สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม ATP/EMTP

FAULT ANALYSIS IN THREE-PHASE TRANSFORMER WINDINGS USING ATP/EMTP

T050949

จิตรี อินทร์พยุง

JITTREE INDRA-PAYOONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2547

ISBN 974-324-986-9

วท.
จ463ก
2547
เลขหมู่..............................
เลขทะเบียน 50949
วัน,เดือน,ปี 26 พ.ค. 2547

b...............................
i...............................

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAULT ANALYSIS IN THREE-PHASE TRANSFORMER WINDINGS USING ATP/EMTP

JITTREE INDRA-PAYOONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2004

ISBN 974-324-986-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้ โปรแกรม ATP/EMTP
นักศึกษา	นางสาวจิตรี อินทร์พยุง
รหัสประจำตัว	43061029
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์พฤติกรรมของการเกิดฟอลต์ที่ขดลวดภายในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยทำการพิจารณาข้อมูลหม้อแปลงทดสอบ BCTRAN 2 พิกัด คือ ขนาด 50 MVA, 115/23 kV, YNyn0 และขนาด 35 MVA, 132/11.05 kV, YNyn0 และทำการสร้างแบบจำลองเพื่อจำลองสภาวะฟอลต์ที่ขดลวดภายในหม้อแปลง ของหม้อแปลงทั้ง 2 พิกัดดังกล่าวด้วยโปรแกรม ATP/EMTP (Alternative Transient Program/Electromagnetic Transient Program) เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของฟอลต์ในกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด และกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส ซึ่งผลของการวิเคราะห์สัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันที่จำลองได้จากโปรแกรม ATP/EMTP นี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบป้องกันร่วมกับดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์สำหรับการพิจารณาสั่งปลดวงจรที่เซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อปลดหม้อแปลงออกจากระบบเมื่อเกิดสภาวะฟอลต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Fault Analysis in Three-Phase Transformer Windings Using ATP/EMTP
Student	Miss Jittree Indra-payoong
Student ID	43061029
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Monthon Leelajindakrairerk

ABSTRACT

This thesis proposes a simulation model of fault behavior in windings of three-phase transformers. Two rates of testing transformer, BCTRAN, are considered, the 50 MVA, 115/23 kV, YNyn0 and the 35 MVA, 132/11.05 kV, YNyn0. To simulate the fault in windings of two testing transformers, the simulation models are performed based on the ATP/EMTP software for investigating three types of fault in case of the winding-to-ground, the winding-to-winding and the phase-to-phase fault. Results of the analyze in terms of current and voltage signals can be used as potential benefit in designing an efficient fault protection system with differential relays for switching off transformer breakers when the fault is detected.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงแด่ รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ในคำแนะนำ วิธีและขั้นตอนในการศึกษารวมถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานวิจัยอย่างใกล้ชิด จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงแด่ รศ.ศุลี บรรจงจิตร รศ.นิทัศน์ กฤษณจินดา รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร และผศ.ดร.อานันทวัฒน์ คุณากร ที่ได้ให้คำแนะนำในการศึกษาและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเรียบร้อยโดยสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.บุญเลิศ สื่อเฉย อ.ปัญญา มาลีวัตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ และอ.สิริวิช ทัดสวน สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า วิทยาลัยเทคโนโลยีธนบุรี ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์แก่งานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณอภิสิทธิ์ เอกชีวานนท์ วิศวกรบริษัทเอบีบี จำกัด ที่กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับโปรแกรม ATP/EMTP ตลอดจนเอื้อเฟื้อข้อมูลในส่วนของผลการทดสอบหม้อแปลงที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ เรืองยศ เกตุรักษา และเพื่อนๆ พี่ๆ ทุกคนที่มีส่วนร่วมในการให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

อนึ่งผู้วิจัยมีความสำนึกในพระคุณของคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนวิทยาการต่างๆ และขอขอบคุณ ครอบครัวที่แสนอบอุ่น คุณพ่อ คุณแม่ พี่ตั้มและน้องตุ่น ที่ได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา อีกทั้งผู้วิจัยขอขอบพระคุณต่อหน่วยงานและบริษัทที่ให้การสนับสนุนทางด้านข้อมูล คือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและบริษัทเอบีบี จำกัด

ท้ายที่สุดนี้ คุณความดีและคุณประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้เป็นสิ่งตอบแทนต่อผู้มีพระคุณทุกท่านของผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบัน

จิตรี อินทร์พยุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	XVIII

บทที่ 1 บทนำ..1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์......................................1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์..................................2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ...2

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์..3

บทที่ 2 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง...4

2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง..............................4

2.2 ระบบป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง...5

2.2.1 การป้องกันแบบวัดค่าผลต่าง...5

2.2.2 การป้องกันกระแสเกิน...6

2.2.3 การป้องกันฟอลต์ลงดินแบบจำกัดบริเวณ..7

2.2.4 รีเลย์ความร้อน..8

2.2.5 บุคโฮลรีเลย์..8

2.3 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง..9

2.3.1 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาด 50 MVA..9

2.3.2 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาด 35 MVA..10

บทที่ 3 การคำนวณหาค่าเมตริกซ์ RL ในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม BCTRAN....12

3.1 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์เพื่อป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN......................12

3.1.1 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาด 50 MVA...12

3.1.2 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาด 35 MVA ..15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การหาค่าเมตริกซ์ RL ในสภาวะปกติของหม้อแปลง 3 เฟส....18

3.2.1 การหาค่าเมตริกซ์ RL ในแบบจำลองของหม้อแปลง โดยใช้โปรแกรม BCTRAN....18

3.2.2 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN และผลที่ได้รับ....21

3.2.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN ในสภาวะปกติ ของหม้อแปลง 3 เฟส....23

3.3 การหาค่าเมตริกซ์ RL กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน....24

3.3.1 การหาค่าเมตริกซ์ RL ในแบบจำลองของหม้อแปลง กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน....24

3.3.2 ตัวอย่างผลของเมตริกซ์ RL ในกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน...26

3.3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN กรณีฟอลต์แบบ ขดลวดลัดวงจรลงดิน....27

3.4 การหาค่าเมตริกซ์ RL กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด....28

3.4.1 การหาค่าเมตริกซ์ RL ในแบบจำลองของหม้อแปลง กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด....28

3.4.2 ตัวอย่างผลของเมตริกซ์ RL ในกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร ระหว่างรอบของขดลวด....30

3.4.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN กรณีฟอลต์แบบ ลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด....32

3.5 การหาค่าเมตริกซ์ RL กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส....33

3.5.1 การหาค่าเมตริกซ์ RL ในแบบจำลองของหม้อแปลง กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส....33

3.5.2 ตัวอย่างผลของเมตริกซ์ RL ในกรณีฟอลต์แบบขดลวด ลัดวงจรระหว่างเฟส....34

3.5.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN กรณีฟอลต์แบบ ขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส....35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การออกแบบ ATP/EMTP เพื่อใช้วิเคราะห์ฟอลต์ในหม้อแปลง....36

4.1 การสร้างวงจรทดสอบ....36

4.1.1 หน้าต่างของโปรแกรม ATPDraw....37

4.1.2 การวาดภาพวงจรใน ATPDraw....37

4.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรทดสอบ....41

4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ฟอลต์ในหม้อแปลง....43

4.3 วงจรที่ใช้ในการทดสอบ....44

4.3.1 กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน....44

4.3.2 กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด....44

4.3.3 กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส....44

บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล....45

5.1 กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน....45

5.1.1 ผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....46

5.1.1.1 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส A....46

5.1.1.2 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส A....48

5.1.1.3 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A....49

5.1.1.4 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A....51

5.1.1.5 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส B....52

5.1.1.6 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B....53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.1.7 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส C.....54

5.1.1.8 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C.....55

5.1.2 ผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินของหม้อแปลงขนาด 35 MVA.....56

5.1.2.1 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส A.....56

5.1.2.2 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส A.....58

5.1.2.3 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A.....59

5.1.2.4 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A.....61

5.1.2.5 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส B.....62

5.1.2.6 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B.....63

5.1.2.7 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส C.....64

5.1.2.8 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C.....65

5.1.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....66

5.2 กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด.....67

5.2.1 ผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดของหม้อแปลงขนาด 50 MVA.....68

5.2.1.1 ผลการทดสอบขณะลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A.....68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.1.2 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร ระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A...........69
5.2.1.3 ผลการทดสอบขณะลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด ทางด้าน secondary ของเฟส A...........70
5.2.1.4 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร ระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A.........72
5.2.1.5 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร ระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B...........73
5.2.1.6 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร ระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B........74
5.2.1.7 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร ระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C............75
5.2.1.8 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร ระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C.........76
5.2.2 ผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA...........77
5.2.2.1 ผลการทดสอบขณะลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด ทางด้าน primary ของเฟส A...........77
5.2.2.2 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร ระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A...........78
5.2.2.3 ผลการทดสอบขณะลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด ทางด้าน secondary ของเฟส A...........79
5.2.2.4 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร ระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A.........81
5.2.2.5 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร ระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B...........82
5.2.2.6 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร ระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B........83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2.2.7 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร ระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C..........84

5.2.2.8 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจร ระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C.........85

5.2.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ..........86

5.3 กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส..........87

5.3.1 ผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA..........88

5.3.1.1 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A และ B ทางด้าน primary..........88

5.3.1.2 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A และ C ทางด้าน primary..........90

5.3.1.3 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส B และ C ทางด้าน primary..........92

5.3.1.4 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A และ B ทางด้าน secondary..........94

5.3.1.5 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A และ C ทางด้าน secondary..........96

5.3.1.6 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส B และ C ทางด้าน secondary..........98

5.3.2 ผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA..........100

5.3.2.1 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A และ B ทางด้าน primary..........100

5.3.2.2 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A และ C ทางด้าน primary..........102

5.3.2.3 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส B และ C ทางด้าน primary..........104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3.2.4 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A และ B ทางด้าน secondary..106

5.3.2.5 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A และ C ทางด้าน secondary..108

5.3.2.6 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส B และ C ทางด้าน secondary..110

5.3.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ..112

5.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของหม้อแปลงขนาด 50 MVA และขนาด 35 MVA กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน..113

5.4.1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรลงดิน ทางด้าน primary ของเฟส A..113

5.4.1.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45%ทางด้านprimaryของเฟส A...113

5.4.1.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45%ทางด้านprimaryของเฟส A...114

5.4.1.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45%ทางด้านprimaryของเฟส A...114

5.4.1.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A..116

5.4.2 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส A..117

5.4.2.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A 117

5.4.2.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A 118

5.4.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรลงดิน ทางด้าน secondary ของเฟส A..119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4.3.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน45%ทางด้านsecondaryของเฟส A.119

5.4.3.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน45%ทางด้านsecondaryของเฟสA.120

5.4.3.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน45%ทางด้านsecondaryของเฟสA.121

5.4.3.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A..122

5.4.4 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A........................123

5.4.4.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A.....................123

5.4.4.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A.....................124

5.4.5 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส B...........................125

5.4.5.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B 125

5.4.5.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B 126

5.4.6 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B......................127

5.4.6.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B.....................127

5.4.6.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B.....................128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4.7 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส C....................129

5.5.7.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C 129

5.5.7.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C 130

5.4.8 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C.....................131

5.4.8.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C.....................131

5.4.8.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C.....................132

5.5 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของหม้อแปลงขนาด 50 MVA และขนาด 35 MVA กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด.......................................133

5.5.1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A..133

5.5.1.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบทางด้าน primary ของเฟส A..133

5.5.1.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อ เกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบทางด้าน primary ของเฟส A..134

5.5.1.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบทางด้าน primary ของเฟส A..135

5.5.2 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A......................136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.5.2.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A.......................136
5.5.2.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A.......................137
5.5.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A.......................138
5.5.3.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบทางด้าน secondary ของเฟส A.......................138
5.5.3.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบทางด้าน secondary ของเฟส A.......................139
5.5.3.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบทางด้าน secondary ของเฟส A.......................140
5.5.4 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A.......................141
5.5.4.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A.......................141
5.5.4.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A.......................142
5.5.5 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B.......................143
5.5.5.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B.......................143
5.5.5.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B.......................144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.5.6 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B.....................145

5.5.6.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B......................145

5.5.6.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B......................146

5.5.7 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C.........................147

5.5.7.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C......................147

5.5.7.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C......................148

5.5.8 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C.....................149

5.5.8.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C......................999

5.5.8.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C......................149

5.6 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของหม้อแปลงขนาด 50 MVA และขนาด 35 MVA กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส..151

5.6.1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary..151

5.6.1.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary 151

5.6.1.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary 152

5.6.1.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary 153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.6.1.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสของหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary 154
5.6.2 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary..155
5.6.2.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary 155
5.6.2.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary 156
5.6.2.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary 157
5.6.2.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสของหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary 158
5.6.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary..159
5.6.3.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary 159
5.6.3.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary 160
5.6.3.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary 161
5.6.3.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสของหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary 162
5.6.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary..163
5.6.4.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary 163
5.6.4.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary 164

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.6.4.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary 165
5.6.4.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสของหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary 166
5.6.5 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary..167
5.6.5.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary 167
5.6.5.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary 168
5.6.5.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary 169
5.6.5.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสของหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary 170
5.6.6 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary..171
5.6.6.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary..............171
5.6.6.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary 172
5.6.6.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary 173
5.6.6.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสของหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary 174

บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ..175
6.1 สรุปผลการทดสอบ..175
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ..176

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง...177

ภาคผนวก **ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์**...178

ประวัติผู้เขียน...185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างภายในของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 45 MVA, 132/33 kV, 50 Hz....4

2.2 โครงสร้างภายนอกของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 30 MVA, 132/33-11 kV....4

2.3 อุปกรณ์หลักที่ใช้สำหรับป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง....5

2.4 การป้องกันแบบวัดค่าผลต่าง....6

2.5 การต่อหม้อแปลงโดยใช้รีเลย์กระแสเกินสำหรับ

(a) ขดลวดต่อแบบเดลต้า (b) ขดลวดต่อแบบสตาร์....7

2.6 การต่อวงจรการป้องกันฟอลต์ลงดินแบบจำกัดบริเวณสำหรับ

(a) ขดลวดต่อแบบสตาร์ (b) ขดลวดต่อแบบเดลต้า....7

2.7 หลักการทำงานอย่างง่ายของบุคโฮลรีเลย์....8

2.8 แผนที่ระบบไฟฟ้าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ....11

3.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN ในสภาวะปกติของหม้อแปลง 3 เฟส....21

3.2 ขดลวดของหม้อแปลงขณะเกิดการลัดวงจรลงดิน....22

3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน....25

3.4 ขดลวดของหม้อแปลงขณะเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด.... 26

3.5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN กรณีฟอลต์แบบ

ลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด....30

3.6 ขดลวดของหม้อแปลงขณะเกิดขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส....31

3.7 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส...33

4.1 หน้าต่างหลักของโปรแกรม ATPDraw....36

4.2 เมนูเลือกอุปกรณ์....37

4.3 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ตัวอย่างที่เลือก....37

4.4 วงจรไฟฟ้าตัวอย่างที่สร้างขึ้น....38

4.5 หน้าต่างกำหนดค่าของอุปกรณ์....38

4.6 หน้าต่างกำหนดชื่อโหนดและติดตั้งกราวน์....39

4.7 หน้าต่างกำหนดค่าช่วงเวลาในการวิเคราะห์....39

4.8 หน้าต่างแสดงผลในรูปกราฟ....40

4.9 ขั้นตอนการวิเคราะห์ฟอลต์ในหม้อแปลงด้วยโปรแกรม ATP/EMTP....42

4.10 วงจรทดสอบกรณีเกิดฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน....43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.11 วงจรทดสอบกรณีเกิดฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด.....43

4.12 วงจรทดสอบกรณีเกิดฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส.....44

5.1 วงจรทางไฟฟ้ากรณีเกิดฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน.....45

5.2 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A.....46

5.3 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45 % ทางด้าน primary ของเฟส A.....46

5.4 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A.....47

5.5 สัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A.....47

5.6 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA.....48

5.7 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA.....48

5.8 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A.....49

5.9 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A.....49

5.10 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A.....50

5.11 สัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A.....50

5.12 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA.....51

5.13 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA.....51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.14 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....52

5.15 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....52

5.16 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....53

5.17 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....53

5.18 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....54

5.19 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....54

5.20 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....55

5.21 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....55

5.22 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A....56

5.23 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A....56

5.24 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A....57

5.25 สัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A....57

5.26 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA....58

5.27 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA....58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.28 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A 59

5.29 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A 59

5.30 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A 60

5.31 สัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A 60

5.32 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA 61

5.33 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA 61

5.34 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA 62

5.35 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA 62

5.36 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA 63

5.37 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA 63

5.38 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA 64

5.39 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA 64

5.40 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA 65

5.41 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.42 วงจรทางไฟฟ้ากรณีเกิดฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด........................67

5.43 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการ
ลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A........................68

5.44 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการ
ลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A........................68

5.45 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการ
ลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A........................69

5.46 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A
ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA........................69

5.47 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A
ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA........................70

5.48 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการ
ลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A........................70

5.49 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการ
ลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A........................70

5.50 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการ
ลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A........................71

5.51 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A
ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA........................71

5.52 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A
ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA........................72

5.53 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B
ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA........................72

5.54 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B
ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA........................73

5.55 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B
ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA........................73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.56 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....74

5.57 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....74

5.58 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....75

5.59 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....75

5.60 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA....76

5.61 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A....76

5.62 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A....77

5.63 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A....78

5.64 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA....78

5.65 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA....79

5.66 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A....79

5.67 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A....80

5.68 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A....80

5.69 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA....81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.70 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA.....81

5.71 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA.....82

5.72 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA.....82

5.73 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA.....83

5.74 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA.....83

5.75 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA.....84

5.76 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA.....84

5.77 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA.....85

5.78 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA.....85

5.79 วงจรทางไฟฟ้ากรณีเกิดฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส.....87

5.80 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary.....88

5.81 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary.....88

5.82 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary.....89

5.83 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary.....89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.84 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary......90

5.85 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary......90

5.86 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary......91

5.87 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary......91

5.88 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary......92

5.89 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary......92

5.90 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary......93

5.91 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary......93

5.92 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary......94

5.93 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary......94

5.94 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary......95

5.95 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary......95

5.96 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary......96

5.97 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary......96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.98 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary.....97

5.99 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary.....97

5.100 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary.....98

5.101 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary.....98

5.102 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary.....99

5.103 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary.....99

5.104 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary.....100

5.105 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary.....100

5.106 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary.....101

5.107 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary.....101

5.108 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary.....102

5.109 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary.....102

5.110 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary.....103

5.111 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary.....103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.112 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary....104

5.113 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary....104

5.114 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary....105

5.115 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary....105

5.116 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary....106

5.117 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary....106

5.118 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary....107

5.119 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary....107

5.120 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary....108

5.121 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary....108

5.122 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary....109

5.123 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary....109

5.124 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary....110

5.125 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary....110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.126 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary.....111

5.127 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary.....111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ถึงแม้ว่าประเทศไทยไม่ได้ถูกจัดว่าเป็นประเทศแห่งอุตสาหกรรม แต่ในการดำเนินชีวิตและการพัฒนาประเทศนั้นจำเป็นต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้า เพราะพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างยิ่งสำหรับงานทางด้านอุตสาหกรรมและงานทางด้านอื่นๆ อีกมากมาย ในระบบส่งจ่ายกระแสไฟฟ้านั้นหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อระบบโดยมีหน้าที่ในการเปลี่ยนระดับแรงดันให้เป็นไปตามความเหมาะสมต่อความต้องการ หากขาดหม้อแปลงไฟฟ้าการที่จะส่งกระแสไฟฟ้าที่มีปริมาณมากๆ ไปในระยะทางที่ห่างไกล ย่อมทำไม่ได้แน่นอนเพราะถ้าไม่มีหม้อแปลงไฟฟ้านั้นก็หมายความว่าจะต้องสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและสายส่งที่มีขนาดใหญ่มากกว่าเดิมหลายเท่า แต่ในการนำหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าไปใช้งานในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นย่อมหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะไม่ให้มีการทำงานผิดพลาดเกิดขึ้น ทั้งแบบที่เป็นการทำงานผิดพลาดภายในหม้อแปลง เช่น การลัดวงจรภายในตัวหม้อแปลงแบบลงดิน การลัดวงจรระหว่างเฟส การลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด การลัดวงจรที่แกน และทั้งแบบที่เป็นการทำงานผิดพลาดที่เกิดขึ้นภายนอกตัวหม้อแปลง เช่น ความผิดพลาดที่เกิดจากตัวถังบกพร่อง การลัดวงจรที่ขั้วภายนอก หรือการลัดวงจรที่สายต่อลงดินเป็นต้น ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้ล้วนส่งผลในลักษณะที่เป็นอันตรายต่อหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังทั้งสิ้น

เนื่องจากโครงสร้างภายในของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังค่อนข้างง่ายจึงทำให้หม้อแปลงจัดเป็นบริภัณฑ์ที่เชื่อถือได้ (Reliable) แต่ถึงอย่างไร ความเชื่อถือได้นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น การออกแบบที่ดีพอ ความรอบคอบและความพิถีพิถันในการสร้าง การบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม และการจัดระบบป้องกันเป็นต้น อย่างไรก็ตามระบบป้องกันหม้อแปลงจะยุ่งยากและเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ติดตั้งและขนาดของหม้อแปลง โดยหม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่กว่าก็ย่อมต้องมีระบบป้องกันที่ยุ่งยากมากขึ้น และในบางครั้งสภาวะผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นยากต่อการตัดสินใจว่าสภาวะผิดปกติที่เกิดขึ้นจะเป็นสภาวะที่ส่งผลเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเป็นแค่สภาวะผิดปกติชั่วขณะที่ไม่ร้ายแรงต่อระบบและไม่ทำความเสียหายแก่อุปกรณ์ไฟฟ้า ดังนั้นวิธีการอย่างหนึ่งที่จะช่วยให้ระบบไฟฟ้าทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและลดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องมีระบบป้องกันหม้อแปลงที่ดีพอ สามารถตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงขณะใช้งาน ก็จะเป็นการป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงก่อนที่จะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เนื่องจากหม้อแปลงถือว่าเป็นอุปกรณ์สำคัญของระบบส่งจ่ายไฟฟ้าซึ่งโดยทั่วไปการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังมักใช้ดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์เป็นอุปกรณ์ป้องกันสภาวะผิดปกติที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลง ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของสภาวะผิดปกติที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสแบบต่างๆ โดยมีการนำโปรแกรม ATP/EMTP มาใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อจำลองสภาวะผิดปกติออกมา ซึ่งผลของสัญญาณทั้งกระแสและแรงดันที่จำลองได้จากโปรแกรมนี้สามารถนำไปวิเคราะห์สำหรับใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบป้องกันร่วมกับดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์เพื่อป้องกันสภาวะผิดปกติที่จะเกิดขึ้นกับขดลวดของหม้อแปลงได้

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ทำการสร้างแบบจำลองหม้อแปลงทดสอบ BCTRAN ของหม้อแปลง 2 พิกัด คือ ขนาด 50 MVA, 115/23 kV, YNyn0 และขนาด 35 MVA, 132/11.05 kV, YNyn0 จากผลการทดสอบของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบลัดวงจรและแบบเปิดวงจรที่ทำการทดสอบทั้งลำดับบวกและลำดับศูนย์

2. ทำการสร้างแบบจำลองเพื่อจำลองสภาวะฟอลต์ที่ขดลวดภายในหม้อแปลงของหม้อแปลง 2 พิกัดดังที่ได้กล่าวในข้อ 1 ด้วยโปรแกรม ATP/EMTP ในกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดและกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส

3. วิเคราะห์ผลของสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันขณะเกิดฟอลต์ในกรณีต่างๆ ดังที่ได้กล่าวในข้อ 2 ของหม้อแปลงทั้ง 2 พิกัดที่จำลองได้จากโปรแกรม ATP/EMTP

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบขนาดของกระแสและขนาดของแรงดันขณะเกิดฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสในกรณีต่างๆ ได้

2. สามารถนำผลที่ได้จากการจำลองไปวิเคราะห์เพื่อประยุกต์ใช้กับดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์สำหรับการพิจารณาสั่งปลดวงจรที่เซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อปลดหม้อแปลงออกจากระบบเมื่อเกิดสภาวะฟอลต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาเรื่องการวิเคราะห์ฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม ATP/EMTP ซึ่งมีรายละเอียดที่จะกล่าวถึงในวิทยานิพนธ์แบ่งเป็นบทๆ ได้ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวนำถึงความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์ ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ รวมถึงประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2 ได้กล่าวถึง โครงสร้างและส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ระบบป้องกันหม้อแปลงโดยทั่วไปและการป้องกันแบบวัดค่าผลต่าง อีกทั้งยังกล่าวรวมถึงรายงานผลการทดสอบของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบลัดวงจรและแบบเปิดวงจรที่ทำการทดสอบทั้งลำดับบวกและลำดับศูนย์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส 2 พิกัด คือ ขนาด 50 MVA, 115/23 kV, YNyn0 และขนาด 35 MVA, 132/11.05 kV, YNyn0

บทที่ 3 กล่าวถึงการคำนวณหาค่าเมตริกซ์ RL ในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ทั้งในสภาวะปกติและกรณีเกิดฟอลต์แบบต่างๆ โดยใช้โปรแกรม BCTRAN

บทที่ 4 กล่าวถึง การออกแบบโปรแกรม ATP/EMTP เพื่อใช้วิเคราะห์ฟอลต์ในหม้อแปลงซึ่งประกอบด้วย การสร้างวงจรทดสอบ ขั้นตอนการวิเคราะห์ฟอลต์ในหม้อแปลงและวงจรที่ใช้ในการทดสอบ

บทที่ 5 เป็นส่วนที่นำเสนอผลของการทดสอบสภาวะฟอลต์ของหม้อแปลงทั้ง 2 พิกัด ในกรณีต่างๆ ที่จำลองได้จากโปรแกรม ATP/EMTP รวมถึงการวิเคราะห์ผลการทดสอบในแต่ละกรณี

บทที่ 6 ได้มีการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ตลอดจนถึงแนวทางในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

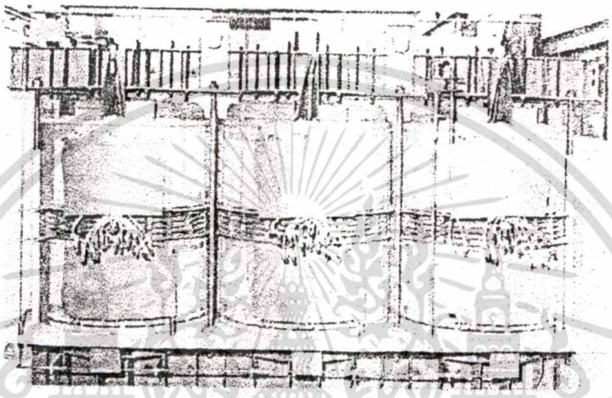
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

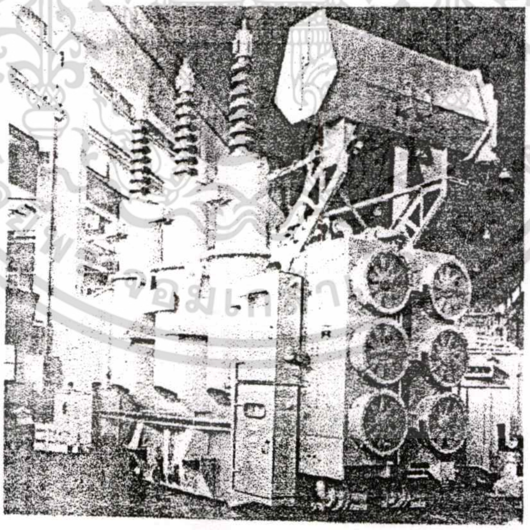
บทที่ 2
หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

หม้อแปลงเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีโครงสร้างง่ายกว่าอุปกรณ์อื่นๆ ในชนิดเดียวกันซึ่งมีข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดก็คือ สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงโดยไม่ต้องอาศัยส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotation part) [1]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างภายในของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 45 MVA, 132/33 kV, 50 Hz



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายนอกของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 30 MVA, 132/33-11 kV

โครงสร้างและส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงมีดังนี้

1. ส่วนประกอบภายนอก ประกอบด้วย ตัวถังหม้อแปลง (Transformer Tank) ห้องรองรับน้ำมัน (Conservator) อุปกรณ์กระจายความร้อน (Radiator Fin) ขั้วต่อสาย (Terminal) ห้องหายใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และห้องกรองความชื้น (Breather and Silica gel) เครื่องวัดน้ำมัน (Oil Gauge) น้ำมันหม้อแปลง (Transformer Oil) บุชชิ่ง (Bushing) และอุปกรณ์ป้องกันอื่นๆ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ บุคโฮลรีเลย์ (Buchholz Relay) วาล์วระบายอากาศ (Pressure Relief) เป็นต้น

2. ส่วนต่อภายในและภายนอก ประกอบด้วย สายตัวนำ แท็ปเชนเจอร์ (Tapchanger) ฉนวนปลายขั้ว (Terminal Insulator) เป็นต้น

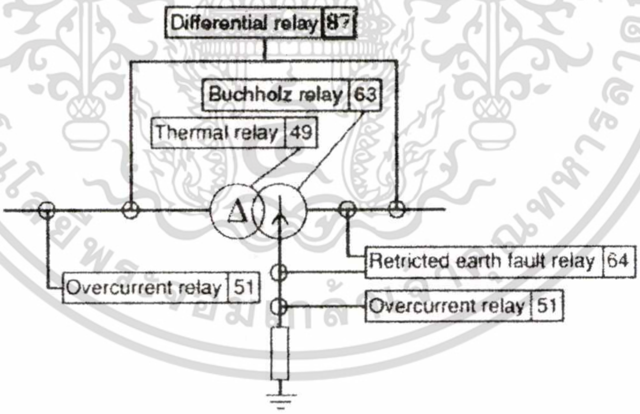
3. ส่วนที่เป็นวงจรแม่เหล็ก (Magnetic Circuit) ประกอบด้วยแกนเหล็กซิลิคอน และส่วนที่จับยึดโครงสร้างของแกนเหล็ก (Clamping) เป็นต้น

4. ส่วนที่เป็นวงจรไฟฟ้า (Electric Circuit) ประกอบด้วยขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิ และเครื่องรัด (Bracing Device) เป็นต้น

5. ฉนวน (Insulation) เป็นฉนวนในลักษณะต่างๆ ที่ใช้ในส่วนต่างๆ ของหม้อแปลง เช่น ฉนวนระหว่างขดลวดแรงต่ำกับขดลวดแรงสูง เป็นต้น

2.2 ระบบป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

หม้อแปลงที่จะทำการติดตั้งระบบป้องกันนั้นไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เหมือนกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสำคัญและขนาดของหม้อแปลง ซึ่งโดยทั่วไปรีเลย์ส่วนใหญ่ที่มักจะใช้ในการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังนั้นสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.3 [2]



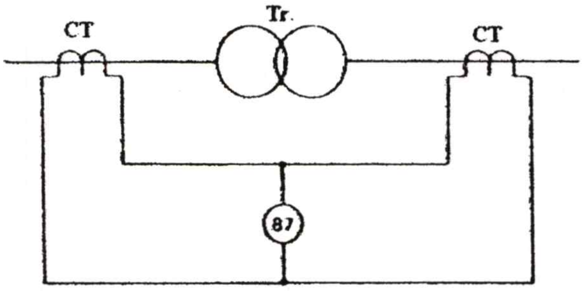
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์หลักที่ใช้สำหรับป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

2.2.1 การป้องกันแบบวัดค่าผลต่าง (Differential Protection)

ดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ส่วนใหญ่จะเป็นแบบเปรียบเทียบค่าแตกต่างระหว่างกระแส 2 ปริมาณหรือมากกว่า ตัวอย่างของการป้องกันแบบนี้ที่ง่ายที่สุดได้แก่ลักษณะวงจรในรูปที่ 2.4 ลักษณะของการต่อวงจรเช่นนี้สามารถเปรียบเทียบกระแสที่ไหลเข้าและออกจากส่วนของวงจรที่ต้องการป้องกันซึ่งในสภาวะปกติควรจะมีค่าเท่ากัน แต่ถ้ามีฟอลต์เกิดขึ้นในส่วนของวงจรที่ต้องการป้องกัน กระแสที่ไหลเข้าและออกจากส่วนของวงจรที่ต้องการป้องกันจะมีค่าความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ รีเลย์ก็จะทำงานปิดคอนแทคในวงจรเพื่อให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดตอนแยกเอาส่วนของวงจรนี้ออกจากระบบไฟฟ้ากำลัง [3]



รูปที่ 2.4 การป้องกันแบบวัดค่าผลต่าง

จากหลักการดังกล่าวข้างต้นในการป้องกันหม้อแปลง จะต้องมีการเลือกลักษณะการต่อ CT เข้าด้วยกันและอัตราส่วนจำนวนรอบของ CT ที่ต่อทางด้านเข้าและออกจากหม้อแปลงให้เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อชดเชยต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดกระแสและการเลื่อนเฟส

การป้องกันโดยการวัดค่าผลต่างของกระแสที่ใช้รีเลย์กระแสเกินต้องติดตั้งรีเลย์ที่จุดกึ่งกลางระหว่างตำแหน่งของ CT ที่ติดตั้งทางด้านเข้าและด้านออกของส่วนของวงจรที่ต้องการป้องกัน การป้องกันแบบนี้ใช้งานได้ดีถ้า CT ที่ใช้มีความแม่นยำสูงและ CT ทั้งสองด้านแปลงกระแสได้แม่นยำเท่าๆ กัน อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไป CT จะแปลงกระแสผิดพลาดไปบ้างมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชั้นของความแม่นยำของ CT ที่ใช้งาน สำหรับกระแสทางด้านปฐมภูมิค่าหนึ่ง CT ทางด้านเข้าอาจแปลงค่ากระแสได้แตกต่างจาก CT ทางด้านออก ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า CT mismatch ซึ่งมีสาเหตุหลายประการ ได้แก่

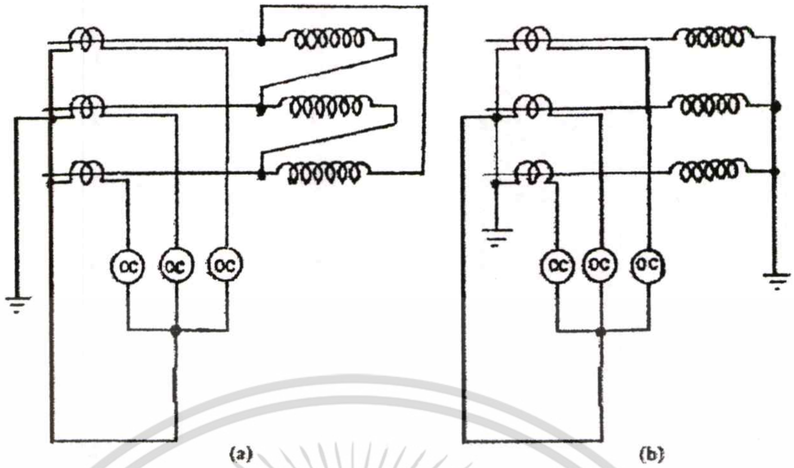
- สมบัติทางแม่เหล็กที่แตกต่างกันเล็กน้อย
- อำนาจแม่เหล็กคงค้าง (residual magnetism)ที่มีค่าไม่เท่ากันขณะใดขณะหนึ่ง
- กระแสออฟเซต (offset current) ที่เกิดขึ้นระหว่างการเปลี่ยนแปลงชั่วขณะ (transient) ภายหลังการลัดวงจรนอกเขตป้องกัน กระแสออฟเซตค่าสูงๆ มีผลให้ CT ในแต่ละด้านตอบสนองแตกต่างกัน
- บางครั้ง CT เกิดการอิ่มตัว (saturation) การแปลงกระแสจะผิดพลาดได้มาก ภาวะที่เลวร้ายที่สุดคือ มี CT ตัวหนึ่งอิ่มตัว แต่ตัวอื่นๆ ไม่อิ่มตัว

2.2.2 การป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Protection)

การป้องกันแบบวัดค่าผลต่างโดยทั่วไปจะไม่คุ้มค่าสำหรับหม้อแปลงที่มีพิกัดต่ำกว่า 5 MVA ในกรณีนี้ระบบป้องกันหลักของหม้อแปลงจะใช้รีเลย์กระแสเกินเพื่อป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟส สำหรับหม้อแปลงที่มีพิกัดสูงกว่า 5 MVA ถ้าระบบป้องกันหลักคือแบบวัดค่าผลต่างก็จะใช้รี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลย์กระแสเกินเสริมเพื่อทำหน้าที่ป้องกันสำรองสำหรับฟอลต์นอกเขตป้องกันพร้อมกับรีเลย์ป้องกันฟอลต์ลงดินด้วย

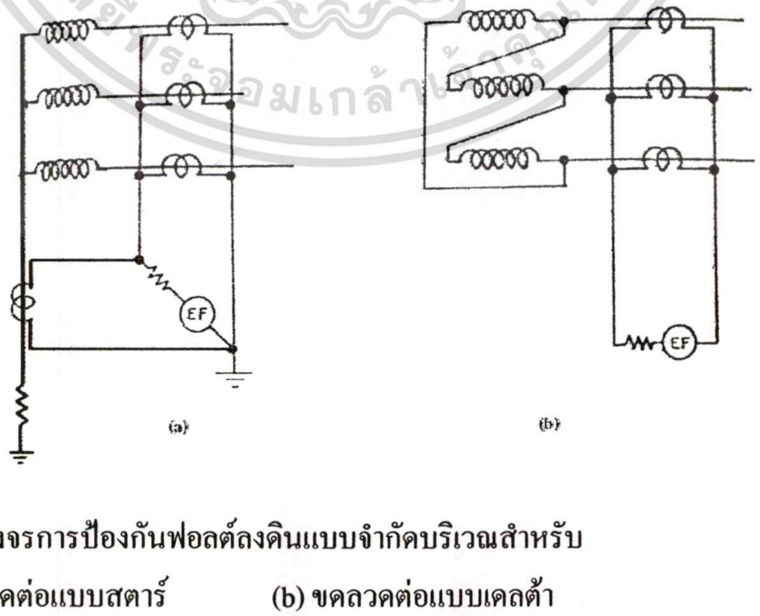


รูปที่ 2.5 การต่อหม้อแปลงโดยใช้รีเลย์กระแสเกินสำหรับ

(a) ขดลวดต่อแบบเดลต้า (b) ขดลวดต่อแบบสตาร์

2.2.3 การป้องกันฟอลต์ลงดินแบบจำกัดบริเวณ (Restricted Earth Fault Protection)

ถ้าหม้อแปลงต่อลงดินผ่านความต้านทาน ค่ากระแสที่ไหลขณะเกิดฟอลต์ลงดินภายในขดลวดอาจมีค่าน้อยเกินไปและรีเลย์วัดค่าผลต่างอาจป้องกันได้เพียงบางส่วนของขดลวดเท่านั้นซึ่งอาจไม่เป็นการเพียงพอ ในกรณีเช่นนี้จะใช้การป้องกันแบบจำกัดบริเวณ โดยมีการต่อวงจรตามรูปที่ 2.6 และรีเลย์ที่ใช้จะเป็น high impedance relay ซึ่งเป็นรีเลย์กระแสเกินที่มีความต้านทานต่ออนุกรมอยู่



รูปที่ 2.6 การต่อวงจรการป้องกันฟอลต์ลงดินแบบจำกัดบริเวณสำหรับ

(a) ขดลวดต่อแบบสตาร์ (b) ขดลวดต่อแบบเดลต้า

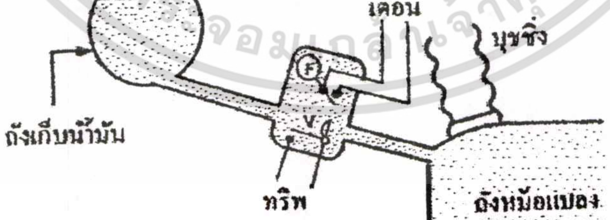
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 รีเลย์ความร้อน (Thermal Relay)

รีเลย์ชนิดนี้ติดตั้งอยู่ด้านข้าง ภายนอกของหม้อแปลงที่มีที่กันสะเทือนและดินฟ้าอากาศภายนอกเป็นพิเศษ มีหน้าที่ตรวจหาอุณหภูมิของขดลวดที่ขึ้นไปสูงที่สุด หรืออุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลงและให้สัญญาณเตือนแก่ผู้ควบคุมเครื่องอุปกรณ์ตัดตอน หรือควบคุมเครื่องมือระบายความร้อนอย่างอัตโนมัติ ฉะนั้นจึงมีสวิตซ์เล็กๆ หลายตัวเพื่อสะดวกในการตั้ง ปกติจะตั้งที่อุณหภูมิ 63° , 75° และ 110°C ถ้าเป็นอุณหภูมิของขดลวดและที่ 55° , 65° และ 80°C ถ้าเป็นอุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง

2.2.5 บุคโฮลรีเลย์ (Buchholz Relay)

บุคโฮลรีเลย์ใช้กับหม้อแปลงชนิดที่มีถังเก็บน้ำมัน (conservator) หลักการทำงานง่ายๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.7 ส่วนที่สำคัญของรีเลย์ประกอบด้วยลูกลอย F แผ่นโค้ง V และสวิตซ์ทำด้วยปรอท (mercury switch) ซึ่งในรูปแสดงเฉพาะคอนแทคเท่านั้น ลูกลอย F จะลอยตามระดับน้ำมันถ้าระดับน้ำมันลดต่ำลงเพราะก๊าซสะสมเป็นปริมาณมากเนื่องจากฟอลต์หรือเกิดการรั่วของน้ำมันก็ตาม เมื่อลูกลอยลดตามระดับน้ำมันมาถึงขีดที่กำหนดให้พอดี สวิตซ์ทำด้วยปรอทจะปิดวงจรส่งสัญญาณเตือนให้พนักงานตรวจสอบหาความผิดปกติ แผ่นโค้ง V อยู่ด้านหลังของรีเลย์ซึ่งเป็นทางผ่านของน้ำมันในท่อ ถ้าเกิดฟอลต์ขนาดรุนแรง น้ำมันที่ถูกดันให้พุ่งมาตามท่อจะผลักแผ่นโค้ง V ที่ขวางอยู่ด้วยแรงที่มากพอที่จะทำให้สวิตซ์ปรอทปิดวงจรสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดตอนวงจรทันที ในหม้อแปลงที่มีระบบระบายความร้อนด้วยการไหลวนของน้ำมัน (forced oil cooling) จะต้องมีการระมัดระวังไม่ให้รีเลย์ทำงานเมื่อมี surge ตอนปั๊มสตาร์ท ซึ่งทำได้โดยการตั้งรีเลย์อยู่ในท่อที่ต่อระหว่างถังเก็บน้ำมันกับถังหม้อแปลงโดยให้ตัวท่อเอียงทำมุมประมาณ 10° กับแนวราบ



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานอย่างง่ายของบุคโฮลรีเลย์

บุคโฮลรีเลย์ทำงานได้สำหรับฟอลต์ชนิดไม่รุนแรงซึ่งไม่สามารถตรวจพบโดยรีเลย์วัดค่าผลต่างได้ ได้แก่ ฟอลต์ระหว่างรอบของขดลวด ฉนวนระหว่างแกนเหล็กกับสลักยึดแกนเหล็กชำรุด เกิดการลัดวงจรระหว่างแผ่นเหล็กหรือขั้วต่อชำรุด เป็นต้น ฟอลต์เหล่านี้ไม่จำเป็นต้องตัดวงจรทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทันใด อย่างไรก็ตามบุคโฮลรีเลย์สามารถตรวจพบเฉพาะฟอลต์ที่เกิดใต้ระดับน้ำมันเท่านั้นและการเซตของบุคโฮลรีเลย์ไม่อาจตั้งให้ sensitive เกินไป เพราะรีเลย์อาจทำงานผิดพลาดเนื่องจากสาเหตุ เช่น การสั่นของหม้อแปลง แผ่นดินไหว การกระเทือนของท่อน้ำมัน ฯลฯ

2.3 ผลการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Test Report)

เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN ในการคำนวณหาค่าเมตริกซ์ RL ในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส จะอาศัยผลการทดสอบหม้อแปลงแบบลัดวงจรและแบบเปิดวงจรที่จะต้องทำการทดสอบทั้งลำดับบวกและลำดับศูนย์ ซึ่งโดยทั่วไปการทดสอบดังกล่าวจะมีการทดสอบสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังเท่านั้น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกใช้หม้อแปลง 2 ขนาดที่มีขนาดพิกัดต่างกัน คือ ขนาด 50 MVA และขนาด 35 MVA ซึ่งผลของการทดสอบหม้อแปลงทั้ง 2 ขนาดดังกล่าว จะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาด 50 MVA [4]

ผลของการทดสอบหม้อแปลงขนาด 50 MVA ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นผลการทดสอบของหม้อแปลงที่ติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้าย่อยมหาสารคาม ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งผลิตจากบริษัท เอบีบี จำกัด โดยมีผลการทดสอบดังนี้

- Power rating S/winding connection : 50 MVA/ YNyn0
- Voltage rating : 115 / 23 kV
- Current rating : 251.02 / 1255.11 A
- Positive Excitation losses (Open HV) : 22.18 kW
- Positive Excitation current : 0.922 A
- Positive Excitation voltage (Energized at rated Voltage) : 23 kV
- Positive Short-Circuit losses (Short LV) : 148.10 kW
- Positive Short-Circuit current (Energized at rated current) : 251.07 A
- Positive Short-Circuit voltage : 14.44 kV
- Zero Excitation losses (Open HV) : 221 kW
- Zero Excitation current : 200 A
- Zero Excitation voltage : 1.993 kV
- Zero Short-Circuit losses (Short LV) : 345 kW
- Zero Short-Circuit current : 200.2 A
- Zero Short-Circuit voltage : 3.224 kV

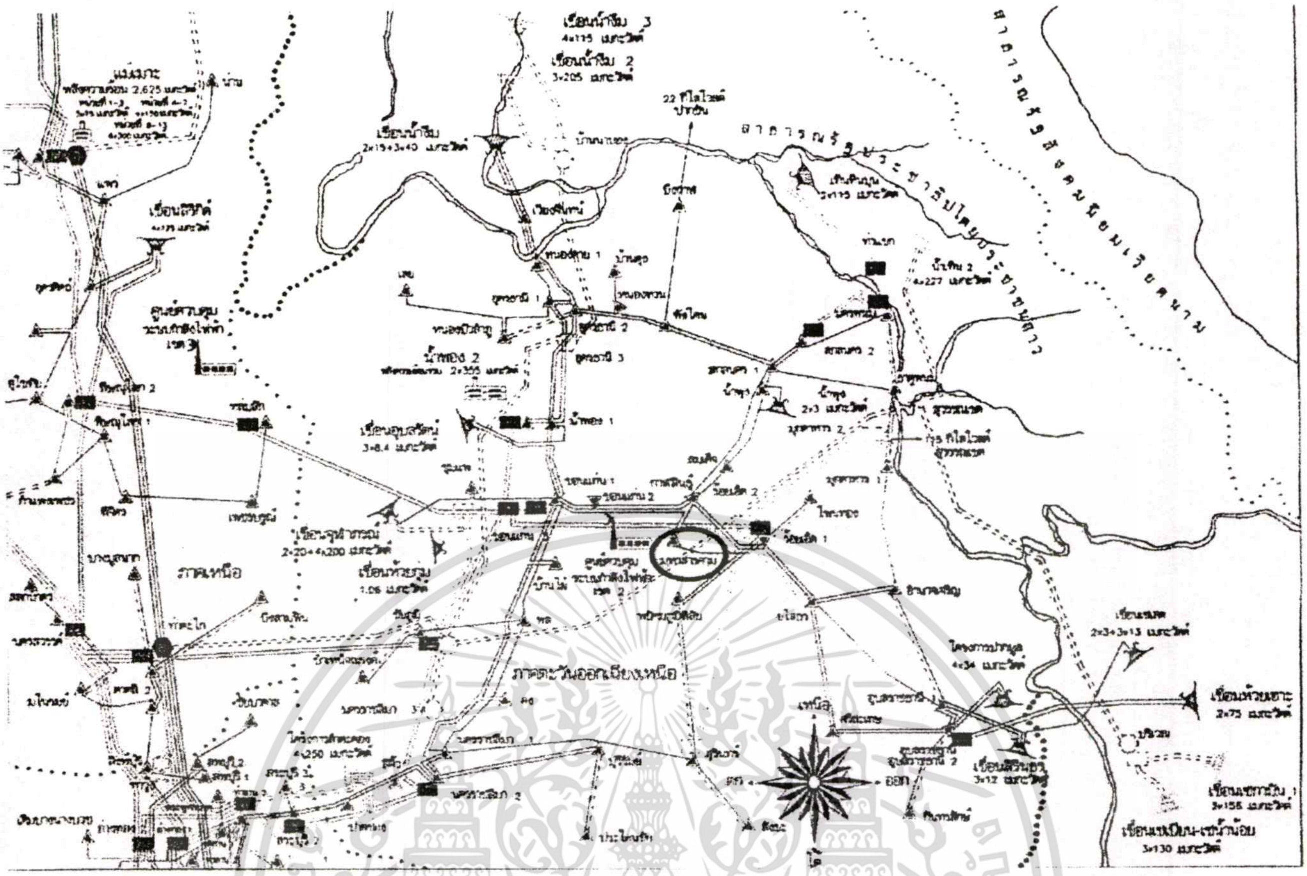
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาด 35 MVA [5]

ผลการทดสอบหม้อแปลงขนาด 35 MVA ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นผลการทดสอบของหม้อแปลงที่มีใช้อยู่ในหนังสือ ATP rule book โดยมีผลการทดสอบดังนี้

- Power rating S/winding connection : 35.0 MVA/YNyn0
- Voltage rating : 132.0 / 11.05 kV
- Current rating : 153.08/1828.76 A
- Positive Excitation losses (Open HV) : 18.112 kW
- Positive Excitation current : 2.39 A
- Positive Excitation voltage (Energized at rated voltage) : 11.01 kV
- Positive Short-circuit losses(Short LV) : 192.53 kW
- Positive Short-circuit current (Energized at raged current) : 153.1 A
- Positive Short-circuit voltage : 35.213 kV
- Zero Excitation losses (Open HV) : 115.325 kW
- Zero Excitation current : 500.0 A
- Zero Excitation voltage :1.183 kV
- Zero Short-circuit losses(Short LV) : 8.825 kW
- Zero Short-circuit current : 70. A
- Zero Short-circuit voltage : 2.86 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แผนที่ระบบไฟฟ้าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณหาค่าเมตริกซ์ RL ในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม BCTRAN

3.1 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์เพื่อป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN

โปรแกรม BCTRAN จะอาศัยผลการทดสอบหม้อแปลงมาคำนวณหาค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำในรูปของ self inductance และ mutual inductance [6] ซึ่งผลการทดสอบของหม้อแปลงที่จำเป็น ได้แก่ ผลการทดสอบแบบลัดวงจรของหม้อแปลง (Short Circuit Test or Load Test) ผลทดสอบแบบจ่ายกระแสกระตุ้นของหม้อแปลงหรือการทดสอบแบบเปิดวงจร โดยจะต้องทำการทดสอบทั้งลำดับบวกและลำดับศูนย์ (Positive and Zero Excitation Test or No Load Test or Open Circuit Test)

3.1.1 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาด 50 MVA

จากผลการทดสอบหม้อแปลงในหัวข้อที่ 2.3.1 ทำให้เราได้ข้อมูลที่นำมาใช้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์เพื่อป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN สำหรับจำลองเป็นหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบดังต่อไปนี้ [5]

ผลของข้อมูลในการทดสอบหม้อแปลงแบบเปิดวงจรที่จะใช้ในการป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN มีการคำนวณดังนี้ คือ

NW = 2 ทั้งนี้เนื่องจากเรามีขดลวดอยู่ 2 ขด

FREQ = 50.0 (Hz)

IEXPOS (Positive Excitation current) = 0.0735 (%)

เนื่องจากว่าในการทำ direct excitation test นั้นได้ทำในสภาวะแรงดันปกติ ดังนั้น

$$I_0 = 0.922 \text{ A}$$

จากนั้นทำให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์จะได้

$$\text{IEXPOS} = 0.922 \times 10^{-3} \times \frac{\sqrt{3} \times 23.0}{50} \times 100 = 0.0735\%$$

SPOS = 50.0 (MVA)

LEXPOS (Positive Excitation losses) = 22.18 (kW)

เนื่องจากว่าในการทำ direct excitation test นั้นได้ทำในสภาวะแรงดันปกติ ดังนั้น

$$\text{LEXPOS} = 22.18 \text{ kW}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IEXZERO (Zero Excitation current) = 35.39 (%)

เนื่องจากว่าในการทำ Homopolar excitation test นั้นไม่ได้ทำในสภาวะแรงดันปกติ ดังนั้นค่ากระแสกระตุ้นลำดับศูนย์จึงต้องมีการปรับดังนี้

$$I_o = \frac{200}{3} \times \frac{23.0}{\sqrt{3} \times 1.993} = 444.19 \text{ A}$$

จากนั้นทำให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ได้

$$\text{IEXZERO} = 444.19 \times 10^{-3} \times \frac{\sqrt{3} \times 23.0}{50} \times 100 = 35.39 \ \%$$

SZERO = 50.0 (MVA)

LEXZERO (Zero Excitation losses) = 9810.97 (kW)

$$\text{LEXZERO} = 221.0 \times \left[\frac{23.0}{\sqrt{3} \times 1.993}\right]^2 = 9810.97 \text{ kW}$$

NP(used to specify between 1-phase and 3-phase) = 0

IT(the winding where the excitation test was made) = 2 เนื่องจากการทำ Excitation Test ได้ทำในด้านแรงต่ำ

IW(the winding which the magnetizing branch is to be placed)= 2 เนื่องจาก ควรจะต่อที่ทางด้านขดลวดแรงต่ำ

IP(Output matrices request) = -1 ซึ่งเราต้องการให้เอาท์พุทของโปรแกรมอยู่ในรูปของ [A]-[R] และ [R]-[ωL]

สำหรับข้อมูลทั่วไปจากโครงสร้างของหม้อแปลงที่ใช้ป้อนให้กับโปรแกรมนั้น จะกำหนดให้เริ่มป้อนจากขดลวดที่มีแรงดันสูงสุด

K=1 (HV-winding) ซึ่งหมายความว่าขดลวดขดที่ 1 เป็นขดที่มีแรงดันสูงที่สุด

VRAT1 = 66.39 (kV) เป็นค่าแรงดันระหว่างเฟสกับกราวน์เนื่องจากหม้อแปลงต่อแบบ WYE ($115/\sqrt{3}$)

R1 = 0.391 สำหรับค่า R นั้น หากเราไม่ป้อน โปรแกรมก็จะทำการคำนวณภายในเอง สำหรับค่าดังกล่าวได้มาจาก

$$R_{sh} = \frac{1}{3} \times \left[\frac{148100}{251.07^2}\right] = 0.783 \ \Omega$$

$$\text{ดังนั้น}, R_1 = \frac{1}{2} R_{sh} = 0.391 \ \Omega$$

K = 2 (LV-winding) เป็นขดลวดที่มีแรงดันสูงเป็นลำดับต่อมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

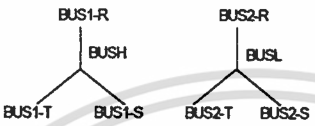
VRAT2 = 13.279 (kV) เป็นค่าแรงดันระหว่างเฟสกับกราวน์เนื่องจากหม้อแปลงต่อแบบ WYE $(23.0/\sqrt{3})$

R2 = 0.0156 ซึ่งได้มาจาก

$$R_2 = R_1 \times \left[\frac{23.0}{115.0}\right]^2 = 0.0156 \ \Omega$$

ส่วนการกำหนดชื่อเทอร์มินอลของขดลวดจะเป็นดังต่อไปนี้

YNynO 115/23.0 kV



BUS1	BUS2	PHASE
BUS1-R BUSH	BUS2-R BUSL	R
BUS1-S BUSH	BUS2-S BUSL	S
BUS1-T BUSH	BUS2-T BUSL	T

ส่วนของข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับป้อนให้กับโปรแกรมโดยอาศัยข้อมูลของการทดสอบหม้อแปลงแบบลัดวงจร มีรายละเอียดดังนี้ คือ

NW× (NW-1)/2 = 1

I = 1. ทำการจ่ายไฟที่ด้านขดลวดแรงสูง

J = 2. ขดลวดที่ทำการลัดวงจรคือขดลวดแรงต่ำ

P12 (Positive Short-Circuit losses)= 148.10 (kW) เนื่องจากการทำการทดสอบแบบลัดวงจรได้ทำในสภาวะปกติ

ZPOS12 (Positive Short-Circuit impedance) = 12.557 (%) ได้มาจาก

$$ZPOS12 = \frac{14.44}{0.251} \times \frac{50/\sqrt{3}}{115^2} \times 100 = 12.557 \ \%$$

SPOS = 50.0 (MVA)

ZZERO12 (Zero Short-Circuit impedance) = 18.265 (%), ได้มาจาก

$$ZZERO12 = 3 \times \frac{3224}{200.2} \times \frac{50}{115^2} \times 100 = 18.265 \ \%$$

SZERO = 50.0 (MVA)

ID = 0 หมายความว่าค่ารีแอคแตนซ์ลำดับศูนย์ (zero-sequence reactance) จะถูกคำนวณโดยอัตโนมัติโดยการใช้ค่าความสูญเสียแบบมีภาระลำดับบวก (positive sequence load losses or short-circuit losses) ทั้งนี้เนื่องจากว่าเป็นหม้อแปลงชนิด 2 ขดลวด

IL = 1 หมายความว่าค่าความต้านทานของขดลวดจะถูกคำนวณโดยอัตโนมัติ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากใช้ค่าความสูญเสียแบบมีภาระลำดับบวก (Positive-sequence short-circuit losses) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นหม้อแปลงชนิด 2 ขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังขนาด 35 MVA

จากผลการทดสอบหม้อแปลงในหัวข้อที่ 2.3.2 ทำให้เราได้ข้อมูลที่นำมาใช้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์เพื่อป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN สำหรับจำลองเป็นหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบดังต่อไปนี้ [5]

ผลของข้อมูลในการทดสอบหม้อแปลงแบบเปิดวงจรที่จะใช้ในการป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN มีการคำนวณดังนี้ คือ

NW = 2 ทั้งนี้เนื่องจากเรามีขดลวดอยู่ 2 ขด

FREQ = 50.0 (Hz)

IEXPOS (Positive Excitation current) = 0.1312 (%)

เนื่องจากว่าในการทำ direct excitation test นั้นไม่ได้ทำในสภาวะแรงดันปกติดังนั้นค่ากระแสกระตุ้นจึงต้องมีการปรับดังนี้

$$I_o = 2.39 \times \frac{11.05}{11.01} = 2.3987\text{ A}$$

จากนั้นทำให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์จะได้

$$\text{IEXPOS} = 2.3987 \times 10^{-3} \times \frac{\sqrt{3}\text{x}11.05}{35} \times 100 = 0.1312\%$$

SPOS = 35.0 (MVA)

LEXPOS (Positive Excitation losses) = 18.244 (kW)

เนื่องจากว่าในการทำ direct excitation test นั้นไม่ได้ทำในสภาวะแรงดันปกติ ดังนั้นค่า Excitation Loss จึงต้องมีการปรับดังนี้

$$\text{LEXPOS} = 18.112 \times \left[\frac{11.05}{11.01}\right]^2 = 18.244\text{ kW}$$

IEXZERO (Zero Excitation current) = 49.15 (%)

เนื่องจากว่าในการทำ Homopolar excitation test นั้นไม่ได้ทำในสภาวะแรงดันปกติ ดังนั้นค่ากระแสกระตุ้นลำดับศูนย์จึงต้องมีการปรับดังนี้

$$I_o = \frac{500}{3} \times \frac{11.05}{\sqrt{3} \times 1.183} = 898.81\text{ A}$$

จากนั้นทำให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์จะได้

$$\text{IEXZERO} = 898.81 \times 10^{-3} \times \frac{\sqrt{3} \times 11.05}{35} \times 100 = 49.15\%$$

SZERO = 35.0 (MVA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LEXZERO (Zero Excitation losses) = 3353.96 (kW)

$$\text{LEXZERO} = 115.325 \times \left[\frac{11.05}{\sqrt{3} \times 1.183}\right]^2 = 3353.96 \quad \text{kW}$$

NP (used to specify between 1-phase and 3-phase) = 0 เนื่องจากเป็นหม้อแปลงชนิด 3 เฟส

IT (the winding where the excitation test was made) = 2 เนื่องจากการทำ Excitation Test ได้ทำในด้านแรงต่ำ

IW (the winding which the magnetizing branch is to be placed) = 2 เนื่องจาก magnetizing branch ควรจะต่อที่ทางด้านขดลวดแรงต่ำ

IP (Output matrices request) = -1 ซึ่งเราต้องการให้เอาท์พุทของโปรแกรมอยู่ในรูปของ [A]-[R] และ [R]-[ωL]

สำหรับข้อมูลทั่วไปจากโครงสร้างของหม้อแปลงที่ใช้ป้อนให้กับโปรแกรมนั้น จะกำหนดให้เริ่มป้อนจากขดลวดที่มีแรงดันสูงสุด

K = 1 (HV-winding) ซึ่งหมายความว่าขดลวดขดที่ 1 เป็นขดที่มีแรงดันสูงที่สุด

VRAT1 = 76.21 (kV) เป็นค่าแรงดันระหว่างเฟสกับกราวน์เนื่องจากหม้อแปลงต่อแบบ WYE ($132/\sqrt{3}$)

R1 = 1.369 สำหรับค่า R นั้น หากเราไม่ป้อนโปรแกรมก็จะทำการคำนวณภายในเองสำหรับค่าดังกล่าวได้มาจาก

$$R_{s,h} = \frac{1}{3} \times \left[\frac{192530.0}{153.1^2}\right] = 2.738\ \Omega$$

$$\text{ดังนั้น, } R_1 = \frac{1}{2} R_{sh} = 1.369\ \Omega$$

K = 2 (LV-winding) เป็นขดลวดที่มีแรงดันสูงเป็นลำดับต่อมา

VRAT2 = 6.38 (kV) เป็นค่าแรงดันระหว่างเฟสกับกราวน์เนื่องจากหม้อแปลงต่อแบบ WYE ($11.05/\sqrt{3}$)

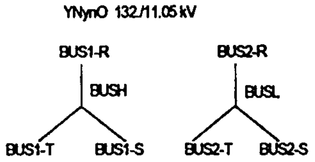
R2 = 0.00959 ซึ่งได้มาจาก

$$R_2 = R_1 \times \left[\frac{11.05}{132}\right]^2 = 0.00959\ \Omega$$

ส่วนการกำหนดชื่อเทอร์มินอลของขดลวดจะเป็นดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



BUS1	BUS2	PHASE
BUS1-R BUSH	BUS2-R BUSL	R
BUS1-S BUSH	BUS2-S BUSL	S
BUS1-T BUSH	BUS2-T BUSL	T

ส่วนของข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับป้อนให้กับโปรแกรมโดยอาศัยข้อมูลของการทดสอบหม้อแปลงแบบลัดวงจร มีรายละเอียดดังนี้ คือ

NW × (NW-1)/2 = 1

I = 1 ทำการจ่ายไฟที่ด้านขดลวดแรงสูง

J = 2 ขดลวดที่ทำการลัดวงจร คือขดลวดแรงต่ำ

P12 (Positive Short-Circuit losses) = 192.53 (kW) เนื่องจากการทำการทดสอบแบบลัดวงจรได้ทำในสภาวะปกติ

ZPOS12 (Positive Short-Circuit impedance) = 26.691 (%) ได้มาจาก

$$ZPOS12 = \frac{35.213}{0.153} \times \frac{35/\sqrt{3}}{132^2} \times 100 = 26.691\%$$

SPOS = 35.0 (MVA)

ZZERO12 (Zero Short-Circuit impedance) = 24.621 (%) ได้มาจาก

$$ZZERO12 = 3 \times \frac{2860}{70} \times \frac{35}{132^2} \times 100 = 24.621\%$$

SZERO = 35.0 (MVA)

ID = 0 หมายความว่าค่ารีแอคแตนท์ลำดับศูนย์ (zero-sequence reactance) จะถูกคำนวณโดยอัตโนมัติ โดยการใช้ค่าความสูญเสียแบบมีภาระลำดับบวก (positive sequence load losses or short-circuit losses) ทั้งนี้เนื่องจากว่าเป็นหม้อแปลงชนิด 2 ขดลวด

IL = 1 หมายความว่าค่าความต้านทานของขดลวดจะถูกคำนวณโดยอัตโนมัติ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากใช้ค่าความสูญเสียแบบมีภาระลำดับบวก (Positive-sequence short-circuit losses) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นหม้อแปลงชนิด 2 ขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50949

