

การศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแทปหม้อแปลงในโหลดชนิดมอเตอร์และ
แสงสว่าง

A Study of the Effect of Tap-Changing Transformer in Motor and
Lighting Load

นายทวีชัย สมัยกลาง รหัส 46363198

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 25 / พ.ค. 2553 /
เลขทะเบียน..... 5009285
เลขเรียกหนังสือ..... 193 ก
2549
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
ปีการศึกษา 2549



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	การศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้หม้อแปลงในโพลคอมพิวเตอร์และแสงสว่าง
ผู้ดำเนินโครงการ	นายทวีชัย สมัยกลาง รหัส 46363198
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สมยศ เกียรติวนิชวิไล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2549

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการวิศวกรรมไฟฟ้าฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

.....กรรมการ

(อาจารย์สมพร เรืองสินชัยวานิช)

.....กรรมการ

(อาจารย์ปิยนัย ภาชนะพรรัตน์)

หัวข้อโครงการ	การศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้หม้อแปลงในโพลชนิดมอเตอร์และแสงสว่าง		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายทวีชัย	สมัยกลาง	รหัส 46363198
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมยศ	เกียรติวนิชวิไล	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2549		

บทคัดย่อ

โครงการนี้ศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้หม้อแปลงในโพลชนิดมอเตอร์และแสงสว่าง ซึ่งศึกษานี้แบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วนคือการศึกษาผลที่เกิดจากการปรับแก้ในโพลชนิดมอเตอร์ โดยมีตัวแปรที่สนใจคือ แรงบิด ความเร็วรอบ กำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าเข้าและออกและแรงดันไฟฟ้า ส่วนการศึกษาในส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลที่เกิดจากการปรับแก้ในโพลชนิดแสงสว่าง มีตัวแปรที่สนใจคือ กำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้า

จากการทดลองพบว่าเมื่อปรับแก้หม้อแปลงในโพลชนิดมอเตอร์แล้ว ค่าทอร์ก กำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงเดิมในขณะที่โพลแบบแรงบิดคงที่ ในขณะที่แรงดันมีค่ามากขึ้น ส่วนส่วนการศึกษาในส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลที่เกิดจากการปรับแก้ในโพลชนิดแสงสว่างพบว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่วนกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม

Project Title A Study of the Effect of Tap-Changing Transformer in Motor and Lighting load

Name Mr. Thaweechai Samaiklang ID 46363198

Project Advisor Dr. Somyot Kaitwanidvilai

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic 2006

ABSTRACT

This project studies the effect of Tap-Changing adjusted secondary voltage to motor and lighting load . The project is compared of the two parts. First , the study of the effect of Tap-Changing in transformer for motor load witch the interested variables are torque , speed , input and output power , current and voltage. In the second part, the effect of the light load is studied. Interested variables are power, current and voltage.

The experimented results show that torque, power, and current in Tap-Changing of fixed-torque load motor are nearly equaled when the voltage is changed $\pm 10\%$ of normal voltage. But in the case of lighting load, the power and current is increased when the voltage in change.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือจากหลายๆ ท่านด้วยกัน ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์สมยศ เกียรติวนิชวิไล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา และคณะกรรมการสอบโครงการงานทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการแก้ปัญหาที่เป็นประโยชน์อย่างสูงในการทำโครงการนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ชั้นปีที่ 4 และน้องๆ นิสิตทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกด้านเสมอมา

ท้ายนี้ผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา



ผู้จัดทำโครงการ

นายทวีชัย

สมัยกลาง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 ขอบข่ายของโครงการ	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.4 วิธีการดำเนินการ	2
1.5 ตารางดำเนินงาน	2
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.7 งบประมาณของโครงการ	3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า	4
2.1.1 โครงสร้างหม้อแปลง	6
2.1.2 การทดสอบหม้อแปลง	8
2.1.2.1 การทดสอบหม้อแปลงด้วยวิธีเปิดวงจร (Open-Circuit Test: O.C. Test หรือ No-Load Test)	8
2.1.2.2 การทดสอบในสภาวะลัดวงจร (Short circuit or no-load test)	9
2.1.3 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลง (losses)	10
2.1.4 ประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้า (Efficiency)	12
2.2 ทฤษฎีการเปลี่ยนแท็ปของหม้อแปลง	13
2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)	14
2.3.1 ความเร็วรอบ (speed)	14

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.2 ความกำลังทางกล (Mechanical power developed)	19
2.3.2 แรงบิด (Torque)	19
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	
3.1 แนวคิดของโครงการ	21
3.1.1 การพิจารณาเรื่องโหลด	21
3.1.2 การพิจารณาในเรื่องการปรับแก้	21
3.1.3 การพิจารณาในเรื่องการปรับแก้ในเชิงเปรียบเทียบ	22
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ	22
3.3 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	22
3.3.1 การศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้หม้อแปลงในโหลดมอเตอร์	23
3.3.2 ผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้หม้อแปลงในโหลดแสงสว่าง	24
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 ผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้หม้อแปลงในโหลดมอเตอร์	25
4.1.1 แรงบิด	25
4.1.2 ความเร็วรอบ	26
4.1.2 ความกำลังทางกล	26
4.2 ผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้หม้อแปลงในโหลดแสงสว่าง	28
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 ข้อสรุปจากการศึกษา	29
5.1.1 ผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้หม้อแปลงในโหลดมอเตอร์	29
5.1.2 ผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้หม้อแปลงในโหลดแสงสว่าง	29
5.2 ข้อเสนอแนะ	29
เอกสารอ้างอิง	31
ภาคผนวก	32

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ก ผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้ปมข้อเปลี่ยนแปลงในโหลดมอเตอร์ี	33
ภาคผนวก ข ผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้ปมข้อเปลี่ยนแปลงในโหลดแสงสว่าง	36
ประวัติผู้เขียน โครงการงาน	



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางการดำเนินโครงการ	2
2.1 ความเร็วรอบของมอเตอร์กับความถี่	15



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงคำอธิบายการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า	4
2.2 แกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส	7
2.3 แกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส	7
2.4 การต่อวงจรทดสอบในสภาวะเปิดวงจร (Open circuit or no-load test)	8
2.5 การต่อวงจรในสภาวะลัดวงจร (Short circuit or no-load test)	9
2.6 ประสิทธิภาพสูงสุดของหม้อแปลง.....	13
2.7 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยการปรับแรงดัน	18
2.8 วิธีการควบคุมความเร็วโดยการปรับความต้านทาน โรเตอร์	18
2.6 คุณลักษณะแรงบิด - ความเร็วสำหรับแรงดันที่ขั้วค่าต่างๆ	20
3.1 ไดอะแกรมการปรับแท็ป	21
3.2 การปรับแท็ปของหม้อแปลง	23
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับแรงดัน	25
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดัน	26
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังทางกลกับแรงดัน	27
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับแรงดัน	28

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้ามีส่วนสำคัญในกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ แต่เนื่องจากมีความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้นและต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้ามีราคาที่สูงขึ้น จึงมีแนวคิดที่จะต้องมีการจัดการกับพลังงานเพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาเพื่อหาวิธีประหยัดพลังงานด้วยวิธีต่างๆ ในโครงการชิ้นนี้เป็นการศึกษาผลกระทบต่างๆที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแท่งของหม้อแปลงเมื่อมีการจ่ายโหลดให้กับโหลดมอเตอร์และแสงสว่าง เพื่อที่จะสามารถระบุได้ว่าวิธีการนี้สามารถประหยัดพลังงานได้หรือไม่ รวมถึงเป็นการสร้างระบบที่สามารถใช้ในการควบคุมการตัดสินใจของการจ่ายพลังงานของหม้อแปลง เมื่อมีการปรับแท่งของหม้อแปลงเพื่อมีการจ่ายพลังงานให้กับโหลดทั้งสองชนิดนี้

โครงการนี้เป็นการศึกษาการผลกระทบเนื่องจากการปรับแท่งของหม้อแปลงในโหลดชนิดมอเตอร์และแสงสว่าง ซึ่งศึกษาผลต่างๆที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้กับโหลดที่คงที่ ในโครงการนี้แบ่งการศึกษออกเป็นสองส่วนคือการศึกษาผลที่เกิดจากการปรับแท่งหม้อแปลงในโหลดชนิดมอเตอร์ โดยมีตัวแปรที่สนใจคือ แรงบิด ความเร็วรอบ กำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ส่วนการศึกษาในส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลที่เกิดจากการปรับแท่งในโหลดชนิดแสงสว่าง มีตัวแปรที่สนใจคือ กำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

1.2 ขอบข่ายของโครงการ

1.2.1 ศึกษาการเปลี่ยนแท่งหม้อแปลงได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน

1.2.2 ศึกษาการประหยัดพลังงานของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อมีการปรับแท่งหม้อแปลงไฟฟ้าว่าสามารถประหยัดได้หรือไม่

1.2.3 อธิบายผลที่เกิดตามมาเมื่อมีการเปลี่ยนแท่งของหม้อแปลงในโหลดมอเตอร์และแสงสว่าง

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.3.1 เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแท่งหม้อแปลงไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ต้องการ

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลทางวิธีการ
- หลักการต่างๆของหม้อแปลงไฟฟ้า
 - แท้ปของหม้อแปลงไฟฟ้า
 - หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้า
- 1.4.2 ทำการทดลองเปลี่ยนแท้ปหม้อแปลงใน โหลดมอเตอร์
- 1.4.3 ทำการทดลองเปลี่ยนแท้ปหม้อแปลงใน โหลดแสงสว่าง
- 1.4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง
- 1.4.5 สรุปผลการทดลองและปัญหา
- 1.4.6 กำหนดผลค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลงที่ได้จากการทดลองเทียบกับพิกัดหม้อแปลง
- 1.4.7 จัดทำรูปเล่มรายงาน

1.5 ตารางดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ตารางการดำเนินโครงการ

กิจกรรม	ปี2548		ปี2549			
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาวิธีการเปลี่ยนแท้ปหม้อแปลง	←	→				
2. ทำการทดลองหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อหาค่าต่าง ๆ ของหม้อแปลง		←	→			
3. ทำการทดลองการปรับแท้ปหม้อแปลงในโหลดมอเตอร์และแสงสว่าง			←	→		
5. สรุปผลการทดลองและปัญหา				←	→	
6. จัดทำรูปเล่มรายงาน					←	→

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบการปรับเทียบหม้อแปลงในโหลดแบบมอเตอร์และแสงสว่างได้อย่างเหมาะสม

1.6.2 ทราบว่าวิธีนี้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้จริงหรือไม่

1.7 งบประมาณ

จัดทำรูปเล่มรายงาน	400	บาท
ค่าหลอดไฟ	400	บาท
ถ่ายเอกสาร	200	บาท
รวมเป็นเงินที่ใช้จ่าย	1000	บาท

