การออกแบบและสร้างหม้อแปลงทดสอบขนาด 300 kV 300 kVA

นายพีรวุฒิ ยุทธโกวิท

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544
ISBN 974-03-0256-4
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20438552

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 300-kV, 300-kVA TESTING TRANSFORMER

Mr. Pearawut Yutthagowith

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2001

ISBN 974-03-0256-4.

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างหม้อแปลงทดสอบขนาด 300 kV 300 kVA
โดย	นายพีรวุฒิ ยุทธโกวิท
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สำรวย สังข์สะอาด
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์)

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ไพบูลย์ ไชยนิล)

พีรวุฒิ ยุทธโกวิท : การออกแบบและสร้างหม้อแปลงทดสอบขนาด 300 kV 300 kVA
(DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 300-kV, 300-kVA TESTING TRANSFORMER)
อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร.สำรวย สังข์สะอาด อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล
126 หน้า. ISBN 974-03-0256-4.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอผลการศึกษาการออกแบบและสร้างหม้อแปลงทดสอบที่มีขดลวด 3 ชุด ขนาด 300 kV 300 kVA 50 Hz ชนิดจุ่มน้ำมันแบบตัวถังเป็นเหล็กต่อลงดิน ปลอกฉนวนนำสายทำด้วยใยแก้วหุ้มด้วยครีบฉนวนยางซิลิโคน ใช้กระดาษเทอร์โมพอกซ์ (Thermopox paper) และกระดาษอัด (Transformer board) เป็นฉนวนคั่นระหว่างขดลวดกับแกนเหล็กของหม้อแปลง ใช้น้ำมันหม้อแปลง (Mineral oil) เป็นฉนวนแทรกซึมและระบายความร้อน วิทยานิพนธ์ได้กล่าวถึงเงื่อนไขการออกแบบ อธิบายการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิเคราะห์สนามไฟฟ้าเพื่อการออกแบบฉนวนในส่วนต่างๆ ของหม้อแปลง ให้รายละเอียดในส่วนประกอบและโครงสร้าง และทำการทดสอบตามมาตรฐาน IEC

ภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2544 ลายมืออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

##4170443021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORD : TESTING TRANSFORMER
PEARAWUT YUTTHAGOWITH : DESIGN AND CONSTRUCTION OF A 300-kV, 300-kVA TESTING TRANSFORMER. THESIS ADVISOR :ASSOC. PROF. Dr SUMROUY SANGKASAAD, THESIS COADVISOR : Dr.CHANNARONG BALMONGKOL. 126 pp.
ISBN 974-03-256-4.

This thesis presents the design and construction of a three-winding oil-immersed testing transformer rated at 300 kV, 300 kVA, 50 Hz. The transformer tank is made of iron steel and grounded. The high-voltage bushing is made of fiberglass covered with silicone rubber sheds. Thermopox paper and transformer board are applied as insulations between the windings and iron core. Transformer oil is used as a space insulation and for cooling. The design criteria are mentioned. All insulation was designed by analyzing the electrical field distribution by using a computer program. The details of materials and construction are given. The tests of the designed transformer were performed in accordance with IEC standards.

Department Electrical Engineering
Field of study Electrical Power
Academic year 2001

Student's signature Yutthagowith P.
Advisor's signature S. Sangkasaad
Co-advisor's signature Channarong Banmongkol

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน ขอขอบคุณ รศ. ดร.สำรวย สังข์สะอาด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อ. ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้กรุณาแนะนำและให้ข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์แก่การวิจัยมาด้วยดีตลอด ตลอดจนคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ อ. ดร.สมบูรณ์ แสงวงค์วาณิชย์ และ รศ.ไพบูลย์ ไชยนิล ที่ได้กรุณาตรวจแก้วิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ขอขอบคุณอย่างสูงแด่ Dipl.-Ing. Peter Matthiessen ที่ได้กรุณาสอน และถ่ายทอดเทคโนโลยีการออกแบบสร้างหม้อแปลงทดสอบอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่การทำวิทยานิพนธ์นี้ และขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง ที่ได้ให้การช่วยเหลือด้านทุนวิจัยในโครงการนี้ ขอขอบคุณบริษัททัสโก ทราโฟ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ทั้งสถานที่ เวลา และกำลังคน ตลอดเวลาของงานวิจัย และขอขอบคุณ วิทวัส งามประดิษฐ์ คุณณรงค์ ทองฉิม ที่สละเวลาและให้คำปรึกษาด้วยดีตลอดมา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง และเพื่อนๆ อีกหลายคนที่ให้ความช่วยเหลือในการวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฎ

สารบัญรูป.....ฐ

บทที่

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 บทนำทั่วไป.....1

1.2 ที่มาของปัญหา.....1

1.3 งานวิจัยที่มีมาในอดีต.....2

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2

1.5 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์.....2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....3

