

การลดความยุ่งยากของอัลกอริทึมการควบคุม
สำหรับตัวขับเคลื่อนแรงดันตกชั่วขณะจากมุมมองเชิงปฏิบัติ



นายกิตติวัฒน์ เชียงฉิน

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

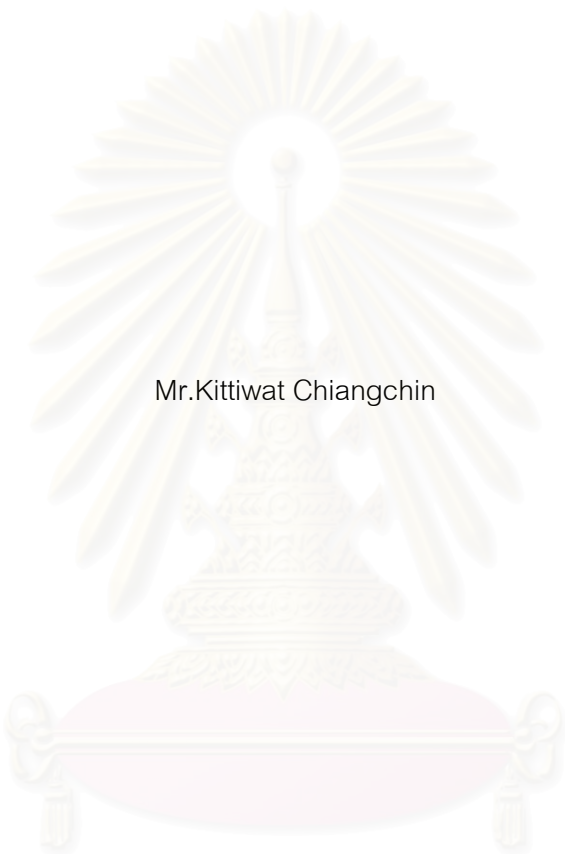
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SIMPLIFICATION OF CONTROL ALGORITHMS FOR
VOLTAGE SAG COMPENSATORS FROM PRACTICAL VIEWPOINTS



Mr.Kittiwat Chiangchin

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดความยุ่งยากของอัลกอริทึมการควบคุมสำหรับตัวชดเชยแรงดันตก
ชั่วขณะจากมุมมองเชิงปฏิบัติ

โดย

นายกิตติวัฒน์ เชียงฉิน


สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า


อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร.สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์

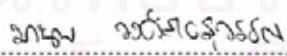
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แนบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต


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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุษนา กุลวิฑิต)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ วงศ์สายสุวรรณ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุรพงศ์ สุวรรณกวิน)

กิตติวัฒน์ เชียงฉิน : การลดความยุ่งยากของอัลกอริทึมการควบคุมสำหรับตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะจากมุมมองเชิงปฏิบัติ. (SIMPLIFICATION OF CONTROL ALGORITHMS FOR VOLTAGE SAG COMPENSATORS FROM PRACTICAL VIEWPOINTS) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์, 110 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนออัลกอริทึมการควบคุมสำหรับตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนในการควบคุมหรือหาวิธีที่เหมาะสมซึ่งง่ายในทางปฏิบัติกว่าวิธีอื่นที่มีการนำเสนอในอดีต โดยพิจารณาหน้าที่การทำงานของแต่ละส่วนประกอบของตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ อัลกอริทึมที่นำเสนอจะไม่เกิดผลของแรงดันลำดับศูนย์ที่มีสาเหตุจากแรงดันที่ไม่สมดุลขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ เนื่องจากผลของหม้อแปลงที่มีการต่อแบบเดลต้า-สตาร์ที่ถูกต้องอยู่ในระบบไฟฟ้า ผลการจำลองการทำงานและผลการทดสอบการทำงานจริงแสดงถึงประสิทธิผลการทำงานของอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่อนิสิต.....กิตติวัฒน์ เชียงฉิน.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2549.....


4670219321 : MAJOR POWER ELECTRONIC

KEY WORD: VOLTAGE SAG / SIMPLIFICATION OF CONTROL ALGORITHMS / PRACTICAL VIEWPOINTS

KITTIWAT CHIANGCHIN : SIMPLIFICATION OF CONTROL ALGORITHMS FOR VOLTAGE SAG COMPENSATORS FROM PRACTICAL VIEWPOINTS. THESIS ADVISOR : SOMBOON SANGWONGWANICH, Ph.D. 110 pp.

This thesis presents simple control algorithms of voltage sag compensators in the low voltage level. In the research, the functions of each component of the compensators are considered, and the algorithms which are less complicated and more appropriate from the practical point of view, as compared to other algorithms in the past literature, are then proposed. The zero-sequence voltage is not taken into account in this work due to the connection through the delta-wye transformer in the low voltage system. The simulation and experimental results illustrate the effectiveness of the proposed algorithms.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department ELECTRICAL ENGINEERING Student's กิตติวัฒน์ เชียงฉิน
Field of study ELECTRICAL ENGINEERING Advisor's 
Academic year 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ข้าพเจ้าต้องขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์อาจารย์ ดร.สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ ผู้ที่ให้คำชี้แนะและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ต่อการทำงานวิจัยและการดำเนินชีวิตด้วยความเอาใจใส่อย่างดี ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.สุรพงศ์ สุวรรณกวิน ผู้ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย รวมทั้ง บริษัท เอ.พี.วาย จำกัด ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้วิชาความรู้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ขอขอบคุณรุ่นน้อง รุ่นพี่และรวมถึงเพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และกำลังใจที่ดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งให้ทั้งชีวิต โอกาสทางการศึกษาและการสนับสนุนทุกด้านด้วยดีเสมอมา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

ช

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญภาพ	ฌ

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 นิยามสัญลักษณ์.....	5
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน	7
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับแรงดันตกชั่วคราวและการชดเชยแรงดันตกชั่วคราว	8
2.1 แรงดันตกชั่วคราว	8
2.2 การชดเชยแรงดันตกชั่วคราว	11
2.3 ตัวชดเชยแรงดันตกชั่วคราว	13
3 การควบคุมการชดเชยแรงดันตกชั่วคราว	18
3.1 แรงดันสเปซเวกเตอร์	18
3.2 การตรวจจับแรงดันตกชั่วคราว.....	22
3.3 การสร้างแรงดันอ้างอิง.....	25
3.4 การสร้างแรงดันชดเชย.....	27
4 การออกแบบและการจำลองการทำงาน	28
4.1 การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ใช้เก็บพลังงาน	28
4.2 การออกแบบวงจรกรอง	29
4.3 การกำหนดเกณฑ์ในการพิจารณาแรงดันตกชั่วคราว.....	32
4.4 การจำลองการทำงาน	33
5 โครงสร้างระบบและการทดสอบการทำงาน	71

บทที่	หน้า
5.1 โครงสร้างระบบ.....	71
5.2 ผลการทดสอบการตรวจจับแรงคั่นตักชั่วขณะ.....	72
5.3 ผลการทดสอบการทำงาน	77
6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	105
6.1 สรุปผลงานวิจัย	105
6.2 ข้อเสนอแนะ	106
รายการอ้างอิง	107
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	110



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 การทำงานของ DVR	1
1.2 บล็อกไดอะแกรมการตรวจจับขนาดแรงดันสเปซเวกเตอร์	3
1.3 บล็อกไดอะแกรมการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันสเปซเวกเตอร์	3
1.4 บล็อกไดอะแกรมการใช้ 2 อัลกอริทึมร่วมกันทำงาน	4
2.1 แรงดันตกชั่วขณะ	8
2.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ	9
2.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ทำให้ลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะมีการเปลี่ยนแปลง	9
2.4 แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันตกชั่วขณะซึ่งเกิดจากความผิดพลาดแบบ 3 เฟส	9
2.5 แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันตกชั่วขณะซึ่งเกิดจากความผิดพลาดแบบ 2 เฟส	10
2.6 แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันตกชั่วขณะซึ่งเกิดจากความผิดพลาดแบบ 1 เฟส	10
2.7 ความสัมพันธ์ของแรงดัน โหลด แรงดันชดเชยและแรงดันตกชั่วขณะ	11
2.8 การชดเชยแบบลดการใช้กำลังแอกทีฟ	12
2.9 การชดเชยแบบปกติกรณีไม่มีการกระโดดของมุมเฟส	13
2.10 การชดเชยแบบปกติกรณีมีการกระโดดของมุมเฟส	13
2.11 ตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะและตำแหน่งการติดตั้ง	14
2.12 ส่วนการแปลงพลังงานซึ่งใช้ในระบบไฟฟ้าระดับแรงดันสูงและกลาง	14
2.13 ส่วนการแปลงพลังงานซึ่งใช้ในระบบไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ	15
2.14 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ 1 เฟส	15
2.15 สเปกตรัมของแรงดันที่ใช้การสวิตช์แรงดันแบบชั่วเดียว	16
2.16 รูปคลื่น PWM ที่ใช้การสวิตช์แรงดันแบบชั่วเดียว	16
2.17 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมพื้นฐาน	17
3.1 แรงดันสเปซเวกเตอร์ขณะที่แรงดัน 3 เฟสมีความสมดุล	19
3.2 แรงดันสเปซเวกเตอร์ขณะที่แรงดัน 3 เฟสมีความไม่สมดุล	19
3.3 ลักษณะของแรงดันสเปซเวกเตอร์ของแรงดันบนระนาบ α - β ขณะแรงดันสมดุล	20
3.4 ลักษณะของแรงดันสเปซเวกเตอร์ของแรงดันบนระนาบ α - β ขณะแรงดันไม่สมดุล	20
3.5 ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะแบบสมดุลและไม่สมดุล	21
3.6 มุมเฟสของแรงดันตกชั่วขณะแบบสมดุลและไม่สมดุล	22
3.7 บล็อกไดอะแกรมการทำงานร่วมกันของ 2 อัลกอริทึม	22
3.8 ปัญหาในการตรวจจับขนาดของแรงดันสเปซเวกเตอร์	23

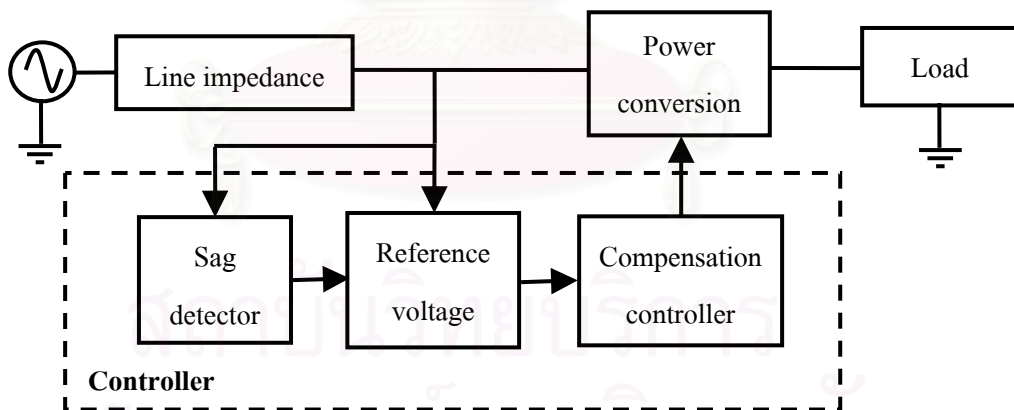
ภาพประกอบ	หน้า
3.9 วิธีการรีเคอร์ซีฟดีเอฟที.....	24
3.10 บล็อกไดอะแกรมการสร้างแรงดันอ้างอิงโดยใช้เฟสบล็อกคู่.....	26
3.11 บล็อกไดอะแกรมส่วนควบคุมตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ.....	27
4.1 วงจรสมมูลของวงจรกรองที่ใช้ในการออกแบบ.....	29
4.2 ผลการตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรอง.....	32
4.3 ย่านของการเปลี่ยนแปลงมุมเฟส.....	33
4.4 วงจรการจำลองการทำงาน.....	33
4.5 ผลการจำลองแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ.....	35
4.6 ผลการจำลองสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิเป็น 90% ของแรงดันปกติ.....	36
4.7 ผลการจำลองแรงดันโหลดกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ.....	37
4.8 ผลการจำลองกระแสโหลดกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ.....	38
4.9 แรงดันสเปซเวกเตอร์ขณะปกติและเกิดแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟส.....	39
4.10 ผลการจำลองแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติและตรวจจับได้ช้า.....	40
4.11 ผลการจำลองสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติและตรวจจับได้ช้า.....	41
4.12 ผลการจำลองแรงดันโหลดกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติและตรวจจับได้ช้า.....	42
4.13 ผลการจำลองกระแสโหลดกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติและตรวจจับได้ช้า.....	43
4.14 ผลการจำลองแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 58% ของแรงดันปกติ.....	44
4.15 ผลการจำลองสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 58% ของแรงดันปกติ.....	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

การผิดปกติของระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภทตาม ระยะเวลา , ขนาด และ ชนิดของปริมาณ เช่น ไฟฟ้าดับ แรงดันไฟฟ้าเกิน แรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้าเกิน เป็นต้น ซึ่งการผิดปกติของระบบที่มีความถี่ในการเกิดบ่อยครั้งและมีผลกระทบในวงกว้างก็คือ แรงดันตกชั่วขณะ จึงทำให้แรงดันตกชั่วขณะเป็นปัญหาสำคัญในระบบไฟฟ้าที่กำลังได้รับความสนใจ นอกจากนั้นจำนวนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆที่จะเกิดปัญหาในการทำงานเนื่องจากแรงดันตกชั่วขณะได้ง่ายกำลังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม, ย่านธุรกิจ และบ้านเรือน เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ ระบบควบคุมต่างๆ ถึงแม้ว่าในบ้านเรือนจะไม่เห็นผลกระทบอย่างชัดเจน แต่ในโรงงานอุตสาหกรรมและย่านธุรกิจผลกระทบของแรงดันตกชั่วขณะก่อให้เกิดมูลค่าความเสียหายอย่างมาก ผลกระทบของแรงดันตกชั่วขณะต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเกิดแรงดันตกชั่วขณะและขนาดของแรงดันที่ลดลง ซึ่งอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆมีลักษณะการทนต่อแรงดันตกชั่วขณะไม่เท่ากัน แนวโน้มที่อุปกรณ์ไฟฟ้าจะไม่ทำงานมีมากขึ้นเมื่อระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะยาวนานขึ้นและขนาดของแรงดันมีค่าน้อยลง นอกจากการลดลงของขนาดแรงดันแล้วแรงดันตกชั่วขณะอาจจะเกิดการกระโดดของมมเฟสร่วมด้วยได้



รูปที่ 1.1 การทำงานของ DVR

วิธีการแก้ปัญหาที่ได้รับความนิยมวิธีหนึ่ง คือ การติดตั้งอุปกรณ์เข้าไปอนุกรมในระบบไฟฟ้าเพื่อชดเชยแรงดันที่ขาดหายไปและจะทำงานในช่วงที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะเท่านั้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะเรียกอุปกรณ์ตัวนี้ว่า DVR (Dynamic voltage restorer) ในปัจจุบันมีงานวิจัยเกี่ยวกับตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะอย่างมาก ทั้งงานวิจัยที่เป็นระบบรวมทั้งระบบและเฉพาะองค์ประกอบย่อยบางส่วนของตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ แต่อย่างไรก็ตามในงานวิจัยที่เป็นระบบ

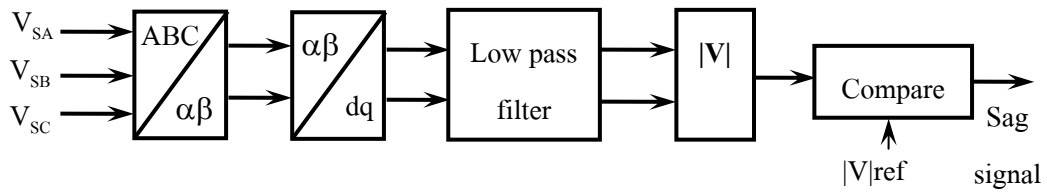
รวมทั้งระบบยังมีความไม่ชัดเจนในส่วนตัวควบคุมของตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ ว่าสามารถแยกออกเป็นองค์ประกอบย่อยอะไรบ้าง และมีหน้าที่อย่างไร ถึงแม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยต่างๆจะสามารถชดเชยแรงดันตกชั่วขณะได้ก็ตาม แต่ความไม่ชัดเจนในเรื่องนี้ก็จะทำให้อัลกอริทึมที่เลือกใช้มีความยุ่งยากซับซ้อน ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้แบ่งแยกองค์ประกอบของส่วนการควบคุมได้เป็น 3 ส่วนหลัก ดังรูปที่ 1.1 คือ ส่วนการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะ ส่วนการสร้างแรงดันอ้างอิง ส่วนการสร้างแรงดันชดเชย โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการพัฒนาและแก้ไขปรับปรุงใน 2 ส่วน คือ

1.1.1 ส่วนการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะ

ปัญหาที่สำคัญในส่วนนี้คือ ความต้องการของการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะที่จะต้องรวดเร็วเพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันตกชั่วขณะมีผลกระทบต่อโหลด ดังนั้นการตรวจจับการเกิดแรงดันตกชั่วขณะจะต้องมีความรวดเร็ว นอกจากนั้นยังต้องมีความแม่นยำในการตรวจจับการสิ้นสุดแรงดันตกชั่วขณะเพื่อให้มีการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะที่สมบูรณ์ ในระบบไฟฟ้าโดยทั่วไปไม่ได้มีเพียงแรงดันที่ความถี่มูลฐานเท่านั้น แต่ยังประกอบไปด้วยแรงดันฮาร์มอนิกและสัญญาณรบกวนต่างๆ จึงทำให้เป็นเรื่องยากในการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะให้มีความแม่นยำและความรวดเร็ว ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาได้นำเสนออัลกอริทึมอย่างหลากหลาย แต่มีอัลกอริทึมที่เหมาะสมในทางปฏิบัติและถูกนำมาใช้จริง คือ

1. การตรวจจับขนาดแรงดันสเปซเวกเตอร์ [1] รูปที่ 1.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมการตรวจจับขนาดของแรงดันสเปซเวกเตอร์ โดยเริ่มจากแปลงแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสให้เป็นแรงดันสเปซเวกเตอร์บนระนาบ d-q จากนั้นทำการกรองแรงดันเนื่องจากการแกว่งขณะแรงดันไม่สมดุล และหาขนาดของแรงดันได้จากสมการที่ 1.1 สุดท้ายนำขนาดที่ได้มาเปรียบเทียบกับขนาดแรงดันในระบบไฟฟ้าก่อนการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ถึงแม้ว่าการใช้ตัวกรองผ่านต่ำจะช่วยแก้ปัญหาคาการแกว่งของแรงดันได้ แต่ก็จะทำให้ประสิทธิภาพของการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะด้อยลงไป

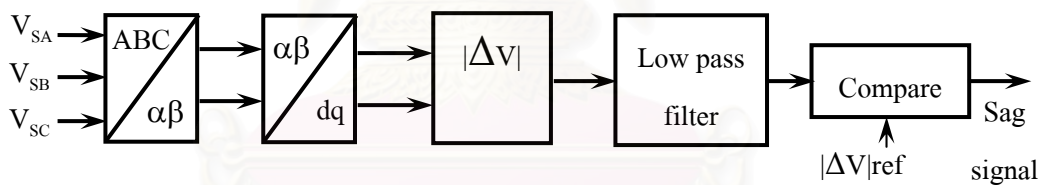
$$|v(t)| = \sqrt{v_d^2(t) + v_q^2(t)} \quad (1.1)$$



รูปที่ 1.2 บล็อกไดอะแกรมการตรวจจับขนาดแรงดันสเปซเวกเตอร์

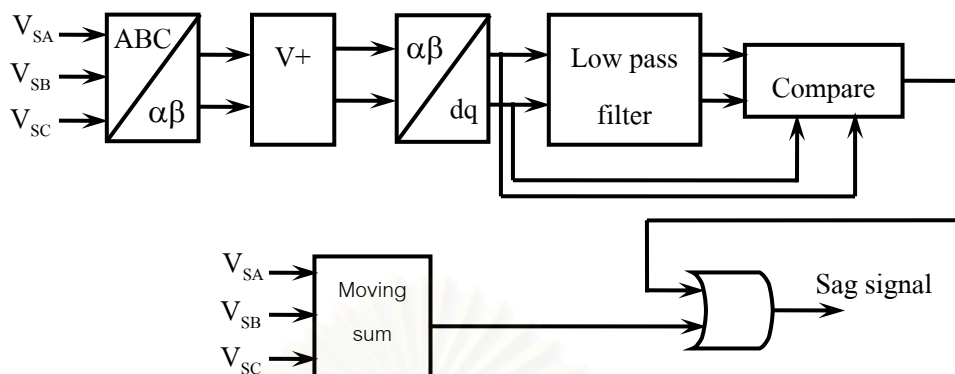
2. การตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงแรงดันสเปซเวกเตอร์จากค่าแรงดันอ้างอิง [2,3] รูปที่ 1.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันสเปซเวกเตอร์ ซึ่งขนาดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันสามารถหาได้จากสมการที่ 1.2 จากนั้นทำการกรองสัญญาณที่ได้เนื่องจากปัญหาการแกว่งของสัญญาณเช่นเดียวกับขนาดแรงดันสเปซเวกเตอร์ สุดท้ายนำสัญญาณที่ได้เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง วิธีการนี้ออกจากการใช้ตัวกรองผ่านต่ำที่ทำให้การตรวจจับด้อยประสิทธิภาพลงแล้ว การแยกระหว่างการเกิดแรงดันตกชั่วขณะและการเพิ่มลดของแรงดันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงโหลดซึ่งพบบ่อยในระบบไฟฟ้าเป็นเรื่องที่ยาก

$$|\Delta v(t)| = \sqrt{[V_{ref,d} - v_d(t)]^2 + [V_{ref,q} - v_q(t)]^2} \quad (1.2)$$



รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันสเปซเวกเตอร์

3. การใช้ 2 อัลกอริทึมร่วมกันทำงาน [4] รูปที่ 1.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมการใช้ 2 อัลกอริทึมร่วมกันทำงาน อัลกอริทึมหนึ่ง คือ การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันลำดับบวก (Positive sequence voltage) ระหว่างก่อนทำการกรองและหลังทำการกรอง ซึ่งอาจผิดพลาดได้ง่ายจึงใช้เพียงขณะเริ่มต้นเท่านั้น ส่วนอีกอัลกอริทึม คือ มูฟวิงซัม (Moving sum) ซึ่งจะมีความแม่นยำมากกว่าเป็นตัวบอกการเกิดแรงดันตกชั่วขณะหลังจากนั้น ซึ่งถ้าไม่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ อัลกอริทึมการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดจะยกเลิกสัญญาณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะไปเอง ในส่วนการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันลำดับบวกนั้นจะมีลักษณะที่คล้ายกับวิธีการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันสเปซเวกเตอร์ ซึ่งจะมีปัญหาการแยกระหว่างแรงดันตกชั่วขณะและการเพิ่มลดแรงดันปกติเช่นเดียวกัน



รูปที่ 1.4 บล็อกไดอะแกรมการใช้ 2 อัลกอริทึมร่วมกันทำงาน

ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการพัฒนาการใช้ 2 อัลกอริทึมร่วมกันทำงาน โดยอัลกอริทึมหนึ่งใช้การตรวจจับแรงดันสเปซเวกเตอร์ทั้งขนาดและมุมเฟสบนระนาบ α - β โดยการตรวจจับขนาดมีลักษณะคล้ายกับการตรวจจับขนาดแรงดันสเปซเวกเตอร์และการตรวจจับมุมเฟสใช้การพิจารณาการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสซึ่งจะเกิดเมื่อมีการผิดปกติของระบบไฟฟ้าเท่านั้น แทนการพิจารณาเพียงการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดัน นอกจากนี้การตรวจจับบนระนาบ α - β มีความง่ายกว่างานวิจัยในอดีตที่ทำการตรวจจับแรงดันสเปซเวกเตอร์บนระนาบ d-q เนื่องจากไม่ต้องใช้เฟสล็อกคูล (Phase-locked loop : PLL) ส่วนอีกอัลกอริทึมจะใช้วิธีเคอร์ซีฟดีเอฟที (Recursive DFT) ซึ่งมีความแม่นยำมากและง่ายในการปฏิบัติจริง นอกจากนี้ยังสามารถพิจารณาทั้งแรงดันลำดับบวกและแรงดันลำดับลบ (Negative sequence voltage) ได้

1.1.2. ส่วนการสร้างแรงดันอ้างอิง

ในงานวิจัยที่ผ่านใช้เฟสล็อกคูล เพื่อหามุมเฟสของแรงดันที่ความถี่มูลฐานในระบบไฟฟ้าและนำไปสร้างแรงดันอ้างอิง ถึงแม้ว่าจะมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็ว แต่ก็ไม่ได้เป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างแรงดันอ้างอิง และยังมีปัญหาเนื่องจากแรงดันฮาร์มอนิกและสัญญาณรบกวนต่างๆในระบบไฟฟ้าทั้งขณะปกติและเกิดแรงดันตกชั่วขณะทำให้ต้องมีวิธีที่ยุ่งยากในการออกแบบ [5] นอกจากนี้ยังจะต้องหยุดการทำงาน (Freeze) เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะ เพื่อเก็บข้อมูลก่อนเกิดแรงดันตกชั่วขณะซึ่งลักษณะการทำงานเช่นนี้ อาจทำให้เกิดปัญหาการกระโดดของมุมเฟสเมื่อสิ้นสุดแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความถี่ได้ งานวิจัยในส่วนนี้มีค่อนข้างน้อย [6]

ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนออัลกอริทึมการสร้างแรงดันอ้างอิงโดยไม่ใช้เฟสล็อกกลุ๊ป แต่ใช้วิธีซึ่งคล้ายกับเฟสล็อกกลุ๊ปและมีซีโรครอสซิง (Zero crossing) เป็นตัวตรวจจับความถี่ของระบบไฟฟ้าตลอดเวลา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมการควบคุมตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะให้เหมาะสมและง่ายในทางปฏิบัติ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. กำหนดหน้าที่หลักขององค์ประกอบต่างๆของตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะที่จะจำเป็นในการทำงานจริง
2. พัฒนาอัลกอริทึมที่เหมาะสมและง่ายสำหรับควบคุมการทำงานขององค์ประกอบย่อยต่างๆของตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะสำหรับทำงานที่ระบบแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำ
3. สร้างตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะเพื่อทดสอบสมรรถนะอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้น

1.4 นิยามสัญลักษณ์

$v_{SA}(t), v_{SB}(t), v_{SC}(t)$: แรงดันด้านแหล่งจ่ายเฟส A,B,C ที่เวลาใดๆ ตามลำดับ
$v_{LA}(t), v_{LB}(t), v_{LC}(t)$: แรงดันด้านโหลดเฟส A,B,C ที่เวลาใดๆ ตามลำดับ
$i_{LA}(t), i_{LB}(t), i_{LC}(t)$: แรงดันด้านโหลดเฟส A,B,C ที่เวลาใดๆ ตามลำดับ
$v_{comA}(t), v_{comB}(t), v_{comC}(t)$: แรงดันชดเชยเฟส A,B,C ที่เวลาใดๆ ตามลำดับ
$v_{\alpha}(t), v_{\beta}(t)$: แรงดันบนแกน α, β ที่เวลาใดๆ ตามลำดับ
$v_d(t), v_q(t)$: แรงดันบนแกน d, q ที่เวลาใดๆ ตามลำดับ
$V_{ref,d}, V_{ref,q}$: แรงดันอ้างอิงบนแกน d, q ที่เวลาใดๆ ตามลำดับ
$ v(t) $: ขนาดของแรงดันสเปซเวกเตอร์ที่เวลาใดๆ
$ v(t) _{ref}$: ขนาดของแรงดันสเปซเวกเตอร์อ้างอิง
$ \Delta v(t) $: ขนาดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันสเปซเวกเตอร์ที่เวลาใดๆ
$ \Delta v(t) _{ref}$: ขนาดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันสเปซเวกเตอร์อ้างอิง
V_{pre}	: แรงดันก่อนเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

V_{sag}	: แรงดันขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ
φ	: มุมเฟสระหว่างแรงดันก่อนและขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ
V_1	: ขนาดของแรงดันที่เฟส A ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ
V_2	: ขนาดของแรงดันที่เฟส B และ C ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ
θ	: มุมเฟสของแรงดัน
γ	: มุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส
P_{com}	: กำลังแอกทีฟที่ต้องการในการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ
$v_{ref}(t)$: แรงดันอ้างอิงที่เวลาใดๆ
$v(t)$: แรงดันสเปซเวกเตอร์ที่เวลาใดๆ
$v_p(t)$: แรงดันลำดับบวกที่เวลาใดๆ
$v_n(t)$: แรงดันลำดับลบที่เวลาใดๆ
ω_1	: ความถี่หลักมูล
$\Delta\theta$: การเปลี่ยนแปลงมุมเฟสของแรงดันสเปซเวกเตอร์
T_s	: คาบเวลาในการสุ่มข้อมูล
t_n	: เวลาที่ทำการสุ่มค่าปัจจุบัน
C_{bus}	: ตัวเก็บประจุที่ใช้เก็บพลังงาน
$V_{com(max)}$: แรงดันสูงสุดที่สามารถชดเชยได้
$I_{com(max)}$: กระแสสูงสุดที่สามารถชดเชยได้
$t_{com(max)}$: ระยะเวลาสูงสุดที่สามารถชดเชยได้
$V_{bus(max)}$: แรงดันบัสไฟตรงสูงสุด
$V_{bus(min)}$: แรงดันบัสไฟตรงต่ำสุด
L_f	: ตัวเหนี่ยวนำวงจรกรอง
C_f	: ตัวเก็บประจุวงจรกรอง
R_f	: ตัวต้านทานวงจรกรอง

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงาน

1. ศึกษาคุณสมบัติของแรงดันตกชั่วขณะ
2. ศึกษาคุณสมบัติของตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะและวิธีการต่างๆที่เกี่ยวข้อง
3. พัฒนาอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับแต่ละองค์ประกอบของตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ
4. จำลองการทำงานของตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ
5. สร้างต้นแบบตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ
6. ทำการทดสอบตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะที่สร้างขึ้น
7. ประเมินผล สรุป และเขียนวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เข้าใจถึงหลักการทำงานและส่วนประกอบต่างๆของตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ
2. มีการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับควบคุมการทำงานของตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะที่ง่ายในการสร้างจริง
3. ผลการศึกษาวิจัยและพัฒนาสามารถนำไปใช้งานได้จริง

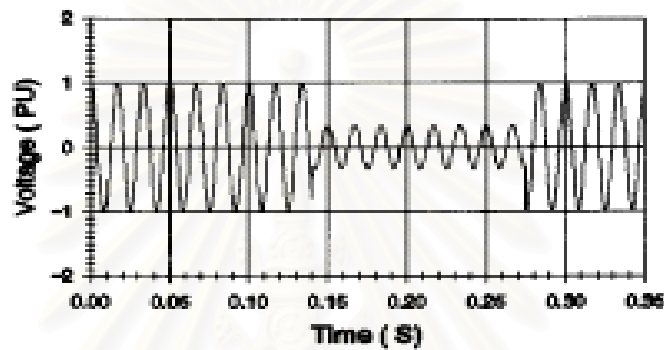
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับแรงดันตกชั่วขณะและการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ

2.1 แรงดันตกชั่วขณะ

แรงดันตกชั่วขณะคือ แรงดันที่ลดลงในช่วงระยะเวลาหนึ่ง จนเหลือค่าแรงดันอาร์เอ็มเอส ระหว่าง 10 – 90 % ของแรงดันอาร์เอ็มเอสปกติที่ความถี่หลักมูล ดังรูปที่ 2.1 นอกจากนั้นอาจมีการกระโดดของมุมเฟสที่จุดเริ่มเกิดและสิ้นสุดแรงดันตกชั่วขณะร่วมด้วยได้ในบางกรณี

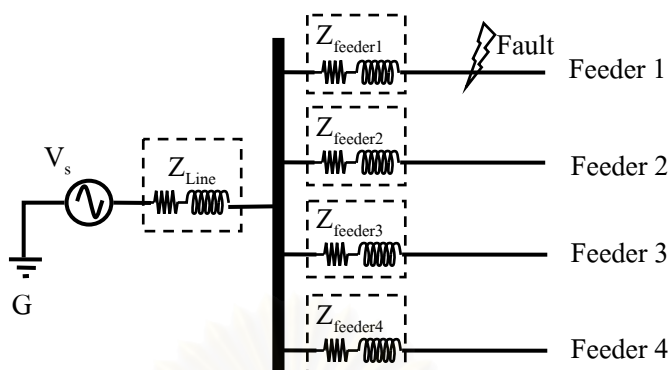


รูปที่ 2.1 แรงดันตกชั่วขณะ

2.1.1 สาเหตุการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

แรงดันตกชั่วขณะสามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ แต่สาเหตุหลักนั้นเกิดจากการเกิดความผิดปกติ (fault) ในระบบไฟฟ้าที่บัสข้างเคียงหรือในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ตัวอย่างของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะแสดงดังรูปที่ 2.2 เมื่อเกิดความผิดปกติที่สายจ่ายไฟฟ้าที่ 1 (Feeder1) ไฟฟ้าดับจะเกิดขึ้นที่สายจ่ายไฟฟ้านี้ แต่สายจ่ายไฟฟ้าอีกสามสายที่ต่อขนานอยู่นั้นจะเกิดแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากกระแสโดยส่วนใหญ่จะไหลผ่านสายจ่ายไฟฟ้าที่ 1 โดยแรงดันที่บัสนี้หรือแรงดันตกชั่วขณะที่ตกคร่อมสายจ่ายไฟฟ้าที่ 2 (Feeder2), 3 (Feeder3) และ 4 (Feeder4) สามารถหาได้จากทฤษฎีการแบ่งแรงดัน (Voltage divider) [7] ดังสมการที่ 2.1 ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ของสายจ่ายไฟฟ้าที่ 1 (Z_{Feeder1}) หรือก็คือระยะห่างระหว่างตำแหน่งของความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับบัสร่วม (Common bus)

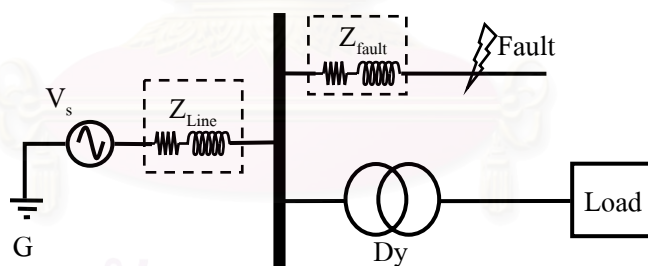
$$V_{\text{Feeder2,3,4}} = V_s \frac{Z_{\text{Feeder1}}}{Z_{\text{Line}} + Z_{\text{Feeder1}}} \quad (2.1)$$



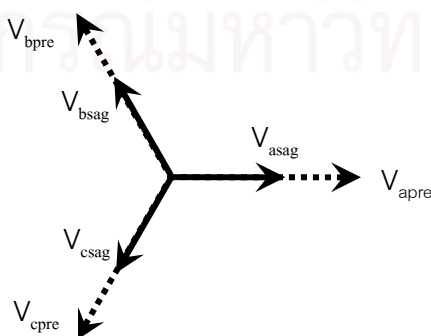
รูปที่ 2.2 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ

2.1.2 ลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะ

แรงดันตกชั่วขณะอาจมีได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับ ประเภทและตำแหน่งของความผิดปกติในระบบไฟฟ้า รวมทั้งประเภทของการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟสที่ต่ออยู่ในระบบไฟฟ้าโดยในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาแรงดันตกชั่วขณะซึ่งเกิดที่ระบบไฟฟ้าแรงดันระดับต่ำที่เป็นผลมาจากการเกิดความผิดปกติที่ระบบไฟฟ้าแรงดันระดับกลางและมีหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสชนิด Dy ต่ออยู่ในระบบไฟฟ้าเท่านั้น สามารถแบ่งลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะได้เป็น 3 ประเภท คือ

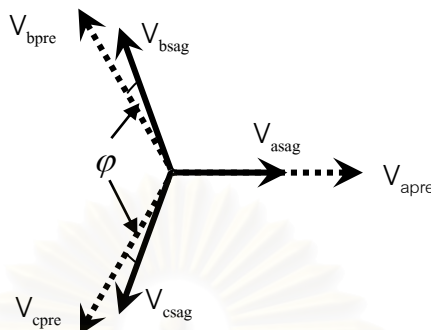


รูปที่ 2.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ทำให้ลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะมีการเปลี่ยนแปลง



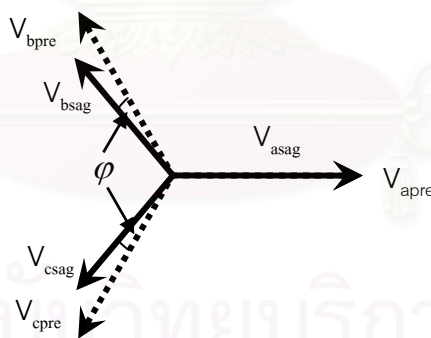
รูปที่ 2.4 แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันตกชั่วขณะซึ่งเกิดจากความผิดปกติแบบ 3 เฟส

1. แรงดันตกชั่วขณะซึ่งเกิดจากความผิดพลาดแบบ 3 เฟส มีลักษณะของแรงดันที่ขนาดลดลงจากปกติแบบสมมูลและไม่มีการกระโดดของมุมเฟส ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.5 แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันตกชั่วขณะซึ่งเกิดจากความผิดพลาดแบบ 2 เฟส

2. แรงดันตกชั่วขณะซึ่งเกิดจากความผิดพลาดแบบ 2 เฟส มีลักษณะของแรงดันที่ขนาดลดลงแบบไม่สมมูล โดยที่มี 2 เฟสมีขนาดและการกระโดดของมุมเฟสเท่ากัน และอีกเฟสมีการลดลงของขนาดมากที่สุดแต่ไม่มีการกระโดดของมุมเฟส ดังรูปที่ 2.5 แต่อย่างไรก็ตามถ้าแรงดันแต่ละเฟสที่ความผิดพลาดแบบ 2 เฟสไม่เท่ากันจะทำให้ขนาดของแรงดันและการกระโดดของมุมเฟสทั้ง 3 เฟสไม่เท่ากันได้



รูปที่ 2.6 แผนภาพเฟสเซอร์แรงดันตกชั่วขณะซึ่งเกิดจากความผิดพลาดแบบ 1 เฟส

3. แรงดันตกชั่วขณะซึ่งเกิดจากความผิดพลาดแบบ 1 เฟส มีลักษณะของแรงดันที่ขนาดลดลงแบบไม่สมมูล โดยที่มี 2 เฟสมีขนาดและการกระโดดของมุมเฟสเท่ากัน และอีกเฟสไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 2.6 สำหรับแรงดันตกชั่วขณะประเภทนี้จะมีย่านน้อยที่สุดเพียงแค่ 0.577% ของแรงดันปกติและมีการกระโดดของมุมเฟสมากที่สุดเพียง 30 องศาเท่านั้นเนื่องจากแรงดันลำดับศูนย์ไม่สามารถผ่านหม้อแปลงที่มีการต่อแบบ Dy ได้

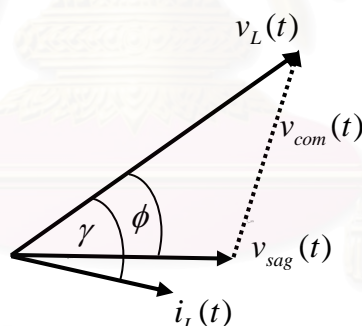
จากลักษณะของแรงดันแบบไม่สมดุลที่ได้กล่าวข้างต้นสามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้เป็น

$$\begin{aligned} V_{SA} &= V_1 \cos(\theta) \\ V_{SB} &= V_2 \cos(\theta + \varphi) \\ V_{SC} &= V_2 \cos(\theta - \varphi) \end{aligned} \quad (2.2)$$

โดยที่ $V_{SA} + V_{SB} + V_{SC} = 0$

2.2 การชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยการแก้ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะอย่างมากมาย การสร้างแรงดันชดเชยเพื่อแก้ปัญหาคุณภาพของแรงดันที่โหลดได้รับนี้เป็นวิธีที่ได้ผลดีที่สุดวิธีหนึ่งทั้งในแง่ของขนาด ราคาและประสิทธิภาพ โดยสมรรถนะของการชดเชยแรงดันจะขึ้นอยู่กับกำลังแอกทีฟ (Active power) และแรงดันที่ต้องชดเชยเข้าไปในระบบ



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของแรงดันโหลด แรงดันชดเชยและแรงดันตกชั่วขณะ

จากรูปที่ 2.7 สามารถหาขนาดของกำลังแอกทีฟที่ต้องใช้ในการชดเชยแรงดันได้ดังสมการที่ 2.3

$$P_{com} = I_L [V_L \cos \gamma - V_{sag} \cos(\gamma - \phi)] \quad (2.3)$$

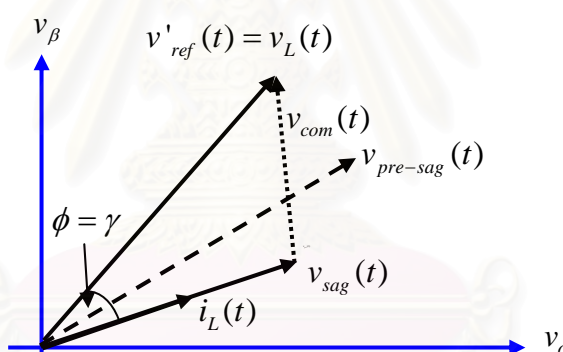
และสามารถหาขนาดแรงดันที่ต้องชดเชยได้ดังสมการที่ 2.4

$$V_{com} = \sqrt{[V_L \cos \phi - V_{sag}]^2 + (V_L \sin \phi)^2} \quad (2.4)$$

วิธีการชดเชยแรงดันสามารถแบ่งตามจุดประสงค์ในการชดเชยได้ 2 วิธี [8] คือ

2.2.1 การชดเชยแบบลดการใช้กำลังแอกทีฟ

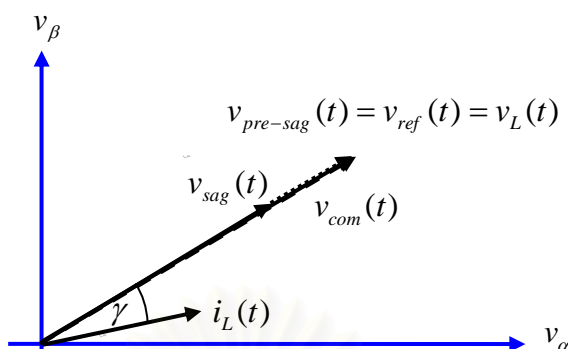
จากสมการที่ 2.3 ถ้าการปรับมุมระหว่างแรงดันโหลดและแรงดันตกชั่วขณะให้เท่ากับมุมระหว่างแรงดันโหลดและกระแสโหลด ($\phi = \gamma$) แล้วจะทำให้กำลังแอกทีฟมีค่าน้อยที่สุด และจะทำให้กำลังแอกทีฟไม่ให้ถูกใช้ในการชดเชยแรงดันเลยถ้า $V_{sag} \geq V_L \cos \gamma$ [4] นั่นคือแรงดันที่ชดเชยจะใช้เพียงกำลังรีแอกทีฟ (Reactive power) เท่านั้นและทำให้สามารถลดขนาดส่วนเก็บพลังงานได้ แต่อย่างไรก็ตามจากสมการที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าตัวประกอบกำลังของโหลด ($\cos \gamma$) มีผลกระทบกับแรงดันที่ชดเชยและอาจจะทำขนาดของแรงดันชดเชยที่มีค่ามากกว่าปกติโดยเฉพาะกรณีการเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบ 3 เฟส นอกจากนั้นยังมีการกระโดดของมุมเฟสที่แรงดันโหลดเนื่องจากการปรับมุมเฟส ดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นจึงทำให้วิธีการนี้ต้องมีความยุ่งยากในการจัดการปัญหา



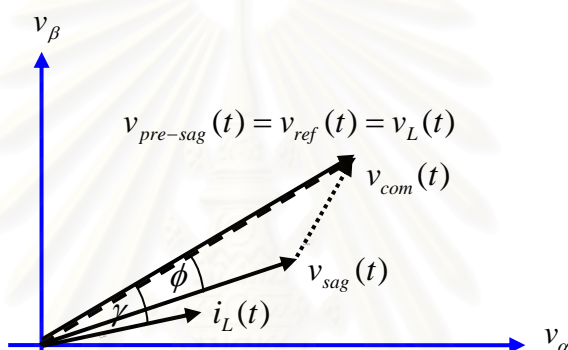
รูปที่ 2.8 การชดเชยแบบลดการใช้กำลังแอกทีฟ

2.2.2 การชดเชยแบบปกติ

การชดเชยแบบนี้แรงดันที่โหลดจะไม่มีเปลี่ยนแปลงและแรงดันชดเชยจะขึ้นกับมุมเฟสระหว่างแรงดันก่อนการเกิดแรงดันตกชั่วขณะและแรงดันตกชั่วขณะ ส่วนตัวประกอบกำลังมีผลต่อระยะเวลาที่สามารถชดเชยได้ การชดเชยในกรณีเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบที่เกิดจากการผิดปกติในระบบไฟฟ้าแบบ 3 เฟสซึ่งไม่มีการกระโดดของมุมเฟส จะใช้ขนาดของแรงดันชดเชยมีค่าน้อยที่สุดแต่ก็ใช้กำลังแอกทีฟมากที่สุดเช่นกัน



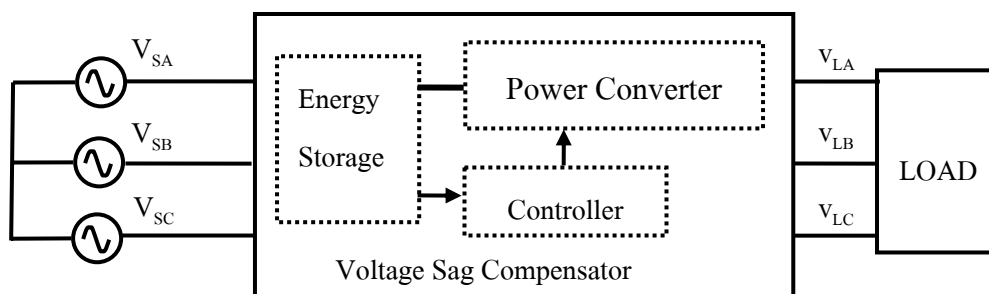
รูปที่ 2.9 การชดเชยแบบปกติกรณีไม่มีการกระโดดของมุมเฟส



รูปที่ 2.10 การชดเชยแบบปกติกรณีมีการกระโดดของมุมเฟส

2.3 ตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ

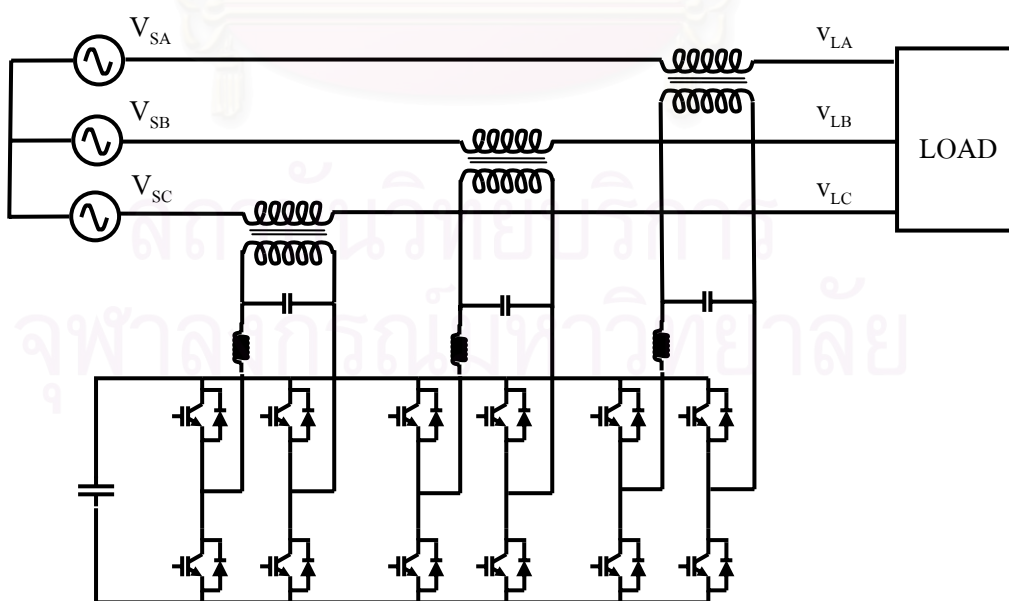
การสร้างแรงดันชดเชยเพิ่มเข้าไปในระบบไฟฟ้าใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะหรือ DVR ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนแปลงพลังงาน ส่วนที่ใช้เก็บพลังงานและส่วนการควบคุม ดังรูปที่ 2.11 ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะการทำงานของ DVR เป็นการสร้างแรงดันบวกเพิ่มเข้าไปในระบบเพื่อชดเชยผลต่างแรงดันระหว่างแรงดันตกชั่วขณะและแรงดันปกติ เมื่อระหว่างสภาวะปกติการทำงานของ DVR จะทำหน้าที่เสมือนตัวนำให้กระแสไหลผ่านได้ปกติ นั่นคือจะทำงานหรือทำการชดเชยแรงดันเพียงขณะการเกิดแรงดันตกชั่วขณะเท่านั้น



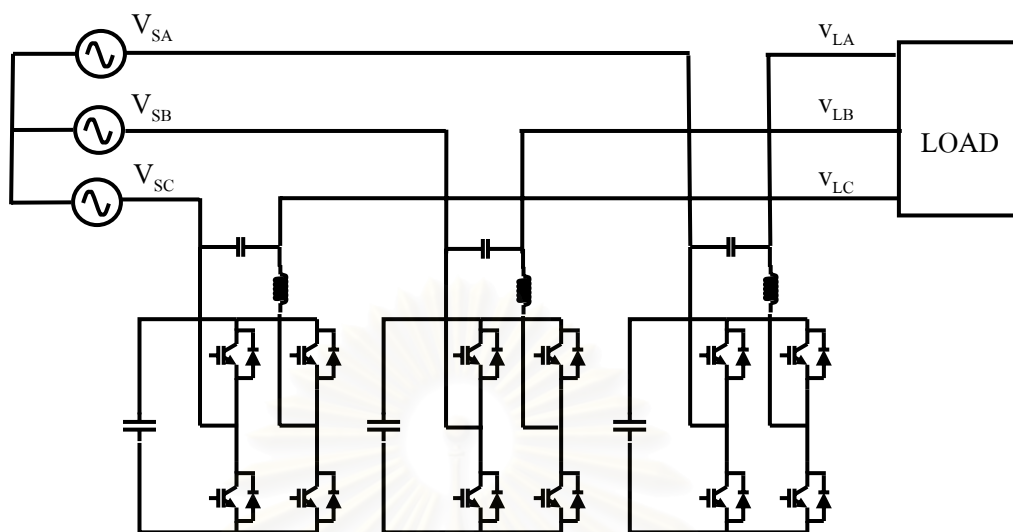
รูปที่ 2.11 ตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะและตำแหน่งการติดตั้ง

2.3.1 ส่วนการแปลงพลังงาน

เป็นส่วนใช้สร้างแรงดันชดเชยซึ่งส่วนประกอบหลักคือ อินเวอร์เตอร์และตัวกรองผ่านต่ำ นอกจากนั้นอาจมีหม้อแปลงไฟฟ้าวางอยู่ด้วยถ้าถูกนำไปติดตั้งในระบบไฟฟ้าที่มีระดับแรงดันสูงและกลาง แต่ในวิทยานิพนธ์นี้ DVR จะถูกติดตั้งที่ระบบไฟฟ้าที่มีระดับแรงดันต่ำ ซึ่งไม่นิยมใช้หม้อแปลงไฟฟ้าต่อเชื่อมระหว่างอินเวอร์เตอร์กับระบบไฟฟ้า แต่จะต่ออินเวอร์เตอร์ตรงเข้ากับระบบไฟฟ้าเลย เนื่องจากข้อเสียของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเลื่อนเฟส (Phase shift) และแรงดันตก (Voltage drop) นอกจากนั้นปัญหาสำคัญอีกอย่างคือ การเกิดการอิมพัลส์ของหม้อแปลงและกระแสอินรัช (Inrush current) ซึ่งทำให้ต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขนาดพิกัดเป็น 2 เท่าของพิกัดตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะเป็นผลให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีขนาดใหญ่และราคาสูง

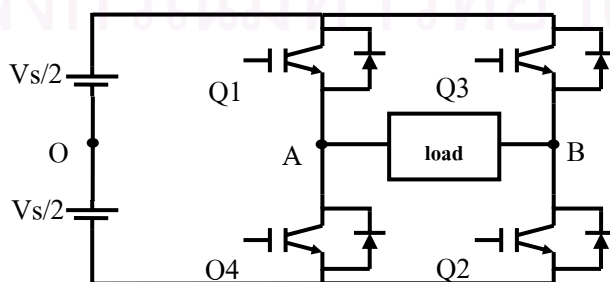


รูปที่ 2.12 ส่วนการแปลงพลังงานซึ่งใช้ในระบบไฟฟ้าระดับแรงดันสูงและกลาง

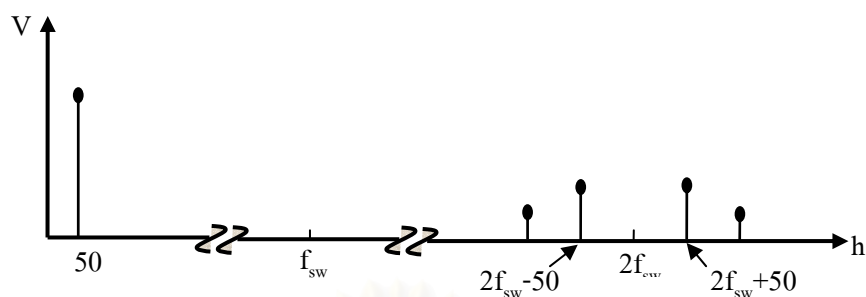


รูปที่ 2.13 ส่วนการแปลงพลังงานซึ่งใช้ในระบบไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำ

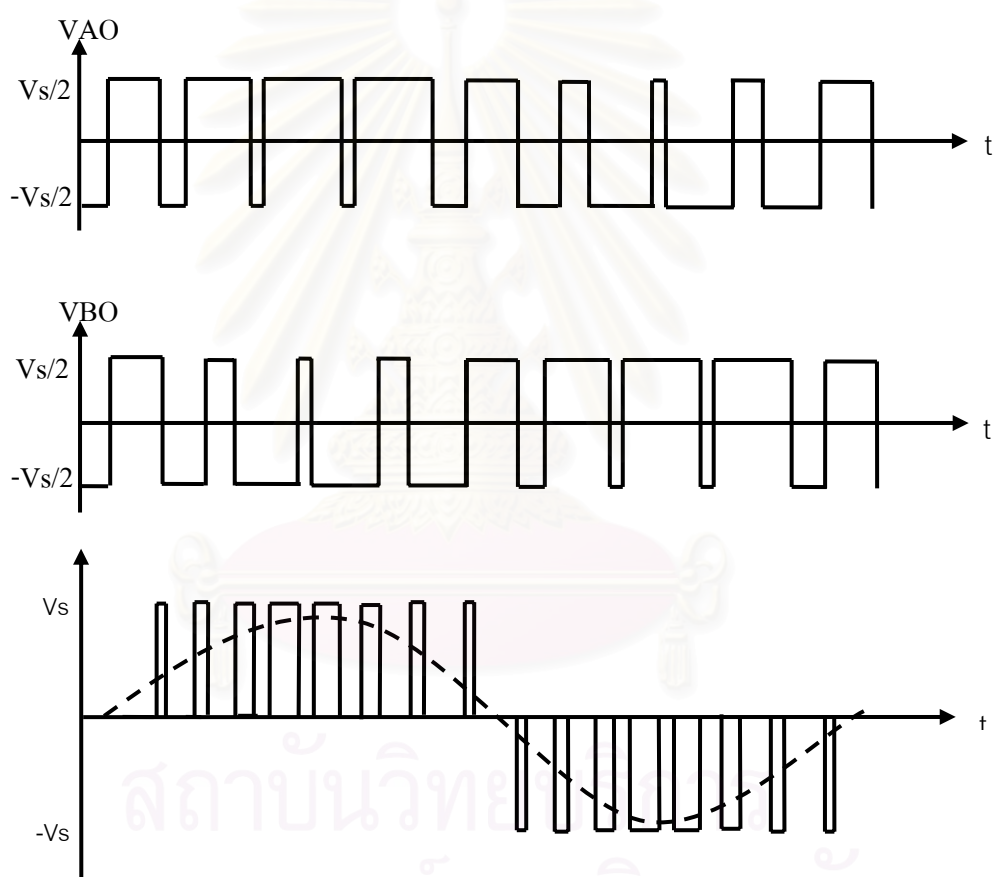
DVR ซึ่งติดตั้งในระบบไฟฟ้าระดับแรงดันต่ำนิยมใช้อินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ 1 เฟส จำนวน 3 ตัวดังรูปที่ 2.13 ต่ออนุกรมกับระบบไฟฟ้าและมีการขับนำสวิตช์แบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM) ที่ใช้การสวิตช์แรงดันแบบขั้วเดียว (Unipolar voltage switching) ข้อดีของการสวิตช์แบบนี้ คือ ความถี่ต่ำสุดของฮาร์มอนิกเกิดขึ้นที่ความถี่สองเท่าของความถี่การสวิตช์ นอกจากนั้นฮาร์มอนิกที่ความถี่สองเท่าของความถี่การสวิตช์ยังเป็นศูนย์ คงเหลือแต่แถบข้าง (Sideband) ดังรูปที่ 2.15 เนื่องจากแรงดัน V_{AO} และ V_{BO} ที่ฮาร์มอนิกนี้มีเฟสต่างกันเท่ากับ 360 องศา (เฟสตรงกัน) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ง่ายต่อการกรอง ลักษณะการทำงานของวงจรเป็นการสวิตช์แรงดันระหว่างค่าบวกกับค่าศูนย์เป็นเวลาครึ่งคาบ (สวิตช์ Q1 และ Q2 ทำงาน) แล้วจึงสวิตช์แรงดันระหว่างค่าลบกับค่าศูนย์ในครึ่งคาบถัดไป (สวิตช์ Q3 และ Q4 ทำงาน) นั่นคือการสวิตช์ของ Q1 และ Q3 เป็นอิสระต่อกัน ส่วนการสวิตช์ของ Q4 และ Q2 เป็นคู่ประกอบกับ Q1 และ Q3 ตามลำดับ จะได้แรงดันด้านออก ดังรูปที่ 2.16 [9]



รูปที่ 2.14 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ 1 เฟส



รูปที่ 2.15 สเปกตรัมของแรงดันที่ใช้แรงดันแบบขั้วเดียว



รูปที่ 2.16 รูปคลื่น PWM ที่ใช้การสวิตช์แรงดันแบบขั้วเดียว

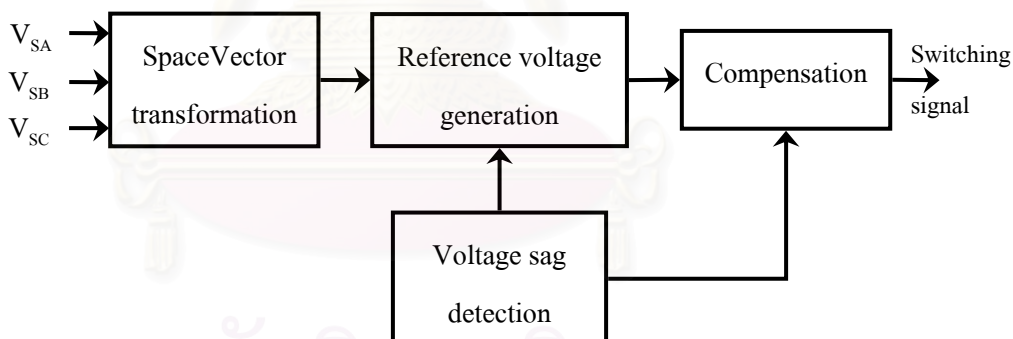
2.3.2 ส่วนที่ใช้เก็บพลังงาน

เป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อความสามารถในการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะในแง่ของโหลดที่สามารถรับได้ และเวลาในการชดเชย โดยทั่วไปนิยมใช้ตัวเก็บประจุ เนื่องจากหาซื้อได้ง่ายและราคาถูก

2.3.3 ส่วนการควบคุม

เป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุดในระบบการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ มีหน้าที่ในการควบคุมการเริ่มหรือหยุดทำงานของระบบ และคำนวณหาแรงดันที่ต้องชดเชยแล้วส่งสัญญาณไปสั่งให้ส่วนการแปลงพลังงานทำงาน ระบบการควบคุมพื้นฐานที่ถูกใช้ในงานวิจัยที่ผ่านมาโดยส่วนใหญ่จะใช้การควบคุมแบบเวกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ

1. การตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะ มีหน้าที่หลักเป็นเพียงการตรวจจับการเกิดและการสิ้นสุดของแรงดันตกชั่วขณะเท่านั้น
2. การสร้างแรงดันอ้างอิง มีหน้าที่หลักในการสร้างแรงดันสมมุติของแรงดันในระบบไฟฟ้าที่เป็นปกติขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ
3. การสร้างแรงดันชดเชย มีหน้าที่หลักในการคำนวณหาแรงดันที่ต้องชดเชย และสร้างสัญญาณการขับนำสวิตช์ไปสั่งให้อินเวอร์เตอร์สร้างแรงดันชดเชย



รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมพื้นฐาน

บทที่ 3

การควบคุมการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ

การควบคุมที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นแบบดิจิทัล ซึ่งอัลกอริทึมจะถูกพิจารณาจากหน้าที่และหลักการทำงานในส่วนต่างๆเพื่อปรับปรุงแก้ไขอัลกอริทึมจากงานวิจัยที่ผ่านมาให้ดีขึ้น โดยจุดประสงค์หลักคือการลดความยุ่งยากในทางปฏิบัติ แต่ยังคงประสิทธิภาพและความสามารถในการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะไว้ ในเบื้องต้นจะอธิบายทฤษฎีเกี่ยวกับแรงดันสเปซเวกเตอร์ จากนั้นจะเป็นแนวคิดในการปรับปรุงแก้ไขพัฒนาและรายละเอียดของอัลกอริทึมที่น่าสนใจ

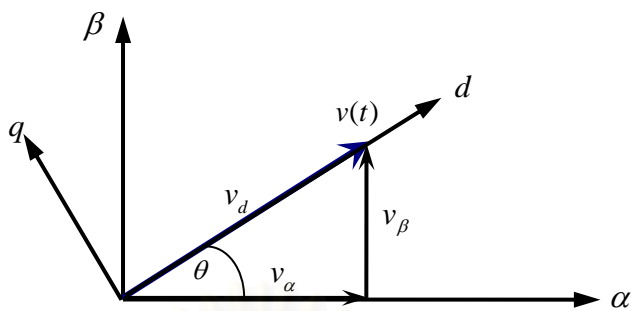
3.1 แรงดันสเปซเวกเตอร์

แรงดันตกชั่วขณะที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้จะไม่มีการลำดับศูนย์ (Zero sequence voltage) เนื่องจากการต่อหม้อแปลงแบบ Dy ในระบบไฟฟ้าดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 การแปลงแรงดันสเปซเวกเตอร์สามารถทำได้ 2 วิธีคือ การแปลงให้อยู่บนแกนนิ่งหรือบนระนาบ α - β และบนแกนหมุนหรือบนระนาบ d-q ดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

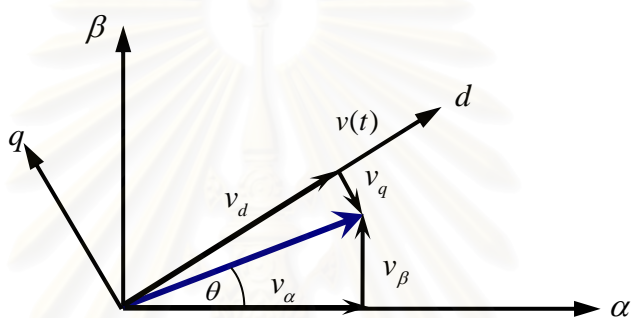
$$\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{SA} \\ V_{SB} \\ V_{SC} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta' & \sin\theta' \\ -\sin\theta' & \cos\theta' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

ซึ่งแรงดันสเปซเวกเตอร์ทั้งในกรณีแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสสมดุลและไม่สมดุลเป็นเวกเตอร์เดียวกันทั้งบนระนาบ α - β และบนระนาบ d-q ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ด้วยเหตุนี้ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้แรงดันสเปซเวกเตอร์บนระนาบ α - β ซึ่งจะช่วยให้ลดความยุ่งยากที่ต้องใช้เฟสล็อกในการหาข้อมูลของมุมเฟสในระบบไฟฟ้า ณ เวลานั้น (θ') ในการแปลงแกน



รูปที่ 3.1 แรงดันสเปซเวกเตอร์ขณะที่แรงดัน 3 เฟสมีความสมดุล



รูปที่ 3.2 แรงดันสเปซเวกเตอร์ขณะที่แรงดัน 3 เฟสมีความไม่สมดุล

รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของแรงดันสเปซเวกเตอร์บนระนาบ α - β ในกรณีแรงดันสมดุลเส้นโคจรจะมีลักษณะเป็นวงกลม แต่ในกรณีแรงดันไม่สมดุลเส้นโคจรจะมีลักษณะเป็นวงรีดังรูปที่ 3.4 เนื่องจากแรงดันขณะไม่สมดุลจะประกอบด้วยแรงดันที่สมดุล 2 แรงดัน ดังสมการที่ 3.3 คือ แรงดันลำดับบวกและแรงดันลำดับลบ ซึ่งทั้ง 2 แรงดันมีทิศทางการหมุนที่ตรงข้ามกัน

$$v(t) = v_p(t) + v_n(t) \tag{3.3}$$

และเมื่อนำแรงดันตกชั่วขณะแบบไม่สมดุล (สมการที่ 2.2) มาแปลงให้เป็นแรงดันสเปซเวกเตอร์จะได้ดังสมการที่ 3.4

$$v(t) = \left(\frac{V_1 + V_2'}{2} \right) e^{j\theta} + \left(\frac{V_1 - V_2'}{2} \right) e^{-j\theta} \tag{3.4}$$

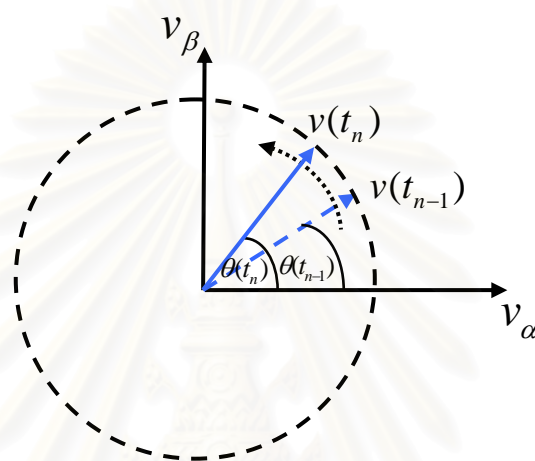
โดยที่ V_1 คือ ขนาดของแรงดันที่เฟส A

V_2' คือ ขนาดของแรงดันที่เฟส B หรือ C คูณด้วย $\sin(2\pi/3 + \phi)$

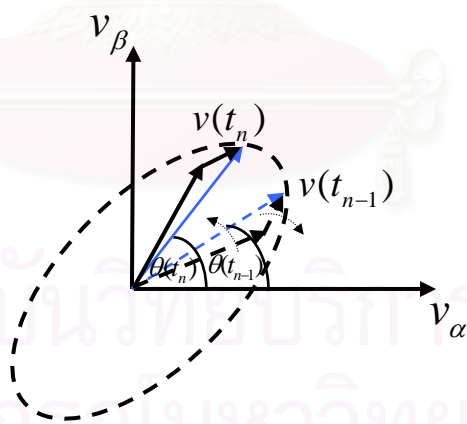
จากสมการที่ 3.3 และ สมการที่ 3.4 จะได้ว่า

$$v_p(t) = \left(\frac{v_1 + v_2}{2} \right) e^{j\theta} \quad (3.5)$$

$$v_n(t) = \left(\frac{v_1 - v_2}{2} \right) e^{-j\theta} \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.3 ลักษณะของแรงดันสเปซเวกเตอร์ของแรงดันบนระนาบ α - β ขณะแรงดันสมดุล



รูปที่ 3.4 ลักษณะของแรงดันสเปซเวกเตอร์ของแรงดันบนระนาบ α - β ขณะแรงดันไม่สมดุล

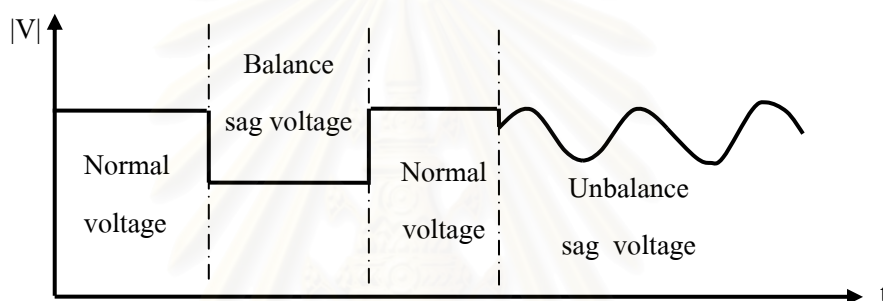
ขนาดของแรงดันสเปซเวกเตอร์สามารถหาได้จากสมการที่ 3.7 ขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบสมดุลขนาดของแรงดันมีค่าคงที่ดังรูปที่ 3.5 แต่ในขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบไม่สมดุลขนาดของแรงดันจะมีการแกว่งด้วยความถี่ 100 เฮิร์ต ซึ่งประกอบด้วย ขนาดของแรงดัน

ลำดับบวกสามารถหาค่าได้โดยการหาค่าเฉลี่ยหรือสามารถหาได้จากสมการที่ 3.8 และขนาดของแรงดันลำดับลบซึ่งแกว่งบนแรงดันลำดับบวก สามารถหาค่าได้จากสมการที่ 3.9

$$|v(t)| = \sqrt{v_{\alpha}^2(t) + v_{\beta}^2(t)} \quad (3.7)$$

$$|v_p| = \left| \frac{v_1 + v_2}{2} \right| \quad (3.8)$$

$$|v_n| = \left| \frac{v_1 - v_2}{2} \right| \quad (3.9)$$

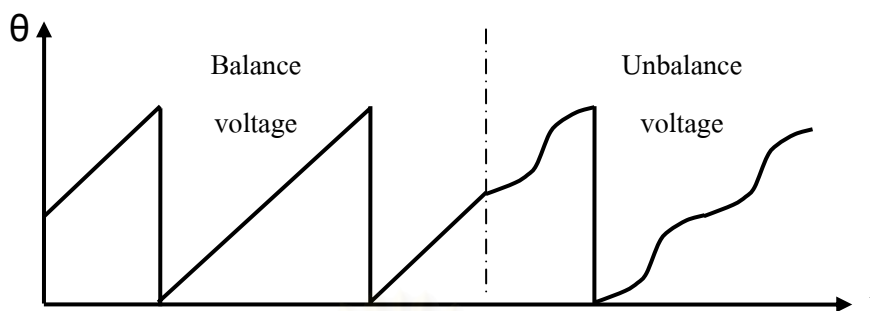


รูปที่ 3.5 ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะแบบสมดุลและไม่สมดุล

มุมเฟสของแรงดันสเปซเวกเตอร์สามารถหาได้ดังสมการที่ 3.10

$$\theta(t) = \tan^{-1} \left(\frac{v_{\beta}(t)}{v_{\alpha}(t)} \right) \quad (3.10)$$

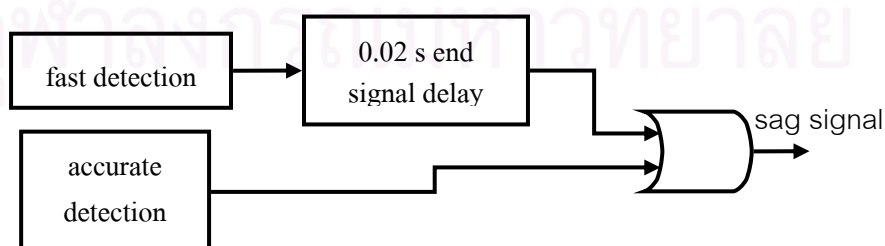
ลักษณะของมุมเฟสของแรงดันทั้งแบบสมดุลและไม่สมดุลแสดงดังรูปที่ 3.6 มุมเฟสของแรงดันขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบสมดุลจะเหมือนกับขณะปกติ แต่ขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบไม่สมดุลมุมเฟสก็มีการแกว่งที่ความถี่ 100 เฮิร์ต บนมุมเฟสปกติเช่นเดียวกับขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ



รูปที่ 3.6 มุมเฟสของแรงดันตกชั่วขณะแบบสมดุลและไม่สมดุล

3.2 การตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะ

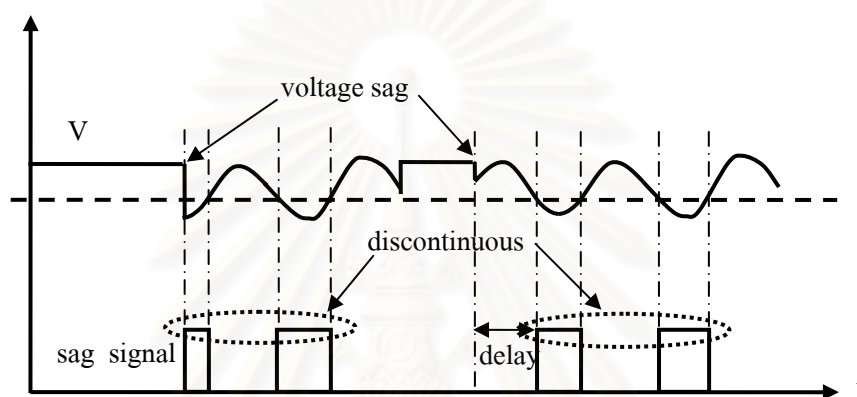
ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ 2 อัลกอริทึมทำงานร่วมกัน โดยแบ่งออกเป็น ส่วนตรวจจับแบบเร็วและ ส่วนตรวจจับแบบแม่นยำ โดยการตรวจจับแบบเร็วซึ่งเป็นการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแรงดันสเปซเวกเตอร์ประกอบด้วย การตรวจจับขนาดและการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสของแรงดันสเปซเวกเตอร์ ส่วนตรวจจับแบบแม่นยำใช้วิธีรีเฟรชเฟดดิเอฟที่ รูปที่ 3.7 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานร่วมกันของ 2 อัลกอริทึม เริ่มจากส่วนตรวจจับแบบเร็ว ซึ่งมีการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะที่มีความเร็วแต่มีความแม่นยำน้อย อาจจะมีการตรวจจับผิดพลาดแต่ก็ไม่ได้มีผลเสียอะไร นอกจากนี้ตัวเครื่องจะทำงานบ่อยครั้ง เมื่อส่วนตรวจจับแบบเร็วตรวจจับได้ว่าเกิดแรงดันตกชั่วขณะก็จะทำการหน่วงเวลาของสัญญาณการเกิดแรงดันตกชั่วขณะออกไปเพื่อรอสัญญาณจากส่วนตรวจจับแบบแม่นยำซึ่งจะเป็นส่วนตรวจสอบว่าเกิดแรงดันตกชั่วขณะจริงหรือไม่ได้อย่างแม่นยำ แต่ต้องใช้เวลาถึง 0.02 วินาทีและในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ช่วยให้สามารถชดเชยแรงดันได้ต่อเนื่องจนถึงการสิ้นสุดของแรงดันตกชั่วขณะ



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมการทำงานร่วมกันของ 2 อัลกอริทึม

3.1.1 ส่วนตรวจจับแบบเร็ว

การตรวจจับในส่วนนี้จะเป็นการตรวจจับทั้งขนาดและมุมเฟสดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยการตรวจจับขนาดจะใช้เกณฑ์ในการพิจารณาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะมีค่าคงที่เนื่องจากขนาดของแรงดันมาตรฐานที่จะทำให้อุปกรณ์มีปัญหา นั้นมีค่าแน่นอนที่ค่าๆหนึ่งและการใช้เกณฑ์จากขนาดของแรงดันในระบบไฟฟ้าจริงในสภาวะปกติจะมีค่าไม่แน่นอน อาจทำให้ไม่สามารถตรวจจับการเกิดแรงดันตกชั่วขณะได้ในบางกรณี



รูปที่ 3.8 ปัญหาในการตรวจจับขนาดของแรงดันสเปซเวกเตอร์

การตรวจจับขนาดแรงดันสเปซเวกเตอร์สามารถตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะแบบสมมูลได้ดี แต่ขณะที่แรงดันตกชั่วขณะแบบไม่สมมูลจะมีปัญหา 2 ประการ คือ

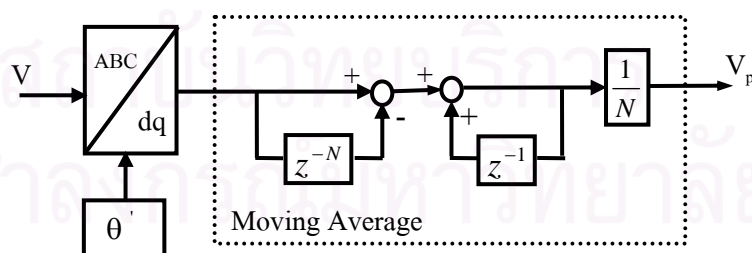
1. ความล่าช้าในการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะแบบไม่สมมูล ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งการเกิดแรงดันตกชั่วขณะบนรูปคลื่นแรงดันดังรูปที่ 3.8 ในกรณีที่แรงดันตกชั่วขณะเกิดที่จุดต่ำสุดของขนาดแรงดันที่แกว่งจะสามารถตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะได้ทันที แต่ถ้าเกิดที่ตำแหน่งอื่นที่มีค่ามากกว่าค่าเกณฑ์ที่กำหนดก็จะต้องรอนกว่าแรงดันจะแกว่งลงมาต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดจึงสามารถตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะได้ ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะทำให้เกิดการล่าช้าในการตรวจจับมากที่สุดถึง 10 มิลลิวินาที แต่อย่างไรก็ตามปัญหานี้สามารถลดลงได้โดยใช้การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสร่วมด้วย เนื่องจากในสภาวะปกติการเปลี่ยนแปลงของมุมเฟสจะมีค่าคงที่ แต่เมื่อเกิดแรงดันไม่สมมูลจะทำให้เกิดการแกว่งมุมเฟสดังที่กล่าวไว้ข้างต้นซึ่งส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงของมุมเฟสมีค่าไม่คงที่และสามารถคาดคะเนได้ว่าอาจจะเป็นแรงดันตกชั่วขณะ โดยการเปลี่ยนแปลงของมุมเฟสปกติสามารถหาได้จากมุมเฟสใน 1 ไซเคิล (มีค่าเท่ากับ 360 องศาหรือ 2π เรเดียน) หากด้วยจำนวนข้อมูลที่ทำการสุ่ม (Sampling) ใน 1 ไซเคิล ดังสมการที่ 3.11

$$\Delta\theta_{\text{normal}} = \frac{360}{\text{No.sample}} \quad \text{หรือ} \quad \frac{2\pi}{\text{No.sample}} \quad (3.11)$$

2. การไม่ต่อเนื่องของสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการแกว่งของขนาดแรงดันสเปซเวกเตอร์แบบไม่สมมูลดังรูปที่ 3.8 คือเมื่อขนาดแรงดันแกว่งไปสู่ค่าน้อยกว่าค่าเกณฑ์ที่กำหนดก็จะตรวจจับได้ว่าเกิดแรงดันตกชั่วขณะ แต่ถ้าขนาดแรงดันแกว่งไปสู่ค่ามากกว่าค่าเกณฑ์ที่กำหนดก็จะทำให้ตรวจจับไม่ได้ว่าเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาการชดเชยแรงดันได้ นอกจากนั้นการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสก็ไม่สามารถช่วยแก้ปัญหานี้ได้ เนื่องจากสัญญาณที่ได้ไม่มีความต่อเนื่องเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องมีอีกอัลกอริทึมซึ่งมีความแน่นอนในการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะทั้งในขณะสมมูลและไม่สมมูลมาช่วยแก้ปัญหา นี้เป็นส่วนตรวจจับแบบแม่นยำ

3.1.2 ส่วนตรวจจับแบบแม่นยำ

ในส่วนนี้เป็นการตรวจจับขนาดแรงดันสเปซเวกเตอร์อย่างเดียวและใช้เกณฑ์ในการพิจารณาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะมีค่าคงที่ โดยใช้วิธีการรีเคอร์ซีฟดีเอฟที เนื่องจากมีความแม่นยำมากและง่ายในการปฏิบัติจริง โดยที่รูปที่ 3.9 แสดงการหาขนาดแรงดันลำดับบวก โดยเริ่มจากการแปลงแรงดัน 3 เฟสให้อยู่บนระนาบ d-q เนื่องจากต้องการเพียงขนาด ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้เฟสล็อกเพื่อหา θ' แต่ใช้การสร้าง θ' ขึ้นมาเอง ซึ่งจะได้อัตราความถี่มูลฐานที่มีค่าคงที่ แต่เนื่องจากขณะเกิดแรงดันไม่สมมูลจะมีการแกว่งของแรงดันและในระบบไฟฟ้าไม่ได้มีเพียงแรงดันที่ความถี่มูลฐาน ดังนั้นจึงต้องนำแรงดันที่ได้มาผ่านตัวกรองแบบมูฟวิงเอฟเวอร์เรจ (Moving average) ความยาว 1 คาบก่อนแล้วจึงนำไปหาขนาดของแรงดันต่อไป



รูปที่ 3.9 วิธีการรีเคอร์ซีฟดีเอฟที

จากสมการที่ 3.8 แสดงให้เห็นว่าแรงดันลำดับบวกเพียงอย่างเดียวไม่สามารถบอกถึงแรงดันของเฟสที่ลดลงมากที่สุดได้และทำให้ตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะไม่ได้ในบางกรณี แต่ถ้าคิดผลของแรงดันลำดับลบด้วย ก็จะทำให้ตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะได้ทุกกรณี โดยการนำขนาดของ

แรงดันลำดับบวกกลับด้วยขนาดของแรงดันลำดับลบ ซึ่งวิธีการหาค่าขนาดแรงดันลำดับลบจะเหมือนการหาขนาดแรงดันลำดับบวกเพียงแต่เปลี่ยน θ' เป็น $-\theta'$

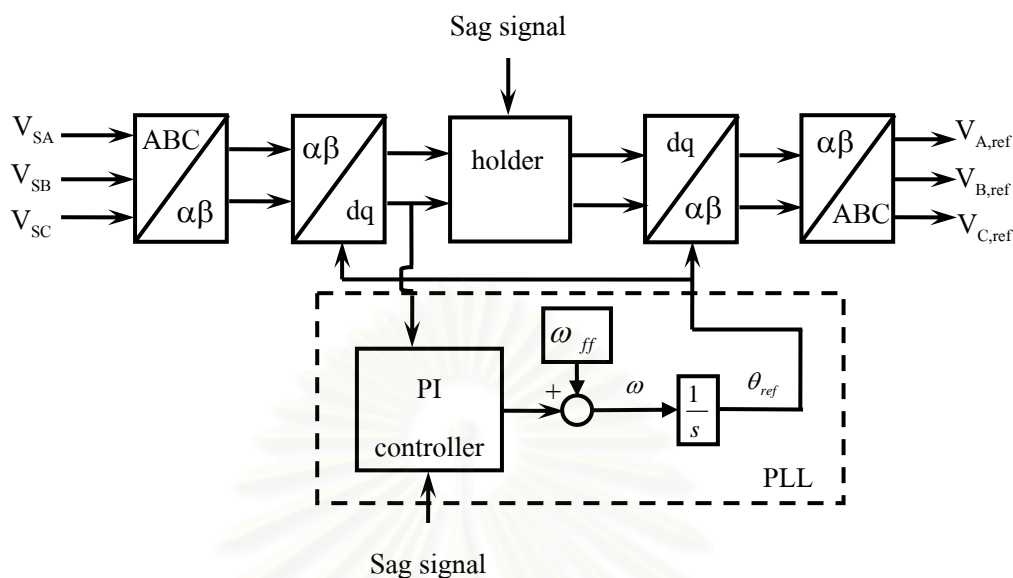
3.3 การสร้างแรงดันอ้างอิง

โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้ใช้เฟสล็อกช่วยในการสร้างแรงดันอ้างอิง รูปที่ 3.10 แสดงบล็อกไดอะแกรมการสร้างแรงดันอ้างอิงโดยใช้เฟสล็อก โดยหลักการทำงานของเฟสล็อกจะเริ่มจากการแปลงแรงดันให้อยู่ในรูปของสเปซเวกเตอร์ตามสมการที่ 3.1 จากนั้น v_β และ v_α จะถูกแปลงให้อยู่ในแกนหมุน d-q โดยใช้ข้อมูลมุมเฟสจากเฟสล็อก ซึ่งถ้ามุมเฟสที่ได้จากเฟสล็อกตรงกับมุมเฟสจริงในระบบไฟฟ้าจะทำให้แรงดันในแกน q มีค่าเป็นศูนย์ แต่ถ้ามุมเฟสที่ได้ไม่ตรงกับมุมเฟสจริงในระบบไฟฟ้าก็ทำให้แรงดันในแกน q มีค่าเท่ากับสมการที่ 3.12 นั่นคือเฟสล็อกใช้ในการควบคุมแรงดันในแกน q ให้มีค่าเป็นศูนย์โดยใช้การควบคุมแบบ PI

$$v_q = |v| \sin(\theta - \theta') \quad (3.12)$$

การสร้างแรงดันอ้างอิงเริ่มเมื่อได้รับสัญญาณว่าเกิดแรงดันตกชั่วขณะ จากนั้นก็จะสั่งให้เก็บข้อมูล V_d และ V_q ก่อนการเกิดแรงดันตกชั่วขณะไว้ และสั่งให้เฟสล็อกหยุดการติดตามข้อมูลของแรงดันในระบบไฟฟ้าและเก็บข้อมูลความถี่ก่อนการเกิดแรงดันตกชั่วขณะไว้และสร้างข้อมูลมุมเฟสที่ความถี่นี้ต่อไป ต่อจากนั้นข้อมูลมุมเฟสที่ได้จะถูกนำไปแปลงข้อมูลแรงดันบนระนาบ d-q ที่ถูกเก็บไว้ให้กลับเป็นแรงดันอ้างอิง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมการสร้างแรงดันอ้างอิงโดยใช้เฟสล็อกคูลูป

จากหลักการทำงานของเฟสล็อกคูลูปในการสร้างแรงดันอ้างอิงที่ได้กล่าวข้างต้น จะสังเกตเห็นได้ว่าขณะทำการสร้างแรงดันอ้างอิงตัวควบคุม PI หรือความสามารถในการติดตามมุมเฟสในระบบได้อย่างรวดเร็วไม่ได้ถูกใช้งานเลยซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าการสร้างแรงดันอ้างอิงไม่จำเป็นต้องใช้เฟสล็อกคูลูป ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้หลักการที่ว่าแรงดันที่ความถี่หลักมูลเมื่ออยู่บนระนาบ α - β จะหมุนเป็นวงกลมดังรูปที่ 3.3 เมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะข้อมูลของแรงดันก่อนเกิดแรงดันตกชั่วขณะจะถูกเก็บไว้และนำมาใช้สร้างแรงดันอ้างอิง โดยนำขนาดแรงดันมาหมุนต่อไปด้วยความถี่ ω_1 โดยการปรับปรุงมุมเฟสของแรงดันตามเวลาต่อจากข้อมูลก่อนการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ดังสมการที่ 3.13

$$\theta(t_n) = \theta(t_{n-1}) + \omega_1 T_s \quad (3.13)$$

การตรวจจับความถี่ ω_1 ในระบบไฟฟ้าจะทำงานตลอดเวลาแม้ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะด้วยวิธีซีโรครอสซิง ซึ่งมีความยาวข้อมูล 2 คาบเฉลี่ยกันเนื่องจากความถี่มีการเปลี่ยนแปลงที่ช้าและการผิดพลาดในช่วงเวลา 2 คาบจะทำให้เกิดผลต่างของมุมเฟสแรงดันในระบบไฟฟ้ากับแรงดันที่สร้างขึ้นมาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นอกจากนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการจำกัดความถี่ให้อยู่ในช่วงที่เป็นไปได้จริงในระบบไฟฟ้าเพื่อลดผลกระทบจากการกระโดดของมุมเฟสแรงดันขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

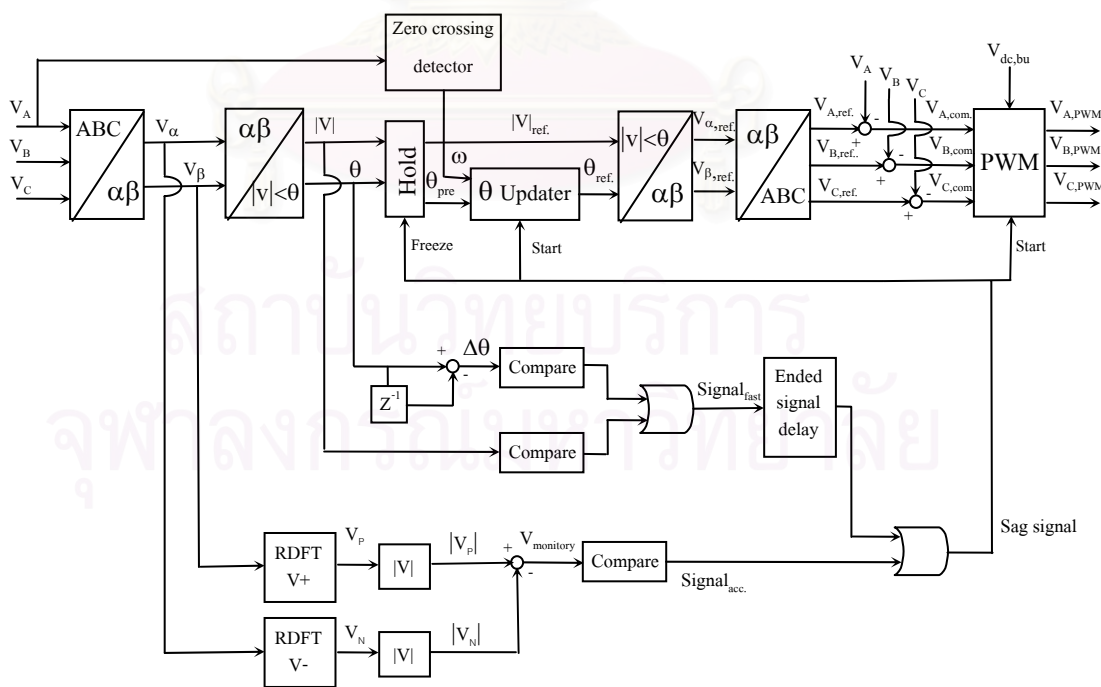
3.3 การสร้างแรงดันชดเชย

ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้การชดเชยแรงดันแบบปกติเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สามารถหาแรงดันที่ต้องการชดเชยได้จากแรงดันอ้างอิงลบด้วยแรงดันจริงในระบบไฟฟ้าซึ่งจะทำให้แรงดันโหลดไม่มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟส แรงดันบัลไฟตรงซึ่งเป็นเพียงตัวเก็บประจุจะมีค่าลดลงเรื่อยๆขณะสร้างแรงดันชดเชยเป็นผลให้แรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์มีค่าลดลงตามค่าแรงดันบัลไฟตรงและทำให้การชดเชยแรงดันตกชั่วขณะไม่ได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องวัดค่าแรงดันบัลไฟตรงเพื่อมาปรับค่าแรงดันคำสั่งให้แรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ดังสมการที่ 3.14 และขณะที่ไม่เกิดแรงดันตกชั่วขณะจะต้องสั่งให้สวิตช์คู่หนึ่งของอินเวอร์เตอร์ทำงานนั้นคือ สวิตช์ Q1 และ Q3 หรือ สวิตช์ Q2 และ Q4 เพื่อเป็นทางผ่านของกระแสไปยังโหลด

$$V_{com,bus} = \frac{V_{com} V_{dc,max}}{V_{dc}} \tag{3.14}$$

โดยที่ V_{dc} คือ แรงดันที่บัลไฟตรง

$V_{dc,max}$ คือ แรงดันบัลไฟตรงสูงสุด



รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมส่วนควบคุมตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ

บทที่ 4

การออกแบบและการจำลองการทำงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบขนาดตัวเก็บประจุที่ใช้เก็บพลังงาน วงกรอง (Filter) ด้านออกของอินเวอร์เตอร์ และการกำหนดเกณฑ์ในการพิจารณาแรงดันตกชั่วขณะ โดยกำหนดให้ขนาดของตัวชดเชยเท่ากับ 3.3 kVA แรงดัน 380 V 3 เฟส ความถี่ 50 Hz กระแสโหลดสูงสุด 5 A ความถี่การสวิตช์ 20 kHz และแรงดันบัสไฟตรง 300 V สามารถชดเชยแรงดันตกชั่วขณะได้นานที่สุดเป็นเวลา 0.1 วินาที และสุดท้ายจะทำการจำลองการทำงานของอัลกอริทึมที่นำเสนอและสิ่งที่ได้ ออกแบบไว้เพื่อยืนยันความสามารถในเบื้องต้น

4.1 การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุที่ใช้เก็บพลังงาน

เนื่องจากตัวเก็บประจุเป็นที่เก็บพลังงานที่มีความจำกัด ดังนั้นจึงต้องกำหนดขอบเขตความสามารถในการชดเชยแรงดัน ดังได้กล่าวบางส่วนไว้ข้างต้นแล้ว แต่ก็ยังต้องมีข้อกำหนดอื่นๆ ร่วมด้วย ซึ่งข้อกำหนดทั้งหมดในการออกแบบขนาดของตัวเก็บประจุมีดังนี้

1. สามารถชดเชยแรงดันตกชั่วขณะได้สูงสุดเท่ากับ 110 V (50% ของแรงดันปกติ) ที่กระแส 5 A ตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1 (Unity) และเป็นการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะแบบปกติ กรณีชดเชยตรงเฟสกับแรงดันตกชั่วขณะซึ่งเป็นกรณีที่ใช้กำลังจริงมากที่สุด เป็นระยะเวลา 0.1 วินาที
2. แรงดันสูงสุดที่บัสไฟตรงมีค่าเท่ากับ 300 V
3. เนื่องจากขณะทำการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะ แรงดันที่บัสไฟตรงจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จึงต้องกำหนดค่าแรงดันต่ำสุดที่บัสไฟตรงที่สามารถสร้างแรงดันชดเชยได้อย่างสมบูรณ์ โดยพิจารณาแรงดันสูงสุดที่ต้องการชดเชยได้นั้นคือ 110 V ซึ่งมีค่ายอดแรงดันเท่ากับ 156 V และเพื่อค่าแรงดันที่ลดลงเนื่องจากความสูญเสียต่างๆในระบบ ดังนั้นจึงกำหนดให้แรงดันต่ำสุดที่บัสไฟตรงมีค่าเท่ากับ 200 V

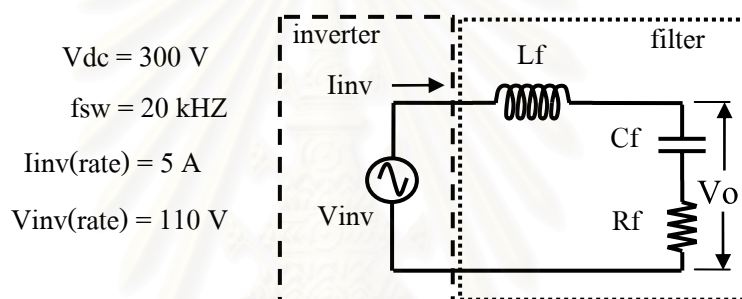
จากข้อกำหนดข้างต้นสามารถหาขนาดตัวเก็บประจุได้จากสมการที่ 4.1

$$C_{bus} = \frac{2V_{com(max)} I_{com(max)} t_{com(max)}}{(V_{bus(max)}^2 - V_{bus(min)}^2)} \quad (4.1)$$

$$= \frac{2 \times 110 \times 5 \times 0.1}{(300^2 - 200^2)} = 2200 \mu F$$

4.2 การออกแบบวงจรกรอง

เนื่องจากแรงดันที่อินเวอร์เตอร์สร้างไม่เป็นรูปคลื่นไซน์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องต่อวงจรกรองที่ด้านออกของอินเวอร์เตอร์เพื่อกรองความถี่ที่ไม่ต้องการไม่ให้เข้าไปในระบบไฟฟ้ามากเกินไป โดยในการออกแบบจะละเลยผลกระทบของโหลดและแรงดันในระบบไฟฟ้าเพื่อให้่ายในการออกแบบและสามารถเขียนวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งการออกแบบมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 4.1 วงจรสมมูลของวงจรกรองที่ใช้ในการออกแบบ

1. กำหนดให้แรงดันความถี่หลักมูลที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองมีค่าไม่เกิน 5 % ของแรงดันในระบบไฟฟ้าปกติ ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการเลือกตัวเหนี่ยวนำค่ามากที่สุดที่สามารถใช้งานได้ สามารถหาได้จากสมการที่ 4.2

$$L_f \leq \frac{0.05 V_{normal}}{2\pi f_{i_{inv(rate)}}} \quad (4.2)$$

$$\leq \frac{0.05 \times 220}{2\pi \times 50 \times 5} = 7 \text{ mH}$$

2. กำหนดให้ค่ายอดของกระแสระเพื่อมสูงสุดที่ผ่านวงจรกรองมีค่าไม่เกิน 15 % ของกระแสพิคอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการเลือกตัวเหนี่ยวนำค่าน้อยที่สุดที่สามารถใช้งานได้ สามารถหาได้จากสมการที่ 4.3 โดยพิจารณาจากแรงดันขณะที่วัฏจักรงาน (Duty cycle) 50 % ซึ่งจะมีค่ายอดของกระแสระเพื่อมสูงสุด

$$L_f \geq \frac{V_{L_f}}{2\Delta i_{inv} f_h} \quad (4.3)$$

$$\geq \frac{300}{2 \times 0.15 \times 5 \sqrt{2} \times 40 \times 10^3} = 3.54 \text{ mH}$$

3. กำหนดค่ากระแสแฉกระเพื่อมที่ไหลไม่เกิน 5 % ของกระแสแฉกระเพื่อมที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ วงจรกรอง ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการเลือกตัวเก็บประจุค่าน้อยที่สุดที่สามารถใช้งานได้ โดยพิจารณาการแบ่งไหลของ กระแสแฉกระเพื่อมจากอัตราส่วนของอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุกับโหลด โดย โหลดจะคิดที่กรณีที่ย่ำที่สุดคือมีเพียงตัวต้านทานที่พิกัดอย่างเดียว สามารถหาได้จากสมการที่ 4.4

$$C_f \geq \frac{20}{2\pi f_h R_{rate}} \quad (4.4)$$

$$\geq \frac{20}{2\pi \times 40 \times 10^3 \times 44} = 1.81 \mu F$$

4. กำหนดค่า damping factor เท่ากับ 1 จากรูปที่ 4.1 สามารถเขียนอัตราส่วนระหว่างแรงดันด้าน ออกกับแรงดันที่อินเวอร์เตอร์สร้างได้ดังสมการที่ 4.5

$$\frac{V_o}{V_{inv}} = \frac{C_f R_f s + 1}{C_f L_f s^2 + C_f R_f s + 1} \quad (4.5)$$

จากสมการที่ 4.5 สามารถหาค่า damping factor ได้ดังสมการ 4.6

$$\xi_f = \frac{R_f}{2} \sqrt{\frac{C_f}{L_f}} \quad (4.6)$$

และจะได้ว่า

$$R_f = 2 \sqrt{\frac{L_f}{C_f}} \quad (4.7)$$

5. กำหนดการลดทอนแรงดันกระแสแฉกให้มีค่าไม่น้อยกว่า 15 เท่า ที่ความถี่ฮาร์โมนิก (40 kHz) และเมื่อแทนค่า Rf สมการที่ 4.7 ลงในสมการที่ 4.5 จะได้สมการที่ 4.8

$$\frac{V_o}{V_{inv}} = \frac{2\sqrt{C_f L_f s + 1}}{C_f L_f s^2 + 2\sqrt{C_f L_f s + 1}} \quad (4.8)$$

จากข้อกำหนดและสมการที่ 4.8 สามารถหาค่าผลคูณระหว่างตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองได้เท่ากับ

$$C_f L_f = 14.22 \times 10^{-9}$$

แต่เพื่อให้่ายในการออกแบบจะประมาณค่าเป็น

$$C_f L_f = 16 \times 10^{-9}$$

จากข้อกำหนดที่ 1 และ 2 เลือกค่าตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรองเท่ากับ

$$L_f = 4 \text{ mH}$$

ดังนั้นจะได้ค่าตัวเก็บประจุของวงจรกรองเท่ากับ

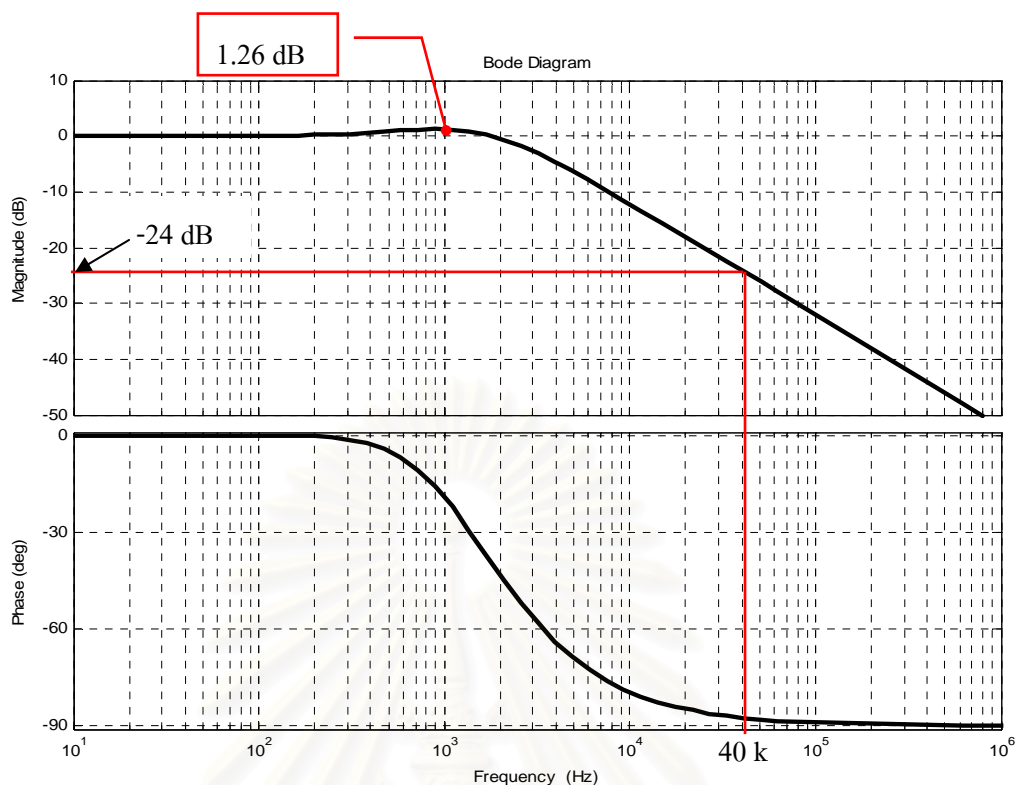
$$C_f = 4 \mu\text{F}$$

และจากสมการที่ 4.7 แทนค่าตัวเหนี่ยวนำ L_f และตัวเก็บประจุ C_f จะได้ค่าตัวต้านทานของวงจรกรองเท่ากับ

$$R_f = 63 \Omega$$

จากรูปที่ 4.2 แสดงผลการตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรองที่ได้ออกแบบ ที่ความถี่ฮาร์โมนิก 40 kHz มีอัตราการลดทอนเท่ากับ 15.85 เท่า และที่ความถี่เรโซแนนซ์มีอัตราขยายเพียง 1.26 dB

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



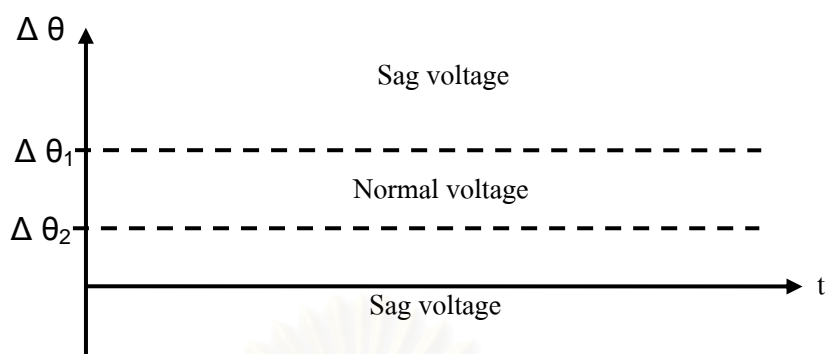
รูปที่ 4.2 ผลการตอบสนองทางความถี่ของวงจรกรอง

4.3 การกำหนดเกณฑ์ในการพิจารณาแรงดันตกชั่วขณะ

ในงานวิจัยนี้เลือกให้แรงดันแรงดันสเปซเวกเตอร์ต่ำกว่า 198 V เป็นเงื่อนไขของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะของการตรวจจับขนาดแรงดันสเปซเวกเตอร์ทั้งแบบเร็วและแบบแม่นยำเนื่องจากเป็นค่าแรงดันต่ำที่สุดที่อุปกรณ์ไฟฟ้ายังทำงานได้อยู่ ส่วนเงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสในทางทฤษฎีนั้นสามารถหาได้จากสมการที่ 3.8 โดยในงานวิจัยนี้ใช้จำนวนข้อมูลการสุ่มเท่ากับ 200 ค่า ดังนั้นจะหาค่าการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสปกติได้เป็น

$$\Delta\theta_{normal} = \frac{360(2\pi)}{200} = 1.8^\circ (0.0314 \text{ radian})$$

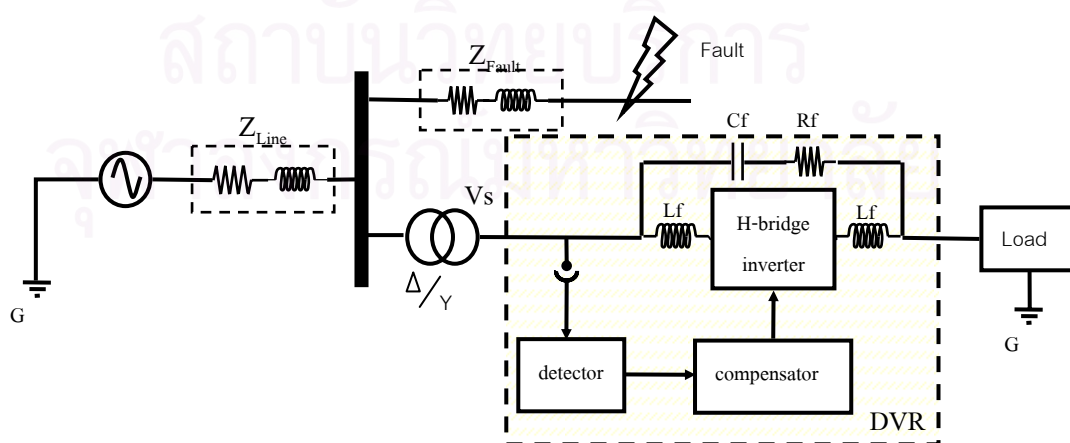
ในทางปฏิบัติระบบไฟฟ้าไม่ได้มีเพียงความถี่มูลฐานแต่ยังมีความถี่ฮาร์มอนิกปนอยู่ด้วย จึงทำให้การเปลี่ยนแปลงของมุมเฟสไม่ได้มีค่าคงที่ แต่มีการแกว่งรอบๆค่าคงที่ที่หาได้จากสมการที่ 3.8 เป็นผลให้เงื่อนไขของการเปลี่ยนแปลงมุมเฟสจะต้องเป็นย่านขึ้นอยู่กับความผิดเพี้ยนของแรงดันไฟฟ้าดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ย่านของการเปลี่ยนแปลงมุมเฟส

4.4 การจำลองการทำงาน

การจำลองการทำงานใช้วงจรดังรูปที่ 4.4 โดยกำหนดให้การผิดปกติในระบบไฟฟ้าเกิดที่วินาทีที่ 0.04 เป็นระยะเวลา 0.1 วินาที และมีพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้ แรงดันแหล่งจ่าย 3 เฟสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงมีค่า 380 V ที่ความถี่ 50 Hz และมีแรงดันฮาร์มอนิกที่ 5 และ 7 เป็น 76 V และ 38 V ตามลำดับ, ใช้สวิตช์แบบอุดมคติมีความถี่การสวิตช์ 20 kHz, ตัวเก็บประจุวงจรกรอง Cf 4 μ F, ตัวเหนี่ยวนำวงจรกรอง Lf 4 mH, ตัวต้านทานวงจรกรอง Rf 63 โอห์ม, ตัวเก็บประจุเก็บพลังงาน 2200 μ F, ความถี่การสุ่มข้อมูล 10 kHz, เงื่อนไขในการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ในกรณีของขนาดแรงดัน |V| ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 198 V ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงมุมเฟส $\Delta\theta$ ต้องมากกว่า 2.3 องศา หรือ น้อยกว่า 1.3 องศา และใช้โหลดตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งมีค่า 42 โอห์ม และ 48 mH ตามลำดับ



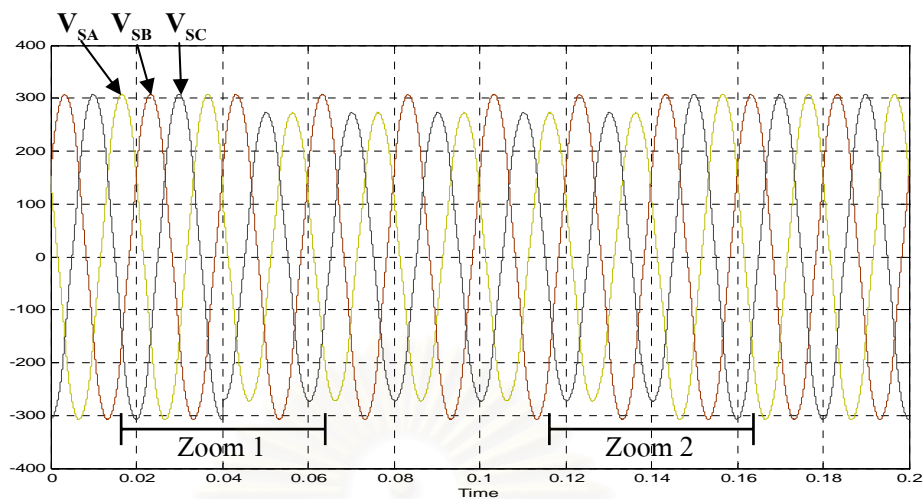
รูปที่ 4.4 วงจรการจำลองการทำงาน

4.4.1 ผลการจำลองการชดเชยแรงดันกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 1 เฟส

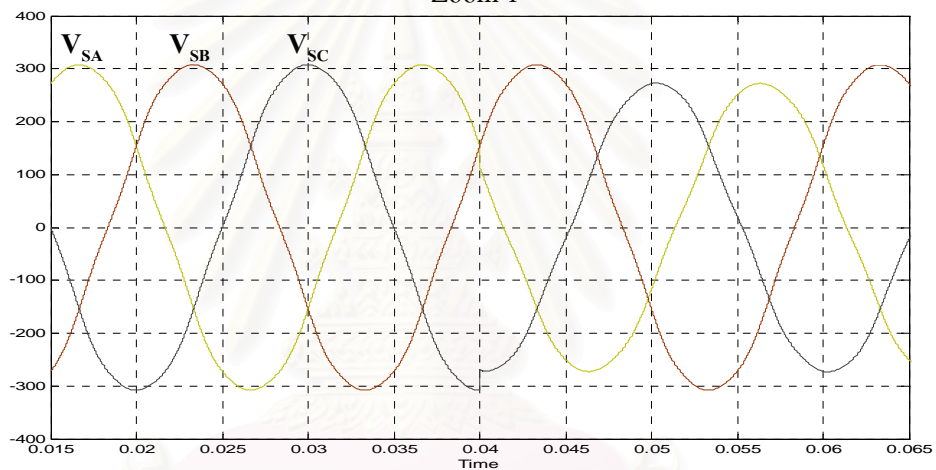
รูปที่ 4.5 แสดงแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงซึ่งเกิดจากความผิดปกติแบบ 1 เฟสที่เฟส A จะเห็นได้ว่ามีแรงดัน 2 เฟสที่มีการเปลี่ยนแปลงคือ เฟส A และ C ส่วนเฟส B ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

รูปที่ 4.6 ล่างแสดงสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะ โดยรูปบนแสดงสัญญาณการตรวจจับแบบเร็วซึ่งจะเห็นได้ว่าสามารถตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะได้ทันที แต่สัญญาณมีความไม่ต่อเนื่อง และรูปกลางแสดงสัญญาณการตรวจจับแบบแม่นยำซึ่งจะมีความล่าช้าในการตรวจจับแต่สัญญาณมีความต่อเนื่อง

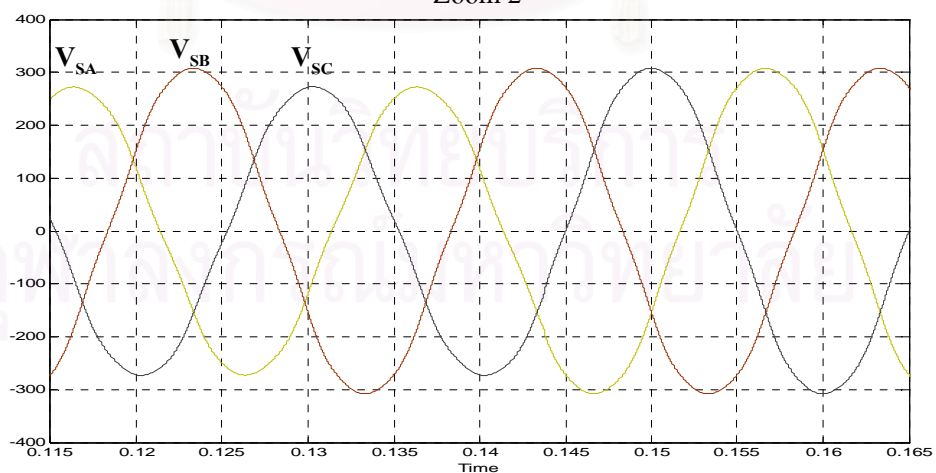
รูปที่ 4.7-4.8 แสดงแรงดันและกระแสที่โหลดได้รับ จะเห็นได้ว่าสามารถแก้ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะได้ดี โดยรูปกลางแสดงภาพขยายขณะเริ่มเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ส่วนรูปล่างแสดงภาพขยายขณะสิ้นสุดแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งเห็นได้ว่าแรงดันและกระแสโหลดขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะยังคงใกล้เคียงกับทั้งก่อนและหลังการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ



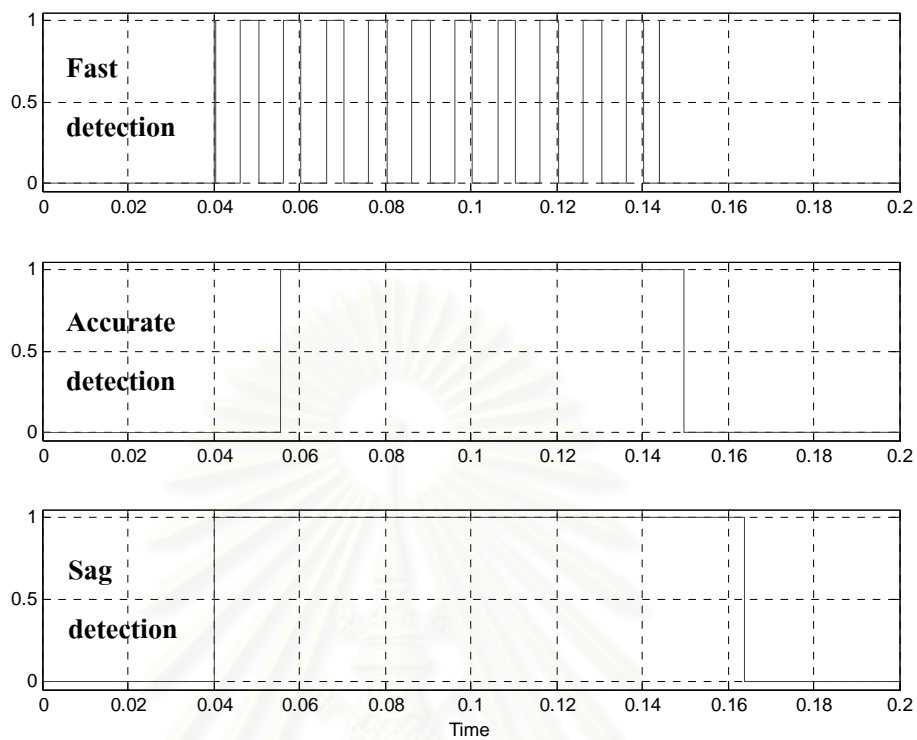
Zoom 1



Zoom 2

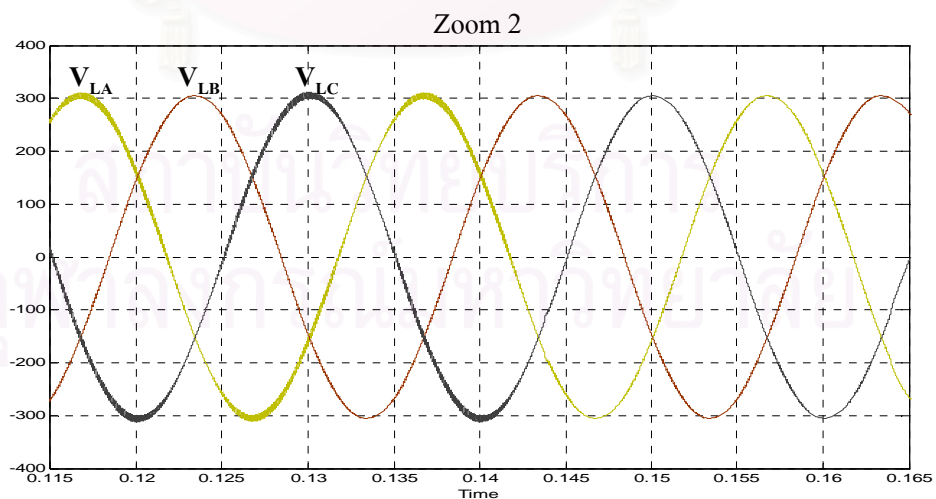
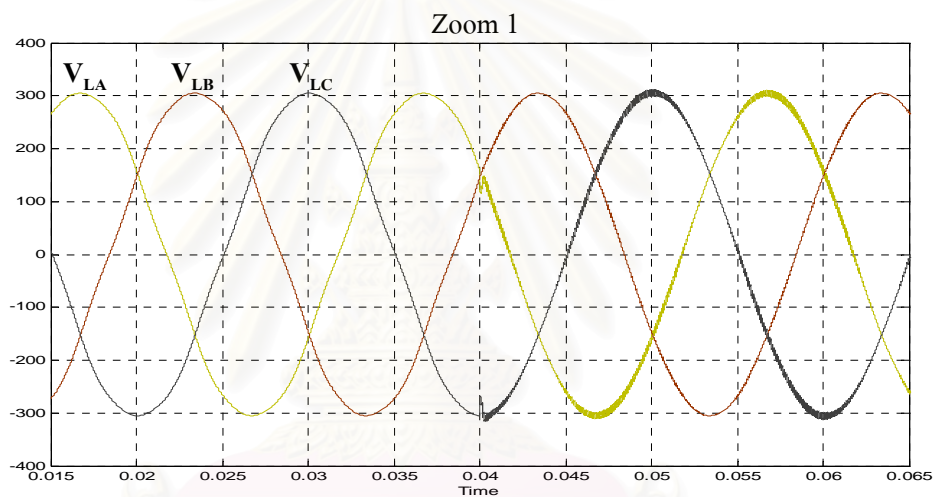
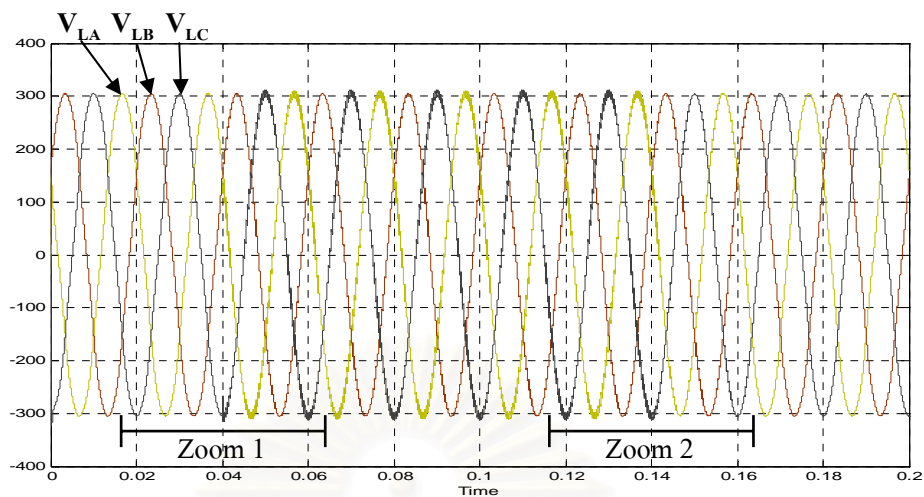


รูปที่ 4.5 ผลการจำลองแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ

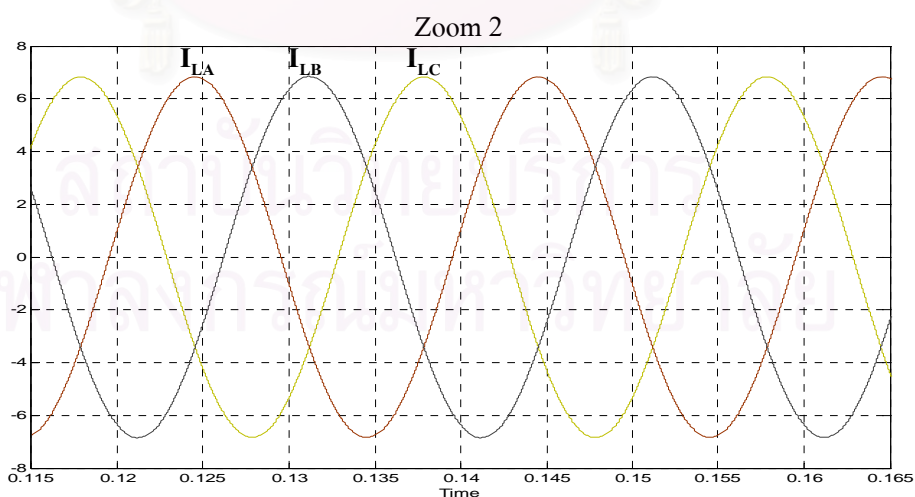
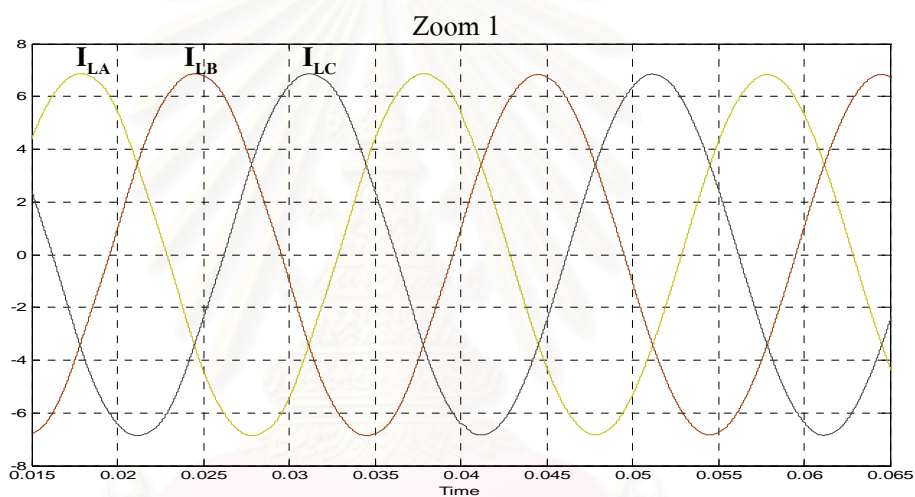
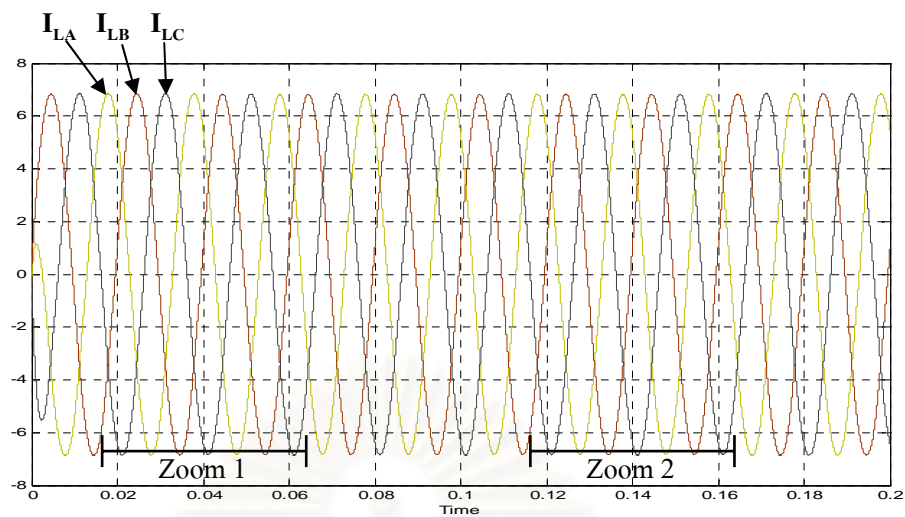


รูปที่ 4.6 ผลการจำลองสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 1 เฟสที่
ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิเป็น 90% ของแรงดันปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



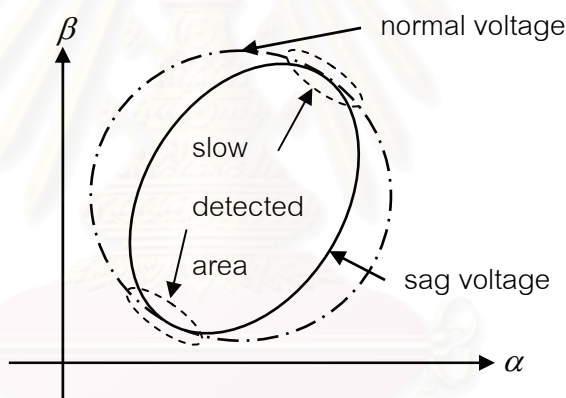
รูปที่ 4.7 ผลการจำลองแรงดันโวลตจกรณึเกิดควมผดพรงแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ



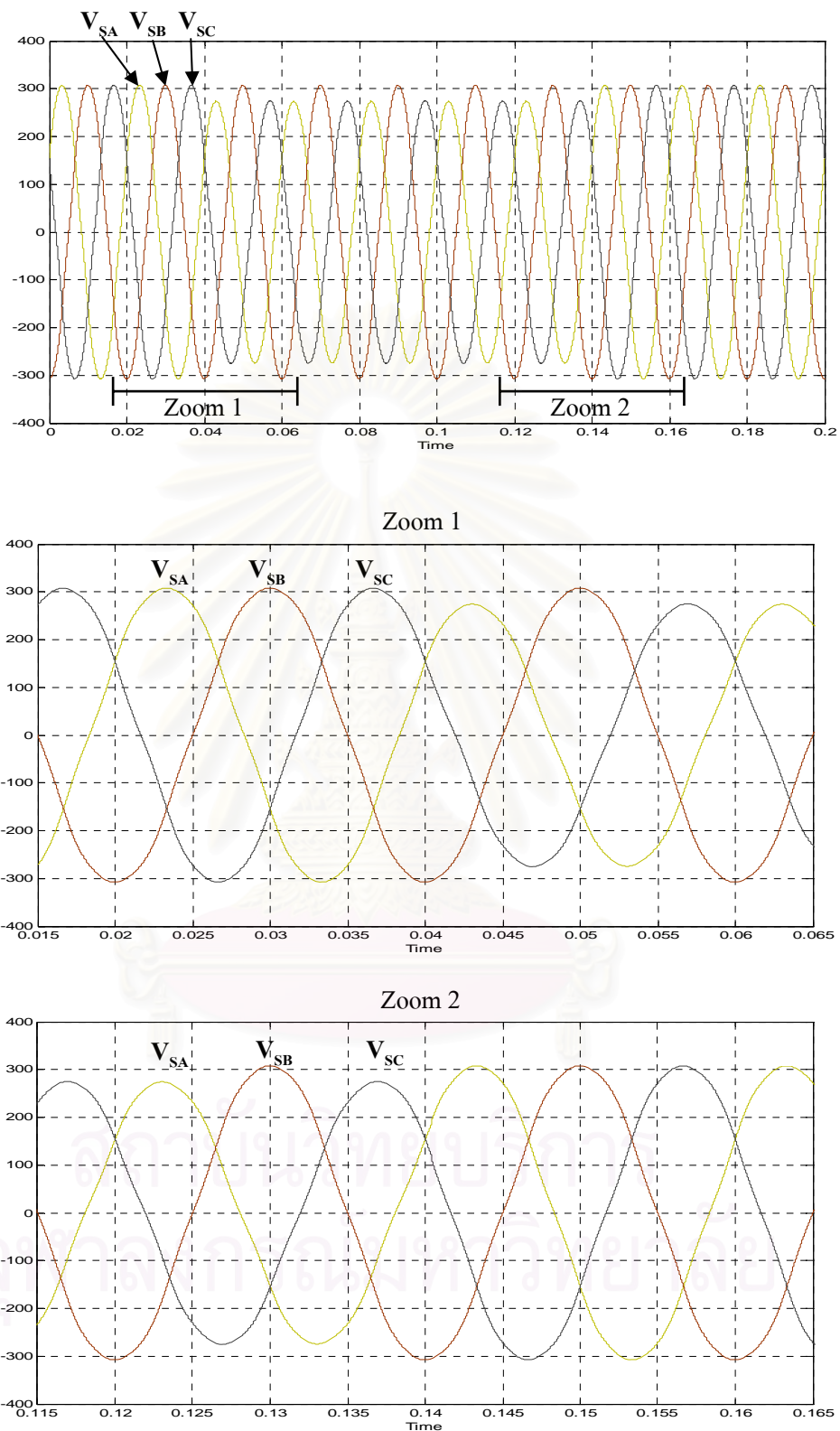
รูปที่ 4.8 ผลการจำลองกระแสโหลดกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ

แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่การเริ่มเกิดแรงดันตกชั่วขณะอยู่ที่บริเวณซึ่งทั้งแรงดันสเปซเวกเตอร์ขณะปกติและขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะมีค่าเท่ากันหรือมีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.9 จะทำให้การตรวจจับไม่สามารถตรวจจับได้ทันทีและการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะจะทำได้แค่เพียงการชดเชยขนาดแรงดันแต่ไม่สามารถแก้ปัญหาคะโศกของมุมเฟสได้ ดังรูปที่ 4.10-4.13 ลักษณะเช่นนี้จะมีผลกระทบมากขึ้นถ้าแรงดันตกชั่วขณะที่มีค่ามากขึ้น นอกจากนั้นยังมีการรบกวนจากแรงดันฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้า จึงทำให้บริเวณซึ่งมีความยากในการตรวจจับนี้ขยายกว้างขึ้นอีก

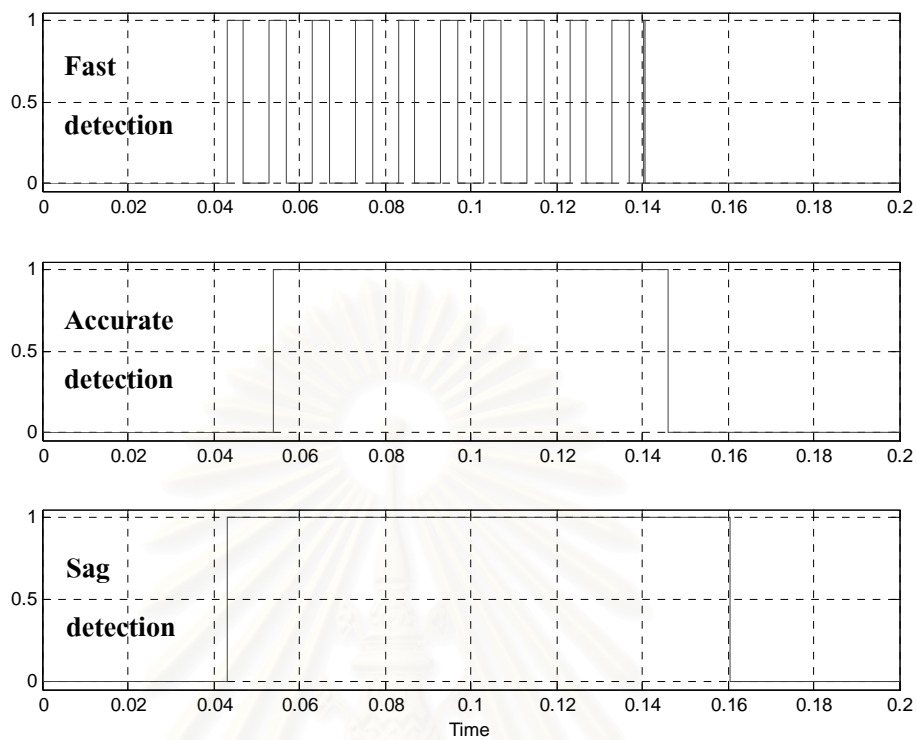
ถึงแม้ว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอนี้จะมีปัญหาในกรณีนี้ แต่ก็เป็นที่ยากและการตรวจจับด้วยวิธีอื่นๆก็คงต้องใช้เวลาที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นปัญหานี้จะมีผลกระทบมากเพียงแก่กรณีที่แรงดันตกชั่วขณะที่มีค่ามาก ซึ่งในกรณีนี้โหนดจะได้รับผลกระทบจากการกะโศกของมุมเฟสไม่รุนแรงนัก ส่วนในขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะมีค่าน้อยและมีผลกระทบต่อโหนดอย่างมาก อัลกอริทึมนี้ก็ยังคงสามารถทำงานได้ดี ดังรูปที่ 4.14-4.17



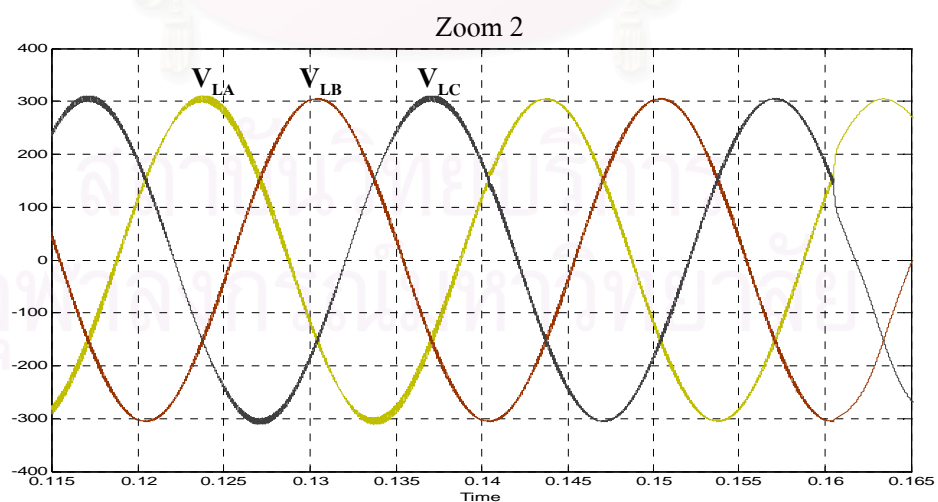
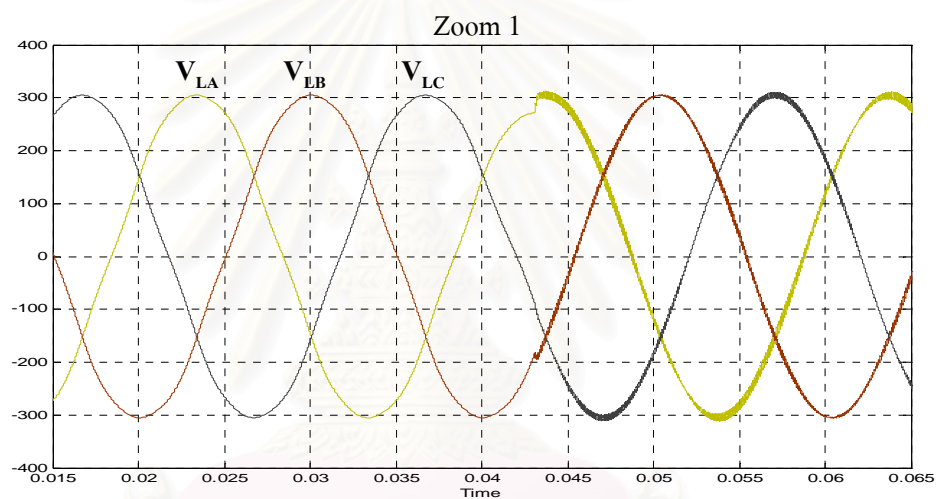
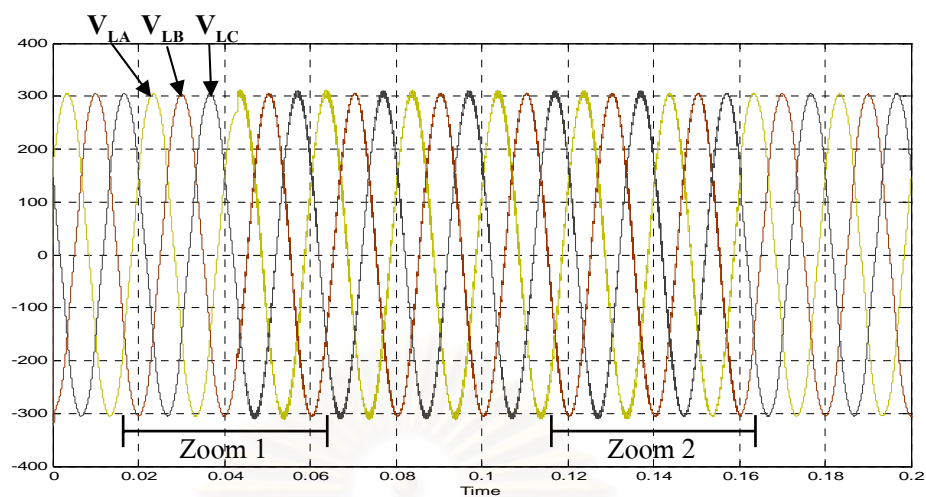
รูปที่ 4.9 แรงดันสเปซเวกเตอร์ขณะปกติและเกิดแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดพ้องแบบ 1 เฟส