3.2 การหาค่าเมตริกซ์ RL ในสภาวะปกติของหม้อแปลง 3 เฟส

3.2.1 การหาค่าเมตริกซ์ RL ในแบบจำลองของหม้อแปลงโดยใช้โปรแกรม BCTRAN

ในที่นี้จะกล่าวถึงหลักการหาวงจรเทียบเคียงของหม้อแปลง (Terminal Equivalent Circuit) โดยโปรแกรม BCTRAN [5] โปรแกรม BCTRAN สามารถใช้สำหรับหาวงจรเทียบเคียงของหม้อแปลงทั้งแบบที่มีแกนเหล็กเป็นชนิด Core หรือ Shell ทั้งชนิด 2 ขดลวดและ 3 ขดลวด โดยใช้ผลการทดสอบของหม้อแปลงมาเป็นข้อมูลอินพุต ซึ่งในโปรแกรมนี้จะนำผลของการสูญเสียในแกนเหล็ก (Excitation Loss) มาคิดด้วย แม้ว่าค่าสูญเสียในแกนเหล็กสามารถละได้สำหรับกรณีของหม้อแปลงชนิดเฟสเดียวหรือหม้อแปลง 3 เฟส ที่มีค่ารีลัคแตนท์ต่ำ (Low Reluctance) ซึ่งสังเกตได้จากค่าของกระแสกระตุ้นต่ำ เป็นผลให้ค่าสูญเสียในแกนเหล็กมีค่าต่ำ แต่สำหรับหม้อแปลง 3 เฟส ที่มีค่ารีลัคแตนท์สูง ค่าความสูญเสียของแกนเหล็กจะมีผลเป็นอย่างมาก และยังต้องนำผลการทดสอบแบบจ่ายกระแสกระตุ้นลำดับศูนย์แบบเปิดวงจร (Zero Sequence Excitation Test) มาคิดด้วย

สำหรับผลการทดสอบของหม้อแปลง 3 เฟสที่มีขดลวดที่ต่อแบบเดลต้าอย่างน้อย 1 ขดลวด ชนิดของแกนเหล็กจะไม่มีผลต่อความถูกต้องของวงจรเทียบเคียงมากนัก ทั้งนี้เนื่องจากในกรณีที่ทดสอบแบบจ่ายกระแสกระตุ้นลำดับศูนย์แบบเปิดวงจร ขดลวดดังกล่าวจะเปรียบเสมือนการลัดวงจร ดังนั้นจะให้ผลการทดสอบออกมาเหมือนกับการทดสอบแบบลัดวงจรลำดับศูนย์ (Zero Sequence Short Circuit Test) ดังนั้นในการทดสอบหม้อแปลงแบบจ่ายกระแสกระตุ้นลำดับศูนย์ ควรจะเปิดวงจรของขดลวดทุกขดที่ต่อแบบเดลต้า ซึ่งจะมีผลในกรณีที่เกิดการอิ่มตัวในแกนเหล็ก (Saturation) จะทำให้ฟลักซ์ที่เกิดขึ้นสามารถคล้องผ่านไปยังตัวถังของหม้อแปลง แต่อย่างไรก็ตามทั้งนี้เนื่องจากในการทดสอบจะทำการทดสอบแค่ 1 จุดการทำงาน เพื่อนำไปหาค่าสูญเสียของแกนเหล็กแทนการหาแบบครบจุดการทำงานตามเส้นโค้งการอิ่มตัว (Saturation Curve) ดังนั้นในการทดสอบแม้ว่าจะไม่เปิดวงจรขดลวดเดลต้า ค่าของกระแสกระตุ้นลำดับศูนย์ (Zero Sequence Exciting Current) หรือค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการจ่ายกระแสกระตุ้นลำดับศูนย์ (Zero Sequence Exciting Loss) จะไม่มีผลต่อความถูกต้องของวงจรเทียบเคียงมากนัก

สำหรับหม้อแปลงที่มีขดลวดต่อแบบสตาร์อย่างเดียว ชนิดของแกนเหล็กจะมีผลอย่างมากในการหาวงจรเทียบเคียงสำหรับในกรณีที่หม้อแปลงเป็นชนิดที่มีค่ารีลัคแตนท์ต่ำ อันได้แก่ หม้อแปลง 3 เฟสที่มีแกนเหล็กเป็นแบบ Shell หรือหม้อแปลงที่มีแกนเหล็กชนิด 4 หรือ 5 ขา หรือหม้อแปลงชนิดเฟสเดียวที่นำมาต่อเป็น 3 เฟส ซึ่งในกรณีดังกล่าว โฮโมโพลาร์ฟลักซ์ (Homopolar Flux) จะคล้องผ่านแกนเหล็ก จึงทำให้ค่ารีลัคแตนท์ต่ำ ดังนั้นค่ากระแสกระตุ้นลำดับศูนย์จึงมีค่าต่ำ ซึ่งทำให้สามารถละค่าสูญเสียในแกนเหล็กได้ แต่สำหรับหม้อแปลงที่มีค่ารีลัคแตนท์สูง (High Reluctance) อันได้แก่ หม้อแปลงชนิด 3 ขาที่มีแกนเหล็กเป็นแบบ Core ในการทดสอบแบบกระแสกระตุ้นลำดับศูนย์ ค่าโฮโมโพลาร์ฟลักซ์ (Homopolar Flux) จะคล้องผ่านอากาศและตัวถังของหม้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลง ดังนั้นค่ากระแสกระตุ้นลำดับศูนย์จึงมีความสำคัญ จึงทำให้ไม่สามารถละค่าสูญเสียในแกนเหล็กได้ แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากการทดสอบก็จะมีแค่ในจุดทำงานแทนที่จะครบทุกจุดการทำงานตามเส้นโค้งการอิ่มตัวของแกนเหล็ก (Saturation Curve)

ในการหาวงจรเทียบเคียงของโปรแกรม BCTRAN จะไม่คำนึงถึงความไม่เป็นเชิงเส้นของแกนเหล็ก (Nonlinearites of Core) หากต้องการผลของความไม่เป็นเชิงเส้นก็สามาถทำได้โดยการต่อค่าอินดักแตนท์ชนิดที่ไม่เป็นเชิงเส้นชนิด 96 หรือ 98 (Nonlinear Inductance Type 96, 98) ที่เทอร์มินอลของหม้อแปลงที่มีขดลวดใกล้กับแกนเหล็กมากที่สุด [7,8] ซึ่งจะให้ผลของอินทิเกรตของแรงดันมีค่าใกล้เคียงกับแกนเหล็ก แต่จะต้องระบุค่ากระแสกระตุ้นลำดับบวกเป็นศูนย์ $I_{ex,dir}$ = 0 เพื่อไม่ให้มี Magnetizing Inductance ซ้อนกัน ดังนั้นเอาต์พุตที่ได้จากโปรแกรม BCTRAN จะอยู่ในรูปของการต่อร่วมกันของค่าความต้านทาน (Resistance) และค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance) ชนิดเชิงเส้น (Coupled Linear RL) มาแสดงเป็นวงจรเทียบเคียงของหม้อแปลงในรูปของเวลา (Time Domain) โดยในสภาวะทรานเซี้ยนจะมีสมการเฟสเซอร์ดังต่อไปนี้

$$[v] = [R][i]+[L]\frac{d}{dt}[i] \tag{3.1}$$

ถ้า $[A]=[L]^{-1}$ ดังนั้น

$$\frac{d}{dt}[i] = [A][v] - [A][R][i] \tag{3.2}$$

ในหม้อแปลงเฟสเดียว จำนวนขดลวด N ขดในช่วงสภาวะ Steady State สมการเฟสเซอร์ คือ

$$[V] = [Z][I] \tag{3.3}$$

ค่าของ [Z] ในแนวทแยงมุม (Diagonal Element) จะสามารถหาได้จากผลการทดสอบแบบจ่ายกระแสกระตุ้น จากความสัมพันธ์ของ

$$Z_{ii} = f\left(I_{excti}, P_{Fei}\right) \tag{3.4}$$

โดยที่ I_{exci} คือ ค่ากระแสกระตุ้นที่วัดได้จากการที่จ่ายกระแสให้กับหม้อแปลง ณ ขดลวดที่ i ขณะทำการทดสอบแบบจ่ายกระแสกระตุ้น

P_{Fei} คือ ค่าสูญเสียในแกนเหล็กที่วัดได้จากการที่จ่ายกระแสให้กับหม้อแปลง ณ ขดลวดที่ i ขณะทำการทดสอบแบบจ่ายกระแสกระตุ้น ส่วนค่าของ [z] แนวที่ไม่ใช่แนวทแยงมุม (Off Diagonal Element) จะสามารถหาได้จากผลการทดสอบแบบลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_{ik} = f\left(P_{Cuik}, V_{ik}^{short}\right) \quad (3.5)$$

โดยที่ *(i,k)* คือ คู่ของขดลวดที่ทำการทดสอบแบบลัดวงจร

P_{Cuik} คือ ค่าความสูญเสียในขดลวดที่วัดได้ (Copper Loss)

V_{ik}^{short} คือ ค่าแรงดันขณะลัดวงจร (Short Circuit pu Voltage)

ซึ่งค่าความสูญเสียในขดลวดจะนำมาคำนวณหาค่าความต้านทานของขดลวด (Winding Resistance) แต่อย่างไรก็ตามถ้าทราบค่าความต้านทานจากการวัดโดยตรง ก็สามารถนำมาป้อนให้กับโปรแกรมแทนการคำนวณหาจากค่าความสูญเสียในขดลวด ส่วนค่าแรงดันลัดวงจรจะนำมาคำนวณหาค่าความต้านทานของขดลวดต่อไฟฟ้าสลับ (Reactance) ดังนั้นถ้าให้ค่าอิมพิแดนซ์ขณะลัดวงจรเป็น Z_{ik}^{short} แล้ว ค่า Mutual Impedance สามารถหาได้จาก

$$Z_{ik} = Z_{ki} = \sqrt{\left(Z_{ii} - Z_{ik}^{short}\right)Z_{kk}} \quad (3.6)$$

ซึ่งค่าเมตริกซ์ [R] และ [L] ในสมการที่ (3.1) สามารถหาได้จากค่าจริง (Real Part) และค่าจินตภาพ (Imaginary Part) ของเมตริกซ์ [R] ในสมการที่ (3.6)

ในส่วนของค่า [Z] ของหม้อแปลง 3 เฟส จำนวนขดลวด N ขด ในช่วงสภาวะ Steady State นั้น ยังคงใช้สมการที่ใช้กับหม้อแปลงเฟสเดียวที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ แต่จะต้องมีการเปลี่ยนค่ากระแส แรงดันและอิมพิแดนซ์ จากค่าที่เป็น Scalar มาเป็น Matrices ดังต่อไปนี้

$$i_k \rightarrow \left[i_{kA} i_{kB} i_{kC}\right]^T \quad (3.7)$$

$$v_k \rightarrow \left[v_{kA} v_{kB} v_{kC}\right]^T \quad (3.8)$$

$$Z_{ki} \rightarrow \begin{bmatrix} Z_{kis} & Z_{kim} & Z_{kim} \\ Z_{kim} & Z_{kis} & Z_{kim} \\ Z_{kim} & Z_{kim} & Z_{kis} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

โดยที่ *A, B,C* คือ การบ่งบอกถึงเฟส

Z_{kis} คือ ค่า Self Impedance ระหว่างขดลวด *k* และขดลวด *i* ซึ่งก็คือค่า Mutual Impedance ระหว่างขดลวด 2 ขดในเฟสเดียวกัน

Z_{kim} คือ ค่า Mutual Impedance ระหว่างขดลวด *k* และขดลวด *i* ซึ่งก็คือค่า Mutual Impedance ระหว่างขดลวด 2 ขดที่ต่างเฟสกัน

ในสมการที่ (3.9) จะใช้สำหรับหาค่าอิมพิแดนซ์ โดยใช้ผลการทดสอบทั้งแบบลำดับศูนย์และลำดับบวก จากนั้นทำการแปลงให้เป็นค่า Self และ Mutual Impedance โดยใช้สมการต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z_s = \frac{1}{3}(Z_0 + 2Z_1), Z_m = \frac{1}{3}(Z_0 - Z_1) \qquad (3.10)$$

ดังนั้นเอาต์พุตที่ได้จากโปรแกรม BCTRAN จะอยู่ในรูปของเมตริกซ์ R และ L ดังสมการที่ (3.11) และ (3.12) ซึ่งสามารถนำเมตริกซ์ที่ได้ดังกล่าวส่งไปให้โปรแกรม ATP/EMTP ในการจำลองระบบไฟฟ้าต่อไป

$$[R] = \begin{bmatrix} R_1 & & 0 \\ & \cdots & \\ 0 & & R_6 \end{bmatrix} \qquad (3.11)$$

$$[L] = \begin{bmatrix} L_1 & L_{12} & \cdots & L_{16} \\ L_{21} & L_2 & \cdots & L_{26} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ L_{61} & L_{62} & \cdots & L_6 \end{bmatrix} \qquad (3.12)$$

จากที่ได้กล่าวมาเป็นหลักการหาแบบจำลองของหม้อแปลงในรูปของ Self และ Mutual Impedance โดยอาศัยผลการทดสอบหม้อแปลงทั้งในแบบจ่ายกระแสกระตุ้นและแบบลัดวงจร

3.2.2 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้สำหรับป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN และผลที่ได้รับ

การป้อนข้อมูลให้กับโปรแกรม BCTRAN สามารถทำได้โดยการนำผลการทดสอบหม้อแปลงแบบลัดวงจรและแบบเปิดวงจรที่ทำการทดสอบทั้งลำดับบวกและลำดับศูนย์ ดังแสดงในหัวข้อที่ 2.3 มาทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์สำหรับป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

```
BEGIN NEW DATA CASE
ACCESS MODULE BCTRAN
$ERASE
C |      FREQ|   IEXPOS|   SPOS|  LEXPOS| IEXZERO|   SZERO| LEXZERONPITIWIP
 2         50.      .0735     50.    22.180    35.39       50.  9810.97     0 2 2 1
C k|     VRAT|       R1|  |bus1| |bus2| |bus1| |bus2| |bus1| |bus2|
  1      66.39            BUS1_RBUSH BUS1_SBUSH BUS1_TBUSH
C k|     VRAT|       R2|  |bus1| |bus2| |bus1| |bus2| |bus1| |bus2|
  2      13.28             BUS2_RBUSL BUS2_SBUSL BUS2_TBUSL
C | |      PLI|    ZPOSLI|        SPOS|  ZZEROLI|       SHOMIDIL
 1 2     148.10    12.557          50.     18.265          50.   0 1
BLANK CARD TERMINATE INPUT OF SHORT-CIRCUIT TEST DATA
$PUNCH
BLANK
BEGIN NEW DATA CASE
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

```
BEGIN NEW DATA CASE
ACCESS MODULE BCTRAN
$ERASE
C |      FREQ|   IEXPOS|   SPOS|  LEXPOS| IEXZERO|   SZERO| LEXZERONPITIWIP
 2         50.      .1312    35.   18.244    49.15        35.  3353.96      0 2 2 1
C k|     VRAT|        R1|  |bus1| |bus2| |bus1| |bus2| |bus1| |bus2|
  1      76.21            BUS1_RBUSH BUS1_SBUSH BUS1_TBUSH
C k|     VRAT|        R2|  |bus1| |bus2| |bus1| |bus2| |bus1| |bus2|
  2      6.38             BUS2_RBUSL BUS2_SBUSL BUS2_TBUSL
C ||       PIJ|    ZPOSIJ|          SPOS|   ZZEROIJ|         SHOMIDIL
 1 2     192.53    26.691           35.      24.621          35.   0 1
BLANK CARD TERMINATE INPUT OF SHORT-CIRCUIT TEST DATA
$PUNCH
BLANK
BEGIN NEW DATA CASE
```

หลังจากที่นำข้อมูลต่างๆ ไปป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN แล้ว โปรแกรมดังกล่าวจะนำไปประมวลผลและสร้างเอาต์พุตออกมาให้อยู่ในรูปของ Coupled RL ที่มีขนาด 6x6 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

ตัวอย่างเอาต์พุตเมตริกซ์ RL ที่ได้จากโปรแกรม BCTRAN ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

```
1BUS1_R         .391662188406  301178.186637
2BUS2_R                   0.0  60237.0628828
                .015671207424  12049.2272192
3BUS1_S                   0.0  -150116.24431
                          0.0  -30028.777812
                .391662188406  301178.186637
4BUS2_S                   0.0  -30028.777812
                          0.0  -6006.6601798
                          0.0  60237.0628828
                .015671207424  12049.2272192
5BUS1_T                   0.0  -150116.24431
                          0.0  -30028.777812
                          0.0  -150116.24431
                          0.0  -30028.777812
                .391662188406  301178.186637
6BUS2_T                   0.0  -30028.777812
                          0.0  -6006.6601798
                          0.0  -30028.777812
                          0.0  -6006.6601798
                          0.0  60237.0628828
                .015671207424  12049.2272192
```

ตัวอย่างเอาต์พุตเมตริกซ์ RL ที่ได้จากโปรแกรม BCTRAN ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

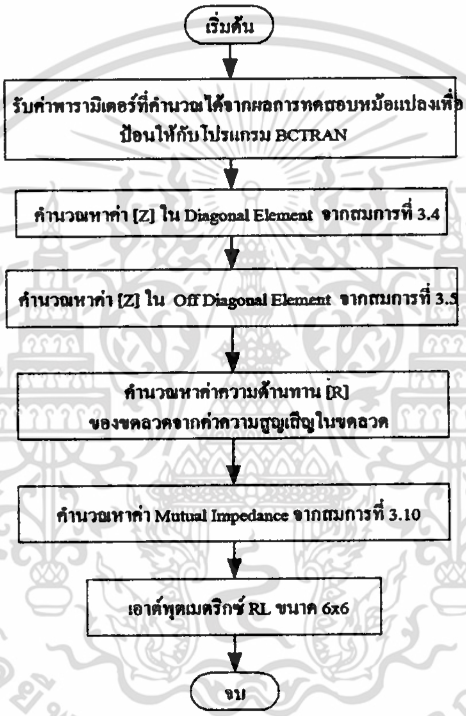
```
1BUS1_R        1.369233463069  276121.74580746
2BUS2_R                   0.0  23104.987516922
              .0095961038351   1934.2582385246
3BUS1_S                   0.0  -137483.5307644
                          0.0  -11509.29019755
               1.369233463069  276121.74580746
4BUS2_S                   0.0  -11509.29019755
                          0.0  -963.5122878939
                          0.0  23104.987516922
              .0095961038351   1934.2582385246
5BUS1_T                   0.0  -137483.5307644
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	0.0	-11509.29019755
	0.0	-137483.5307644
	0.0	-11509.29019755
	1.369233463069	276121.74580746
6BUS2_T	0.0	-11509.29019755
	0.0	-963.5122878939
	0.0	-11509.29019755
	0.0	-963.5122878939
	0.0	23104.987516922
	.0095961038351	1934.2582385246

3.2.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN ในสภาวะปกติของหม้อแปลง 3 เฟส

สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN ในสภาวะปกติของหม้อแปลง 3 เฟสสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



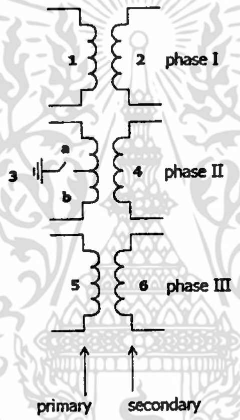
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN ในสภาวะปกติของหม้อแปลง 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การหาค่าเมตริกซ์ RL กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน

3.3.1 การหาค่าเมตริกซ์ RL ในแบบจำลองของหม้อแปลงกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน

จากการหาค่าเมตริกซ์ RL ในแบบจำลองของหม้อแปลงในสภาวะปกติ ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.2 แล้ว หากต้องการที่จะใช้วงจรเทียบเคียงของหม้อแปลงที่ได้จากโปรแกรม BCTRAN มาสร้างสภาวะการเกิดฟอลต์ภายในหม้อแปลงกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินจะสามารถทำได้โดยแบ่งขดลวดที่เกิดการลัดวงจรออกเป็น 2 ขดลวดย่อยและแก้ไขเมตริกซ์ขนาด 6x6 สำหรับหม้อแปลงขณะที่อยู่ในสภาวะปกติ ไปเป็นเมตริกซ์ขนาด 7x7 ดังแสดงในสมการที่ (3.13) และ (3.14) ทั้งนี้เนื่องมาจากเราจะต้องแบ่งขดลวดที่เกิดการลัดวงจรลงดินจาก 1 ขดไปเป็น 2 ขดลวดย่อยดังแสดงในรูปที่ 3.2 (เมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินที่ขดลวดที่ 3) [9]



รูปที่ 3.2 ขดลวดของหม้อแปลงขณะเกิดการลัดวงจรลงดิน

$$[R]=\begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_a & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_6 \end{bmatrix} \tag{3.13}$$

$$[L]=\begin{bmatrix} L_1 & M_{12} & M_{1a} & M_{1b} & M_{14} & M_{15} & M_{16} \\ M_{21} & L_2 & M_{2a} & M_{2b} & M_{24} & M_{25} & M_{26} \\ M_{a1} & M_{a2} & L_a & M_{ab} & M_{a4} & M_{a5} & M_{a6} \\ M_{b1} & M_{b2} & M_{ba} & L_b & M_{b4} & M_{b5} & M_{b6} \\ M_{41} & M_{42} & M_{4a} & M_{4b} & L_4 & M_{45} & M_{46} \\ M_{51} & M_{52} & M_{5a} & M_{5b} & M_{54} & L_5 & M_{56} \\ M_{61} & M_{62} & M_{6a} & M_{6b} & M_{64} & M_{65} & L_6 \end{bmatrix} \tag{3.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าขดลวดที่ 3 ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังรูปที่ 3.2 เราต้องหาค่า self impedance และ mutual impedance ในระหว่างขดลวดย่อยที่สร้างขึ้นจากการฟอลต์ลงดินกับขดลวดที่เหลือทั้งหมด ซึ่งต้องใช้หลักการของ Consistency, Leakage และ Proportionality มาช่วยในการหาค่าอิมพิแดนซ์ดังกล่าว ในส่วนของค่าความต้านทานนั้นสามารถหาค่าความต้านของขดลวดย่อยที่สร้างขึ้นได้ดังนี้

$$R_a = \frac{n_a}{n_3} R_3 \qquad , \qquad R_b = \frac{n_b}{n_3} R_3 \tag{3.15}$$

โดยที่ n_a = จำนวนรอบของขดลวดย่อย a

n_b = จำนวนรอบของขดลวดย่อย b

และ $n_a + n_b = n_3$

สำหรับการคำนวณค่า self inductance และ mutual inductance ระหว่างขดลวดย่อย a และ b จะต้องใช้ความสัมพันธ์ของหลักการทั้ง 3 หลักการ มาช่วยดังสมการต่อไปนี้

Consistency : $$L_a + 2M_{ab} + L_b = L_3 \tag{3.16}$$

Leakage : $$\sigma_{ab} = 1 - \frac{M_{ab}^2}{L_a L_b} \tag{3.17}$$

Proportionality : $$\frac{L_a}{L_b} = \left(\frac{n_a}{n_b}\right)^2 \tag{3.18}$$

ค่า σ_{ab} เป็นค่าการรั่วซึมของสนามแม่เหล็ก (Leakage Factor) สามารถหาได้จากลักษณะทางกายภาพของขดลวดของหม้อแปลง (Winding Geometry data) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งการลัดวงจรลงดินของขดลวด แต่ในที่นี้จะถือว่าค่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นมา และหากกำหนดให้ค่า k คือค่าอัตราส่วนของขดลวดย่อย a และ b , $k = \frac{n_a}{n_b}$ ดังนั้น

$$L_a = \frac{L_3}{\frac{1}{k^2} + \frac{2\sqrt{1-\sigma_{ab}}}{k} + 1} \tag{3.19}$$

$$L_b = \frac{L_3}{k^2 + 2k\sqrt{1-\sigma_{ab}} + 1} \tag{3.20}$$

$$M_{ab} = \frac{L_3\sqrt{1-\sigma_{ab}}}{(k + \frac{1}{k}) + 2\sqrt{1-\sigma_{ab}}} \tag{3.21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในการคำนวณค่า mutual inductance ระหว่างขดลวดย่อย a และ b กับ ขดลวดอื่นๆ จำเป็นต้องแยกเป็น 2 กรณี คือ

<u>กรณีที่ 1</u> เมื่อพิจารณาขดลวด i ที่พันอยู่บนแกนเหล็กเดียวกับขดลวดย่อย a และ b

$$M_{ai} = M_{3i}\sqrt{\varepsilon}\sqrt{\frac{L_a}{L_3}}\sqrt{1+\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}\frac{L_3 L_i}{M_{3i}^2}} \qquad (3.22)$$

$$M_{bi} = M_{3i} - M_{ai} \qquad (3.23)$$

โดยที่ $\varepsilon = \frac{\sigma_{ai}}{\sigma_{3i}}$

<u>กรณีที่ 2</u> เมื่อพิจารณาขดลวด i ที่ไม่ได้พันอยู่บนแกนเหล็กเดียวกับขดลวดย่อย a และ b

$$M_{ai} = M_{ia} = \frac{k}{1+k}M_{3i}\ ,\ M_{bi} = M_{ib} = \frac{1}{1+k}M_{3i} \qquad (3.24)$$

3.3.2 ตัวอย่างผลของเมตริกซ์ RL ในกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน

จากผลของเมตริกซ์ RL ขนาด 6x6 ในแบบจำลองหม้อแปลงขณะอยู่ในสภาวะปกติดังหัวข้อที่ 3.2 สามารถนำมาประยุกต์ให้เป็นการเกิดฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินได้โดยการใช้วิธีการคำนวณดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.3.1 จึงทำให้ได้ผลของเมตริกซ์ RL ที่มีขนาด 7x7 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

ตัวอย่างเอาต์พุตเมตริกซ์ RL ที่ได้จากโปรแกรม BCTRAN ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

```
1BUS1_R          0.391662188406 301178.1866373
2BUS2_R          0.000000000000 60237.06288283
                 0.015671207424 12049.22721922
3BUS1_SBUSG_S    0.000000000000 -46587.7999592
                 0.000000000000 -9319.27587269
                 0.121550334333 29007.64936697
4BUSG_S          0.000000000000 -103528.444353
                 0.000000000000 -20709.5019393
                 0.000000000000 64461.44303772
                 0.270111854073 143247.6511949
5BUS2_S          0.000000000000 -30028.7778120
                 0.000000000000 -6006.66017990
                 0.000000000000 18694.26089467
                 0.000000000000 41542.80198816
                 0.015671207424 12049.22721922
6BUS1_T          0.000000000000 -150116.244313
                 0.000000000000 -30028.7778120
                 0.000000000000 -46587.7999592
                 0.000000000000 -103528.444353
                 0.000000000000 -30028.7778120
                 0.391662188406 301178.1866373
7BUS2_T          0.000000000000 -30028.7778120
                 0.000000000000 -6006.66017990
                 0.000000000000 -9319.27587269
                 0.000000000000 -20709.5019393
                 0.000000000000 -6006.66017990
                 0.000000000000 60237.06288283
                 0.015671207424 12049.22721922
```

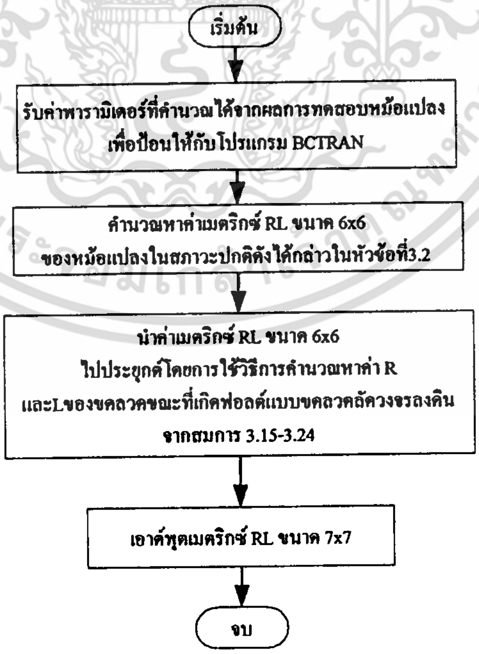
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเอาต์พุตเมตริกซ์ RL ที่ได้จากโปรแกรม BCTRAN ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

1BUS1_R	1.369233463069	276121.7458074
2BUS2_R	0.000000000000	23104.98751692
	0.009596103835	1934.25823852
3BUS1_SBUSG_S	0.000000000000	-42667.3026510
	0.000000000000	-3571.84868200
	0.424934523021	26594.36552961
4BUSG_S	0.000000000000	-94816.2281133
	0.000000000000	-7937.44151555
	0.000000000000	59098.59006581
	0.944298940048	131330.2001462
5BUS2_S	0.000000000000	-11509.2901975
	0.000000000000	-963.51228789
	0.000000000000	7170.51336732
	0.000000000000	15934.47414960
	0.009596103835	1934.25823852
6BUS1_T	0.000000000000	-137483.530764
	0.000000000000	-11509.2901975
	0.000000000000	-42667.3026510
	0.000000000000	-94816.2281133
	0.000000000000	-11509.2901975
	1.369233463069	276121.7458074
7BUS2_T	0.000000000000	-11509.2901975
	0.000000000000	-963.51228789
	0.000000000000	-3571.84868200
	0.000000000000	-7937.44151555
	0.000000000000	-963.51228789
	0.000000000000	23104.98751692
	0.009596103835	1934.25823852

3.3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน

สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN ในกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



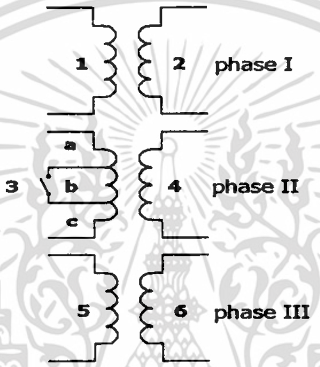
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การหาค่าเมตริกซ์ RL กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด

3.4.1 การหาค่าเมตริกซ์ RL ในแบบจำลองของหม้อแปลงกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด

สำหรับฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสามารถทำได้ลักษณะเดียวกับการหาเมตริกซ์เทียบเคียงในกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน แต่ต่างกันตรงที่ว่าจะต้องแยกขดลวดที่เกิดการลัดวงจรออกเป็น 3 ขดลวดย่อย (Sub-coil) ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 3.4 (เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดที่ขดลวดที่ 3) และแก้ไขเมตริกซ์ขนาด 6x6 สำหรับหม้อแปลงขณะที่อยู่ในสภาวะปกติ ไปเป็นเมตริกซ์ขนาด 8x8 ดังแสดงในสมการที่ (3.25) และ (3.26) [9]



รูปที่ 3.4 ขดลวดของหม้อแปลงขณะเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด

$$[R]=\begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_b & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_6 \end{bmatrix} \tag{3.25}$$

$$[L]=\begin{bmatrix} L_1 & M_{12} & M_{1a} & M_{1b} & M_{1c} & M_{14} & M_{15} & M_{16} \\ M_{21} & L_2 & M_{2a} & M_{2b} & M_{2c} & M_{24} & M_{25} & M_{26} \\ M_{a1} & M_{a2} & L_a & M_{ab} & M_{ac} & M_{a4} & M_{a5} & M_{a6} \\ M_{b1} & M_{b2} & M_{ba} & L_b & M_{bc} & M_{b4} & M_{b5} & M_{b6} \\ M_{c1} & M_{c2} & M_{ca} & M_{cb} & L_c & M_{c4} & M_{c5} & M_{c6} \\ M_{41} & M_{42} & M_{4a} & M_{4b} & M_{4c} & L_4 & M_{45} & M_{46} \\ M_{51} & M_{52} & M_{5a} & M_{5b} & M_{5c} & M_{54} & L_5 & M_{56} \\ M_{61} & M_{62} & M_{6a} & M_{6b} & M_{6c} & M_{64} & M_{65} & L_6 \end{bmatrix} \tag{3.26}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าขดลวดที่ 3 ถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังรูปที่ 3.4 เราต้องหาค่า self impedance และ mutual impedance ในระหว่างขดลวดย่อยที่สร้างขึ้นจากการฟอลต์ระหว่างรอบของขดลวดกับขดลวดที่เหลือทั้งหมดซึ่งต้องใช้หลักการของ Consistency, Leakage และ Proportionality มาช่วยในการหาค่าอิมพิแดนซ์ดังกล่าว ในส่วนของค่าความต้านทานนั้นสามารถหาค่าความต้านของขดลวดย่อยที่สร้างขึ้นได้ดังนี้

$$R_a = \frac{n_a}{n_3} R_3 \quad , \quad R_b = \frac{n_b}{n_3} R_3 \quad , \quad R_c = \frac{n_c}{n_3} R_3 \tag{3.27}$$

โดยที่ n_a = จำนวนรอบของขดลวดย่อย a

n_b = จำนวนรอบของขดลวดย่อย b

n_c = จำนวนรอบของขดลวดย่อย c

และ $n_a + n_b + n_c = n_3$

สำหรับการคำนวณค่า self inductance และ mutual inductance ระหว่างขดลวดย่อย a , b และ c จะต้องใช้ความสัมพันธ์ของหลักการทั้ง 3 หลักการ มาช่วยดังสมการต่อไปนี้

Consistency :
$$L_a + L_b + L_c + 2(M_{ab} + M_{ac} + M_{bc}) = L_3 \tag{3.28}$$

Leakage :
$$\sigma_{ab} = 1 - \frac{M_{ab}^2}{L_a L_b} \tag{3.29}$$

$$\sigma_{ac} = 1 - \frac{M_{ac}^2}{L_a L_c} \tag{3.30}$$

$$\sigma_{bc} = 1 - \frac{M_{bc}^2}{L_b L_c} \tag{3.31}$$

Proportionality :
$$\frac{L_a}{L_b} = \left(\frac{n_a}{n_b}\right)^2 \tag{3.32}$$

$$\frac{L_a}{L_c} = \left(\frac{n_a}{n_c}\right)^2 \tag{3.33}$$

ค่า σ_{ab} เป็นค่าการรั่วซึมของสนามแม่เหล็ก (Leakage Factor) สามารถหาได้จากลักษณะทางกายภาพของขดลวดของหม้อแปลง (Winding Geometry data) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งการลัดวงจรลงดินของขดลวด แต่ในที่นี้จะถือว่าค่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_a = L_3\left(\frac{n_a}{n_3}\right)^2 \quad , \quad L_b = L_3\left(\frac{n_b}{n_3}\right)^2 \quad , \quad L_c = L_3\left(\frac{n_c}{n_3}\right)^2 \tag{3.34}$$

$$M_{ab} = L_3\left(\frac{n_a n_b}{n_3^2}\right) \quad , \quad M_{ac} = L_3\left(\frac{n_a n_c}{n_3^2}\right) \quad , \quad M_{bc} = L_3\left(\frac{n_b n_c}{n_3^2}\right) \tag{3.35}$$

และในการคำนวณค่า mutual inductance ระหว่างขดลวดย่อย a , b และ c กับ ขดลวดอื่นๆ จำเป็นต้องแยกเป็น 2 กรณี คือ

<u>กรณีที่ 1</u> เมื่อพิจารณาขดลวด i ที่พันอยู่บนแกนเหล็กเดียวกับขดลวดย่อย a , b และ c

$$M_{ai} = M_{3i}\sqrt{\varepsilon_1}\sqrt{\frac{L_a}{L_3}}\sqrt{1+\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1}\frac{L_3 L_i}{M_{3i}^2}} \tag{3.36}$$

$$M_{bi} = M_{3i}\sqrt{\varepsilon_2}\sqrt{\frac{L_b}{L_3}}\sqrt{1+\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2}\frac{L_3 L_i}{M_{3i}^2}} \tag{3.37}$$

$$M_{ci} = M_{3i} - M_{ai} - M_{bi} \tag{3.38}$$

โดยที่ $\varepsilon_1 = \dfrac{\sigma_{ai}}{\sigma_{3i}}$ และ $\varepsilon_2 = \dfrac{\sigma_{bi}}{\sigma_{3i}}$

<u>กรณีที่ 2</u> เมื่อพิจารณาขดลวด i ที่ไม่ได้พันอยู่บนแกนเหล็กเดียวกับขดลวดย่อย a , b และ c

$$M_{ai} = M_{ia} = \frac{M_{3i}}{1+\frac{1}{k}+\frac{1}{k'}} \; , \; M_{bi} = M_{ib} = \frac{M_{3i}}{1+k+\frac{k}{k'}} \; , \; M_{ci} = M_{ic} = \frac{M_{3i}}{1+k'+\frac{k'}{k}} \tag{3.39}$$

โดยที่ $\dfrac{M_{ai}}{M_{bi}} = \dfrac{n_a}{n_b} = k$ และ $\dfrac{M_{ai}}{M_{ci}} = \dfrac{n_a}{n_c} = k'$

3.4.2 ตัวอย่างผลของเมตริกซ์ RL ในกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด

จากผลของเมตริกซ์ RL ขนาด 6x6 ในแบบจำลองหม้อแปลงขณะอยู่ในสภาวะปกติดังหัวข้อที่ 3.2 สามารถนำมาประยุกต์ให้เป็นการเกิดฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดได้โดยการใช้วิธีการคำนวณดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.4.1 จึงทำให้ได้ผลของเมตริกซ์ RL ที่มีขนาด 8x8 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเอาต์พุตเมตริกซ์ RL ที่ได้จากโปรแกรม BCTRAN ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

1BUS1_R	0.391662188406	301178.1866373
2BUS2_R	0.000000000000	60237.06288283
	0.015671207424	12049.22721922
3BUS1_SBUSA_G	0.000000000000	-30023.2488626
	0.000000000000	-6005.75556240
	0.078332437681	12047.12746549
4BUSA_GBUSB_G	0.000000000000	-60046.4977252
	0.000000000000	-12011.5111248
	0.000000000000	24094.25493099
	0.156664875362	48188.50986197
5BUSB_G	0.000000000000	-60046.49772520
	0.000000000000	-12011.51112480
	0.000000000000	24094.25493099
	0.000000000000	48188.50986197
	0.156664875362	48188.50986197
6BUS2_S	0.000000000000	-30028.77781200
	0.000000000000	-6006.66017990
	0.000000000000	12047.41257657
	0.000000000000	24094.82515313
	0.000000000000	24094.82515313
	0.015671207424	12049.22721922
7BUS1_T	0.000000000000	-150116.2443130
	0.000000000000	-30028.77781200
	0.000000000000	-30023.24886260
	0.000000000000	-60046.49772520
	0.000000000000	-60046.49772520
	0.000000000000	-30028.77781200
	0.391662188406	301178.18663733
8BUS2_T	0.000000000000	-30028.77781200
	0.000000000000	-6006.66017990
	0.000000000000	-6005.75556240
	0.000000000000	-12011.51112480
	0.000000000000	-12011.51112480
	0.000000000000	-6006.66017990
	0.000000000000	60237.06288283
	0.015671207424	12049.22721922

ตัวอย่างเอาต์พุตเมตริกซ์ RL ที่ได้จากโปรแกรม BCTRAN ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

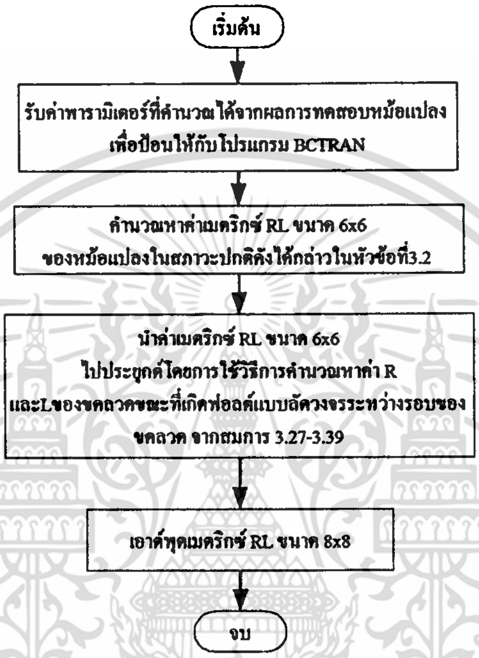
1BUS1_R	1.369233463069	276121.7458074
2BUS2_R	0.000000000000	23104.98751692
	0.009596103835	1934.25823852
3BUS1_SBUSA_G	0.000000000000	-27496.7061528
	0.000000000000	-2301.85803951
	0.273846692614	11044.86983230
4BUSA_GBUSB_G	0.000000000000	-82490.1184586
	0.000000000000	-6905.57411853
	0.000000000000	33134.60949690
	0.821540077841	99403.82849069
5BUSB_G	0.000000000000	-27496.7061528
	0.000000000000	-2301.85803951
	0.000000000000	11044.86983230
	0.000000000000	33134.60949690
	0.273846692614	11044.86983230
6BUS2_S	0.000000000000	-11509.2901975
	0.000000000000	-963.51228789
	0.000000000000	4620.99750338
	0.000000000000	13862.99251015
	0.000000000000	4620.99750338
	0.009596103835	1934.25823852
7BUS1_T	0.000000000000	-137483.5307644
	0.000000000000	-11509.29019755
	0.000000000000	-27496.70615288
	0.000000000000	-82490.11845864
	0.000000000000	-27496.70615288
	0.000000000000	-11509.29019755
	1.369233463069	276121.74580746
8BUS2_T	0.000000000000	-11509.29019755
	0.000000000000	-963.51228789
	0.000000000000	-2301.85803951
	0.000000000000	-6905.57411853

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.000000000000 -2301.85803951
0.000000000000 -963.51228789
0.000000000000 23104.98751692
0.009596103835 1934.25823852

3.4.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด

สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN ในกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



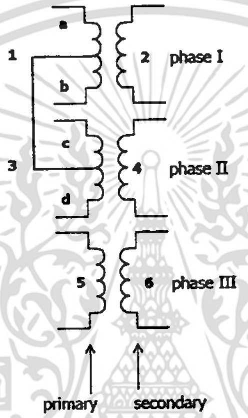
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การหาค่าเมตริกซ์ RL กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส

3.5.1 การหาค่าเมตริกซ์ RL ในแบบจำลองของหม้อแปลงกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส

การหาค่าเมตริกซ์ RL ในแบบจำลองของหม้อแปลงกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟสสามารถทำได้โดยการนำวิธีการหาค่าเมตริกซ์ RL ในแบบจำลองของหม้อแปลงกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินมาประยุกต์ใช้ คือ การแบ่งขดลวดเพิ่มขึ้นจากเดิม ทำให้มีขดลวดทั้งหมด 8 ขด ดังแสดงในรูปที่ 3.6 (เมื่อเกิดขดลวดลัดวงจรระหว่างขดที่ 1 และ 3) ดังนั้นเมตริกซ์ที่ใช้จึงมีขนาด 8x8 ดังแสดงในสมการที่ (3.40) และ (3.41)



รูปที่ 3.6 ขดลวดของหม้อแปลงขณะเกิดขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส

$$[R]=\begin{bmatrix} R_a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & R_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R_c & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_d & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_6 \end{bmatrix} \tag{3.40}$$

$$[L]=\begin{bmatrix} L_a & M_{ab} & M_{a2} & M_{ac} & M_{ad} & M_{a4} & M_{a5} & M_{a6} \\ M_{ba} & L_b & M_{b2} & M_{bc} & M_{bd} & M_{b4} & M_{b5} & M_{b6} \\ M_{2a} & M_{2b} & L_2 & M_{2c} & M_{2d} & M_{24} & M_{25} & M_{26} \\ M_{ca} & M_{cb} & M_{c2} & L_c & M_{cd} & M_{c4} & M_{c5} & M_{c6} \\ M_{da} & M_{db} & M_{d2} & M_{dc} & L_d & M_{d4} & M_{d5} & M_{d6} \\ M_{4a} & M_{4b} & M_{42} & M_{4c} & M_{4d} & L_4 & M_{45} & M_{46} \\ M_{5a} & M_{5b} & M_{52} & M_{5c} & M_{5d} & M_{54} & L_5 & M_{56} \\ M_{6a} & M_{6b} & M_{62} & M_{6c} & M_{6d} & M_{64} & M_{65} & L_6 \end{bmatrix} \tag{3.41}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขดลวดที่ถูกแบ่งเพิ่มขึ้นนี้ สามารถหาค่า self impedance และ mutual impedance ในระหว่างขดลวดย่อยที่สร้างขึ้นได้เช่นเดียวกับกรณีการหาค่าเมตริกซ์ RL ในแบบจำลองของหม้อแปลงกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน คือ จากสมการที่ (3.15-3.24)

3.5.2 ตัวอย่างผลของเมตริกซ์ RL ในกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส

จากผลของเมตริกซ์ RL ขนาด 7x7 ในแบบจำลองหม้อแปลงกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินดังหัวข้อที่ 3.3 สามารถนำมาประยุกต์ให้เป็นการเกิดฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟสได้โดยการใช้วิธีการคำนวณดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.3.1 จึงทำให้ได้ผลของเมตริกซ์ RL ที่มีขนาด 8x8 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

ตัวอย่างเอาต์พุตเมตริกซ์ RL ที่ได้จากโปรแกรม BCTRAN ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

1BUS1_RBUS1_X	0.195831094203 75294.54665933
2BUS1_X	0.000000000000 75294.54665933
	0.195831094203 75294.54665933
3BUS2_R	0.000000000000 30118.53144142
	0.000000000000 30118.53144142
	0.015671207424 12049.22721922
4BUS1_SBUS1_Y	0.000000000000 -37529.06107825
	0.000000000000 -37529.06107825
	0.000000000000 -15014.38890600
	0.195831094203 75294.54665933
5BUS1_Y	0.000000000000 -37529.06107825
	0.000000000000 -37529.06107825
	0.000000000000 -15014.38890600
	0.000000000000 75294.54665933
	0.195831094203 75294.54665933
6BUS2_S	0.000000000000 -15014.38890600
	0.000000000000 -15014.38890600
	0.000000000000 -6006.66017990
	0.000000000000 30118.53144142
	0.000000000000 30118.53144142
	0.015671207424 12049.22721922
7BUS1_T	0.000000000000 -75058.12215650
	0.000000000000 -75058.12215650
	0.000000000000 -30028.77781200
	0.000000000000 -75058.12215650
	0.000000000000 -75058.12215650
	0.000000000000 -30028.77781200
	0.391662188406 301178.18663733
8BUS2_T	0.000000000000 -15014.38890600
	0.000000000000 -15014.38890600
	0.000000000000 -6006.66017990
	0.000000000000 -15014.38890600
	0.000000000000 -15014.38890600
	0.000000000000 -6006.66017990
	0.000000000000 60237.06288283
	0.015671207424 12049.22721922

ตัวอย่างเอาต์พุตเมตริกซ์ RL ที่ได้จากโปรแกรม BCTRAN ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

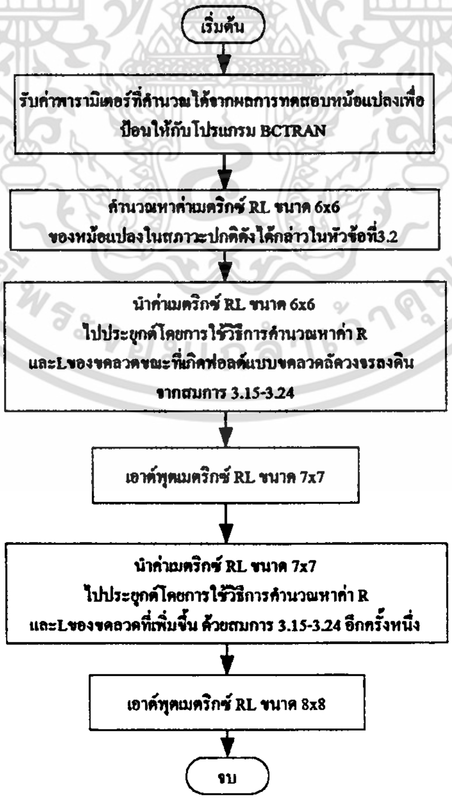
1BUS1_RBUS1_X	0.684616731534 69030.43645186
2BUS1_X	0.000000000000 69030.43645186
	0.684616731534 69030.43645186
3BUS2_R	0.000000000000 11552.49375846
	0.000000000000 11552.49375846
	0.009596103835 1934.25823852
4BUS1_SBUS1_Y	0.000000000000 -34370.88269110
	0.000000000000 -34370.88269110
	0.000000000000 -5754.64509878
	0.684616731534 69030.43645186

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5BUS1_Y	0.000000000000	-34370.88269110
	0.000000000000	-34370.88269110
	0.000000000000	-5754.64509878
	0.000000000000	69030.43645186
	0.684616731534	69030.43645186
6BUS2_S	0.000000000000	-5754.64509878
	0.000000000000	-5754.64509878
	0.000000000000	-963.51228789
	0.000000000000	11552.49375846
	0.000000000000	11552.49375846
	0.009596103835	1934.25823852
7BUS1_T	0.000000000000	-68741.76538220
	0.000000000000	-68741.76538220
	0.000000000000	-11509.29019755
	0.000000000000	-68741.76538220
	0.000000000000	-68741.76538220
	0.000000000000	-11509.29019755
	1.369233463069	276121.74580746
8BUS2_T	0.000000000000	-5754.64509878
	0.000000000000	-5754.64509878
	0.000000000000	-963.51228789
	0.000000000000	-5754.64509878
	0.000000000000	-5754.64509878
	0.000000000000	-963.51228789
	0.000000000000	23104.98751692
	0.009596103835	1934.25823852

3.5.3 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส

สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN ในกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟสสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม BCTRAN กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบ ATP/EMTP เพื่อใช้วิเคราะห์ฟอลต์ในหม้อแปลง

การวิเคราะห์ทรานเซียนต์แม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากฟ้าผ่า สวิตซ์ชิ่ง การลัดวงจรและการรบกวนแบบอื่นๆ เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบระบบไฟฟ้าแรงสูง การศึกษาทรานเซียนต์ได้เริ่มมานานกว่า 30 ปี โดยวิธี Transient Network Analyzer (TNA) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ด้วยการสร้างแบบจำลอง แต่ในปัจจุบันได้มีอีกวิธีให้เลือกคือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ การวิเคราะห์ระบบใหญ่ๆ มีแนวโน้มที่จะหันมาใช้วิธีนี้กันมากขึ้น ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากหน่วยงานต่างๆ มีคอมพิวเตอร์ไว้ใช้งานอยู่แล้วและสามารถนำมาวิเคราะห์ได้โดยไม่ต้องสร้างแบบจำลองที่มักจะประสบปัญหาเกี่ยวกับความคล่องตัวและเวลาที่ต้องสูญเสียไป และในปัจจุบันโปรแกรม EMTP ก็เป็นอีกโปรแกรมหนึ่งซึ่งเป็นที่ยอมรับและมีการนำมาใช้งานกันอย่างกว้างขวางในการคำนวณระบบไฟฟ้าในสภาวะทรานเซียนต์ อีกทั้งยังสามารถคำนวณระบบไฟฟ้าในสภาวะปกติอีด้วย

ในตัวโปรแกรม EMTP จะประกอบไปด้วย ตัวต้านทาน (R), ตัวเหนี่ยวนำ (L), ตัวเก็บประจุ (C) และองค์ประกอบต่างๆ สำหรับจำลองระบบไฟฟ้า รวมทั้งวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบสำหรับการวิเคราะห์ระบบควบคุม เช่น TACS (Transient Analysis of control System) และสามารถวิเคราะห์ระบบเครื่องกลไฟฟ้า เช่น มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อีกด้วย

สำหรับโปรแกรม EMTP จะมีการวิเคราะห์ในโดเมนเวลาโดยตรง อาศัยการแปลงเทอมที่ขึ้นกับความถี่ให้เป็นเทอมในโดเมนเวลาเสียก่อนด้วยหลักการของ Time Convolution

4.1 การสร้างวงจรทดสอบ

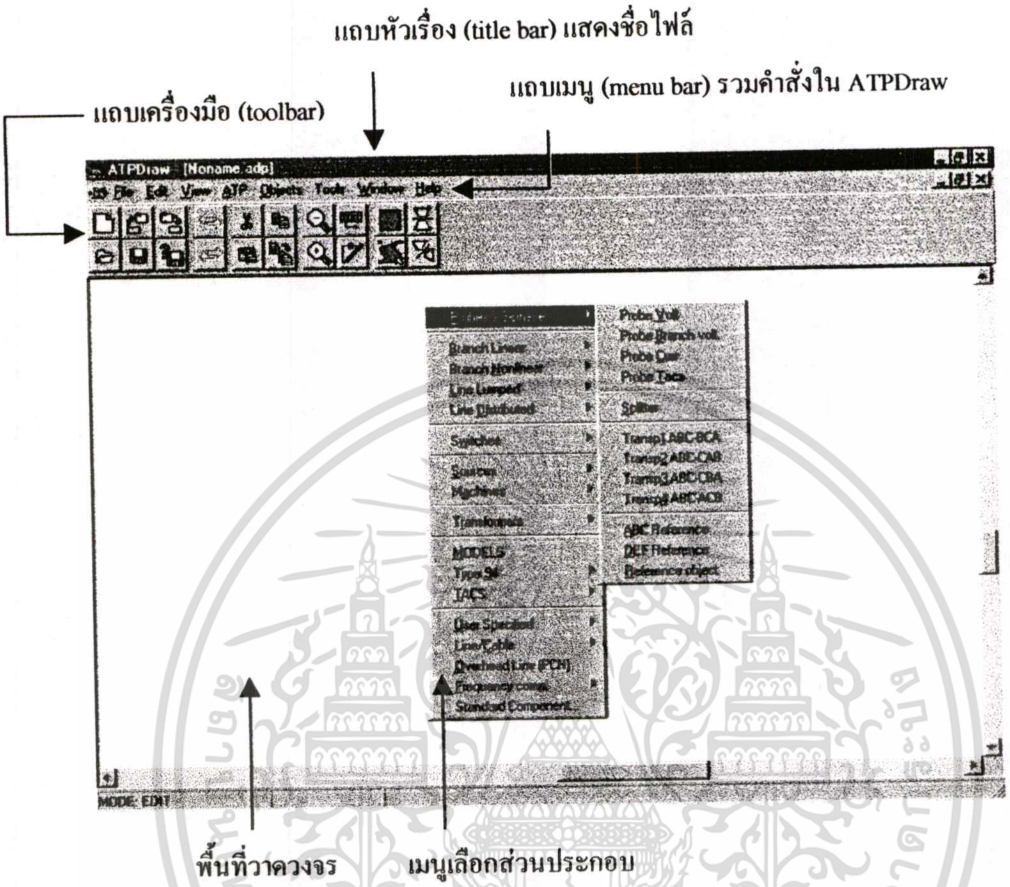
ในการสร้างวงจรทดสอบนี้ได้ใช้ ATPDraw ซึ่งเป็นโปรแกรมกราฟฟิคสำหรับใช้งานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ (windows) เป็นตัวปฏิบัติการโดยแสดงในรูปของเส้นที่ใช้เมาส์ (mouse) ลากใน ATP ซึ่งเป็นเวอร์ชันหนึ่งของโปรแกรม EMTP

โปรแกรม ATPDraw จะช่วยในการออกแบบและแก้ไขแบบจำลองระบบเครือข่ายทางไฟฟ้า เพื่อใช้ในการจำลอง (simulate) ซึ่งในโปรแกรมนี้ผู้ใช้สามารถสร้างวงจรทางไฟฟ้าโดยกำหนดส่วนประกอบต่างๆ แล้วสร้างอินพุตของ ATP จากนั้นจึงกำหนดชื่อโหนด (node) [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 หน้าต่างของโปรแกรม ATPDraw

เมื่อเข้าสู่โปรแกรม ATPDraw แล้ว จะปรากฏหน้าจอที่มีส่วนประกอบสำคัญดังนี้



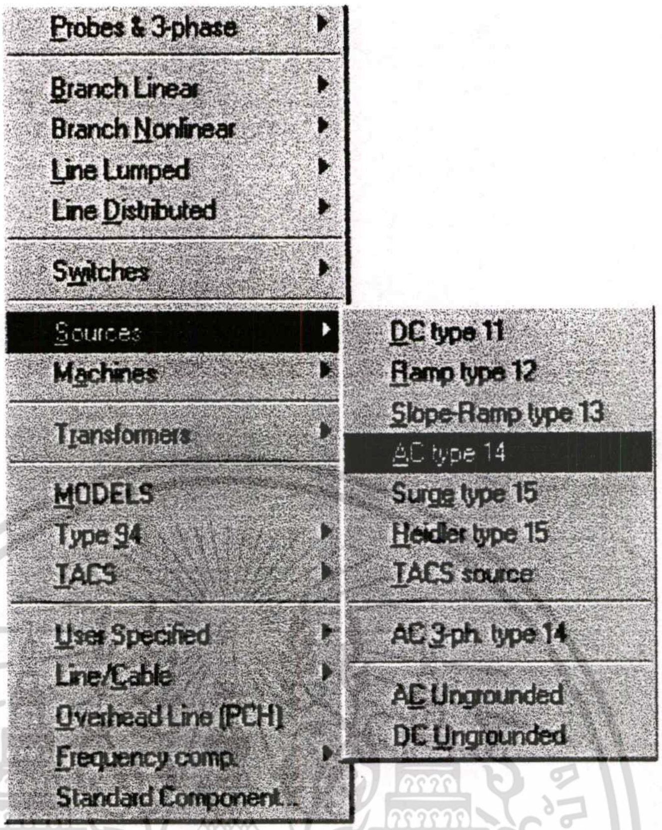
รูปที่ 4.1 หน้าต่างหลักของโปรแกรม ATPDraw

4.1.2 การวาดภาพวงจรใน ATPDraw

ในการจำลองวงจรไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม ATPDraw นั้นต้องเริ่มจากการสร้างวงจรไฟฟ้าหรือแบบจำลองทางไฟฟ้าขึ้นมาก่อน โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

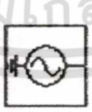
1. เลือกเมนู File > New
2. คลิกขวาบนพื้นที่วาดภาพเพื่อเรียกใช้เมนูเลือกอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 เมนูเลือกอุปกรณ์

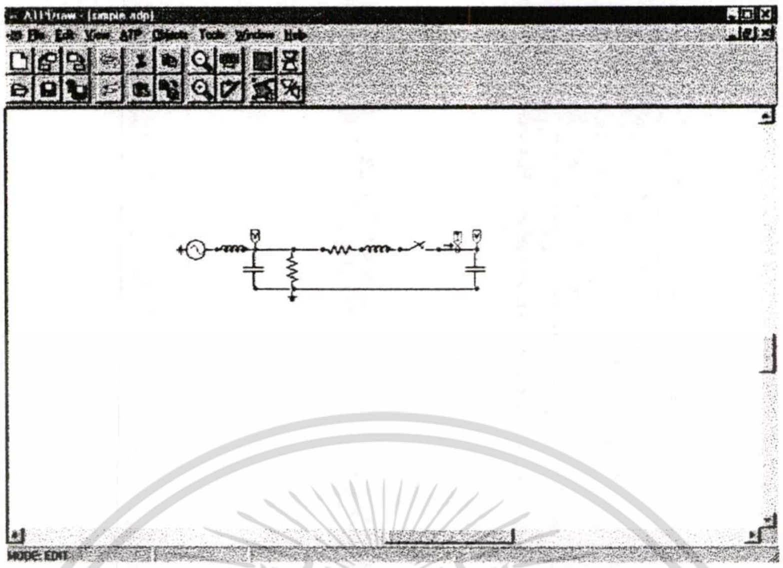
3. เลือกส่วนประกอบที่ต้องการใช้จากเมนู จากนั้นจะปรากฏส่วนประกอบที่เลือก บริเวณตรงกลางของพื้นที่วาดภาพ เช่น เลือกแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเราสามารถหมุนเปลี่ยนทิศทางของส่วนประกอบนั้นได้โดยการคลิกขวา



รูปที่ 4.3 สัญลักษณ์ของอุปกรณ์ตัวอย่างที่เลือก

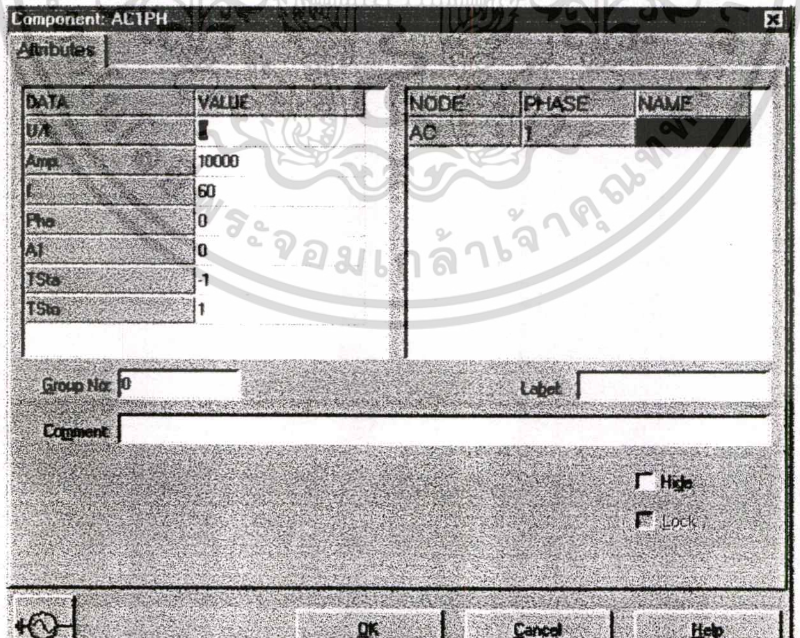
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้ส่วนประกอบที่เลือก มาต่อเป็นวงจรไฟฟ้าตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.4 วงจรไฟฟ้าตัวอย่างที่สร้างขึ้น

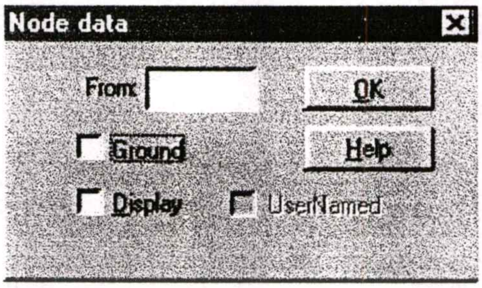
5. เมื่อได้วงจรแล้วเราสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของส่วนประกอบแต่ละตัวได้โดยคลิกขวาหรือดับเบิ้ลคลิกที่ส่วนประกอบตัวนั้น ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างกำหนดค่าของอุปกรณ์



รูปที่ 4.5 หน้าต่างกำหนดค่าของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เมื่อได้วงจรแล้วเราสามารถกำหนดโหนดและติดตั้งกราวน์ (ground)ได้โดยการคลิกขวาที่โหนด แล้วจะปรากฏตารางสำหรับป้อนชื่อโหนด โดยจะมีให้เลือกตั้งชื่อหรือติดตั้งกราวน์

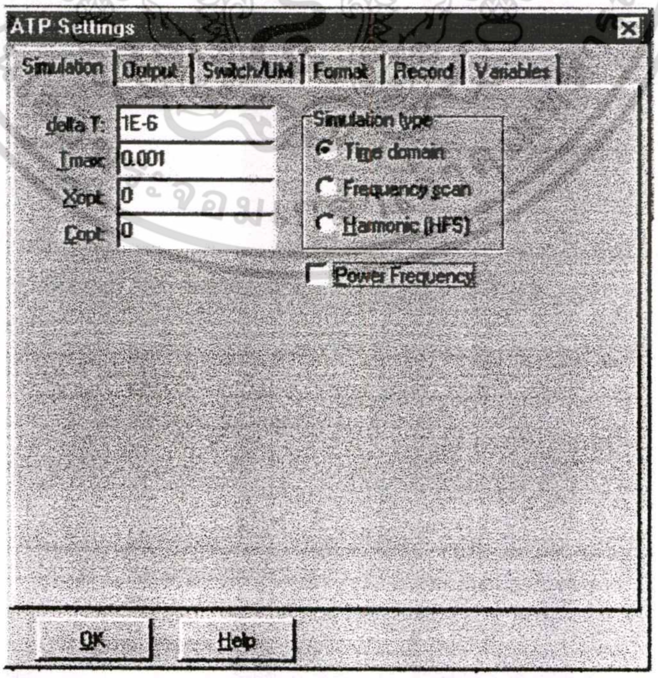


รูปที่ 4.6 หน้าต่างกำหนดชื่อโหนดและติดตั้งกราวน์

7. เมื่อได้วงจรที่สมบูรณ์ตามต้องการ ก็ทำการบันทึก (save) โดยเลือกที่เมนู File > save หรือ save as เมื่อต้องการเก็บข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์

8. ในการวิเคราะห์ผลทางไฟฟ้าต้องแปลงวงจรจากภาพวงจรให้อยู่ในรูปของไฟล์ก่อน โดยการเลือกที่เมนู ATP > Make File... ซึ่งจะมีข้อมูลเกี่ยวกับไฟล์ที่สร้างขึ้นโดยดูได้จากการเลือกเมนู ATP > Edit ATP-file

9. ในการวิเคราะห์วงจรเราจะต้องกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการวิเคราะห์ว่าอยู่ในช่วงเวลาใดหรือนานแค่ไหน โดยการเลือกที่เมนู ATP > Setting... จะปรากฏตารางป้อนค่าเวลาที่ต้องการ

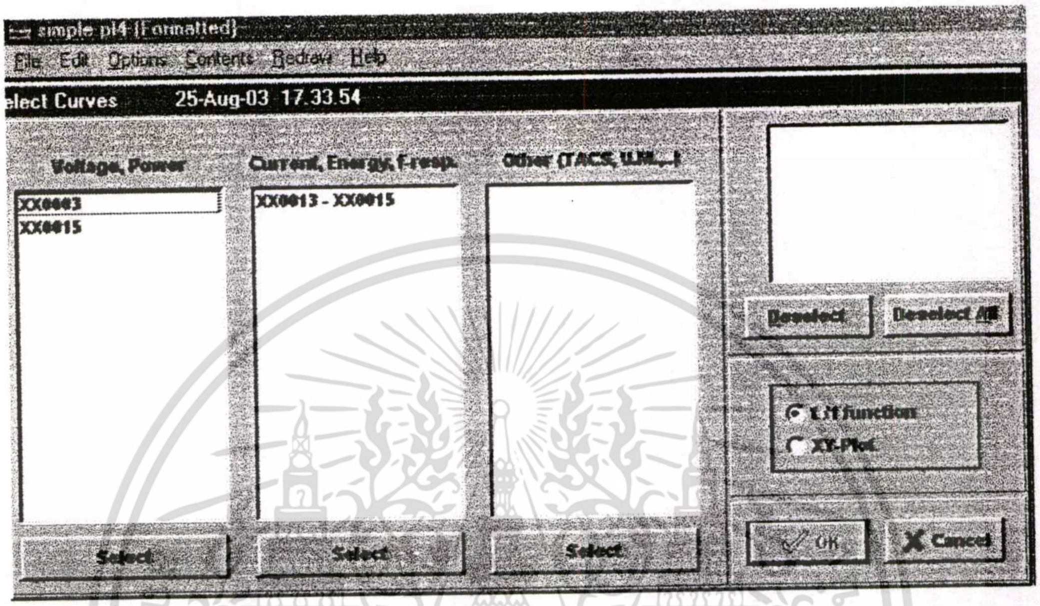


รูปที่ 4.7 หน้าต่างกำหนดค่าช่วงเวลาในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. เมื่อต้องการทำการวิเคราะห์ ให้เลือกที่เมนู ATP > run ATP

11. เมื่อทำการวิเคราะห์วงจรเสร็จแล้ว เราสามารถดูผลการวิเคราะห์ในรูปกราฟได้โดยการเลือกที่เมนู ATP > run Pcplot ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างของผลการวิเคราะห์ในรูปกราฟ โดยเราสามารถเลือกว่าจะให้ปรากฏผลกราฟของโหนดใดหรือโพรบ (probe) ใด

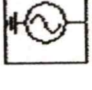


รูปที่ 4.8 หน้าต่างแสดงผลในรูปกราฟ

4.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรทดสอบ

การจำลองฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium 4, DDR RAM 128 MB ในการประมวลผลและเลือกใช้โปรแกรม ATPDraw v.3.4 ในการสร้างแบบจำลองเพื่อจำลองสภาวะฟอลต์ที่ขดลวดภายในหม้อแปลง สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้สร้างวงจรทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

1. แหล่งจ่าย (Source)

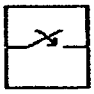


แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ในแบบจำลองนี้จะใช้ค่าแอมปลิจูดของแรงดันสำหรับป้อนให้กับโปรแกรมโดยมีขนาด 93,897 V ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Amplitude} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}(\text{voltage source}) \quad \text{V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สวิตซ์ (Switch)



สวิตซ์ที่ใช้ในแบบจำลองนี้เป็นแบบ time control switch ซึ่งใช้สำหรับกำหนดเวลาในการเริ่มจำลองฟอลต์ โดยเริ่มต้นให้เกิดการฟอลต์ที่เวลา 0.04 S

3. หม้อแแปลง BCTRAN

เป็นหม้อแปลง 3 เฟสแบบ YNyn0 ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับจำลองฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลง

4. อิมพิแดนซ์ของแหล่งจ่าย

อิมพิแดนซ์ของแหล่งจ่ายที่ใช้เป็นแบบ 3 เฟส RL coupled ทั้ง positive sequence และ zero sequence เป็นค่าที่ได้มาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

R_0 : 2.6489 R_+ : 7.3848

L_0 : 13.9523 L_+ : 10.697

5. อิมพิแดนซ์ของสายส่ง

อิมพิแดนซ์ของสายส่งที่ใช้เป็นแบบ 3 เฟส RL coupled ทั้ง positive sequence และ zero sequence เป็นค่าที่ได้มาจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

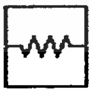
R_0 : 0.2552 R_+ : 0.0776

L_0 : 3.056 L_+ : 0.168

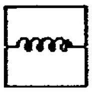
6. โพรบ (Probe)

โพรบวัดค่าแรงดัน ใช้สำหรับแสดงค่าแรงดันของวงจรทดสอบในส่วนที่ต้องการพิจารณา ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้เป็นแบบ 1 เฟส หรือ 3 เฟส

7. โหลด (Load)



โหลดที่ใช้สำหรับแบบจำลองนี้ ได้เลือกใช้ค่าความต้านทาน (R) และค่าความเหนี่ยวนำ (L) ซึ่งมีขนาดอย่างละ 10 Ω



8. ช่วงเวลาการวิเคราะห์วงจร

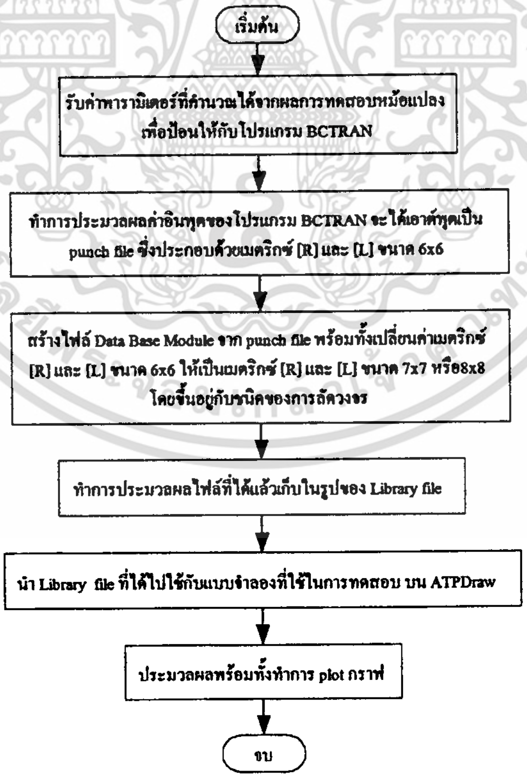
ในการวิเคราะห์วงจรได้กำหนดช่วงเวลาในการทดสอบเป็นดังนี้

- ความถี่ (Freq) : 50 Hz
- time step ในการคำนวณ(delta T) : 0.0001 S
- ระยะเวลาในการคำนวณทั้งหมด(Tmax) : 0.14 S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ฟอลต์ในหม้อแปลง

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์ฟอลต์ในหม้อแปลงด้วยโปรแกรม ATP/EMTP เริ่มต้นจากการสร้างหม้อแปลงทดสอบในสภาวะปกติโดยรับค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากผลการทดสอบหม้อแปลงเพื่อป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN (ดังตัวอย่างในหัวข้อที่ 3.1) จากนั้นทำการประมวลผลค่าอินพุตของโปรแกรม BCTRAN จะได้เอาต์พุตเป็น punch file ซึ่งประกอบด้วย coupled matrix RL ที่มีขนาด 6x6 (ดังตัวอย่างในหัวข้อที่ 3.2.2) จากนั้นเมื่อต้องการสร้างหม้อแปลงทดสอบขณะเกิดสภาวะฟอลต์ก็สามารถทำได้โดยการนำ punch file ของหม้อแปลงทดสอบในสภาวะปกติมาสร้างเป็นไฟล์ Data Base Module พร้อมทั้งเปลี่ยนค่า coupled matrix RL ที่มีขนาด 6x6 ให้เป็น coupled matrix RL ที่มีขนาด 7x7 หรือ 8x8 โดยขึ้นอยู่กับชนิดของสภาวะฟอลต์ที่ต้องการจำลอง (ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.3-3.5) จากนั้นทำการประมวลผลของไฟล์ที่ได้แล้วเก็บในรูปของ Library file จากนั้นนำ Library file ที่ได้ไปใช้กับวงจรทดสอบสภาวะฟอลต์ที่ต้องการจำลอง (ดังที่แสดงในหัวข้อที่ 4.3) บน ATPDraw โดยโปรแกรม ATPDraw จะทำการประมวลผลพร้อมแสดงรูปของสัญญาณทั้งกระแสและแรงดันออกมา จากขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังกล่าวสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.9

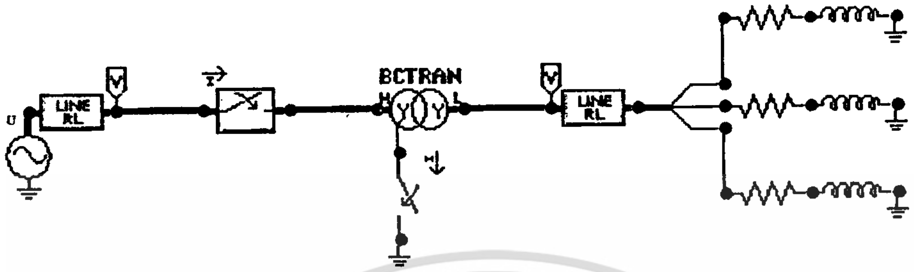


รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการวิเคราะห์ฟอลต์ในหม้อแปลงด้วยโปรแกรม ATP/EMTP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

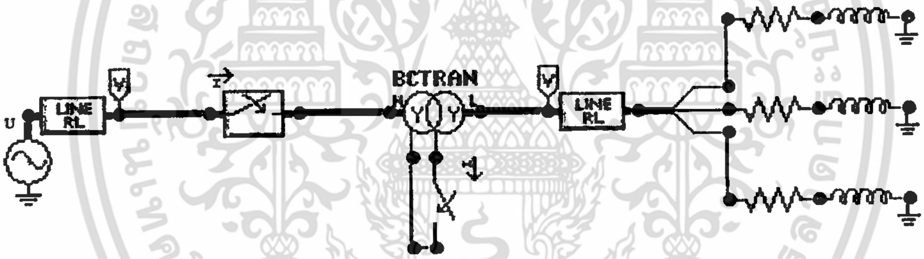
4.3 วงจรที่ใช้ในการทดสอบ

4.3.1 กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน



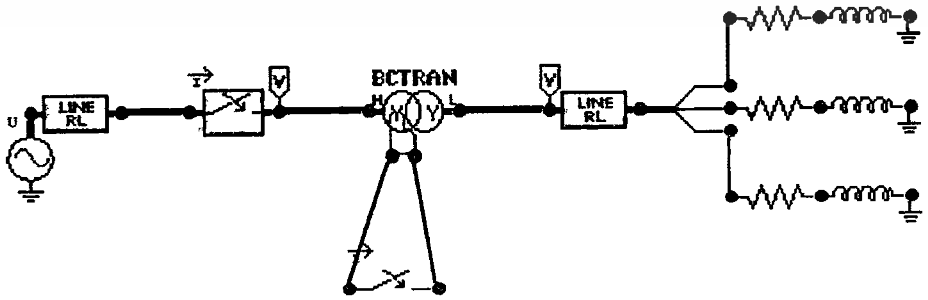
รูปที่ 4.10 วงจรทดสอบกรณีเกิดฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน

4.3.2 กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด



รูปที่ 4.11 วงจรทดสอบกรณีเกิดฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด

4.3.3 กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส



รูปที่ 4.12 วงจรทดสอบกรณีเกิดฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

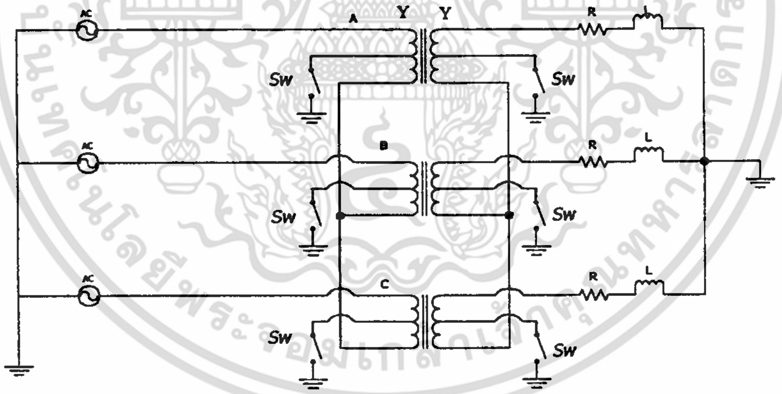
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 50 MVA และขนาด 35 MVA ที่สร้างขึ้นดังวงจรทดสอบที่ได้กล่าวในบทที่ 4 เพื่อจำลองสภาวะฟอลต์ในกรณีต่างๆ ดังนี้

- กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน
- กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด
- กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส

ทั้งนี้เนื่องจากกรณี 3-ϕ ฟอลต์ที่ขดลวดภายในหม้อแปลงเป็นกรณีซึ่งแทบไม่มีการเกิดขึ้นเลย ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงไม่นำกรณีดังกล่าวมาพิจารณา

5.1 กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน

จากวงจรทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน ดังรูปที่ 4.10 สามารถแสดงเป็นวงจรทางไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 5.1



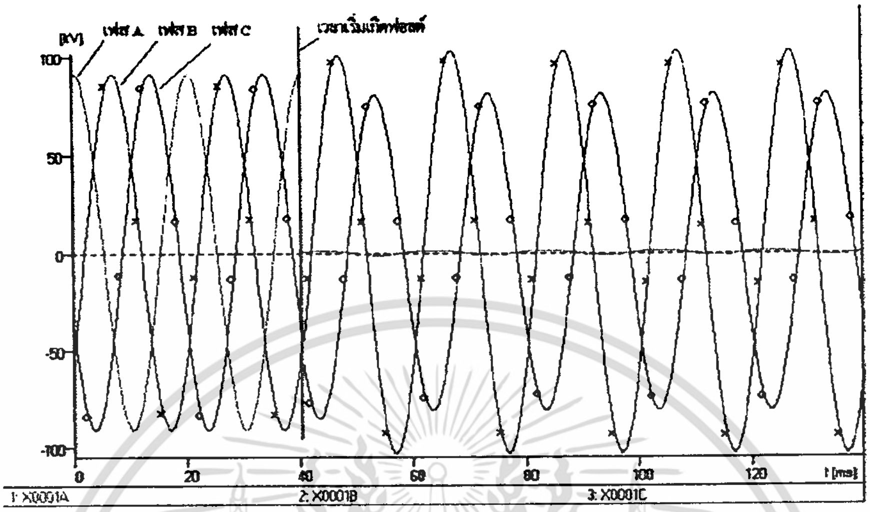
รูปที่ 5.1 วงจรทางไฟฟ้ากรณีเกิดฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน

ในหัวข้อ 5.1 จะเป็นการแสดงผลการทดสอบหม้อแปลงขนาด 50 MVAและขนาด 35 MVA กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินที่ขดลวดทางด้าน primary และ secondary ของเฟส A, B และ C ซึ่งทำการทดสอบขณะเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินที่ 15%, 30%, 45%, 60% และ 75% โดยแสดงผลการทดสอบได้ดังนี้ (ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันของผลการทดสอบที่แต่ละเปอร์เซ็นต์ของขดลวดดังกล่าวมีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกแสดงเฉพาะสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันขณะเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินที่ 45% ทางด้าน primary และ secondary ของเฟส Aเท่านั้น)

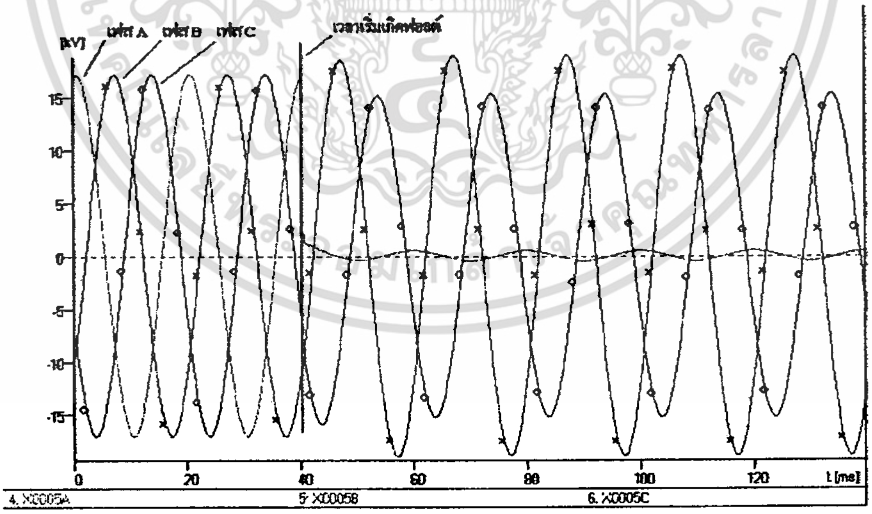
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1 ผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

5.1.1.1 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส A

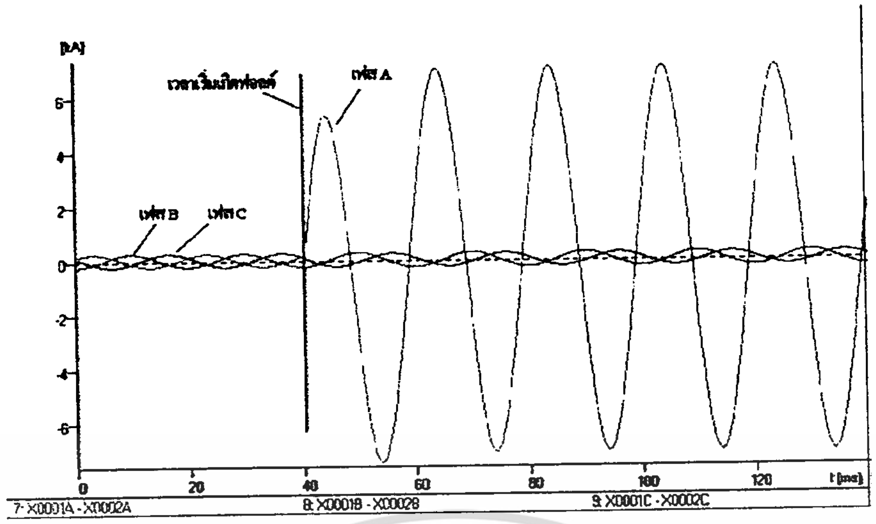


รูปที่ 5.2 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A

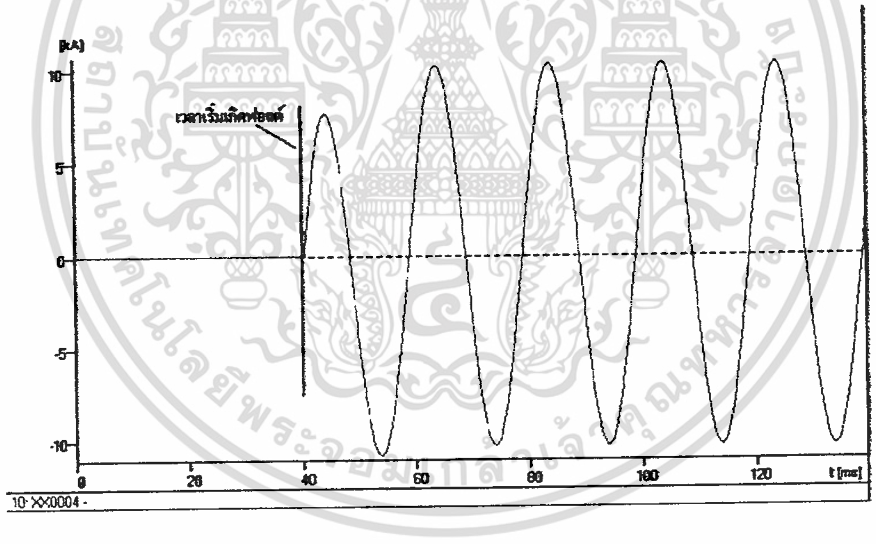


รูปที่ 5.3 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



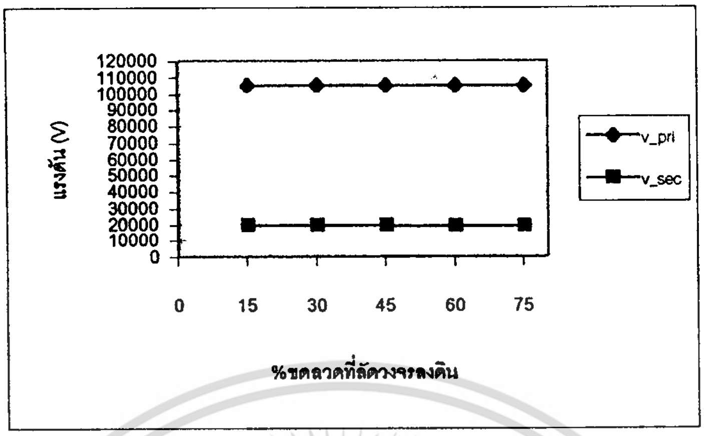
รูปที่ 5.4 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A



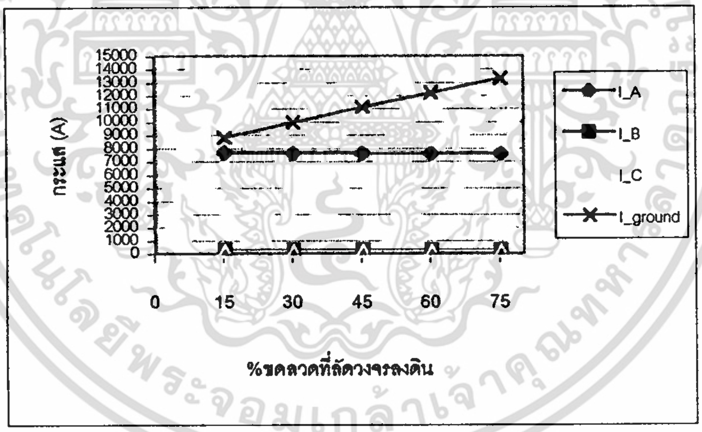
รูปที่ 5.5 สัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.2 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส A



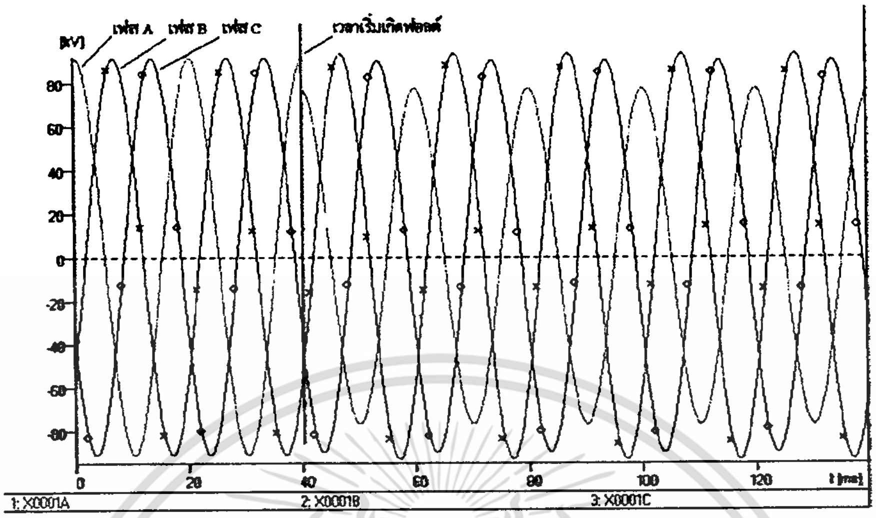
รูปที่ 5.6 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



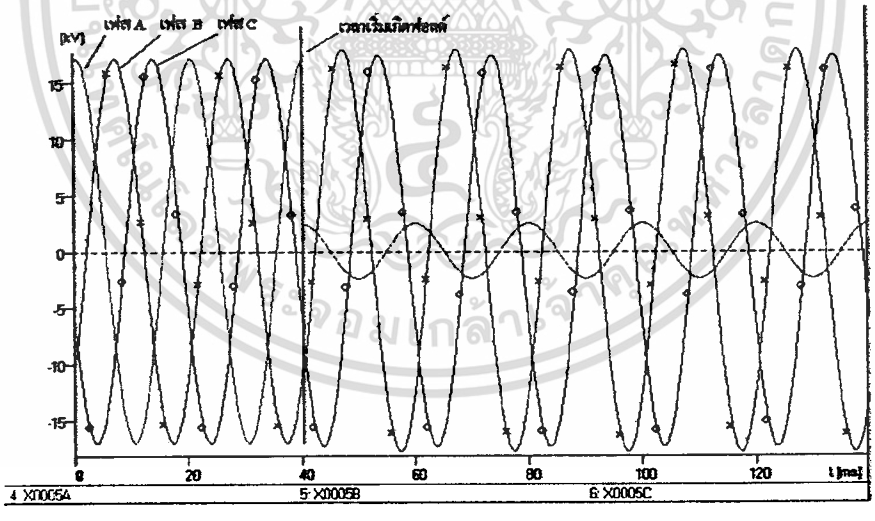
รูปที่ 5.7 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.3 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A

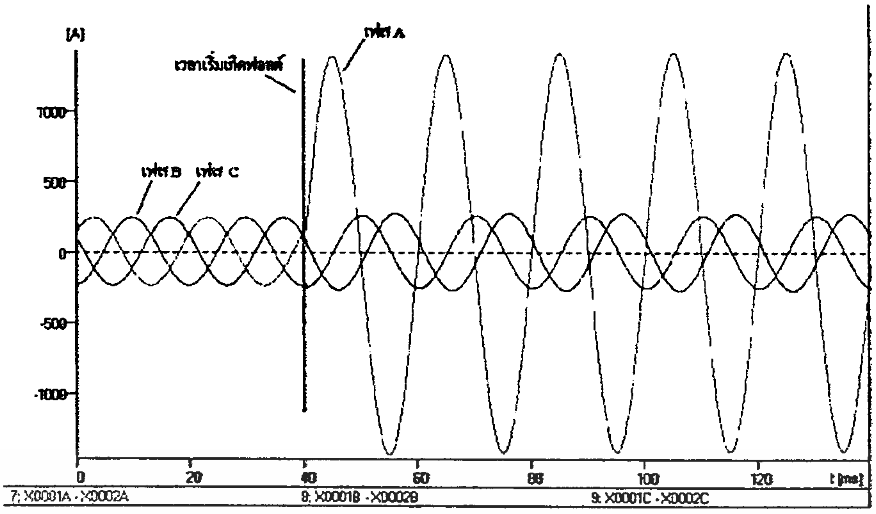


รูปที่ 5.8 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A

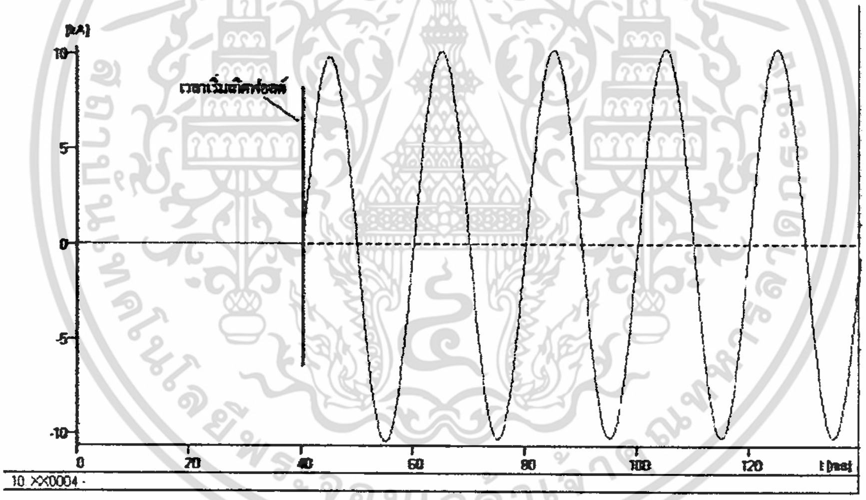


รูปที่ 5.9 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



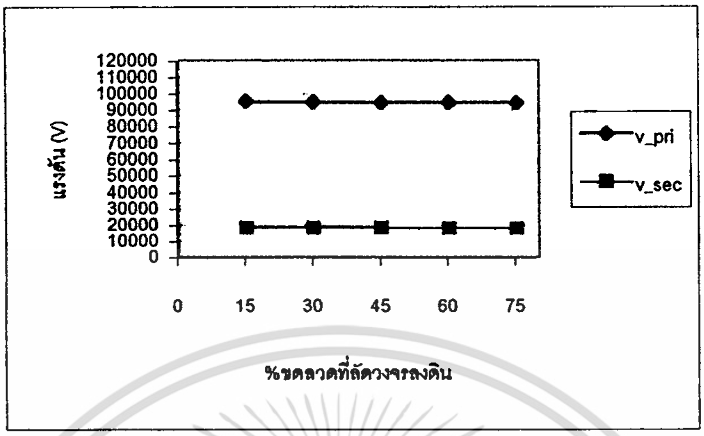
รูปที่ 5.10 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A



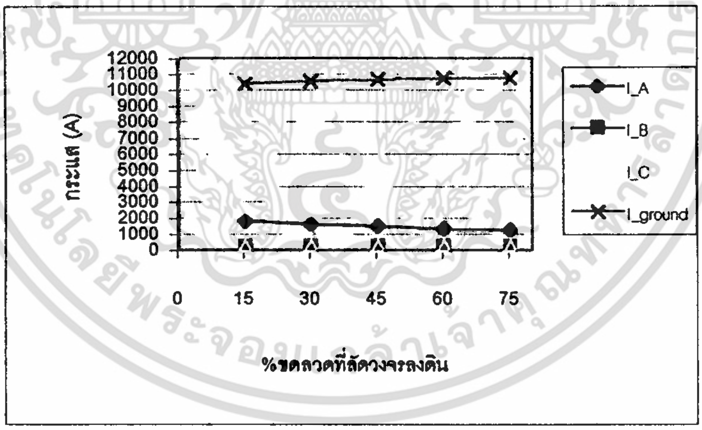
รูปที่ 5.11 สัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.4 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A



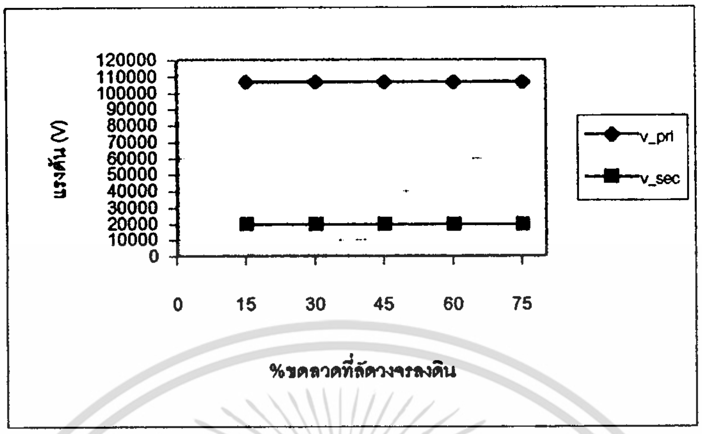
รูปที่ 5.12 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



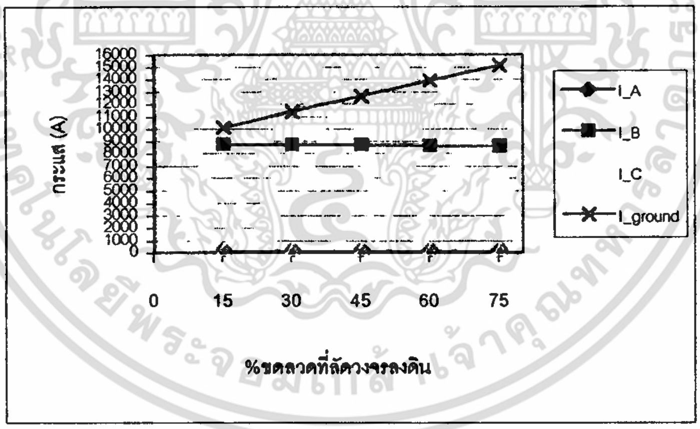
รูปที่ 5.13 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.5 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส B



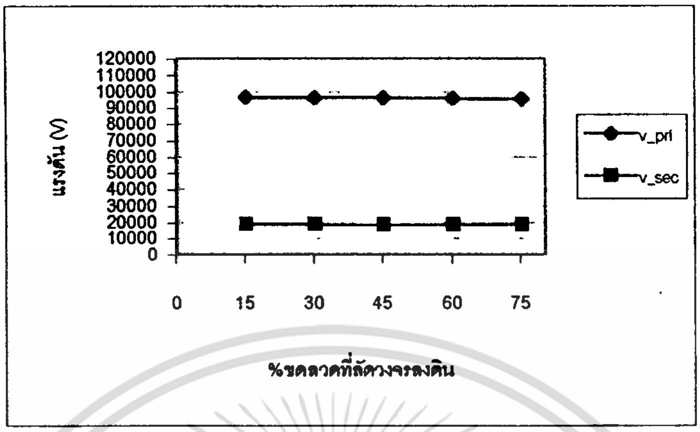
รูปที่ 5.14 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



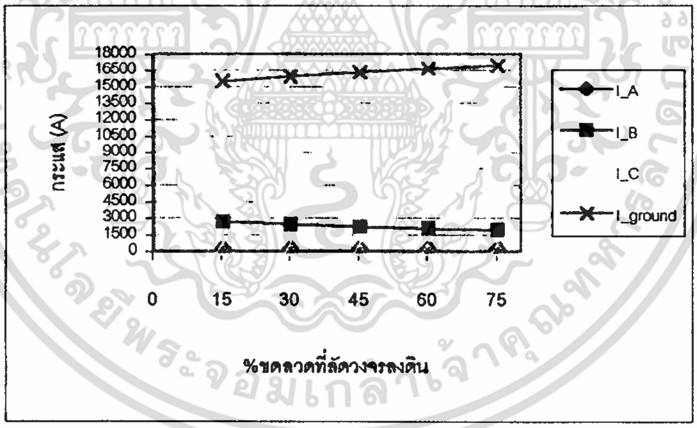
รูปที่ 5.15 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.6 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B



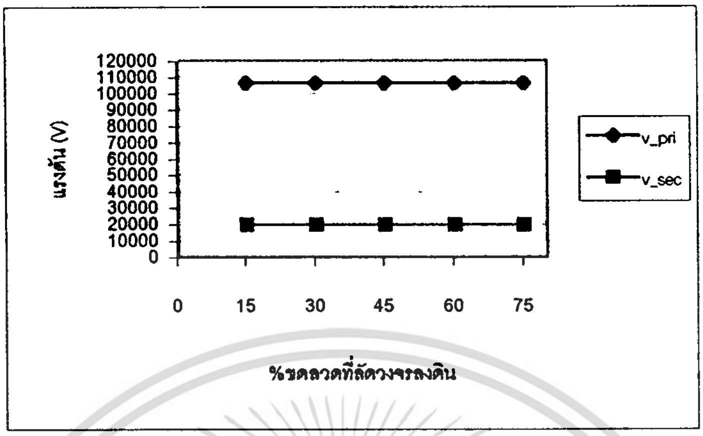
รูปที่ 5.16 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



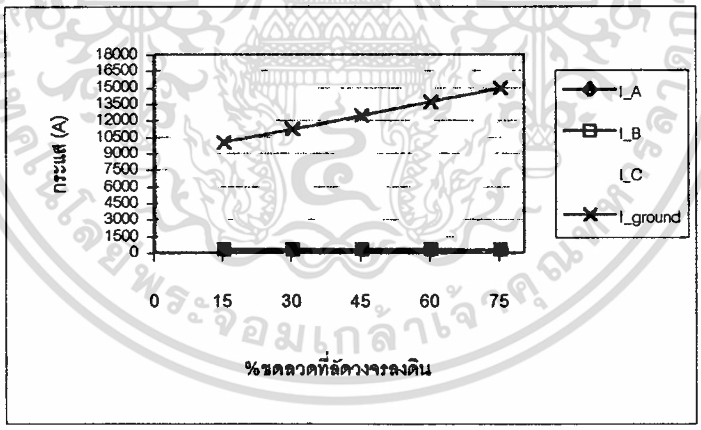
รูปที่ 5.17 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.7 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส C



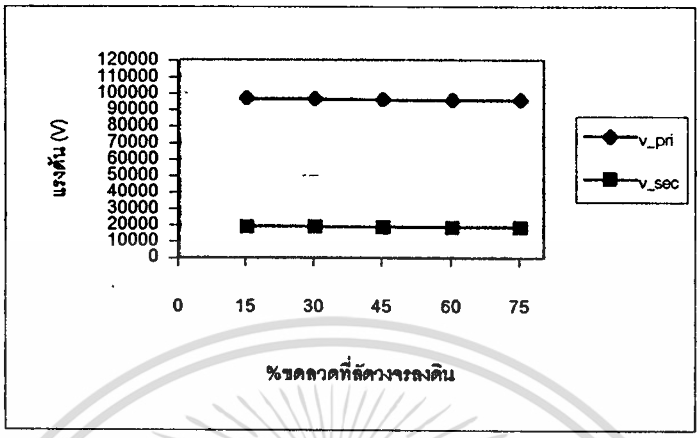
รูปที่ 5.18 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



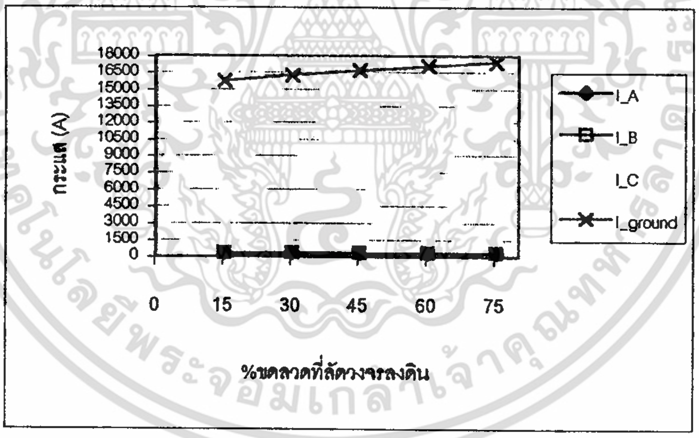
รูปที่ 5.19 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.8 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C



รูปที่ 5.20 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

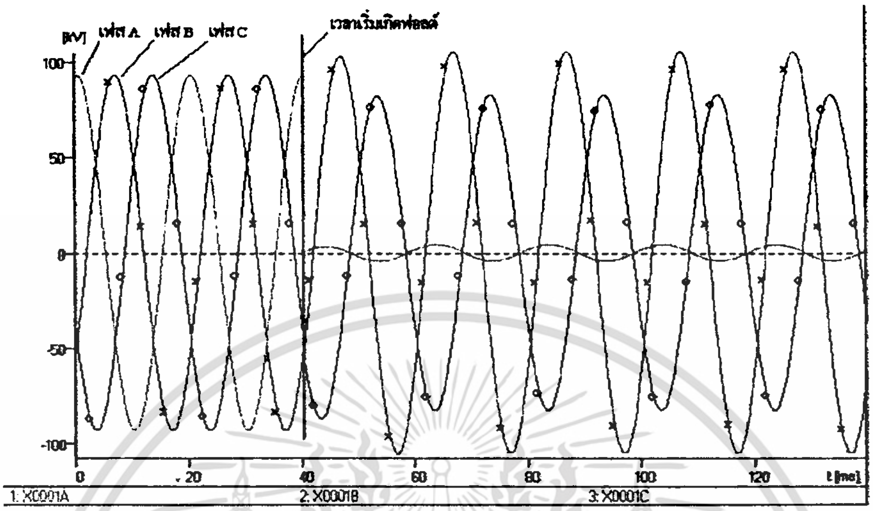


รูปที่ 5.21 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

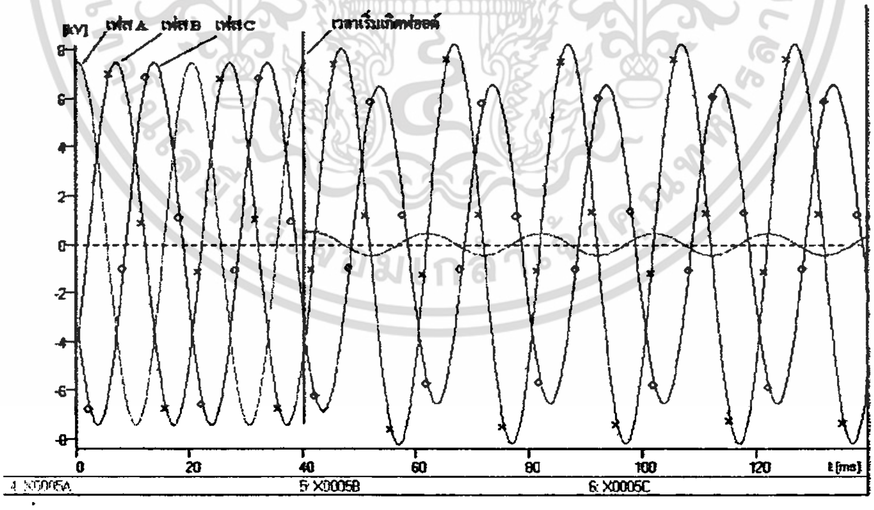
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 ผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

5.1.2.1 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส A

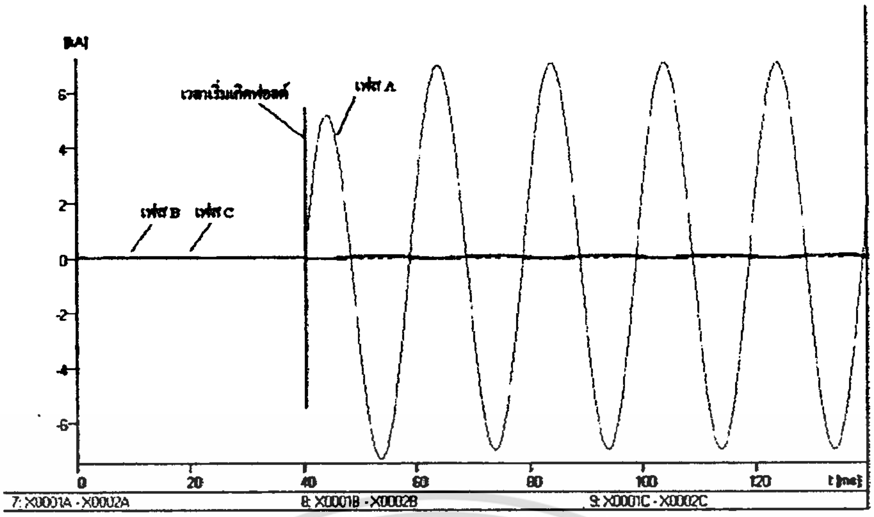


รูปที่ 5.22 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A

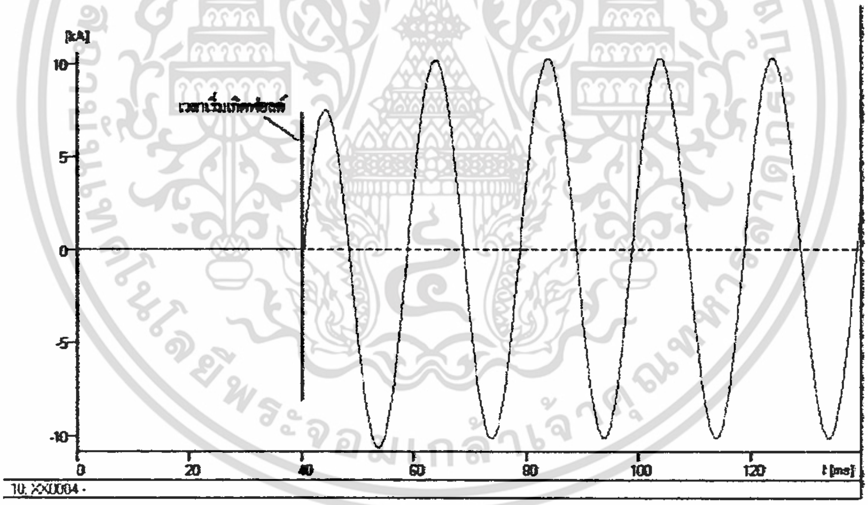


รูปที่ 5.23 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



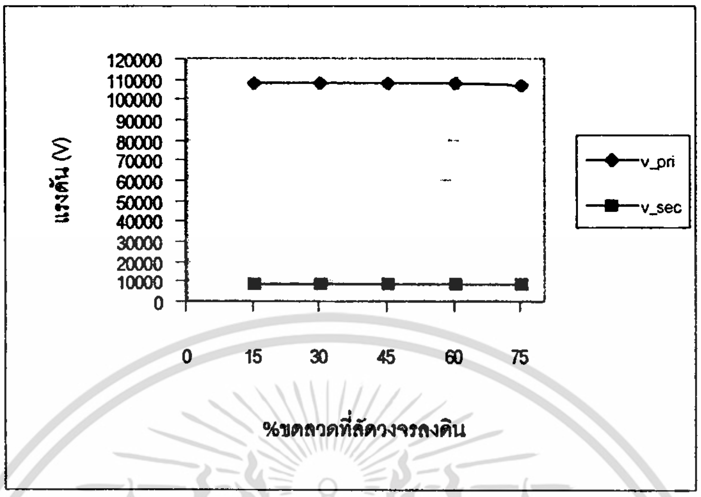
รูปที่ 5.24 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A



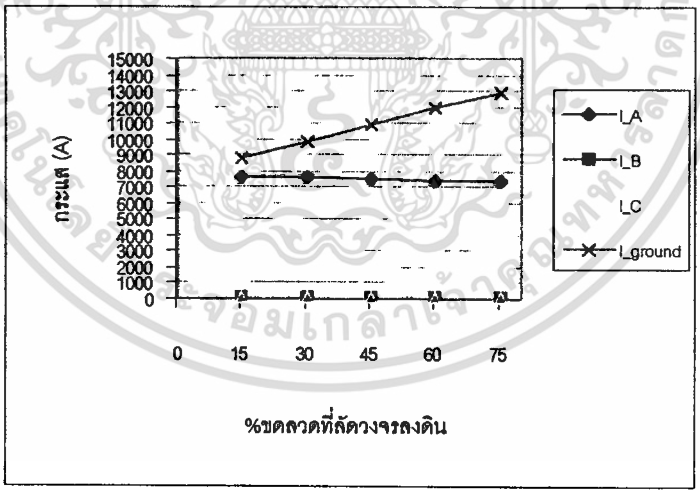
รูปที่ 5.25 สัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.2 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส A



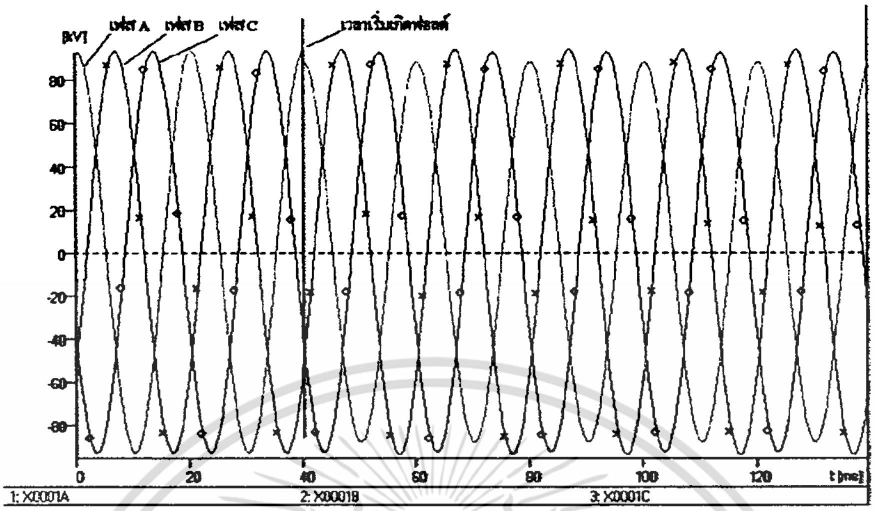
รูปที่ 5.26 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA



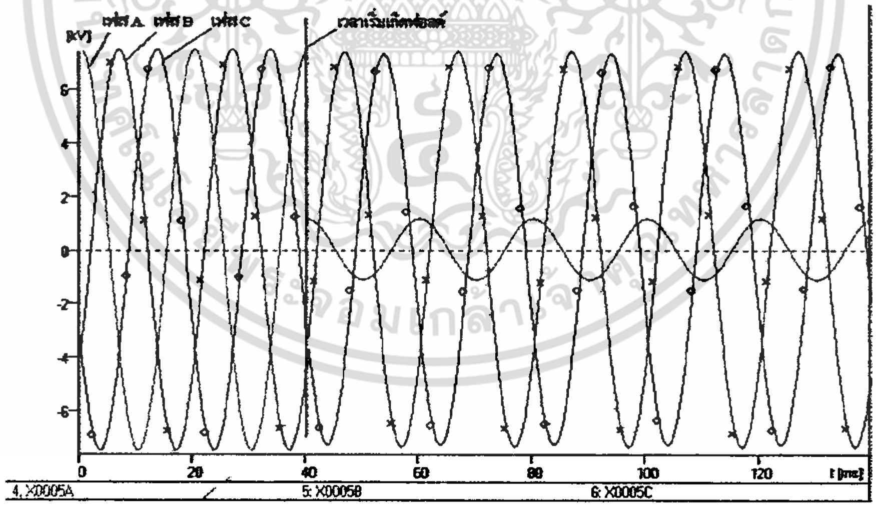
รูปที่ 5.27 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.3 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A

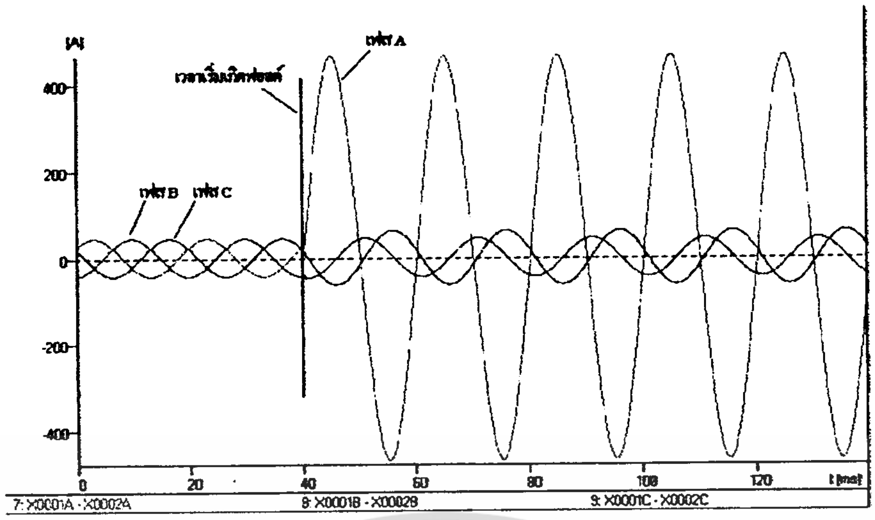


รูปที่ 5.28 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A

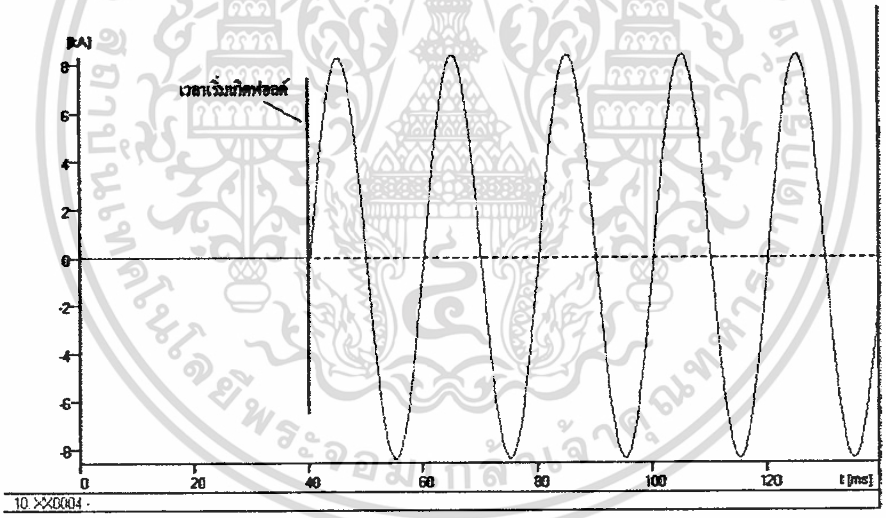


รูปที่ 5.29 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



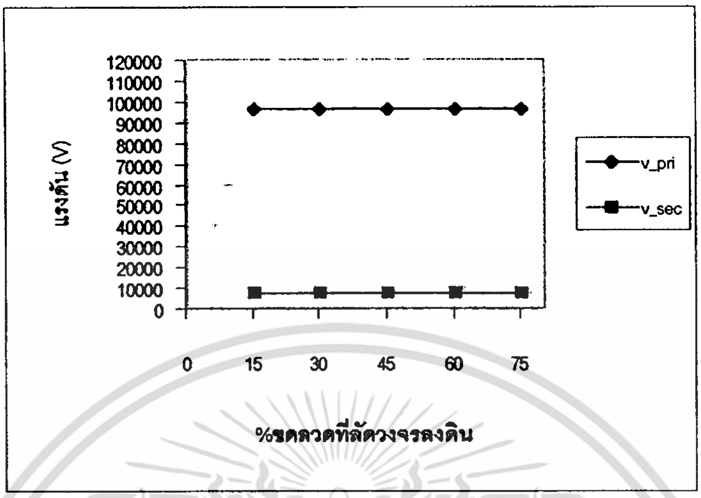
รูปที่ 5.30 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A



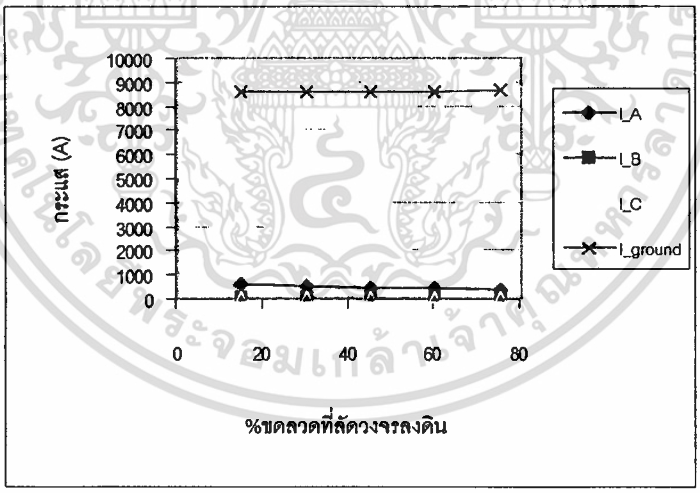
รูปที่ 5.31 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.4 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A



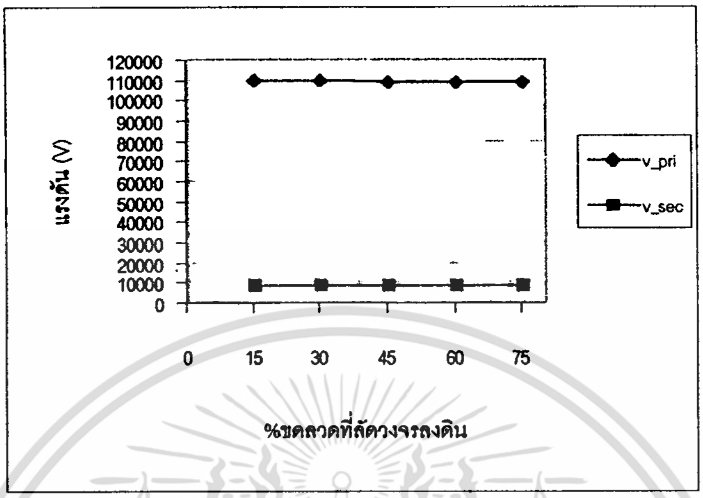
รูปที่ 5.32 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA



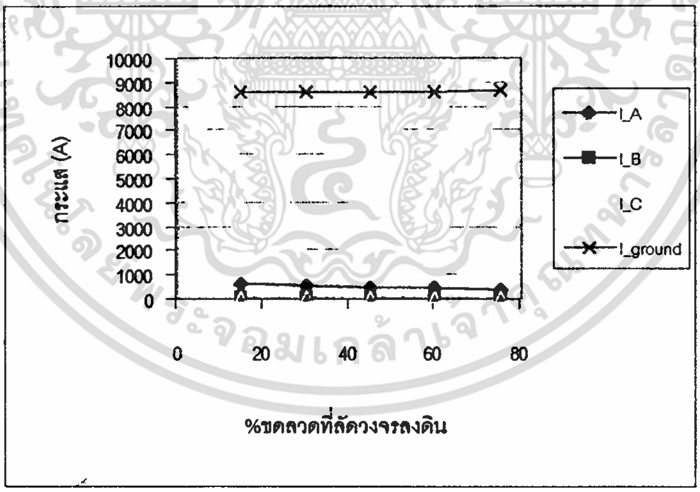
รูปที่ 5.33 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.5 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส B



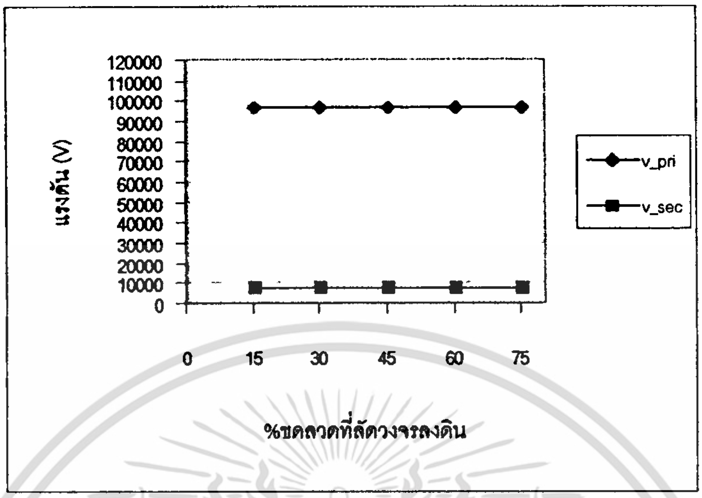
รูปที่ 5.34 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA



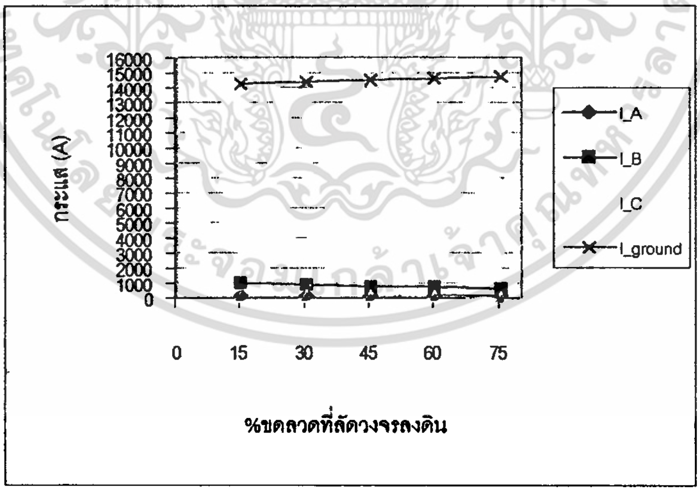
รูปที่ 5.35 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.6 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B



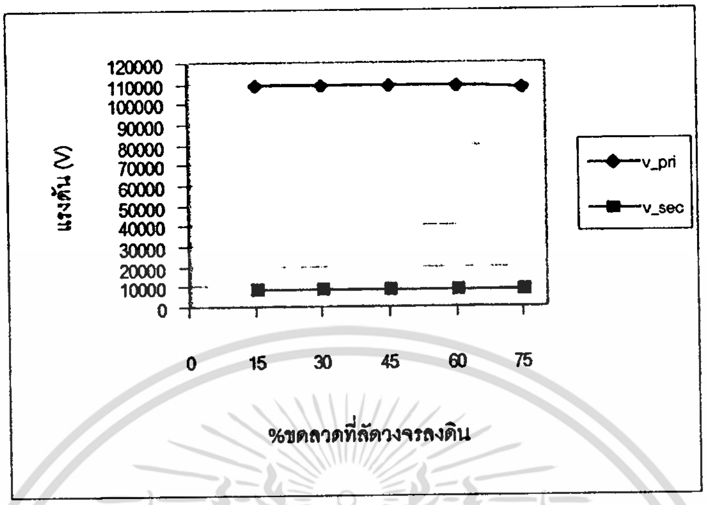
รูปที่ 5.36 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA



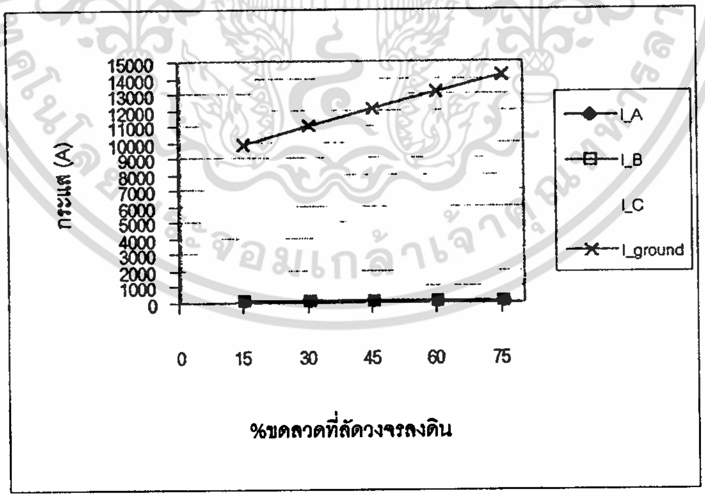
รูปที่ 5.37 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.7 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส C



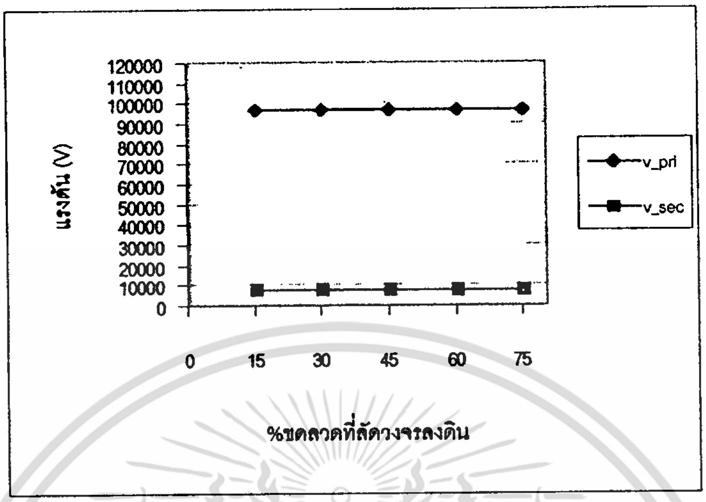
รูปที่ 5.38 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA



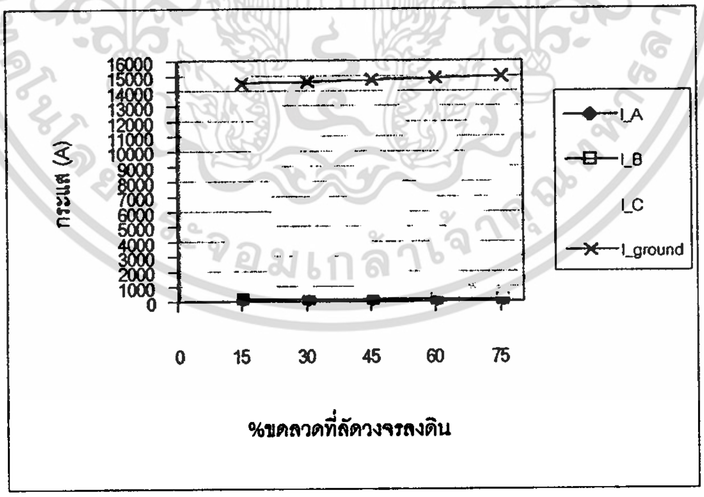
รูปที่ 5.39 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2.8 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C



รูปที่ 5.40 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA



รูปที่ 5.41 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากวงจรทดสอบที่ได้แสดงการออกแบบไว้ในบทที่ 4 นั้น การทำงานจะเริ่มขึ้นเมื่อมีการจ่ายแรงดันเข้าไปที่หม้อแปลงทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองเหตุการณ์ฟอลต์กรณีขดลวดลัดวงจรลงดิน จากนั้นทำการจำลองฟอลต์โดยกำหนดเวลาในการเริ่มจำลองที่เวลา 0.04 S

จากผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินพบว่า

1. ขณะเกิดฟอลต์ทางด้าน primary จะส่งผลให้แรงดันทั้งทางด้าน primary และทางด้าน secondary มีขนาดต่ำกว่าแรงดันที่พิกัดและแรงดันในเฟสอื่นๆ มาก และแรงดันนี้จะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของขดลวดที่ลัดวงจรลงดิน [11] ทั้งนี้เมื่อเกิดการลัดวงจรทางด้าน secondary จะไม่ส่งผลให้แรงดันทางด้าน primary ของเฟสเดียวกันลดลงมากนักแต่แรงดันทางด้าน secondary จะลดลงมากกว่าแรงดันในเฟสอื่นๆ มาก

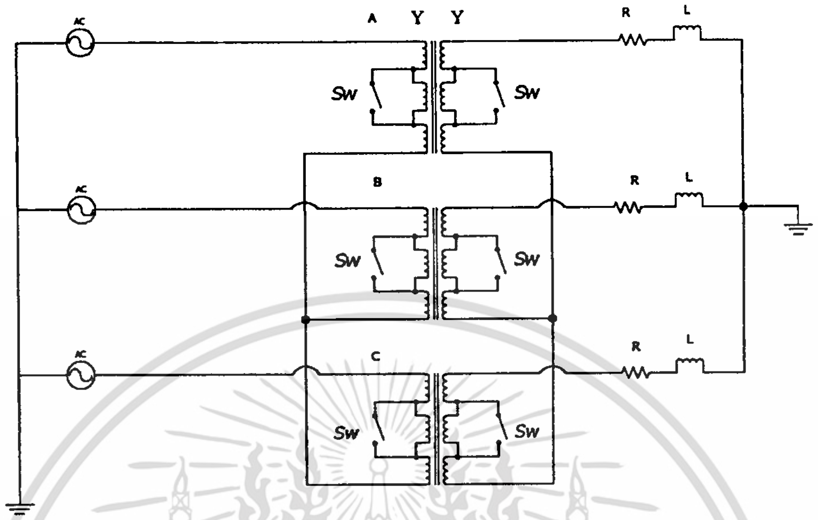
2. ขณะเกิดฟอลต์ กระแสของเฟสที่เกิดการลัดวงจรจะมีขนาดสูงกว่ากระแสของเฟสอื่นๆ และกระแสของเฟสอื่นๆ ที่ไม่ได้ลัดวงจรจะมีขนาดใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับกระแสที่พิกัด ทั้งนี้กระแสของเฟสที่เกิดการลัดวงจรจะมีขนาดสูงกว่ากระแสที่พิกัดประมาณ 30 เท่า สำหรับกระแสที่ลัดวงจรลงดินจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของขดลวดที่ลัดวงจร [11]

3. เมื่อพิจารณากราฟของกระแสและแรงดัน เมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินของหม้อแปลงขนาด 50 MVA และขนาด 35 MVA พบว่ามีลักษณะเป็นไปในแนวทางเดียวกัน ดังนั้น แบบจำลองของฟอลต์กรณีขดลวดลัดวงจรลงดินที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสามารถนำผลการทดสอบที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์เพื่อป้องกันหม้อแปลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด

จากวงจรทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด ดังรูปที่ 4.11 สามารถแสดงเป็นวงจรทางไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 5.42



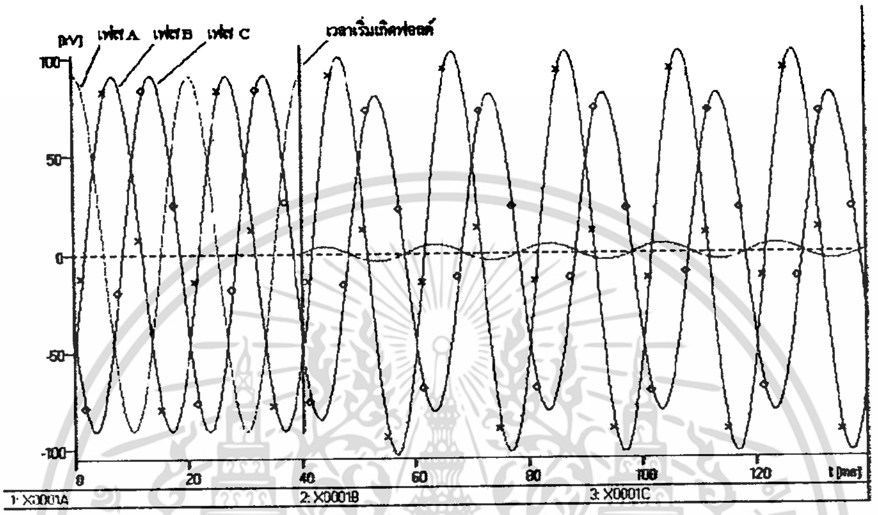
รูปที่ 5.42 วงจรทางไฟฟ้ากรณีเกิดฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด

ในหัวข้อ 5.2 จะเป็นการแสดงผลการทดสอบหม้อแปลงขนาด 50 MVA และขนาด 35 MVA กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary และ secondary ของเฟส A, B, และ C ซึ่งทำการทดสอบขณะเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดจำนวน 20, 30, 40, 50 และ 60 รอบ โดยแสดงผลการทดสอบได้ดังนี้ (ทั้งนี้เนื่องจากสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันของผลการทดสอบที่แต่ละจำนวนรอบของขดลวดดังกล่าวมีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกแสดงเฉพาะสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส 40 รอบ ทางด้าน primary และ secondary ของเฟส A เท่านั้น)

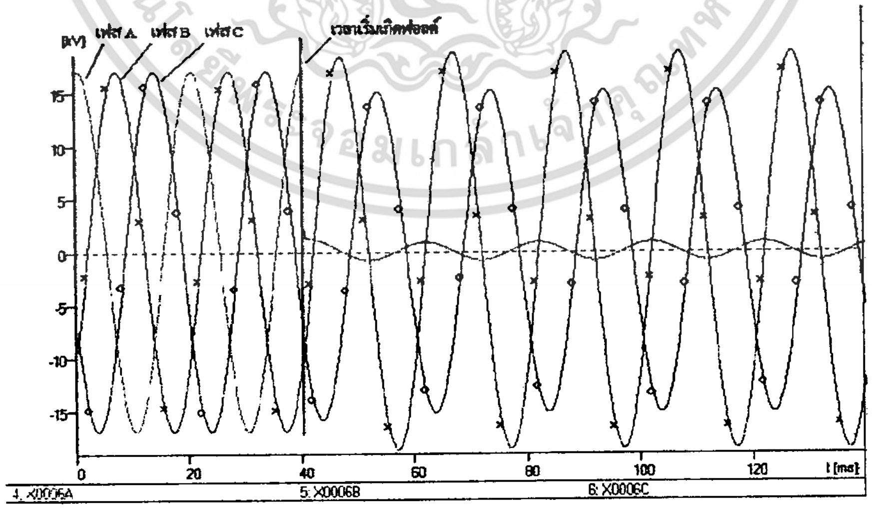
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 ผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

5.2.1.1 ผลการทดสอบขณะลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของ เฟส A

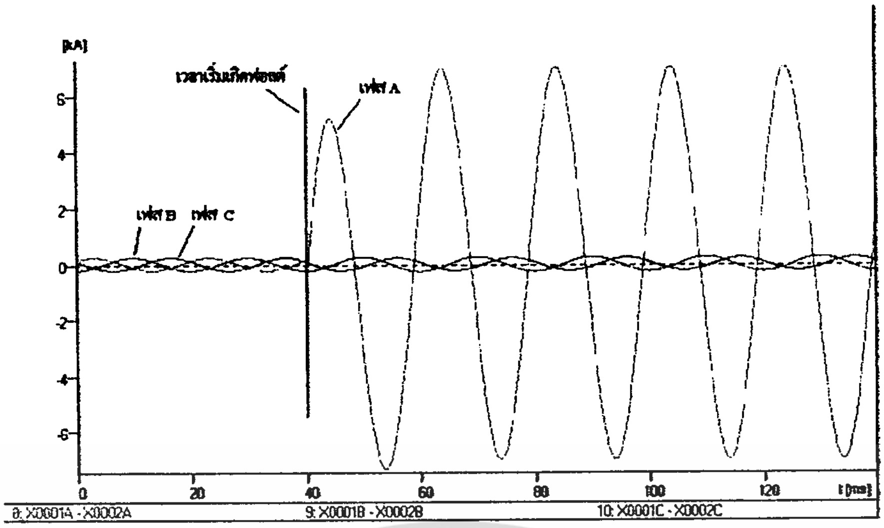


รูปที่ 5.43 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A



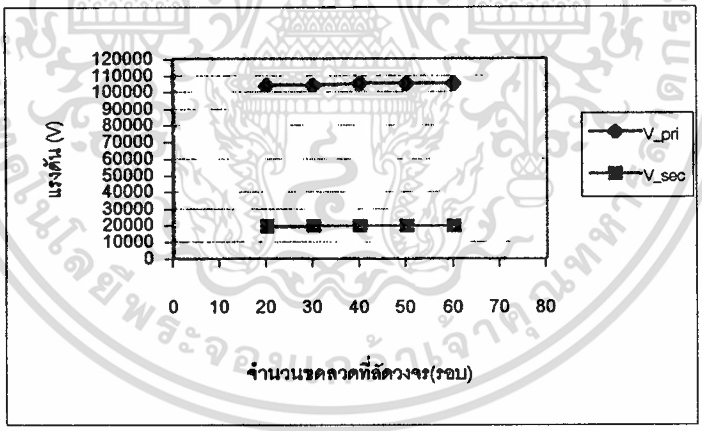
รูปที่ 5.44 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



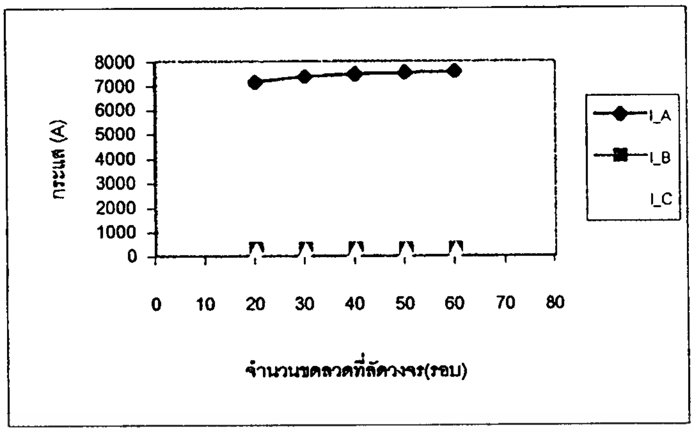
รูปที่ 5.45 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A

5.2.1.2 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A



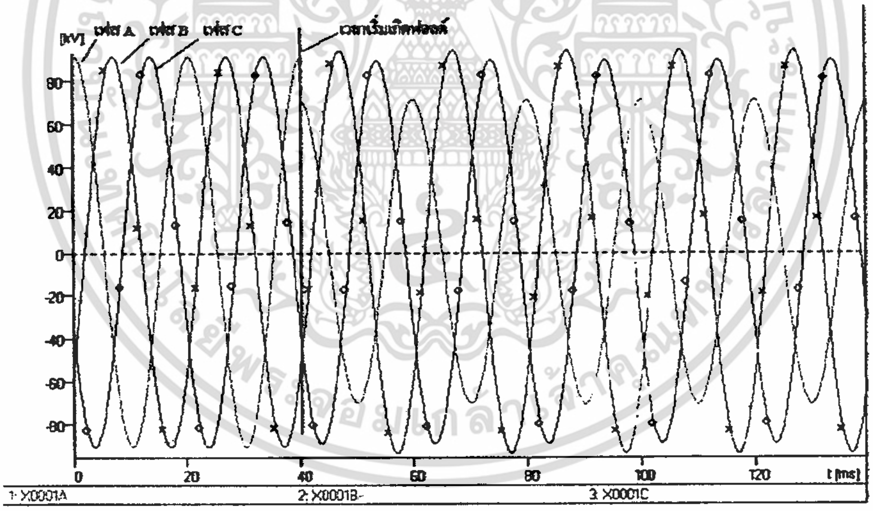
รูปที่ 5.46 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



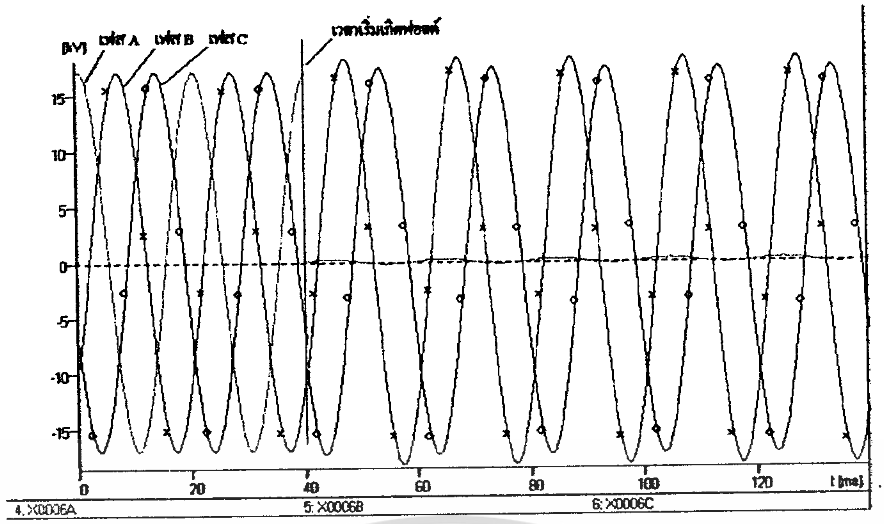
รูปที่ 5.47 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

5.2.1.3 ผลการทดสอบขณะลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของ เฟส A

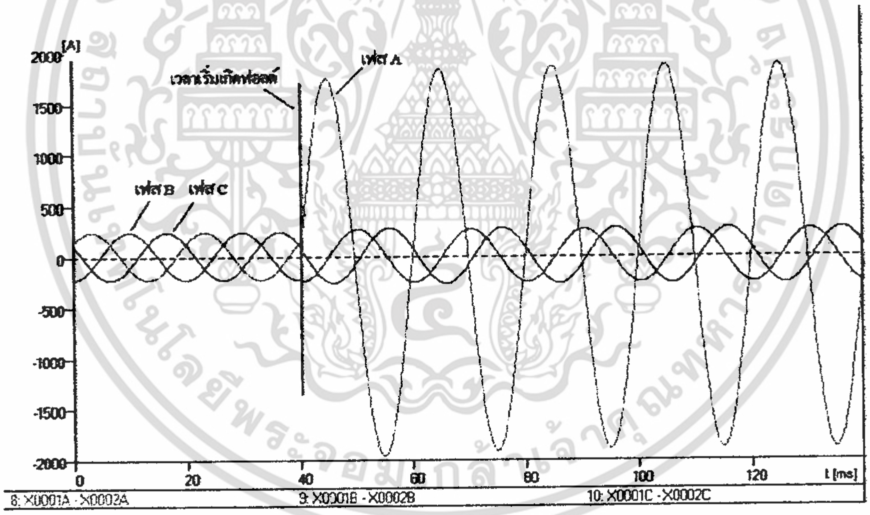


รูปที่ 5.48 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



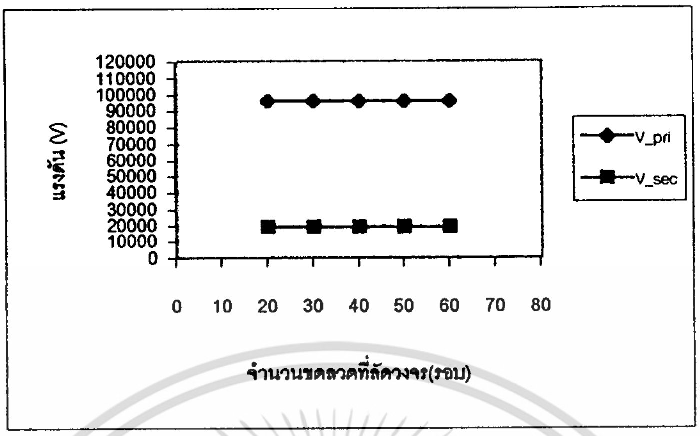
รูปที่ 5.49 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A



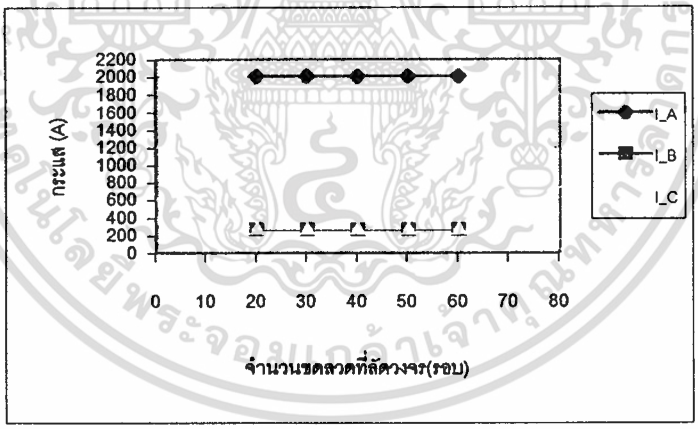
รูปที่ 5.50 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.4 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A



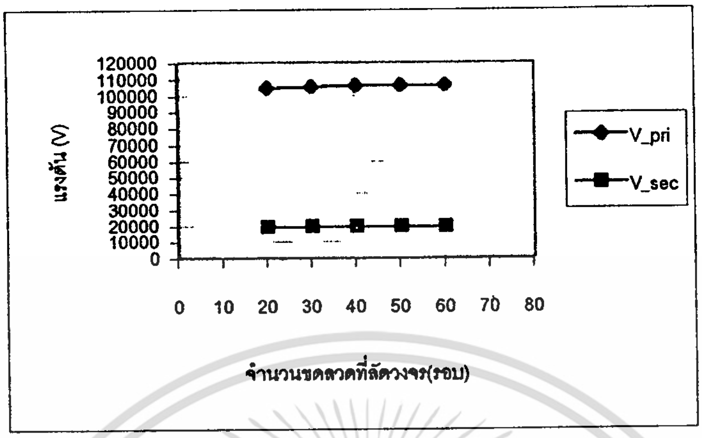
รูปที่ 5.51 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



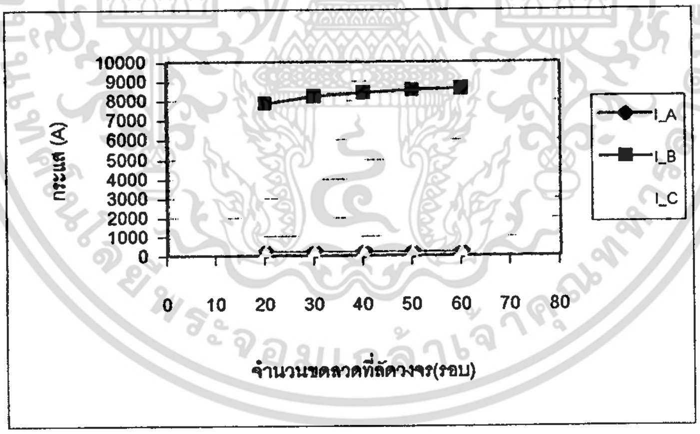
รูปที่ 5.52 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.5 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B



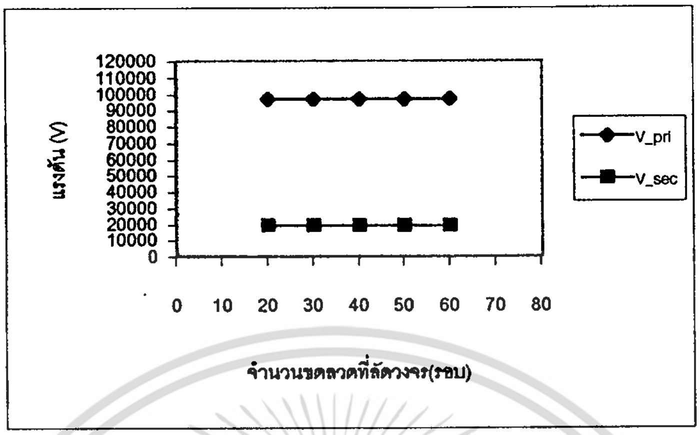
รูปที่ 5.53 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



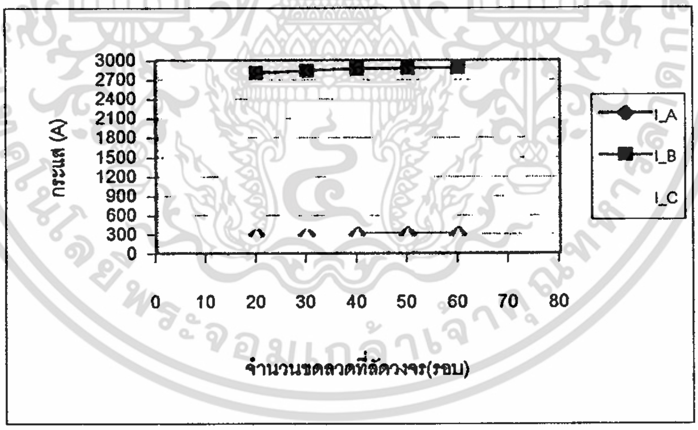
รูปที่ 5.54 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.6 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B



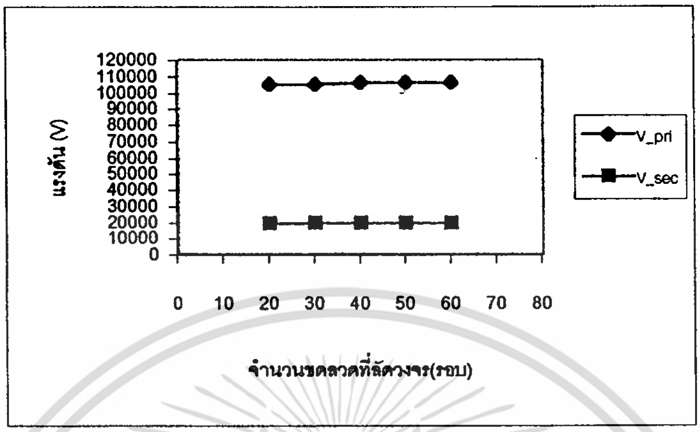
รูปที่ 5.55 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



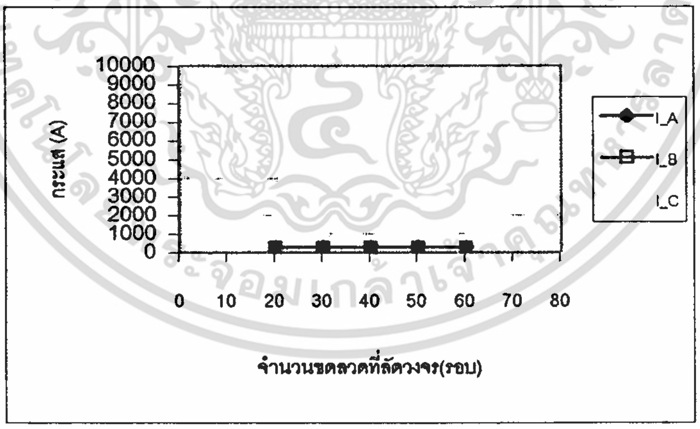
รูปที่ 5.56 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.7 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C



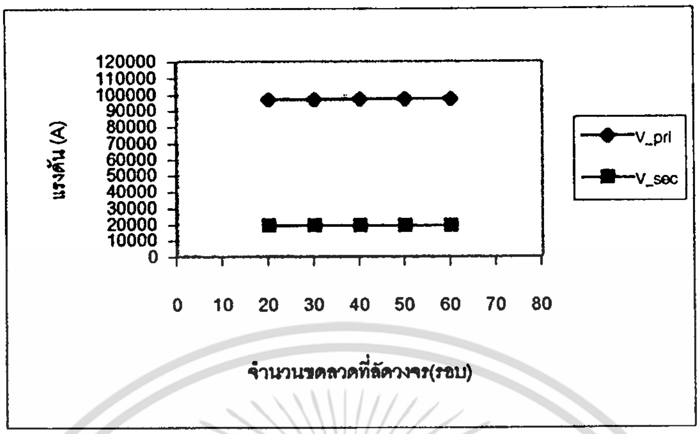
รูปที่ 5.57 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



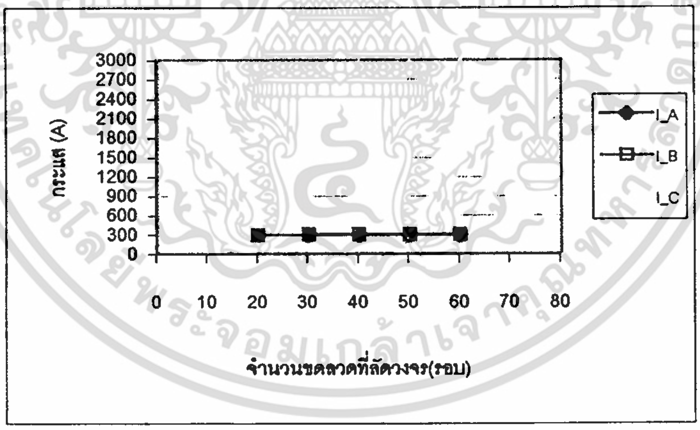
รูปที่ 5.58 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.8 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C



รูปที่ 5.59 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

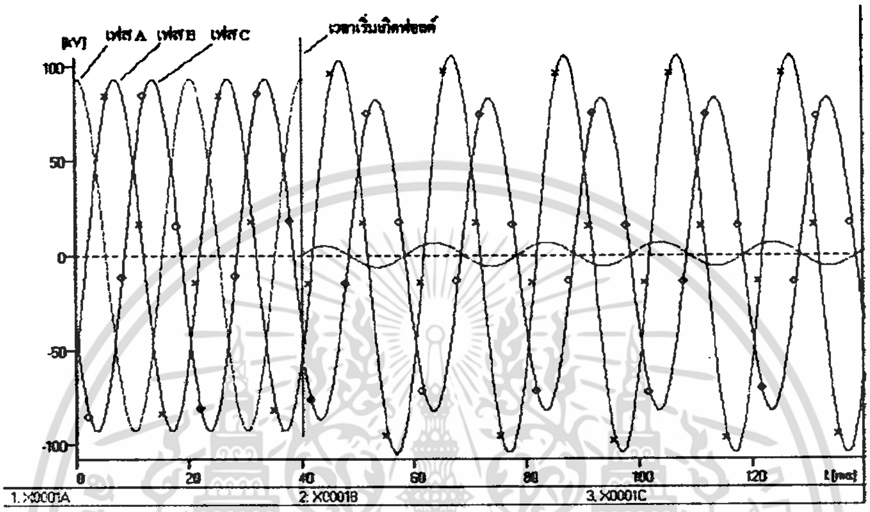


รูปที่ 5.60 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

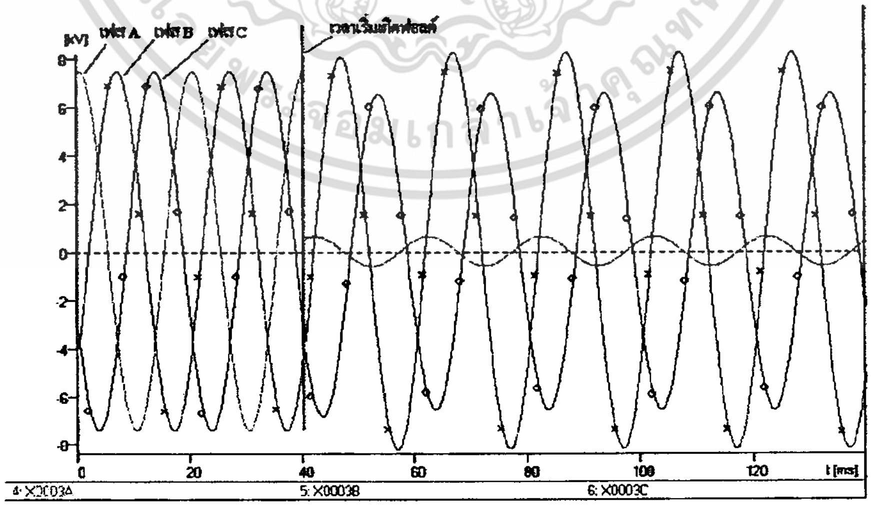
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

5.2.2.1 ผลการทดสอบขณะลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A

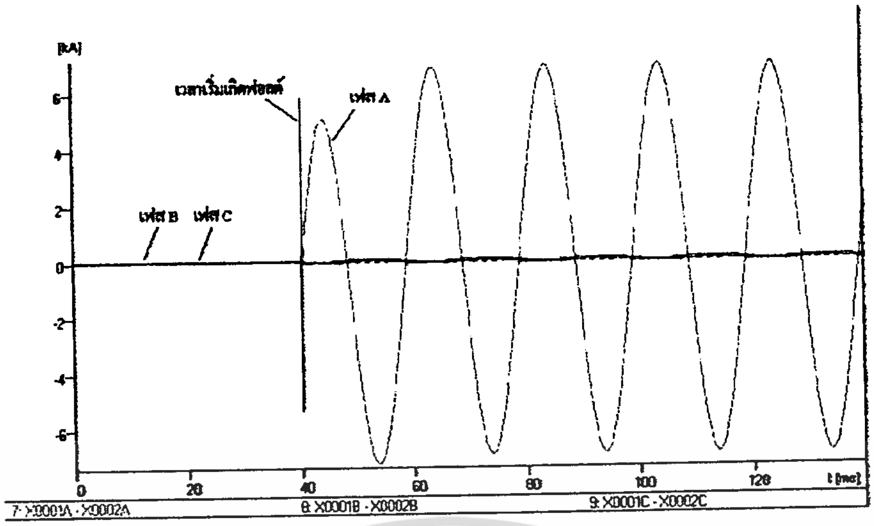


รูปที่ 5.61 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A



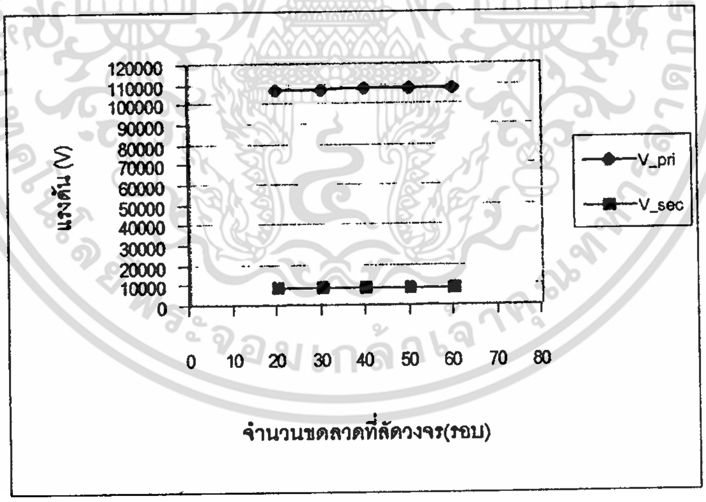
รูปที่ 5.62 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



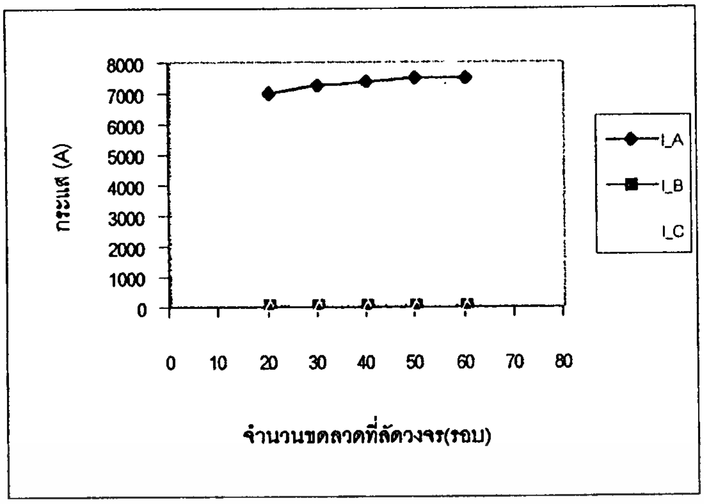
รูปที่ 5.63 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A

5.2.2.2 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A



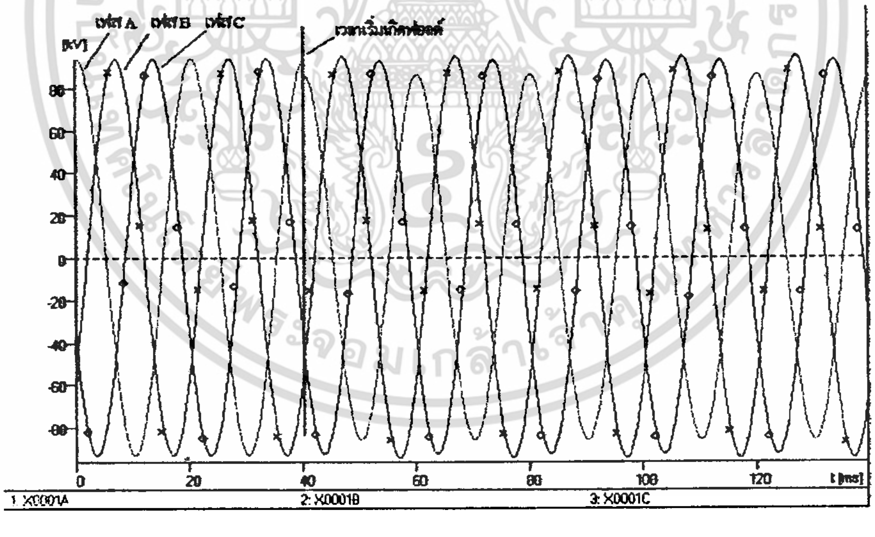
รูปที่ 5.64 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



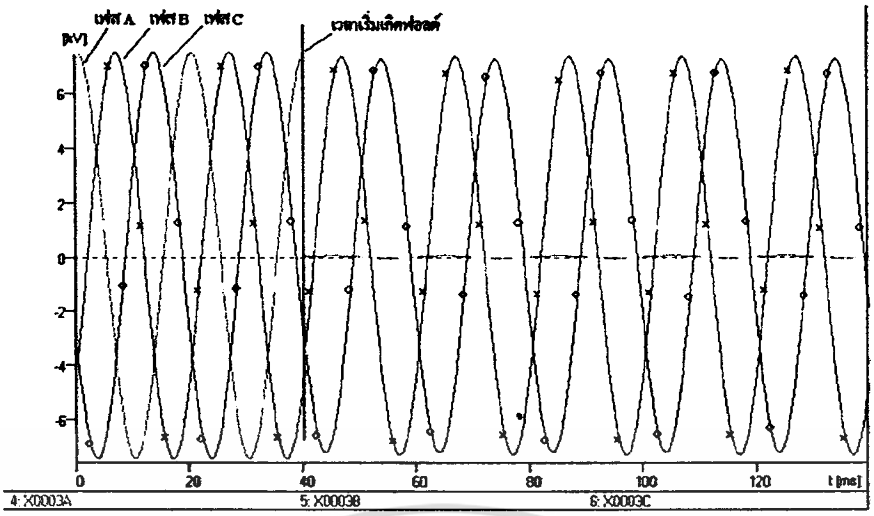
รูปที่ 5.65 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

5.2.2.3 ผลการทดสอบขณะลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A

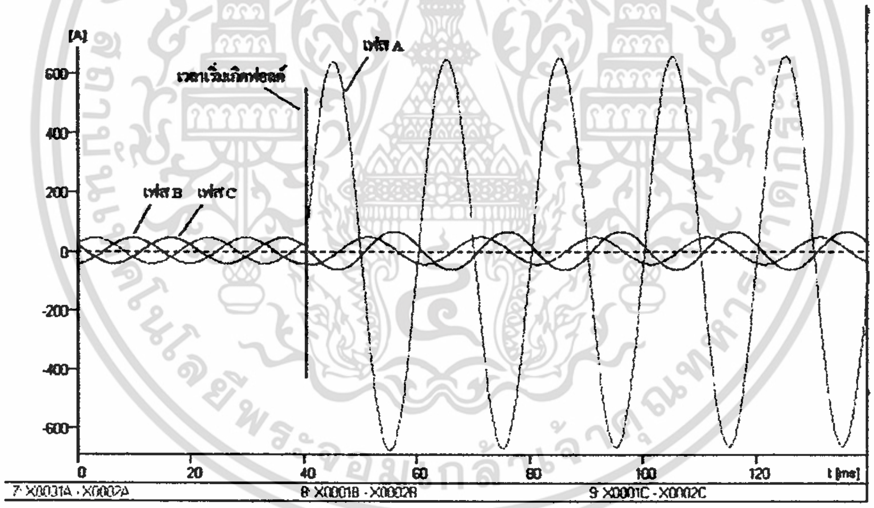


รูปที่ 5.66 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



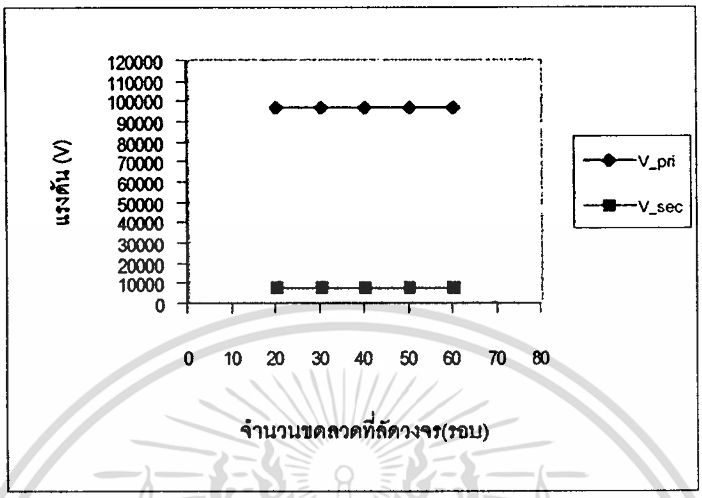
รูปที่ 5.67 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A



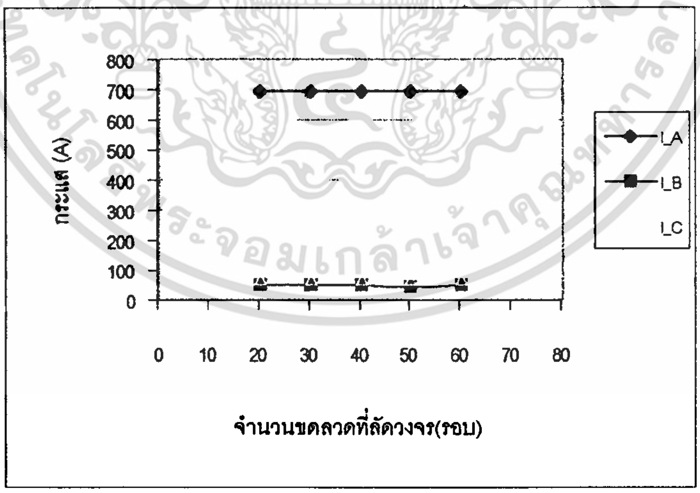
รูปที่ 5.68 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.4 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A



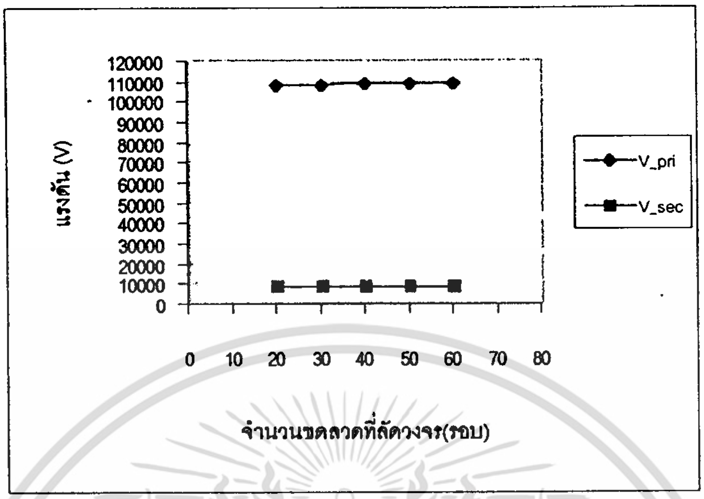
รูปที่ 5.69 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA



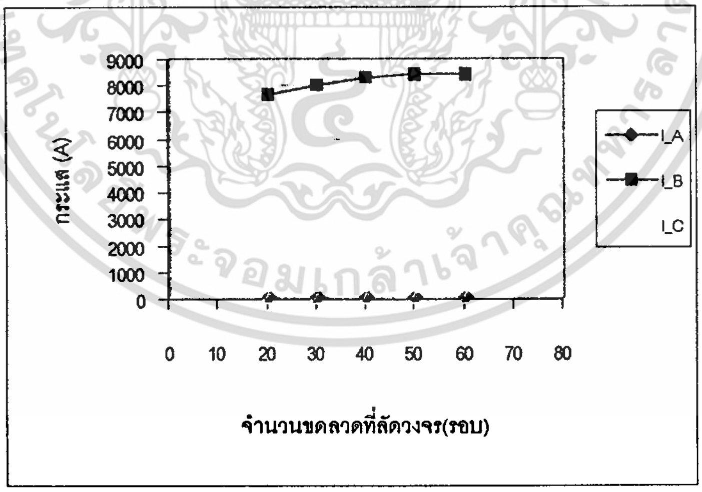
รูปที่ 5.70 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.5 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B



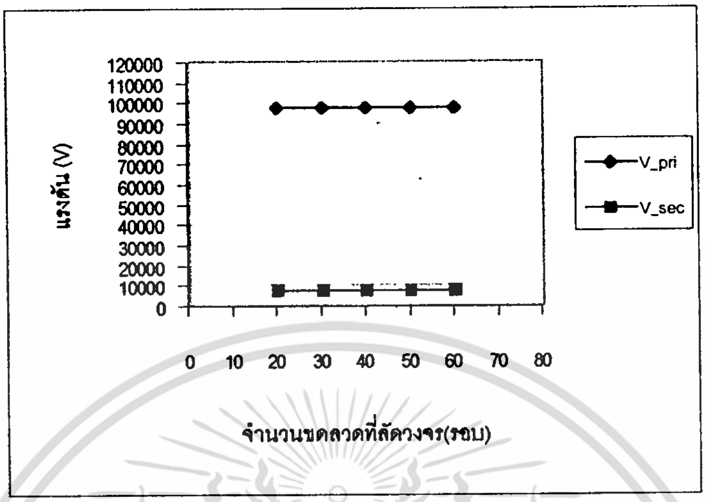
รูปที่ 5.71 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA



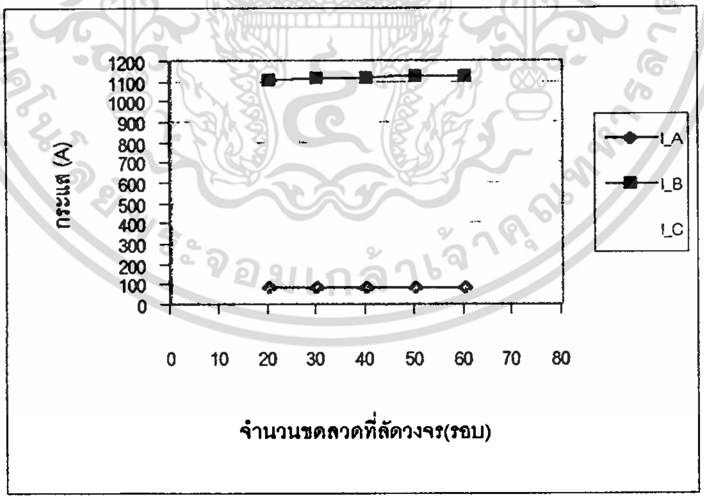
รูปที่ 5.72 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.6 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B



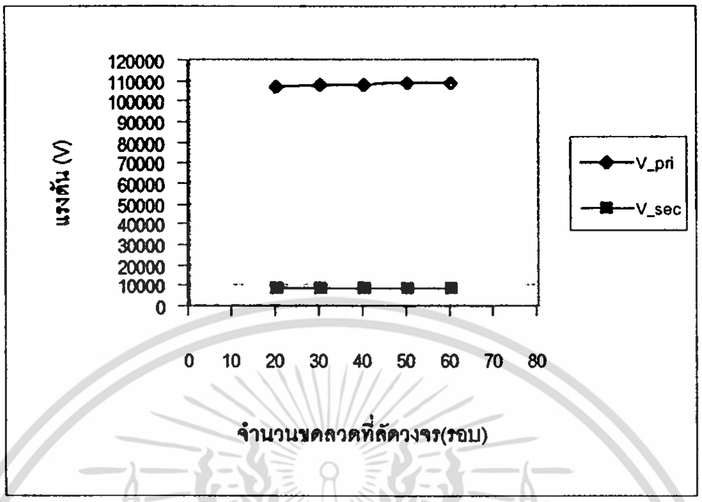
รูปที่ 5.73 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA



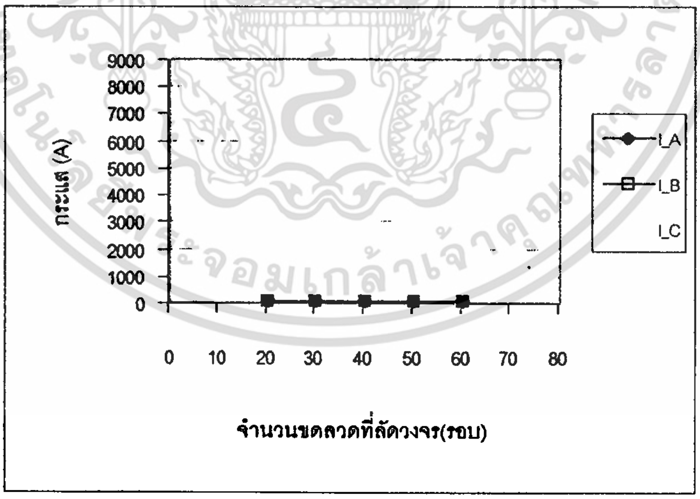
รูปที่ 5.74 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.7 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C



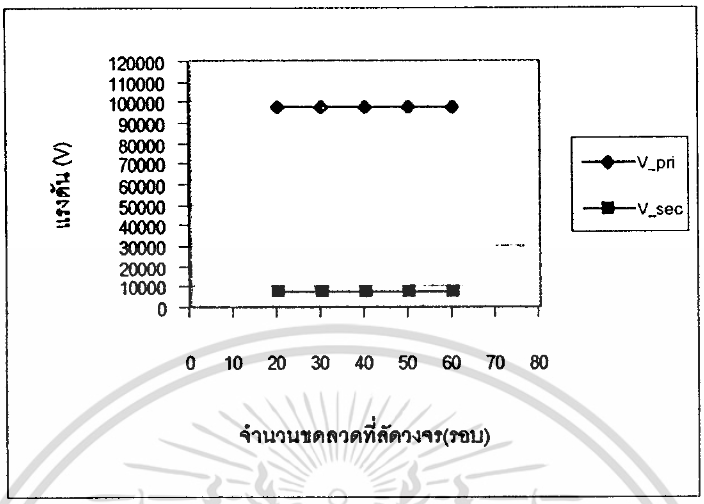
รูปที่ 5.75 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA



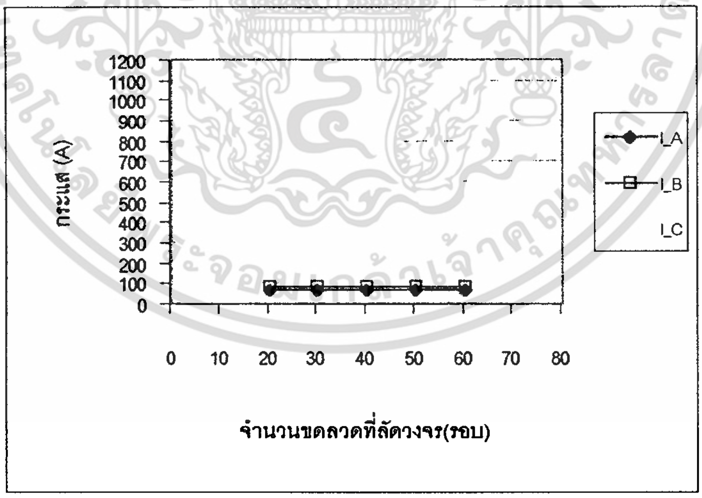
รูปที่ 5.76 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.8 กราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C



รูปที่ 5.77 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA



รูปที่ 5.78 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากวงจรทดสอบที่ได้แสดงการออกแบบไว้ในบทที่ 4 นั้น การทำงานจะเริ่มขึ้นเมื่อมีการจ่ายแรงดันเข้าไปที่หม้อแปลงทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองเหตุการณ์ฟอลต์กรณีลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด จากนั้นทำการจำลองฟอลต์โดยกำหนดเวลาในการเริ่มจำลองที่เวลา 0.04 S

จากผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดพบว่า

1. ขณะเกิดฟอลต์ทางด้าน primary จะส่งผลให้แรงดันทั้งทางด้าน primary และทางด้าน secondary มีขนาดต่ำกว่าแรงดันที่พิกัดและแรงดันในเฟสอื่นๆ มาก และแรงดันนี้จะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของขดลวดที่ลัดวงจร [11] ทั้งนี้เมื่อเกิดการลัดวงจรทางด้าน secondary จะไม่ส่งผลให้แรงดันทางด้าน primary ของเฟสเดียวกันลดลงมากนักแต่แรงดันทางด้าน secondary จะลดลงมากกว่าแรงดันในเฟสอื่นๆ มาก

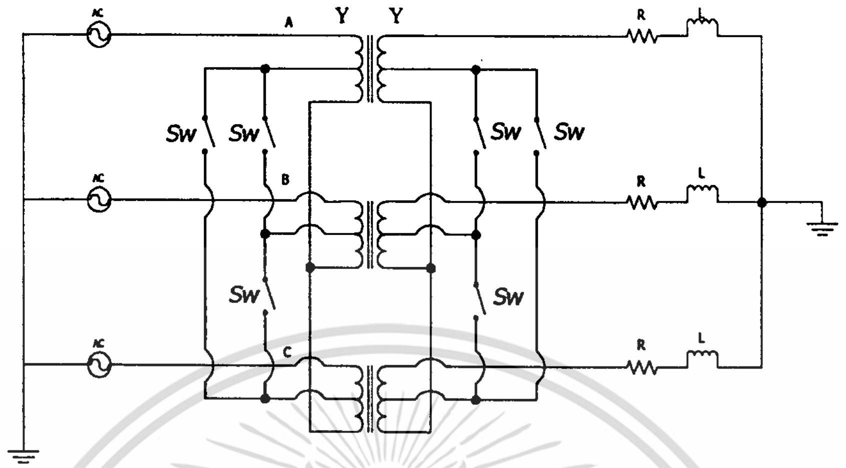
2. ขณะเกิดฟอลต์ กระแสของเฟสที่เกิดการลัดวงจรจะมีขนาดสูงกว่ากระแสของเฟสอื่นๆ และกระแสของเฟสอื่นๆ ที่ไม่ได้ลัดวงจรจะมีขนาดใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับกระแสที่พิกัด ทั้งนี้กระแสของเฟสที่เกิดการลัดวงจรจะมีขนาดสูงกว่ากระแสที่พิกัดประมาณ 30 เท่า สำหรับกระแสที่ลัดวงจรจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของขดลวดที่ลัดวงจร [11]

3. เมื่อพิจารณากราฟของกระแสและแรงดัน เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดของหม้อแปลง ขนาด 50 MVA และขนาด 35 MVA พบว่ามีลักษณะเป็นไปในแนวทางเดียวกัน ดังนั้น แบบจำลองของฟอลต์กรณีลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสามารถนำผลการทดสอบที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์เพื่อป้องกันหม้อแปลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส

จากวงจรทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส ดังรูปที่ 4.12 สามารถแสดงเป็นวงจรทางไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 5.79



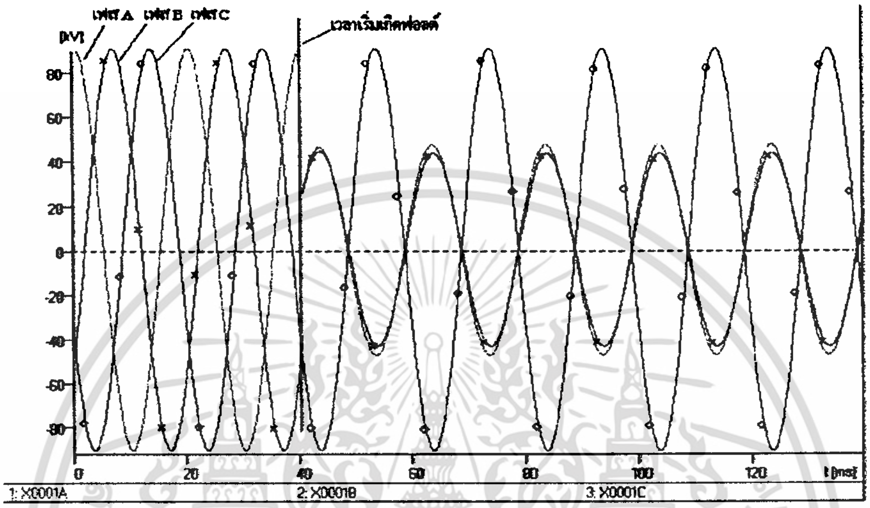
รูปที่ 5.79 วงจรทางไฟฟ้ากรณีเกิดฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่งเฟส

ในหัวข้อ 5.3 จะเป็นการแสดงผลการทดสอบหม้อแปลงขนาด 50 MVA และขนาด 35 MVA กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส ซึ่งทำการทดสอบขณะเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟสทางด้าน primary และทางด้าน secondary ของเฟส A กับ B , เฟส A กับ C และเฟส B กับ Cโดยแสดงผลการทดสอบได้ดังนี้

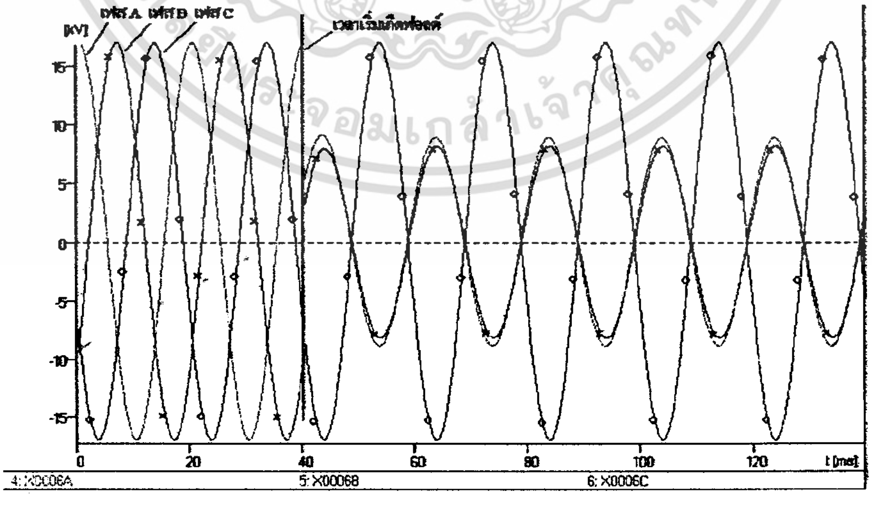
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 ผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

5.3.1.1 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary

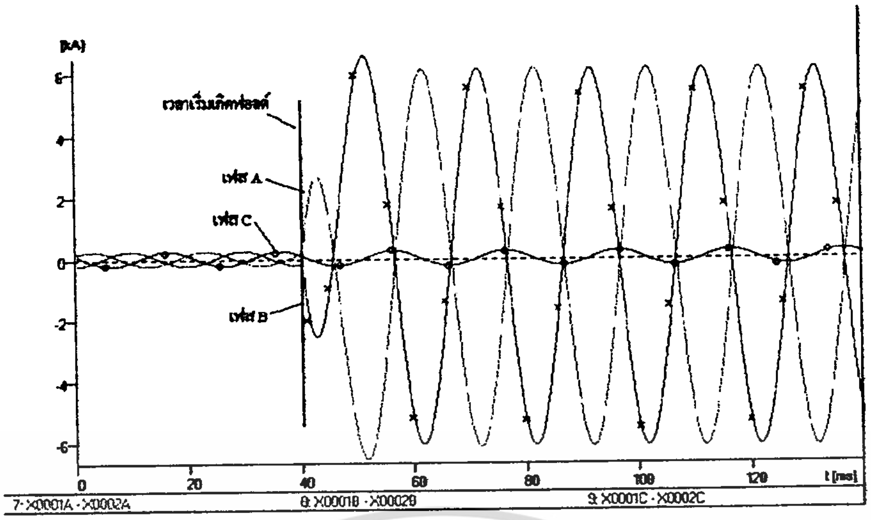


รูปที่ 5.80 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary

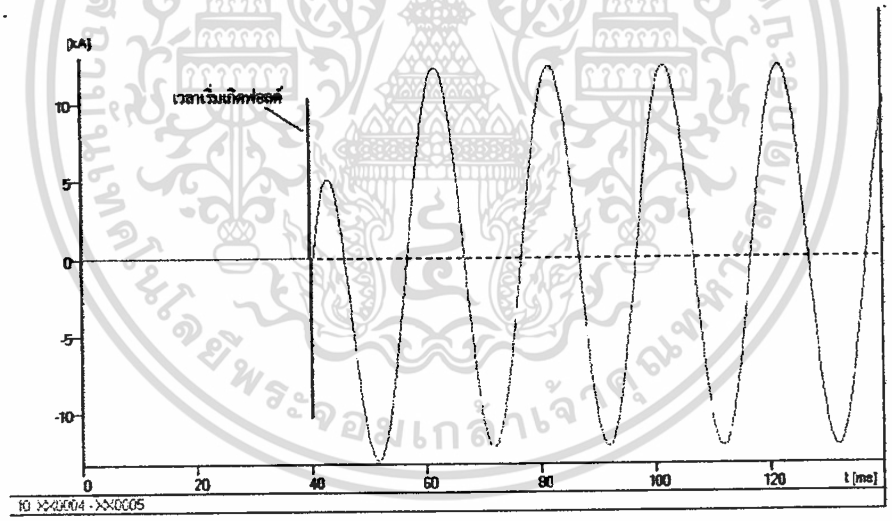


รูปที่ 5.81 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



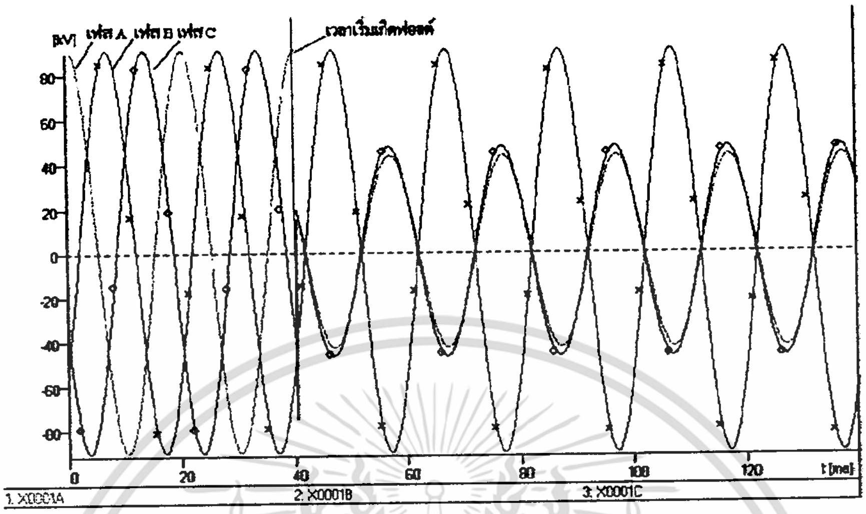
รูปที่ 5.82 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary



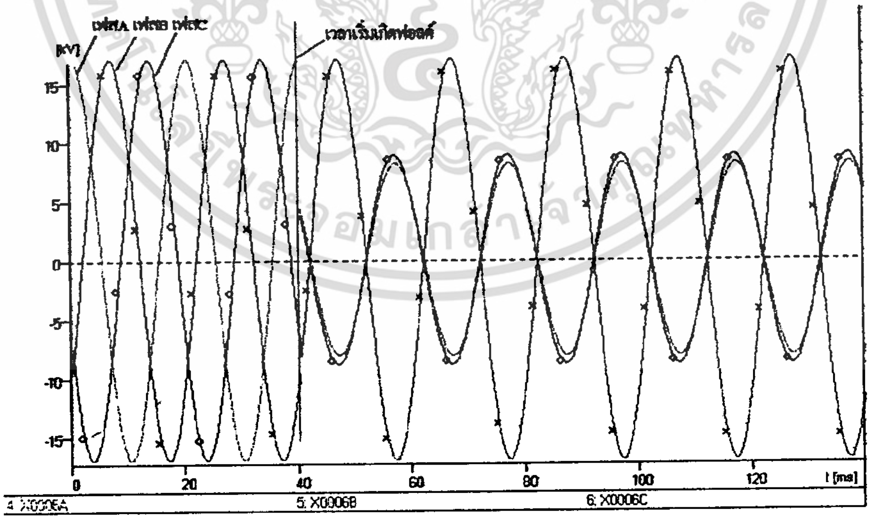
รูปที่ 5.83 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.2 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

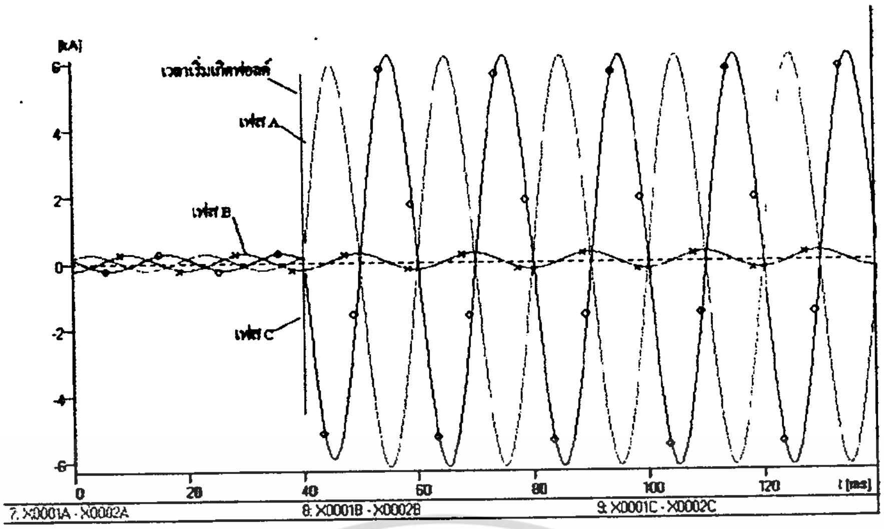


รูปที่ 5.84 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

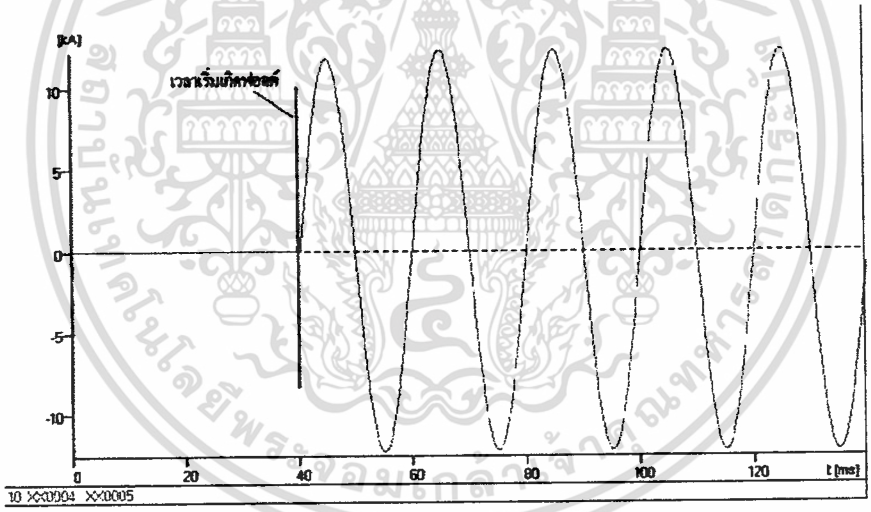


รูปที่ 5.85 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



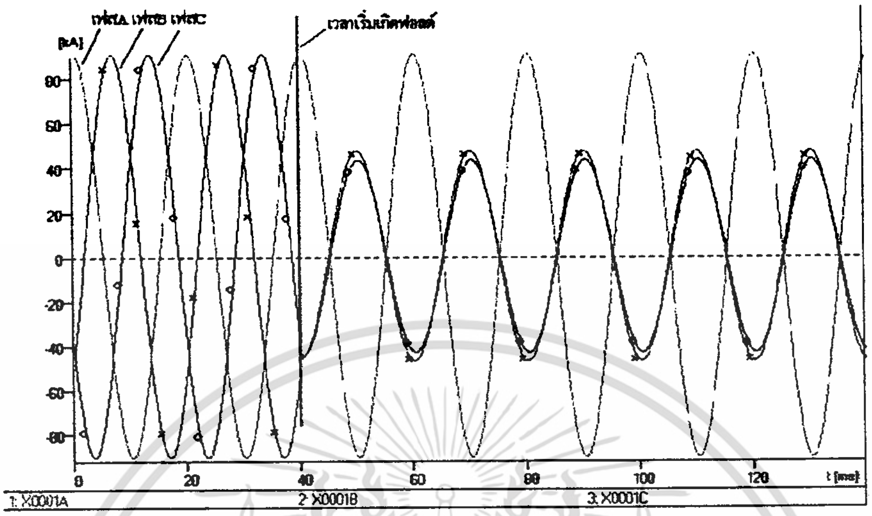
รูปที่ 5.86 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary



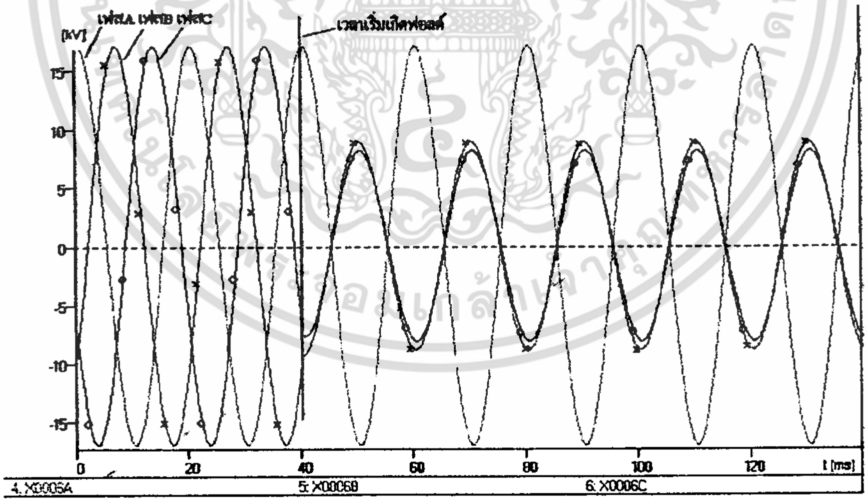
รูปที่ 5.87 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.3 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

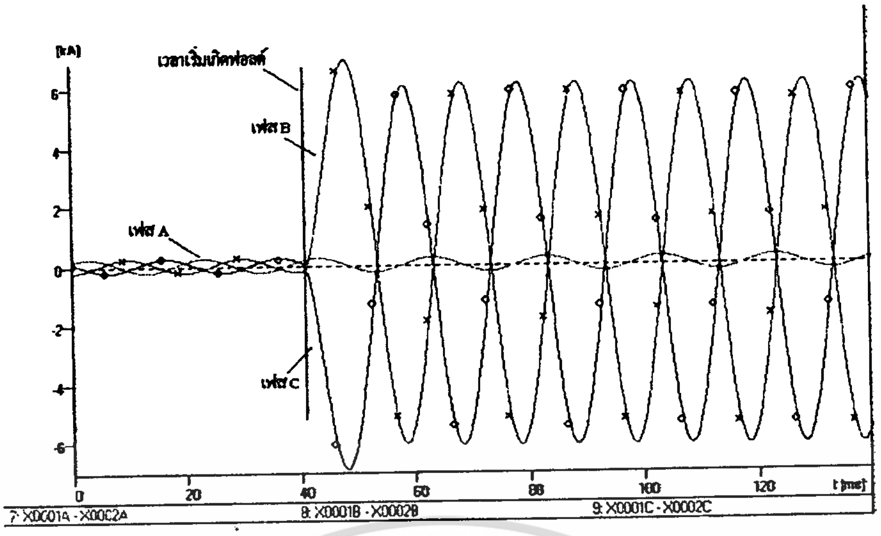


รูปที่ 5.88 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

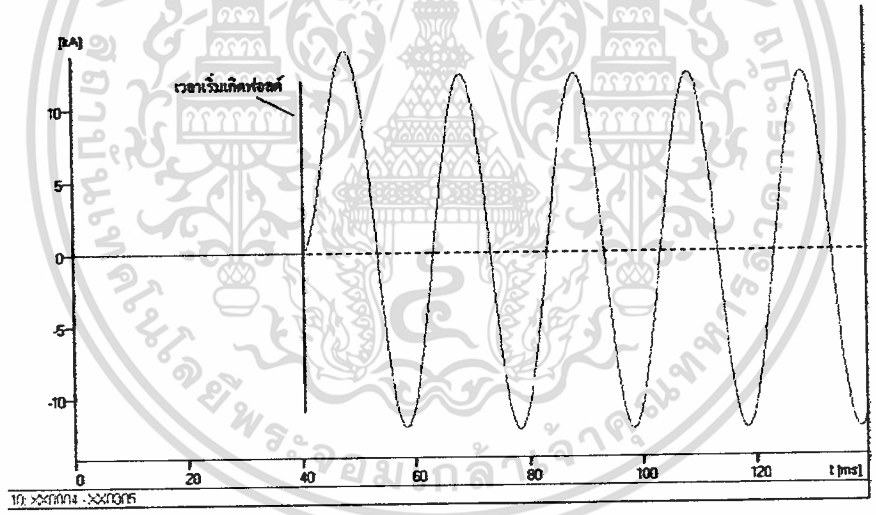


รูปที่ 5.89 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



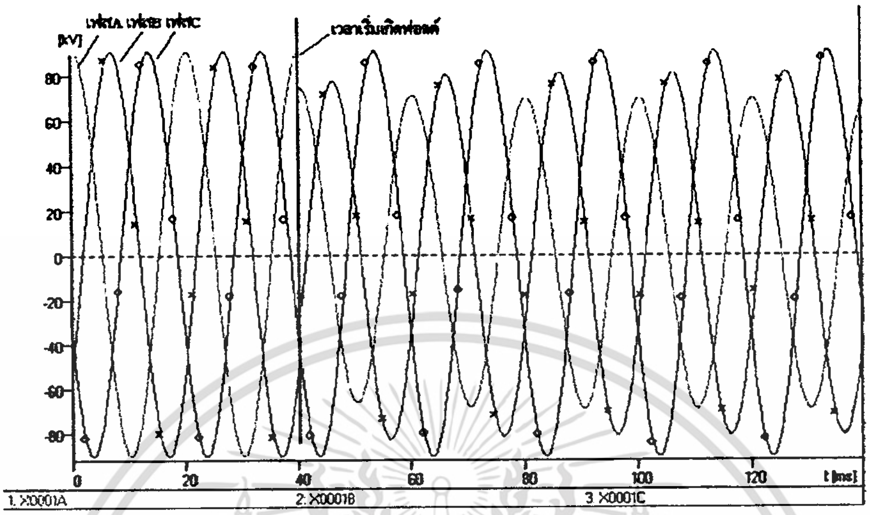
รูปที่ 5.90 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary



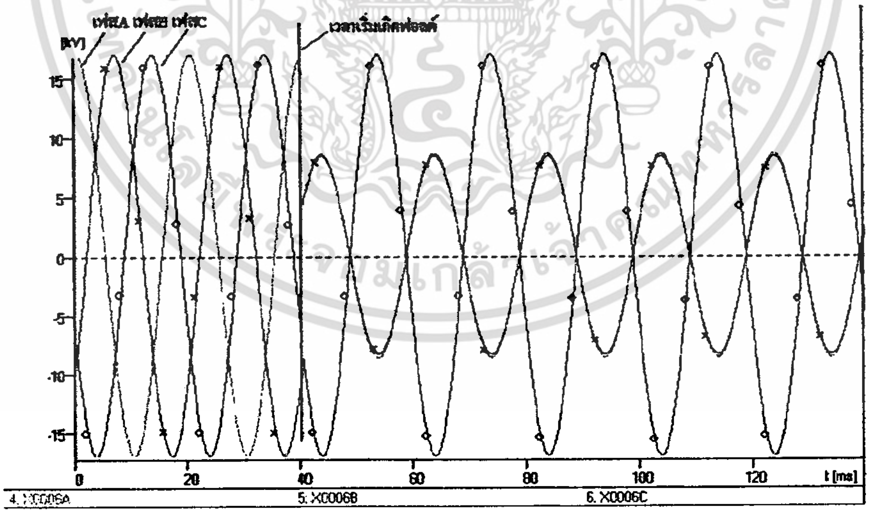
รูปที่ 5.91 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.4 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

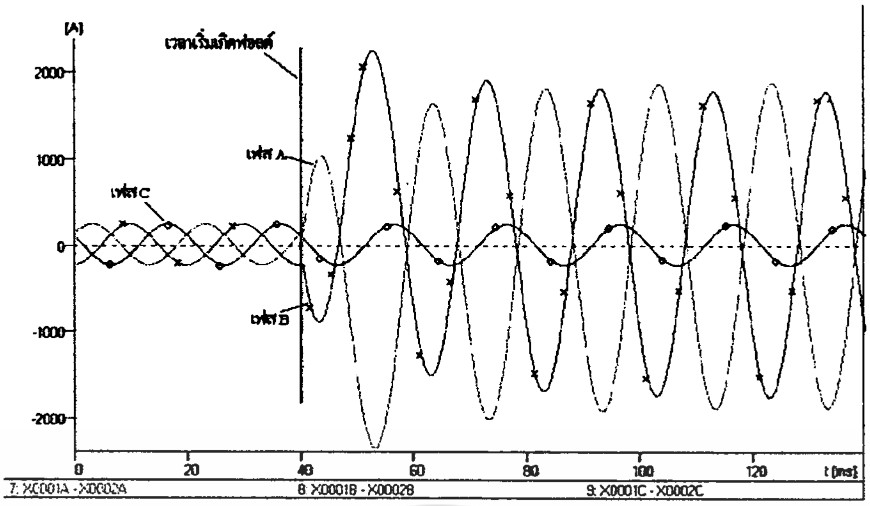


รูปที่ 5.92 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

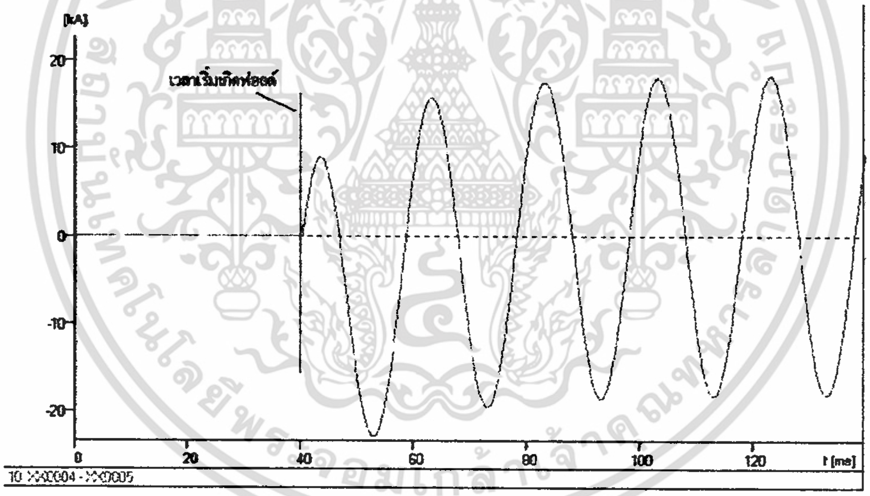


รูปที่ 5.93 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



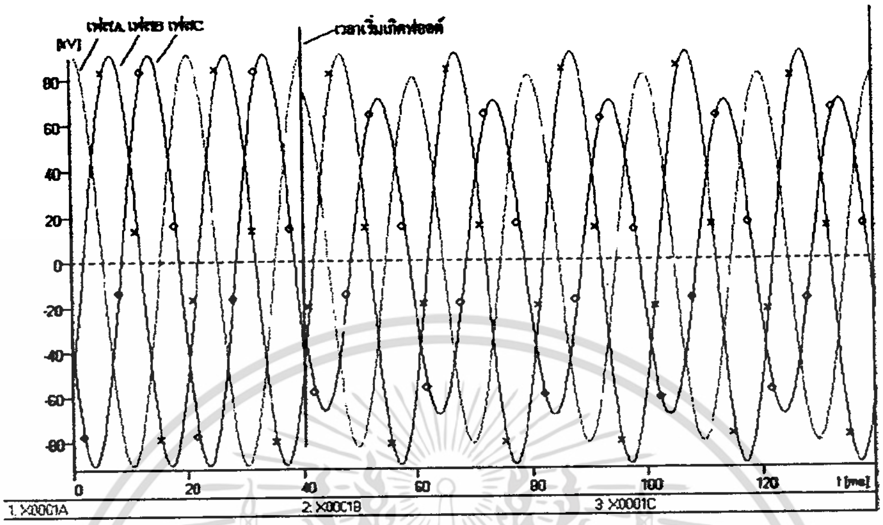
รูปที่ 5.94 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary



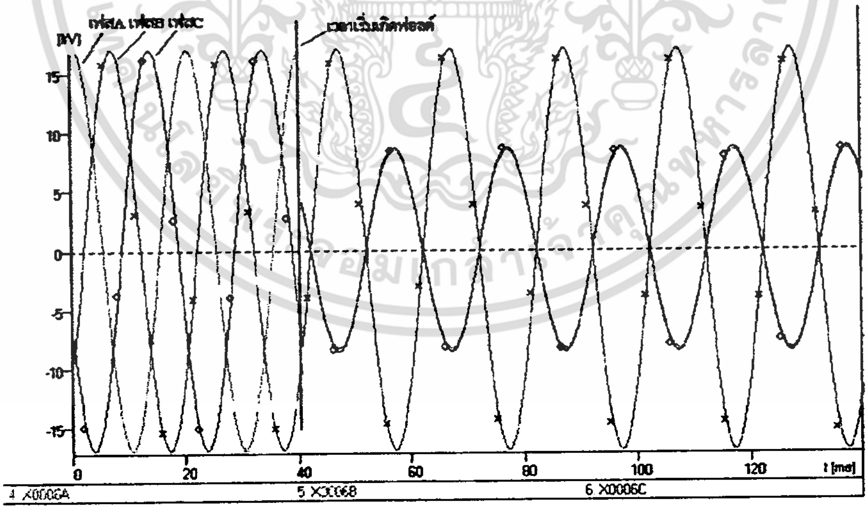
รูปที่ 5.95 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.5 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

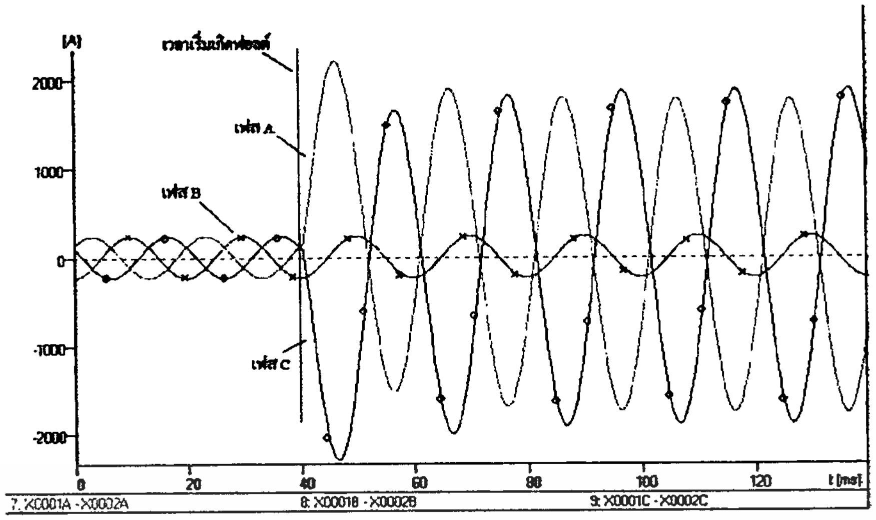


รูปที่ 5.96 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

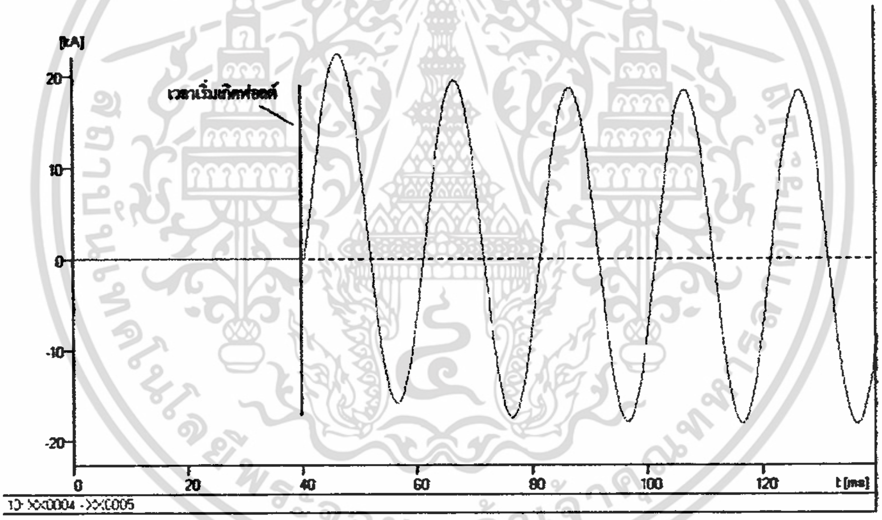


รูปที่ 5.97 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



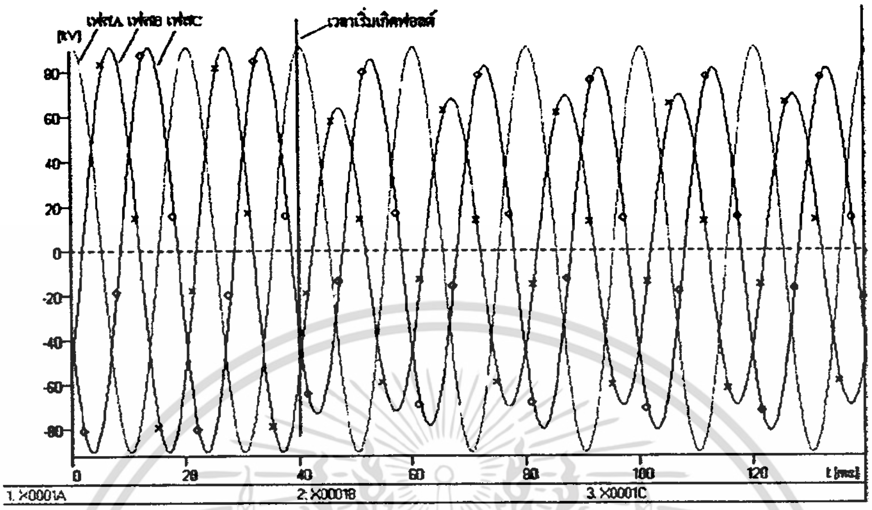
รูปที่ 5.98 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary



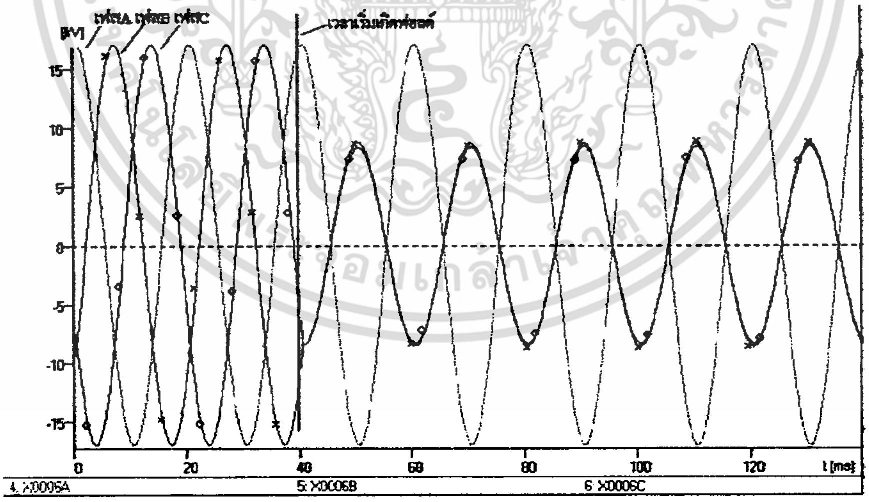
รูปที่ 5.99 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.6 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

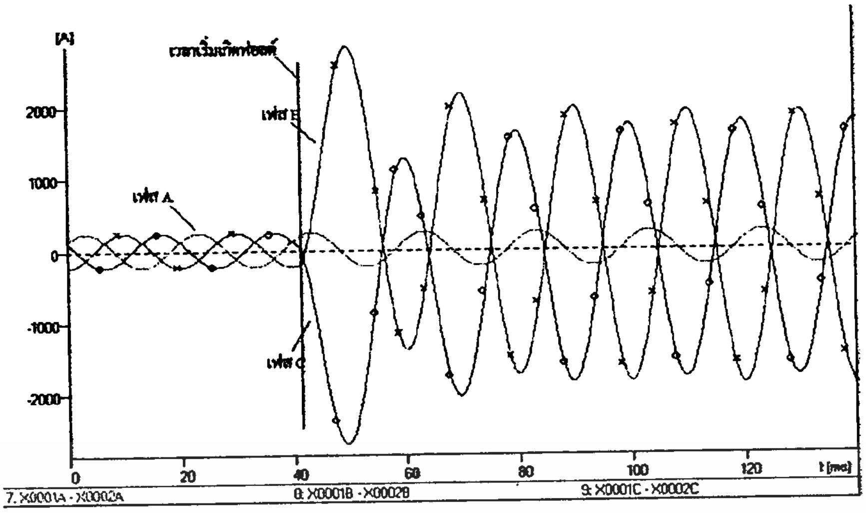


รูปที่ 5.100 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

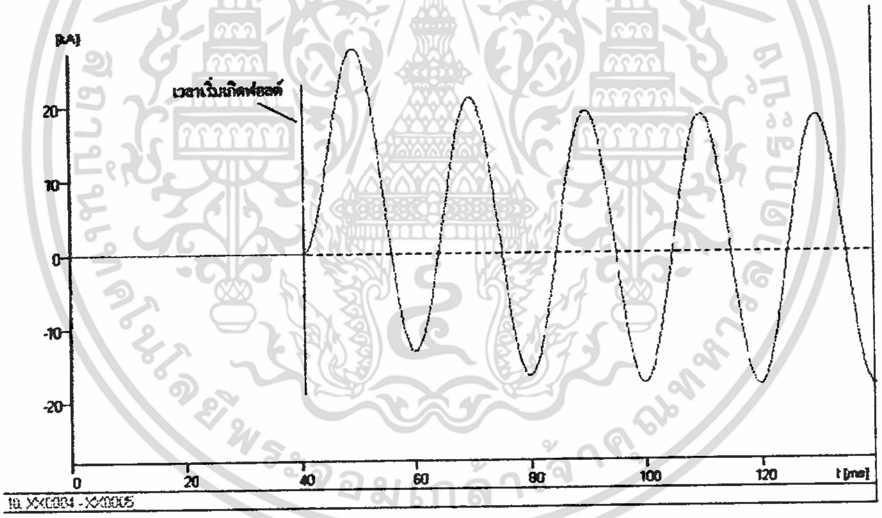


รูปที่ 5.101 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.102 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

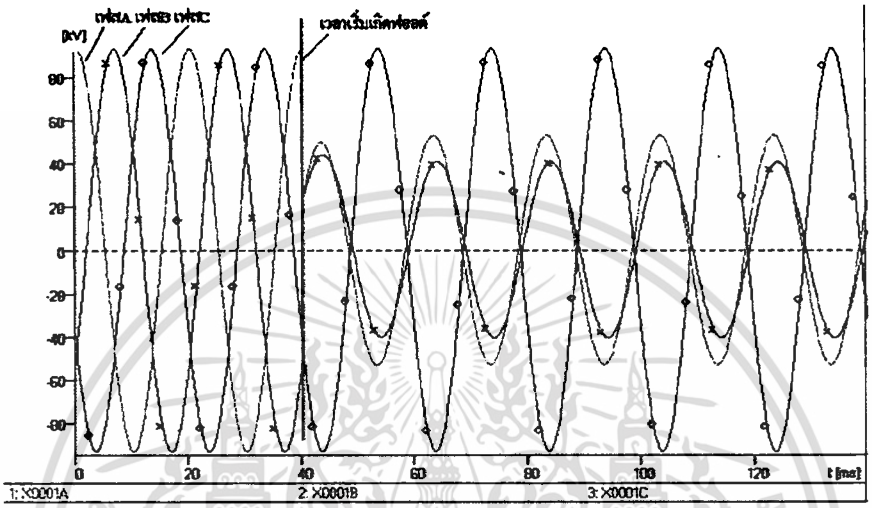


รูปที่ 5.103 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

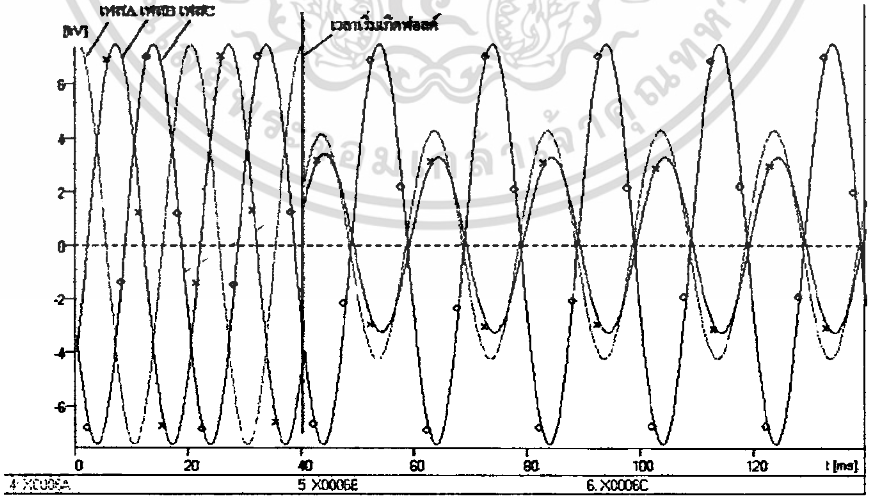
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 ผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

5.3.2.1 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary

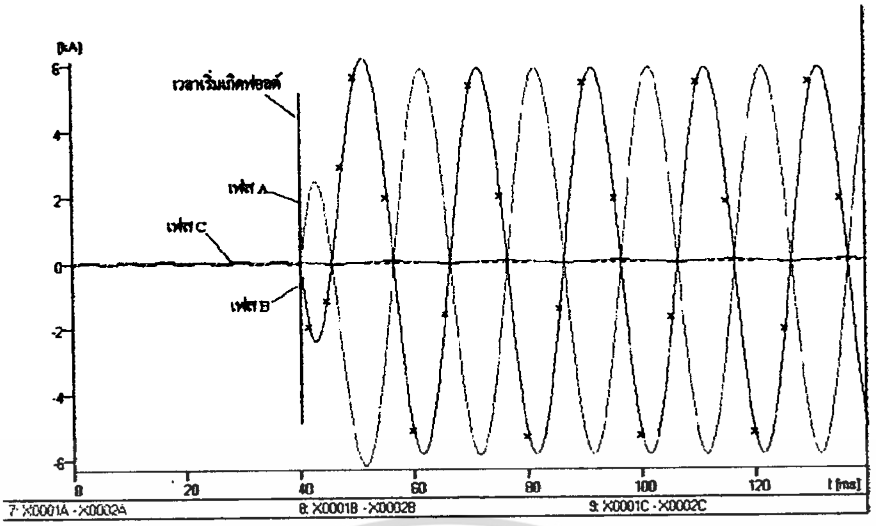


รูปที่ 5.104 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary

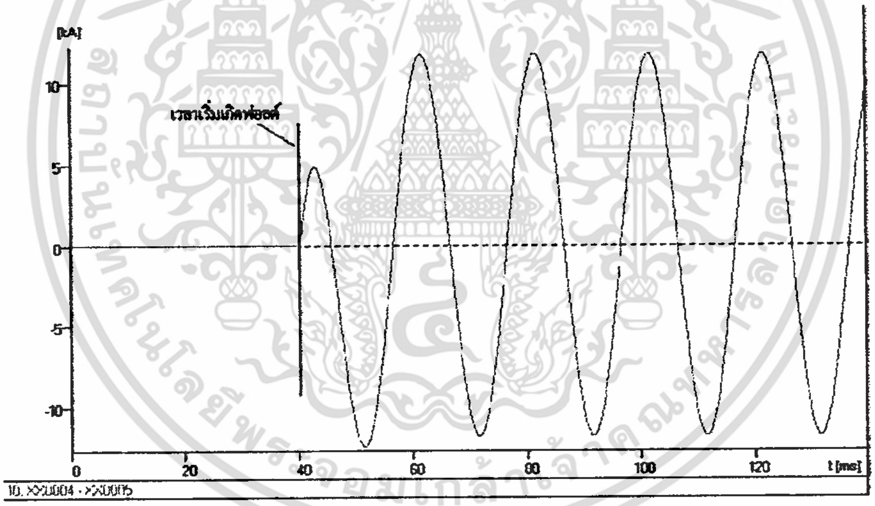


รูปที่ 5.105 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



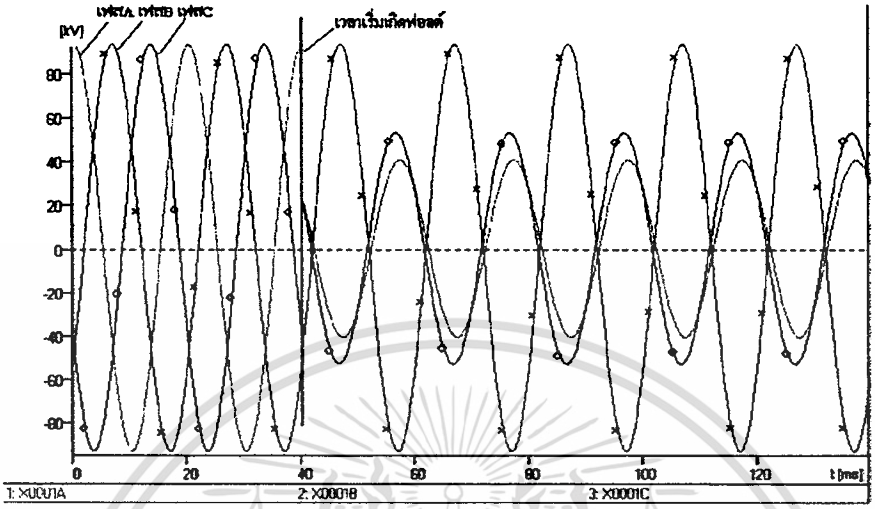
รูปที่ 5.106 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary



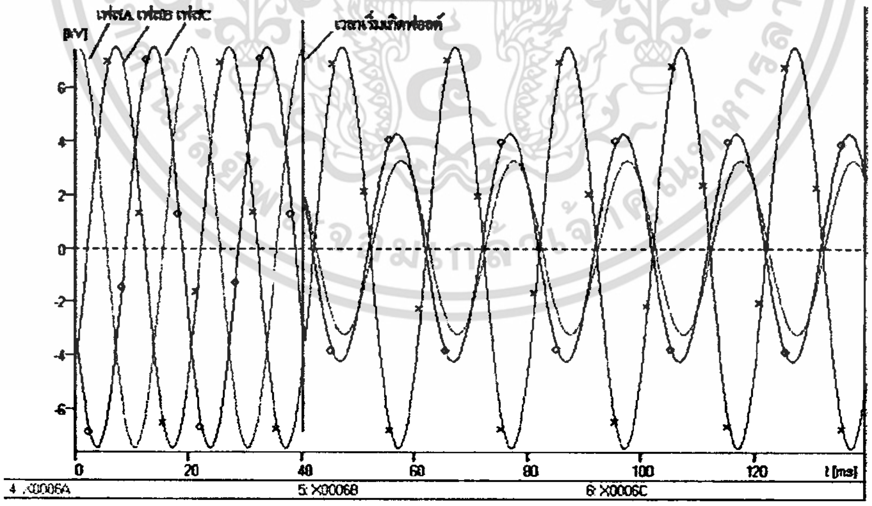
รูปที่ 5.107 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.2 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

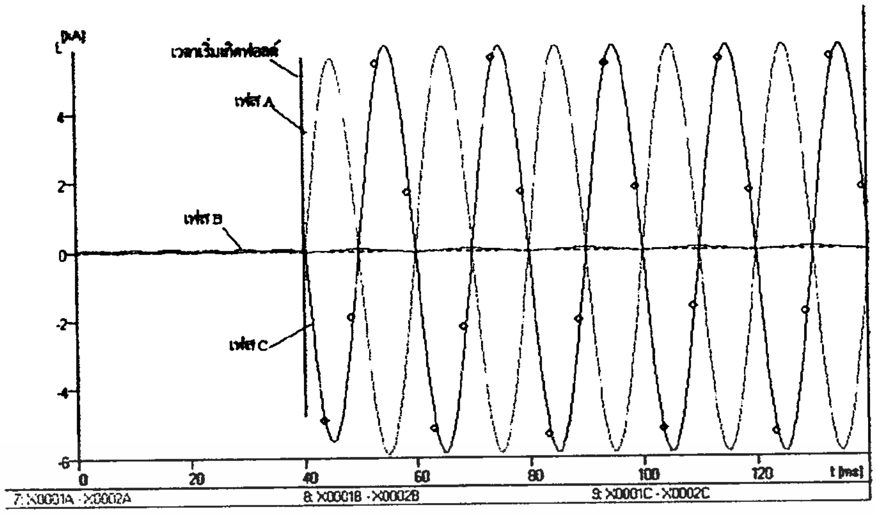


รูปที่ 5.108 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

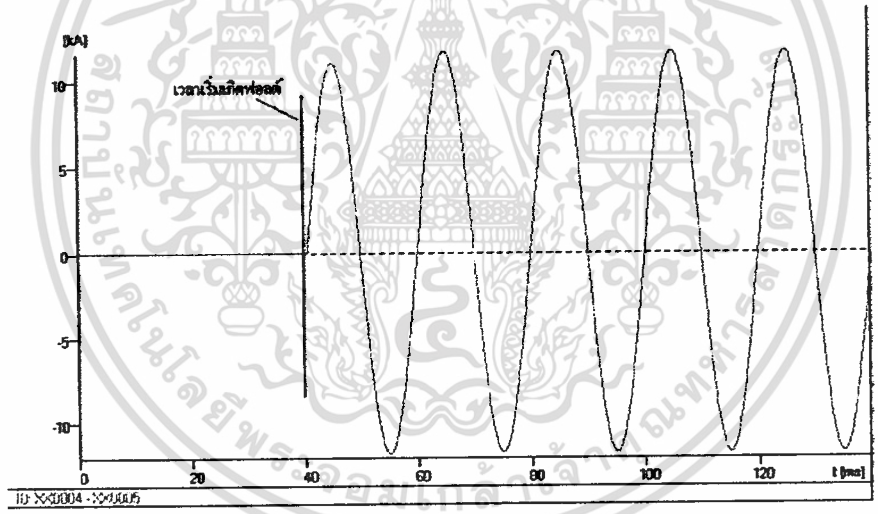


รูปที่ 5.109 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



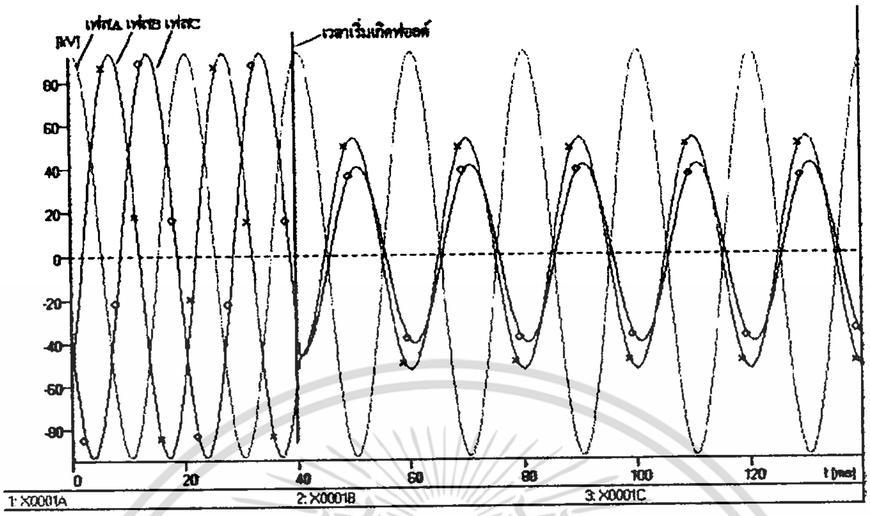
รูปที่ 5.110 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary



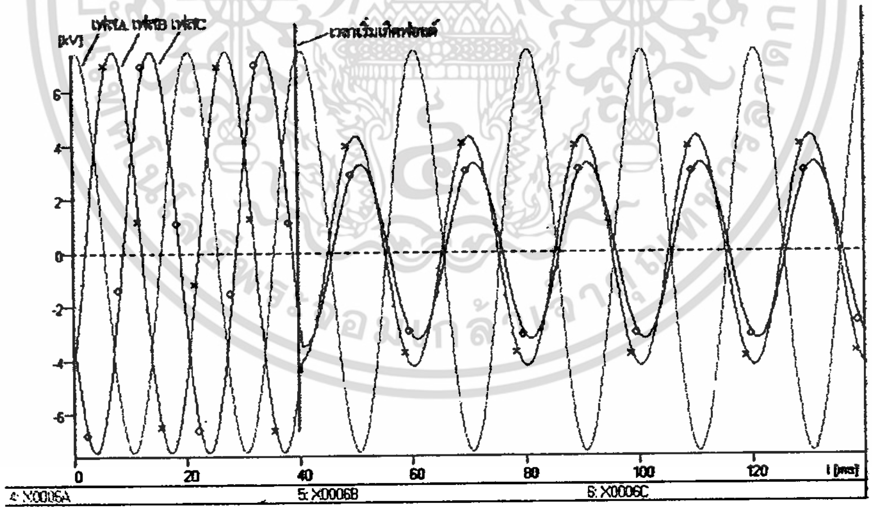
รูปที่ 5.111 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.3 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

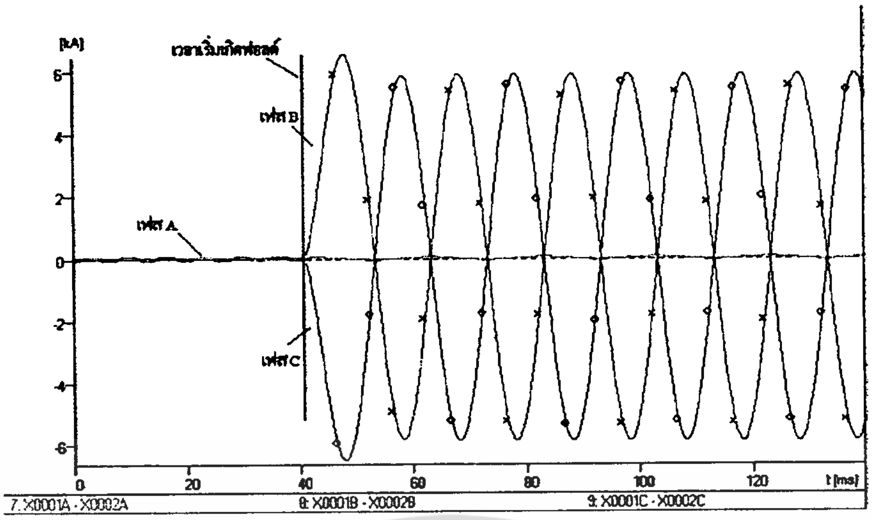


รูปที่ 5.112 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

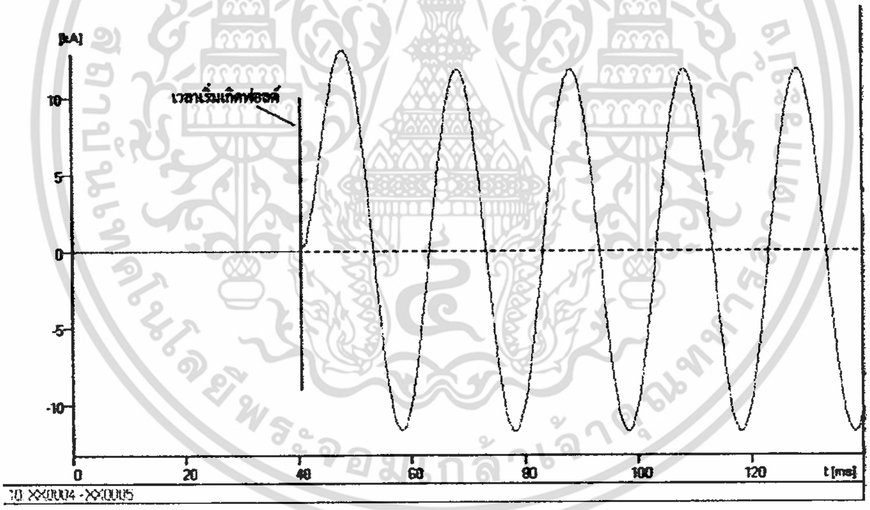


รูปที่ 5.113 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



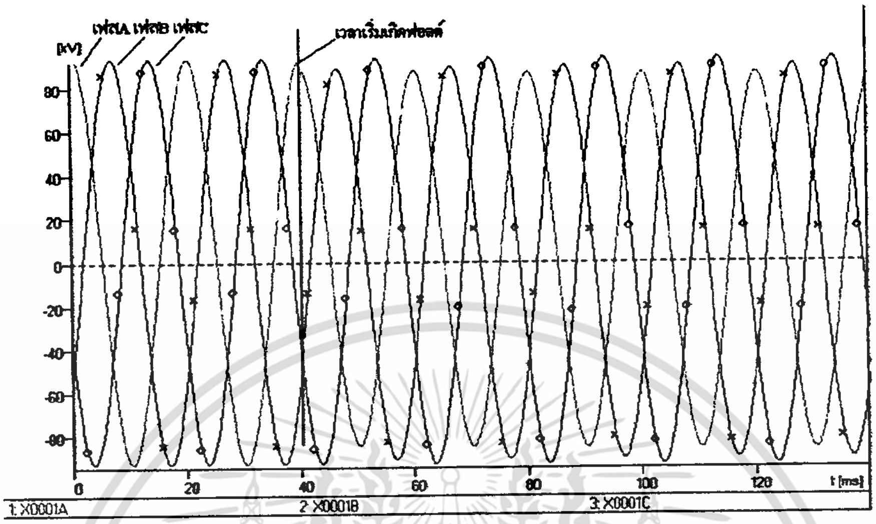
รูปที่ 5.114 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary



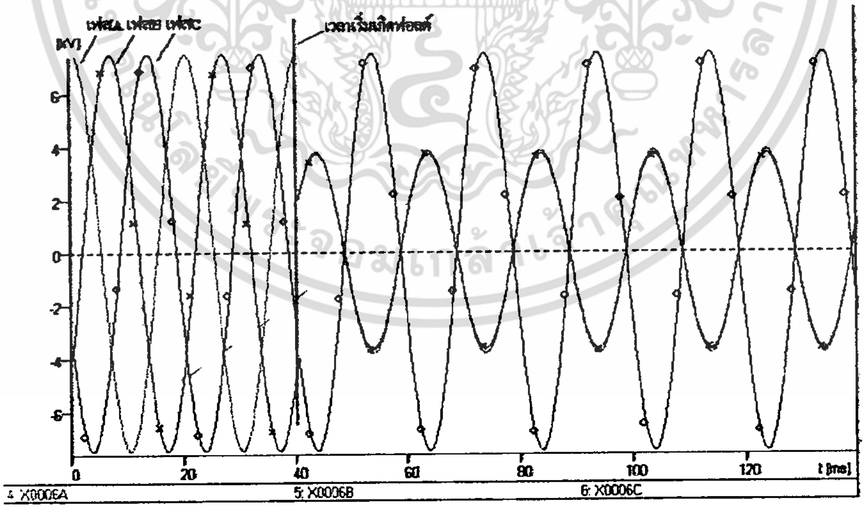
รูปที่ 5.115 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.4 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

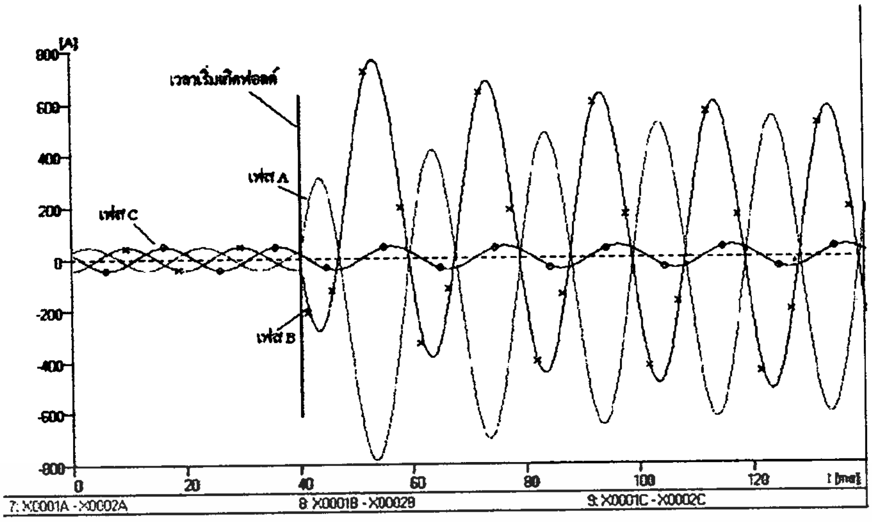


รูปที่ 5.116 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

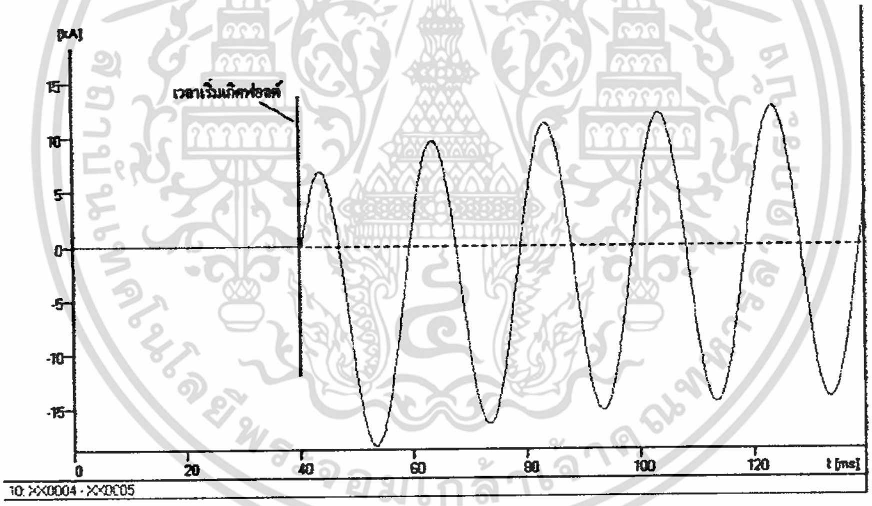


รูปที่ 5.117 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



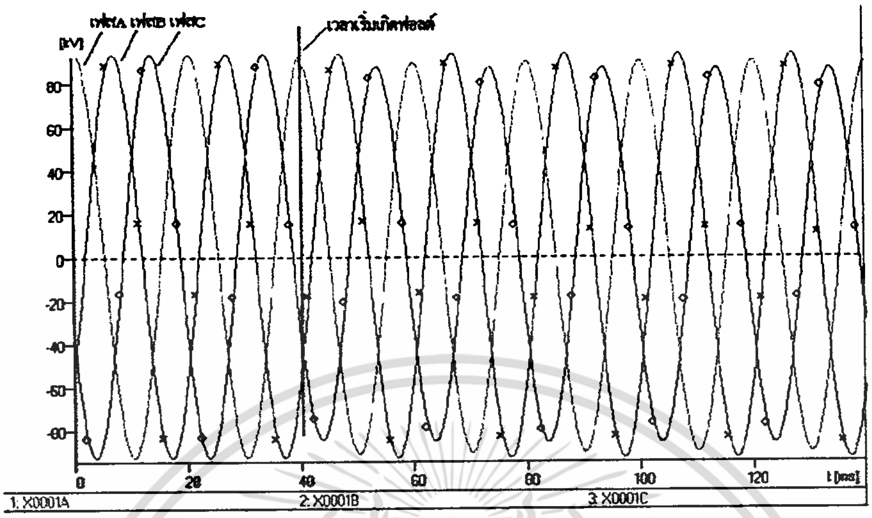
รูปที่ 5.118 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary



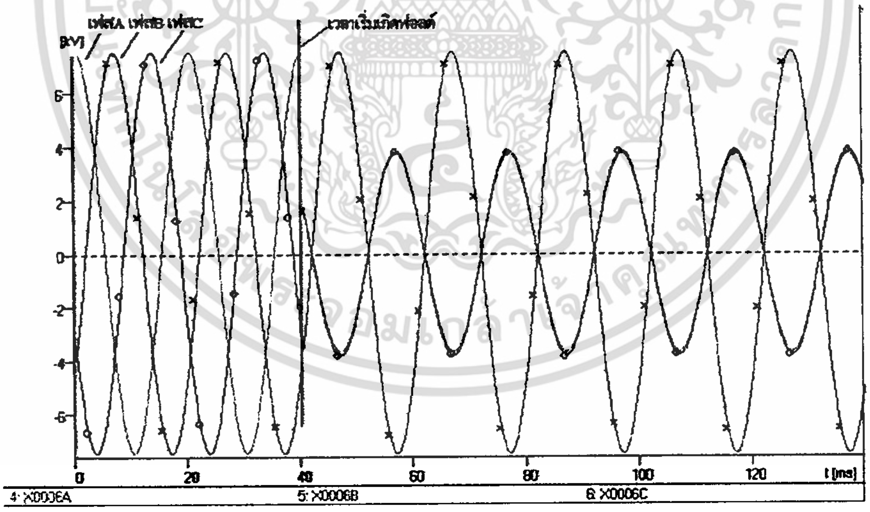
รูปที่ 5.119 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.5 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

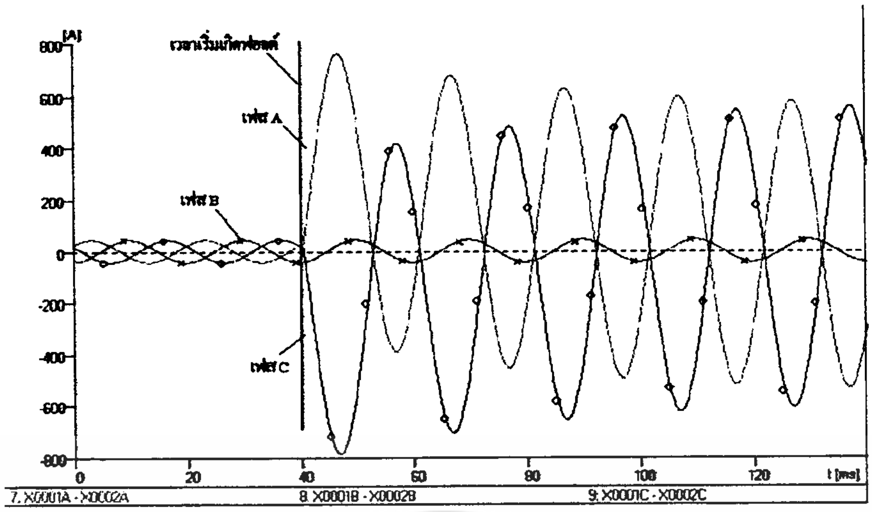


รูปที่ 5.120 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

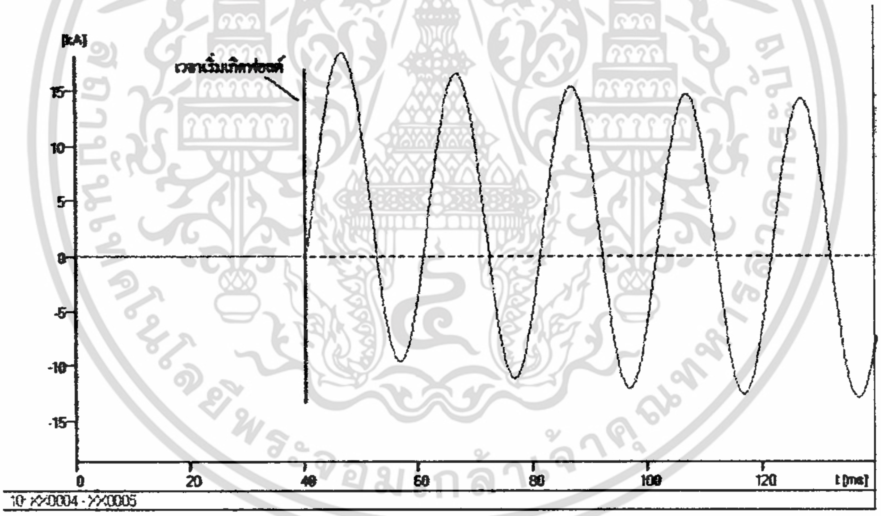


รูปที่ 5.121 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



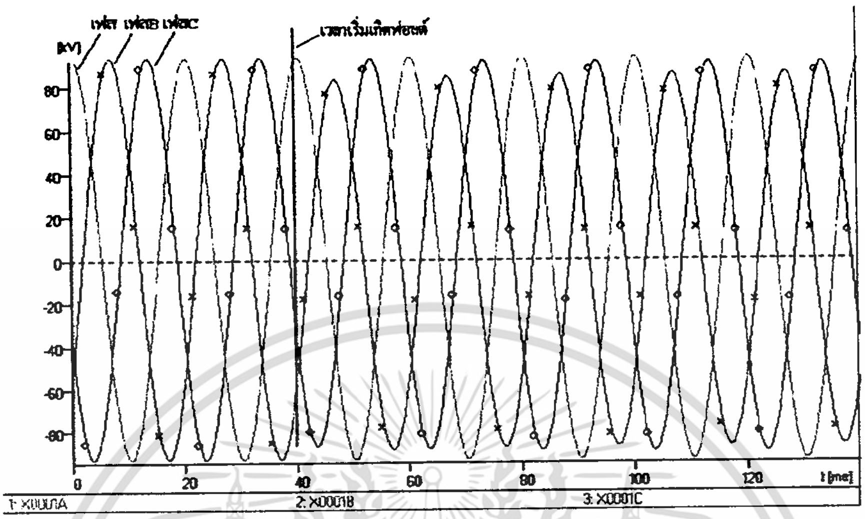
รูปที่ 5.122 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary



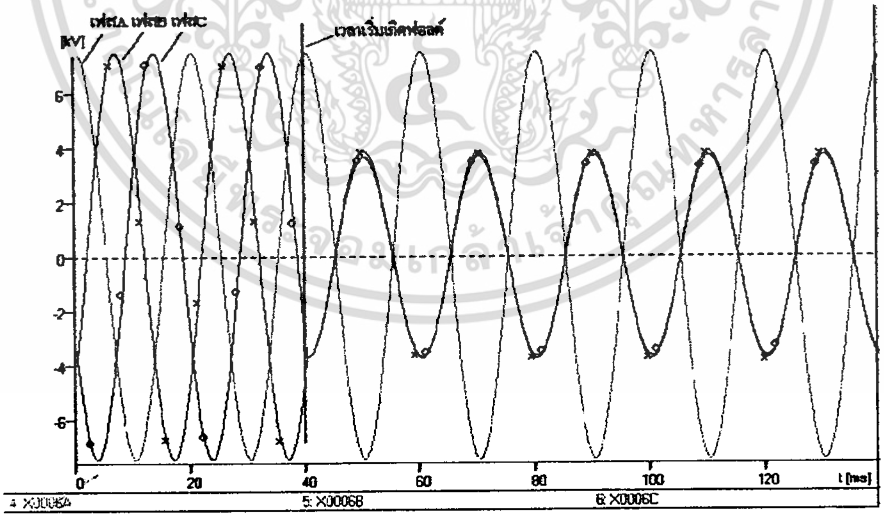
รูปที่ 5.123 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.6 ผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

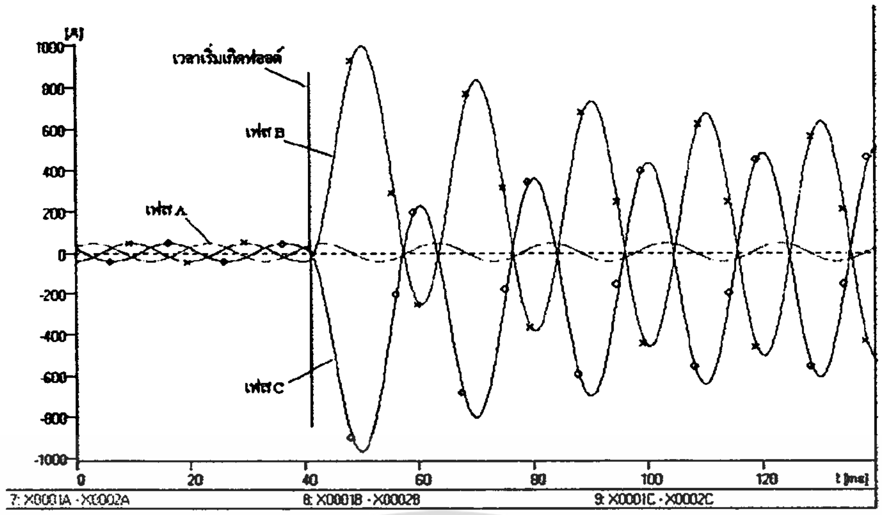


รูปที่ 5.124 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

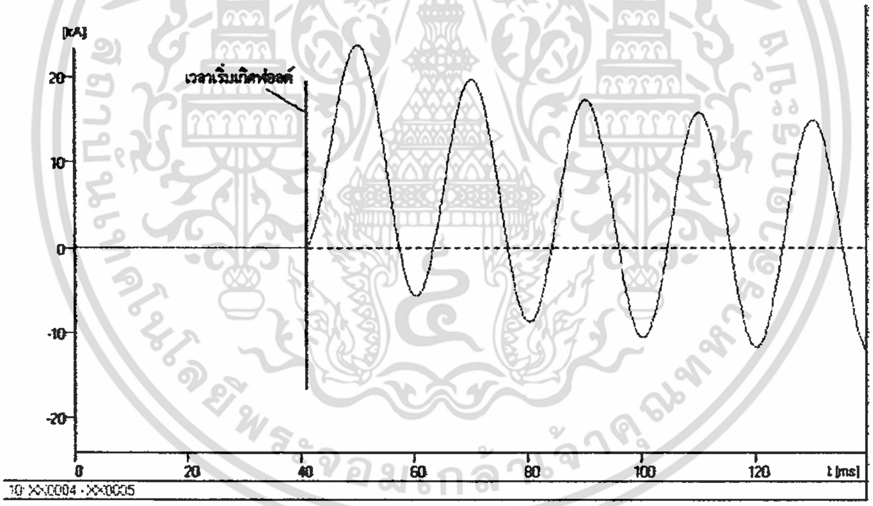


รูปที่ 5.125 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.126 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary



รูปที่ 5.127 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากวงจรทดสอบที่ได้ทำการออกแบบไว้ในบทที่ 4 นั้น การทำงานจะเริ่มขึ้นเมื่อมีการจ่ายแรงดันเข้าไปที่หม้อแปลงทดสอบที่สร้างขึ้นเพื่อจำลองเหตุการณ์ฟอลต์กรณีขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส จากนั้นทำการจำลองฟอลต์โดยกำหนดเวลาในการเริ่มจำลองที่เวลา 0.04 S

จากผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟสพบว่า

1. ขณะเกิดฟอลต์ทางด้าน primary ระหว่าง 2 เฟสใดๆ ที่เกิดการลัดวงจรจะส่งผลให้แรงดันทั้งทางด้าน primary และทางด้าน secondary ของ 2 เฟสนั้นมีขนาดต่ำกว่าแรงดันที่พิกัดและแรงดันอีกเฟสที่เหลือ

2. ขณะเกิดฟอลต์ กระแสของ 2 เฟสที่เกิดการลัดวงจรจะมีขนาดสูงกว่ากระแสของเฟสที่เหลือ อีกทั้งกระแสที่ลัดวงจรระหว่างเฟสนั้นจะมีขนาดสูงกว่าพิกัดประมาณ 50 เท่า

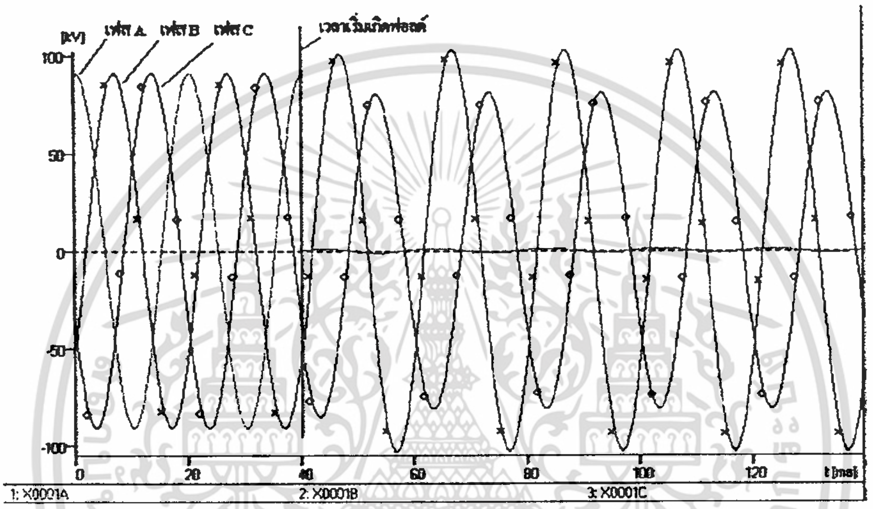
3. เมื่อพิจารณาสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA และขนาด 35 MVA พบว่ามีลักษณะเป็นไปในแนวทางเดียวกัน ดังนั้นแบบจำลองของฟอลต์กรณีขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟสที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงสามารถนำผลการทดสอบที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์เพื่อป้องกันหม้อแปลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

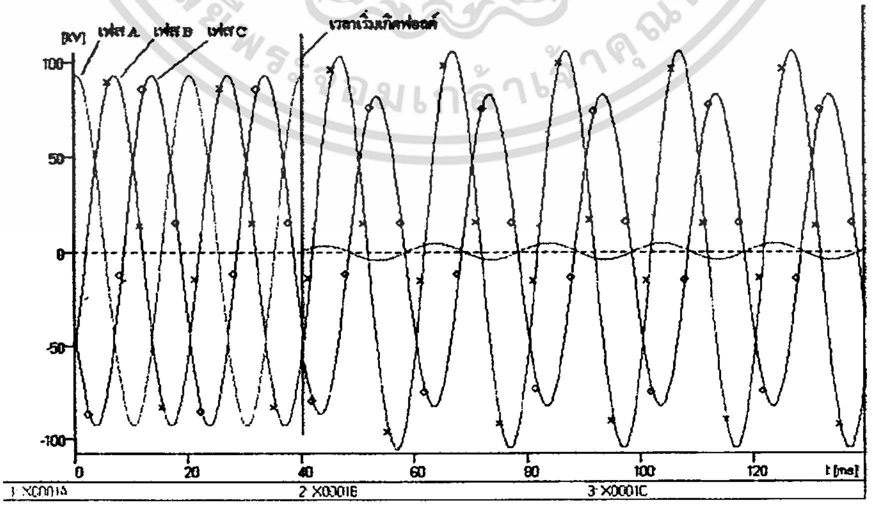
5.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของหม้อแปลงขนาด 50 MVA และขนาด 35 MVA กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน

5.4.1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรลงดิน ทางด้าน primary ของเฟส A

5.4.1.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A



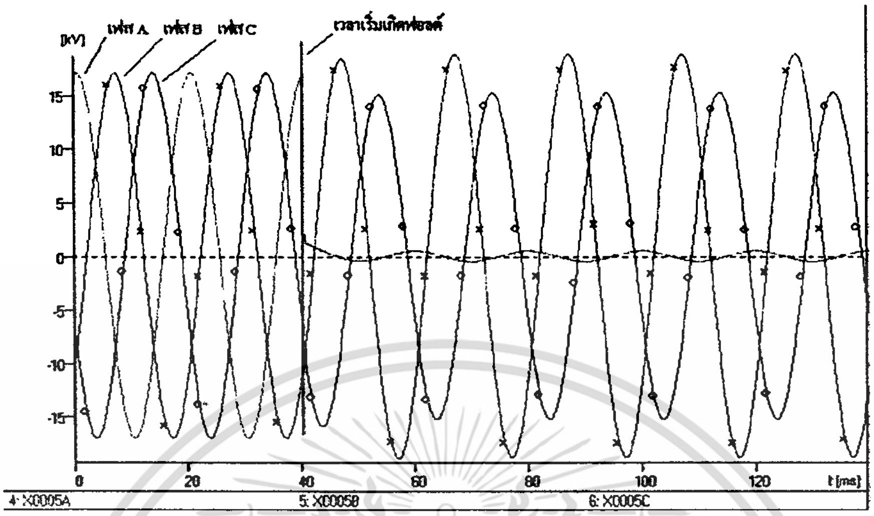
รูปที่ 5.2 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A



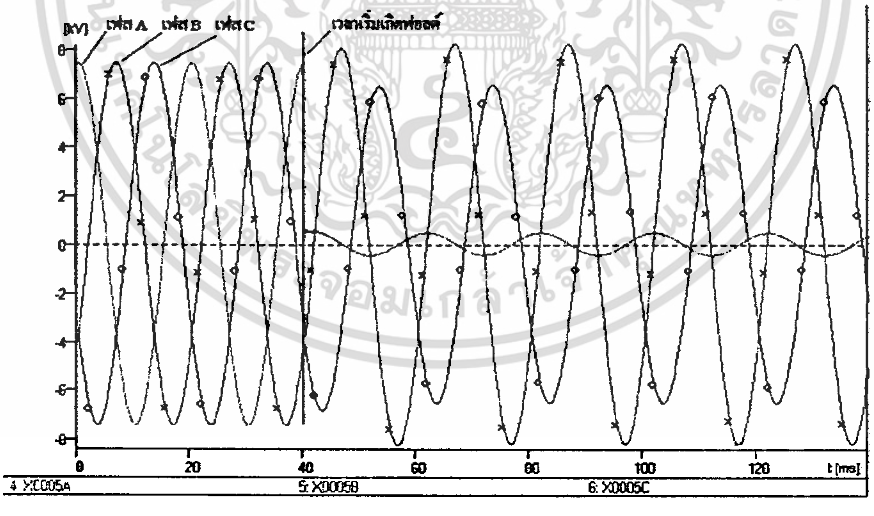
รูปที่ 5.22 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A



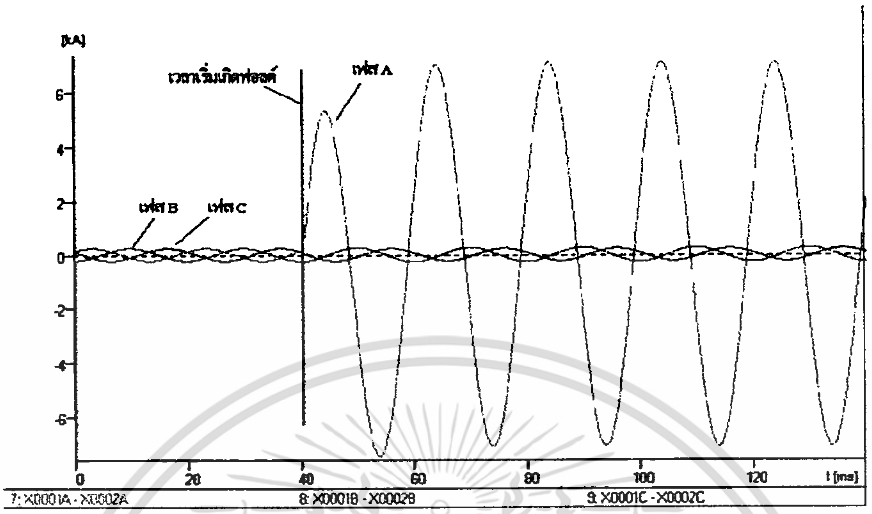
รูปที่ 5.3 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A



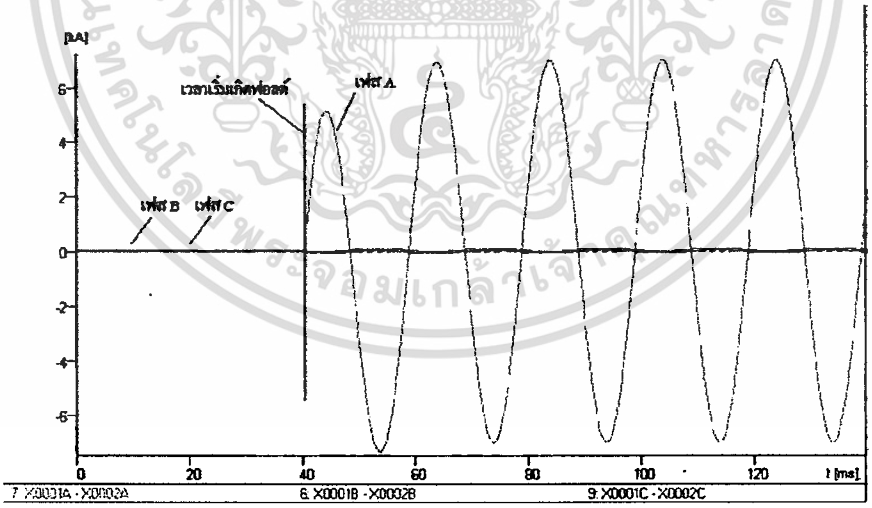
รูปที่ 5.23 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A



