ปีการศึกษา 2540

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการศึกษา หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

COMPUTER PROGRAM FOR A STUDY OF TRANSFORMERS IN POWER SYSTEM

โดย

นายณัฐกานต์ กาญจนกำเนิด

นายธงชัย เสือน้อย

นายสัญชัย พนมนิเวศน์

นายสุชาติ ไชยมะงั่ว

วัน เดือน ปี -5 ต.ค. 2541

เลขทะเบียน 038578

เลขเรียกหนังสือ T 400.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038578

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการศึกษาหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

ผู้จัดทำ

1. นาย ณัฐกานต์ กาญจนกำเนิด
2. นาย ธงชัย เสือน้อย
3. นาย สัญชัย พนมนิเวศน์
4. นาย สุชาติ ไชยมะงั่ว

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTACT	II
สารบัญรูป	III
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้าเบื้องต้น	4
บทที่ 3 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า	5
3.1 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแห้ง	5
3.2 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดหล่อแห้ง	5
3.3 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดก๊าซ SF_6	5
3.4 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแช่ในฉนวนทนไฟไหม้	6
3.5 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแช่ในน้ำมัน	6
บทที่ 4 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง	7
4.1 ตัวถังหม้อแปลง	7
4.2 น้ำมัน	8
4.3 เครื่องวัดระดับน้ำมัน	8
4.4 ถังรองรับน้ำมัน	8
4.5 ห้องหายใจกรองความชื้น	8
4.6 ลิ้นระบายความดัน	8
4.7 เทอร์โมมิเตอร์	8
4.8 อุปกรณ์ป้องกัน	9
4.9 แผงระบายความร้อน	9
4.10 พัดลม	9
4.11 ปั๊มน้ำมัน	9
4.12 ปลอกนำสาย	9
4.13 สายลีดและปลายขั้ว	10
4.14 ตัวเปลี่ยนแทป	10
4.15 แกนเหล็ก	10
4.16 ขดลวด	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.17 ฉนวน 10
บทที่ 5 ความแข็งแรงของหม้อแปลงขณะลัดวงจร 11
5.1 ความแข็งแรงของฉนวนและการป้องกันฟ้าผ่าของหม้อแปลง 11
5.2 คุณสมบัติของฉนวนหม้อแปลงน้ำมัน 11
5.3 ลักษณะของคลื่นแรงดันที่มีผลต่อฉนวน 11
5.4 ความสัมพันธ์ของความล้มเหลวของฉนวนกับแรงดันไฟฟ้า 11
5.5 ความแข็งแรงของฉนวน 12
5.6 วิธีการทดสอบหาความแข็งแรงของฉนวน 12
5.7 การป้องกันคลื่นแรงดันเกิน 12
5.8 หลักการเบื้องต้นของการเกิดแรงขึ้นบนขดลวดของหม้อแปลง 12
5.9 กระแสลัดวงจรและสมรรถนะในการลัดวงจร 13
5.10 ความแข็งแรงของขดลวด 13
บทที่ 6 การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า 14
6.1 การลัดวงจรในหม้อแปลง 14
6.2 หลักการป้องกันหม้อแปลง 16
บทที่ 7 คุณสมบัติทางความร้อนและวิธีการระบายความร้อนในหม้อแปลง 18
7.1 การระบายความร้อนในหม้อแปลง 18
7.2 ชนิดของหม้อแปลงและวิธีการระบายความร้อน 18
7.3 ขีดจำกัดความร้อนเกินและผลที่มีต่อความเป็นฉนวน 19
7.4 วิธีการวัดอุณหภูมิ 20
7.5 การถ่ายเทความร้อนในหม้อแปลงชนิดน้ำมัน 20
7.6 ลักษณะของถังหม้อแปลงและพื้นผิวของหม้อแปลงที่ใช้น้ำมันเป็นตัวกลางในการระบายความร้อน 20
7.7 ความร้อนชั่วขณะ 21
บทที่ 8 การต่อและขนานหม้อแปลง 22
8.1 หม้อแปลงชนิดเปลี่ยนศักดาไฟฟ้า 22
8.2 หม้อแปลงชนิดเปลี่ยนเฟส 23
8.3 ลักษณะเชิงขั้วของหม้อแปลง 3 เฟส 23
8.4 กลุ่มเวคเตอร์ 24
8.5 การขนานหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9 การบำรุงรักษาหม้อแปลง 25
9.1 การตรวจสอบภายนอก 25
9.2 การตรวจสอบภายใน 25
9.3 การตรวจสอบวัดค่าต่างๆในสนาม 26
9.4 การตรวจสอบอุปกรณ์ส่วนประกอบของหม้อแปลง 27
บทที่ 10การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 28
10.1 ข้อตกลงเบื้องต้นในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 28
10.2 ขั้นตอนในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 30
10.3 การคำนวนค่า Parameter ต่างๆ 34
10.4 ตัวอย่างการออกแบบ 36
บทที่ 11 โครงสร้างและการใช้งานของโปรแกรม 44
11.1 โครงสร้างของโปรแกรม 44
11.2 การใช้งานโปรแกรม 46
บทที่ 12บทวิจารณ์และสรุป 52
ภาคผนวก
กิตติกรรมประกาศ
เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการศึกษา หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

นายณัฐกานต์ กาญจนกำเนิด
นายชงชัย เสือน้อย
นายสัญชัย พนมนิเวศน์
นายสุชาติ ไชยมะงั่ว
ผศ.ดร. ชัยวุฒิ นัครอุทัย อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง รายละเอียดของเนื้อหากล่าวถึง พื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า , ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง , โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง , ความแข็งแรงของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะเกิดการลัดวงจร , การป้องกันหม้อแปลง , คุณสมบัติทางความร้อนและวิธีการระบายความร้อนในหม้อแปลง , การต่อและขนานหม้อแปลง และ การบำรุงรักษาหม้อแปลง จากนั้นได้เรียบเรียงเนื้อหาทั้งหมดและออกแบบแบบทดสอบสำหรับแต่ละบททำเป็นโปรแกรมการศึกษาด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อนักศึกษาหรือผู้ที่สนใจสามารถศึกษาเรื่องหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังด้วยตนเองได้ง่าย โดยใช้โปรแกรมAuthorWare เป็นโปรแกรมหลักในการสร้างโปรแกรมการศึกษาด้วยคอมพิวเตอร์นี้ขึ้นมา รวมถึงการสร้างโปรแกรมออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า1 เฟส ในราคาต้นทุนที่ต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

II

COMPUTER DESIGN FOR STUDY TRANSFORMER IN POWER SYSTEM

Nattagarn Garnjanagamnerd

Thongchai Suernoi

Sunchai Phanomnives

Suchart Chaimangua

Asst.Prof.Dr. Chaiwut Chatuthai Advisor

1997

This thesis presents the study of transformers in power system. The content consists of the basic of transformer , types of power transformer , construction of power transformer , mechanical strength under short circuit , transformer protection , thermal properties & cooling method , transformer connection and parallel and transformer maintenance. All the details are composed together using the CAI program which can be used for the study of power transformers. For presenting the content and the minimum cost design program for the single phase transformer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 10.1	แสดงสัดส่วนของแกนเหล็ก EI	28
รูปที่ 10.2	แสดงพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กที่เปลี่ยนไป	29
รูปที่ 10.3	แสดงพื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดง	29
รูปที่ 10.4	แสดงการหาขนาดของแกนเหล็กจากขนาด window ของแกนเหล็กที่จะพันขดลวด	31
รูปที่ 10.5	แสดงความหนาของแกนเหล็กที่ใช้	32
รูปที่ 10.6	แสดงปริมาตรของแกนเหล็กที่ใช้	32
รูปที่ 10.7	แสดงพื้นที่หน้าตัดและความยาวเฉลี่ยของลวดทองแดงที่ใช้	33
รูปที่ 11.1	แสดง Flow Chart โครงสร้างการทำงานหลัก	45
รูปที่ 11.2	วิธีการเข้าสู่โปรแกรม	46
รูปที่ 11.3	แสดงการลงทะเบียนเข้าสู่บทเรียน	47
รูปที่ 11.4	รายการสารบัญหลัก	48
รูปที่ 11.5	รายการเข้าศึกษาทฤษฎีและบททดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าเบื้องต้น	48
รูปที่ 11.6	แสดงปุ่มควบคุมการควบคุมการทำงาน	49
รูปที่ 11.7	แสดงลักษณะการทำข้อสอบ	50
รูปที่ 11.8	ในส่วนของการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า	51
รูปที่ 11.9	แสดงการป้อนค่า Parameter ต่างๆ	51
รูปที่ 11.10	แสดงการรายงานค่าต่างๆในการออกแบบหม้อแปลง	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

พลังงานไฟฟ้ามีความจำเป็นในการดำเนินชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก แต่ลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไป แหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าจะอยู่ห่างไกลจากศูนย์กลางของผู้บริโภค ซึ่งจำเป็นต้องมีการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิต มาตามสายส่งจนมาถึงศูนย์กลางของผู้บริโภค เพื่อเป็นการลดพลังงานสูญเสียในสายส่ง จึงจำเป็นต้องมีการแปลงแรงดันให้สูงก่อนที่จะส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิต ซึ่งการแปลงพลังงานไฟฟ้าให้สูงขึ้นจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้า

เมื่อส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าด้วยแรงดันสูงจนมาถึงศูนย์กลางของผู้บริโภค ความต้องการใช้แรงดันของผู้บริโภคจะมีความหลากหลายและไม่สามารถใช้งานแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ จากระบบส่งจ่ายพลังงานได้ จึงต้องมีการปรับลดแรงดันไฟฟ้าลงเพื่อให้เหมาะสมกับความจำเป็นของผู้บริโภค ซึ่งต้องมีความจำเป็นที่ต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าในการปรับลดแรงดันไฟฟ้าอีกเช่นกัน

ทางคณะผู้จัดทำเห็นว่าหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายพลังงานมีความสำคัญมากต่อความมั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลัง จึงได้ตัดสินใจที่จะทำการศึกษาเรื่องของ หม้อแปลงในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งจะเลือกศึกษาเฉพาะเรื่องของ Power Transformer เท่านั้น

หลังจากทางคณะผู้จัดทำได้ศึกษาเรื่องของ Power Transformer แล้ว ได้รวบรวมรายละเอียด แล้วทำเป็นโปรแกรมสำหรับศึกษาเรื่องของ Power Transformer เพื่อที่ผู้ที่สนใจที่จะศึกษาสามารถศึกษาได้ด้วยตนเองได้ ในบทเรียนดังกล่าวผู้เรียนสามารถศึกษาและทำแบบทดสอบที่ได้ออกแบบไว้ และสามารถประเมินผลการศึกษาของตนเองได้ โดยไม่จำเป็นต้องมีอาจารย์ผู้สอนมาประเมินผลการศึกษา

ส่วนรายละเอียดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (POWER TRANSFORMER) โดยละเอียดพร้อมบททดสอบจะมีอยู่ในโปรแกรม ซึ่งมีรายละเอียดเรียงลำดับดังนี้

บทที่1 ว่าด้วยเรื่องทฤษฎีต่างๆ เบื้องต้นของหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นการวางพื้นฐานเพื่อความเข้าใจในตัวหม้อแปลงต่อไป

บทที่ 2 ว่าด้วยเรื่องของชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า ลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดต่างๆ และการนำหม้อแปลงไปใช้งานในสถานที่ต่างๆ ตามคุณสมบัติของหม้อแปลง

บทที่ 3 ว่าด้วยเรื่องโครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อให้ผู้ใช้ที่ยังไม่คุ้นเคยกับอุปกรณ์ได้ทำความเข้าใจกับอุปกรณ์ทุกชิ้น สถานะทั้งภายนอกและภายในของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ว่าด้วยการออกแบบฉนวนและการป้องกันฟ้าผ่า แรงดันเชิงกลภายในหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้น ทันทีที่มีแรงดันเชิงกลเกิดขึ้น หม้อแปลงอาจเสียรูปร่าง ตัวถัง แกน และการพันขดลวดจะต้องออกแบบให้อยู่ในลักษณะที่แข็งแรง และในทิศทางที่ลดแรงดันเชิงกลลง

บทที่ 5 ว่าด้วยการป้องกันหม้อแปลง ลักษณะผิดปกติต่างๆ ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลง หลักการและอุปกรณ์ป้องกันตัวหม้อแปลง

บทที่ 6 ว่าด้วยเรื่องธรรมชาติของความร้อน และวิธีระบายความร้อนในหม้อแปลง ผลกระทบต่อความร้อนที่มีต่อฉนวน ตลอดจนวิธีการวัดความร้อน

บทที่ 7 ว่าด้วยการต่อหม้อแปลงทั้ง 1 เฟส 2 เฟส และ 3 เฟส ตลอดจนปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้น การขนานหม้อแปลง การแปลงเฟสของหม้อแปลง และกลุ่มเวคเตอร์กรุ๊ป

บทที่ 8 ว่าด้วยการบำรุงรักษาหม้อแปลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการป้องกัน

บทที่ 9 ว่าด้วยการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส เพื่อให้ได้ราคาต่ำสุด

1.1 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.1.1 ทำการศึกษาหลักการ โครงสร้าง ส่วนประกอบต่างๆ ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังและทำการศึกษาการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

1.1.2 ประยุกต์หลักการและทฤษฎีของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังมาเป็นสื่อการเรียนการสอนผ่านทางคอมพิวเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาทฤษฎีของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง โดยศึกษาหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้าเบื้องต้น
2. ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง
3. โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง
4. ความแข็งแรงของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ขณะเกิด fault
5. การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง
6. การระบายความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง
7. การต่อและขนานหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง
8. การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรม AuthorWare

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.3 เพื่อนำทฤษฎีของ Power Transformer มาประยุกต์เป็นสื่อการเรียนการสอนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ นักศึกษาและผู้สนใจสามารถใช้สื่อการเรียนการสอนดังกล่าวศึกษาทฤษฎีของ Power Transformer ด้วยตนเอง

1.3ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน

1.3.1 ได้รับความรู้จากการศึกษาหลักการและทฤษฎีของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

1.3.2 ได้รับความรู้และเทคนิคการเขียนโปรแกรมซึ่งสามารนำไปประยุกต์ร่วมกับงานอื่นในอนาคตได้ดี

1.3.3 ผู้ใช้งานโปรแกรมนี้ได้จัดทำขึ้นมีความเข้าใจหลักการและทฤษฎีของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังมากยิ่งขึ้น

1.3.4 การกำหนดงานให้ตรงกับความสามารถของสมาชิกในกลุ่มแต่ละคน

1.3.4 ความสามัคคีในกลุ่ม

1.3.5 การติดต่อประสานงานกับสมาชิกกลุ่มอื่นรวมถึงองค์กรณ์ที่ติดต่อหาข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้าเบื้องต้น

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสสลับที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงระดับศักดาไฟฟ้าระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่ง เพื่อวัตถุประสงค์ในการประหยัดตัวนำรวมทั้งลดความสูญเสียเนื่องจาก copper loss (I^2R) ในระบบส่งไฟฟ้ากำลัง และเพื่อลดศักดาไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งาน เรียกทั้งสองแบบนี้ว่า Step-up กับ Step-down Voltage

ส่วนประกอบสำคัญของหม้อแปลงไฟฟ้าจะประกอบด้วยขดลวดสองขดหรือมากกว่า ซึ่งในแต่ละขดลวดจะมีการเกี่ยวคล้องของสนามแม่เหล็กถึงกันเรียกว่า mutual flux (ϕ) โดยขดลวดขดด้านหนึ่งจะถูกเรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิ (Primary coil) ซึ่งขดลวดขดนี้จะต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับมีผลให้เกิดสนามแม่เหล็ก(ϕ) ซึ่งจะขึ้นกับศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าทางขดลวดปฐมภูมิและจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ในแกนเหล็กที่ไปคล้องขดลวดอื่นๆที่พันร่วมแกนกันเรียกว่า mutual flux โดยขดลวดที่ถูก mutual flux ไปคล้องจะเรียกว่า ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary coil) ซึ่งขดลวดนี้จะเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้า (induced voltage) และค่าศักดาไฟฟ้าที่ได้จากการเหนี่ยวนำโดย mutual flux จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ โดยคุณสมบัติของอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิต่อขดลวดทุติยภูมิจะเรียกว่า voltage ration turn , ratio หรือ transformer ratio (a) ดังนั้นในการเริ่มศึกษาหม้อแปลงไฟฟ้าจำเป็นต้องศึกษาทฤษฎีของหม้อแปลงไฟฟ้าเบื้องต้นดังต่อไปนี้

2.1 ภาวะไม่มีโหลดทางไฟฟ้า

2.2 หม้อแปลงในอุดมคติ

2.3 วงจรเสมือนของหม้อแปลงไฟฟ้า

2.4 ประสิทธิภาพและการเบี่ยงเบนทางไฟฟ้า

2.5 พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า

2.6 วงจรเสมือนโดยประมาณ

2.7 การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า

2.8 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 3 เฟส

2.9 หม้อแปลงไฟฟ้าแบบออโต้

2.10 การขนานหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

2.11 การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า.

หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ชิ้นสำคัญของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าระยะทางไกลๆ เทคนิคในการส่งกำลังไฟฟ้ากระทำโดยใช้หม้อแปลงเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าที่ต้นทาง เพื่อลดกระแสไฟฟ้าในสายส่งให้น้อยลง เป็นผลให้ค่าความสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนของสายส่งไฟฟ้าลดลงไปด้วย ที่ปลายทางของสายส่งกำลังไฟฟ้าจะปรากฏหม้อแปลงไฟฟ้าอีก เพื่อใช้ลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงสู่ระดับปกติที่เหมาะสมกับการใช้งานภายในบ้านและอาคารต่อไป ประเภทของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (power transformer) อาจแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้สองกลุ่มคือ Auto-transformer และ Isolating transformer

ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า.

3.1 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแห้ง (dry type)

หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแห้งมีประวัติการเริ่มใช้งานยาวนาน เรียกได้ว่าเป็นรุ่นแรกของหม้อแปลงไฟฟ้า ปัจจุบันงานด้านไฟฟ้ากำลังได้เลิกใช้แล้ว คงมีใช้แต่ในวงจรควบคุมเล็ก ๆ และงานอิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น

โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าจะค่อนข้างใหญ่โต ฉนวนไฟฟ้าจะเป็นอากาศ และวัสดุประกอบบางอย่างเช่น กระดาษ, วาร์นิช เป็นต้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจะระบายสู่อากาศโดยตรง มีความทนทานต่อใช้งานดี แต่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้สูง ๆ

3.2 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดหล่อแห้ง (castrasin typ)

เนื่องจากหม้อแปลงชนิดแห้งไม่สามารถทนแรงดันไฟฟ้าได้สูง หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดหล่อแห้งจึงเป็นพัฒนาการอีกระดับหนึ่งของหม้อแปลงแบบแห้งที่เกิดขึ้น เมื่อมีการใช้ทางเทคนิคของการหล่อแห้งแบบเสริมใยแก้ว (rienforce fiber glass) หม้อแปลงชนิดนี้เหมาะกับการใช้งานภายในอาคาร ทั้งแบบติดตั้งเปลือกภายในห้อง และแบบติดตั้งภายในตู้หม้อแปลง หม้อแปลงไม่ไหม้ไฟ และไม่ก่อให้เกิดก๊าซพิษ (toxic gas)

3.3 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดก๊าซ SF_6 (SF_6 type)

มีการพัฒนานำก๊าซ SF_6 มาเป็นฉนวนไฟฟ้าครั้งแรก โดยการเริ่มใช้ในอุปกรณ์ Extra high voltage switchgear ภายหลังเมื่อราคาและเทคนิคการใช้ SF_6 เริ่มถูกลง จึงเริ่มมาใช้กับอุปกรณ์ Medium voltage switchgear และใช้ในหม้อแปลงไฟฟ้า ความนิยมในการใช้หม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SF_6 นี้ ยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากราคายังสูง ข้อดีของหม้อแปลงชนิดนี้คือ มีขนาดเล็ก รับแรงที่เกิดจากลัดวงจร (short circuit) ได้ดี ลดปัญหาในการซ่อมบำรุง

3.4 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแช่ในฉนวนทนไฟไหม้ (Synthetic-liquid immersed type)

เป็นพัฒนาการที่เกิดขึ้น เพื่อแก้ไขปัญหาของหม้อแปลงชนิดแช่ในน้ำมัน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงและมีการไหม้ไฟ กรณีที่เกิดการลัดวงจรรุนแรง และไม่อนุญาตให้มีการติดตั้งในตัวอาคาร ได้นำฉนวนไฟฟ้า askarel มาแทนน้ำมัน โดย askarel มีคุณสมบัติสามารถเป็นฉนวนไฟฟ้า เป็นสารรับและถ่ายเทความร้อนได้ดี ไม่มีคุณสมบัติของการเป็นเชื้อเพลิงแต่ในภายหลังได้พบว่า askarel จะสร้างปัญหาเกี่ยวกับมลภาวะ จึงได้คิด silicon liquid ขึ้นใช้แทน หม้อแปลงชนิดนี้ไม่ได้รับความนิยม เพราะจะมีความยุ่งยากมากกว่าการใช้หม้อแปลงชนิดหล่อแห้ง

3.5 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแช่ในน้ำมัน (Oil - immersed type)

หม้อแปลงชนิดนี้ใช้ mineral oil เป็นฉนวนไฟฟ้า และถ่ายเทความร้อนจากตัวลวดทองแดง,แกนเหล็กออกสู่ภายนอก เนื่องจากหม้อแปลงชนิดนี้มีราคาถูก จึงนิยมใช้แพร่หลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบจำหน่าย ปัจจุบันไม่อนุญาตใช้ติดตั้งหม้อแปลงน้ำมันภายในอาคาร ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันเป็นเชื้อเพลิงและมีโอกาสลุกไหม้ เมื่อเกิดการลัดวงจรที่รุนแรงขึ้น หม้อแปลงชนิดนี้ โดยทั่วไปมีสองแบบคือ แบบ ชนิดถังน้ำมันปิดสนิท (seal-tank) และอีกแบบหนึ่งคือชนิดเปิดที่ประกอบด้วยถังน้ำมันสำรอง (conservator tank) เหนือตัวหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

(CONSTRUCTION OF POWER TRANSFORMER)

โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่จะกล่าวต่อไปนี้ จะแสดงถึงโครงสร้างของหม้อแปลงชนิดน้ำมันแบบ CONSERVATOR ซึ่งจะมีส่วนประกอบต่างๆ มากกว่าชนิดอื่นๆ แต่โครงสร้างหลักๆ จะคล้ายๆ กัน แบ่งออกได้ 4 ส่วนหลักคือ

1. ส่วนประกอบภายนอก ได้แก่ ถังหม้อ (TRANSFORMER TANK) น้ำมัน(OIL) ถังรองรับน้ำมัน(CONSERVATOR) ห้องหายใจ(BREATHER) และ เครื่องทำให้แห้ง (DRYER) เครื่องวัดน้ำมัน(OIL GAUGE) ลิ้นระบายความดัน(PRESSURE RELIEF VENT) แผงระบายความร้อน (RADIATOR) เทอร์โมมิเตอร์(THERMOMETER) ปลอกนำสาย (BUSHING) บุชโฮลซ์ รีเลย์ (BUCHHOLZ RELAY) เป็นต้น
2. ส่วนต่อภายในและภายนอก ได้แก่ ปลายขั้วสายไฟฟ้า(TERMENALS) แทป(TAPS) สวิตช์แทป(TAPPING SWITCH) ฉนวนปลายขั้ว(TERMENALS INSULATOR) และ สายลีด(LEAD) เป็นต้น
3. ส่วนที่เป็นวงจรแม่เหล็กได้แก่ แกน(CORE) แขนหม้อแปลง แอกหม้อแปลง(YOKE) และ เครื่องยึด เป็นต้น
4. ส่วนที่เป็นวงจรไฟฟ้า ได้แก่ ขดลวด(WINDING) ปลอก(FORMERS) ฉนวน (INSULATION) และเครื่องวัด(BRACING DEVICE) เป็นต้น

โครงสร้างทั้ง 4 ส่วน หม้อแปลงทุกตัวไม่จำเป็นต้องมีครบทุกชิ้น ส่วนรายละเอียดของส่วนประกอบที่สำคัญจะได้อธิบายพอสังเขปดังต่อไปนี้

4.1 ตัวอังหม้อแปลง (TANK)

อุปกรณ์ชนิดนี้จำเป็นมากสำหรับหม้อแปลงชนิดที่ใช้น้ำมันเป็นฉนวนและระบายความร้อน ขนาดของถังหม้อแปลงนั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้ แต่การออกแบบต้องคำนึงถึงความคงทนต่างๆ ด้วยได้แก่ คงทนต่อแรงกดดันของของเหลวตามมาตรฐานคงทนต่อสูญญากาศได้ในระหว่างที่มีการเปลี่ยนน้ำมัน นอกจากนี้ยังคงทนต่อแรงดันที่เกิดขึ้น วัสดุที่ใช้ในการผลิตจะเป็นเหล็กแผ่นที่คุณภาพสูง แข็งแรง ทนความร้อนได้ และที่สำคัญต้องเป็นเหล็กที่ไม่เป็นสื่อแม่เหล็ก (NON - MAGNETIC STEEL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 น้ำมัน (OIL)

