

การออกแบบและสร้างหม้อแปลงทดสอบแบบชั้นบันได ชนิดน้ำมันบรรจุในถังฉนวน

ขนาด 200 เควี 50 เฮิร์ตซ์ 10 เควีเอ



นายบริพันธ์ พัทฒสังข์วงศ์

ศูนย์วิทยพัทธยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

ISBN 974-569-542-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

016127

I 10301185

Design and Construction of an Oil Immersed
200 kV 50 Hz 10 kVA Cascade Testing Transformer

Mr. PARIPON PATTANASATTAYAVONG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

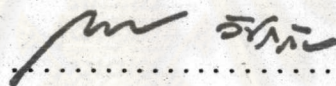
1988

ISBN 974-569-542-4

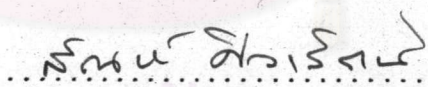


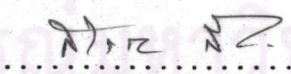
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างห้องแปลงทดสอบแบบชั้นบันได ชนิดน้ำมันบรรจุใน
ถังฉนวน ขนาด 200 ลิตร 50 เฮิร์ตซ์ 10 เควีเอ
โดย นายบริพันธ์ หัตถ์สังข์วงศ์
ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สำราญ สังข์สะอาด
รองศาสตราจารย์ ไพบูลย์ ไชยนิล

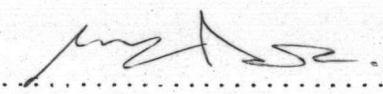
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
การศึกษาหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

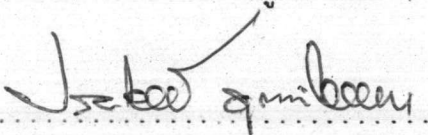

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรราช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สัมภ์ ศิวารัตน์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สำราญ สังข์สะอาด)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ไพบูลย์ ไชยนิล)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประ โภชน์ อดณีไวยะ)



ปริพนธ์ วัฒนสัตย์วงศ์ : การออกแบบและสร้างหม้อแปลงทดสอบแบบชั้นบันได ชนิดน้ำมันบรรจุ
ในถังจนวน ขนาด 200 เควี 50 เฮิรตซ์ 10 เควีเอ (DESIGN AND CONSTRUCTION OF
AN OIL IMMERSED 200 kV 50 Hz 10 kVA CASCADE TESTING TRANSFORMER)
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สำราญ สังข์สะอาด, รศ.โทบูลย์ ไชยนิล, 131 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นรายงานผลการศึกษาค้นคว้าวิจัย และออกแบบสร้างหม้อแปลงทดสอบต่อ
ชั้นบันได 2 ชั้น ขนาด 200 kV 50 Hz 10 kVA ประกอบด้วยหม้อแปลงเฟสเดี่ยว 2 ตัว แต่ละตัวมีขนาด
100 kV 5 kVA ตัวถังหม้อแปลงเป็นท่อนจนวน ทวีชี โครงสร้างภายในของหม้อแปลงแต่ละตัว ประกอบด้วย
แกนเหล็กแบบคอร์ซึ่งเป็นเหล็กซิลิคอนชนิด Z7H มีขดลวด 3 ชุด คือ ขดลวดแรงดันต่ำ ขดลวดแรงดันสูง
และขดลวดต่อควบ ใช้กระดาษครีฟท์เป็นฉนวนไฟฟ้าระหว่างชั้นขดลวด น้ำมันหม้อแปลงเป็นฉนวนแทรกซึม
และระบายความร้อน ทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของหม้อแปลงตามมาตรฐาน IEC No,76 ซึ่งกำหนดอุณหภูมิ
เพิ่มของขดลวดไม่เกิน 55°C และอุณหภูมิสูงสุดของน้ำมันส่วนบนของตัวถังไม่เกิน 70°C เปรียบเทียบผลของ
ทดสอบวัดคุณสมบัติกับค่าที่คำนวณออกแบบไว้ ทดสอบสมรรถนะการใช้งาน โดยเป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับ
ลูกถ้วยฉนวน เพื่อหาค่าแรงดันวาบไฟตามฉนวนแห้ง ซึ่งมิตค่าแรงดันวาบไฟตามฉนวนเท่ากับ 135 kV

