การจำลองการกระจายของแรงดันในขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังภายใต้แรงดันเสิร์จ

นายเฉลิมพล พากเพียร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4688-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SIMULATION OF VOLTAGE DISTRIBUTION IN POWER TRANSFORMER WINDING UNDER SURGE VOLTAGE

Mr.Chalermpon Parkpain

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2003

ISBN 974-17-4688-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองการกระจายของแรงดันในขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังภายใต้แรงดันเสิร์จ
โดย	นายเฉลิมพล พากเพียร
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล)

.... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. บุญชัย เตชะอำนาจ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เฉลิมพล พากเพียร : การจำลองการกระจายของแรงดันในขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังภายใต้แรงดันเสิร์จ. (SIMULATION OF VOLTAGE DISTRIBUTION IN POWER-TRANSFORMER WINDING UNDER SURGE VOLTAGE) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. ชาญณรงค์ บาลมงคล,จำนวนหน้า 140 หน้า. ISBN 974-17-4688-1.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอผลการจำลองการกระจายของแรงดันในขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่พันแบบดิสก์ในสภาวะที่ได้รับแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่ามาตรฐาน โดยจำลองขดลวดหม้อแปลงด้วยกลุ่มขององค์ประกอบแบบก้อนซึ่งหาค่าได้จากวิธีการต่างๆ แล้ววิเคราะห์ด้วยโปรแกรม EMTP ผลที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ของ Bewley และผลจากโปรแกรมของบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า นอกจากนี้ยังศึกษาผลของขดลวดแบบอินเตอร์ลีฟและค่าพารามิเตอร์ของขดลวดที่มีต่อการกระจายแรงดันภายในขดลวด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต เฉลิมพล พากเพียร
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ชาญณรงค์ บาลมงคล
ปีการศึกษา 2546 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4370262021 : ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORDS : VOLTAGE DISTRIBUTION / DISC WINDING / INTERLEAVED WINDING EMTP / SURGE VOLTAGE / LUMP ELEMENT

CHALERMPON PARKPAIN : SIMULATION OF VOLTAGE DISTRIBUTION IN POWER TRANSFORMER WINDING UNDER SURGE VOLTAGE THESIS ADVISOR : CHANNARONG BALMONGKOL, Dr.Sc.Techn.,140 pp. ISBN 974-17-4688-1.

This thesis presents simulation of voltage distribution in power transformer winding of disc type under standard lighting impulse. The winding is modeled as a group of lump elements which their values are determined by different method. The voltage distribution in the winding is simulated using Electromagnetic Transients Program(EMTP). The results are compared with those obtained by mathematical method of Bewley and program of transformer manufactory. Effects of interleaved winding and winding parameters on the voltage distribution are also studied.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering	Student's signature C. Parkpain
Field of study Electrical Engineering	Advisor's signature Charng Bongk
Academic year 2003	Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากอาจารย์ ดร.ชาญณรงค์ บาลมงคล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้แนวทางศึกษาวิจัย แก้ปัญหาและแก้ไขข้อบกพร่องจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

นอกจากนั้น ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย อาจารย์ ดร.คมสัน เพ็ชรรักษ์ และ อาจารย์ ดร.บุญชัย เตชะอำนาจ ที่ช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ คุณสิทธิการ จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตที่ได้ให้ความช่วยเหลือติดต่อประสานงานด้านข้อมูลและคำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณ Mr.Knut Skaar และ คุณสมบัติ จันทร์รอด จากบริษัทผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้านข้อมูลหม้อแปลง

ตลอดจน คุณระวิวรรณ อินทรัตน์ สำหรับกำลังใจที่ดีเยี่ยม และเพื่อนๆพี่ๆน้องๆทุกท่านในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง รวมทั้งบัณฑิตวิทยาลัยที่มอบทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่น้องของข้าพเจ้า ที่คอยอบรมสั่งสอน เป็นกำลังใจรวมทั้งสนับสนุนข้าพเจ้าในทุกๆด้านตลอดมา จนประสบผลสำเร็จในที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฏ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่