น้ำมันที่ใช้ในหม้อแปลง มีหน้าที่คือ เป็นฉนวนและระบายความร้อนจากขดลวดและแกนเหล็ก น้ำมันที่ใช้จะต้องไม่มีความชื้น (MOISTURE) ปะปนอยู่ เพราะจะทำความเป็นฉนวนของน้ำมันเสื่อมไป ซึ่งน้ำมันที่ใช้ จะเป็นน้ำมันชนิด Mineral Oil การกำหนดคุณภาพของน้ำมันทั้งทางฟิสิกส์ เคมี และไฟฟ้า จะเป็นไปตามมาตราฐาน BS 148 : 1972 และ IEC 296 ที่นานาประเทศยอมรับ

4.3 เครื่องวัดระดับน้ำมัน (OIL GAUGE)

โดยปกติแล้ว เครื่องวัดระดับน้ำมันจะติดอยู่ข้างถังรองรับน้ำมัน (CONSERVATOR) จะมีอยู่ 2 ชนิดคือ ชนิดแรกเป็นชนิดใช้หลอดแก้ว (REFLECTOR) ส่วนอีกชนิดมีหน้าปัดเข็มชี้ (DIAL-TYPE OIL GAUGE) การบอกระดับน้ำมันมีบอกทั้งเป็นตัวเลขและตัวอักษร นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มจุดสัมผัสที่เข็ม เพื่อติดตั้งเครื่องเตือน (ALARM) โดยให้มีเสียงดังไปยังห้องเครื่องควบคุม เมื่อระดับน้ำมันถึงระดับต่ำสุด

4.4 อังรองรับน้ำมัน (CONSERVATOR)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รองรับการขยายตัวของน้ำมัน คือในขณะที่หม้อแปลงทำงานรับภาระอุณหภูมิของน้ำมันก็จะสูงขึ้น น้ำมันจะเกิดการขยายตัวปริมาตรของถังหม้อแปลงจะไม่สามารถรองรับปริมาตรน้ำมันที่ขยายตัวได้ ดังนั้นจึงต้องมีถังรองรับน้ำมัน(CONSERVATOR) รองรับปริมาตรน้ำมันที่ขยายตัวโดยผ่านท่อและลิ้นบังคับ (VALVE)

4.5 ห้องหายใจกรองความชื้น (DEHYDRATING BREATHER)

ความชื้น (MOISTURE) มีความสำคัญต่อความแข็งแรงของน้ำมันที่มีต่อแรงดันไฟฟ้ามาก อุปกรณ์ตัวนี้มีหน้าที่ปรับความดันภายในกับภายนอกให้เท่ากัน และป้องกันความชื้นของอากาศและฝุ่นเข้าไปในหม้อแปลง ฝุ่นจะถูกกรองด้วยน้ำมันที่อยู่ก้นถ้วยห้องหายใจ (BREATHER) นี้ ส่วนความชื้นจะถูกดูดโดยสารเคมี

4.6 ลิ้นระบายความดัน (PRESSURE RELIFE VENT)

เมื่อเกิดเหตุผิดปกติขึ้นในหม้อแปลง เช่นเกิดการลัดวงจรมีประกายไฟขึ้น ทำให้เกิดแรงดันของก๊าซอย่างสูง ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ระบายความดันของก๊าซที่เกิดขึ้น โดยจะมีท่อต่อออกจากตัวถังหม้อแปลงและลิ้นแผ่นระบายความดันทำหน้าที่ควบคุมการปิดเปิด

4.7 เทอร์โมมิเตอร์ (THERMOMETER)

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับบอกอุณหภูมิของหม้อแปลง เช่น อุณหภูมิของน้ำมันของขดลวด ปัจจุบันนิยมใช้เป็นแบบหน้าปัดเข็มชี้ โดยโครงสร้างโดยทั่วไปของมันจะประกอบด้วย ตัวรับความร้อน (THERMO - SENSING ELEMENT) ท่อ (CAPILLARY TUBE) และตัวหน้าปัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 อุปกรณ์ป้องกัน (PROTECTIVE DEVICE)

หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังทุกตัว ต้องมีระบบป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นภายในหม้อแปลง อุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันหม้อแปลงมีอยู่หลายแบบอาทิเช่น ดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ (DIFFERENTIAL RELAY) บุชโฮลท์รีเลย์(BUCHHOLTZ RELAY) และรีเลย์ความร้อน (THERMAL RELAY) เป็นต้น

4.9 แผงระบายความร้อน (RADIATOR)

มีหน้าที่ระบายความร้อนของหม้อแปลง โดยรับความร้อนจากน้ำมันแล้วส่งต่อให้อากาศรอบๆ โดยส่วนมากจะมีลักษณะเป็นครีบแผ่นๆ ซ้อนๆกัน จำนวนครีบก็ขึ้นอยู่กับพิกัดของหม้อแปลง ปกติการติดตั้งจะติดบนตัวถังหม้อแปลงเลย แต่ถ้าสถานที่ติดไม่อำนวยอาจจะแยกต่างหากจากตัวถังหม้อแปลง

4.10 พัดลม (FAN)

พัดลมที่ติดก็เพื่อช่วยในการระบายความร้อนของหม้อแปลง ทำให้หม้อแปลงเพิ่มพิกัดการรับโหลดได้อีก พัดลมที่นำมาติดตั้งควรหาชนิดที่กำลังดีๆ ถ่ายเทอากาศได้มากต่อกำลังสูญเสียน้อย และไม่มีเสียงดังรบกวน การควบคุมพัดลมนั้นมีอยู่ 2 วิธี คือ วิธีเปิดปิดโดยคน กับ วิธีเปิดปิดแบบอัตโนมัติหม้อแปลงที่มีพิกัดกำลังตั้งแต่ขนาดกลางลงมาจะไม่นิยมใช้วิธีแบบอัตโนมัติ

4.11 ปั๊มน้ำมัน (OIL CIRCULATING PUMP)

ปั๊มน้ำมัน (OIL CIRCULATING PUMP) ทำหน้าที่ดันน้ำมันในหม้อแปลงให้หมุนเวียน แทนที่จะอาศัยหลักการลอยตัวของของเหลวร้อน ส่งผลให้ระบายความร้อนได้ดีขึ้น

4.12 ปลอกนำสาย (BUSHING)

ปลอกนำสาย หรือ Bushing เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันสายลีด (LEAD) ที่ต่อเชื่อมภายในกับภายนอกตัวถังหม้อแปลงแบ่งเป็น 4 ชนิดด้วยกัน

4.12.1 ปลอกนำสายชนิดกระเบื้องดิน (SOLID POCELAIN BUSHING)

4.12.2 ขั้วสายเคเบิ้ล (CABLE TERMINTOR หรือ POTHEAD)

4.12.3 ปลอกนำสายชนิดน้ำมัน (OIL - FIELD BUSHING)

4.12.4 ปลอกนำสายชนิดคอนเดนเซอร์ (CONDENCER BUSHING)

4.13 สายลีดและปลายขั้ว (LEAD WIRE AND TERMINALS)

ถ้าเป็นหม้อแปลงชนิดแห้ง จะเป็นท่อหรือแท่งทองแดงหุ้มด้วยฉนวนบางส่วนหรือทั้งหมดแล้วต่อขึ้นสู่ BUS BAR โดยตรง แต่ถ้าเป็นหม้อแปลงชนิดน้ำมันจะต่อเข้ากับปลอกนำสายที่อยู่บนตัวถังหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.14 ตัวเปลี่ยนแทป (TAP CHANGER)

ตัวเปลี่ยนแทป (TAP CHANGER) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอัตราส่วนจำนวนรอบขดลวดของหม้อแปลง เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าคงที่หรืออยู่ภายในมาตราฐาน การเปลี่ยนแทปมีอยู่ 2 ลักษณะด้วยกัน คือ ขณะไร้ภาระ (OFF LOAD TAP CHANGING) ขณะรับภาระ (ON LOAD TAP CHANGING)

4.15 แกนเหล็ก (CORE)

แกนเหล็ก (STEEL CORE) เป็นโครงสร้างหลักของหม้อแปลงไฟฟ้า เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อเหนี่ยวนำวงจรไฟฟ้าระหว่างขดลวดปฐมภูมิกับทุติยภูมิ และยังเป็นที่ยึดของขดลวดอีกด้วย คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำแกนต้องมีความซึมซับและความต้านทานสูง กำลังสูญเสียที่เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กตกค้าง (HYSTERISIS)ต่ำ

4.16 ขดลวด (WINDING)

ขดลวดหม้อแปลง(WINDING) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในวงจรไฟฟ้าประกอบด้วยทองแดงหรืออะลูมิเนียม ทั่วๆ ไปตัวนำที่นำมาพันนี้จะหุ้มด้วยฉนวน หน้าตัดของขดลวดตัวนำมีทั้งแบบกลมและแบบเหลี่ยม (ปัจจุบันมีแบบแผ่น COPPER FOIL ใช้ในขดลวดแรงต่ำ) สายหน้าตัดกลมเหมาะที่จะใช้กับหม้อแปลงขนาดเล็ก ส่วนสายหน้าตัดสี่เหลี่ยมเหมาะที่จะใช้กับหม้อแปลงที่ต้องรับภาระสูงๆ การแบ่งชนิดของขดลวดนั้นขึ้นอยู่กับการวางขดลวด ดังนี้

4.16.1 ขดลวดชั้น (LAYER WINDING)

4.16.2 ขดลวดจาน หรือ แพนเค้ก (DISC OR PANCAKE WINDING)

4.17 ฉนวน (INSULATION)

ฉนวน (INSULATION)ที่จะกล่าวถึงแบ่งออกเป็นฉนวนของเส้นลวดตัวนำเองและ ฉนวนเพื่อระบายความร้อน ฉนวนของเส้นลวดตัวนำขึ้นอยู่กับขนาดตัวนำและความต้องการที่จะนำไปใช้งาน ฉนวนเพื่อระบายความร้อน รูปแบบการใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของการพันขดลวดซึ่งมีเทคนิคแตกต่างกันไป ฉนวนที่ใช้ก็มีจำพวกกระดาษอัด(PRESSBOARD) กระดาษเคเบิ้ล วงแหวนเบกาไลท์ วัสดุที่ใช้ทำท่อระบายความร้อน, สเปเซอร์ (SPACER) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ความแข็งแรงของหม้อแปลงขณะลัดวงจร

(MECHANICAL STRENGTH UNDER SHORT CIRCUIT)

5.1 ความแข็งแรงของฉนวนและการป้องกันฟ้าผ่าของหม้อแปลง

โดยปกติแล้ว อายุการใช้งานของหม้อแปลงแต่ละตัวจะนานกว่า 20 ปี การออกแบบฉนวนของขดลวดและของทุกส่วนที่มีกระแสไหลผ่าน ต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับแรงดันไฟฟ้าทั้งชนิดต่อเนื่องที่มีความถี่ 50 เฮิรตซ์ และชนิดของแรงดันเกินชั่วขณะ (TRANSIENT OVERVOLTAGE) เมื่อมีปรากฏการณ์ที่ผิดปกติเกิดขึ้น

คำว่าแรงดันเกิน (OVERVOLTAGE) นั้น หมายถึงแรงกระตุ้น (IMPULSE) ที่เกิดขึ้นจากฟ้าผ่า (LIGHTNING) ตามธรรมชาติหรือการสับเปลี่ยนสวิตช์ ค่าของแรงดันที่เกิดขึ้นสูงกว่าแรงดันต่อเนื่องมาก และเป็นอันตรายต่อฉนวน

5.2 คุณสมบัติของฉนวนหม้อแปลงน้ำมัน

ฉนวนในหม้อแปลงน้ำมัน หมายถึงน้ำมันและฉนวนที่แช่อยู่ในน้ำมันซึ่งแยกได้เป็น

5.2.1 สายต่อ (LEAD INSULATION) โดยทั่วไปสายต่อจะหุ้มด้วยกระดาษฉนวน

5.2.2 ฉนวนระหว่างขดลวด แบ่งออกเป็นฉนวนชนิดกั้น(BARRIER TYPE)กับฉนวนชนิดแห้ง(SOLID TYPE)

5.2.3 ฉนวนใต้แอก(INSULATION UNDER YOKE) เป็นกระดาษอัดมีลักษณะเป็นรูปวงแหวน

5.3 ลักษณะของคลื่นแรงดันที่มีผลต่อฉนวน

ลักษณะของคลื่นที่นำมาพิจารณา มีอยู่ 2 ชนิด คือ คลื่นชนิดเต็ม (FULL WAVE) และคลื่นชนิดตัด(CHOPPED WAVE)

5.4 ความสัมพันธ์ของความล้มเหลวของฉนวนกับแรงดันไฟฟ้า

กลไกลการทำให้ฉนวนล้มเหลวมีอยู่ 2 วิธี

ก. STREAM FORMATION ในของเหลว

ข. ELECTRON AVALANCE ในของแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ความแข็งแรงของฉนวน

การเลือกใช้ช่องว่างของฉนวน (INSULATION GAP) ให้ถูกต้อง และให้ได้คุณภาพของฉนวนให้ดีพอนั้น จะเพิ่มอายุการใช้งานของหม้อแปลงได้ แต่ถ้าเลือกใช้ฉนวนที่มีความแข็งแรงมากเกินไป แม้ว่าจะทนทานกว่าก็จริง แต่ราคาของหม้อแปลงก็จะสูงเกินความจำเป็น และขนาดจะค่อนข้างใหญ่ การออกแบบฉนวนในหม้อแปลงควรพิจารณาถึง

ก. คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของฉนวน

ข. ฉนวนต้องมีความแข็งแรงทนต่อแรงดันกระตุ้นและแรงดันสลับที่มีความถี่ต่ำได้

5.6 วิธีการทดสอบหาความแข็งแรงของฉนวน

การทดสอบหาความแข็งแรงของฉนวนชนิดแรงดันสลับนั้นจำแนกออกได้เป็น 2 วิธีคือ

ก. ทำการทดสอบโดยให้แรงดันไฟฟ้าแก่ฉนวน (APPLY POTENTIAL TEST) เพื่อหาความแข็งแรงของฉนวนระหว่างขดลวดหนึ่งกับขดลวดอื่นหรือกับดิน

ข. ทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (INDUCED POTENTIAL TEST) เพื่อหาความแข็งแรงของฉนวนระหว่างขดลวดในแต่ละเฟส ระหว่างรอบระหว่างขดลวด และระหว่างแทป เป็นต้น

5.7 การป้องกันคลื่นแรงดันเกิน

การป้องกันแรงดันเกินที่มีต่อหม้อแปลงนั้น กระทำได้ทั้งภายในและภายนอก

การป้องกันภายนอกนั้นทำได้โดย

ก. ติดตั้งอุปกรณ์กับดักฟ้าผ่าเพื่อจำกัดแรงดันสูงสุดบนสายส่งที่กระเพื่อมมายังหม้อแปลง

ข. วางสายล่อฟ้าที่ต่อกับดินไว้ข้างบนสุดของเสาสายส่ง

การป้องกันภายในกระทำได้โดยอาศัยหลักการ

ก. เพิ่มความแข็งแรงให้แก่ฉนวนของขดลวดที่ต่อจากภายนอก

ข. แบ่งแรงดันเริ่มต้น ให้อยู่ในลักษณะที่สม่ำเสมอ ซึ่งมีเทคนิคต่างๆได้หลายวิธี

5.8 หลักการเบื้องต้นของการเกิดแรงขึ้นบนขดลวดของหม้อแปลง

เมื่อมีเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่านตัวนำ (CONDUCTOR) ที่มีกระแสไหลอยู่จะเกิดแรงขึ้นบนตัวนำ ตามหลักการมือซ้ายของเฟลมมิง จากหลักการดังกล่าวจะเกิดขึ้นบนขดลวดของหม้อแปลง เส้นลวดที่ใช้พันขดลวดของหม้อแปลงแต่ละชุด ซึ่งมีกระแสไหลอยู่ในทิศทางเดียวกันและมีแนว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โน้มที่จะเคลื่อนตัวเข้าชิดกัน ในขณะลัดวงจรจะมีแรงและความดันเกิดขึ้นมากตามปริมาณกระแสที่ไหลผ่าน

5.9 กระแสลัดวงจรและสมรรถนะในการลัดวงจร

กระแสลัดวงจรในวงจรข่ายงานกระแสสลับ มีค่าขึ้นอยู่กับตัวแปร 2 ตัวคือ

ก. อิมพีแดนซ์ของวงจรข่ายงาน R และ X

ข. มุมเฟสของแรงดันขณะเกิดการลัดวงจร

5.10 ความแข็งแรงของขดลวด

เนื่องจากมีแรงเกิดขึ้นตามแนวรัศมี และตามแนวแกนของหม้อแปลง ถ้าเป็นหม้อแปลงของแกน (CORE TYPE TRANSFORMER) ขดลวดอันนอกมีแนวโน้มที่จะพองตัวออกแต่ขดลวดอันในมีแนวโน้มที่จะยุบแฟบลง และถ้าเป็นหม้อแปลงแบบเปลือกรอบ (SHELL TYPE TRANSFORMER) ขดลวดอันข้างสองอันจะถูกผลักให้เคลื่อนห่างออก แต่ขดลวดอันในมีแนวโน้มที่จะยุบตัวแบนลง ดังนั้นจึงมีความเค้นเกิดขึ้นในขดลวด ซึ่งเราอาจพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

5.10.1 ความแข็งแรงเชิงกลของขดลวดต้านแรงตามรัศมี-ขดลวดรูปสี่เหลี่ยม

5.10.2 ความแข็งแรงของเส้นลวดทองแดง

5.10.3 เส้นลวดขดนอกช่วยสนับสนุนความแข็งแรง

5.10.4 แรงบีบกดบนเส้นลวดภายในขดลวด

5.10.5 แรงตามแนวแกนและการเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน

5.10.6 วิธีการออกแบบในปฏิบัติสำหรับแรงตามแนวแกนที่คำนวณได้

5.10.7 ความแข็งแรงตามแนวแกนของขดลวดแบบขานพันต่อเนื่องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า
Transformer Protection

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นตัวเชื่อมที่สำคัญที่สุดตัวหนึ่งของระบบไฟฟ้า ทำให้การป้องกันอย่างสมบูรณ์ทำได้ยาก การจะเลือกระบบป้องกันสำหรับหม้อแปลง อาจจะต้องพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นเกณฑ์ด้วย เนื่องจากหม้อแปลงอาจจะมีขนาดแตกต่างกันมากในระบบส่งและจ่ายพลังไฟฟ้า

ก่อนที่จะพิจารณาถึงระบบการป้องกันจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงการทำงานผิดปกติ ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในระบบของหม้อแปลง

6.1 การลัดวงจรในหม้อแปลง (Transformer Faults)

ขนาดของกระแสลัดวงจรในหม้อแปลง นอกจากจะถูกจำกัดโดย แหล่งจ่าย (Source) และอิมพิแดนซ์ที่ต่อลงดินจากจุดกลาง (neutral earthing impedance) แล้ว ยังจะขึ้นอยู่กับลิคเกจรีแอคแทนซ์ (leakage reactance) ของหม้อแปลงเอง และแรงดันที่จุดลัดวงจร (fault voltage) ซึ่งต่างจากแรงดันของระบบ แล้วแต่ว่าการลัดวงจรเกิดขึ้นในตำแหน่งใดของขดลวดตัวนำ

ลักษณะดังกล่าวนี้จะแตกต่างกันไป แล้วแต่การต่อขดลวดตัวนำของหม้อแปลงเองด้วย ซึ่งจะได้พิจารณากันเฉพาะในแบบที่สำคัญ ๆ เท่านั้น

6.1.1 หม้อแปลงต่อเป็น Y และต่อจุดกลางลงดินผ่านอิมพิแดนซ์

การลัดวงจรลงดินที่เกิดขึ้นที่ขดลวดตัวนำของหม้อแปลงที่ต่อแบบนี้ จะทำให้เกิดกระแสลัดวงจรไหล ค่าของกระแสที่ไหลจะขึ้นอยู่กับค่าของอิมพิแดนซ์ที่ต่อลงดินนั้น และจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจรจากจุดกลาง เพราะแรงดันที่การลัดวงจรจะขึ้นอยู่โดยตรงกับระยะห่างนี้

6.1.2 หม้อแปลงต่อเป็น Y และต่อจุดกลางลงดินโดยตรง

ในกรณีนี้กระแสลัดวงจรจะถูกจำกัดโดยลิคเกจรีแอคแทนซ์ของขดลวดตัวนำโดยตรง ซึ่งค่ารีแอคแทนซ์นี้จะแปรเปลี่ยนไปตามตำแหน่งการลัดวงจรในลักษณะที่ค่อนข้างจะยุ่งยาก ค่าของแรงดันที่จุดลัดวงจรซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของการลัดวงจรก็จะมีความสำคัญเหมือนกัน (เช่นในกรณีข้อ 1)แต่ค่ารีแอคแทนซ์ในกรณีนี้จะลดลงอย่างรวดเร็วมาก ถ้าการลัดวงจรเกิดขึ้นใกล้จุดกลาง ทำให้กระแสลัดวงจรมีค่าสูงสุดในตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจรใกล้กับจุดกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 หม้อแปลงต่อเป็น Δ

เมื่อต่อขดลวดตัวนำของหม้อแปลงเป็นแบบΔจะไม่มีจุดใดเลยที่มีค่าแรงดันจากดิน (Voltage toearth) ต่ำกว่า 50 % ของแรงดันของเฟส ดังนั้น ความเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสลัดวงจรจึงจะมีไม่มากเหมือนในกรณีที่ต่อเป็น Y ค่าจริง ๆ ของกระแสลัดวงจรจะยังคงขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อลงดินของระบบ

6.1.4 การลัดวงจรระหว่างเฟส

การลัดวงจรระหว่างเฟสมักจะไม่ค่อยเกิดขึ้นในหม้อแปลง แต่ถ้าเกิดมีขึ้นจะทำให้เกิดกระแสลัดวงจรค่าสูงเปรียบเทียบได้กับกระแสลัดวงจรแบบ 1 เฟสลงดิน ในข้อ 2

6.1.5 การลัดวงจรระหว่างวงรอบของขดลวด (Interturn Faults)

ความเสียหาย (failures) ของหม้อแปลงจะเกิดขึ้นจากการลัดวงจรระหว่างวงขดลวดเสียเป็นส่วนใหญ่ (ประมาณ 70 – 80 %) ถึงแม้บางครั้งจะบอกสาเหตุไม่ได้แน่นอนว่าเป็นการลัดวงจรระหว่างรอบขดลวด เนื่องจากการลัดวงจรได้ลุกลามไปมาก ถ้าไม่มีการล่วงรู้ได้ทัน

6.1.6 การลัดวงจรที่แกนเหล็กของหม้อแปลง (Core Fault)

ถ้าฉนวนระหว่างแผ่นเหล็กที่ใช้ทำแกน เกิดชำรุดจะทำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy-current) ค่าสูงพอที่จะทำให้ความร้อนขึ้นสูงได้ ทำความเสียหายแก่อุปกรณ์ในตัวหม้อแปลงได้

6.1.7 ความผิดปกติที่ถังหม้อแปลง (Tank Fault)

การรั่วของน้ำมันออกจากถังของหม้อแปลง จะทำให้เกิดสภาพที่อันตรายต่อหม้อแปลงเองมาก นอกจากจะทำให้การฉนวนของขดลวดตัวนำลดลงแล้วยังอาจทำให้เกิดความร้อนสูงเกินขนาด (Overheating) เนื่องจากการระบายความร้อนจะเลวลง

6.1.8 สาเหตุจากภายนอก

สาเหตุที่จะทำให้เกิดความเค้นอย่างรุนแรง ซึ่งเกิดจากสาเหตุภายนอก มีดังนี้

(ก) การรับภาระเกินขนาด

(ข) การลัดวงจรในระบบ

(ค) แรงดันสูงเกินไป

(ง) ความถี่ของระบบลดต่ำลง

6.1.9 กระแสหล่อเลี้ยงสนามแม่เหล็กในระยะเริ่มเข้า (Magnetizing Inrush)

เมื่อมีการหล่อเลี้ยงหม้อแปลงจะเกิดกระแสที่เริ่มไหลเข้าไปหล่อเลี้ยงสนามแม่เหล็กในระยะเริ่มแรก ซึ่งไม่ใช่การลัดวงจร แต่ถ้ามีรีเลย์ป้องกันแบบกระแสผลต่างจะเห็นเหมือนกับเป็นการลัดวงจรภายในหม้อแปลง ซึ่งในกรณีเช่นนี้ระบบรีเลย์ไม่ควรจะทำงาน ค่าสูงสุดของกระแสเริ่มเข้าในบางกรณีอาจจะมีค่าถึง 8 หรือ 10 เท่าของกระแสโหลดเต็มที่ สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 หลักการป้องกันหม้อแปลง

หลักการในการป้องกันหม้อแปลง อาจจะแยกเป็นหัวข้อใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

(1) ความร้อนสูงเกินไป (overheating)

(2) ฟลักซ์สูงเกินไป (overfluxing)

(3) การวัดกระแสลัดวงจรจากถังลงดิน (tank-earth current detection)

(4) การวัดปริมาณแกส (gas detection)

(5) กระแสเกินขนาด (overcurrent)

(6) การลัดวงจรลงดิน (earth fault)

(7) การป้องกันแบบกระแสผลต่าง (differential)

ใน 3 ข้อแรก อาจจะถือว่า หม้อแปลงเกิดทำงานผิดปกติขึ้นไม่มากนัก แต่ถ้าปล่อยให้ทำงานต่อไป อาจนำความเสียหายมาให้ได้มาก ใน 4 ข้อหลัง จะใช้ป้องกันการทำงานผิดปกติอย่างรุนแรงของหม้อแปลง เช่น การลัดวงจรในตัวหม้อแปลงในแบบใดแบบหนึ่ง ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะต้องตัดหม้อแปลงออกจากระบบ แล้วทำการตรวจสอบหม้อแปลงอย่างละเอียดถี่ถ้วนก่อนจะนำเข้าทำงานต่อไปได้

6.2.1 การป้องกันความร้อนสูงเกินขนาด (Overheating protection)

การป้องกันการจ่ายโหลดเกินขนาดจึงจะใช้การวัดอุณหภูมิของขดลวดตัวนำเป็นเกณฑ์ ซึ่งโดยมากจะใช้วิธีซึ่งเรียกว่าเทคนิคการจำลองแบบเชิงความร้อน (Thermal image technique หรือ thermal replica)

หน่วยวัดอุณหภูมิอาจมีหลายแบบ ในสมัยก่อนนิยมใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบมีหน้าปัด (Dial thermometer) แต่ในสมัยใหม่นี้จะใช้แบบโซลิดสเตท เช่น ซิลิสเตอร์ (Silistor หรือ heat sensitive silicon resistor) ซึ่งจะฝังรวมอยู่กับขดให้ความร้อนอยู่ในมวลความร้อน

6.2.2 การป้องกันฟลักซ์สูงเกินขนาด (Overfluxing protection)

มักจะทำโดยวัดค่าแรงดันของระบบโดยวัดผ่านหม้อแปลงแรงดัน แล้วนำมาต่อคร่อมกับความต้านทาน จะทำให้มีกระแส ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับแรงดันนั้น เมื่อให้กระแสนี้ผ่านตัวเก็บประจุจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตก ซึ่งมีค่าขึ้นอยู่กับอัตราส่วน E/f ซึ่งก็หมายถึงมีค่าขึ้นอยู่กับฟลักซ์ในหม้อแปลง ดังนั้นในระบบป้องกันฟลักซ์มากเกินไปจึงจะต้องวัดอัตราส่วน E / F

6.2.3 การป้องกันการลัดวงจรจากถังลงดิน (Tank-earth protection)

การป้องกันแบบนี้เรียกว่า การป้องกันแบบโฮวาด (Howard protection) ถ้าถังของหม้อแปลงมีการฉนวนจากดิน โดยปกติค่าความต้านทานของฉนวน ประมาณ 10 Ω ก็จะเพียงพอ จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถป้องกันการลัดวงจรลงดินได้ โดยต่อรีเลย์ (ซึ่งอาจเป็นแบบทำงานทันทีแบบง่าย ๆ) เข้าทางขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส

6.2.4 การป้องกันโดยการวัดแก๊สที่เกิดขึ้นในหม้อแปลง (Gas Detection Protection)

ในกรณีที่หม้อแปลงเป็นแบบแช่อยู่ในน้ำมัน การลัดวงจรทุกชนิดที่เกิดใต้ระดับน้ำมันจะทำให้เกิดความร้อนสูงเฉพาะแห่ง (Local heating) และจะทำให้น้ำมันแยกตัวออกเป็นก๊าซ ดังนั้นจึงใช้การตรวจจับแก๊สและแรงดันโดยใช้ Buchholz relay กับ Sudden pressure relay เป็นอุปกรณ์ตรวจจับ

6.2.5 การป้องกันกระแสเกินขนาด (Overcurrent protection)

การลัดวงจรที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะให้กระแสสูง ดังนั้น การป้องกันจึงอาจใช้ค่าของกระแสเกินขนาดนี้เป็นเกณฑ์ได้การป้องกันกระแสเกินนี้อาจจะใช้ฟิวส์ (Fuses) หรือรีเลย์กระแสเกินได้ หม้อแปลงจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กมักจะป้องกันโดยใช้ฟิวส์อย่างเดียว สำหรับหม้อแปลงขนาดใหญ่ขึ้น เช่น 100 kVA หรือใหญ่กว่าอาจควบคุมการตัดวงจรโดยใช้ไกตัดวงจร (CB) ซึ่งสั่งโดยรีเรย์กระแสเกิน

6.2.6 การป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบจำกัดบริเวณ(Restricted Earth Fault Protection)

การลัดวงจรลงดินในหม้อแปลงมีโอกาสเกิดขึ้นได้มาก ถ้าหม้อแปลงตั้งอยู่กับพื้นโดยตรงซึ่งปกติจะต่อตัวถังลงดินด้วย ในหม้อแปลงที่เป็น Δ หรือ Y ที่ไม่ต่อลงดินจะใช้รีเลย์กระแสเกินแบบวัดกระแสซีเควนซ์ศูนย์ป้องกันการเกิดการลัดวงจรลงดินในขดลวดได้ดีมาก สำหรับหม้อแปลงแบบ Y ที่ต่อลงดินจะใช้การป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบใช้กระแสผลต่าง หรือเรียกอีกอย่างว่า การป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบจำกัดบริเวณ

6.2.7 การป้องกันแบบกระแสต่าง (Differential Protection)

เนื่องจากหม้อแปลงมีประสิทธิภาพสูง มีความสูญเสียในแกนเหล็กและในทองแดงต่ำ จำนวนแอมแปร์-รอบ ของทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ มีค่าประมาณเท่ากัน จึงสามารถจะจัดระบบป้องกันแบบกระแสต่าง ๆ (Differential protection) สำหรับหม้อแปลงทั้งตัวได้

ถ้าเลือก CT ได้เหมาะสม ทางด้านทุติยภูมิจะมีกระแส $I_1 = I_2$ และไม่มีกระแสไหลผ่านรีเลย์แต่ถ้า $I_1 \neq I_2$ (p.u.) จะมีกระแสผลต่าง $I_1 - I_2$ ไหลผ่านตัวรีเลย์ทำให้รีเลย์ทำงาน หลักการนี้จะป้องกันหม้อแปลงได้ดี ถึงแม้ว่าการลัดวงจรที่เกิดขึ้นจะน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

คุณสมบัติทางความร้อนและวิธีการระบายความร้อนในหม้อแปลง

(THERMAL PROPERTIES & COOLING METHOD)

การสูญเสีย (LOSSES) พลังงานไฟฟ้าต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง ทั้งในแกนเหล็กในขดลวด และในส่วนต่าง ๆ ของหม้อแปลงในขณะที่จ่ายภาระอยู่ พลังงานสูญเสียทั้งหมดจะเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน ทำให้อุณหภูมิของวัสดุมีโอกาสเลยขุดสูงสุดที่วัสดุนั้นจะทนได้ และทำลายฉนวนของหม้อแปลงในที่สุด ทำให้หม้อแปลงใช้งานไม่ได้ (FAILURE) ฉะนั้นการระบายความร้อน (COOLING) ให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเร็วได้ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง

การระบายความร้อน ถ้ากระทำถูกวิธีจะสามารถเพิ่มอัตรากำลัง (RATING) ของหม้อแปลงได้ โดยขนาดเท่าเดิม หรืออาจลดขนาด ของหม้อแปลงลงก็ได้ โดยที่ขนาดของโวลท์แอมแปร์ (VOLT - AMPERE) ยังคงเดิม

7.1 การระบายความร้อนภายในหม้อแปลง

หม้อแปลงก่อนที่จะถูกนำไปใช้งานนั้น อุณหภูมิภายในหม้อแปลงเท่ากับอุณหภูมิรอบ ๆ ภายนอก (AMBIENT TEMPERATURE) หลังจากที่หม้อแปลงได้รับภาระ อุณหภูมิภายในหม้อแปลงเฉพาะส่วนที่มีกระแสไหล (ACTIVE COMPONENT) จะถีบตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุหรืออากาศรอบ ๆ ทำให้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิในเวลาต่อมาช้าลง จนในที่สุดไม่เพิ่มขึ้นอีกเลยเมื่อถึงอุณหภูมิหนึ่ง แสดงว่า ความร้อนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากมีกระแสไหลผ่านจะเท่ากับความร้อนที่ระบายออก ผลก็คืออุณหภูมิคงที่ ปริมาณความร้อนที่มีผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นเช่นนี้ ศัพท์ทางช่างเรียกว่าความร้อนเกิน (OVERHEAT)

7.2 ชนิดของหม้อแปลงและวิธีการระบายความร้อน

ชนิดของหม้อแปลงที่ใช้อยู่ขณะนี้ แบ่งออกได้เป็น

1. หม้อแปลงชนิดผึ่งอากาศ (DRY TYPE TRANSFORMER)
2. หม้อแปลงชนิดแช่น้ำมัน (OIL-IMMERSED TRANSFORMER)

7.2.1 วิธีการระบายความร้อนของหม้อแปลงชนิดผึ่งอากาศนั้น แบ่งออกได้เป็น

1. ระบายความร้อนโดยวิธีธรรมชาติ (SELF-AIR COOLED)
   สัญลักษณ์เป็น AA
2. ระบายความร้อนโดยมีทั้งวิธีธรรมชาติและเป่าลมเข้าช่วย
   (SELF COOLED/FORCED AIR COOLED หรือ AIR BLAST COOLED)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีสัญลักษณ์ว่า AA/FA.

7.2.2 วิธีการระบายความร้อนของหม้อแปลงชนิดแช่น้ำมันนั้น มีหลายวิธีดังนี้

1. ระบายความร้อนโดยอาศัยอากาศนำพาความร้อนออกไป (OIL-IMMERSED SELF COOLED WITH AIR) มีสัญลักษณ์ว่า OA
2. ระบายความร้อนโดยวิธีเพิ่มกำลังการหมุนเวียนอากาศ (OIL-IMMERSED SELF COOLED WITH AIR-BLAST FOR ADDITIONAL COOLING) หม้อแปลงจะสามารถรับอัตรากำลังภาระมากกว่าวิธีที่ 1 ถึง 33 % มีสัญลักษณ์ว่า FA
3. ระบายความร้อนโดยวิธีเพิ่มให้มีน้ำหมุนเวียน (OIL-IMMERSED SELF-COOLED WITH WATER) มีสัญลักษณ์ว่า OW
4. ระบายความร้อนโดยวิธีเพิ่มแรงหมุนเวียนให้แก่น้ำและน้ำมัน (OIL-IMMERSED FORCED-OIL COOLED WITH FORCED WATER COOLED) มีสัญลักษณ์ว่า FOW.

7.3 ขีดจำกัดความร้อนทนและผลที่มีต่อความเป็นฉนวน

มาตรฐานอุตสาหกรรมหม้อแปลงของ NEMA และ ANSI. (AMRICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE) จึงได้แบ่งชั้นของฉนวน (INSULATION CLASS) ออกเป็น 4 ชั้น ตามสภาพเงื่อนไขที่สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงสุดที่เพิ่มขึ้น (TEMPERATURE RISE) ได้ดังนี้

7.3.1 ชั้นหนึ่ง (CLASS A) ฉนวนชั้นนี้ บังคับให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในสภาวะทรงตัว (STEADY STATE) ต้องไม่เกิน 55 °C ณ อุณหภูมิรอบ ๆ 40 °C และอนุโลมให้อุณหภูมิที่จุดร้อนสุด (HOTTEST SPOT) ไม่เกิน 105 °C

7.3.2 ชั้นสอง (CLASS B) ฉนวนชั้นนี้ บังคับให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในสภาวะทรงตัว ต้องไม่เกิน 80 °C ณ อุณหภูมิ รอบ ๆ 40 °C และอนุโลมให้อุณหภูมิที่จุดร้อนสุด ไม่เกิน 150 °C

7.3.3 ชั้นสาม (CLASS F) ฉนวนชั้นนี้ บังคับให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในสภาวะทรงตัว ต้องไม่เกิน 115 °C ณ อุณหภูมิรอบ ๆ 40 °C และอนุโลมให้อุณหภูมิที่จุดร้อนสุด ไม่เกิน 185 °C

7.3.4 ชั้น 4 (CLASS H) ฉนวนชั้นนี้ บังคับให้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในสภาวะทรงตัว ต้องไม่เกิน 150 °C ณ อุณหภูมิ รอบ ๆ 40 °C และอนุโลมให้อุณหภูมิที่จุดร้อนสุด ไม่เกิน 220 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง 038578

7.4 วิธีการวัดอุณหภูมิ

เทคนิคการวัดอุณหภูมิของขดลวดนั้น ไม่สามารถกระทำการวัดโดยตรงได้ ต้องอาศัยคุณสมบัติของตัวนำ ซึ่งความต้านทานของมันแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ

สำหรับอุณหภูมิของน้ำมัน ถ้าเป็นหม้อแปลงขนาดเล็กและขนาดกลาง จะติดตั้งด้วยเทอร์โมมิเตอร์วัดที่ผิวบน แต่ถ้าเป็นหม้อแปลงขนาดใหญ่ จะเป็นเครื่องจับอุณหภูมิ (TEMPERATURE DETECTOR) ส่วนอุณหภูมิของแกนนั้นใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดทองแดงคู่ (THERMOCOUPLE)วัด การวัดจะกระทำเฉพาะในช่วงเวลาตรวจรับ หรือทดสอบเริ่มแรก (PROTOTYPE TEST) เท่านั้น

การวัดอุณหภูมิรอบ ๆ นั้น ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดในระยะทางที่ห่างจากหม้อแปลง 1.5 ถึง 2.0 เมตร เพื่อหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดอันเกิดจากอากาศรอบ ๆ ของขดลวด และแกนเคลื่อนมารบกวน

7.5 การถ่ายเทความร้อนในหม้อแปลงชนิดน้ำมัน

ความร้อนในหม้อแปลงนั้น ขดลวดและแกนเป็นตัวสร้างและถ่ายเทให้แก่สภาวะรอบ ๆ ได้ โดยอาศัยระดับอุณหภูมิที่ต่างกัน การถ่ายเทความร้อนดังกล่าวมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่ละวิธีไม่ขึ้นแก่กัน กล่าวคือ การนำความร้อน (CONDUCTION) การแผ่รังสีและการพาความร้อน ซึ่งวิธีสุดท้ายเป็นวิธีที่สำคัญในการระบายความร้อนในหม้อ

7.6 ลักษณะของถังหม้อแปลงและพื้นที่ผิวของหม้อแปลงที่ใช้น้ำมันเป็นตัวกลางในการระบายความร้อน

หม้อแปลงชนิดแช่น้ำมันซึ่งมีอัตรากำลังขนาดเล็ก ผนังถังที่ราบเรียบก็เพียงพอสำหรับการถ่ายเทความร้อนแล้ว ไม่จำเป็นต้องเพิ่มระบบการระบายความร้อนให้ ถ้าหม้อแปลงชนิดแช่น้ำมันที่มีอัตรากำลังสูงขึ้น ผนังถังเรียบดังกล่าวจะระบายความร้อนไม่ทัน จึงจำเป็นต้องเพิ่มเครื่องมือระบายความร้อนได้มากกว่าเดิม โดยเพิ่มขาของหม้อแปลงเพื่อมิให้อุณหภูมิของน้ำมันสูงเกินไป

หม้อแปลงที่มีขนาดสูงกว่า 1.6 MVA จะมีท่อภายนอกเชื่อมติดกับถังใหญ่ ส่วนจำนวนท่อจะมากน้อยเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับอัตรากำลังของหม้อแปลง ลักษณะและขนาดของท่อระบายความร้อน มีทั้งกลมและวงรี ส่วนขนาดก็แล้วแต่การออกแบบ (DESIGN)

สำหรับสีที่ทาบนผนังหม้อแปลงนั้นมีผลต่ออุณหภูมิที่สูงขึ้น (TEMPERATURE RISE) อันเนื่องจากความสามารถในการกระจายการสูญเสียออกสู่อากาศภายนอกเช่นเดียวกัน สำหรับถังที่มีผิวเรียบ การกระจายความสูญเสียจะอยู่ในรูปของการแผ่รังสีมากกว่าถังที่มีผิวขรุขระ ซึ่งจะอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปของการพาความร้อน สีที่มีคุณสมบัติแผ่รังสีความร้อนได้น้อย จะมีความสามารถในการดูดซึมความร้อนจากแสงอาทิตย์น้อยเช่นกัน

7.7 ความร้อนชั่วขณะ

อุณหภูมิที่สูงขึ้นสำหรับขดลวดและน้ำมันที่กล่าวแล้วนั้น หมายถึงในสภาวะทรงตัว หลังจากเวลาได้ผ่านพ้นไปชั่วระยะเวลาหนึ่งแล้ว ช่วงระยะเวลาที่ความร้อนเกินเปลี่ยนแปลงขณะภาระคงที่ และอุณหภูมิรอบ ๆ คงที่ เรียกว่าช่วงความร้อนเปลี่ยนแปลง (HEAT TRANSIENT)

เมื่อหม้อแปลงรับภาระครั้งแรก อุณหภูมิของขดลวดและน้ำมันจะเพิ่มขึ้นทันที ก่อนที่จะมีการถ่ายเทความร้อนในเวลาต่อมาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้มีความสัมพันธ์กับความสูญเสียของกระแสไหลวน (EDDY CURRENT LOSS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

การต่อและขนานหม้อแปลง

(TRANSFORMER CONNECTION AND PARALLEL OPERATION)

การต่อหม้อแปลงเพื่อใช้งานในระบบ และการขนานหม้อแปลงเพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้านั้น เป็นปัญหาของระบบผลิตไฟฟ้า และระบบจำหน่าย การผลิตกระแสไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในระบบขณะนี้ เป็นชนิดสามเฟส (THTRR PHASE) แต่ว่าภาระชนิดมอเตอร์แบบสองเฟส (TWO PHASE) และภาระแสงสว่าง (LIGHTING) แบบเฟสเดียว (SINGLE PHASE) และสามเฟสมีใช้กันอยู่ทั่วไป นอกจากนี้เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า (GENERATOR) ชนิดสองเฟสเล็ก ๆ ยังมีใช้อยู่ตามโรงงานบางแห่ง และใช้ร่วมกับระบบสามเฟส ทำให้ศึกษาถึงข้อดีข้อเสียของการต่อหม้อแปลงชนิดต่าง ๆ กัน ทั้งการใช้หม้อแปลงชนิดเปลี่ยนเฟส (PHASE TRANSFORMER)ในระบบ และหม้อแปลงชนิดเปลี่ยนศักดาไฟฟ้า(VOLTAGE TRANSFORMER) ตลอดจนการขนานหม้อแปลงเพื่อเพิ่มอัตรากำลังการจ่ายภาระของหม้อแปลงให้มากขึ้น

8.1 หม้อแปลงชนิดเปลี่ยนศักดาไฟฟ้า

8.1.1 การต่อหม้อแปลง 1 เฟส

หม้อแปลง 1 เฟส ที่ใช้ในระบบจำหน่ายโดยทั่วไปแล้ว ขดลวดด้านไฟฟ้าแรงต่ำ (LOW VOLTAGE WINDING) จะประกอบด้วยขดลวดสองชุดที่มีศักดาไฟฟ้าเท่ากัน สามารถต่อขนานกัน ลักษณะเชิงขั้วของหม้อแปลงจะแสดงถึงทิศทางการพันของขดลวด มีอยู่ 2 ลักษณะ เชิงขั้วหักล้าง (SUBTRACTIVE POLARITY) และเชิงขั้วเสริม(ADDITIVE POLARITY)

8.1.2 การต่อหม้อแปลง 2 เฟส

สำหรับวงจรชนิด 2 เฟสนั้น ประกอบด้วยวงจรชนิด 1 เฟส 2 วงจร ต่อให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทั้งแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

8.1.3 การต่อหม้อแปลง 3 เฟส

ลักษณะของไฟชนิดสามเฟส (THREE PHASE SYSTEM) ประกอบด้วยไฟเฟสเดียว 3 ชุด ซึ่งต่างทำมุม (OUT OF PHASE) 120^0 ซึ่งกันและกัน ทั้งแรงดันไฟฟ้าและกระแส จึงมีผลให้ค่าทางไฟฟ้าบนสาย และบนขดลวดของหม้อแปลง ต่างกันเป็น 57.7 % หรือ 1.732 เท่า ในทางกลับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสามเฟส (THREE PHASE CIRCUIT) ของหม้อแปลง สามารถต่อได้ทั้งแบบ Δ (DELTA) และแบบ Y (WYE หรือ STAR) ซึ่งแรงดันหรือกระแสระหว่างการต่อแบบ Δ และแบบ Y นั้น จะต่างกัน 30^0 ค่าสมบูรณ์ของการต่อทั้งสองแบบ จะต่างกัน 1.732 เท่า ซึ่งกันและกัน

กระแสสายส่ง และในขดลวด จะเท่ากันถ้าหม้อแปลงต่อแบบ Y แต่กระแสในขดลวดจะเป็น 57.7 % ของกระแสบนสายส่ง ถ้าหม้อแปลงต่อแบบ Δ สำหรับแรงดันไฟฟ้า ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน แต่ค่าสลับกันกับที่กล่าวไว้ วิธีการต่อหม้อแปลง 3 เฟส มีอยู่ด้วยกัน 4 วิธีคือ

1. หม้อแปลงต่อแบบ Y-Y (WYE-WYE CONNECTION)
2. หม้อแปลงต่อแบบ Δ-Δ (DELTA-DELTA CONNECTION)
3. หม้อแปลงต่อแบบ Y-Δ (WYE-DELTA CONNECTION)
4. หม้อแปลงต่อแบบ Δ-Y (DELTA-WYE CONNECTION)

8.2 หม้อแปลงชนิดเปลี่ยนเฟส

8.2.1 การเปลี่ยนไฟ 3 เฟส เป็น 2 เฟส และการเปลี่ยนไฟ 2 เฟส เป็น 3 เฟส

มีหลายวิธีด้วยกัน แต่วิธีที่ใช้กันมากคือ วิธีของสก๊อต (SCOTT CONNECTION) วิธีนี้คล้ายคลึงกับการต่อแบบ T - T คือ ประกอบด้วยหม้อแปลงชนิดเฟสเดียวสองตัวต่อ และมีการต่ออีกแบบใช้หม้อแปลง 1 เฟส 3 ตัว

8.2.2 การเปลี่ยน 3 เฟส เป็น 6 เฟส

สำหรับการต่อหม้อแปลงเพื่อเปลี่ยนไฟจาก 3 เฟส เป็น 6 เฟสนั้น มีหลายวิธีด้วยกัน กล่าวคือ

ก. วิธีการต่อแบบ T (T- CONNECTION)

ข. วิธีการต่อแบบผ่ากลาง (DIAMETRICAL CONNECTION)

ค. วิธีการต่อแบบ Δ คู่ (DOUBLE DELTA CONNECTION)

ง. วิธีการต่อแบบ Y คู่ (DOUBLE WYE CONNECTION)

8.3 ลักษณะเชิงขั้วของหม้อแปลง 3 เฟส

หม้อแปลง 3 เฟสนอกจากมีเครื่องหมายแสดงลักษณะเชิงขั้ว (POLARITY) เพื่อชี้ความสัมพันธ์ของขดลวดระหว่างไฟฟ้าแรงสูง (HIGH VOLTAGE) และไฟแรงต่ำ (LOW VOLTAGE) แล้วยังมีกลุ่มเวคเตอร์แรงดัน (VECTOR GROUP) เพื่อแสดงถึงผลต่างของมุมระหว่างขดลวดแรงดันสูง และแรงต่ำ และการเรียงลำดับเฟส (TIME ORDER OF PHASE SEQUENCE) อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.4 กลุ่มเวคเตอร์ (VECTOR GROUP)

หม้อแปลง 3 เฟส นอกจากจะมีเชิงขั้วดังกล่าวแล้ว ยังมีส่วนปลีกย่อยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมของแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ ที่หมุนตามหลังแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ ฉะนั้นมุมระหว่างแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ (PRIMARY) และทุติยภูมิ (SECONDARY) จึงอยู่ระหว่าง 0° ถึง 360° ส่วนจะตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกานั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะเชิงขั้วของหม้อแปลงเป็นแบบเสริมหรือหักล้าง

ถ้ากำหนดให้ค่า n เป็นเลขกลุ่ม (GROUP NUMBER) ผลคูณระหว่าง n กับมุม 30° จะเป็นค่าของมุมที่แรงดันไฟฟ้าด้านทุตยภูมิหมุนทวนเข็มนาฬิกา (COUNTERCLOCKWISE) ตามหลัง (LAG) แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ

แผ่นนป้ายที่ติดอยู่บนหม้อแปลง (NAME PLATE) จะมีแสดงถึงกลุ่มเวคเตอร์ (VECTOR GROUP) ของหม้อแปลงและมีสัญลักษณ์ในลักษณะแสดงถึงการต่อของขดลวดและค่า n ดังเช่น สัญลักษณ์ Dy5 หมายถึงขดลวดทางปฐมภูมิต่อแบบ Δ แทนด้วยสัญลักษณ์ตัวพิมพ์ใหญ่ และขดลวดทางทุติยภูมิต่อแบบ Y แทนด้วยสัญลักษณ์พิมพ์เล็ก มุมของแรงดันไฟฟ้าทั้งคู่จะต่างกัน $5 * 30^{\circ} = 150^{\circ}$

8.5 การขนานหม้อแปลง 3 เฟส

หลักเกณฑ์ (CRITERIOR) ในการต่อขนาน เช่นเดียวกันกับขนานหม้อแปลงชนิดเฟสเดียว กล่าวคือ หม้อแปลงที่จะมาขนานต้องมีอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าเดียวกัน มุมต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้าสูง และแรงดันไฟฟ้าต่ำเหมือนกัน และการหมุนของเฟส (PHASE ROTATION) มีทิศทางเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

การบำรุงรักษาหม้อแปลง

(TRANSFORMER MAINTENANCE)

การบำรุงรักษา (MAINTENANCE) เป็นปัญหาใหญ่ ซึ่งนอกจากจะต้องคำนึงถึงสวัสดิภาพของผู้ปฏิบัติงาน นั่นหมายถึงความปลอดภัย ของผู้ปฏิบัติงาน นั่นหมายถึงความปลอดภัย (SAFETY) แล้ว ยังจำต้องรู้ซึ้งถึงทฤษฎีการทำงานและเทคโนโลยี (TECHNOLOGY) ของอุปกรณ์ ที่กำลังเข้าไปบำรุงรักษาอีกด้วย

การบำรุงรักษาที่สมบูรณ์แบบนั้น ก็คือหม้อแปลงต้องอยู่ในสภาพใหม่อยู่ตลอดเวลา และสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นล่วงหน้าได้ หลีกเลี่ยงอุบัติเหตุที่ไม่ถึงปรารถนา จึงต้องทำการวางแผนการบำรุงรักษา(MAINTENANCE SCHEDULE) ล่วงหน้าโดยอาศัยความรู้ทางวิศวกรรม (ENGINEERING SENSE)

สำหรับความถี่ในการดูแลรักษานั้น ขึ้นอยู่กับความสำคัญของวงจรที่หม้อแปลงนำไปติดตั้งและขนาดกำลัง(CAPACITY) ของหม้อแปลง โดยคำนึงถึงผลเสียอันเนื่องจากการหยุดบริการ ต้นทุนของอุปกรณ์และการโยกย้าย ทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาชนิดป้องกัน (PREVENTIVE MAINTENANCE) สูงมาก

โปรแกรมการตรวจสอบและการบำรุงรักษา ที่จะกล่าวต่อไปนี้ มีทั้งการตรวจสอบ การบันทึกค่าและ การทดสอบ

9.1 การตรวจสอบภายนอก (EXTERNAL INSPECTION)

บริเวณสถานที่ตั้งของหม้อแปลงจะเป็น ดรรชนีชี้ความถี่ของการบำรุงรักษา ถ้าตำแหน่งที่ตั้งนั้นอยู่ในบริเวณสกปรก (POLLUTED AREA) ควรได้รับการเอาใจใส่เป็นพิเศษทุกครั้งที่หน่วยบำรุงรักษาเดินทางออกไปตรวจสอบตามสถานีไฟฟ้าย่อยต่าง ๆ ควรจะมีตารางแสดงรายชื่อของชิ้นส่วนทั้งหมดที่จะทำการตรวจเช็ค เพื่อมิให้มองข้ามชิ้นส่วนหนึ่งชิ้นส่วนใดไป

9.2 การตรวจสอบภายใน (INTERNAL INSPECTION)

ความถี่ในการตรวจสอบนั้นยืดหยุ่นได้ โดยคำนึงถึงสภาวะการทำงาน อายุการใช้งานและชนิดของหม้อแปลงการตรวจสอบภายในส่วนใหญ่จึงเป็นพวกฉนวนภายใน ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญในทางปฏิบัติ เพื่อการตัดสินใจ หรือปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านนี้ เวลาทดสอบควรคำนึงถึงข้อกำหนดของแบบที่บริษัทผู้ผลิตให้มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.2.1 ฉนวนของเหลว (INSULATING LIQUID)

ผู้เชียวชาญหลาย ๆ คนมีความเห็นว่า การตรวจสอบ ทดสอบและการบำรุงรักษาฉนวนของเหลวภายในหม้อแปลงนั้นเป็นวิธีรักษาหม้อแปลงให้ทำงานได้ตามปกติ และยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงได้ดีที่สุด อากาศและความชื้นภายในหม้อแปลงเป็นศัตรูตัวสำคัญของฉนวนของเหลวการทดสอบความเป็นฉนวนของน้ำมันเช่นนี้ ควรกระทำทุก 3 เดือน หรือ 6 เดือน สำหรับหม้อแปลงตัวใหญ่ แต่ถ้าเป็นหม้อแปลงขนาดเล็กให้กระทำทุกปีทั้งนี้ขึ้นอยู่กับภาระที่หม้อแปลงรับ

9.2.2 การทดสอบฉนวน (INSULATION TEST)

การที่สารฉนวนภายในหม้อแปลงต้องเสื่อมเสียคุณภาพไปนั้น เป็นเพราะฉนวนของเหลว (INSULATING LIQUID) ภายในตัวหม้อแปลงมีความชื้นเจือปนอยู่ หรือมิฉะนั้นก็เพราะว่าหม้อแปลงต้องรับแรงดันไฟฟ้าเกินภาระเกิน หรือร้อนเกิน การบำรุงรักษาชนิดป้องกันจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงฉนวนระหว่างขดลวด และฉนวนระหว่างขดลวดกับดิน และควรทำการตรวจสอบประจำแม้ว่าหม้อแปลงจะอยู่ในสภาพดีก็ตาม

- การทดสอบความต้านทานของฉนวน
- การทดสอบความเป็นกำบังทางไฟฟ้า

9.2.3 การวิเคราะห์ก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมัน (DISSOLVED GAS ANALYSIS)

การทดสอบน้ำมันด้วยวิธีนี้เป็นการบำรุงรักษาหม้อแปลง ทางด้านป้องกัน เพื่อค้นหาจุดบกพร่องในหม้อแปลงว่าความเสียหายนั้นเกิดจากอะไร อยู่ที่ไหนและรุนแรงหรือไม่

9.3 การตรวจสอบวัดค่าต่างในขณะ

9.3.1 ภาระและแรงดัน

9.3.2 ระดับของเหลว

9.3.3 อุณหภูมิ

9.3.4 ความดันสูญญากาศ

9.3.5 ความดัน

9.4 การตรวจสอบอุปกรณ์ส่วนประกอบของหม้อแปลง

9.4.1 พัดลม ปั๊มและตัวปรับ (FANS,PUMP & THEIR CONTROLS)

พัดลม มอเตอร์ ปั๊มและอุปกรณ์การควบคุมทุกตัว ควรได้รับการตรวจเช็คสภาพการทำงานทุกวัน อุปกรณ์ทุกตัวต้องมีสภาพสะอาด และแม้ว่าอุปกรณ์บางชุดจะไม่ได้ใช้งานก็ตาม ก็ควรได้รับการตรวจสอบทุกอาทิตย์เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9.4.2 ห้องหายใจกรองความชื้น (DEHYDRATING BREATHER)

ให้ตรวจสอบสารเคมีที่ใช้ในห้องหายใจกรองความชื้นทุกเดือน สารเคมีดังกล่าวมีอยู่ 2 ชนิด คือ คัลเซียมคลอไรด์(CALCIUM CHLORIDE) และ ซิลิกาเจล(SILICAGEL) ซิลิกาเจลเป็นสารที่ใช้พัฒนาเมื่อไม่นานมานี้ มีคุณสมบัติพิเศษคือ หลังจากดูดความชื้นจนอิ่มตัวแล้วยังสามารถดูดความชื้นต่อไปได้อีก สารดังกล่าวจะมีสีเป็นสีน้ำเงินถ้าแห้ง แต่ถ้าอิ่มตัวแล้วจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูชีด อย่างไรก็ตามถ้าชื้นมาก ๆ ควรเปลี่ยนหรือทำให้แห้งด้วยการเผาในภาชนะเปิด

9.4.3 อุปกรณ์ระบายความดัน (PRESSURE RELIEF DEVICES)

การตรวจสอบดูสภาพของกระบังลมว่ามีรอยร้าวหรือชำรุดอย่างไร ประเก็นมีสนิมกัดกร่อนหรือไม่

9.4.4 อุปกรณ์ส่งสัญญาณป้องกัน (PROTECTIVE ALARM)

อุปกรณ์ส่งสัญญาณ ควรได้รับการตรวจสอบถึงลักษณะการทำงาน ทุก ๆ เดือน

9.4.5 อุปกรณ์การเปลี่ยนเทป (TAP CHANGERS)

เมื่อเริ่มติดตั้ง ควรทดสอบค่าของแทปต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงต่อไป การเดินเครื่องและการบำรุงรักษา ควรกระทำตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต หากมีปรากฏการณ์ที่ผิดปกติเกิดขึ้น ให้วัดอัตราส่วนของแรงดันเพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบ

9.4.6 อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (OVER CURRENT PROTECTIVE DEVICE)

ควรได้รับการตรวจเช็คและบำรุงรักษาเป็นประจำ สภาพของเครื่องมือ ควรได้รับการตรวจเช็คทุกเดือนหากปรากฏว่าไม่อยู่ในสภาพเรียบร้อย ควรเปลี่ยนหรือทำให้ปรกติ

9.4.7 อุปกรณ์กับดักฟ้าผ่า (LIGHTNING ARRESTER)

อุปกรณ์ชนิดนี้ควรทำความสะอาด และตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ แต่ละเดือนควรตรวจเช็คความสะอาดบนชั้นกระเบื้อง และสิ่งแปลกปลอมที่ติดอยู่บนอุปกรณ์กับดักฟ้าผ่านี้ สายที่ต่อไปยังสายส่งแรงสูงไม่ควรหย่อนเกินไป ทุกปีให้ทำความสะอาดตัวอุปกรณ์อย่างดี รวมทั้งขันข้อต่อให้แน่น ที่ใดมีรอยหักก็ให้เปลี่ยนก่อนนำเข้าใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 10

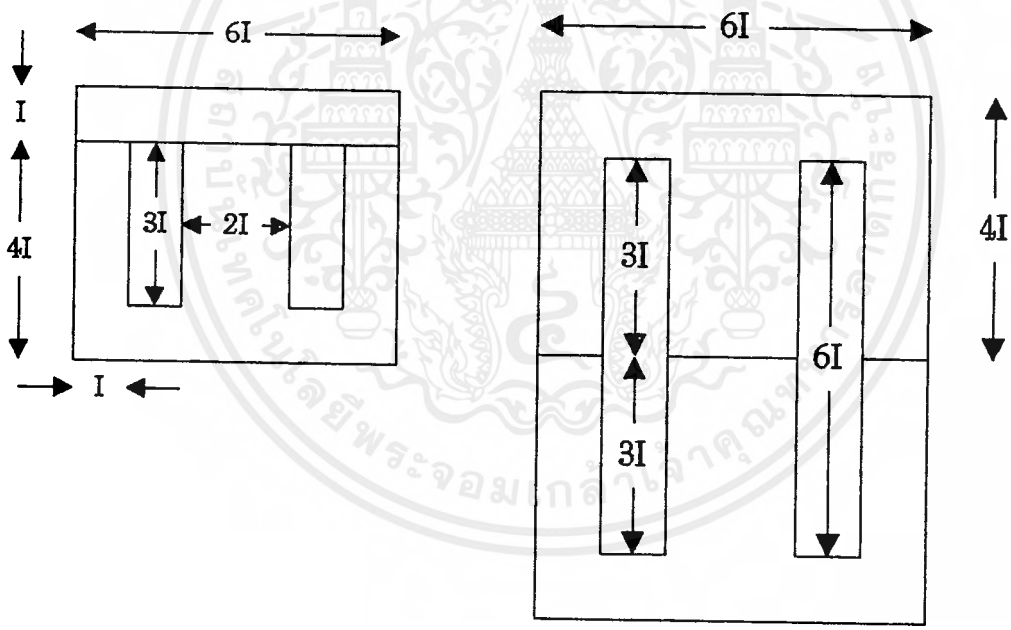
การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

(Transformer Design)

จะแสดงถึงวิธีการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า Single Phase แบบ Shell Type เพื่อให้ได้หม้อแปลงไฟฟ้าตามความต้องการ พร้อมทั้งมีการแสดงวิธีการคำนวณการปรับแต่งราคา เพื่อให้ได้หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีราคาถูกที่สุด

10.1 ข้อตกลงเบื้องต้นในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

10.1 ใช้แกนเหล็กมาตรฐาน EI ชนิด M-5 Grain-Oriented electrical steel ที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดในประเทศไทย

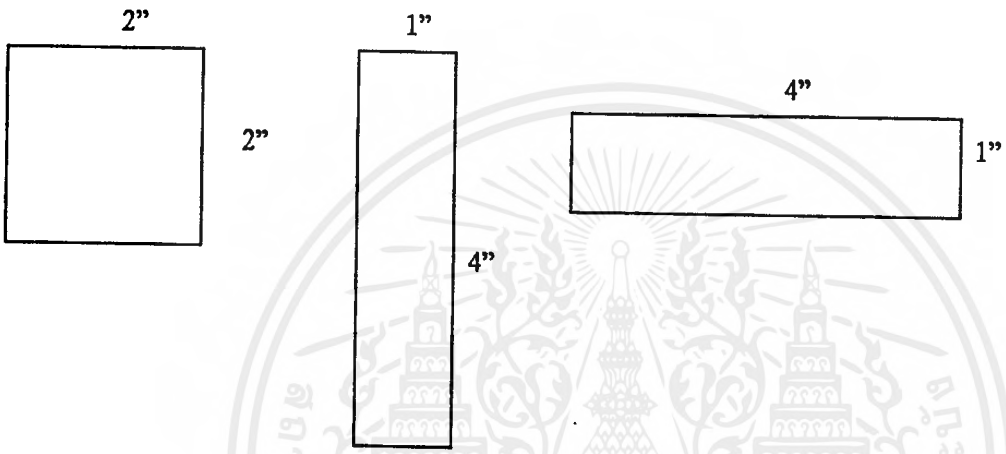


รูปที่ 10.1 แสดงสัดส่วนของแกนเหล็ก EI

10.1.2 ขนาดแกนเหล็กที่ใช้จะเรียกตามขนาดขากลางซึ่งตามท้องตลาดในเมืองไทยจะมีขนาดเป็นนิ้ว และจะเปลี่ยนขนาดทีละ ¼ นิ้ว เช่น 1", 1.25", 1.50", 1.75", 2.00", 2.25", 2.50" ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.1.3 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กจะเท่ากับพื้นที่หน้าตัดขากลางของแกนเหล็ก EI ซึ่งจะเป็นผลคูณระหว่างขนาดขากลางของแกนเหล็ก กับของแผ่นเหล็กที่นำมาวางซ้อนเรียงกัน เช่นต้องการพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กขนาด 4 นิ้ว^2 ขนาดแกนเหล็กสามารถปรับเปลี่ยนได้เป็นดังรูป 10.2 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลต่อความยาวของลาดทองแดงที่ใช้พัน



รูปที่ 10.2 แสดงพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กที่เปลี่ยนไป

10.1.4 ลวดทองแดงที่ใช้จะใช้ลวดทองแดงชนิดที่เป็นลวดแบน คือมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาดตั้งแต่ 2 x 2 mm^2 ขึ้นไป

รูปที่ 10.3 แสดงพื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดง

10.1.5 ตัว SubScrip

1 = ค่า Parameter ทางด้าน Primary

2 = ค่า Parameter ทางด้าน Secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.2 ขั้นตอนในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

จากสมการ

$$V = 4.44fNB_{max}F_sA_m \qquad 10.1$$

เมื่อ

V = แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับขดลวด (V)

f = ความถี่ของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ (Hz)

N = จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

B_{max} = ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (T)

F_s = ค่า Stack Factor

A_m = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก (m^2)

10.2.1 จาก B-H Curve ของแกนเหล็ก เลือกค่า B_{max}

10.2.2 กำหนดค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในขดลวด แล้วคำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดง จากสมการ

$$A_{c1} = I_1/J \qquad 10.2$$

$$A_{c2} = I_2/J \qquad 10.3$$

$$I_1 = S/V_1 \qquad 10.4$$

$$I_2 = S/V_2 \qquad 10.5$$

เมื่อ

A_{c1} = พื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงทางด้าน Primary (mm)

A_{c2} = พื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงทางด้าน Secondary (mm)

I_1 = กระแสไฟฟ้าทางด้าน Primary (A)

I_2 = กระแสไฟฟ้าทางด้าน Secondary (A)

J = ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (A/mm^2)

S = พิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง (VA)

V_1 = แรงดันไฟฟ้าทางด้าน Primary (V)

V_2 = แรงดันไฟฟ้าทางด้าน Secondary (V)

10.2.3 จากสมการ 10.1 กำหนดค่า Volt per Turn (V/N)แล้วคำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

$$A_m = (V/N)/\ 4.44fB_{max}F_s \qquad 10.6$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.2.4 คำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดจากสมการ

$$N_1 = V_1/(V/N) \quad 10.7$$

$$N_2 = V_2/(V/N) \quad 10.8$$

เมื่อ

N_1 = จำนวนรอบของขดลวดทองแดงทางด้าน Primary (รอบ)

N_2 = จำนวนรอบของขดลวดทองแดงทางด้าน Secondary (รอบ)

10.2.5 หาขนาด Window ของแกนเหล็กที่จะใช้พันขดลวดจากสมการ

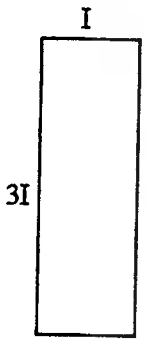
$$A_w = (N_1 A_{c1+} N_2 A_{c2})/F_w \quad 10.9$$

เมื่อ

A_w = ขนาด Window ของแกนเหล็กที่จะใช้พันขดลวด (mm^2)

F_w = Winding Factor

10.2.6 หาขนาดแกนเหล็ก (2I)



$$A_w = 3I^2 \quad 10.10$$

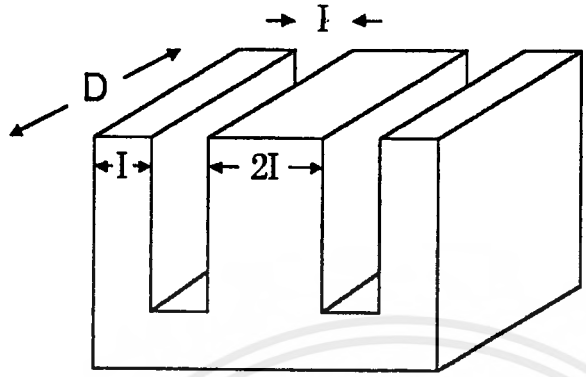
เมื่อ

I = ขนาดของแกนเหล็ก I (mm)

รูปที่ 10.4 แสดงการหาขนาดของแกนเหล็กจากขนาด Window ของแกนเหล็กที่จะใช้พันขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.2.7 หาความหนาของแกนเหล็กจากสมการ



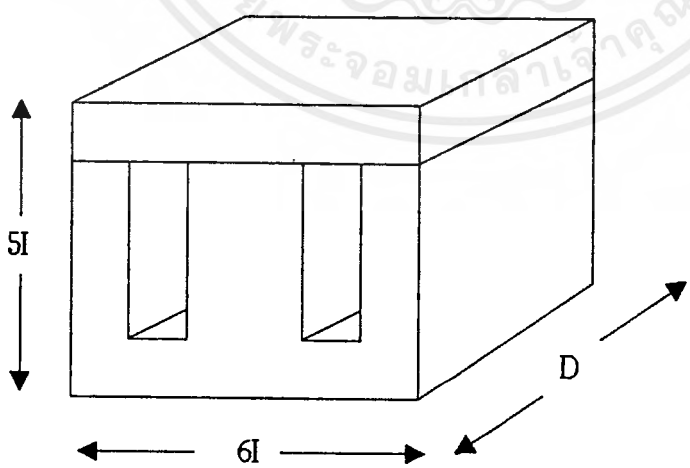
รูปที่ 10.5 แสดงความหนาของแกนเหล็กที่ใช้

$$A_m = 2I \times D \qquad 10.10$$

เมื่อ

D = ความหนาของแกนเหล็ก (mm)

10.2.8 หาปริมาตรและน้ำหนักของแกนเหล็กจากสมการ



รูปที่ 10.6 แสดงปริมาตรของแกนเหล็กที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

v_s = (6I x 5I x D) - 2(I x 3I x D) 10.12

m_s = σs x v_s x (10^{-3}) 10.13

ราคาเหล็ก = m_s x ราคาเหล็กต่อกิโลกรัม x (10^{-3}) 10.14

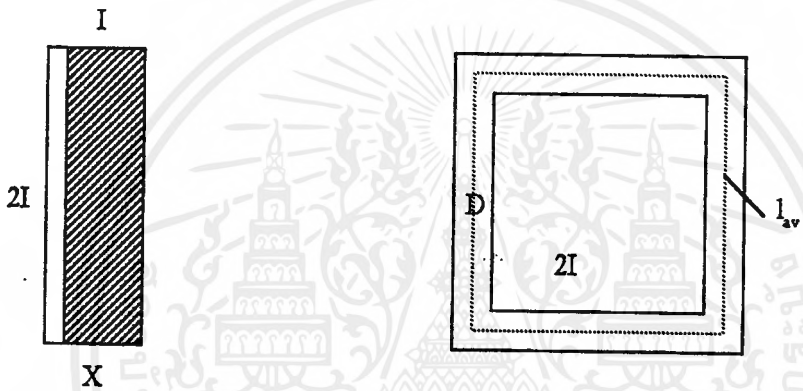
เมื่อ

v_s = ปริมาตรของแกนเหล็ก (mm^3)

m_s = น้ำหนักของแกนเหล็ก (g)

σs = ความหนาแน่นของแกนเหล็ก (g/cm^3)

10.2.9 หาปริมาตรและน้ำหนักของทองแดงจากสมการ



รูปที่ 10.7 แสดงพื้นที่หน้าตัดและความยาวเฉลี่ยของลวดทองแดงที่ใช้

A_c = $N_1 A_{c1+} N_2 A_{c2}$ 10.15

X = $A_c/3I$ 10.16

l_{av} = 2(2I+X+2D+X) 10.17

v_c = X x 3I x l_{av} 10.18

m_c = σ c x v_c x (10^{-3}) 10.19

ราคาทองแดง = m_s x ราคาทองแดงต่อกิโลกรัม x (10^{-3}) 10.20

เมื่อ

A_c = พื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดง (mm^2)

X = ความหนาของเนื้อทองแดงที่พันใน Window เหล็ก (mm)

l_{av} = ความยาวเฉลี่ยของก้อนทองแดง (mm)

v_c = ปริมาตรของทองแดง (mm^3)

m_c = น้ำหนักของทองแดง (g)

σc = ความหนาแน่นของทองแดง (g/cm^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.3 การคำนวณค่า Parameter ต่าง

10.3.1 ค่าความต้านทานขดลวด

$$R = \rho \times l/A \quad 10.21$$

$$l = l_{av} \times N \quad 10.22$$

$$R_1 = \rho \times l_{av} \times N_1 \quad 10.23$$

$$R_2 = \rho \times l_{av} \times N_2 \quad 10.24$$

เมื่อ

R = ความต้านทานของลวดทองแดง (Ω)

ρ = ความต้านทานจำเพาะของลวดทองแดง (Ω-m)

l = ความยาวของลวดทองแดง (m)

= 0.021 ($\mu\Omega$-m) (ที่ 75 $^{\circ}$C)

A = พื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดง (m^2)

R_1 = ความต้านทานของลวดทองแดงทางด้าน Primary (Ω)

R_2 = ความต้านทานของลวดทองแดงทางด้าน Secondary (Ω)

10.3.2 ค่ากำลังไฟฟ้ากระตุ้น (Exciting VA)

$$\text{Exciting VA} = P_e \times m_s \times (10^{-3}) \quad 10.25$$

เมื่อ

Exciting VA = กำลังไฟฟ้ากระตุ้น (VA)

P_e = กำลังไฟฟ้ากระตุ้นต่อน้ำหนัก (VA/Kg)

10.3.3 ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)

$$\text{Core Loss} = P_c \times m_s \times (10^{-3}) \quad 10.26$$

เมื่อ

Core Loss = กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (W)

P_c = กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็กต่อน้ำหนัก (W/Kg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.3.4 ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (Full Load Copper Loss)

$$P_{cu} = I_1^2R_1 + I_2^2R_2 \quad 10.27$$

เมื่อ

P_{cu} = กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (W)

10.3.5 No-Load Power Factor

$$\cos\theta_0 = P_c/P_a \quad 10.28$$

เมื่อ

$\cos\theta_0$ = No-Load Power Factor

10.3.6 กระแสกระตุ้น (Exciting Current)

$$I_\varphi = P_a/V_1 \quad 10.29$$

$$I_\varphi = I_\varphi \angle -\theta_0 \quad 10.30$$

$$= I_c - jI_m \quad 10.31$$

เมื่อ

I_φ = กระแสกระตุ้น (A)

θ_0 = มุมต่างเฟสระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสขณะ No-Load ($^\circ$)

I_c = Core Loss Current (A)

I_m = Magnetizing Current (A)

10.3.7 Full Load Efficiency

$$\eta = P_{out}/P_{in} \quad 10.32$$

$$= P_{out}/(P_{out} + P_{loss}) \quad 10.33$$

$$= P_{out}/(P_{out} + P_c + P_{cu}) \quad 10.34$$

เมื่อ

η = Full Load Efficiency

P_{out} = Output Power (W)

P_{in} = Intput Power (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.4 ตัวอย่างการออกแบบ

ขงออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2200/220 V , 1-Phase , 20 kVA , 50 Hz ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในขดลวด 2 A/mm^2 , V/N = 2 Volt/Turn , Winding Factor 0.9 และ Stack Factor 0.95

<u>ทองแดง</u> มีค่าความต้านทานจำเพาะ 0.021 $\mu\Omega$-m ความหนาแน่น 8900 $Kg./m^3$ ราคา 140 บาท/ Kg.

<u>แกนเหล็ก</u> มีค่าความหนาแน่น 7.65 g/cm^3 ราคา 40 บาท/ Kg

วิธีการออกแบบ

1. จาก B-H Curve ของแกนเหล็ก เลือกค่า B_{max} = 1.6 T

2. หาขนาดของขดลวด

$I_1 = 20\ kVA/2200$

$= 9\ A$

$I_2 = 20\ kVA/220$

$= 90\ A$

$A_{c1} = 9/2$

$= 4.5\ mm^2$

$A_{c2} = 90/2$

$= 45\ mm^2$

เลือกขนาดขดลวดจากตาราง

$A_{c1} = 4\ mm^2$ ขนาด $2 \times 2\ mm^2$

$A_{c2} = 44.5\ mm^2$ ขนาด $15 \times 3\ mm^2$

3. จาก V/N = 2 และจากสมการ 10.1

$Am = 2/(4.44 \times 50 \times (1.6) \times (0.95))$

$= 5.93 \times 10^{-3}\ m^2$

$= 9.2\ inch^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หาจำนวนรอบของขดลวด

N_1 = 2200/2

= 1100 รอบ

N_2 = 220/2

= 110 รอบ

5. หาขนาด Window ของแกนเหล็กที่จะใช้พันขดลวด

A_w = [(1100 x 4) + (110 x 44.5)]/(0.9)

= 10328 mm^2

6. หาขนาดแกนเหล็ก 2I

$10328 = 3I^2$

$I = (10328/3)^{1/2}$

= 58.67 mm

= 2.5 inch

2I = 5 inch

7. หาความหนาของแกนเหล็ก

D = 9.2/5

= 1.84 inch

8. หาปริมาตร และน้ำหนักของแกนเหล็ก

v_s = [12.5 x 15 x 1.84] - 2[7.5 x 2.5 x 1.84]

= 276 $inch^3$

= 4522.83 cm^3

m_s = 7.65 x 4522.83

= 34600 g

= 34.6 Kg

ราคาเหล็ก = 34.6 x 40

= 1384 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. หาปริมาตร และน้ำหนักของแกนเหล็กทองแดง

A_c = (1100 x 4) + (110 x 44.5)

= 9295 mm^2

X = 9295/(7.5 x 25.4)

= 48.8 mm

l_{av} = 2[(127 +48) + (46.736 + 48)]

= 542.7 mm

v_c = 48.8 x 190.5 x 542.7

= 504490 mm^3

= 5.045×10^{-3} m^3

m_s = $8900 \times 5.045 \times 10^{-3}$

= 44.9 Kg

ราคาทองแดง = 44.9 x 140

= 6286 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคำนวณค่า Parameter

1. ค่าความต้านทานของขดลวด

$$R_1 = [(0.021 \times 10^{-6}) \times 542.7 \times 10^{-3} \times 1100] / (4 \times 10^{-6})$$
$$= 3.13 \quad \Omega$$
$$R_2 = [(0.021 \times 10^{-6}) \times 542.7 \times 10^{-3} \times 110] / (44.5 \times 10^{-6})$$
$$= 0.028 \quad \Omega$$

2. ค่ากำลังไฟฟ้ากระตุ้น (Exciting VA)

จากกราฟ Exciting VA ได้ค่า P_a = 15 VA/Kg

Exciting VA = 15 x 34.6

= 519 VA

3. ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)

จากกราฟ Core Loss ได้ค่า P_c = 7 W/Kg

Core Loss = 7 x 34.6

= 242.2 W

4. ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (Full Load Copper Loss)

$$P_{cu} = (9^2 \times 3.13) + (90^2 \times 0.028)$$
$$= 480.33 \quad W$$

5. No-Load Power Factor

$$\cos\theta_0 = 242.2 / 519$$
$$= 0.47 \quad \text{lagging}$$

6. กระแสกระตุ้น (Exciting Current)

$$I_\varphi = 519/2200$$
$$= 0.2359 \angle -62^\circ \text{ A}$$
$$= 0.11 - j0.21 \text{ A}$$
$$I_c = 0.11 \text{ A}$$
$$I_m = 0.21 \text{ A}$$

7. Full Load Efficiency เมื่อจ่าย Load ที่ Rated Current 0.8 PF. Lagging

$$\eta = (20 \text{ kVA} \times 0.8) / [(20 \text{ kVA} * 0.8) + 242.2 + 480.33]$$
$$= 95.68 \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การปรับแต่งราคา</u>

ราคาเริ่มต้น เหล็ก = 1384 บาท

ทองแดง = 6286 บาท

รวม = 7670 บาท

<u>การปรับแต่งรอบที่ 1</u> ต้องการปรับลดราคาทองแดง

1. จาก V/N = 2 เพิ่มเป็น 5 Volt /Turn และจากสมการ 10.1

$$Am = 5/(4.44 \times 50 \times (1.6) \times (0.95))$$

$$= 14.82 \times 10^{-3} \quad m^2$$

$$= 22.97 \quad inch^2$$

2. หาจำนวนรอบของขดลวด

$$N_1 = 2200/5$$

$$= 440 \quad \text{รอบ}$$

$$N_2 = 220/5$$

$$= 44 \quad \text{รอบ}$$

3. หาขนาด Window ของแกนเหล็กที่จะใช้พันขดลวด

$$A_w = [(440 \times 4) + (44 \times 44.5)]/(0.9)$$

$$= 4131 \quad mm^2$$

4. หาขนาดแกนเหล็ก 2I

$$4131 = 3I^2$$

$$I = (4131/3)^{1/2}$$

$$= 37.1 \quad mm$$

$$= 1.5 \quad inch$$

$$2I = 3 \quad inch$$

5. หาความหนาของแกนเหล็ก

$$D = 22.97/3$$

$$= 7.65 \quad inch$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. หาปริมาตร และน้ำหนักของแกนเหล็ก

v_s = [9 x 7 x 7.65] - 2[4.5 x 1.5 x 7.65]

= 413.1 $inch^3$

= 6769.5 cm^3

m_s = 7.65 x 6769.5

= 51787 g

= 51.787 Kg

ราคาเหล็ก = 51.787 x 40

= 2071 บาท

7. หาปริมาตร และน้ำหนักของแกนเหล็กทองแดง

A_c = (440 x 4) + (44 x 44.5)

= 3718 mm^2

X = 3718/(4.5 x 25.4)

= 32.5 mm

l_{av} = 2[((3 x 25.4) +32.5) + ((7.65 x 25.4) + 32.5)]

= 671 mm

v_c = 32.5 x 114.3 x 671

= 2492597.25 mm^3

= 2.49×10^{-3} m^3

m_s = $8900 \times 2.49 \times 10^{-3}$

= 22.18 Kg

ราคาทองแดง = 22.18 x 140

= 3106 บาท

ราคาปรับรอบแรก	เหล็ก	=	2071	บาท
	ทองแดง	=	3106	บาท
	รวม	=	5177	บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>การปรับแต่งรอบที่ 2</u> ต้องการปรับลดราคาทองแดงลงอีก

1. จาก V/N = 5 เพิ่มเป็น 7 Volt /Turn และจากสมการ 10.1

$$Am = 7/(4.44 \times 50 \times (1.6) \times (0.95))$$
$$= 20.74 \times 10^{-3} \quad m^2$$
$$= 32.2 \quad inch^2$$

2. หาจำนวนรอบของขดลวด

$$N_1 = 2200/7$$
$$= 314 \quad \text{รอบ}$$
$$N_2 = 220/7$$
$$= 31 \quad \text{รอบ}$$

3. หาขนาด Window ของแกนเหล็กที่จะใช้พันขดลวด

$$A_w = [(314 \times 4) + (31 \times 44.5)]/(0.9)$$
$$= 2928 \quad mm^2$$

4. หาขนาดแกนเหล็ก 2I

$$2928 = 3I^2$$
$$I = (2928/3)^{1/2}$$
$$= 31.2 \quad mm$$
$$= 1.25 \quad inch$$
$$2I = 2.5 \quad inch$$

5. หาความหนาของแกนเหล็ก

$$D = 32.2/2.5$$
$$= 12.88 \quad inch$$

6. หาปริมาตร และน้ำหนักของแกนเหล็ก

$$v_s = [7.5 \times 6.25 \times 12.88] - 2[1.25 \times 3.75 \times 12.88]$$
$$= 483 \quad inch^3$$
$$= 7915 \quad cm^3$$
$$m_s = 7.65 \times 7915$$
$$= 60549 \quad g$$
$$= 60.5 \quad Kg$$

ราคาเหล็ก = 60.5×40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 2420 บาท

7. หาปริมาตร และน้ำหนักของแกนเหล็กทองแดง

A_c = (314 x 4) + (31 x 44.5)

= 2635.5 mm^2

X = 2635.5/(3.75 x 25.4)

= 27.7 mm

l_{av} = 2[((2.5 x 25.4) + 27.7) + ((12.88 x 25.4) + 27.7)]

= 892 mm

v_c = 27.7 x 95.25 x 892

= 2187254 mm^3

= 2.19×10^{-3} m^3

m_s = $8900 \times 2.19 \times 10^{-3}$

= 19.5 Kg

ราคาทองแดง = 19.5 x 140

= 2725 บาท

ราคาปรับรอบที่สอง เหล็ก = 2420 บาท

ทองแดง = 2725 บาท

รวม = 5145 บาท

ในการปรับแต่งราคา หากต้องการลดราคาทองแดงลง ก็สามารถเพิ่มค่า B_{max} แต่ต้องไม่เกินจุดอิ่มตัวของแกนเหล็ก หรือเพิ่มค่า V/N ขึ้นไปก็ได้

หากต้องการลดราคาเหล็กลง ก็สามารถลดค่า B_{max} หรือลดค่า V/N ขึ้นไปก็ได้ และการปรับแต่งราคาจะทำไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ราคาเหล็กเท่ากับราคาทองแดง หรือใกล้เคียงกัน ก็จะได้ของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีราคาถูกที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 11

โครงสร้างและการใช้งานของโปรแกรม

11.1 โครงสร้างของโปรแกรม

โครงสร้างของโปรแกรมจะพิจารณาได้จาก FLOW CHART ดังรูป 11.1

11.1.1 เริ่มต้นด้วยการลงทะเบียนของผู้เรียน

11.1.2 ศึกษาเนื้อหาบทที่ 1 ซึ่งเป็นเนื้อหาของหม้อแปลงไฟฟ้าเบื้องต้น

11.1.3 ทำข้อสอบชุดทดสอบความรู้(PRETEST) เพื่อทดสอบความรู้เบื้องต้นของผู้ที่จะเข้ามาใช้บทเรียน ถ้าคะแนนสอบไม่ผ่านต้องกลับไปศึกษาเนื้อหาบทที่ 1 แล้วกลับมาทดสอบแบบทดสอบอีกครั้งหากทำคะแนนได้ผ่านเกณฑ์จะเข้าสู่เนื้อหาในบทที่ 2

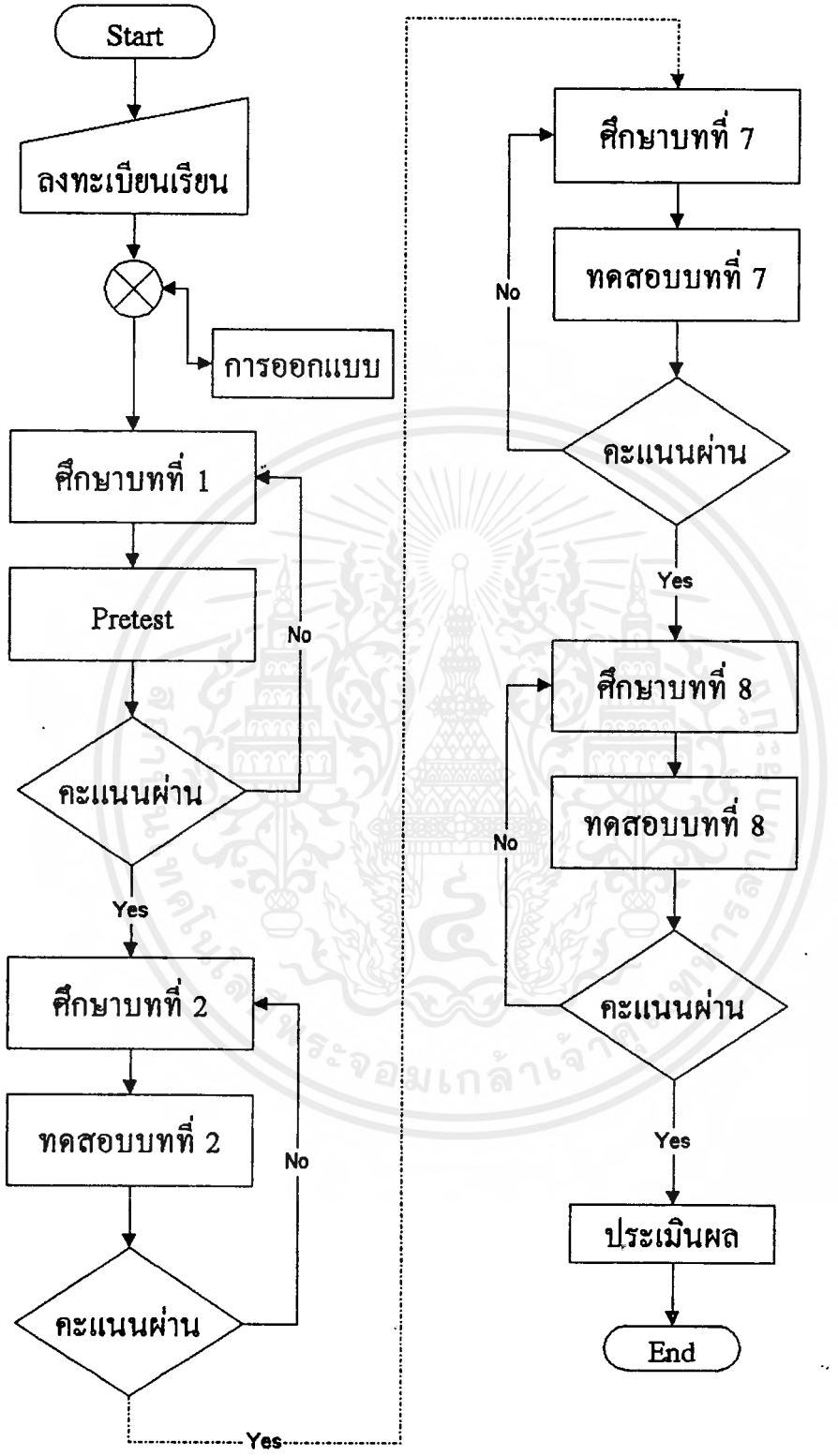
11.1.4 ศึกษาเนื้อหาในบทที่ 2

11.1.5 ทำแบบทดสอบชุดที่ 2 และต้องทำคะแนนให้ผ่านตามเกณฑ์จึงจะสามารถไปศึกษาในบทต่อไปได้

11.1.6 โปรแกรมจะทำงานในลักษณะเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนครบ 8 บท เมื่อผ่านบทที่ 8 แล้วก็จะมีการประเมินผลการเรียนของผู้เรียน ก็ถือว่าผู้ใช้ได้ใช้งานโปรแกรมสมบูรณ์

11.1.7 ในส่วนเพิ่มเติมพิเศษ(OPTION) ผู้ใช้งานสามารถเข้าไปศึกษาวิธีการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส พร้อมทั้งสามารถให้โปรแกรมช่วยออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีราคาที่ถูกที่สุดและหาค่าต่างๆ (PARAMETER) ของหม้อแปลงให้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

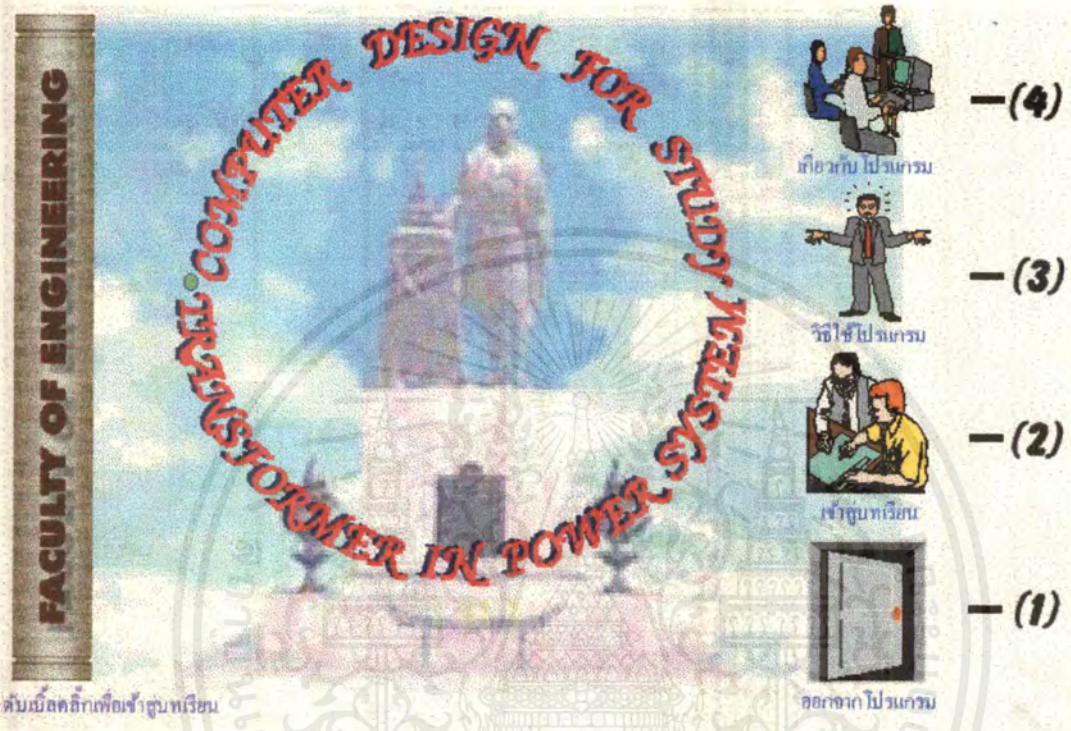


รูปที่ 11.1 แสดง FLOW CHART โครงสร้างการทำงานหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.2 การใช้งานโปรแกรม

11.2.1 Run File Power_tx.a3w ใน CD-ROM จะมีจะมีรายการให้เลือกดังรูปที่ 11.2



รูปที่ 11.2 วิธีการเข้าสู่โปรแกรม

(1) ออกจากโปรแกรม เมื่อต้องการออกจากโปรแกรม

(2) เข้าสู่บทเรียน เมื่อจะเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม

(3) วิธีใช้โปรแกรม เพื่อดูวิธีการใช้งานโปรแกรม

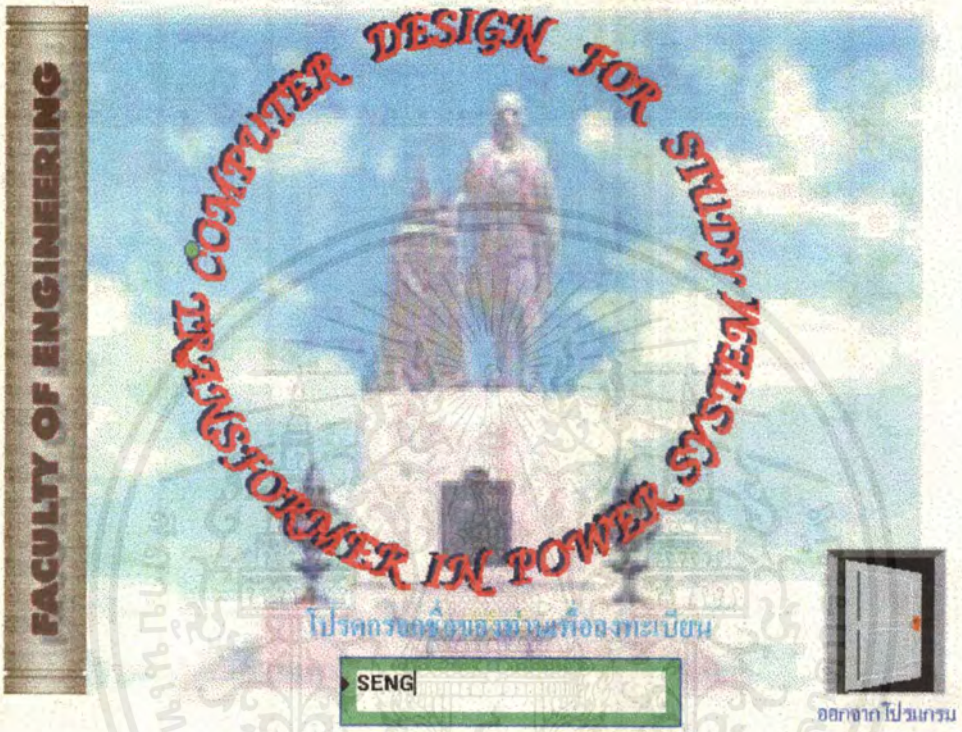
(4) เกี่ยวกับโปรแกรม เพื่อดูข้อมูลคณะผู้จัดทำโปรแกรม

ในการเลือกใช้งานรายการดังกล่าวให้ใช้การ DOUBLE CLICK บริเวณรูปรายการ

11.2.2เมื่อต้องการศึกษาให้เลือกเข้าสู่บทเรียน จะปรากฏช่องให้ผู้เรียนลงทะเบียนเรียนดังรูปที่ 11.3 โดยการกรอกชื่อของผู้เรียนแล้วกด ENTER โปรแกรมจะบันทึกรายชื่อและเตรียมพื้นที่ที่จะต้องเก็บข้อมูลของผู้เรียน เช่นวันเวลาที่เริ่มเข้าเรียนจำนวนบทเรียนที่ผ่าน และคะแนนของแต่บทเรียนที่สอบผ่าน และคะแนนของแต่ละบทเรียน หารผู้เรียนศึกษาไม่ครบทุกบทเรียนผู้เรียนสามารถออกจากโปรแกรมได้ทัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที โปรแกรมจะทำการบันทึกข้อมูลต่างๆของผู้เรียนขณะนั้นไว้ ซึ่งวันต่อไปผู้เรียนจะสามารถเข้ามาศึกษาต่อจากที่ได้ศึกษาไว้ได้



รูปที่ 11.3 แสดงการลงทะเบียนเข้าสู่บทเรียน

11.2.3 หลังจากลงทะเบียนเสร็จโปรแกรมจะเข้าสู่หน้าสารบัญหลักดังรูปที่ 11.4 จะมีรายการเข้าสู่บทเรียนแต่ละบท หากผู้เรียนเข้ามาศึกษครั้งแรก รายการดังกล่าวจะไม่สามารถเลือกทุกรายการได้ เพราะผู้เรียนจะต้องผ่านบทเรียนต้นๆ แล้วจึงจะสามารถเข้าสู่บทเรียนต่อๆไปได้

11.2.4 ในการทำการศึกษาหม้อแปลงไฟฟ้าเบื้องต้น จะมีรายการย่อยเพื่อที่จะแยกศึกษาแต่ละหัวข้อ ดังรูปที่ 11.5 ในการเลือกศึกษาสามารถศึกษาในแต่ละหัวข้อโดยเลือกที่รายการดังกล่าว ก็จะเข้าสู่บทเรียนได้

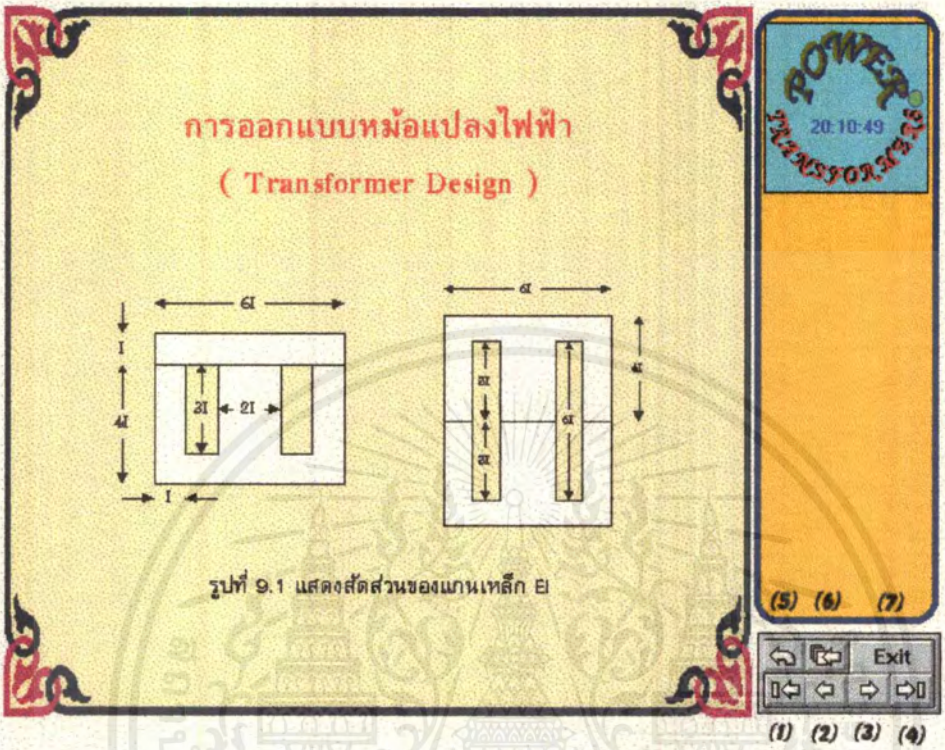
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 11.4 รายการสารบัญหลัก

รูปที่ 11.5 รายการเข้าศึกษาทฤษฎีและบททดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.2.5เมื่ออยู่ในบทเรียนจะมีปุ่มสำหรับควบคุมการเรียน ดังรูปที่11.6

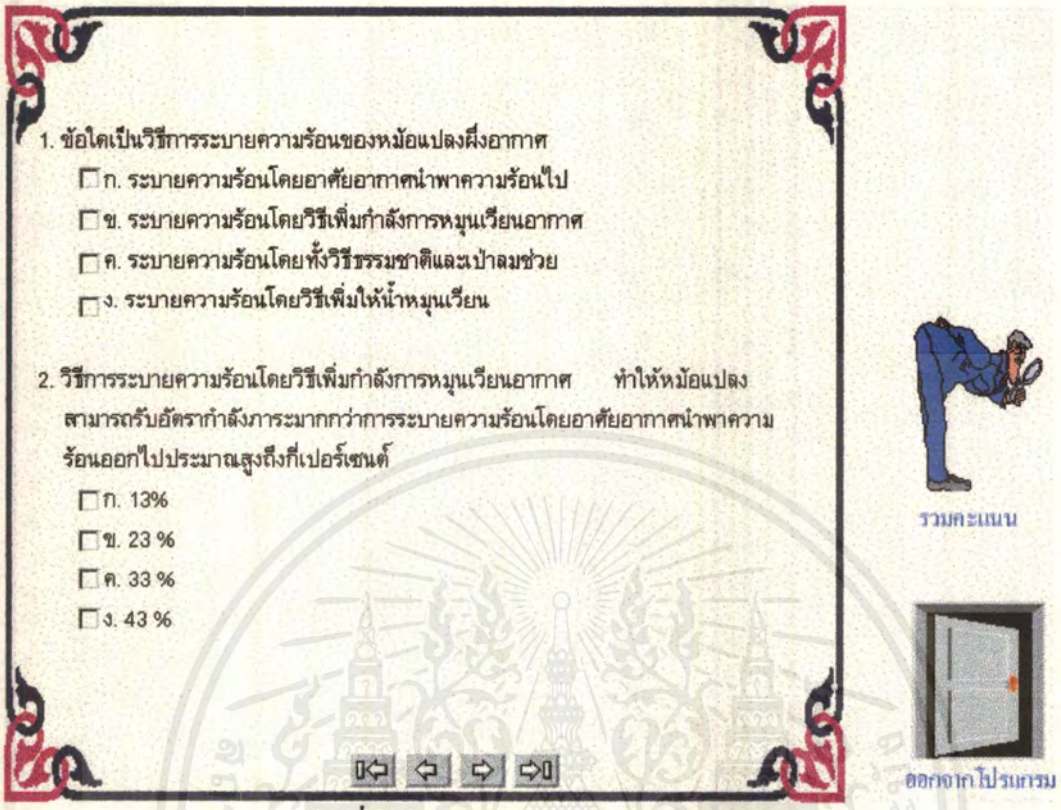


รูปที่ 11.6 แสดงปุ่มควบคุมการควบคุมการทำงาน

(1) ไปยังบทเรียนหน้าแรก
(2) ไปยังบทเรียนหน้าสุดท้าย
(3) ไปยังบทเรียนหน้าก่อน
(4) ไปยังบทเรียนหน้าต่อไป
(5) ไปยังบทเรียนหน้าที่เคยไป
(6) ค้นหาหน้าบทเรียนใดๆ
(7) จบบทเรียน

11.2.6ในส่วนของการทำแบบทดสอบ จะมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับเนื้อหาของแต่ละบทเรียน แต่จะมีโครงสร้างการทำงานคล้ายคลึงกันคือ ต้องทำคะแนนให้ผ่านมากกว่าครึ่งหนึ่งจึงจะผ่านการทดสอบและจะมีการรายงานผลการทดสอบให้ทราบทุกครั้ง สำหรับปุ่มการควบคุมการทำแบบทดสอบมีลักษณะดังรูปที่ 11-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11.7 แสดงลักษณะการทำข้อสอบ

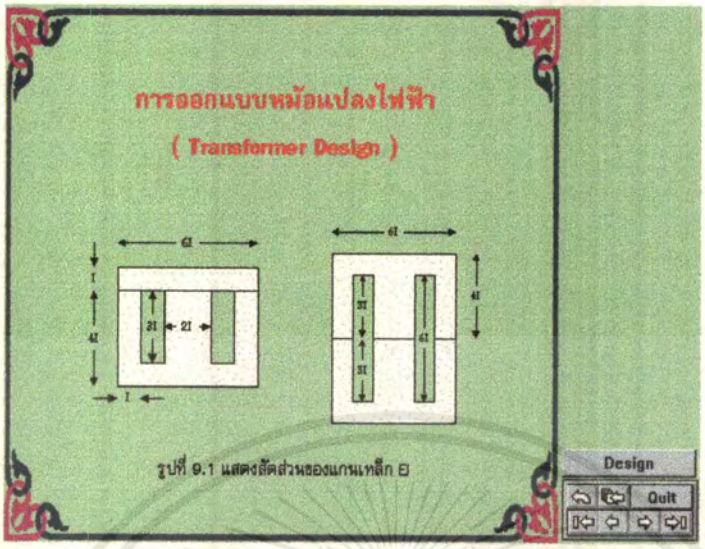
11.2.7 ข้อกำหนดในการทำข้อสอบ

- เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดเพียงข้อเดียว
- สามารถทำการแก้ไขคำตอบก่อนที่จะทำการรวมคะแนน
- หากตอบมากกว่า 1 คำตอบจะไม่ได้คะแนน

11.2.8 สำหรับการทำข้อสอบแบบเติมคำ โปรแกรมจะให้คะแนนเมื่อกดปุ่ม ENTER

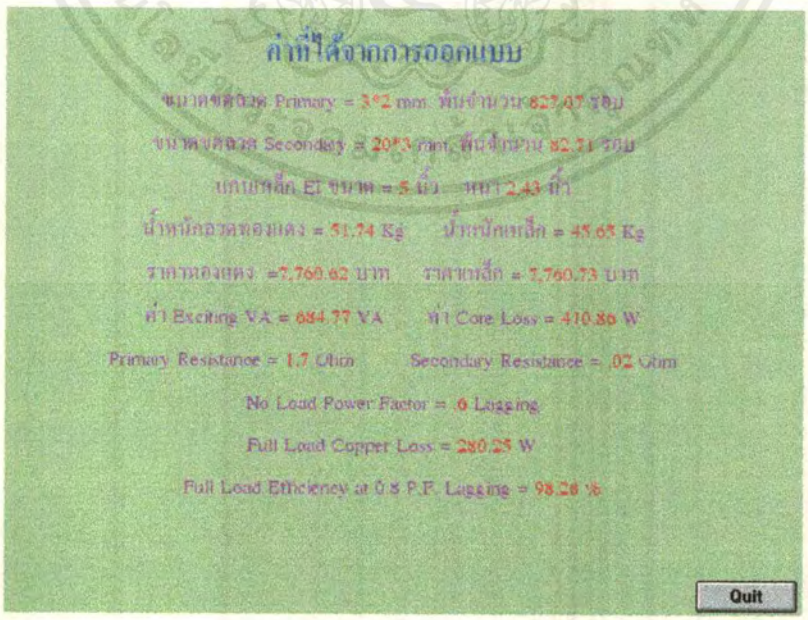
11.2.9 ในส่วนของการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า ผู้เรียนสามารถเข้ามาศึกษาทฤษฎีและวิธีการออกแบบโดยไม่ต้องทำแบบทดสอบ แต่ทางคณะผู้จัดทำได้จัดทำโปรแกรมสำหรับการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ผู้เรียนสามารถป้อนค่าต่างๆที่ต้องการให้กับโปรแกรม แล้วให้โปรแกรมทำการออกแบบหม้อแปลงให้มีราคาต่ำที่สุดพร้อมทั้งคำนวนหาค่า PARAMETER ต่างๆของหม้อแปลง สำหรับการป้อนค่า PARAMETER ให้โปรแกรมและการแสดงผลของการคำนวณต่างๆ แสดงดังรูปที่ 11.8 , 11.9 , 11.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11.8 ในส่วนของการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า

รูปที่ 11.9 แสดงการป้อนค่า PARAMETER ต่างๆ



รูปที่ 11.10 แสดงการรายงานค่าต่างๆในการออกแบบหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 12
บทวิจารณ์และสรุป

จากการที่ได้นำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการศึกษาเรื่องหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ผู้ใช้สามารถเข้ามาศึกษาได้ด้วยตนเองแล้วตัวโปรแกรมยังสามารถทดสอบความรู้ของผู้ใช้เมื่อจบแต่ละบท และสามารถประเมินผลคะแนนทั้งหมดเมื่อผู้ศึกษาเรียนจบบทเรียนทั้งหมด หากเมื่อผู้ใช้ต้องการออกจากโปรแกรม โปรแกรมยังสามารถบันทึกข้อมูลของผู้ใช้ไว้ได้ เพื่อจะเข้ามาศึกษาต่อที่บทที่เคยศึกษาถึง

จากโปรแกรม AuthorWare ที่ทางกลุ่มได้เลือกนำมาใช้ในการทำสื่อการสอน มีความสามารถในการสร้างงานลักษณะนี้ได้ดี แต่ขนาดของไฟล์(File) จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ จึงไม่ค่อยเหมาะสมกับงานที่มีขนาดใหญ่มาก เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บโปรแกรม

ในส่วนของเนื้อหาที่ได้เรียบเรียงขึ้นนั้น คาดว่าผู้ที่เข้าศึกษาควรจะได้รับความรู้เกี่ยวกับพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า , ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง , โครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ , ความแข็งแรงของหม้อแปลงไฟฟ้าขณะเกิดการลัดวงจร , การป้องกันหม้อแปลง , คุณสมบัติทางความร้อนและวิธีการระบายความร้อนในหม้อแปลง ,เทคนิคการต่อและขนานหม้อแปลง และ การบำรุงรักษาหม้อแปลง ซึ่งจะมีทั้งส่วนที่เป็นคำบรรยาย การคำนวณ รูปภาพประกอบกัน คำภาษาไทยบางคำที่แปลมาจากคำภาษาอังกฤษ ผู้ใช้ควรอ้างอิงจากคำภาษาอังกฤษ เพื่อให้ความเข้าใจได้ตรงความหมายยิ่งขึ้น

สำหรับเนื้อหาในส่วนสุดท้ายจะเป็นการคำนวณการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส โดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะได้ขนาดแกนเหล็กและขนาดขดลวด เบอร์ลวดตัวนำ รวมถึงราคาของหม้อแปลงซึ่งจะได้ราคาที่ประหยัดที่สุด แต่โปรแกรมจะมีขีดจำกัดซึ่งไม่ยืดหยุ่นในด้านชนิดของแกนเหล็ก ชนิดของขดลวดที่นำมาใช้ และหม้อแปลงที่คำนวณได้จะเป็นหม้อแปลง 1 เฟส ค่าที่คำนวณได้จะเป็นค่าโดยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายบทที่ 1 (หลักการของหม้อแปลงไฟฟ้าเบื้องต้น)

<u>ตอนที่ 1</u>

1. ข้อใดคือสมการ Induced emf. (E_{rms})
   - ก) 4.44 f.N. B_{max} A_c
   - ข) 4.44 f.N.ϕ.A
   - ค) 4.44 f.N. ϕ_{max}
   - ง) ข้อ ก,ค ถูก

2. หม้อแปลง 1-ϕ ตัวหนึ่ง มีจำนวนรอบทาง Primary 500 รอบ และทาง Secondary 1000 รอบ เมื่อใส่ไฟ 500 V เข้าไปทาง Primary ความถี่เท่ากับ 50 Hz ถ้าหม้อแปลงมีพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กทั้งหมดเท่ากับ 56 cm^2 จงหาความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก(Flux Density) ที่มากที่สุด
   - ก) 0.805 wb/m^2
   - ข) 4.504×10^3 wb/m^2
   - ค) 1.2 wb/m^2
   - ง) 1.5 wb/m^2

3. หม้อแปลง 1-ϕ 2000/100 V: 50 Hz มีพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กทั้งหมดเท่ากับ 400 cm^2 และมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก 1.2 wb/m^2 จงคำนวณหาว่า จำนวนรอบของขดลวดทั้งสองด้านเป็นเท่าใด
   - ก) 200 กับ 10 รอบ
   - ข) 310 กับ 10 รอบ
   - ค) 188 กับ 9 รอบ
   - ง) 200 กับ 5 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ข้อใดคือค่าการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า

ก) Core Loss

ข) Magnetic Leakage

ค) Copper Loss

ง) ถูกทุกข้อ

5. หม้อแปลงไฟฟ้าตัวหนึ่ง 2200/200 V กินไฟไป 400 W โดยมีกระแสไฟไหลผ่านขด Primary 0.6 A ขณะ No Load จงหากระแสที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก และเสียไปที่แกนเหล็ก

ก) 0.572 และ 0.182 A

ข) 0.565 และ 0.2 A

ค) 0.4 และ 0.2 A

ง) 0.6 และ 0 A

6. กระแสขณะหม้อแปลง No Load คือข้อใด

ก) Hysteresis and Eddy Current

ข) Eddy Current

ค) Hysteresis, Eddy Current and Magnetizing Current

ง) ผิดทุกข้อ

7. เพราะเหตุใด กระแสที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กในหม้อแปลง จึงไม่ใช่รูป Sinusoial Wave อย่างแท้จริง

ก) เพราะมี Hysteresis เกิดขึ้นในแกนเหล็ก

ข) เพราะกระแสมีค่าน้อยมาก

ค) เพราะขนาดหม้อแปลงใหญ่มาก

ง) ถูกทุกข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. หม้อแปลงขณะ No Load จะยังไม่มีกระแส Load เมื่อต่อ Load เข้าไป กระแส Load จะเพิ่มขึ้น และกระแสกระตุ้นจะเป็นอย่างไร

ก) เพิ่มขึ้น

ข) ลดลง

ค) ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง

ง) ไม่แน่นอน

9. ถ้าเพิ่มค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กขึ้นไปมากๆ จนถึงช่วงแกนเหล็กอิ่มตัว(Saturated Region) ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กจะเป็นอย่างไร

ก) ไม่แน่นอน

ข) เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ค) ลดลงเรื่อย ๆ

ง) ลดลงอย่างรวดเร็ว

10. วงจรแม่เหล็กวงจรหนึ่งมีขดลวดพันอยู่ 100 รอบ และมีความต้านทานแม่เหล็ก 1.5×10^{6} At/wb จงหาค่าความเหนี่ยวนำ

ก) 150 H

ข) 1.5×10^{-3} H

ค) 6.66×10^{-3} H

ง) 6.66 H

11. ข้อใดคือวิธีแก้ Eddy Current Loss

ก) ใช้แกนเหล็กแผ่นบาง ๆ (Laminate) และมีน้ำยาที่เป็นฉนวนเคลือบ

ข) ใช้แกนเหล็กที่มีความต้านทานแม่เหล็กต่ำ ๆ

ค) เลือกแกนเหล็กที่มีค่า (B) ต่ำ ๆ

ง) เพิ่มจำนวนรอบของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ถ้านำหม้อแปลง 60 Hz มาใช้งานกับระบบไฟฟ้า 50 Hz จะส่งผลอย่างไร

ก) ความร้อนที่เกิดขึ้นจะน้อยลง

ข) ปกติไม่มีผล

ค) เส้นแรงแม่เหล็กมีค่าเพิ่มขึ้น

ง) ลดค่าการสูญเสียในแกนเหล็ก

13. เราทำการทดสอบ Short Circuit และ Open Circuit เพื่อหาค่าอะไร

ก) Hysteresis และ Eddy Current

ข) ความคงทนของหม้อแปลง

ค) ความเข้มและความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก

ง) หาค่า Series Impedance กับค่า R_c และ jX_m

14. ข้อใดคือลักษณะของหม้อแปลง 3-Phase Core Type เมื่อเทียบกับ 3-Phase Bank

ก) ไม่เหมาะกับการติดตั้งภายนอก

ข) ราคาแพง

ค) กระแสกระตุ้น I_ϕ จะไม่เท่ากันทั้ง 3-ϕ

ง) ถูกทุกข้อ

15. หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 2 ขดลวดแยกจากกัน 1-ϕ ขนาด 50 kVA 2400/200 V นำมาต่อเป็น Auto Transformer มีพิกัดทาง Primary 2600 V และทาง Secondary 2400 V จงหาพิกัดกระแสทางด้าน Secondary

ก) 270.83 A

ข) 250 A

ค) 20.83 A

ง) 225.17 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. จากข้อ 15 จงหาพิกัดกำลัง ทั้ง Primary และ Secondary

ก) 600 kVA

ข) 50 kVA

ค) 650 kVA

ง) 550 kVA

17. หม้อแปลงแบบ 2 ขดลวดแยกจากกัน เมื่อนำมาต่อเป็น Auto Transformer จะเป็นอย่างไร

ก) ฉนวนจะเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

ข) Loss จะเพิ่มขึ้น

ค) ช่วยป้องกัน Surge ที่เกิดจากฟ้าผ่า

ง) จ่ายกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น

18. หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ มีอัตราส่วนระหว่างขดลวด Primary และ Secondary เป็น 100/200 V จงหา Output Current และ Output Power เมื่อต่อกับ Load 12+j5.5 Ω

ก) 75.75 A, 68,870 W

ข) 75.75 A, 13,772 W

ค) 15.15 A, 13,772 W

ง) 15.15 A, 2,755 W

19. จากข้อ 18 จงหา Input Current และ Input Power

ก) 37.9 A, 68,870 W

ข) 37.9 A, 13,772 W

ค) 7.6 A, 13,772 W

ง) 7.6 A, 2,755 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. Polarity Test เป็นการทดสอบเพื่อหาอะไร

ก) ขั้วหรือทิศทางของศักดาไฟฟ้า

ข) Resistance กับ Inductance

ค) ค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก

ง) ค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก

21. การทดสอบ Polarity Test มีประโยชน์อย่างไร

ก) ในการต่อขนานหม้อแปลงหรือต่อหม้อแปลง 3-ϕ

ข) หาประสิทธิภาพของหม้อแปลง

ค) หาขนาดของหม้อแปลง

ง) ได้วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลง

<u>คำตอบ</u> **1.) ค , 2.) ก , 3.) ค , 4.) ง , 5.) ข , 6.) ค , 7.) ก ,**
8.) ค , 9.) ข , 10.) ค , 11.) ก , 12.) ค , 13.) ง , 14.) ค ,
15.) ก , 16.) ค , 17.) ง , 18.) ง , 19.) ง , 20.) ก , 21.) ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2

1. หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดคมคติ (Ideal Transformer) $N_1 : N_2 = 400 : 200$ เมื่อทางด้าน Primary ต่อกับแรงดันพิกัด และต่อ Load เท่ากับ 20 Ω ให้หา

   1.1 Input Current (5 A)

   1.2 Output Current (10 A)

   1.3 Input Power (2000 VA)

   1.4 Output Power (2000 VA)

2. หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 500 kVA ; 2400/480 V ; 50 Hz มีค่า Impedance ต่าง ๆ ดังนี้ R1 = 0.058 Ω, X11 = 0.29 Ω, R2 = 0.002 Ω, X12 = 0.012 Ω, RC = 2000 Ω, Xm = 400 Ω, เมื่อนำ Load มาต่อทาง Secondary ให้มีกระแสเท่ากับพิกัดที่ 0.866 Powerfactor Lagging โดยแรงดันที่ขั้วทาง Secondary อยู่ที่พิกัด จงหา

   2.1 ขนาดของศักดาไฟฟ้าป้อนเข้า (2483 V)

   2.2 ขนาดของกระแสไฟฟ้าป้อนเข้า (212.2 A)

   2.3 Input Power Factor (0.835 Lagging)

   2.4 Transformer Efficiency (98.36 %)

   2.5 % Voltage Regulation (3.4 %)

3. หม้อแปลงไฟฟ้าแบบแยกขดจากกัน 1- Phase ขนาด 100 kVA 11500/2300 V นำมาต่อเป็นหม้อแปลงแบบออโต ที่มีพิกัดแรงดันทางด้าน Primary 13800 V ทางด้าน Secondary 11500 V ให้คำนวณหา

   3.1 พิกัดของกระแสไฟฟ้าทางด้าน Secondary (52.2 A)

   3.2 พิกัดกำลังไฟฟ้าทางด้าน Primary (600 kVA)

   3.3 พิกัดกำลังไฟฟ้าทางด้าน Secondary (600 kVA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายบทที่ 2 (ชนิดของหม้อแปลง)

1. Auto-transformer แตกต่างจาก Isolating transformer อย่างไร
   ก. ขนาดจะใหญ่กว่า เมื่อระดับพิกัดกำลังเท่ากัน
   ข. ขดลวดทั้งด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ มีการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า
   ค. มีกำลังสูญเสีย(loss)มากกว่า ในระดับพิกัดกำลังเท่ากัน
   ง. ถูกทุกข้อ

2. หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแห้ง(dry type) มีการระบายความร้อนอย่างไร
   ก. มีหม้อน้ำช่วยระบายความร้อน
   ข. ใช้แผงครีบโลหะ
   ค. ระบายสู่อากาศโดยตรง
   ง. ฝังท่อน้ำมันไว้ในขดลวด

3. ในหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดหล่อแห้ง(cast resin type) มีความจำเป็นอย่างไร จึงต้องลดฟองอากาศในเนื้อเรซิน
   ก. เนื้อเรซินอาจจะเปราะได้
   ข. ป้องกันการเกิด Partial discharge
   ค. ลดค่ากำลังสูญเสีย(loss)
   ง. ให้ Fiber glass ยึดติดกับขดลวดได้

4. หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดหล่อแห้ง(cast resin type) ถ้าไม่หล่อในสูญญากาศ จะสามารถทำโดยวิธีใดทดแทนได้
   ก. หล่อในห้องปรับความดันสูง
   ข. ใช้กระดาษอิ่มน้ำมันพันรอบ
   ค. เคลือบด้วยวาร์นิช
   ง. พันโดยเสริมใยแก้วพร้อมเรซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดหล่อแห้ง(cast resin type) เหมาะกับการใช้งานที่ใด

ก. ในสถานีไฟฟ้าย่อย

ข. ในที่ที่มีความชื้นสูง

ค. ภายในอาคาร

ง. ในโรงงานอุตสาหกรรม

6. เหตุใดหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดก๊าซ SF_6 จึงไม่นิยมใช้แพร่หลาย

ก. มีราคาแพง

ข. มีปัญหาทางมลภาวะ

ค. เกิดปัญหาข้อขัดข้องบ่อย

ง. ถูกทุกข้อ

7. ข้อดีของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดก๊าซ SF_6 คือข้อใด

ก. มีขนาดเล็ก

ข. รับแรงที่เกิดจากการรับวงจรได้ดี

ค. ทนแรงดันไฟฟ้าได้สูง

ง. ถูกทุกข้อ

8. เพราะเหตุใดจึงมีการใช้ Silicon liquid แทน Askarel

ก. ราคาถูก

ข. ลดปัญหาทางมลภาวะ

ค. ไม่ติดไฟ

ง. ทนแรงดันไฟฟ้าได้สูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Askarel มีข้อดีกว่า Mineral oil คือ

ก. ทนการลัดวงจรดีกว่า

ข. สะดวกในการบำรุงรักษา

ค. ราคาถูกกว่า

ง. ไม่ติดไฟ

10. ลักษณะเด่นของหม้อแปลงแบบ Conservator คืออะไร

ก. จะมีถังน้ำมันสำรองบนตัวถังหม้อแปลง

ข. ไม่ต้องใช้ Silica gel

ค. แยกเป็นเฟสละ 1 ตัว

ง. ตัวถังมีขนาดใหญ่

11. หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดใดที่นิยมใช้มากที่สุดในระบบไฟฟ้ากำลัง

ก. ชนิดหล่อแห้ง

ข. ชนิดแช่ในน้ำมัน

ค. ชนิดก๊าซ SF_6

ง. ชนิดแห้ง

12. หม้อแปลงแบบ hermetically seal tank มีลักษณะเด่นอย่างไร

ก. มีราคาถูก

ข. มีกำลังสูญเสียน้อย

ค. ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

ง. ทนต่อแรงทางกล ที่เกิดจากการลัดวงจรภายในหม้อแปลง

<u>คำตอบ</u> **1.) ข , 2.) ค , 3.) ข , 4.) ง , 5.) ค , 6.) ก ,**
7.) ง , 8.) ข , 9.) ง , 10.) ก , 11.) ข , 12.) ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายบทที่ 3 (โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า)

1. เหล็กที่นำมาทำเป็นตัวถังหม้อแปลง ต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ
   - ก. มีความต้านทานไฟฟ้าสูง
   - ข. ไม่เป็นสื่อแม่เหล็ก
   - ค. ทนต่อไอเค็มบริเวณชายทะเล
   - ง. มีเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนสูง

2. ถ้าหม้อแปลงติดตั้งในบริเวณที่มีความชื้นสูงหรือชายทะเล ตัวถังหม้อแปลงควรมีลักษณะอย่างไร
   - ก. เป็นตัวถังแบบ seal tank
   - ข. ความหนาของสีที่ทาควรมีมากกว่าปกติ
   - ค. เป็นตัวถังเหล็กหล่อ
   - ง. ความหนาของตัวถังต้องเพิ่มขึ้น

3. น้ำมันที่ใช้ในหม้อแปลงมีหน้าที่อะไร
   - ก. ระบายความร้อนและป้องกันความชื้น
   - ข. เป็นฉนวน และป้องกันความชื้น
   - ค. เป็นฉนวนและระบายความร้อน
   - ง. ถูกทุกข้อ

4. ถ้าในน้ำมันหม้อแปลง เกิดมีความชื้นอยู่จะส่งผลอย่างไร
   - ก. ค่าความเป็นฉนวนลดลง
   - ข. ความร้อนจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว
   - ค. ปริมาณของน้ำมันจะขยายตัว
   - ง. ถูกทุกข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ถังรองรับน้ำมันมีหน้าที่อะไร

ก. รองรับการขยายตัวของน้ำมันหม้อแปลง

ข. กรองความชื้น

ค. ช่วยในการระบายความร้อน

ง. เก็บก๊าซไนโตรเจน

6. silica gel เมื่อเสื่อมคุณภาพจะมีลักษณะอย่างไร

ก. เป็นสีดำจุดๆ คล้ายราขึ้น

ข. มีสีชมพู

ค. ระเหยออกไปหมด

ง. กลายเป็นสีฟ้า

7. ลิ้นระบายความดันมีประโยชน์อย่างไร

ก. ช่วยระบายความดันของก๊าซที่สูงขึ้น เมื่อเกิดการลัดวงจรภายในของหม้อแปลง

ข. ช่วยในการเปลี่ยนน้ำมันหม้อแปลง

ค. คายความชื้นออก

ง. ปรับความดันภายในถังรองรับน้ำมันให้เท่ากับภายในถังหม้อแปลง

8. ตำแหน่งของตัวจับความร้อนของเทอร์โมมิเตอร์ ควรจะติดตั้งอยู่บริเวณใด

ก. ตรงบริเวณที่ร้อนที่สุดของหม้อแปลง

ข. ตรงบริเวณน้ำมันด้านบนของถังหม้อแปลง

ค. ระหว่างขดลวดแรงสูงและแรงต่ำ

ง. ถูกทุกข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การวัดอุณหภูมิขดลวด อาศัยหลักการใด

ก. พิจารณาจากความร้อนของน้ำมันหม้อแปลง

ข. เปรียบเทียบจากปริมาณกระแสที่ไหล

ค. ติดตัวจับความร้อนไว้ที่ขดลวดด้านในสุด

ง. สามารถใช้หลักการใดก็ได้

10. ข้อใดคืออุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลง

ก. Buchholz relay

ข. Thermometer

ค. Dessicator

ง. Current transformer

11. RADIATOR คืออะไร

ก. เป็นอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงชนิดหนึ่ง

ข. เป็นเครื่องส่งสัญญาณเตือน

ค. อุปกรณ์ที่รับความร้อนจากน้ำมัน แล้วส่งต่อให้อากาศรอบๆ

ง. วาล์วควบคุมการไหลของน้ำมัน

12. ปลอกนำสายชนิดใดเหมาะสมกับแรงดันไฟฟ้าสูงๆ

ก. POTHEAD

ข. POTHEAD กับ OIL FIELD

ค. CONDENSER

ง. CONDENSER กับ OIL FIELD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. เทคนิคทางฉนวนของปลอกนำสายชนิด CONDENSER คือข้อใด

ก. กระดาษเบกาไลซ์ สลับแผ่นตะกั่วบางๆ เป็นชั้นๆ

ข. ทำมาจาก PORCELAIN ทั้งหมด

ค. เคลือบภายนอกด้วยน้ำยากันความชื้น

ง. ใช้ FIBER ผสม RESIN

14. ในระบบแรงดันไฟฟ้าสูงๆ การต่อสายลีดกับปลอกนำสาย ต้องระวังอะไร

ก. ความชื้น

ข. ความแตกต่างของวัสดุที่เป็นตัวนำ

ค. การเกิดโคโรนา

ง. การเคลือบผิวฉนวน

15. จุดประสงค์ของการเปลี่ยนแท็ปคืออะไร

ก. เพื่อการขนานหม้อแปลง

ข. รักษาค่า Ratio

ค. เพิ่มพิกัดการจ่ายโหลด

ง. รักษาแรงดันไฟฟ้า ให้อยู่ในระดับมาตราฐาน

16. ในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง การเปลี่ยนแทปส่วนใหญ่จะเป็นแบบใด

ก. OFF - LOAD TAP - CHANGER

ข. ON - LOAD TAP - CHANGER

ค. MANUAL TAP - CHANGER

ง. ข้อ ก. และ ข. ถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. วัสดุที่ใช้ทำแกนเหล็กควรมีลักษณะอย่างไร

ก. ไม่เป็นสนิม

ข. มี HYSTERISIS ต่ำ

ค. มีส่วนผสมคาร์บอนสูง

ง. ถูกทุกข้อ

18. การสูญเสียในแกนเหล็ก (CORE LOSS) ส่วนมากเกิดจากสาเหตุใด

ก. การออกแบบแกนเหล็ก

ข. ขั้นตอนการผลิต

ค. คุณสมบัติของวัสดุที่ทำ

ง. การพันขดลวด

19. สายตัวนำที่ทำ Winding ชนิดหน้าตัดสี่เหลี่ยมเหมาะกับหม้อแปลงลักษณะใด

ก. หม้อแปลงชนิดหล่อแห้ง

ข. หม้อแปลงที่รับภาระสูงๆ

ค. หม้อแปลงในระบบ distribution

ง. หม้อแปลงที่ต้อง ON - OFF บ่อยๆ

20. ฉนวนของเส้นลวดตัวนำขนาด 3 มม. ถ้าต้องการให้ทนความร้อนมากขึ้นต้องพัน ด้วยอะไร

ก. CABLE PAPER

ข. VINIFLEX

ค. CAPRONE

ง. FIBER GLASS

<u>คำตอบ</u> **1.) ข , 2.) ข , 3.) ค , 4.) ก , 5.) ก , 6.) ข , 7.) ก , 8.) ง , 9.) ข , 10.) ก , 11.) ค , 12.) ง , 13.) ก , 14.) ค , 15.) ง , 16.) ข , 17.) ข , 18.) ค , 19.) ข , 20.) ง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายบทที่ 4 (ความแข็งแรงของหม้อแปลงขณะเกิดฟอลท์)

1. ในการออกแบบ ฉนวนให้ทนต่อแรงดัน จะต้องออกแบบให้การต่อแรงดันชนิดใดบ้าง
   - ก. แรงดันขณะใช้งาน
   - ข. แรงดันเด้นชั่วขณะ
   - ค. แรงดันขณะสับเปลี่ยน switch
   - ง. ถูกทุกข้อ

2. ค่าแรงดันเกิน OVER VOLTAGE เกิดจากอะไรได้บ้าง
   - ก. การปิดเปิด SWITCH ขณะ ON LOAD
   - ข. การปิดเปิด SWITCH ขณะ OFF LOAD
   - ค. เกิดจากฟ้าผ่า
   - ง. ถูกทุกข้อ

3. ค่าแรงดันที่เกิดชั่วขณะมากกว่า PHASE VOLTAGE 3-4 เท่า เรียกว่าอะไร
   - ก. SWITCH SURGE VOLTAGE
   - ข. LIGHTNING SURGE VOLTAGE
   - ค. PARTIAL DISCHANGE VOLTAGE
   - ง. CORONA DISCHANGE VOLTAGE

4. ค่าแรงดันที่เกิดชั่วขณะมากกว่า PHASE VOLTAGE 10 เท่า เรียกว่าอะไร
   - ก. SWITCH SURGE VOLTAGE
   - ข. LIGHTNING SURGE VOLTAGE
   - ค. PARTIAL DISCHANGE VOLTAGE
   - ง. CORONA DISCHANGE VOLTAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การเกิด CORONA DISCHANGE หรือ PARTIAL DISCHARGE จะเกิดจากสภาวะใด
   ก. SWITCHING VOLTAGE
   ข. LIGHTNING SURGE VOLTAGE
   ค. แรงดันขณะใช้งาน
   ง. เกิดจากสภาวะ OFF - LOAD

6. การทำให้ ฉนวนล้มเหลว ด้วยการเจาะฉนวนให้ทะลุ เกิดจากสภาวะใด
   ก. SWITCHING VOLTAGE
   ข. LIGHTNING SURGE VOLTAGE
   ค. แรงดันขณะใช้งาน
   ง. เกิดจากสภาวะ OFF - LOAD

7. ในหม้อแปลงแบ่งส่วนของฉนวนออกเป็นอะไรบ้าง
   ก. ฉนวนชั้น ใน,กลาง และนอก
   ข. ฉนวนชั้น ใน และนอก
   ค. ฉนวนส่วน บน และ ล่าง
   ง. ฉนวนของเหลว และ ฉนวนของแข็ง

8. ส่วนใดเป็นฉนวนภายนอกของหม้อแปลง
   ก. น้ำมัน
   ข. สายต่อ
   ค. ฉนวนระหว่างขดลวด
   ง. ฉนวนของขดลวดเทียบกับดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. คลื่นชนิดติดจะมีผลต่อฉนวนภายในของขดลวด ส่วนที่ส่งผลมากที่สุด

ก. (AMPLITUDE) ขนาดของแรงดัน

ข. τ_{rise} เวลาหน้าคลื่น

ค. τ_{d} ระยะเวลาของคลื่นตัด

ง. τ_{tail} ระยะเวลาหางคลื่น

10. ข้อใดมิใช่กลไกลที่ทำให้ฉนวนล้มเหลว

ก. การเกิด STREAMER ในของเหลว

ข. การเกิด AVALANCHE ในของแข็ง

ค. การเกิด STREAMER ในของแข็ง

ง. ถูกทุกข้อ

11. สาเหตุที่ทำให้เกิดการลัดวงจรในหม้อแปลงส่วนใหญ่ เกิดจากสาเหตุใด

ก. ตะกอน

ข. ความร้อนที่เกิดจากการสูญเสียในทองแดง

ค. ความชื้นในน้ำมัน

ง. แรงดันเกิน

12. การป้องกันคลื่นแรงดันเกินทำได้อย่างไรบ้าง

ก. ติดตั้งอุปกรณ์กับดักฟ้าผ่า (LIGHTNING ARRESTER)

ข. วางสายล่อฟ้าที่ต่อกับดินไว้ข้างบนสุดของเสาสายส่ง

ค. เพิ่มความแข็งแรงให้กับฉนวนของขดลวดที่ต่อจากภายนอก

ง. ถูกทุกข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ฉนวนชนิด BARRIER TYPE แตกต่างจากฉนวนชนิด SOLID TYPE อย่างไร

ก. มีความหนาของฉนวนมากกว่า

ข. ใช้กระดาษ KRAFT PAPER เป็นฉนวน

ค. มีช่องว่างน้ำมันสลับกับของแข็ง

ง. ใช้ PRESS BOARD สลับ KRAFT PAPER

14. ช่วงเวลา τ_{rise} RISE TIME ของคลื่นแรงดันที่มีผลต่อฉนวน มีค่าประมาณเท่าใด

ก. $2 * 10^{-6}$ วินาที

ข. $20 * 10^{-6}$ วินาที

ค. $1.5 * 10^{-6}$ วินาที

ง. $15 * 10^{-6}$ วินาที

15. ข้อใดคือกลไกที่ทำให้ฉนวนในหม้อแปลงล้มเหลว

ก. ELECTRON AVALANCHE ในของแข็ง

ข. ELECTRON AVALANCHE ในของเหลว

ค. STREAM FORMATION ในของเหลว

ง. FLASH OVER

16. การเกิดการปล่อยประจุโคโรน่าจะเกิดขึ้นในส่วนใดของหม้อแปลง

ก. SHIELD RING

ข. OIL GAPS

ค. SOLID INSULATION

ง. PRESS BOARD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. ฉนวนในข้อใดไม่มีความคงทนต่อการปล่อยประจุไฟฟ้ามากที่สุด

ก. กระดาษสีน้ำตาล

ข. กระดานอัด

ค. กระดาษโนเมกซ์

ง. ฟิล์มพลาสติก

18. ข้อใดกล่าวถูกต้อง

ก. ความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ถ้าสูงขึ้นมีผลทำให้ฉนวนล้มเหลวได้ง่ายขึ้น

ข. อุณหภูมิไม่มีผลต่อการล้มเหลวของฉนวน

ค. PULSE ของกระแสที่จ่ายด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจะไม่ขึ้นกับความถี่

ง. สภาวะภายนอกไม่มีผลต่อความคงทนของฉนวน

19. การทดสอบด้วยแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (INDUCED POTENTIAL TEST)เป็นการทดสอบหาความแข็งแรงของฉนวนอะไร

ก. ฉนวนระหว่างขดลวดกับดิน

ข. ฉนวนระหว่างขดลวดหนึ่งขดกับตัวถัง

ค. ฉนวนระหว่างขดลวดหนึ่งขดกับขดลวดอื่น

ง. ฉนวนระหว่างรอบของขดลวด

20. เพราะเหตุใดฉนวนของขดลวดที่อยู่ใกล้สายต่อจะต้องมีความแข็งแรงของฉนวนไฟฟ้าค่อนข้างสูงกว่าฉนวนของขดลวดบริเวณอื่นๆ

ก. มีโอกาสถูกสัมผัสมากกว่า

ข. ระดับแรงดันเริ่มต้นบริเวณต้นขดลวดมีค่าสูงกว่าบริเวณอื่นๆ

ค. ค่าเก็บประจุระหว่างขดลวดกับดินมีค่าสูง

ง. มีการต่อ TAP CHANGER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21. การป้องกันภายในเนื่องจากกรณีแรงดันเกิน ในการออกแบบมีหลักการอย่างไรบ้าง

ก. เพิ่มความแข็งแรงของฉนวน

ข. แบ่งระดับแรงดันเริ่มต้นให้อยู่ในลักษณะที่สม่ำเสมอ

ค. เพิ่มความแข็งแรงของฉนวนกับแบ่งแรงดันเริ่มต้นให้อยู่ในลักษณะที่สม่ำเสมอ

ง. ติดอุปกรณ์กับดักฟ้าผ่า

22. ถ้าเป็นขดลวดชนิดเดียวแต่พันสองชั้นเป็นตัวนำสี่เหลี่ยมฉนวนระหว่างชั้นจะต้องมีข้อแม้อย่างไร

ก. ใช้กระดานอัดแช่น้ำมัน

ข. มีระยะห่างไม่ต่ำกว่า 5 ม.ม.

ค. มีท่อน้ำมันระบายความร้อนกว้าง 10 ม.ม.

ง. แรงดันตกคร่อมระหว่างขดลวดทั้งสองชั้น ไม่เกิน 1 kV ในลักษณะปกติ

23. ข้อใดไม่ใช่วิธีการลดค่าประจุไฟฟ้าระหว่างขดลวดกับดิน

ก. SCREENNING TURNS

ข. ใช้แผ่น SCREENNING ระหว่างชั้นของขดลวด

ค. ใช้ขดลวดชั้น

ง. ต่อตัวถังลงดิน

24. ข้อเสียของวิธีการแบบ SCREENNING TURNS คืออะไร

ก. ไม่สามารถป้องกันขดลวดบริเวณตรงกลางได้

ข. ขดลวดจะมีความสูงมาก

ค. หม้อแปลงจะมีขนาดใหญ่ขึ้น สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

ง. การระบายความร้อนไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25. ความยาวแกนของท่อน้ำมันมีค่าเท่าใด

ก. 4 V_{COIL} / 1000 ม.ม.

ข. 6 V_{COIL} / 1000 ม.ม.

ค. 4 V_{COIL} / 1000 ซ.ม.

ง. 6 V_{COIL} / 1000 ซ.ม.

26. ตัวนำสองแท่งนำมาวางขนานกัน กระแสที่ไหลผ่านตัวนำทั้งสองมีทิศทางเดียว แรงที่เกิดระหว่างตัวนำทั้งสองมีลักษณะอย่างไร

ก. ขดลวดทั้งสองมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่เข้าหากัน

ข. ขดลวดทั้งสองมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ออกจากกัน

ค. ขดลวดทั้งสองมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ไปทางด้านบนหรือด้านล่าง

ง. ไม่สามารถคาดคะเนได้

27. ในหม้อแปลงขนาดเล็ก เราใช้ขดลวดพันเป็นรูปสี่เหลี่ยม แต่ถ้าขนาดของหม้อแปลงใหญ่ขึ้น เราทำอย่างไรให้หม้อแปลงมีความทนต่อแรงที่เกิดขึ้นจากการลัดวงจร

ก. เพิ่มระยะห่างของขดลวดแต่ละชุด

ข. เพิ่มระยะห่างของขดลวดแต่ละขด

ค. เพิ่มความหนาของฉนวน

ง. เปลี่ยนขดลวดพันเป็นรูปวงกลม

28. จากการทดลอง ทองแดงจะสามารถทนแรงดันได้สูงถึงเท่าไร

ก. 6800 กิโลพาสคาล

ข. 6895 กิโลพาสคาล

ค. 6980 กิโลพาสคาล

ง. 6500 กิโลพาสคาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

29. เพราะเหตุใดขดลวดด้านนอกจึงมีความสามารถในการป้องกันในการขยายตัวของขดลวดด้านในขณะเกิดลัดวงจร

ก. ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กรั่วด้านนอกจะน้อยกว่าด้านใน

ข. แรงที่กระทำน้อยกว่าเมื่อเกิดลัดวงจร

ค. รัดไม่ให้ขดด้านในขยายตัว

ง. ถูกทุกข้อ

30. วิธีการของเคล็ม (CLEM) เป็นการคำนวณหาอะไร

ก. แรงที่เกิดขึ้นเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนค่าเหนี่ยวนำ

ข. กระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจริง

ค. ค่าของแรงที่เกิดขึ้น ในกรณีที่ไม่คิดค่าสูญเสียที่แกนเหล็ก

ง. ฟลักซ์แม่เหล็กไฟฟ้าที่รั่วไหลออกมา

<u>คำตอบ</u> **1.) ง , 2.) ง , 3.) ก , 4.) ข , 5.) ก , 6.) ข , 7.) ข , 8.) ง , 9.) ก , 10.) ค , 11.) ค , 12.) ง , 13.) ค , 14.) ค , 15.) ก , 16.) ข , 17.) ง , 18.) ก , 19.) ง , 20.) ข , 21.) ค , 22.) ง , 23.) ง , 24.) ก , 25.) ข , 26.) ก , 27.) ง , 28.) ข , 29.) ง , 30.) ก**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายบทที่ 5 (การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง)

1. การลัดวงจรของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังส่วนใหญ่จะเป็นในลักษณะใด
   ก. การลัดวงจรที่แกนหลัก
   ข. การลัดวงจรระหว่างวงรอบของขดลวด
   ค. การลัดวงจรระหว่างเฟส
   ง. การลัดวงจรลงดิน

2. เพราะเหตุใดหม้อแปลงชนิดแช่ในน้ำมัน มักจะไม่เกิดการลัดวงจรที่แกนเหล็ก
   ก. มีฉนวนที่หนากว่าปกติ
   ข. น้ำมันมีคุณสมบัติเป็นฉนวน
   ค. น้ำมันมีคุณสมบัติในการระบายความร้อน
   ง. บุคโฮลซ์รีเลย์ จะ Trip ก่อน

3. ตระกัน (sludge) มีผลเสียอย่างไรต่อหม้อแปลง
   ก. ทำให้การระบายความร้อนไม่ดี
   ข. คุณภาพของน้ำมัน จะลดลง
   ค. เป็นสารไวไฟ
   ง. ไม่มีผลต่อหม้อแปลง

4. ข้อใดไม่ใช่ผลของความถี่ลดลงขณะที่ระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบเท่าเดิม
   ก. ความหนาแน่นของพลักซ์เพิ่มขึ้น
   ข. น้ำมันจะเกิดการแตกตัว
   ค. แกนเหล็กจะร้อนขึ้น
   ง. ฉนวนของน็อตยึดแกนเหล็กจะเสื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Inrush current คืออะไร

   ก. กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงขณะเกิดฟ้าผ่า

   ข. กระแสที่ไหลวนหล่อเลี้ยงอยู่ในตัวหม้อแปลง

   ค. กระแสขณะสับต่อตัวหม้อแปลงเข้าระบบ

   ง. กระแสกระตุ้นสร้างฟลักซ์ (flux)

6. การป้องกันฟลักซ์มากเกินไปทำได้อย่างไร

   ก. วัดจากอัตราส่วน E/f

   ข. วัดจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

   ค. ใช้บุคโฮลซ์รีเลย์

   ง. ใช้ Differential relay

7. การเกิดฟลักซ์เกินขนาดมีโอกาสเกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้าในลักษณะใดได้มากที่สุด

   ก. หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาด 100 kva ขึ้นไป

   ข. หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในสถานีไฟฟ้าย่อย

   ค. หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในระบบจำหน่าย

   ง. หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในลานไกไฟฟ้า

8. ข้อใดที่บุคโฮลซ์รีเลย์ไม่สามารถตรวจจับได้

   ก. ฟองก๊าซในน้ำมัน

   ข. การลัดวงจรอย่างรุนแรงที่ขดลวด

   ค. จุดเชื่อมต่อไม่ดีหรือชำรุด

   ง. การลัดวงจรลงดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. อุปกรณ์ใด สามารถป้องกันหม้อแปลงได้ในลักษณะเดียวกับบุคโฮลย์รีเลย์

ก. Differential Relay

ข. Sudden Pressure relay

ค. Fuse

ง. Overcurrent relay

10. หม้อแปลงขนาดเล็ก นิยมใช้อุปกรณ์อะไร ป้องกันกระแสเกิน

ก. Fuse

ข. Overcurrent relay

ค. Differential relay

ง. Lightning Arisfer

11. การป้องกันการจ่ายกระแสเกินขนาด อาจจะใช้อุปกรณ์อะไร

ก. Differential relay ได้

ข. บุคโฮลซ์รีเลย์

ค. Thermal relay

ง. Overcurrenti ground relay

12. การป้องกันการลัดวงจรจะลงดินแบบจำกัดบริเวณ จะป้องกันส่วนใดของหม้อแปลง

ก. ขดลวด

ข. ฉนวนภายใน

ค. แกนเหล็ก

ง. โครงสร้างโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. รีเลย์กระแสเกินแบบกระแสซีเควนซ์ศูนย์จะทำงานได้เมื่อไร

ก. กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงมากเกินพิกัด

ข. กระแสที่ไหลผ่านขดลวดทั้ง 3 ขดไม่เท่ากัน

ค. เกิดลัดวงจรที่ BUS

ง. ฉนวนของแกนเหล็กชำรุด

14. การใช้ Differential Relay ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงเรื่องใด

ก. อัตราส่วนการแปลง

ข. การเปลี่ยนแทป

ค. ชนิดของหม้อแปลง

ง. การต่อ $Y-\Delta$ ของหม้อแปลง

15. Differential Relay มีหลักการทำงานอย่างไร

ก. ตรวจจับปริมาณกระแสที่ไหลผ่าน

ข. เปรียบเทียบกระแสทางปฐมภูมิกับทุติยภูมิ

ค. แยกแยะฮาร์โมนิค จาก Inrush current

ง. ตรวจจับกระแสเรซิดวล (Residual Current)

16. ข้อใดไม่ใช่วิธีการแก้ปัญหา ในการป้องกันไม่ให้ Differential Relay ทำงานผิดพลาดขณะมี Inrush Current

ก. ต่อ Kick Fuse ขนาดกับรีเลย์

ข. ถ่วงเวลาทำงานการทำงานของรีเลย์ให้นานขึ้น

ค. ใช้วงจรทูน (tuned Circuit)

ง. ใช้ Overcurrent Relay เป็น back – up

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. ข้อไม่ใช่อุปกรณ์ป้องกันของหม้อแปลงแบบมี Conservator tank

ก. fuse

ข. Buchholz relay

ค. Overcurrent Relay

ง. Sudden Pressure Relay

18. การลัดวงจรในลักษณะใดมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยที่สุด

ก. การลัดวงจรที่แกนเหล็ก

ข. การลัดวงจรดิน

ค. การลัดวงจรระหว่างเฟส

ง. การลัดวงจรระหว่างวงรอบขดลวด

19. การป้องกันไม่ให้แรงดันทางกลที่เกิดจากการลัดวงจรอย่างรุนแรงทำให้ความเสียหายแก่หม้อแปลง ทำได้อย่างไร

ก. ออกแบบและสร้างหม้อแปลงให้สามารถทนต่อแรงดันได้

ข. ใช้ Overcurrent Relay

ค. ใช้ ท่อระบายความดัน

ง. ออกแบบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันแต่ละชนิดให้เหมาะสม

20. ข้อใดไม่ใช่เหตุผลที่นำฮาร์โมนิคที่ 2 มาพิจารณา ในการป้องกันความผิดพลาดในการทำงานของรีเลย์ผลต่าง

ก. มีค่าไม่น้อยกว่า 20 %

ข. มีลักษณะคล้ายความถี่ fundamental

ค. ในกระแสลัดวงจรจะไม่มี ฮาร์โมนิคลำดับนี้

ง. ฮาร์โมนิคที่ 3 ไม่สามารถไหลผ่าน CT. ได้

<u>คำตอบ</u> **1.) ข , 2.) ง , 3.) ก , 4.) ข , 5.) ค , 6.) ก , 7.) ง , 8.) ง , 9.) ข , 10.) ก , 11.)ค , 12.)ก , 13.) ข , 14.)ค , 15.) ข , 16.)ง , 17.)ง , 18) ค , 19.)ก , 20.) ข**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายบทที่ 6 (การระบายความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง)

1. ข้อใดเป็นไม่ใช่วิธีการระบายความร้อนของหม้อแปลงผึ่งอากาศ
   ก. ระบายความร้อนโดยอาศัยอากาศนำพาความร้อนไป
   ข. ระบายความร้อนโดยวิธีเพิ่มกำลังการหมุนเวียนอากาศ
   ค. ระบายความร้อนโดยทั้งวิธีธรรมชาติและเป่าลมช่วย
   ง. ระบายความร้อนโดยวิธีเพิ่มให้น้ำหมุนเวียน

2. วิธีการระบายความร้อนโดยวิธีเพิ่มกำลังการหมุนเวียนอากาศ ทำให้หม้อแปลงสามารถรับอัตรากำลังภาระมากกว่าการระบายความร้อนโดยอาศัยอากาศนำพาความร้อนออกไปประมาณสูงถึงกี่เปอร์เซนต์
   ก. 13%
   ข. 23 %
   ค. 33 %
   ง. 43 %

3. FOA มีความหมายเรียกว่าอย่างไร
   ก. เป็นหม้อแปลงชนิดแช่น้ำมัน ระบายความร้อนด้วยวิธีธรรมชาติ
   ข. หม้อแปลงชนิดแช่น้ำมัน ระบายความร้อนด้วยพัดลม
   ค. หม้อแปลงชนิดแช่น้ำมัน ระบายความร้อนด้วยอากาศและติดตั้งปั๊มน้ำมัน
   ง. หม้อแปลงชนิดผึ่งอากาศ ระบายความร้อนด้วยอากาศ

4. น้ำมันจะหมุนเวียนไปด้วยผลต่างระหว่างความหนาแน่นของน้ำมันที่เย็นและน้ำมันที่ร้อน เรียกการถ่ายเทความร้อนในลักษณะนี้เป็นวิธีอะไร
   ก. การนำความร้อน
   ข. การพาความร้อน
   ค. การนำพาความร้อน
   ง. การแผ่รังสีความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หม้อแปลงชนิดแช่น้ำมันมีน้ำระบายความร้อน ข้อใดถูกต้องที่สุด
   ก. ประสิทธิภาพหม้อแปลงค่อนข้างต่ำ
   ข. การบำรุงรักษาลำบาก
   ค. ถ่ายเทความร้อนออกจากน้ำมันได้รวดเร็ว น้ำมันราคาถูก
   ง. ถูกทุกข้อ

6. ตามมาตรฐานของ ANST ได้แบ่งชั้นฉนวนออกเป็น 4 ขั้น ดังนี้คือ
   ก. CLASS A, B, C, D
   ข. CLASS A, B, F, H
   ค. CLASS A, B, E, F
   ง. CLASS A, B, D, F

7. ปัจจัยที่มีผลต่อการแผ่รังสีของผิวหม้อแปลงคือข้อใด
   ก. อุณหภูมิของวัสดุที่จะแผ่รังสี และอุณหภูมิของอากาศรอบ ๆ
   ข. รูปทรงของถังหม้อแปลง
   ค. สภาพของผิววัสดุ
   ง. ถูกทุกข้อ

8. การถ่ายเทความร้อนในหม้อแปลงชนิดแช่น้ำมันตามลำดับคือข้อใด
   ก. การนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน
   ข. การพาความร้อน การนำความร้อน การแผ่รังสี
   ค. การนำความร้อน การแผ่รังสี การพาความร้อน
   ง. การพาความร้อน การแผ่รังสี การนำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ความร้อนจะระบายออกมาจากขดลวดหรือ ส่วนภายในของแกนไปยังผิวที่แช่อยู่ในน้ำมันเป็นการถ่ายเทความร้อน วิธีอะไร

ก. การพาความร้อน

ข. การนำความร้อน

ค. การแผ่รังสีความร้อน

ง. การนำพาความร้อน

10. ความร้อนจะถ่ายเทจากผนังภายนอกของหม้อแปลง ออกสู่อากาศรอบ ๆ ภายนอกเป็นการถ่ายเทความร้อน วิธีใด

ก. การพาความร้อน

ข. การนำความร้อน

ค. การแผ่รังสีความร้อน

ง. การนำพาความร้อน

11. ลักษณะใด ที่ทำให้การแผ่รังสีของหม้อแปลงมีค่าลดลง

ก. หม้อแปลงมีผิวเรียบ

ข. ผิวของหม้อแปลงทาสีที่เหมาะสม

ค. ถังของหม้อแปลงมีท่อระบายความร้อน

ง. ถูกทุกข้อ

12. ส่วนใดของหม้อแปลงที่มีอุณหภูมิสูงที่สุด

ก. ขดลวด

ข. ฉนวน

ค. น้ำมัน

ง. ตัวถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. ฉนวนชั้นที่สี่ (CLASS H) ยอมให้อุณหภูมิที่ขดร้อนสุดมีค่าเท่าไร

ก. 105 °C

ข. 150 °C

ค. 185 °C

ง. 220 °C

14. หม้อแปลงชนิดแช่น้ำมันที่เร่งระบายความร้อนด้วยปั๊ม มีข้อดีอย่างไร

ก. ถ้าท่อสั่ง จะไม่ทำให้น้ำเข้าไปผสมกับน้ำมัน

ข. ไม่ทำให้ ฉนวนน้ำมันเสีย และวงจรภายในหม้อแปลง

ค. ต้องติดตั้งปั๊มเพิ่มเติม

ง. ข้อ ก และ ข ถูกต้อง

15. ข้อใดต่อไปนี้ กล่าวไม่ถูกต้อง

ก. การพาความร้อนขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวทั้งหมดของท่อ แต่การแผ่รังสีมีแต่เฉพาะผิวภายนอกเท่านั้น

ข. สีที่มีคุณสมบัติแผ่รังสีความร้อนได้น้อย จะมีความสามารถในการดูดซึมความร้อนจากแสงอาทิตย์น้อยเช่นกัน

ค. สีอ่อนดีสำหรับในที่ร่ม และเลวสำหรับกลางแดด เนื่องจากการกระจายและดูดซึมความร้อนมีค่าต่ำ

ง. การเพิ่มขาของหม้อแปลงชนิดแช่น้ำมัน แบบผนังถังเรียบ ทำเพื่อมิให้อุณหภูมิของน้ำมันสูงเกินไป

16. ข้อใดไม่ใช้วิธีการระบายความร้อนของหม้อแปลงชนิดแช่น้ำมัน

ก. ระบายความร้อนโดยอาศัยอากาศนำพาความร้อนออกไป

ข. ระบายความร้อนโดยวิธีเพิ่มกำลังการหมุนเวียนอากาศ

ค. ระบายความร้อนโดยวิธีเพิ่มให้น้ำหมุนเวียน

ง. ไม่มีข้อใดถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. OFW มีความหมายว่าอย่างไร

ก. หม้อแปลงชนิดแช่น้ำมัน ติดตั้งเครื่องเร่งหมุนเวียนน้ำมัน ระบายความร้อนด้วยน้ำ

ข. หม้อแปลงชนิดแช่น้ำมัน ติดตังเครื่องเร่งหมุนเวียนน้ำ ระบายความร้อนด้วยน้ำ

ค. หม้อแปลงชนิดแช่น้ำมัน ติดตั้งเครื่องเร่งหมุนเวียนน้ำมัน ระบายความร้อนด้วยน้ำมัน

ง. หม้อแปลงชนิดผึ่งอากาศ ติดตั้งเครื่องเร่งหมุนเวียนน้ำ ระบายความร้อนด้วยน้ำ

18. หม้อแปลงที่ผนังถังมีครีบหรือแผ่นขึ้นออก เพื่อวัตถุประสงค์อะไร

ก. เพื่อเพิ่มความแข็งแรง

ข. เพื่อให้ได้รูปร่างสวยงาม

ค. เพื่อเพิ่มปริมาตรของหม้อแปลง

ง. เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวระบายความร้อน

19. หลังจากหม้อแปลงได้รับภาระ อุณหภูมิของหม้อแปลง จะมีค่าคงที่เมื่อไร

ก. เมื่อความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ขดลวดถ่ายเทความร้อนให้กับ วัสดุรอบ ๆจนมีค่าอุณหภูมิเดิม

ข. เมื่อความร้อนที่เพิ่มขึ้นที่ขดลวด เท่ากับความร้อนที่ระบายออก

ค. เมื่ออุณหภูมิของขดลวด เท่ากับ อุณหภูมิรอบ ๆ

ง. เมื่ออุณหภูมิของขดลวดเพิ่มจนถึงค่าสูงสุด

20. หม้อแปลงในระบบจำหน่ายใช้วิธีการระบายความร้อนที่ผนังกับแบบอะไร

ก. การนำความร้อน

ข. การพาความร้อน

ค. การแผ่รังสีความร้อน

ง. การนำพาความร้อน

<u>คำตอบ</u> **1.) ง , 2.) ข , 3.) ค , 4.) ข , 5.) ง , 6.) ข , 7.) ง , 8.) ก , 9.) ข , 10.) ค , 11.) ค , 12.) ก , 13.) ง , 14.) ง , 15.) ค , 16.) ง , 17.) ก , 18.) ง , 19.) ข , 20.) ค**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายบทที่ 7 (การต่อและขนานหม้อแปลง)

1. หม้อแปลง 1 เฟส ที่ขดลวดทางทุติยภูมิมี 2 ชุด จุดเชื่อมต่อของขดลวดทั้งสองจะต้องต่อลงดิน เพราะเหตุใด
   ก. เพื่อจำกัดแรงดันไฟฟ้าไม่ให้สูงเกิน
   ข. เป็นจุดนิวทรอล
   ค. เพิ่มพิกัดกำลังไฟฟ้า
   ง. ไม่จำเป็นจำเป็นจะต่อหรือไม่ต่อก็ได้

2. หม้อแปลง 1 เฟสในลักษณะใด ไม่สามารถนำมาต่อขนานกันได้เลย
   ก. ค่าเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ไม่เท่ากัน
   ข. ลักษณะเชิงขั้วของหม้อแปลงไม่เหมือนกัน
   ค. พิกัดกำลังไม่เท่ากัน
   ง. ถูกทุกข้อ

3. หม้อแปลงขนาด 50 KVA มีแรงดันทุติยภูมิ 100 V ต่อขนานกับหม้อแปลงขนาด 100 KVA มีแรงดันทุติยภูมิ 102 V หม้อแปลงทั้งสองมีเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ 4 % เท่ากัน จงหากระแสไหลวนเมื่อเทียบกับหม้อแปลงขนาด 50 KVA
   ก. 33.33 A
   ข. 83.35 A
   ค. 166.7 A
   ง. 500 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 100 KVA 2000/200 V มี % อิมพีแดนซ์ 4 % ต่อขนานกับหม้อแปลงขนาด 250 KVA 2000/200 V มี % อิมพีแดนซ์ 5 % ช่วยกันจ่ายโหลด 350 KVA จงหาว่าหม้อแปลงแต่ละตัวต้องจ่ายโหลดเท่าไร

   ก. 100 กับ 250 KVA

   ข. 175 กับ 175 KVA

   ค. 134.6 กับ 216.4 KVA

   ง. 166.7 กับ 233.3 KVA

5. มุมระหว่างเฟสของหม้อแปลง 2 เฟส เท่ากับเท่าใด

   ก. 90°

   ข. 120°

   ค. 150°

   ง. 180°

6. เพราะเหตุใดในระบบสายส่ง จึงไม่นิยมใช้หม้อแปลงต่อแบบ Y - Y

   ก. มีราคาแพงเกินไป

   ข. มีค่าความสูญเสียสูง

   ค. มีผลของฮาร์โมนิกที่ 3 รบกวน

   ง. ค่าของอิมพีแดนซ์ในระบบสายส่งจะสูง

7. ข้อใดคือข้อดีของการต่อหม้อแปลงแบบ Y - Y

   ก. ทนการลัดวงจรได้ดี

   ข. ลดค่าใช้จ่ายของฉนวนชดลวดลงได้

   ค. ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กของแกนเหล็กสูง

   ง. มีเสถียรภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. หม้อแปลงต่อแบบ Y - Y ถ้าจุดนิวทรอลของหม้อแปลงต่อลงดิน แต่ของระบบลอย โดยที่ค่าเก็บประจุของสายน้อยมากหรือเกือบไม่มีเลย ฮาร์โมนิคที่3 จะเป็นอย่างไร
   ก. จะปรากฏที่จุดนิวทรอลของหม้อแปลงและไม่เป็นอันตราย
   ข. ฮาร์โมนิกที่ 3 ที่จุดนิวทรอลจะมีค่าเป็น 66.7 % และที่สาย 33.33%
   ค. ค่าของฮาร์โมนิกที่ 3 จะมากจนถึงขีดอันตราย
   ง. จะปรากฏอยู่ที่ระหว่างสายส่งกับจุดนิวทรอล

9. หม้อแปลงต่อแบบ Δ - Δ ถ้าเฟสใดขัดข้องไม่สามารถใช้งานได้หม้อแปลงนั้นจะเป็นอย่างไร
   ก. จะไม่สามารถใช้งานได้เลย
   ข. ยังสามารถจ่ายโหลดได้อยู่ 57.7 ของกำลังพิกัดหม้อแปลง
   ค. ยังสามารถจ่ายโหลดได้อยู่ 66.67 ของกำลังพิกัดหม้อแปลง
   ง. ยังสามารถจ่ายโหลดได้อยู่ 86.7 ของกำลังพิกัดหม้อแปลง

10. ข้อเสียในการต่อหม้อแปลงแบบ Δ - Δ คืออะไร
   ก. ลดค่าใช้จ่ายด้านฉนวนของขดลวด
   ข. ถ้าเฟสใดเฟสหนึ่งขาดจะไม่สามารถจ่ายพลังงานได้
   ค. ฮาร์โมนิกที่ 3 มีค่าสูงมาก
   ง. จะมีกระแสไหลวนในขดลวดทั้งสองข้าง

11. การต่อหม้อแปลงในลักษณะใดเหมาะกับระบบจำหน่าย
   ก. Y - Y
   ข. Δ - Δ
   ค. Δ - Y
   ง. T – T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. การนำขดลวด TERTARY WINDING มาพันเป็นแบบ Δ รวมกับหม้อแปลงชนิด Y - Y สามารถขจัดปัญหาอะไรได้บ้าง

ก. ลดแรงดันเนื่องจากฮาร์โมนิกที่ 3

ข. ป้องกันคลื่นรบกวนทางโทรศัพท์อันเนื่องจากกระแสดินที่มีฮาร์โมนิกที่ 3

ค. เพิ่มเสถียรภาพให้แก่แรงดันไฟฟ้าที่ขดนิวทรอล

ง. ถูกทุกข้อ

13. ข้อใดไม่ถูกต้องเมื่อพูดถึงการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าแบบสก็อต (SCOTT CONNECTTION)

ก. ใช้เปลี่ยนไฟ 3 เฟส เป็น 2 เฟส และ 2 เฟส เป็น 3 เฟส

ข. ใช้หม้อแปลงในการต่อ 2 หรือ 3 ตัวก็ได้

ค. มีลักษณะคล้ายการต่อหม้อแปลงแบบ T – T

ง. สามารถจ่ายแรงดันที่ระดับเดียวกันได้ทั้งทั้ง 2 เฟส และ 3 เฟส

14. การต่อหม้อแปลงแบบสก็อต เพื่อให้แรงดันแต่ละเฟสเท่ากันและมุมระหว่างเฟสถูกต้อง จะต้องทำอย่างไร

ก. จะต้องทำการปรับแทป

ข. พันขดลวด TERTARY เข้าไป

ค. ขดนิวทรอลจะต้องต่อลงดิน

ง. จำนวนรอบและ RATIO ของหม้อแปลงทุกตัวต้องเท่ากัน

15. หม้อแปลงที่มีเวคเตอร์กรุ๊ป **Dd6** มุมของขดลวดทั้งสองชุดจะต้องต่างกันเท่าไร

ก. 0°

ข. 90°

ค. 120°

ง. 180°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. หม้อแปลงที่มีเวคเตอร์กรุ๊ป **DY7** มุมของขดลวดทั้งสองชุดจะต้องต่างกันเท่าไร

ก. 0°

ข. 120°

ค. 210°

ง. 270°

17. หม้อแปลงในกลุ่มเวคเตอร์กรุ๊ปใด สามารถต่อขนานกันได้

ก. Dy1 , Dy3 , Dy5

ข. Dy1 , Dy5 , Dy9

ค. Dy3 , Dy5 , Dy7

ง. Dy3 , Dy7 , Dy11

18. ในกรณีที่หม้อแปลงมีการต่อลงดิน ถ้า % ความต้านทานของหม้อแปลงมากกว่า 1.73เท่าของ % ความต้านทานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือระบบที่ต่ออยู่จะเกิดอะไรขึ้น

ก. จะไม่มีฮาร์โมนิกที่ 3 เกิดขึ้น

ข. ช่วยลดการเกิดฟอลท์ที่ขดลวด

ค. แรงดันเชิงไฟฟ้าที่สายไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น

ง. เกิดกระแสไหลวนเพิ่มขึ้น

19. ข้อใดไม่มีผลในการช่วยลดผลของฮาร์โมนิกที่ 3

ก. การต่อระบบลงดิน

ข. ขดลวด TERTARY ต่อแบบ Δ

ค. หม้อแปลงต่อแบบ $Y - \Delta$

ง. เพิ่มความแข็งแรงทางไฟฟ้าฉนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20. ข้อใดเป็นการต่อหม้อแปลงแบบ 3 เฟส เป็น 6 เฟส

ก. DOUBLE WYE CONNECTTION

ข. SCOTT CONNECTTION

ค. MAIN – TEASER CONNECTTION

ง. T – T CONNECTTION

คำตอบ **1.) ก , 2.) ข , 3.) ค , 4.) ง , 5.) ก , 6.) ค , 7.) ข , 8.) ง , 9.) ข , 10.) ง , 11.) ค , 12.) ง , 13.) ข , 14.) ก , 15.) ง ,16.) ค , 17.) ข , 18.) ค , 19.) ง , 20.) ก**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายบทที่ 8 (การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง)

1. ในการบำรุงรักษาหม้อแปลง การคลายลิ้นปิดเปิดที่อยู่เหนือระดับของเหลว ก่อนที่จะปิดฝาเพื่ออะไร
   ก. ลดอุณหภูมิให้ต่ำลง
   ข. ระบายความดันภายในออก
   ค. ดูดน้ำมันภายในออกมาแยกไว้
   ง. ให้ไอควันพิษออกมา

2. น้ำมันคาสเตอร์ (CASTER OIL) มีประโยชน์อย่างไร
   ก. ใช้ทาเมื่อสัมผัสสาร ASKAREL
   ข. ทำความสะอาดขดลวดและแกนเหล็ก
   ค. ช่วยระบายความร้อนได้ดีกว่าน้ำมันหม้อแปลงธรรมดา
   ง. ใช้ผสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของหม้อแปลง

3. หม้อแปลงลักษณะใด ที่จะมีความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงรักษามากที่สุด
   ก. หม้อแปลงในโรงงานอุตสาหกรรม
   ข. หม้อแปลงในหมู่บ้าน
   ค. หม้อแปลงในโรงเรียน
   ง. หม้อแปลงในศาลากลางจังหวัด

4. สารละลายอะไรที่ใช้ทำความสะอาด BUSHING
   ก. น้ำมันคาสเตอร์
   ข. น้ำมันระหุ่ง
   ค. โซเดียมคลอไรด์
   ง. คาร์บอนเตตระคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ข้อต่อลงดินควรมีการตรวจเช็คบ่อยแค่ไหน

ก. ทุกวัน

ข. ทุกเดือน

ค. ทุก 6 เดือน

ง. ทุกปี

6. หม้อแปลงชนิดก๊าซ SF_6 การบำรุงรักษาจะเป็นอย่างไร

ก. เหมือนหม้อแปลงชนิดแช่ในน้ำมันทั่วไป

ข. ต้องดูแลตรวจสอบบ่อยกว่าหม้อแปลงทั่วไป

ค. มีการตรวจสอบบำรุงรักษาภายนอกบ่อยครั้งกว่าภายใน

ง. ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบบ่อยครั้ง

7. ส่วนใหญ่การตรวจสอบภายในคืออะไร

ก. น้ำมัน

ข. ขดลวดและแกนเหล็ก

ค. มูลน้ำมัน

ง. ฉนวนน้ำมันภายในต่างๆ

8. มูลน้ำมันมีสาเหตุเกิดมาจากอะไร

ก. ความร้อนที่สูงเกินพิกัด

ข. ไอเต็มของอากาศ

ค. ปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับอากาศ

ง. ปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับส่วนที่เป็นโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ในการดูดของเหลวออกจากถังหม้อแปลง ทำไมต้องใช้หลอดดูดที่ทำจากแก้ว หรือ POLYETHYLENE ใช้สายยางธรรมดาไม่ได้เพราะเหตุใด

ก. สายยางธรรมดาอาจจะละลายได้

ข. สารกำมะถันที่อยู่ในสายยางจะทำปฏิกิริยากับขดลวดได้

ค. ทำปฏิกิริยาเกิดสารพิษขึ้นมา

ง. ใช้สายยางธรรมดาได้ ไม่มีผล

10. การตรวจสอบน้ำมันหม้อแปลง มีการตรวจสอบในลักษณะใด

ก. การทดสอบฉนวนและวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมัน

ข. การทดสอบฉนวนและความเป็นกำบังไฟฟ้า

ค. ความเป็นกำบังไฟฟ้า และวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมัน

ง. การทดสอบหาความต้านทานและความเป็นกำบังไฟฟ้า

11. ประโยชน์ของการวิเคราะห์ก๊าซในน้ำมันคืออะไร

ก. ความรุนแรงของฟอลท์

ข. จุดที่เกิดฟอลท์

ค. สาเหตุที่เกิดฟอลท์

ง. ถูกทุกข้อ

12. การตรวจสอบค่าออกซิเจน ควรมีการตรวจสอบทุกๆกี่เดือน

ก. 1 เดือน

ข. 3 เดือน

ค. 6 เดือน

ง. 5 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือดูแลเป็นอย่างดี จาก ดร. ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย อาจารย์ที่ปรึกษา และ คุณ ต่อพงษ์ ยวงพานิช นักศึกษาปริญญาโท บัณฑิตวิทยาลัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษา และให้ความช่วยเหลือ ในด้านอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการทำปริญญานิพนธ์นี้ รวมถึงเจ้าหน้าที่กองหม้อแปลงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จึงทำให้ปริญญานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

24 มีนาคม 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ไสว ฐานีพานิชกุล , " หม้อแปลง " , พิมพ์ครั้งที่ 1 มีนาคม 2525 หจก. ฟันนี่ พับบลิชชิ่ง

[2] พิชิต ลำยอง , " เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 " , พิมพ์ครั้งที่ 1 , ภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[3] สันติ อัศวศรีพงศ์ธร , " รีเลย์ป้องกันกับการป้องกันระบบกำลัง " , สมาคมศูนย์วิชาการไทย - ออสเตรเลีย

[4] ความรู้ทั่วไปสำหรับผู้ปฏิบัติงานสถานีไฟฟ้าย่อย , การควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

[5] วารสารเทคนิค

[6] A.C. Franklin and D.P. Franklin , " The J&P Transformer Book " , 11th Edition , Butterworth & Co. (Publishers) Ltd, 1983

[7] S.D. Myers and J.J. Kelly and R.H. Parrish , " A Guide To Transformer Maintenance " , Transformer Maintenance Institute

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้