



การศึกษาและออกแบบหม้อแปลง 1 เฟสแบบคอร์

STUDY AND DESIGN CORE TYPE OF SINGLE PHASE TRANSFORMER



นางสาวปวีณรัตน์ มั่นนุช รหัส 50364676

นางสาวสุกิการ์ เตจ๊ะ รหัส 50364881

คณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 17 พ.ย. 2554
เลขทะเบียน..... 15705940
เลขเรียกหนังสือ..... 2/5
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ 494 17

2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

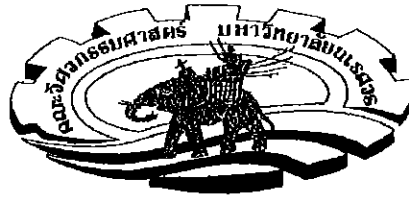
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2553

15705940

ร/ส.
4/494ก
2553



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การศึกษาและออกแบบหม้อแปลง 1 เฟสแบบคอร์
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวปวีณ์รัตน์ มั่นนุช รหัส 50364676
นางสาวสุภิการ์ เตจ๊ะ รหัส 50364881
ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัยวินิช
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2553

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบรังษ อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัยวินิช)

.....กรรมการ

(ดร. มุขิดา สงฆ์จันทร์)

.....กรรมการ

(อาจารย์แสงชัย มังกรทอง)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การศึกษาและออกแบบหม้อแปลง 1 เฟสแบบคอรั
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวปวันรัตน์ มั่นนุช รหัส 50364676 นางสาวสุภิการ์ เตจ๊ะ รหัส 50364881
ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพรเรืองสินชัยวานิช
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2553

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ โครงการเกี่ยวกับการศึกษาและออกแบบหม้อแปลงขนาด 220/18 โวลต์แบบคอรัเพื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพกับการพันหม้อแปลงแบบเชลล์โดย การศึกษาวงจรแม่เหล็ก ไฟฟ้าพร้อมทั้งทำการทดสอบหม้อแปลงแบบเปิดวงจรและแบบลัดวงจร และได้ทำการจำลองหม้อแปลงคั่นแบบใน โปรแกรมไฟไนต์เอเลเมนต์ เพื่อวิเคราะห์ความหนาแน่นฟลักแม่เหล็ก อุณหภูมิ และพลังงานสะสมภายในแกนเหล็ก จากการศึกษาพบว่าสามารถ ออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสองแบบ ให้มีค่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกันได้

Project title Study and Design Core type of Single Phase Transformer

Name Miss.Pawanrat Munnuch ID.50364676
Miss.Supigar Taja ID.50364881

Project advisor Assistance Professor Somporn Ruangsinchaiwanich, Ph.D.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2010

Abstract

This thesis presents the project relating to the study design and size 220/18 volt transformer core to compare the performance of winding of shell transformers. By studying the magnetic circuit. Test transformer with an open circuit and short circuit. And transformer simulation model in procam finite elements. Analyze the density, temperature and energy stored within the core. The study showed that both transformer design. Efficiency close to each other.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้คำแนะนำจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และให้ความกรุณาให้ความช่วยเหลือรวมทั้ง แสดงข้อคิดเห็นต่างๆ ผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอบพระคุณ ดร.มุกิตา สงฆ์จันทร์ และ อาจารย์แสงชัย มังกรทอง ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าขึ้นมาเป็นกรรมการที่ปรึกษาโครงการ

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์ และเครื่องมือวัดมาใช้งาน จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรัก ความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่าง และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวของ คณะผู้ดำเนินโครงการที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาววันรัตน์

มันนุช

นางสาวสุกักร์

เตจ๊ะ

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	2
1.6 งบประมาณ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า.....	3
2.2 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า.....	3
2.2.1 ขดลวดตัวนำปฐมภูมิ (Primary Winding).....	4
2.2.2 ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding).....	4
2.2.3 แผ่นแกนเหล็ก (Core).....	4
2.2.4 ขั้วต่อสายไฟ (Terminal).....	5
2.2.5 แผ่นป้าย (Name Plate).....	5
2.2.6 อุปกรณ์ระบายความร้อน (Coolant).....	5
2.2.7 โครง (Frame).....	6
2.3 หลักการทำงาน.....	6

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.1 หลักการพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	8
2.3.2 ข้อสังเกตบางประการเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า	9
2.4 โครงสร้างสนามแม่เหล็กของหม้อแปลง	9
2.4.1 แกนเหล็กแบบคอร์.....	10
2.4.2 แกนเหล็กแบบเชลล์	12
2.5 ขดลวดหม้อแปลง	13
2.5.1 การพันขดลวดหม้อแปลงแบบคอร์	13
2.5.2 การพันขดลวดหม้อแปลงแบบเชลล์.....	13
2.6 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า	14
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนิน โครงการ	15
3.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับชนิดแกนของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	15
3.1.1 หม้อแปลงชนิดแกนเหล็ก (Iron Core Transformer)	15
3.1.2 หม้อแปลงชนิดแกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite Core Transformer).....	15
3.1.3 หม้อแปลงชนิดแกนอากาศ (Air Core Transformer).....	15
3.2 การวิเคราะห์ห้วงจรแม่เหล็ก.....	16
3.2.1 แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive Force)	16
3.2.2 ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux)	16
3.2.3 ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Flux density).....	16
3.2.4 ความซึมซาบทางแม่เหล็ก (Permeability)	16
3.2.5 ความต้านทานแม่เหล็ก (Reluctance)	17
3.2.6 ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic field intensity)	17
3.2.7 พลังงานสะสมในแกนเหล็ก (Energy Stored)	17
3.3 การทดสอบหม้อแปลง.....	17
3.3.1 การทดสอบเปิดวงจร (Open Circuit)	17
3.3.2 การทดสอบการลัดวงจร (Short Circuit)	18
3.4 ประสิทธิภาพของหม้อแปลง	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 วัสดุและอุปกรณ์.....	19
3.5.1 หม้อแปลงแบบเซลล์.....	19
3.5.2 มัลติมิเตอร์ (Multimeter).....	19
3.5.3 วัตต์มิเตอร์ (Wattmeter).....	20
3.5.4 แหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับ (Power Supply).....	20
บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....	21
4.1 ผลการวิเคราะห์ห้วงจรแม่เหล็ก.....	21
4.1.1 หม้อแปลงแบบเซลล์.....	21
4.1.2 หม้อแปลงแบบคอร์.....	22
4.2 ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	24
4.2.1 หม้อแปลงแบบเซลล์.....	24
4.2.2 หม้อแปลงแบบคอร์.....	25
4.3 ผลการทดสอบหม้อแปลง.....	27
4.3.1 หม้อแปลงแบบเซลล์.....	27
4.3.2 หม้อแปลงแบบคอร์.....	28
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	30
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	30
5.1.1 การจำลองด้วยวงจรแม่เหล็ก.....	30
5.1.2 การจำลองด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์.....	30
5.1.3 การทดสอบหม้อแปลง.....	30
5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข.....	30
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	31
เอกสารอ้างอิง.....	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก การเปรียบเทียบวงจรไฟฟ้ากับวงจรแม่เหล็ก	33
ภาคผนวก ข คุณสมบัติของเหล็กแกน	35
ภาคผนวก ค ตารางลวดทองแดง	37
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	39



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การทดสอบแบบเปิดวงจร.....	27
4.2 การทดสอบการลัดวงจร.....	27
4.3 การทดสอบแบบเปิดวงจร.....	28
4.4 การทดสอบการลัดวงจร.....	28



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หม้อแปลง 1 เฟส	3
2.2 อธิบายหลักการทำงาน	6
2.3 อธิบายหลักการพื้นฐานของหม้อแปลง.....	8
2.4 แกนเหล็กแบบ 1 เฟส 2 ขา.....	10
2.5 แกนเหล็กแบบ 1 เฟส 3 ขา.....	10
2.6 แกนเหล็กแบบ 1 เฟส 4 ขา.....	11
2.7 แกนเหล็กแบบ 3 เฟส 3 ขา.....	11
2.8 แกนเหล็กแบบ 3 เฟส 5 ขา.....	11
2.9 แกนเหล็กแบบเซลล์ของหม้อแปลง 1 เฟสและหม้อแปลง 3 เฟส	12
2.10 การพันขดลวดหม้อแปลงแบบเซลล์	13
2.11 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า	14
2.12 เวกเตอร์ของกระแสและแรงดันของหม้อแปลง ขณะ ไร้โหลด	14
3.1 การทดสอบแบบเปิดวงจร	17
3.2 การทดสอบการลัดวงจร	18
3.3 หม้อแปลงแบบเซลล์.....	19
3.4 มัลติมิเตอร์	19
3.5 วัตต์มิเตอร์.....	20
3.6 แหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับ.....	20
4.1 ขนาดของแกนเหล็กแบบเซลล์.....	24
4.2 การจำลองแกนเหล็กแบบเซลล์	24
4.3 ผลการจำลอง ฟลักแม่เหล็ก อุณหภูมิ และค่าความหนาแน่นฟลักแม่เหล็ก	24
4.4 ขนาดของแกนเหล็กแบบคอร์	25
4.5 การจำลองแกนเหล็ก	25
4.6 ผลการจำลอง ฟลักแม่เหล็ก อุณหภูมิ และค่าความหนาแน่นฟลักแม่เหล็ก	26

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ใช้ในระบบไฟฟ้ามาเป็นเวลานาน ปัจจุบันในอุปกรณ์ไฟฟ้าหนึ่งๆ มักจะต้องมีส่วนประกอบไปด้วยหม้อแปลงอย่างน้อย 1 ตัว เช่น คอมพิวเตอรื โทรทัศน์ ในการพันขดลวดของหม้อแปลงหรือการออกแบบหม้อแปลงมีการทำได้หลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งานและขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า ในโครงการนี้จะทำการออกแบบและศึกษาการพันหม้อแปลงในแกนเหล็กแบบเชลล์ (Shell Type) และแบบคอร์ (Core Type) พร้อมกับการเปรียบเทียบคุณลักษณะต่างๆของหม้อแปลงทั้งสองชนิด เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่สมบูรณ์ในการประยุกต์ใช้งานของหม้อแปลงในลักษณะต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ออกแบบและสร้างหม้อแปลงขนาด 220/18 โวลต์แบบคอร์เพื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ ค่าฟลักแม่เหล็กไฟฟ้า และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ กับหม้อแปลงขนาด 220/18 โวลต์แบบเชลล์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) ศึกษาหม้อแปลงแบบเชลล์ขนาด 220/18 โวลต์
- 2) สร้างหม้อแปลงแบบคอร์ให้มีขนาดเท่ากับหม้อแปลงแบบเชลล์
- 3) เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพระหว่างหม้อแปลงแบบคอร์กับหม้อแปลงแบบเชลล์ที่มีขนาดเท่ากัน โดยการวิเคราะห์วงจรแม่เหล็ก การทดสอบหม้อแปลง และการใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2553							ปี 2554		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1) ศึกษาหม้อแปลงแบบ เซลล์ขนาด 220/18 โวลต์										
2) สร้างแบบจำลองหม้อ แปลงในโปรแกรม ไฟ ไนต์เอลิเมนต์										
3) สร้างและทดสอบหม้อ แปลงแบบคอร์ ขนาด 220/18 โวลต์										
4) วิเคราะห์ค่า ประสิทธิภาพของหม้อ แปลงแบบเซลล์และ หม้อแปลงแบบคอร์										
5) สรุปผลและทำรูปเล่ม รายงาน										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