1. บทนำ 1
   - 1.1 บทนำทั่วไป 1
   - 1.2 ที่มาของปัญหา 1
   - 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2
   - 1.4 ขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์ 2
   - 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 3
2. หม้อแปลงไฟฟ้า 4
   - 2.1 โครงสร้างของหม้อแปลง(Transformer construction) 4
   - 2.2 โครงสร้างของส่วนที่เป็นวงจรแม่เหล็ก 5
     - 2.2.1 หม้อแปลงเฟสเดียว (Single phase transformer) 5
       - 2.2.1.1 หม้อแปลงแบบขดลวดล้อมแกนหรือหม้อแปลงแบบคอร์ (Core type transformer) 5
       - 2.2.1.2 หม้อแปลงแบบแกนล้อมขดลวดหรือแบบเชลล์ (Shell type transformer) 7
   - 2.3 หม้อแปลงสามเฟส (Three phase transformer) 9
   - 2.4 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำแกนและคุณสมบัติของแกนหม้อแปลง 10
   - 2.5 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง(Power transformers) 11
     - 2.5.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 12
       - 2.5.1.1 แกนเหล็ก 12
       - 2.5.1.2 ขดลวด 12

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

2.5.1.3 การฉนวน 15
2.5.1.4 เพรสบอร์ด 15
2.5.2 ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 16
2.5.2.1 หม้อแปลงชนิดจุ่มน้ำมัน 16
2.5.2.2 หม้อแปลงชนิดแห้ง 16
3. แบบจำลองและพารามิเตอร์ของขดลวด 19
3.1 แบบจำลองหม้อแปลงแบบเทอร์มินอล 19
3.2 แบบจำลองภายในของหม้อแปลง 22
3.3 พารามิเตอร์ภายในโมเดล 23
3.3.1 ค่าความจุไฟฟ้าเทียบกราวด์ 23
3.3.1.1 แนวคิดของ H.Rodrigo 23
3.3.1.2 แนวคิดของ K.Karsai 24
3.3.2 ความจุไฟฟ้าอนุกรม 24
3.3.2.1 วิธีของ A. Greenwood 24
3.3.2.2 วิธีของ K.Karsai 25
3.3.3 ความเหนี่ยวนำตัวเอง 33
3.3.3.1 วิธีของ K.Karsai 33
3.3.3.2 วิธีของ A. Greenwood 34
3.3.4 ความเหนี่ยวนำร่วม 35
3.3.4.1 ความเหนี่ยวนำร่วมของขดลวดแบบอินเตอร์ลีฟ 38
4. การคำนวณการกระจายแรงดันเสิร์จภายในขดลวดหม้อแปลงด้วยโปรแกรม EMTP 40
4.1 โปรแกรม EMTP 40
4.2 องค์ประกอบเชิงเส้นแบบก้อน (Lumped Linear Element) 41
4.2.1 ตัวต้านทาน 41
4.2.2 ตัวเหนี่ยวนำ 41
4.2.3 ตัวเก็บประจุ 43
4.3 แหล่งจ่าย 44
4.3.1 แหล่งจ่ายแรงดันเสิร์จ 44