2.1 หลักการของหม้อแปลง.....3

2.2 วงจรสมมูลของหม้อแปลง.....4

2.3 หม้อแปลงทดสอบ.....5

2.4 ความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการใช้วัสดุฉนวนต่างชนิดกัน.....9

2.5 หลักการออกแบบหลักการออกแบบหม้อแปลงทดสอบ.....10

2.5.1 แกนเหล็ก.....12

2.5.2 ขดลวด.....17

2.5.3 ค่าความเหนี่ยวนำรั่วในหม้อแปลง.....18

2.5.4 การคำนวณแรงทางกลในแนวรัศมี.....19

2.5.5 การคำนวณค่ากำลังสูญเสีย.....21

2.5.6 การออกแบบฉนวน.....22

2.5.7 การถ่ายเทความร้อน.....25

2.5.8 การคำนวณการคำนวณพื้นที่ของตัวถัง.....26

บทที่ 3 การออกแบบสร้างหม้อแปลงทดสอบ.....27

3.1 แกนเหล็ก.....28

3.2 ขดลวดแรงต่ำ.....29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ขดลวดแรงสูง 30
3.4 ขดลวดต่อควบ 31
3.5 การคำนวณค่าความเหนี่ยวนำรั่วและแรงทางกลของขดลวด
3.5.1 ค่าความเหนี่ยวนำรั่วในหม้อแปลง 34
3.5.2 การคำนวณแรงทางกลในแนวรัศมี 36
3.6 การวิเคราะห์ความเครียดสนามไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองแบบ
ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Maxwell ของบริษัท Ansoft 36
3.6.1 การวิเคราะห์ความเครียดสนามไฟฟ้า
บริเวณรอบขดลวดแรงดันสูง 36
3.6.2 การวิเคราะห์ความเครียดสนามไฟฟ้า
บริเวณภายในและภายนอกปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้า
โดยที่ขั้วแรงสูงมีแรงดัน 360 kV 37
3.7. การออกแบบฉนวนขดลวดแรงสูง 37
3.8. การออกแบบตัวนำแผ่นราบ 38
3.9 การคำนวณค่ากำลังสูญเสีย 38
3.10. การออกแบบปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้า 41
3.11. ท่อโลหะในปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้า 41
3.12. ท่อฉนวนภายในปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้า 41
3.13. วงแหวนรองรับท่อฉนวนและท่อโลหะภายในปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้า 42
3.14. การฉนวนภายในปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้า 42
3.15. การออกแบบหัวแรงดันสูงของหม้อแปลงทดสอบ 43
3.16. การเลือกและการติดตั้งวงแหวนเกลี่ยแรงดันภายนอก
ปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้า 43
3.17. การติดตั้งซิลิกาเจล 44
บทที่ 4 การประกอบสร้าง 45
4.1 การประกอบแกนเหล็ก 45
4.2 การพันขดลวดแรงต่ำ 45
4.3 การพันขดลวดแรงสูง 46
4.4 การอบขดลวดแรงสูง 48
4.5 การประกอบขดลวดต่อควบและวงแหวนเกลี่ยแรงดันกับ

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ขดลวดแรงดันสูงให้แน่น 49
4.6 การใส่ฉนวนขั้นระหว่างขดลวดกับกราวด์และฉนวนภายใน
ปลอกฉนวนภายในปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้า 51
4.7 การเตรียมแผ่นตัวนำแผ่นราบ 52
4.8 การประกอบขดลวดเข้ากับแกนเหล็ก 52
4.9 การประกอบขดลวด แกนเหล็ก ตัวถัง
และปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้าเข้าด้วยกัน 54
4.10 การอบและดูดอากาศของขดลวดในหม้อแปลง 54
4.11 การใส่น้ำมัน 56
4.12 การใส่หัวแรงดันสูงของหม้อแปลงและวงแหวนเกลี่ยแรงดัน 56
บทที่ 5 การทดสอบ 57
5.1 การวัดค่าความต้านทาน 58
5.2 การทดสอบไดอิเล็กทริกระหว่างขั้วของขดลวดแรงต่ำ 58
5.3 ความต้านทานฉนวน 59
5.4 การทดสอบขั้วและอัตราส่วนแรงดันของขดลวด 59
5.5 การวัดค่าแรงดันเลิดวงจรและกำลังสูญเสียขณะมีโหลด 60
5.6 การทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม 64
5.7 การวัดค่าการดีสชาร์จบางส่วน 67
5.8 การทดสอบความเป็นฉนวนที่แรงดันสูง 68
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ 69
6.1 สรุป 69
6.2 ข้อเสนอแนะ 70
รายการอ้างอิง 71
ภาคผนวก 72
ภาคผนวก ก. 73
ภาคผนวก ข. 100
ภาคผนวก ค. 109
ภาคผนวก ง. 113
ประวัติผู้เขียน 126

สารบัญตาราง

หน้า

1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับแรงดันสูงสุดกับค่าแรงดันทดสอบ AC 50 Hz.....1
2.1 ขนาดพื้นที่มากที่สุดที่บรรจุในวงกลมที่มีพื้นที่ 100 ตารางหน่วยเทียบกับ
ฉนวนชั้นของพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก.....16
2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของทองแดงกับอะลูมิเนียม..... 18
3.1 ขนาดและลักษณะของแกนเหล็ก..... 28
3.2 ขนาดและพิกัดของขดลวดแรงดันต่ำ..... 30
3.3 ขนาดและพิกัดของขดลวดต่อควบ..... 32
3.4 ขนาดของทรานฟอร์เมอร์บอร์ด..... 38
3.5 ขนาดของฉนวนภายในปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้า.....42
5.1 ค่าความต้านทานที่วัดได้ที่อุณหภูมิ 30°Cและค่าความต้านทานที่คำนวณที่อุณหภูมิ 75° C..... 58
5.2 ผลการทดสอบไดอิเล็กทริกระหว่างขั้วของขดลวดแรงต่ำ.....59
5.3 ผลการวัดความต้านทานฉนวน.....59
5.4 ผลการทดสอบขั้วและอัตราส่วนแรงดันของขดลวด..... 60
5.5 ผลการวัดค่ากำลังสูญเสียขณะมีโหลดและค่าแรงดันลัดวงจรที่อุณหภูมิ 30°C.....61
5.6 ผลการวัดค่ากำลังสูญเสียขณะมีโหลดและค่าแรงดันลัดวงจรที่อุณหภูมิ 75°C.....62
5.7 อุณหภูมิของน้ำมันและอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมที่วัดได้เทียบกับเวลา..... 64
5.8 ความต้านทานกระแสตรงของขดลวดแรงดันสูงวัดเทียบกับเวลาหลังจากหยุดจ่ายกำลังไฟฟ้า.....65
5.9 ค่าการดีสชาร์จบางส่วนเทียบกับแรงดัน.....68
5.10 ผลการทดสอบความเป็นฉนวนที่แรงดันสูง.....68
6.1 ข้อมูลทางเทคนิคของหม้อแปลงทดสอบขนาด 300 kV 300 kVA.....69
6.2 รายละเอียดของขดลวดของหม้อแปลงทดสอบขนาด 300 kV 300 kVA.....69
6.3 รายละเอียดของแกนเหล็กหม้อแปลงทดสอบ 300 kV, 300 kVA.....70
ง.1 ขนาดของ อิเล็กโทรสแตติกชีลด์ (Eiectrostatic Shield)
ที่ใส่ขั้นระหว่างขดลวดแรงสูงและขดลวดแรงต่ำ.....109
ง.2 ขนาดของ อิเล็กโทรสแตติกชีลด์ (Electrostatic Shield)
ที่ใส่ขั้นระหว่างขดลวดแรงสูงและขดลวดต่อควบ.....109
ง.3 ขนาดของวงแหวนเกลี่ยแรงดัน.....110
ง.4 ขนาดของฉนวนแผ่นราบรูปวงแหวน.....110

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

4.5 การพันอิเล็กโทรสแตติกซีลด์บนขดลวดแรงสูง....48
4.6 ขดลวดแรงสูงที่พันเสร็จแล้ว....48
4.7 ขดลวดต่อควบที่พันเสร็จแล้ว....49
4.8 การวางขดลวดต่อควบบนขดลวดแรงสูง....50
4.9 การติดตั้งวงแหวนเกลี่ยแรงดัน....50
4.10 ฐานไม้สำหรับวางต่อตัวนำแรงสูง....51
4.11 การติดฐานไม้เข้ากับขดลวดต่อควบและขดลวดแรงสูง....51
4.12 การใส่ฉนวนครอบขดลวดแรงดันสูงและขดลวดต่อควบ
และการใส่ฉนวนครอบท่อตัวนำแรงดันสูง....52
4.13 การเตรียมแกนเพื่อประกอบขดลวดต่างๆ เข้ากับแกนเหล็ก....53
4.14 ภาพหน้าตัดขวางการประกอบขดลวดต่างๆ เข้ากับแกนเหล็ก....53
4.15 ภาพด้านข้างของการประกอบขดลวดต่างๆ เข้ากับแกนเหล็ก....54
4.16 การเตรียมหม้อแปลงเข้าเตาอบ....55
4.17 ภาพการอบเพื่อไล่ความชื้นของไส้หม้อแปลงในเตาอบ....55
4.18 หม้อแปลงที่ประกอบเสร็จแล้ว....56
5.1 การทำสัญลักษณ์ที่ขั้วขดลวดของหม้อแปลง....58
5.2 วงจรวัดวัดค่ากำลังสูญเสียขณะมีโหลดและค่าแรงดันลัดวงจรของ
ขดลวดแรงดันต่ำกับขดลวดแรงดันสูง....62
5.3 วงจรวัดวัดค่ากำลังสูญเสียขณะมีโหลดและค่าแรงดันลัดวงจรของ
ขดลวดแรงดันต่ำกับขดลวดต่อควบ....63
5.4 วงจรวัดวัดค่ากำลังสูญเสียขณะมีโหลดและค่าแรงดันลัดวงจรของ
ขดลวดต่อควบกับขดลวดแรงดันสูง....63
5.5 กราฟอุณหภูมิของขดลวดแรงสูงหลังจากทำการตัดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้....65
5.6 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของหม้อแปลง....66
ก.1 เส้นสมศักย์ (Equipotential line)ของขดลวดแรงสูง เมื่อแรงดันสูงสุดเป็น 360 kV....73
ก.2 เวกเตอร์แสดงทิศทางความเครียดสนามไฟฟ้า....74
ก.3 เส้นตรงที่พิจารณาความเครียดสนามไฟฟ้า....75
ก.4 เส้นตรงที่พิจารณาความเครียดสนามไฟฟ้า....76
ก.5 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 1....77
ก.6 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 2....77

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ก.7 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 3.....78
ก.8 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 4.....78
ก.9 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 6.....79
ก.10 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 7.....79
ก.11 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 10.....80
ก.12 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 12.....80
ก.13 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 14.....81
ก.14 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 16.....81
ก.15 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 18.....82
ก.16 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 20.....82
ก.17 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 23.....83
ก.18 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 24.....83
ก.19 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 25.....84
ก.20 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 26.....84
ก.21 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 27.....85
ก.22 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 28.....85
ก.23 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 29.....86
ก.24 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 30.....86
ก.25 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 31.....87
ก.26 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 32.....87
ก.27 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 33.....88
ก.28 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 34.....88
ก.29 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 35.....89
ก.30 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 36.....89
ก.31 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 37.....90
ก.32 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 38.....90
ก.33 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 39.....91
ก.34 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 40.....91
ก.35 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 41.....92

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ก.36 เส้นสมศักย์ (Equipotential line) ของปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้า..... 93
ก.37 เส้นสมศักย์ (Equipotential line) ของปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้า..... 94
ก.38 เส้นตรงที่พิจารณาความเครียดสนามไฟฟ้า..... 95
ก.39 เส้นตรงที่พิจารณาความครียดสนามไฟฟ้า..... 96
ก.40 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 1..... 96
ก.41 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 2..... 97
ก.42 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 3..... 97
ก.43 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 7..... 98
ก.44 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 9..... 98
ก.45 ความเครียดสนามไฟฟ้าบนเส้นตรง line 10..... 99
ข.1 ภาพหน้าตัดและขนาดของขดลวดแรงดันต่ำ..... 100
ข.2 ภาพขนาดของแกนเหล็ก..... 101
ข.3 ภาพอิเล็กโทรดที่ประกอบกับแกนเหล็กเพื่อทำให้การกระจายแรงดันระหว่างขดลวด
กับกราวด์สม่ำเสมอขึ้น..... 102
ข.4 ภาพขนาดตัวถังของหม้อแปลง..... 103
ข.5 ภาพขนาดฝาปิดบนของตัวถังของหม้อแปลง..... 104
ข.6 ภาพหัวตัวนำแรงดันสูง..... 105
ข.7 ภาพอิเล็กโทรดเกลี่ยแรงดันภายในปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้า..... 106
ข.8 ภาพตัดภายในของหม้อแปลง..... 107
ข.9 ภาพหม้อแปลงเมื่อประกอบเสร็จ..... 108
ง.1 รูปแบบและขนาดของปลอกฉนวนนำสายไฟฟ้า..... 113
ง.2 แรงไฟฟ้าเกิดอำนาจแม่เหล็ก..... 114
ง.3 กำลังไฟฟ้ากระตุ้นเทียบกับน้ำหนัก..... 115
ง.4 การเกิดอำนาจแม่เหล็กและความซาบซึมได้สำหรับกระแสตรง..... 116
ง.5 กำลังสูญเสียในแกนเหล็กเทียบกับน้ำหนัก..... 117
ง.6 ลักษณะสมบัติของกระดาษเทอร์โมพอกซ์..... 118
ง.7 ลักษณะสมบัติและขนาดของฉนวนกระดาษแผ่นราบสำหรับม้วนเป็นทรงกระบอก..... 119
ง.8 ลักษณะของฉนวนกระดาษทรงกระบอก..... 120
ง.9 ลักษณะฉนวนแผ่นราบรูปวงแหวน..... 121