สร้างหม้อแปลงแบบคอร์ (Core Type) โดยให้มีขนาดพิกัดเท่ากับหม้อแปลงแบบเซลล์ (Shell Type) คือมีขนาด 220/18 โวลต์ โดยให้แปลงแบบคอร์มีประสิทธิภาพใกล้เคียงหม้อแปลงแบบเซลล์ในขณะที่หม้อแปลงแบบคอร์นั้นใช้วัสดุคืบน้อยกว่าหม้อแปลงแบบเซลล์

1.6 งบประมาณ

1) ค่าอุปกรณ์สำหรับพื้นหม้อแปลง	1,000 บาท
2) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญานิพนธ์	1,000 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (สองพันหนึ่งร้อยบาทถ้วน)	<u>2,000 บาท</u>

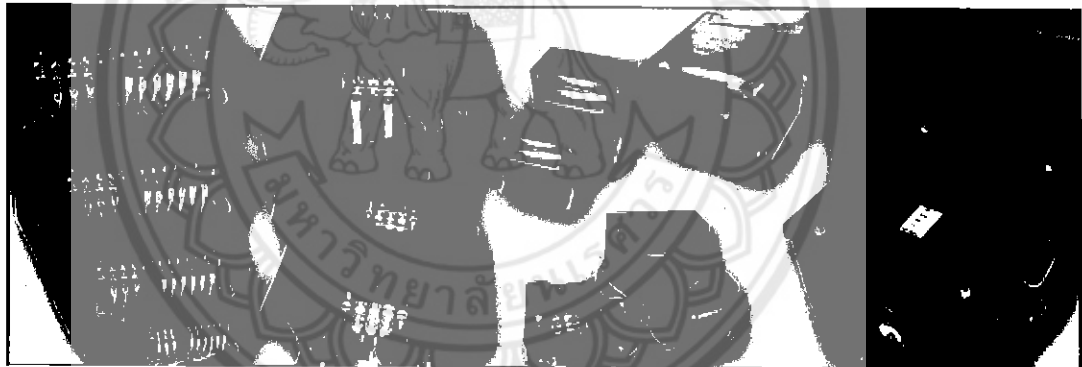
หมายเหตุ : ถัวเฉลี่ยทุกรายการ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 หม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า(Transformer)มีโครงสร้างแตกต่างจากเครื่องกลไฟฟ้าชนิดอื่นๆ (โดยมากเครื่องกลไฟฟ้าจะทำหน้าที่ขับเคลื่อนโหลดในรูปแบบต่างๆ) แต่ก็นับเป็นหนึ่งในเครื่องกลไฟฟ้าที่สำคัญมากต่อระบบไฟฟ้ากระแสสลับ หน้าที่ของหม้อแปลงคือการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลัง ทั้งนี้หากหม้อแปลงดังกล่าวใช้ในการเพิ่มระดับแรงดัน มักถูกเรียกว่า หม้อแปลงแบบแปลงแรงดันขึ้น (Step up Transformer) ขณะที่หากใช้ในการลดแรงดัน บางครั้งถูกเรียกว่าหม้อแปลงแบบแปลงแรงดันลง (Step down Transformer) โดยกำลังไฟฟ้า (Power) และความถี่(Frequency) ไม่เปลี่ยนแปลงรูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของหม้อแปลงแบบ 1 เฟส ที่ถูกใช้งานและมีขายตามท้องตลาด



รูปที่ 2.1 หม้อแปลง 1 เฟส[1]

2.2 โครงสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า

ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อแบ่งลักษณะตามเฟสของการใช้งานเช่น หม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 1 เฟส และหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 3 เฟส โดยทั่วไปหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีโครงสร้างพื้นฐานดังต่อไปนี้

2.2.1 ขดลวดตัวนำปฐมภูมิ (Primary Winding)

ขดลวดตัวนำปฐมภูมิ (Primary Winding)

ทำหน้าที่รับแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย โดยใช้ขดลวดตัวนำ (อาจเป็นทองแดงหรืออลูมิเนียม) สร้างฟลักแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงต่อเวลา ไหลผ่านแกนเหล็ก เพื่อไปเหนี่ยวนำขดลวดทุติยภูมิต่อไป

2.2.2 ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding)

เมื่อมีฟลักแม่เหล็กไหลผ่านแกนเหล็ก และทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิ ส่งผลให้ขดลวดทุติยภูมิเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าทำให้สามารถจ่ายให้กับระบบได้อื่นๆได้

2.2.3 แผ่นแกนเหล็ก (Core)

มีหน้าที่เป็นทางเดินฟลักแม่เหล็กไฟฟ้า วัสดุที่นำมาใช้เป็นแกนเหล็กหม้อแปลงส่วนมากเป็นเหล็กผสมกับซิลิกอน (Silicon) ประมาณ 4 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก แต่ถ้าเหล็กมีส่วนผสมของซิลิกอนเกินกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนัก อาจส่งผลทำให้แกนเหล็กเกิดการแตกหักง่าย และอาจไม่สามารถนำมาตัดหรือขึ้นรูปเป็นแกนเหล็กได้ อีกทั้งยังส่งผลให้ทำให้แกนเหล็กสูญเสียความอ่อนตัว (Ductility)

โดยทั่วไปแกนเหล็กทำจากแผ่นเหล็กบางๆผสมซิลิกอน มีความหนาประมาณ 0.33 มิลลิเมตร แล้วนำมาเรียงซ้อนกันเพื่อลดกระแสไหลวนในแกนเหล็ก (Eddy Current) นอกจากนี้แผ่นเหล็กที่ผสมซิลิกอนจะต้องมีค่าความต้านทานสูง (High Resistance) เพื่อลดกระแสไหลวนในแกนเหล็ก และมีค่าความสูญเสียฮิสเตอร์ซิสต่ำ (Low Hysteresis) กรรมวิธีในการผลิตแกนเหล็กหม้อแปลงสามารถแบ่งได้สองวิธีคือ

1) แบบแผ่นเหล็กม้วนร้อน (Hot-rolled Sheet Steel) โดยวิธีแผ่นเหล็กม้วนร้อนนั้นผลึกคริสตัลภายในแผ่นเหล็กจะเรียงตัวแบบสุ่มจะไม่เรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันและไม่เรียงตัวตามทิศทางของการม้วนแผ่นเหล็ก ทำให้ได้ค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็กที่ต่ำ (Low Permeability) เหมาะสมกับหม้อแปลงขนาดเล็กที่ไม่ต้องการพิกัดกำลังที่สูง

2) แบบแผ่นเหล็กม้วนเย็น (Cold-rolled Sheet Steel) ในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่ต้องการพิกัดกำลังที่สูงจะใช้กรรมวิธีในการผลิตแกนเหล็กหม้อแปลงที่เรียกว่า แผ่นเหล็กม้วนเย็น โดยวิธีแผ่นเหล็กม้วนเย็นนั้นจะเกิดการเรียงตัวกันของผลึกคริสตัล ซึ่งวิธีการนี้ทำให้คริสตัลเรียงตัวในทิศทางเดียวกับทิศทางการม้วนแผ่นเหล็กทำให้เกิดค่าความซึมซาบสนามแม่เหล็กสูงสุดและทำให้เกิดค่าความสูญเสียฮิสเตอร์ซิสต่ำ

2.2.4 ขั้วต่อสายไฟ (Terminal)

เป็นจุดต่อสายไฟกับขดลวด โดยทั่วไปหม้อแปลงขนาดเล็กจะใช้ขั้วต่อไฟฟ้าต่อเข้าระหว่างปลายขดลวดกับสายไฟฟ้าภายนอก และถ้าเป็นหม้อแปลงขนาดใหญ่จะใช้แผ่นทองแดง (Bus Bar) และบุชซึ่งกระเบื้องเคลือบ (Ceramic) ต่อเข้าระหว่างปลายขดลวดกับสายไฟฟ้าภายนอก

2.2.5 แผ่นป้าย (Name Plate)

แสดงรายละเอียดประจำตัวหม้อแปลง อาจเริ่มจากชื่อบริษัทผู้ผลิต ชนิด รุ่นและขนาดของหม้อแปลง ขนาดกำลังไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านรับไฟฟ้าและด้านจ่ายไฟฟ้า ความถี่ใช้งาน วงจรขดลวด ลักษณะการต่อใช้งาน ข้อควรระวัง อุณหภูมิ มาตรฐานการทดสอบ และอื่นๆ

2.2.6 อุปกรณ์ระบายความร้อน (Coolant)

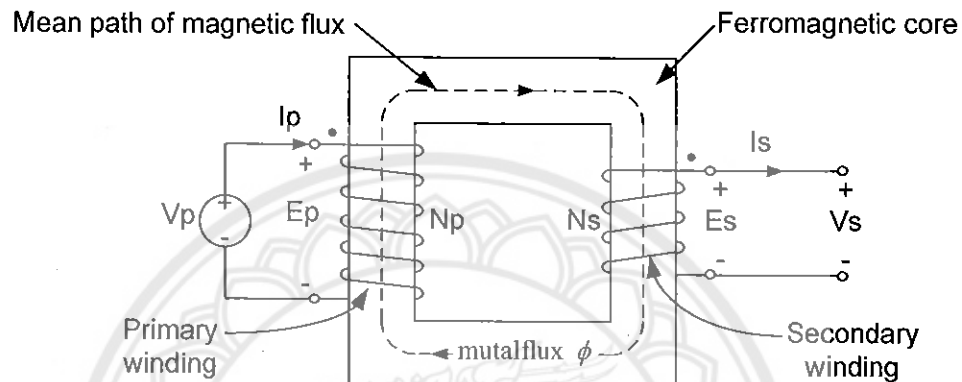
หม้อแปลงไฟฟ้า เมื่อใช้งานไปก็จะเกิดความร้อนขึ้นทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นในหม้อแปลง จึงจำเป็นต้องระบายความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน การระบายความร้อนจะมีอยู่หลายวิธี เช่น การระบายความร้อนตามธรรมชาติ การระบายความร้อนด้วยน้ำมัน การระบายความร้อนด้วยน้ำมันและการเป่าลม การระบายความร้อนด้วยน้ำมันและน้ำ และการระบายความร้อนด้วยการปั้มน้ำมัน

- 1) การระบายความร้อนตามธรรมชาติ คือ การใช้อากาศรอบๆ ช่วยในการระบายความร้อน
- 2) การระบายความร้อนด้วยน้ำมัน เป็นการระบายความร้อน โดยการแช่ตัวหม้อแปลงอยู่ในน้ำมันที่บรรจุอยู่ในถังหม้อแปลง
- 3) การระบายความร้อนด้วยน้ำมันและการเป่าลม เป็นการระบายความร้อนโดยการแช่ตัวหม้อแปลงอยู่ในน้ำมันที่บรรจุอยู่ในถังหม้อแปลง และใช้พัดลมเป่าที่ผิวภายนอกถังเป็นการเร่งระบายความร้อน
- 4) การระบายความร้อนด้วยน้ำมันและน้ำ เป็นการระบายความร้อนโดยการแช่ตัวหม้อแปลงอยู่ในน้ำมันที่บรรจุอยู่ในถังหม้อแปลง และมีท่อน้ำขุดเป็นวงรอบหม้อแปลง ไฟฟ้าภายในถังน้ำมันจะเป็นตัวระบายความร้อนแก่หม้อแปลง และน้ำจะเป็นตัวระบายความร้อนแก่น้ำมันอีกครึ่งหนึ่ง
- 5) การระบายความร้อนด้วยการปั้มน้ำมัน เป็นการระบายความร้อนด้วยการปั้มน้ำมัน โดยการใช้ปั้มน้ำมันให้ไหลวนเวียนได้เร็วขึ้น

2.2.7 โครง (Frame)

คือตัวถังของหม้อแปลง (Tank) ทำหน้าที่บรรจุขดลวด แกนเหล็กรวมทั้งการติดตั้งระบบระบายความร้อนให้กับหม้อแปลงขนาดใหญ่

2.3 หลักการทำงาน



รูปที่ 2.2 อธิบายหลักการทำงาน[2]

คำอธิบายสัญลักษณ์ : แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากแหล่งไฟสลับ (โวลต์)

V : แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (โวลต์)

N : จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

A : พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (ตารางเมตร)

P : ปฐมภูมิ (Primary)

S : ทติยภูมิ (Secondary)

R : โหลดตัวต้านทาน (โอห์ม)

I : กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

f : ความถี่ (รอบต่อวินาที)

t : เวลา (วินาที)

B : ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (เวเบอร์ต่อตารางเมตร)

$\frac{\Delta B}{\Delta T}$: อัตราการเปลี่ยนแปลงจากความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กต่อเวลา

กฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) กล่าวว่าไว้ว่า เมื่อขดลวดได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสสลับ จะทำให้ขดลวดมีการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กตามขนาดของรูปคลื่นไฟฟ้า กระแสสลับ และทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นที่ขดลวดนี้

- เมื่อขดลวดปฐมภูมิได้รับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ จะทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นตามกฎของฟาราเดย์ ขนาดของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ขึ้นอยู่กับ จำนวนรอบของขดลวด พื้นที่แกนเหล็ก และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับ โดยเขียนในรูปสมการคณิตศาสตร์ได้ คือ

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

ข้อสังเกต เครื่องหมายลบ แสดงให้เห็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ มีทิศทางตรงข้ามกับเส้นแรงแม่เหล็ก

- เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจะทำให้มีเส้นแรงแม่เหล็กในขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กนี้เปลี่ยนแปลงตามขนาดของรูปคลื่นไฟฟ้าที่ได้รับ

เส้นแรงแม่เหล็กเกือบทั้งหมดจะอยู่รอบแกนเหล็ก

- เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กผ่านขดลวด จะทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้น ที่ขดลวดทุติยภูมินี้ และเขียนในรูปคณิตศาสตร์ ได้คือ

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

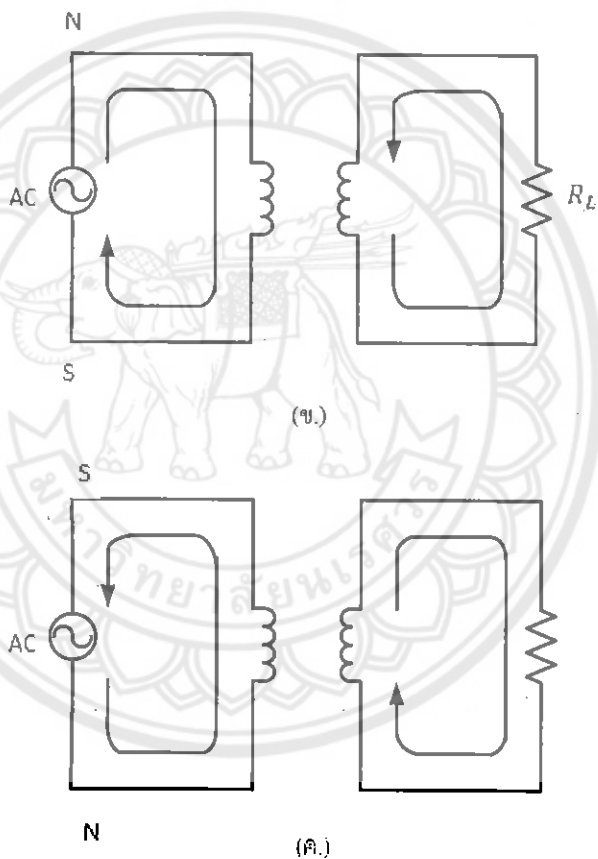
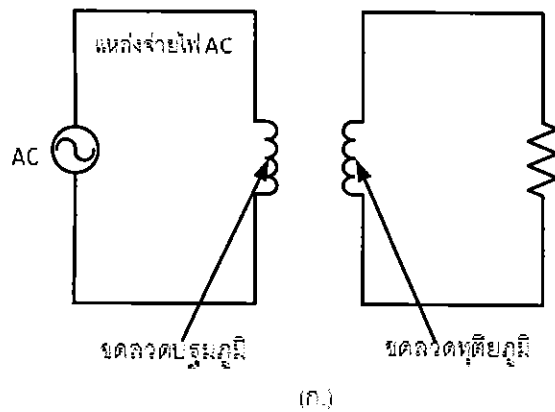
ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และจำนวนรอบของขดลวดทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงตามอุดมคติ (Ideal Transformer: ไม่รวมการสูญเสียของขดลวดและแกนเหล็ก) สามารถหาได้จาก

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

ความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความถี่ จำนวนรอบของขดลวด พื้นที่แกนเหล็ก และความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (ไม่รวมการสูญเสียของเส้นแรงแม่เหล็กและแกนของหม้อแปลง) หาได้จาก

$$V_p = 4.44 N_f A B \quad (\text{Volt}) \quad (2.4)$$

2.3.1 หลักการพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 2.3 อธิบายหลักการพื้นฐานของหม้อแปลง

รูปที่ 2.3 (ก.) แสดงรูปสัญลักษณ์ และวงจรพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย ขดลวด 2 ชุดที่จัดให้อยู่ใกล้กัน ได้แก่ ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) และ ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) ทั้งนี้เพื่อให้เส้นแรงของสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดปฐมภูมิไปตัดกับ ขดลวดทุติยภูมิ และเกิดการเหนี่ยวนำซึ่งกันและกันขึ้น โดยจัดให้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับต่อเข้ากับขดลวดปฐมภูมิ และ โหลด (RL) ต่อเข้ากับด้านทุติยภูมิ

รูปที่ 2.3 (ข.) แสดงกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปเข้าที่ขดลวดปฐมภูมิ ซึ่งกระแสไฟฟ้านี้ก็จะทำให้เกิดขั้วเหนื่อที่ส่วนบนของขดลวดปฐมภูมิ ถ้าแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุต นี้มีความเป็นลบมาก (ช่วงครึ่งคลื่นลบ) ก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่งผลให้มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิมากขึ้น การขยายตัวของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะไปตัดกับขดลวดทางด้านทุติยภูมิ และเกิดการเหนี่ยวนำของแรงดันไฟฟ้าขึ้น จึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรด้านทุติยภูมิผ่านไปยังโหลด จากนั้นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายเข้ามาก็จะมีความเป็นลบลดน้อยลงจนเป็นค่าศูนย์ และเปลี่ยนเป็นค่าบวก

รูปที่ 2.3 (ค.) ในกรณีนี้กระแสไฟฟ้าในวงจรด้านปฐมภูมิจะไหลในทิศทางตรงกันข้ามกับตอนแรก ทั้งนี้เนื่องมาจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในทิศทางที่เป็นบวก (ช่วงครึ่งคลื่นบวก) เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นกระแสไฟฟ้าก็ไหลมากขึ้น ส่งผลให้สนามแม่เหล็กเกิดการขยายตัวไปตัดกับขดลวดทุติยภูมิเกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า ส่งผลให้มีกระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางตรงข้าม และไหลผ่านต่อไปยังโหลดเช่นเดียวกัน

2.3.2 ข้อสังเกตบางประการเกี่ยวกับหลักการพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า

1) ถ้ากระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิเพิ่มขึ้นด้วย และถ้ากระแสไฟฟ้าด้านปฐมภูมิลดลงก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าด้านทุติยภูมิลดลงด้วยเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นทางด้านทุติยภูมิ มีความถี่เท่ากับ ไฟฟ้ากระแสสลับทางด้านปฐมภูมิ

2) ถึงแม้ขดลวดทั้งสองของหม้อแปลงไฟฟ้าจะแยกออกจากกัน แต่พลังงานจากด้านปฐมภูมิ สามารถที่จะส่งผ่านไปยังด้านทุติยภูมิได้ ทั้งนี้เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิได้เปลี่ยนไปเป็นพลังงานแม่เหล็ก ส่วนทางด้านทุติยภูมิจะเปลี่ยนกลับจากพลังงานแม่เหล็กให้เป็นพลังงานไฟฟ้านั่นเอง

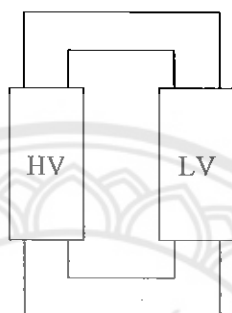
2.4 โครงสร้างสนามแม่เหล็กของหม้อแปลง

หม้อแปลงในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแบ่งตามโครงสร้างสนามแม่เหล็กโดยการจัดวางรูปแบบของแกนเหล็กซึ่งแบ่งได้ 2 ชนิด คือแกนเหล็กแบบคอร์ (Core-form Cores) และแกนเหล็กแบบเชลล์ (Shell-form Cores)

2.4.1 แกนเหล็กแบบคอร์

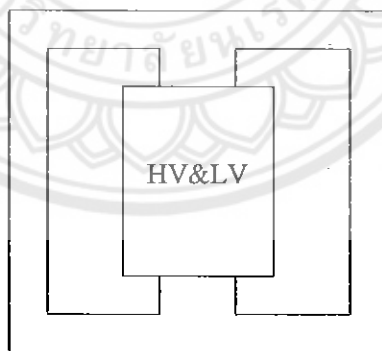
โครงสร้างแบบนี้ขดลวด จะพันรอบขาแกนเหล็ก รูปแบบของแกนเหล็ก สามารถแบ่งได้เป็น 5 ชนิดได้แก่

1) แกนเหล็กแบบ 1 เฟส 2 ขา เป็นโครงสร้างทั่วไปของหม้อแปลง 1 เฟส โดยที่ขดลวดด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำจะแยกกันอยู่ในแต่ละขา และพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กในแต่ละขาจะเท่ากับพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็ก นิยมใช้กับหม้อแปลงที่มีขนาดพิกัดเล็กจนถึงพิกัดปานกลาง



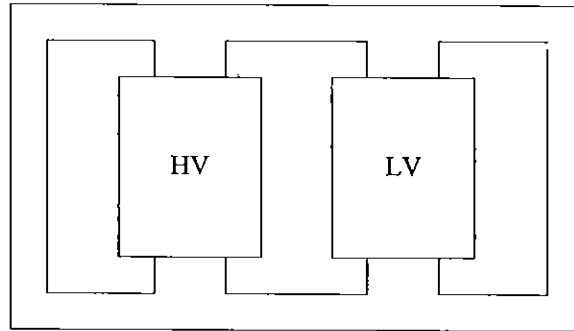
รูปที่ 2.4 แกนเหล็กแบบ 1 เฟส 2 ขา [3]

2) แกนเหล็กแบบ 1 เฟส 3 ขา โครงสร้างแบบนี้ขดลวดด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำจะอยู่บนแกนเหล็กขากลาง พื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กขากลางจะใหญ่กว่าแกนเหล็กขาค้นข้าง และแกนเหล็กของโยค ประมาณสองเท่า เหมาะสำหรับหม้อแปลงที่มีขนาดพิกัดใหญ่และมีพิกัดแรงดันไม่สูงมาก



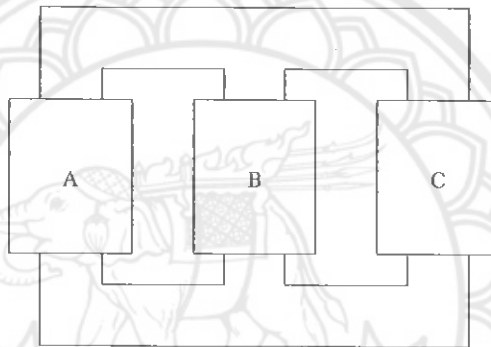
รูปที่ 2.5 แกนเหล็กแบบ 1 เฟส 3 ขา [3]

3) แกนเหล็กแบบ 1 เฟส 4 ขา โครงสร้างแบบนี้ขดลวดด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำจะแยกกันอยู่บนแกนเหล็กขาที่ 2 และขาที่ 3 พื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กขาที่ 2 และขาที่ 3 จะใหญ่กว่าแกนเหล็กขาค้นข้าง ขาที่ 1 และขาที่ 4 ประมาณสองเท่า เหมาะสำหรับหม้อแปลงที่มีขนาดพิกัดใหญ่และมีพิกัดแรงดันสูงมาก



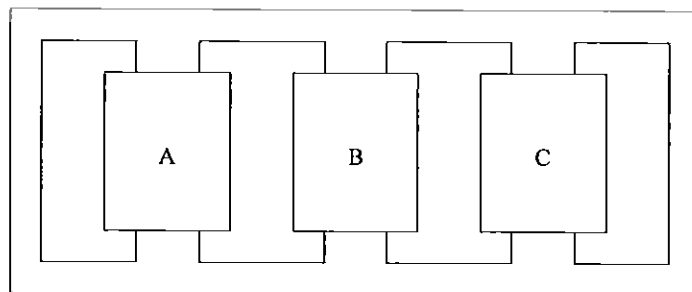
รูปที่ 2.6 แกนเหล็กแบบ 1 เฟส 4 ขา [3]

4) แกนเหล็กแบบ 3 เฟส 3 ขา โครงสร้างหม้อแปลงแบบนี้เป็นโครงสร้างโดยทั่วไปของหม้อแปลง 3 เฟส โดยขดลวดด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำของแต่ละเฟสจะอยู่รวมกันในขาแกนเหล็กเดียวกัน เหมาะสำหรับหม้อแปลงพิกัดเล็กถึงพิกัดปานกลาง



รูปที่ 2.7 แกนเหล็กแบบ 3 เฟส 3 ขา [3]

5) แกนเหล็กแบบ 3 เฟส 5 ขา โครงสร้างแบบนี้จะมีการจัดวางขดลวดจะเหมือนกับแบบ 3 เฟส 3 ขา แต่จะมีแกนเหล็กขาข้างเพิ่มขึ้นมา 2 ขา พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กขาหลัก (ขาที่ 2 ถึงขาที่ 4) จะใหญ่กว่าแกนเหล็กขาข้าง (ขาที่ 1 และ ขาที่ 5) ประมาณ 2 เท่า ใช้กับหม้อแปลงพิกัดใหญ่

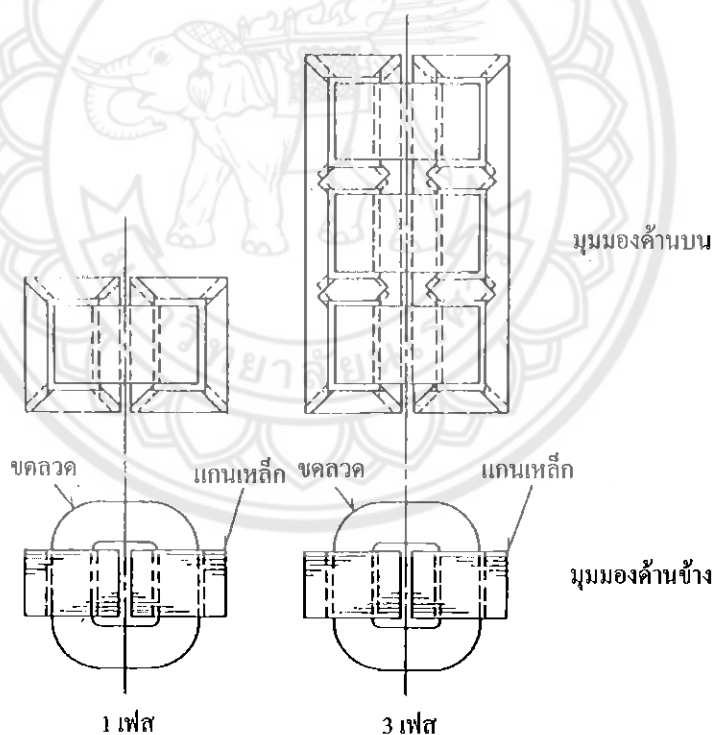


รูปที่ 2.8 แกนเหล็กแบบ 3 เฟส 5 ขา [3]

แกนเหล็กแบบคอร์สำหรับหม้อแปลงพิกัดใหญ่ (Large Capacity Transformer) จะมีปัญหาเรื่องฟลักซ์รั่วไหล (Leakage Flux) ที่เพิ่มขึ้นตามพิกัดหม้อแปลงและข้อจำกัดด้านความสูงของหม้อแปลงในการขนส่ง โดยทั่วไปหม้อแปลง 3 เฟสจะใช้แบบ 3 ขาและหม้อแปลง 1 เฟสจะใช้แบบ 2 ขา ดังนั้นหม้อแปลงพิกัดใหญ่ 3 เฟสจะใช้แบบ 5 ขา และหม้อแปลง 1 เฟสจะใช้แบบ 3 ขาหรือแบบ 4 ขาเพื่อการแก้ปัญหาข้างต้น โดยที่ขาด้านข้าง (Side Leg) ที่เพิ่มขึ้นมาจะช่วยเป็นเส้นทางเดินของฟลักซ์ทำให้ลดปริมาณฟลักซ์รั่วไหลที่เกิดขึ้นและยังช่วยเพิ่มความแข็งแรงของตัวถังในส่วนพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กทั้งด้านบนและด้านล่างมีขนาดเล็กลงด้านละ 50 เปอร์เซ็นต์ทำให้ความสูงของหม้อแปลงลดลงมาได้มาก

2.4.2 แกนเหล็กแบบเชลล์

โครงสร้างแบบนี้แกนเหล็กจะล้อมรอบขดลวดซึ่งมีการยึดจับและรองรับขดลวดได้ดีกว่าทำให้มีความแข็งแรงต่อแรงทางกลในขณะที่เกิดการลัดวงจร ดังแสดงในภาพที่ 2.9 คือชนิดของแกนเหล็กหม้อแปลงแบบเชลล์ทั้ง 1 เฟส และ 3 เฟส



รูปที่ 2.9 แกนเหล็กแบบเชลล์ของหม้อแปลง 1 เฟสและหม้อแปลง 3 เฟส [4]

2.5 ขดลวดหม้อแปลง(Transformer Coils)

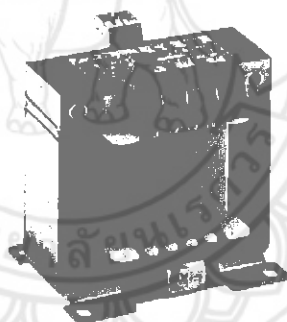
ตัวนำของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังจะมีลักษณะเป็นแผ่นทองแดงสี่เหลี่ยมผืนผ้าถูกหุ้มด้วยฉนวนกระดาษสีน้ำตาลสามารถแบ่งลักษณะของตัวนำที่ใช้พันขดลวดเป็น 3 แบบคือตัวนำเดี่ยวตัวนำหลายตัวนำ และสายตัวนำแบบสลับไปมา นอกจากนี้ลักษณะการจัดวางและการพันขดลวดหม้อแปลงยังแบ่งได้ตามลักษณะ โครงสร้างแกนเหล็กหม้อแปลงได้ดังนี้

2.5.1 การพันขดลวดหม้อแปลงแบบคอร์

เป็นการพันขดลวดหม้อแปลงแบบวางซ้อนกันระหว่างขดลวดแรงสูงและขดลวดแรงต่ำ ภายในขาแกนเหล็กเดียวกัน โดยที่ขดลวดแรงต่ำจะอยู่ด้านในและขดลวดแรงสูงจะอยู่ด้านนอก

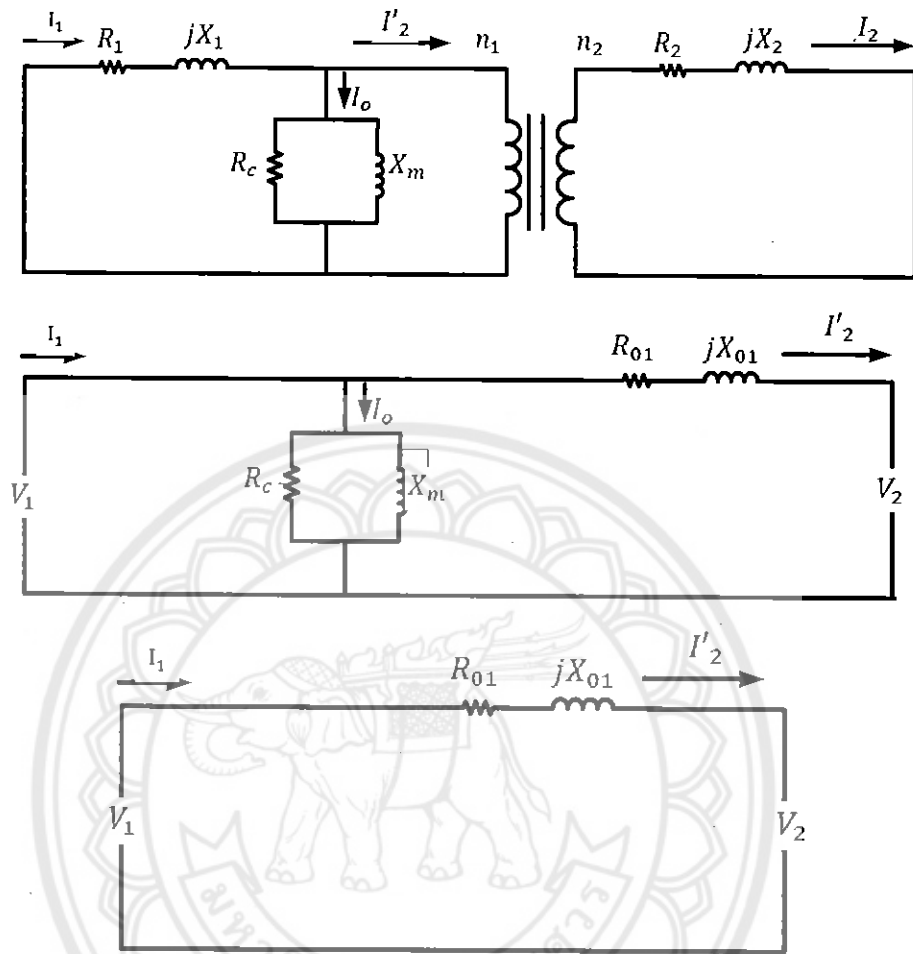
2.5.2 การพันขดลวดหม้อแปลงแบบเชลล์

คือการพันขดลวดที่นำชุดขดลวดมาวางซ้อนกันหลายชั้นเป็นขดลวดที่สมบูรณ์ซึ่งสามารถวางซ้อนสลับไปมาระหว่างขดลวดแรงสูงและขดลวดแรงต่ำมีผลทำให้ค่าฟลักซ์รั่วไหลมีค่าน้อยและยังสามารถกำหนดค่ารีแอกแตนซ์รั่วไหลในการออกแบบหม้อแปลงได้อีกด้วย



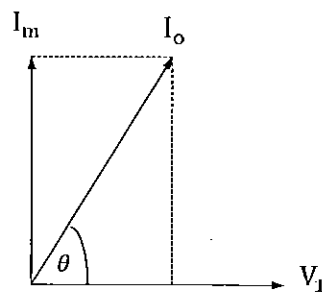
รูปที่ 2.10 การพันขดลวดหม้อแปลงแบบเชลล์[5]

2.6 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 2.11 วงจรสมมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า [6]

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่า เมื่อหม้อแปลงไม่มีภาระไฟฟ้า นั่นคือ เมื่อขดลวดทุติยภูมิไม่มีกระแสไหล จะยังคงมีกระแสไหลเข้าสู่หม้อแปลงทางด้านขดลวดปฐมภูมิ กระแสนี้เรียกว่า กระแสขณะไร้ภาระ เวกเตอร์ของกระแสและแรงดันของหม้อแปลงจะเป็นดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เวกเตอร์ของกระแสและแรงดันของหม้อแปลง ขณะไร้โหลด

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินโครงการ

3.1 ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับชนิดแกนของหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าโดยทั่วไป แบ่งได้หลากหลายประเภท เช่น แบ่งตามประเภทของแกนเหล็ก แบ่งตามประเภทของขนาดแรงดัน แบ่งตามประเภทการใช้งาน แบ่งตามเฟสของแรงดันไฟฟ้า ในปริญญาโทปีนี้ศึกษาหม้อแปลง 1 เฟส และคุณลักษณะแกนเหล็กที่แตกต่างกัน 2 แบบ ดังนั้นขออธิบายประเภทของการแบ่งหม้อแปลงตามแกนเหล็ก 3 แบบ ดังต่อไปนี้

3.1.1 หม้อแปลงชนิดแกนเหล็ก (Iron Core Transformer)

หม้อแปลงแบบนี้จะใช้แผ่นเหล็กอ่อนหลาย ๆ แผ่น ส่วนใหญ่จะใช้รูปทรงตัว E และตัว I หรือรูปทรงตัว U และตัว I ประกอบกันเป็นแกน โดยทั่วไปหม้อแปลงประเภทนี้ มักถูกใช้งานใน ความถี่ไม่สูงมากนัก เช่น หม้อแปลงในงานส่งกำลังไฟฟ้า หรือ หม้อแปลงแปลงแรงดันไฟฟ้าตาม บ้าน โดยมากถือได้ว่าเป็นหม้อแปลงที่มีประสิทธิภาพสูง

3.1.2 หม้อแปลงชนิดแกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite Core Transformer)

หม้อแปลงชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้งานที่มีความถี่สูง เช่น ในเครื่องรับ เครื่องส่ง วิทยุ หรือในวงจรสวิตชิง เพราะไม่สามารถใช้หม้อแปลงชนิดแกนเหล็กได้

3.1.3 หม้อแปลงชนิดแกนอากาศ (Air Core Transformer)

หม้อแปลงชนิดนี้จะใช้ในงานความถี่สูงมาก ๆ เช่น ในเครื่องรับ เครื่องส่งวิทยุความถี่สูง เพราะไม่สามารถใช้หม้อแปลงชนิดอื่นได้เนื่องจากจะเกิดความสูญเสียอย่างมาก

3.2 การวิเคราะห์วงจรแม่เหล็ก

3.2.1 แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive Force)

แรงเคลื่อนแม่เหล็กใช้สัญลักษณ์ F เป็นตัวผลักดันที่อยู่เบื้องหลังสนามแม่เหล็กแรงเคลื่อนแม่เหล็กจะแปรผันตรงโดยตรงกับ จำนวนรอบของขดลวดและกระแสที่ไหลในขดลวด

สมการของแรงเคลื่อนแม่เหล็กคือ

$$F = NI \quad [A] \quad (3.1)$$

โดยที่ N คือ จำนวนรอบของขดลวด

I คือ กระแสที่ไหลในขดลวด

3.2.2 ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic Flux)

คือปริมาณเส้นแรงแม่เหล็กในบริเวณหนึ่งๆ หรือจำนวนของเส้นแรงแม่เหล็ก

$$\phi = \frac{F}{R} \quad [Wb] \quad (3.2)$$

โดยที่ F คือ แรงเคลื่อนแม่เหล็ก

R คือ ความต้านทานแม่เหล็ก

3.2.3 ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Flux density)

คือจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหน่วยพื้นที่ที่เส้นแรงแม่เหล็กตัดตั้งฉาก โดยสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างฟลักซ์แม่เหล็กต่อพื้นที่

$$B = \frac{\phi}{A} \quad [T] \quad (3.3)$$

โดยที่ ϕ คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก

A คือ พื้นที่ที่ตัดตั้งฉาก

3.2.4 ความซึมซาบทางแม่เหล็ก (Permeability)

ความซึมซาบทางแม่เหล็กเป็นค่าที่วัดความสามารถในการสร้างสนามแม่เหล็กภายในของวัสดุซึ่งแบ่งออกเป็น สภาพความซึมซาบในอากาศ และ สภาพความซึมซาบสัมพัทธ์ของตัวกลาง

$$\mu = \mu_0 + \mu_r \quad [H/m] \quad (3.4)$$

โดยที่ μ_0 คือ สภาพความซึมซาบในอากาศ $= 4\pi \times 10^{-7}$

μ_r คือ สภาพความซึมซาบสัมพัทธ์ของตัวกลาง

3.2.5 ความต้านทานแม่เหล็ก (Reluctance)

ความต้านทานที่เกิดขึ้นในวงจรแม่เหล็ก จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเหล็ก โดยจะต้านทานการส่งฟลักแม่เหล็กที่ออกจากแหล่งกำเนิดฟลักให้ลดลงไป

$$R = \frac{l}{\mu A} \quad [H^{-1}] \quad (3.5)$$

โดยที่ A คือ พื้นที่หน้าตัดแกนเหล็ก

l คือ ความยาวของแท่งแกนเหล็ก

μ คือ ความซึมซาบทางแม่เหล็ก

3.2.6 ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Magnetic field intensity)

ใช้สัญลักษณ์ H คือแรงเคลื่อนแม่เหล็กต่อหนึ่งหน่วยความยาวของวงจรแม่เหล็ก ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$H = \mu B \quad [A/m] \quad (3.6)$$

โดยที่ μ คือ สภาวะความซึมซาบทางแม่เหล็ก

B คือ ความหนาแน่นฟลักแม่เหล็ก

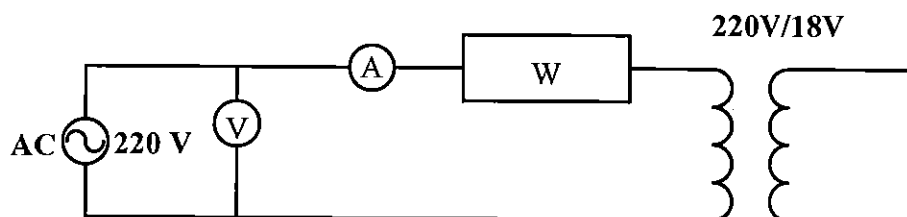
3.2.7 พลังงานสะสมในแกนเหล็ก (Energy Stored)

เป็นค่าพลังงานสะสมที่เกิดขึ้นในแกนเหล็ก อาจเกิดจากความร้อน หรือในรูปแบบอื่นๆ โดยจะมีค่าแปรผันตามค่าความสูญเสียภายในแกนเหล็ก สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P = \frac{1}{2} BH \quad [J] \quad (3.7)$$

3.3 การทดสอบหม้อแปลง

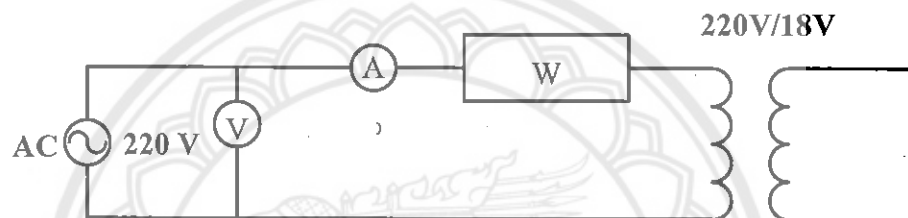
3.3.1 การทดสอบเปิดวงจร (Open Circuit)



รูปที่ 3.1 การทดสอบแบบเปิดวงจร

การทดสอบเปิดวงจรเป็นการทดสอบขณะไม่มีโหลด (No-load Test) เพื่อวัดค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก (Core loss) โดยการเปิดวงจรทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ (Low voltage side) และจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่พิกัดเข้าที่ด้านแรงดันไฟฟ้าสูง (High voltage side) เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจร จนกระทั่งค่าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด 220 โวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากแอมป์มิเตอร์จะเป็นกระแสไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด (I_0) ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสไฟฟ้าที่พิกัด ค่าความสูญเสียในขดลวดทองแดง (I^2R) จึงมีค่าน้อย ดังนั้น ในการทดสอบเปิดวงจรนี้ จึงไม่คิดค่าความสูญเสียในขดลวดทองแดง จึงสรุปได้ว่าค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์เป็นค่าความสูญเสียในแกนตัวนำแม่เหล็ก (P_0) นั่นเอง

3.3.2 การทดสอบการลัดวงจร (Short Circuit)



รูปที่ 3.2 การทดสอบการลัดวงจร

การทดสอบลัดวงจรเป็นการทดสอบเพื่อหาความสูญเสียในขดลวดทองแดง (Copper loss) โดยการลัดวงจรทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ (Low voltage side) และจ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าที่ด้านแรงดันไฟฟ้าสูง (High voltage side) เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า จนกระทั่งค่าที่อ่านได้จากแอมป์มิเตอร์เป็นค่ากระแสไฟฟ้า 80 เปอร์เซ็นต์ของค่ากระแสพิกัดนั้นคือ 0.32 แอมป์ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้นี้มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด ฟลักแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนเหล็ก (I^2R) จึงมีค่าน้อย จึงสรุปได้ว่าค่าที่อ่านได้จากวัตต์มิเตอร์เป็นค่าความสูญเสียในขดลวดทองแดง (P_{cu}) นั่นเอง