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

4.4 แบบจำลองขดลวดหม้อแปลง....44
4.4.1 กรณีละเลยผลของความเหนี่ยวนำร่วม....45
4.4.2 กรณีพิจารณาผลของความเหนี่ยวนำร่วม....46
5. การคำนวณการกระจายแรงดันเสิร์จภายในขดลวดหม้อแปลงด้วยหลักการของBewley....47
5.1 การกระจายเริ่มต้น (Initial Distribution)....50
5.2 การกระจายช่วงสุดท้าย(Final Distribution)....51
5.3 ผลเฉลยกรณีขดลวดนิวตรอลต่อลงกราวด์....53
5.4 ผลของลักษณะรูปคลื่นที่จุดปลายขดลวด....56
5.5 การสร้างโปรแกรมคำนวณการกระจายของแรงดันในขดลวดหม้อแปลง....57
5.5.1 พารามิเตอร์ที่ป้อน....57
5.5.2 การทำงานของโปรแกรม....59
6. ผลการจำลองและเปรียบเทียบ....61
6.1 แบบจำลองขดลวดหม้อแปลง....61
6.2 ค่าพารามิเตอร์จากการคำนวณ....61
6.3 ผลการจำลองและเปรียบเทียบ....63
6.3.1 ผลการจำลองขดลวดแบบดิสก์....64
6.3.1.1 การจำลองด้วยโปรแกรม EMTP....64
6.3.1.2 ผลการจำลองโดยใช้วิธีการของ Bewleyและเปรียบเทียบ....79
6.3.2 ผลการจำลองขดลวดแบบอินเตอร์ลีฟ....82
6.3.3 ผลของพารามิเตอร์ต่อการกระจายของแรงดัน....88
6.3.3.1 กรณีปรับค่าความเหนี่ยวนำตัวเอง....89
6.3.3.2 กรณีปรับค่าความจุไฟฟ้าอนุกรม....89
6.3.3.3 กรณีปรับค่าความจุไฟฟ้าเทียบกราวด์....90
7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....92
7.1 สรุปผลการวิจัย....92
7.2 ข้อเสนอแนะ....93
รายการอ้างอิง....94
ภาคผนวก....96
ก. การหาสัมประสิทธิ์แรงดันรูปคลื่นฟ้าผ่า....97

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

ก.1 สมการรูปคลื่นฟ้าผ่า 98
ก.2 ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันรูปคลื่นฟ้าผ่า 98
ข. ข้อมูลหม้อแปลงที่ใช้ทำการศึกษา 99
ค. ผลการคำนวณค่าความเหนี่ยวนำ 100
ค.1 ค่าความเหนี่ยวนำร่วมวิธีของ K. A. Wirgau 100
ค.2 ค่าความเหนี่ยวนำร่วมวิธีของ A. Greenwood 122
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 140

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

6.1 พารามิเตอร์ความจุไฟฟ้าเทียบกราวด์ของขดลวด 62
6.2 พารามิเตอร์ความจุไฟฟ้าอนุกรมของขดลวด 62
6.3 พารามิเตอร์ความเหนี่ยวนำตัวเองของขดลวด 62
6.4 แสดงค่าแฟกเตอร์การกระจายของแรงดัน 63
6.5 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของขดลวดดิสก์ที่2 81

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ส่วนประกอบของหม้อแปลง 4

2.2 หม้อแปลงเมื่อขดลวดทุติยภูมิเป็นวงจรเปิด 5

2.3 โครงสร้างของหม้อแปลงแบบขดลวดล้อมแกนหรือแบบคอร์ 6

2.4 แกนเหล็กหม้อแปลงแบบขดลวดล้อมแกนหรือแบบคอร์ 6

2.5 การพันขดลวดแรงดันต่ำและแรงดันสูงไว้ข้างละครึ่งขดเพื่อลดฟลักซ์รั่ว 7

2.6 โครงสร้างของหม้อแปลงแบบเชลล์ 7

2.7 แกนเหล็กหม้อแปลงแบบแกนล้อมขดลวดหรือแบบเชลล์ 8

2.8 ลักษณะการพันขดลวดในแกนเหล็กหม้อแปลงแบบเชลล์ 8

2.9 หม้อแปลงสามเฟสแบบขดลวดล้อมแกนหรือแบบคอร์ 9

2.10 โครงสร้างของแกนเหล็ก และลักษณะการพันขดลวดทั้งสามเฟสทั้งด้านแรงดันต่ำ และแรงดันสูง 10