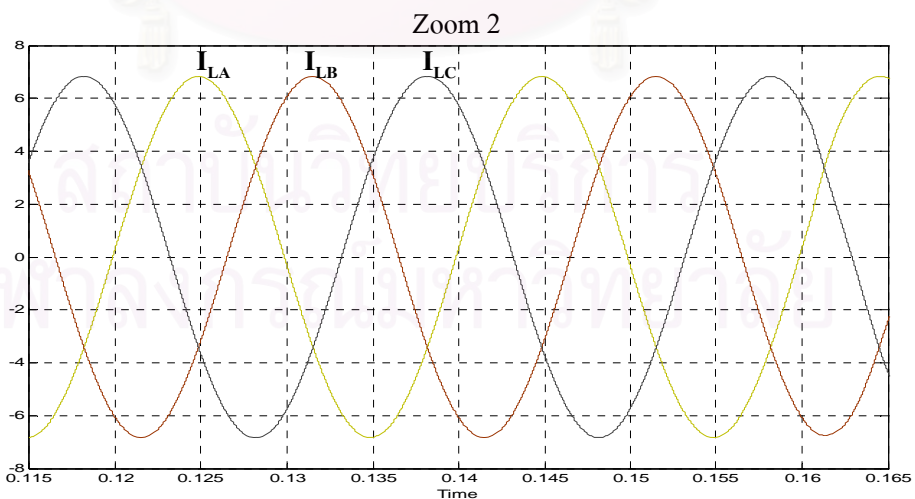
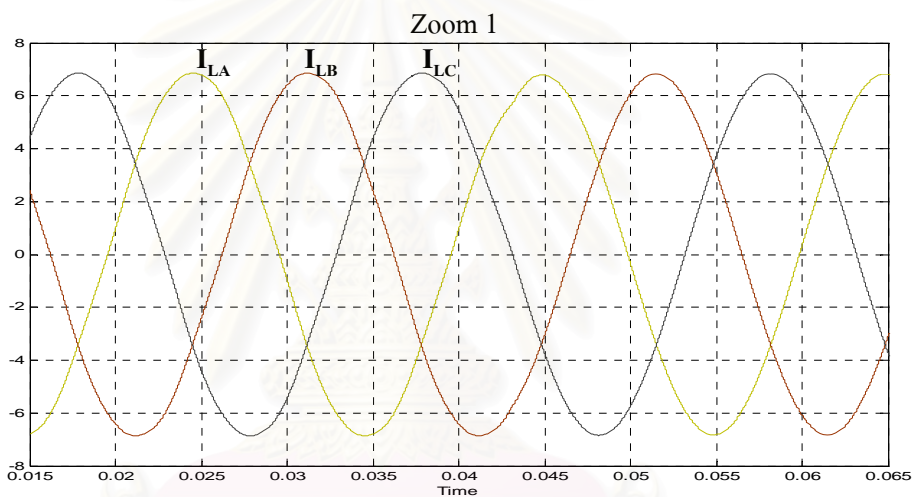
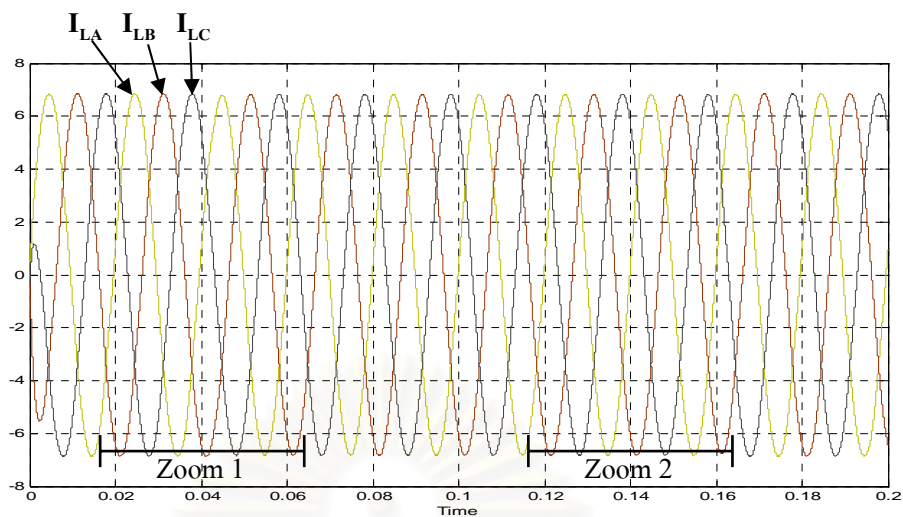
รูปที่ 4.10 ผลการจำลองแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้ซ้ำ



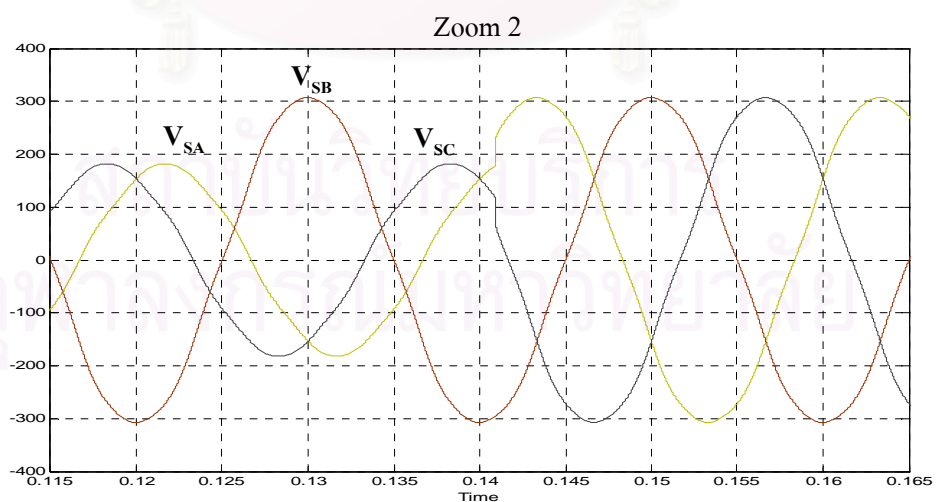
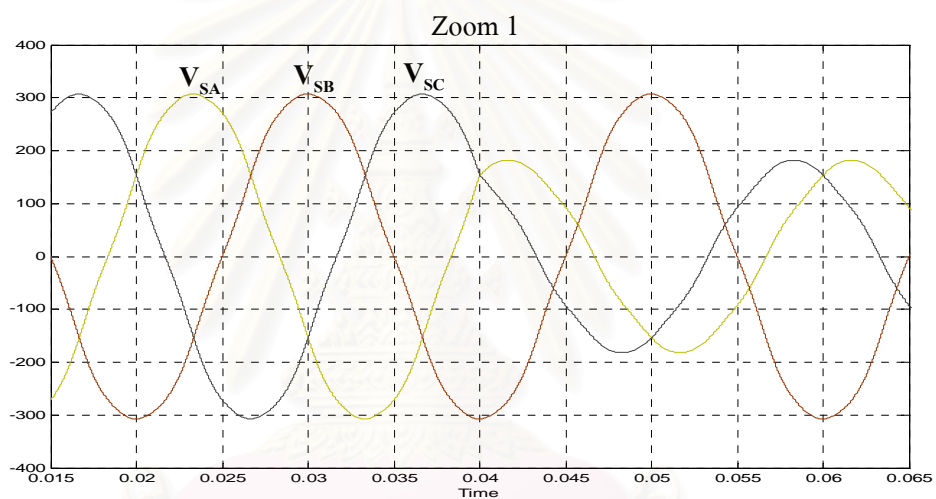
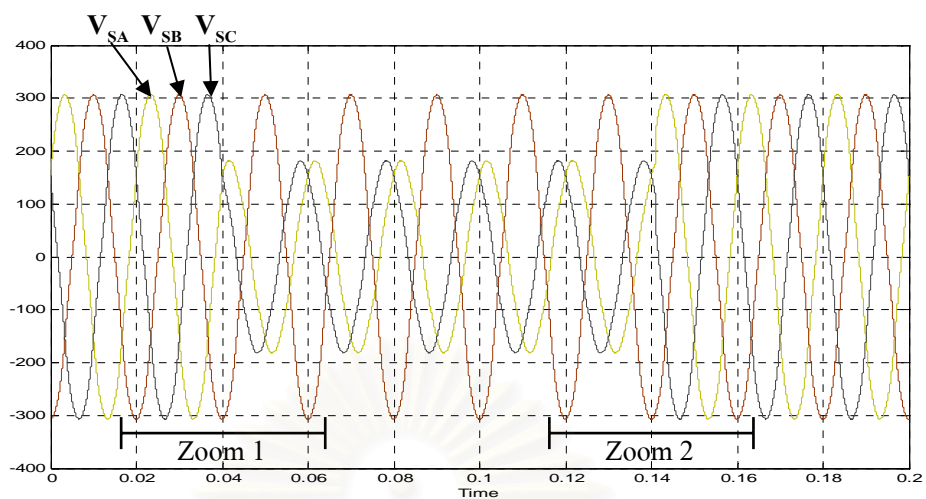
รูปที่ 4.11 ผลการจำลองสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 1 เฟส ที่ด้านปฐมภูมิ ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้
 ชั่ว



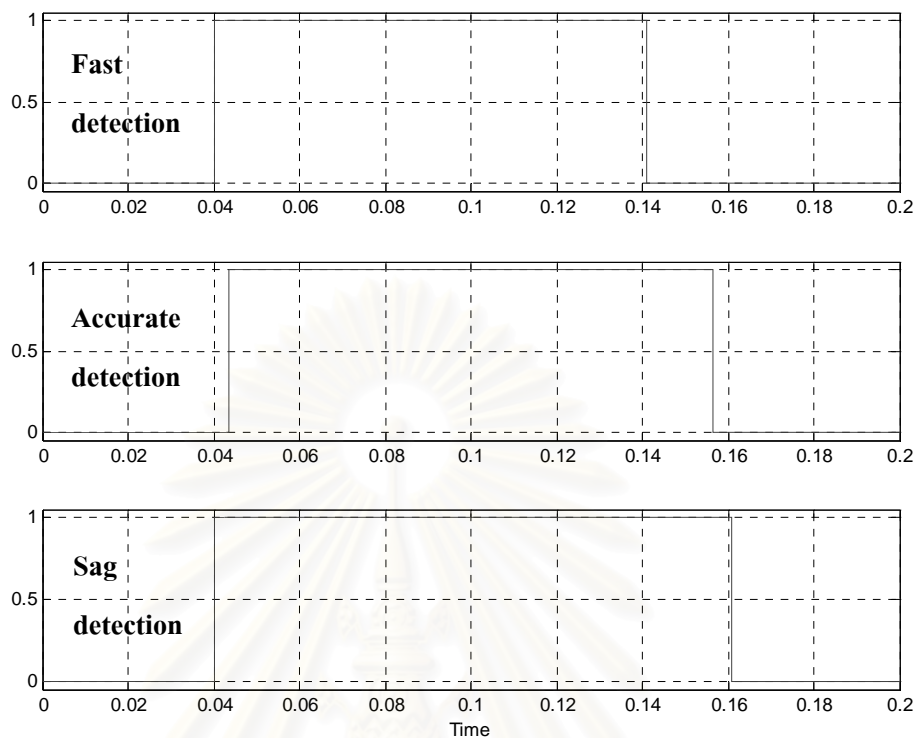
รูปที่ 4.12 ผลการจำลองแรงดันโวลตครณีเกิดความผิดพร่องแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้ช้า



รูปที่ 4.13 ผลการจำลองกระแสไหลตกครณีเกิดความผิดปกติแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้ช้า

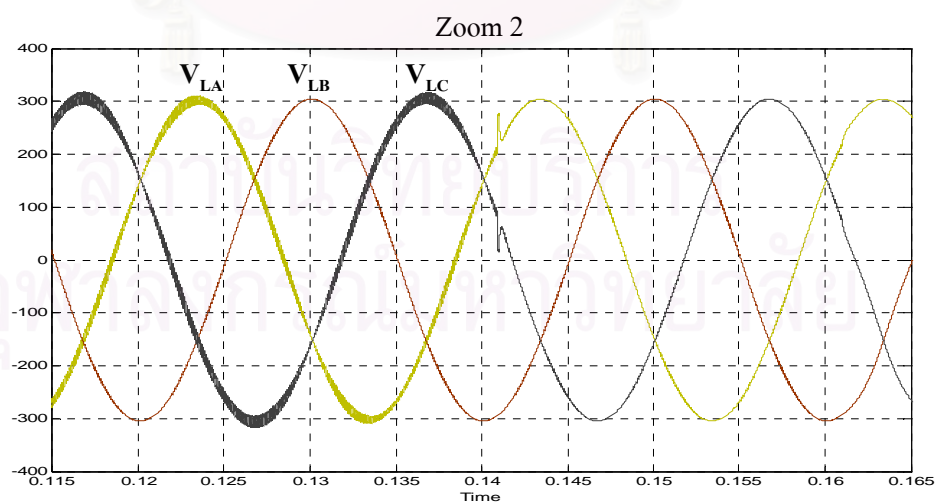
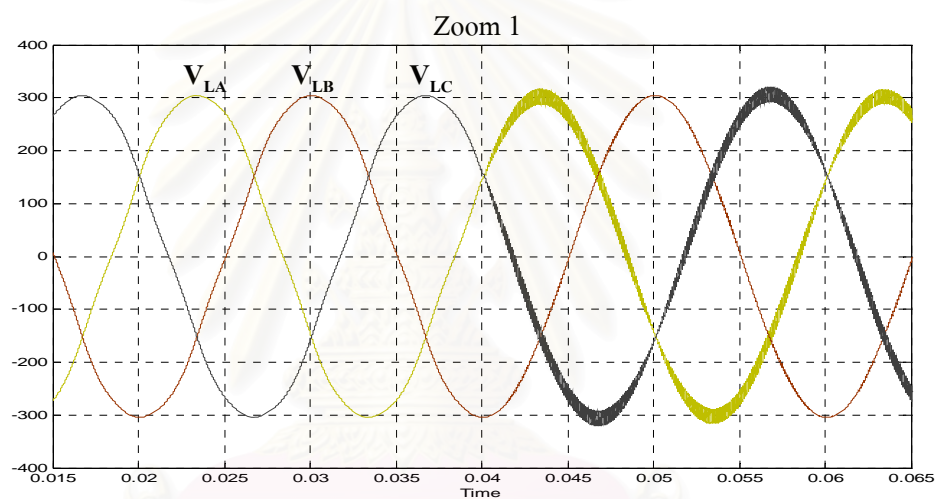
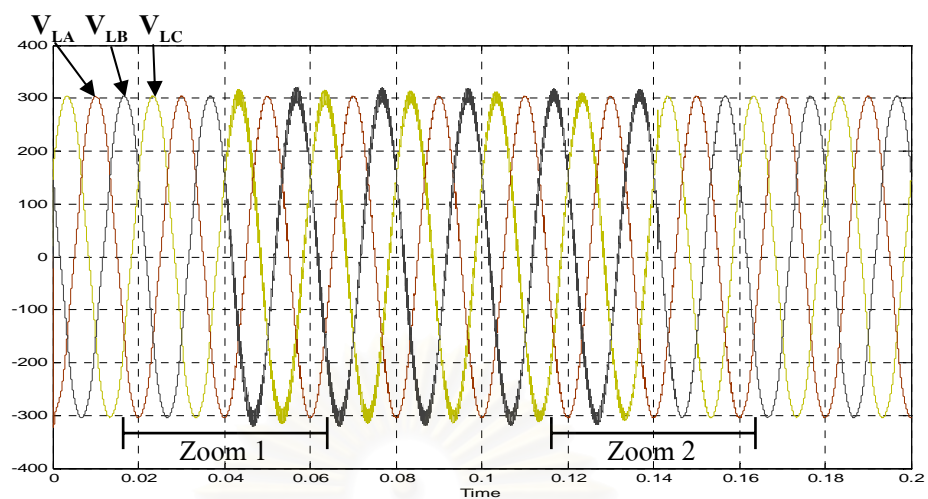


รูปที่ 4.14 ผลการจำลองแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 58% ของแรงดันปกติ

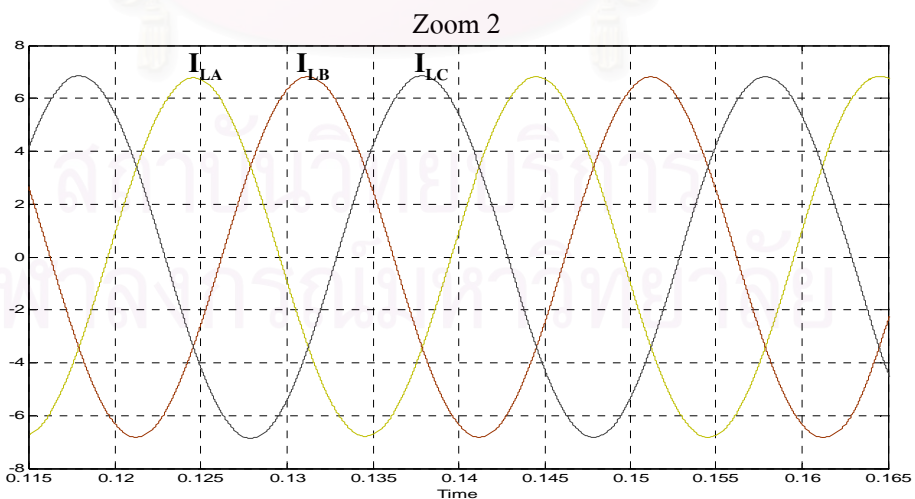
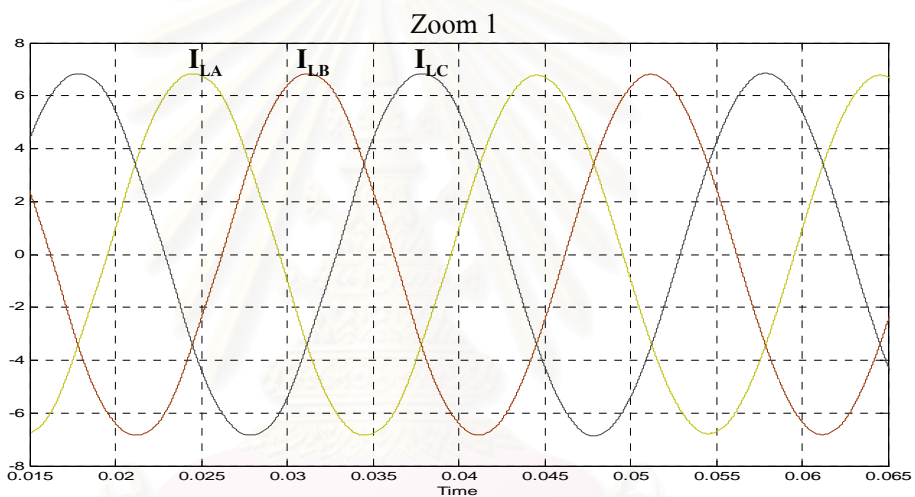
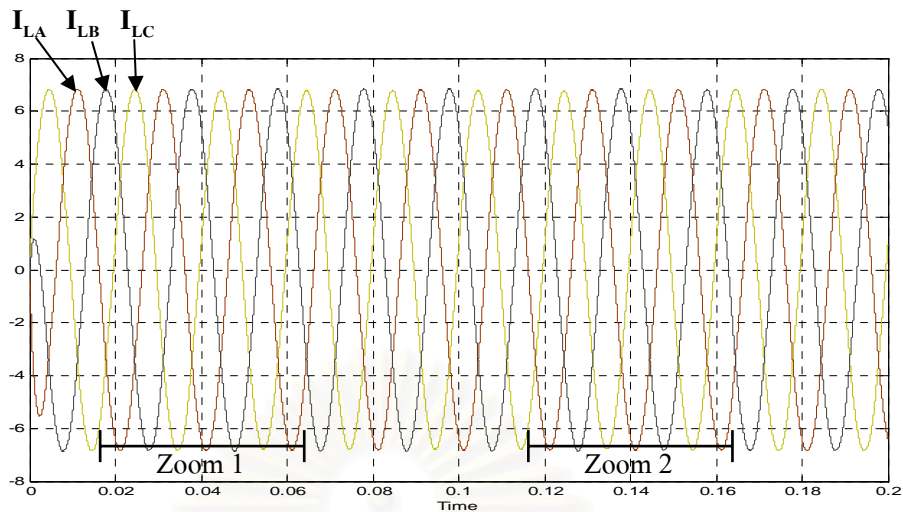


รูปที่ 4.15 ผลการจำลองสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 1 เฟส
ที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 58% ของแรงดันปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 ผลการจำลองแรงดันโวลตครณีเกิดความผิดพ้องแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 58% ของแรงดันปกติ



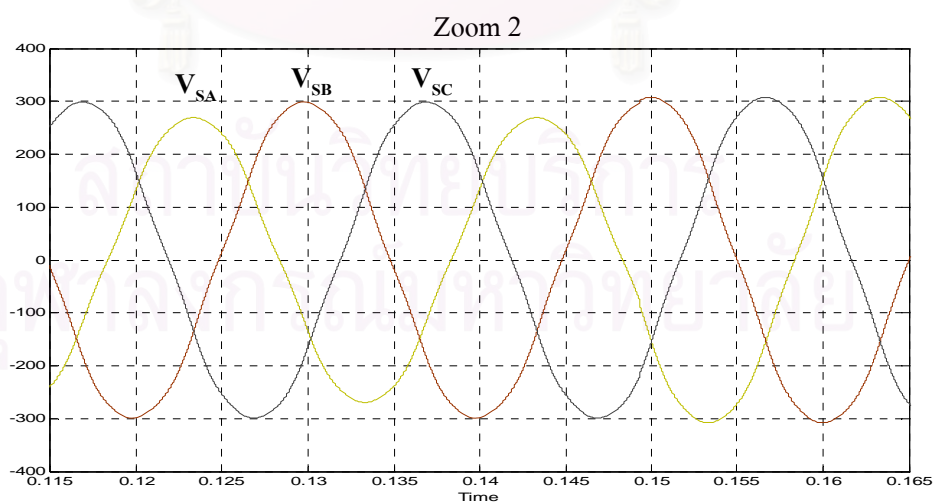
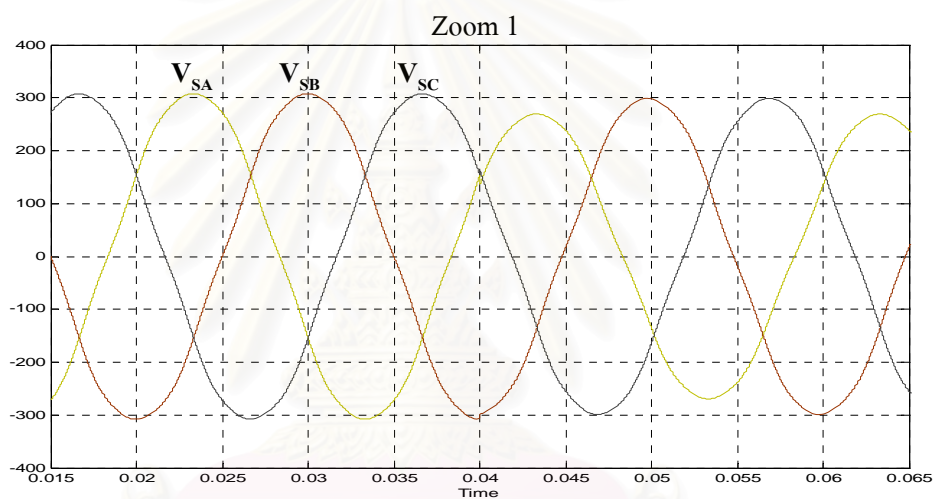
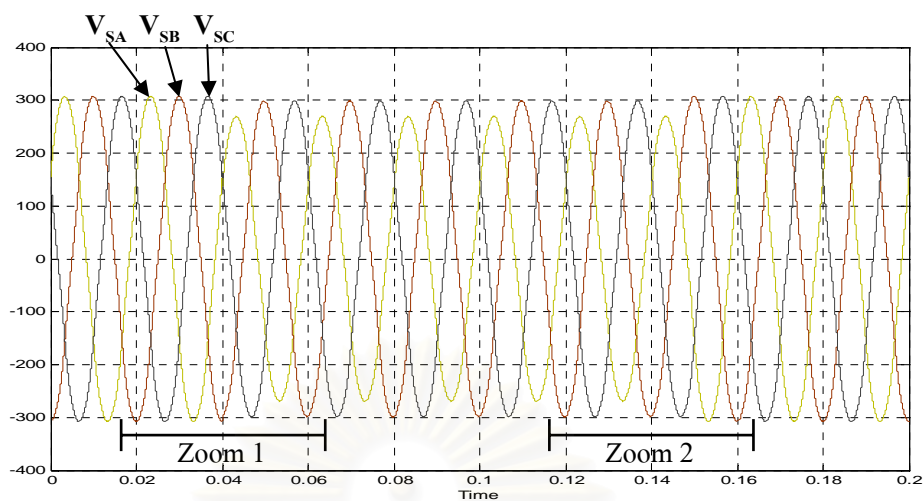
รูปที่ 4.17 ผลการจำลองกระแสไหลคกรณีเกิดความผิดพ้องแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 58% ของแรงดันปกติ

4.4.2 ผลการจำลองการชดเชยแรงดันกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 2 เฟส

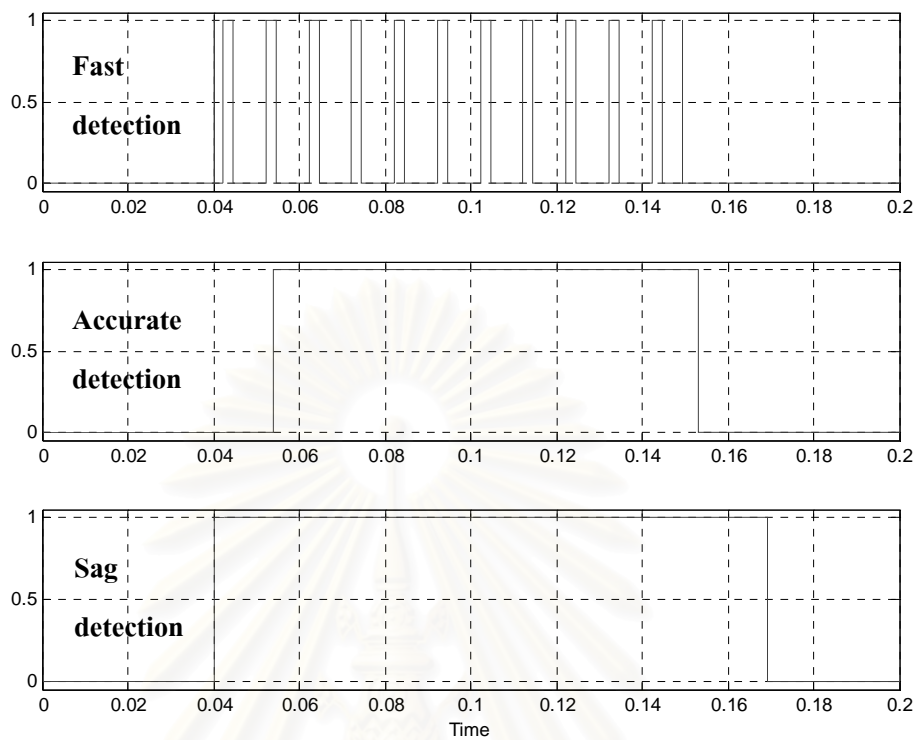
รูปที่ 4.18 แสดงแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงซึ่งเกิดจากความผิดปกติแบบ 2 เฟสระหว่างเฟส A และ B จะเห็นได้ว่ามีแรงดันมีการเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 เฟสโดยเฟส B และ C จะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและมุมเฟส ส่วนเฟส A จะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงขนาดเท่านั้นและมีขนาดน้อยที่สุด ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

รูปที่ 4.19 ล่างแสดงสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะโดยรูปบนแสดงสัญญาณการตรวจจับแบบเร็วซึ่งจะเห็นได้ว่าสามารถตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะได้ทันที แต่สัญญาณมีความไม่ต่อเนื่อง และรูปกลางแสดงสัญญาณการตรวจจับแบบแม่นยำซึ่งจะมีความล่าช้าในการตรวจจับแต่สัญญาณมีความต่อเนื่อง

รูปที่ 4.20-4.21 แสดงแรงดันและกระแสที่โหลดได้รับ จะเห็นได้ว่าสามารถแก้ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะได้ดี โดยรูปกลางแสดงภาพขยายขณะเริ่มเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ส่วนรูปล่างแสดงภาพขยายขณะสิ้นสุดแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งเห็นได้ว่าทั้งก่อนและหลังเกิดแรงดันตกชั่วขณะแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง

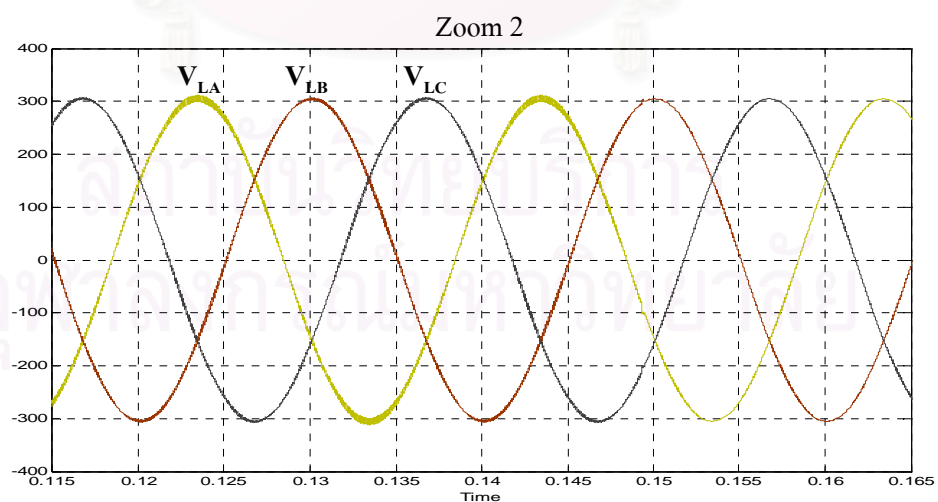
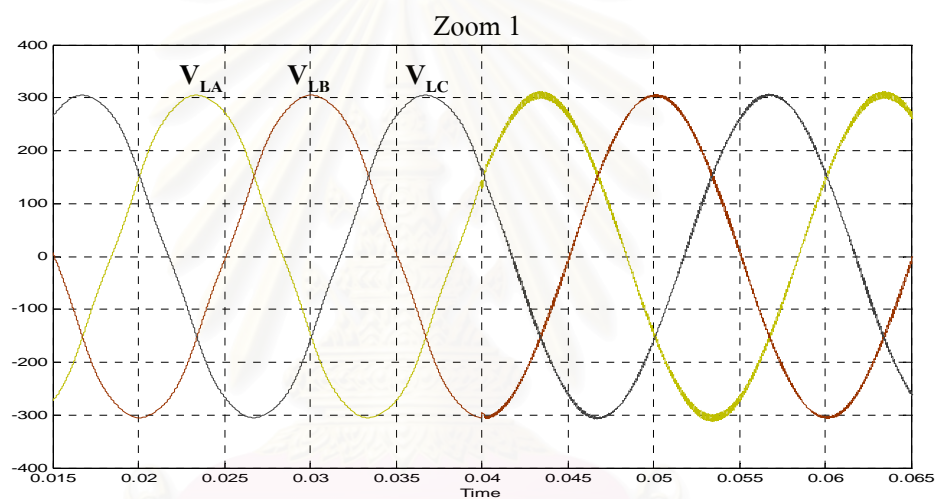
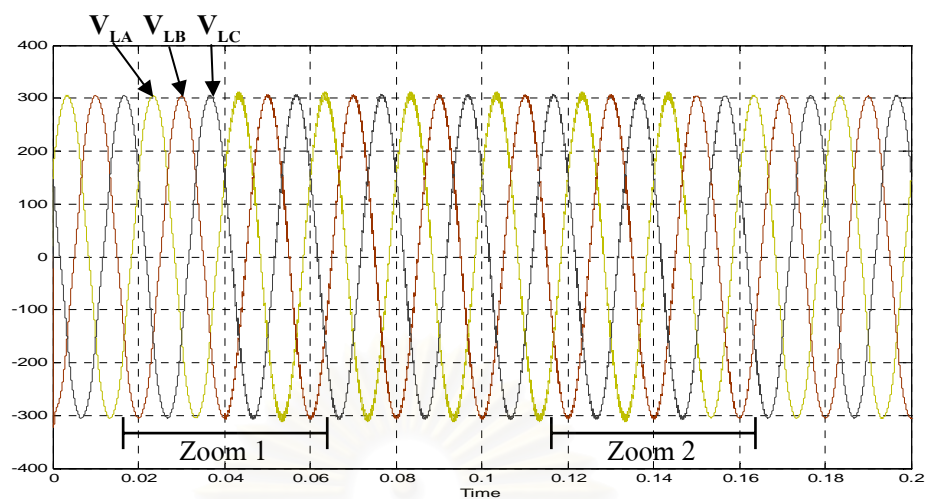


รูปที่ 4.18 ผลการจำลองแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ

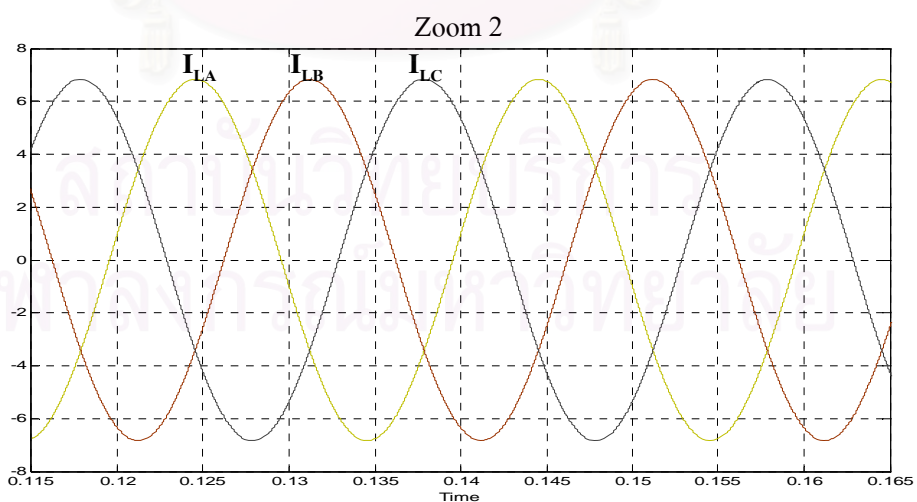
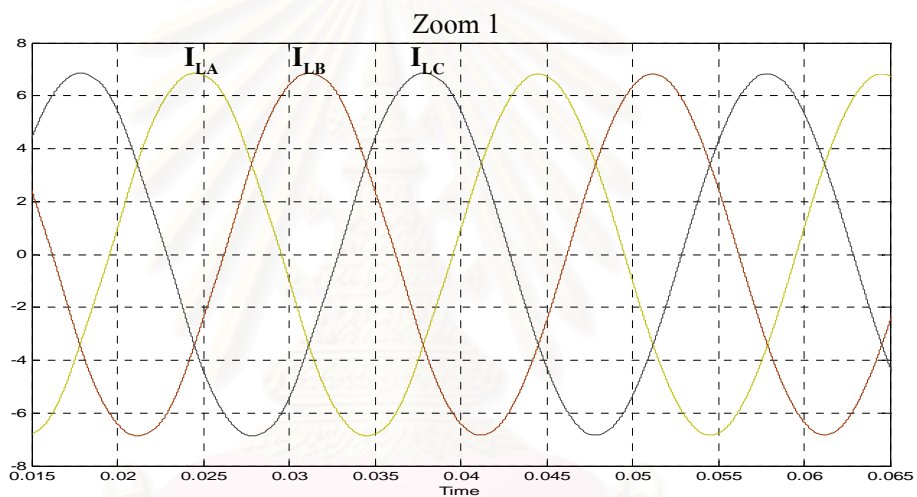
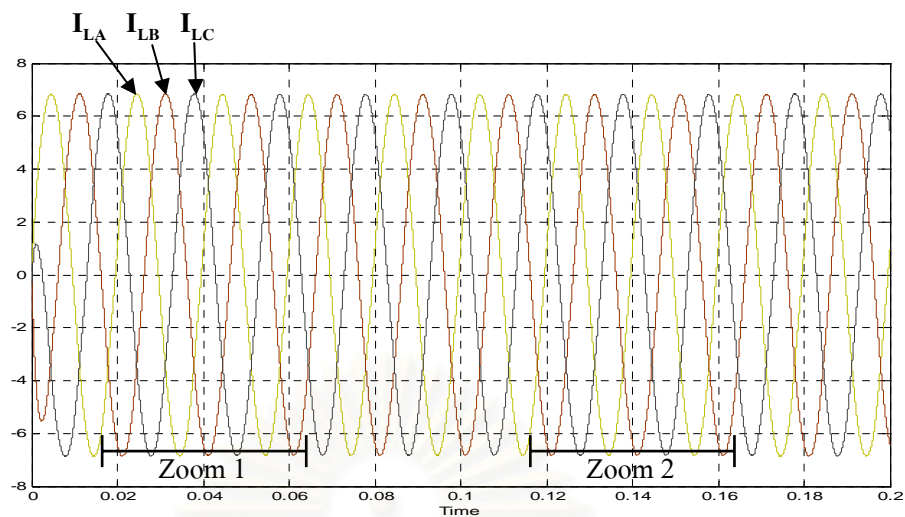


รูปที่ 4.19 ผลการจำลองสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 2 เฟส
ที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

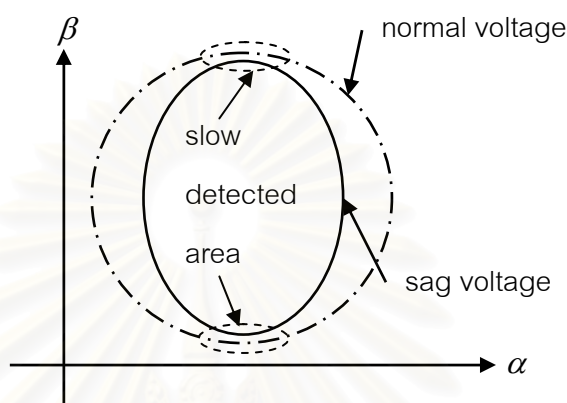


รูปที่ 4.20 ผลการจำลองแรงดันโหลดกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ



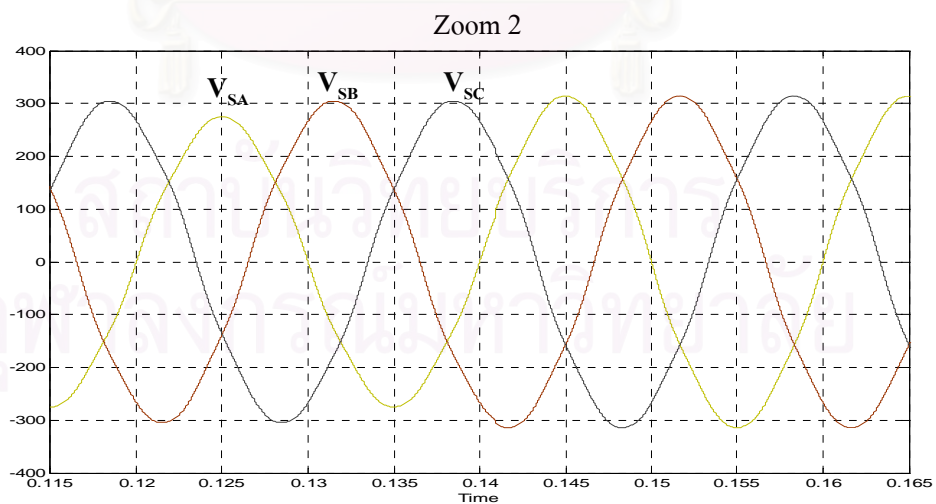
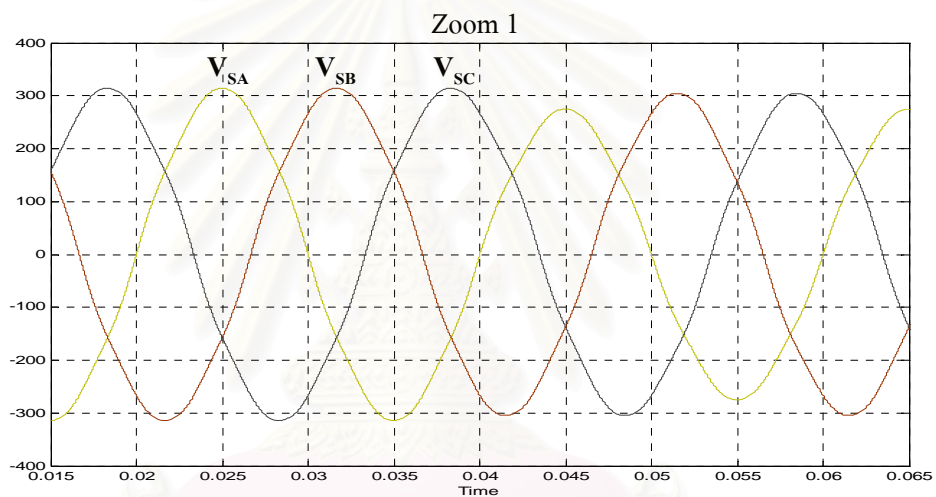
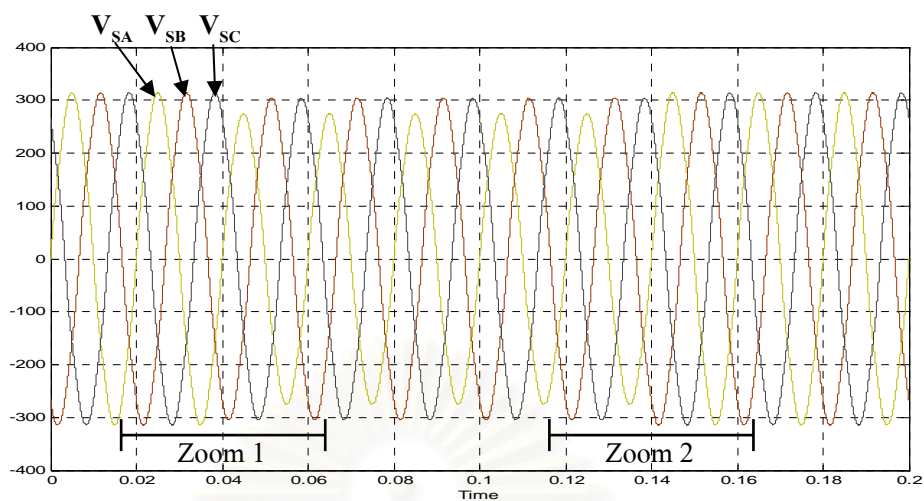
รูปที่ 4.21 ผลการจำลองกระแสไหลดกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ

เช่นเดียวกับกรณีแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากการผิดปกติแบบ 1 เฟส ในกรณีนี้ก็จะมีความถี่ซึ่งไม่สามารถตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะได้ทันที แต่บริเวณนี้จะแคบกว่าเนื่องจากแรงดันสเปซเวกเตอร์ขณะปกติและขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะจะมีค่าไม่เท่ากัน จะมีเพียงค่าใกล้เคียงกันเท่านั้น ดังรูปที่ 4.22 การจำลองการชดเชยแรงดันในกรณีนี้แสดงดังรูปที่ 4.23-4.26

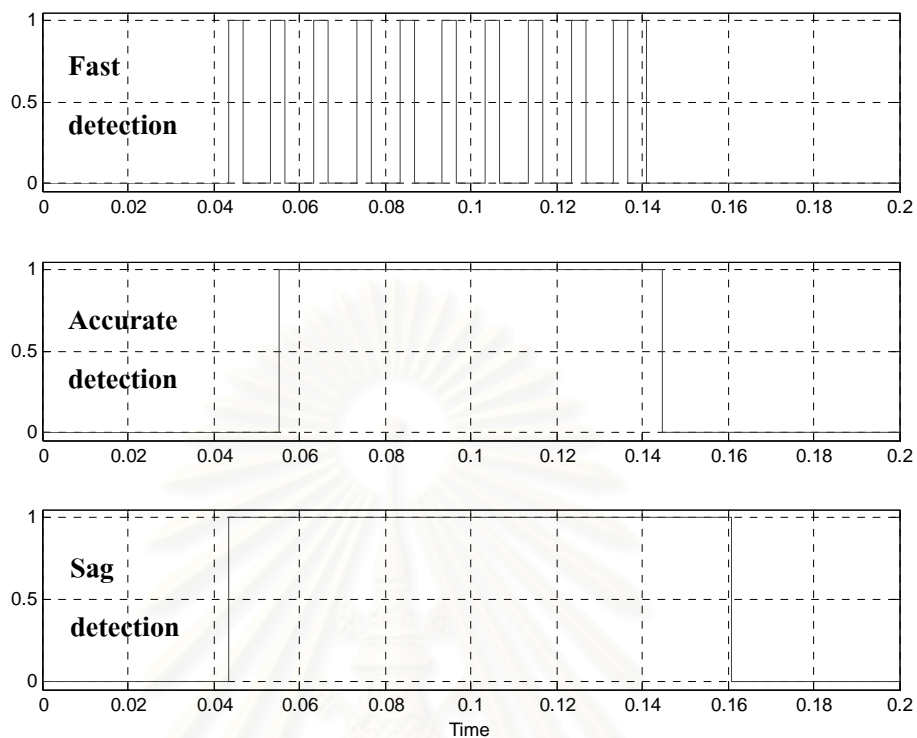


รูปที่ 4.22 แรงดันสเปซเวกเตอร์ขณะปกติและเกิดแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากความผิดปกติแบบ 2 เฟส

รูปที่ 4.27-4.30 แสดงการจำลองการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 50% ของแรงดันปกติ เห็นได้ว่าจะสามารถแก้ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะได้ดี ทั้งแรงดันและกระแสไหลมีความต่อเนื่องตลอดการจำลองการทำงาน

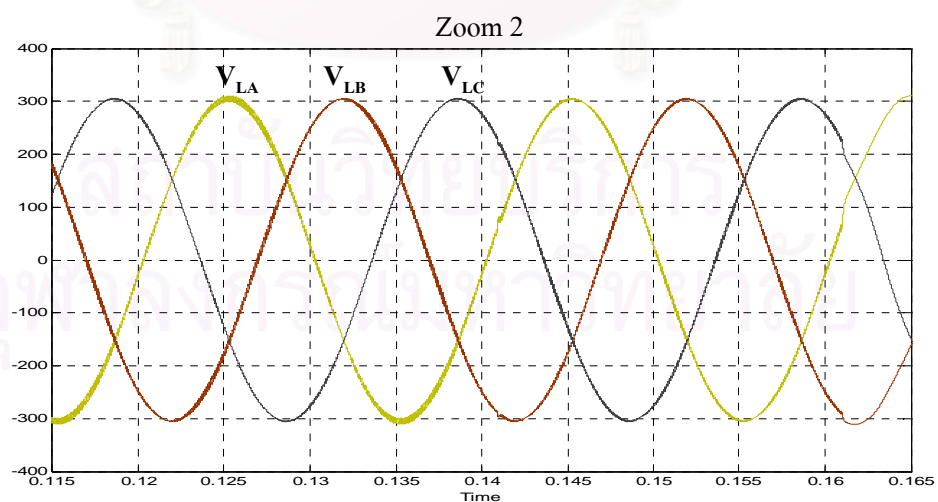
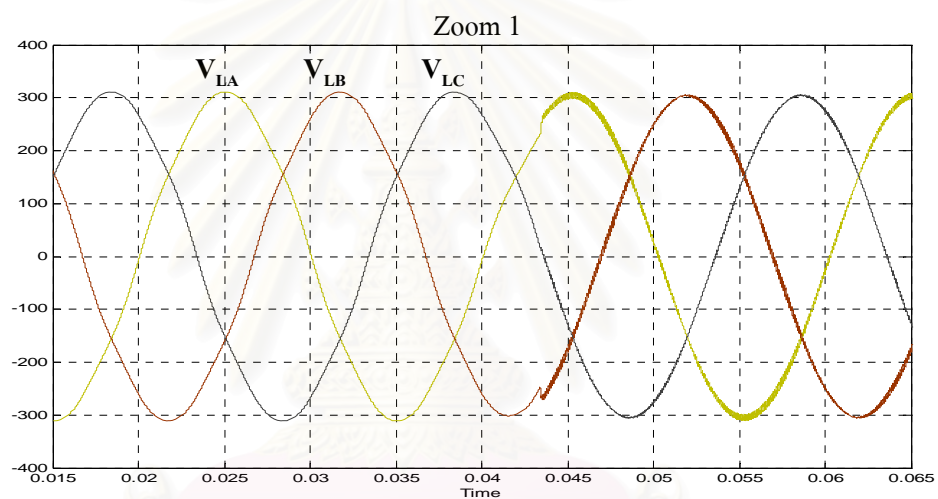
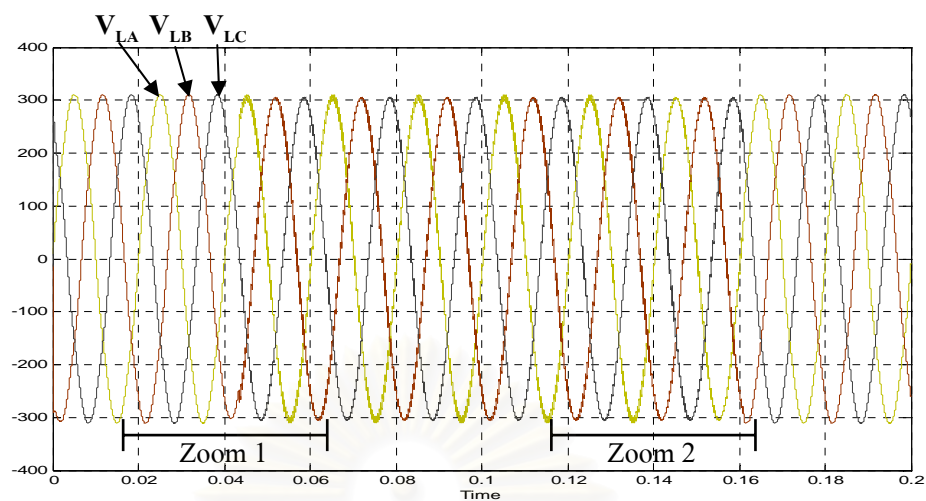