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา 2531

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา



PARIPON PATTANASATTAYAVONG : DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN OIL
IMMERSED 200 kV 50 Hz 10 kVA CASCADE TESTING TRANSFORMER.

THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SUMRUAY SANGKASAAD, DR.SC.TECH.,
ASSO. PROF. PAIBUL CHAIYANIL., M.Phil, 131 pp.

This thesis is dealt with the design and construction of a two stage cascade testing transformer rated at 200 kV, 50 Hz, 10 kVA, consisting of two single-phase testing transformer. Each testing transformer has rating 100 kV 5 kVA. The transformer is oil-immersed in a PVC tank and has three windings, viz, a high voltage winding, a low voltage winding, and a coupling winding, all wound on a core-type-Z7H silicon steel core, Kraft paper is used as an insulation between layers of the windings. The transformer was tested according to IEC Standard Publ. No.76. Maximum temperature rise allowance in the windings is 55°C and maximum temperature allowance of the top oil is 70°C . The measured results and the designed values are compared. Performance test of the transformer was carried out by performing a power-frequency flash-over test on an pin insulator under dry condition at 135 kV.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา Electrical Engineering.....
สาขาวิชา Electrical Engineering.....
ปีการศึกษา 2531.....

ลายมือชื่อนิสิต พริบดิ์ เจริญผล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อ. อ.



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สำราญ สังข์สะอาด อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ ซึ่ง ได้ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จ ลุล่วง ไปด้วยดี และขอขอบพระคุณ คณะจารย์สอนวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำวิจารณ์และข้อคิดเห็น ในการแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ มูลนิธิมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนให้ได้รับทุนการศึกษา ค่ายดีตลอดมา ขอขอบพระคุณ คุณสุนทร ฉัตรวชิระกุล และเจ้าหน้าที่ของบริษัทเจริญชัยหม้อแปลง ไฟฟ้า จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการประกอบสร้างหม้อแปลงทดสอบนี้ และขอขอบคุณญาติมา อนุสรณ์การที่ได้กรุณาพิมพ์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จน เสร็จ เรียบร้อย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช-ด
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ต-ค
บทที่	
1 บทนำ	1-4
1.1 บทนำทั่วไป	1
1.2 ผลงานหม้อแปลงทดสอบในอดีต (ในประเทศไทย)	2
1.3 วัตถุประสงค์และขอบข่ายของงานวิจัย	3
2 ทฤษฎีของหม้อแปลงทดสอบ	5-32
2.1 หลักการทำงานและวงจรสมมูลของหม้อแปลงทดสอบ	5
2.2 การฉนวนและ โครงสร้างของหม้อแปลงทดสอบ	7
2.3 การต่อชั้นบันได	10
2.4 พฤติกรรมของหม้อแปลงทดสอบต่อแรงดันขั้วและแรงดันอิมพัลส์	11
2.4.1 แรงดันกระจายในชดลวดแรงดันสูงของหม้อแปลงในสภาวะ ทรานเซียนต์	
2.4.2 การจัดวางชดลวดแบบเกรดคั้ง	
2.4.3 การซีลค์ปลายขั้วแรงดันสูง	
2.5 การฉนวนหม้อแปลงทดสอบด้วยน้ำมันหม้อแปลง	17
2.5.1 คุณสมบัติทางฟิสิกส์	
2.5.2 คุณสมบัติทางเคมี	
2.5.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้า	
2.5.4 ตัวอย่างน้ำมันของศาลเทศ์	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ชนิดชดสวคทองแดงที่ใช้กับหม้อแปลงที่ใช้ฉนวนน้ำมันเป็นฉนวนเทรคซิม...	20
2.7 กระดาษฉนวน	20
2.7.1 กระดาษครีฟท์ (Kraftpaper)	
2.7.2 กระดาษอัดแรง (Press Board)	
2.8 กังฉนวนหม้อแปลงทดสอบ	22
2.9 แกนเหล็ก	23
2.10 ค่ากำหนดของหม้อแปลงทดสอบโดยทั่วไป	27
2.10.1 ขนาดแรงดันของหม้อแปลงทดสอบ	
2.10.2 กระแสที่กำหนดของหม้อแปลงทดสอบ	
2.10.3 ขนาดกำลังของหม้อแปลงทดสอบ	
2.10.4 กำลังและแรงดัน ไฟฟ้าลัดวงจร	
2.10.5 อุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือ Insulation class	
3 การออกแบบหม้อแปลงทดสอบ	33-56
3.1 เลือกค่ากำหนดของหม้อแปลงทดสอบ	33
3.2 การออกแบบแกนเหล็กและชดสวค โดยการคำนวณ	34
3.2.1 การคำนวณค่าการสูญเสียกำลัง ไฟฟ้าในแกนเหล็ก	
3.2.2 การคำนวณกำลัง ไฟฟ้าสูญเสียในชดสวค	
3.2.3 การคำนวณขนาดพื้นที่ภาคตัดขวางของชดสวค	
3.3 การออกแบบชดสวคและแกนเหล็ก	37
3.3.1 ชดสวคแรงดันต่ำ	
3.3.2 ชดสวคแรงดันสูง	
3.3.3 ชดสวคต่อควบ	
3.3.4 กำลัง ไฟฟ้าสูญเสียในชดสวค	
3.3.5 เบอร์ เซ็นต์แรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์ขณะลัดวงจร	
3.3.6 แกนเหล็ก	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4	การออกแบบตัวถัง	56
4	การประกอบสร้างหม้อแปลงทดสอบ	58-75
4.1	การประกอบแกนเหล็ก	58
4.2	ชดลวดและการฉนวน	63
4.3	การติดตั้งส่วนประกอบภายในตัวถังและการอบ	71
4.4	ตัวถังและการติดตั้งส่วนประกอบภายนอก	73
4.5	การบรรจุน้ำมันหม้อแปลง	75
5	การทดสอบและการประเมินผล	76-109/1
5.1	การวัดค่าความต้านทานกระแสตรงของชดลวด	76
5.2	การวัดอัตราส่วนแรงดันและการตรวจสอบขั้ว	77
5.3	การวัดค่าการสูญเสียกำลัง ไฟฟ้าและกระแส รั่วมี โหลด	79
5.3.1	ทดสอบหม้อแปลงแต่ละตัว	
5.3.2	ทดสอบเมื่อหม้อแปลงทดสอบต่อชั้นบันได	
5.4	การวัดค่ากำลัง ไฟฟ้าสูญเสียมี โหลดและแรงดันอิมพีแดนซ์	85
5.4.1	ทดสอบหม้อแปลงแต่ละตัว	
5.4.2	ทดสอบหม้อแปลงต่อชั้นบันได	
5.5	การทดสอบความคงทนต่อแรงดันเกิน	97
5.6	การทดสอบความคงทนต่อแรงดันจากตัวจ่ายอื่น	98
5.7	การทดสอบอุณหภูมิเพิ่ม	99
5.8	การตรวจสอบรูปคลื่นแรงดัน	106
5.9	การวัดค่าดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge = PD)	106
5.10	ทดสอบการใช้งาน	109

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6	สรุปผลงานและข้อเสนอแนะ	110-115
6.1	สรุปผลงาน	110
6.1.1	ค่ากำหนดของหม้อแปลง	
6.1.2	รายละเอียดของขดลวดและการฉนวนของหม้อแปลงแต่ละตัว	
6.1.3	ผลของการทดสอบ	
6.1.4	รายละเอียดของแกนเหล็ก	
6.1.5	ตัวถัง	
6.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ	114
	เอกสารอ้างอิง	116-117
ภาคผนวก ก.	ตัวอย่างขนาดขดลวดทองแดงและกระดาษฉนวน	118-119
ก.1	ตัวอย่างขนาดขดลวดทองแดงและกระดาษฉนวน มอก. 82- 2527	
ก.2	ตัวอย่างคุณสมบัติของกระดาษครีพท์และกระดาษ อัดแรงมาตรฐาน JIS	
ภาคผนวก ข.	การหาอุณหภูมิเพิ่มของขดลวดและของน้ำมันหม้อแปลง	120-126
	เพื่อกำหนดค่าความหนาแน่นกระแสสำหรับออกแบบขดลวด	
ข.1	คำนวณปริมาณความร้อนสูงสุดที่สามารถเกิดขึ้นได้ ในถังหม้อแปลงทดสอบ	
ข.2	ขดลวดแรงดันต่ำ	
ข.3	ขดลวดแรงดันสูง	
ข.3.1	การคำนวณอุณหภูมิแตกต่างระหว่าง T_{c1} กับ T_{co}	
ข.3.2	การคำนวณอุณหภูมิแตกต่างระหว่าง T_{co} กับ T_{pe}	
ข.3.3	การคำนวณอุณหภูมิแตกต่างระหว่าง T_{pe} กับ T_{o11}	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ค. การคำนวณขนาดการฉนวนของขดลวดแรงดันสูง 127-130

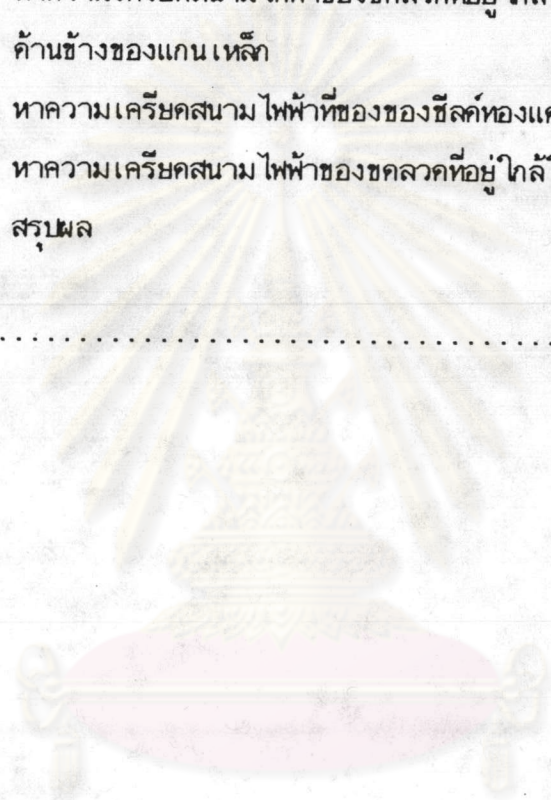
 ค.1 ทาความเครียดสนามไฟฟ้าของขดลวดที่อยู่ใกล้โยก
 ค้ำข้างของแกนเหล็ก

 ค.2 ทาความเครียดสนามไฟฟ้าที่ช่องของซีลค์ทองแดงกับแกน เหล็ก

 ค.3 ทาความเครียดสนามไฟฟ้าของขดลวดที่อยู่ใกล้โยกค้ำล่างของแกนเหล็ก

 ค.4 สรุปผล

ประวัติผู้เขียน 131



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1.1	แรงดันทดสอบกระแสสลับความถี่กำลังระยะสั้น 1 นาที ตามมาตรฐาน IEC	3
1.2	ค่าคะแนนดัชนีของวัสดุทดสอบ	4
2.1	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของท่อ PVC	22
2.2	แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบระหว่าง ORIENTCORE กับ ORIENTCORE HI-B..	23
3.1	ค่ากำหนดของหม้อแปลงทดสอบที่ออกแบบ	33
4.1	จำนวนแผ่นเหล็กแต่ละขนาด	60
5.1	ค่าความต้านทานกระแสตรงของขดลวด	77
5.2	ค่าอัตราส่วนแรงดันของขดลวด	78
5.3	ผลการทดสอบ ไม่มี โหลดของหม้อแปลงทดสอบแต่ละตัว	80
5.4	ผลการทดสอบ ไม่มี โหลด เมื่อต่อขึ้นบันได	83
5.5	ข้อมูลลี้ควงจรขดลวดแรงดันสูง	87
5.6	สรุปค่าต่าง ๆ ที่ 75 °C	88
5.7	ข้อมูลลี้ควงจรขดลวดต่อควบ	89
5.8	สรุปค่าต่าง ๆ ที่ 75 °C	91
5.9	ข้อมูลลี้ควงจรขดลวดแรงดันสูง ขดลวดแรงดันต่ำ เบ็ดวงจร	92
5.10	สรุปค่าต่าง ๆ ที่ 75 °C	94
5.11	ข้อมูลลี้ควงจรขดลวดแรงดันสูง เมื่อหม้อแปลงต่อขึ้นบันได	95
5.12	ข้อมูลการทดสอบหาค่าอุณหภูมิเพิ่มของขดลวดจากอุณหภูมิน้ำมันคอนบนตัวถัง	100
5.13	ค่าความต้านทานของขดลวดแรงดันสูงและขดลวดแรงดันต่ำ หลังจากตัดกำลัง ไฟฟ้าออก	101
5.14	ข้อมูลการทดสอบหาค่าอุณหภูมิเพิ่มของน้ำมันคอนบนตัวถัง จากอุณหภูมิห้อง ...	102
ก.1	ตัวอย่างขนาดลวดทองแดงและชั้นการเคลือบของฉนวน	118
ก.2.1	คุณสมบัติของกระดาษครีพท์มาตรฐาน JIS	119
ก.2.1	คุณสมบัติของกระดาษอัดแรงมาตรฐาน JIS	119



สารบัญรูป

หน้า

รูปที่

2.1	โครงสร้างหม้อแปลง ไฟฟ้า 2 ขดลวด	5
2.2	วงจรสมมูลของหม้อแปลงคิดเทียบทางด้านบ่อนเข้า	6
2.3	เฟสเซอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงทดสอบมีโหลด เป็นกะแบซิทีฟ โหลด	7
2.4	สัมประสิทธิ์การระบายความร้อนของฉนวนต่าง ๆ	8
2.5	การฉนวนในหม้อแปลงทดสอบที่แกนเหล็กต่อลงดิน	9
2.6	โครงสร้างของหม้อแปลงทดสอบแกนเหล็กต่อลงดินแบบจุ่มน้ำมัน	9
2.7	การต่อหม้อแปลงแบบชั้นบันได 2 ชั้น	10
2.8	วงจรสมมูลของหม้อแปลง ในสภาวะทรานเซียนต์	12
2.9	การตอบสนองต่อแรงดันทรานเซียนต์ของขดลวดหม้อแปลง	12
2.10	วงจรกะแบซิแทนซ์สมมูลของขดลวด	13
2.11	แรงดันกระจายบนขดลวดขึ้นกับค่า $\alpha = \sqrt{C_g/C_o}$	13
2.12	การจัดวางและการต่อขดลวด	15
2.13	แรงดันอิมพัลส์กระจายในขดลวดแบบชั้น โดยไม่มีซิลค์	15
2.14	แสดงการกระจายของแรงดันอิมพัลส์ เมื่อซิลค์ที่ขั้วแรงดันสูงแห้งเหี่ยว และซิลค์ที่ขั้วแรงดันสูงกับขั้วนิวทรัล	16
2.15	กราฟแสดงค่าแรงกระตุ้นเส้นแรงแม่เหล็กกระแสตรงและเบอร์มิบิลิตี้กระแสตรงของ เหล็กซิลิคอนชนิด Z7H	24
2.16	กราฟแสดงค่าการสูญเสียกำลัง ไฟฟ้าในเหล็กซิลิคอนชนิด Z7H	25
2.17	กราฟแสดงค่ากำลัง ไฟฟ้ากระตุ้นในเหล็กซิลิคอนชนิด Z7H	26
2.18	กระแสที่บ่อนเข้าหม้อแปลงทดสอบ	28
2.19	วงจรสมมูลของหม้อแปลง เมื่อไม่คิดกระแสสร้างสนามแม่เหล็ก	29
2.20	การคำนวณหาค่ารีแอกแตนซ์ของหม้อแปลงทรงกระบอกแกนร่วม	31
3.1	พื้นที่ภาคตัดแกนเหล็กแบบชั้น 3 ชั้น	34
3.2	มิติขดลวดและการฉนวนของการออกแบบในหัวข้อ 3.3	39
3.3	รูปการคำนวณค่ารีแอกแตนซ์ระหว่างขดลวดแรงดันต่ำกับขดลวดแรงดันสูง โดยคิดเทียบทางด้านแรงดันสูง	48

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
3.4 รูปการคำนวณค่ารีแอกแตนซ์ระหว่างขดลวดแรงดันต่ำกับขดลวดต่อควม	50
3.5 รูปการคำนวณค่ารีแอกแตนซ์ระหว่างขดลวดต่อควมกับขดลวดแรงดันสูง	51
3.6 รูปร่างและขนาดของแกนเหล็ก	53
3.7 เป็นลักษณะรูปร่างหม้อแปลงทดสอบที่ออกแบบ	57
4.1 รูปร่างและขนาดของแผ่นเหล็กซิลิคอนที่ประกอบสร้างเป็นแกนเหล็ก	59
4.2 อุปกรณ์เคลือบแกนเหล็ก	61
4.3 ภาพถ่ายแกนเหล็กหม้อแปลงพร้อมอุปกรณ์เคลือบ	62
4.4 ภาพตัดขวางของขดลวดตามแนวขวางแกนเหล็ก	64
4.5 ภาพตัดของขดลวดตามแนวแกนเหล็ก	65
4.6 ซีลค์ทองแดงของขดลวดแรงดันสูง	66
4.7 เครื่องพันขดลวดแรงดันสูง	66
4.8 เครื่องพันขดลวดแรงดันต่ำ	67
4.9 ขดลวดแรงดันต่ำที่พันเสร็จแล้ว	67
4.10 การพันขดลวดชั้นแรงดันสูง	68
4.11 การพันขดลวดต่อควม	69
4.12 การใส่ซีลค์ชั่วคราวแรงดันสูง	69
4.13 ฉนวนกระดาษหุ้มรัดจากชั้นแรงดันสูง	70
4.14 ฝาฉนวนหุ้มรัดขดลวดแรงดันสูงและขดลวดต่อควม	70
4.15 ประกอบขดลวดหม้อแปลงเข้ากับแกนเหล็กและแกนเหล็กยึดติดกับฟาดังล่าง	72
4.16 สวมถัง พิวซี	72
4.17 แสดงขั้วต่อแรงดันสูง	73
4.18 แสดงส่วนประกอบส่วนบนบนตัวถัง	74
4.19 หม้อแปลงทดสอบที่ประกอบเสร็จ	74
5.1 วงจรการตรวจสอบขั้ว	78
5.2 วงจรทดสอบ ไม่มี โหลดของหม้อแปลงทดสอบแต่ละตัว	79
5.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง I_1 , W_1 , กับ U_1 ขณะ ไม่มี โหลด	81