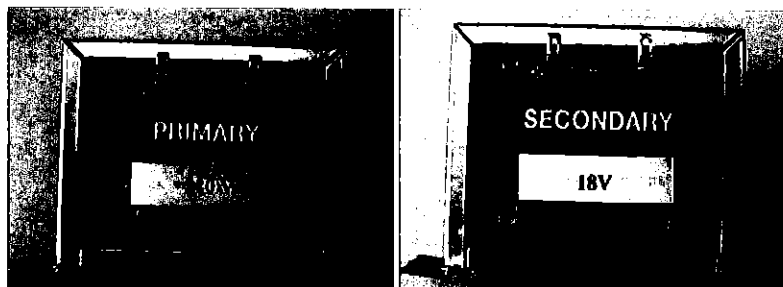
3.4 ประสิทธิภาพของหม้อแปลง

ประสิทธิภาพของหม้อแปลงสามารถคำนวณได้ ถ้ารู้วงจรสมมูลของหม้อแปลง การสูญเสียของหม้อแปลงมี 2 ส่วน คือ การสูญเสียที่แกนเหล็กของหม้อแปลง ซึ่งมีค่าแปรตามกำลังสองของแรงดันที่ป้อนให้หม้อแปลง ถ้าแรงดันที่ป้อนในหม้อแปลงคงที่ การสูญเสียที่แกนเหล็กจะมีค่าคงที่ การสูญเสียส่วนที่สองคือ การสูญเสียที่ขดลวดของหม้อแปลง การสูญเสียในขดลวดแปรตามกำลังสองของกระแสโหลด ถ้ากระแสโหลดมีค่าคงที่ การสูญเสียในส่วนนี้จะคงที่

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + Coreloss + Copperloss} \times 100 \quad (3.7)$$

3.5 วัสดุและอุปกรณ์

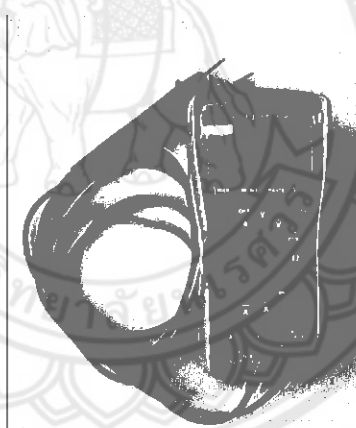
3.5.1 หม้อแปลงแบบเซลล์



รูปที่ 3.3 หม้อแปลงแบบเซลล์

หม้อแปลงแบบเซลล์ขนาด ไฟเข้า 220 โวลต์ ไฟออก 18 โวลต์พิกัดกระแส 0.3 แอมป์ เป็นหม้อแปลงต้นแบบ เพื่อศึกษาโครงสร้าง พารามิเตอร์ต่างๆ ใช้เปรียบเทียบเพื่อสร้างหม้อแปลงแบบคอร์ที่มีขนาดเดียวกัน

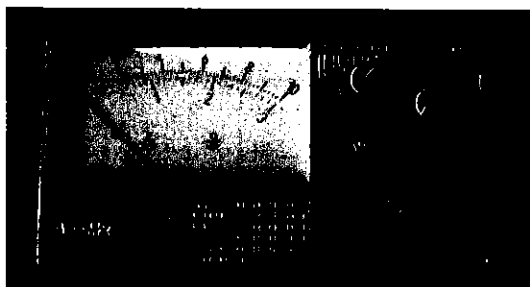
3.5.2 มัลติมิเตอร์ (Multimeter)



รูปที่ 3.4 มัลติมิเตอร์

มัลติมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดที่มีประโยชน์มาก เพียงแต่ปรับหมุนสวิตช์หลายตำแหน่งบนตัวมิเตอร์โดยมียากและรวดเร็ว ก็สามารถตั้งเป็นโวลต์มิเตอร์ แอมป์มิเตอร์ หรือ โอห์มมิเตอร์ นอกจากนี้มิเตอร์ที่เลือกแต่ละแบบก็สามารถเลือกฟังก์ชันการวัดได้หลายระยะ และเลือกไฟกระแสสลับ(AC) หรือไฟกระแสตรง(DC) ได้มัลติมิเตอร์บางชนิดมีคุณสมบัติการวัดเพิ่มเติม เช่น วัดค่าความจุ วัดความถี่ และทดสอบทรานซิสเตอร์

3.5.3 วัดต์มิเตอร์ (Wattmeter)



รูปที่ 3.5 วัดต์มิเตอร์

วัดต์มิเตอร์ คือ เครื่องมือวัดพื้นฐานการไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ใช้วัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในวงจรไฟฟ้ากำลังงานไฟฟ้า (Electrical Power) ใช้ตัวย่อว่า P มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) เป็นค่าที่ได้จากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็น โวลต์ (V) ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A) การเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า ต้องใช้พลังงานที่จะผลักดันให้เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในหนึ่งหน่วยวินาที (s)ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้า ได้จากผลคูณค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า

3.5.4 แหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับ(Power Supply)



รูปที่ 3.6 แหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับ

แหล่งกำเนิดไฟฟ้าหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้า คือ แหล่งที่จ่ายพลังงานศักย์ไฟฟ้า หรืออาจเรียกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า ออกมาใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆไป

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

4.1 ผลการวิเคราะห์วงจรแม่เหล็ก

4.1.1 หม้อแปลงแบบเซลล์

$$\text{แรงดันด้านทุติยภูมิ} = 18 \text{ V}$$

$$\text{แรงดันด้านปฐมภูมิ} = 220 \text{ V}$$

$$\text{กระแสด้านทุติยภูมิ} = 0.4 \text{ A}$$

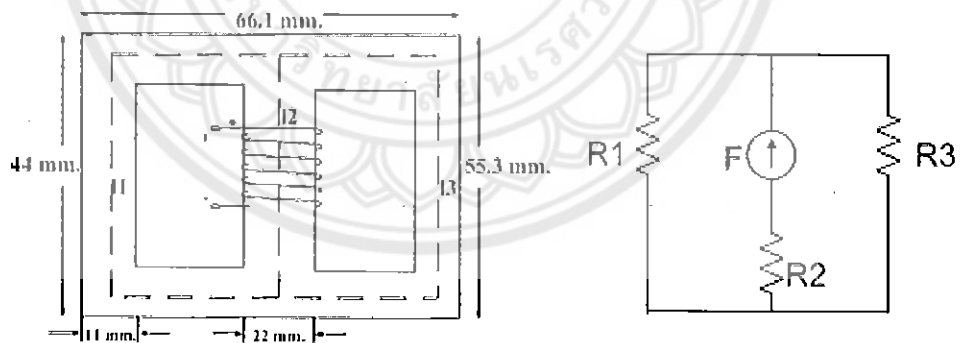
$$\text{กระแสด้านปฐมภูมิ} = 0.4 \times \frac{18}{220} = 0.03 \text{ A}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้า} = 0.4 \times 220 = 88 \text{ W}$$

$$\text{จำนวนรอบด้านปฐมภูมิ} = 1,674 \text{ รอบ} \quad \text{ใช้ลวดทองแดงเบอร์} \quad 23$$

$$\text{จำนวนรอบด้านทุติยภูมิ} = 135 \text{ รอบ} \quad \text{ใช้ลวดทองแดงเบอร์} \quad 39$$

เมื่อพิจารณาวงจรแม่เหล็กจะได้



$$\text{ความหนาของแกนเหล็ก} = 0.023 \text{ m}$$

$$l_1 = 0.099 \text{ m}$$

$$l_2 = 0.044 \text{ m}$$

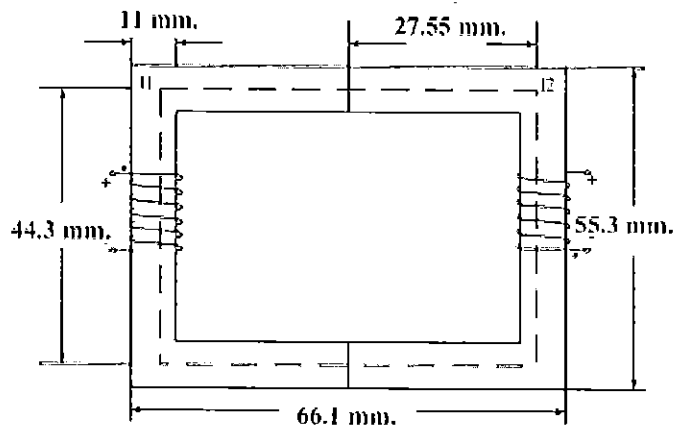
$$l_3 = 0.099 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 A_1 &= 0.023 \times 0.011 &= 2.53 \times 10^{-4} & m^2 \\
 A_2 &= 0.023 \times 0.022 &= 5.06 \times 10^{-4} & m^2 \\
 A_3 &= 0.023 \times 0.011 &= 2.53 \times 10^{-4} & m^2 \\
 A_t &= 2.53 \times 10^{-4} + 5.06 \times 10^{-4} + 2.53 \times 10^{-4} &= 10.12 \times 10^{-4} & m^2 \\
 R_1 &= \frac{0.099}{4\pi \times 10^{-7} \times 6,800 \times 2.53 \times 10^{-4}} &= 45,792.63 & H^1 \\
 R_2 &= \frac{0.044}{4\pi \times 10^{-7} \times 6,800 \times 5.06 \times 10^{-4}} &= 10,176.15 & H^1 \\
 R_3 &= \frac{0.099}{4\pi \times 10^{-7} \times 6,800 \times 2.53 \times 10^{-4}} &= 45,792.63 & H^1 \\
 R_t &= (R_1 // R_3) + R_2 &= 33,072.48 & H^1 \\
 F &= 1674 \times 0.03 &= 50.22 & At \\
 \phi &= \frac{50.22}{33072.48} &= 1.518 \times 10^{-3} & Wb \\
 B &= \frac{1.5185 \times 10^{-3}}{10.12 \times 10^{-4}} &= 1.50 & T \\
 H &= \frac{1.5}{4\pi \times 10^{-7} \times 6,800} &= 175.54 & At/m \\
 P &= \frac{1.5 \times 175.54}{2} &= 131.65 & J
 \end{aligned}$$

4.1.2 หม้อแปลงแบบคอร์

$$\begin{aligned}
 \text{แรงดันด้านทุติยภูมิ} &= 18 \quad V \\
 \text{แรงดันด้านปฐมภูมิ} &= 220 \quad V \\
 \text{กระแสด้านทุติยภูมิ} &= 0.4 \quad A \\
 \text{กระแสด้านปฐมภูมิ} &= 0.4 \times \frac{18}{220} = 0.03 \quad A \\
 \text{กำลังไฟฟ้า} &= 0.4 \times 220 = 88 \quad W \\
 \text{จำนวนรอบด้านปฐมภูมิ} &= 2,390 \text{ รอบ} \quad \text{ใช้ลวดทองแดงเบอร์} \quad 24 \\
 \text{จำนวนรอบด้านทุติยภูมิ} &= 192 \text{ รอบ} \quad \text{ใช้ลวดทองแดงเบอร์} \quad 37
 \end{aligned}$$

เมื่อพิจารณาวงจรแม่เหล็กจะได้



ความหนาของแกนเหล็ก 0.023 m

$$l_1 = 0.099 \text{ m}$$

$$l_2 = 0.099 \text{ m}$$

$$A_1 = 0.023 \times 0.011 = 2.53 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0.023 \times 0.011 = 2.53 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_t = 2.53 \times 10^{-4} + 2.53 \times 10^{-4} = 5.06 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{0.099}{4\pi \times 10^{-7} \times 6,800 \times 2.53 \times 10^{-4}} = 45,792.63 \text{ H}^{-1}$$

$$R_2 = \frac{0.099}{4\pi \times 10^{-7} \times 6,800 \times 2.53 \times 10^{-4}} = 45,792.63 \text{ H}^{-1}$$

$$R_t = R_1 + R_2 = 91,585.26 \text{ H}^{-1}$$

$$F = 2,390 \times 0.03 = 71.1 \text{ At}$$

$$\phi = \frac{71.1}{91,585.26} = 7.76 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

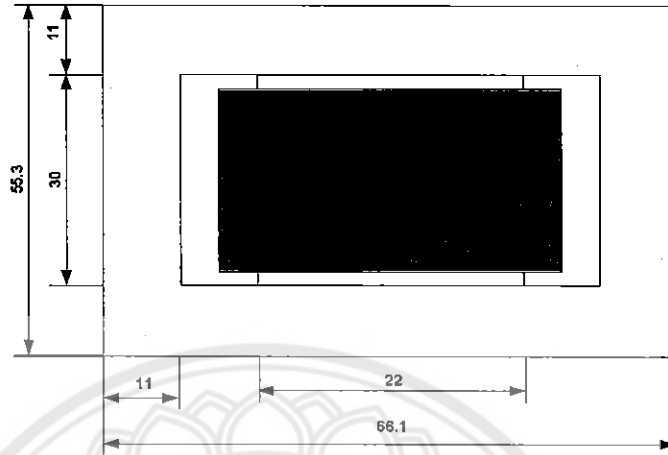
$$B = \frac{7.76 \times 10^{-4}}{5.06 \times 10^{-4}} = 1.547 \text{ T}$$

$$H = \frac{1.547}{4\pi \times 10^{-7} \times 6,800} = 181.04 \text{ At/m}$$

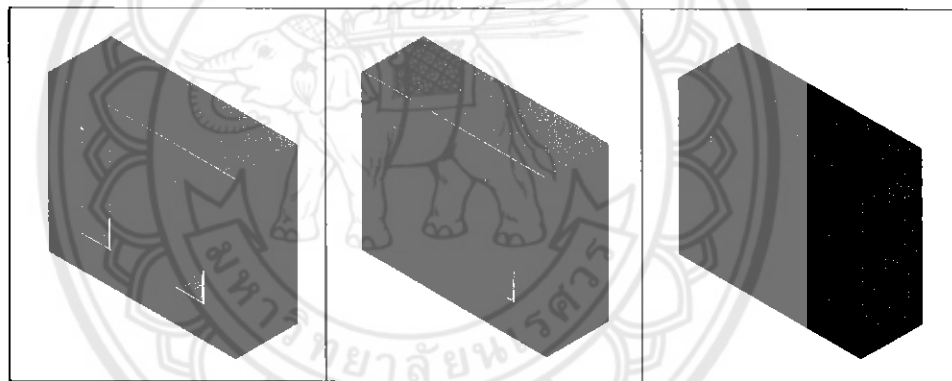
$$P = \frac{1.547 \times 181.04}{2} = 140.03 \text{ J}$$

4.2 ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

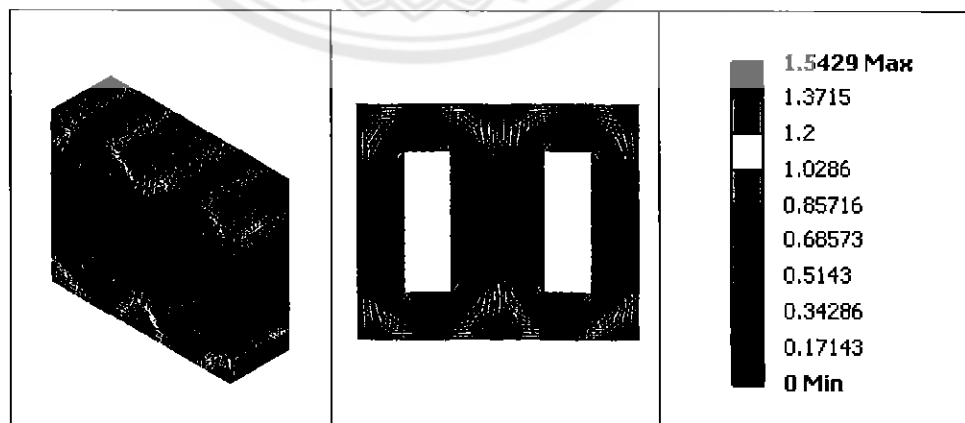
4.2.1 หม้อแปลงแบบเซลล์



รูปที่ 4.1ขนาดของแกนเหล็กแบบเซลล์



รูปที่ 4.2การจำลองแกนเหล็กแบบเซลล์



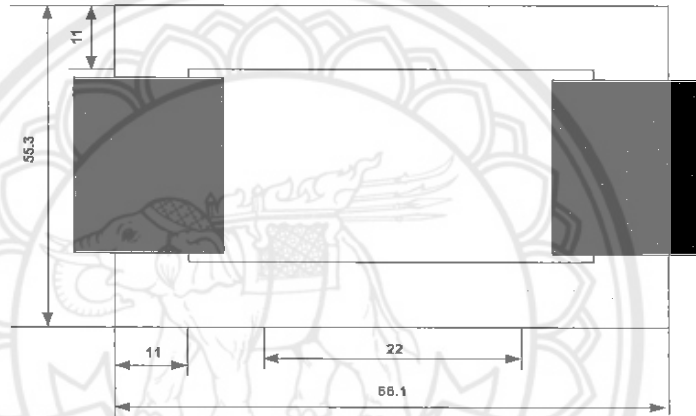
รูปที่ 4.3ผลการจำลอง ฟลักแม่เหล็ก อุณหภูมิ และค่าความหนาแน่นฟลักแม่เหล็ก

จากรูปที่ 4.1 จะได้ค่าขนาดของแกนเหล็กและค่าขนาดของขดลวดหม้อแปลงแบบเซลด์ ซึ่งได้นำไปจำลองในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์ได้ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งมีการวิเคราะห์โดยการกระจายเมชในแกนเหล็กเพื่อประมวลผลได้ดังรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการไหลของฟลักแม่เหล็กจะหนาแน่นบริเวณขดลวดและความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนมากแล้วจะเกิดบริเวณของขดลวดเช่นกัน

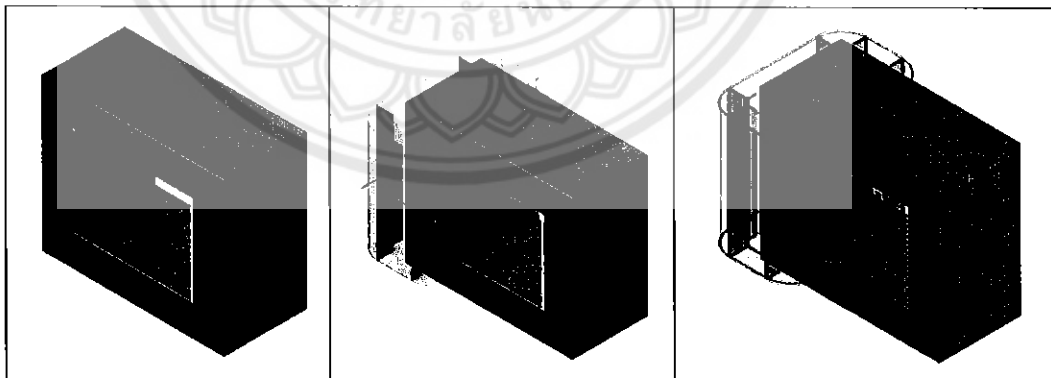
พลังงานสะสมในแกนเหล็ก

$$P = \frac{1.543 \times 181.04}{2} = 139.66 \quad J$$

4.2.2 หม้อแปลงแบบคอร์



รูปที่ 4.4 ขนาดของแกนเหล็กแบบคอร์



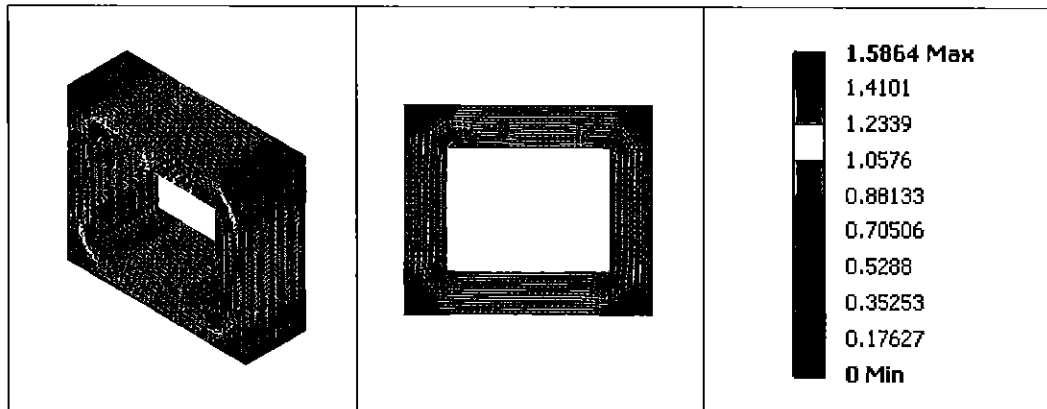
รูปที่ 4.5 การจำลองแกนเหล็ก

15705940

น/ส.

น/494ก

2553



รูปที่ 4.6 ผลการจำลอง ฟลักแม่เหล็ก อุณหภูมิ และค่าความหนาแน่นฟลักแม่เหล็ก

จากรูปที่ 4.4 จะได้ค่าขนาดของแกนเหล็กและค่าขนาดของขดลวดหม้อแปลงแบบคอร์ซึ่งได้นำไปจำลองในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์ได้ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งมีการวิเคราะห์โดยการกระจายเมฆในแกนเหล็กเพื่อประมวลผลการจำลองได้ดังรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าการไหลของฟลักแม่เหล็กจะหนาแน่นบริเวณขดลวดและความร้อนที่เกิดขึ้นส่วนมากแล้วจะเกิดบริเวณของขดลวดและบริเวณขอบของแกนเหล็ก

พลังงานสะสมในแกนเหล็ก

$$P = \frac{1.586 \times 181.04}{2}$$

$$= 143.56 \quad J$$

4.3 ผลการทดสอบหม้อแปลง

4.3.1 หม้อแปลงแบบเซลล์

ตารางที่ 4.1 การทดสอบแบบเบ็ดเสร็จ

ครั้งที่	ความสูญเสียในแกนเหล็ก(วัตต์)	กระแส(แอมป์)	แรงดัน(โวลต์)
1	2	0.022	220.4
2	2	0.023	219.6
3	2	0.022	220.2
4	2	0.021	220.1
5	2	0.022	219.8
เฉลี่ย	2	0.022	220

ตารางที่ 4.2 การทดสอบการลัดวงจร

ครั้งที่	ความสูญเสียในขดลวด(วัตต์)	กระแส(แอมป์)	แรงดัน(โวลต์)
1	34	0.315	117.5
2	34	0.32	117.3
3	34	0.317	117.4
4	34	0.32	117.5
5	34	0.323	117.4
เฉลี่ย	34	0.319	117.4

4.3.2 หม้อแปลงแบบคอร์

ตารางที่ 4.3 การทดสอบแบบเปิดวงจร

ครั้งที่	ความสูญเสียในแกนเหล็ก(วัตต์)	กระแส(แอมป์)	แรงดัน(โวลต์)
1	6	0.136	220
2	6	0.135	219.8
3	6	0.137	220.4
4	6	0.136	220
5	6	0.135	219.5
เฉลี่ย	6	0.136	220