2.11 แกนเหล็กหม้อแปลงที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นขั้นหรือแกนเหล็กแบบครูซิฟอร์ม 11

2.12 ขดลวดแบบ helical winding 13

2.13 ขดลวดแบบ spiral winding 13

2.14 ขดลวดแบบ disc winding 13

2.15 ลักษณะรูปแบบการพันขดลวด 14

2.16 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังระบบจำหน่าย 16

2.17 หม้อแปลงชนิดแห้งหุ้มฉนวนคาสท์เรซิน 17

3.1 แบบจำลองหม้อแปลง 2 ขดลวด 21

3.2 ภาพตัดของขดลวดและวงจรสมมูลของขดลวดในแต่ละรอบ 22

3.3 วงจรสมมูลของขดลวดหม้อแปลงภายใน 23

3.4 ภาพตัดของขดลวดเพื่อหาค่าตัวเก็บประจุอนุกรม 25

3.5 ภาพตัดของขดลวดดิสก์และวงจรความจุไฟฟ้าของขดลวดดิสก์ 26

3.6 การกระจายแรงดันในขดดิสก์ 27

3.7 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการคำนวณความจุไฟฟ้าอนุกรม 29

3.8 ขดลวดที่ถูกทำให้มีความจุไฟฟ้าอนุกรมเพิ่มขึ้น(E=2) 30

3.9 ขดลวดที่ถูกทำให้มีความจุไฟฟ้าอนุกรมเพิ่มขึ้น(E=4) 31

3.10 การจัดเรียงขดลวดให้ขนานในการพันขดลวดเพื่อเพิ่มความจุไฟฟ้าอนุกรม 32

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.11 ภาพตัดของขดดีสค์ 34

3.12 รูปการหาความเหนี่ยวนำร่วมระหว่าง filaments 36

3.13 รูปการแทนขดลวดด้วย filaments สมมูล 4 filaments 37

3.14 รูปแสดงความเหนี่ยวนำร่วมระหว่าง section 38

3.15 รูปการหาความเหนี่ยวนำร่วมด้วยดิสก์สมมูล 39

4.1 วงจรสมมูลของตัวต้านทาน 41

4.2 ตัวเหนี่ยวนำและวงจรสมมูลของตัวเหนี่ยวนำ 42

4.3 การอินทิเกรทแบบสี่เหลี่ยมคางหมู 42

4.4 ตัวเก็บประจุและวงจรสมมูลของตัวเก็บประจุ 44

4.5 แบบจำลองขดลวดหม้อแปลงกรณีละเลยผลของความเหนี่ยวนำร่วม (แบบจำลองที่ 1) 45

4.6 แบบจำลองพิจารณาความเหนี่ยวนำร่วม(แบบจำลองที่ 2) 46

4.7 แบบจำลองพิจารณาความเหนี่ยวนำร่วม(แบบจำลองที่ 3) 46

5.1 วงจรของขดลวด 47

5.2 วงจรของขดลวดในสภาวะเริ่มต้น 50

5.3 วงจรของขดลวดในสภาวะสุดท้าย 52

5.4 แสดงหน้าต่างป้อนข้อมูลแหล่งจ่ายและหม้อแปลง 58

5.5 แสดงหน้าต่างป้อนข้อมูลขดลวด ตำแหน่งและเวลาในการจำลอง 59

5.6 หน้าต่างแสดงผลการจำลอง 60

6.1 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 2(แบบจำลองที่ 1) 64

6.2 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 2(แบบจำลองที่ 2) 65

6.3 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 2(แบบจำลองที่ 3) 65

6.4 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 4(แบบจำลองที่ 1) 66

6.5 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 4(แบบจำลองที่ 2) 66

6.6 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 4(แบบจำลองที่ 3) 67

6.7 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 20(แบบจำลองที่ 1) 67

6.8 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 20(แบบจำลองที่ 2) 68

6.9 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 20(แบบจำลองที่ 3) 68

6.10 ค่าแรงดันในแต่ละดิสก์ที่เวลาต่างๆ(แบบจำลองที่ 1) 69

6.11 ค่าแรงดันในแต่ละดิสก์ที่เวลาต่างๆ(แบบจำลองที่ 2) 70

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่

หน้า

6.12 ค่าแรงดันในแต่ละดิสก์ที่เวลาต่างๆ(แบบจำลองที่ 2)....70

6.13 ขนาดแรงดันสูงสุดในแต่ละดิสก์(แบบจำลองที่1)....71

6.14 ขนาดแรงดันสูงสุดในแต่ละดิสก์(แบบจำลองที่2)....71

6.15 ขนาดแรงดันสูงสุดในแต่ละดิสก์(แบบจำลองที่3)....72

6.16 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่2(แบบจำลองที่ 1)....73

6.17 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่2(แบบจำลองที่ 2)....73

6.18 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่2(แบบจำลองที่ 3)....74

6.19 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่4(แบบจำลองที่ 1)....74

6.20 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่4(แบบจำลองที่ 2)....75

6.21 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่4(แบบจำลองที่ 3)....75

6.22 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่20(แบบจำลองที่ 1)....76

6.23 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่20(แบบจำลองที่ 2)....76

6.24 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่20(แบบจำลองที่ 3)....77

6.25 ขนาดแรงดันสูงสุดในแต่ละดิสก์(แบบจำลองที่1)....77

6.26 ขนาดแรงดันสูงสุดในแต่ละดิสก์(แบบจำลองที่2)....78

6.27 ขนาดแรงดันสูงสุดในแต่ละดิสก์(แบบจำลองที่3)....78

6.28 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 2....79

6.29 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 2....79

6.30 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 2....80

6.31 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 2....80

6.32 แรงดันของขดลวดดิสก์ที่ 2....81

6.33 แรงดันขององค์ประกอบที่ 1(แบบจำลองที่ 1)....82

6.34 แรงดันขององค์ประกอบที่ 1(แบบจำลองที่ 2)....82

6.35 แรงดันขององค์ประกอบที่ 1(แบบจำลองที่ 3)....83

6.36 แรงดันในแต่ละองค์ประกอบที่เวลาต่างๆ(แบบจำลองที่ 1)....83

6.37 แรงดันในแต่ละองค์ประกอบที่เวลาต่างๆ(แบบจำลองที่ 2)....84

6.38 แรงดันในแต่ละองค์ประกอบที่เวลาต่างๆ(แบบจำลองที่ 3)....85

6.39 แรงดันสูงสุดขององค์ประกอบต่างๆ(แบบจำลองที่ 1)....85

6.40 แรงดันสูงสุดขององค์ประกอบต่างๆ(แบบจำลองที่ 2)....86

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.41 แรงดันสูงสุดขององค์ประกอบต่างๆ(แบบจำลองที่ 3) 86
6.42 เปรียบเทียบแรงดันตำแหน่งต่างๆของขดลวด2ประเภท(แบบจำลองที่ 1) 87
6.43 เปรียบเทียบแรงดันตำแหน่งต่างๆของขดลวด2ประเภท(แบบจำลองที่ 2) 87
6.44 เปรียบเทียบแรงดันตำแหน่งต่างๆของขดลวด2ประเภท(แบบจำลองที่ 3) 88
6.45 เปรียบเทียบแรงดันเมื่อปรับค่าความเหนี่ยวนำเป็น 2 เท่า 89
6.46 เปรียบเทียบแรงดันเมื่อปรับค่าความจุไฟฟ้าอนุกรมเป็น 2 เท่า 90
6.47 เปรียบเทียบแรงดันเมื่อปรับค่าความจุไฟฟ้าเทียบกราวด์เป็น 2 เท่า 91
ข.1 หน้าต่างป้อนข้อมูลเสิร์จในโปรแกรม EMTP 98
ข.2 รูปคลื่นแรงดันเสิร์จ 98

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย