I_2$  ขึ้นมาโดยจะต้องมีทิศตรงข้ามกับทิศของสนามแม่เหล็ก  $\emptyset (N_1 I_1)$  ที่ทำให้เกิดมันขึ้นมาซึ่งเป็นไปตามกฎของเลนซ์โดยที่  $N_2 I_2$  จะไปหักล้างกับ  $N_1 I_1$  ทำให้ค่า  $\emptyset$  ลดลงมีผลทำให้ค่า  $E_1$  ลดลง ดังนั้นอธิบายได้ว่าทางด้านปฐมภูมิจำเป็นต้องมีค่ากระแส  $I'_2$  เกิดขึ้นเพื่อสร้างค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็ก  $N_1 I'_2$  ขึ้นมาชดเชยกับค่า  $N_2 I_2$  เพื่อให้ยังคงมีค่าสนามแม่เหล็ก  $\emptyset$  เช่นเดิม

$$N_1 I_\emptyset - N_2 I_2 + N_1 I'_2 = N_1 I_\emptyset \quad (2.26)$$

$$N_2 I_2 = N_1 I'_2 \quad (2.27)$$

ดังนั้น จะได้ความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนกระแสไฟฟ้า (Current Ratio) ดังนี้

$$\frac{I'_2}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \quad (2.28)$$

และกระแสด้านทุติยภูมิที่จ่ายให้กับภาระไฟฟ้าจะทำให้เกิดกระแส  $I'_2$  เพิ่มขึ้นทางด้านปฐมภูมิโดยกำหนดให้มีเฟสเดียวกันและมีขนาดเป็นไปตามความสัมพันธ์ของอัตราส่วนกระแสไฟฟ้า ดังนั้นกระแสทางด้านปฐมภูมิทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ

$$I_1 = I_\emptyset + I'_2 \quad (2.29)$$

จะเห็นว่าขณะนี้หม้อแปลงไฟฟ้ามีการจ่ายกำลังไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิให้กับภาระไฟฟ้าเท่ากับ  $V_2 I_2$  โดยที่ค่ากำลังไฟฟ้านี้ได้มาจากการส่งผ่านในรูปของค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กจากขดลวดปฐมภูมิซึ่งมีการรับค่ากำลังไฟฟ้าเข้ามาจากแหล่งจ่ายเท่ากับ  $V_1 I_1$  ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะใช้งานแสดงได้ในรูปสมการ

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \theta_1 \quad (2.30)$$

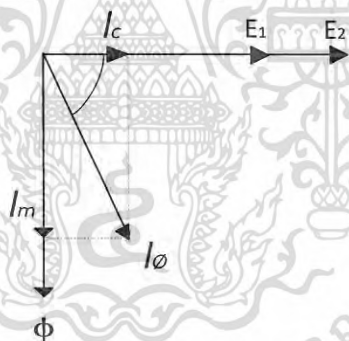
$$P_2 = V_2 I_2 \cos \theta_2 \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $P_1$  และ  $P_2$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของหม้อแปลงไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ ตามลำดับ และ  $\cos \theta_1$  คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า  $\cos \theta_2$  คือ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของภาระไฟฟ้า  $Z_L$

### 2.1.2.2 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า (Equivalent Circuit of Transformer)

ขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ายังไม่มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าออกจากด้านทุติยภูมิ จะเห็นได้ว่า ขดลวดทางด้านปฐมภูมิจะมีเพียงค่า กระแสกระตุ้นเท่านั้น แต่มีการใช้กำลังไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ แล้วมีค่าเท่ากับ  $V_1 I_0$  ซึ่งพบว่า จะเกิดค่ากำลังไฟฟ้า (W) ที่สูญเสีย ไปในการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้า เป็นสนามแม่เหล็กค่าหนึ่งเรียกว่าการสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) ในการอธิบาย พฤติกรรมทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการสูญเสียในลักษณะนี้จะกำหนดให้ค่ากระแสกระตุ้น  $I_0$  ประกอบไปด้วย ค่ากระแส 2 ส่วนประกอบได้แก่ ส่วนแรกเรียกว่า  $I_m$  (Magnetizing current) เป็นค่ากระแสที่ใช้สำหรับการสร้างสนามแม่เหล็กเพื่อทำให้เกิดการเหนี่ยวนำในขดลวดซึ่งจะกำหนดให้มีเฟสเดียวกันกับ เวกเตอร์  $\Phi$  ที่กระแสนี้สร้างขึ้นมา และส่วนที่สองเรียกว่า  $I_c$  (Core loss current) เป็นค่ากระแสที่ทำให้เกิดค่าการสูญเสียในแกนเหล็กซึ่งจะกำหนดให้มีเฟสเดียวกันกับเวกเตอร์  $E_1$  ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบของค่ากระแสกระตุ้น

จากรูปจะเห็นได้ว่า  $I_0$  จะมีเฟสตามหลัง  $E_1$  เป็นมุม  $\theta_c$  และมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$I_0 = I_c + I_m \quad (2.32)$$

$$I_c = I_0 \cos \theta_c \quad (2.33)$$

$$I_m = I_0 \sin \theta_c \quad (2.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

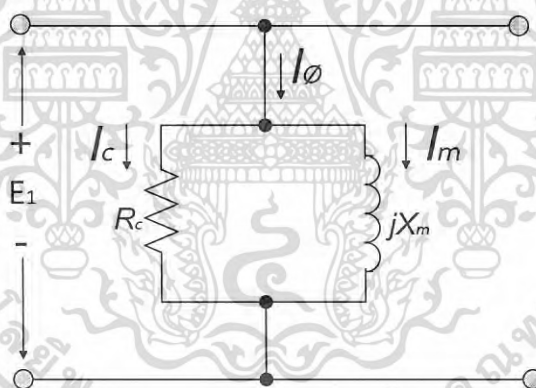
จากหลักการของโหนด (Node) ในสมการ(1)จะเปรียบเสมือนว่ามีค่าพารามิเตอร์ 2 ค่าต่อขนานกันอยู่ โดยถ้ากำหนดให้มีค่า  $I_c$  ไหลผ่านค่า  $R_c$  ซึ่งเป็นค่าความต้านทานสมมูลของการสูญเสียในแกนเหล็ก (Equivalent core loss resistance) จะได้ว่า

$$I_c = \frac{E_1}{R_c} \quad (2.35)$$

และค่า  $I_m$  ไหลผ่านค่า  $X_m$  ซึ่งเป็นค่าความต้านทานเสมือนสมมูลของการสร้างสนามแม่เหล็ก (Equivalent magnetizing reactance) มีลักษณะเป็นค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า จะได้ว่า

$$I_m = \frac{E_1}{j X_m} \quad (2.36)$$

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 2.36 สามารถแสดงเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2.13



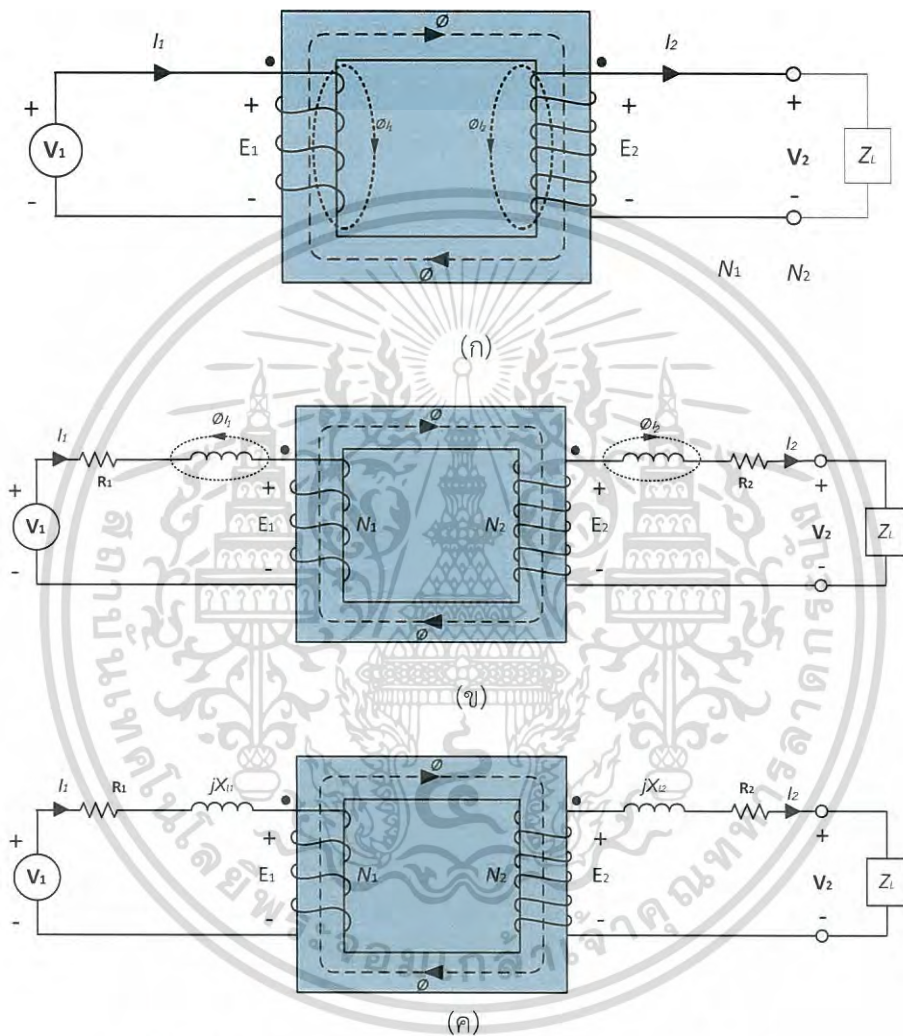
รูปที่ 2.13 วงจรสมมูลของค่ากระแสกระตุ้น

ดังนั้นค่าสูญเสียในแกนเหล็ก  $P_c$  (W) จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P_c = E_1 I_\theta \cos \theta_c = E_1 I_c \approx V_1 I_\theta \cos \theta_c \approx V_1 I_c \quad (2.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปด้านล่าง แสดงให้เห็นถึงแบบจำลองการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริงขณะจ่ายภาระไฟฟ้า  $Z_L$  โดยมีการเกิดสนามแม่เหล็กรั่ว  $\phi_1$  ด้วย ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงผลของค่าสนามแม่เหล็กรั่วและค่าความต้านทานของขดลวดจะสามารถแสดงเป็นแบบจำลองได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แบบจำลองการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริง

วงจรสมมูลทางไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริง (Exact equivalent circuit) แสดงได้ดังรูปที่ 2.14 โดยกำหนดให้

- $R_C$  : Core loss resistance
- $R_1$  : Primary resistance
- $R_2$  : Secondary resistance
- $X_m$  : Magnetizing reactance
- $X_{l1}$  : Primary leakage reactance
- $X_{l2}$  : Secondary leakage reactance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

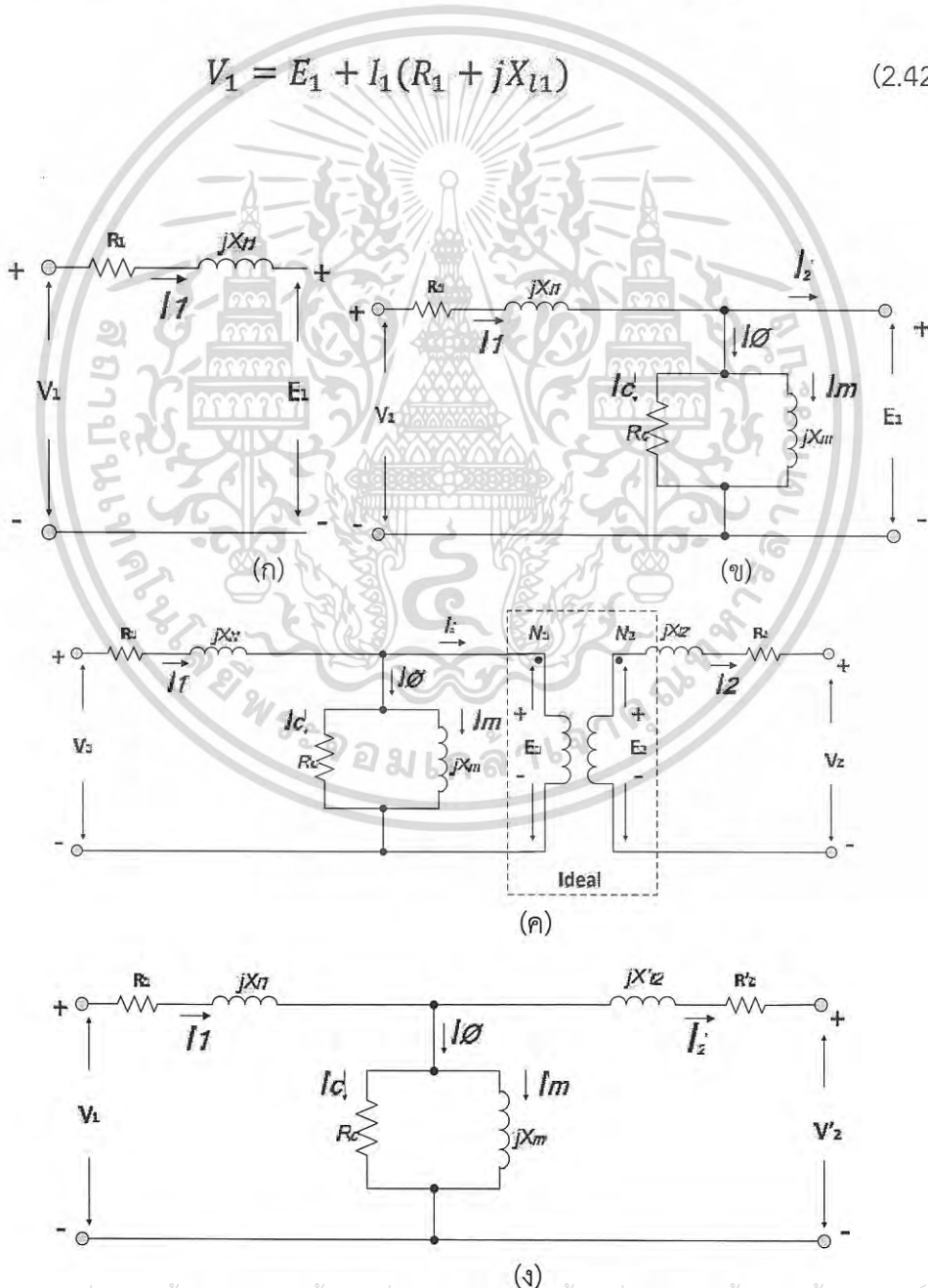
$$V'_2 = aV_2 \tag{2.38}$$

$$R'_2 = a^2R_2 \tag{2.39}$$

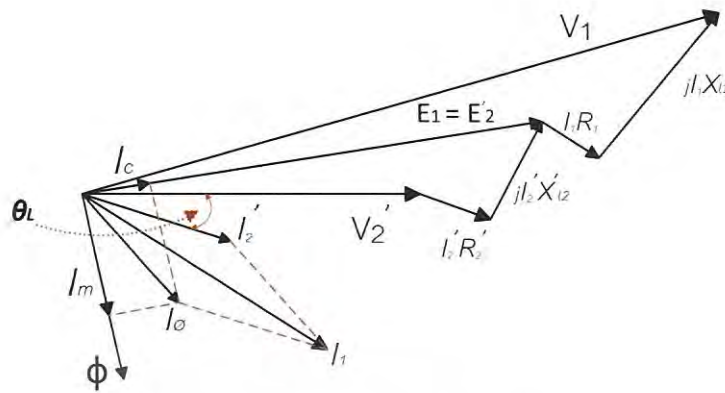
$$X'_{l2} = a^2X_{l2} \tag{2.40}$$

จากรูปด้านล่างจะได้ว่า  $E_1 = aE_2 \approx E'_2 = V'_2 + I'_2(R'_2 + jX'_{l2})$  (2.41)

$$V_1 = E_1 + I_1(R_1 + jX_{l1}) \tag{2.42}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 2.15 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริง  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



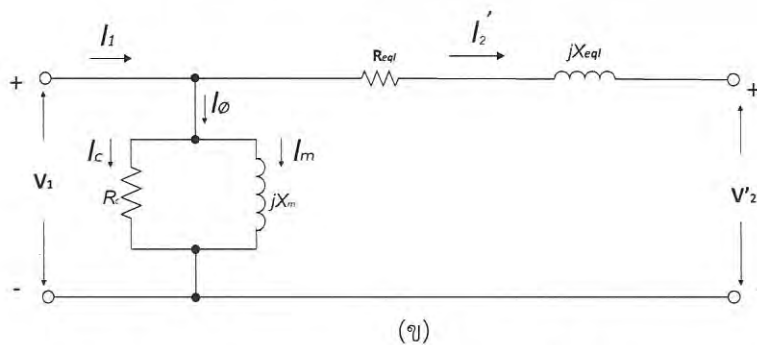
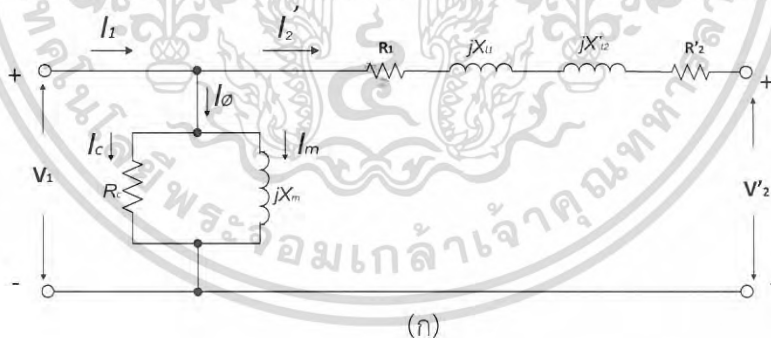
รูปที่ 2.16 เวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เป็นจริง

และสามารถพิจารณาให้เป็นวงจรสมมูลทางไฟฟ้าแบบประมาณ (Approximate equivalent circuit) แสดงได้ดังรูปที่ 2.17

$$R_{eq1} = R_1 + R_2' = R_1 + a^2 R_2 \tag{2.43}$$

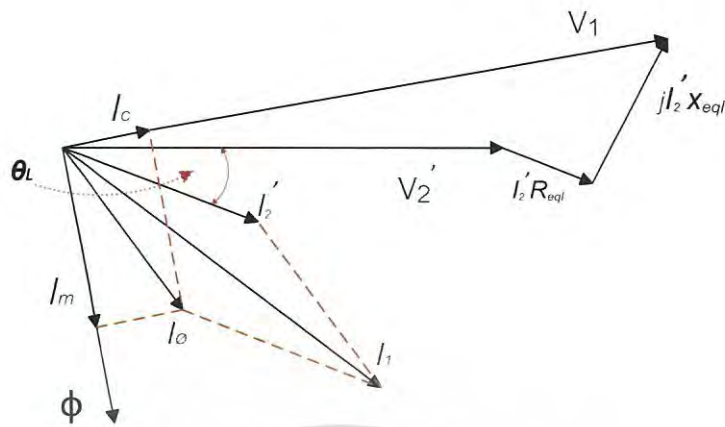
$$X_{eq1} = X_{l1} + X_{l2}' = X_{l1} + a^2 X_{l2} \tag{2.44}$$

จากรูป จะได้ว่า  $V_1 = V_2' + I_2'(R_{eq1} + jX_{eq1})$  (2.45)



รูปที่ 2.17 วงจรสมมูลทางไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 เวกเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบประมาณ

จากรูป 2.18 จะเห็นได้ว่าถ้ากำหนดให้ด้านทุติยภูมิมีการจ่ายค่าภาระไฟฟ้าด้วยค่าแรงดันทุติยภูมิ  $V_2$  ที่คงที่ ค่าแรงดันปฐมภูมิ  $V_1$  จะต้องมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งกำหนดให้เรียกการเปลี่ยนแปลงลักษณะนี้ว่า Voltage regulation

$$\% \text{ Voltage regulation} = \frac{V_1 - V_2'}{V_2'} \times 100 \quad (2.46)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2.3 ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Efficiency)

หม้อแปลงไฟฟ้าขณะที่จ่ายภาระไฟฟ้าจะเกิดค่าการสูญเสียสองรูปแบบคือ ค่าการสูญเสียในแกนเหล็ก  $P_c$  (Core loss) และค่าการสูญเสียในขดลวด  $P_{cu}$  (Copper loss) ซึ่งในขณะที่หม้อแปลงไม่มีการจ่ายภาระไฟฟ้า จะเกิดการสูญเสียเฉพาะค่าสูญเสียในแกนเหล็กเท่านั้นเนื่องจากค่าสูญเสียในขดลวดทองแดง  $I_0^2 R_1$  จะมีค่าน้อยมากทั้งนี้เพราะค่ากระแสกระแสกระตุ้นมีค่าที่ต่ำไม่เกิน 5% ของกระแสพิกัด) และค่าความต้านทานของขดลวดด้านปฐมภูมิ  $R_1$  มีค่าน้อย แต่ในขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายภาระไฟฟ้า จะเกิดการสูญเสียทั้งสองลักษณะ กล่าวคือ ค่าสูญเสียในแกนเหล็กซึ่งยังคงเกิดขึ้นเท่าเดิมเนื่องจากค่าสนามแม่เหล็กในแกนเหล็กไม่มีการเปลี่ยนแปลง และค่าสูญเสียจากขดลวดทองแดงเนื่องจากมีกระแสไหลผ่านทั้งทางด้านปฐมภูมิ  $I_1$  และด้านทุติยภูมิ  $I_2$  จะทำให้เกิดค่าสูญเสียทางไฟฟ้าในรูปของความร้อนเป็นไปตามสมการ

$$P_c = \frac{V_1^2}{R_c} \quad (2.47)$$

$$P_{cu} = I_1'^2 R_1 + I_2'^2 R_2, P_{cu} = I_2'^2 R_{eq} \quad (2.48)$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ค่ากำลังไฟฟ้าใดๆ จะสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้ ดังนั้นประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ค่ากำลังไฟฟ้าใดๆ จะสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{output}}{P_{input}} = \frac{P_{output}}{P_{output} + P_c + P_{cu}} = \frac{P_{input} - P_c - P_{cu}}{P_{input}} \quad (2.49)$$

จะเห็นได้ว่าขณะที่ไม่มีภาระไฟฟ้าค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีค่าเป็นศูนย์และเมื่อมีภาระไฟฟ้าค่าประสิทธิภาพจะ ขึ้นอยู่กับค่ากระแสและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของภาระไฟฟ้า ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าให้ สูงขึ้นสามารถกระทำได้โดยการลดค่าการสูญเสียต่าง ๆ เช่น เลือกใช้สารเฟอร์โรแมกเนติกที่มีค่าสูญเสียในแกนเหล็กต่ำๆ (ค่า  $P_c$  จะเกิดขึ้นค่อนข้างคงที่ตลอดเวลาทั้งวันไม่ว่าจะมีหรือไม่มีภาระไฟฟ้า) และออกแบบลวดตัวนำให้มีขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นเพื่อลดค่า ความต้านทานของขดลวดลง ทั้งนี้เพราะค่า  $P_{cu}$  จะขึ้นอยู่กับค่ากระแสและความต้านทานของขดลวด

## 2.2 ผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

### 2.2.1 การสูญเสียของมอเตอร์ไฟฟ้า

การสูญเสียในตัวมอเตอร์นั้นเกิดจากการสูญเสียในทางไฟฟ้าและการสูญเสียจากภาระการใช้งาน ซึ่งการสูญเสียนั้นจะมีค่าที่คงที่และค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามภาระของมอเตอร์

#### 2.2.1.1 การสูญเสียที่มีค่าคงที่

- การสูญเสียที่แกนเหล็ก (Core loss) เกิดจากพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนทิศทางของสนามแม่เหล็กในแกนเหล็ก (Hysteresis loss) รวมทั้งการสูญเสียที่เกิดจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก (Eddy loss) เรียกโดยรวมว่า “ค่าการสูญเสียขณะที่มอเตอร์ไม่มีภาระ” (No-load loss)
- การสูญเสียจากแรงลมและแรงเสียดทาน (Wind age and Friction loss) เกิดจากแรงเสียดทานในตลับลูกปืนและแรงต้านทานของครีบบระบายอากาศที่ตัวมอเตอร์
- การสูญเสียที่สเตเตอร์ (Stator loss) จะอยู่ในรูปของความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ขดลวดที่มีความต้านทานอยู่ภายใน
- การสูญเสียที่โรเตอร์ (Rotor loss) อยู่ในรูปความร้อนเช่นเดียวกับสเตเตอร์แต่เกิดที่ขดลวดในโรเตอร์

#### 2.2.1.2 การสูญเสียที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามภาระมอเตอร์

การสูญเสียจากภาระการใช้งาน เป็นการสูญเสียที่สเตเตอร์และโรเตอร์จะมีค่าการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นตามขนาดของภาระ โดยเรียกว่า “ค่าความสูญเสียขณะที่มอเตอร์มีภาระ” เกิดจาก

- กระแสไหลวนในแกนเหล็กที่โรเตอร์ขณะที่มีภาระ
- กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดที่สเตเตอร์
- ค่าการสูญเสียจากค่ากระแสฮาร์มอนิกในตัวนำของโรเตอร์ขณะที่มีภาระ
- ค่าสนามแม่เหล็กรั่วไหลที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าขณะที่มีภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 การสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้า

### 2.2.2.1. การสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)

การสูญเสียในแกนเหล็กจะประกอบไปด้วย 2 ชนิด คือการสูญเสียจากฮิสเตอร์รีซิส และการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก ทั้งนี้เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กกรรมมีค่าคงที่ตลอดเวลาทุกสภาวะโหลด ดังนั้นการสูญเสียชนิดนี้มีค่าคงที่แม้ว่าชนิดโหลดจะมีค่าเปลี่ยนแปลง

-การสูญเสียจากฮิสเตอร์รีซิส (Hysteresis Loss) เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้าสลับมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางที่เคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กจึงกลับขั้วไปมาตลอดเวลา การกลับทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กนี้ จะต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งเพื่อเอาชนะความฝืดของโมเลกุล พลังงานที่ใช้ไปก็คือพลังงานสูญเสียในรูปของพลังงานความร้อน จึงเรียกรวมการสูญเสียนี้ว่า ฮิสเตอร์รีซิส

-การสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Current Loss) เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้าสลับมีการเปลี่ยนแปลงขนาด และทิศทางที่เคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจึงเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางตลอดเวลา ด้วยการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กดังกล่าว จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าตามกฎของไมเคิลฟาราเดย์ เนื่องจากแกนเหล็กนั้นเป็นตัวนำชนิดหนึ่ง และในแกนเหล็กนั้นจะเป็นวงจรปิดและมีความต้านทานอยู่ด้วย จึงทำให้เกิดกระแสไหลวนขึ้นในแกนเหล็กและการสูญเสีย เนื่องจากผลกระแสไฟฟ้ายกกำลังสอง และความต้านทานของแกนเหล็ก จะแสดงผลในรูปของความร้อน การสูญเสียจะสามารถทำให้ลดลงได้ โดยการใช้แผ่นเหล็กบางๆ การสูญเสียในแกนเหล็กจะสามารถหาได้โดยการทดสอบสภาวะเปิดวงจร

### 2.2.2.2 การสูญเสียในขดลวดตัวนำ (Copper Loss)

การสูญเสียในขดลวดตัวนำหรือขดลวดทองแดง เกิดขึ้นเนื่องจากความต้านทานของขดลวดทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า ขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้าทำงานภาวะที่ไม่มีโหลด จะมีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการสูญเสียที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อต่อโหลดกับขดลวดทุติยภูมิจะมีไหลผ่านโหลดและกระแสไฟฟ้าในขดลวดปฐมภูมิจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการสูญเสียจึงมีค่ามากขึ้น จึงกล่าวได้ว่าการสูญเสียในขดลวดตัวนำของหม้อแปลงไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตามค่ากระแสไฟฟ้าของโหลด และสูญเสียในรูปของความร้อน

### 2.2.3 สาเหตุหลักของการเครียดที่ส่งผลกระทบต่อส่วนประกอบของมอเตอร์

- สภาพแวดล้อม คือเกิดจากขาดการรักษารักษาบำรุงและความสนใจมอเตอร์ และสภาพแวดล้อมนั้นจะนำไปสู่การทำงานของระบบระบายความร้อนที่มีอุณหภูมิแวดล้อมสูง, ความชื้น, การสั่นสะเทือนบนมอเตอร์
- ความร้อน เกิดจากโหลดเกิน, การเปลี่ยนแปลงแรงดันและแรงดันไม่สมดุล, การระบายความร้อนที่ไม่ดี, แรงเสียดทานและจุดร้อน
- ทางไฟฟ้า เกิดจากการที่แรงดันแต่ละเฟสไม่สมดุลกัน, ค่าTHD
- ทางกล โหลดของมอเตอร์, การเคลื่อนที่ของคอกซ์
- การสั่นสะเทือน ความเครียดชนิดนี้จะไม่เป็นปัญหาถ้ามอเตอร์มีความแน่นหนาและความปลอดภัย

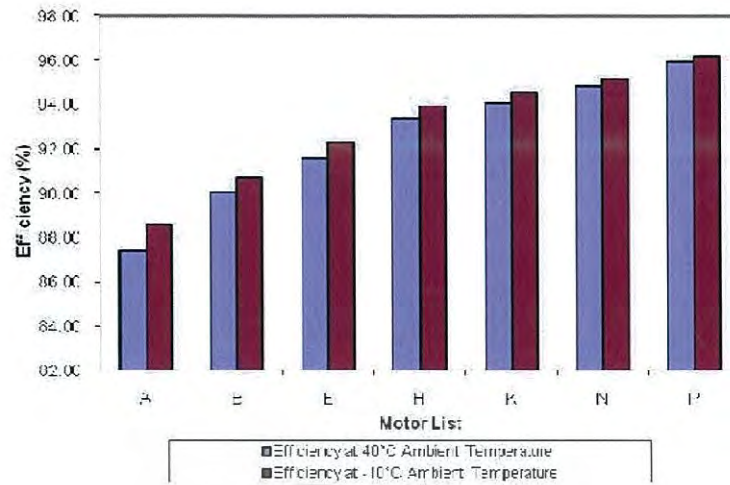
## 2.3 อุณหภูมิกับเครื่องจักรกลไฟฟ้า

### 2.3.1 อุณหภูมิกับการใช้งานมอเตอร์

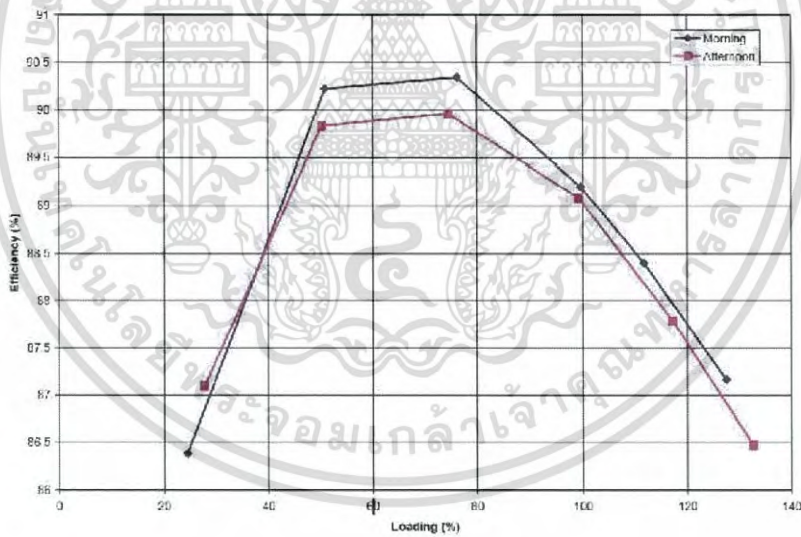
ค่าการสูญเสียทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการทำงาน โดยเฉพาะการสูญเสียที่สเตเตอร์ และการสูญเสียที่โรเตอร์ ซึ่งมีความไวสูงต่ออุณหภูมิ ความต้านทานตัวนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 4% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศา ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิห้องปกติ ดังนั้นประสิทธิภาพจะลดลง เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมที่เพิ่มขึ้น

ตามมาตรฐาน IEEE 112-B จำเป็นต้องปรับอุณหภูมิห้องไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแวดล้อมสำหรับมอเตอร์ที่ดำเนินการในเขตอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันไปตามฤดูกาลและสถานที่ตั้ง อุณหภูมิแวดล้อมสามารถแตกต่างกันระหว่าง -10 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส เพื่อให้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของการแปรผันของอุณหภูมิโดยรอบโดยจะมีการวิเคราะห์มอเตอร์ 7 รูปแบบ ซึ่งได้รับการจัดอันดับจากแบบฟอร์ม 3kW ถึง 200kW และทำการปรับอุณหภูมิห้องไว้ที่ -10 องศาเซลเซียส และ 40 องศาเซลเซียส การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพ พบว่าโดยเฉลี่ยมีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้นประมาณ 0.71% ที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

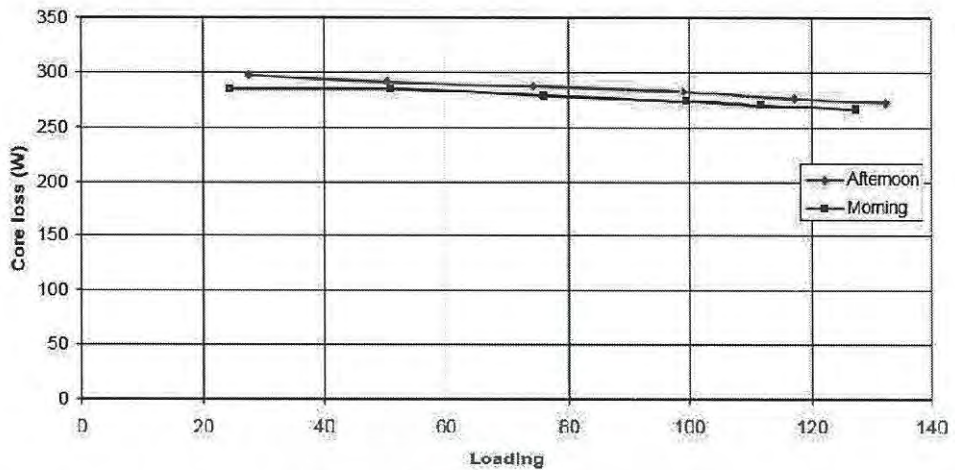


รูปที่ 2.19 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมต่างกัน [3]

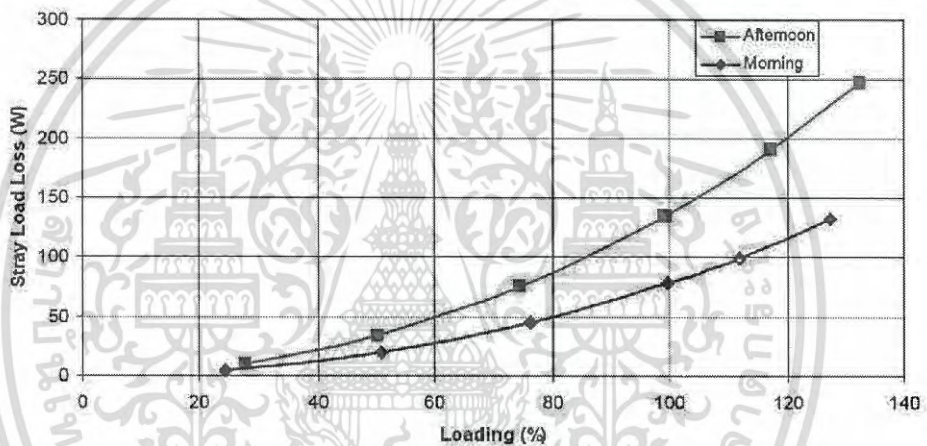


รูปที่ 2.20 กราฟแสดงประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ช่วงเวลาแตกต่างกันในแต่ละวัน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 กราฟแสดงการสูญเสียในแกนเหล็กของมอเตอร์ที่ช่วงเวลาแตกต่างกันในแต่ละวัน[4]



รูปที่ 2.22 กราฟแสดงการสูญเสียจากภาระการใช้งานของมอเตอร์ที่ช่วงเวลาแตกต่างกันในแต่ละวัน[4]

### 2.3.2 อุณหภูมิกับการใช้งานหม้อแปลง

เมื่ออุณหภูมิของตัวนำเปลี่ยนแปลง จะทำให้สภาพต้านทานของตัวนำประเภทโลหะเปลี่ยนแปลงหรือทำให้ความต้านทานของตัวนำเปลี่ยนแปลงไปด้วย ถ้ากำหนดให้

$R_0$  = ความต้านทานของโลหะตัวนำที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

$R_t$  = ความต้านทานของโลหะตัวนำที่อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส

$t$  = อุณหภูมิของโลหะตัวนำในหน่วยองศาเซลเซียส

$\alpha$  = สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (2.50)$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิของโลหะมีค่าสูงขึ้น ค่าความต้านทานของโลหะนั้นจะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย หรือ ค่าความต้านทานของโลหะแปรผันตรงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

โดยจะสอดคล้องกับความต้านทานของขดลวดทองแดงและแกนเหล็ก ซึ่งเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ค่าความต้านทานของขดลวดและแกนเหล็กก็จะสูงขึ้นตาม เมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง ค่าสูญเสียในขดลวดทองแดงและค่าสูญเสียในแกนเหล็กก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยแสดงในสมการที่ 2.51 , 2.52 และ 2.53

ค่าการสูญเสียในแกนเหล็ก

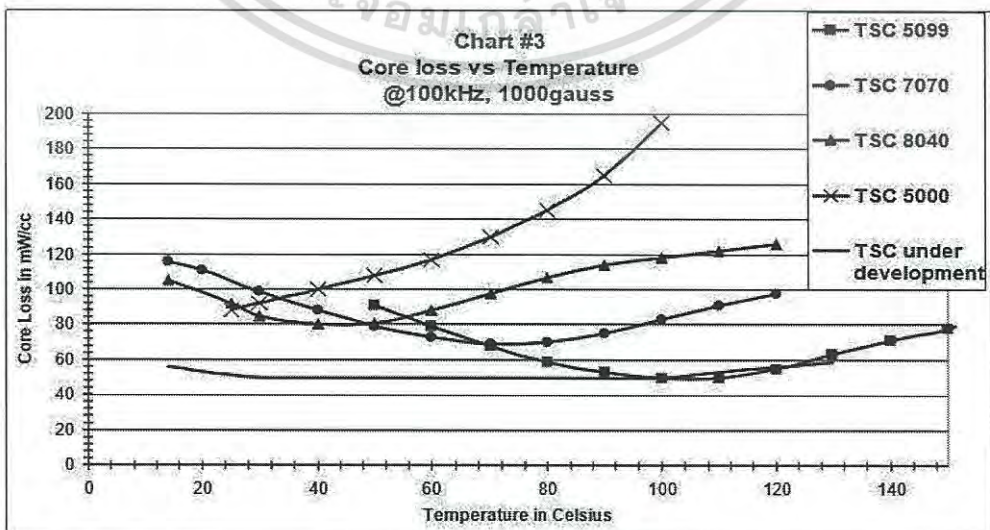
$$P_c = \frac{V_1^2}{R_c} \quad (2.51)$$

ค่าสูญเสียในขดลวดทองแดง

$$P_{cu} = I_2'^2 R_1 + I_2'^2 R_2' \quad (2.52)$$

$$P_{cu} = I_2'^2 R_{eq} \quad (2.53)$$

ซึ่งค่าความสูญเสียต่างๆจะส่งผลกับค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่อุณหภูมิแวดล้อมที่แตกต่างกันไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสูญเสียในแกนเหล็กและอุณหภูมิ[5]  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การระบายความร้อนของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

### 2.4.1 การระบายความร้อนของมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ติดตั้งไว้กลางแจ้งอาจมีปัญหาเกี่ยวกับการระบายความร้อน เพราะมีสิ่งกีดขวางทางระบายความร้อน เช่น ฝุ่นละออง, ริงนก, ใบไม้, หรือขยะ เป็นต้น การระบายความร้อนที่ไม่ดีเป็นตัวแปรที่ทำให้ตัวมอเตอร์ร้อนจัดจนส่งผลกระทบต่อการทำงาน ตามมาตรฐาน IEC 60034-6 ได้ระบุวิธีการระบายความร้อนของมอเตอร์ไฟฟ้า Standard Type of Motor Cooling (IC Code) ดังนี้

ตารางที่ 2.1 วิธีการระบายความร้อนตามมาตรฐาน IEC 60034-6

เลขตัวแรก	เลขตัวที่สอง
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4

เลขตัวแรก	เลขตัวที่สอง
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5		เครื่องจักรกลมีตัวแลกเปลี่ยนความร้อนรวมในตัว ด้วยอากาศรอบข้าง	5		ระบายความร้อนด้วยลมแบบแยกอิสระโดยอุปกรณ์ระบายความร้อนรวมภายในแต่
6		เครื่องจักรกลมีตัวแลกเปลี่ยนความร้อนรวมอยู่ภายนอก (ระบายความร้อน ด้วยอากาศรอบข้าง)	6		ระบายความร้อนด้วยลมแบบแยก อิสระโดยอุปกรณ์ระบาย
7		เครื่องจักรกลมีตัวแลกเปลี่ยนความร้อนรวมอยู่ในตัว ระบายความร้อนโดย ไม่ใช้อากาศรอบข้าง	7		ระบายความร้อนด้วยลมแบบแยก อิสระ อุปกรณ์ระบายความร้อนไม่ติดรวมกับ
8		เครื่องจักรกลมีตัวแลกเปลี่ยนความร้อนรวมอยู่ภายนอก (ระบายความร้อน โดยไม่ใช้อากาศรอบข้าง) (Machine mounted heat	8		ระบายความร้อน โดยการเคลื่อนที่ สัมผัส
9		เครื่องจักรกลมีตัวแลกเปลี่ยนความร้อนติดแยกอยู่ภายนอก ระบายความร้อนโดยไม่ใช้อากาศรอบข้าง	9		การระบายความร้อนที่ไม่ได้ระบุไว้ดังกล่าวข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

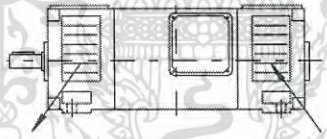
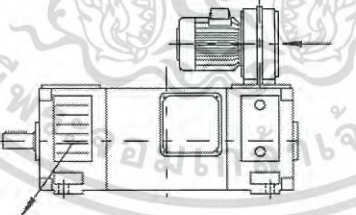
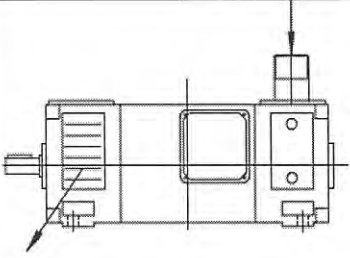
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบการระบายความร้อนตามมาตรฐานของ NEMA และ IEC สำหรับมอเตอร์มาตรฐาน

มาตรฐาน NEMA MG1-1.26	การระบายความร้อนตามมาตรฐาน IEC-34-6	
Open Drip-proof and/or weather protected motor	IC 01 หรือ IC 0A1	มอเตอร์มีอากาศไหลเข้าและไหลออกโดยอิสระ และระบายความร้อนด้วยลมภายในตัวเอง
Open inlet ducted, separate blower	IC 17 หรือ IC 1A7	ระบายความร้อนด้วยลมแบบมีท่อลมไหลเข้าได้ หนึ่งท่อ และระบายความร้อนด้วยลมแบบแยกอิสระโดยอุปกรณ์ระบายความร้อนไม่ติดร่วมกับเครื่องจักรกลมีระบบขับไม่ขึ้นอยู่กับเครื่องจักรกลหรือโดยแรงอัดอากาศจากของแหล่งจ่ายระบบ
Open outlet ducted, separate blower	IC 27 หรือ IC 2A7	ระบายความร้อนด้วยลมแบบมีท่อลมไหลออกได้หนึ่งท่อ และระบายความร้อนด้วยลมแบบแยกอิสระโดยอุปกรณ์ระบายความร้อนไม่ติดร่วมกับเครื่องจักรกลมีระบบขับไม่ขึ้นอยู่กับเครื่องจักรกลหรือโดยแรงอัดอากาศจากของแหล่งจ่ายระบบ
Pipe inlet ventilated, self ventilated	IC 11 หรือ IC 1A1	ระบายความร้อนด้วยลมแบบมีท่อลมไหลเข้าได้ หนึ่งท่อ และระบายความร้อนด้วยลมภายในตัวเอง
Pipe outlet ventilated, self ventilated	IC 21 หรือ IC 2A1	ระบายความร้อนด้วยลมแบบมีท่อลมไหลออกได้หนึ่งท่อ และระบายความร้อนด้วยลมภายในตัวเอง
Pipe inlet and outlet ventilated, self ventilated	IC 31 หรือ IC 3A1	ระบายความร้อนด้วยลมแบบมีท่อมีท่อลมไหลเข้าและไหลออก โดยระบายความร้อนด้วยลมภายในตัวเอง
Totally	IC 410	มอเตอร์ปิดมิดชิดระบายความร้อนด้วยพัดลม ระบายความร้อนด้วย

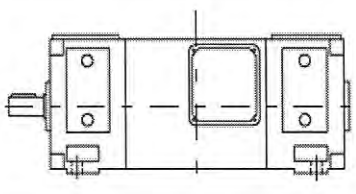
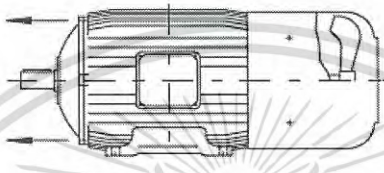
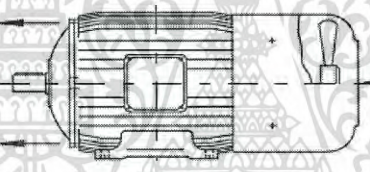
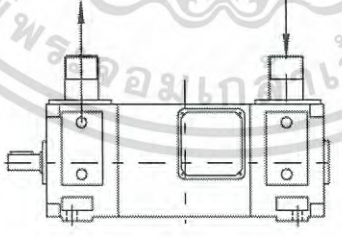
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

enclosed, non-ventilated		อากาศรอบข้าง โดยระบายความร้อนด้วยลมตามธรรมชาติ
Totally enclosed, fan cooled ribbed frame	IC 4 1 1 หรือ IC 4A1A1	มอเตอร์ปิดมิดชิดระบายความร้อนที่ผิวเฟรมด้วยพัดลม ระบายความร้อนด้วยอากาศรอบข้างและระบายความร้อนด้วยลมภายในตัวเอง
Totally enclosed, air over	IC 48	มอเตอร์ปิดมิดชิดระบายความร้อนด้วยพัดลม ระบายความร้อนด้วยอากาศรอบข้าง โดยระบายความร้อนผ่านการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ตัวอย่างเช่นโดยการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ผ่านอากาศ

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างวิธีการระบายความร้อนของมอเตอร์ไฟฟ้า

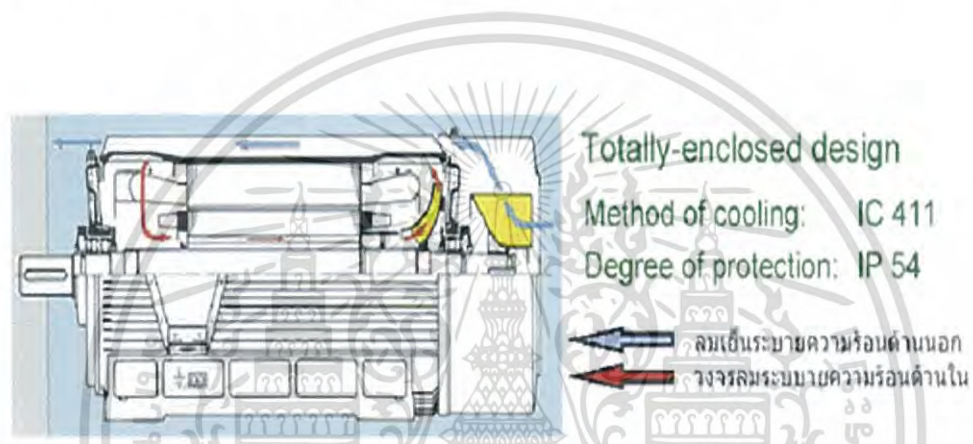
IC 01		มอเตอร์มีอากาศไหลเข้าและไหลออกโดยอิสระ และระบายความร้อนด้วยลมภายในตัวเอง
IC 06		มอเตอร์มีอากาศไหลเข้าและไหลออกโดยอิสระ และระบายความร้อนด้วยลมแบบแยก อิสระโดยอุปกรณ์ระบายความร้อนติดรวมกับเครื่องจักรกล
IC 17		ระบายความร้อนด้วยลมแบบมีท่อลมไหลเข้าได้ หนึ่งท่อ แลระบายความร้อนด้วยลมแบบแยกอิสระโดยอุปกรณ์ระบายความร้อนไม่ติดรวมกับเครื่องจักรกลมีระบบขับไม่ขึ้นอยู่กั

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		เครื่องจักรกลหรือโดยแรงอัดอากาศจากของแหล่งจ่ายระบบ
IC 410		มอเตอร์ปิดมิดชิด ระบายความร้อนด้วยอากาศรอบข้าง โดยระบายความร้อนด้วยลมตามธรรมชาติ
IC 411		มอเตอร์ปิดมิดชิดระบายความร้อนที่ผิวเฟรมด้วยพัดลม ระบายความร้อนด้วยอากาศรอบข้างและระบายความร้อนด้วยลมภายในตัวเอง
IC 416		มอเตอร์ปิดมิดชิดระบายความร้อนที่ผิวเฟรมด้วยพัดลม ระบายความร้อนด้วยอากาศรอบข้างอากาศเย็นจะถูกพัดผ่านพื้นผิวมอเตอร์ทั้งหมด โดยมีพัดลมแยกอิสระ
IC 37		ระบายความร้อนด้วยลมแบบที่มีท่อลมไหลเข้าและไหลออก อิสระอุปกรณ์ระบายความร้อนไม่ติดรวมกับเครื่องจักรกล แยกระบบขับโดยแรงอัดอากาศออกจากแหล่งจ่ายระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของการระบายความร้อน ทั้งด้านนอก และภายในตัวมอเตอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณลมที่ระบายความร้อน และความเย็นของลม ในขณะที่ปริมาณลมก็ขึ้นอยู่กับความเร็วของพัดลมยกกำลังสาม ( $Q \sim n^3$ ) ตามกฎพลศาสตร์ ดังนั้นเมื่อนำมอเตอร์อเมริกาที่ออกแบบให้ใช้ที่อุณหภูมิต่ำกว่ากัน ที่ระบบความถี่ 60 Hz ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที มาใช้ที่ระบบไฟฟ้า 50 Hz ความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที จะทำให้ประสิทธิภาพของการระบายความร้อนของมอเตอร์ลดลง ทำให้ความสามารถในการรองรับกระแสก็จะลดลงตามไปด้วย ทำให้มอเตอร์ไม่สามารถขับโหลดได้เต็มพิกัดตามขนาดกระแสพิกัด หากเรานำมอเตอร์ไปขับยังกระแสพิกัด ผลที่ตามมาคือมอเตอร์จะร้อนกว่าพิกัดที่ออกแบบไว้ ทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์สั้นลงอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.24 การระบายความร้อนของมอเตอร์

หากวิเคราะห์ดูตามหลักพลศาสตร์ การระบายความร้อน ส่วนที่ร้อนที่สุดคือ ส่วนกลางตัวมอเตอร์ เพราะอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดความร้อนคือ ขดลวดสเตเตอร์มากที่สุด ส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดคือส่วนท้ายตัวมอเตอร์เพราะอยู่ใกล้แหล่งลมเย็นที่ระบายความร้อนมากเนื่องจากรูปมอเตอร์ชนิดนี้ ออกแบบการระบายความร้อนโดยมีพัดลมติดกับแกนเพลลา ด้านตรงข้ามเพลลาขับ ทำหน้าที่ดูดลมเย็นจากทางด้านหลัง ผ่านไปยังครีระบายความร้อน โดยมีครีเป็นตัวช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวการระบายความร้อนโดยวิธีการนำพาความร้อนออกไป (IC411) จึงทำให้อุณหภูมิที่ แหวนรองลื่นด้านตรงข้ามเพลลาขับ (Non Drives End) จะมีอุณหภูมิต่ำไม่สูงมากนัก อันเนื่องมาจากติดตั้งอยู่ใกล้กับพัดลมระบายความร้อน และโดนลมเย็นระบายความร้อนมากที่สุด

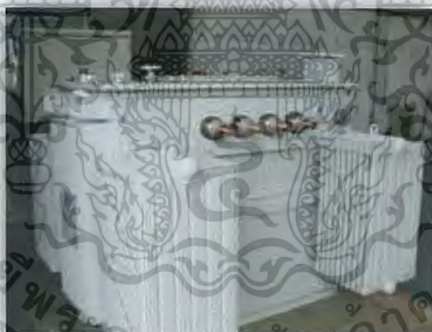
## 2.4.2 การระบายความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้า

สามารถแบ่งประเภทหม้อแปลงไฟฟ้าออกตามประเภทสารฉนวนและการระบายความร้อนจะแบ่งได้เป็น 2 ชนิดอย่างชัดเจนคือ ชนิดไม่ใช้ของเหลวเป็นฉนวนและระบายความร้อนด้วยอากาศ/แก๊ส (dry type) และชนิดใช้ของเหลวเป็นฉนวนและระบายความร้อนด้วยน้ำมัน (liquid-filled type)

โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีส่วนในการระบายความร้อนคือ ถังน้ำมันและครีบบนถังโลหะเชื่อมชิ้นรูป บรรจุน้ำมันและน้ำมันหม้อแปลง มีครีบริบหรือลอนลูกฟูกสำหรับระบายความร้อน หรือรับการขยายตัวของปริมาตรของน้ำมันเมื่อหม้อแปลงจ่ายโหลด ถังหม้อแปลงโดยทั่วไปจะมีครีบริบ หรือท่อระบายความร้อนอยู่ 3 แบบ คือ

1. แบบท่อ จะพบการระบายความร้อนแบบนี้กับหม้อแปลง 1 เฟส และ 3 เฟส ขนาดเล็กรุ่นเก่าๆ ซึ่งปัจจุบันหม้อแปลงที่มีครีบริบลักษณะนี้เลิกใช้แล้ว เนื่องจากประสิทธิภาพในการระบายความร้อนไม่ดีเท่าที่ควร

2. ครีบบนแผง (Panel) มีลักษณะเป็นแผงสี่เหลี่ยมซ้อนกัน โดยบริเวณตอนบนและตอนล่างจะถูกปั๊มขึ้นเป็นวงกลมแล้วเจาะรู จากนั้นจึงเชื่อมเรียงเข้าด้วยกันเป็นชั้นๆ



รูปที่ 2.25 ครีบริบหม้อแปลงแบบแผง

3. ครีบบนลอนลูกฟูก (Corrugate) จะมีจุดเชื่อมน้อยกว่าครีบริบระบายความร้อนแบบแผงและสามารถระบายความร้อนได้ดีกว่า 8%

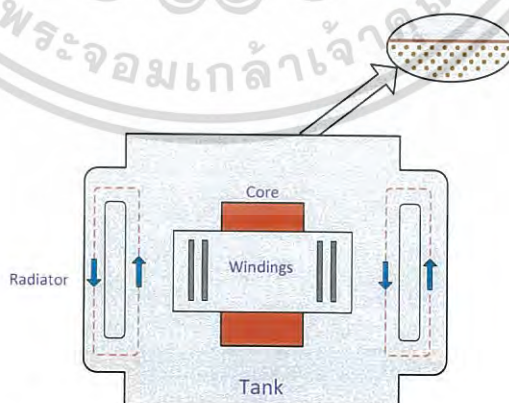


รูปที่ 2.26 ครีบหม้อแปลงแบบลอนลูกฟูก

การระบายความร้อนของหม้อแปลงมีดังนี้

1. การระบายความร้อนด้วยตัวเอง (Self-cooling) เป็นการระบายความร้อนด้วยอากาศธรรมชาติหรือลมธรรมชาติ จะให้กับหม้อแปลงขนาดต่ำกว่า 50 KV การระบายความร้อนด้วยแรงลม (Forced air cooling) เป็นการระบายความร้อนโดยใช้พัดลมติดตั้งด้านข้าง หรือด้านบนหม้อแปลง พัดลมหม้อแปลงนั้นจะมีอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน ซึ่งพัดลมจะทำงานเฉพาะช่วงเวลาที่หม้อแปลงจ่ายโหลดมาก ๆ หรือหม้อแปลงมีอุณหภูมิสูง เป็นวิธีการระบายความร้อนของหม้อแปลงชนิดไม่ใช้ของเหลวเป็นฉนวนและระบายความร้อนด้วยอากาศ/แก๊ส (dry type)

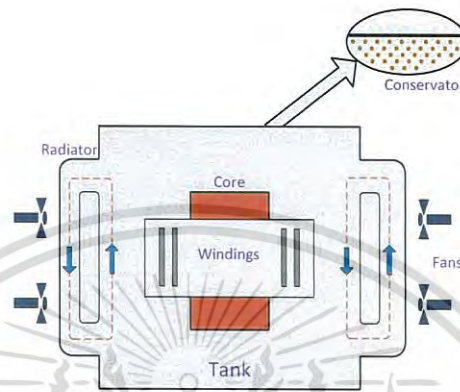
2. การระบายความร้อนด้วยตัวเอง และมีน้ำมันหมุนเวียน (Self-cooling and Oil circulation) เป็นการระบายความร้อนโดยอากาศธรรมชาติ และในหม้อแปลงจะมีน้ำมันหมุนเวียนผ่าน ส่วนประกอบของหม้อแปลง



รูปที่ 2.27 Self-cooling and Oil circulation

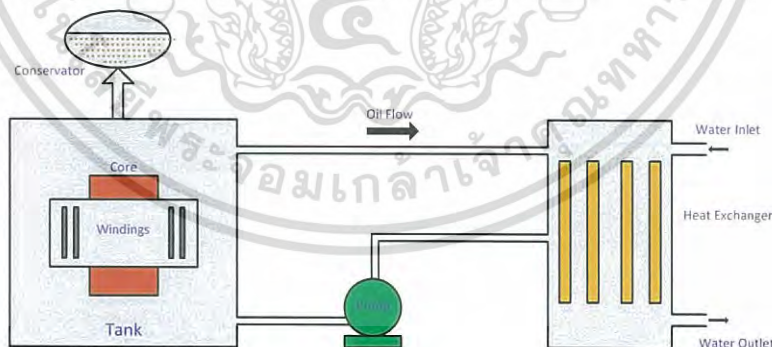
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การระบายความร้อนด้วยแรงลม และมีน้ำมันหมุนเวียน (Forced air cooling and Oil circulation) เป็นการระบายความร้อนโดยที่หม้อแปลงมีพัดลมช่วยระบายความร้อนติดตั้งอยู่ภายนอก และภายในหม้อแปลงจะมีน้ำมันอยู่น้ำมันจะหมุนเวียนนำพาความร้อนออกสู่ภายนอก



รูปที่ 2.28 Forced air cooling and Oil circulation

4.การระบายความร้อนด้วยน้ำมันหมุนเวียน (Water cooling and Oil circulation) เป็นการระบายความร้อนโดยภายในบรรจุน้ำมันไว้ส่วนอุปกรณ์ภายนอกของหม้อแปลงจะมีน้ำช่วยระบายความร้อนด้วยน้ำมันหม้อแปลง (Transformer Oil) น้ำมันที่ใช้ในการระบายความร้อนในหม้อแปลงจะต้องมีคุณลักษณะพิเศษคือ เป็นฉนวนที่ดีและทนแรงดันของไฟฟ้าแรงสูงได้ อีกทั้งจะต้องมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน



รูปที่ 2.29 Water cooling and Oil circulation

การสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงคือการสูญเสียในแกนเหล็กและการสูญเสียในลวดทองแดงจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในหม้อแปลงซึ่งเป็นผลให้อุณหภูมิของอุปกรณ์หม้อแปลงนั้นสูงขึ้นความร้อนจะทำให้ฉนวนของหม้อแปลงชำรุด ดังนั้นการระบายความร้อนจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

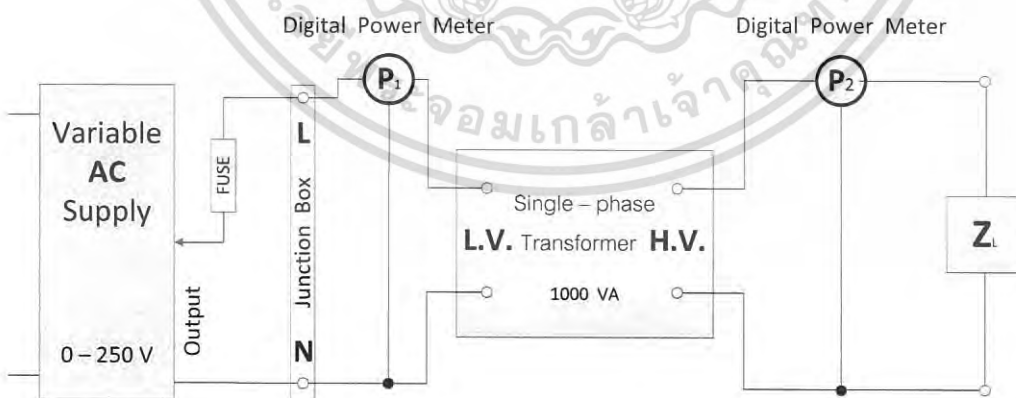
### บทที่ 3

## การออกแบบการทดลองและออกแบบการทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ GUI.

### 3.1 การออกแบบการทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

การทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส ขนาด 1000 VA โดยนำหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าไปในโครงเหล็กแบบปิดที่ติดหลอดไฟเพื่อให้ความร้อน และใช้หลอดไฟอีกชุดเพื่อเป็นโหลดของการทดลอง โดยจะเริ่มทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องคือประมาณ 25 องศาเซลเซียส จากที่ไม่มีภาระโหลดจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดโหลดหม้อแปลงไฟฟ้า(หลอดไฟขนาด 100W 10 หลอด , หลอดไฟขนาด 50W 2 หลอด) และบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจริงที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดของฝั่งขาเข้าและขาออกหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อนำไปหาค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าในท้ายที่สุด

หลังจากนั้นทำการทดลองที่อุณหภูมิประมาณ 40-70 องศาเซลเซียส โดยเปิดหลอดไฟในโครงเหล็กที่ใช้หม้อแปลงแบบปรับเลื่อนค่าได้เป็นแหล่งจ่ายไฟ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ได้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการทดลอง โดยให้ความร้อนประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะทำการทดลองและเก็บผลการทดลอง และในแต่ละกรณีการทดลองนั้นจะต้องปรับให้ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าคงที่ โดยมีค่าประมาณเท่ากับ 220 V. โดยมีวงจรการทดลองดังนี้



รูปที่ 3.1 วงจรการทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 อุปกรณ์การทดลอง

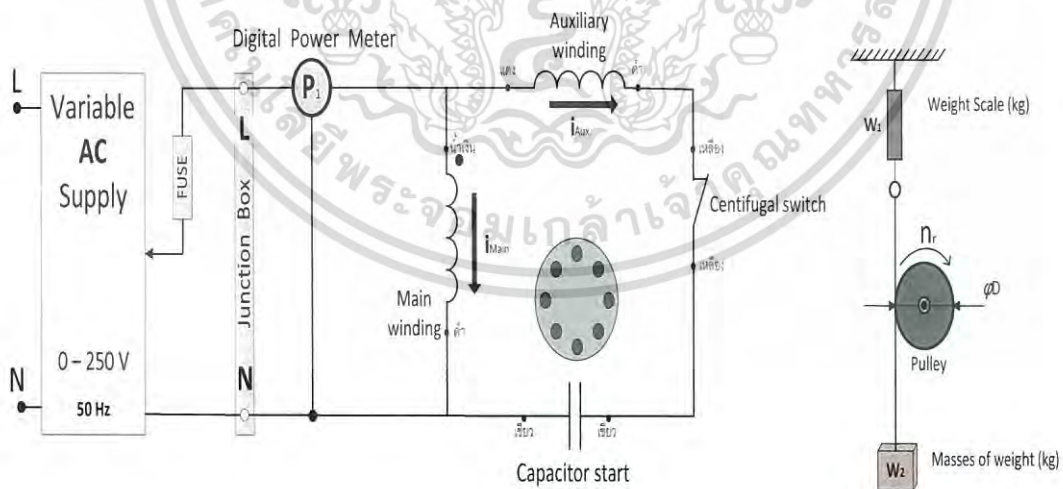
1. หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ขนาด 1000 VA (Class H)	1	ตัว
2. โครงเหล็กให้ความร้อนหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส	1	โครง
3. ชุดหลอดไฟให้ความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส	8	หลอด
4. Multimeter	1	ตัว
5. IR Therometer	1	ตัว
6. Digital Power Meter	2	ตัว
7. Variac Transformer 0-250 V.	2	ตัว
8. Junction Box	3	กล่อง
9. โหลดของการทดลอง (หลอดไฟ 100 W)	10	หลอด
10. โหลดของการทดลอง (หลอดไฟ 50 W)	2	หลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การออกแบบการทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส (Induction Motor)

การทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้านั้นจะทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/4 HP(200 W) โดยนำมอเตอร์ไฟฟ้าเข้าไปในโครงเหล็กแบบปิดที่ติดหลอดไฟเพื่อให้ความร้อน และใช้ลูกตุ้มน้ำหนัก 0.5 กก. จำนวน 5 อัน , ลูกตุ้มน้ำหนัก 0.25 กก. จำนวน 2 อัน เป็นโหลดของการทดลอง โดยจะเริ่มทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องคือประมาณ 25 องศาเซลเซียส จากไม่มีภาระโหลดจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดโหลดมอเตอร์ไฟฟ้า(น้ำหนักลูกตุ้มรวมทั้งหมด 3 กก.) และบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจริงทางด้านขาเข้ามอเตอร์ไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด และวัดค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าและค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งน้ำหนักในแต่ละกรณีการทดลอง และนำไปหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงทางด้านขาออกของมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อนำไปหาค่าประสิทธิภาพพอมอเตอร์ไฟฟ้าในท้ายที่สุด

หลังจากนั้นทำการทดลองที่อุณหภูมิประมาณ 40-70 องศาเซลเซียส โดยเปิดหลอดไฟในโครงเหล็กที่ใช้หม้อแปลงแบบปรับเลื่อนค่าได้เป็นแหล่งจ่ายไฟ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ได้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการทดลอง โดยให้ความร้อนประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะทดลองและเก็บผลการทดลองในแต่ละอุณหภูมิการทดลอง และการทดลองในแต่ละอุณหภูมิการทดลองนั้นจะต้องฉีดน้ำมันหล่อลื่นให้กับเชือกที่พันกับมู่เสี้ยวของมอเตอร์ไฟฟ้าก่อนการทดลองทุกครั้ง โดยมีวงจรการทดลองดังนี้



รูปที่ 3.2 วงจรการทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

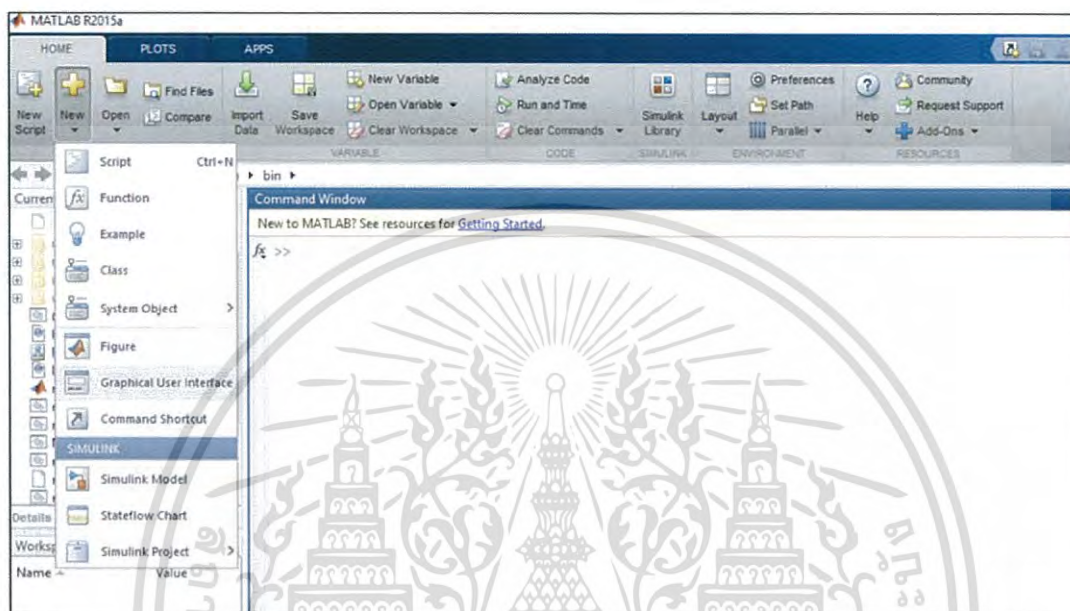
## 3.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

1. มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส ขนาด 1/4 HP (200 W.)	1	ตัว
2. โครงเหล็กให้ความร้อนมอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส	1	โครง
3. ชุดหลอดไฟให้ความร้อนของมอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส	8	หลอด
4. Multimeter	1	ตัว
5. IR Therometer	1	ตัว
6. Digital Power Meter	1	ตัว
7. Tachometer	1	ตัว
8. Variac Transformer 0-250 V.	2	ตัว
9. Junction Box	3	กล่อง
10. โหลดของการทดลอง (ลูกตุ้มน้ำหนัก 0.5 กก.)	5	ลูก
11. โหลดของการทดลอง (ลูกตุ้มน้ำหนัก 0.25 กก.)	2	ลูก
12. ชุดทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้า(เครื่องชั่งน้ำหนัก, เชือก, แท่นวางลูกตุ้ม)	1	ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

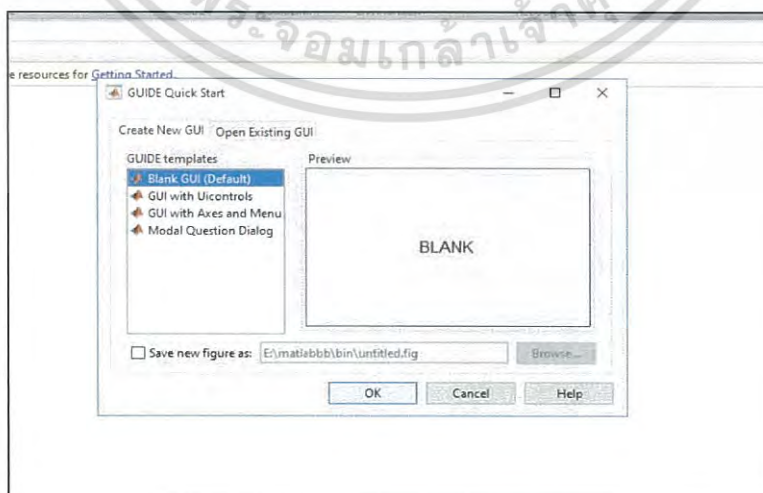
### 3.3 การออกแบบการทำนายค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟสใน GUI.

ในการทำนายค่าประสิทธิภาพ จะต้องหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลดและอุณหภูมิการทดลอง ซึ่งใช้ในการคำนวณใน GUI. (Graphic User Interface) และออกแบบเพื่ออำนวยความสะดวกการใช้งานของผู้ใช้ โดยใช้โปรแกรม MATLAB R2015a.



รูปที่ 3.3 การเปิดโปรแกรม MATLAB เพื่อใช้งาน GUI.

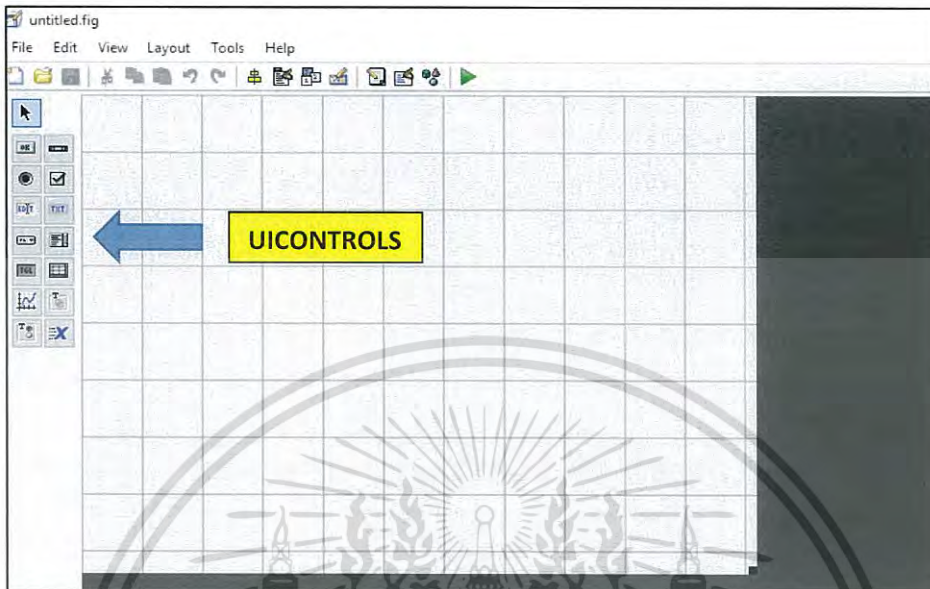
โดยจะต้องออกแบบรูปร่างของโปรแกรมการใช้งาน โดยเลือกที่ Blank GUI. และกด OK. หรือกดไปดูลักษณะได้ที่เช่น GUI with Uicontrols. ตามรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.4 การสร้างโปรแกรม GUI.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นจะขึ้นหน้าต่างตามรูปด้านล่าง ทางแถบด้านซ้ายจะมีปุ่มให้เลือกใช้งานตามความต้องการ (uicontrols) ดังนี้ โดยจะต้องเขียน Code คำสั่งเพิ่มไปเพื่อใช้ตามงานที่ต้องการ



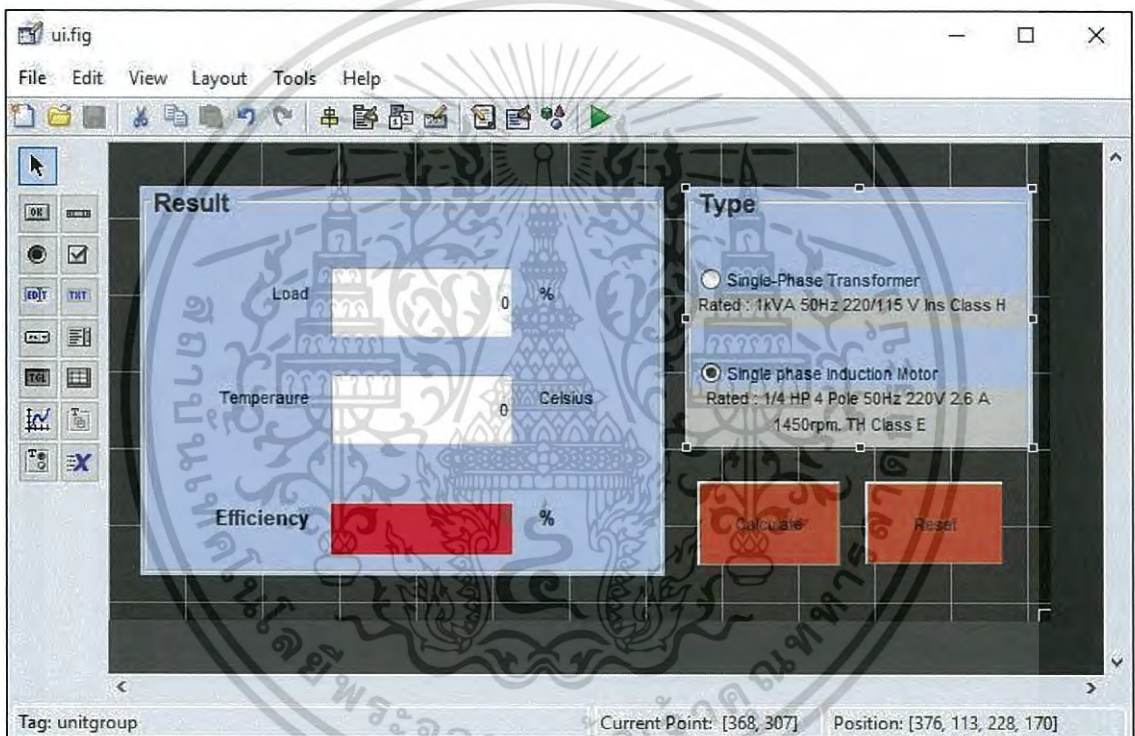
รูปที่ 3.5 ปุ่มควบคุมต่างๆ

1. ปุ่มกด (Pushbutton) การสร้างปุ่มกดนี้ก็เพื่อใช้สำหรับเป็นปุ่มในการติดต่อกับผู้ใช้
2. กล่องตรวจสอบ (Check Box) เป็นกล่องใช้สำหรับเลือกกระทำอย่างใดอย่างหนึ่ง ทำหน้าที่คล้าย on/off คำสั่ง
3. ปุ่ม Radio (Radio Button) เป็นปุ่มแสดงค่าคุณสมบัติ เมื่อเลือกก็จะมีค่าคุณสมบัติเป็น 1 ไม่เลือกก็จะมีค่าเป็น 0
- 4.กล่องรายการ (List Box) เป็นกล่องรายการที่ให้เลือกใช้งานสิ่งที่อยู่ในกล่องรายการนั้น
5. Popup Menus เป็นเมนูรายการที่อยู่บนหน้าต่างรูปภาพ และสามารถเลือกเมนูต่างๆที่อยู่ด้านในได้ตามต้องการ
6. ตัวเลื่อน (Sliders) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เมาส์เลื่อนเพื่อเลือกค่าที่อยู่ภายในช่วงที่ต้องการโดยตัวเลื่อนจะแสดงตำแหน่งที่สัมพันธ์กับค่าที่เลือกไว้
7. กรอบ (Frames) สามารถใช้กรอบล้อมปุ่มควบคุมและตัวอักษรต่างๆได้ตามต้องการ เพื่อสะดวกในการใช้งานและดูเรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ตัวอักษรที่อยู่กับที่ (UI static text) ใช้ในการเขียนคำอธิบายการทำงานของเมนู และรายการควบคุมต่างๆ

โดยทางผู้วิจัยได้ออกแบบโปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพได้ดังนี้ เพราะการศึกษานี้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมต่อค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส โดยนำค่าของผลการทดลองมาใช้งาน โดยตัวแปรหลัก คือ เปอร์เซนต์โหลดและอุณหภูมิการทดลอง ที่ใช้เพื่อหาประมาณค่าประสิทธิภาพ โดยหาสมการความสัมพันธ์จากนำค่าผลการทดลองมาสร้างกราฟระหว่างค่าเปอร์เซนต์ความสูญเสียต่อเปอร์เซนต์โหลดและอุณหภูมิการทดลอง เพื่อหาค่าประสิทธิภาพในท้ายที่สุด



รูปที่ 3.6 โปรแกรมการประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส

หลังจากนั้น กดปุ่ม Run (Ctrl+T) เพื่อที่จะรัน Code และหน้าต่างโปรแกรมที่ออกแบบไว้ขึ้นมา และจะต้องเขียน Code คำสั่งเพิ่มตามความต้องการใช้งานแต่ละปุ่มควบคุม โดยสมการที่หาได้จากผลการทดลองนั้น นำมาใส่ในค่าของ Efficiency เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

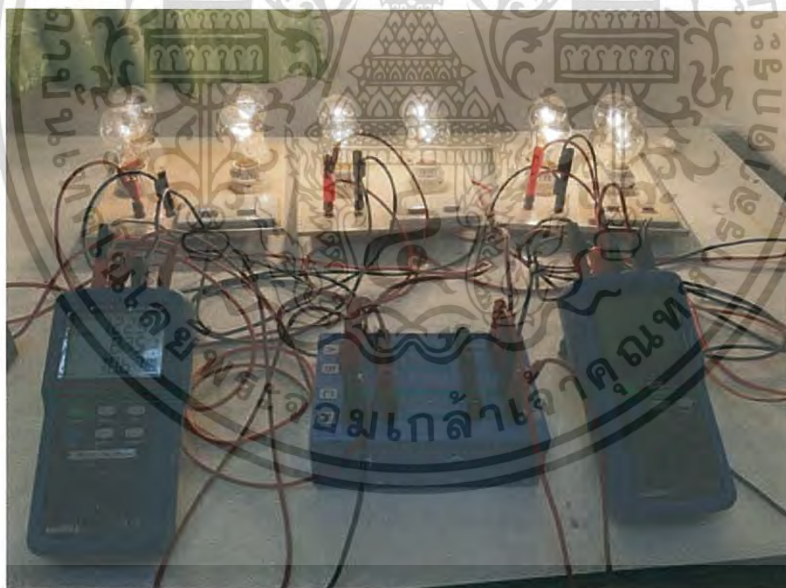
## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

##### 4.1.1 วิธีทำการทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้า

การทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส นั้นจะทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องก่อน (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) โดยใช้ Variable AC Supply 0-250 V เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง หลังจากนั้นปรับค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า (ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ) จนทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าทางทุติยภูมิ (ด้านแรงดันไฟฟ้าสูง) มีค่าประมาณเท่ากับ 220 V ให้โพลตของการทดลองตลอดเวลาการทดลอง โดยการทดลองจะแบ่งทำการวัดค่าต่างๆทางไฟฟ้าจากที่ 0-100 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดโพลตหม้อแปลงไฟฟ้า และทำการทดลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ขนาดเดียวกันจำนวน 3 ตัว

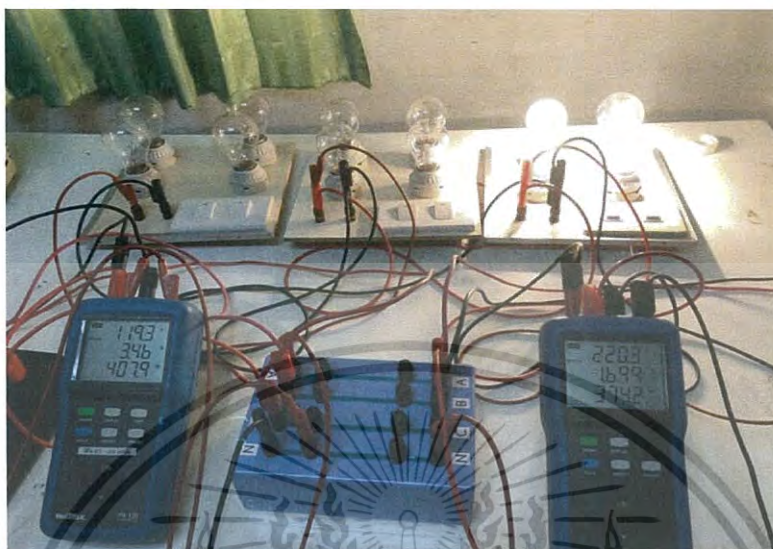


รูปที่ 4.1 โพลตที่ 100 เปอร์เซ็นต์

หลังจากนั้นบันทึกค่าอุณหภูมิแวดล้อมโดยจะวัดอุณหภูมิจาก IR THERMOMETER จะวัดที่ด้านในโครงเหล็กที่ออกแบบมาเพื่อให้ความร้อนหม้อแปลงไฟฟ้า และบันทึกค่า กระแสไฟฟ้า,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าจริง จาก AC POWER METER (Digital) ของทั้ง2ด้านของหม้อแปลงไฟฟ้า หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าในแต่ละกรณีไหลด



รูปที่ 4.2 การวัดค่าทางไฟฟ้าจาก AC POWER METER

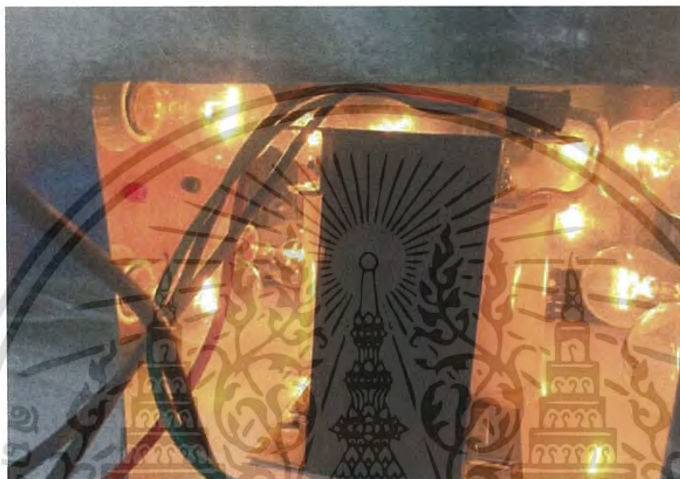


รูปที่ 4.3 การวัดค่าอุณหภูมิจาก IR THERMOMETER

ทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปจากอุณหภูมิห้อง จะใช้ Variable AC Supply 0-250 V อีก 1 ตัว เพื่อใช้จ่ายไฟฟ้าให้ชุดหลอดไฟเพื่อให้ความร้อนที่อยู่ในโครงเหล็กที่ออกแบบมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้น โดยจะค่อยๆปรับแรงดันไฟฟ้าจนได้ที่อุณหภูมิที่ต้องการทำการทดลอง (ทำการทดลองที่ 25-70 องศาเซลเซียส) แล้วปล่อยให้ให้ความร้อนประมาณ 1 ชั่วโมง จึงทำการทดลองเหมือนการทดลองที่ อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำการหาค่าประสิทธิภาพของแต่ละกรณีโหลดเดียวกันของแต่ละอุณหภูมิ การทดลอง นำมาเปรียบเทียบกับเพื่อหาผลสรุปการทดลองว่าอุณหภูมิมีผลกระทบอย่างไรต่อ ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 4.4 การให้ความร้อนหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อทำการทดลอง



รูปที่ 4.5 ภาพรวมของการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2. ผลการทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้า

โดยจะนำค่าที่วัดได้จาก AC POWER METER (Digital) คือ ค่ากระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าจริง ทั้ง 2 ด้านของหม้อแปลง นำมาใส่ในตารางเพื่อหาค่าต่างๆต่อไป ตารางการทดลองจะแบ่งตามแต่ละอุณหภูมิการทดลองดังนี้

##### ผลการทดลองหม้อแปลงไฟฟ้าตัวที่ 1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	117.0	118.2	119.2	120.4	121.0	122.4	122.6
I1(A)	0.503	1.884	3.460	5.080	6.700	8.350	8.770
P1(W)	26.7	215.4	406.5	606.9	806.5	1018.0	1071.0
cos $\theta$ 1	0.45	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.2	220.6	220.1	220.8	220.2	220.5	220.6
I2(A)	0.000	0.849	1.695	2.560	3.420	4.290	4.540
P2(W)	0.0	187.2	373.1	564.5	753.1	946.8	995.9
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	1.025	1.880	2.906	3.419	4.615	4.786
a= V1/V2	0.53	0.53	0.54	0.55	0.55	0.55	0.56
Plosses(W)	26.7	28.2	33.4	42.4	53.4	71.2	75.1
EFF(%)	0.00	86.91	91.78	93.01	93.38	93.00	92.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้ง 40 องศาเซลเซียส

	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	117.1	118.3	119.3	120.5	121.4	122.3	122.7
I1(A)	0.505	1.878	3.450	5.070	6.710	8.340	8.750
P1(W)	26.6	214.9	406.7	606.5	810.2	1015.0	1070.0
cos $\theta$ 1	0.45	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.4	220.5	220.2	220.5	220.6	220.0	220.1
I2(A)	0.000	0.846	1.690	2.550	3.420	4.290	4.510
P2(W)	0.0	186.7	372.1	562.1	754.6	943.1	992.3
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	1.025	1.879	2.903	3.672	4.441	4.782
a= V1/V2	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55	0.56
Plosses(W)	26.6	28.2	34.6	44.4	55.6	71.9	77.7
EFF(%)	0.00	86.87	91.49	92.68	93.14	92.91	92.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	117.2	118.5	119.5	120.5	121.5	122.2	122.6
I1(A)	0.503	1.880	3.460	5.070	6.710	8.350	8.760
P1(W)	26.3	214.7	409.2	610.2	810.1	1018.0	1070.0
cos $\theta$ 1	0.44	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.3	220.0	220.4	220.2	220.1	220.1	220.0
I2(A)	0.000	0.848	1.699	2.560	3.420	4.300	4.510
P2(W)	0.0	186.6	374.4	562.8	752.2	945.5	992.1
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	1.109	1.962	2.815	3.669	4.266	4.607
a= V1/V2	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55	0.56
Plosses(W)	26.3	28.1	34.8	47.4	57.9	72.5	77.9
EFF(%)	0.00	86.91	91.49	92.23	92.85	92.88	92.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

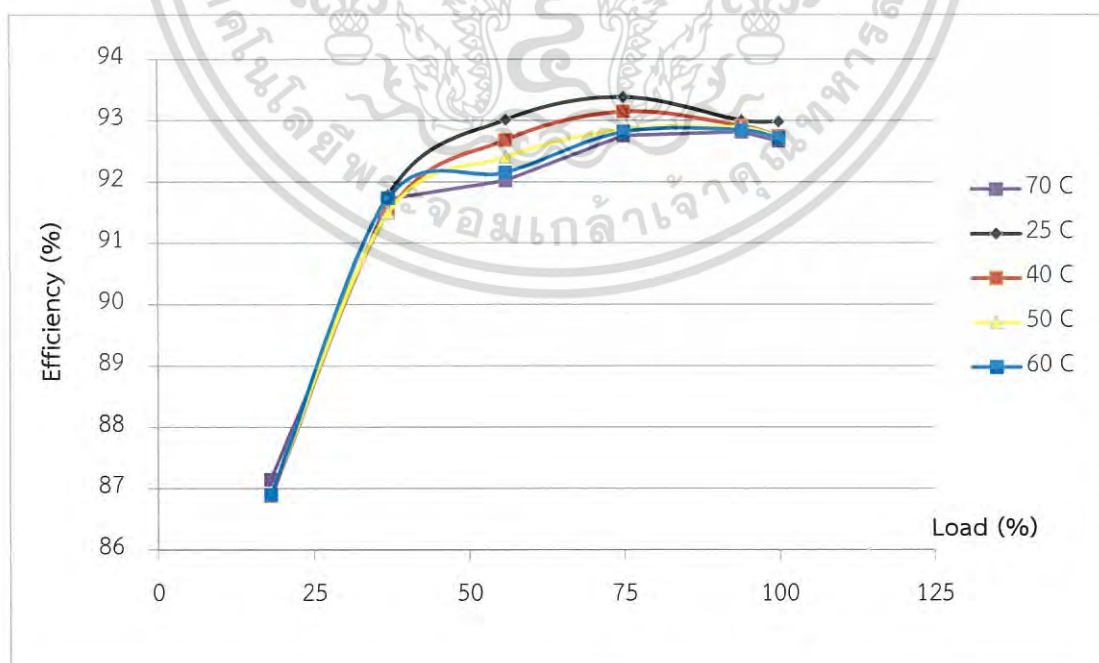
	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	117.0	118.4	119.3	120.8	121.0	122.0	122.7
I1(A)	0.504	1.881	3.46	5.070	6.700	8.340	8.760
P1(W)	25.9	215.3	407.9	610.3	809.4	1017.0	1073.0
cos $\theta$ 1	0.44	0.97	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.0	220.4	220.3	220.5	220.4	220.0	220.5
I2(A)	0.000	0.849	1.699	2.560	3.420	4.300	4.520
P2(W)	0.0	187.1	374.2	562.4	751.2	944.2	994.8
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
% VR.	0.000	1.196	1.966	3.248	3.419	4.273	4.872
a= V1/V2	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55	0.56
Plosses(W)	25.9	28.2	33.7	47.9	58.2	72.8	78.2
EFF(%)	0.00	86.90	91.73	92.15	92.81	92.84	92.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	116.9	118.3	119.2	120.4	121.4	122.5	122.8
I1(A)	0.506	1.879	3.460	5.060	6.700	8.340	8.760
P1(W)	25.6	214.7	407.2	605.3	809.8	1018.0	1073.0
cos $\theta$ 1	0.43	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.0	220.4	220.4	220.2	220.3	220.4	220.6
I2(A)	0.000	0.849	1.699	2.550	3.420	4.300	4.520
P2(W)	0.0	187.1	373.5	557.0	751.1	944.8	994.3
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	1.197	1.967	2.994	3.849	4.790	5.047
a= V1/V2	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56
Plosses(W)	25.6	27.6	33.7	48.3	58.7	73.2	78.7
EFF(%)	0.00	87.14	91.72	92.02	92.75	92.81	92.66

กราฟการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแต่ละอุณหภูมิ



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลองหม้อแปลงไฟฟ้าตัวที่ 2

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	117.1	118.1	119.2	120.1	121.3	122.4	122.5
I1(A)	0.551	1.899	3.460	5.080	6.720	8.350	8.750
P1(W)	27.4	215.7	407.4	605.8	810.0	1017.0	1067.0
cos $\theta$ 1	0.42	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.3	220.0	220.3	220.3	220.4	220.4	220.0
I2(A)	0.000	0.848	1.693	2.550	3.420	4.290	4.500
P2(W)	0.0	186.5	373.1	562.1	753.8	945.4	989.7
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	1.196	1.965	3.248	3.419	4.273	4.872
a= V1/V2	0.53	0.54	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55
Plosses(W)	27.4	29.2	34.3	43.7	56.2	71.6	77.3
EFF(%)	0.00	86.46	91.58	92.78	93.06	92.96	92.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	117.3	118.2	119.3	120.6	121.5	122.3	122.9
I1(A)	0.558	1.898	3.460	5.070	6.700	8.340	8.770
P1(W)	27.2	215.7	406.7	606.7	809.5	1016.0	1072.0
cos $\theta$ 1	0.42	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.5	220.1	220.1	220.5	220.3	220.1	220.5
I2(A)	0.000	0.847	1.688	2.550	3.420	4.280	4.510
P2(W)	0.0	186.4	371.7	562.3	752.4	943.1	993.8
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	0.767	1.705	2.813	3.580	4.262	4.774
a= V1/V2	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55	0.55
Plosses(W)	27.2	29.3	35	44.4	57.1	72.9	78.2
EFF(%)	0.00	86.41	91.39	92.68	92.94	92.82	92.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	117.0	118.2	119.3	120.4	121.4	122.7	123.3
I1(A)	0.553	1.892	3.460	5.070	6.710	8.340	8.770
P1(W)	26.6	214.8	406.5	606.5	809.7	1018.0	1076.0
cos $\theta$ 1	0.41	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.1	220.0	220.1	220.4	220.3	220.0	220.6
I2(A)	0.000	0.845	1.689	2.550	3.420	4.290	4.510
P2(W)	0.0	185.9	371.6	561.2	752.5	943.0	995.6
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	1.025	1.966	2.906	3.761	4.872	5.385
a= V1/V2	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56
Plosses(W)	26.6	28.9	34.9	45.3	57.2	75.0	80.4
EFF(%)	0.00	86.54	91.41	92.53	92.93	92.63	92.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 60 องศาเซลเซียส

	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	117.2	118.2	119.3	120.4	122.0	123.0	123.4
I1(A)	0.558	1.887	3.450	5.060	6.700	8.350	8.750
P1(W)	26.2	214.0	406.4	605.7	812.8	1022.0	1075.0
cos $\theta$ 1	0.400	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.4	220.1	220.1	220.1	220.5	220.3	220.5
I2(A)	0.000	0.845	1.691	2.550	3.420	4.290	4.510
P2(W)	0.0	185.9	372.2	559.3	754.2	944.9	994.4
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	0.853	1.792	2.730	4.095	4.949	5.290
a= V1/V2	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56
Plosses(W)	26.2	28.1	34.2	46.4	58.6	77.1	80.6
EFF(%)	0.00	86.87	91.58	92.34	92.79	92.45	92.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	117.2	118.2	119.5	120.6	121.6	123.0	123.5
I1(A)	0.560	1.893	3.460	5.060	6.700	8.340	8.760
P1(W)	26.0	214.6	407.6	605.9	810.6	1021.0	1077.0
cos $\theta$ 1	0.40	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.5	220.0	220.4	220.2	220.1	220.4	220.4
I2(A)	0.000	0.849	1.694	2.550	3.420	4.290	4.510
P2(W)	0.0	186.7	373.4	558.1	751.0	943.4	994.0
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	0.853	1.962	2.901	3.754	4.949	5.375
a= V1/V2	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56
Plosses(W)	26.0	27.9	34.2	47.8	59.6	77.6	83.0
EFF(%)	0.00	86.99	91.61	92.11	92.65	92.39	92.29

กราฟการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแต่ละอุณหภูมิ



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองหม้อแปลงไฟฟ้าตัวที่ 3

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	117.1	118.1	119.0	120.4	121.4	122.0	122.3
I1(A)	0.540	1.890	3.460	5.070	6.710	8.340	8.750
P1(W)	27.5	214.9	405.9	605.7	809.5	1013.0	1066.0
cos $\theta$ 1	0.43	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.3	220.0	220.0	220.4	220.3	220.0	220.0
I2(A)	0.000	0.843	1.688	2.550	3.420	4.290	4.500
P2(W)	0.0	185.6	371.4	562.0	754.1	942.5	991.0
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	0.854	1.622	2.818	3.672	4.184	4.441
a= V1/V2	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55	0.55
Plosses(W)	27.5	29.3	34.5	43.7	55.4	70.5	75.0
EFF(%)	0.00	86.36	91.50	92.78	93.15	93.04	92.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	117.1	118.1	119.1	120.3	121.3	122.4	122.8
I1(A)	0.543	1.894	3.460	5.070	6.710	8.350	8.760
P1(W)	27.2	215.3	406.4	605.6	809.5	1017.0	1070.0
cos $\theta$ 1	0.43	0.96	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.3	220.4	220.2	220.3	220.5	220.2	220.5
I2(A)	0.000	0.847	1.691	2.550	3.420	4.290	4.510
P2(W)	0.0	186.2	372.2	561.1	753.9	944.5	994.4
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	0.854	1.708	2.733	3.586	4.526	4.867
a= V1/V2	0.53	0.53	0.54	0.55	0.55	0.55	0.56
Plosses(W)	27.2	29.1	34.2	44.5	55.6	72.5	75.6
EFF(%)	0.00	86.48	91.58	92.65	93.13	92.87	92.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	117.1	118.0	119.3	120.3	121.4	122.1	122.6
I1(A)	0.542	1.893	3.460	5.070	6.710	8.330	8.740
P1(W)	26.7	215.0	407.7	605.2	810.2	1014.0	1068.0
cos $\theta$ 1	0.42	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.4	220.2	220.4	220.2	220.5	220.0	220.1
I2(A)	0.000	0.849	1.693	2.550	3.420	4.290	4.510
P2(W)	0.0	187.0	373.3	559.5	754.5	941.4	992.1
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	0.768	1.879	2.733	3.672	4.270	4.697
a= V1/V2	0.53	0.53	0.54	0.55	0.55	0.55	0.56
Plosses(W)	26.7	28.0	34.4	45.7	55.7	72.6	75.9
EFF(%)	0.00	86.97	91.56	92.45	93.12	92.84	92.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

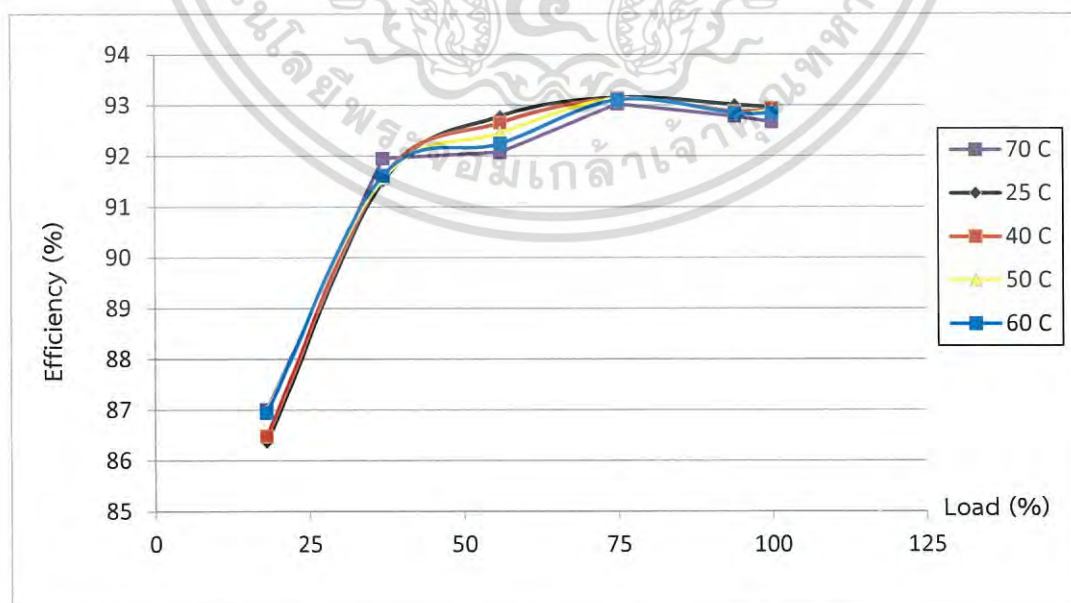
	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	116.9	118.2	119.0	120.5	121.4	122.6	122.8
I1(A)	0.544	1.888	3.460	5.080	6.710	8.350	8.750
P1(W)	26.2	214.5	406.3	606.8	809.3	1019.0	1070.0
cos $\theta$ 1	0.41	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.0	220.3	220.0	220.3	220.3	220.4	220.2
I2(A)	0.000	0.846	1.693	2.550	3.420	4.290	4.510
P2(W)	0.0	186.5	372.2	559.7	753.5	946.1	993.4
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	1.112	1.796	3.079	3.849	4.876	5.047
a= V1/V2	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.55	0.56
Plosses(W)	26.2	28.0	34.1	47.1	55.8	72.9	76.6
EFF(%)	0.00	86.94	91.61	92.24	93.10	92.84	92.84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

	No-Load	18 %	37 %	56%	75%	94%	100%
V1(V)	117.1	118.2	119.2	120.2	121.3	122.5	123.0
I1(A)	0.545	1.885	3.460	5.070	6.700	8.340	8.750
P1(W)	25.9	213.9	406.4	605.5	808.5	1017.0	1072.0
cos $\theta$ 1	0.41	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
V2(V)	220.2	220.1	220.4	220.1	220.1	220.2	220.2
I2(A)	0.000	0.845	1.695	2.550	3.420	4.290	4.510
P2(W)	0.0	186.1	373.7	557.5	752.1	943.6	993.5
cos $\theta$ 2	-	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
%VR.	0.000	0.939	1.793	2.647	3.587	4.611	5.038
a= V1/V2	0.53	0.54	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56
Plosses(W)	25.9	27.8	32.7	48	56.4	73.4	78.5
EFF(%)	0.00	87.00	91.95	92.07	93.02	92.78	92.67

กราฟการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแต่ละอุณหภูมิ



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส

### 4.2.1 วิธีทำการทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้า

การทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้า 1 เฟส นั้นจะทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องก่อน (ประมาณ 25 องศาเซลเซียส) โดยใช้ Variable AC Supply 0-250 V เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าทางด้านขาเข้าของมอเตอร์ โดยทำการทดลองจากไม่มีภาระโหลดจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดโหลดมอเตอร์ไฟฟ้า และให้แรงดันไฟฟ้าทางด้านขาเข้าของมอเตอร์ไฟฟ้ามีค่าคงที่ประมาณเท่ากับ 220 V ตลอดการทดลอง และทำการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส ขนาดเดียวกันจำนวน 3 ตัว



รูปที่ 4.9 โหลดที่ 100 เปอร์เซ็นต์

หลังจากนั้นบันทึกค่าอุณหภูมิแวดล้อมโดยจะวัดอุณหภูมิจาก IR THERMOMETER จะวัดที่ด้านในโครงเหล็กที่ออกแบบมาเพื่อให้ความร้อน และบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจริงทางด้านขาเข้ามอเตอร์ไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด และวัดค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าและค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งน้ำหนักในแต่ละกรณีการทดลอง และนำไปหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงทางด้านขาออกของมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อนำไปหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้าในแต่ละกรณีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



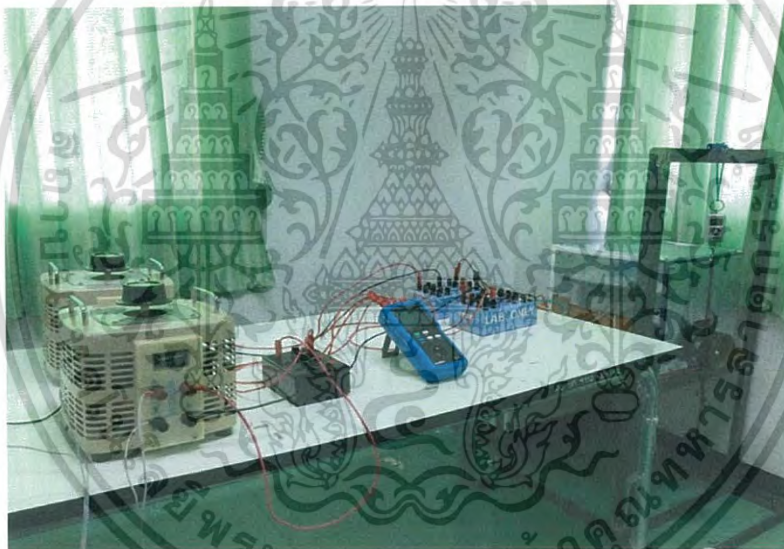
รูปที่ 4.10 การวัดความเร็วรอบของมอเตอร์

ทำการทดลองที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปจากอุณหภูมิห้อง จะใช้ Variable AC Supply 0-250 V อีก 1 ตัว เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้ชุดหลอดไฟเพื่อให้ความร้อนที่อยู่ในโครงเหล็กที่ออกแบบมานั้น โดยจะค่อยๆปรับแรงดันไฟฟ้าจนได้ที่อุณหภูมิที่ต้องการทำการทดลอง (ทำการทดลองที่ 25-70 องศาเซลเซียส) แล้วปล่อยให้ความร้อนประมาณ 1 ชั่วโมง จึงทำการทดลองเหมือนการทดลองที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำการหาค่าประสิทธิภาพของแต่ละกรณีไหลดเดียวกันของแต่ละอุณหภูมิ การทดลอง นำมาเปรียบเทียบกับเพื่อหาผลสรุปการทดลองว่าอุณหภูมิมีผลกระทบอย่างไรต่อประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 การวัดค่าอุณหภูมิจาก IR THERMOMETER



รูปที่ 4.12 ภาพรวมของการทดลอง

#### 4.2.2. ผลการทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้า

โดยจะนำค่าไฟฟ้าทางด้านขาเข้าของมอเตอร์ที่วัดได้จาก AC POWER METER (Digital) , ค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่วัดได้จาก Tachometer และค่าน้ำหนักที่วัดได้จากตาชั่ง เพื่อนำมาหาค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า ตามตารางการทดลองที่จะแบ่งตามแต่ละอุณหภูมิการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้าตัวที่ 1

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส

	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.3	220.0	220.0	220.7	220.8
Ii (A)	2.20	2.20	2.24	2.31	2.44
Pi (W)	105.30	169.90	216.50	259.00	312.10
cos $\theta$	0.22	0.35	0.44	0.51	0.58
W1 (Kg.)	0.000	0.250	0.500	0.740	0.960
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1493	1477	1466	1454	1440
T (N-m)	0.0000	0.4752	0.7817	1.0668	1.4194
Po (W)	0.00	73.49	120.01	166.64	214.03
Ploss(W.)	105.30	96.41	96.49	92.36	98.07
EFF (%)	0.00	43.26	55.43	64.34	68.58

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 40 องศาเซลเซียส

	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.5	220.5	220.2	220.0	220.2
Ii (A)	2.21	2.21	2.25	2.31	2.41
Pi (W)	107.30	172.30	217.20	263.60	307.90
cos $\theta$	0.22	0.35	0.44	0.52	0.58
W1 (Kg.)	0.000	0.250	0.500	0.750	1.000
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1492	1477	1466	1454	1439
T (N-m)	0.0000	0.4752	0.7817	1.0883	1.3948
Po (W)	0.00	73.49	120.01	165.70	210.19
Ploss(W)	107.3	98.81	97.19	97.9	97.71
EFF (%)	0.00	42.65	55.25	62.86	68.26

ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 50 องศาเซลเซียส

	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.3	220.1	220.1	220.0	220.3
Ii (A)	2.20	2.20	2.24	2.32	2.42
Pi (W)	106.70	173.30	221.20	270.40	314.50
cos $\theta$	0.22	0.36	0.45	0.53	0.59
W1 (Kg.)	0.000	0.250	0.490	0.750	0.980
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1493	1475	1463	1454	1435
T (N-m)	0.0000	0.4752	0.7878	1.0883	1.4071
Po (W)	0.00	73.39	120.70	165.70	211.45
Ploss(W)	106.7	99.91	100.5	104.7	103.05
EFF (%)	0.00	42.35	54.57	61.28	67.23

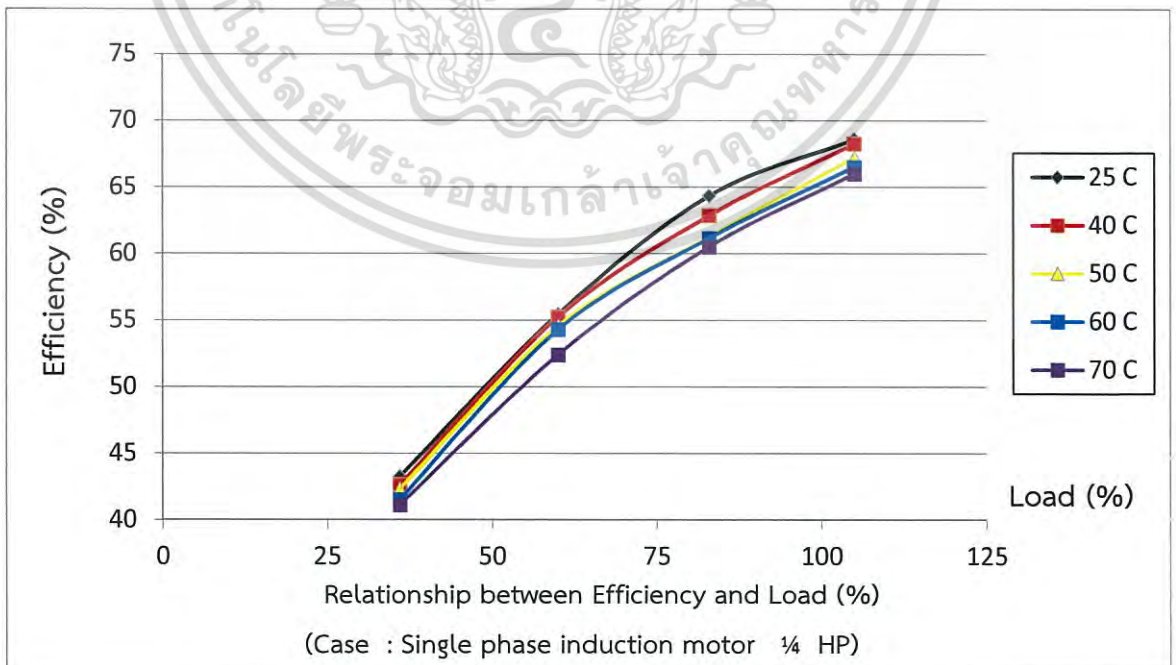
ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 60 องศาเซลเซียส

	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.7	220.5	220.0	220.0	220.3
Ii (A)	2.20	2.20	2.23	2.31	2.41
Pi (W)	108.30	178.70	220.60	270.00	318.60
cos $\theta$	0.22	0.37	0.45	0.53	0.60
W1 (Kg.)	0.000	0.240	0.500	0.750	0.975
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1493	1473	1463	1449	1435
T (N-m)	0.0000	0.4813	0.7817	1.0883	1.4102
Po (W)	0.00	74.24	119.76	165.13	211.91
Ploss(W)	108.3	104.46	100.84	104.87	106.69
EFF (%)	0.00	41.54	54.29	61.16	66.51

ตารางที่ 4.20 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.1	220.1	220.4	220.0	220.1
Ii (A)	2.18	2.19	2.23	2.30	2.41
Pi (W)	110.50	178.20	222.10	272.90	319.50
cos $\theta$	0.22	0.37	0.45	0.53	0.60
W1 (Kg.)	0.000	0.250	0.535	0.750	0.980
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1493	1473	1462	1449	1431
T (N-m)	0.0000	0.4752	0.7602	1.0883	1.4071
Po (W)	0.00	73.29	116.39	165.13	210.86
Ploss(W)	110.5	104.91	105.71	107.77	108.64
EFF (%)	0.00	41.13	52.41	60.51	65.99

กราฟการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแต่ละอุณหภูมิ



รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้าตัวที่ 2

ตารางที่ 4.21 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส

	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.3	220.0	220.6	220.5	220.0
Ii (A)	2.24	2.25	2.29	2.34	2.42
Pi (W)	102.20	173.60	215.00	254.00	295.30
cos $\theta$	0.21	0.35	0.42	0.49	0.55
W1 (Kg.)	0.000	0.190	0.480	0.785	1.080
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1494	1476	1465	1454	1443
T (N-m)	0.0000	0.5119	0.7939	1.0668	1.3458
Po (W)	0.00	79.13	121.81	162.44	203.36
Ploss(W)	102.2	94.47	93.19	91.56	91.94
EFF (%)	0.00	45.58	56.65	63.95	68.86

ตารางที่ 4.22 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 40 องศาเซลเซียส

	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.2	220.6	220.3	220.2	220.0
Ii (A)	2.24	2.25	2.27	2.33	2.40
Pi (W)	103.70	179.90	216.60	257.70	297.8
cos $\theta$	0.21	0.36	0.43	0.50	0.56
W1 (Kg.)	0.000	0.180	0.500	0.790	1.090
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1493	1476	1466	1452	1440
T (N-m)	0.0000	0.5181	0.7817	1.0637	1.3397
Po (W)	0.00	80.08	120.01	161.75	202.02
Ploss(W)	103.7	99.82	96.59	95.95	95.78
EFF (%)	0.00	44.51	55.40	62.76	67.83

ตารางที่ 4.23 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 50 องศาเซลเซียส

	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.2	220.3	220.1	220.1	220.1
Ii (A)	2.22	2.23	2.26	2.30	2.40
Pi (W)	106.10	176.50	212.90	250.30	300.60
cos $\theta$	0.22	0.36	0.43	0.49	0.57
W1 (Kg.)	0.000	0.200	0.540	0.850	1.080
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1493	1476	1465	1453	1437
T (N-m)	0.0000	0.5058	0.7572	1.0269	1.3458
Po (W)	0.00	78.18	116.16	156.26	202.52
Ploss(W)	106.1	98.32	96.74	94.04	98.08
EFF (%)	0.00	44.29	54.56	62.43	67.37

ตารางที่ 4.24 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 60 องศาเซลเซียส

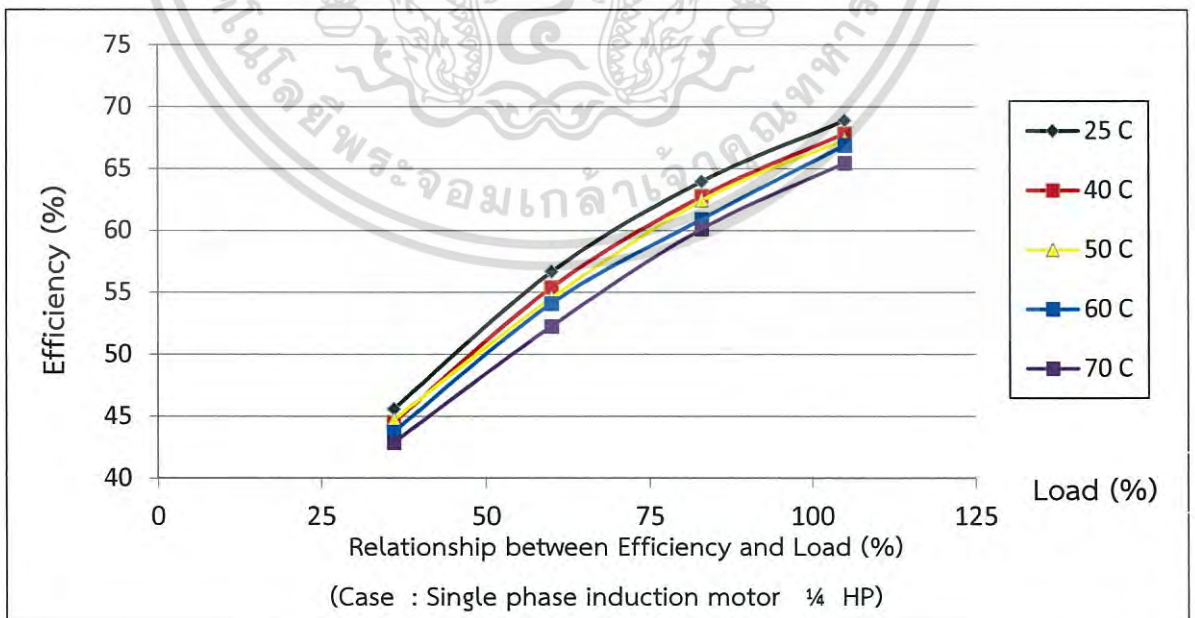
	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.0	220.2	220.3	220.3	220.0
Ii (A)	2.22	2.22	2.26	2.30	2.41
Pi (W)	106.10	179.70	220.70	254.80	309.20
cos $\theta$	0.22	0.37	0.44	0.50	0.58
W1 (Kg.)	0.000	0.195	0.500	0.860	1.030
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1494	1475	1459	1452	1435
T (N-m)	0.0000	0.5088	0.7817	1.0208	1.3764
Po (W)	0.00	78.60	119.44	155.22	206.84
Ploss(W)	106.1	101.1	101.26	99.58	102.36
EFF (%)	0.00	43.74	54.11	60.92	66.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.25 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.3	220.3	220.3	220.2	220.0
Ii (A)	2.23	2.23	2.26	2.28	2.41
Pi (W)	110.00	181.80	220.10	251.60	312.80
cos $\theta$	0.22	0.37	0.44	0.50	0.59
W1 (Kg.)	0.000	0.200	0.550	0.900	1.050
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1492	1472	1463	1450	1433
T (N-m)	0.0000	0.4905	0.7511	0.9963	1.3642
Po (W)	0.00	75.61	115.07	151.28	204.71
Ploss(W)	110	106.19	105.03	100.32	108.09
EFF (%)	0.00	42.88	52.28	60.13	65.44

กราฟการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแต่ละอุณหภูมิ



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผลการทดลองมอเตอร์ไฟฟ้าตัวที่ 3

ตารางที่ 4.26 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 25 องศาเซลเซียส

	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.4	220.2	220.3	220.0	220.0
Ii (A)	2.22	2.22	2.26	2.33	2.41
Pi (W)	104.80	170.30	213.50	261.20	312.20
cos $\theta$	0.21	0.35	0.43	0.51	0.59
W1 (Kg.)	0.000	0.230	0.540	0.760	0.980
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1491	1477	1466	1456	1441
T (N-m)	0.0000	0.4874	0.7572	1.0821	1.4071
Po (W)	0.00	75.39	116.24	164.99	212.33
Ploss(W)	104.8	94.91	97.26	96.21	99.87
EFF (%)	0.00	44.27	54.45	63.17	68.01

ตารางที่ 4.27 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 40 องศาเซลเซียส

	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.2	220.0	220.6	220.6	220.0
Ii (A)	2.20	2.20	2.25	2.32	2.40
Pi (W)	105.30	174.50	218.40	265.80	306.00
cos $\theta$	0.22	0.36	0.44	0.52	0.58
W1 (Kg.)	0.000	0.220	0.520	0.755	1.050
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1491	1475	1464	1454	1436
T (N-m)	0.0000	0.4935	0.7694	1.0852	1.3642
Po (W)	0.00	76.23	117.96	165.24	205.14
Ploss(W)	105.3	98.27	100.44	100.56	100.86
EFF (%)	0.00	43.68	54.01	62.16	67.04

ตารางที่ 4.28 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 50 องศาเซลเซียส

	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.6	220.7	220.4	220.1	220.0
Ii (A)	2.20	2.21	2.24	2.31	2.40
Pi (W)	107.40	178.20	217.20	265.80	309.50
cos $\theta$	0.22	0.37	0.44	0.52	0.59
W1 (Kg.)	0.000	0.210	0.530	0.760	1.040
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1494	1474	1465	1453	1438
T (N-m)	0.0000	0.4997	0.7633	1.0821	1.3703
Po (W)	0.00	77.13	117.11	164.66	206.35
Ploss(W)	107.4	101.07	100.09	101.14	103.15
EFF (%)	0.00	43.28	53.91	61.94	66.67

ตารางที่ 4.29 ผลการทดลองที่อุณหภูมิตั้งที่ 60 องศาเซลเซียส

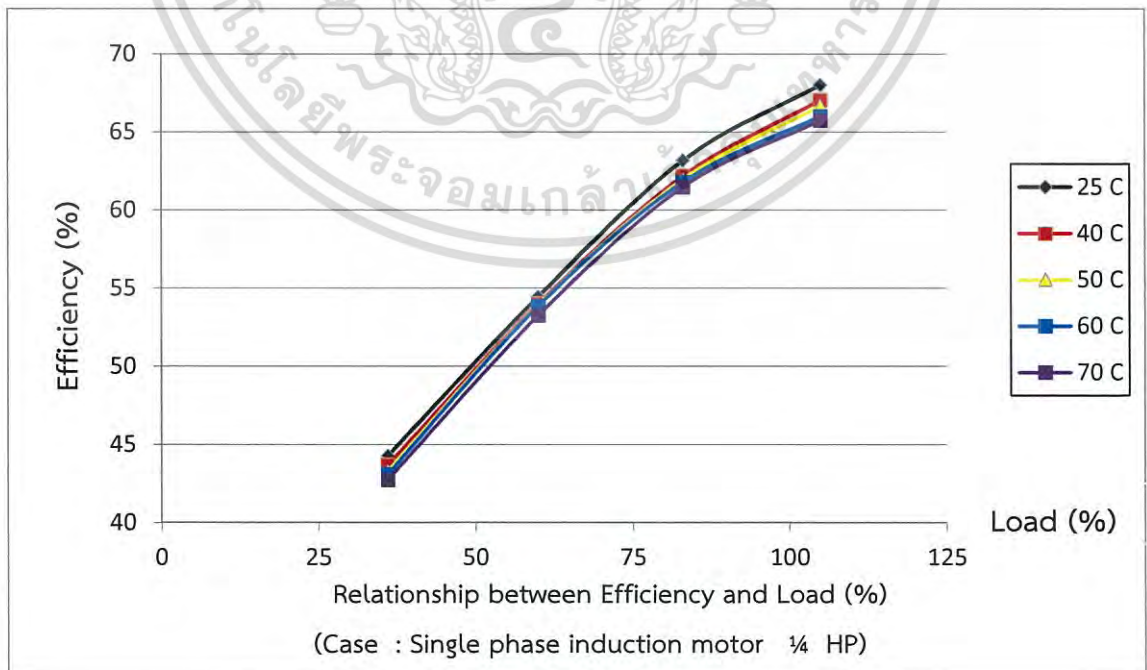
	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.3	220.2	220.4	220.4	220.2
Ii (A)	2.19	2.19	2.23	2.30	2.40
Pi (W)	108.30	174.50	217.10	258.80	310.80
cos $\theta$	0.22	0.36	0.44	0.51	0.59
W1 (Kg.)	0.000	0.230	0.530	0.810	1.050
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1494	1474	1463	1452	1436
T (N-m)	0.0000	0.4874	0.7633	1.0515	1.3642
Po (W)	0.00	75.24	116.94	159.88	205.14
Ploss(W)	108.3	99.26	100.16	98.92	105.66
EFF (%)	0.00	43.11	53.86	61.77	66.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.30 ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

	No-Load	36%	60%	83%	105%
Vi (V)	220.2	220.1	220.3	220.5	220.1
Ii (A)	2.18	2.19	2.23	2.31	2.40
Pi (W)	109.20	175.80	215.90	254.20	311.20
cos $\theta$	0.23	0.37	0.44	0.50	0.59
W1 (Kg.)	0.000	0.230	0.550	0.850	1.050
W2 (Kg.)	0.000	1.025	1.775	2.525	3.275
Nr (rpm.)	1493	1472	1462	1453	1432
T (N-m)	0.0000	0.4752	0.7511	1.0269	1.3642
Po (W)	0.00	73.24	114.99	156.26	204.57
Ploss(W)	109.2	102.56	100.91	97.94	106.63
EFF (%)	0.00	42.74	53.26	61.47	65.73

กราฟการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแต่ละอุณหภูมิ



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด

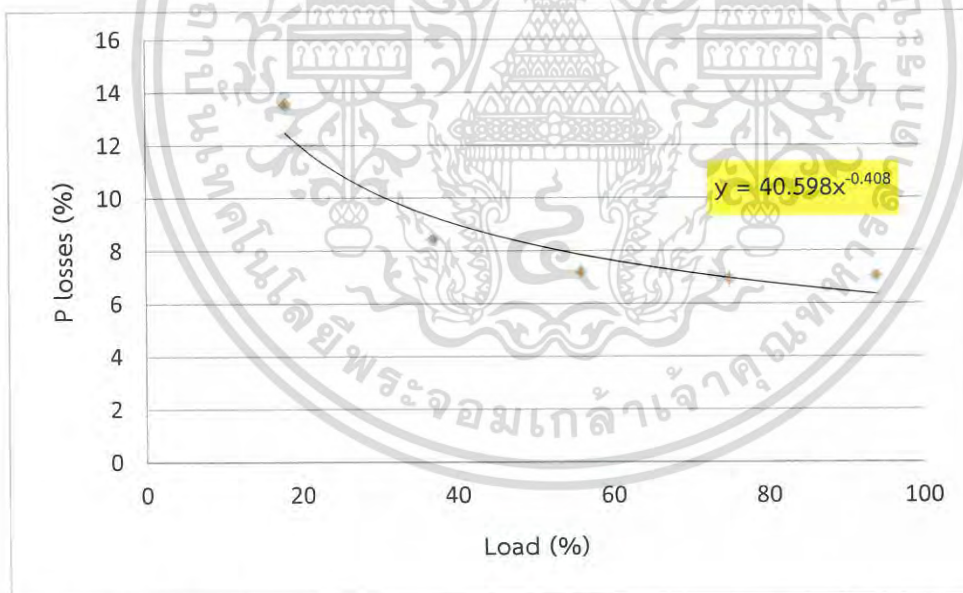
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 การประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส โดย GUI.

จากผลการทดลองจะได้ค่าความสูญเสียของเครื่องจักรกลไฟฟ้าของแต่ละเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลดของเครื่องจักรกลไฟฟ้า โดยการสร้างสมการเพื่อประมาณค่าประสิทธิภาพนั้น จะสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลด ที่ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสก่อน เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลด และหลังจากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความสูญเสียที่ผลการทดลอง 100 เปอร์เซ็นต์ของโหลด ในแต่ละกรณีอุณหภูมิการทดลองต่อผลการทดลองของอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับอุณหภูมิการทดลอง เพื่อนำไปใช้ในการทำนายค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้าโดยใช้ GUI. เป็นโปรแกรมการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานได้ใช้งานได้ง่าย

##### 4.3.1 การหาสมการการประมาณค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

จากผลการทดลองได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลด ที่ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสดังนี้



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลด

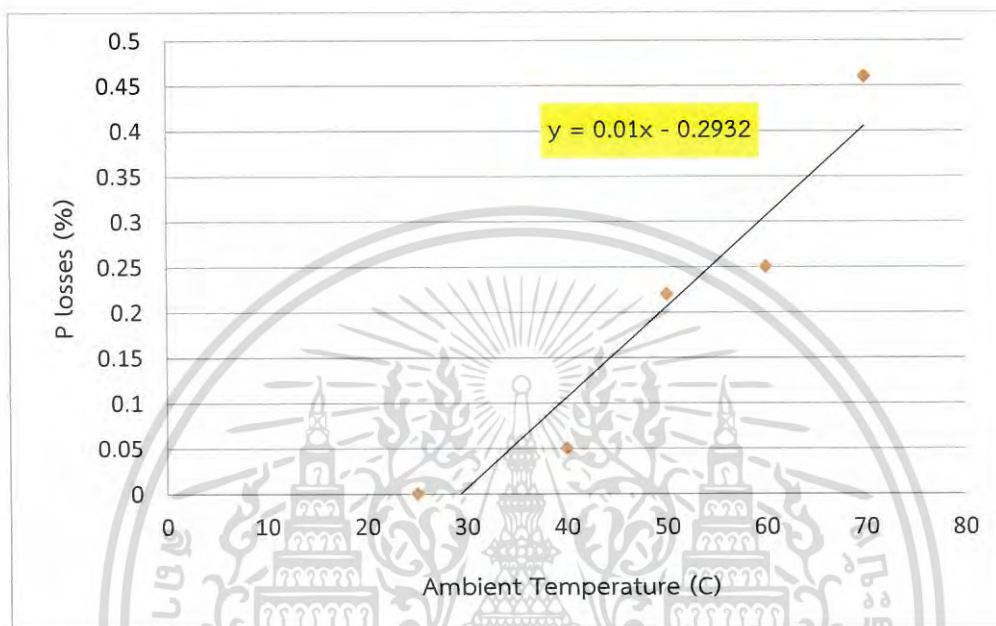
จากกราฟได้สมการความสัมพันธ์ คือ  $Y = 40.598X^{-0.408}$

โดย Y = เปอร์เซ็นต์ค่าความสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้า

X = เปอร์เซ็นต์ของพิกัดโหลดหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความสูญเสียที่ผลการทดลอง 100 เปอร์เซ็นต์ของโหลด ในแต่ละกรณีอุณหภูมิการทดลองต่อผลการทดลองของอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสดังนี้



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับอุณหภูมิการทดลอง

จากกราฟได้สมการความสัมพันธ์ คือ  $Y = 0.01X - 0.2932$

โดย Y = เปอร์เซ็นต์ค่าความสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้า

X = อุณหภูมิการทดลอง

ดังนั้น จึงได้สมการการประมาณค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้างี้

$$Y = 100 - (40.598X^{-0.408}) - (0.01T - 0.2932)$$

โดย Y = ค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า

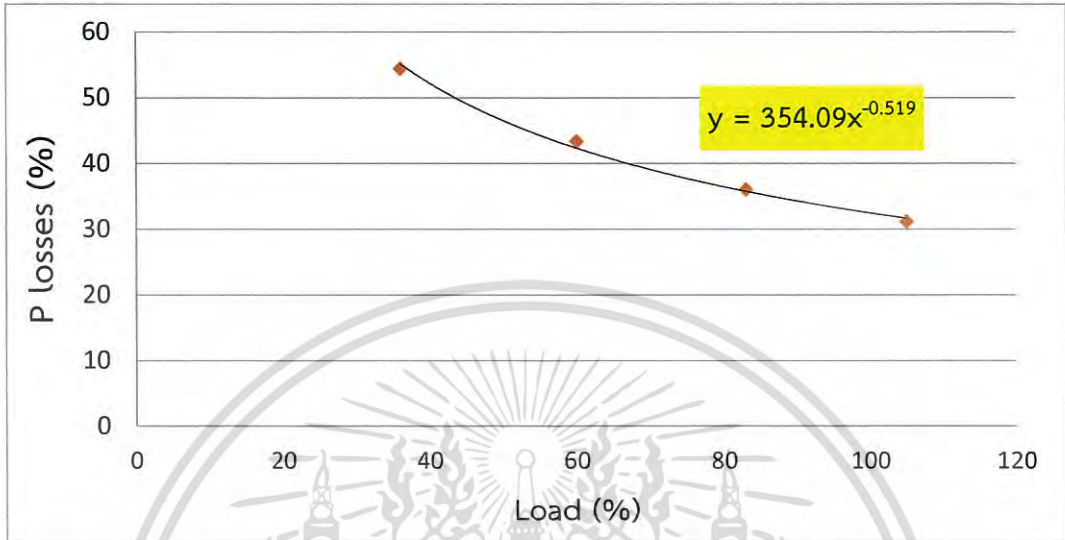
X = เปอร์เซ็นต์ของพิกัดโหลด

T = อุณหภูมิการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2 การหาสมการการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส

จากผลการทดลองได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลด ที่ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสดังนี้



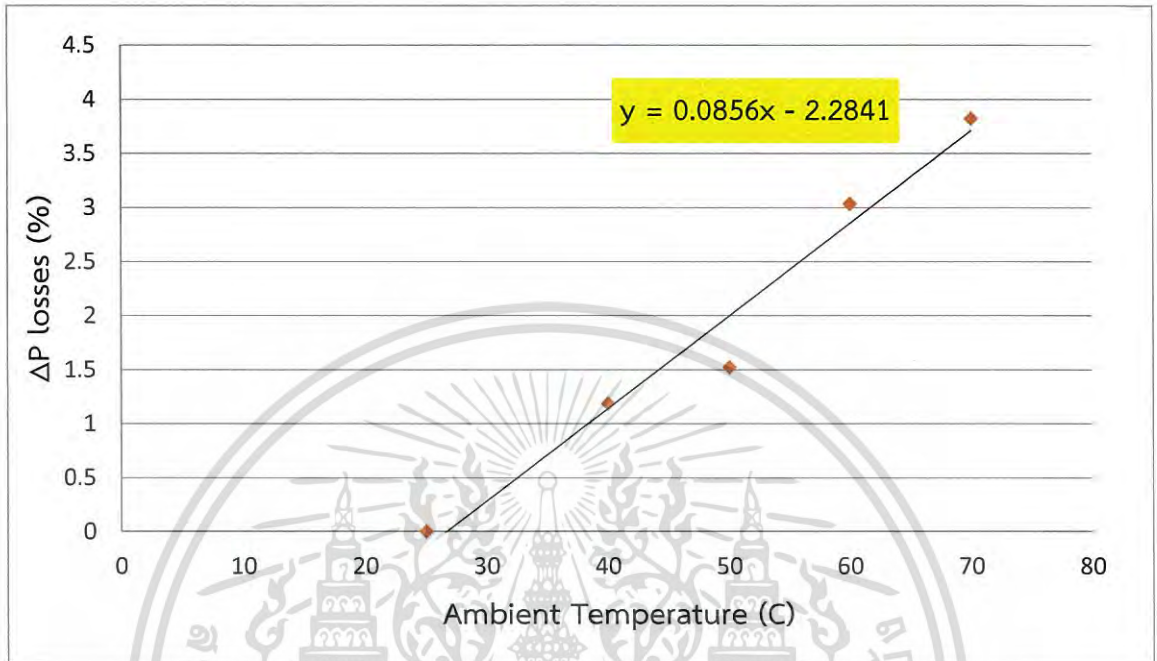
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลด

จากกราฟได้สมการความสัมพันธ์ คือ  $Y = 354.09X^{-0.519}$

โดย Y = เปอร์เซนต์ค่าความสูญเสียของมอเตอร์ไฟฟ้า

X = เปอร์เซนต์ของพิกัดโหลดมอเตอร์ไฟฟ้า

จากผลการทดลองได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความสูญเสียที่ผลการทดลอง 100 เปอร์เซ็นต์ของโหลด ในแต่ละกรณีอุณหภูมิการทดลองต่อผลการทดลองของอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสดังนี้



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับอุณหภูมิการทดลอง

จากกราฟได้สมการความสัมพันธ์ คือ  $Y = 0.0856X - 2.2841$

โดย Y = เปอร์เซ็นต์ค่าความสูญเสียของมอเตอร์ไฟฟ้า

X = อุณหภูมิการทดลอง

ดังนั้น จึงได้สมการการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้างานนี้

$$Y = 100 - (354.09X^{-0.519}) - (0.0856T - 2.2841)$$

โดย Y = ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า

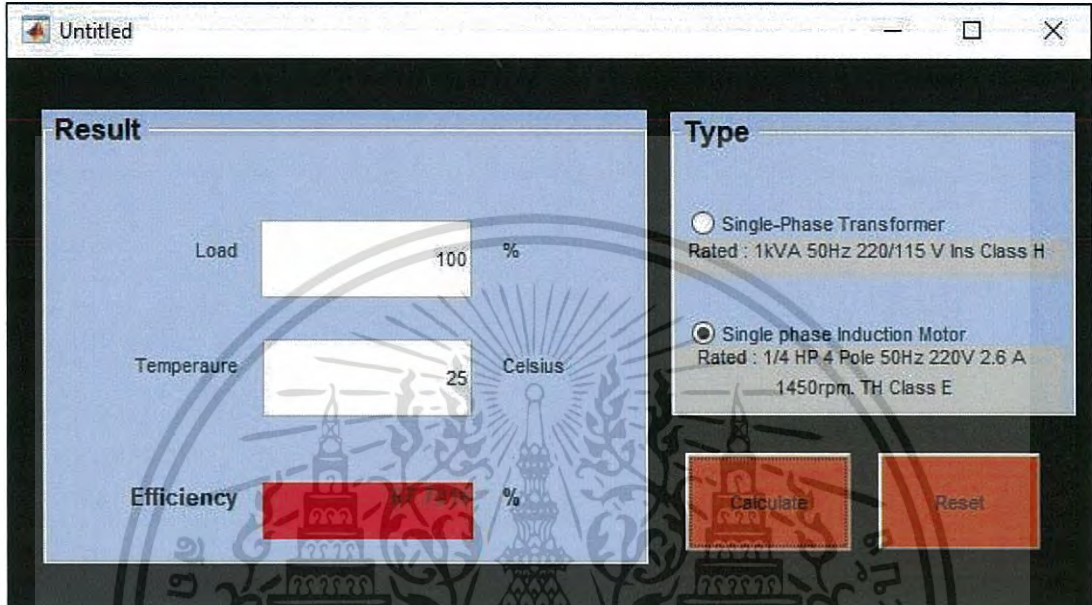
X = เปอร์เซ็นต์ของพิกัดโหลด

T = อุณหภูมิการทดลอง

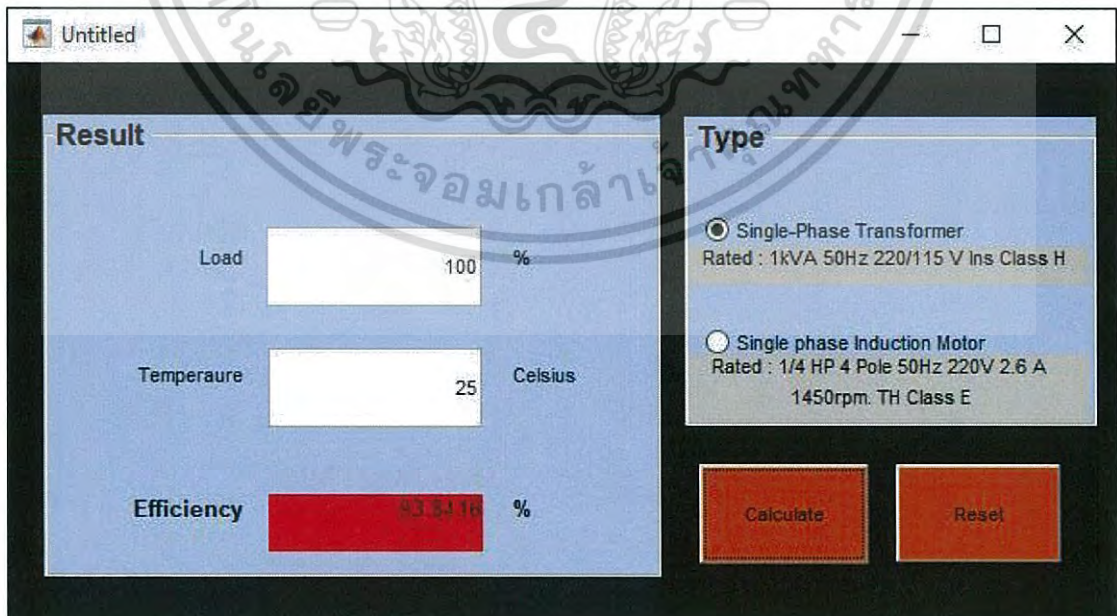
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.3 การทดสอบ GUI. ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

จากที่หาสมการการประมาณประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าชนิด 1 เฟส จึงนำมาใส่ใน GUI.(Graphic User Interfaces) เพื่อสะดวกต่อการใช้งานของผู้ใช้งานได้ดังนี้



รูปที่ 4.20 การประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าใน GUI.



รูปที่ 4.21 การประมาณค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าใน GUI.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบของ GUI. MATLAB ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลที่ได้จากโปรแกรมว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างไร (ทดสอบที่ผลการทดลองของอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส)

ตารางที่ 4.31 แสดงผลเปรียบเทียบผลการทดลองกับผล GUI. ของหม้อแปลงไฟฟ้า(ค่าประสิทธิภาพ)

Load (%)	ผลการทดลอง (%)	ผลจาก GUI. (%)	ค่าแตกต่าง (%)
18	86.87	87.21	0.34
37	91.58	90.39	1.19
56	92.34	91.83	0.51
75	92.79	92.72	0.07
94	92.45	93.33	0.88
100	92.50	93.46	0.96

ตารางที่ 4.32 แสดงผลเปรียบเทียบผลการทดลองกับผล GUI. ของมอเตอร์ไฟฟ้า(ค่าประสิทธิภาพ)

Load (%)	ผลการทดลอง (%)	ผลจาก GUI. (%)	ค่าแตกต่าง (%)
36	43.74	42.02	1.72
60	54.11	54.85	0.74
83	60.92	61.41	0.49
105	66.89	65.52	1.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุปข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบถึงผลของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส: กรณีศึกษาสองกรณีในโครงการนี้ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสและมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยในการทดลองได้สร้างตู้บจากชุดแผงหลอดไส้เพื่อให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิแวดล้อม การทดสอบทั้งสองกรณีได้รับการดำเนินการตั้งแต่มิมีการไหลไปจนถึงการทดสอบแบบเต็มกำลัง อุณหภูมิที่กำหนดไว้ คือ อุณหภูมิห้องจนถึง 70 องศาเซลเซียส

จากการทดลองเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟสทั้งสองกรณี พบว่า เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟสลดต่ำลง โดย...จากนั้นนำผลการทดลองมาวิเคราะห์และสร้าง GUI (Graphical user interface) โดยซอฟต์แวร์ Matlab เพื่อความสะดวกต่อการเข้าถึงของผู้ใช้งาน

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานติดตั้งและเป็นคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการติดตั้งเครื่องจักรกลไฟฟ้าขนาด กลาง และใหญ่ ว่าจะต้องมีระบบระบายความร้อนที่เหมาะสม และสอดคล้องกับมาตรฐานการติดตั้ง เพื่อรักษาอายุการใช้งานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าและเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในที่สุด

#### 5.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาที่พบ

จากการดำเนินการทดลองตลอดโครงการวิจัย มีข้อเสนอแนะและปัญหาดังนี้

1. ในการทดลอง ควรศึกษาเกี่ยวกับฉนวนของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่นำมาทดลอง เพื่อไม่ให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าเกิดความเสียหาย และ ป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ทำการทดลอง
2. ในการทดสอบแบบเต็มกำลังของเครื่องจักรกลไฟฟ้า ควรมีความระมัดระวังในการทดลองอย่างสูงเพื่อไม่ให้ค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า เกินกว่าพิกัดที่ระบุไว้บนเครื่องจักรกลไฟฟ้าเป็นเวลานาน เพราะจะส่งผลให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าชำรุดเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 แนวทางการพัฒนา

โครงการวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาและเพิ่มความสามารถได้ดังนี้

1. จากผลการทดลองโครงการวิจัย สามารถนำไปพัฒนาในการตรวจสอบผลกระทบของ อุณหภูมิแวดล้อมต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 3 เฟส หรือเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีพิกัดกำลังสูงได้
2. สามารถพัฒนาให้ใช้ในภาคอุตสาหกรรมร่วมกับระบบระบายความร้อนเพื่อเพิ่มในการทำงานให้กับเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส เป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่ายจากการไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย, เอกสารประกอบการสอน วิชา 01026212 Electrical Machines 1 และ 2,สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,2553,หน้า 1-38.
- [2] Anibal T. De Almeida and Fernando Ferreira, “Efficiency Testing of Electric Induction Motors.”
- [3] He Zhang ,Pericle Zanchetta,Chris Gerada,Keith Bradley,Junyi Liu, “ Performance evaluation of induction motor efficiency and in-service losses measurement using standard test methods,” Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), 2011.
- [4] HM Mzungu,P Barendse,MA Khan and M Manyage, “DETERMINATION OF EFFECTS ON INDUCTION MOTOR EFFICIENCY,” IEEE Transactions On Industry Applications,Vol. 36, No. 5, September/October 2000.
- [5] George Orenchak, “Predicting Temperature Rise of Ferrite Cored Transformers,” TSC Ferrite International, 2004.
- [6] M.K. Yoon,C.S. Jeon,S.K. Kauh, “Efficiency increase of an induction motor by improving cooling performance,” IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.17,2002,pp. 1-6.
- [7] Marcel Dekker, “Transformer-Inductor Efficiency, Regulation, and Temperature Rise.”.2004.
- [8] ผศ.ดร.อรรถพล เ่งพิทักษ์กุล,Electrical Engineering Laboratoly2,พิมพ์ครั้งที่4.กทม.สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์.2557.
- [9] รัชลิดา ลิปิกรณ์ และคณะ, MATLAB การประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมไฟฟ้า,พิมพ์ครั้งที่ 5.กทม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้ากรณีศึกษา

## หม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 1 เฟส

### Effect of Ambient Temperature on Performance of Electrical Machines (A Case Study of Single Phase Transformer and Induction Motor)

นายพงษ์ประภัทร ป้อมบุญมี นายพนม สุขวิบูลย์ นายพัฒนชัย ตันติรักษ์ นายภาคิน ดันหยงทอง  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
1 ซอย ดลวงกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-mail: lam82011@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้เกี่ยวข้องกับการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าอุณหภูมิแวดล้อมอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส เมื่อใช้ตู้อบที่ร้อนขึ้นโดยชุดหลอดไส้และหม้อแปลงปรับแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส สามารถนำมาใช้เป็นแหล่งความร้อนที่สามารถปรับได้สำหรับอุณหภูมิที่กำหนดไว้ในอุณหภูมิต่างๆเช่นปรับอุณหภูมิห้องได้ถึง 70 องศาเซลเซียส มีกรณีศึกษาสองกรณีในโครงการนี้ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟสและมอเตอร์เหนี่ยวนำ การทดสอบทั้งสองกรณีได้รับการดำเนินการตั้งแต่ ไม่มีการไหลไปจนถึงการทดสอบแบบเต็มกำลังและผลได้รับการวิเคราะห์พบว่าเครื่องไฟฟ้ามีประสิทธิภาพไม่ดีในการเพิ่มอุณหภูมิห้อง ผลการศึกษานี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานติดตั้งและเป็นคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ว่างานจะต้องสอดคล้องกับมาตรฐานการติดตั้ง โดยเฉพาะเครื่องไฟฟ้าขนาดกลางและใหญ่ที่มีระบบระบายความร้อนที่เหมาะสม ในท้ายที่สุดก็กลายเป็นความสำคัญที่เป็นการประหยัดพลังงานด้วยการติดตั้งเครื่องจักรไฟฟ้าที่เหมาะสม

คำสำคัญ : อุณหภูมิแวดล้อม, เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส, ประสิทธิภาพ

#### Abstract

This project deals with an experimental study to investigate whether ambient temperature can affect performance of 1-phase electrical machines. By using an incubator that is heated up by a set of incandescent light bulbs and 1-phase variac, it can be applied as an adjustable heat source for various ambient temperature set points, i.e., adjustable from room temperature up to 70 degree Celsius. There are two case studies in this project, 1-phase transformer and induction motor. Experiment of both two cases has been performed from no-load to full-load test and the results has

been analyzed. It is found that electrical machines have adverse efficiency to the raising ambient temperature. This study results can be applied in installation work and it is helpful guide that the work must be complied to installation standards, especially for medium and large electrical machines with proper cooling system. It is finally turned out significant energy saving with proper installation of electrical machines.

#### 1. บทนำ

ปัจจุบันนี้ในทางอุตสาหกรรมนั้นเจริญเติบโตอย่างมากในประเทศไทย ซึ่งในทางอุตสาหกรรมนั้นมีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความสำคัญอย่างมากที่จะไม่ให้หม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์นั้นเกิดความขัดข้องหรือทำให้ระบบหยุดการทำงานได้ หรือแม้กระทั่งการใช้ไฟฟ้าภายในตึกอาคารและที่อยู่อาศัยต่างๆ ที่ต้องรับไฟฟ้ามาจากโรงไฟฟ้า ซึ่งไฟฟ้าที่จ่ายมาจากโรงไฟฟ้านั้นมีแรงดันไฟฟ้าที่สูง จึงจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแปลงแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าที่สูงมาเป็นแรงดันไฟฟ้าที่สามารถใช้ในงานทั่วไปได้หรือใช้ในความต้องการในงานต่างๆ และโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับกระบวนการผลิตงานต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นมีความสำคัญอย่างมากและมีราคาค่อนข้างสูงอีกด้วย ซึ่งเครื่องจักรกลไฟฟ้านั้นจะมีการติดตั้งการใช้งานในพื้นที่ที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมและการใช้งาน ซึ่งในแต่ละพื้นที่นั้นมีสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งอุณหภูมิแวดล้อมนั้นอาจจะส่งผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า จึงทำให้เกิดการศึกษาเรื่องผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าหนึ่งเฟส

#### 2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำหนึ่งเฟส (Single Phase Induction Motors)

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวมีโครงสร้างเช่นเดียวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสแบบกรงกระรอกโดยที่สเตเตอร์จะมีขดลวดเพียงเฟสเดียว เมื่อขดลวดเฟสเดียวได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเฟสเดียว กระแสในขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนที่มีขนาดเท่ากันหมุนในทิศทางตรงกันข้ามกัน ทำให้เกิดแรงบิดที่สเตเตอร์ในทั้งสองทิศทางที่มีขนาดเท่ากัน ซึ่งมีผลทำให้โรเตอร์ไม่สามารถเกิดแรงบิดเริ่มต้นหมุนได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องต้องมีวิธีทำให้มอเตอร์ชนิดนี้สามารถเกิดแรงบิดเริ่มต้นหมุนเพื่อเริ่มเดินได้ด้วยตัวเอง โดยทั่วไปมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวจะมีลักษณะเป็นแบบ 2 หรือ 4 ขั้วแม่เหล็ก พิกัดกำลังไม่เกิน 5 H.P. มีการใช้งานอยู่เป็นจำนวนมากในชีวิตประจำวัน

#### 2.1.2 หม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส (Single Phase Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีหน้าที่ในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากวงจรด้านหนึ่งไปยังอีกวงจรด้านหนึ่ง โดยมีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าและกระแสโดยใช้หลักการของวงจรแม่เหล็กที่มีขดลวดซึ่งถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ จะสามารถทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดต่างๆในวงจรแม่เหล็กได้ โดยทั่วไปแล้วหม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวดอย่างน้อย 2 ชุด พันอยู่บนวงจรแม่เหล็กเดียวกัน เรียกชื่อว่า ขดลวดแรงดันสูง (High voltage winding) และขดลวดแรงดันต่ำ (Low voltage winding) ขณะที่นำหม้อแปลงมาใช้งานจะกำหนดให้เรียกชื่อขดลวดด้านที่รับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายว่าขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding) และเรียกชื่อขดลวดด้านที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าว่าขดลวดทุติยภูมิ (Secondary winding)

### 2.2 อุณหภูมิกับเครื่องจักรกลไฟฟ้า

#### 2.2.1 อุณหภูมิกับการใช้งานมอเตอร์

ค่าการสูญเสียทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการทำงาน โดยเฉพาะการสูญเสียที่สเตเตอร์ และการสูญเสียที่โรเตอร์ ซึ่งมีความไวสูงต่ออุณหภูมิ ความต้านทานตัวนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณ 4% เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศา ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิห้องปกติ ดังนั้นประสิทธิภาพจะลดลง เมื่ออุณหภูมิแวดล้อมที่เพิ่มขึ้น

#### 2.2.2 อุณหภูมิกับการใช้งานหม้อแปลง

เมื่ออุณหภูมิของตัวนำเปลี่ยนแปลง จะทำให้สภาพต้านทานของตัวนำ

ประเภทโลหะเปลี่ยนแปลงหรือทำให้ความต้านทานของตัวนำเปลี่ยนแปลงไปด้วย ถ้ากำหนดให้

$R_0$  = ความต้านทานของโลหะตัวนำที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

$R_t$  = ความต้านทานของโลหะตัวนำที่อุณหภูมิ t องศาเซลเซียส

$t$  = อุณหภูมิของโลหะตัวนำในหน่วยองศาเซลเซียส

$\alpha$  = สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทาน

โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการ  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$

โดยจะสอดคล้องกับความต้านทานของขดลวดทองแดงและแกนเหล็ก ซึ่งเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ค่าความต้านทานของขดลวดและแกนเหล็กก็จะสูงขึ้นตาม เมื่อค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลง ค่าสูญเสียในขดลวดทองแดงและค่าสูญเสียในแกนเหล็กก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ค่าการสูญเสียในแกนเหล็ก

$$P_c = \frac{V_1^2}{R_c}$$

ค่าสูญเสียในขดลวดทองแดง

$$P_{cu} = I_2^2 R_1 + I_2^2 R_2'$$

$$P_{cu} = I_2^2 R_{eq}$$

ซึ่งค่าการสูญเสียต่างๆจะส่งผลกับค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าที่อุณหภูมิแวดล้อมที่แตกต่างกันไป

## 3. การออกแบบการทดลองและออกแบบการทำนายค่าประสิทธิภาพโดยใช้ GUI.

3.1 การออกแบบการทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส การทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นจะทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าหนึ่งเฟส ขนาด 1000 VA โดยนำหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าไปในโครงเหล็กแบบปิดที่ติดหลอดไฟเพื่อให้ความร้อน และใช้หลอดไฟอีกชุดเพื่อเป็นโหลดของการทดลอง โดยจะเริ่มทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องคือประมาณ 25 องศาเซลเซียส จากที่ไม่มีภาระโหลดจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดโหลดหม้อแปลงไฟฟ้า(โหลดไฟขนาด 100W 10 หลอด , หลอดไฟขนาด 50W 2 หลอด) และบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า,แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจริงที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดของฝั่งขาเข้าและขาออกหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อนำไปหาค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าในท้ายที่สุด หลังจากนั้นทำการทดลองที่อุณหภูมิประมาณ 40-70 องศาเซลเซียส โดยเปิดหลอดไฟในโครงเหล็กที่ใช้หม้อแปลงแบบปรับเปลี่ยนค่าได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายไฟ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ได้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการทดลอง โดยให้ความร้อนประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะทำการทดลองและเก็บผลการทดลอง และในแต่ละกรณีการทดลองนั้นจะต้องปรับให้ค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านขาออกของหม้อแปลงไฟฟ้ามี่ค่าคงที่ โดยมีค่าประมาณเท่ากับ 220 V.

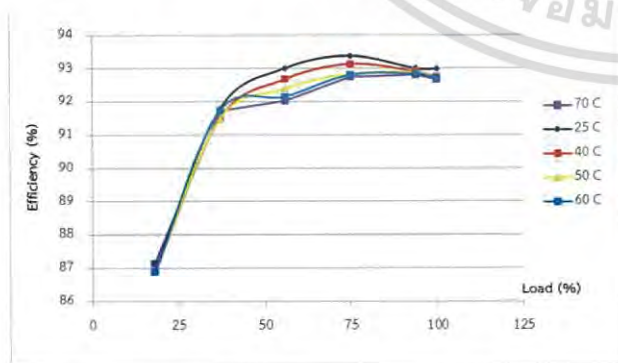
3.2 การออกแบบการทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส การทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้านั้นจะทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1/4 HP(200 W) โดยนำมอเตอร์ไฟฟ้าเข้าไปในโครงเหล็กแบบปิดที่ติดหลอดไฟเพื่อให้ความร้อน และใช้ลูกตุ้มน้ำหนัก 0.5 กก. จำนวน 5 อัน , ลูกตุ้มน้ำหนัก 0.25 กก. จำนวน 2 อัน เป็นโหลดของการทดลอง โดยจะเริ่มทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องคือประมาณ 25 องศาเซลเซียส จากไม่มีการะโหลดจนถึง 100 เปอร์เซ็นต์ของพิกัดโหลดมอเตอร์ไฟฟ้า(น้ำหนักลูกตุ้มรวมทั้งหมด 3 กก.) และบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า,แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจริงทางด้านขาเข้ามอเตอร์ไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัด และวัดค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าและค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งน้ำหนักในแต่ละกรณีการทดลอง และนำไปหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงทางด้านขาออกของมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อนำไปหาค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ไฟฟ้าในท้ายที่สุด

หลังจากนั้นทำการทดลองที่อุณหภูมิประมาณ 40-70 องศาเซลเซียส โดยเปิดหลอดไฟในโครงเหล็กที่ใช้หม้อแปลงแบบปรับเลื่อนค่าได้เป็นแหล่งจ่ายไฟ เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้ได้เท่ากับอุณหภูมิที่ต้องการทดลอง โดยให้ความร้อนประมาณ 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะทดลองและเก็บผลการทดลองในแต่ละอุณหภูมิการทดลอง และการทดลองในแต่ละอุณหภูมิการทดลองนั้นจะต้องฉีดยาน้ำมันหล่อลื่นให้กับเชือกที่พันกับมู่เสี้ยวของมอเตอร์ไฟฟ้าก่อนการทดลองทุกครั้ง

#### 4.ผลการทดลอง

##### 4.1 ผลการทดลองของหม้อแปลงไฟฟ้า

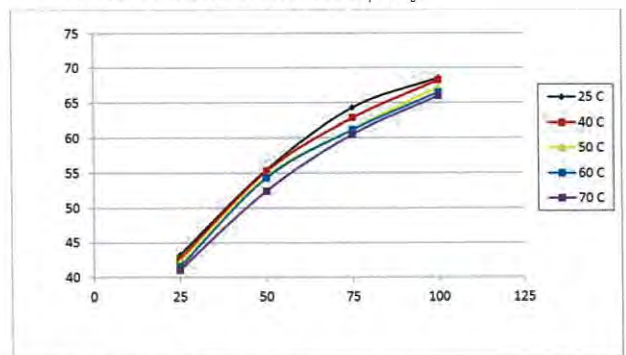
การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแต่ละอุณหภูมิ



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด

##### 4.2 ผลการทดลองของมอเตอร์ไฟฟ้า

การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแต่ละอุณหภูมิ



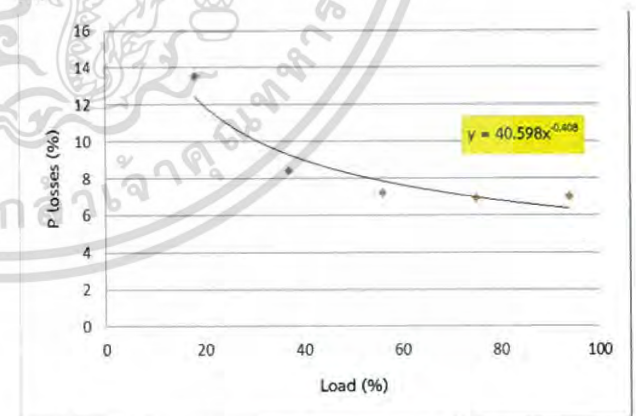
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเปอร์เซ็นต์โหลด

##### 4.3 การประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟส

โดย GUI.

จากผลการทดลองจะได้ค่าความสูญเสียของเครื่องจักรกลไฟฟ้าของแต่ละเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลดของเครื่องจักรกลไฟฟ้า โดยการสร้างสมการเพื่อประมาณค่าประสิทธิภาพนั้น จะสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลด ที่ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสก่อน เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลด และหลังจากนั้นสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของความสูญเสียที่ผลการทดลอง 100 เปอร์เซ็นต์ของโหลด ในแต่ละกรณีอุณหภูมิการทดลองต่อผลการทดลองของอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส เพื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับอุณหภูมิการทดลอง

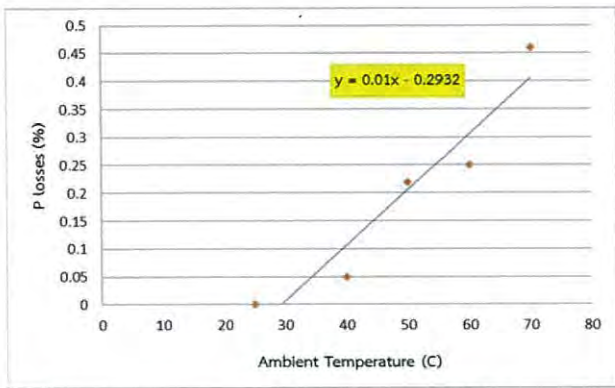
##### 4.3.1 การหาสมการการประมาณค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส



รูปที่ 4.3.1(1) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลด

จากกราฟได้สมการความสัมพันธ์ คือ  $Y = 40.598X^{-0.408}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



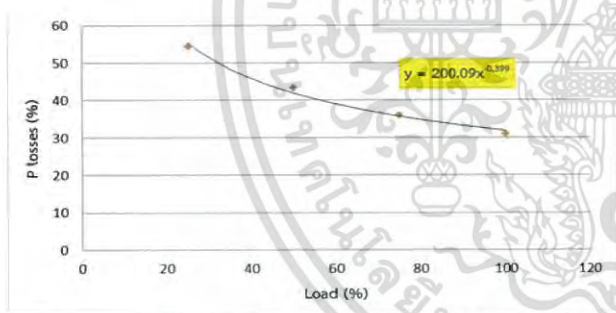
รูปที่ 4.3.1(2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับอุณหภูมิการทดลอง

จากกราฟได้สมการความสัมพันธ์ คือ  $Y = 0.01X - 0.2932$

ดังนั้น จึงได้สมการการประมาณค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าดังนี้  
 $Y = 100 - (40.598X^{-0.408}) - (0.01T - 0.2932)$

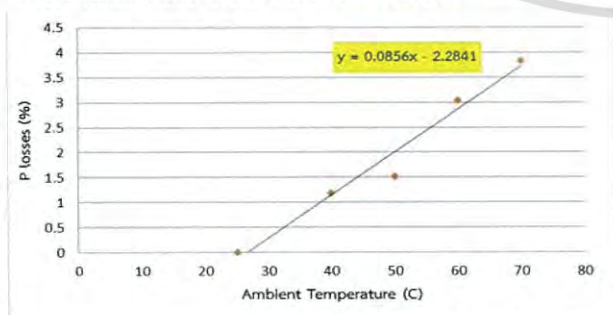
โดย Y = ค่าประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า  
 X = เปอร์เซนต์ของพิกัดโหลด  
 T = อุณหภูมิการทดลอง

4.3.2 การหาสมการการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 1 เฟส



รูปที่ 4.3.2(1) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับเปอร์เซ็นต์พิกัดโหลด

จากกราฟได้สมการความสัมพันธ์ คือ  $Y = 200.09X^{-0.399}$



รูปที่ 4.3.2(2) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียกับอุณหภูมิการทดลอง

จากกราฟได้สมการความสัมพันธ์ คือ  $Y = 0.0856X - 2.2841$

ดังนั้น จึงได้สมการการประมาณค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าดังนี้

$$Y = 100 - (200.09X^{-0.399}) - (0.0856T - 2.2841)$$

โดย Y = ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า

X = เปอร์เซนต์ของพิกัดโหลด

T = อุณหภูมิการทดลอง

4.4 การทดสอบ GUI. ในการประมาณค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลไฟฟ้า

จากที่หาสมการการประมาณประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าชนิด 1 เฟส จึงนำมาใส่ใน GUI.(Graphic User Interfaces) เพื่อสะดวกต่อการใช้งานของผู้ใช้งานได้ดังนี้



รูปที่ 4.4 การประมาณค่าประสิทธิภาพใน GUI.

5.บทสรุป

พบว่าเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เฟสลดต่ำลง โดยจากนั้นนำผลการทดลองมาวิเคราะห์และสร้าง GUI (Graphical user interface) โดยซอฟต์แวร์ Matlab เพื่อความสะดวกต่อการเข้าถึงของผู้ใช้งาน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานติดตั้งและเป็นคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการติดตั้งเครื่องจักรกลไฟฟ้าขนาด กลาง และใหญ่ จำจะต้องมีระบบระบายความร้อนที่เหมาะสม และสอดคล้องกับมาตรฐานการติดตั้ง เพื่อรักษาอายุการใช้งานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าและเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

function varargout = ui(varargin)

gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @ui_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @ui_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [] , ...
                  'gui_Callback',    []);

if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function ui_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

initialize_gui(hObject, handles, false);

function varargout = ui_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function load_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function load_Callback(hObject, eventdata, handles)
load = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(load)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Input must be a number','Error');
end

handles.metricdata.load = load;
guidata(hObject,handles)

function temp_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function temp_Callback(hObject, eventdata, handles)
temp = str2double(get(hObject, 'String'));
if isnan(temp)
    set(hObject, 'String', 0);
    errordlg('Input must be a number', 'Error');
end

handles.metricdata.temp = temp;
guidata(hObject, handles)

function calculate_Callback(hObject, eventdata, handles)

    if (handles.metricdata.load > 1) & (handles.unitgroup ==
handles.trans)
        eff = 100 - ((40.598)*(handles.metricdata.load)^(-0.408)) -
((0.01*(handles.metricdata.temp))-0.2932);
        set(handles.eff, 'String', eff);
    elseif (handles.metricdata.load > 1) & (handles.unitgroup ==
handles.motor)
        eff = 100 - ((354.09)*(handles.metricdata.load)^(-0.519)) -
((0.0856*(handles.metricdata.temp))-2.2841);
        set(handles.eff, 'String', eff);
    else eff = 0000;
        set(handles.eff, 'String', eff);
    end

function reset_Callback(hObject, eventdata, handles)
initialize_gui(gcbf, handles, true);

function unitgroup_SelectionChangedFcn(hObject, eventdata, handles)
if (hObject == handles.trans)

    handles.unitgroup = handles.trans;
    guidata(hObject, handles)

else (hObject == handles.motor)

    handles.unitgroup = handles.motor;
    guidata(hObject, handles)

end

function initialize_gui(fig_handle, handles, isreset)
if isfield(handles, 'metricdata') && ~isreset
    return;
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
handles.metricdata.load = 0;
handles.metricdata.temp = 0;

set(handles.load, 'String', handles.metricdata.load);
set(handles.temp, 'String', handles.metricdata.temp);
set(handles.eff, 'String', 0);
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน



นายพงษ์ประภัทร ป้อมบุญมี เกิดวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2539  
ที่อยู่ 99/43 หมู่ 7 ต.สมอแข อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000  
โทรศัพท์: 0956431759 E-mail: pongprapat\_9999@hotmail.com



นายพนม สุขวิบูลย์ เกิดวันที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2539  
ที่อยู่ 516 หมู่ 3 ต.วังจันทร์ อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76170  
โทรศัพท์: 0827284845 E-mail: lam82011@hotmail.com



นายพัฒนชัย ตันตริภักดิ์ เกิดวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2539  
ที่อยู่ 1 หมู่ 2 ต.สวนหลวง อ.อัมพวา จ.สมุทรสงคราม 75110  
โทรศัพท์: 0910926094 E-mail: ptnch2539@hotmail.com



นายภาคิน ตันหยงทอง เกิดวันที่ 9 พฤษภาคม 2539  
ที่อยู่ 190 หมู่ 2 ต.แคมป์สน อ.เขาค้อ จ.เพชรบูรณ์ 67280  
โทรศัพท์: 0982742982 E-mail: benz97power@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้