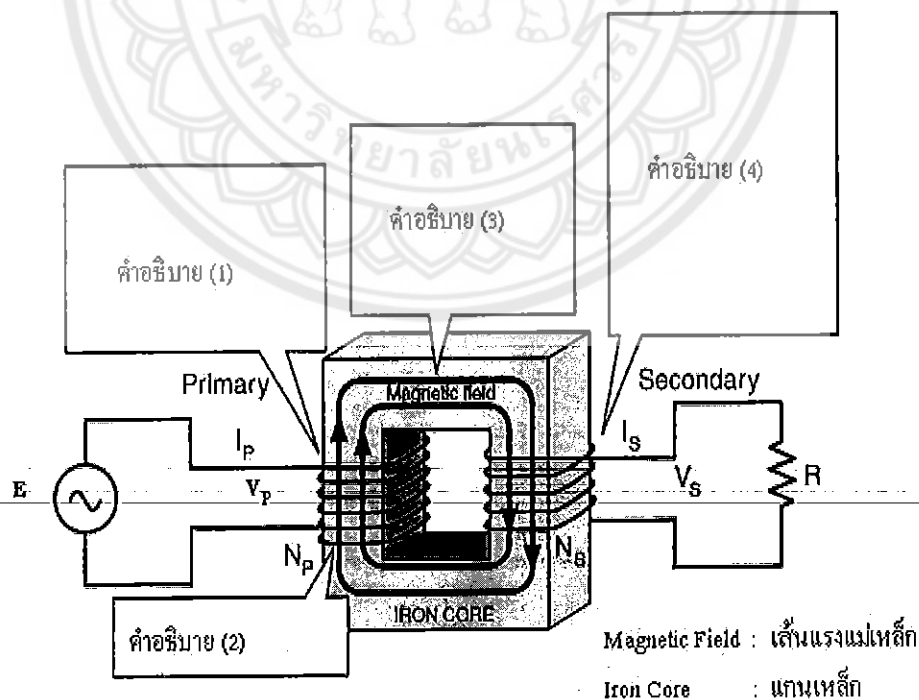


บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ

2.1 หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าหรือที่เรียกว่า ทรานส์ฟอร์มเมอร์ (Transformer) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ถ่ายทอดพลังงานไฟฟ้าจากวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจากวงจรหนึ่งไปอีกรวมหนึ่ง โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้ารับพลังงานไฟฟ้าจากวงจรไฟฟ้าที่มีแรงดันขนาดหนึ่ง แล้วถ่ายทอดไปอีกรวมหนึ่งที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าหม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้เรียกว่า หม้อแปลงขึ้น (Step-Up Transformer) แต่หม้อแปลงไฟฟ้ารับพลังงานไฟฟ้าจากวงจรไฟฟ้าที่มีแรงดันขนาดหนึ่ง แล้วถ่ายทอดไปอีกรวมหนึ่งที่มีแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าหม้อแปลงไฟฟ้าแบบนี้เรียกว่า หม้อแปลงลง (Step-down Transformer) หรือถ้าหม้อแปลงไฟฟ้ารับพลังงานไฟฟ้าจากวงจรที่มีแรงดันไฟฟ้าขนาดหนึ่ง แล้วถ่ายทอดไปอีกรวมหนึ่งที่มีแรงดันไฟฟ้าเท่าเดิมเรียกหม้อแปลงไฟฟ้า แบบนี้ว่าหม้อแปลงหนึ่งต่อหนึ่ง (One to one transformer)



รูปที่ 2.1 แสดงคำอธิบายการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

สัญลักษณ์ในสมการ

E = แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแหล่งไฟสลับ (โวลต์)

V = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (โวลต์)

I = กระแสไฟฟ้า (แอมป์)

R = โหลดตัวต้านทาน (โอห์ม)

N = จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

f = ความถี่ (รอบต่อวินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (ตารางเมตร)

t = เวลา (วินาที)

“P” = ปฐมภูมิ (Primary)

“S” = ทติยภูมิ (Secondary)

$\frac{\Delta B}{\Delta t}$ = อัตราการเปลี่ยนแปลงจากความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กต่อเวลา

B = ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์ต่อตารางเมตร)

กฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) กล่าวว่าไว้ว่า เมื่อขดลวดได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้ขดลวดมีการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กตามขนาดของรูปคลื่น ไฟฟ้ากระแสสลับ และทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดนี้

คำอธิบาย 1 : เมื่อขดลวดปฐมภูมิได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นตามกฎของฟาราเดย์ ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวด พื้นที่แกนเหล็ก และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเขียนในรูปคณิตศาสตร์ได้ คือ

$$V_p = -N_p A \frac{\Delta B}{\Delta t} \quad (2.1)$$

ข้อสังเกต เครื่องหมายลบ แสดงให้เห็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีทิศทางตรงข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็ก

คำอธิบาย 2 : เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กนี้เปลี่ยนแปลงตามขนาดของรูปคลื่น ไฟฟ้าที่ได้รับ

คำอธิบาย 3 : เส้นแรงแม่เหล็กเกือบทั้งหมดจะอยู่รอบแกนเหล็ก

คำอธิบาย 4 : เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กผ่านขดลวด จะทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดทุกขดขดนี้ และเขียนในรูปคณิตศาสตร์ ได้คือ

$$V_s = -N_s A \frac{\Delta B}{\Delta t} \quad (2.2)$$

ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และจำนวนรอบของขดลวดทั้งด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิของหม้อแปลงตามอุดมคติ (Ideal Transformer : ไม่รวมการสูญเสียของขดลวดและแกนเหล็ก) สามารถหาได้จาก

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} \quad (2.3)$$

ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความถี่ จำนวนรอบของขดลวด พื้นที่แกนเหล็ก และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (ไม่รวมการสูญเสียของเส้นแรงแม่เหล็กและแกนของหม้อแปลง) หาได้จาก

$$V = 4.44 f N A B \quad (2.4)$$

2.1.1 โครงสร้างหม้อแปลง

หม้อแปลงแบ่งออกตามการใช้งานของระบบไฟฟ้ากำลัง 2 แบบคือ หม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส แต่ละชนิดมีโครงสร้างสำคัญประกอบด้วย

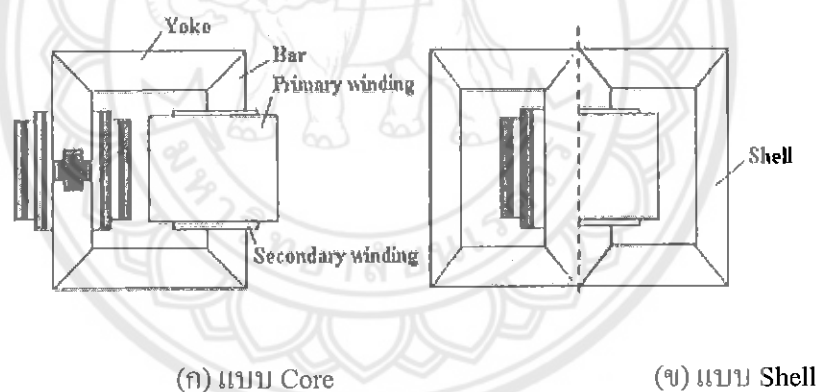
1. ขดลวดตัวนำปฐมภูมิ (Primary Winding) ทำหน้าที่รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า
2. ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) ทำหน้าที่จ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า
3. แผ่นแกนเหล็ก (Core) ทำหน้าที่เป็นทางเดินสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและให้ขดลวดพันรอบแกนเหล็ก
4. ขั้วต่อสายไฟ (Terminal) ทำหน้าที่เป็นจุดต่อสายไฟกับขดลวด
5. แผ่นป้าย (Name Plate) ทำหน้าที่บอกรายละเอียดประจำตัวหม้อแปลง
6. อุปกรณ์ระบายความร้อน (Coolant) ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับขดลวด
7. โครง (Frame) หรือตัวถังของหม้อแปลง (Tank) ทำหน้าที่บรรจุขดลวด แกนเหล็กรวมทั้งการติดตั้งระบบระบายอากาศ
8. สวิตช์และอุปกรณ์ควบคุม (Switch Controller) ทำหน้าที่ควบคุมการเปลี่ยนขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้า

ขดลวด

วัสดุที่ใช้ทำขดลวดหม้อแปลงโดยทั่วไปทำมาจากสายทองแดงเคลือบน้ำยาฉนวน มีขนาดและลักษณะลวดเป็นทรงกลมหรือแบนขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อแปลง ลวดเส้นโตจะมีความสามารถในการจ่ายกระแสได้มากกว่าลวดเส้นเล็ก หม้อแปลงขนาดใหญ่มักใช้ลวดถักแบบตีเกลียวเพื่อเพิ่มพื้นที่สายตัวนำให้มีทางเดินของกระแสไฟมากขึ้น สายตัวนำที่ใช้พันขดลวดบนแกนเหล็กทั้งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิอาจมีแท็ปแยก (Tap) เพื่อแบ่งขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (ในหม้อแปลงขนาดใหญ่จะใช้การเปลี่ยนแท็ปด้วยสวิตช์อัตโนมัติ)

แกนเหล็ก

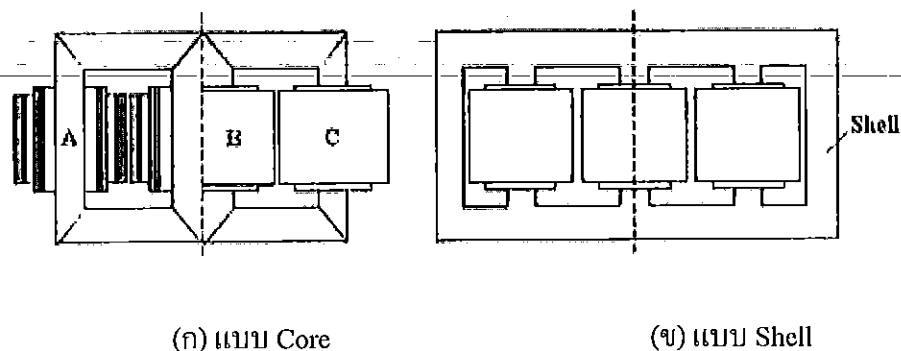
แผ่นเหล็กที่ใช้ทำหม้อแปลงจะมีส่วนผสมของสารกึ่งตัวนำ-ซิลิกอนเพื่อรักษาความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบขดลวดไว้ แผ่นเหล็กแต่ละชั้นเป็นแผ่นเหล็กบางเรียงต่อกันหลายชั้น ทำให้มีความต้านทานสูงและช่วยลดการสูญเสียบนแกนเหล็กที่ส่งผลให้เกิดความร้อนหรือที่เรียกว่ากระแสไหลวนบนแกนเหล็ก โดยทำแผ่นเหล็กให้เป็นแผ่นบางหลายแผ่นเรียงซ้อนประกอบขึ้นเป็นแกนเหล็กของหม้อแปลง ซึ่งมีด้วยกันหลายรูปแบบเช่น แผ่นเหล็กแบบ Core และแบบ Shell ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3



(ก) แบบ Core

(ข) แบบ Shell

รูปที่ 2.2 แกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส



(ก) แบบ Core

(ข) แบบ Shell

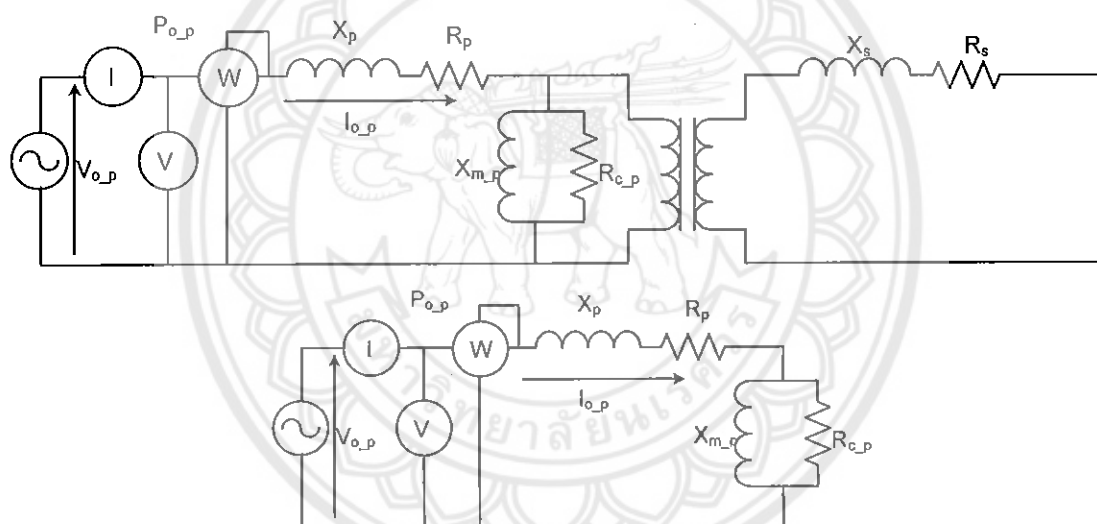
รูปที่ 2.3 แกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส

2.1.2 การทดสอบหม้อแปลง

2.1.2.1 การทดสอบด้วยวิธีเปิดวงจร (Open-Circuit Test : O.C. Test หรือ No-Load Test)

การทดสอบนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นในสภาวะไร้โหลด (no-load loss) หรือการสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss or iron loss) การทดสอบดังกล่าวจะกระทำโดยการเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิแล้วเอาวัตต์มิเตอร์ โวลต์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์ต่อตามรูปที่ 2.8

เนื่องจากในระบบการส่งจ่ายไฟฟ้ามีการส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าในขนาดที่สูงกว่าแรงดันที่ใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดปัญหาแรงดันตก (Voltage drop) อาทิเช่น แรงดันปกติ 380V แต่การไฟฟ้าต้องจ่ายไปถึง 400 V ดังนั้นอุปกรณ์ที่นำมาปรับแรงดันให้เหมาะสมกับการนำไปใช้คือ หม้อแปลง ซึ่งในการปรับแทปหม้อแปลงนี้จะมีผลต่อการใช้พลังงานของโหลดจึงได้มีการศึกษาในเรื่อง ผลกระทบของการปรับแทปหม้อแปลงในโหลดแบบส่องสว่างและโหลดมอเตอร์ว่าเป็นอย่างไร จึงเป็นที่มาของโครงการนี้



รูปที่ 2.4 การต่อวงจรทดสอบในสภาวะเปิดวงจร (Open circuit or no-load test)

ค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์คือค่าที่เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก หรือค่าที่เกิดการสูญเสียในสภาวะไร้โหลด ค่าที่อ่านได้จากแอมป์มิเตอร์คือค่ากระแสในสภาวะไร้โหลด (No-Load Current) ซึ่งมีค่าที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกระแสที่เต็มโหลดเต็มพิกัด (Rated Load Current) ค่าแรงดันที่ได้คือค่าแรงดันในสภาวะไร้โหลด (No-Load Voltage)

ดังนั้นจะได้ว่า $P_o = V_1 I_o \cos \phi_o$

$$\cos \phi_o = \frac{P_o}{V_1 I_o} \quad (2.5)$$

ดังนั้น $I_{\mu} = I_0 \sin \phi_0$ (2.6)

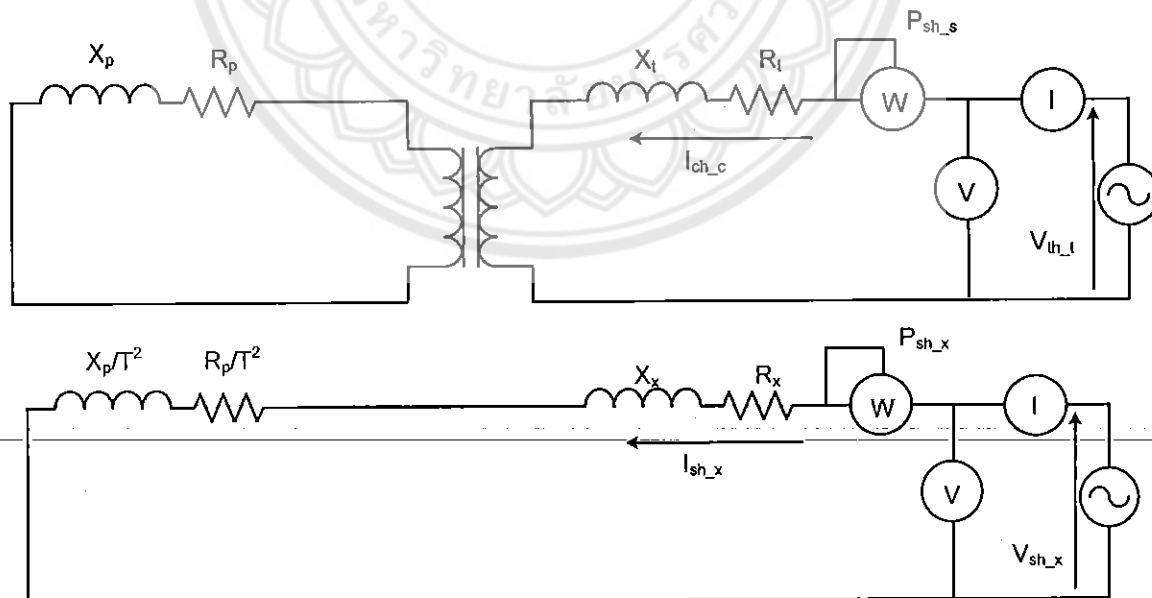
$I_{\omega} = I_0 \cos \phi_0$ (2.7)

- โดยที่
- P_0 = การสูญเสียในแกนเหล็ก
 - V_1 = ค่าแรงดันในสภาวะไร้โหลด (No-Load Voltage)
 - I_0 = กระแสในสภาวะไร้โหลด (No-Load Current)
 - I_{μ} = กระแสที่ทำให้เกิดการสูญเสียในแกนเหล็ก
 - I_{ω} = กระแสที่สร้างฟลักซ์

2.1.2.2 การทดสอบในสภาวะลัดวงจร (Short circuit or no-load test)

การทดสอบในสภาวะลัดวงจร นี้มีจุดมุ่งหมายดังนี้

- ก. เพื่อหาค่าการสูญเสียในขดลวดทองแดง เมื่อ โหลดเต็มพิกัด ค่าการสูญเสียนี้จะนำไปหาประสิทธิภาพของหม้อแปลง
- ข. เพื่อหาค่าความต้านทานสมมูลย์ (R_{01} หรือ R_{02}) ค่าลิกเจอร์แอกแตนซ์สมมูลย์ (X_{01} หรือ X_{02})ค่าอิมพีแดนซ์สมมูลย์ของหม้อแปลง
- ค. เมื่อทราบ ก็สามารถ หาค่าแรงดันที่ตกคร่อมอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงได้



รูปที่ 2.5 การต่อวงจรในสภาวะลัดวงจร (Short circuit or no-load test)

ค่าที่อ่านได้จากแอมป์มิเตอร์คือค่ากระแสในสภาวะโหลดเต็มพิกัด (Full- Load Current) ค่าแรงดันที่ได้คือค่าแรงดันในสภาวะโหลดเต็มพิกัด (Full-Load Voltage) ค่ากำลังที่อ่านได้คือค่ากำลังที่สูญเสียในขดลวดทองแดงเมื่อโหลดเต็มพิกัด

$$P_{sc} = I_{sc}^2 R_{01} \quad (2.8)$$

$$R_{01} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} \quad (2.9)$$

$$Z_{01} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \quad (2.10)$$

$$X_{01} = \sqrt{Z_{01}^2 - R_{01}^2} \quad (2.11)$$

P_{sc} = การสูญเสียในขดลวด

V_{sc} = ค่าแรงดันในสภาวะโหลดเต็มพิกัด(Full-Load Voltage)

I_{sc} = ค่ากระแสในสภาวะโหลดเต็มพิกัด(Full- Load Current)

2.1.3 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลง (Losses)

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในหม้อแปลงมี สองชนิด คือ

No-load loss

เกิดขึ้นขณะป้อนไฟ (energize) เข้าขดลวดหม้อแปลงขดหนึ่ง และขดที่เหลือไม่ต่อกับ load หรือ open ไว้กระแสที่ไหลในขดลวดขณะนั้นเรียกว่า no-load current รูปร่างของกระแสจะเห็นรูปไม่เป็น sinusoidal wave เพราะประกอบด้วยกระแส harmonic และจะเห็นรูปมากขึ้น ในขณะที่แรงดันเพิ่มสูงขึ้น เป็นเพราะแกนเหล็ก (steel core) มีคุณลักษณะเป็น non-linear กระแส no-load และ loss มีความสัมพันธ์กับ flux density , frequency , ปริมาณเหล็ก ชนิดของเหล็ก (grade) ความหนาของเหล็กที่ใช้ทำแกน ตลอดจนการออกแบบและเทคนิคการประกอบแกนเหล็ก การวัด no-load loss ต้องคำนึงถึงเครื่องมือวัด เพราะกระแสที่วัดมีฮาร์มอนิกผสมอยู่ และกระแสมี power factor ต่ำมาก

Load loss

ความสูญเสียนี้เกิดขึ้นในขณะที่หม้อแปลงจ่ายโหลดความสูญเสียเกิดจาก

- จากความต้านทานของลวดตัวนำ I^2R
- จาก eddy current loss ในขดลวด

- จาก stray loss ใน ส่วนประกอบที่เป็นเหล็ก เช่น tank, core clamp load loss ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่คือ I^2R และส่วนที่เหลือเป็น loss ที่เกิดจาก leakage flux ขดลวด มีลักษณะที่เกิดจากการพันลวดตัวนำแต่ละรอบทับกันแน่น และแต่ละขดมีลักษณะเดียวกันหรือ สัมพันธ์กันด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก (magnetic coupling) ในขณะที่ no-load ส่วนใหญ่ของ magnetic flux จะไหลวนอยู่ในแกนเหล็ก เมื่อจ่ายโหลดจะเกิด ampere-turn ของขดลวดแต่ละชุด ทำให้เกิด leakage flux ไหลอยู่ในช่องว่างระหว่างขดลวด มีผลทำให้ฟลักซ์ทั้งหมดไม่ได้คล้องขดลวดทั้งหมดเท่ากัน leakage flux ที่เกิดขึ้นจะมีผลทำให้เกิดเหตุการณ์ดังต่อไปนี้

- เกิดแรงระหว่างขดลวดที่มี short circuit ไหลผ่าน
- เกิด eddy current loss ในลวดตัวนำของขดลวด
- เกิด stray loss ในส่วนที่เป็นเหล็ก
- ต้องใช้ reactive power
- ทำให้เกิด reactive voltage drop

การวัด load loss ก็ไม่ง่ายเช่นเดียวกัน เพราะไม่สามารถวัดความสูญเสียได้ที่อุณหภูมิสูงสุด ขณะมีกระแสฟลักซ์ไหลได้โดยตรง ความต้านทาน (resistance) ของขดลวดจะเพิ่มตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น I^2R loss จะแปรผันตรงกับค่าความต้านทาน แต่ eddy current loss แปรผกผันกับค่าความต้านทาน ดังนั้น loss ที่วัดได้จะถูกคำนวณเปลี่ยนเป็นที่อุณหภูมิมาตรฐานที่ 75°C หรือที่ 85°C ตามชนิดของ ฉนวน 105°C หรือ 120°C ที่ใช้ตามลำดับ เพื่อใช้เป็นค่า guarantee ปัญหาหนึ่งที่พบคือไม่สามารถวัดค่า อุณหภูมิของขดลวดได้ละเอียดถูกต้องนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่อุณหภูมิของลวดตัวนำกำลัง เปลี่ยนแปลง และ stray loss ขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของเหล็กแต่ละชนิดที่ใช้ ซึ่งมีค่า resistance coefficient ต่างจากทองแดง อาจไม่คงที่และเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ รวมทั้งยังไม่สามารถวัด eddy current loss ในขดลวดแยกออกจาก stray loss ได้ในหม้อแปลงรุ่นใหม่ ๆ จะมี load losses ต่ำ ทำให้ power factor ของวงจรที่วัดต่ำมากหม้อแปลงที่มี capacity ยิ่งมาก power factor ยิ่งต่ำ ต้องเลือกใช้ wattmeter ให้เหมาะสม

2.1.4 ประสิทธิภาพหม้อแปลงไฟฟ้า (Efficiency)

พลังงานที่ใช้ในการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า ส่วนหนึ่งเกิดจากการสูญเสียที่ขดลวด ทองแดง (Copper Loss) เป็นผลให้ขดลวดเกิดความร้อน และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการสูญเสียที่แกน เหล็ก (Core Loss) ทำให้เกิดการสูญเสียของเส้นแรงแม่เหล็ก (Hysteresis Loss) ที่ถูกสร้างขึ้นจาก ขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ รวมทั้งกระแสไหลวน (Eddy Current Loss หรือ Skin Effect) บนพื้นผิว ตัวนำไฟฟ้า ดังนั้น การคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อแปลง (Efficiency) เมื่อคิดการสูญเสียจึง สามารถเขียนสมการที่ว่าประสิทธิภาพของหม้อแปลง เท่ากับ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าด้านจ่ายไฟ (Output) ต่อกำลังไฟฟ้าด้านรับไฟฟ้า (Input) สมการที่พิจารณาประสิทธิภาพกำหนดดังนี้ คือ

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2.12)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in} + Losses} \quad (2.13)$$

เนื่องจากการสูญเสียของหม้อแปลงประกอบด้วยการสูญเสียที่แกน (core loss : P_c) และการสูญเสียในทองแดง (copper loss: P_{cu}) ดังนั้น สมการ (2.13) เขียนใหม่ได้ดังนี้คือ

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_c + P_{cu}} \quad (2.14)$$

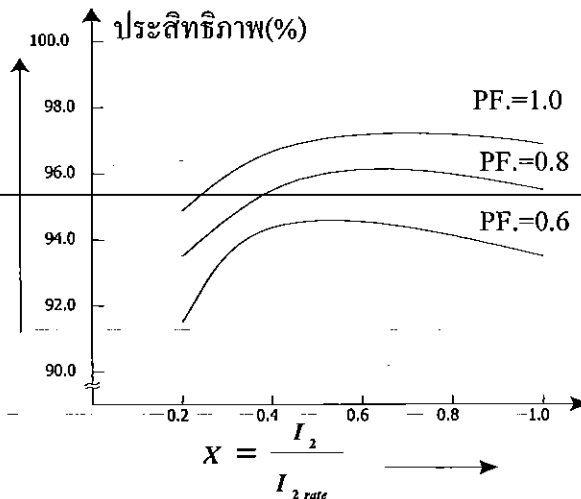
$$P_{cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 \quad (2.15)$$

การสูญเสียเนื่องจากทองแดงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นเส้นแรงสูงสุดในแกนที่เป็นผลจากแรงดัน ซึ่งจ่ายให้กับหม้อแปลง ดังนั้นการต่อหม้อแปลงเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันคงที่นั้นการสูญเสียที่แกนทั้งหมดจะคงที่ด้วยและสามารถหาค่าการสูญเสียดังกล่าวได้จากการทดสอบหม้อแปลงขณะไร้อโหลด ซึ่งจะทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์ของวงจรสมมูลและสามารถนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นได้ ดังสมการ (2.16)

$$\eta = \frac{V_2 I_2 \cos \theta_2}{V_2 I_2 \cos \theta_2 + P_c + I_2^2 R_2} \quad (2.16)$$

โดยที่ $P = V_2 I_2 \cos \theta_2 \quad (2.17)$

ปกติแรงดัน โหลดจะคงที่ประสิทธิภาพจึงขึ้นอยู่กับกระแส โหลด I_2 และตัวประกอบกำลังที่ โหลด $\cos \theta_2$ ดังรูปที่



รูปที่ 2.6 ประสิทธิภาพสูงสุดของหม้อแปลง

ประสิทธิภาพสูงสุด η_{\max} ของหม้อแปลงเกิดขึ้นเมื่อ $PF = 1$ (นั่นคือ โหลดเป็นชนิดความต้านทาน) และ $P_{cu} = P_c$ โดยที่ประสิทธิภาพจะเปลี่ยนแปลงตามกระแสโหลด I_2 และ PF ของโหลด ดัง แสดงในรูปที่ 2.6

2.2 ทฤษฎีการเปลี่ยนแท็ปของหม้อแปลง

การเปลี่ยนแท็ปของหม้อแปลงกำลังอาศัยการเปลี่ยนแท็ปที่ขดลวดหรือจำนวนรอบ เป็นการเปลี่ยนแท็ปของขดลวดซึ่งจะสร้างแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและถูกกำหนดโดยตัวเปลี่ยนแท็ปตามความต้องการ นักออกแบบหม้อแปลงการคิดจะพิจารณาเป็นอันดับแรกคือหมุนรอบตั้งค่าของขดลวดเพื่อเปลี่ยนแท็ปทางสถิติของขดลวดในตำแหน่งที่กำหนดไว้เพื่อเป็นการเพิ่มหรือลดจำนวนขดลวดที่เหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันและกระแสไฟฟ้าซึ่งตัวประกอบที่จะมีผลต่อการปรับแท็ปได้แก่

- ค่าอิมพีแดนซ์ของแท็ปหลัก
- การเปลี่ยนแปลงของค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างแท็ป
- ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างหน้าคอนแท็กทั้งในสภาวะคงตัวและช่วงสภาวะชั่วคราว

หลักการเปลี่ยนแท็ป (Tap) ของหม้อแปลง มีอยู่ 2 วิธี ได้แก่

- การเปลี่ยนแท็ปแรงดันขณะไม่มีโหลด (No load Voltage Tap Changer) คือการแท็ปหม้อแปลงขณะไม่มีโหลด หรือไม่มีไฟหรือยังไม่ได้จ่ายไฟให้กับโหลด
- การเปลี่ยนแท็ปแรงดันขณะมีโหลดหรือขณะมีไฟ (Load Voltage Tap Changer) คือสามารถเปลี่ยนแท็ปได้ขณะที่มีไฟ หรือแท็ปขณะจ่ายโหลดอยู่ ซึ่งการแท็ปแบบนี้จะอาศัย

ช่วงเวลาที่พักของกระแสเป็นศูนย์ทำการเปลี่ยนแท็บ ซึ่งถ้าหากแท็บตอนที่เฟสของกระแสไม่เป็นศูนย์อาจทำให้เกิดการอาร์กที่หน้าสัมผัสและทำให้หม้อแปลงเสียหายได้

2.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor)

มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) มีอยู่สองประเภท คือ แบบวาวด์โรเตอร์ (Wound Rotor) และแบบกรงกระรอก(Squirrel cage motor) โดยมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบวาวด์โรเตอร์ ไม่ค่อยนิยมใช้ ราคาแพง สามารถปรับความเร็วได้โดยต่อความต้านทานเข้ากับชุดขดลวดในส่วนของโรเตอร์ ส่วนแบบกรงกระรอก เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้กันมากที่สุด แต่การปรับความเร็วทำได้ค่อนข้างยาก ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นตัวปรับขนาดแรงดันและความถี่ที่ป้อนให้แก่มอเตอร์ ถ้ามอเตอร์ใช้วิธีการปรับแรงดันเพียงอย่างเดียวจะทำให้ค่าแรงบิดไม่ดี ผลตอบสนองช้า กินกระแสมาก และผลของความเร็วเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเร็วคือความถี่ ถ้าความถี่สูง ความเร็วมอเตอร์ก็จะมาก ในทางปฏิบัติจะให้การเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงดันและความถี่เป็นอัตราส่วนเดียวกัน (ฟลักซ์ = แรงดัน/ความถี่) เมื่อตอนสตาร์ท ก็ให้ใช้แรงดันน้อยและความถี่น้อย เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นก็ให้ใช้แรงดันสูงขึ้นและความถี่สูงขึ้น ทำให้ค่าฟลักซ์คงที่ตลอด ซึ่งฟลักซ์ก็จะมีผลต่อแรงบิด ทำให้ได้ค่าแรงบิดสูงสุดเสมอ เราจะไม่นิยมปรับที่ความถี่เพียงอย่างเดียวเพราะว่า ถ้าใช้ความถี่ต่ำ ๆ ในตอนสตาร์ท ในขณะที่แรงดันยังสูงอยู่ ทำให้ค่าฟลักซ์มีค่าสูงมาก ทำให้เกิดการอิ่มตัว(saturate) ในแกนเหล็ก ทำให้มอเตอร์กินกระแสมากเนื่องจาก ความสูญเสียในแกนเหล็ก (Iron Loss)

2.3.1 ความเร็วรอบ (Speed)

มอเตอร์อินดักชันมอเตอร์ชนิดวาวด์โรเตอร์ เมื่อป้อนไฟฟ้า 3 เฟส ให้กับขดลวดสเตเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่สเตเตอร์เรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส สนามแม่เหล็กนี้เหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่โรเตอร์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าสลิปของมอเตอร์ แม้ว่าแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์นั้นจะเปลี่ยนแปลงไป 10 % ค่าของความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก หากเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันต่อไปอีกจะทำให้ค่าแรงบิดและกำลังสูงสุดของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก จนกระทั่งไม่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง

มอเตอร์เหนี่ยวนำมีลักษณะสมบัติเหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการความเร็วค่อนข้างคงที่ และตามทฤษฎีหลักการการทำงานของมอเตอร์ สามารถเปลี่ยนความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์ และค่าสลิปได้โดย 5 วิธี ดังนี้

- เปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็ก
- ปรับเปลี่ยนความถี่แหล่งจ่ายไฟฟ้า

- ปรับค่าแรงดัน
- ปรับค่าความต้านทานโรเตอร์
- ใส่แรงดันความถี่ที่เหมาะสมเข้าไปในวงจรโรเตอร์

เปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็ก

เนื่องจากความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์ หรือมอเตอร์เหนี่ยวนำ จะเปลี่ยนแปลงสัมพันธ์กับสมการความเร็วรอบหรือสมการซิงโครนัส-สปีดดังต่อไปนี้

$$\text{Synchronous speed } (N_s) = (120 \times f) / P \quad (2.18)$$

โดยกำหนดให้ f = ความถี่กระแสไฟฟ้า
 P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก
 N_s = ความเร็วซิงโครนัส

จากสมการความเร็วซิงโครนัส จะเห็นว่าความเร็วรอบของมอเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 เส้นทาง คือ

- เปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็ก (P)
- เปลี่ยนแปลงความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้า (f)

ดังนั้นหากความถี่กระแสไฟฟ้ามีค่าคงที่คือ 50 Hz. (หรือ 60 Hz. ในบางประเทศ เช่นอเมริกา) ความเร็วรอบของมอเตอร์ แต่ละตัวก็จะมีความเร็วรอบที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์แต่ละตัว ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางดังนี้

ตารางที่ 2.1 ความเร็วรอบของมอเตอร์กับความถี่

จำนวนขั้วแม่เหล็ก(P)	2	4	6	8	10	15
จำนวนรอบที่ความถี่ 50 Hz. (RPM)	3000	1500	1000	750	600	500
จำนวนรอบที่ความถี่ 60 Hz. (RPM)	3600	1800	1200	900	720	600

จากตารางสรุปความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของมอเตอร์ที่มีจำนวนขั้วแม่เหล็กที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าวิธีการควบคุมความเร็วรอบด้วยการเปลี่ยนจำนวนขั้วแม่เหล็กนั้น ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปครั้งละมาก ๆ เช่น เปลี่ยนจาก 3000 รอบต่อนาที ไปเป็น 1500 รอบต่อนาที หรือจาก 1500 รอบต่อนาที ไปเป็น 3000 รอบต่อนาที (กรณีเปลี่ยนจากการต่อแบบ 2 ขั้วแม่เหล็กไปเป็นการต่อแบบ 4 ขั้วแม่เหล็ก หรือจาก 4 ขั้วแม่เหล็กลดลงมาเหลือ 2 ขั้วแม่เหล็ก) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบในลักษณะนี้ความเร็วรอบที่เปลี่ยนแปลงจะไม่ละเอียด ทำให้เฉพาะในขณะที่ไม่มีโหลด และที่สำคัญคือ ต้องใช้มอเตอร์ที่ออกแบบพิเศษที่สามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนขั้วแม่เหล็กได้เท่านั้น ทำให้ไม่เหมาะสมกับความต้องการของงานในหลายประเภทที่ต้องการควบคุมความเร็วรอบในขณะมีโหลด เพื่อให้ความเร็วเหมาะสมกับความเร็วของกระบวนการผลิต ดังนั้นในกระบวนการผลิตทั่วไปจึงนิยมใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์มากกว่าเนื่องจากสามารถควบคุมให้มอเตอร์ด้วยความเร็วคงที่ ปรับความเร็วรอบไปที่ความเร็วต่างๆได้อย่างรวดเร็วและมีความเที่ยงตรงมากกว่า

การปรับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ

$$ฟลักซ์ = \text{แรงดัน/ความถี่} \tag{2.19}$$

การปรับความถี่แหล่งจ่ายไฟ ทำให้ความเร็วเชิงโครนัสของมอเตอร์เปลี่ยนไปด้วย แต่จำเป็นต้องปรับแรงดันในอัตราเดียวกันด้วย เพื่อให้ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กภายในมอเตอร์มีค่าคงที่ แรงบิดสูงสุดจึงจะคงที่ได้ ลักษณะสมบัติของมอเตอร์จึงคล้ายกับมอเตอร์กระแสตรงแบบ กระตุ้นแยก กระแสสนามคงที่และปรับแรงดันอาร์มาเจอร์

ปัญหาสำคัญของการควบคุมความเร็ววิธีนี้ คือ การได้มาซึ่งแหล่งจ่ายไฟปรับความถี่ได้ที่ดีและมีราคาถูก วิธีที่เป็นไปได้ก็คือใช้มอเตอร์แบบขดลวดพันทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนความถี่ ยังมีอีกวิธีหนึ่งคือ การใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทำหน้าที่เป็นตัวแปลงความถี่

ผลกระทบจากความถี่ที่เปลี่ยนไปเมื่อนำมอเตอร์อเมริกาที่ออกแบบให้ใช้ที่ระบบความถี่ 60 Hz 4 ขั้ว ตามสูตรจะได้ความเร็วรอบประมาณ 1800 รอบต่อนาที มาใช้ที่ระบบไฟฟ้า 50 Hz ความเร็ว

$$\text{รอบจะเปลี่ยนไปเป็นประมาณ 1500 รอบต่อนาที ตามสูตร } n = \frac{120f}{P}$$

- n = ความเร็วรอบมอเตอร์ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที (Speed)
- f = ความถี่ (Hz)
- P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก (Pole)

หากเรานำเอาเครื่องจักรสำเร็จรูปที่มีมอเตอร์ติดกับ OEM (Original Manufacture Equipment) ที่ผลิตจากประเทศอเมริกา ซึ่งออกแบบตามระบบไฟฟ้าของประเทศอเมริกามาใช้ เช่น พัดลม (Fan or Blower) หรือ เครื่องสูบน้ำ (Water Pump) สำเร็จรูปมาใช้จะมีผลกระทบอย่างไร

ตามกฎฟลศาสตร์ ปริมาณลม หรือน้ำ จะขึ้นอยู่กับความเร็วรอบยกกำลังสาม ($Q \sim n^3$) ดังนั้น เมื่อนำมอเตอร์อเมริกาที่ออกแบบให้ใช้ที่ระบบความถี่ 60 Hz ความเร็วรอบ 1800 รอบต่อนาที มาใช้ที่ระบบไฟฟ้า 50 Hz ความเร็วรอบจะเป็น 1500 รอบต่อนาที จะทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรลดลง ตามตามกฎฟลศาสตร์ของไหล ผลลัพธ์จะได้ปริมาณลม หรือน้ำจะได้ไม่เต็มที่ตาม ($Q \sim n^3$) แต่จะไม่มีผลกระทบต่อตัวมอเตอร์เองมากนัก เพราะการใช้พลังงานไฟฟ้าก็จะลดลงไปด้วยตามสัดส่วนของพลังงานที่จ่ายออกไป

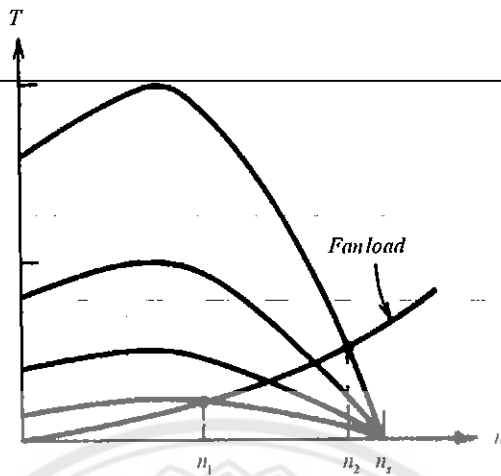
ผลกระทบต่อระบบระบายความร้อนมอเตอร์กรงกระรอกหรืออินดักชันมอเตอร์ โดยส่วนใหญ่จะมีการระบายความร้อนเป็นแบบชนิด IC411 หรือ แบบ Self Cool หรือ TEFC (Total Enclosure Fan Cool) โดยจะมีพัดลมอยู่สองชุด แยกวงจรลมออกเป็นวงจรลมร้อนภายใน และภายนอก โดยวงจรลมภายในจะมีกริปใบพัดติดที่ตัวโรเตอร์ทำหน้าที่ตีลมให้มีการหมุนเวียนภายในห้องโรเตอร์ ให้ลมกระจายโดยทั่ว เพื่อสามารถนำพาเอาความร้อนจากตัวโรเตอร์เองและขดลวดสเตเตอร์ ถ่ายเทไปยังผิวของโครงสร้างตัวมอเตอร์ โดยวิธีการนำพาระบายความร้อน ส่วนวงจรลมด้านนอกจะมีพัดลมติดด้านท้ายของตัวโรเตอร์ด้านนอกโครงสร้างมอเตอร์ ทำหน้าที่ดูดลมเย็นจากทางด้านท้าย (Non Drive End) ผ่านทางกริปด้านนอกเพื่อช่วยนำพา และระบายความร้อนออกจากตัวโครงสร้างมอเตอร์ ดังรูปที่ 3 หากวิเคราะห์ดูตามหลักฟลศาสตร์ การระบายความร้อน ส่วนที่ร้อนที่สุดคือส่วนกลางตัวมอเตอร์ เพราะอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดความร้อนคือ ขดลวดสเตเตอร์มากที่สุด ส่วนที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุดคือส่วนท้ายตัวมอเตอร์ เพราะอยู่ใกล้แหล่งลมเย็นที่ระบายความร้อนมากที่สุด

การปรับค่าแรงดัน

จากที่กล่าวมา มอเตอร์อินดักชันมอเตอร์ชนิดวาล์วโรเตอร์ เมื่อป้อนไฟฟ้า 3 เฟสให้กับขดลวดสเตเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่สเตเตอร์เรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส สนามแม่เหล็กนี้เหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่โรเตอร์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าสลิปของมอเตอร์ แม้ว่าแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์นั้นจะเปลี่ยนแปลงไป 10 % ค่าของความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก หากเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันต่อไปอีกจะทำให้ค่าแรงบิดและกำลังสูงสุดของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก จนกระทั่งไม่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง

เนื่องจากแรงบิดภายในที่มอเตอร์สร้างขึ้นมามีค่าขึ้นกับกำลังสองของแรงดันที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ ดังแสดงด้วยลักษณะสมบัติมอเตอร์ในรูป 2.7 ถ้าภาระมีลักษณะเส้นโค้งของแรงบิดและ

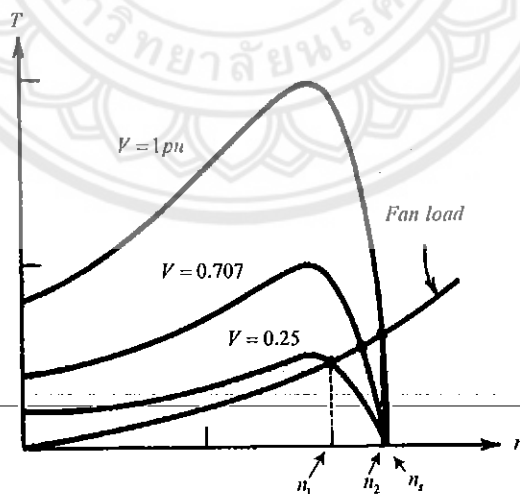
ความเร็วรอบแสดงด้วยเส้นประ ความเร็วมอเตอร์จะลดลงจาก n_1 เป็น n_2 วิธีการควบคุมแบบนี้มักใช้กับมอเตอร์แบบกรงกระรอกขนาดเล็กทำหน้าที่ขับเคลื่อน



รูปที่ 2.7 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยการปรับแรงดัน

การปรับความต้านทานโรเตอร์

สำหรับมอเตอร์แบบขดลวดพัน การปรับค่าความต้านทาน โรเตอร์ทำได้โดยต่อความต้านทานภายนอกอนุกรมกับขดลวด โรเตอร์ ทำให้สามารถปรับเส้น โคงี้แรงบิดและความเร็วของมอเตอร์ได้ ดังรูป 2.8 ถ้าคุณลักษณะสมบัติของภาระเป็นดังเส้นประ เมื่อเพิ่มความต้านทาน โรเตอร์ ความเร็วจะเปลี่ยนจาก n_1 เป็น n_2 และ n_3 ตามลำดับ



รูปที่ 2.8 วิธีการควบคุมความเร็วโดยการปรับความต้านทาน โรเตอร์

การควบคุมความถี่สลิปด้วยอุปกรณ์ช่วย

ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ ค่าสลิป s เป็นตัวชี้บอกว่ากำลังสูญเสียในโรเตอร์ $|I_2|^2 R_2$ มีค่าเป็น sP_g ดังนั้นการทำงานที่สลิปต่ำจึงไม่มีประสิทธิภาพ สามารถนำเอากำลังสูญเสียใน โรเตอร์นี้มาทำประโยชน์ได้ หลักการคือ จ่ายแรงดันปรับค่าได้ที่ความถี่สลิปให้แก่จอร์โรเตอร์ของมอเตอร์แบบขดลวดพัน

2.3.2 ความกำลังทางกล (Mechanical power developed)

การเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังทางกลของมอเตอร์ไฟฟ้า จะเกิดขึ้นที่โรเตอร์ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ กำลังอินพุตของโรเตอร์ไม่ได้เกิดจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าที่โรเตอร์โดยตรงแต่เป็นการถ่ายทอดกำลังผ่านทางช่องว่างอากาศ (air gap) ด้วยการเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำไฟฟ้าเกิดขึ้นที่โรเตอร์ และโดยทั่วไปแล้วกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์เป็นกำลังเอาต์พุตของโรเตอร์ เป็นกำลังทางกล (mechanical power developed) กำลังไฟฟ้าทางกลนี้คือกำลังที่เปลี่ยนจากรูปกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังทางกลทำให้เกิดแรงบิดหรือทอร์ก โดยสัมพันธ์กับความเร็วของโรเตอร์ดังสมการที่ 2.17

$$P = \tau \omega \quad (2.17)$$

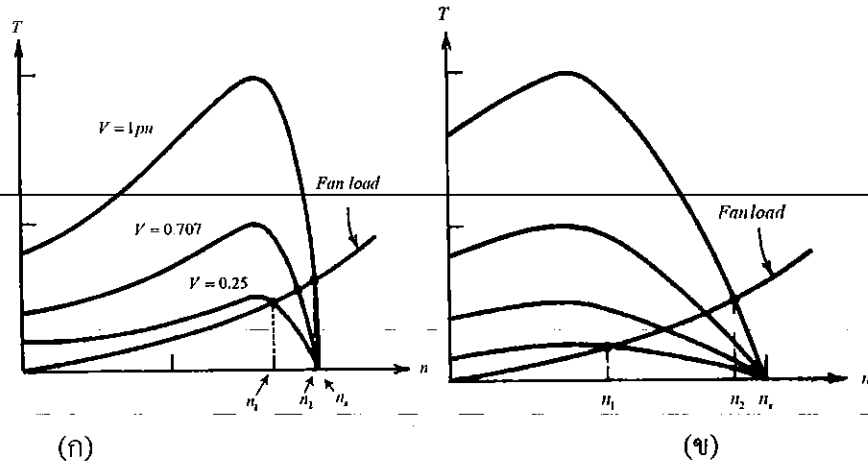
$$P = 2\pi N \quad (2.18)$$

โดยที่ P = กำลังไฟฟ้า (W)
 τ = ทอร์ก (N·M)
 N = ความเร็วรอบโรเตอร์ (rpm)
 ω = ความเร็วรอบ (rad/s)

2.3.2 แรงบิด (Torque)

การเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังทางกลของมอเตอร์ไฟฟ้า จะเกิดขึ้นที่โรเตอร์ในมอเตอร์เหนี่ยวนำ กำลังอินพุตของโรเตอร์ไม่ได้เกิดจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าที่โรเตอร์โดยตรงแต่เป็นการถ่ายทอดกำลังผ่านทางช่องว่างอากาศ (air gap) ด้วยการเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำไฟฟ้าเกิดขึ้นที่โรเตอร์ และทำให้เกิดแรงบิดเกิดขึ้นที่ความเร็วโรเตอร์

ผลจากการควบคุมแรงดันไลน์ (Line Voltage Control) โดยเมื่อกล่าวถึงมอเตอร์นั้นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา คือ แรงบิดที่มอเตอร์สร้างขึ้น สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำแรงบิดเป็นสัดส่วนกับแรงดันที่ขั้วยกกำลังสอง โดยคุณลักษณะ $T - n$ แปรตามแรงดันที่ขั้ว ดังรูปที่ 2.9 ถ้าโรเตอร์ขับเคลื่อนโหลด ซึ่งความเร็วสามารถปรับได้ในช่วง n_1 ถึง n_2 โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันไลน์



รูปที่ 2.9 คุณลักษณะแรงบิด-ความเร็ว สำหรับแรงดันที่ขั้วค่าต่างๆ

จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้น การเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขั้วทำได้โดยให้หม้อแปลงแบบออโต 3 เฟส หรือการควบคุมด้วยแบบไซคลิกสเตต ดังรูปที่ 2.9 (ก) โดยที่ข้อแตกต่างจากทั้งสองวิธี คือ การให้หม้อแปลงแบบเปลี่ยนแท็ปได้ แรงดันที่ได้เป็นไซนูซอยดอลย์ ขณะที่การควบคุมด้วยแบบไซคลิกสเตตแรงดันที่ขั้วไม่เป็นไซนูซอยดอลย์ สำหรับรูปที่ 2.9 (ข) แสดงถึงกรณีการควบคุมแบบวงรอบปิด ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในระบบควบคุมและการประยุกต์ใช้งานในปัจจุบัน

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

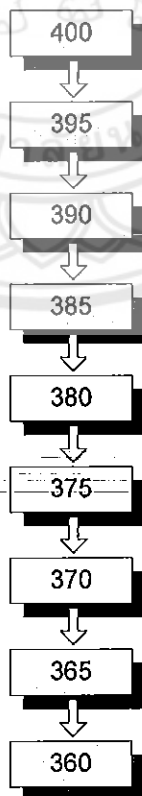
3.1 แนวคิดของโครงการ

3.1.1 การพิจารณาเรื่องโหลด

ในการพิจารณาเรื่องโหลด โดยทั่วไปแล้วโหลดของโครงการชั้นนี้จะเป็นโหลดมอเตอร์และแสงสว่าง เพื่อให้ผลที่ออกมาเป็นมาตรฐานเดียวกันจะกำหนดให้โหลดมอเตอร์และแสงสว่างมีขนาดของกำลังไฟฟ้าเท่ากันที่ขนาด 175 วัตต์

3.1.2 การพิจารณาในเรื่องการปรับแก้

เนื่องจากว่าโหลดแสงสว่างที่เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์นั้นในการปรับแรงดันได้นั้นแรงดันควรมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm 10\%$ ดังนั้นในการปรับแก้จึงเลือกโหลดไฟฟ้าแบบหลอดไส้เนื่องจากคุณสมบัติที่สามารถปรับแรงดันได้มาก และการปรับแก้มีขั้นตอนการปรับดังนี้



รูปที่ 3.1 โค้ดโปรแกรมการปรับแก้

3.1.3 การพิจารณาในเรื่องการปรับแทปในเชิงเปรียบเทียบ

ในการปรับแทปหม้อแปลงในโหลดชนิดมอเตอร์และแสงสว่างนั้นเพื่อที่สามรถชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างได้นั้นจำเป็นที่จะต้องมีการทดลองกรณีต่างเพื่อใช้เปรียบเทียบ ซึ่งการทดลองได้ออกแบบการทดลองไว้ดังต่อไปนี้

- การปรับแทปหม้อแปลงในโหลดมอเตอร์ โหลด 20 %
- การปรับแทปหม้อแปลงในโหลดมอเตอร์ โหลด 40 %
- การปรับแทปหม้อแปลงในโหลดมอเตอร์ โหลด 50%
- การปรับแทปหม้อแปลงในโหลดมอเตอร์ โหลด 60 %
- การปรับแทปหม้อแปลงในโหลดมอเตอร์ โหลด 80 %
- การปรับแทปหม้อแปลงในโหลดแสงสว่าง

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการงาน

- ตัวปรับระดับแรงดัน (Variable Voltage Transformer) เป็นหม้อแปลงที่สามารถปรับระดับแรงดันเอาพุต ได้ 3 เฟส ซึ่งในโครงการงานนี้จะใช้เป็นอุปกรณ์ที่ปรับระดับแรงดันในช่วง 360 – 400 โวลต์ 3 เฟส และ โวลต์ L- N
- มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) 175 วัตต์, 0.15 A, 3 เฟส
- หลอดไฟฟ้า 175 วัตต์ เป็นหลอดไส้ (Incandescent)
- โวลต์มิเตอร์ (Volte meter)
- แอมป์มิเตอร์ (Amp meter)
- วัตต์มิเตอร์ (Watt meter)
- อิเล็กโตรไดนาโมมิเตอร์ (Electrodynamometer) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นโหลดของมอเตอร์ซึ่งสามารถวัดค่าทอร์กของมอเตอร์และนอกจากนี้ยังป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ปรับระดับโหลดได้หลายระดับ เพื่อที่จะสามารถศึกษาการทำงานและผลต่างๆที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับแทปของหม้อแปลงแล้ว

3.3 ขั้นตอนการดำเนินโครงการงาน

ในส่วนของขั้นตอนการดำเนินโครงการงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแทปหม้อแปลงในโหลดมอเตอร์ ซึ่งจะศึกษาค่า แรงบิด กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแทปหม้อในโหลดแสงสว่าง จะศึกษาค่า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้างดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 การศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้พหุคูณแปลงในโหลดมอเตอร์

โหลดมอเตอร์ที่ใช้ในการศึกษานั้นเป็นมอเตอร์ชนิดอินดักชันมอเตอร์ชนิดวาวน์โรเตอร์ (Wound Rotor Induction Motor) เป็นมอเตอร์ 3 เฟส ขนาดกำลังไฟฟ้า 175 วัตต์ กระแสไฟฟ้า 0.15 แอมป์ แรงดันไฟฟ้า 360 โวลต์ โดยอาศัยอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์ (Electrodynamometer) ทำหน้าที่เป็นโหลดให้กับมอเตอร์ ซึ่งสามารถปรับระดับโหลดได้ ในขั้นตอนการศึกษามีขั้นตอนดังนี้

- 1) ต่อโรเตอร์ของมอเตอร์เข้ากับอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์
- 2) ต่ออุปกรณ์เครื่องมือวัดวัตต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ วัตต์มิเตอร์ เข้ากับวงจรมอเตอร์
- 3) ปรับโหลดของอิเล็กทรอนิกส์ไดนาโมมิเตอร์เริ่มที่ 20 %
- 4) เริ่มเดินมอเตอร์ที่แรงดัน 360 โวลต์ พร้อมทั้งบันทึกค่า แรงดัน กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ทอร์กและความเร็ว
- 5) ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 4 โดยปรับแก้แรงดันเพิ่มครั้งละ 5 โวลต์จนถึง 400 โวลต์
- 6) ทำตามขั้นตอนที่ 3 – 4 โดยเปลี่ยนระดับโหลดเป็น 40 % , 50 % , 60 % และ 80 %



รูปที่ 3.2 การปรับแก้พหุคูณแปลง

3.3.2 ผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้พหุคูณแปลงในโหลดแสงสว่าง

โหลดแสงสว่างที่ใช้ในการศึกษานั้นเป็นแสงสว่างชนิดหลอดไส้ เนื่องจากคุณสมบัติพิเศษของหลอดไส้ที่สามารถใช้ได้แม้มีการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันต่างจากแรงดันปกติของหลอดไฟได้มาก เป็นแสงสว่าง 1 เฟส ขนาดกำลังไฟฟ้า 175 วัตต์ กระแสไฟฟ้า 0.15 แอมป์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ โดยในขั้นตอนการศึกษามีขั้นตอนดังนี้

- 1) ต่ออุปกรณ์เครื่องมือวัดวัตต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ วัตต์มิเตอร์ เข้ากับวงจรแสงสว่าง

- 2) เริ่มจ่ายแรงดัน 220 โวลต์ให้กับโหลดแสงสว่าง พร้อมทั้งบันทึกค่า แรงดัน กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า
- 3) ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 4 โดยปรับเพิ่มแรงดันเพิ่มครั้งละ 5 โวลต์จนถึง 400 โวลต์



บทที่ 4

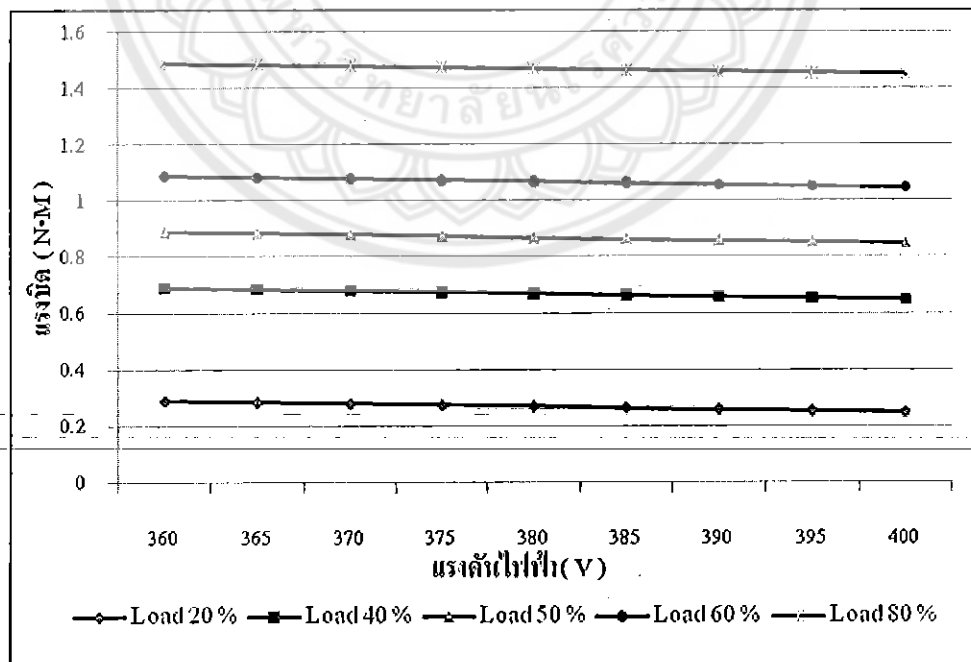
ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล

ผลที่ได้จากการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนแรกเป็นผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้ป้อนแม่เหล็กในโหลดมอเตอร์ และส่วนที่สองเป็นผลการศึกษาการปรับแก้ป้อนแม่เหล็กในโหลดแสงสว่าง โดยรายละเอียดของผลการศึกษา มีดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้ป้อนแม่เหล็กในโหลดมอเตอร์

4.1.1 แรงบิด

ผลจากการศึกษาการปรับแก้ป้อนแม่เหล็กเพื่อจ่ายให้กับโหลดมอเตอร์ พบว่าเมื่อทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้า โดยเพิ่มขึ้นจาก 360 – 400 V พบว่าทอร์กมีค่าลดลง ซึ่งเป็นสัดส่วนผกผันกันกับแรงดันไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นกราฟที่ได้มาจากการศึกษาปรับแก้ป้อนแม่เหล็กโหลดมอเตอร์ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันที่ระดับแรงดันเดียวกันระหว่างปริมาณโหลดที่มอเตอร์ต้องรับภาระโหลดแบบคงที่ พบว่าที่ภาระโหลดน้อยจะมีทอร์กของมอเตอร์น้อยที่สุด และจะมีค่าทอร์กเพิ่มขึ้นตามปริมาณโหลดที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับดังรูปที่ 4.1



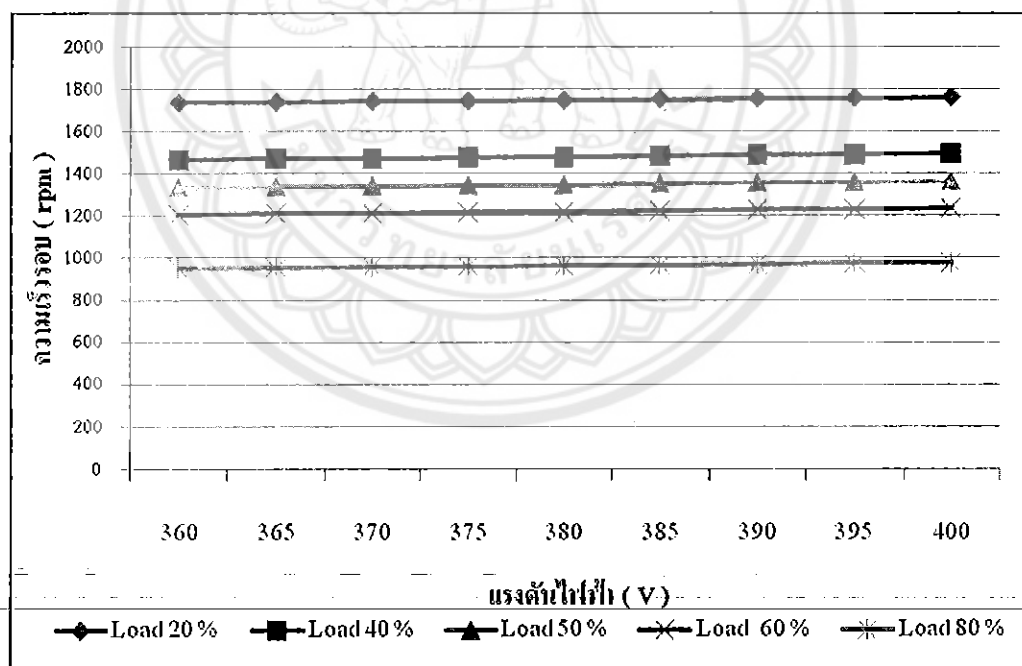
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กกับแรงดัน

4.1.2 ความเร็วรอบ

มอเตอร์อินดักชันมอเตอร์ชนิดควาด์โรเตอร์ เมื่อป้อนไฟฟ้า 3 เฟสให้กับขดลวดสเตเตอร์ จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นที่สเตเตอร์เรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส สนามแม่เหล็กนี้เหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่โรเตอร์ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าสลิปของมอเตอร์ แม้ว่าแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์นั้นจะเปลี่ยนแปลงไป 10 % ค่าของความเร็วจะเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก หากเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันต่อไปอีกจะทำให้ค่าแรงบิดและกำลังสูงสุดของมอเตอร์เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก

ผลจากการศึกษาการปรับแก้ป้อนแรงดันเพื่อจ่ายให้กับโหลดมอเตอร์ พบว่าเมื่อทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้า โดยเพิ่มขึ้นจาก 360 – 400 V พบว่าความเร็วรอบมีค่าลดลง ซึ่งเป็นสัดส่วนแปรผันตรงกันกับแรงดันไฟฟ้า ดังจะเห็นดังรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นกราฟที่ได้มาจากการศึกษาปรับแก้ป้อนแรงดันในโหลดมอเตอร์ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันที่ระดับแรงดันเดียวกันระหว่างปริมาณโหลดที่มอเตอร์ต้องรับภาระโหลดแบบคงที่ พบว่าที่ภาระโหลดน้อยจะมีความเร็วรอบของมอเตอร์มากที่สุด และมีค่าความเร็วรอบลดลงตามปริมาณโหลดที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับดังรูปที่

4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับแรงดัน

4.1.3 ความกำลังทางกล

โดยทั่วไปแล้วกำลังเอาต์พุตของมอเตอร์เป็นกำลังเอาต์พุตของโรเตอร์ เป็นกำลังทางกล (Mechanical power developed) กำลังไฟฟ้าทางกลนี้คือกำลังที่เปลี่ยนจากรูปกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังทางกลทำให้เกิดแรงบิดหรือทอร์ก โดยสัมพันธ์กับความเร็วของโรเตอร์ดังสมการที่ 4.1

$$P = \tau\omega \tag{4.1}$$

$$P = 2\pi N \tag{4.2}$$

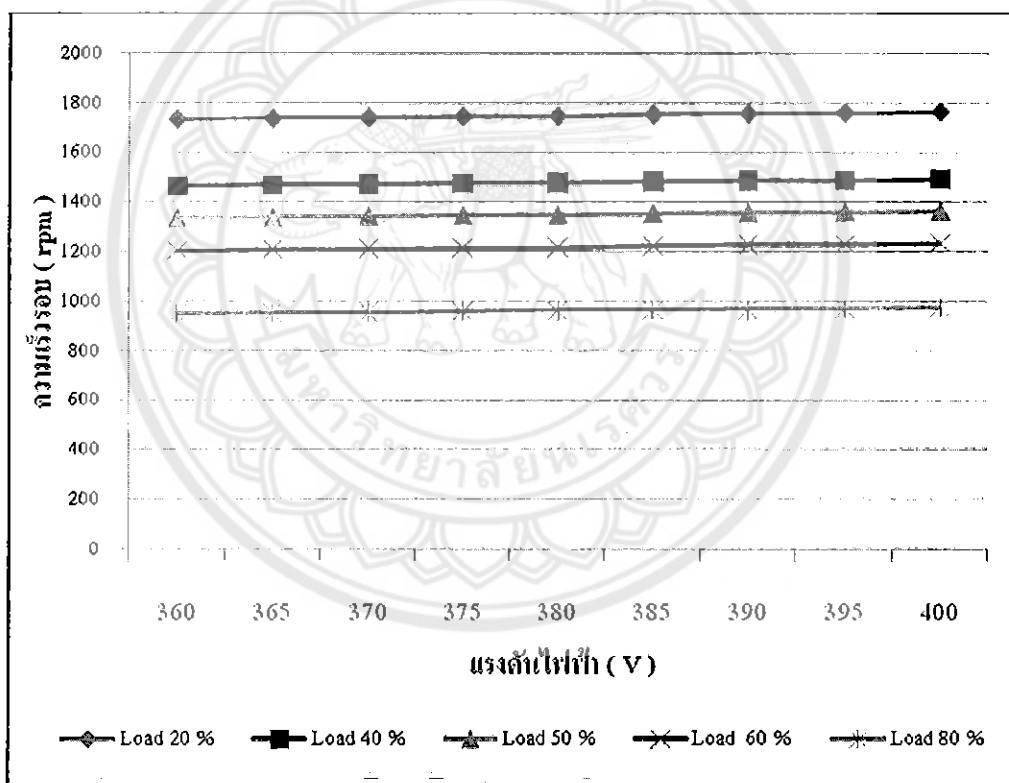
โดยที่

P = กำลังไฟฟ้า (W)

τ = ทอร์ก (N·M)

N = ความเร็วรอบโรเตอร์ (rpm)

ω = ความเร็วรอบ (rad/s)

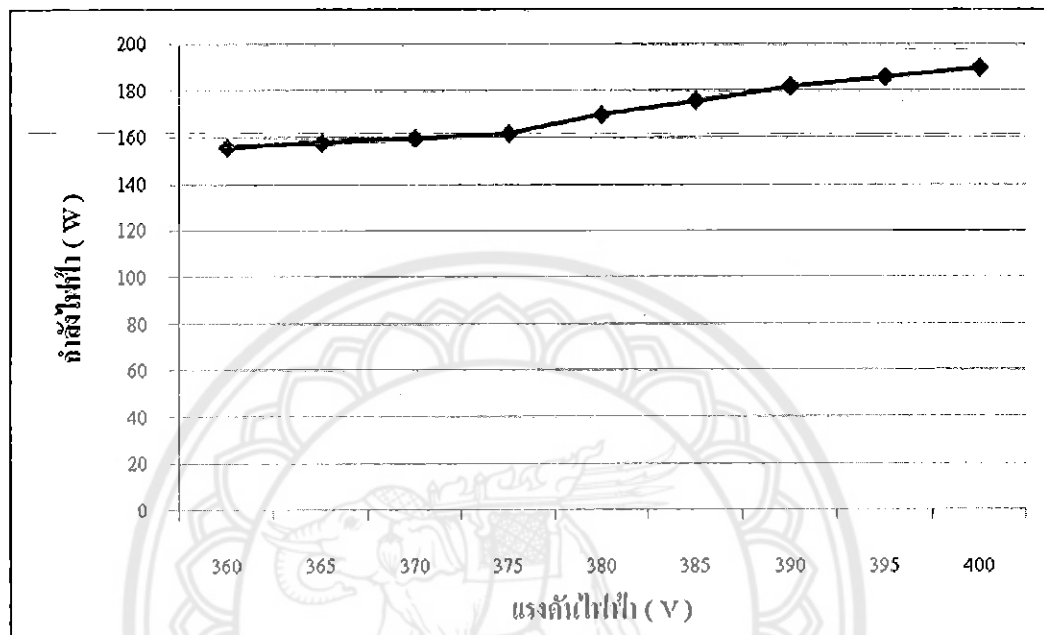


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าอินพุตกำลังเอาต์พุตทางกลกับแรงดัน

ผลจากการศึกษาการปรับแก้หม้อแปลงเพื่อช่วยให้กับโหลดมอเตอร์ พบว่าเมื่อทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้า โดยเพิ่มขึ้นจาก 360 – 400 V พบว่ากำลังทางกลมีค่าลดลง ซึ่งเป็นสัดส่วนผกผันกันกับแรงดันไฟฟ้า ดังจะเห็นดังรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นกราฟที่ได้มาจากการศึกษาปรับแก้หม้อแปลงในโหลดมอเตอร์ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันที่ระดับแรงดันเดียวกันระหว่างปริมาณ

โหลดที่มอเตอร์ต้องรับภาระโหลด พบว่าที่ภาระโหลดน้อยจะมีกำลังทางกลของมอเตอร์น้อยที่สุดและมีกำลังทางกลเพิ่มขึ้นตามปริมาณโหลดที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3

4.2 ผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้หม้อแปลงในโหลดแสงสว่าง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับแรงดัน

ผลจากการศึกษาการปรับแก้หม้อแปลงเพื่อจ่ายให้กับโหลดแสงสว่าง ซึ่งโครงการนี้เลือกใช้หลอดไฟฟ้าชนิดหลอดไส้ (Incandescent lamp) พบว่าเมื่อทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าโดยเพิ่มขึ้นจาก 360 – 400 V พบว่ากำลังไฟฟ้ามีค่าเพิ่ม ดังจะเห็นดังรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นกราฟที่ได้มาจากผลการศึกษาปรับแก้หม้อแปลงในโหลดแสงสว่าง

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นหลังจากการปรับแก้ปwmเพื่อจ่ายไฟให้กับ โหลดชนิดมอเตอร์และโหลดชนิดแสงสว่างแล้ว ผลที่ได้จากการศึกษาโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยมี ข้อสรุปและข้อเสนอแนะต่างๆดังต่อไปนี้

5.1 ข้อสรุปจากการศึกษา

5.1.1 ผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้ปwmแปลงในโหลดมอเตอร์

เมื่อทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้า โดยเพิ่มขึ้นจาก 360 – 400 V พบว่าความเร็วรอบมีค่า ลดลง ซึ่งเป็นสัดส่วนแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้า ดังจะเห็นดังรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นกราฟที่ได้มา จากการศึกษารับแก้ปwmแปลงในโหลดมอเตอร์ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันที่ระดับแรงดัน เดียวกันระหว่างปริมาณโหลดที่มอเตอร์ต้องรับภาระโหลด พบว่าที่ภาระโหลดน้อยจะมีความเร็วรอบ ของมอเตอร์มากที่สุด และมีค่าความเร็วรอบลงตามปริมาณโหลดที่เพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

เมื่อทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้า โดยเพิ่มขึ้นจาก 360 – 400 V พบว่ากำลังทางกลและ แรงบิดมีค่าลดลง ซึ่งเป็นสัดส่วนผกผันกับแรงดันไฟฟ้า ดังจะเห็นดังรูปที่ 4.3 ซึ่งเป็นกราฟที่ ได้มาจากการศึกษารับแก้ปwmแปลงในโหลดมอเตอร์ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันที่ ระดับแรงดันเดียวกันระหว่างปริมาณโหลดที่มอเตอร์ต้องรับภาระโหลด พบว่าที่ภาระโหลดน้อยจะมี กำลังทางกลและแรงบิดของมอเตอร์น้อยที่สุด และมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณโหลดที่เพิ่มมากขึ้น ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.3

5.1.2 ผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้ปwmแปลงในโหลดแสงสว่าง

พบว่าเมื่อทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้า โดยเพิ่มขึ้นจาก 360 – 400 V พบว่ากระแสไฟฟ้ามี่ ค่าลดลงส่วนกำลังไฟฟ้ามี่ค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการเพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าค่อนข้างที่จะเป็นเส้นตรง กระแสไฟฟ้าลดลงโดยแปรผันตรงกับแรงดัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้ปwmแปลงในโหลดมอเตอร์ โดยปัญหาที่เกิดขึ้นในการ ทำโครงการนี้ คือ ปัญหาในการเลือกอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่มีความน่าเชื่อถือที่ไม่มาก

จึงส่งผลทำให้การทดลองนี้คลาดเคลื่อนเล็กน้อย อีกทั้งยังขาดเครื่องมือวัดที่มีความละเอียดอันจะทำให้ผลที่ได้มีความละเอียดและถูกต้องมากยิ่งขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ.ศุภชัย สุรินทร์วงศ์ . เครื่องกลไฟฟ้า 2 เล่ม 2 หม้อแปลงระบบไฟ 1 เฟส และ 3 เฟส .
กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ ศ.ส.ท. 2546
- [2] คุณิต สุรย์ราช . ทฤษฎีหม้อแปลงไฟฟ้า . กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ ศูนย์ส่งเสริมวิชาการ.
2544
- [3] ณรงค์ ชานตะวัน . หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ . กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์เอราวัณการพิมพ์.
2524
- [4] รัชชัย อัตถวิบูลย์กุล . หม้อแปลงไฟฟ้า . กรุงเทพมหานคร : บริษัท เจริญรุ่งเรืองการพิมพ์ .
2538







ภาคผนวก ก

ผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้ปมข้อเปลี่ยนแปลงในโหลด

มอเตอร์

มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ราชบัณฑิตยสถาน

ตาราง 1 แรงบิดของมอเตอร์

Voltage (V)	Torque (N.M)				
	Load 20 (%)	Load 40 (%)	Load 50 (%)	Load 60 (%)	Load 80 (%)
360	0.290	0.690	0.890	1.090	1.490
365	0.285	0.685	0.885	1.085	1.485
370	0.280	0.680	0.880	1.080	1.480
375	0.275	0.675	0.875	1.075	1.475
380	0.270	0.670	0.870	1.070	1.470
385	0.265	0.665	0.865	1.065	1.465
390	0.260	0.660	0.860	1.060	1.460
395	0.255	0.655	0.855	1.055	1.455
400	0.250	0.650	0.850	1.050	1.450

ตาราง 2 ความเร็วรอบของมอเตอร์

Voltage (V)	Speed (rpm)				
	Load 20 (%)	Load 40 (%)	Load 50 (%)	Load 60 (%)	Load 80 (%)
360	1735	1465	1335	1205	950
365	1738	1468	1338	1208	953
370	1742	1472	1342	1212	956
375	1745	1475	1345	1215	959
380	1747	1477	1347	1217	962
385	1753	1483	1353	1223	965
390	1757	1487	1357	1227	968
395	1760	1490	1360	1230	971
400	1764	1494	1364	1234	974

ตาราง 3 กำลังอินพุตทางกลของมอเตอร์

Voltage (V)	Input Power (W)				
	Load 20 (%)	Load 40 (%)	Load 50 (%)	Load 60 (%)	Load 80 (%)
360	3161.38	6351.36	7465.37	8252.65	8893.85
365	3112.25	6318.25	7440.11	8235.25	8892.00
370	3064.69	6289.22	7420.19	8224.44	8889.95
375	3015.14	6255.70	7394.52	8206.63	8887.72
380	2963.72	6217.78	7363.20	8181.90	8885.30
385	2918.82	6196.45	7353.49	8183.82	8882.70
390	2870.28	6166.44	7332.60	8172.04	8879.90
395	2819.89	6132.07	7306.09	8153.38	8876.92
400	2770.88	6101.60	7284.72	8141.12	8873.74

ตาราง 4 กำลังเอาต์พุตทางกลของมอเตอร์

Voltage (V)	Output Power (W)				
	Load 20 (%)	Load 40 (%)	Load 50 (%)	Load 60 (%)	Load 80 (%)
360	3284.38	6474.36	7588.37	8375.65	9016.85
365	3235.25	6441.25	7563.11	8358.25	9015.00
370	3187.69	6412.22	7543.19	8347.44	9012.95
375	3138.14	6378.70	7517.52	8329.63	9010.72
380	3086.72	6340.78	7486.20	8304.90	9008.30
385	3041.82	6319.45	7476.49	8306.82	9005.70
390	2993.28	6289.44	7455.60	8295.04	9002.90
395	2942.89	6255.07	7429.09	8276.38	8999.92
400	2893.88	6224.60	7407.72	8264.12	8996.74



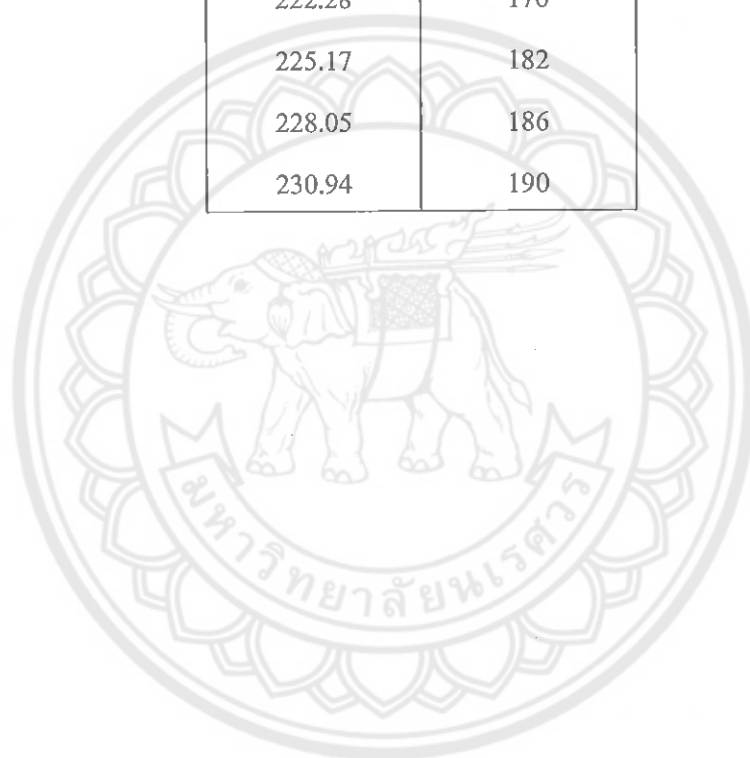
ภาคผนวก ข

ผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้ปมข้อเปลี่ยนแปลงในโหลดแสง

สว่าง

ตาราง 5 ผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการปรับแก้หม้อแปลงในโหลดแสงสว่าง

Voltage (V)	Power (W)
207.85	156
210.73	158
213.62	160
216.51	162
219.39	170
222.28	176
225.17	182
228.05	186
230.94	190



ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ : นายทวีชัย สมัยกลาง

ภูมิลำเนา : 88 หมู่ 6 ต.บ่อรัง อ.วิเชียรบุรี จ.เพชรบูรณ์ 67130

ประวัติการศึกษา:

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนิคมศิลป์อนุสรณ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี ชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : tw_eg@hotmail.com