ตารางที่ 4.4 การทดสอบการลัดวงจร

ครั้งที่	ความสูญเสียในขดลวด(วัตต์)	กระแส(แอมป์)	แรงดัน(โวลต์)
1	32	0.31	155.6
2	31	0.32	154.9
3	32	0.322	155.1
4	32	0.32	155.6
5	31	0.32	154.9
เฉลี่ย	32	0.318	155.2

จากการทดสอบห้เปลี่ยนแปลงทั้งแบบเปิดวงจรและการัดวงจรจะได้

ประสิทธิภาพห้เปลี่ยนแปลงแบบเซลล์

$$\eta = \frac{88}{88 + 34 + 2} \times 100 = 70.968\%$$

ประสิทธิภาพห้เปลี่ยนแปลงแบบคอร้

$$\eta = \frac{88}{88 + 32 + 6} \times 100 = 69.841\%$$



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินโครงการสามารถสรุปผล ซึ่งแจ้งปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินงาน รวมทั้งเสนอแนวทางแก้ปัญหา พร้อมให้ข้อเสนอแนะในการนำโครงการไปพัฒนาต่อไป

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

5.1.1 การจำลองด้วยวงจรแม่เหล็ก

การวิเคราะห์วงจรแม่เหล็ก เพื่อให้ทราบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งค่าพลังงานสะสมภายในแกนเหล็ก ซึ่งแปรผันตรงกับค่าความสูญเสียภายในแกนเหล็ก ผลที่ได้คือค่าพลังงานสะสมภายในแกนเหล็กแบบเซลล์นั้นมีค่าน้อยกว่าแบบคอร์ ซึ่งหมายความว่าหม้อแปลงแบบเซลล์มีค่าความสูญเสียในแกนเหล็กน้อยกว่าแบบคอร์

5.1.2 การจำลองด้วยโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์

การจำลองหม้อแปลงด้วยโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์นั้นค่าความหนาแน่นสูงสุดของหม้อแปลงแบบเซลล์มีค่าน้อยกว่าหม้อแปลงแบบคอร์นั้นหมายถึงว่าค่าพลังงานสะสมในแกนเหล็กของหม้อแปลงแบบเซลล์มีค่าน้อยกว่าหม้อแปลงแบบคอร์แต่ก็มีค่าใกล้เคียงกัน

5.1.3 การทดสอบหม้อแปลง

การทดสอบหม้อแปลงทั้งแบบเปิดวงจรและการลัดวงจรของหม้อแปลงทั้งสองแบบนี้ จะเห็นได้ว่าหม้อแปลงแบบเซลล์มีค่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกับหม้อแปลงแบบคอร์

5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

โปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์และการวิเคราะห์จากวงจรแม่เหล็กนั้นสามารถบอกความร้อนที่เกิดขึ้น และค่าความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กในแกนเหล็ก ไม่สามารถบอกค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงได้

แนวทางแก้ไขคือนำค่าความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กคำนวณค่าพลังงานสะสมในแกนเหล็กโดยค่าพลังงานสะสมในแกนเหล็กนั้นจะแปรผันตรงกับค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

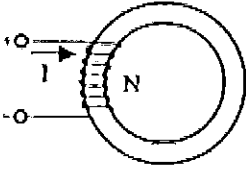
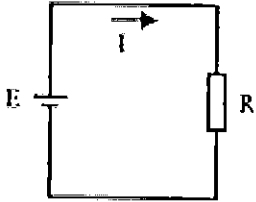
นอกจากการพิมพ์แม่แบบเซลล์และแบบฟอร์มแล้วยังมีการพิมพ์แม่แบบอื่นๆ อีกมาก ศึกษาการพิมพ์แม่แบบต่างๆ เพื่อเพิ่มทางเลือกในการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแม่แบบขนาด 220/18 โวลต์



เอกสารอ้างอิง

- [1] หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2554, จาก<http://old.thai-classified.com/sale-135077.html>
- [2] หลักการทำงานของหม้อแปลง สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2554, จาก<http://sriwichee50210665.exteen.com>
- [3] อนุชิต พาลี, ชนากร ปันช่างคอน. “การป้องกันในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง.ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยนครสวรรค์. 2549.
- [4] แกนเหล็กหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเซตล์ สืบค้นเมื่อ 2 มีนาคม 2554, จากhttp://transformer-sc.blogspot.com/2009/08/blog-post_3866.html
- [5] หม้อแปลงไฟฟ้า สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2554, จาก<http://oknation.net/blog/bastransformer>
- [6] วงจรสมมูลหม้อแปลง สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2554, จาก<http://blog/sirumporn/gallery/36665>
- [7] วงจรแม่เหล็ก สืบค้นเมื่อ 3 มีนาคม 2554, จาก <http://electrical.technicchan.ac.th/~electrical>
- [8] Mulukutla S. Sarma. Electric Machine. Cengage Learning Asia Pte Ltd.Singapore.2009
- [9] ไชยชาญ หินเกิด. หม้อแปลงไฟฟ้า. สสท.กรุงเทพฯ. 2544
- [10] คุณสมบัติเหล็ก สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2554, จาก <http://www.engineersedge.com/properties>
ธวัชชัย อัดถวิบูลย์กุล.ทฤษฎีหม้อแปลงไฟฟ้า.กรุงเทพฯ: เจริญธรรม, 2536



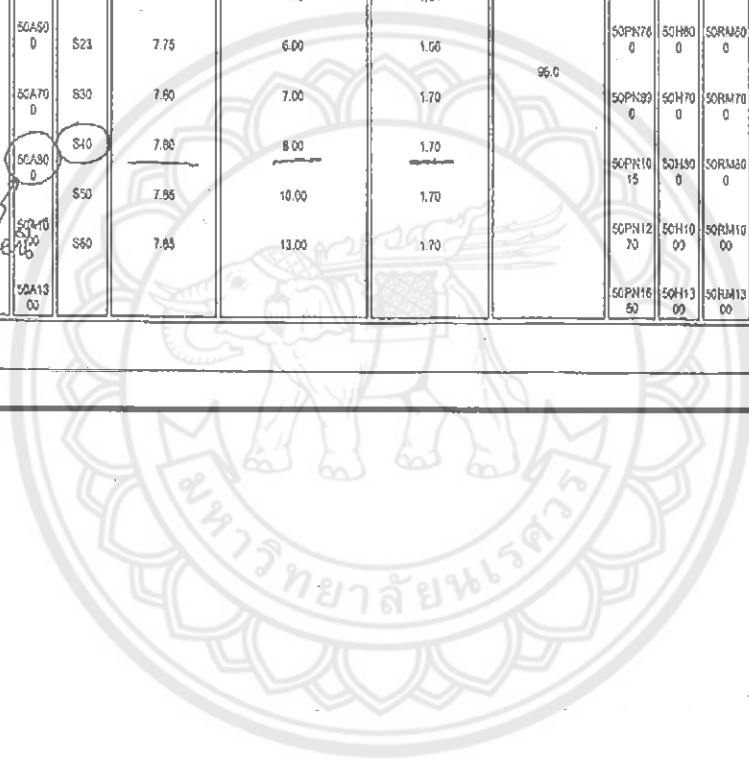
วงจรแม่เหล็ก	วงจรไฟฟ้า
	
1.แรงเคลื่อนแม่เหล็ก F_m (At)	1.แรงเคลื่อนไฟฟ้า E (V)
2.ฟลักซ์แม่เหล็ก $\phi = \frac{F_m}{S}$ (Wb)	2.กระแสไฟฟ้า $I = E/R$ (A)
3.ความต้านทานแม่เหล็ก $S = l/\mu A$ (At/Wb)	3.ความต้านทานไฟฟ้า $R = \rho l/A$ (Ω)
4.ความเข้มสนามแม่เหล็ก $H = F_m/l$ (At/m)	
5. ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก B (Wb/m ²)	5.ความหนาแน่นของกระแส (A/m^2)



Non-Oriented Electrical Steel

Thick (mm)	Grade		Assumed Density (g/cm ³)	Max. Core Loss (W/kg) at 1.7T/50Hz	Min. Induction (T) at 500A/m	Min. Lamination Factor (%)	Korean			Japanese			U.S.A. Former AISI	German DIN
	JIS	Former JIS					POSCO	Nippon	Kawasaki	U.S.A. Former AISI	German DIN			
0.35	35A300	S12	7.85	3.00	1.82	95.0	35PN300	35H300	35RM300	M-27	V330-35A			
	35A360	S14	7.85	3.60	1.83		35PN450	35H360	35RM360	M-36				
	35A440	S18	7.70	4.40	1.83		35PN560	35H440	35RM440					
0.50	50A350	S12	7.65	3.50	1.82	96.0	50PN445	50H350	50RM350					
	50A400						50PN510	50H400	50RM400	M-36	V350-50A			
	50A470	S14	7.65	4.00	1.83		50PN595	50H470	50RM470	M-43	V400-50A			
	50A500	S18	7.70	4.70	1.84							V470-50A		
	50A590	S21	7.75	6.00	1.85		50PN700	50H590	50RM590	M-45	V600-50A			
	50A700	S30	7.80	7.00	1.70		50PN890	50H700	50RM700			V700-50A		
	50A800	S40	7.80	8.00	1.70								V800-50A	
	50A900	S50	7.85	10.00	1.70		50PN1015	50H900	50RM900					
	50A1000	S60	7.85	13.00	1.70		50PN1270	50H1000	50RM1000					
	50A1300						50PN1650	50H1300	50RM1300					

Handwritten notes: 50A800, 50A900, 50A1000, 50A1300





ตารางเปรียบเทียบขนาดขดลวดทองแดงไฟฟ้า				
เบอร์ SWG	เส้นผ่านศูนย์กลาง		พื้นที่หน้าตัด	
	นิ้ว	มิลลิเมตร	เซอร์กัลลามิ	ตารางมิลลิเมตร
15	0.072	1.828	5,178.00	2,673.00
16	0.064	1.625	4,107.00	2,112.00
17	0.056	1.422	3,257.00	1,617.00
18	0.048	1.219	2,048.00	1,188.00
19	0.040	1.061	1,642.00	0.83
20	0.036	0.914	1,288.00	0.67
21	0.032	0.812	1,022.00	0.53
22	0.028	0.711	810.10	0.40
23	0.024	0.610	624.40	0.30
24	0.022	0.553	509.50	0.25
25	0.200	0.506	404.00	0.21
26	0.018	0.457	320.40	0.17
27	0.916	0.406	254.10	0.13
28	0.014	0.376	201.50	0.11
29	0.013	0.345	184.90	0.10
30	0.012	0.304	159.80	0.07
31	0.011	0.290	126.70	0.07
32	0.010	0.274	116.20	0.06
33	0.010	0.254	100.50	0.05
34	0.009	0.228	81.00	0.04
35	0.008	0.203	79.10	0.03
36	0.007	0.193	50.15	0.03
37	0.006	0.172	39.75	0.02

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาววันรัตน์ มั่นนุช

ภูมิลำเนา 329 หมู่ 5 ต.หัวรอ อ.เมือง จ.พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

-จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเฉลิมขวัญสตรี
จ.พิษณุโลก

-ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email: darkangel_bt@hotmail.com



ชื่อ นางสาวสุกการ์ เตจ๊ะ

ภูมิลำเนา 59/1 ต.ป่าตัน อ.แม่ทะ จ.ลำปาง

ประวัติการศึกษา

-จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบุญวาทย์วิทยาลัย
จ.ลำปาง

-ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร

Email: darkangel_aom@hotmail.com