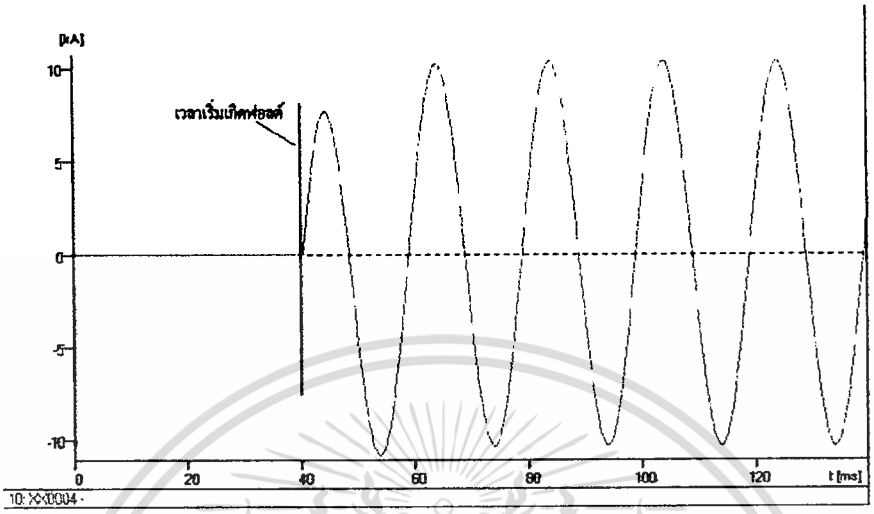
รูปที่ 5.4 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A



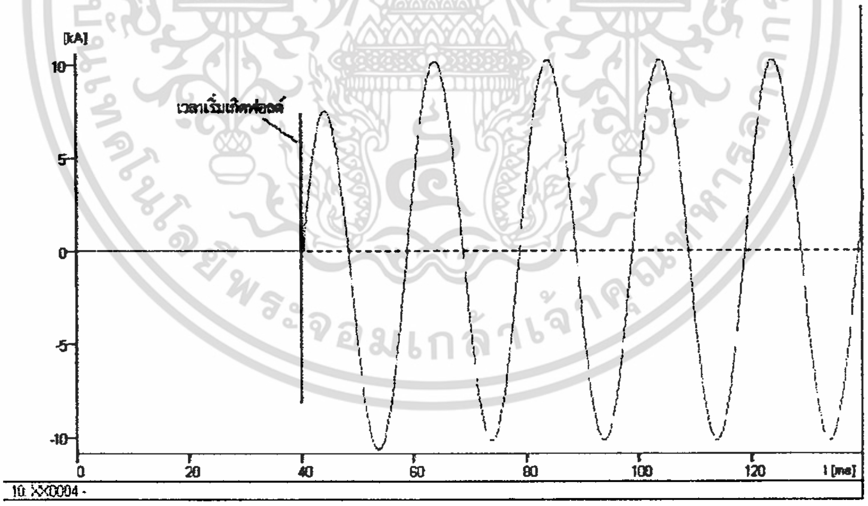
รูปที่ 5.24 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.1.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A



รูปที่ 5.5 สัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A

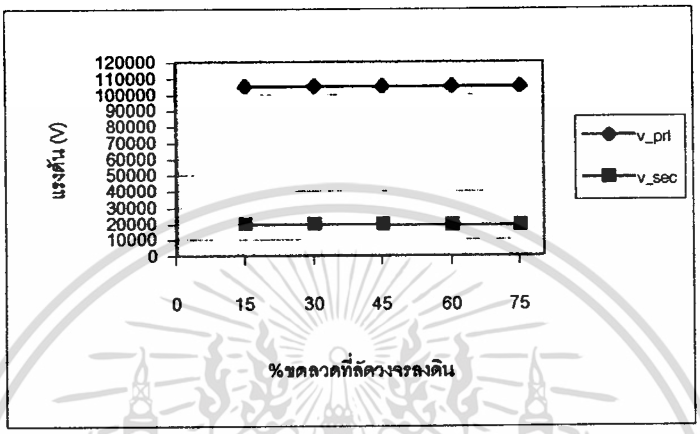


รูปที่ 5.25 สัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน primary ของเฟส A

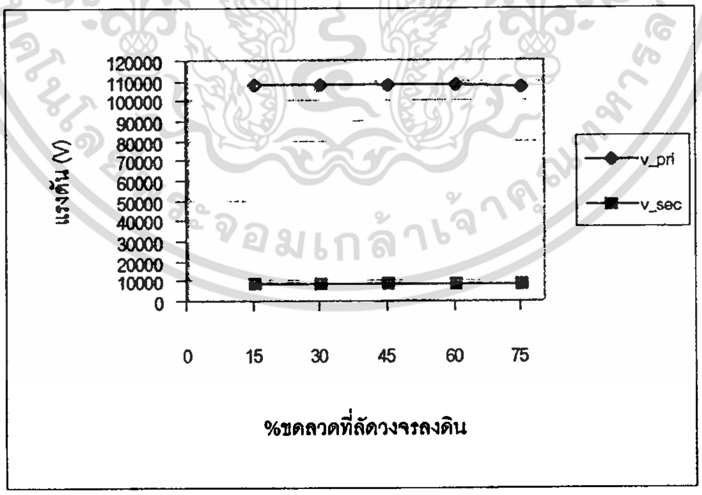
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส A

5.4.2.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A



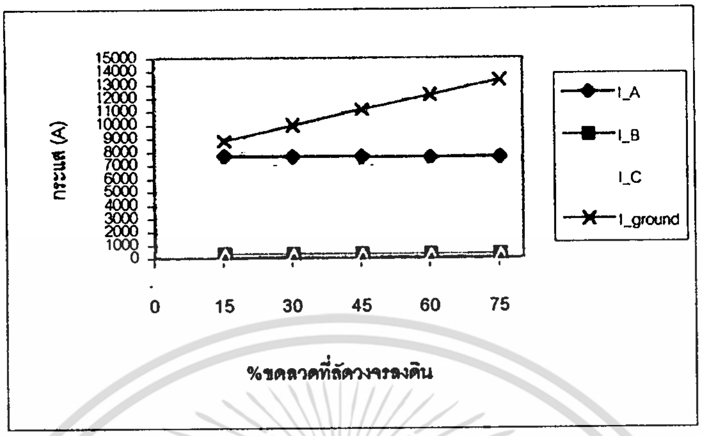
รูปที่ 5.6 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



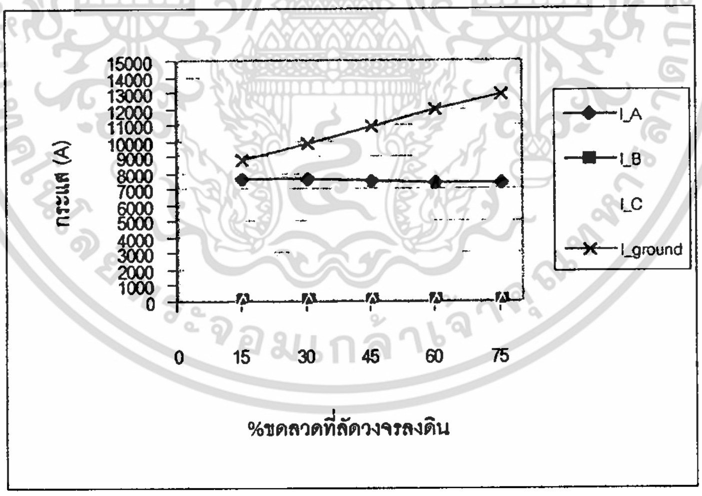
รูปที่ 5.26 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.2.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A



รูปที่ 5.7 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

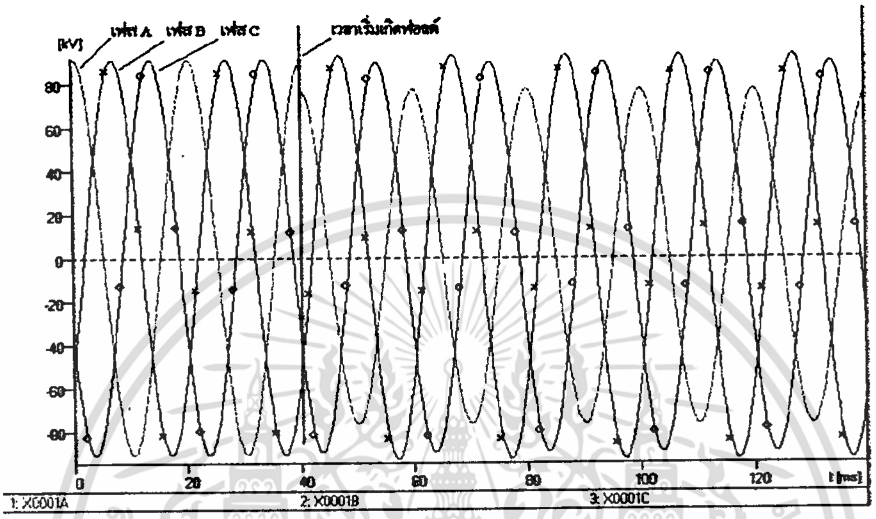


รูปที่ 5.27 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

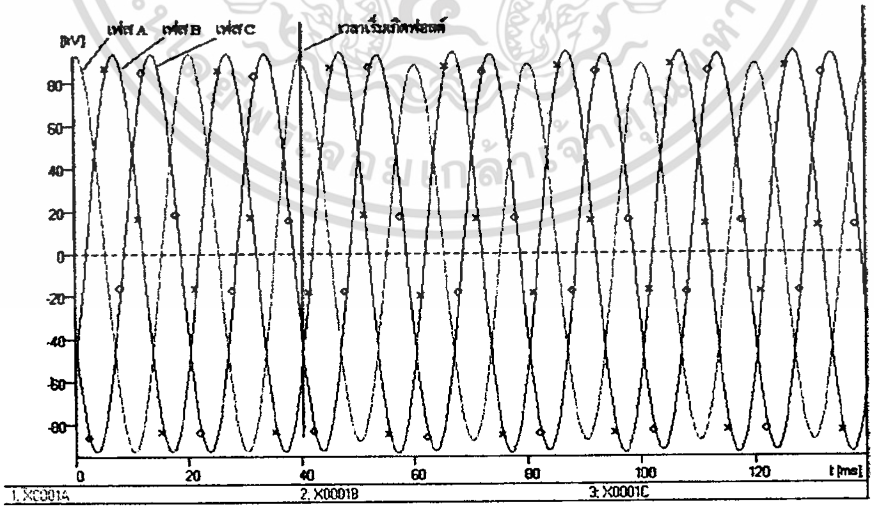
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรลงดิน ทางด้าน secondary ของเฟส A

5.4.3.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A



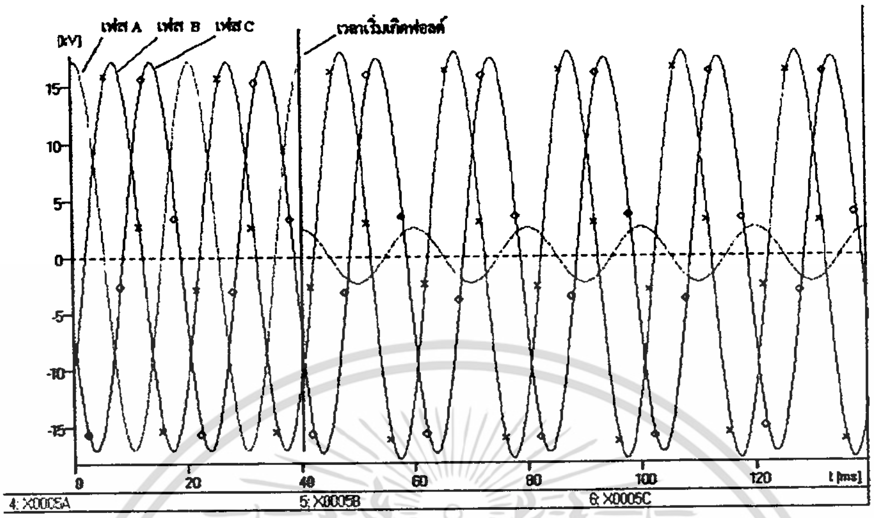
รูปที่ 5.8 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A



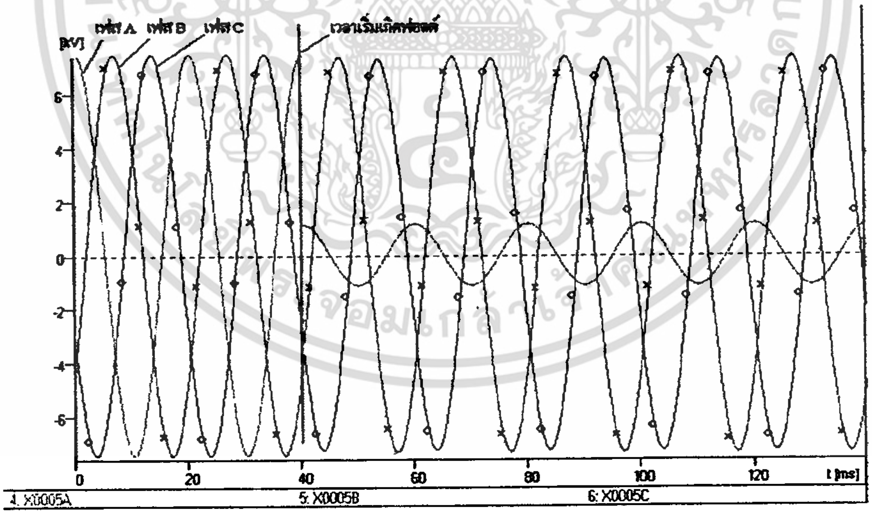
รูปที่ 5.28 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A



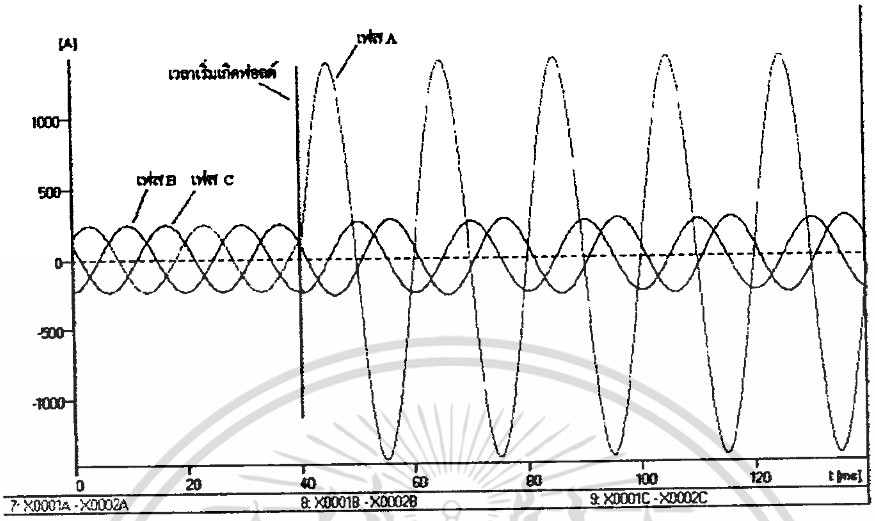
รูปที่ 5.9 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A



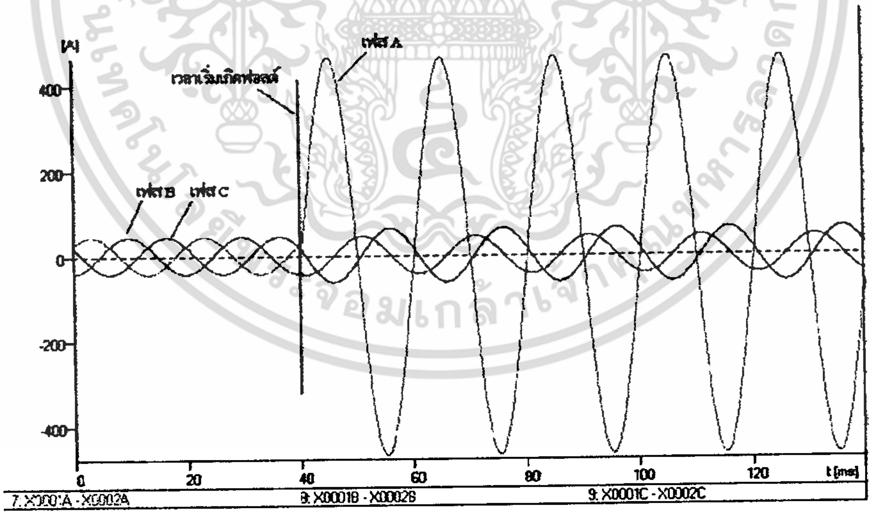
รูปที่ 5.29 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A



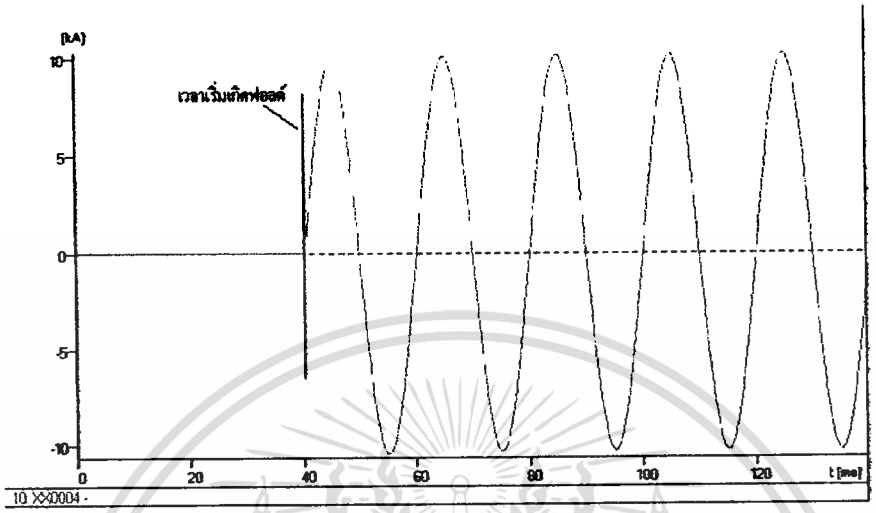
รูปที่ 5.10 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A



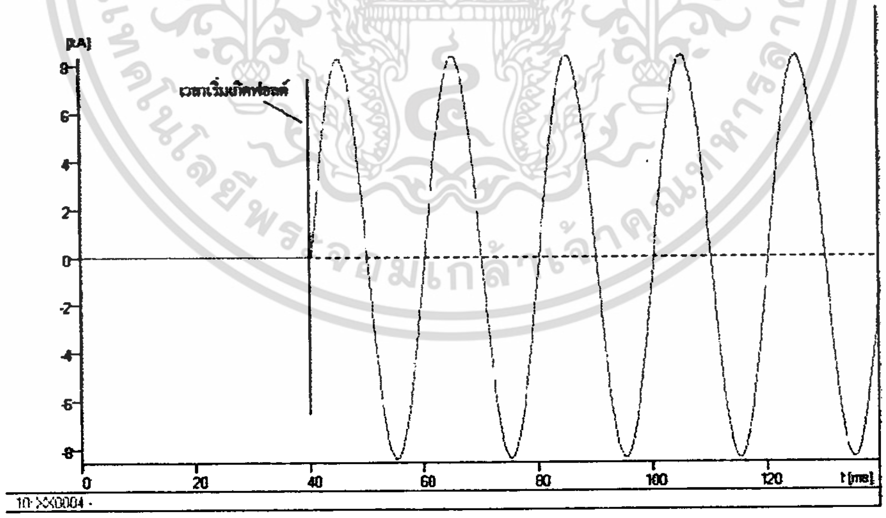
รูปที่ 5.30 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A



รูปที่ 5.11 สัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A

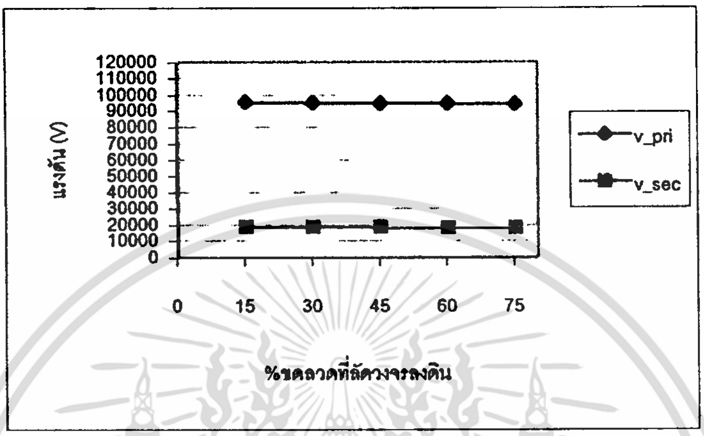


รูปที่ 5.31 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน 45% ทางด้าน secondary ของเฟส A

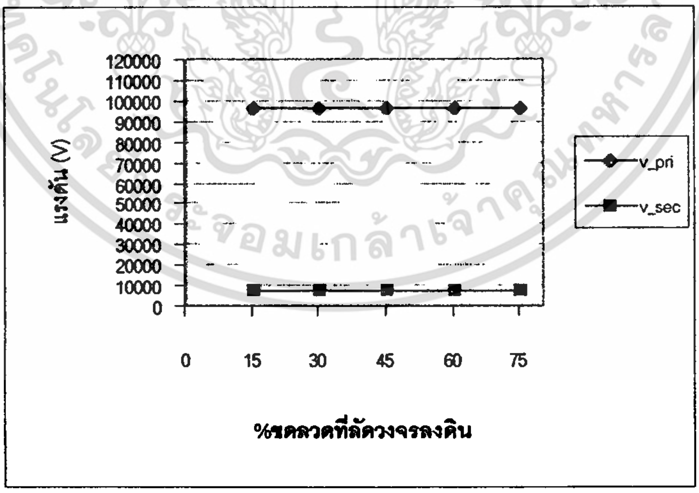
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.4 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A

5.4.4.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A



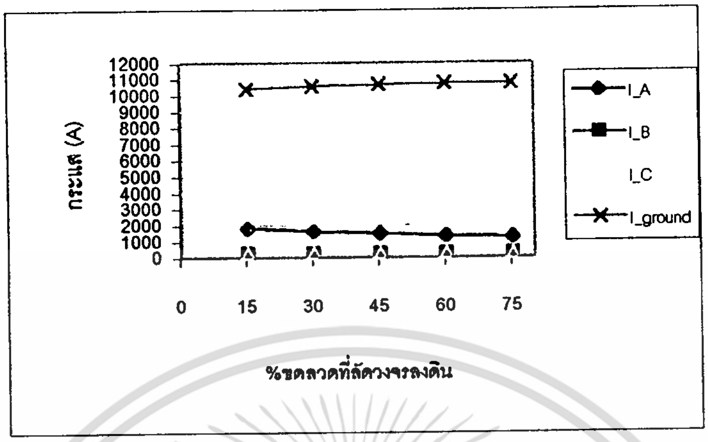
รูปที่ 5.12 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



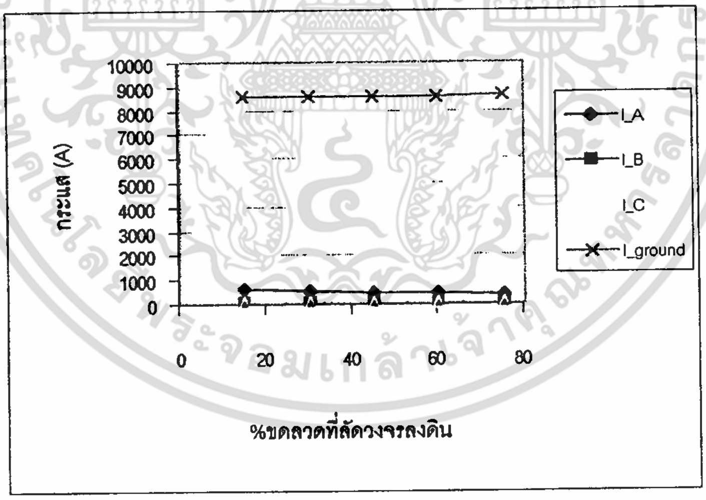
รูปที่ 5.32 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.4.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A



รูปที่ 5.13 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

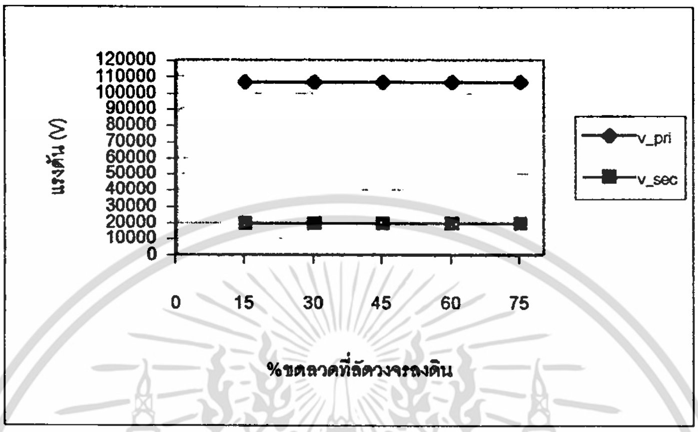


รูปที่ 5.33 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

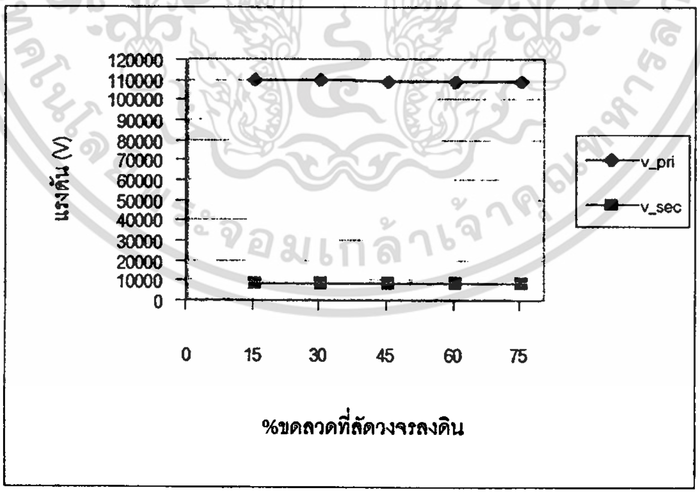
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.5 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน primary ของเฟส B

5.4.5.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B



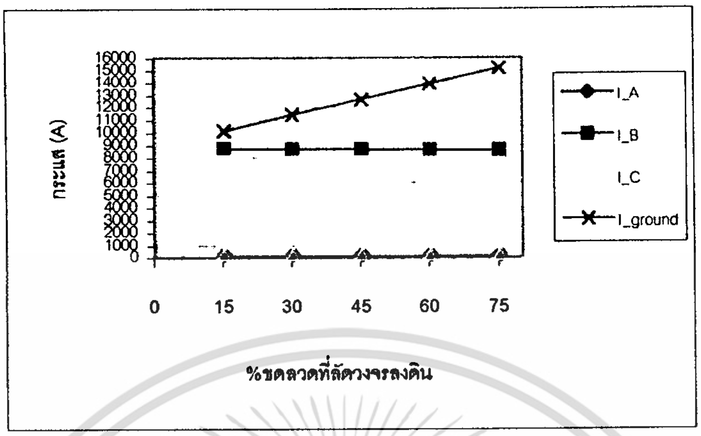
รูปที่ 5.14 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



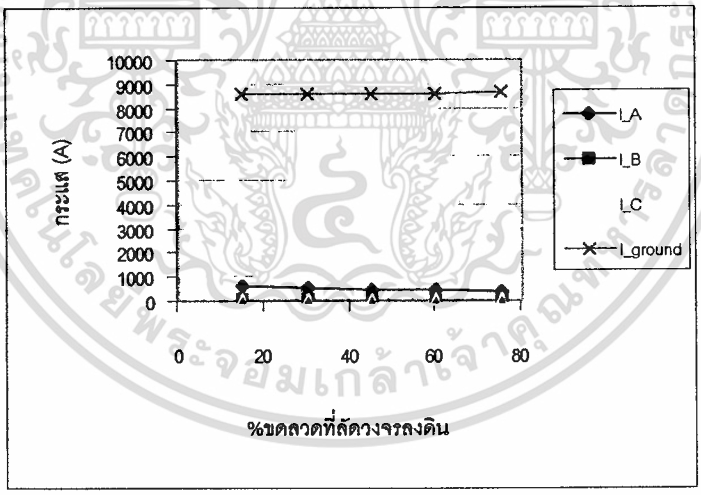
รูปที่ 5.34 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.5.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน ทางด้าน primary ของเฟส B



รูปที่ 5.15 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

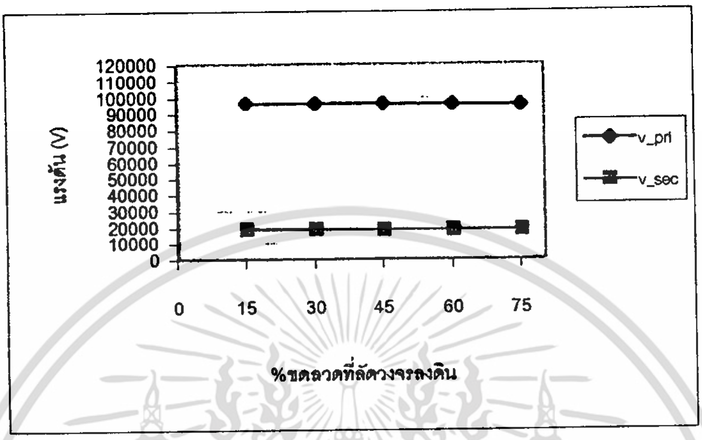


รูปที่ 5.35 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

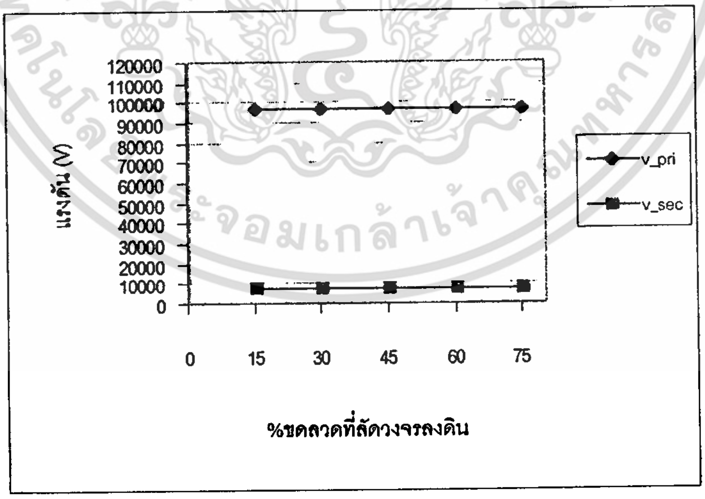
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.6 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B

5.4.6.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B



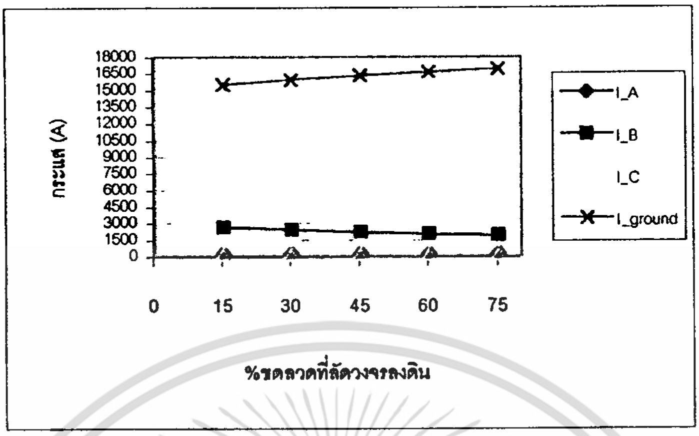
รูปที่ 5.16 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



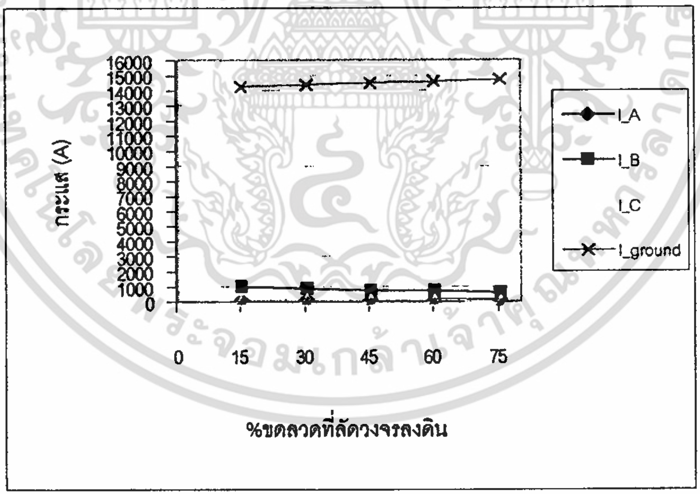
รูปที่ 5.36 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.6.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B



รูปที่ 5.17 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

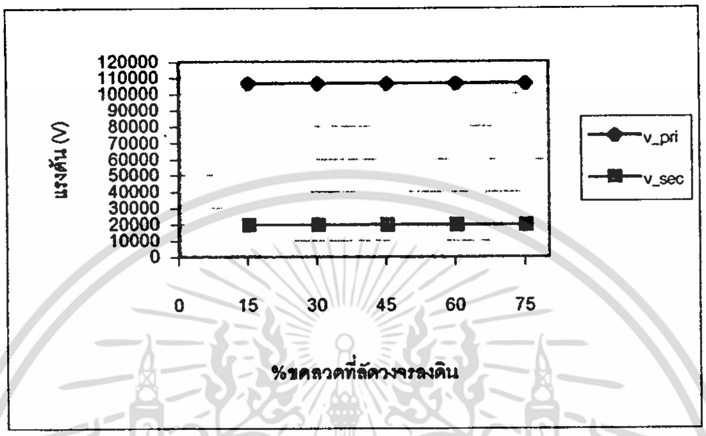


รูปที่ 5.37 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

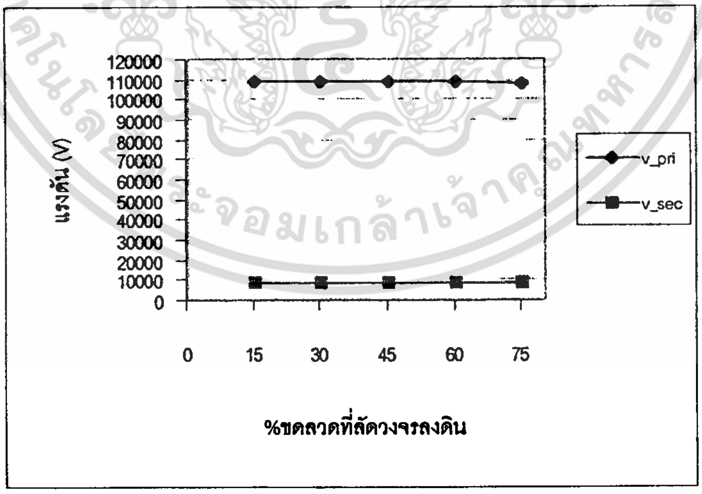
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.7 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน ทางด้าน primary ของเฟส C

5.4.7.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน ทางด้าน primary ของเฟส C



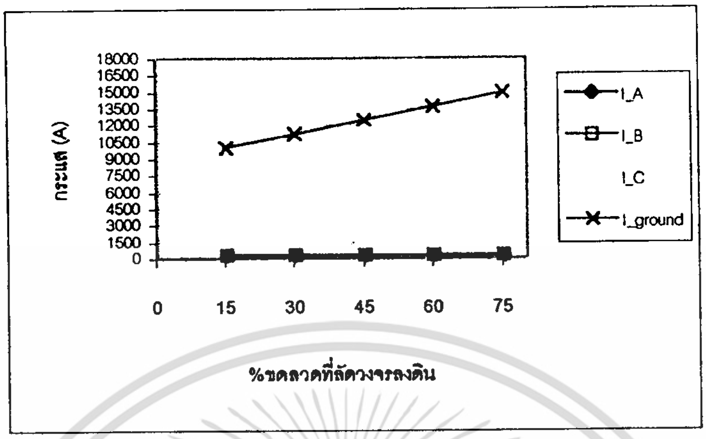
รูปที่ 5.18 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



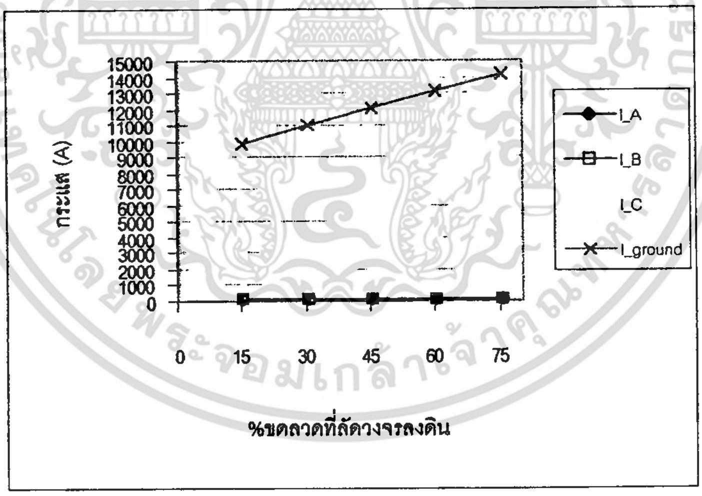
รูปที่ 5.38 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.7.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C



รูปที่ 5.19 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

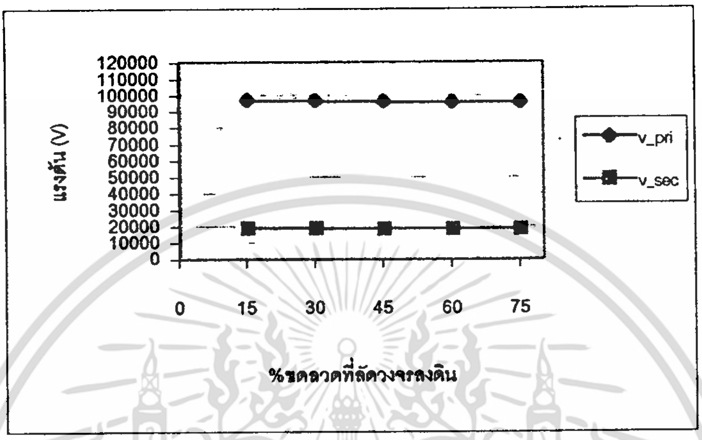


รูปที่ 5.39 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

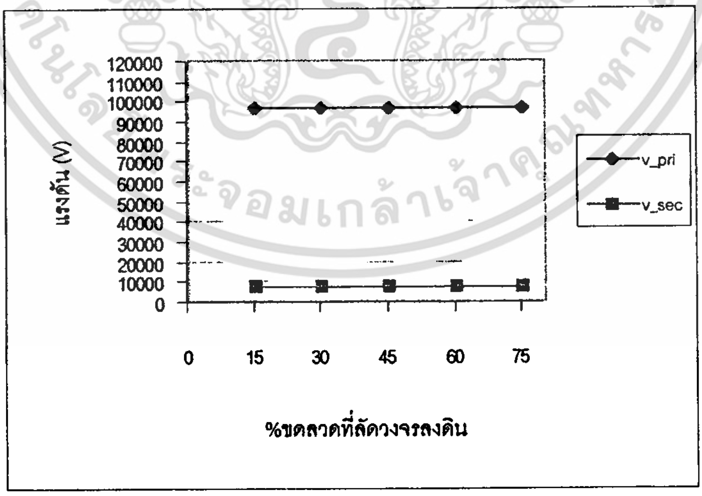
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.8 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน ทางด้าน secondary ของเฟส C

5.4.8.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดิน ทางด้าน secondary ของเฟส C



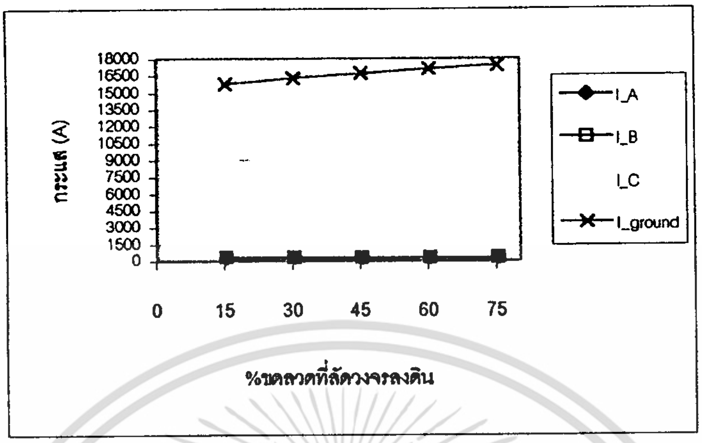
รูปที่ 5.20 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



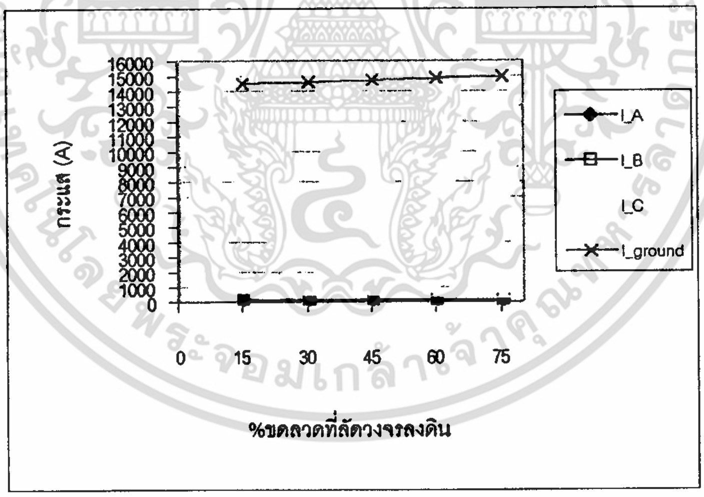
รูปที่ 5.40 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.8.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C



รูปที่ 5.21 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



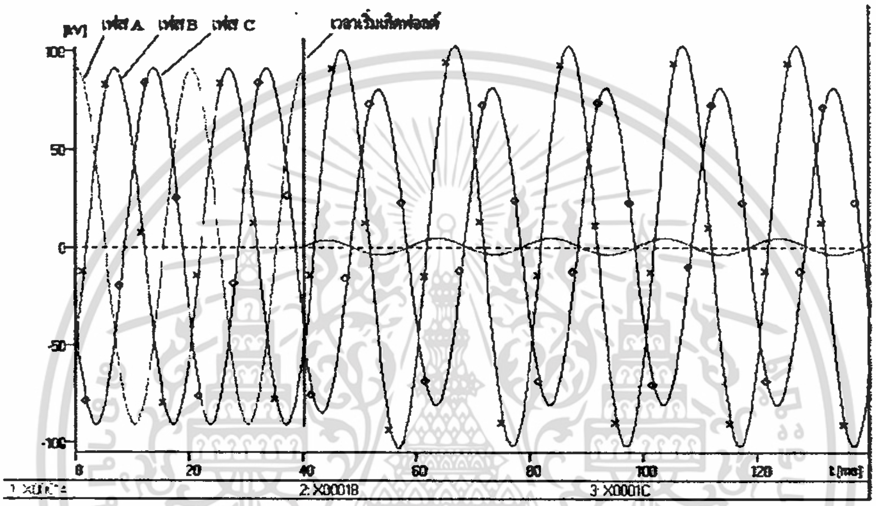
รูปที่ 5.41 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรของขดลวดลงดินทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

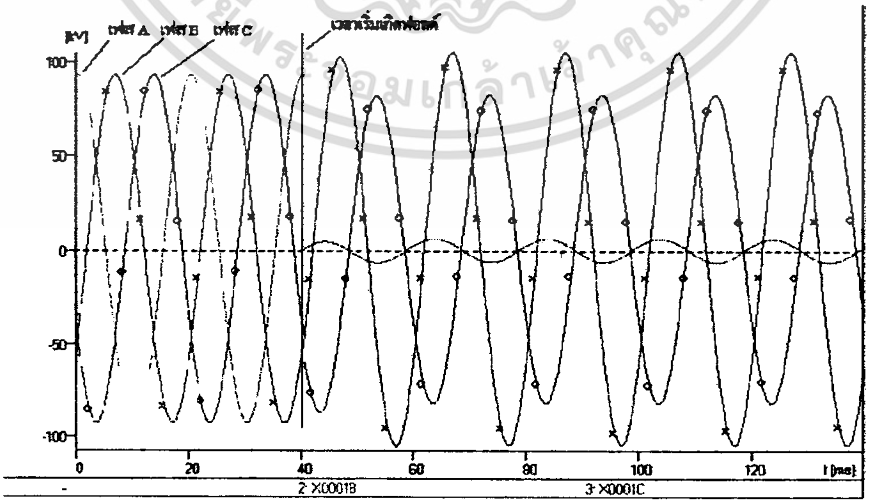
5.5 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของหม้อแปลงขนาด 50 MVA และขนาด 35 MVA กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด

5.5.1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A

5.5.1.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A



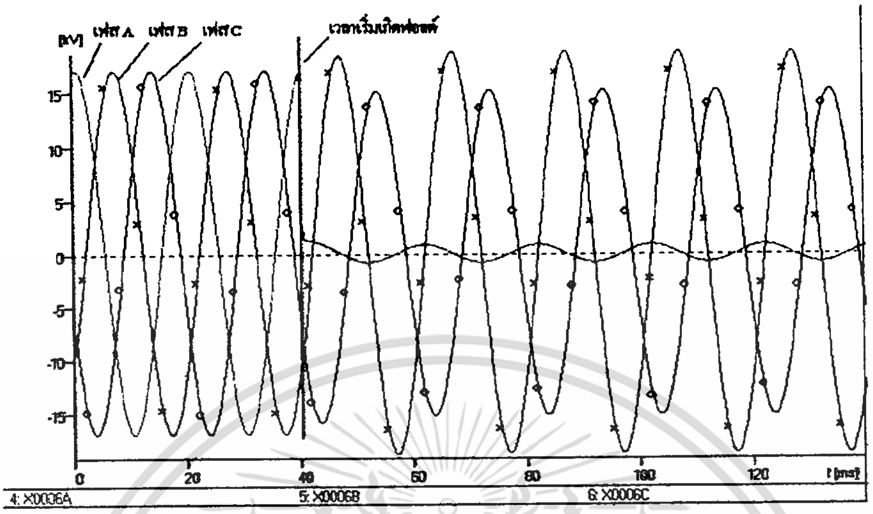
รูปที่ 5.43 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A



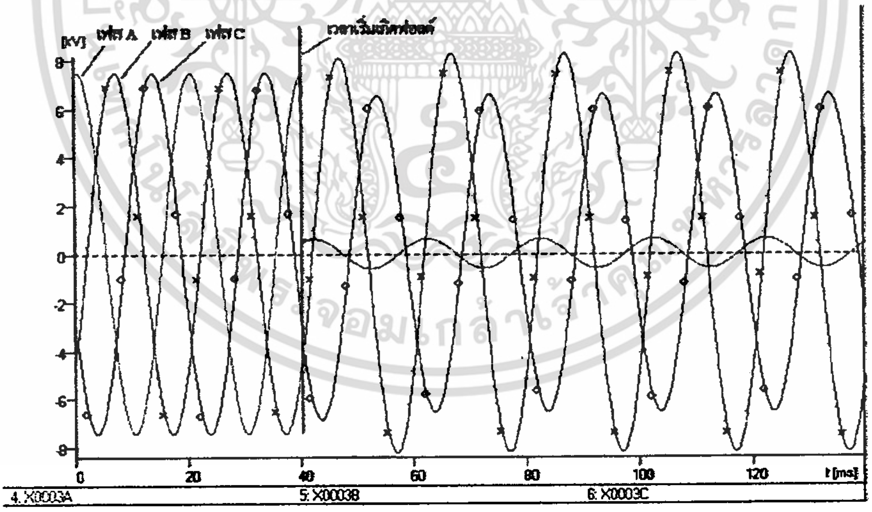
รูปที่ 5.61 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.1.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A



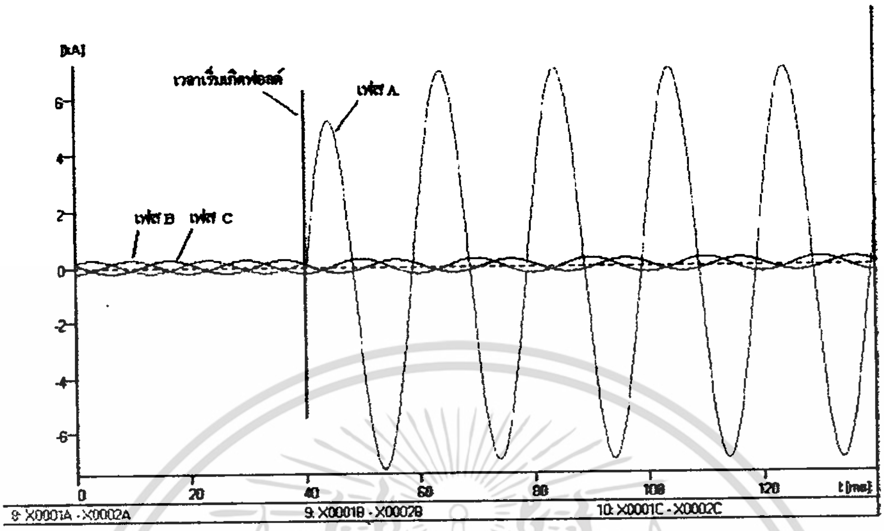
รูปที่ 5.44 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A



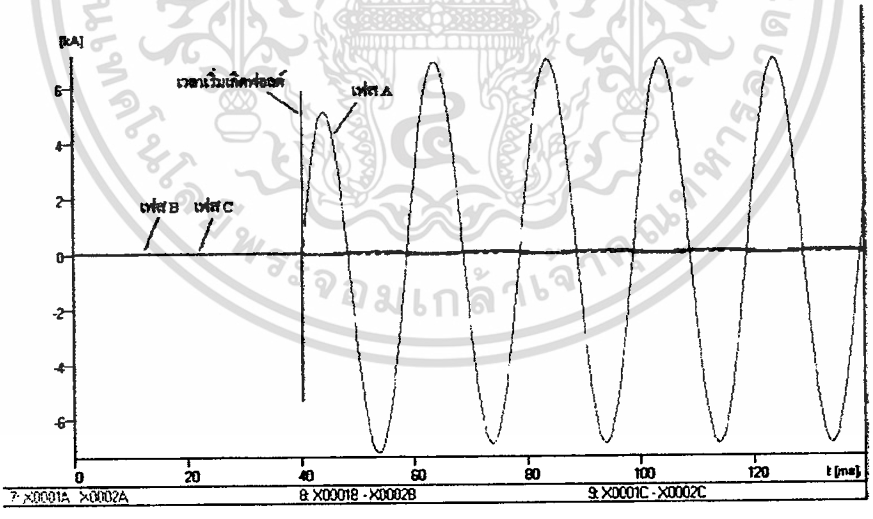
รูปที่ 5.62 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.1.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A



รูปที่ 5.45 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A

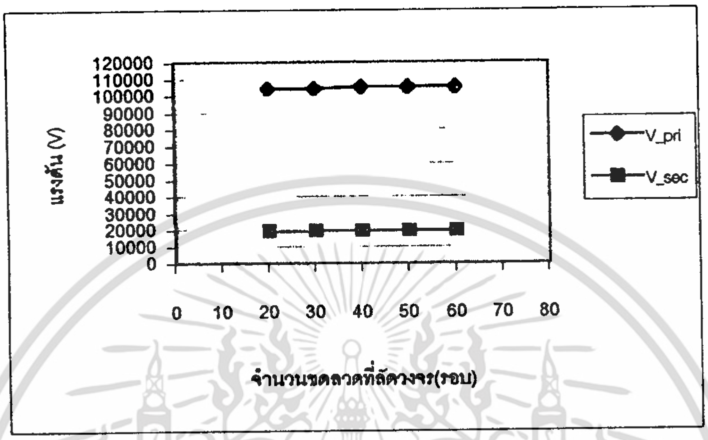


รูปที่ 5.63 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน primary ของเฟส A

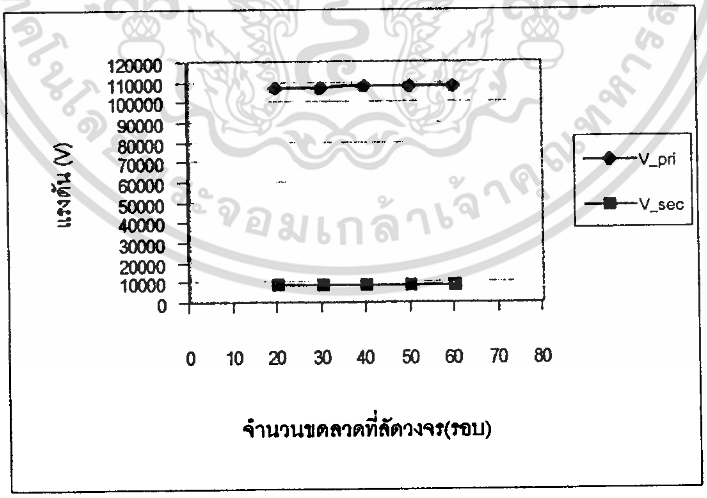
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A

5.5.2.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A



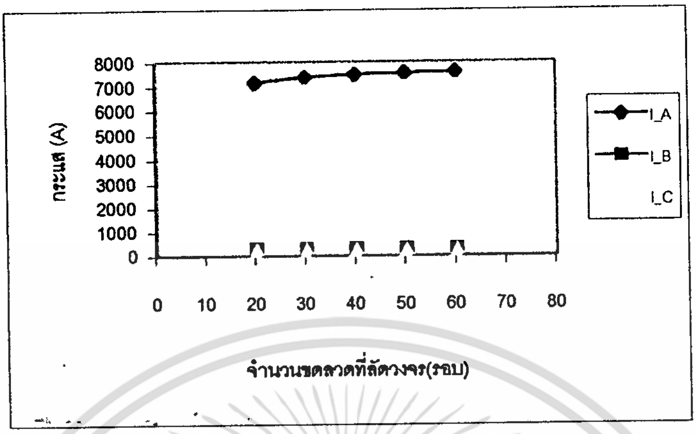
รูปที่ 5.46 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



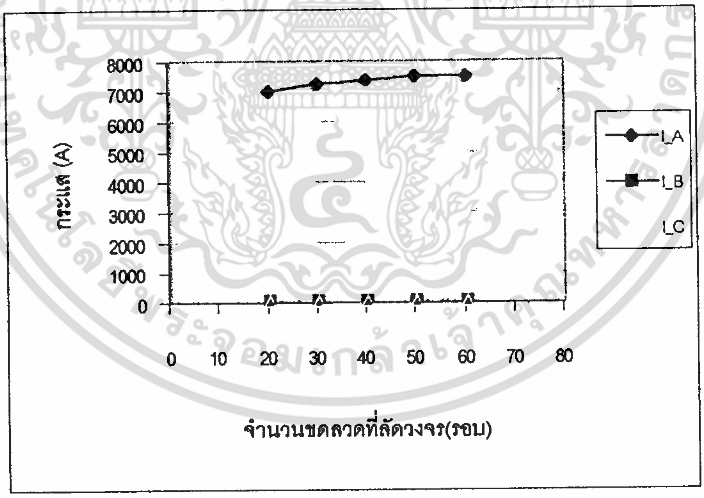
รูปที่ 5.64 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A



รูปที่ 5.47 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

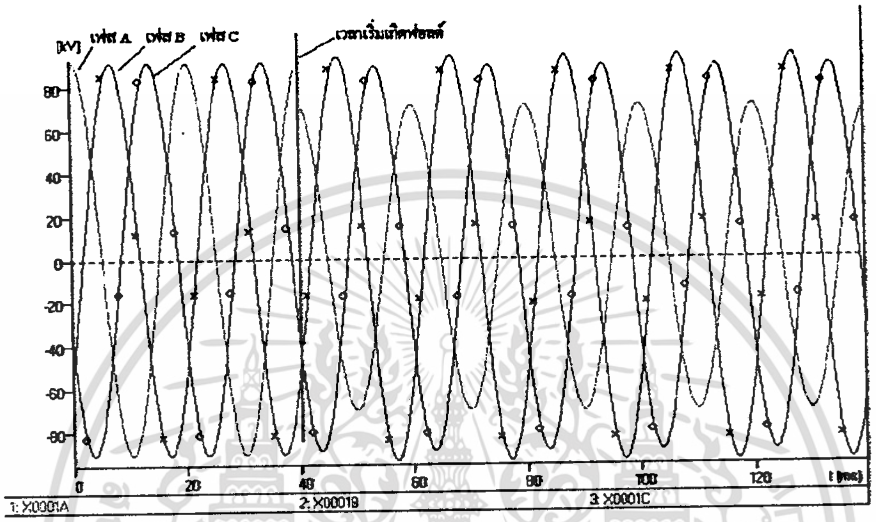


รูปที่ 5.65 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

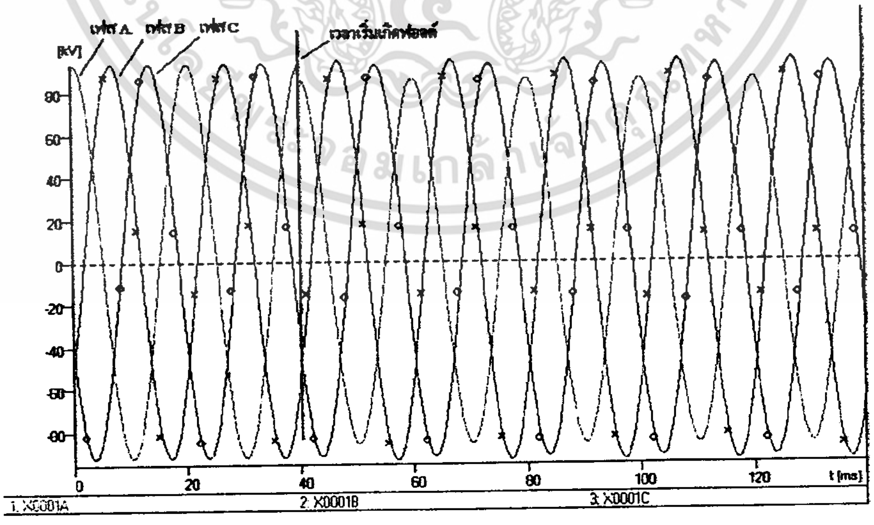
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด ทางด้าน secondary ของเฟส A

5.5.3.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A



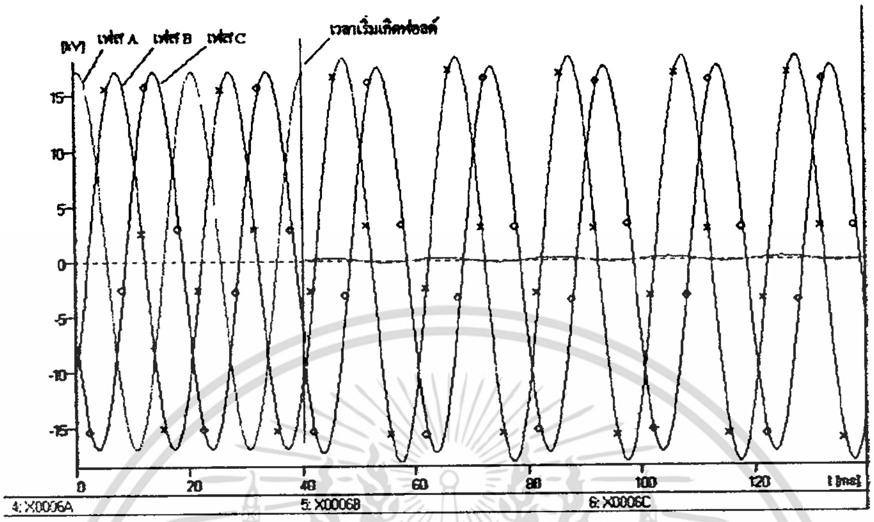
รูปที่ 5.48 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A



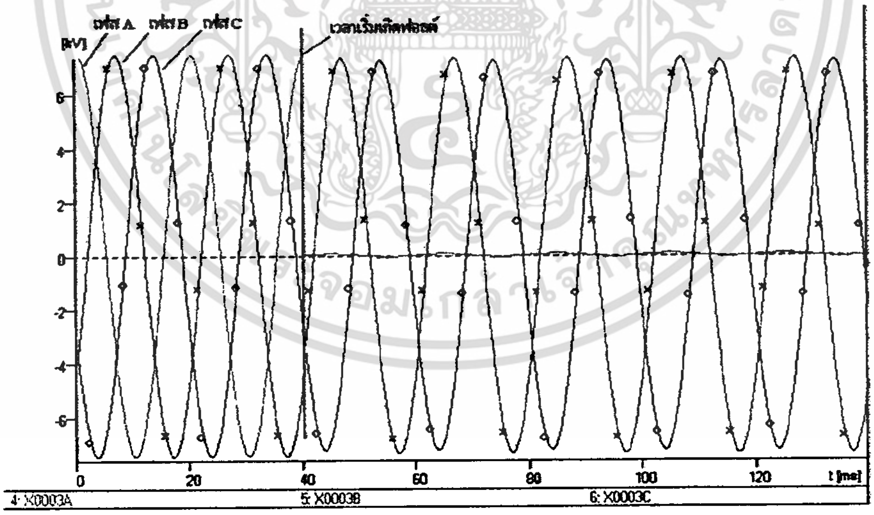
รูปที่ 5.66 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A



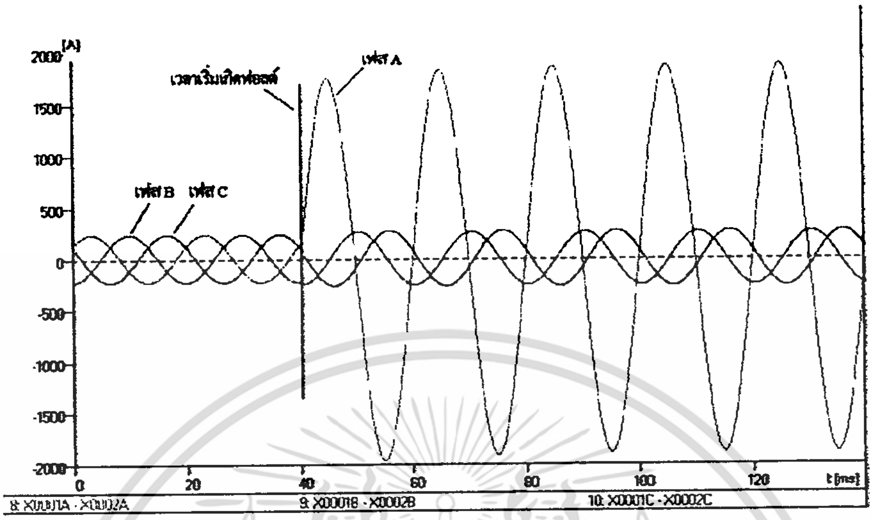
รูปที่ 5.49 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A



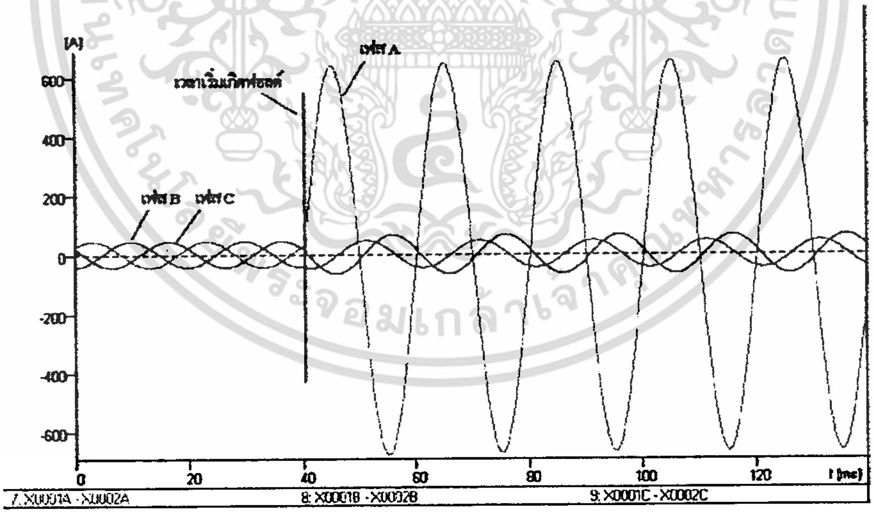
รูปที่ 5.67 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.3.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A



รูปที่ 5.50 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A

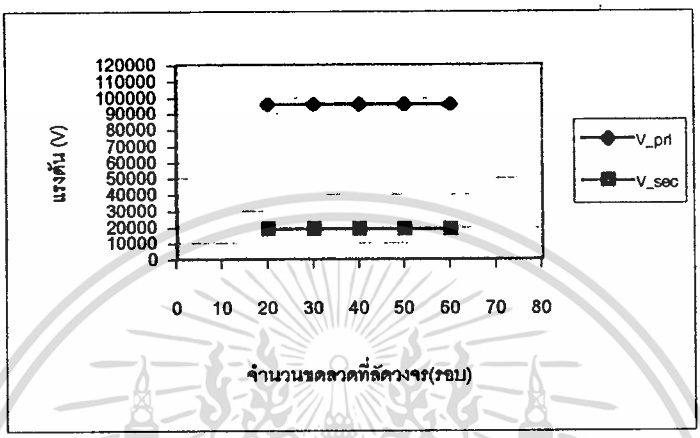


รูปที่ 5.68 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด 40 รอบ ทางด้าน secondary ของเฟส A

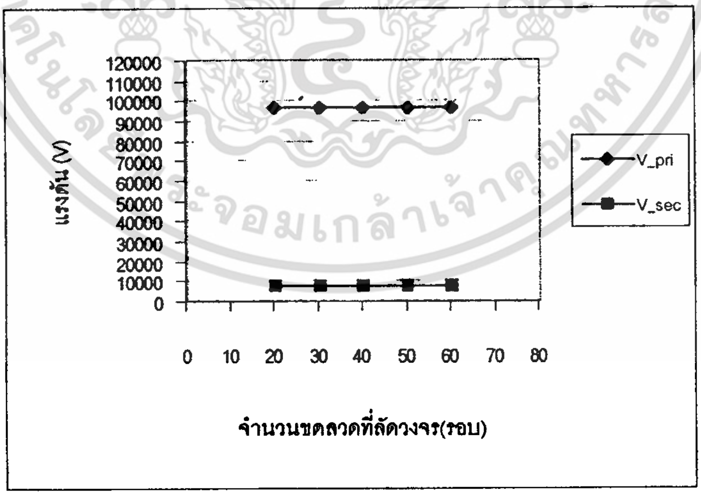
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.4 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A

5.5.4.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A



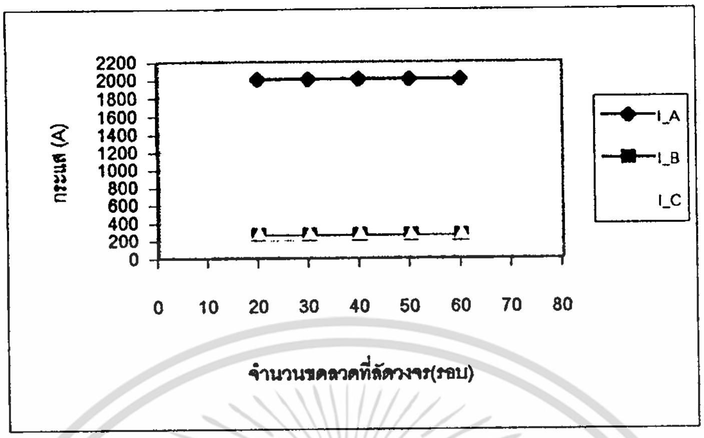
รูปที่ 5.51 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



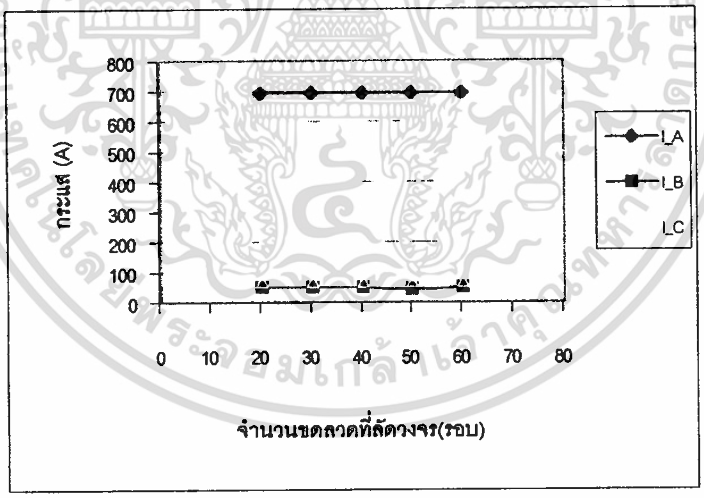
รูปที่ 5.69 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.4.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A



รูปที่ 5.52 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

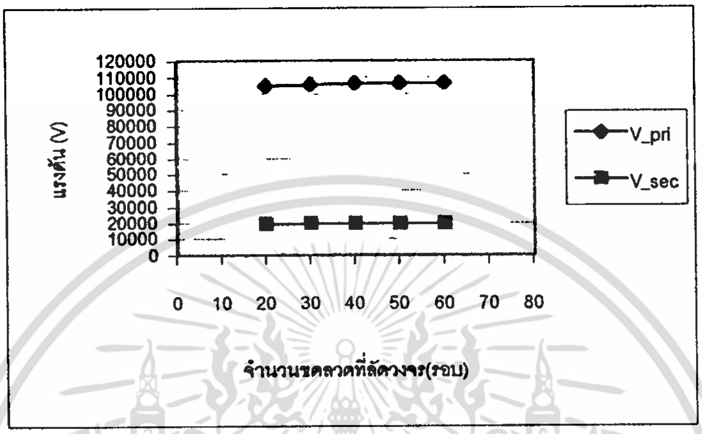


รูปที่ 5.70 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส A ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

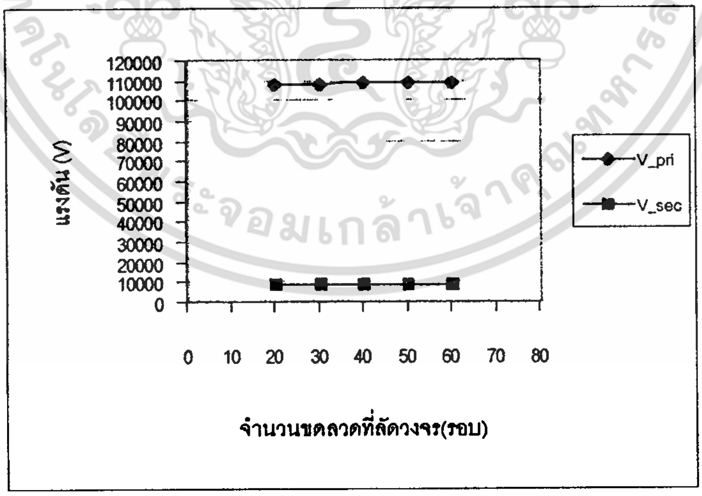
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.5 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B

5.5.5.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B



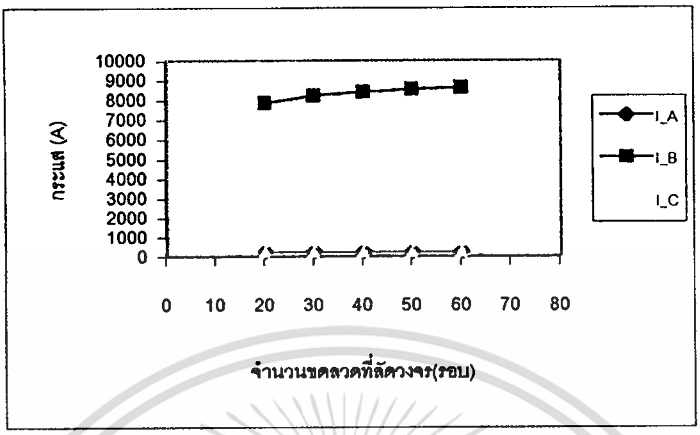
รูปที่ 5.53 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



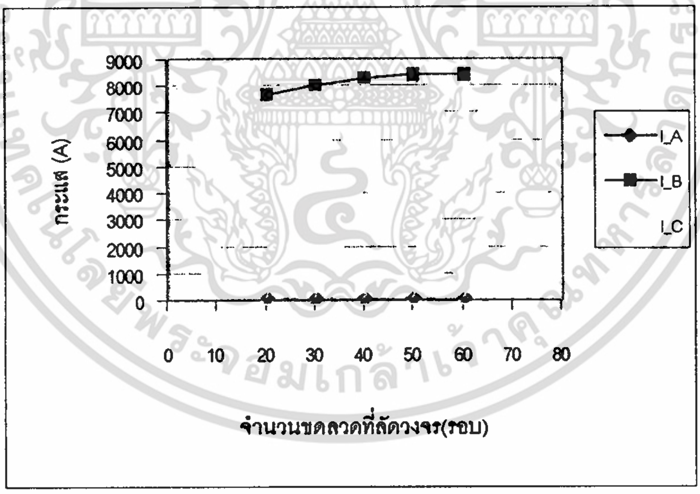
รูปที่ 5.71 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.5.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B



รูปที่ 5.54 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

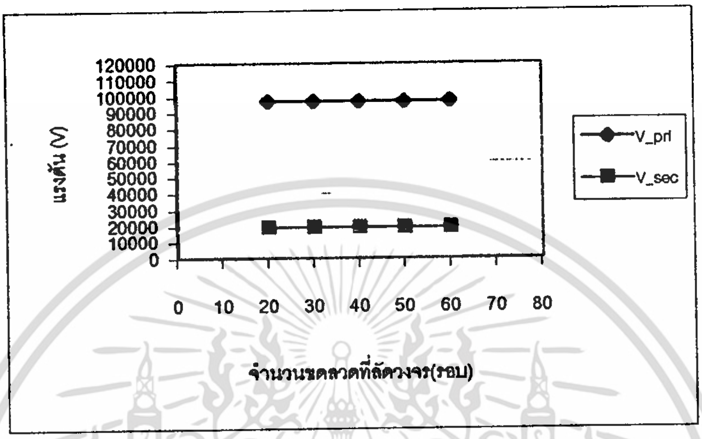


รูปที่ 5.72 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

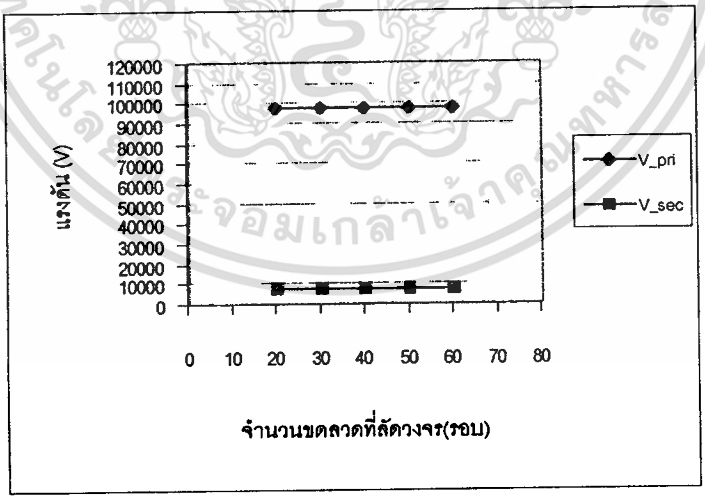
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.6 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B

5.5.6.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B



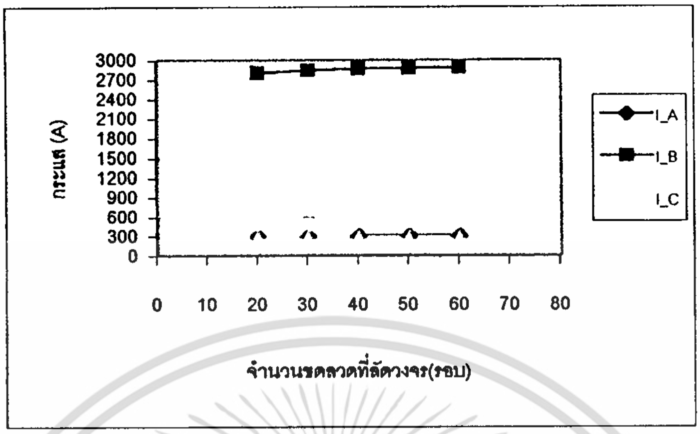
รูปที่ 5.55 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



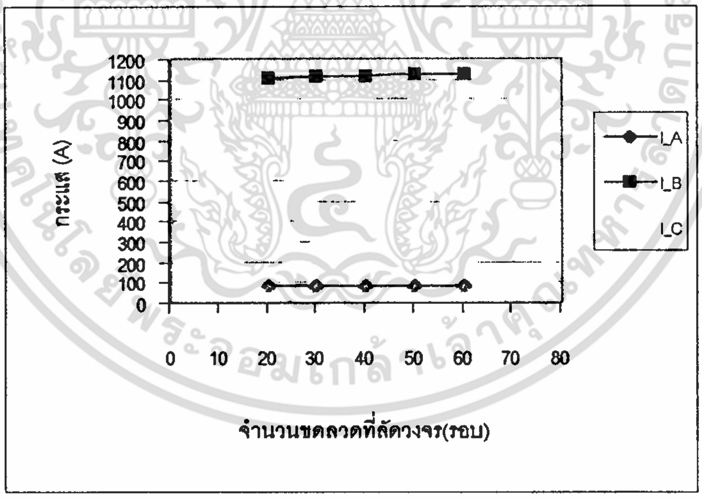
รูปที่ 5.73 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.6.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B



รูปที่ 5.56 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

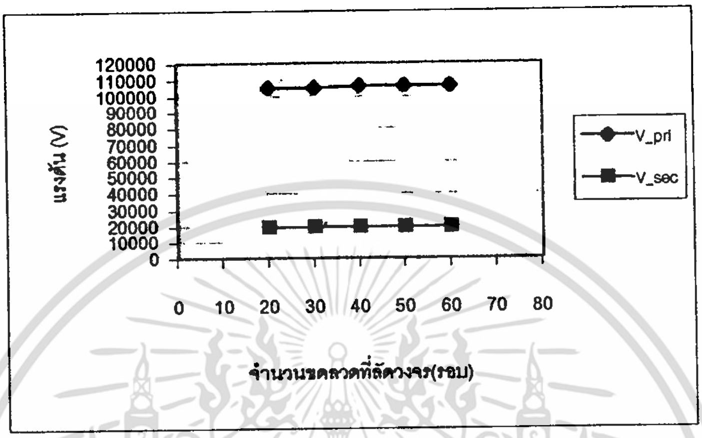


รูปที่ 5.74 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส B ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

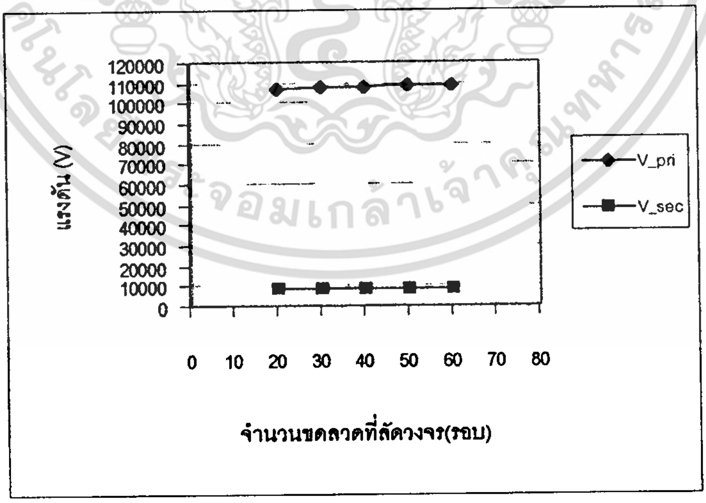
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.7 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C

5.5.7.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C



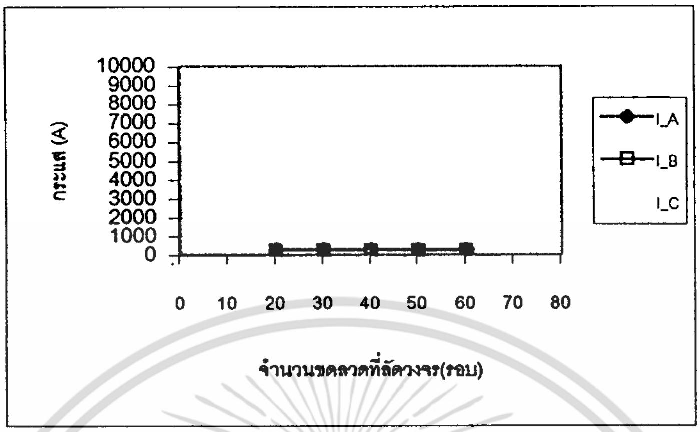
รูปที่ 5.57 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



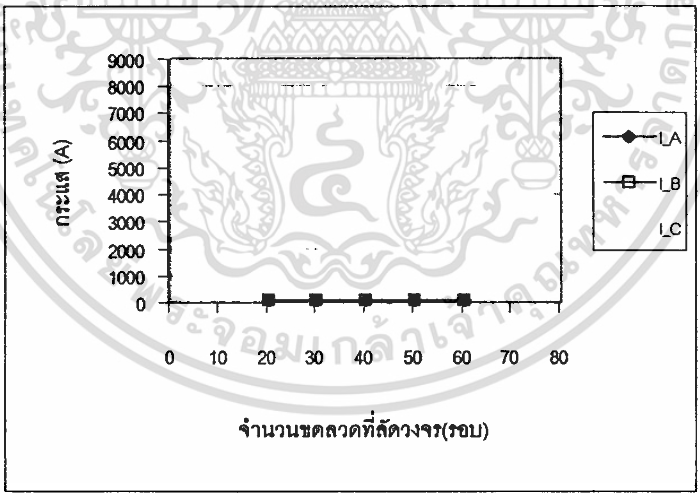
รูปที่ 5.75 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.7.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C



รูปที่ 5.58 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA

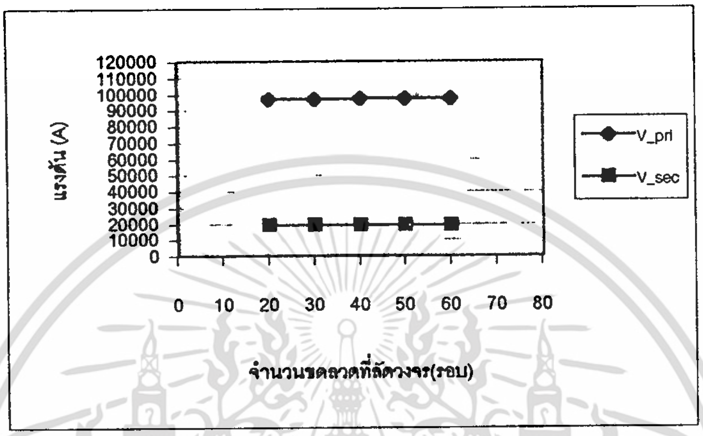


รูปที่ 5.76 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน primary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

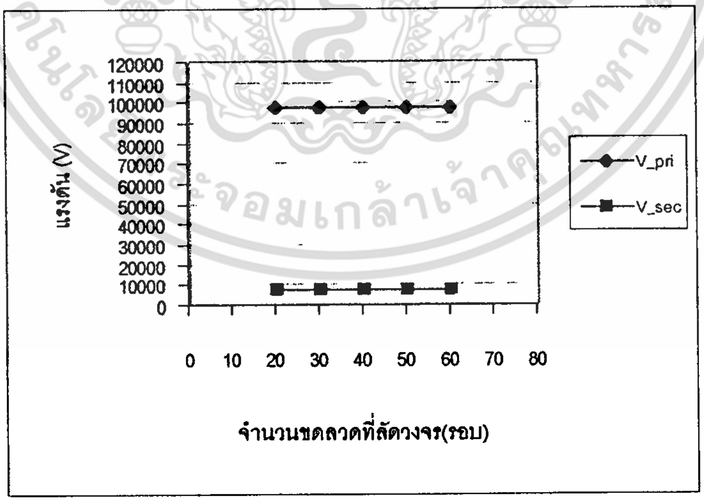
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.8 การเปรียบเทียบกราฟแสดงผลการทดสอบกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C

5.5.8.1 การเปรียบเทียบกราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C



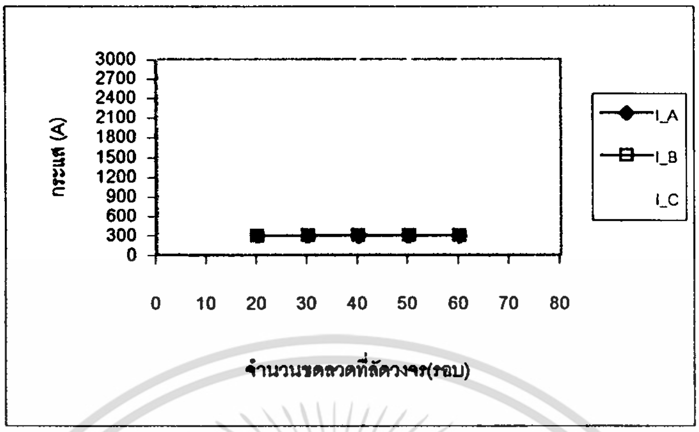
รูปที่ 5.59 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



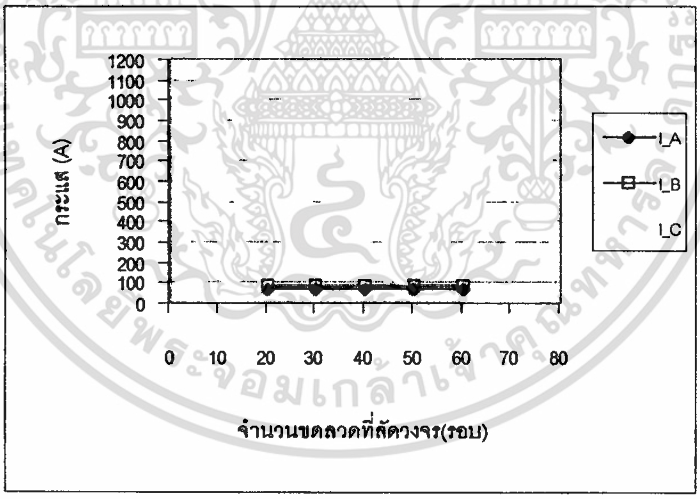
รูปที่ 5.77 กราฟแรงดันเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.8.2 การเปรียบเทียบกราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C



รูปที่ 5.60 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA



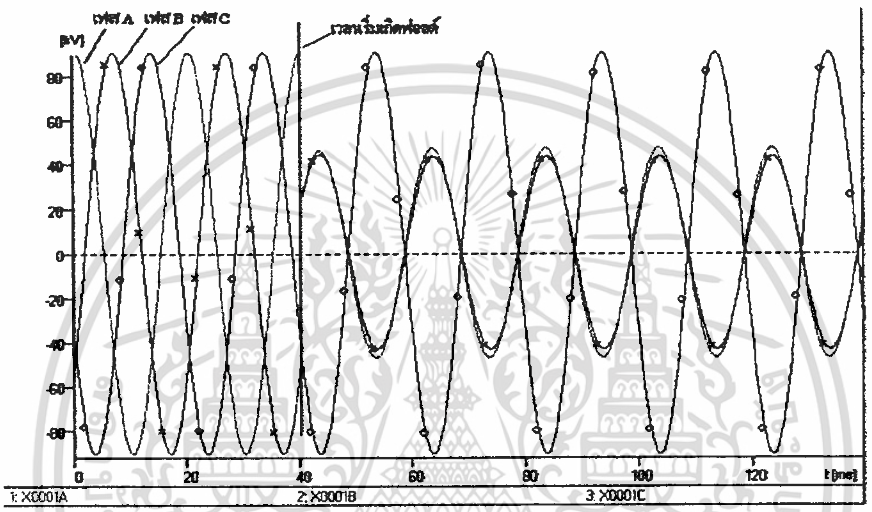
รูปที่ 5.78 กราฟกระแสเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทางด้าน secondary ของเฟส C ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

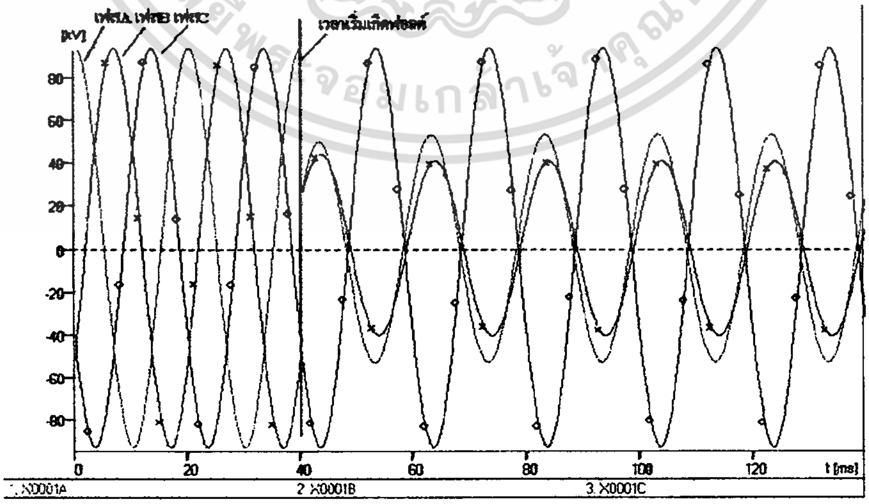
5.6 การเปรียบเทียบผลการทดสอบของหม้อแปลงขนาด 50 MVA และขนาด 35 MVA กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส

5.6.1 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary

5.6.1.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary



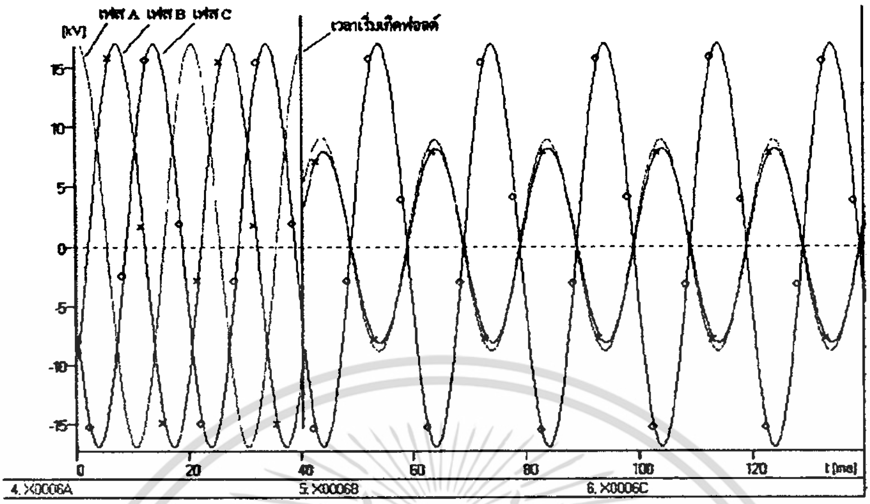
รูปที่ 5.80 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary



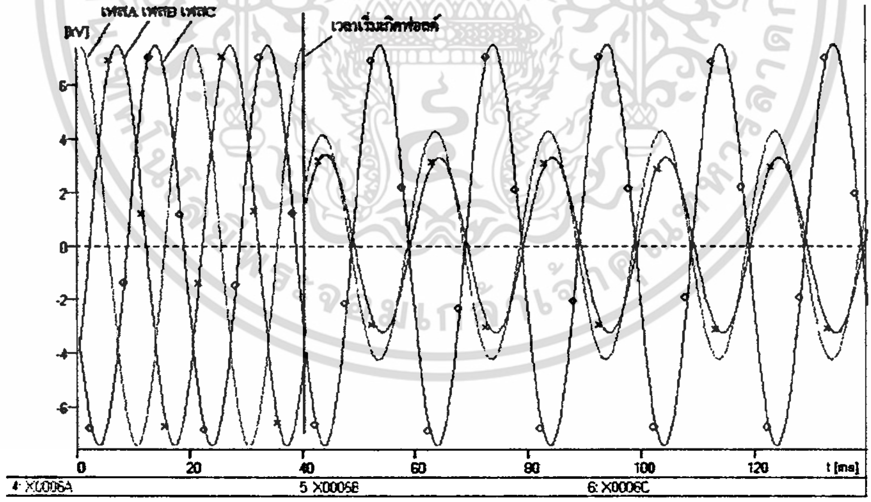
รูปที่ 5.104 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.1.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary



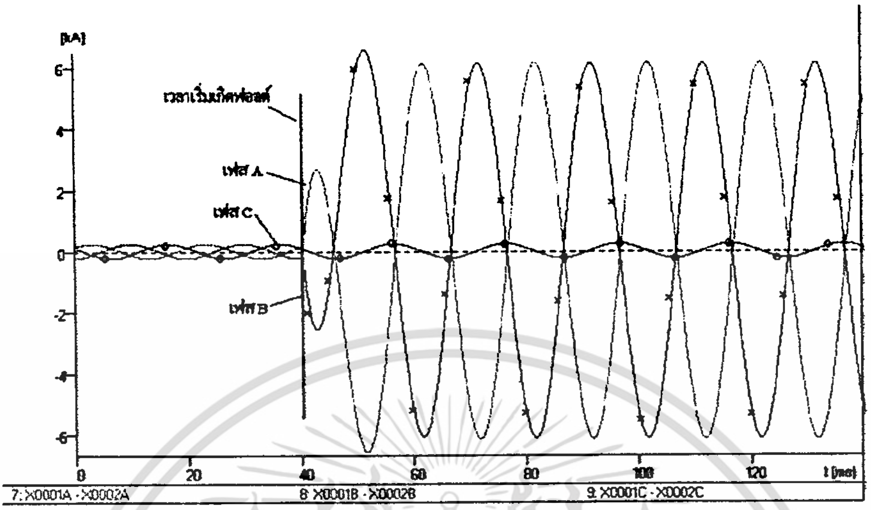
รูปที่ 5.81 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary



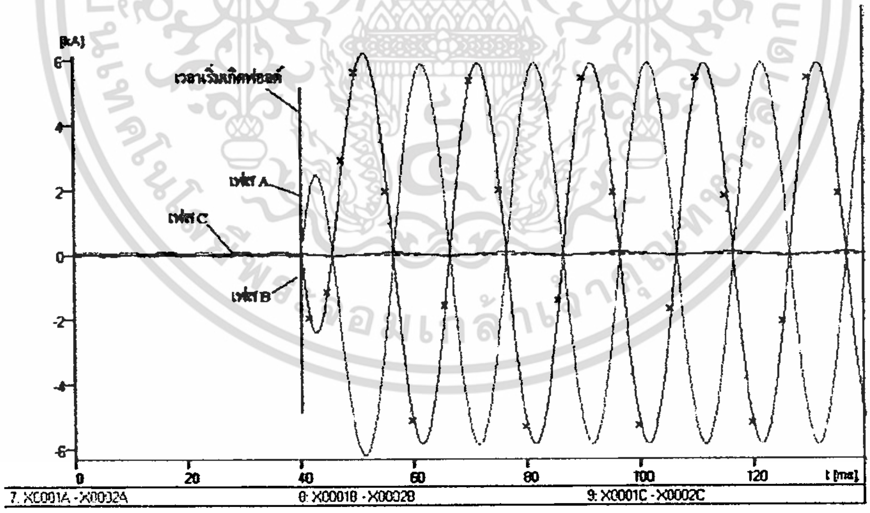
รูปที่ 5.105 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.1.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary



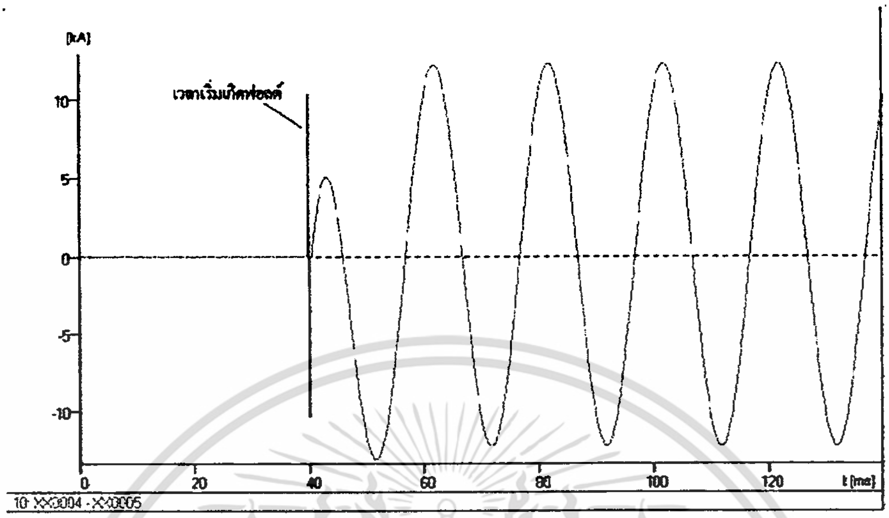
รูปที่ 5.82 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary



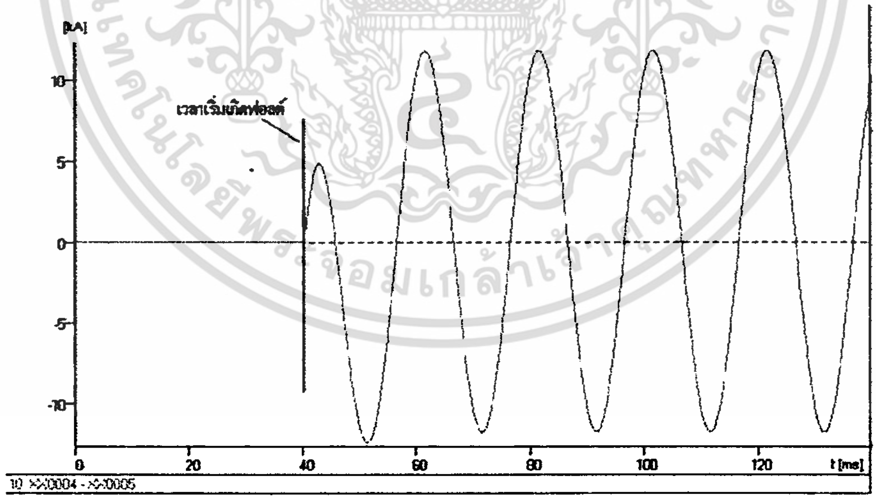
รูปที่ 5.106 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.1.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสของหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary



รูปที่ 5.83 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary

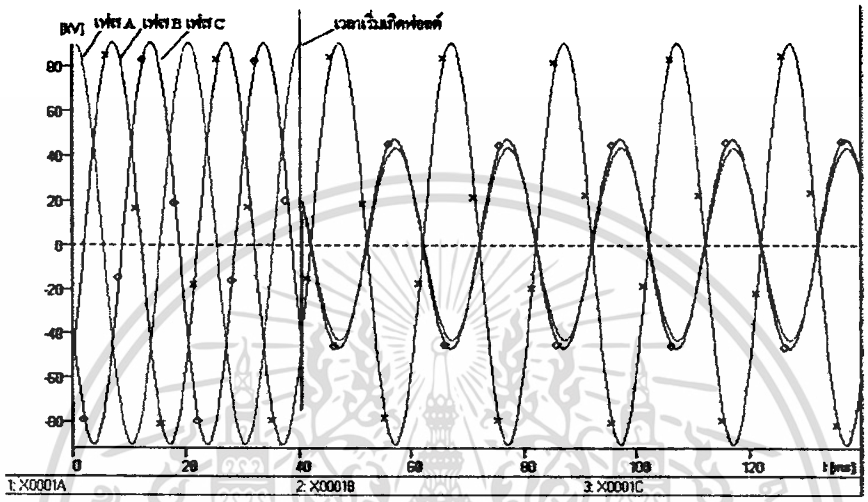


รูปที่ 5.107 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน primary

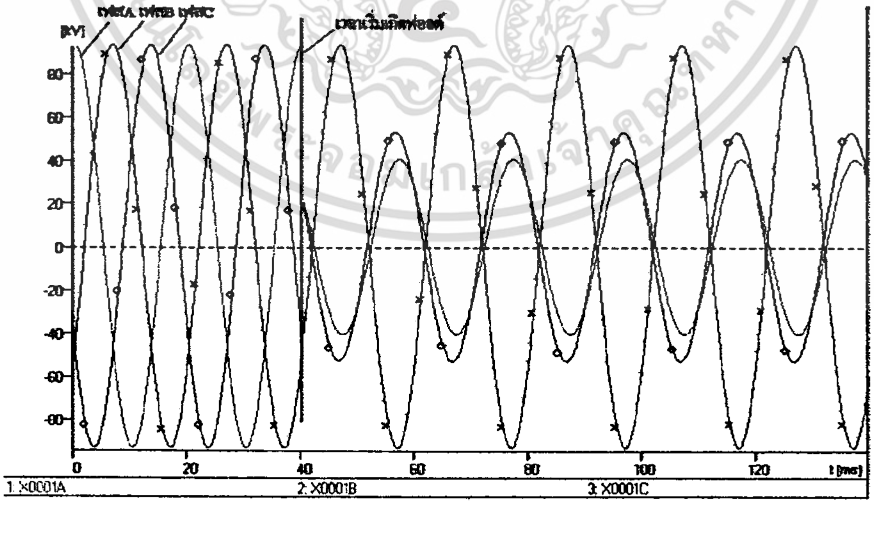
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.2 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

5.6.2.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary



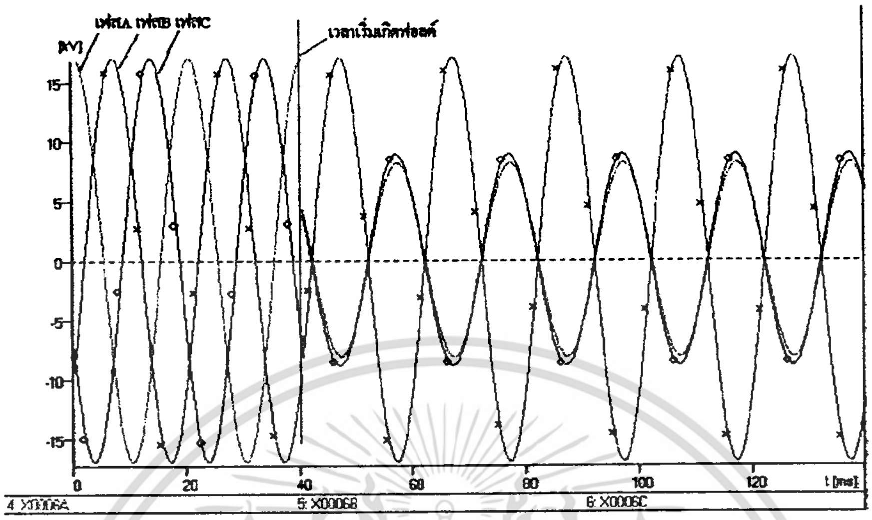
รูปที่ 5.84 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary



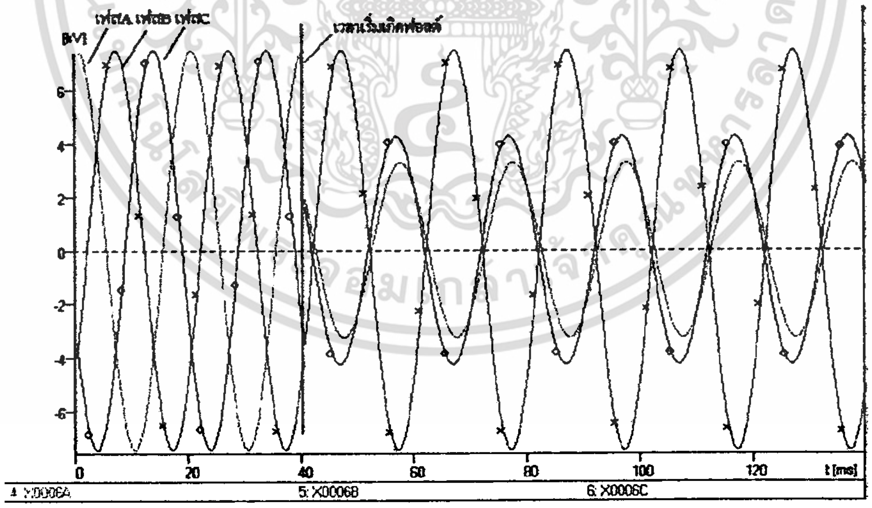
รูปที่ 5.108 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.2.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary



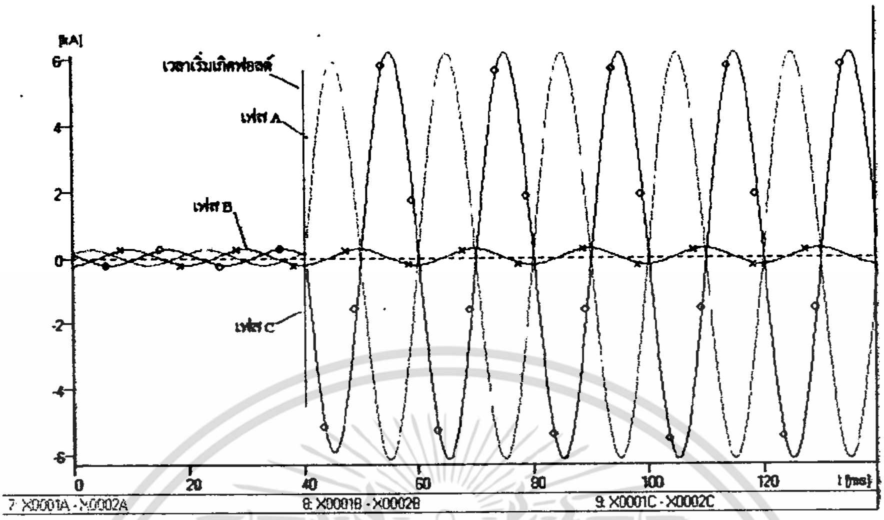
รูปที่ 5.85 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary



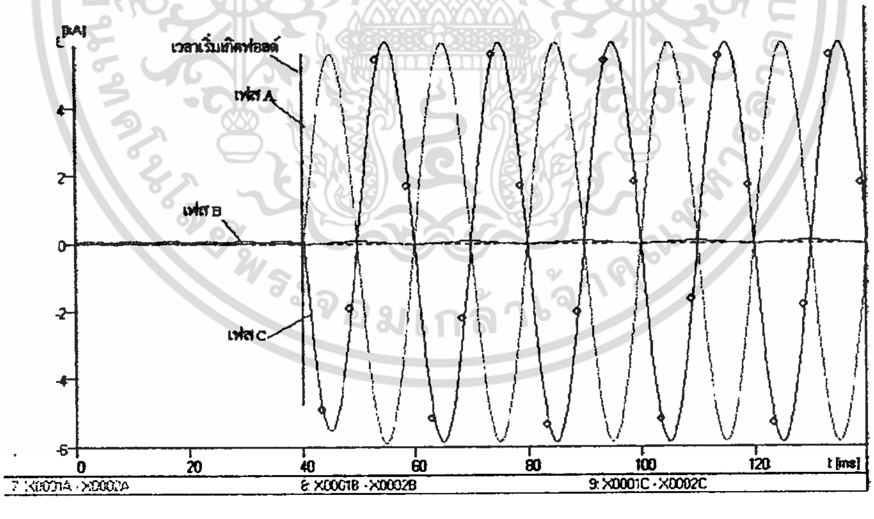
รูปที่ 5.109 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.2.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary



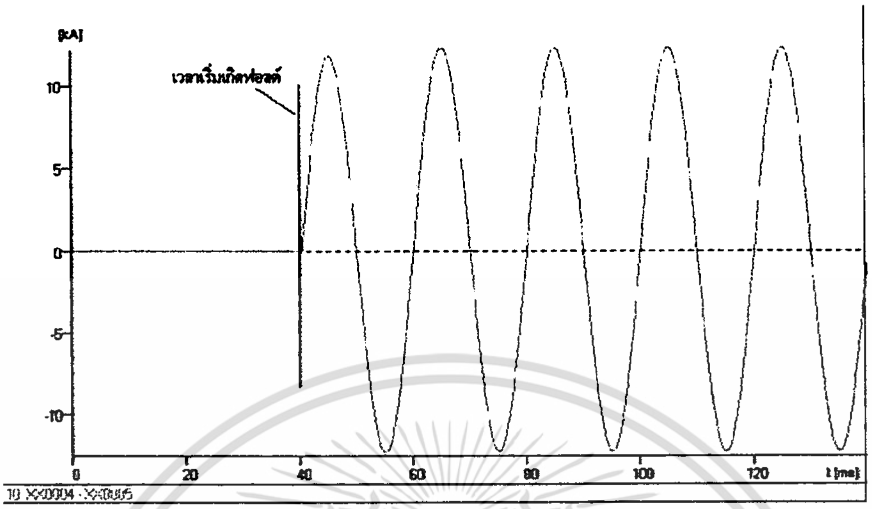
รูปที่ 5.86 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary



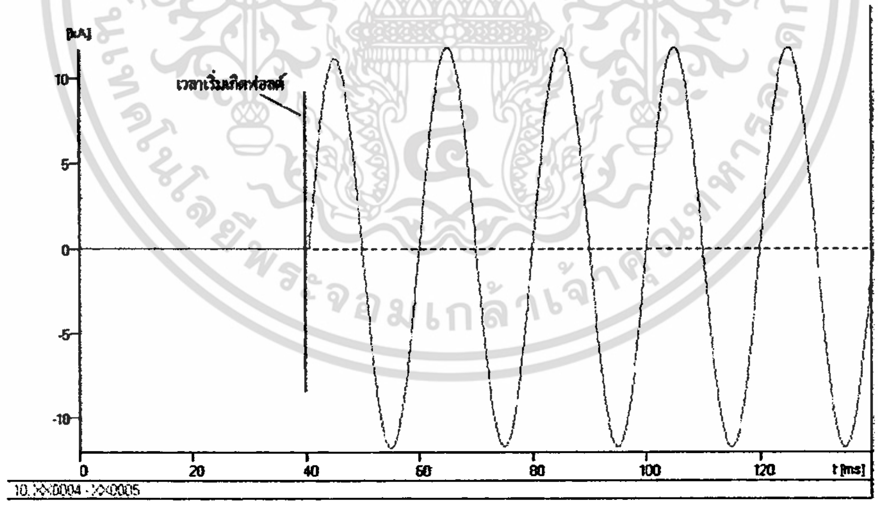
รูปที่ 5.110 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.2.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสของหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary



รูปที่ 5.87 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

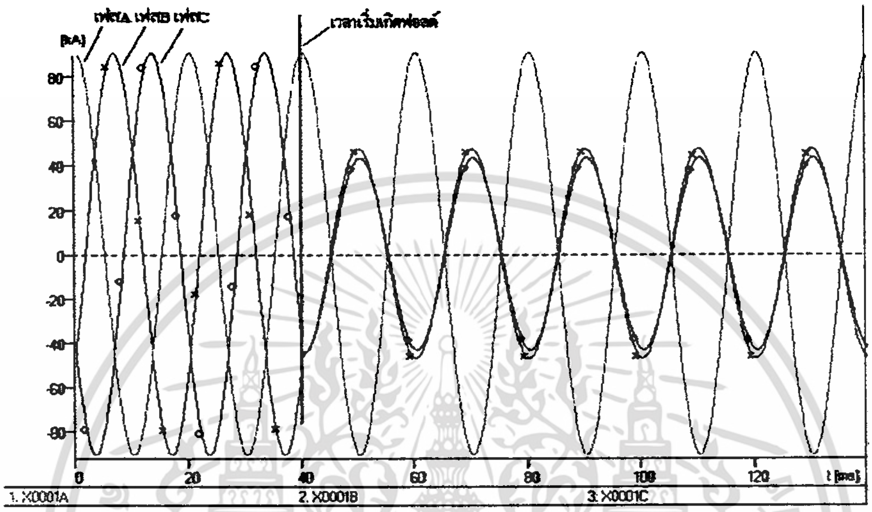


รูปที่ 5.111 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน primary

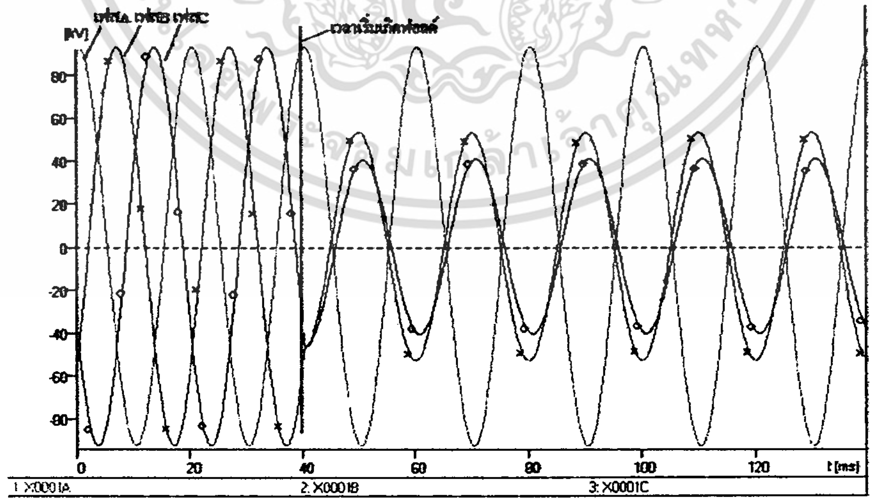
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.3 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

5.6.3.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary



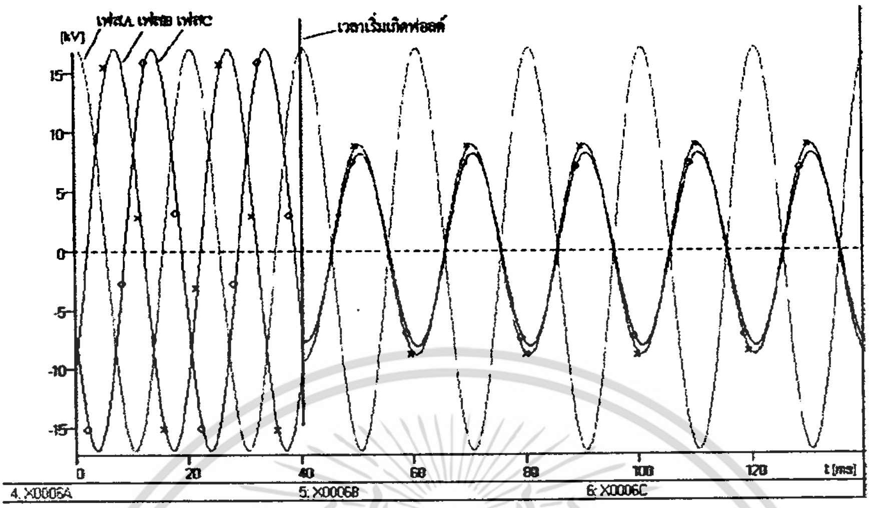
รูปที่ 5.88 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary



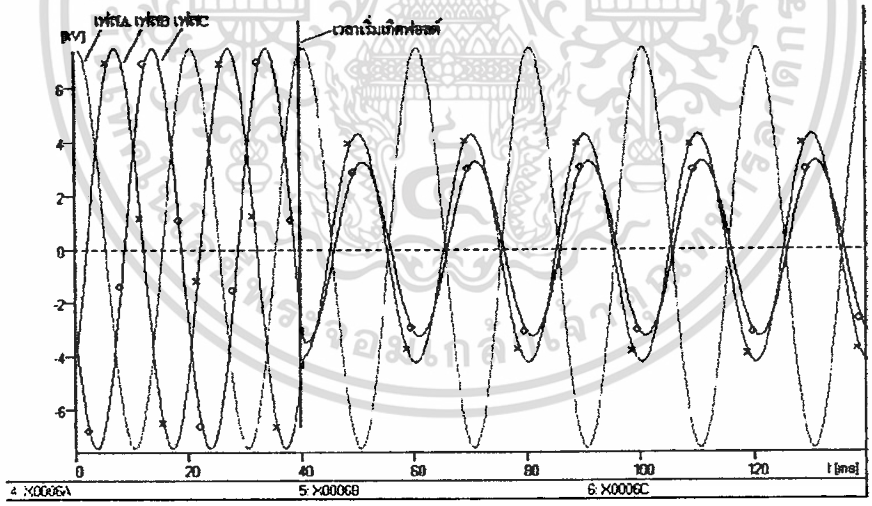
รูปที่ 5.112 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.3.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary



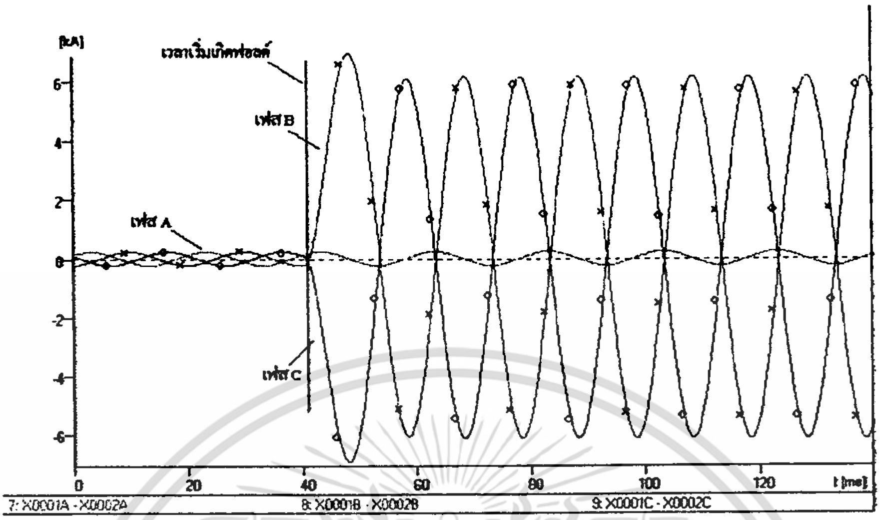
รูปที่ 5.89 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary



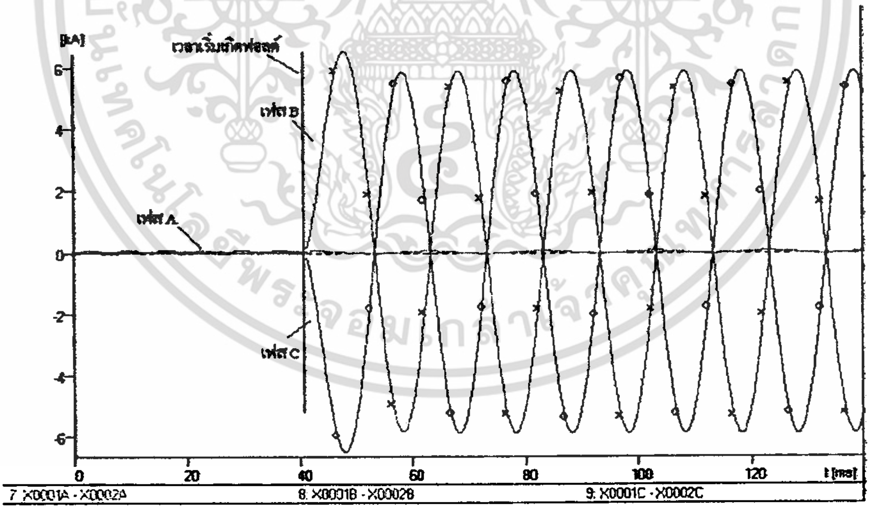
รูปที่ 5.113 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.3.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary



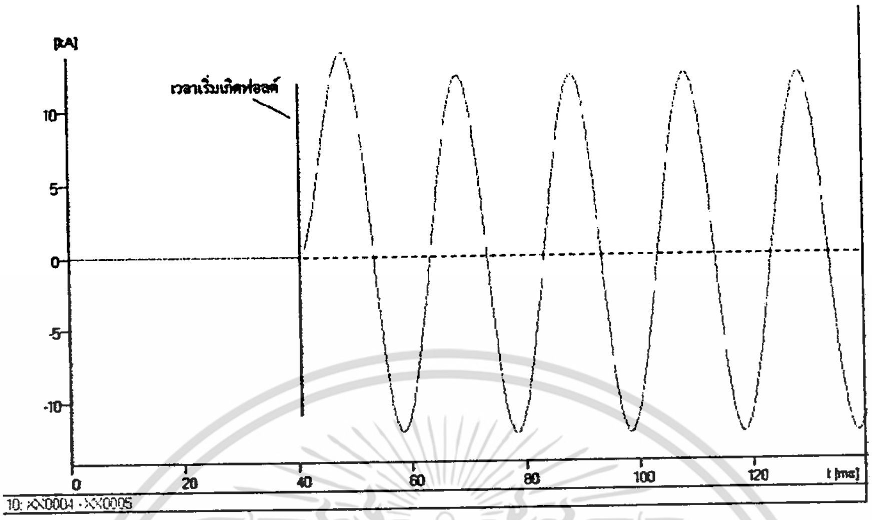
รูปที่ 5.90 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary



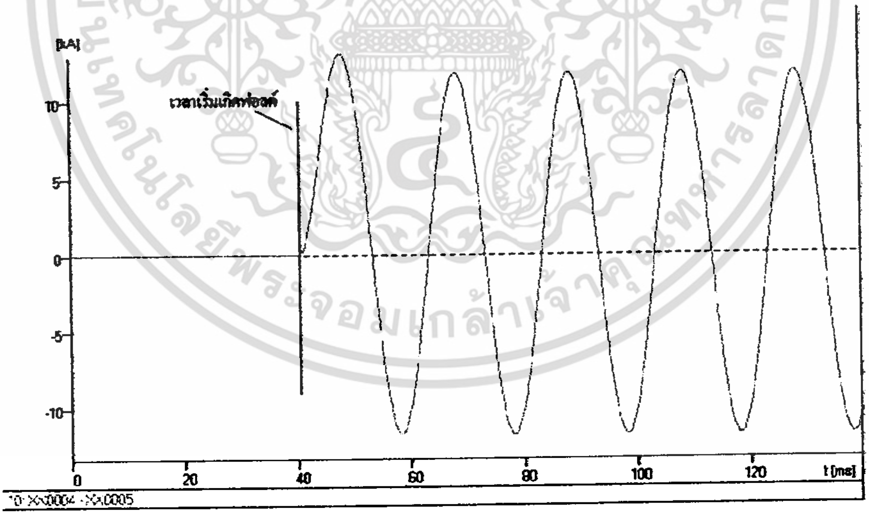
รูปที่ 5.114 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.3.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสของหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary



รูปที่ 5.91 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

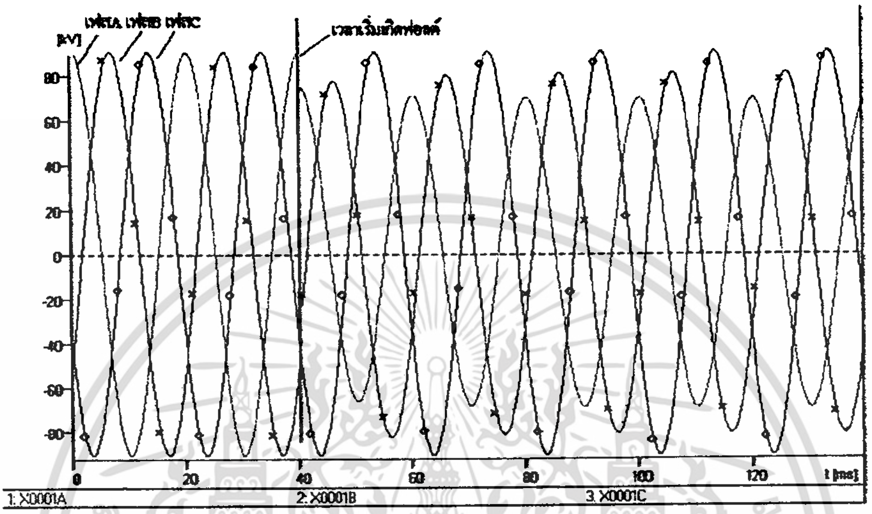


รูปที่ 5.115 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน primary

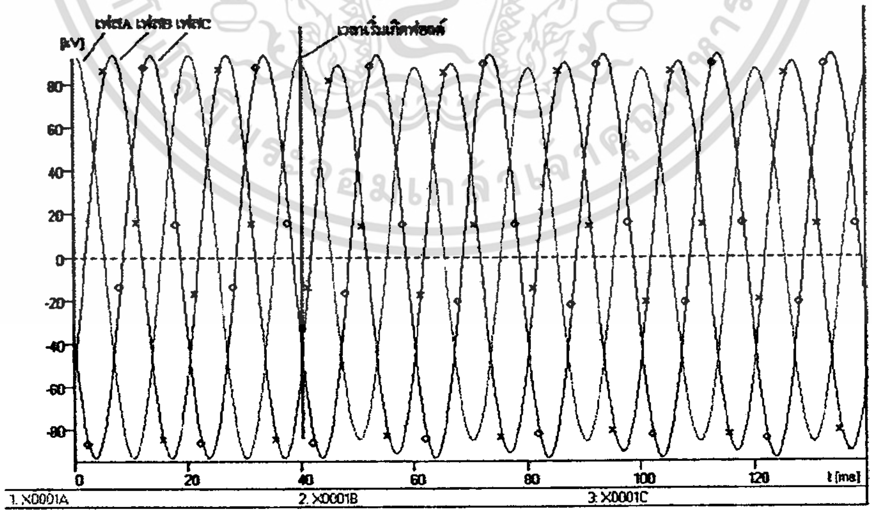
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

5.6.4.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary



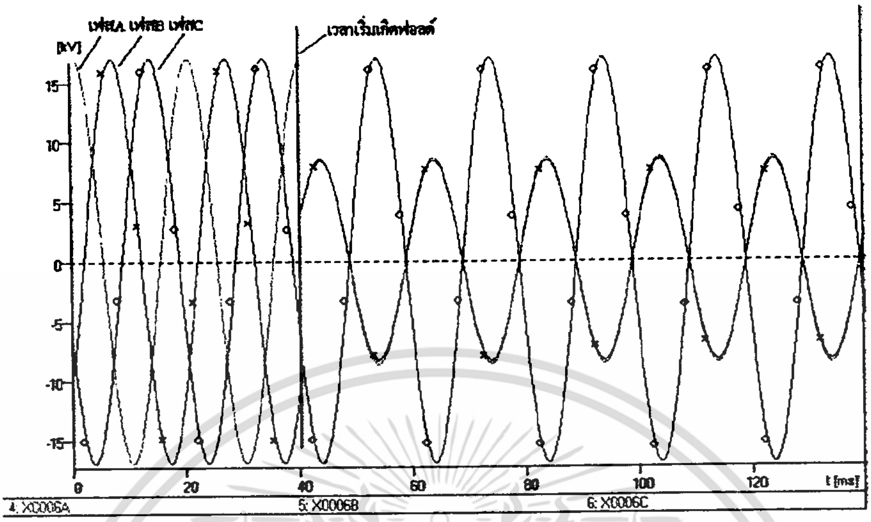
รูปที่ 5.92 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary



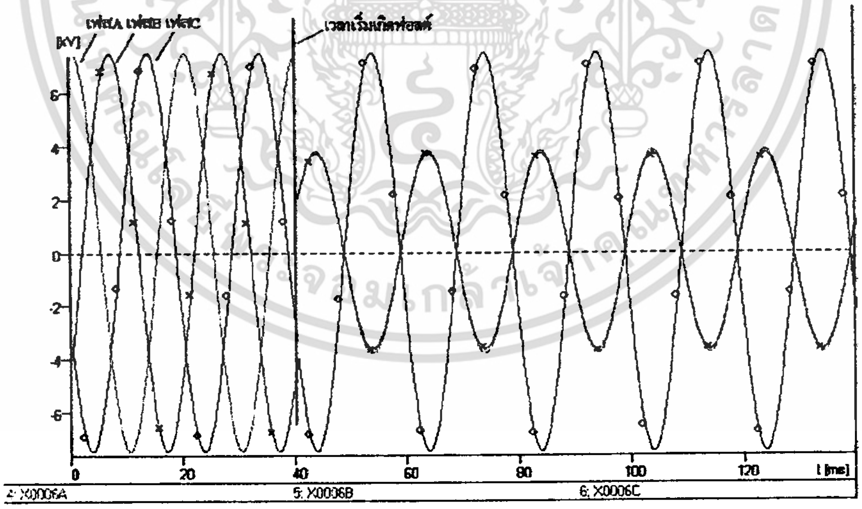
รูปที่ 5.116 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.4.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary



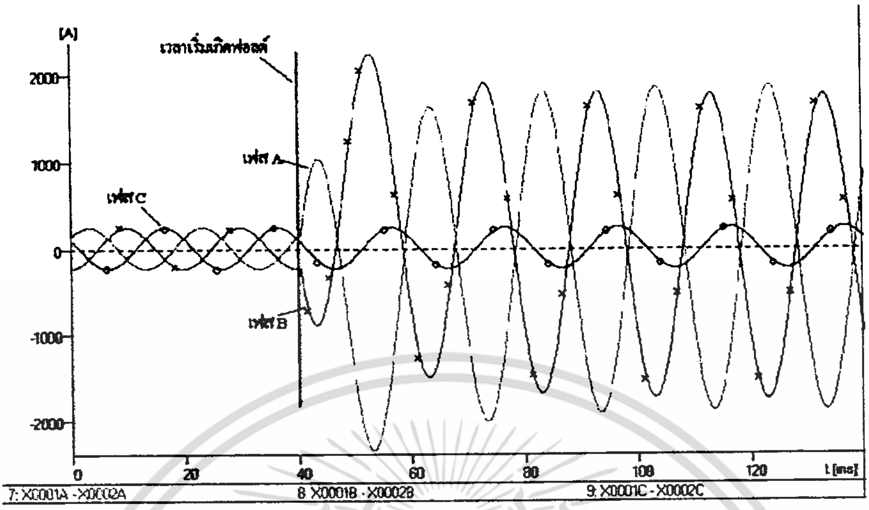
รูปที่ 5.93 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary



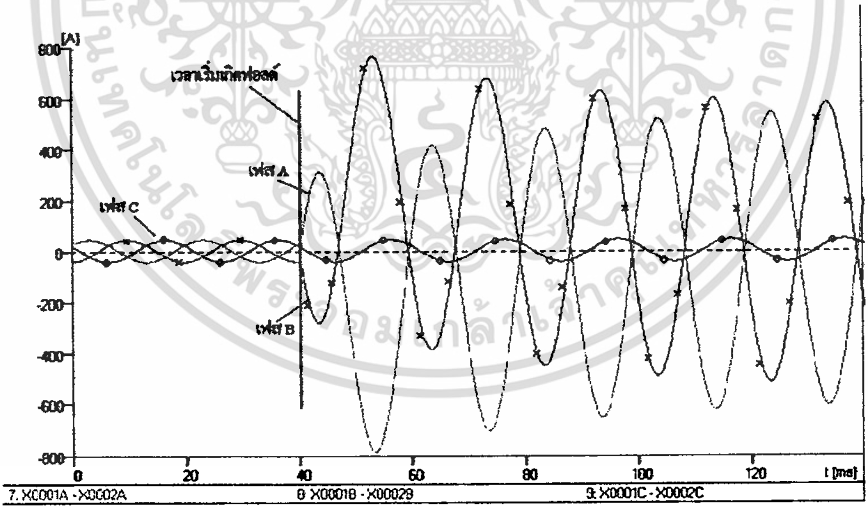
รูปที่ 5.117 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.4.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary



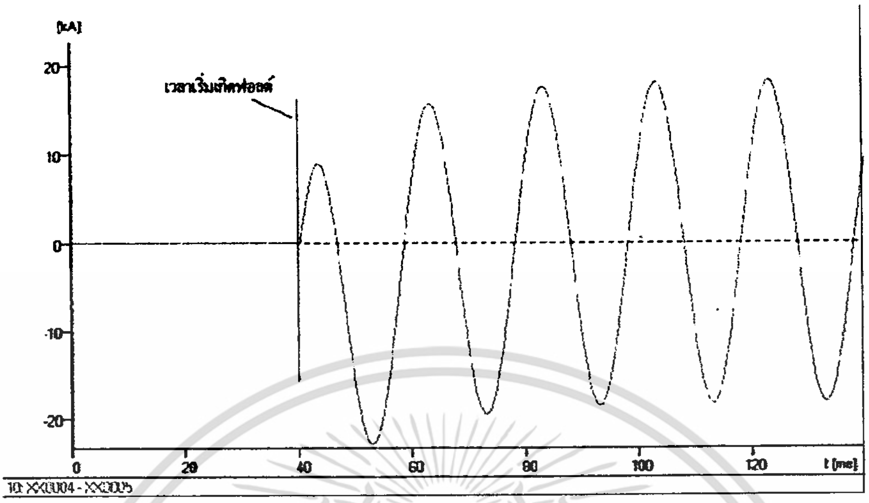
รูปที่ 5.94 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary



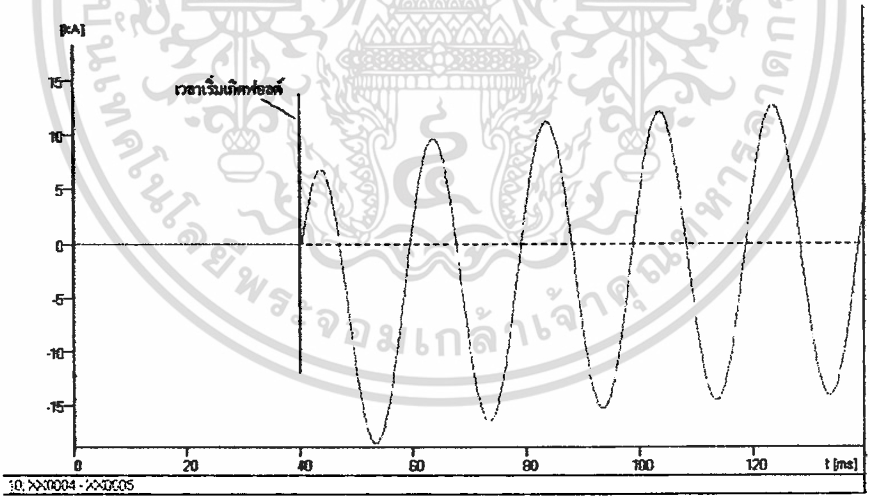
รูปที่ 5.118 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.4.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสของหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจร ระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary



รูปที่ 5.95 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจร ระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

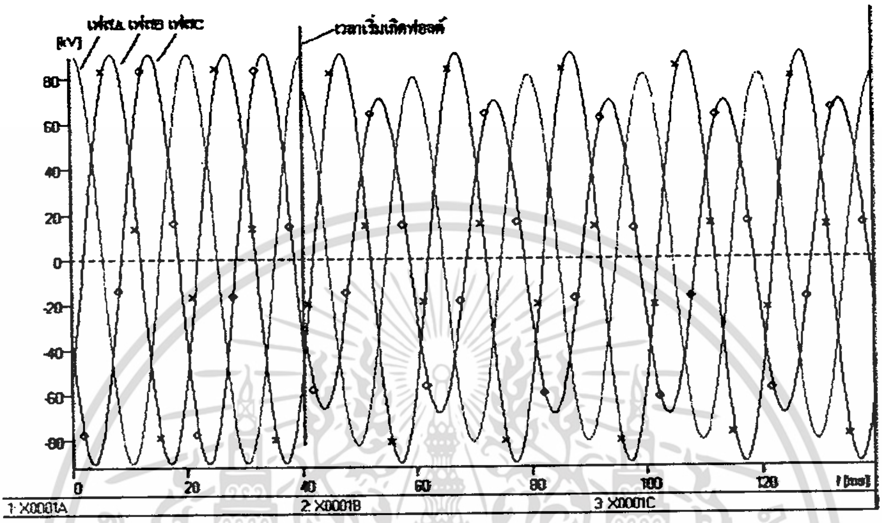


รูปที่ 5.119 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ B ทางด้าน secondary

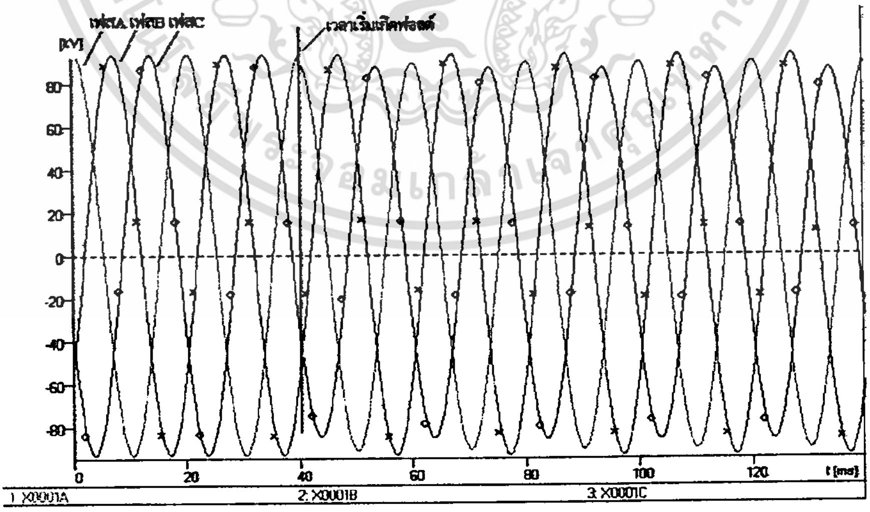
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.5 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

5.6.5.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary



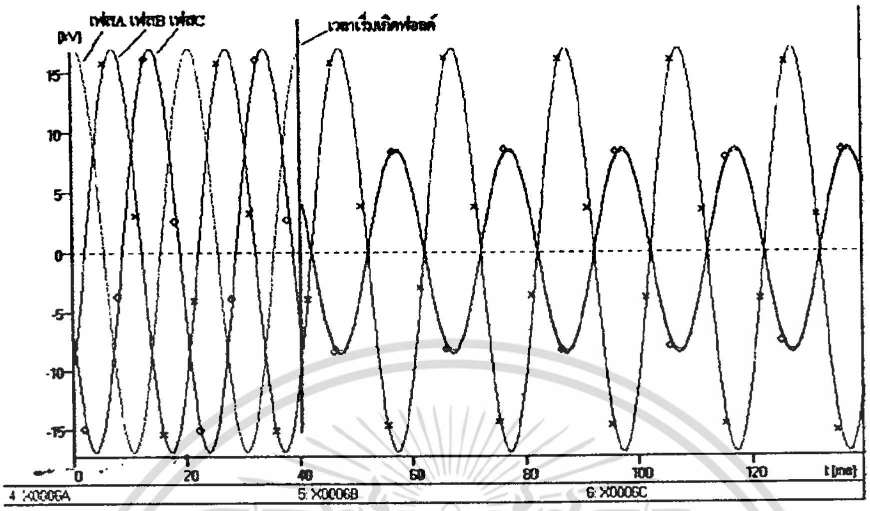
รูปที่ 5.96 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary



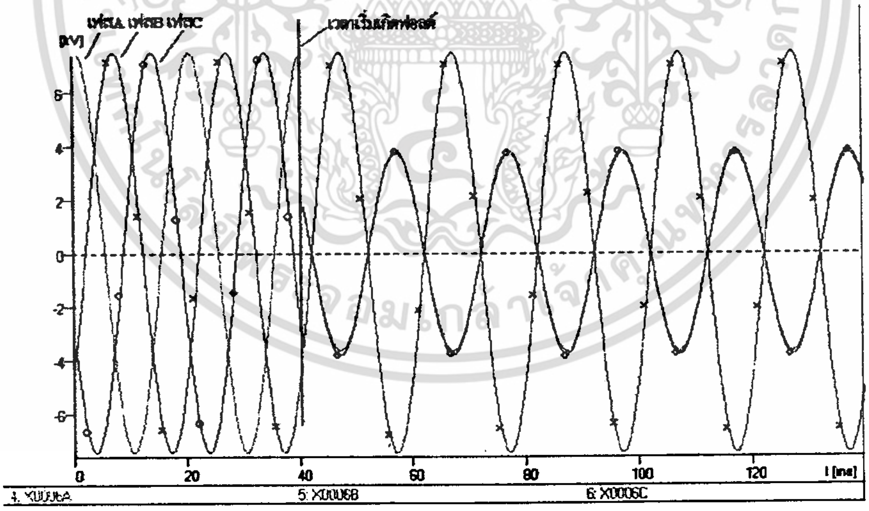
รูปที่ 5.120 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.5.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary



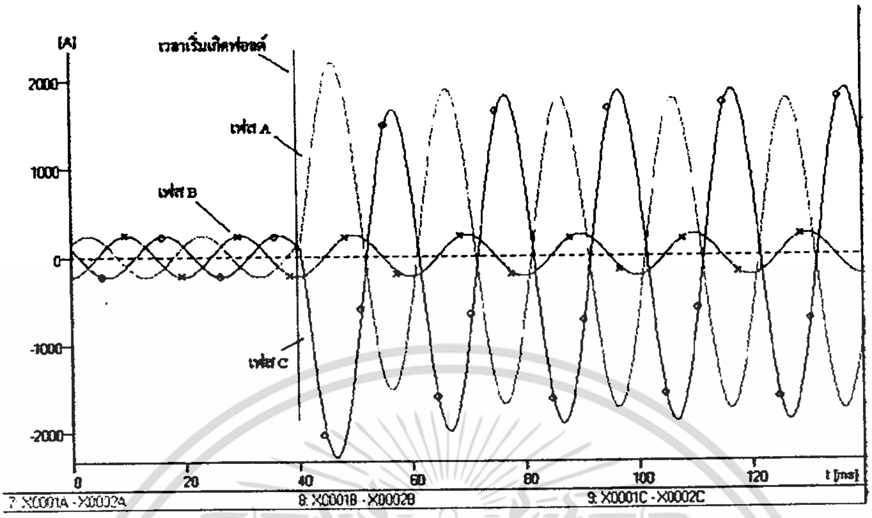
รูปที่ 5.97 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary



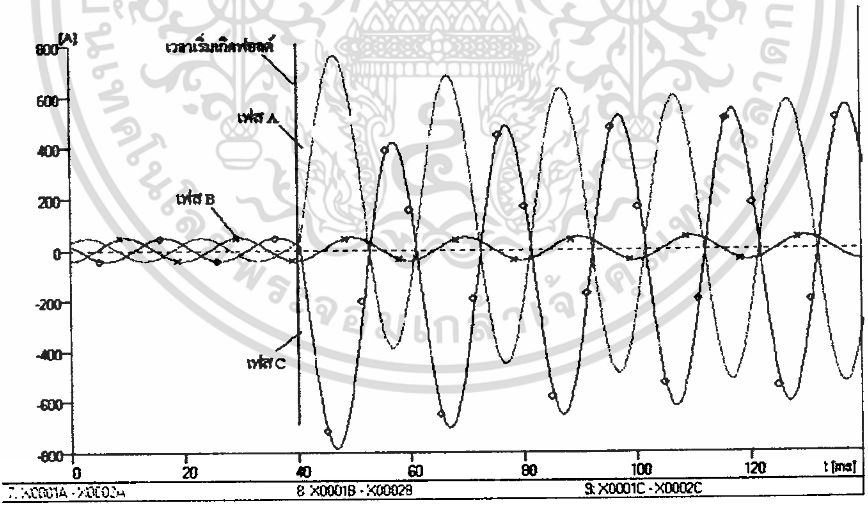
รูปที่ 5.121 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.5.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary



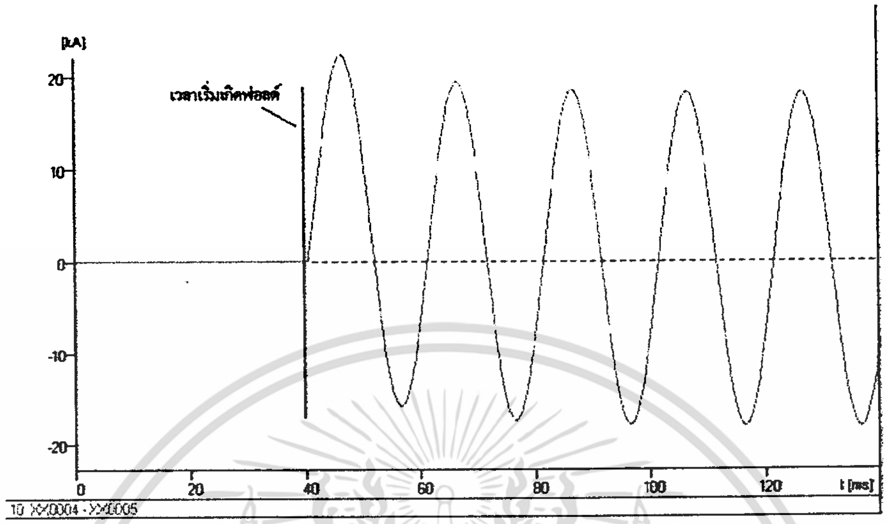
รูปที่ 5.98 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary



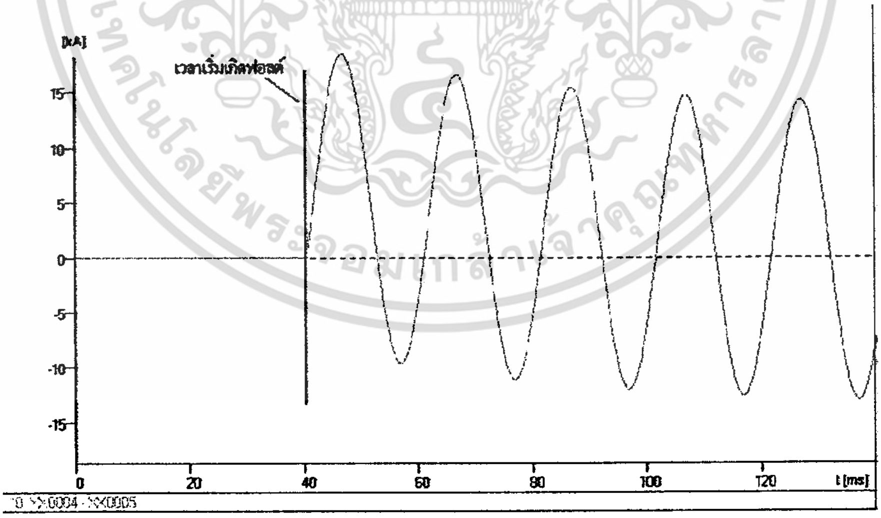
รูปที่ 5.122 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.5.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสของหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary



รูปที่ 5.99 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

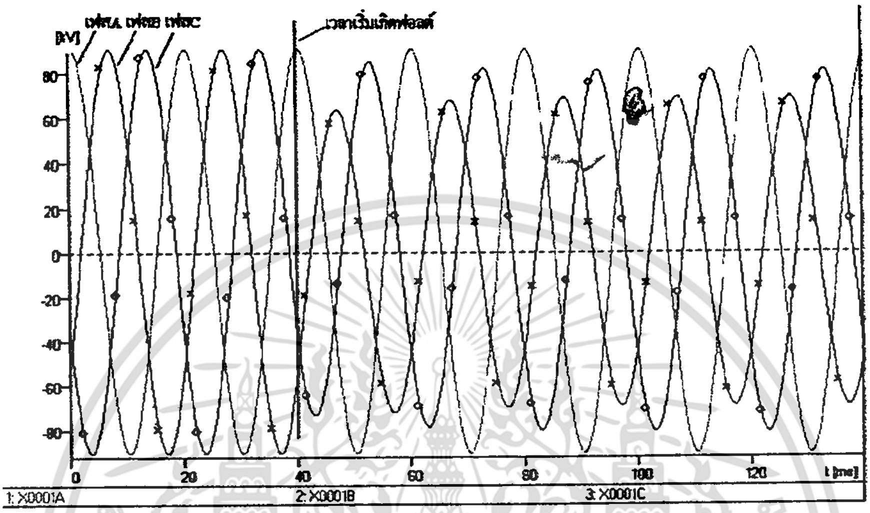


รูปที่ 5.123 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส A กับ C ทางด้าน secondary

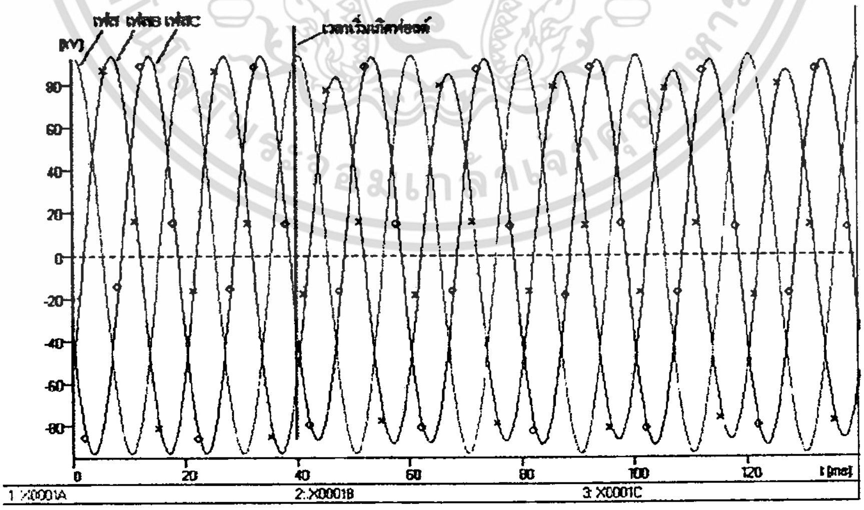
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.6 การเปรียบเทียบผลการทดสอบขณะขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

5.6.6.1 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary



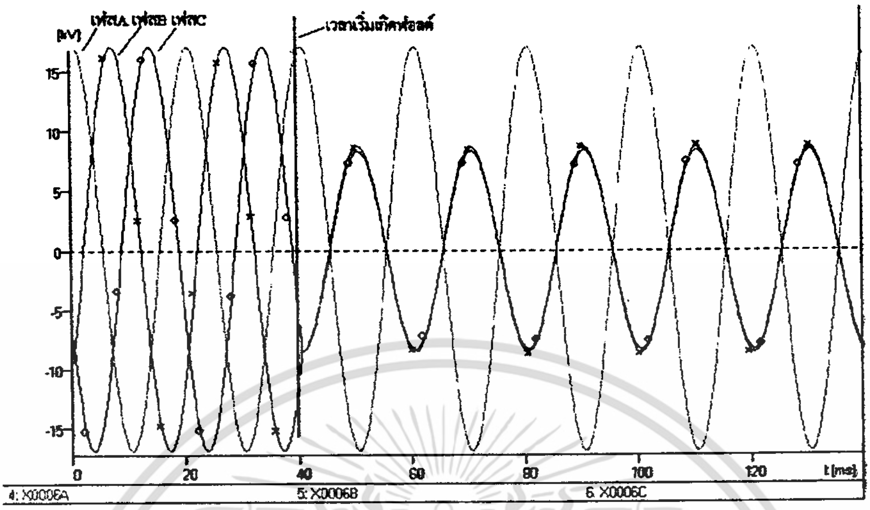
รูปที่ 5.100 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary



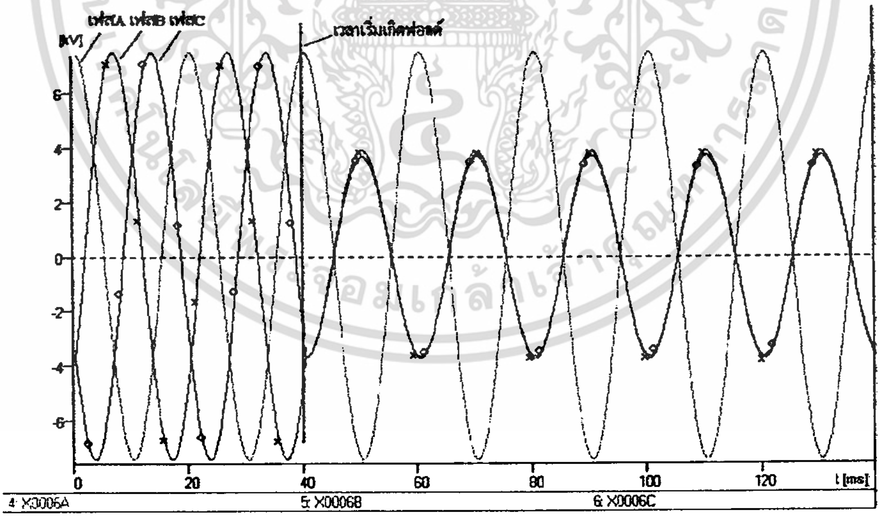
รูปที่ 5.124 สัญญาณแรงดันทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.6.2 การเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary



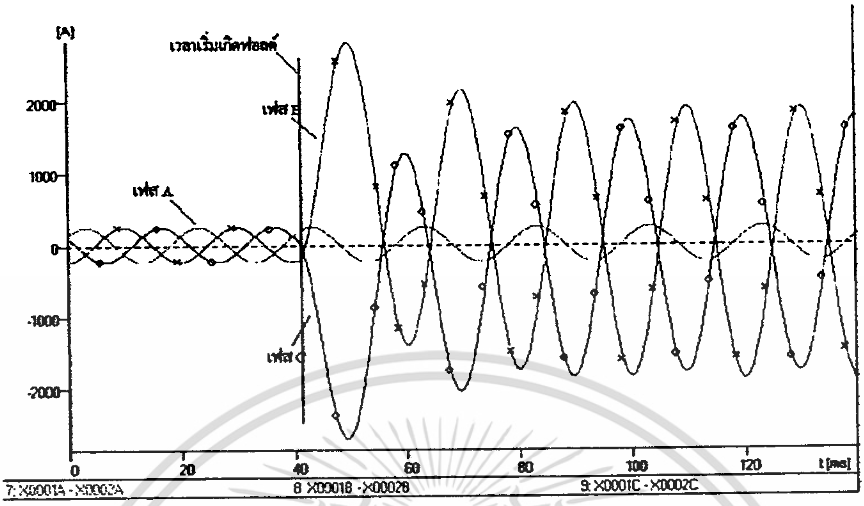
รูปที่ 5.101 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary



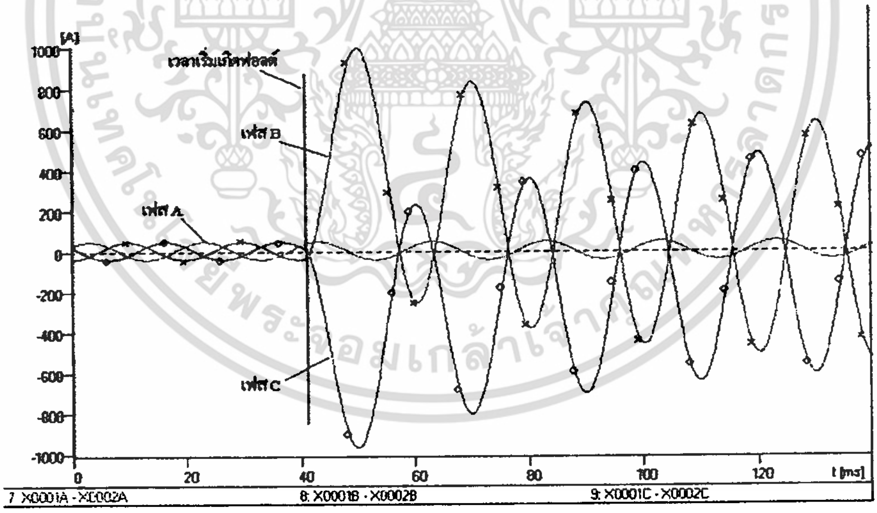
รูปที่ 5.125 สัญญาณแรงดันทางด้าน secondary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.6.3 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสทางด้าน primary เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary



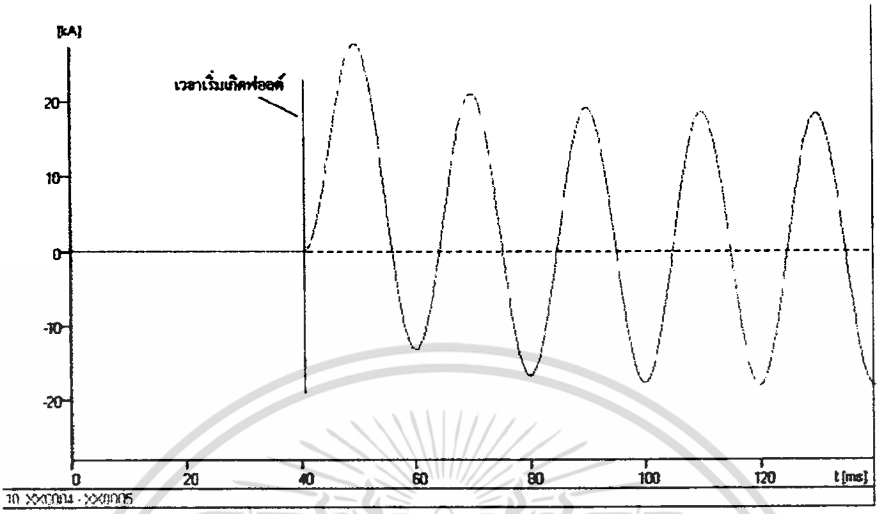
รูปที่ 5.102 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary



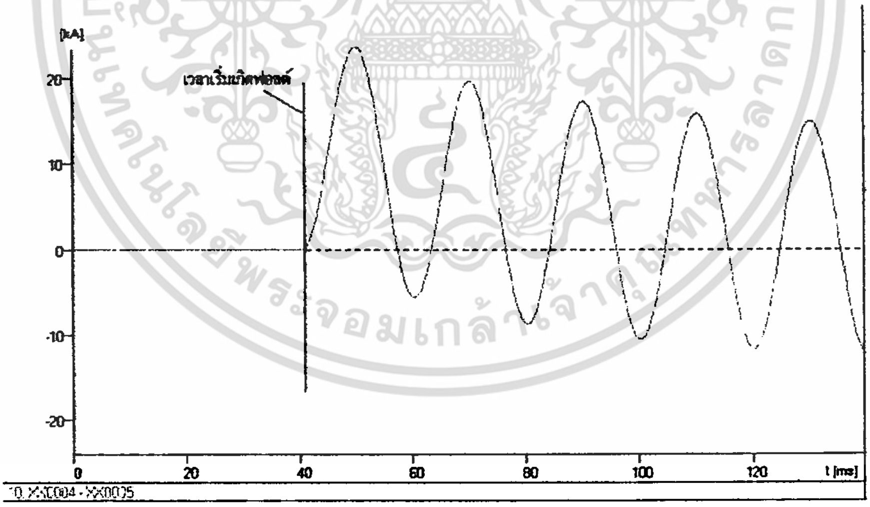
รูปที่ 5.126 สัญญาณกระแสทางด้าน primary ของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.6.4 การเปรียบเทียบสัญญาณกระแสของหม้อแปลงเมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary



รูปที่ 5.103 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 50 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary



รูปที่ 5.127 สัญญาณกระแสของหม้อแปลงขนาด 35 MVA เมื่อเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส B กับ C ทางด้าน secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดสอบ

จากการจำลองฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสแบบ YNyn0 ที่มีขนาดพิกัด 50 MVA, 115/23 kV และขนาด 35 MVA, 132/11.05 kV ด้วยโปรแกรม ATP/EMTP ในกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด และกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟสที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. จากผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลในกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน สามารถแสดงให้เห็นถึงว่าขณะลัดวงจร จะส่งผลให้แรงดันของเฟสที่ลัดวงจรมีขนาดต่ำกว่าแรงดันที่พิกัดและแรงดันในเฟสอื่นๆ และกระแสของเฟสที่ลัดวงจรจะมีขนาดสูงกว่ากระแสของเฟสอื่น ๆ อีกทั้งกระแสที่ลัดวงจรลงดินจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของขดลวดที่ลัดวงจร

2. จากผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลในกรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด จะมีลักษณะสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันเหมือนกับกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน คือ ขณะลัดวงจรจะส่งผลให้แรงดันของเฟสที่ลัดวงจรมีขนาดต่ำกว่าแรงดันที่พิกัดและแรงดันในเฟสอื่นๆ และกระแสของเฟสที่ลัดวงจรจะมีขนาดสูงกว่ากระแสของเฟสอื่นๆ อีกทั้งกระแสที่เกิดการลัดวงจรจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบของขดลวดที่ลัดวงจร

3. จากผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลในกรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรระหว่างเฟส สามารถแสดงให้เห็นว่าขณะลัดวงจรจะส่งผลให้แรงดันของเฟส 2 เฟสที่ลัดวงจรกันมีขนาดต่ำกว่าแรงดันที่พิกัดและแรงดันของอีกเฟสที่เหลือ และกระแสของเฟส 2 เฟสที่ลัดวงจรกันนี้จะมีขนาดสูงกว่ากระแสของเฟสที่เหลืออีกด้วย

4. การออกแบบวงจรและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ จะมีผลต่อผลการทดสอบที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นจะต้องเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม

5. ผลของการทดสอบฟอลต์ของหม้อแปลงทั้ง 2 ขนาด คือ 50 MVA และขนาด 35 MVA มีลักษณะเป็นไปในทางเดียวกัน ซึ่งสามารถแสดงถึงความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้นได้

6. ในการใช้งานของหม้อแปลงในระบบไฟฟ้าอาจมีการผิดพลาดของดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ที่ใช้ป้องกันหม้อแปลงเนื่องจากกระแสอินรัชซึ่งเป็นกระแสที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดของสนามแม่เหล็กภายในหม้อแปลง และมักจะเกิดขึ้นในช่วงเริ่มจ่ายไฟให้กับหม้อแปลง ซึ่งสภาวะดังกล่าวถือว่าไม่ใช่ฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลง ถ้าหากใช้รีเลย์ที่ใช้หลักการของ Percentage Differential Current รีเลย์จะมองเห็นว่าเกิดฟอลต์ภายในขึ้นเนื่องมาจากมีกระแสผลต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของทางด้าน primary และ secondary เกิดขึ้น และในบางครั้งกระแสอินรัชที่เกิดขึ้นอาจมีส่วนประกอบของฮาร์มอนิกอันดับที่ 2 อยู่ด้วย ซึ่งอาจเป็นผลให้รีเลย์ที่ใช้หลักการหน่วงการสั่งปลดวงจรเนื่องมาจากกระแสอินรัชที่ใช้หลักการของ Harmonic Restraint ทำงานผิดพลาด [12] ดังนั้นผลที่ได้จากการจำลองฟอลต์ที่ขดลวดของหม้อแปลงในกรณีต่างๆ ดังที่ได้กล่าวในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถนำค่ากระแสที่แตกต่างจากค่ากระแสทางด้าน primary และ ทางด้าน secondary ขณะก่อนและหลังเกิดฟอลต์ไปใช้เป็นข้อมูลในการเซตดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์เพื่อป้องกันหม้อแปลงในสภาวะดังกล่าวได้

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

การจำลองฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นการจำลองสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดันด้วยแบบจำลองที่ออกแบบขึ้นเพื่อจำลองฟอลต์ในกรณีต่างๆ ตามที่เสนอในบทที่ 4 เท่านั้น ซึ่งมิได้นำเสนอการจำลองร่วมกับระบบของสถานีไฟฟ้า ซึ่งในการพัฒนาต่อไปควรจะมีการจำลองร่วมกับระบบของสถานีไฟฟ้าและควรจะมีการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ที่ได้กับเวลาที่จะนำไปใช้ในการปลดหม้อแปลงออกจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ เนื่องจากจะทำให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังจะเป็นแนวทางในการพัฒนาการออกแบบระบบป้องกันของหม้อแปลงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และเนื่องจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีเพียงการเปรียบเทียบกันเฉพาะหม้อแปลงแบบ YNyn0 ดังนั้นการจำลองผลของฟอลต์ที่จะสามารถพัฒนาต่อไปควรที่จะมีการเปรียบเทียบข้อแตกต่างของหม้อแปลงที่มีเวกเตอร์กรุ๊ปแบบอื่นๆ และควรจะมีการจำลองสภาวะฟอลต์ในกรณี simultaneous อีกด้วย ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นและจะทำให้เห็นข้อแตกต่างที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] บุญเลิศ สื่อเฉย. "การพัฒนาซอฟแวร์สำหรับออกแบบหม้อแปลงจำหน่ายแบบจุ่มในน้ำ มัน." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.

[2] Christopoulos C. **Electrical Power System Protection.** 2nd Ed. Dordrecht : Kluwer Academic. 1999.

[3] สันติ อัศวศรีพงศ์ธร. รีเลย์ป้องกันกับการป้องกันระบบกำลัง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สมาคมศูนย์วิชาการไทย-ออสเตรเลีย. 2526.

[4] รายงานผลการทดสอบหม้อแปลง (Test Report) จากบริษัทเอบีบีจำกัด Serial No. 56039.

[5] Can/Am EMTP Users Group. **Alernative Transient Program (ATP) Rule Book.** Portland. 1997.

[6] H.W. Dommel. **EMTP Reference Manual (EMTP Theory Book)** BPA, 1986.

[7] L. Prikler and Hans Kr. Hoidalen. **ATPDraw for Windows 3.1x/95.NT version 1.0 User's Manual.** Norway : SINTEF Energy Research, Trondheim. 1998.

[8] A. Narang and R.H. Brierley. "Topology based magnetic model for steady-state and transient studies for three phase core type transformers." IEEE Trans. On Power systems, Vol. 9, No. 3, 1994. pp. 1337-1349

[9] P. Bastard, P. Bertrand and M. Meunier, "A Transformer model for winding fault studies." IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 9, No. 2, April 1994. pp. 690-699

[10] ณัฐพงษ์ อุทุมทอง, ทีปกร บัญญัติินพรัตน์, พิชิต บุญหล่อ. "การศึกษาสวิตชิ่งทรานเซียนท์เนื่องจากตัวเก็บประจุในระบบไฟฟ้า." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.

[11] จิตรี อินทร์พยุง, มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์, บุญเลิศ สื่อเฉย, ปัญญา มาลีวัตรและสิริวิช ทัดสวน. "การวิเคราะห์ฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม ATP/EMTP." วิศวสารลาดกระบัง. ปีที่ 20, ฉบับที่ 1, มีนาคม 2546. หน้า 67-72.

[12] อภิสิทธิ์ เอกชีวานนท์. "วิธีลดการทำงานผิดพลาดของ DIFFERENTIAL PROTECTION RELAY สำหรับหม้อแปลงขนาดใหญ่โดยใช้หลักการของ NEURAL-FUZZY SYSTEM." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

ISSN 0125-1724 วิศวสาร ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 มีนาคม 2546

1. วงจรความต้านทานแบบลอยตัวที่ควบคุมด้วยกระแสใช้มอสทรานซิสเตอร์ 1
สมนึก หัววหาญ กอบชัย เดชหาญ ไชโย ธรรมรัตน์

2. วงจรยกกำลังที่ใช้วงจรสายพานกระแสควบคุมด้วยกระแส 7
วิจิตรา เพ็ชรกิจ สิทธิพร เพ็ชรกิจ วิวัฒน์ กีรานนท์

3. วงจรนัลเลอร์สี่ขั้วแบบลอยตัวโดยใช้วงจรทรานสลิเนียร์แบบมอสเฟทและการประยุกต์ 13
ภัทรา เพียรชอบ อมร จิรเสรีอมรกุล วัลลภ สุระกำพลธร

4. การศึกษาเปรียบเทียบวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ในโหมดการนำกระแสแบบต่อเนื่อง (CCM) และแบบไม่ต่อเนื่อง (DCM) 19
ศุภชัย หอวิมานพร ชนินทร์ บุญลักษณานุสรณ์

5. เอทีเอ็มสวิทช์ที่มีบัฟเฟอร์ทางด้านขาเข้าซึ่งมีนโยบายการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลภายใต้ทราฟฟิกแบบคล้ายคลึงตัวเอง 25
ปิติพงษ์ ประภามณฑล สุวิพล สิทธิชีวภาค เกรียงไกร วงศ์โรจน์ภรณ์

6. การจัดเส้นทางของโครงข่ายโทรศัพท์ให้ดีที่สุดโดยวิธีฮอปฟิลด์เน็ต 31
ฉัตรชัย วัฒนพันธุ์ มนูญ สุขเกษม ถวิล พึ่งมา

7. การปรับปรุงคุณภาพของแต่ละคลาสที่ได้จากตัวจำแนกความเหมือนสูงสุด 37
สมบัติ อิสระวาณิชย์ ฟูศักดิ์ ชีวสุวิทย์

8. การแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพสองระดับโดยใช้วิธีของเอนโทรปีด้วยบอร์ดสตาร์ทเตอร์คิท TMS 320C31 43
เพชร ใจหาญ ฟูศักดิ์ ชีวสุวิทย์

9. การแปลงเวฟเล็ตและโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับแบ่งประเภทฟอลต์ในสายส่ง 49
อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล ศุลี บรรจงจิตร สมชาติ จิริวิภากร สุธีวัฒน์ มงนุช

10. การระบุตำแหน่งฟอลต์ในสายส่งโดยใช้การแปลงเวฟเล็ตและโครงข่ายประสาทเทียม 55
อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล ศุลี บรรจงจิตร สมชาติ จิริวิภากร อัครัช บรรจงศิลป์

11. การหาฟอลต์ในสถานีไฟฟ้าแรงสูงหนองจอกโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม 61
พุฒิชจร บุญสี มารุต ตันติเดชามงคล สมชาติ จิริวิภากร นิทัศน์ กฤษณจินดา

12. การวิเคราะห์ฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสโดยใช้โปรแกรม ATP/EMTP 67
จิตรี อินทร์พยุง มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ บุญเลิศ สื่อเฉย ปัญญา มาลีวัตร สิริวิช ทัดสวน

13. การวิเคราะห์ผลการออกแบบหม้อแปลงจำหน่ายเชิงเศรษฐศาสตร์ 73
บุญเลิศ สื่อเฉย ปัญญา มาลีวัตร สมศักดิ์ สิริโปราณานนท์ ศุลี บรรจงจิตร

14. การออกแบบราคาที่เหมาะสมของหม้อแปลงจำหน่ายโดยใช้จีเนติกอัลกอริธึม 79
ชวรัตน์ เก่งธรรมกิจ ต่อพงศ์ ภูมิภาค ชัยวุฒิ ฉัตรอุทัย

15. การออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรม 85
มารุต ตันติเดชามงคล สมชาติ จิริวิภากร

16. การป้องกันโหลดเกินในระบบไฟฟ้ากำลังโดยวิธีการปรับตารางการป้อนแหล่งจ่ายและไลน์สวิทช์ชิ่ง 91
สิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

17. การวิเคราะห์และจำลองพฤติกรรมของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน 97
นิติพงษ์ สมไชยวงศ์ ประภาษ อุดคกิมาพันธุ์

18. Semantic Query for Content-Based Image Retrieval Using Genetic Algorithm 103
Cattleya Duanggate Orachat Chitsobhuk Suphamit Chittayasothorn

19. Robust Inverse Response Compensator 109
Pratch Tontirittiphol Mongkol Janchookiat Kiattisak Kumwachara

20. อิทธิพลของตำแหน่งการฉีดอากาศทุติยภูมิต่ออุณหภูมิการเผาไหม้ในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบอากาศหมุนวน 115
นิยม ศรีศิริสิทธิกุล พงษ์เจต พรหมวงศ์ ภูรินทร์ อัครกุลธร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสโดยใช้โปรแกรม ATP/EMTP

Fault Analysis in Three-Phase Transformer Windings Using ATP/EMTP

จิตรี อินทร์พยุง มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ บุญเลิศ สื่อเฉย* ปัญญา มาลีวัตร* สิริวิช ทัดสวน**

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

*สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

**สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีธนบุรี

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์พฤติกรรมของการเกิดฟอลต์ที่ขดลวดภายในหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ขนาด 50 MVA , 115/23 kV , YNyn0 แบบขดลวดลัดวงจรลงดินและแบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด โดยทำการสร้างแบบจำลองเพื่อจำลองสภาวะฟอลต์ที่ขดลวดภายในหม้อแปลงดังกล่าวด้วยโปรแกรม ATP/EMTP (Alternative Transient Program / Electromagnetic Transient Program) ซึ่งผลของสัญญาณทั้งกระแสและแรงดันที่จำลองได้จากโปรแกรมนี้สามารถนำไปวิเคราะห์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบป้องกันร่วมกับดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์สำหรับการพิจารณาสั่งปลดวงจรที่เซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อปลดหม้อแปลงออกจากระบบเมื่อเกิดสภาวะฟอลต์ได้

Abstract

This paper proposes a simulation model of fault behaviour in windings of three-phase transformers, 50 MVA, 115/23 kV, and YNyn0. Two types of fault are investigated, the winding-to-ground and the winding-to-winding fault. Simulations are performed based on the ATP/EMTP software. Results in terms of current and voltage signals can be used as potential benefit in designing an efficient fault protection system with differential relays for switching off transformer breakers when the fault is detected.

1. บทนำ

เนื่องจากหม้อแปลงถือว่าเป็นอุปกรณ์สำคัญของระบบการจ่ายไฟฟ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานประกอบการที่มีการใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่เป็นจำนวนมาก เมื่อมีเหตุขัดข้องกับหม้อแปลงจนทำให้กระบวนการดำเนินงานหยุดชะงักจะก่อให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก จากความสำคัญของหม้อแปลงดังกล่าวในบทความนี้จึงได้นำเสนอการวิเคราะห์การลัดวงจรที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยมีการนำโปรแกรม ATP/EMTP [1] มาใช้ในการสร้างแบบจำลองเพื่อจำลองสภาวะฟอลต์ เนื่องจากโปรแกรมนี้สามารถให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจริงเมื่อเทียบกับโปรแกรมอื่น ๆ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับหม้อแปลงก่อนที่จะเกิดความเสียหายอย่างรุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจำลองสภาวะฟอลต์ด้วยโปรแกรม ATP/EMTP

ในการจำลองฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลงนี้ได้ใช้โปรแกรม ATP/EMTP สำหรับการจำลองสภาวะของหม้อแปลง และใช้ BCTRAN ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม ATPDraw สำหรับคำนวณค่าเมตริกซ์ของค่าความต้านทาน [R] และค่าความเหนี่ยวนำ [L] ที่อยู่ในรูปของ self inductance และ mutual inductance ซึ่งเมตริกซ์ดังกล่าวจะออกมาในรูปของวงจรเทียบเคียงที่มีค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำต่ออยู่ โดยมีขนาด 6x6 สำหรับหม้อแปลงชนิด 2 ขดลวด เมื่อ R_i และ L_i คือค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด i และ M_{ij} คือค่าความเหนี่ยวนำระหว่างขดลวด i กับ j [2]

2.1 กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน (winding-to-ground fault)

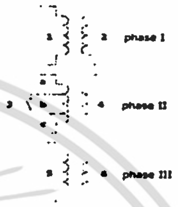
รูปที่ 1 ขดลวดของหม้อแปลงขณะเกิดขดลวดลัดวงจรลงดิน

$$[R]=\begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & R_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & R_a & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & R_b & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_4 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_5 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_6 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$[L]=\begin{bmatrix} L_1 & M_{12} & M_{1a} & M_{1b} & M_{14} & M_{15} & M_{16}\\ M_{21} & L_2 & M_{2a} & M_{2b} & M_{24} & M_{25} & M_{26}\\ M_{a1} & M_{a2} & L_a & M_{ab} & M_{a4} & M_{a5} & M_{a6}\\ M_{b1} & M_{b2} & M_{ba} & L_b & M_{b4} & M_{b5} & M_{b6}\\ M_{41} & M_{42} & M_{4a} & M_{4b} & L_4 & M_{45} & M_{46}\\ M_{51} & M_{52} & M_{5a} & M_{5b} & M_{54} & L_5 & M_{56}\\ M_{61} & M_{62} & M_{6a} & M_{6b} & M_{64} & M_{65} & L_6 \end{bmatrix} \quad (2)$$

หลังจากที่ได้เอาต์พุตเมตริกซ์ซึ่งแสดงถึงวงจรเทียบเคียงของหม้อแปลงในรูปของ Coupled Impedance Matrix ขนาด 6x6 สำหรับหม้อแปลง 2 ขดลวด โดยการใช้โปรแกรม BCTRAN แล้ว หากต้องการที่จะใช้วงจรเทียบเคียงของหม้อแปลงที่ได้จากโปรแกรมดังกล่าวมาสร้างสภาวะการเกิดฟอลต์ภายในหม้อแปลงจะสามารถทำได้โดยแบ่งขดลวดที่เกิดการลัดวงจรออกเป็น 2 ขดลวดย่อย โดยการแก้ไขเมตริกซ์จาก 6x6 สำหรับหม้อแปลงที่มี 2 ขดลวดไปเป็น 7x7 ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) สำหรับการเกิดฟอลต์ชนิดขดลวดลัดวงจรลงดิน ทั้งนี้เนื่องมาจากเราจะต้องแบ่งขดลวดที่เกิดการลัดวงจรลงดินจาก 1 ขดไปเป็น 2 ขดย่อย ดังแสดงในรูปที่ 1 (เมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินที่ขดลวดที่ 3)

2.2 กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด (winding-to-winding fault)



รูปที่ 2 ขดลวดของหม้อแปลงขณะเกิดการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด

$$[R]=\begin{bmatrix} R_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & R_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & R_a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & R_b & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & R_c & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_4 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_5 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_6 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$[L]=\begin{bmatrix} L_1 & M_{12} & M_{1a} & M_{1b} & M_{1c} & M_{14} & M_{15} & M_{16}\\ M_{21} & L_2 & M_{2a} & M_{2b} & M_{2c} & M_{24} & M_{25} & M_{26}\\ M_{a1} & M_{a2} & L_a & M_{ab} & M_{ac} & M_{a4} & M_{a5} & M_{a6}\\ M_{b1} & M_{b2} & M_{ba} & L_b & M_{bc} & M_{b4} & M_{b5} & M_{b6}\\ M_{c1} & M_{c2} & M_{ca} & M_{cb} & L_c & M_{c4} & M_{c5} & M_{c6}\\ M_{41} & M_{42} & M_{4a} & M_{4b} & M_{4c} & L_4 & M_{45} & M_{46}\\ M_{51} & M_{52} & M_{5a} & M_{5b} & M_{5c} & M_{54} & L_5 & M_{56}\\ M_{61} & M_{62} & M_{6a} & M_{6b} & M_{6c} & M_{64} & M_{65} & L_6 \end{bmatrix} \quad (4)$$

สำหรับฟอลต์ชนิดลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดสามารถทำได้ลักษณะเดียวกับการหาเมตริกซ์เทียบเคียงในกรณีที่เกิดขดลวดลัดวงจรลงดิน ต่างกันตรงที่ว่าจะต้องแยกขดลวดที่เกิดการลัดวงจรออกเป็น 3 ขดลวดย่อย (sub-coil) ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยการแก้ไขเมตริกซ์จากขนาด 6x6 สำหรับหม้อแปลงที่มี 2 ขดลวด ไปเป็นขนาด 8x8 ดังแสดงในสมการที่ (3) และ (4)

2.3 การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์สำหรับโปรแกรม BCTRAN

โปรแกรม BCTRAN จะอาศัยผลการทดสอบหม้อแปลงมาคำนวณหาค่าความต้านทานและค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหนี่ยวนำในรูปของ self inductance และ mutual inductance [3] ซึ่งผลการทดสอบของหม้อแปลงที่จำเป็นได้แก่ ผลการทดสอบแบบลัดวงจรของหม้อแปลง (Short Circuit Test or Load Test) ผลทดสอบแบบจ่ายกระแสกระตุ้นของหม้อแปลงหรือการทดสอบแบบเปิดวงจร โดยจะต้องทำการทดสอบทั้งลำดับบวกและลำดับศูนย์ (Positive and Zero Excitation Test or No Load Test or Open Circuit Test) ซึ่งผลของการทดสอบดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้ [4]

- Power rating S/winding connection : 50 MVA/ YNyn0
- Voltage rating : 115 / 23 kV
- Current rating : 251.02 / 1255.11 A
- Positive Excitation losses (Open HV) : 22.18 kW
- Positive Excitation current : 0.922 A
- Positive Excitation voltage (Energized at rated Voltage) : 23 kV
- Positive Short-Circuit losses (Short LV) : 148.10 kW
- Positive Short-Circuit current (Energized at rated current) : 251.07 A
- Positive Short-Circuit voltage : 14.44 kV
- Zero Excitation losses (Open HV) : 221 kW
- Zero Excitation current : 200 A
- Zero Excitation voltage : 1.993 kV
- Zero Short-Circuit losses (Short LV) : 345 kW
- Zero Short-Circuit current : 200.2 A
- Zero Short-Circuit voltage : 3.224 kV

จากผลการทดสอบหม้อแปลงทำให้เราได้ข้อมูลที่ใช้ป้อนให้กับโปรแกรมย่อย BCTRAN สำหรับจำลองเป็นหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบ ดังต่อไปนี้ [5]

ผลของข้อมูลในการทดสอบหม้อแปลงแบบเปิดวงจรจะใช้ในการป้อนให้กับโปรแกรมย่อย BCTRAN

NW = 2 ทั้งนี้เนื่องจากเรามีขดลวดอยู่ 2 ขด

FREQ = 50.0 (Hz).

IEXPOS (Positive Excitation current) = 0.0735 (%).

เนื่องจากว่าในการทำ direct excitation test homopolar excitation test นั้นได้ทำในสภาวะแรงดันปกติ ดังนั้น

$$I_O = 0.922 \text{ A}.$$

จากนั้นทำให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์จะได้

$$\text{IEXPOS} = 0.922 \times 10^{-3} \times \frac{\sqrt{3}\times 23.0}{50} \times 100 = 0.0735\%$$

SPOS = 50.0 (MVA).

LEXPOS (Positive Excitation losses) = 22.18 (kW).

เนื่องจากว่าในการทำ direct excitation test นั้นได้ทำในสภาวะแรงดันปกติ ดังนั้น

$$\text{LEXPOS} = 22.18 \text{ kW}.$$

IEXZERO (Zero Excitation current) = 35.39 (%).

เนื่องจากว่าในการทำ Homopolar excitation test นั้นไม่ได้ทำในสภาวะแรงดันปกติ ดังนั้นค่ากระแสกระตุ้นลำดับศูนย์จึงต้องมีการปรับดังข้างล่างนี้

$$I_O = \frac{200}{3} \times \frac{23.0}{\sqrt{3} \times 1.993} = 444.19 \text{ A}$$

จากนั้นทำให้อยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ได้

$$\text{IEXZERO} = 444.19 \times 10^{-3} \times \frac{\sqrt{3} \times 23.0}{50} \times 100 = 35.39\ \%$$

SZERO = 50.0 (MVA)

LEXZERO (Zero Excitation losses) = 9810.97 (kW)

$$\text{LEXZERO} = 221.0 \times \left(\frac{23.0}{\sqrt{3} \times 1.993}\right)^2 = 9810.97 \text{ kW}$$

NP(used to specify between 1-phase and 3-phase) = 0

IT(the winding where the excitation test was made) = 2, เนื่องจากการทำ Excitation Test ได้ทำในด้านแรงต่ำ

IW(the winding which the magnetizing branch is to be placed)= 2, เนื่องจาก ควรจะต่อที่ทางด้านขดลวดแรงต่ำ

IP(Output matrices request) = -1, ซึ่งเราต้องการให้เอาท์พุทของโปรแกรมอยู่ในรูปของ [A]-[R] และ [R]-[ωL]

สำหรับข้อมูลทั่วไปจากโครงสร้างของหม้อแปลงที่ใช้ป้อนให้กับโปรแกรมนั้นจะกำหนดให้เริ่มป้อนจากขดลวดที่มีแรงดันสูงสุด

K=1 (HV-winding) ซึ่งหมายความว่าขดลวดขดที่ 1 เป็นขดที่มีแรงดันสูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VRAT1 = 66.39 (kV), เป็นค่าแรงดันระหว่างเฟสกับกราวน์เนื่องจากหม้อแปลงต่อแบบ WYE ($115/\sqrt{3}$)

R1 = 0.391, สำหรับค่า R นั้น หากเราไม่ป้อน โปรแกรมก็จะทำการคำนวณภายในเอง สำหรับค่าดังกล่าวได้มาจาก

$$R_{sh} = \frac{1}{3} \times \left(\frac{148100}{251.07^{2}} \right) = 0.783\ \Omega$$

$$\text{ดังนั้น},\ R_1 = \frac{1}{2} R_{sh} = 0.391\Omega$$

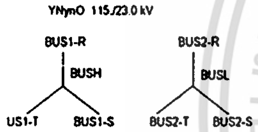
K = 2 (LV-winding) เป็นขดลวดที่มีแรงดันสูงเป็นลำดับต่อมา

VRAT2 = 13.279 (kV), เป็นค่าแรงดันระหว่างเฟสกับกราวน์เนื่องจากหม้อแปลงต่อแบบ WYE ($23.0/\sqrt{3}$)

R2 = 0.0156 ซึ่งได้มาจาก

$$R_2 = R_1 \left(\frac{23.0}{115.0} \right)^2 = 0.0156\ \Omega$$

ส่วนการกำหนดชื่อเทอร์มินอลของขดลวดจะเป็นดังต่อไปนี้



BUS1	BUS2	PHASE
BUS1-R BUSH	BUS2-R BUSL	R
BUS1-S BUSH	BUS2-S BUSL	S
BUS1-T BUSH	BUS2-T BUSL	T

ส่วนของข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับป้อนให้กับโปรแกรมโดยอาศัยข้อมูลของการทดสอบหม้อแปลงแบบลัดวงจร มีรายละเอียดดังนี้ คือ

NW× (NW-1)/2 = 1

I = 1, ทำการจ่ายไฟที่ด้านขดลวดแรงสูง

J = 2, ขดลวดที่ทำการลัดวงจร คือขดลวดแรงต่ำ

P12 (Positive Short-Circuit losses)= 148.10 (kW), เนื่องจากการทำการทดสอบแบบลัดวงจรได้ทำในสภาวะปกติ

ZPOS12 (Positive Short-Circuit impedance) = 12.557 (%), ได้มาจาก

$$ZPOS12 = \frac{14.44}{0.251} \times \frac{50/\sqrt{3}}{115^{2}} \times 100 = 12.557\ \%$$

SPOS = 50.0 (MVA).

ZZERO12 (Zero Short-Circuit impedance) = 18.265 (%), ได้มาจาก

$$ZZERO12 = 3 \times \frac{3224}{200.2} \times \frac{50}{115^{2}} \times 100 = 18.265\ \%$$

SZERO = 50.0 (MVA).

ID = 0, หมายความว่าค่ารีแอคแตนซ์ลำดับศูนย์ (zero-sequence reactance) จะถูกคำนวณโดยอัตโนมัติ โดยการใช้ค่าความสูญเสียแบบมีภาระลำดับบวก (positive sequence load losses or short-circuit losses) ทั้งนี้เนื่องจากว่าเป็นหม้อแปลงชนิด 2 ขดลวด

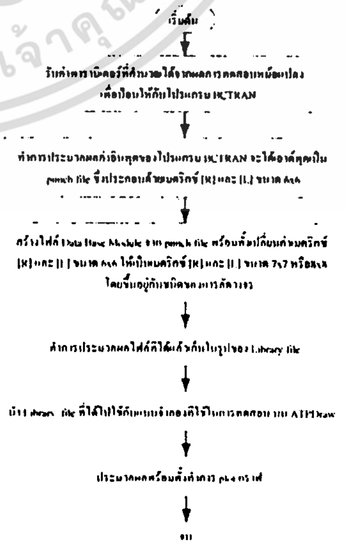
IL = 1, หมายความว่าค่าความต้านทานของขดลวดจะถูกคำนวณโดยอัตโนมัติ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากใช้ค่าความสูญเสียแบบมีภาระลำดับบวก (Positive-sequence short-circuit losses) ทั้งนี้เนื่องจากเป็นหม้อแปลงชนิด 2 ขดลวด

ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในการป้อนให้กับโปรแกรม BCTRAN จะเป็นไปตามข้างล่างนี้

```
BEGIN NEW DATA CASE
ACCESS MODULE BCTRAN
$ERASE
C|     FREQ|   IEXPOS|  SPOS| LEXPOS| IEXZERO|   SZERO| LEXZERONPITIWIP
 2       50.     .0735    50.   22.180    35.39       50.  9810.97     0 2 2-1
C k|     VRAT|       R1| |bus1| |bus2| |bus1| |bus2| |bus1| |bus2|
  1      66.39          BUS1_RBUSH BUS1_SBUSH BUS1_TBUSH
C k|     VRAT|       R2| |bus1| |bus2| |bus1| |bus2| |bus1| |bus2|
  2      13.28          BUS2_RBUSL BUS2_SBUSL BUS2_TBUSL
C||       PIJ|   ZPOSIJ|        SPOS|  ZZEROIJ|       SHOMIDIL
 1 2    148.10    12.557          50.    18.265          50.  0 1
BLANK CARD TERMINATE INPUT OF SHORT-CIRCUIT TEST DATA
$PUNCH
BLANK
BEGIN NEW DATA CASE
```

2.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณในแบบจำลองสามารถแสดงได้ในรูปที่ 3

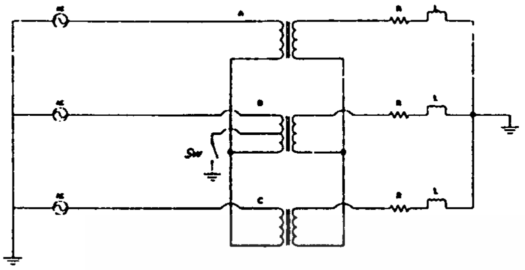


รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

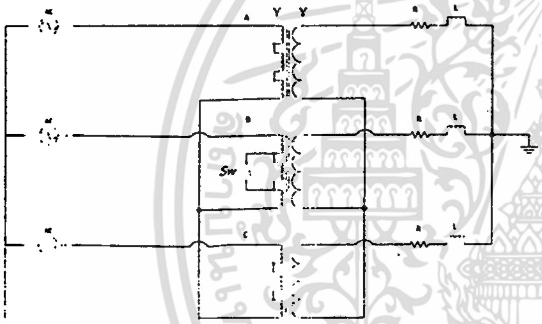
3. แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบ

3.1 กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน



รูปที่ 4 วงจรทดสอบกรณีเกิดฟอลต์ภายในหม้อแปลง แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน

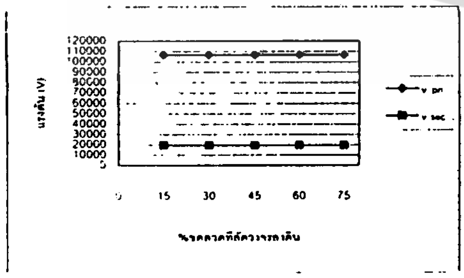
3.2 กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบขดลวด



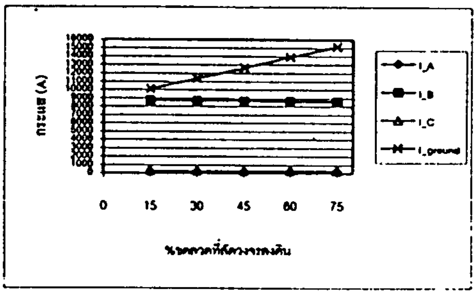
รูปที่ 5 วงจรทดสอบกรณีเกิดฟอลต์ภายในหม้อแปลง แบบลัดวงจรระหว่างรอบขดลวด

4. ผลการจำลอง

4.1 กรณีฟอลต์แบบขดลวดลัดวงจรลงดิน

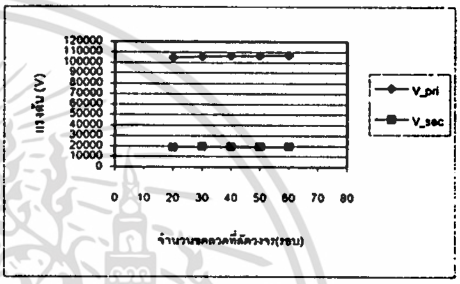


รูปที่ 6 แสดงแรงดันลัดวงจรของขดลวดลงดินที่ primary ของ phase B

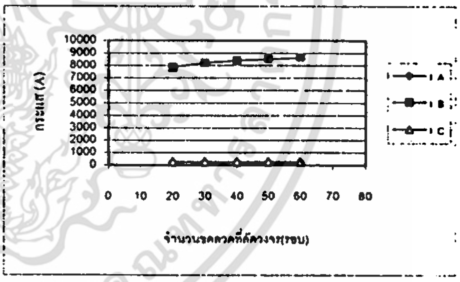


รูปที่ 7 แสดงกระแสลัดวงจรของขดลวดลงดินที่ primary ของ phase B

4.2 กรณีฟอลต์แบบลัดวงจรระหว่างรอบขดลวด

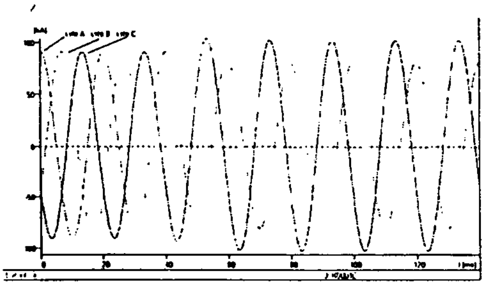


รูปที่ 8 แสดงแรงดันลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดที่ primary ของ phase B



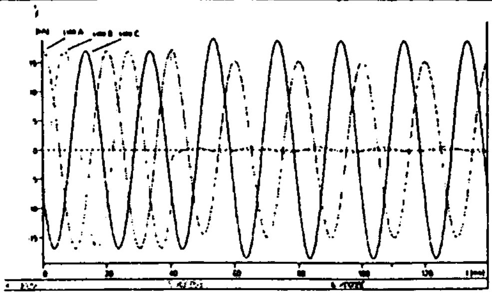
รูปที่ 9 แสดงกระแสลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดที่ primary ของ phase B

4.3 แสดงสัญญาณตัวอย่างกรณีขดลวดลัดวงจรลงดิน 45% ทางด้าน primary ของ เฟส B

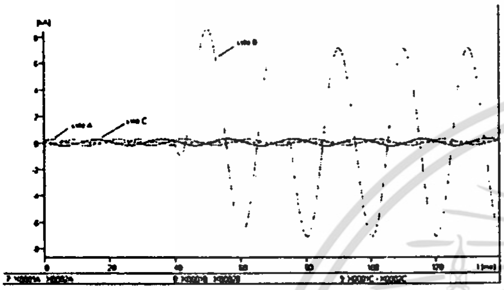


รูปที่ 10 แสดงสัญญาณแรงดันทางด้าน primary

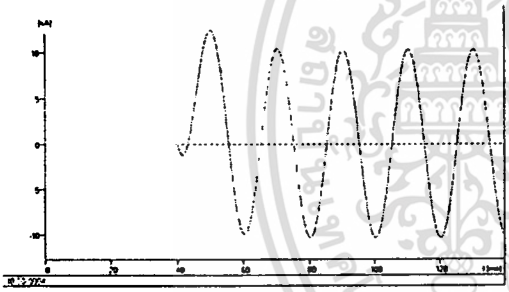
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 แสดงสัญญาณแรงดันทางด้าน secondary



รูปที่ 12 แสดงสัญญาณกระแสทางด้าน primary



รูปที่ 13 แสดงสัญญาณกระแสลงดินทางด้าน primary

5. สรุป

เนื่องจากการวิเคราะห์ฟอลต์ที่ขดลวดภายในหม้อแปลงแบบขดลวดลัดวงจรลงดินและแบบลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมินี้มีลักษณะการทดสอบและขั้นตอนการคำนวณแบบเดียวกันทุกเฟสรวมถึงผลของการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นในบทความนี้จึงขอยกตัวอย่างการทดสอบที่ขดลวดปฐมภูมิของเฟส B

จากผลการจำลองสัญญาณกระแสและแรงดันขณะเกิดฟอลต์ที่ขดลวดภายในหม้อแปลงทางด้านปฐมภูมิของเฟสBที่จำลองได้จากโปรแกรม ATP/EMTP พบว่าทั้งกรณีขดลวดลัดวงจรลงดินและกรณีลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวด จะเกิดแรงดันขณะลัดวงจรที่เฟสBต่ำกว่าแรงดันที่พิกัดและแรงดันในเฟสอื่นทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ อีกทั้งกระแสของเฟสที่เกิดฟอลต์จะมีค่าสูงมากกว่า 30 เท่าของกระแสที่พิกัดในขณะที่เฟสอื่นนั้นมีค่ากระแสใกล้เคียงกับกระแสที่พิกัด และสำหรับกระแสที่ลัดวงจรลงดินในกรณีขดลวดลัดวงจรลงดินจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของขดลวดที่ลัดวงจร และเนื่องจากดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์จะเริ่มทำงานเมื่อมีค่าของกระแสเข้าและออกจากหม้อแปลงต่างกัน ดังนั้นจากผลการจำลองดังกล่าวสามารถนำค่ากระแสที่แตกต่างจากค่ากระแสทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิก่อนเกิดฟอลต์ไปเซตดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์เพื่อป้องกันหม้อแปลงได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำจนกระทั่งบทความนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี และขอขอบคุณ คุณอภิสิทธิ์ เอกชีวานนท์ วิศวกรบริษัท เอบีบี จำกัด ที่กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับโปรแกรม ATP/EMTP ตลอดจนเอื้อเฟื้อข้อมูลในส่วนของผลการทดสอบหม้อแปลงที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] L. Prikler and H. kr. Hoidalen, ATPDraw Windows 3.1x/95/NT version 1.0 User's Manual, SINTEF Energy Research, Trondheim, Norway, 1998.

[2] P. Bastard, P. Bertrand and M. Meunier, "A Transformer model for winding fault studies," IEEE Trans. Power Delivery, Vol.9, No.2., pp.690-699, April 1994.

[3] H.W. Dommel, EMTP Reference Manual (EMTP Theory Book), BPA, 1986.

[4] รายงานผลการทดสอบหม้อแปลง (Test Report) จากบริษัท เอบีบี จำกัด Serial No.56039.

[5] Can/Am EMTP Users Group, Alternative Transient Program (ATP) Rule Book, Portland, 1997.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวจิตรี อินทร์พยุง เกิดเมื่อวันที่ 6 เมษายน 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (เกียรตินิยมอันดับสอง) จาก มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ปีการศึกษา 2542

เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโทในปีการศึกษา 2543 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าระหว่างศึกษาระดับปริญญาโท คือ เรื่อง "การวิเคราะห์ฟอลต์ที่ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม ATP/EMTP." วิศวสารลาดกระบัง ปีที่ 20 ฉบับที่ 1 เดือนมีนาคม 2546 หน้า 67-72.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้