

การออกแบบและสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า 500 kVA 12 kV

ใช้ก๊าซ SF₆ เป็นฉนวน



นางสาว วิภา ทังไพศาล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2529

ISBN 974-567-089-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

011994

17362131

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 500 kVA, 12 kV,
SF₆ GAS INSULATED TRANSFORMER



Ms. Wipa Thangpaisan

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1986

ISBN 974-567-089-8

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 500 kVA, 12 kV,

SF₆ GAS INSULATED TRANSFORMER

Ms. Wipa Thangpaisan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of The Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1986

ISBN 974-567-089-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบและสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า 500 kVA 12 kV

ใช้ก๊าซ SF₆ เป็นฉนวน

โดย

นางสาว วิภา ทังไพศาล

ภาควิชา

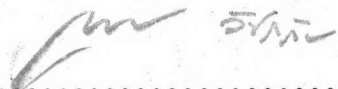
วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

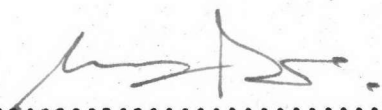
รองศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด

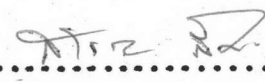



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

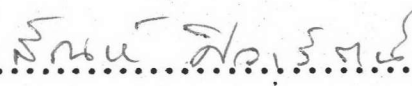

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรราชัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพบุลย์ ไชยนิล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.มงคล เคชนครินทร์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สัตย์ ศิวรัตน์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า 500 kVA 12 kV ใช้ก๊าซ SF ₆ เป็นฉนวน
ชื่อนิติ	นางสาว วิภา ทังไพศาล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา	2529



บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้รายงานถึงการออกแบบและสร้างหม้อแปลง 3 เฟส 500 kVA 12 kV 50 Hz ใช้ฟิล์มโพลีเอสเตอร์เป็นฉนวนทั้งขดลวดแรงสูงและแรงต่ำ มีก๊าซ SF₆ อัดความดัน 2.35 บาร์ เป็นฉนวนแทรกซึมและระบายความร้อน แกนแม่เหล็ก เป็นแบบคอร์ประกอบด้วยแผ่นเหล็กบางซึลิกอนวางซ้อนกัน การออกแบบแกนเหล็กและขดลวดมีเงื่อนไขอัตราส่วนน้ำหนักของแกนเหล็กต่อน้ำหนักขดลวด การสูญเสียกำลังไฟฟ้าของแกนเหล็กและขดลวดอยู่ในเกณฑ์เดียวกับหม้อแปลงชนิดน้ำมัน การระบายความร้อน เป็นแบบธรรมชาติกำหนดให้อุณหภูมิเพิ่มไม่เกิน 75 °C การทดสอบได้กระทำตามมาตรฐาน IEC เกี่ยวกับอัตราส่วนของแรงดัน ทาค่าแรงดันอิมพีแดนซ์ การสูญเสียกำลังไฟฟ้า วัตต์อุณหภูมิเพิ่ม ทดสอบความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าเกิน และค่า BIL

๑

Thesis Title Design and Consturction of A 500 kVA, 12 kV,
 SF₆ Gas Insulated Transformer

Name Ms. Wipa Thangpaisan

Thesis Advisor Dr. Samruay Sangkasaad

Department Electrical Engineering

Academic Year 1986



ABSTRACT

This thesis presents the design and construction of a 3-phase 500 kVA, 12 kV, 50 Hz SF₆-gas insulated transformer. Polyester film is used for high and low voltage windings insulation. SF₆ gas at a pressure of 2.35 bars is applied for space insulation and cooling. Magnetic core is of core type, formed with laminated silicon-steel sheets. The ratios of the iron-core weight to copper winding weights and the power losses are designed to be approximately the same as those of oil insulated transformers. Natural cooling is used to limit temperature rise to 75°C. The transformer is tested according to the IEC Standard. The voltage ratio, impedance voltage, power losses and temperature rise are measured. Overvoltages and BIL tests are performed.



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ เรียบร้อย เป็นอย่างดี จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนเพื่อเพิ่มทุนประสิทธิภาพทางวิชาการ โครงการวิจัยเพื่อส่งเสริมอุตสาหกรรม ฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณไว้ในโอกาสนี้ และขอขอบคุณอย่างยิ่งต่อโรงงาน บริษัท เจริญชัยหม้อแปลงไฟฟ้า ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์การผลิตหม้อแปลงที่โรงงาน และขอขอบคุณแก่ คุณนภาพร วทัญญูสกุล ที่ได้ช่วยกรุณาพิมพ์รายงานฉบับนี้ให้สำเร็จสมบูรณ์

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2.3 ความต้านทานและกำลังไฟฟ้าสูญเสียขณะมีโหลด .	14
2.2.2.4 รีแอกแตนซ์	15
2.2.3 ค่าปรับแรงดัน	17
2.2.4 ประสิทธิภาพของหม้อแปลง	17
2.2.5 แรงดันกระจายบนขดลวดและผลเนื่องจากแรงดันเกิน	17
2.3 ระบบระบายความร้อน	19
2.4 ข้อกำหนดของหม้อแปลง	20
3. วัสดุที่ใช้	21
3.1 เหล็กซิลิคอน	21
3.2 ลวดตัวนำสำหรับพันขดลวด	21
3.3 ฉนวน	21
3.4 ก๊าซ SF ₆	25
3.4.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของก๊าซ SF ₆	25
3.4.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของก๊าซ SF ₆	26
3.4.3 คุณสมบัติทางด้านการระบายความร้อนของก๊าซ SF ₆	27
3.5 มุขชิง	29
3.6 ปะเก็น	29
4. การออกแบบ	30
4.1 การออกแบบแกนเหล็ก	30
4.2 การออกแบบขดลวดและฉนวน	40
4.2.1 ขดลวดแรงต่ำ	41
4.2.2 ขดลวดแรงสูง	42
4.2.3 การคำนวณค่าลักษณะสมบัติของหม้อแปลงที่ออกแบบ	47
4.2.3.1 เพอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์	47
4.2.3.2 ค่าปรับแรงดัน	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.3.3 ประสิทธิภาพของหม้อแปลง	49
4.3 การออกแบบตัวถังและระบบระบายความร้อน	50
5. การประกอบสร้างหม้อแปลง	56
5.1 การประกอบแกน เหล็ก	56
5.2 การประกอบขดลวด	65
5.2.1 ขดลวดแรงต่ำ	65
5.2.2 ขดลวดแรงสูง	71
5.2.3 การประกอบขดลวดลงแกน เหล็ก	77
5.3 ตัวถัง	92
5.4 กระบวนการบรรจุก๊าซ SF ₆	99
6. การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า	101
6.1 การวัดค่าความต้านทานของขดลวด	102
6.2 การวัดอัตราส่วนของแรงดันและการตรวจสอบสัญลักษณ์ของกลุ่ม เวกเตอร์	103
6.3 การวัดค่าแรงดันอิมพีแดนซ์และ เปอร์ เซ็นต์ เรกู เลชัน	104
6.4 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด	107
6.5 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและกระแสขณะไม่มีโหลด	107
6.6 การทดสอบความทนต่อแรงดันเกิน	109
6.6.1 การทดสอบความทนต่อแรงดันเกินของฉนวนระหว่างขดลวด ..	109
6.6.2 การทดสอบความทนต่อแรงดันจากตัวจ่ายอื่น	109
6.7 การทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม	111
6.8 การทดสอบความทนต่อแรงดันอิมพัลส์	115
7. สรุปผลงานและข้อ เสนอแนะ	121
7.1 สรุปผลงาน	121
7.2 ข้อ เสนอแนะ	125

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	126
ภาคผนวก ก.	128
ภาคผนวก ข.	130
ภาคผนวก ค.	138
ภาคผนวก ง.	140
ประวัติผู้เขียน	141

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

4.1	ประสิทธิภาพของหม้อแปลงที่โหลดต่าง ๆ สำหรับเพาเวอร์แฟกเตอร์เท่ากับ 1	49
5.1	แสดงขนาดและจำนวนแผ่นที่ใช้ของแผ่นเหล็กซิลิคอน	59
6.1	ค่าความต้านทานของขดลวด	102
6.2	อัตราส่วนของแรงดัน	103
6.3	ค่าแรงดันอิมพีแดนซ์และค่ารีแอกแตนซ์	107
6.4	กำลังไฟฟ้าสูญเสียและกระแสขณะไม่มีโหลด	108

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ชนิดของแกนเหล็ก	5
2.2 แกนเหล็กแบบรูปเหลี่ยมอัดในวงกลม	6
2.3 แกนเหล็กและขดลวดของหม้อแปลง 3 เฟส	7
2.4 การต่อขดลวดหม้อแปลง 3 เฟส แบบ Y- Δ	8
2.5 วงจรสมมูล และ เฟส เซอร์โคไดอะแกรมของหม้อแปลง	11
2.6 เฟส เซอร์โคไดอะแกรมของกระแสกระตุ้น	12
2.7 วงจรสมมูล เมื่อลัดวงจรทางด้านทุติยภูมิ	13
2.8 รูปแบบการคำนวณค่ารีแอกแตนซ์	16
2.9 แรงดันกระจายบนขดลวดหม้อแปลงในภาวะคงตัว	18
2.10 แรงดันแบ่งกระจายบนขดลวดที่ปลายข้างหนึ่งต่อลงดิน	18
3.1 กราฟกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก	23
3.2 กราฟการเกิดอำนาจแม่เหล็กและ เพอร์มิบิลิตีสำหรับกระแสตรง	24
3.3 ความคงทนได้อิเล็กตริกของโพลีเอสเตอร์ฟิล์มกับกระดาศาณวน	25
3.4 ความคงทนต่อแรงดันกระแสสลับ	27
3.5 ความคงทนต่อแรงดันอิมพัลส์	27
3.6 ตารางและกราฟ เปรียบเทียบคุณสมบัติด้านการระบายความร้อนโดยวิธีธรรมชาติ	28
4.1 พื้นที่ภาคตัดขวางของแกนเหล็กมีช่องระบายความร้อนตรงกลาง	34
4.2 โครงสร้างของแกนเหล็ก	39
4.3 ลักษณะภาคตัดขวางของขดลวดแรงต่ำ	41
4.4 แสดงจำนวนรอบและจำนวนชั้นในการพันขดลวดแรงสูง	44
4.5 ชั้นของขดลวดและการใส่ร่องระบายความร้อน	45
4.6 แสดงความหนาในแต่ละส่วนของขดลวด	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 การระบายความร้อนโดยวิธีธรรมชาติของหม้อแปลงแบบก๊าซ SF ₆	51
4.8 ขนาดของตัวถังและครีบระบายความร้อน	53
5.1 รายละเอียดด้านต่าง ๆ ของภาคตัดขวางแกนเหล็ก	57
5.2 ขนาดส่วนต่าง ๆ ของแกนเหล็ก	58
5.3 แบบแผ่น เหล็กซิลิคอนประกอบด้วยส่วนที่ I, II และ III	58
5.4 ขนาดของแผ่น เหล็กซิลิคอนแบบ I, II และ III	61
5.5 ขั้นตอนการประกอบแกนเหล็ก	62
5.6 ขั้นตอนการพันขดลวดแรงต่ำ	66
5.7 ขั้นตอนการพันขดลวดแรงสูง	72
5.8 ลักษณะขดลวดแรงสูงที่พัน เสร็จแล้ว	75
5.9 การประกอบขดลวดแรงต่ำลงในแกนเหล็ก	78
5.10 การประกอบขดลวดแรงสูงลงในแกนเหล็ก	81
5.11 การต่อขดลวดแรงสูงและแรงต่ำกับบushing	87
5.12 การต่อขดลวดแบบ Dy 11 และการต่อจุดแยกของขดลวดแรงสูง	91
5.13 การประกอบหม้อแปลงลงตัวถัง	92
5.14 รายละเอียดตัวถังหม้อแปลงที่ประกอบ เรียบร้อย	96
5.15 กระบวนการบรรจุก๊าซ SF ₆	100
6.1 เฟส เซอร์โคโดแกรมในการตรวจสัญลักษณ์กลุ่ม เวกเตอร์	104
6.2 วงจรทดสอบหาค่าแรงดันอิมพีแดนซ์และกำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด	105
6.3 วงจรวัดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและกระแสขณะไม่มีโหลด	107
6.4 วงจรทดสอบความทนต่อแรงดันเกิน	109
6.5 วงจรทดสอบความทนต่อแรงดันจากตัวจ่ายอื่น	110
6.6 กราฟค่าความต้านทานของขดลวดเทียบกับเวลา	113
6.7 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์และวงจรทดสอบหม้อแปลง	115

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่	
6.8 รูปคลื่นกระแสและแรงดันทดสอบอิมพัลส์	117
ข.1 การระบายความร้อนโดยวิธีธรรมชาติและการกระจายอุณหภูมิภายในหม้อแปลง .	130
ง.1 กราฟประมาณค่า m	140