รูปที่ 4.23 ผลการจำลองแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้ช้า

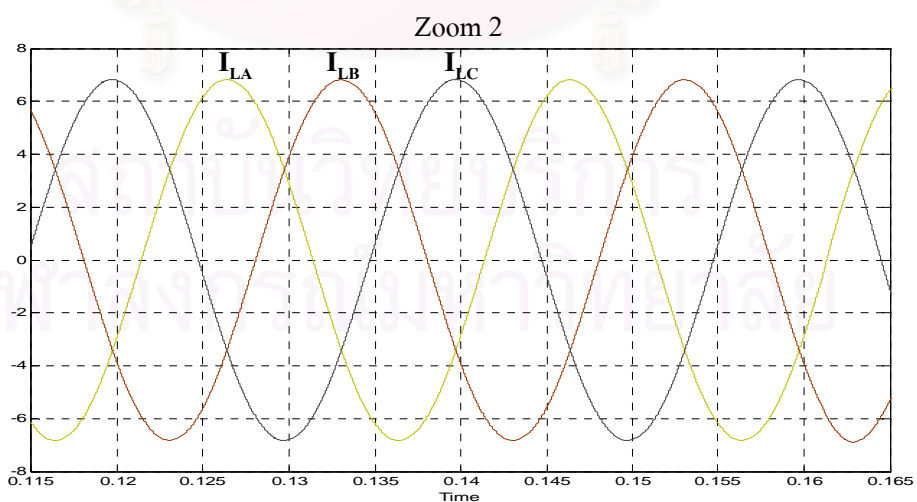
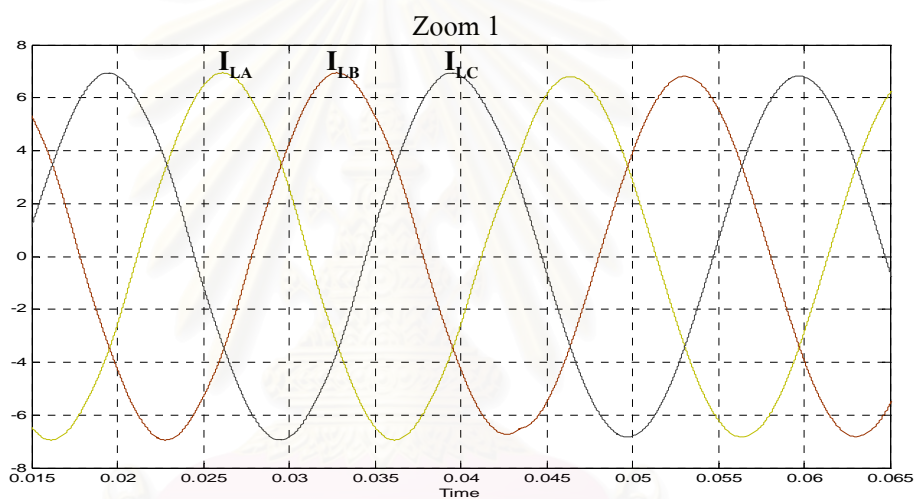
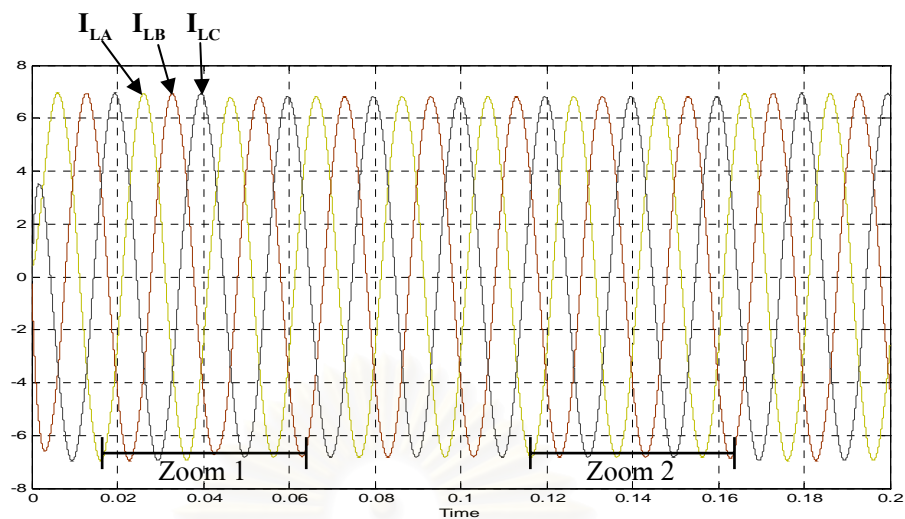


รูปที่ 4.24 ผลการจำลองสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 2 เฟส ที่ด้านปฐมภูมิ ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้
 ช้า

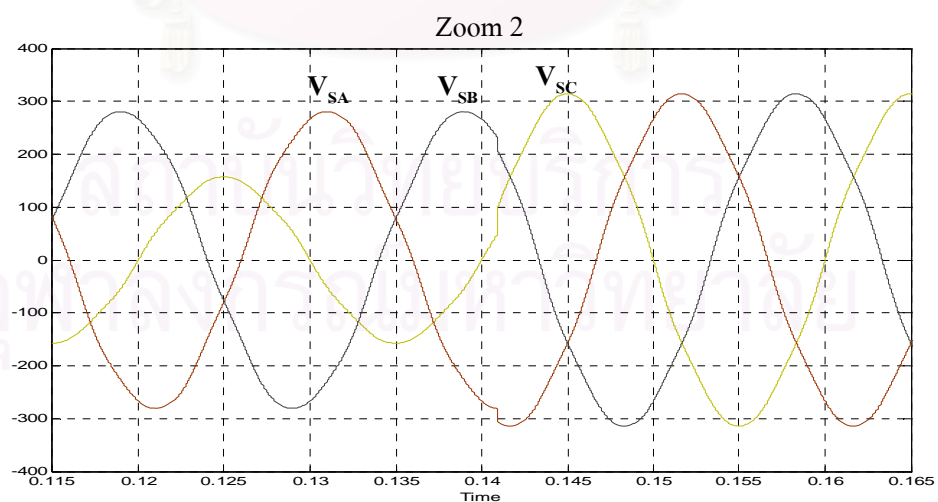
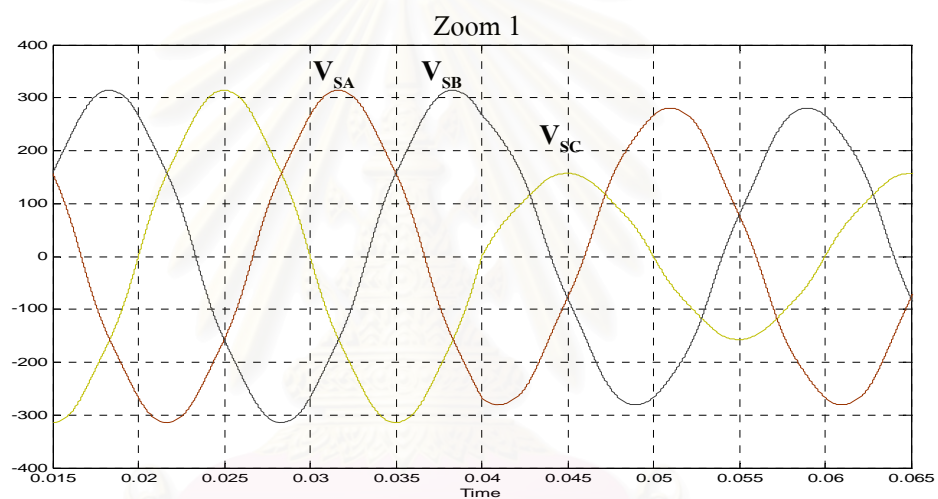
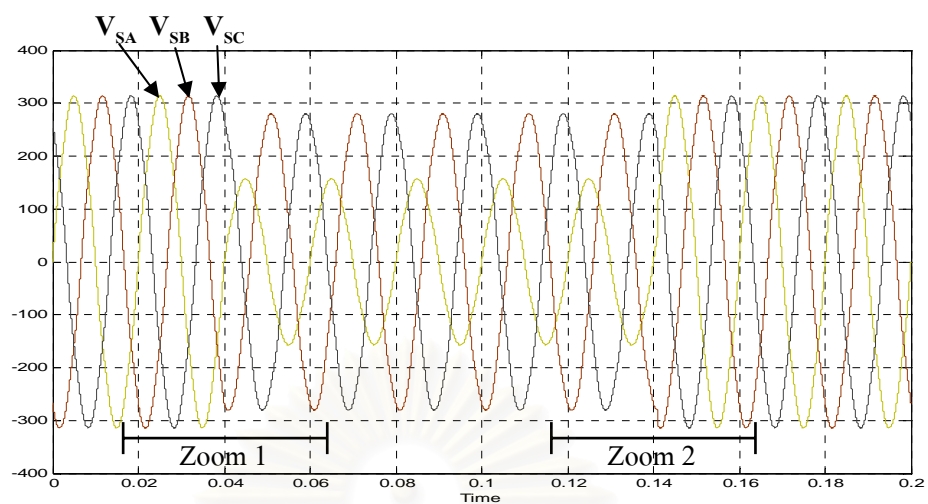
สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



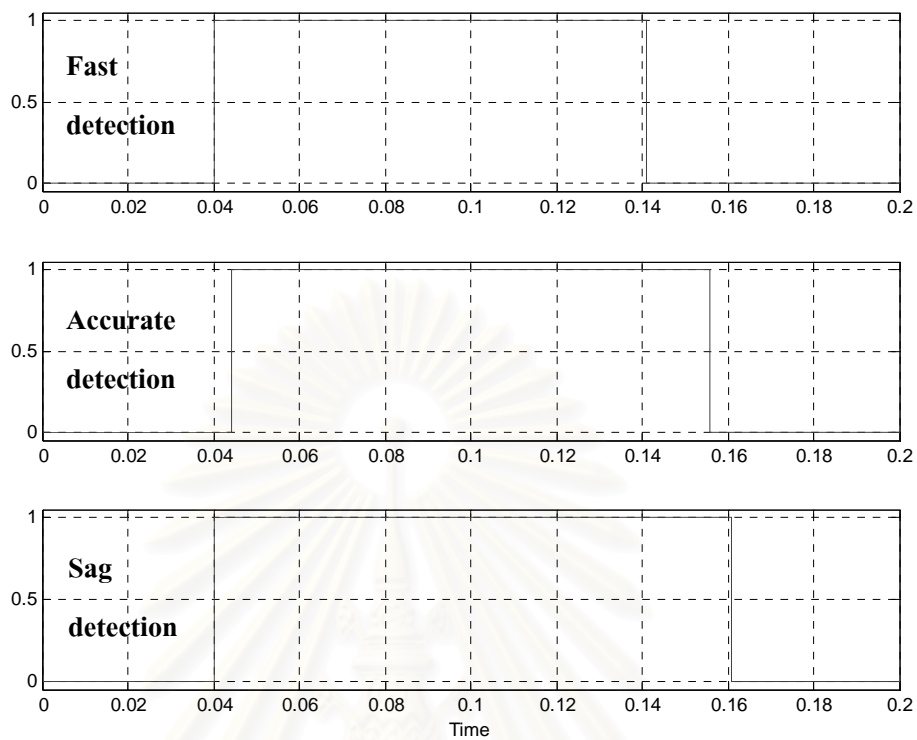
รูปที่ 4.25 ผลการจำลองแรงดันโวลตครณีเกิดควมผดพรงแบบ 2 เฟสที่ด้ำนปฐมภูมิ ขนาดแรงด้ำนด้ำนทุติยภูมิด้ำนสุดเป็น 90% ของแรงด้ำนปกติ และตรวจจับด้ำนข้



รูปที่ 4.26 ผลการจำลองกระแสไหลลครณีเกิดความผิดพ้องแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้ซ้ำ

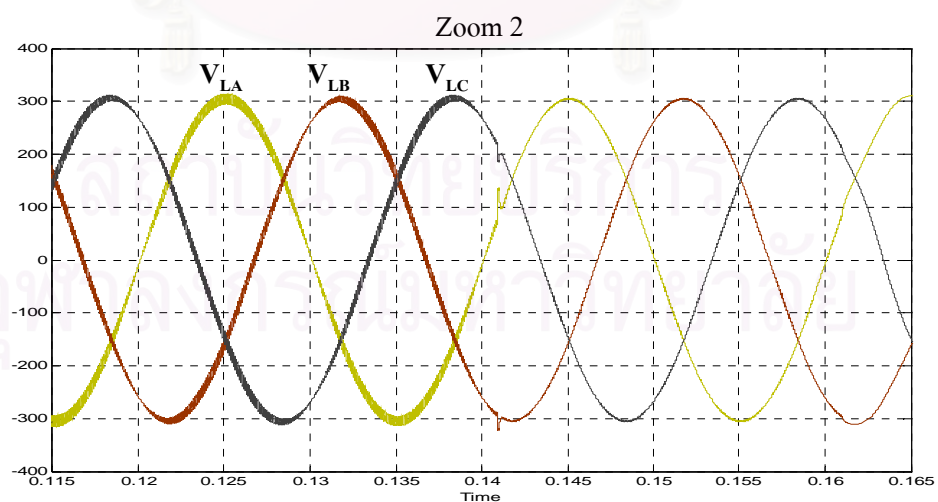
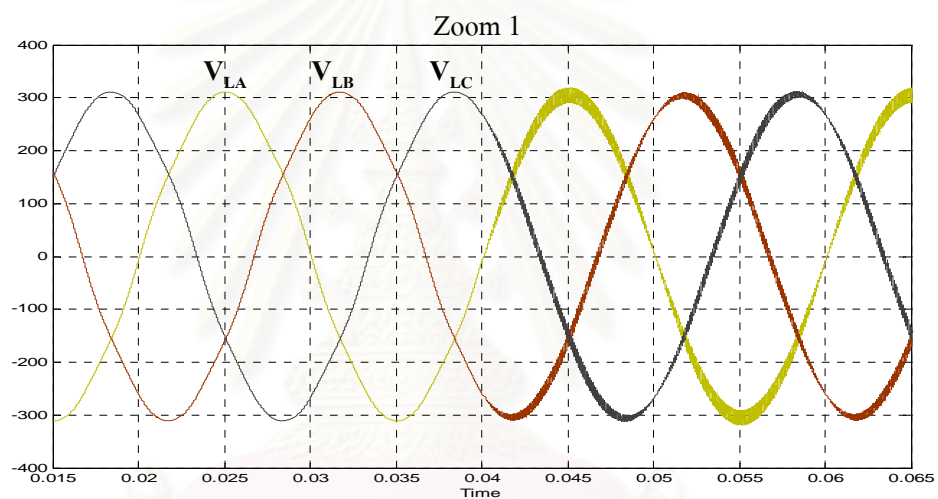
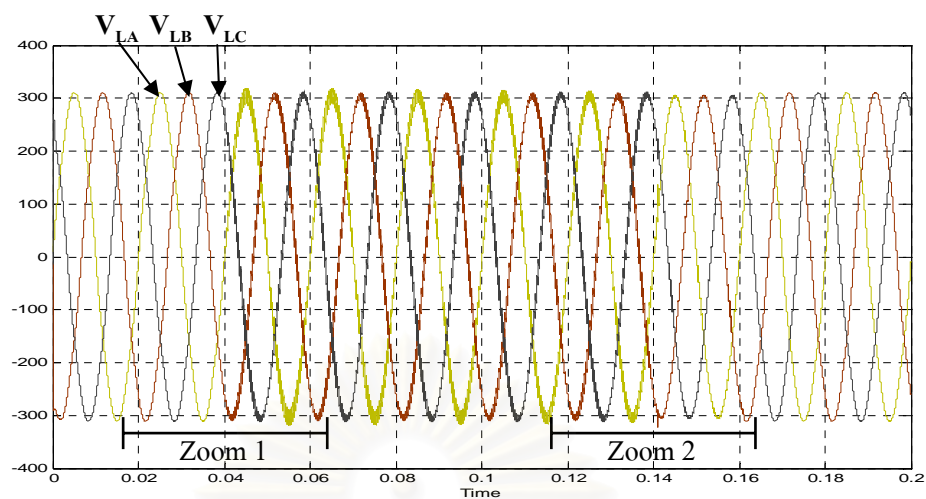


รูปที่ 4.27 ผลการจำลองแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 50% ของแรงดันปกติ

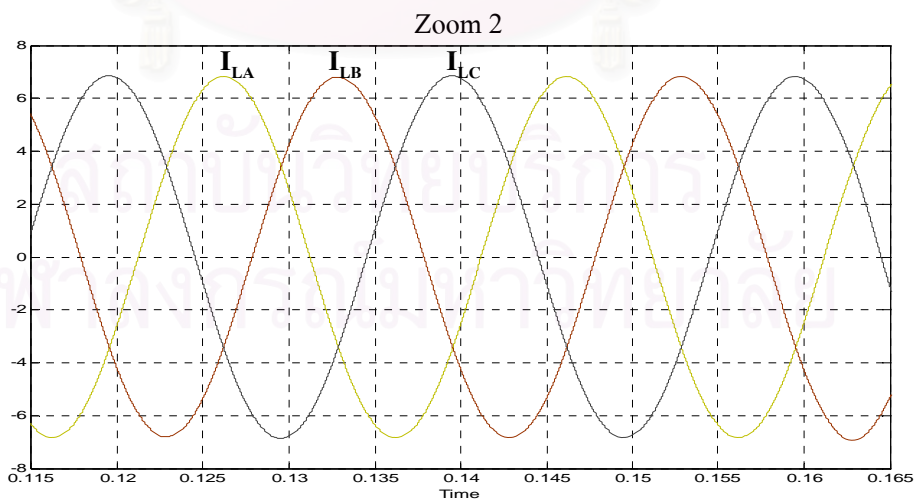
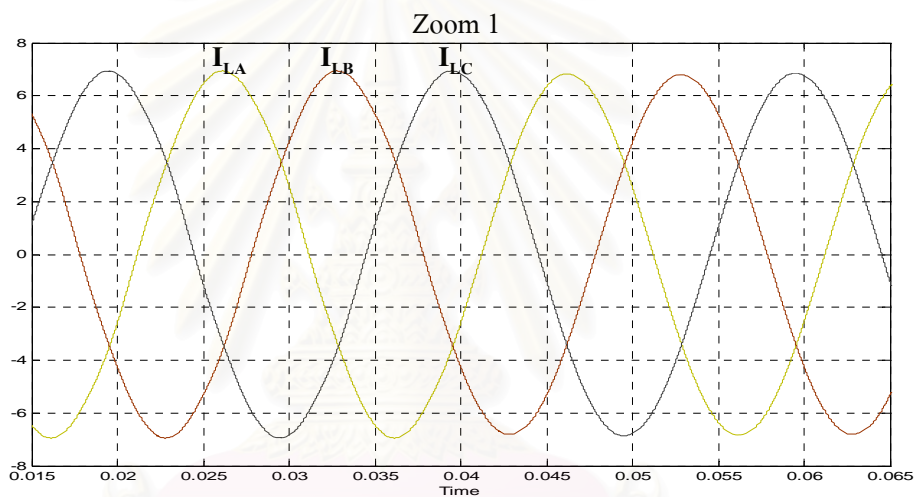
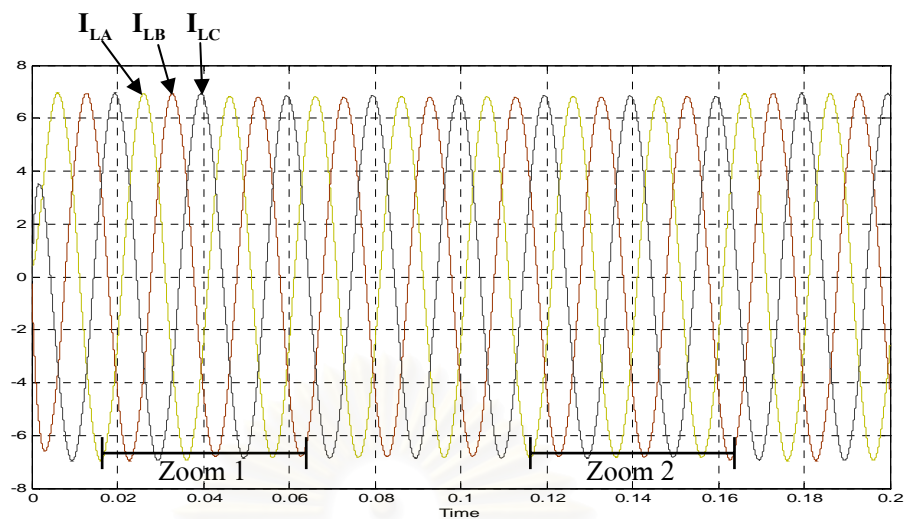


รูปที่ 4.28 ผลการจำลองสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 2 เฟส
ที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 50% ของแรงดันปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.29 ผลการจำลองแรงดันโวลตครณีเกิดความผิดพ่องแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 50% ของแรงดันปกติ



รูปที่ 4.30 ผลการจำลองกระแสไหลดกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 50% ของแรงดันปกติ

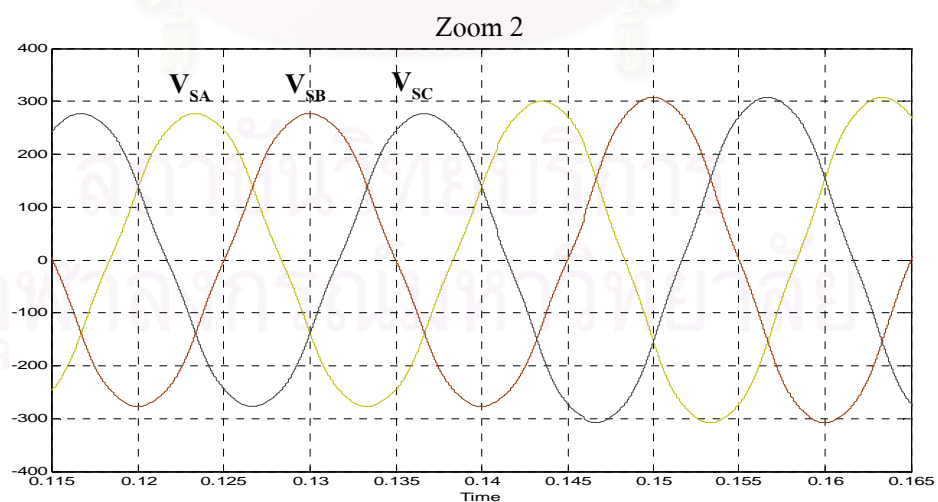
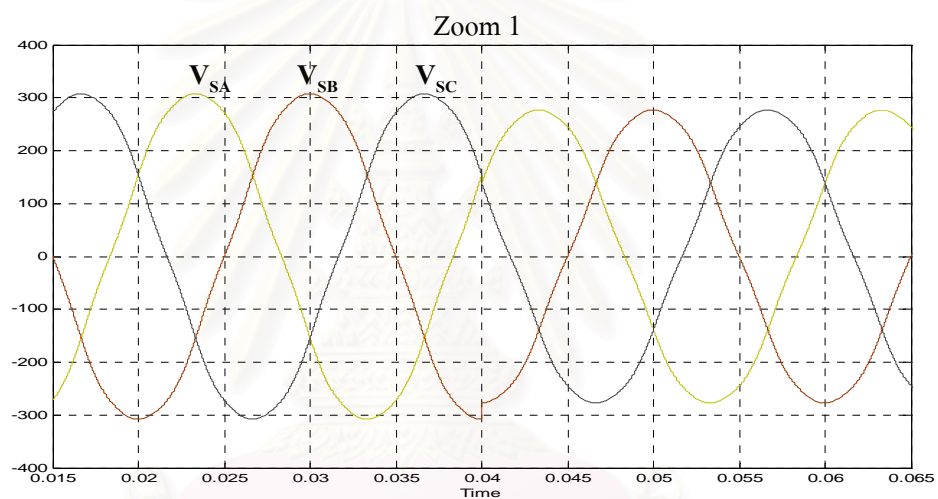
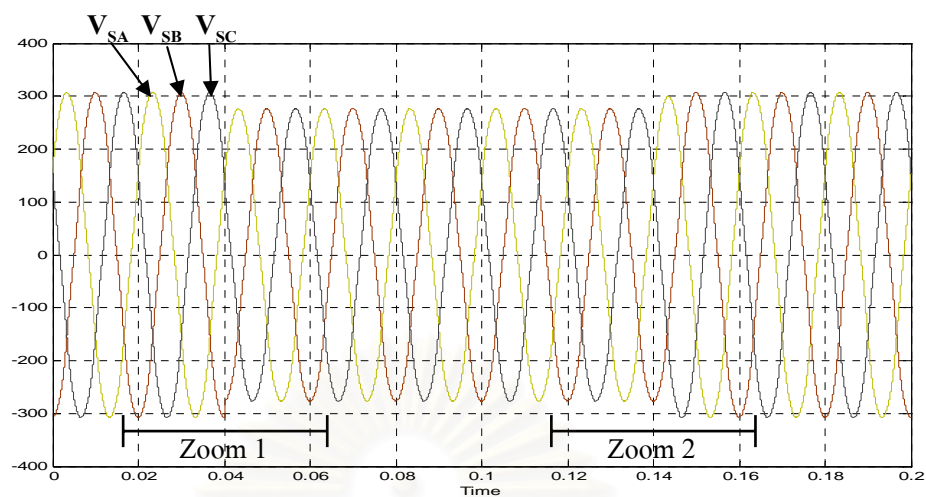
4.4.3 ผลการจำลองการชดเชยแรงดันกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 3 เฟส

รูปที่ 4.31 และ 4.35 แสดงแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงซึ่งเกิดจากความผิดปกติแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงมีขนาดแรงดัน 90% และ 50% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีแรงดันทั้ง 3 เฟสมีการเปลี่ยนแปลงเพียงขนาดเท่านั้นโดยไม่มีการกระโดดของมุมเฟส ส่วนรูปล่างจะเห็นได้ว่ายังมีการเกิดแรงดันตกชั่วขณะอยู่แม้ว่าจะเลยเวลาวินาทีที่ 0.14 ไปแล้วก็ตาม เนื่องจากการจำลองการผิดปกติของโปรแกรมจะทำการยกเลิกการเกิดความผิดปกติที่กระแสเป็นศูนย์หลังจากสั่งให้หยุดการสร้างการผิดปกติไปแล้ว

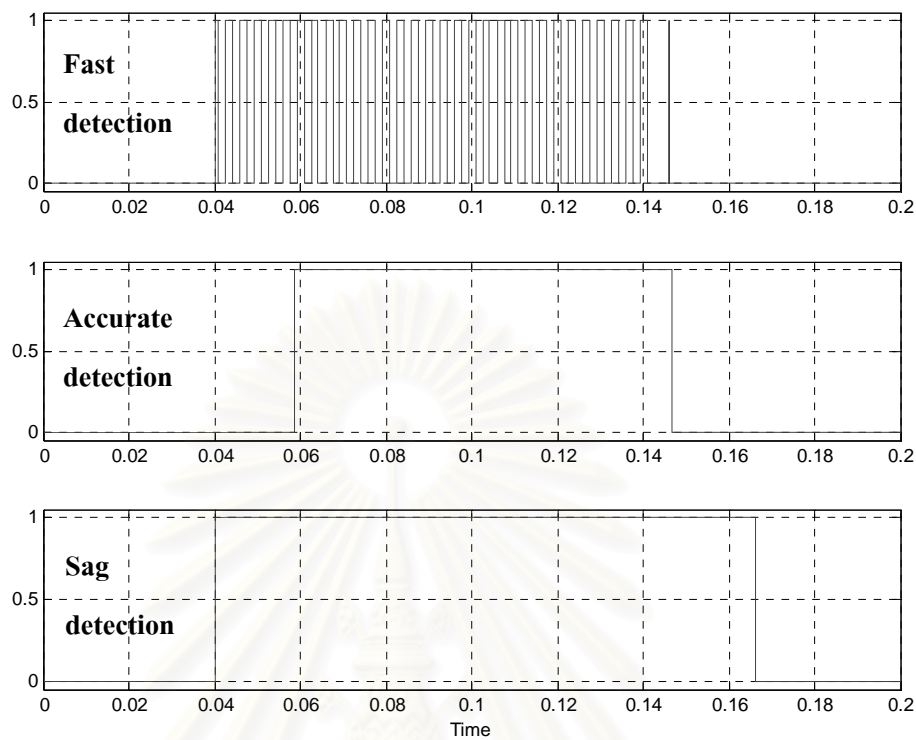
รูปที่ 4.32 และ 4.36 ต่างแสดงสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะซึ่งเกิดจากความผิดปกติแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงมีขนาดแรงดัน 90% และ 50% ตามลำดับ โดยรูปบนแสดงสัญญาณการตรวจจับแบบเร็วซึ่งในทางทฤษฎีแล้วจะสามารถตรวจจับได้ทันทีและมีความต่อเนื่อง แต่ในรูปที่ 4.32 บน จะเห็นได้ว่าสัญญาณมีความไม่ต่อเนื่องเนื่องจากการรบกวนของฮาร์โมนิก ส่วนรูปกลางแสดงสัญญาณการตรวจจับแบบแม่นยำซึ่งในกรณีขนาดแรงดันเป็น 90% จะมีความล่าช้ากว่ากรณีขนาดแรงดันเป็น 50% เป็นอย่างมาก โดยในกรณีนี้จะเป็นกรณีที่ง่ายที่สุดในการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะและไม่มีกรณีที่ตรวจจับได้ล่าช้า

รูปที่ 4.33-4.34 และ 4.37-4.38 แสดงแรงดันและกระแสที่โหลดได้รับขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบ 3 เฟสและแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงมีขนาดแรงดัน 90% และ 50% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสามารถแก้ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะได้ดีทั้ง 2 กรณี รูปกลางแสดงภาพขยายขณะเริ่มเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ส่วนรูปล่างแสดงภาพขยายขณะสิ้นสุดแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งเห็นได้ว่าทั้งก่อนและหลังเกิดแรงดันตกชั่วขณะแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

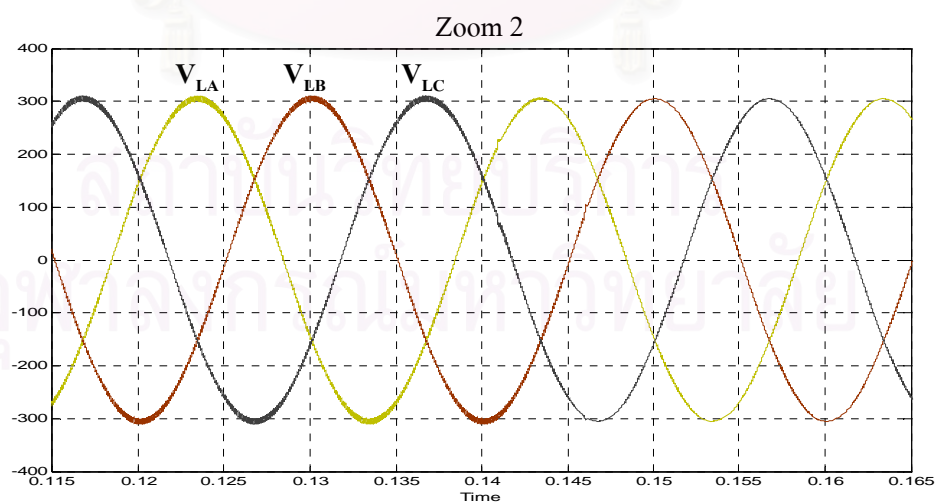
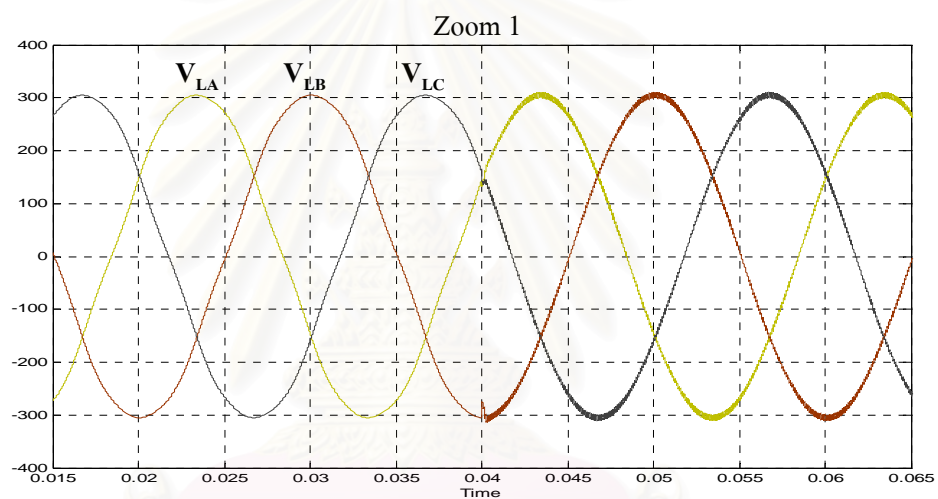
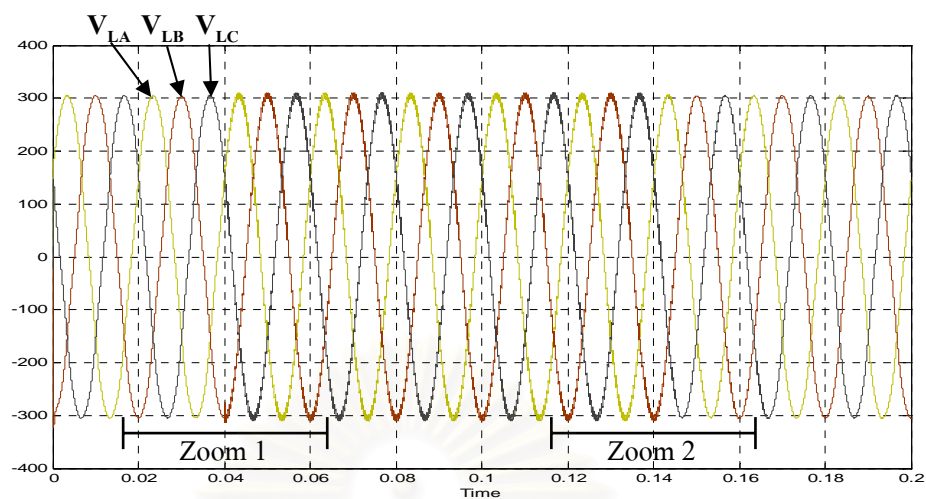


รูปที่ 4.31 ผลการจำลองแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ

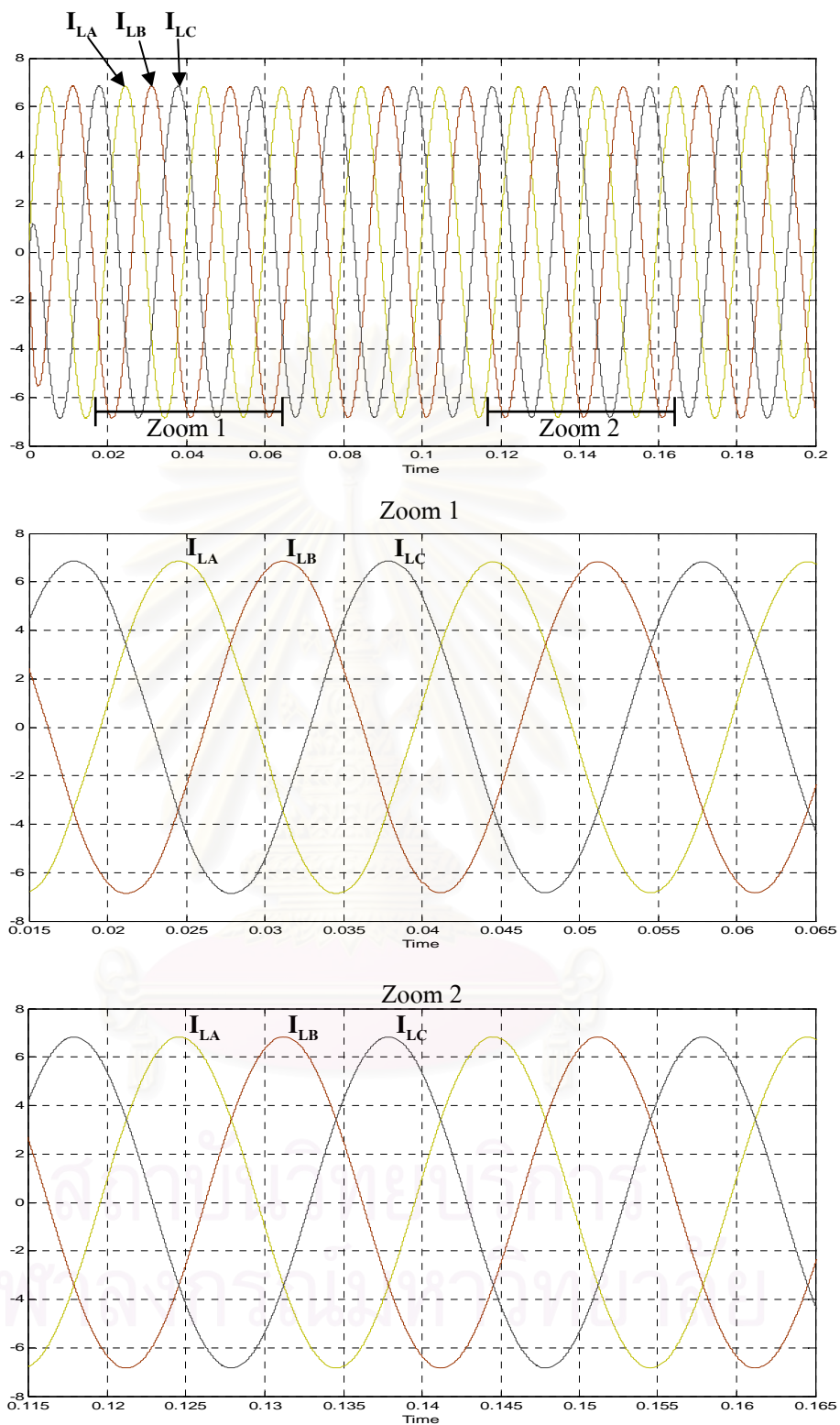


รูปที่ 4.32 ผลการจำลองสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 3 เฟส
ที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ

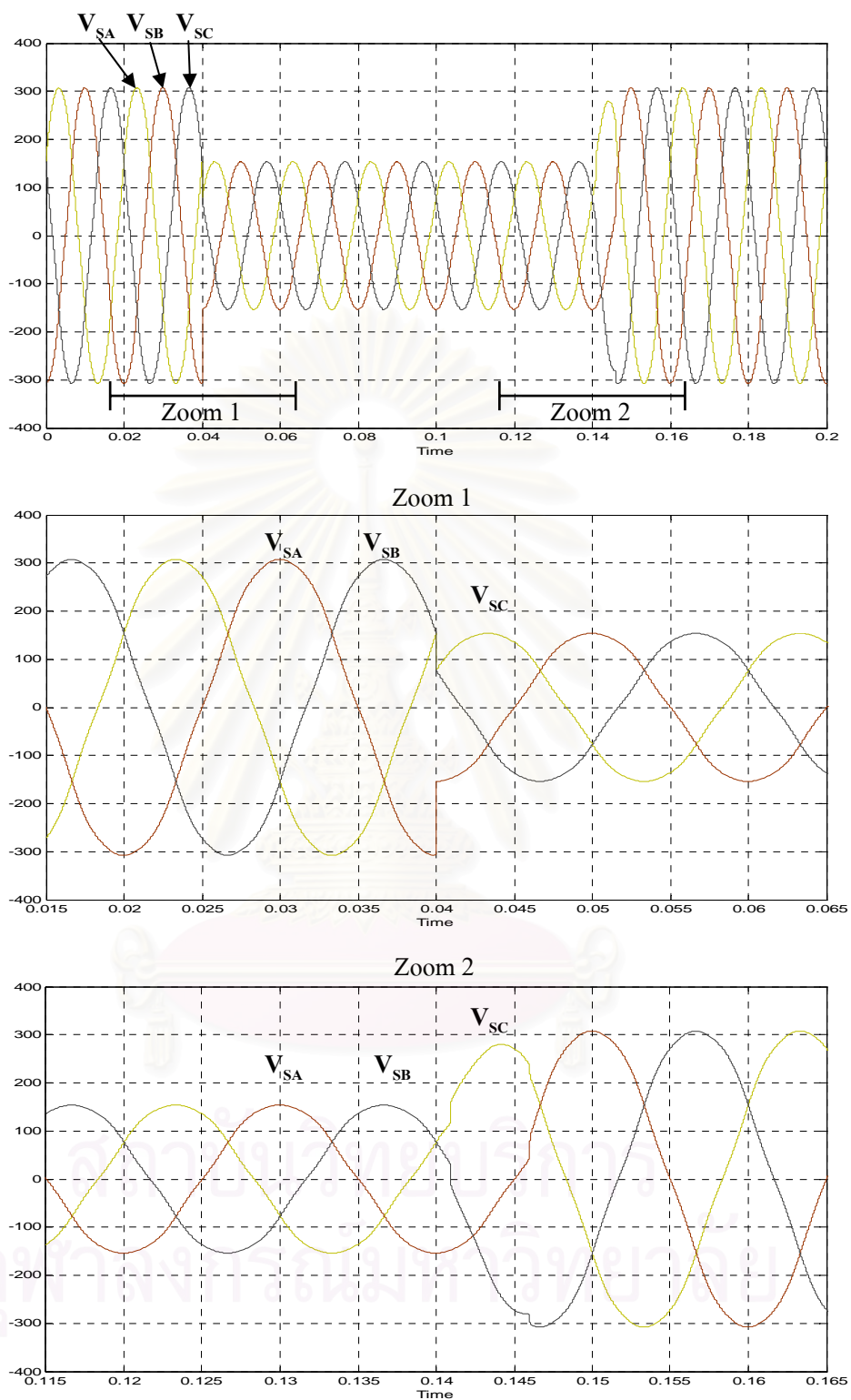
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



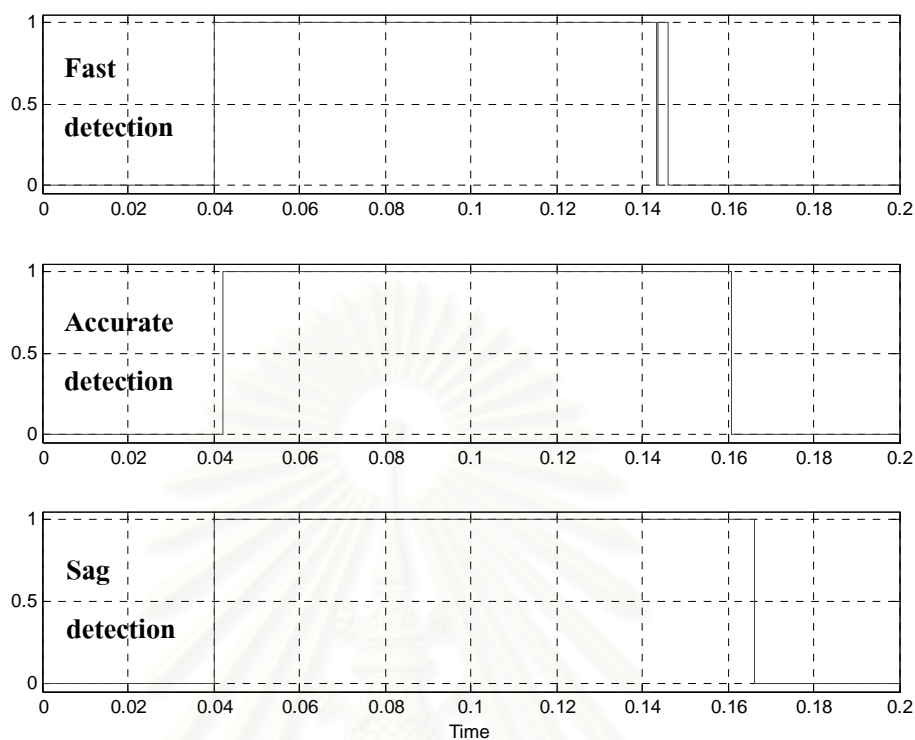
รูปที่ 4.33 ผลการจำลองแรงดันโวลตครณีเกิดความผิดพ้องแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ



รูปที่ 4.34 ผลการจำลองกระแสไหลลครณีเกิดความผิดพ้องแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ

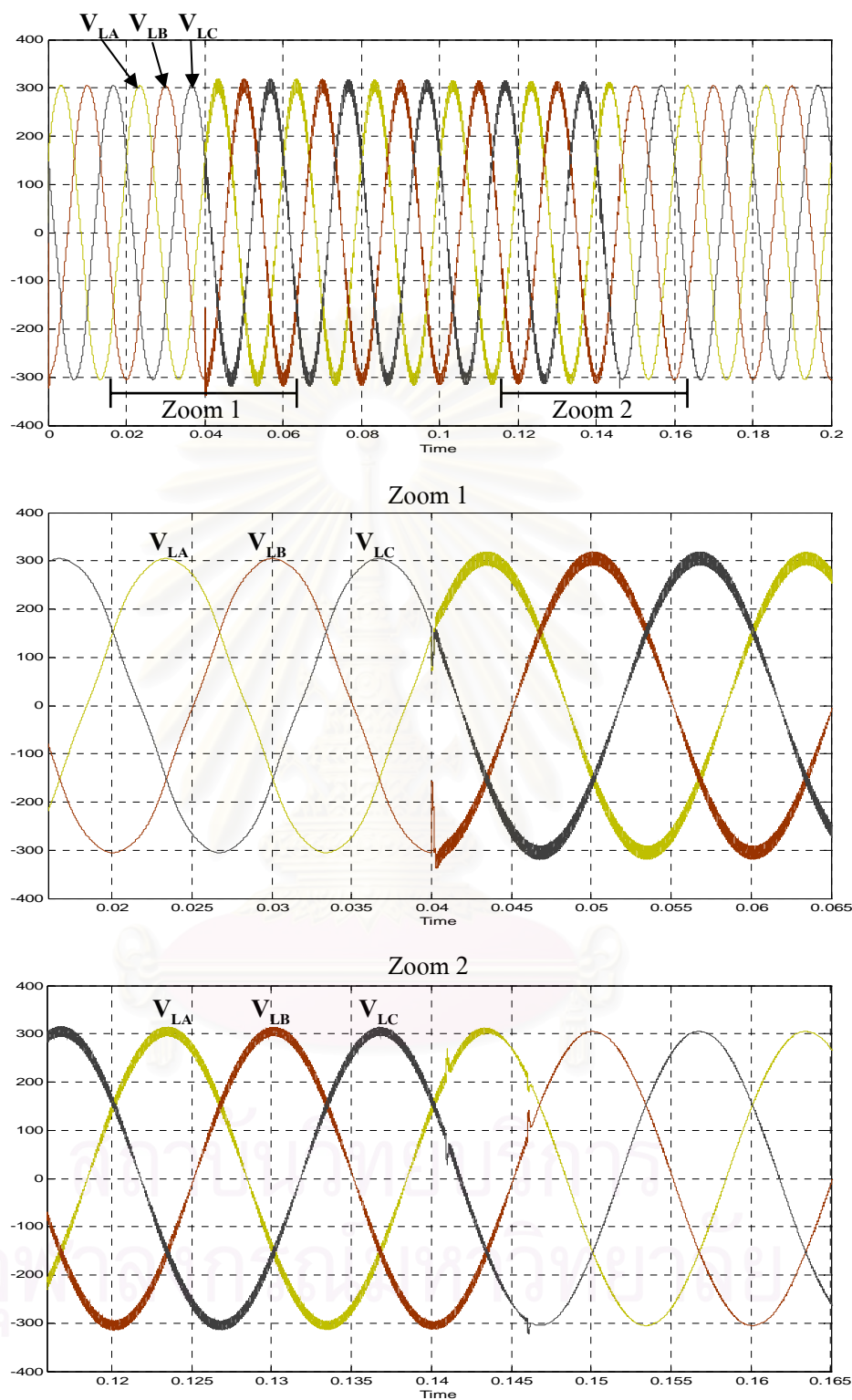


รูปที่ 4.35 ผลการจำลองแรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 50% ของแรงดันปกติ

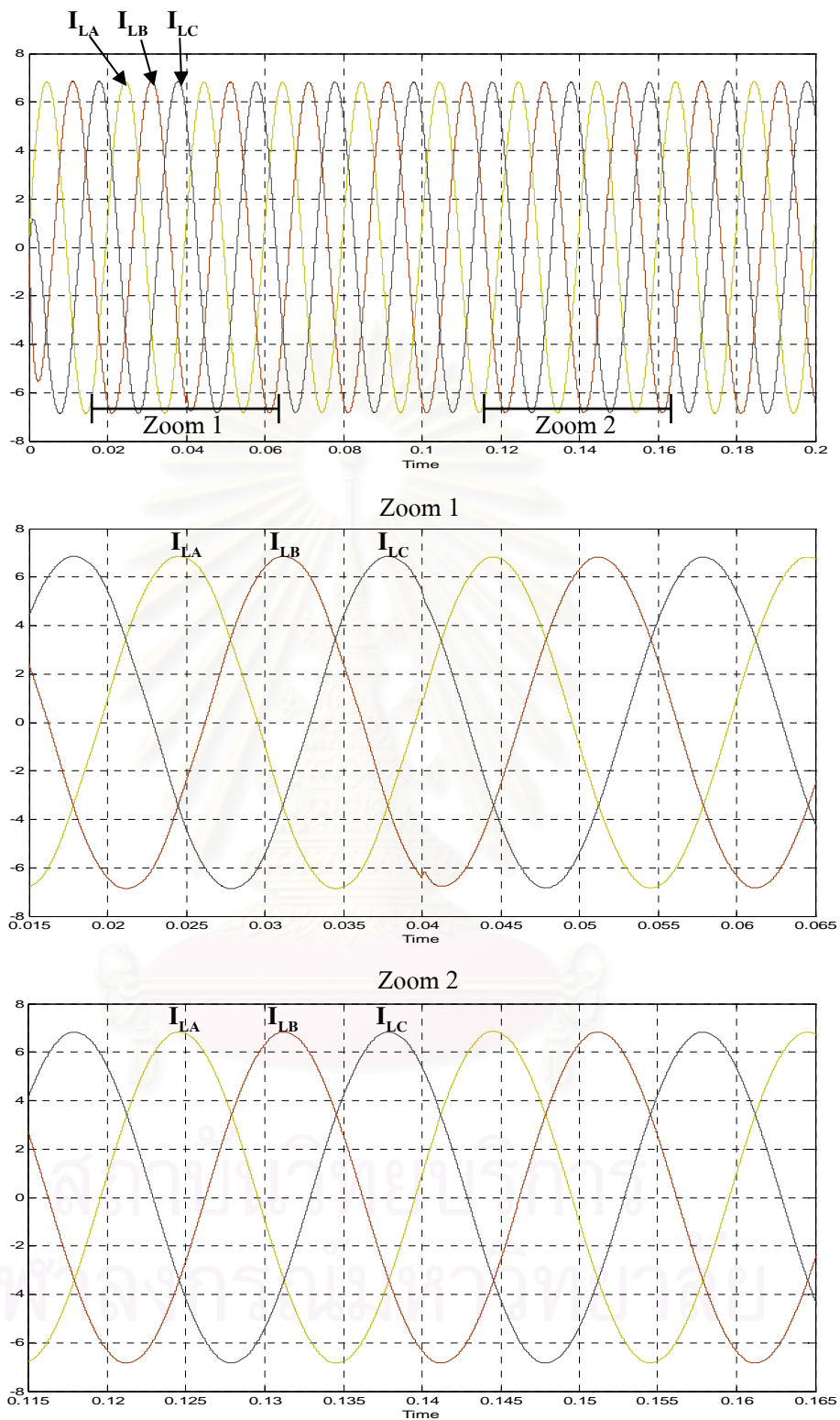


รูปที่ 4.36 ผลการจำลองสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 3 เฟส
ที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 50% ของแรงดันปกติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.37 ผลการจำลองแรงดันโหลดกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 50% ของแรงดันปกติ



รูปที่ 4.38 ผลการจำลองกระแสไหลลครณีเกิดความผิดพ้องแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 50% ของแรงดันปกติ

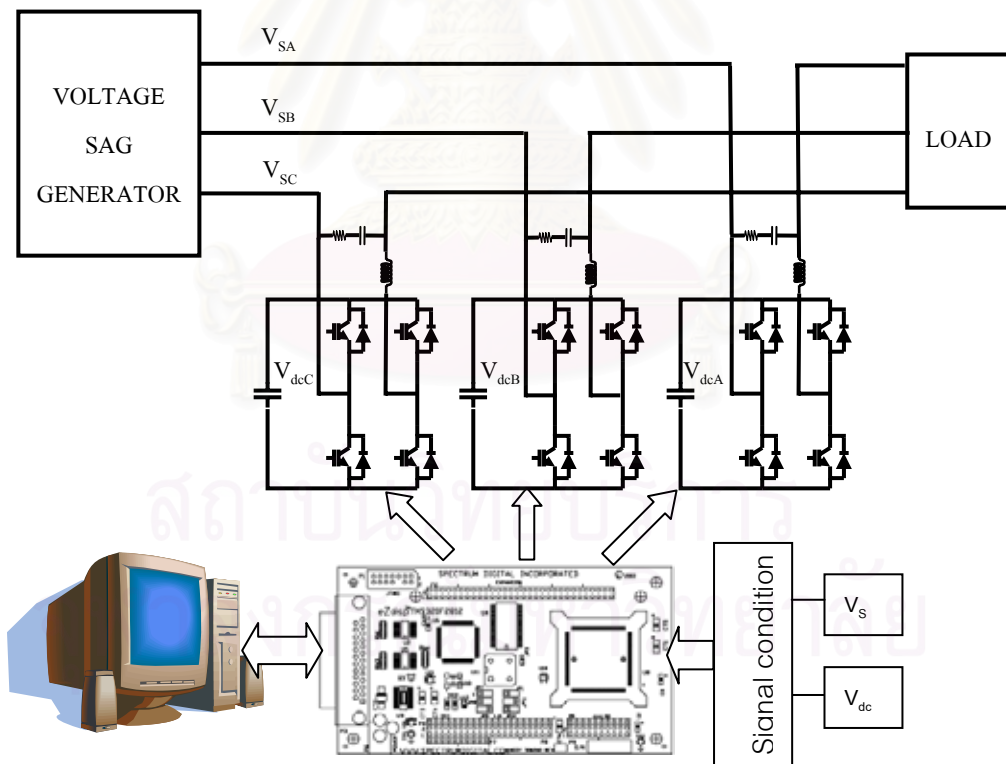
บทที่ 5

โครงสร้างระบบและการทดสอบการทำงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างทางด้านฮาร์ดแวร์ทั้งระบบและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ถูกใช้ในการทดสอบการทำงานจริง รวมทั้งผลการทดสอบการทำงานของระบบ โดยในขั้นแรกจะทำการทดสอบการทำงานของอัลกอริทึมการตรวจจับที่ได้นำเสนอ และสุดท้ายเป็นการทดสอบการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะจริงซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กรณีตามการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

5.1 โครงสร้างระบบ

โครงสร้างโดยรวมของฮาร์ดแวร์ของระบบแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 ประกอบด้วยตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะต่ออนุกรมอยู่ระหว่างตัวสร้างแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage sag generator) และโหลด โดยที่โหลดประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำตัวเหนี่ยวนำ 45 mH และตัวต้านทาน 40 โอห์ม



รูปที่ 5.1 โครงสร้างฮาร์ดแวร์ของตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะที่ใช้ในการทดลอง

ตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนของวงจรภาคกำลังและ ส่วนของวงจรภาคควบคุม ส่วนของวงจรภาคกำลังประกอบด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มบริดจ์ 1

เฟส จำนวน 3 ตัว โดยแต่ละตัวต่อเข้ากับตัวเก็บประจุที่ใช้เก็บพลังงานขนาด 2200 μF 400 V และด้านออกต่อเข้าของวงจรกรองพาสซีฟก่อนเข้าสู่ระบบไฟฟ้า มีพารามิเตอร์ดังนี้ ตัวเก็บประจุ C_f 4 μF , ตัวเหนี่ยวนำ L_f 4 mH และตัวต้านทาน R_f 63 โอห์ม

ภาคควบคุมของตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะจะใช้บอร์ดตัวประมวลผลเชิงดิจิทัล TMP320F2812 เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบ โดยทำการสุ่มข้อมูลทุกๆ 0.1 มิลลิวินาทีหรือที่ความถี่ 10 kHz ใช้เงื่อนไขในการบอกว่าเกิดแรงดันตกชั่วขณะดังนี้ ในกรณีของขนาดแรงดัน $|V|$ ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 198 V และ ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงมุมเฟส $\Delta\theta$ ต้องมากกว่า 2.71 องศา หรือ น้อยกว่า 0.89 องศา จะเห็นได้ว่ามีแบนด์ที่ช่วงกว้างมากกว่าการจำลองการทำงาน เนื่องจากมีสัญญาณรบกวนขณะทำการชดเชยแรงดัน และทำการสร้างสัญญาณขับนำสวิตซ์ที่ความถี่ 20 kHz

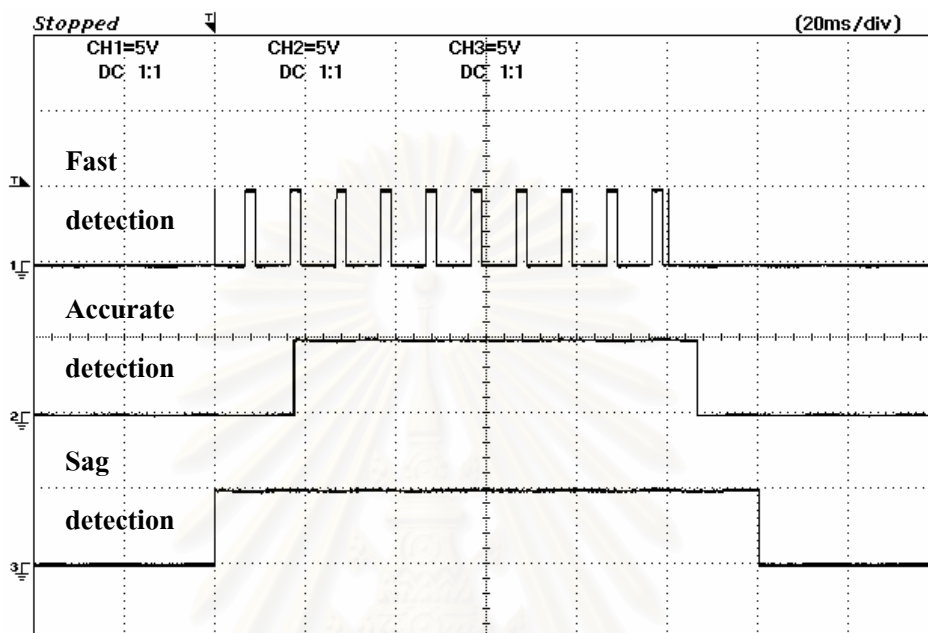
การตรวจวัดสัญญาณต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในการทำงานของตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะประกอบด้วย การตรวจวัดสัญญาณแรงดันเฟสด้านตัวสร้างแรงดันตกชั่วขณะและสัญญาณแรงดันบัสไฟตรง โดยสัญญาณทั้งหมดจะผ่านเข้าสู่วงจรปรับแต่งสัญญาณให้เหมาะสมและจำกัดขนาดก่อนส่งให้กับตัวแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลภายในตัวประมวลผลเชิงดิจิทัลต่อไป การตรวจวัดสัญญาณแรงดันเฟสด้านตัวสร้างแรงดันตกชั่วขณะใช้หม้อแปลงเป็นตัวลดขนาดแรงดันและแยกโคจรทางไฟฟ้า ส่วนการตรวจวัดแรงดันจากบัสไฟตรงใช้ออปโตแบบเชิงเส้น (linear opto) ในการวัดแรงดันและแยกโคจรทางไฟฟ้า

5.2 ผลการทดสอบการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะ

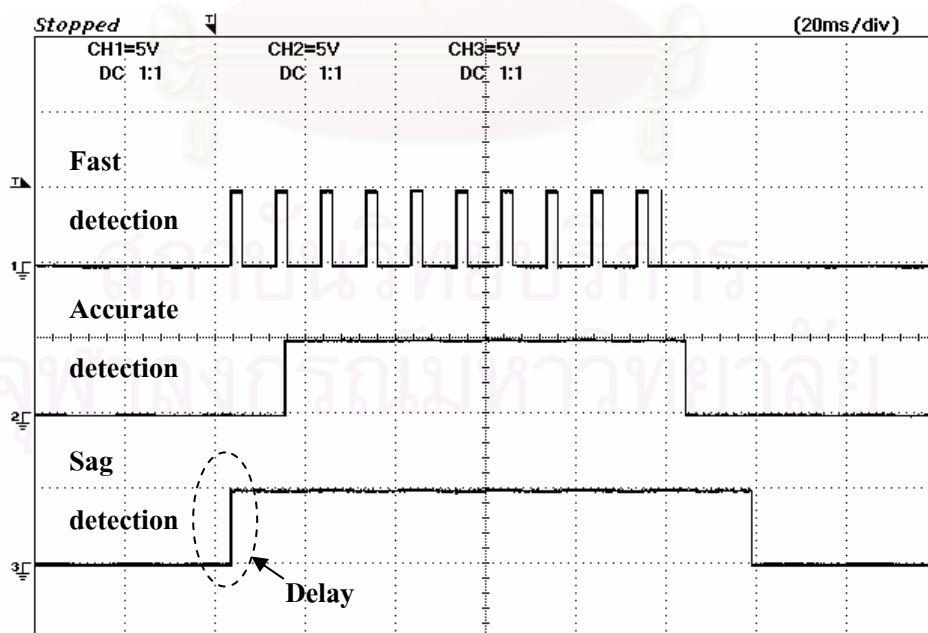
รูปที่ 5.2-5.10 แสดงผลการทดสอบการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะในกรณีต่างๆ โดยจุดที่เริ่มเกิดแรงดันตกชั่วขณะอยู่ที่เส้นปะในแนวตั้งที่ 2 นับจากทางซ้าย ซึ่งในแต่ละรูปจะประกอบด้วย 3 สัญญาณ คือ สัญญาณบนแสดงสัญญาณการตรวจจับแบบเร็ว สัญญาณกลางแสดงสัญญาณการตรวจจับแบบแม่นยำ และสัญญาณล่างแสดงสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะ

สัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะได้จากการรวมกันของสัญญาณการตรวจจับแบบเร็วและแบบแม่นยำ โดยส่วนตรวจจับแบบเร็วจะทำการตรวจจับแรงดันในระบบไฟฟ้าตลอดเวลา โดยที่สัญญาณที่ได้จะถูกหน่วงเวลา 20 มิลลิวินาทีเนื่องจากสัญญาณมีความไม่ต่อเนื่องและรอสัญญาณจากส่วนตรวจจับแบบแม่นยำซึ่งมีความต่อเนื่อง ก็จะได้สัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่ว

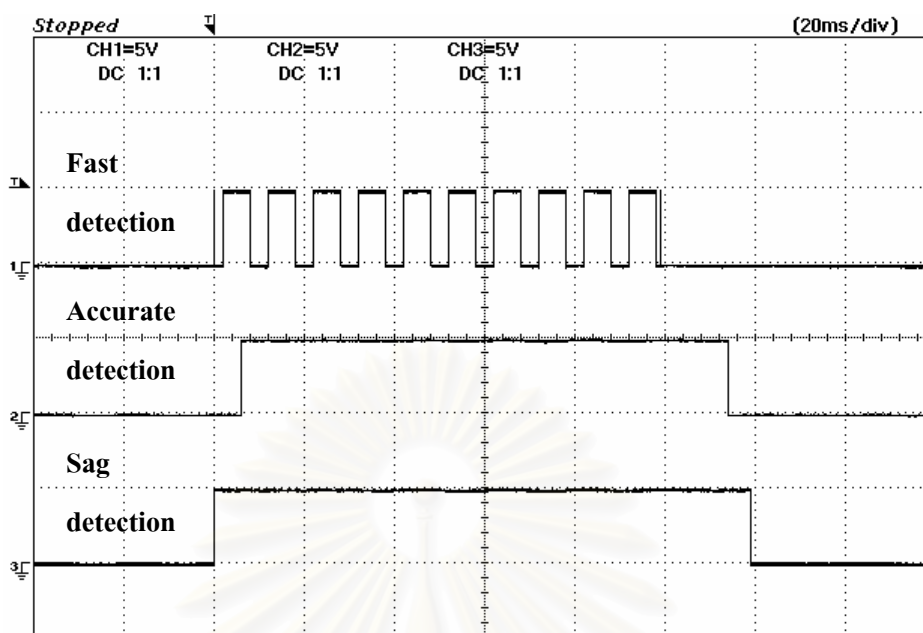
ขณะที่มีความต่อเนื่อง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 และสัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะที่ได้จะมีการหน่วงเวลา 20 มิลลิวินาทีหลังจากสิ้นสุดแรงดันตกชั่วขณะไปแล้ว เนื่องจากการหน่วงเวลาของสัญญาณในส่วนการตรวจจับแบบเร็ว



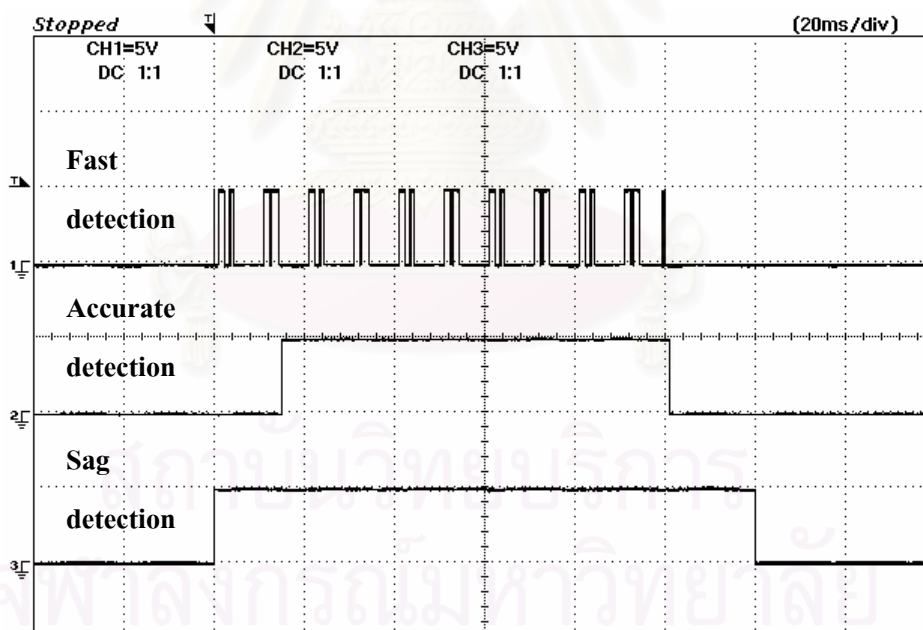
รูปที่ 5.2 สัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ และขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิเป็น 90% ของแรงดันปกติ



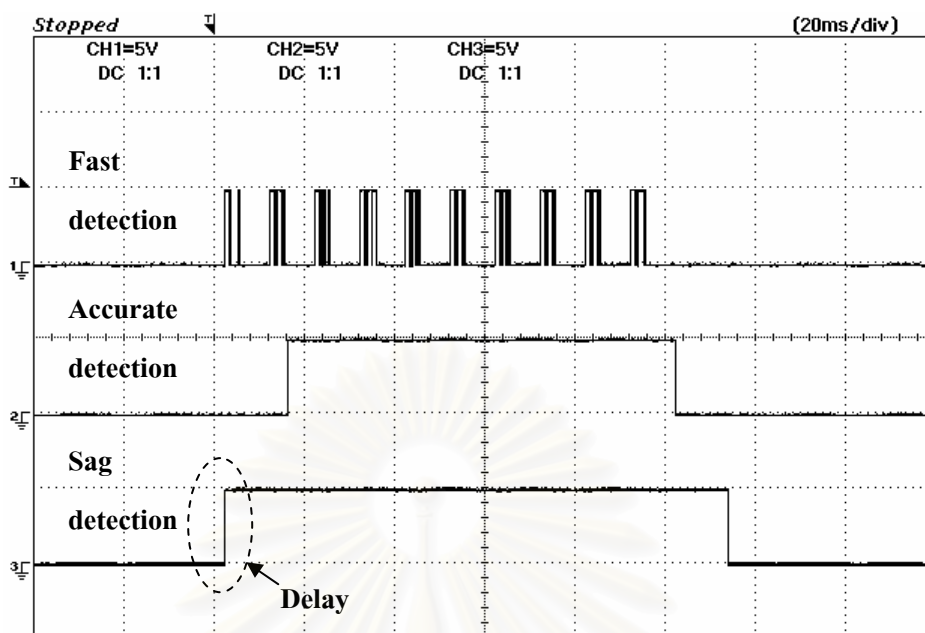
รูปที่ 5.3 สัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้ช้า



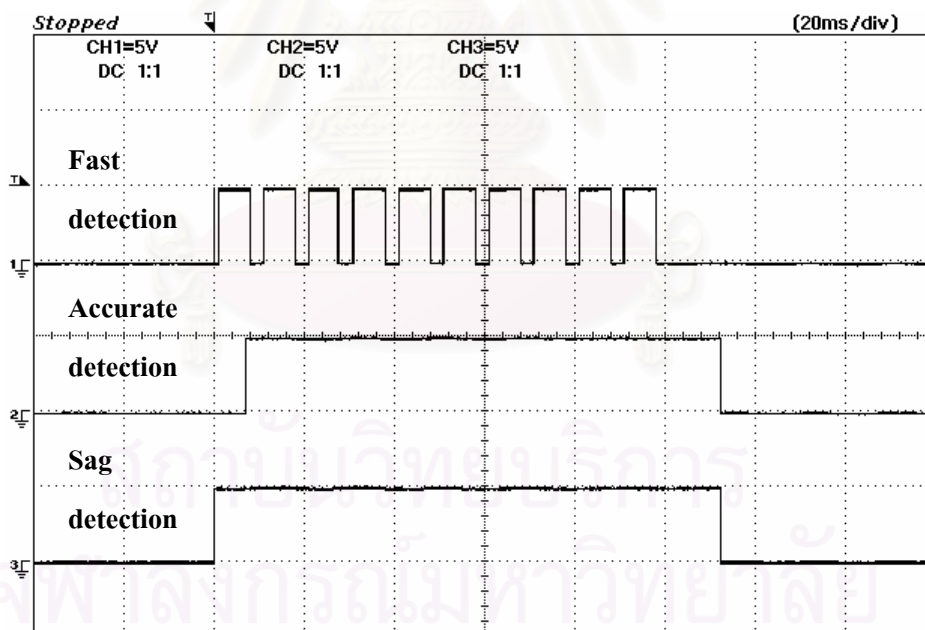
รูปที่ 5.4 สัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ และขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 75% ของแรงดันปกติ



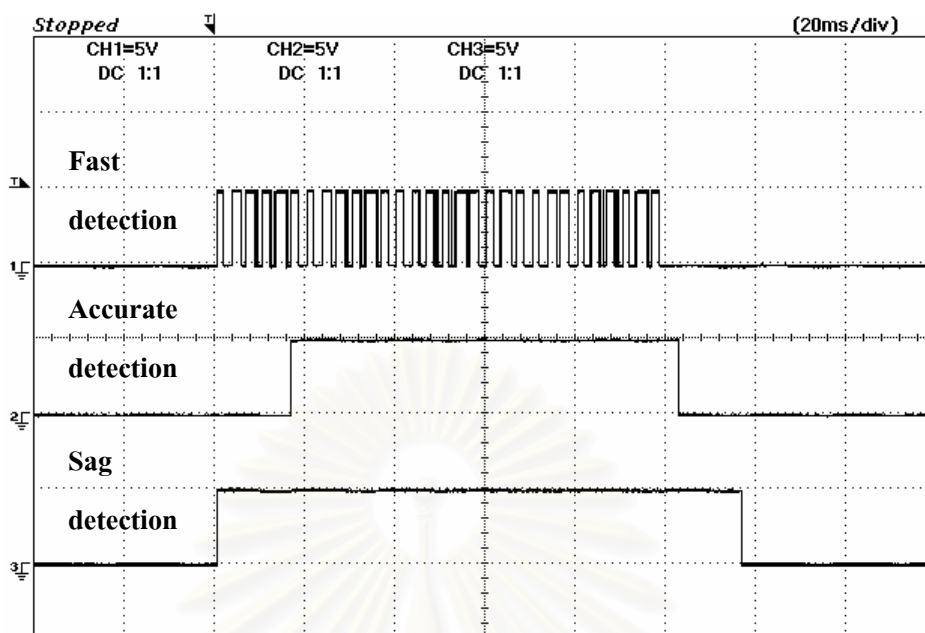
รูปที่ 5.5 สัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ และขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ



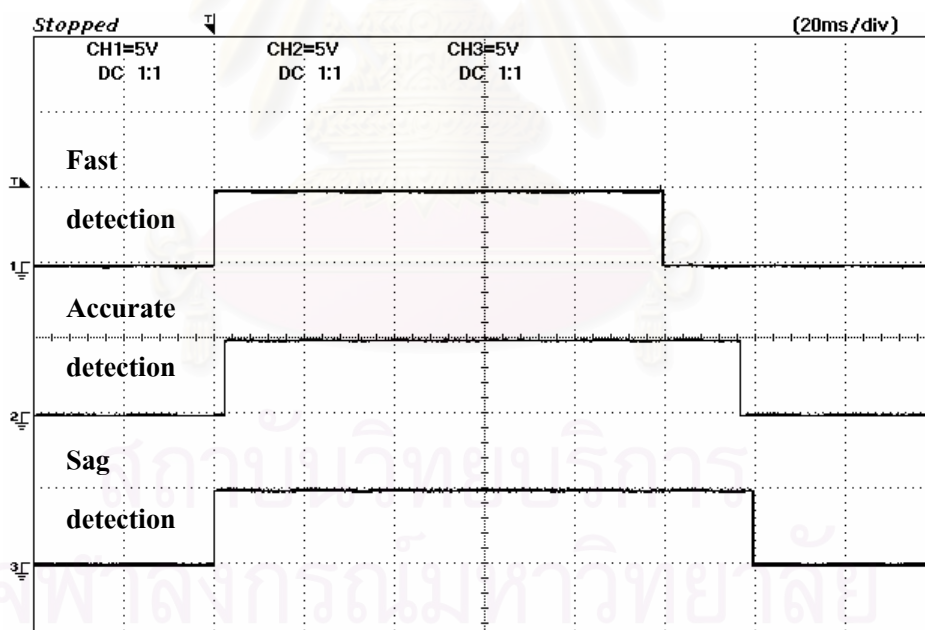
รูปที่ 5.6 สัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้ช้า



รูปที่ 5.7 สัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ และขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 75% ของแรงดันปกติ



รูปที่ 5.8 สัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ และขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ

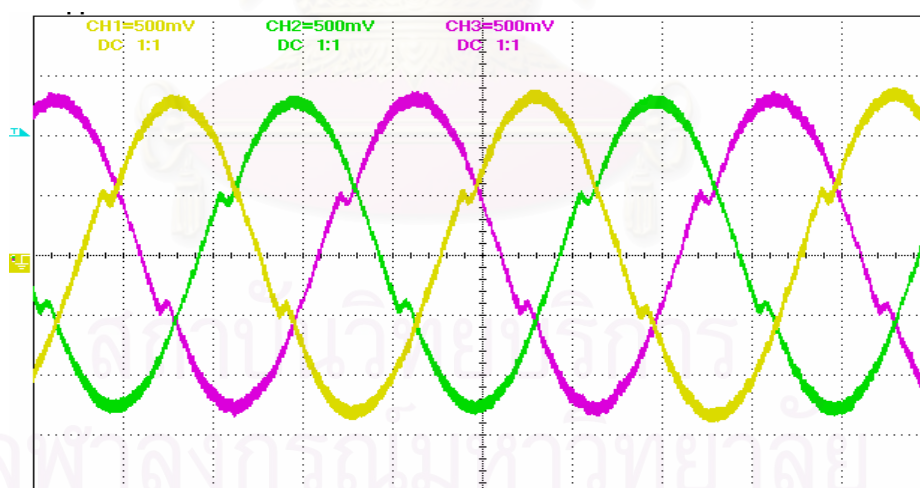


รูปที่ 5.9 สัญญาณการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ และขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 50% ของแรงดันปกติ

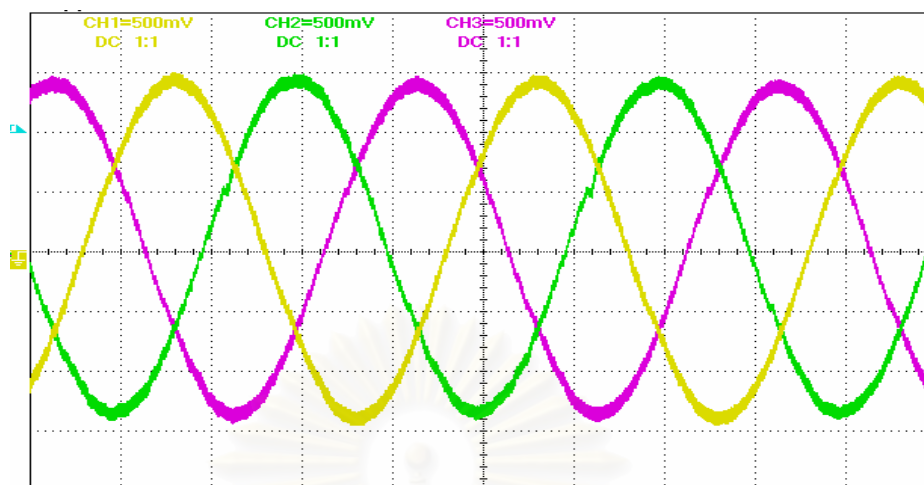
5.3 ผลการทดสอบการทำงาน

เนื่องจากในทางปฏิบัติการสวิตช์จำเป็นต้องมีช่วงเวลาเดดไทม์ (dead time) เพื่อป้องกันการลัดวงจรของสวิตช์คู่ประกอบในอินเวอร์เตอร์ และด้วยเหตุนี้จึงทำให้ลักษณะของแรงดันขณะทำการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะมีความผิดเพี้ยนไปจากที่ได้ทำการจำลองการทำงาน แสดงดังรูปที่ 5.2 ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการบวกเพิ่มแรงดันรูปสี่เหลี่ยมที่มีทิศทางตรงกับกระแสไหลค้เข้า ไป รูปที่ 5.3 แสดงแรงดันโวลตขณะชดเชยแรงดันซึ่งมีการชดเชยแรงดันรูปสี่เหลี่ยมเพื่อแก้ปัญหาผลกระทบจากการมีช่วงเวลาเดดไทม์ จะเห็นได้ว่าแรงดันกลับมาเป็นรูปไซน์ปกติ

การทดสอบจะทำการสร้างแรงดันดันตกชั่วขณะเป็นเวลาประมาณ 0.1 วินาที หรือ 5 ไซเคิล โดยที่รูปแสดงผลการทดลองแต่ละรูปจะประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนบนแสดงผลตลอดช่วงเวลาในแต่ละการทดลอง จุดที่เริ่มเกิดแรงดันตกชั่วขณะอยู่ที่เส้นปะในแนวตั้งที่ 2 นับจากทางซ้าย ส่วนกลางแสดงผลการทดลองที่ถูกขยายบริเวณจุดเริ่มเกิดแรงดันตกชั่วขณะซึ่งอยู่ตรงกลางภาพ และส่วนล่างแสดงผลการทดลองที่ถูกขยายบริเวณจุดสิ้นสุดแรงดันตกชั่วขณะซึ่งอยู่ตรงกลางภาพ



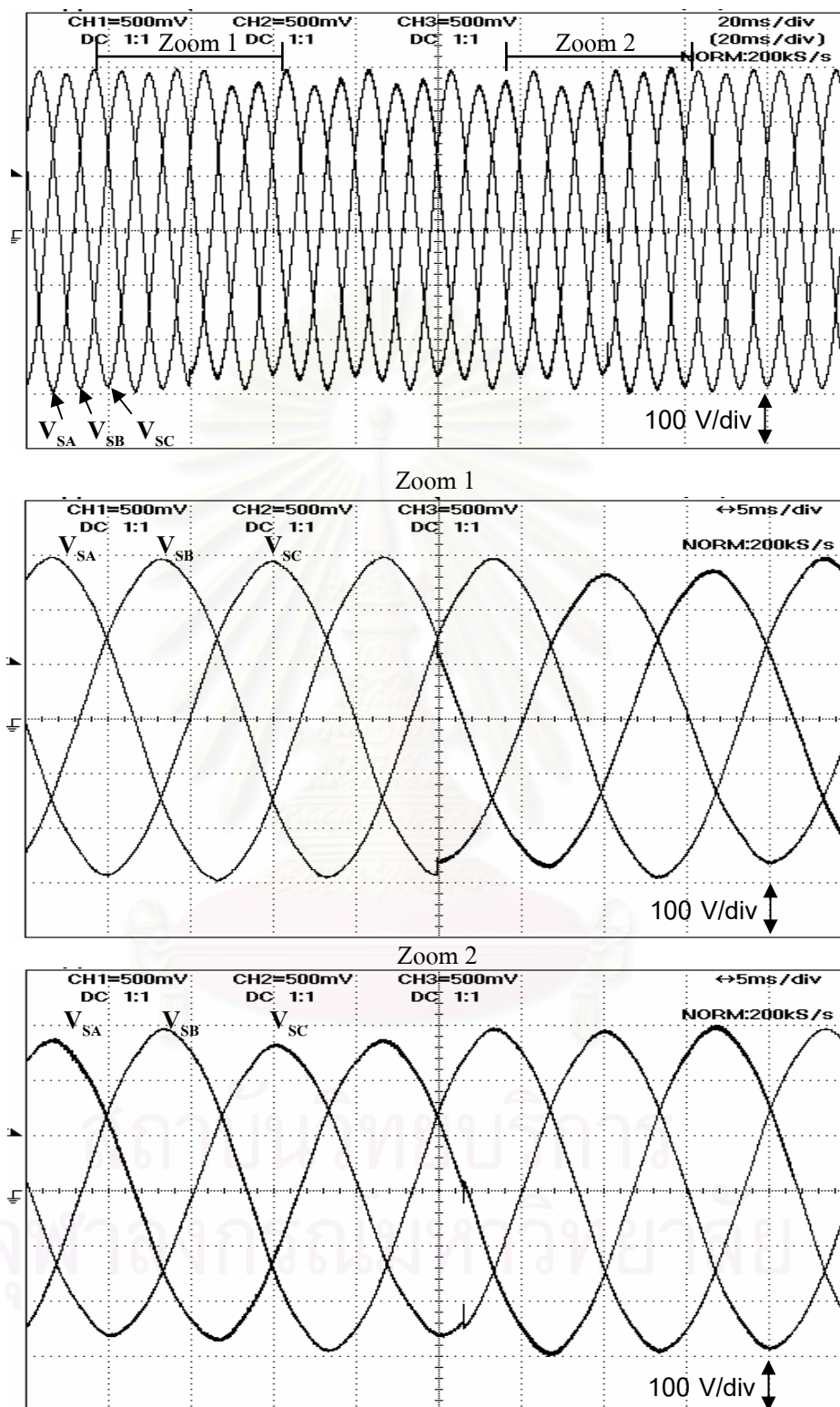
รูปที่ 5.10 แรงดันโวลตขณะชดเชยแรงดันซึ่งมีผลกระทบจากการมีช่วงเวลาเดดไทม์



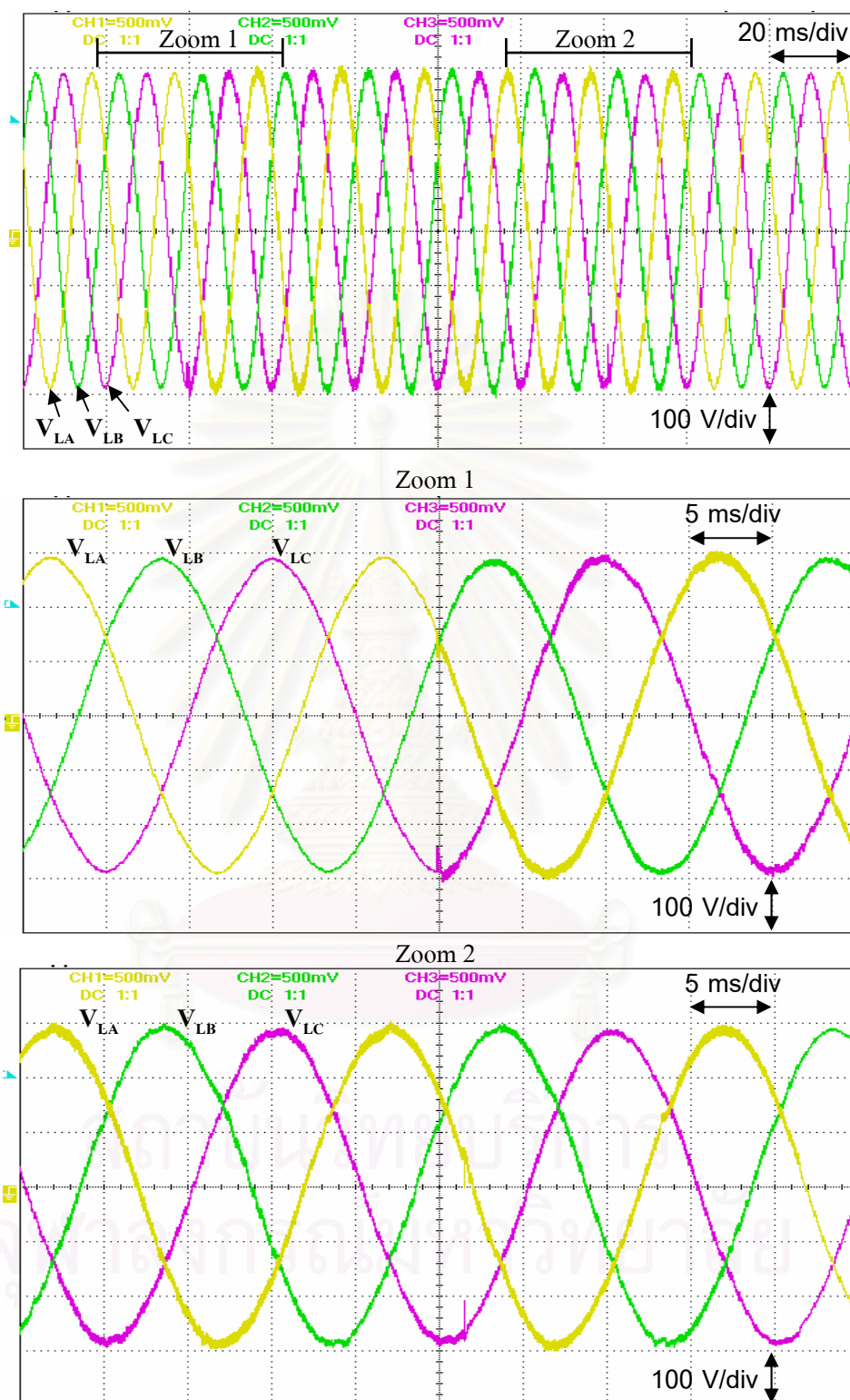
รูปที่ 5.11 แรงดันโหลดขณะชดเชยแรงดันซึ่งมีการชดเชยผลกระทบจากการมีช่วงเวลาเฉดใหม่

5.2.1 ผลการทดลองการชดเชยแรงดันกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 1 เฟส

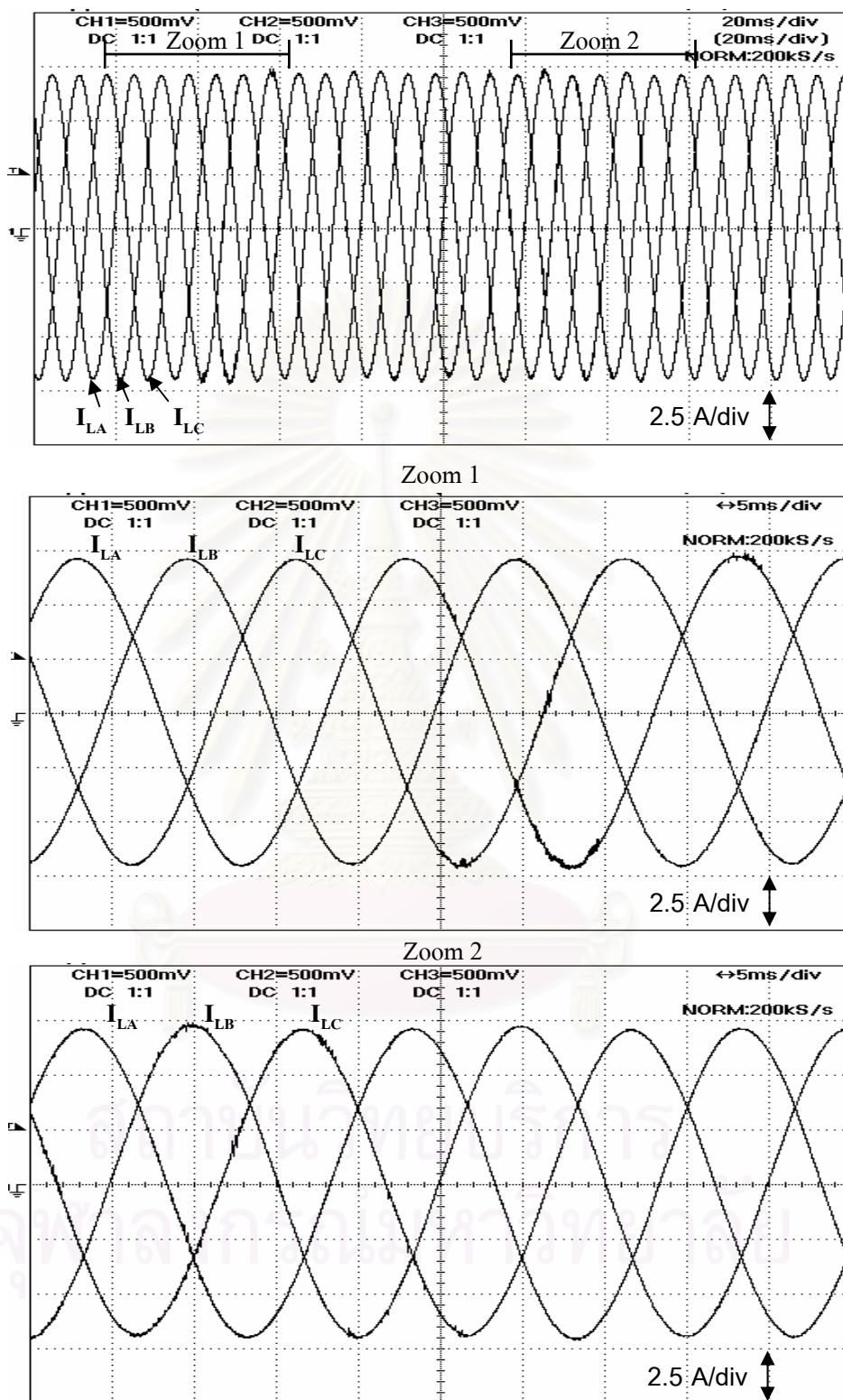
รูปที่ 5.12-5.17 แสดงผลการทดลองการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากความผิดพลาดแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ โดยที่รูปที่ 5.12-5.18 แสดงผลการทดลองกรณีที่สามารถตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะได้ทันที จะเห็นได้ว่าสามารถชดเชยแรงดันได้ทั้งขนาดที่ลดลงและการกระโดดของมุมเฟส ซึ่งทำให้แรงดันและกระแสที่โหลดเป็นเหมือนขณะปกติ ส่วนแรงดันสไปล์ในรูปที่ 5.13 ขณะเริ่มการเกิดการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะนั้นเกิดจากลักษณะของการตรวจจับเชิงดิจิทัลที่จะมีความล่าช้า 1 คาบการสุ่มข้อมูล ทำให้ขณะเริ่มเกิดแรงดันลดลงไปช่วงระยะเวลาสั้นๆ เช่นเดียวกับในบทที่ 4 การเกิดแรงดันตกชั่วขณะแบบนี้มีความยากในการตรวจจับบริเวณที่แรงดันสไปล์เฟสแวลจ์แวลจ์เกิดแรงดันตกชั่วขณะและขณะปกติมีค่าเท่ากันหรือมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งผลการทดลองในกรณีนี้แสดงดังรูปที่ 5.15-5.17 การชดเชยแรงดันในกรณีนี้จะสามารถชดเชยได้เพียงแค่ขนาดเท่านั้นและมีความล่าช้าประมาณ 0.004 วินาที แต่ปัญหาการชดเชยแรงดันที่มีความล่าช้านี้จะลดลงเมื่อขนาดของแรงดันตกชั่วขณะมีค่าน้อยลง ดังรูปที่ 5.18-5.20 ซึ่งแสดงผลการทดลองการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากความผิดพลาดแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 75% ของแรงดันปกติ จะเห็นได้ว่าในบริเวณปัญหาเดียวกันการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะสามารถชดเชยแรงดันได้ทันที



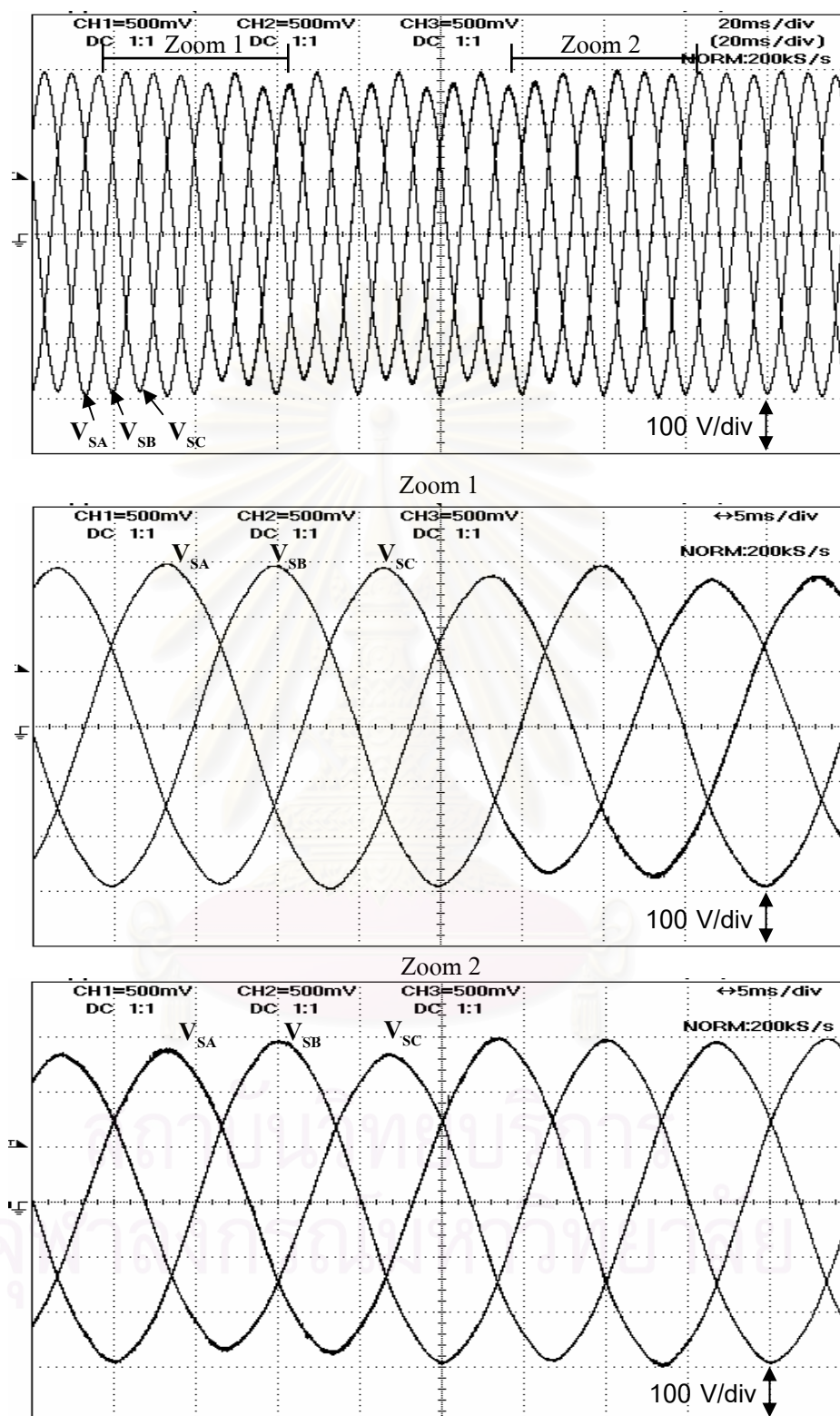
รูปที่ 5.12 แรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดพร่องแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ



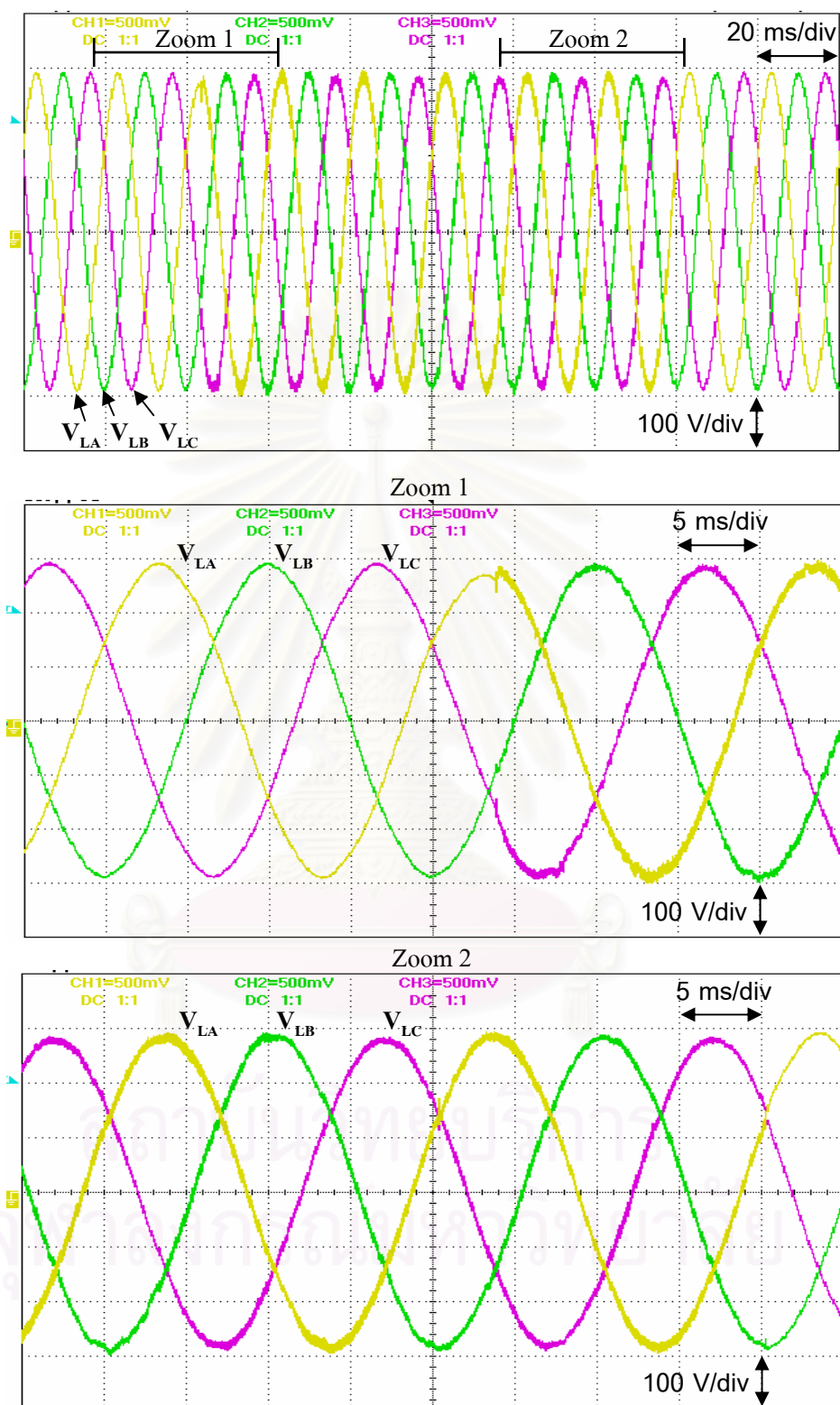
รูปที่ 5.13 แรงดันโวลต์ครณีเกิดควมผิดพรงแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ



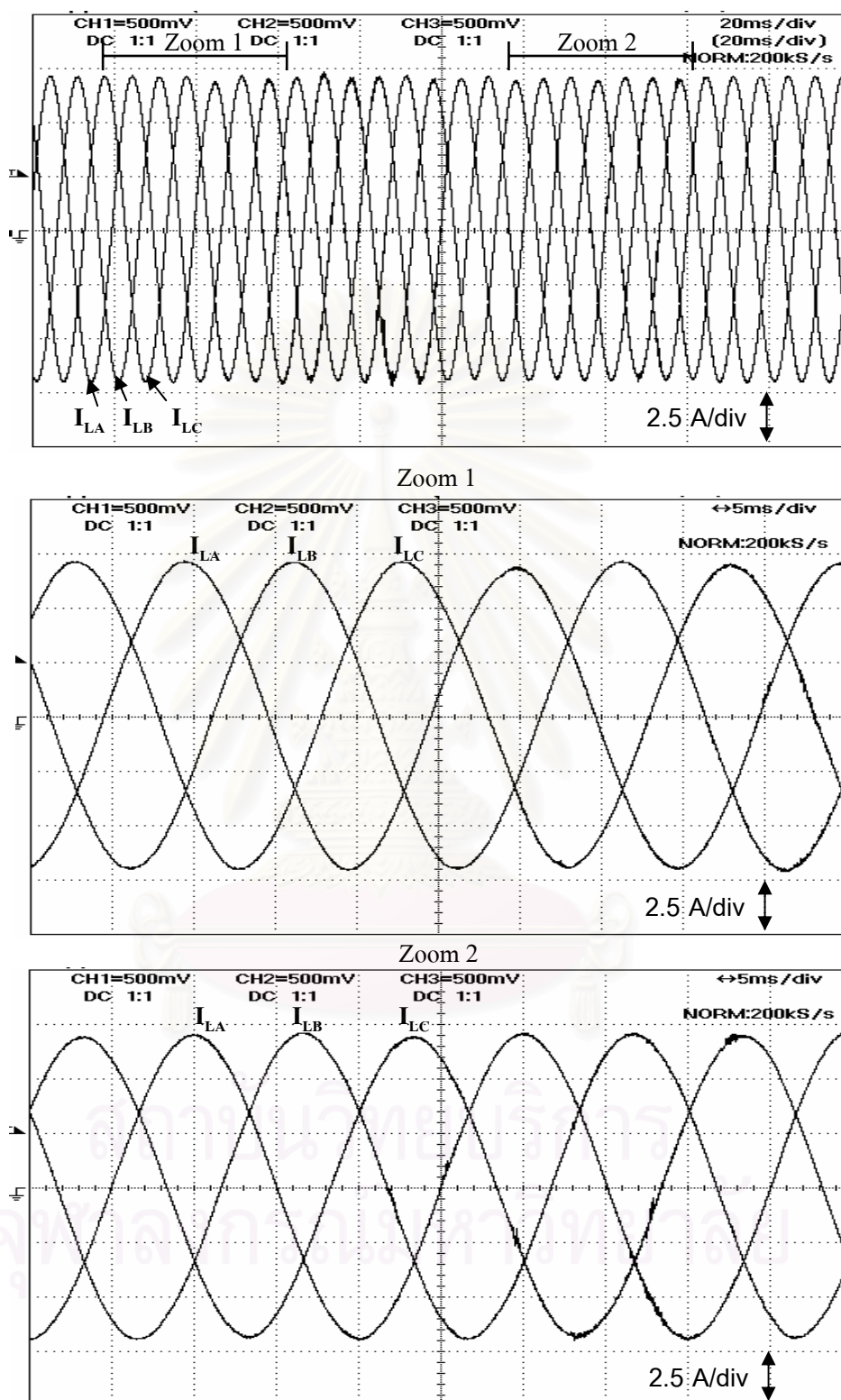
รูปที่ 5.14 กระแสโหลดกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ



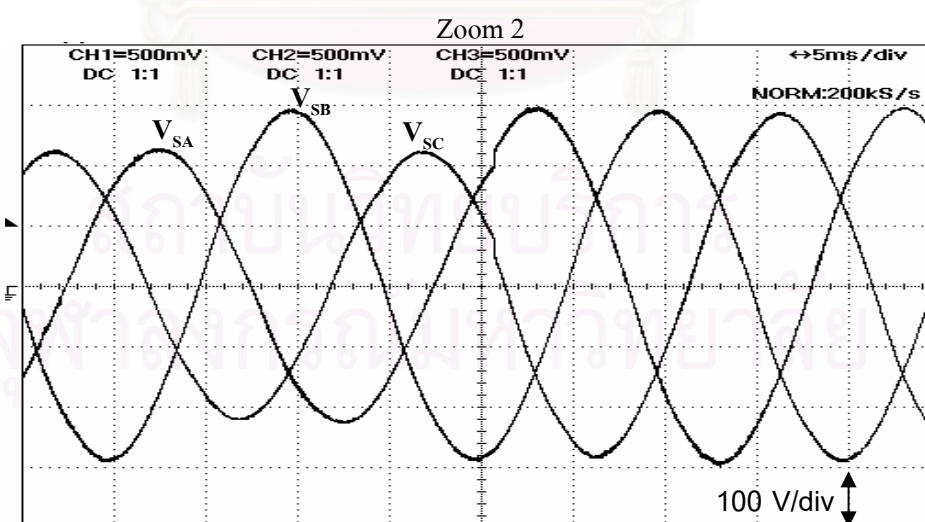
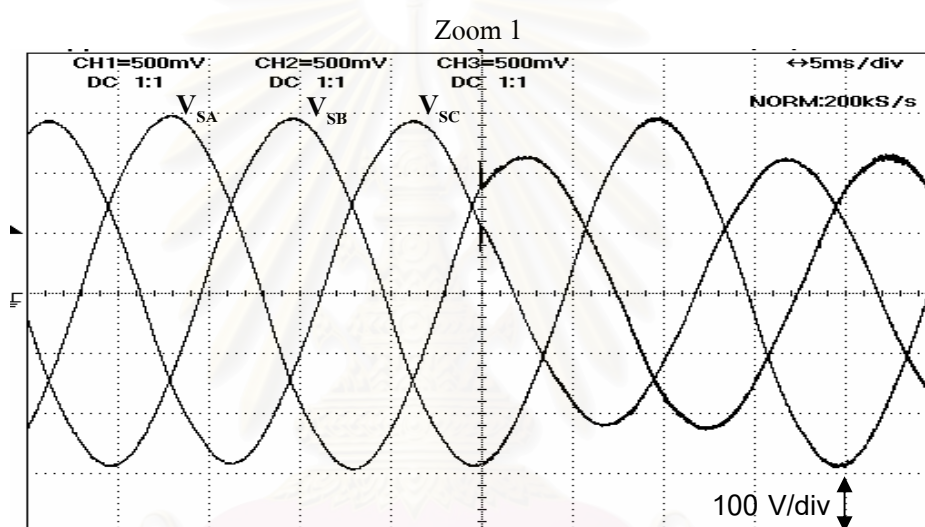
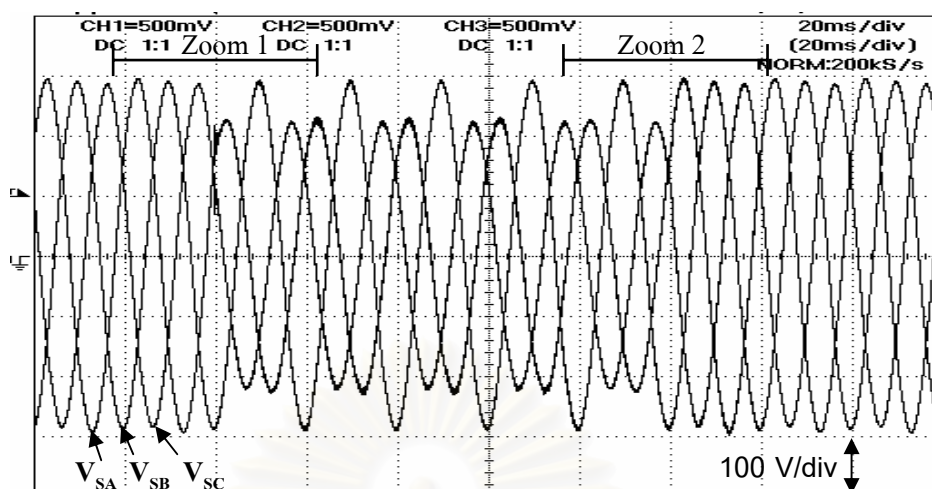
รูปที่ 5.15 แรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดพ่วงแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้ช้า



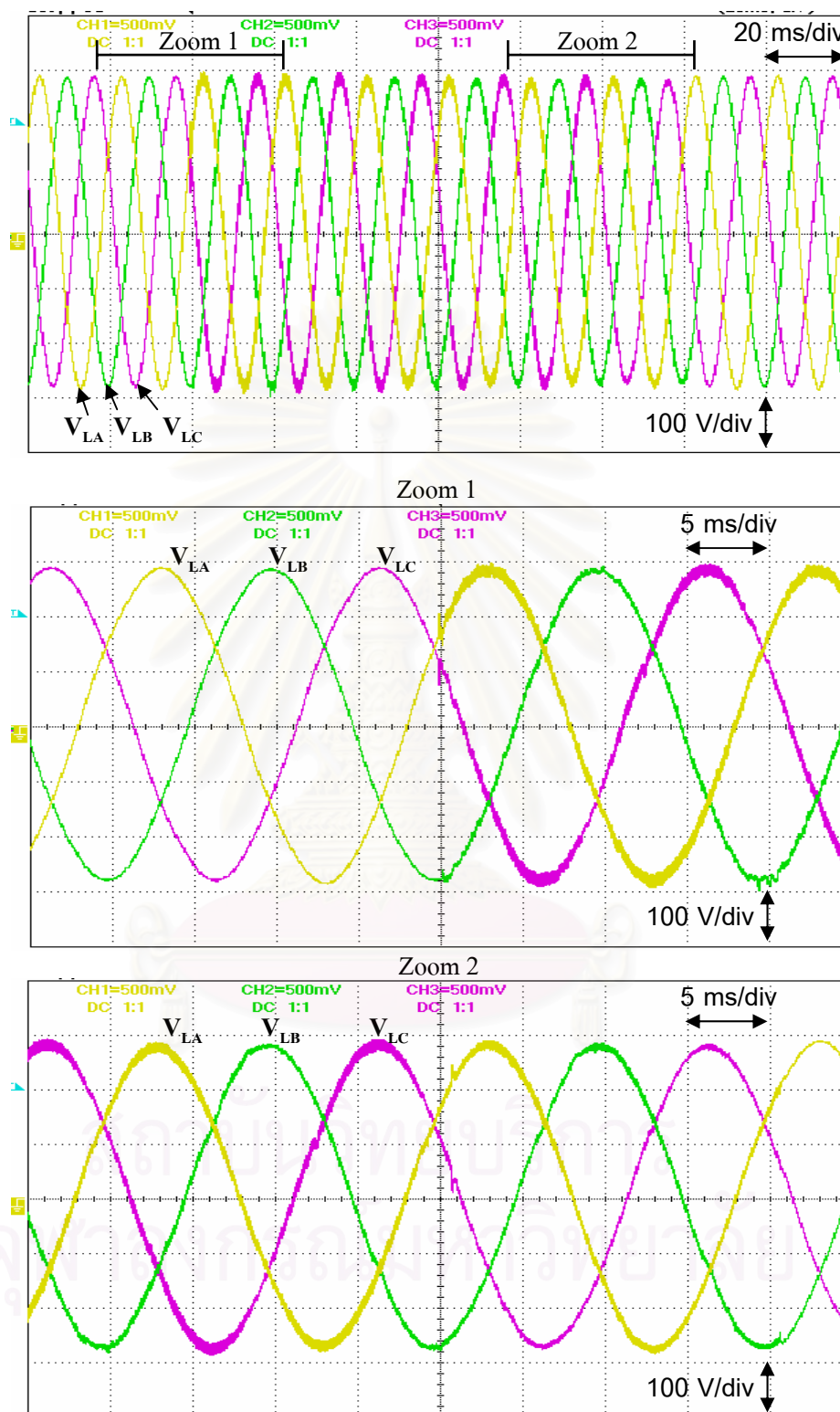
รูปที่ 5.16 แรงดันโวลตจกรณัเกิดควมผดพรงแบบ 1 เฟสที่ด้ำนปรฐมฐมขงหม้อแปลง ขนาดแรงดันด้ำนทุขยุมิต่ำสุดเป็น 90% ขงแรงดันปกติ และตรวจจับได้ซ้้า



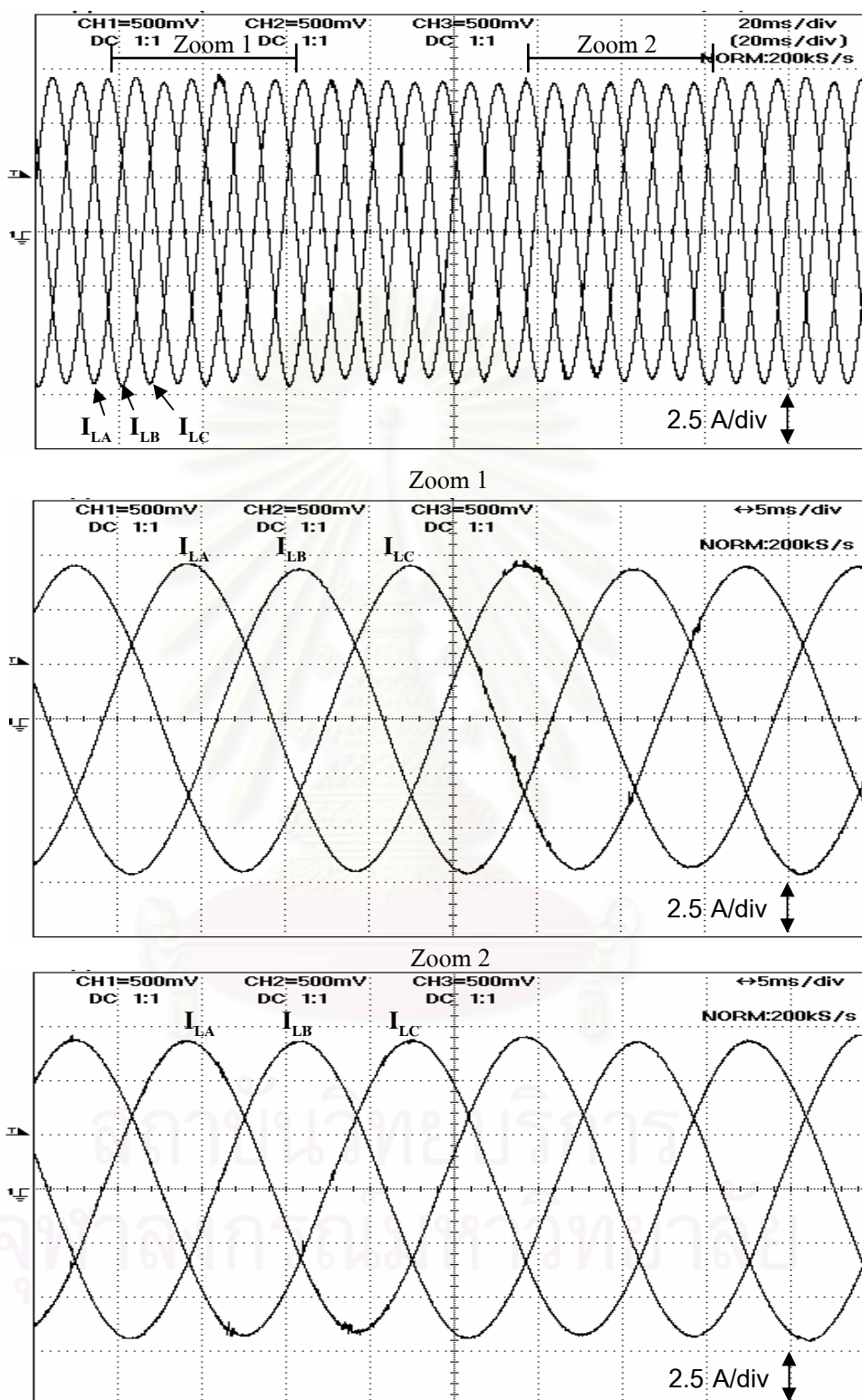
รูปที่ 5.17 กระแสโหลดกรณีเกิดความผิดพ้องแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้ซ้ำ



รูปที่ 5.18 แรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 75% ของแรงดันปกติ



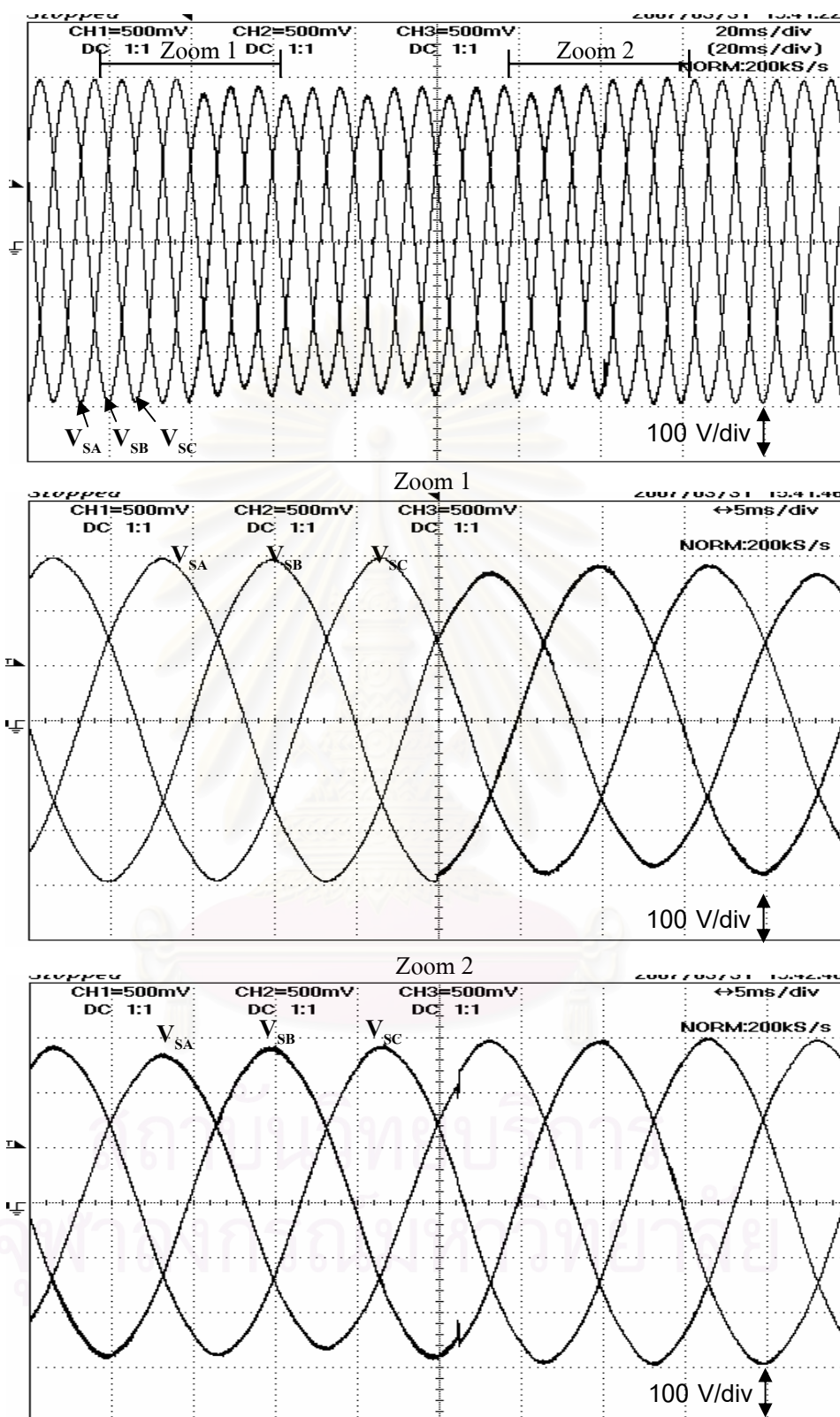
รูปที่ 5.19 แรงดันโวลตจกรณึเกิดควมผดพรงแบบ 1 เฟสที่ด้ำนปรฐมฐมของหม้อแปลงและขนาดแรงดันด้ำนทุตยฐมิต่ำสุดเป็น 75% ของแรงดันปกติ



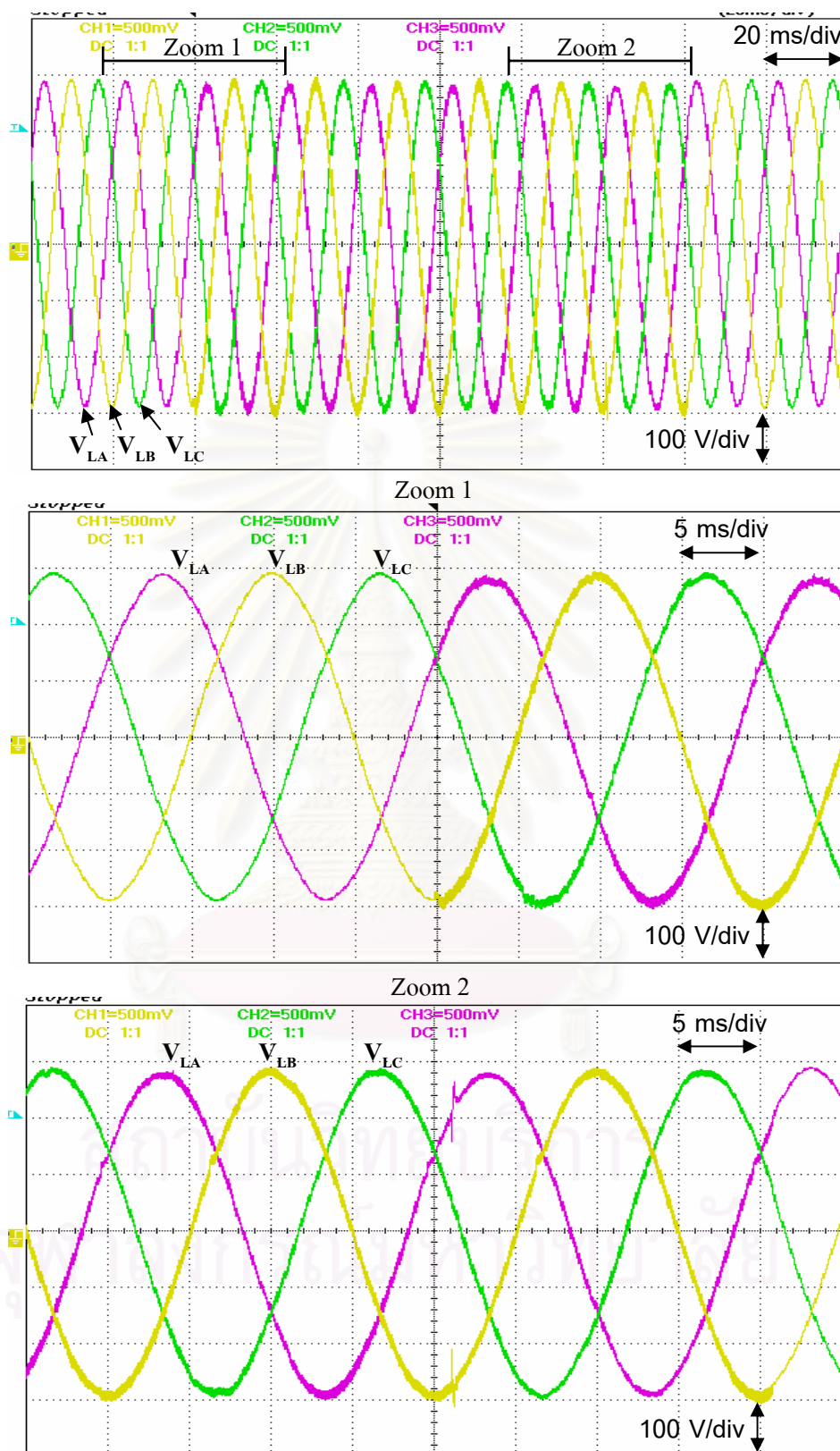
รูปที่ 5.20 กระแสโหลดกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 1 เฟสที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 75% ของแรงดันปกติ

5.2.2 ผลการทดลองการชดเชยแรงดันกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 2 เฟส

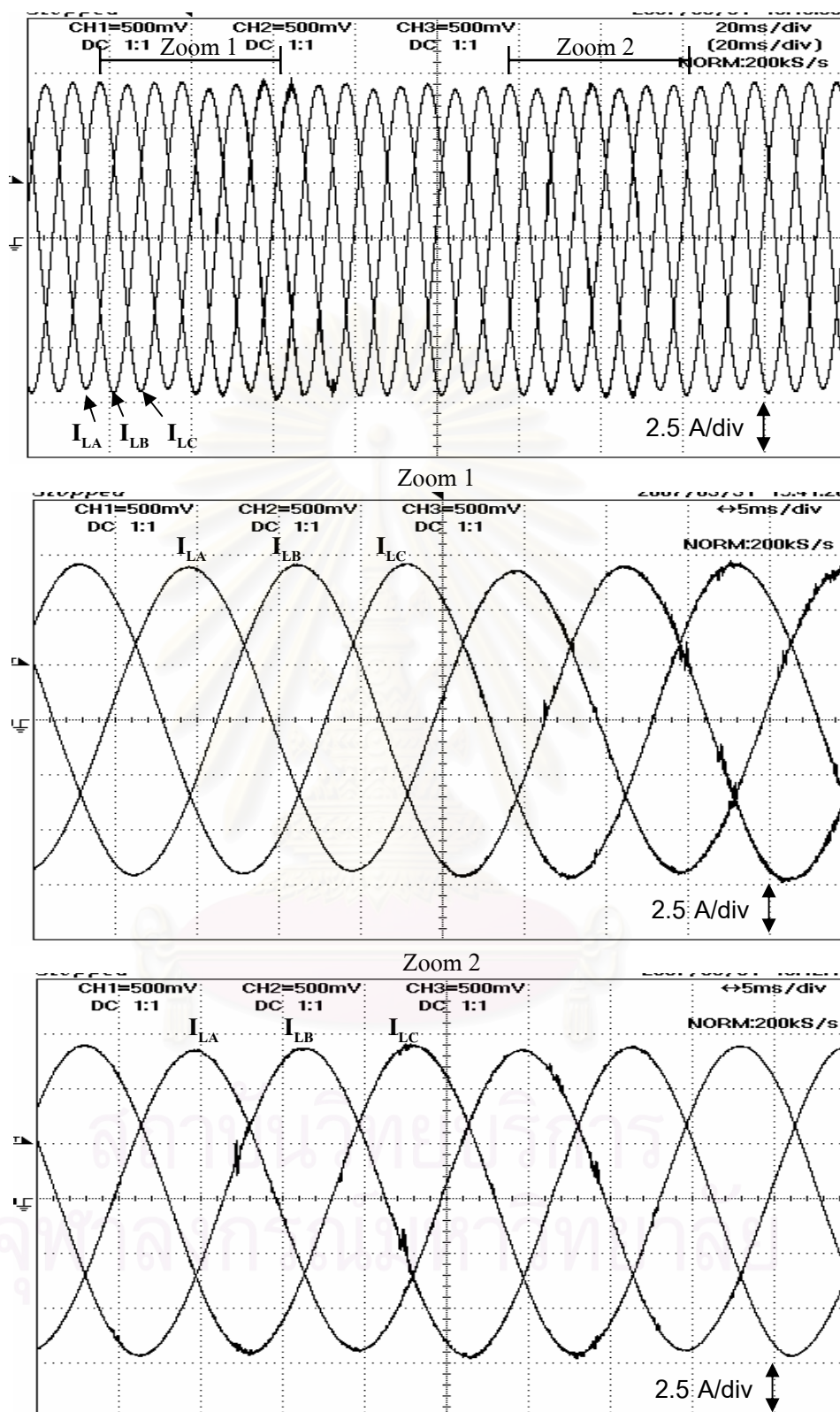
รูปที่ 5.21-5.26 แสดงผลการทดลองการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากความผิดปกติแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ โดยที่รูปที่ 5.21-5.23 แสดงผลการทดลองกรณีที่สามารถตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะได้ทันที จะเห็นได้ว่าสามารถชดเชยแรงดันได้ดีและทำให้แรงดันและกระแสที่ไหลคเป็นเหมือนขณะปกติ รูปที่ 5.24-5.26 แสดงผลการทดลองในกรณีการเกิดแรงดันตกชั่วขณะบริเวณที่แรงดันสเปซเวกเตอร์ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะและขณะปกติมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งมีความยากในการตรวจจับ และจะสามารถชดเชยได้เพียงแก่ขนาดเท่านั้นและมีความล่าช้าประมาณ 0.003 วินาที รูปที่ 5.27-5.29 แสดงผลการทดลองการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากความผิดปกติแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 75% ของแรงดันปกติ จะเห็นได้ว่าในบริเวณที่แรงดันสเปซเวกเตอร์ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะและขณะปกติมีค่าใกล้เคียงกันที่จุดเดียวกันกับรูปที่ 5.24-5.26 การชดเชยแรงดันตกชั่วขณะสามารถชดเชยแรงดันได้ดี



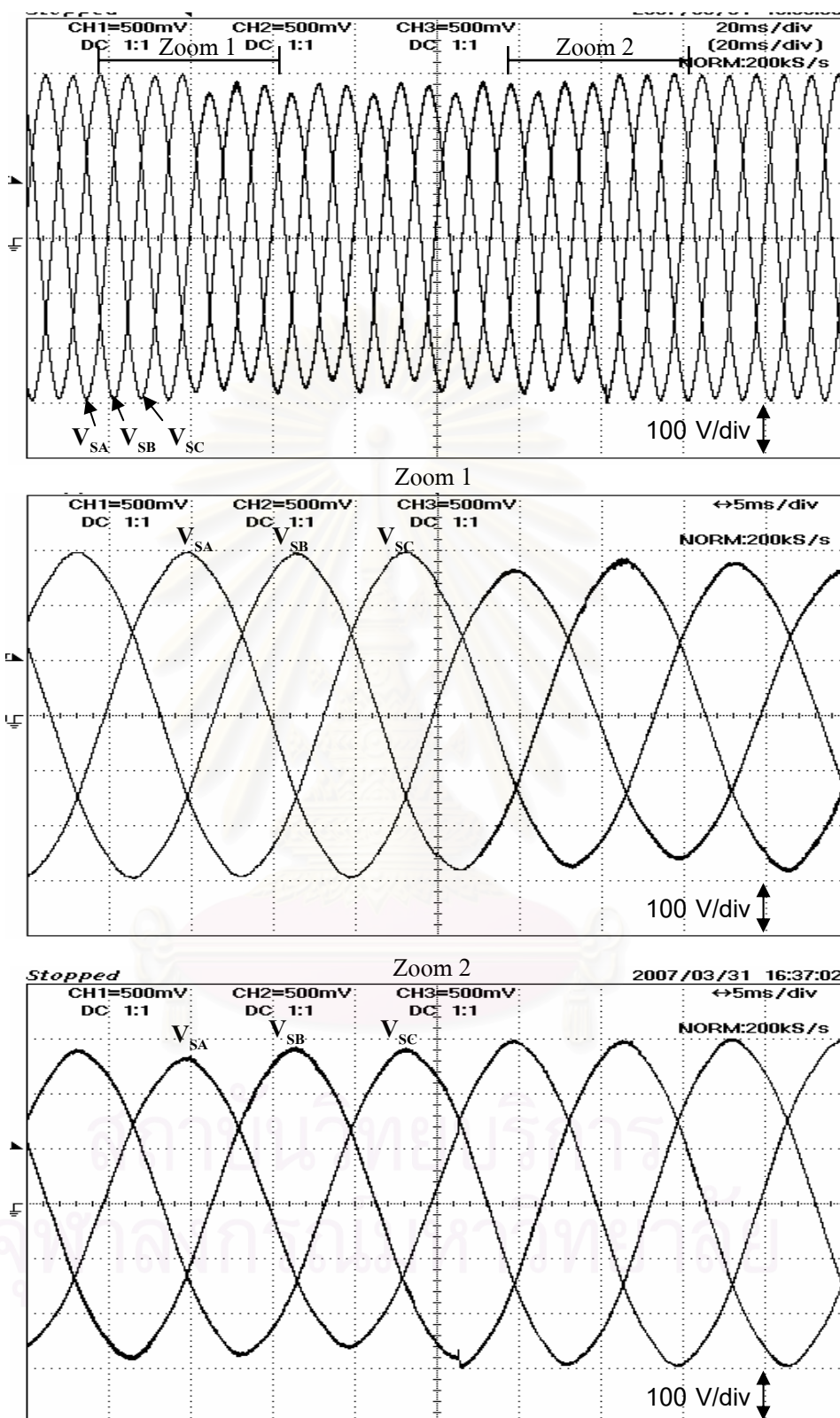
รูปที่ 5.21 แรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ



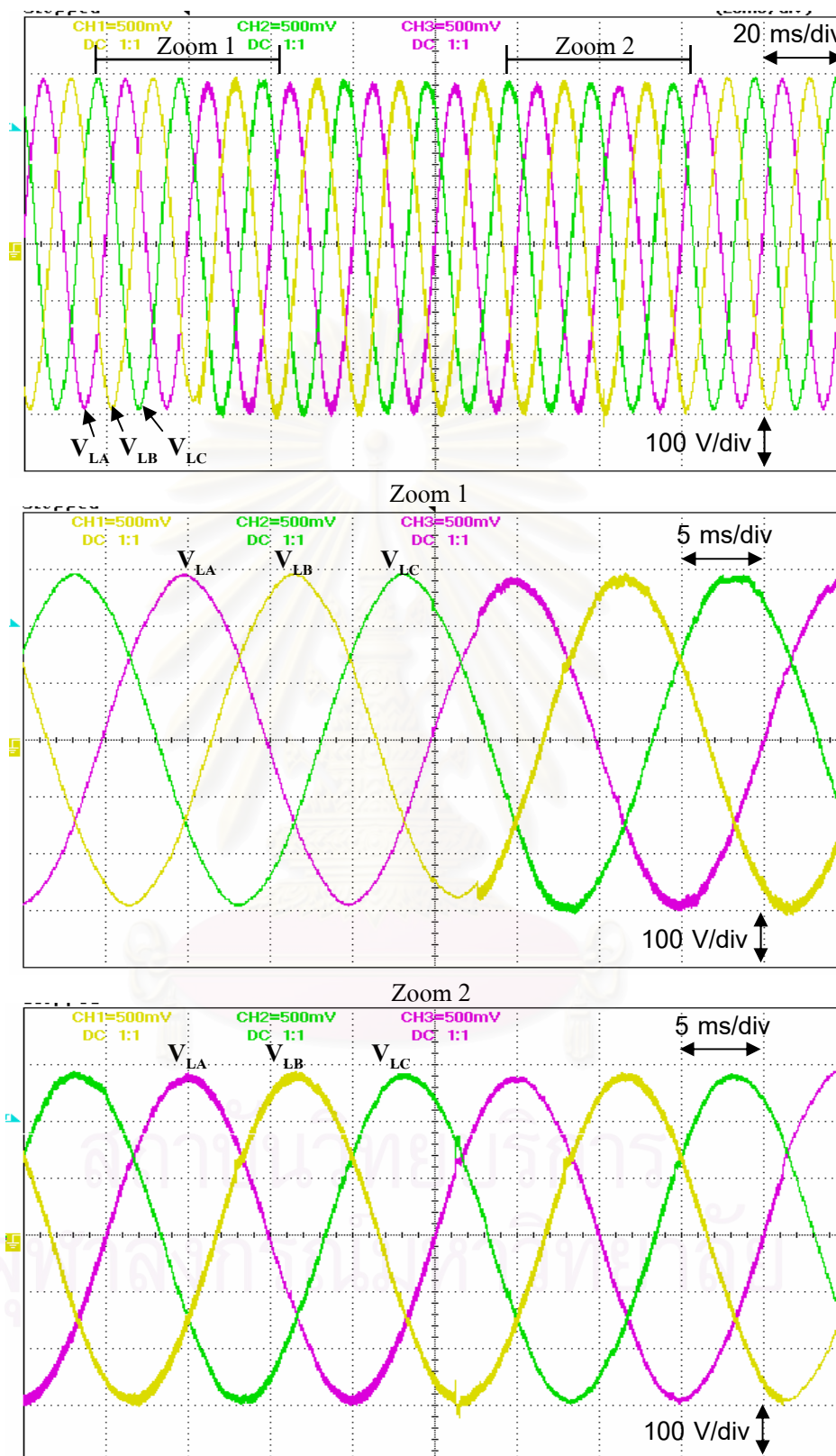
รูปที่ 5.22 แรงดันโวลตจกรณัเกิดควมผดพรงแบบ 2 เฟสที่ค้ันปฐมภูมิและขนาดแรงค้ันค้ันทุติย
ภูมิค้ันสุดเป็น 90% ของแรงค้ันปกติ



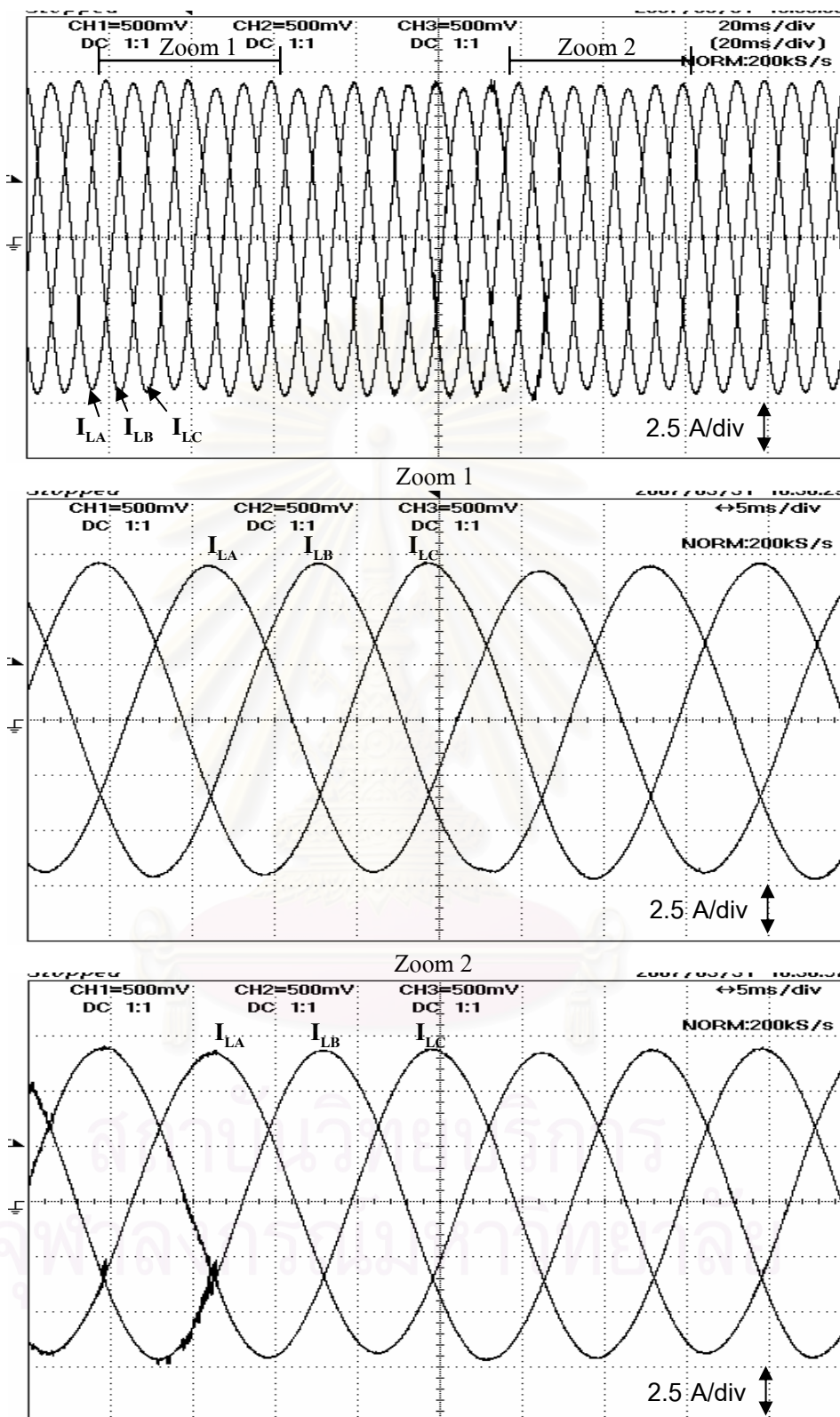
รูปที่ 5.23 กระแสโหลดกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ



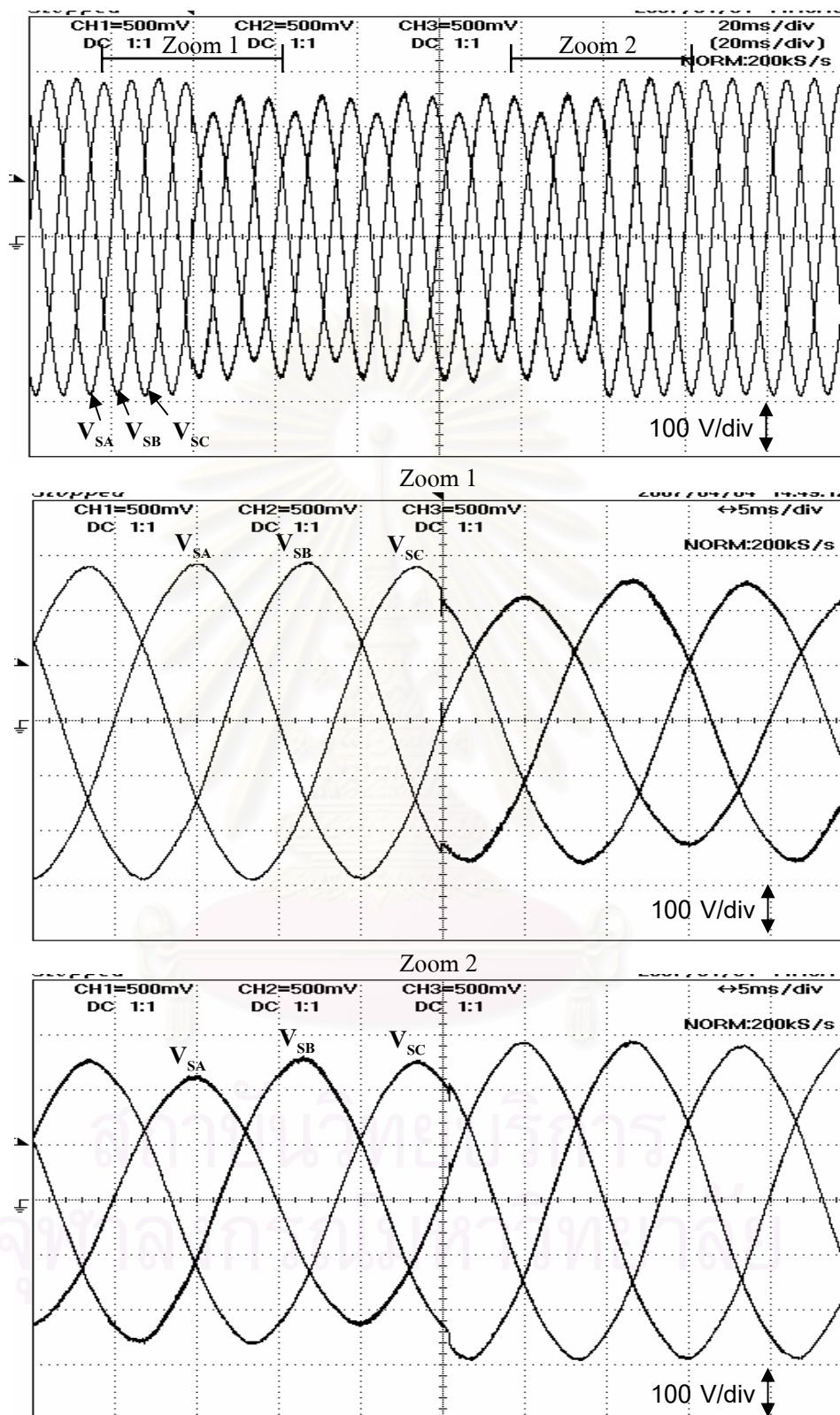
รูปที่ 5.24 แรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้ช้า



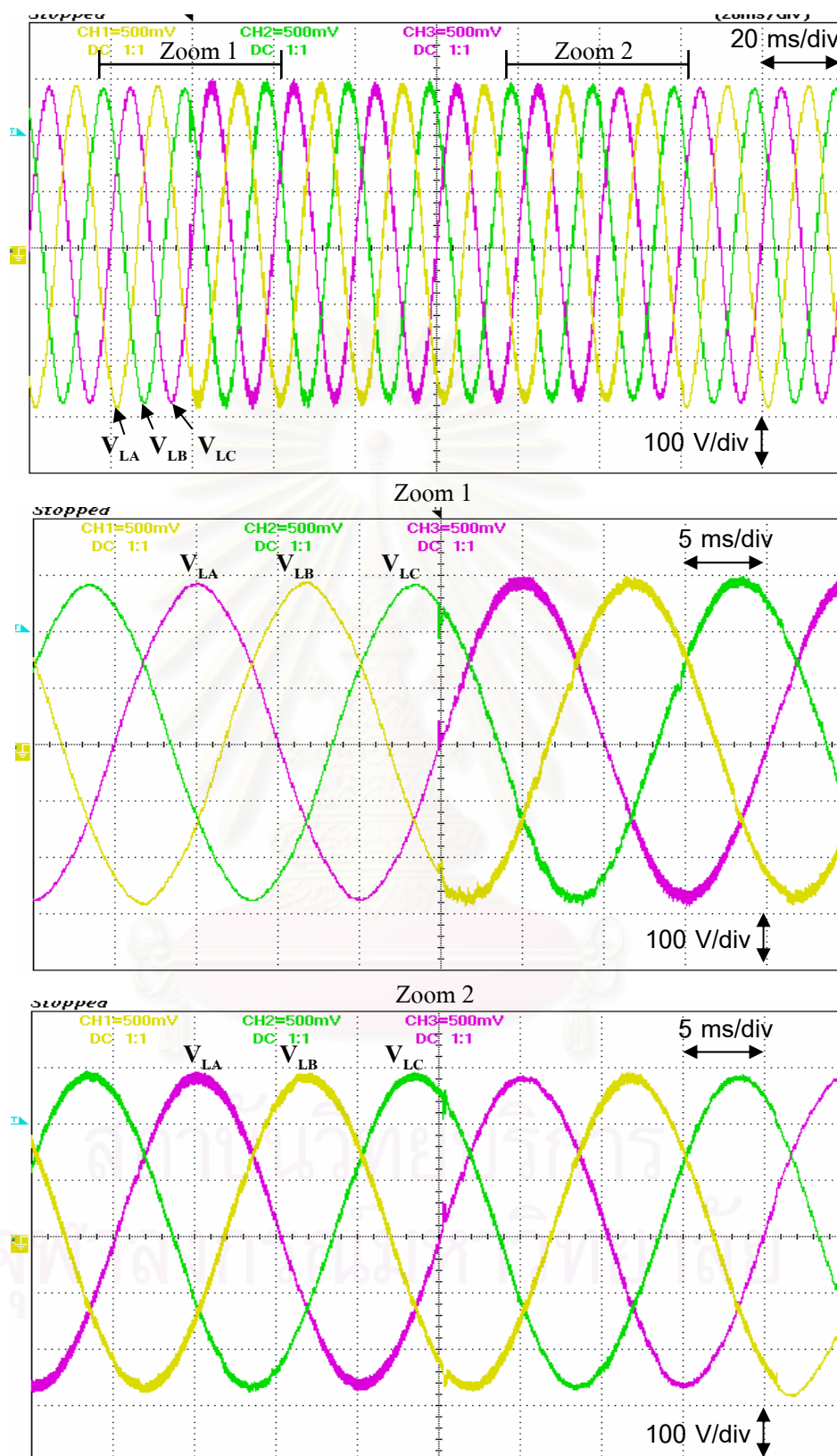
รูปที่ 5.25 แรงดัน โหลดกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิ ต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้ซ้ำ



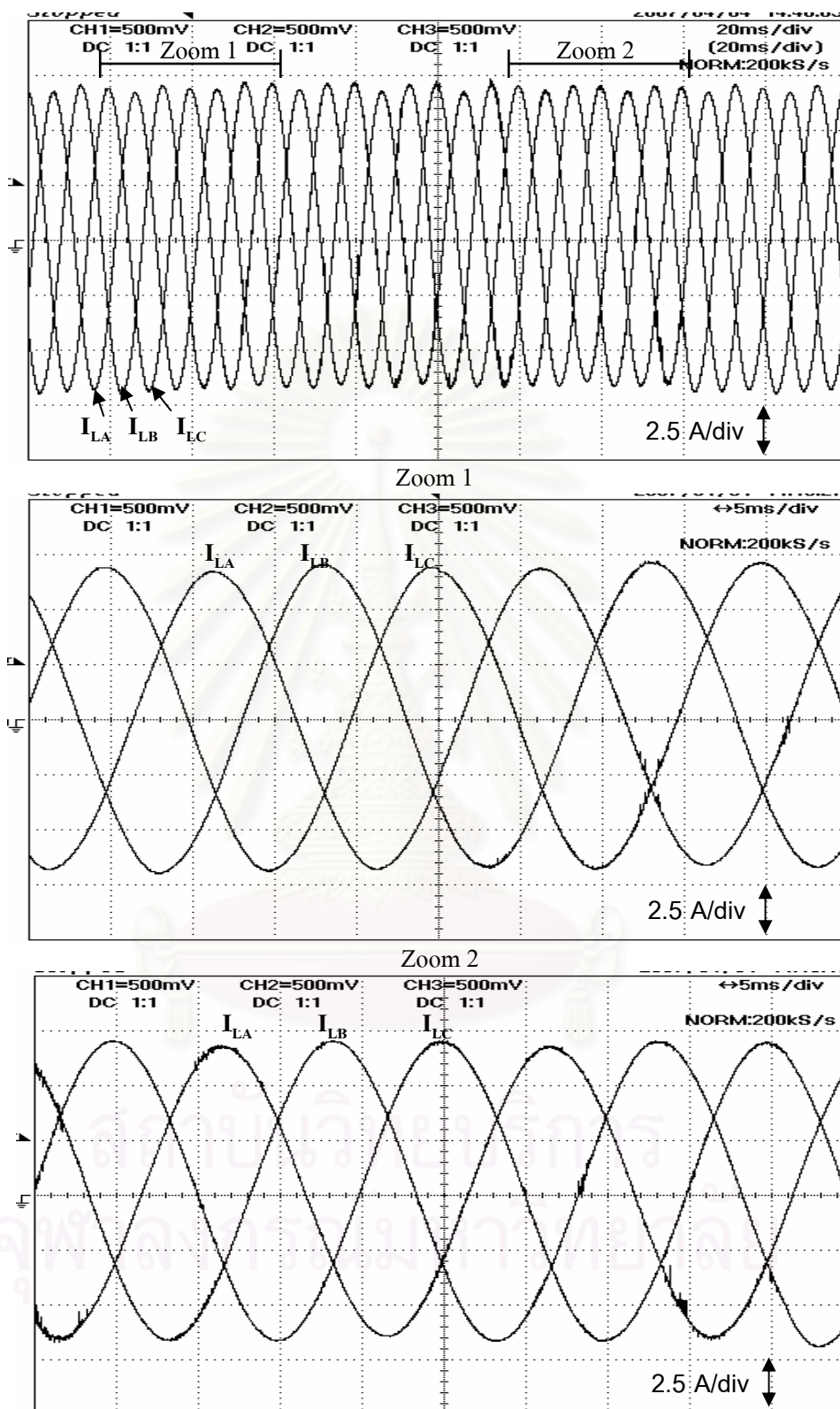
รูปที่ 5.26 กระแสโหลดกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ ขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ และตรวจจับได้ช้า



รูปที่ 5.27 แรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 75% ของแรงดันปกติ



รูปที่ 5.28 แรงดัน โหลดกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 75% ของแรงดันปกติ



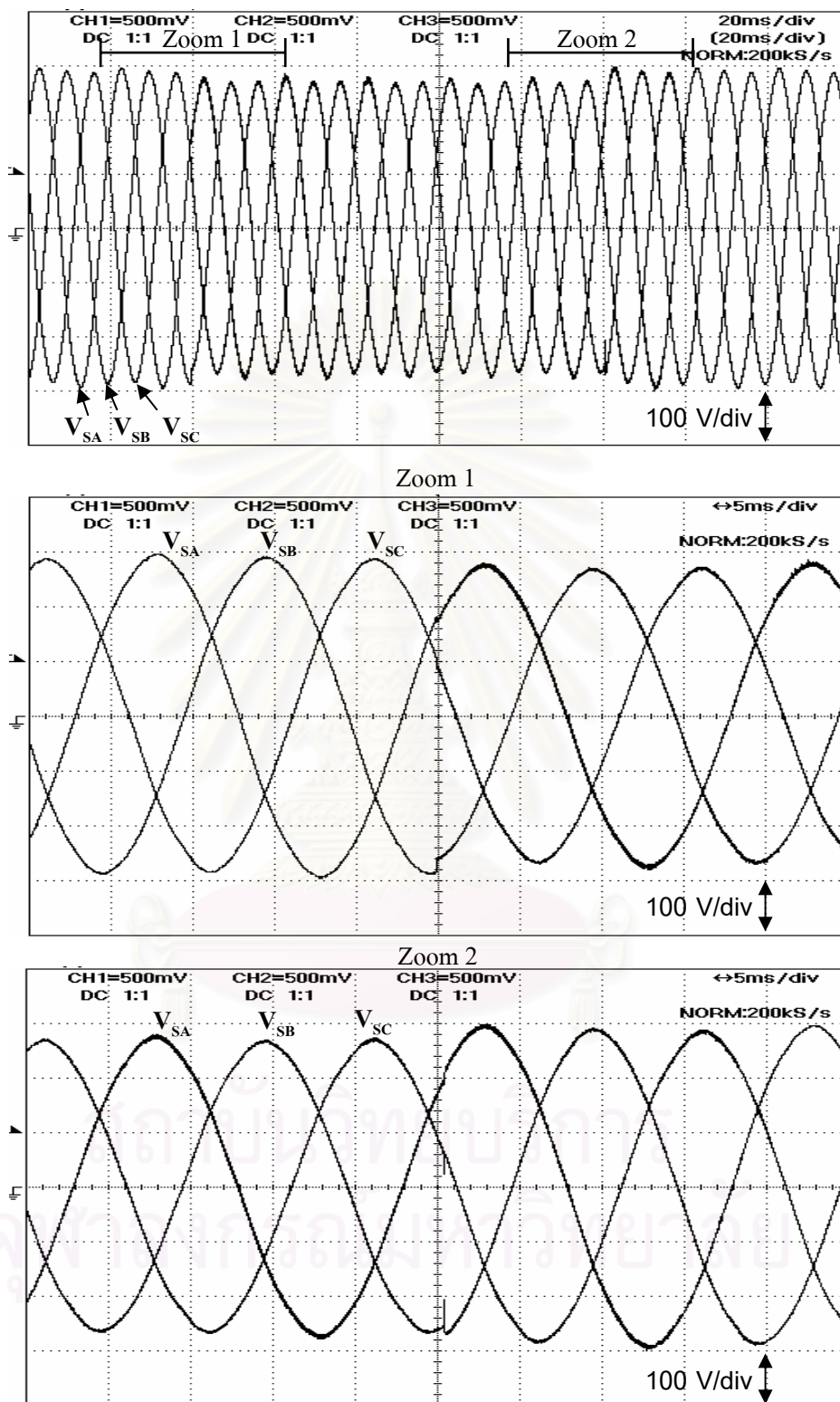
รูปที่ 5.29 กระแสโวลตอร์ณีเกิดความผิดร้งแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 75% ของแรงดันปกติ

5.2.3 ผลการทดลองการชดเชยแรงดันกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 3 เฟส

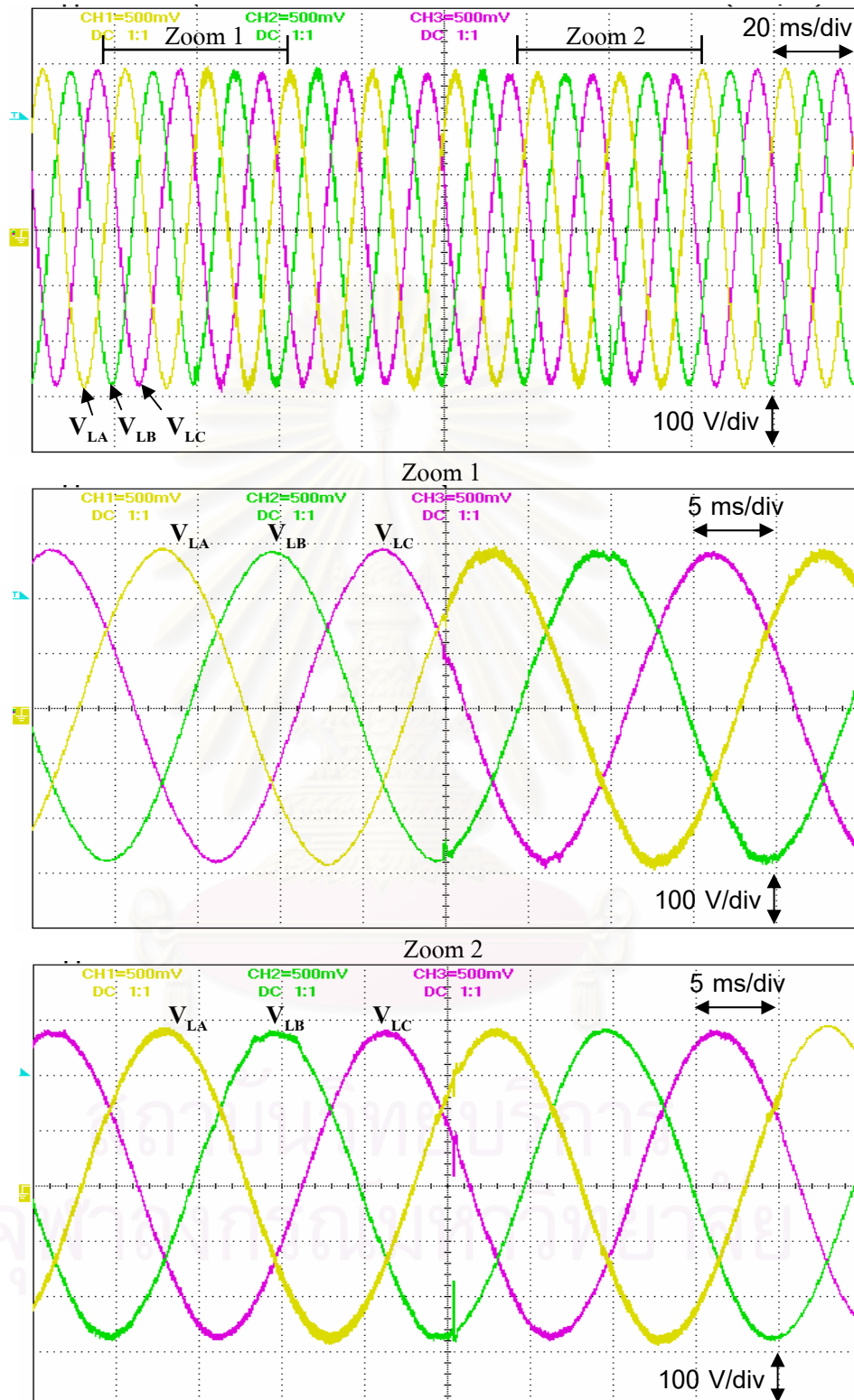
รูปที่ 5.30-5.32 และ 5.33-5.35 แสดงผลการทดลองการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากความผิดปกติแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิ และขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% และ 50% ของแรงดันปกติ ตามลำดับ การชดเชยแรงดันตกชั่วขณะสามารถชดเชยแรงดันได้ดีและไม่มีกรณีการชดเชยที่ล่าช้า ส่วนแรงดันโหลดในรูปที่ 5.34 กลางและล่าง จะเห็นว่ายังมีผลกระทบของช่วงเวลาเดดไทม์อยู่บ้าง เนื่องจากการชดเชยแรงดันช่วงเวลาเดดไทม์ในงานวิจัยนี้ใช้การคำนวณทิศทางของกระแสจากแรงดัน โดยไม่ได้วัดทิศทางกระแสจริง นอกจากนั้นวิธีที่ใช้ก็ยังเป็นวิธีพื้นฐานง่าย ๆ จึงทำให้บางกรณีมีการชดเชยผลกระทบของช่วงเวลาเดดไทม์ได้ไม่สมบูรณ์



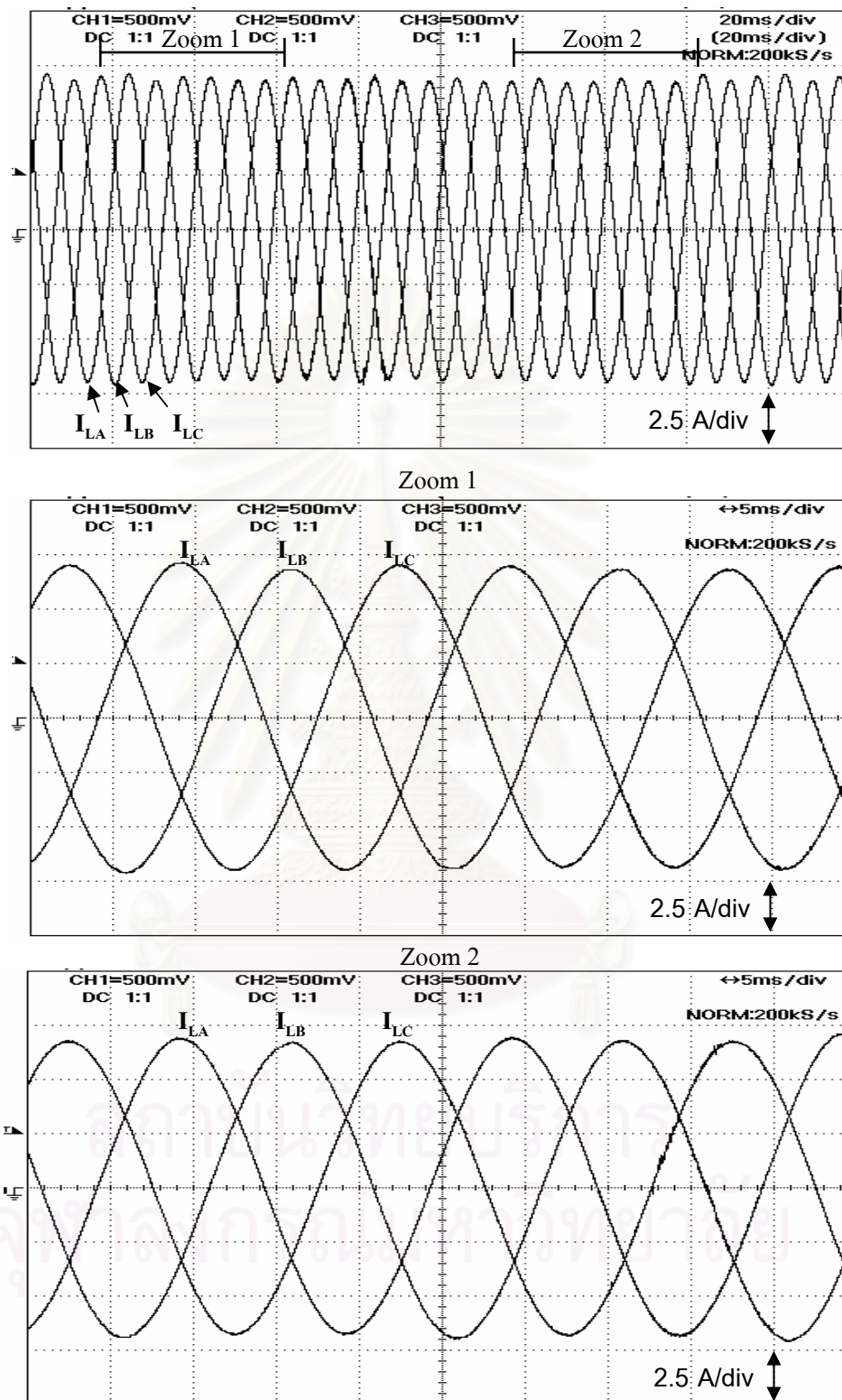
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



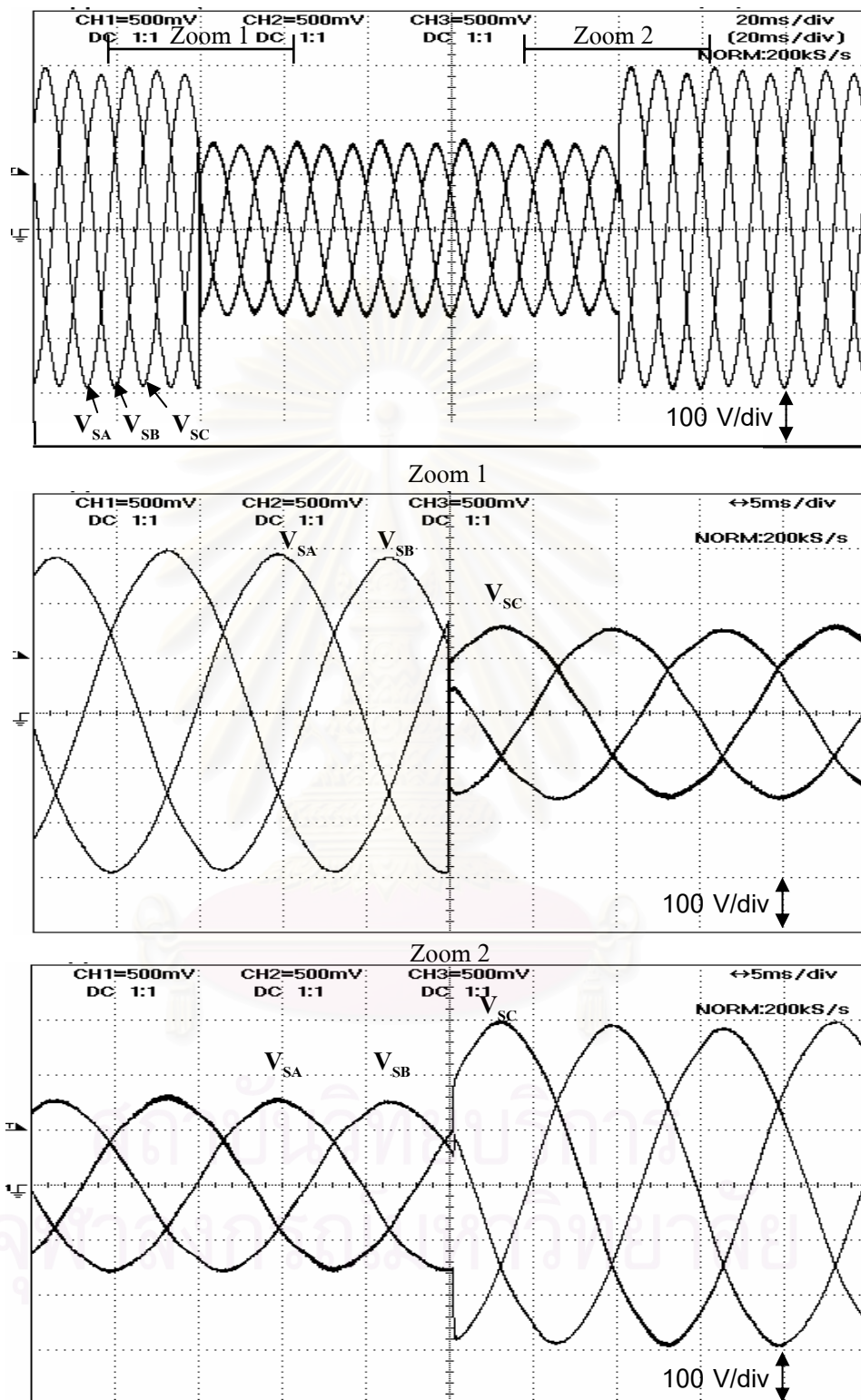
รูปที่ 5.30 แรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ



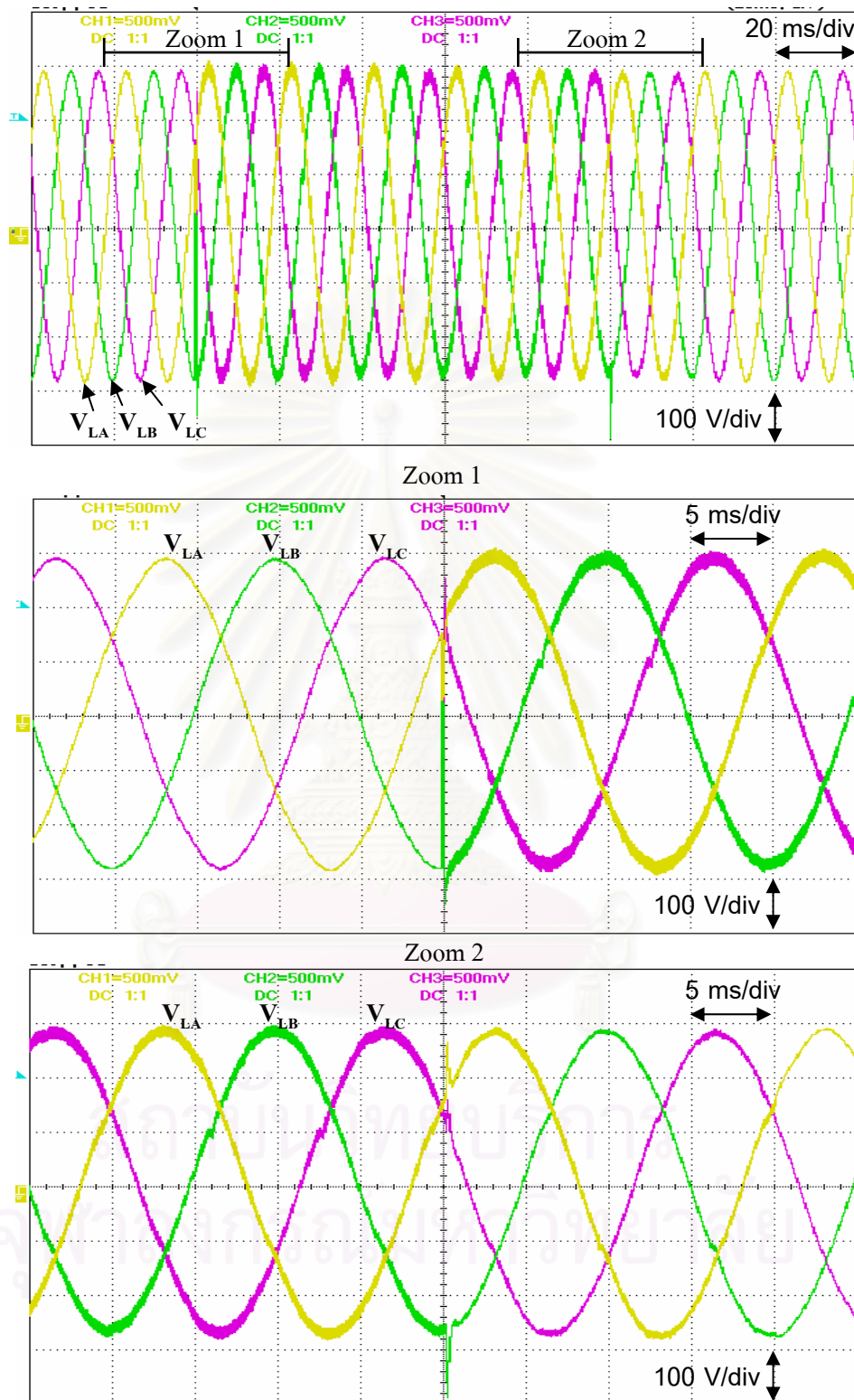
รูปที่ 5.31 แรงดันโวลตจกรณีเกิดควมผดพรงแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ



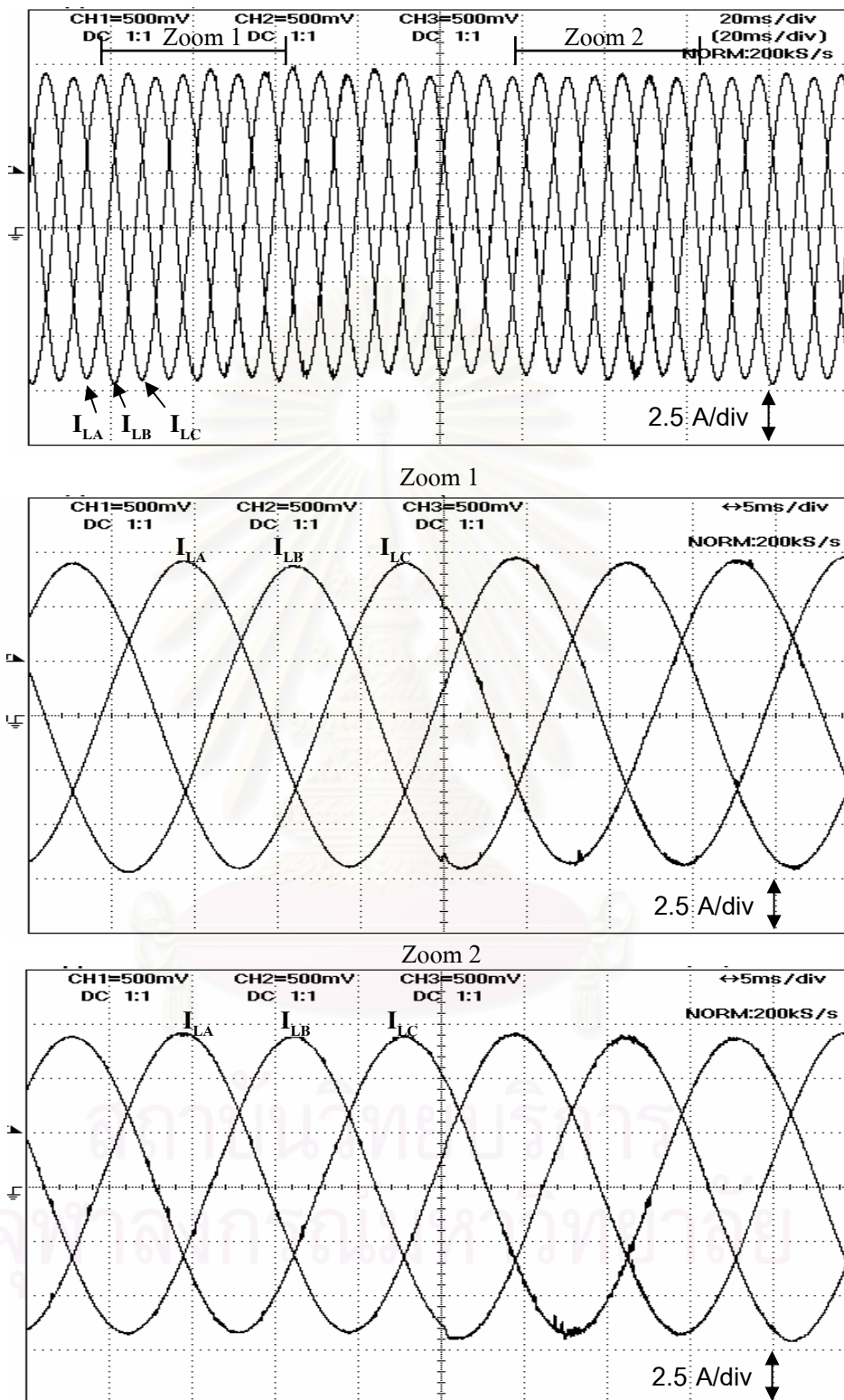
รูปที่ 5.32 กระแสโหลดกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 90% ของแรงดันปกติ



รูปที่ 5.33 แรงดันแหล่งจ่ายด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกรณีเกิดความผิดปกติแบบ 2 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 50% ของแรงดันปกติ



รูปที่ 5.34 แรงดัน โวลต์ครณีเกิดความผิดพ่องแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 50% ของแรงดันปกติ



รูปที่ 5.35 กระแสโหลดกรณีเกิดความผิดพลาดแบบ 3 เฟสที่ด้านปฐมภูมิและขนาดแรงดันด้านทุติยภูมิต่ำสุดเป็น 50% ของแรงดันปกติ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนออัลกอริทึมควบคุมการชดเชยแรงดันตกชั่วขณะซึ่งใช้การควบคุมแบบสเปซเวกเตอร์บนระนาบ α - β ซึ่งมีความยุ่งยากน้อยกว่าการควบคุมบนระนาบ d-q ที่ใช้ใน งานวิจัยที่ผ่านมาเนื่องจากไม่ต้องมีเฟสล็อกกลูป โดยอัลกอริทึมของการควบคุมที่ได้นำเสนอ นี้ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1). ส่วนการตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งจะมีการตรวจจับแบบเร็วและการตรวจจับแบบ แม่นยำทำงานร่วมกัน โดยที่การตรวจจับแบบเร็วเป็นตรวจจับขนาดและการเปลี่ยนแปลงมุมเฟส ส่วนการตรวจจับแบบแม่นยำใช้วิธีการรีเคอร์ซีฟดีเอฟที

2). ส่วนการสร้างแรงดันอ้างอิง ซึ่งใช้หลักการการหมุนของแรงดันบนระนาบ α - β โดย การนำข้อมูลก่อนการเกิดแรงดันตกชั่วขณะมาหมุนต่อด้วยความถี่ที่ได้จากการวัดด้วยวิธีการ ตรวจจับผ่านศูนย์ซึ่งไม่ต้องมีตัวควบคุม PI และไม่ต้องหยุดเมื่อเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

3.) ส่วนการสร้างแรงดันชดเชย ใช้การชดเชยแรงดันแบบปกติซึ่งหลักการนี้แรงดันที่โหลด ขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะจะเหมือนขณะปกติ

จากผลการทดลองการทำงานของอัลกอริทึมสรุปได้ว่าการอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถ ชดเชยแรงดันตกชั่วขณะได้ดี ทั้งแรงดันและกระแสที่โหลดขณะเกิดแรงดันตกชั่วขณะมีความ ใกล้เคียงกับขณะปกติมากตามที่ต้องการ ในเกือบทุกกรณี จะมีเพียงบางกรณีของแรงดันตกชั่ว ขณะที่มีค่ามากและเกิดจากความผิดปกติแบบ 1 เฟส หรือ 2 เฟส ซึ่งไม่ได้ตามที่ต้องการ คือ มี ความล่าช้าในการชดเชยและชดเชยได้แค่เพียงขนาดเท่านั้น แต่อย่างไรก็ดีการกระโดดของมุมเฟส ในกรณีดังกล่าวมีค่าน้อยและแรงดันมีค่ามาก ผลกระทบที่โหดจากการกระโดดของมุมเฟสและ ความล่าช้าในการชดเชยจึงไม่รุนแรงมากนัก

6.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากขณะที่อินเวอร์เตอร์ทำการสร้างแรงดันจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นและไปรบกวนการตรวจวัดสัญญาณแรงดัน อาจส่งผลให้ต้องขยายแบนด์ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลง มุมเฟสให้มีความมากขึ้น เพื่อป้องกันการสร้างแรงดันตลอดเวลาแม้จะสิ้นสุดแรงดันตกชั่วขณะไปแล้ว ซึ่งการขยายแบนด์นี้จะส่งผลเสียทำให้บริเวณที่ตรวจจับแรงดันตกชั่วขณะได้กว้างมากขึ้น ดังนั้น การออกแบบตำแหน่งและลายวงจรของการตรวจวัดสัญญาณแรงดันจึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนแทนการต้องขยายแบนด์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] P.T.Cheng, C.C.Huang, C.C.Pan and S.Bhattacharya. "Design and Implementation of a Series Voltage Sag Compensator Under Practical Utility Conditions". IEEE Transactions on Industry Applications 39, 3 (May-June 2003): 844-853.
- [2] O.C.Montero-Hernandez and P.N.Enjeti. "A Fast Detection Algorithm Suitable for Mitigation of Numerous Power Quality Disturbances". Proceedings of APEC'98 2 (Feb. 1998): 963-969.
- [3] K.J.P.Macken, M.H.J.Bollen and R.J.M.Belmans. "Mitigation of Voltage Dips Through Distributed Generation Systems". Conference Record of the 38th IAS Annual Meeting 2 (Oct. 2003): 1068-1074.
- [4] S.Polmai, T.Ise and S.Kamagai. "Experiment on Voltage Sag Compensation With Minimum Energy Injection by Use of a Micro-SMES". Proceedings of PCC Osaka 2002 2 (April 2002): 415-420.
- [5] S.K.Chung. "A Phase Tracking System for Three Phase Utility Interface Inverters". IEEE Transactions on Power Electronics 15, 3 (May 2000): 431-438.
- [6] H.Kim, S.J.Lee and S.K.Sul. "Reference Wave Generation in Dynamic Voltage Restorers by use of PQR Power Theory". Proceedings of APEC'04 3 (2004): 1452-1457.
- [7] C.S.Chang, Y.S.Ho and P.C.Loh. "Voltage Quality Enhancement with Power Electronics Based Devices". IEEE Power Engineering Society Winter 2000 4 (Jan. 2000): 2937-2942.
- [8] C.S.Chang, S.W.Yang and Y.S.Ho. "Simulation and Analysis of Series voltage Restorers (SVR) for Voltage Sag Relief". IEEE Power Engineering Society Winter 2000 4 (Jan. 2000): 2476-2481.
- [9] โททม อารียา. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. 2. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2544.
- [10] ประจวบ เข็มสำอาง. การปรับปรุงคุณภาพแรงดันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แบบกระตุ้นตัวเองด้วยวงจรกรองแอกทีฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [11] M.F.McGranaghan, D.R.Mueller and M.J.Samotyj. "Voltage Sags in Industrial Systems". IEEE Transactions on Industry Applications 29, 2 (March/April 1993):

397-403.

- [12] J.Lamoree, D.Mueller, P.Vinett, W.Jones and M.Samotyj . “Voltage Sag Analysis Case Studies”. IEEE Transactions on Industry Applications 30, 4 (July/August 1994): 1083-1089.
- [13] G.Yalcinkaya, M.H.J.Bollen and P.A.Crossley. “Characterization of Voltage Sags in Industrial Distribution Systems”. IEEE Transactions on Industry Applications 34, 4 (July/August 1998): 682-688.
- [14] L.Zhang and M.H.J.Bollen. “Characteristic of Voltage Dips in Power Systems”. IEEE Transactions on Power Delivery 15, 2 (April 2000): 827-832.
- [15] M.H.J.Bollen. “Voltage Recovery After Unbalanced and Balanced Voltage Dips in Three-Phase Systems”. IEEE Transactions on Power Delivery 18, 4 (October 2003): 1376-1381.
- [16] V.Ignatova, P.Granjon, S.Bacha and F.Dumas. “Classification and Characterization of Three Phase Dips by Space Vector Methodology”. Proceedings of International Conference on Future Power Systems 2005 (Nov. 2005).
- [17] T.Wunderlin, P.Dahler, D.Amhof and H.Gruning. “Power Supply Quality Improvement with a Dynamic Voltage Restorer (DVR)”. Proceedings of EMPD'98 2 (March 1998): 518-525.
- [18] T.Jimichi, H.Fujita and H.Akagi. “Design and Experimentation of a Dynamic Voltage Restorer Capable of Significantly Reducing an Energy-Storage Element”. Conference Record of the 40th IAS Annual Meeting 2 (Oct. 2005): 896-903.
- [19] S.S.Choi, B.H.Li and D.M.Vilathgamuwa. “Dynamic Voltage Restoration with Minimum Energy Injection”. IEEE Transactions on Power System 15, 1 (2003): 51-57.
- [20] C.Fitzer, M.Barnes and P.Green. “Voltage Sag Detection Technique for a Dynamic Voltage Restorer”. IEEE Transactions on Industry Applications 40, 1 (January/February 2004): 203-212.
- [21] S.W.Middlekayff and E.R.Collins. “System and Customer Impact : Considerations for Series Custom Power Devices”. IEEE Transactions on Power Delivery 13, 1 (January 1998): 278-282.
- [22] M.Fang, A.I.Gardiner, A.MacDougall and A.Mathieson. “A Novel Series Dynamic

Voltage Restorer for Distribution Systems”. Proceedings of POWERCON'98 1 (1998): 38-42.

[23] H.Kim, J.H.Kim, S.K.Sul. “A Design Consideration of Output Filters for Dynamic Voltage Restorers”. Proceedings of PESC 04 6 (June 2004): 4268-4272.

[24] V.Backmutsky and V.Zmidikov. “Accurate Frequency Estimation in Power Systems by DSP”. Eighteenth Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel (March 1995): 5.2.4/1-5.2.4/5.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกิตติวัฒน์ เชียงฉิน เกิดเมื่อวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2524 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (ไฟฟ้ากำลัง) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีในปีการศึกษา 2544 และได้เข้าทำงานที่บริษัท Precise Electric Manufacturing Co., Ltd เป็นระยะเวลา 1 ปี ต่อมาได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (อิเล็กทรอนิกส์กำลัง) ณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

กิตติวัฒน์ เชียงฉิน สมบูรณ์ แสงวงศ์วานิชย์ “การทำให้ง่ายของอัลกอริทึมการควบคุมสำหรับตัวชดเชยแรงดันตกชั่วขณะจากมุมมองเชิงปฏิบัติ” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29, พฤศจิกายน 2549 หน้า 453– 456

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย