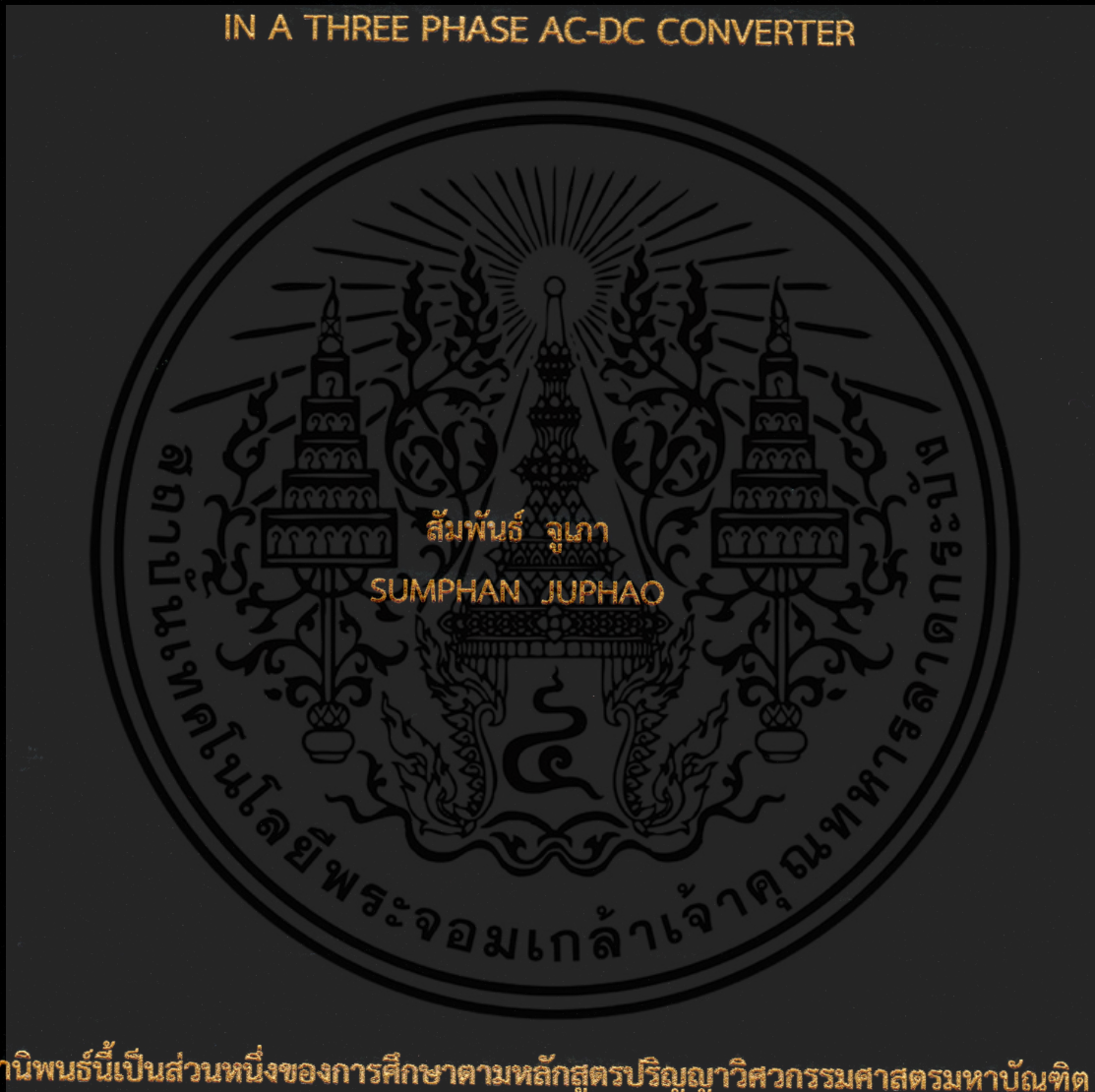


การสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับสำหรับการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร
ในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

CURRENT SIGNAL RECONSTRUCTION FOR OPEN SWITCH FAULT DETECTION
IN A THREE PHASE AC-DC CONVERTER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-020-095

การสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับสำหรับการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร
ในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

CURRENT SIGNAL RECONSTRUCTION FOR OPEN SWITCH FAULT DETECTION
IN A THREE PHASE AC-DC CONVERTER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CURRENT SIGNAL RECONSTRUCTION FOR OPEN SWITCH FAULT DETECTION
IN A THREE PHASE AC-DC CONVERTER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
KMITL-2015-EN-M-020-095



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับสำหรับการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร
ในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

Thesis Title Current Signal Reconstruction for Open Switch Fault Detection
in a Three Phase AC-DC Converter

นักศึกษา นายสัมพันธ์ จูเภา

รหัสประจำตัว 53610511






ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ (ร่วม) ผศ.ดร.วรชาติ สุวรรณงาม

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-020-095

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.วิจิตร	กิมเรศ	
รศ.ดร.สมยศ	เกียรติวินชิวิไล	
รศ.ดร.ไพบุลย์	นาคมหาชลาสินธุ์	
ผศ.ดร.วรชาติ	สุวรรณงาม	
รศ.ดร.สุรินทร์	คำฝอย	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 เวลา 15.00-17.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติใหม่ ห้อง HM-401

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ฉบับนี้ คณะวิศวกรรมศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2558

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับสำหรับการตรวจจับพอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส
ชื่อนักศึกษา	นายสัมพันธ์ จูเภา
รหัสประจำตัว	53610511
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. สุรินทร์ คำฝอย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร. วรชาติ สุวรรณงาม

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอเทคนิคการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสทางด้านบัสกระแสตรง 1 ชุด สำหรับการตรวจจับพอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสัญญาณกระแสทางด้านบัสกระแสตรงนั้น จะถูกนำมาใช้ในการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับให้มีลักษณะเหมือนกับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุท สำหรับงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink ในการจำลองการทำงาน โดยเครื่องต้นแบบเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ขนาด 1.5 kW ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบ จากผลการจำลองและผลการทดสอบพบว่าเทคนิคที่นำเสนอนี้สามารถสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับได้ใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุทได้ทั้ง 3 เฟส ดังนั้นเทคนิคที่นำเสนอนี้จึงสามารถนำมาใช้สำหรับการตรวจจับพอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ได้ โดยมีค่าใช้จ่ายที่ถูกลง

Thesis Title	Current Signal Reconstruction for Open Switch Fault Detection in a Three Phase AC-DC Converter
Student	Mr. Sumphan Juphao
Student ID.	53610511
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Surin Khomfoi
Thesis Co-Advisor	Asst. Prof. Dr. Warachart Suwan-ngam

ABSTRACT

A current signal reconstruction technique from single dc bus current sensor for an open switch fault in a three phase ac to dc converter is presented in this thesis. A dc bus current signal can be reconstructed to represent the related input three phase current signals using the proposed technique. Simulation study is performed by using MATLAB/Simulink to investigate the proposed technique. The 1.5 kW prototype of ac to dc converter is developed for experimental validation. The simulation and experimental results illustrate that the proposed technique can perform dc bus current signal reconstruction with very close to the original three phase input current signals. Thereupon, the proposed technique is a promising method to use for open switch fault detection with cost reduction in an ac to dc converter.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น เกิดจากความมานะพยายามในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้อย่างต่อเนื่อง ด้วยความวิริยะอุตสาหะพากเพียรตลอดระยะเวลาที่ข้าพเจ้าได้ศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กอปรกับได้รับการสนับสนุน ตลอดจนความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือในหลาย ๆ ด้าน จากบุคคล และหน่วยงานต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ คำฝอย และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรชาติ สุวรรณงาม ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงรองศาสตราจารย์ประภาส ไพรสุวรรณ ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ ในการศึกษาและการทำวิจัย ตลอดจนการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น อันนำไปสู่ในการเขียนวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จ ซึ่งข้าพเจ้าจะจดจำและระลึกถึงพระคุณของท่านตลอดไป

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อมูลและข้อสังเกตอันเป็นประโยชน์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนแตกฉาน ทั้งความรู้ในด้านวิชาการ ด้านทักษะการปฏิบัติงาน ตลอดจนจรรยาบรรณในวิชาชีพวิศวกร อันเป็นพื้นฐานของการเป็นวิศวกรที่ดีมีคุณภาพ และสามารถเป็นที่พึ่งของสังคมได้

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยการประยุกต์ใช้พลังงานทดแทน (REAL LAB) ที่ได้อนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการทำงานวิจัยจนประสบความสำเร็จ รวมไปถึงเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนทุกรุ่น ที่ได้ให้กำลังใจ คำแนะนำ ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดจนน้ำใจไมตรีที่มอบให้ อันความประทับใจที่ดีในช่วงหนึ่งของชีวิต ที่ข้าพเจ้าจะจดจำไปอีกนานแสนนาน

ขอขอบคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (EPPO) ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ในแผนเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2553 ทำให้งานวิจัยและวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ขึ้นได้

ขอขอบคุณ EECON ที่ได้กรุณาอนุญาตให้ข้าพเจ้าสามารถเผยแพร่บทความทางวิชาการอันเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต และวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ด้วยความเคารพรักและสำนึกในพระคุณของท่านที่ได้ให้ความรัก ความเอาใจใส่ดูแล คอยให้การอบรมสั่งสอนให้เป็นคนดีมีคุณธรรม ขอขอบพระคุณ คุณย่า คุณอา รวมถึงญาติผู้ใหญ่ทุก ๆ ท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือด้านการศึกษา และคำปรึกษาในด้านต่าง ๆ ที่ดีเสมอมา ตลอดจนกำลังใจที่ดีจากน้องสาวที่น่ารักทั้งสองคน

ความดี และประโยชน์ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ข้าพเจ้าขอมอบให้กับทุกท่านที่กล่าวมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต่อ III อย่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2.3 การแปลงกลับจากกรอบอ้างอิงใด ๆ หรือกรอบอ้างอิงซิงโครนัส ไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง.....	20
2.5.2.4 การแปลงกลับจากกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งไปสู่กรอบอ้างอิง 3 เฟส.....	20
2.5.2.5 การคำนวณกำลังไฟฟ้า	20
2.5.3 การควบคุมคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสด้วยการควบคุมกระแสที่ไหล ในคอนเวอร์เตอร์โดยอาศัยกรอบอ้างอิงแรงดันกริด	21
2.5.3.1 การประมาณเวกเตอร์ของแรงดัน	21
2.5.3.2 สมการแรงดันของคอนเวอร์เตอร์.....	22
2.5.3.3 การพิจารณากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน.....	23
2.6 บทสรุป.....	24
บทที่ 3 พอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรและการวินิจฉัยพอลต์	25
3.1 บทนำ.....	25
3.2 พอลต์และผลกระทบของพอลต์	25
3.2.1 พอลต์ลัดวงจรที่โหลด (F1) ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับสายส่งขั้วลบ	28
3.2.2 พอลต์ลัดวงจรที่โหลด (F2) ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับกราวนด์	29
3.2.3 พอลต์ลัดวงจรที่บัส (F3) ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับสายส่งขั้วลบ	30
3.2.4 พอลต์ลัดวงจรที่บัส (F4) ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับกราวนด์	30
3.3 พอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร (Open Circuit Switch Fault)	32
3.3.1 สถานะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์	33
3.3.2 สถานะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดพอลต์ ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S1	34
3.3.3 สถานะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดพอลต์ ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S3.....	35
3.3.4 สถานะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดพอลต์ ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S5.....	36
3.3.5 สถานะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดพอลต์ ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S4.....	37
3.3.6 สถานะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดพอลต์ ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S6.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อVอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.7 สภาพะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S2.....	39
3.4 เทคนิควิธีการวินิจฉัยฟอลต์ที่เกี่ยวข้อง	40
3.4.1 วิธี Park's Vector Method	40
3.4.2 วิธี Normalized DC Current Method	41
3.4.3 วิธี Slope Method	42
3.4.4 วิธี Simple Direct Current Method	43
3.4.5 วิธี Modified Normalized DC Current Method	43
3.4.6 วิธี Absolute Normalized DC Current.....	45
3.5 บทสรุป.....	48
บทที่ 4 การสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ (Current Reconstruction).....	49
4.1 บทนำ.....	49
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าสามเฟสและสถานะการสวิตช์กับ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง	49
4.2.1 การทำงานในเซกเตอร์ที่ 1	50
4.2.2 การทำงานในเซกเตอร์ที่ 2	52
4.2.3 การทำงานในเซกเตอร์ที่ 3	54
4.2.4 การทำงานในเซกเตอร์ที่ 4	56
4.2.5 การทำงานในเซกเตอร์ที่ 5	58
4.2.6 การทำงานในเซกเตอร์ที่ 6	60
4.3 การสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ (Current Reconstruction)	63
4.4 ข้อดีของการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรด้วยสัญญาณกระแสคืนกลับ.....	66
4.5 บทสรุป.....	67
บทที่ 5 การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/Simulink	68
5.1 บทนำ.....	68
5.2 แบบจำลองการทำงานของวงจรเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์และระบบตรวจจับ และวินิจฉัยฟอลต์	68
5.2.1 การแปลงของ Clarke และการแปลงของ Park	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.2 เฟสล็อกคูลูป (Phase Lock Loop , PLL)	70
5.2.3 การควบคุมวงรอบปิด	71
5.2.4 การสร้างสัญญาณปรับความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation, PWM)	72
5.3 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	74
5.3.1 การจำลองสัญญาณควบคุม	75
5.3.2 การจำลองแรงดันเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลด	77
5.3.3 การจำลองการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ	77
5.3.4 การจำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร	79
5.3.5 การจำลองการวินิจฉัยการตรวจจับฟอลต์	82
5.4 บทสรุป	86
บทที่ 6 การออกแบบและการสร้างเครื่องต้นแบบ	87
6.1 บทนำ	87
6.2 การออกแบบวงจรควบคุม	88
6.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	88
6.2.2 วงจรขับสัญญาณเกต	89
6.2.3 วงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแส	90
6.2.4 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก	93
6.2.5 อุปกรณ์จำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร	94
6.3 การออกแบบวงจรกำลัง	95
6.3.1 เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส	95
6.3.2 อุปกรณ์ป้องกัน	96
6.4 เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์และระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ต้นแบบ	97
6.5 บทสรุป	98
บทที่ 7 ผลการทดสอบ	99
7.1 บทนำ	99
7.2 การทดสอบการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส	100
7.2.1 วัตถุประสงค์	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.2.2 วิธีการทดสอบ.....	100
7.2.3 ขั้นตอนในการทดสอบ	101
7.2.4 ผลการทดสอบวงจรควบคุม	101
7.2.5 ผลการทดสอบวงจรกำลัง	103
7.2.6 สรุปผลการทดสอบการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส	105
7.3 การทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร	105
7.3.1 วัตถุประสงค์	105
7.3.2 วิธีการทดสอบ.....	105
7.3.3 ขั้นตอนในการทดสอบ	106
7.3.4 ผลการทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์วงจร	106
7.3.5 สรุปผลการทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์วงจร.....	112
7.4 การทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ	113
7.4.1 วัตถุประสงค์	113
7.4.2 วิธีการทดสอบ.....	113
7.4.3 ขั้นตอนในการทดสอบ	114
7.4.4 ผลการทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ	114
7.4.5 สรุปผลการทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ.....	123
7.5 การทดสอบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร	124
7.5.1 วัตถุประสงค์	124
7.5.2 วิธีการทดสอบ.....	124
7.5.3 ขั้นตอนในการทดสอบ	125
7.5.4 ผลการทดสอบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร	125
7.5.5 สรุปผลการทดสอบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร	129
7.6 บทสรุป.....	130
บทที่ 8 บทสรุป ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	131
8.1 บทสรุป	131
8.2 ข้อเสนอแนะ	132
8.3 แนวทางการพัฒนา	133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ VIII อย่างไม่ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	136
ภาคผนวก.....	140
บทความวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่.....	140
ประวัติผู้เขียน	151



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	7
3.1 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์โดยใช้วิธี Park's Vector Method	40
3.2 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์โดยใช้วิธี Normalized DC Current Method.....	41
3.3 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์โดยใช้วิธี Slope Method	42
3.4 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์โดยใช้วิธี Simple Direct Current Method.....	43
3.5 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์โดยใช้วิธี Modified Normalized DC Current Method	44
3.6 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์โดยใช้วิธี Absolute Normalized DC Current	47
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงกับสถานะการสวิตช์ และกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ทั้ง 8 สถานะการสวิตช์	62
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการสวิตช์กับกระแสที่วงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง	65
4.3 สัญญาณกระแสคืนกลับที่ได้จากวงจรตรวจจับไฟฟ้ากระแสตรงในแต่ละเซกเตอร์	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อXอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC Microgrid)	2
1.2 การตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ด้วยวิธีเดิมใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแส 3 ชุด	4
1.3 การตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ด้วยวิธีที่นำเสนอใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแส 1 ชุด	4
2.1 รูปแบบการทำงาน และค่าตัวประกอบกำลัง (power factor) ของคอนเวอร์เตอร์	12
2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) 3 เฟส 6 สวิตช์	12
2.3 ทิศทางการไหลของกระแสและกำลังไฟฟ้าในโหมดอินเวอร์เตอร์ (Inverter)	13
2.4 ทิศทางการไหลของกระแสและกำลังไฟฟ้าในโหมดเรียงกระแส (Rectifier)	13
2.5 วงจรเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC Converter) 3 เฟส	15
2.6 การสร้างสัญญาณสวิตช์แบบมอดูเลชันความกว้างพัลส์ (PWM)	16
2.7 การควบคุมแรงดันที่เชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกด้วยการควบคุมแรงดัน	18
2.8 แผนผังของระบบควบคุมคอนเวอร์เตอร์ด้านระบบส่งกำลังไฟฟ้า	24
3.1 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก และอุปกรณ์ป้องกัน รวมทั้งตำแหน่งที่เกิดฟอลต์	26
3.2 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F1) เป็นระยะเวลา 1 ms	28
3.3 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F1) เป็นระยะเวลา 5 ms	28
3.4 กระแส และแรงดันที่ Solar cell ขณะเกิดฟอลต์ (F1)	28
3.5 กระแส และแรงดันที่ Battery ขณะเกิดฟอลต์ (F1)	29
3.6 กระแส และแรงดันที่ Converter ขณะเกิดฟอลต์ (F1)	29
3.7 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F2) เป็นระยะเวลา 5 ms	29
3.8 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F3) เป็นระยะเวลา 5 ms	30
3.9 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F4) เป็นระยะเวลา 5 ms	30
3.10 สภาวะการทำงานปกติของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์	33
3.11 กระแสในสภาวะการทำงานปกติของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์	33
3.12 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่สวิตช์ S1	34
3.13 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S1	34
3.14 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่สวิตช์ S3	35
3.15 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S3	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่สวิตช์ S5	36
3.17 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S5	36
3.18 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่สวิตช์ S4	37
3.19 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S4	37
3.20 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่สวิตช์ S6	38
3.21 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S6	38
3.22 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่สวิตช์ S2	39
3.23 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S2	39
3.24 Hysteresis ในการตรวจจับกระแสสำหรับวิธี Slope Method	43
3.25 เซกเตอร์แรกของวงกลมหนึ่งหน่วยสำหรับใช้ในการคำนวณกระแสฟอลต์	45
4.1 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่คอนเวอร์เตอร์ในแต่ละเซกเตอร์.....	49
4.2 เวกเตอร์แรงดันเซกเตอร์ที่ 1	50
4.3 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าของการทำงานในเซกเตอร์ที่ 1.....	51
4.4 เวกเตอร์แรงดันเซกเตอร์ที่ 2	52
4.5 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าของการทำงานในเซกเตอร์ที่ 2.....	53
4.6 เวกเตอร์แรงดันเซกเตอร์ที่ 3	54
4.7 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าของการทำงานในเซกเตอร์ที่ 3.....	55
4.8 เวกเตอร์แรงดันเซกเตอร์ที่ 4	56
4.9 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าของการทำงานในเซกเตอร์ที่ 4.....	57
4.10 เวกเตอร์แรงดันเซกเตอร์ที่ 5	58
4.11 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าของการทำงานในเซกเตอร์ที่ 5	59
4.12 เวกเตอร์แรงดันเซกเตอร์ที่ 6	60
4.13 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าของการทำงานในเซกเตอร์ที่ 6	61
4.14 การตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแส 3 ชุด	63
4.15 การตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแส 1 ชุด	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 สัญญาณพีดับบิวเอ็มและกระแสในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ที่สถานะการสวิตช์ต่าง ๆ ในเซกเตอร์ที่ 1	65
4.17 แผนผังการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ	66
5.1 วงจรกำลัง	68
5.2 วงจรควบคุม	69
5.3 การแปลงของคลาร์ค และการแปลงของปาร์ค.....	69
5.4 วงจรเฟสล็อคคูลูป	70
5.5 การควบคุมวงรอบปิด.....	71
5.6 การสร้างสัญญาณปรับความกว้างพัลส์	72
5.7 สวิตช์ที่ใช้ในการจำลองการเกิดฟลัดและแหล่งกำเนิดสัญญาณปรับความกว้างพัลส์	72
5.8 วงจรที่ใช้ในการวินิจฉัยและการตรวจจับฟลัดชนิดสวิตช์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์	73
5.9 ระบบที่ใช้ในการตรวจจับฟลัดชนิดสวิตช์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์สามเฟส.....	74
5.10 ผลการจำลองสัญญาณแรงดันแอลฟา (V_{α})และสัญญาณแรงดันเบต้า (V_{β}) สำหรับการแปลงของคลาร์ค.....	75
5.11 เฟสล็อคคูลูป	75
5.12 ผลการจำลองสัญญาณแรงดันในแนวแกน d (V_{gd})และสัญญาณแรงดัน ในแนวแกน q (V_{gq})	76
5.13 รูปคลื่นกระแสและแรงดันเฟส A.....	76
5.14 ผลการจำลองรูปคลื่นกระแสเฟส A เฟส B และเฟส C ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้า.....	77
5.15 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นสัญญาณกระแสคืนกลับสถานะปกติ	77
5.16 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นสัญญาณกระแสคืนกลับ สภาวะเกิดฟลัดชนิดสวิตช์เปิดวงจรด้านบน	78
5.17 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นสัญญาณกระแสคืนกลับ สภาวะเกิดฟลัดชนิดสวิตช์เปิดวงจรด้านล่าง	78
5.18 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสขาเข้าสภาวะปกติ	79
5.19 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดฟลัดชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่สวิตช์ S1 (เฟส A ด้านบน).....	79
5.20 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดฟลัดชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่สวิตช์ S4 (เฟส A ด้านล่าง)	80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.21 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่สวิตช์ S3 (เฟส B ด้านบน).....	80
5.22 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่สวิตช์ S6 (เฟส B ด้านล่าง)	81
5.23 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่สวิตช์ S5 (เฟส C ด้านบน).....	81
5.24 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่สวิตช์ S2 (เฟส C ด้านล่าง)	82
5.25 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจัยในสภาวะปกติ.....	82
5.26 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจัยในสภาวะที่เกิดฟอลต์ ที่สวิตช์ S1 (เฟส A ด้านบน).....	83
5.27 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจัยในสภาวะที่เกิดฟอลต์ ที่สวิตช์ S4 (เฟส A ด้านล่าง)	83
5.28 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจัยในสภาวะที่เกิดฟอลต์ ที่สวิตช์ S3 (เฟส B ด้านบน).....	84
5.29 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจัยในสภาวะที่เกิดฟอลต์ ที่สวิตช์ S6 (เฟส B ด้านล่าง)	84
5.30 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจัยในสภาวะที่เกิดฟอลต์ ที่สวิตช์ S5 (เฟส C ด้านบน).....	85
5.31 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจัยในสภาวะที่เกิดฟอลต์ ที่สวิตช์ S2 (เฟส C ด้านล่าง)	85
6.1 แผนผังการทำงานของเอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส และระบบตรวจจับและวินิจัยฟอลต์	87
6.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ TMS320F28335	88
6.3 โครงสร้างวงจรขับสัญญาณเกต	89
6.4 อุปกรณ์ขับสัญญาณเกต	90
6.5 โครงสร้างของวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันและกระแส	91
6.6 วงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดัน	92
6.7 วงจรตรวจวัดสัญญาณกระแส	92
6.8 โครงสร้างของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก	93
6.9 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก.....	93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตี XIV อย่างไรก็ดีเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.10 อุปกรณ์จำลองการพอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร	94
6.11 โครงสร้างของวงจรเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส	95
6.12 เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส	96
6.13 เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์และระบบตรวจจับและวินิจฉัยพอลต์ต้นแบบ	97
7.1 การทดสอบเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์และระบบตรวจจับและวินิจฉัยพอลต์ต้นแบบ	99
7.2 วงจรการทดสอบวงจรควบคุม	100
7.3 วงจรการทดสอบวงจรกำลัง	100
7.4 สัญญาณแรงดัน α (สีเหลือง) และสัญญาณแรงดัน β (สีเขียว)	101
7.5 สัญญาณแรงดัน V_d (สีเหลือง) และสัญญาณแรงดัน V_q (สีเขียว)	102
7.6 สัญญาณมุมของแรงดันอ้างอิง	102
7.7 สัญญาณขั้วเกิด	103
7.8 สัญญาณแรงดัน (สีเขียว) และสัญญาณกระแส (สีเหลือง) ด้านเอาต์พุต	104
7.9 สัญญาณแรงดัน (สีชมพู) และสัญญาณกระแส (สีเขียว) ด้านเอาต์พุต และสัญญาณกระแสอินพุตเฟส A (สีเหลือง) ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้า	104
7.10 วงจรการทดสอบการเกิดพอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร	105
7.11 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุตของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในสภาวะปกติ	107
7.12 สัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุตของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ก่อนเข้าตัวเก็บประจุ (สีเหลือง) และหลังเข้าตัวเก็บประจุ (สีเขียว) ในสภาวะปกติ	107
7.13 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุตของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในขณะที่เกิดพอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 (เฟส A ตัวบน)	108
7.14 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุตของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในขณะที่เกิดพอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S4 (เฟส A ตัวล่าง)	108
7.15 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุตของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในขณะที่เกิดพอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S3 (เฟส B ตัวบน)	109
7.16 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุตของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในขณะที่เกิดพอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S6 (เฟส B ตัวล่าง)	109
7.17 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุตของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในขณะที่เกิดพอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S5 (เฟส C ตัวบน)	110
7.18 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุตของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในขณะที่เกิดพอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S2 (เฟส C ตัวล่าง)	110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ XV อย่างไม่ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.19 สัญญาณแรงดัน (สีชมพู) และสัญญาณกระแส ก่อนเข้าตัวเก็บประจุ (สีเหลือง) และหลังเข้าตัวเก็บประจุ (สีเขียว) ทางด้านเอาต์พุตในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 (เฟส A ตัวบน)	111
7.20 วงจรการทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ	113
7.21 สัญญาณกระแสคืนกลับเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสจริงทางด้านอินพุตทั้ง 3 เฟส ในสภาวะปกติ	115
7.22 สัญญาณกระแสคืนกลับในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 (เฟส A ตัวบน)	116
7.23 สัญญาณกระแสคืนกลับในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่ตำแหน่งสวิตช์ S4 (เฟส A ตัวล่าง)	117
7.24 สัญญาณกระแสคืนกลับในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่ตำแหน่งสวิตช์ S3 (เฟส B ตัวบน)	118
7.25 สัญญาณกระแสคืนกลับในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่ตำแหน่งสวิตช์ S6 (เฟส B ตัวล่าง)	119
7.26 สัญญาณกระแสคืนกลับในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่ตำแหน่งสวิตช์ S5 (เฟส C ตัวบน)	120
7.27 สัญญาณกระแสคืนกลับในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ที่ตำแหน่งสวิตช์ S2 (เฟส C ตัวล่าง)	121
7.28 สัญญาณกระแสคืนกลับเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสจริงทางด้านอินพุต ในสภาวะปกติ	122
7.29 สัญญาณกระแสคืนกลับเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสจริงทางด้านอินพุต ในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 (เฟส A ตัวบน)	122
7.30 สัญญาณกระแสคืนกลับเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสจริงทางด้านอินพุต ในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S4 (เฟส A ตัวล่าง)	123
7.31 วงจรการทดสอบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร	124
7.32 ค่าดัชนีวินิจฉัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ ในสภาวะปกติ	125
7.33 ค่าดัชนีวินิจฉัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ ในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 (เฟส A ตัวบน)	126
7.34 ค่าดัชนีวินิจฉัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ ในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S4 (เฟส A ตัวล่าง)	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตีพิมพ์หรือส่งต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.35 ค่าดัชนีวินิจฉัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ ในขณะที่ฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S3 (เฟส B ตัวบน)	127
7.36 ค่าดัชนีวินิจฉัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ ในขณะที่ฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S6 (เฟส B ตัวล่าง).....	127
7.37 ค่าดัชนีวินิจฉัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ ในขณะที่ฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S5 (เฟส C ตัวบน)	128
7.38 ค่าดัชนีวินิจฉัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ ในขณะที่ฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S2 (เฟส C ตัวล่าง).....	128
8.1 แผนผังการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส พร้อมด้วยการปรับโครงสร้างวงจร (Reconfiguration).....	134
8.2 เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบ 4 สวิตช์	135

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

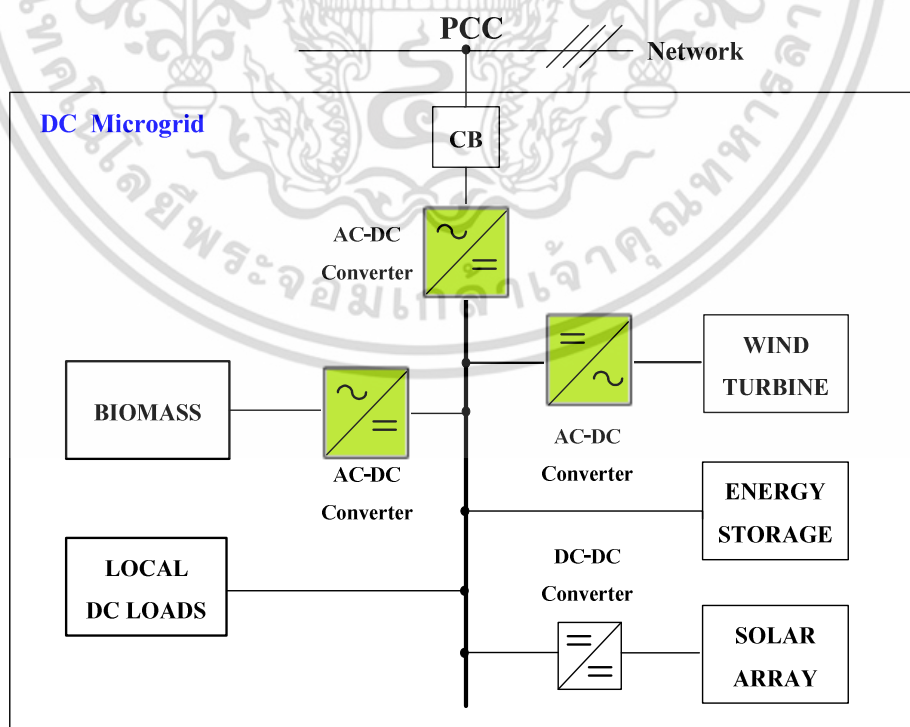
จากวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานในปัจจุบัน ทั้งในแง่การขาดแคลนพลังงาน อันเป็นสาเหตุทำให้ราคาพลังงานเพิ่มสูงขึ้น ตลอดจนผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลนั้น ทำให้นานาประเทศตระหนักในปัญหาและผลกระทบดังกล่าว จึงได้ให้ความสนใจในการศึกษาวิจัย เพื่อนำเอาพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวล ฯลฯ มาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นพลังงานหมุนเวียนเหล่านี้จึงได้เข้ามามีบทบาทต่อการนำมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น โดยที่พลังงานหมุนเวียนเหล่านี้จะเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generator, DG) ซึ่งพลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนนั้น จัดได้ว่าเป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไม่มีต้นทุนทางด้านเชื้อเพลิง และที่สำคัญมีอยู่โดยทั่วไปตามธรรมชาติ พลังงานหมุนเวียนจึงได้รับความสนใจในการศึกษาวิจัยเพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานสำหรับการผลิตพลังงานไฟฟ้ากันอย่างกว้างขวางมากขึ้น อีกทั้งวิวัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับแหล่งพลังงานหมุนเวียนในรูปแบบต่าง ๆ ให้สามารถนำเอาพลังงานหมุนเวียนเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ทางด้านพลังงาน และเกิดประสิทธิภาพสูงสุดอีกด้วย นอกจากนี้เมื่อแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนมีจำนวนมากเพียงพอที่จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงได้ ก็สามารถนำแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนเหล่านั้นมาเชื่อมต่อกันเป็น “กริดขนาดเล็ก” หรือที่เรียกว่า ไมโครกริด ซึ่งหมายถึงระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microgrid) นั่นเอง

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก หรือระบบไมโครกริดนั้น เป็นระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดย่อมที่สามารถสร้างสมดุลระหว่างการผลิตพลังงานไฟฟ้ากับภาระทางไฟฟ้าที่อยู่กับระบบ โดยมุ่งเน้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานในพื้นที่ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอ กับความต้องการภายในพื้นที่ที่รับผิดชอบ ซึ่งเป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้า ณ จุดใช้งาน (Distributed Energy Resource, DER) [1-2] โดยที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก หรือจะบริหารจัดการแยกตัวเป็นอิสระ โดยไม่เชื่อมต่อกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลักก็ได้ เช่น พื้นที่ที่เป็นเกาะ พื้นที่บนภูเขาสูง หรือพื้นที่ที่ห่างไกลสายส่งกำลังไฟฟ้าเข้าไปไม่ถึง เป็นต้น [3-5] นอกจากนี้ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กนี้ ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดอีกด้วย [6] ทั้งนี้ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับขนาดเล็ก (AC Microgrid) และระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง

ขนาดเล็ก (DC Microgrid) ขึ้นอยู่กับว่าแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ และภาระทาง
เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวัสดุหรือบริการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบเป็นแบบใด ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะนำเสนอในส่วนของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC Microgrid) เป็นหลัก

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC Microgrid) สามารถเชื่อมต่อกันระหว่างแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนที่เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง เช่น พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิง พลังงานจากกังหันลม เป็นต้น โดยเชื่อมต่อกับภาระทางไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC Loads) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 [7] และถ้าหากในพื้นที่นั้น ๆ มีภาระทางไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรงก็สามารถทำให้ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้สำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้าจากกระแสสลับไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กก็ยังมีข้อจำกัดในบางประการที่ยังคงต้องมีการศึกษาวิจัยให้เกิดองค์ความรู้อันจะนำไปสู่การสร้างมาตรฐานให้กับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก เช่น ระดับแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมในการส่งจ่าย ระบบป้องกันให้กับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบ เป็นต้น [8], [9] นอกจากนี้ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กยังสามารถแปลงจากไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ หรือจากไฟฟ้ากระแสสลับกลับมาเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยอาศัยอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ [6] ดังนั้นจึงไม่มีปัญหาในการเชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กและระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก (Utility Grid) สำหรับวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะทำการศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ชนิดเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์(AC-DC Converter) ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงผันแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 1.1 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC Microgrid) [7]

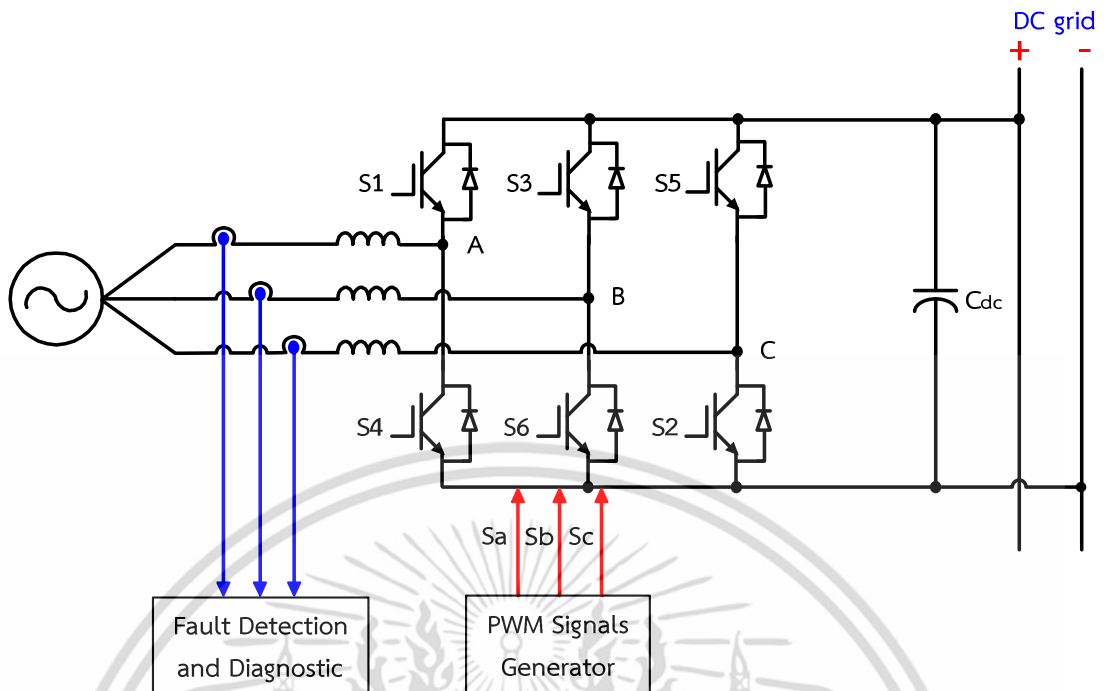
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์จึงมีบทบาทสำคัญต่อระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก เพราะจะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก รวมถึงภาระทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบ [10] ดังนั้นประสิทธิภาพ ความปลอดภัย รวมถึงความเชื่อถือได้ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก จึงขึ้นอยู่กับ เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ด้วย ดังนั้นเมื่อใดก็ตามที่เกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์กำลังตัวใดตัวหนึ่งของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ก็ย่อมส่งผลกระทบต่อระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า รวมถึงภาระทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบ โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นอาจส่งผลทำให้ระบบต้องหยุดทำงานลง อันเนื่องมาจากอุปกรณ์ป้องกันปลดตัวเองออกจากระบบ ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาทั้งในเรื่องของระดับแรงดันที่ลดลงของระบบ ความไม่เพียงพอของกำลังไฟฟ้าที่ระบบจะสามารถจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าได้ รวมถึงความเสียหายต่อภาระทางไฟฟ้าที่ต้องการระดับแรงดันไฟฟ้าที่คงที่และมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้า (Sensitive Loads) เป็นต้น สำหรับฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่สวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร (Open Switch Fault) และฟอลต์ชนิดสวิตช์ลัดวงจร (Short Switch Fault) [11] สำหรับวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะทำการศึกษาในกรณีการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร (Open Switch Fault) เท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาแพร่หลายเท่าใดนัก ดังนั้นการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรจึงเป็นหัวข้อที่นำศึกษาค้นคว้าวิจัย ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบการป้องกันด้วยวิธีที่เหมาะสมให้กับเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องภายใต้สภาวะการเกิดฟอลต์ โดยที่ไม่ต้องหยุดการทำงานของระบบ อีกทั้งยังจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนในการบำรุงรักษาอีกด้วย

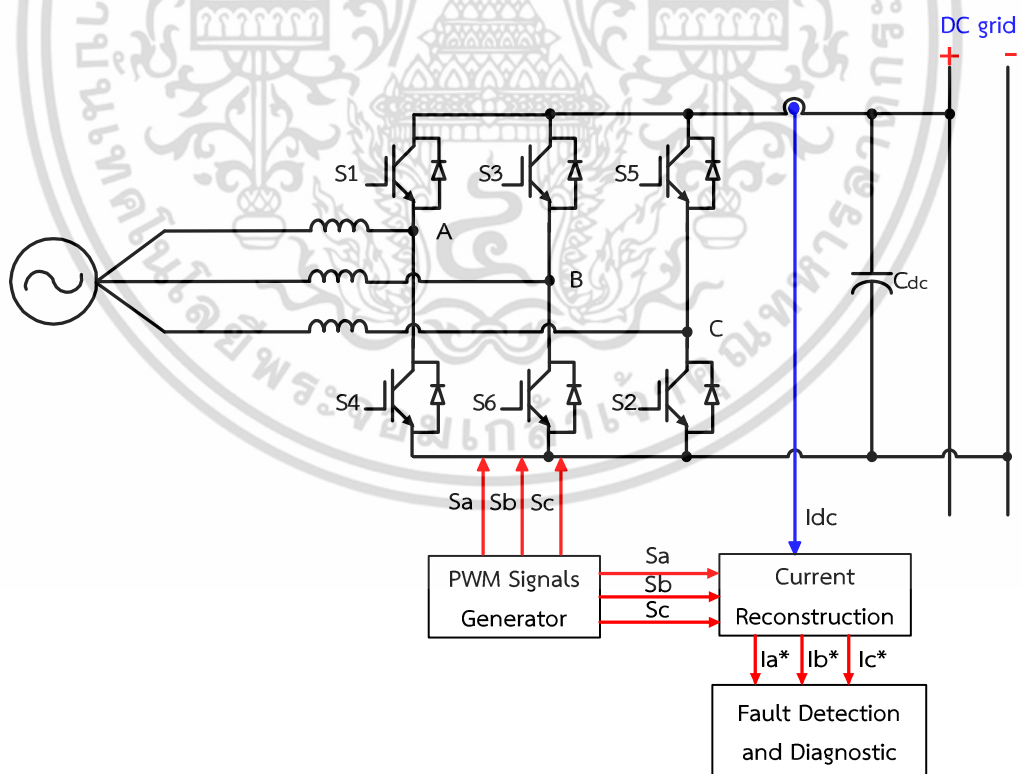
จากการศึกษาพบว่าในการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรด้วยวิธีปัจจุบันนั้นจะต้องอาศัยอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณกระแสสำหรับใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรถึง 3 ชุด ซึ่งเป็นการตรวจจับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุต ดังแสดงในรูปที่ 1.2 [7] ทำให้เกิดต้นทุนในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สูง ขนาดของอุปกรณ์ก็มีขนาดใหญ่ไม่สะดวกต่อการใช้งาน และหากอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณตัวใดตัวหนึ่งชำรุดก็ไม่สามารถทำการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่เกิดขึ้นที่เฟสนั้น ๆ ได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่าย รวมถึงลดขนาดของระบบ และความเสี่ยงที่อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณชำรุดลง จึงนำเสนอวิธีการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ (Current Signal Reconstruction) [12-14] เพื่อใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร สำหรับการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับนั้น จะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสเอาต์พุตทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงกับสถานะการสวิตช์ของสวิตช์กำลัง และสัญญาณกระแสทางด้านอินพุต ซึ่งจากความสัมพันธ์ที่กล่าวนี้จะทำให้สามารถแปลงสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุตให้มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุต เพื่อใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในสวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ โดยที่การสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับนั้นจะใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณกระแสเพียง 1 ชุดเท่านั้น ซึ่งนั่น

หมายถึงต้นทุนที่ลดลง รวมถึงขนาดของระบบที่ลดลงด้วย ดังแสดงในรูปที่ 1.3 [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 การตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ด้วยวิธีเดิมใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแส 3 ชุด [7]



รูปที่ 1.3 การตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ด้วยวิธีที่นำเสนอใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแส 1 ชุด [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเพื่อเป็นการลดขนาดและต้นทุนของระบบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรลง วิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงได้นำเสนอวิธีการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับสำหรับการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ซึ่งใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณกระแสเพียง 1 ชุด โดยจะต้องยังคงสามารถตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เช่นเดียวกันกับวิธีการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ในรูปแบบเดิม ซึ่งการนำสัญญาณกระแสคืนกลับมาใช้ในการการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรถือได้ว่าเป็นทางเลือกใหม่อีกวิธีหนึ่งที่ยังไม่เคยมีการศึกษาวิจัยมาก่อน อันจะนำไปสู่การนำผลการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนบำรุงรักษา รวมถึงการพัฒนาต่อยอดในการออกแบบระบบป้องกันฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในสวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ให้มีความเหมาะสม และนำไปสู่การสร้างมาตรฐานสำหรับการใช้งานจริงในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาโครงสร้าง หลักการทำงาน รวมถึงวิธีการควบคุมวงจรเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในการแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
2. เพื่อศึกษาลักษณะการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ตลอดจนวิธีการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร
3. เพื่อศึกษาหลักการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณกระแสทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงเพียง 1 ชุด
4. เพื่อศึกษาแนวทางในการนำสัญญาณกระแสคืนกลับที่ได้ มาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในสวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์
5. เพื่อสร้างระบบต้นแบบเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ขนาดพิกัด 1.5 กิโลวัตต์ ที่มีการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในสวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ โดยใช้สัญญาณกระแสคืนกลับในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของวิทยานิพนธ์

1. เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดปรับความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation : PWM) 3 เฟส 6 สวิตช์
2. พิกัดแรงดันทางด้านอินพุทเท่ากับ $380/220 V_{ac,rms}$
3. พิกัดแรงดันทางด้านเอาท์พุทเท่ากับ $150 V_{dc}$
4. พิกัดกำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส เท่ากับ 1.5 กิโลวัตต์
5. ใช้สัญญาณกระแสคืนกลับสำหรับการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรแทนสัญญาณกระแสทางด้านอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณกระแสเอาต์พุตทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงเพียง 1 ชุด เพื่อสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ
7. ใช้วิธี Absolute Normalized DC Current ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร
8. สำหรับการทดสอบกำหนดให้จำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์กำลังของ เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ได้เพียงครั้งละ 1 สวิตช์เท่านั้น

1.4 ระเบียบวิธีการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้าง หลักการทำงาน และเทคนิคการควบคุมเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส
2. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับลักษณะ และองค์ประกอบของฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร รวมถึงวิธีการที่ใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในรูปแบบวิธีการต่าง ๆ เปรียบเทียบกัน
3. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ โดยใช้สัญญาณกระแสเอาต์พุตทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณกระแสเพียง 1 ชุด
4. ออกแบบและจำลองการทำงานของระบบ ทั้งในส่วนของโครงสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ และการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/Simulink พร้อมทั้งพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง รวมถึงปรับปรุงแก้ไขระบบที่ทำการออกแบบ
5. จัดเตรียมเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานวิจัย พร้อมทั้งศึกษาการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ตลอดจนศึกษาการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์
6. สร้างเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส และระบบต้นแบบที่มีคุณสมบัติในการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ เพื่อใช้สำหรับตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร
7. ทดสอบเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส และระบบต้นแบบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยใช้สัญญาณกระแสคืนกลับที่สร้างขึ้น พร้อมทั้งแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น
8. บันทึกผลการทดสอบเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส และระบบต้นแบบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยใช้สัญญาณกระแสคืนกลับที่สร้างขึ้น
9. ทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบว่าสอดคล้องกับผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/Simulink และถูกต้องเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามาหรือไม่
10. สรุปผลการทดสอบ และให้ข้อเสนอแนะ รวมถึงแนวทางในการพัฒนาต่อยอดงานวิจัย
11. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ปี 2553				ปี 2554				ปี 2555			
	มิ.ย.	ส.ค.	ต.ค.	ธ.ค.	ม.ค.	พ.ค.	ก.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	พ.ค.	ก.ย.	ธ.ค.
1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้าง หลักการทำงาน และเทคนิค การควบคุมเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส												
2. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการตรวจจับ และวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร												
3. ศึกษาค้นคว้าข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการสร้าง สัญญาณกระแสคืนกลับ												
4. ออกแบบและจำลองการทำงานของระบบ โดยใช้โปรแกรม คอมพิวเตอร์ MATLAB/Simulink												
5. จัดเตรียมเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานวิจัย รวมถึงศึกษา การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์												
6. สร้างเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส และระบบต้นแบบที่มี คุณสมบัติในการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ เพื่อใช้สำหรับ ตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร												

ตารางที่ 1.1 (ต่อ)

การดำเนินงาน	ปี 2556				ปี 2557				ปี 2558			
	ม.ค.	พ.ค.	ก.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	พ.ค.	ก.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
7. ทดสอบเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส และระบบต้นแบบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร พร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น												
8. บันทึกผลการทดสอบเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส และระบบต้นแบบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร												
9. ทำการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบว่าสอดคล้องกับผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/Simulink และถูกต้องเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามาหรือไม่												
10.สรุปผลการทดสอบ และให้ข้อเสนอแนะ รวมถึงแนวทางในการพัฒนาต่อยอดงานวิจัย												
11.จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์												

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์

1. วิทยานิพนธ์เล่มนี้ทำให้เกิดองค์ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับจากสัญญาณกระแสเอาท์พุททางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในสวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส
2. ระบบต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถใช้สัญญาณกระแสคืนกลับ สำหรับการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรได้เช่นเดียวกันกับการใช้สัญญาณกระแสทางด้านอินพุท โดยที่ยังคงรักษาความถูกต้องแม่นยำ และความรวดเร็วในการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรไว้ได้
3. การตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ โดยใช้สัญญาณกระแสคืนกลับ สามารถลดจำนวนอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณกระแสลงได้ นั่นหมายถึงขนาดของระบบที่ลดลง รวมถึงราคาที่ลดลงด้วย
4. ระบบที่ทำการออกแบบสามารถระบุตำแหน่งสวิตช์ที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรขึ้นได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนในการบำรุงรักษา
5. สามารถนำองค์ความรู้ทั้งหมดที่ได้จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ไปพัฒนาต่อยอดสำหรับการออกแบบระบบป้องกันฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในสวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ให้มีความเหมาะสม และนำไปสู่การสร้างมาตรฐานสำหรับการใช้งานจริงในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

1.7 การจัดโครงสร้างเนื้อหาในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ประกอบไปด้วยเนื้อหาทั้งหมด 8 บท และ 1 ภาคผนวก โดยในแต่ละบทจะมีหัวข้อการนำเสนอเนื้อหาย่อย ๆ ซึ่งขอแนะนำรายละเอียดหัวข้อการนำเสนอในแต่ละบทที่ได้จัดเป็นโครงสร้างเนื้อหาในวิทยานิพนธ์ไว้พอสังเขป ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตข้อกำหนดของวิทยานิพนธ์ ระเบียบวิธีการวิจัย แผนการดำเนินงานของวิทยานิพนธ์ ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ และการจัดโครงสร้างเนื้อหาภายในวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 คอนเวอร์เตอร์และการควบคุมการทำงาน กล่าวถึงโครงสร้างพื้นฐานของวงจรคอนเวอร์เตอร์ทั่วไป และหลักการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ตลอดจนการควบคุมการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์

บทที่ 3 ฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรและการวินิจฉัยฟอลต์ กล่าวถึงลักษณะของฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในกรณีที่เกิดฟอลต์ขึ้นที่ตำแหน่งสวิตช์ต่าง ๆ ของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ รวมถึงเทคนิควิธีการวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร

บทที่ 4 การสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ กล่าวถึงแนวคิด และเทคนิคการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ โดยเป็นการสร้างสัญญาณกระแสเอาท์พุททางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงให้มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุท รวมถึงการประยุกต์ใช้งานในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/Simulink กล่าวถึง การจำลองการทำงานของระบบที่ทำการออกแบบในการใช้สัญญาณกระแสคืนกลับ เพื่อตรวจจับและ วินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ซึ่งจะเป็นการยืนยันสมมติฐาน และใช้เป็นแนวทางในการสร้าง ชิ้นงานจริง

บทที่ 6 การออกแบบ และการสร้างระบบต้นแบบ กล่าวถึงวิธีการในการออกแบบและสร้าง เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส พร้อมระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยใช้ เทคนิคการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับสำหรับการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์

บทที่ 7 ผลการทดสอบ กล่าวถึงผลการทดสอบการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ และ ระบบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ต้นแบบ ซึ่งทำการทดสอบทั้งสภาวะปกติ และในขณะที่เกิด ฟอลต์ขึ้นที่ตำแหน่งสวิตช์ต่าง ๆ ของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ รวมถึงแสดงค่าดัชนีวินิจฉัยและสัญญาณ แจ้งเตือนการเกิดฟอลต์

บทที่ 8 บทสรุป ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา กล่าวถึงบทสรุปของงานวิจัย และ ข้อเสนอแนะต่าง ๆ รวมถึงได้นำเสนอแนวทางการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยให้เกิดประโยชน์ กว้างขวางมากขึ้น

ภาคผนวก ในส่วนของภาคผนวกนี้จะนำเสนอบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ เผยแพร่งานวิจัย ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บทที่ 2

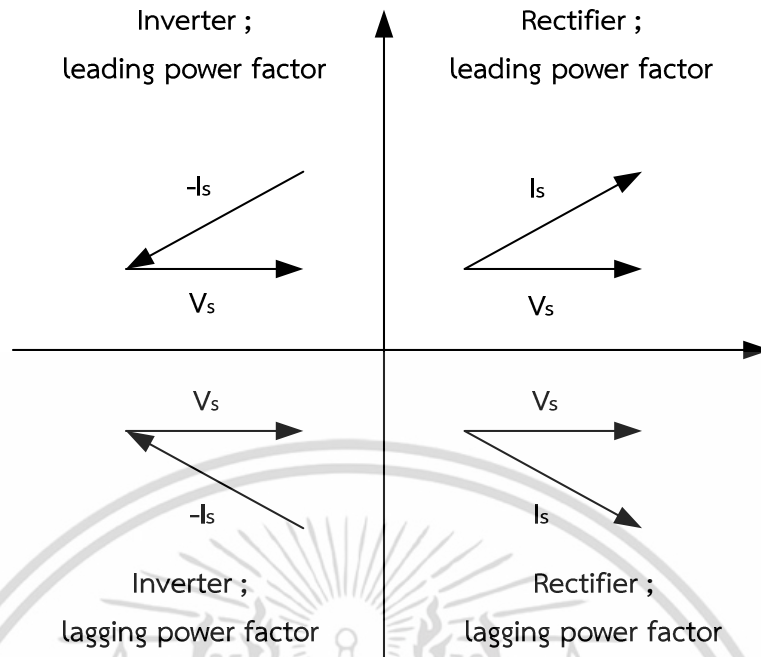
คอนเวอร์เตอร์และการควบคุมการทำงาน

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานทั่วไปของคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ชนิดปรับความกว้างพัลส์ได้ รวมถึงหลักการการทำงาน และวิธีการควบคุมการทำงาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบและสร้างเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ซึ่งจะใช้ในการศึกษาการสร้างสัญญาณกระแสคีนกลับโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดกระแสเพียง 1 ชุด เพื่อใช้สำหรับตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในสวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ต่อไป

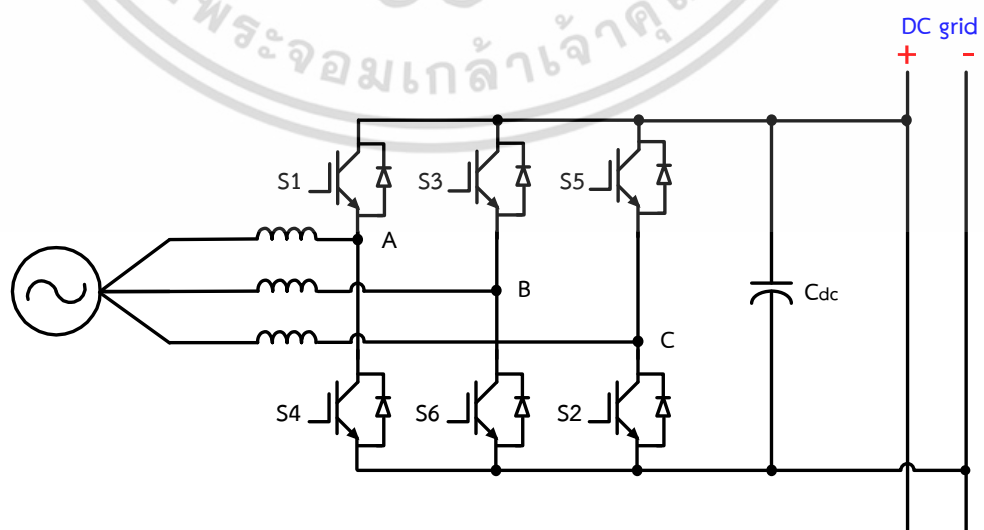
2.2 คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

การทำงานโดยทั่วไปของคอนเวอร์เตอร์นั้นสามารถแปลงผันกำลังไฟฟ้าทั้งจากไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (ทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์) และจากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (ทำงานในโหมดเรียงกระแส) ซึ่งอาจเป็นทั้งคอนเวอร์เตอร์ ชนิด 1 เฟส หรือ 3 เฟส ขึ้นอยู่กับการใช้งาน โดยปกติแล้วถ้าต้องการกำลังไฟฟ้าสูง ๆ ย่อมที่จะต้องใช้คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ทั้งนี้เป็นเพราะว่าคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าคอนเวอร์เตอร์ชนิด 1 เฟส นั่นเอง นอกจากนี้คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ประเภทแหล่งจ่ายแรงดันที่สามารถควบคุมด้วยสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้างได้ (PWM) สามารถควบคุมการทำงานให้คอนเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้ทั้งในโหมดอินเวอร์เตอร์ และโหมดเรียงกระแส จึงเป็นที่นิยมใช้งานมากกว่าคอนเวอร์เตอร์ชนิดอื่น ๆ อีกทั้งในการทำงานในแต่ละโหมดยังสามารถควบคุมให้ค่าตัวประกอบกำลังของคอนเวอร์เตอร์นั้นเป็นค่าใดก็ได้ตามความต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบการทำงานและค่าตัวประกอบกำลัง (power factor) ของคอนเวอร์เตอร์

สำหรับคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ที่ใช้สำหรับในการศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะทำหน้าที่ในการแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือที่เรียกว่า เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC Converter) ซึ่งจะเชื่อมต่อกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC Microgrid) โดยโครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์จะประกอบไปด้วยสวิตช์กำลังจำนวน 6 สวิตช์ ซึ่งใช้เป็น ไอจีบีที (IGBT) ซึ่งสวิตช์ดังกล่าวจะต่ออยู่กับไดโอดในลักษณะตรงกันข้ามแบบขนานกัน ทั้งนี้คอนเวอร์เตอร์ในฝั่งไฟฟ้ากระแสตรงจะมีตัวเก็บประจุต่อคร่อมขนานอยู่ในขณะที่ฝั่งไฟฟ้ากระแสสลับจะต่อเข้ากับกริดผ่านตัวเหนี่ยวนำเพื่อกรองสัญญาณความถี่สูง ดังแสดงในรูปที่ 2.2

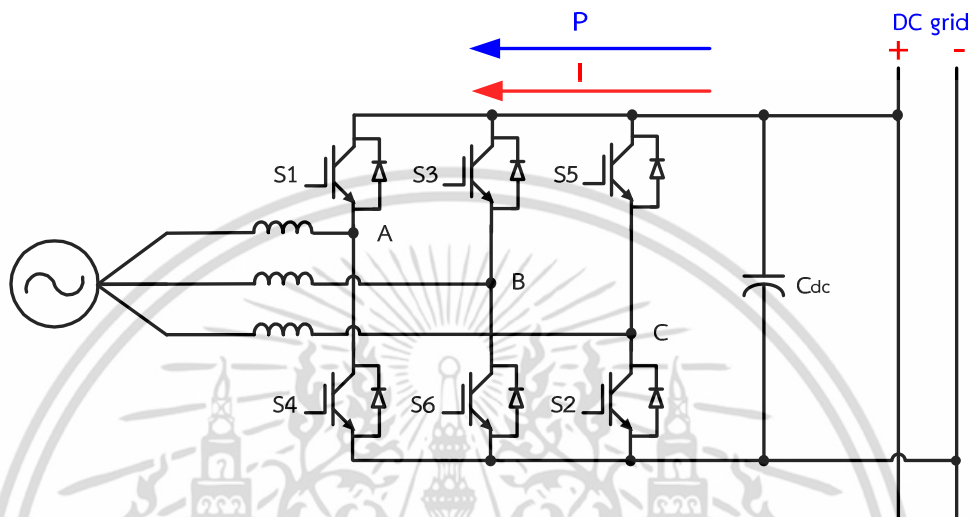


รูปที่ 2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) 3 เฟส 6 สวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสในโหมดอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

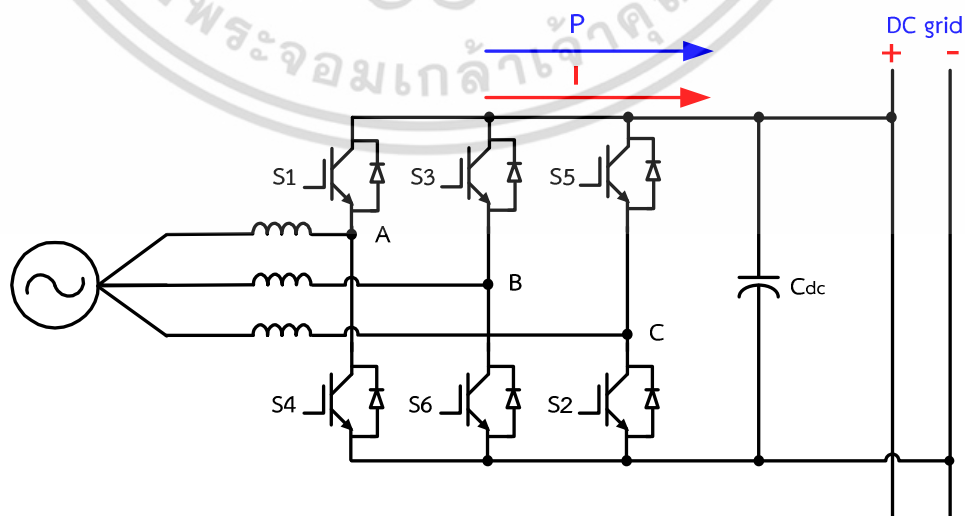
การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ในโหมดอินเวอร์เตอร์นี้ทิศทางการไหลของกระแสและกำลังไฟฟ้าจะมีทิศทางจากด้านไฟฟ้ากระแสตรงไปสู่ด้านไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งการทำงานในโหมดนี้ของคอนเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่เสมือนวงจรลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC-DC buck converter) ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสและกำลังไฟฟ้าในโหมดอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ทิศทางการไหลของกระแสและกำลังไฟฟ้าในโหมดอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

2.2.2 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสในโหมดเรียงกระแส (Rectifier)

การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ในโหมดเรียงกระแสนี้ทิศทางการไหลของกระแสและกำลังไฟฟ้าจะมีทิศทางจากด้านไฟฟ้ากระแสสลับไปสู่ด้านไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งการทำงานในโหมดนี้ของคอนเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่เสมือนเป็นวงจรยกระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC-DC boost converter) ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสและกำลังไฟฟ้าในโหมดเรียงกระแส ดังแสดงในรูปที่ 2.4



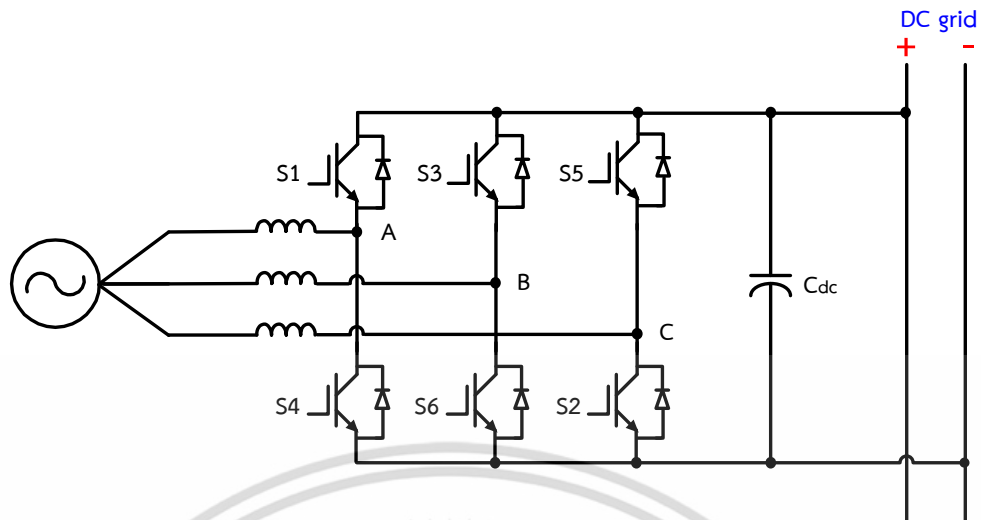
รูปที่ 2.4 ทิศทางการไหลของกระแสและกำลังไฟฟ้าในโหมดเรียงกระแส (Rectifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร กรุณาแจ้งให้ทราบเพื่อจะได้ดำเนินการแก้ไขต่อไป

2.3 เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC Converter)

เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC Converter) หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวงจรเรียงกระแส (Rectifier) คือ วงจรที่ทำหน้าที่แปลงผันกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการนำของกระแสไฟฟ้า และกรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุตให้เรียบ เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตมีความเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้มากที่สุด สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการนำของกระแสไฟฟ้านั้น มีทั้งใช้เป็นไดโอด ไทริสเตอร์ หรือสวิตช์กำลัง เพื่อควบคุมการนำของกระแสไฟฟ้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน หากไม่ต้องการที่จะควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุตก็ใช้เป็นไดโอดธรรมดา แต่หากต้องการควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุตอย่างง่ายก็ใช้เป็น ไทริสเตอร์ที่มีการควบคุมมุมเฟส หรือหากต้องการรูปแบบการควบคุมให้สูงขึ้นไปอีกก็ใช้เป็นสวิตช์กำลังต่าง ๆ เช่น ไอจีบีที มอสเฟต ฯลฯ ซึ่งสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุตได้โดยอาศัยสัญญาณพีดับบีวเอ็มในการขับสวิตช์ ซึ่งอาจมีการควบคุมวงปิด (Close Loop Control) ร่วมอยู่ด้วย และใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ต่อขนานเข้ากับวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อทำหน้าที่ในการกรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุตให้เรียบ ซึ่งถ้าหากไม่มีตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่ในการกรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุตแล้วก็จะเกิดการกระเพื่อม (Ripple Voltage) ของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตามความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า ดังนั้นการต่อขนานตัวเก็บประจุเข้าไปในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงจึงจะช่วยลดค่าของแรงดันกระเพื่อมให้อยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้

โดยทั่วไปแล้วเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น ใช้เป็นแหล่งจ่ายสำหรับการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ ใช้เป็นส่วนประกอบของแหล่งจ่ายไฟในคอมพิวเตอร์ หรือตัวตรวจจับสัญญาณวิทยุ เป็นต้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะใช้เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่มีภาระทางไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมต่ออยู่ เพื่อใช้ในการศึกษาการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับสำหรับใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ดังแสดงในรูปที่ 2.5

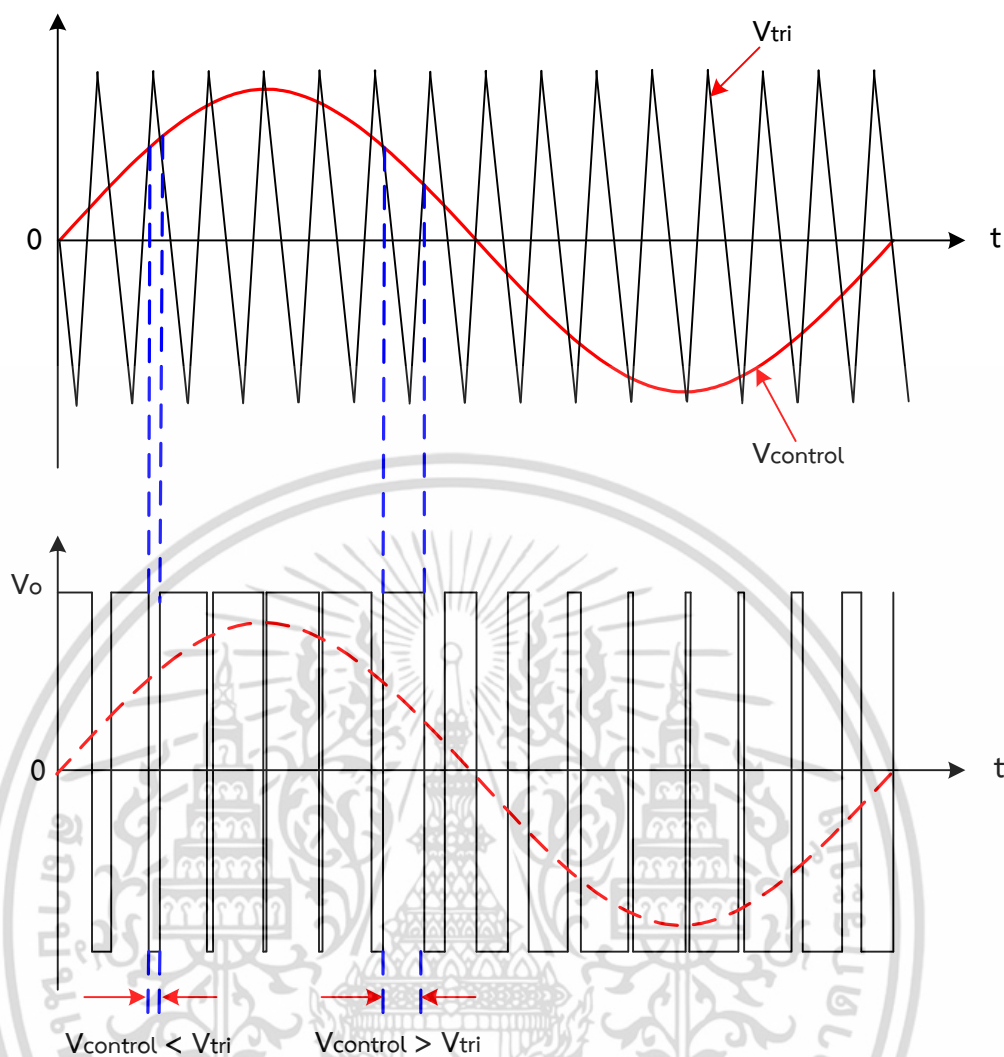


รูปที่ 2.5 วงจรเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC Converter) 3 เฟส

2.4 การมอดูเลชันความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation : PWM)

การมอดูเลชันความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation : PWM) คือ การนำสัญญาณพาหะ (Carrier) มาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง (Reference) หรือ V_{control} ซึ่งอาจเป็นไฟฟ้ากระแสตรง สัญญาณสามเหลี่ยม (Triangular) สัญญาณไซน์ หรือสัญญาณอื่น ๆ โดยนำสัญญาณมอดูเลชันไปเป็นสัญญาณสวิทช์ และนำไปขับเกตของสวิทช์กำลัง เพื่อให้สวิทช์กำลังนำกระแสมากหรือน้อยตามที่ต้องการ โดยสิ่งที่ต้องการคือ ให้แรงดันทางด้านเอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และสามารถคงที่ระดับแรงดันเอาต์พุตไว้ได้ ถึงแม้จะมีขนาดของภาระทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปก็ตาม

ดังนั้นวิธีการที่ใช้ในการกำเนิดสัญญาณควบคุมสวิทช์ของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สำหรับวิทยานิพนธ์เล่มนี้ก็คือ การมอดูเลชันความกว้างพัลส์ โดยการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณอ้างอิง หรือแรงดันควบคุม (V_{control}) ที่มีสัญญาณควบคุมเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Control Signal) 3 เฟส โดยมีมุมเฟสต่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า เปรียบเทียบกับสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular waveform) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การสร้างสัญญาณสวิตช์แบบมอดูเลชันความกว้างพัลส์ (PWM)

โดยที่ความถี่ของการสวิตช์ซึ่งจะเท่ากับความถี่ของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม จากนั้นนำสัญญาณที่ได้จากการเปรียบเทียบที่เป็นสัญญาณพัลส์ไปควบคุมลำดับของการสวิตช์ของสวิตช์กำลัง ซึ่งการนำสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ($V_{control}$) กับสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม (V_{tri}) มาเปรียบเทียบกันนี้ เรียกว่าการมอดูเลต โดยสามารถแบ่งอัตราการมอดูเลตได้เป็น 2 แบบ คืออัตราอัตราส่วนขนาดมอดูเลชัน (m_a) และอัตราส่วนความถี่มอดูเลชัน (m_f)

อัตราส่วนขนาดมอดูเลชัน (m_a) หรือดัชนีการมอดูเลต คือ อัตราส่วนระหว่างขนาดของสัญญาณอ้างอิงต่อขนาดสัญญาณพาหะตามสมการที่ (2.1)

$$m_a = \frac{V_{control}}{V_{tri}} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	m_a	คือ อัตราส่วนขนาดมอดูเลชัน
	$V_{control}$	คือ ขนาดของสัญญาณอ้างอิง
	V_{tri}	คือ ขนาดของสัญญาณพาหะรูปสามเหลี่ยม

อัตราส่วนความถี่มอดูเลชัน (m_f) คือ อัตราส่วนระหว่างความถี่ของสัญญาณพาหะต่อความถี่ของสัญญาณอ้างอิงตามสมการที่ (2.2)

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (2.2)$$

เมื่อ	m_f	คือ อัตราส่วนความถี่มอดูเลชัน
	f_s	คือ ความถี่สัญญาณพาหะรูปสามเหลี่ยม
	f_1	คือ ความถี่สัญญาณอ้างอิง

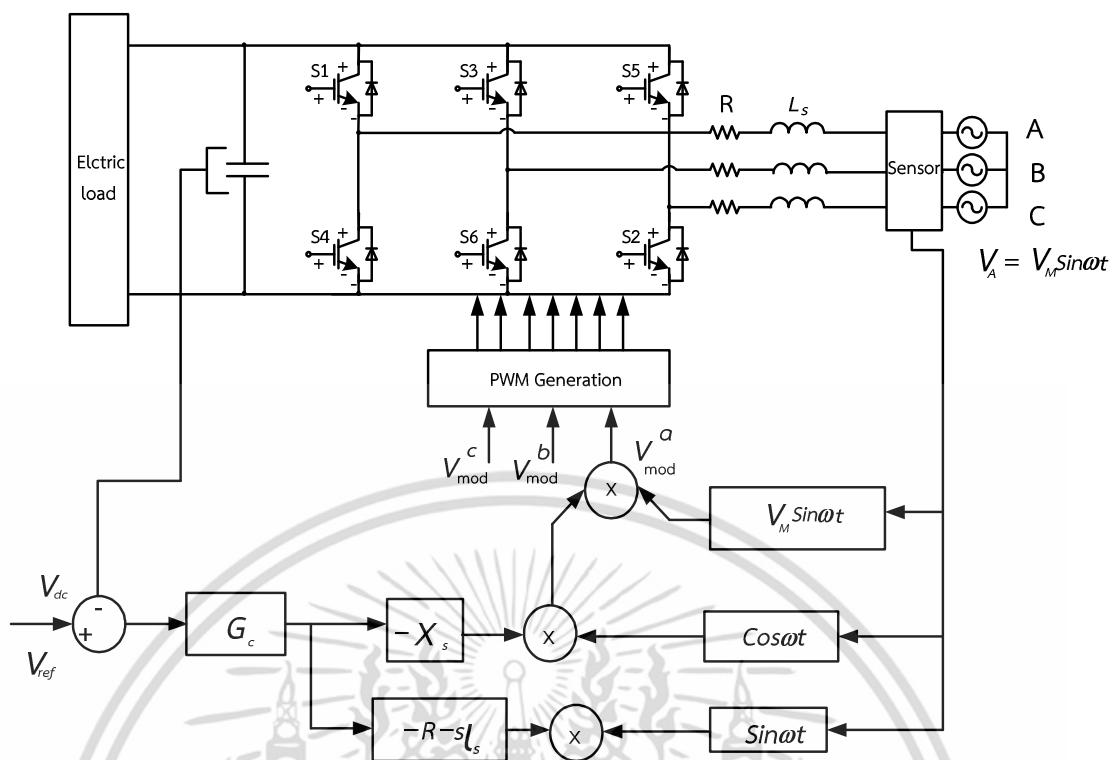
ถ้าค่า m_a อยู่ในช่วง $0 \leq m_a \leq 1$ จะเป็นช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น ซึ่งหมายถึงองค์ประกอบมูลฐานของแรงดันไฟฟ้าขาออก (fundamental – frequency component of the output voltage) โดยจะแปรผันเชิงเส้นกับค่า m_a

ถ้าค่า m_a อยู่ในช่วงที่มีค่ามากกว่า 1 ($m_a > 1$) จะเป็นช่วงการควบคุมแบบโอเวอร์มอดูเลชัน ซึ่งผลของแรงดันไฟฟ้าขาออกจะมีองค์ประกอบฮาร์มอนิกสูงกว่าช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น

2.5 การควบคุมการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์

2.5.1 การควบคุมเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

หลักการควบคุมโดยทั่วไปของคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส คือ การรักษาระดับแรงดันเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงให้คงที่โดยการป้อนกลับค่าแรงดันไฟตรงแล้วทำการเปรียบเทียบกับระดับแรงดันอ้างอิงโดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จะถูกส่งเข้าไปสู่วงจรควบคุม ผลที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกแปลงออกเป็นสัญญาณพัลส์ ซึ่งมีค่าความถี่มูลฐานเท่ากับความถี่ของแรงดันไฟของระบบของการไฟฟ้าโดยพัลส์ที่ได้จะมีความถี่สูงมากกว่า 1 kHz อย่างไรก็ตาม วิธีการควบคุมดังกล่าวยังไม่ให้ผลที่ดีนักจึงมีการพัฒนาโดยทำการวัดแรงดันไฟกระแสสลับเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของระบบควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การควบคุมแรงดันที่เชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกด้วยการควบคุมแรงดัน

อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาไปอย่างมาก ดังนั้นการควบคุมด้วยวิธีการทางเวกเตอร์จึงกลายเป็นเรื่องที่สามารถจะทำให้เป็นจริง โดยการควบคุมทางเวกเตอร์นั้นได้รับการพัฒนามาจากการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำให้ทำงานเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นแยก เมื่อนำการควบคุมทางเวกเตอร์มาประยุกต์ใช้กับคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส จะทำให้สามารถควบคุมแรงดันเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง และการควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนของคอนเวอร์เตอร์ได้อย่างอิสระจากกัน

ในการควบคุมด้วยวิธีการทางเวกเตอร์นั้น จำเป็นจะต้องอาศัยองค์ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีกรอบอ้างอิงเพื่อช่วยการแยกองค์ประกอบของเวกเตอร์ออกเป็นสององค์ประกอบ ขณะเดียวกันก็ทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่จะถูกควบคุมให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อความสะดวกในการควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิด PI

2.5.2 ทฤษฎีกรอบอ้างอิง (Reference Frame Theory)

ในการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส การควบคุมแรงดันที่คอนเวอร์เตอร์ จะเป็นสิ่งที่ยาก เนื่องจากมีการเกี่ยวข้งกันของแรงดันระหว่างเฟส ซึ่งจะส่งผลให้การควบคุมตัวแปรหนึ่งจะส่งผลกระทบกับอีกตัวแปรหนึ่ง ด้วยเหตุนี้เพื่อความสะดวกในการควบคุมการทำงานคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส จึงจำเป็นต้องอาศัยทฤษฎีกรอบอ้างอิง เพื่อใช้ในการลดรูปตัวแปรและทำการแปลงรูปร่างของตัวแปร

จากลักษณะที่เป็นสัญญาณซ้อนทำให้อยู่ในรูปของสัญญาณกระแสตรง ซึ่งขั้นตอนในการแปลงตัวแปรที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นแก่ประโยชน์ด้านการศึกษา ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะโซนูซอยด์ 3 เฟสไปสู่ตัวแปรที่มีลักษณะสัญญาณเป็นกระแสดตรงนั้น สามารถแจกแจงย่อยได้สองขั้นตอนและขั้นตอนการแปลงกลับจากสัญญาณกระแสดตรงไปสู่สัญญาณไซน์ 3 เฟสนั้นก็สามารถแจกแจงย่อยได้สองขั้นตอนเช่นเดียวกัน รวมถึงการคำนวณกำลังไฟฟ้าภายใต้ทฤษฎีกรอบอ้างอิงโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.5.2.1 การแปลงจากกรอบอ้างอิง 3 เฟสไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง

การแปลงแกนจาก 3 เฟสเป็นสองเฟสหยุดนิ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การแปลงของคลาร์ค (Clarke's transform) ในขั้นตอนนี้เป็นการแปลงตัวแปรในกรอบอ้างอิง 3 เฟสไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่งสองเฟสเทียบกับกรอบอ้างอิง 3 เฟส ซึ่งผลของการแปลงแกนจะส่งผลให้เกิดการลดรูปตัวแปรขึ้น นอกจากนี้สัญญาณที่ได้จะมีค่าแอมพลิจูดและความถี่เท่ากับแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า 3 เฟสก่อนการแปลง โดยในการแปลงนั้นอาศัยสมการการแปลงในสมการที่ (2.3)

$$\begin{bmatrix} f_{sd}^s \\ f_{sq}^s \\ f_{s0} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{sa} \\ f_{sb} \\ f_{sc} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

โดยที่ f แทน ตัวแปรใด ๆ

เมื่อตัวแปรในกรอบอ้างอิง 3 เฟสถูกแปลงให้อยู่ในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งตัวแปรดังกล่าวจะเป็นตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะรูปคลื่นไซน์และมีความถี่เดียวกับตัวแปรในกรอบอ้างอิง 3 เฟสตัวแปรในแนวแกน d และแนวแกน q จะเลื่อนจากกันเป็นมุม 90 องศา

2.5.2.2 การแปลงจากกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง ไปสู่กรอบอ้างอิงใด ๆ หรือกรอบอ้างอิงซิงโครนัส

ในขั้นตอนนี้เป็นการแปลงแกนจากแกนที่หยุดนิ่งไปเป็นแกนที่หมุนด้วยความเร็ว $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การแปลงของปาร์ค (Park's transform) ซึ่งสมการที่ใช้ในการแปลงแสดงในสมการที่ (2.4)

$$\begin{bmatrix} f_{sd} \\ f_{sq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{sd}^s \\ f_{sq}^s \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

โดยที่ θ แทนมุมระหว่างกรอบอ้างอิงหมุนและกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง

เมื่อถูกแปลงให้อยู่ในกรอบอ้างอิงใด ๆ ถ้าความเร็วเชิงมุมของกรอบอ้างอิง มีค่าเท่ากับความเร็วเชิงมุมของตัวแปรในกรอบอ้างอิง และถ้ามุมระหว่างกรอบอ้างอิง และตัวแปร มีค่าเท่ากับ 0 แล้ว ตัวแปรในกรอบอ้างอิงใด ๆ จะเป็นเส้นตรง

2.5.2.3 การแปลงกลับจากกรอบอ้างอิงใด ๆ หรือกรอบอ้างอิงซิงโครนัสไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง

ในส่วนของ การแปลงกลับขั้นตอนนี้จะเป็นการแปลงจากกรอบอ้างอิงใด ๆ หรือกรอบอ้างอิงซิงโครนัสไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่งโดยสมการที่ใช้ในการแปลงจะเป็นดังสมการที่ (2.5)

$$\begin{bmatrix} f_{sd}^s \\ f_{sq}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{sd} \\ f_{sq} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

2.5.2.4 การแปลงกลับจากกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งไปสู่กรอบอ้างอิง 3 เฟส

ในส่วนของ การแปลงกลับขั้นตอนนี้จะเป็นการแปลงจากกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งไปสู่กรอบอ้างอิง 3 เฟส ซึ่งสมการที่ใช้เป็นดังสมการที่ (2.6)

$$\begin{bmatrix} f_{sa} \\ f_{sb} \\ f_{sc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{sd}^s \\ f_{sq}^s \\ f_{s0}^s \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

2.5.2.5 การคำนวณกำลังไฟฟ้า

จากสมการการแปลงแแกนดังกล่าวที่ได้อธิบายจะพบว่า มีสัมประสิทธิ์ $\frac{2}{3}$ อยู่ด้วย ในการแปลงกลับจะพบว่าตัวประกอบกำลังดังกล่าวหายไป ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวจะมีผลต่อการคำนวณกำลังไฟฟ้า โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณจากตัวแปรในกรอบอ้างอิง 3 เฟส จะมีค่าดังสมการที่ (2.7)

$$P_{sabc} = v_{sa}i_{sa} + v_{sb}i_{sb} + v_{sc}i_{sc} \quad (2.7)$$

ในขณะที่กำลังไฟฟ้าที่คำนวณในกรอบอ้างอิงใด ๆ นั้น จะต้องทำการคำนวณด้วยสมการที่ (2.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{sdq0} = \frac{3}{2}(v_{sd}i_{sd} + v_{sq}i_{sq} + v_{s0}i_{s0}) \quad (2.8)$$

จะพบว่า มีสัมประสิทธิ์ $\frac{3}{2}$ ประกอบอยู่ด้วยเพื่อเป็นการรักษาระดับค่าแรงดันไฟฟ้าที่คำนวณในกรอบอ้างอิง ให้มีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่คำนวณในกรอบอ้างอิง 3 เฟส ซึ่งการแปลงแกนในระบบนี้เรียกว่า power variant

2.5.3 การควบคุมคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสด้วยการควบคุมกระแสที่ไหลในคอนเวอร์เตอร์ โดยอาศัยกรอบอ้างอิงแรงดันกริด

คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสชนิดปรับความกว้างพัลส์ จะทำงานโดยอาศัยการส่ง สัญญาณพัลส์สั่ง สวิตช์กำลังเพื่อสัญญาณเอาต์พุตที่ได้ออกมาเป็นรูปคลื่นไซน์ (sine wave) โดยมีค่าความถี่และแอมพลิจูดตามที่ต้องการ ในกรณีของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ความถี่และแอมพลิจูดของสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จะต้องมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากระบบไฟของการไฟฟ้า และจะทำการเชื่อมต่อระบบของการไฟฟ้าเข้ากับคอนเวอร์เตอร์โดยผ่านหม้อแปลงลดระดับ เพื่อลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงไม่ให้สูงเกินไป และเพื่อลดค่าใช้จ่ายสำหรับสวิตช์กำลัง

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งคือ ระดับแรงดันไฟตรงของคอนเวอร์เตอร์จะต้องสูงกว่าค่าสูงสุดของแรงดันไลน์ที่ป้อนเข้าสู่คอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากถ้าระดับแรงดันไฟตรงมีค่าต่ำกว่าแรงดันไลน์จะไม่สามารถควบคุมแรงดันที่จุดเชื่อมต่อไฟฟ้กระแสตรงได้ โดยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้กำหนดแรงดันไลน์ที่ป้อนเข้าสู่คอนเวอร์เตอร์คือ $\frac{380}{\sqrt{3}} = 219.6 \text{ V}$ ค่าสูงสุดของแรงดันไลน์คือ $219.6\sqrt{2} = 311.0 \text{ V}$ ดังนั้นจึงเลือกค่าแรงดันไฟตรงของคอนเวอร์เตอร์เป็น 350 V_{dc}

ในการควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส จะใช้การควบคุมโดยวิธีการทางเวกเตอร์ (vector control) และใช้ทฤษฎีกรอบอ้างอิง (reference frame theory) ในการแปลงสมการจากกรอบอ้างอิง 3 เฟสไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง (stationary reference frame) และแปลงจากกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งไปสู่กรอบอ้างอิงใด ๆ (arbitrary reference frame) ซึ่งในที่นี้มีเวกเตอร์ของแรงดันระบบไฟฟ้าจะถูกเลือกเป็นกรอบอ้างอิง (grid-voltage reference frame) โดยที่มุมและความถี่ของเวกเตอร์ของแรงดันสามารถประมาณได้โดยอาศัยวิธีเฟสล็อกคูลูป (phase locked loop : PLL) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.5.3.1 การประมาณเวกเตอร์ของแรงดัน

วิธีการในการประมาณเวกเตอร์ของแรงดันจะอาศัยการวัดค่าแรงดันไลน์ของ V_{gab} และ V_{gbc} แล้วทำการแปลงแกนจากกรอบอ้างอิง 3 เฟสเป็นกรอบอ้างอิงสองเฟสหยุดนิ่ง ค่าแรงดันที่ได้ในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง จะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่ามุมเฟสและความเร็วเชิงมุมของแรงดันโดยอาศัยวงจรเฟสล็อกคูลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3.2 สมการแรงดันของคอนเวอร์เตอร์

สมการแรงดันของคอนเวอร์เตอร์สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.9)

$$\bar{v}_g = R\bar{i}_g + L\frac{d\bar{i}_g}{dt} + \bar{v}_{conv} \quad (2.9)$$

เมื่อทำการแจกแจงให้อยู่ในแต่ละแนวแกนจะได้ดังสมการที่ (2.10) – (2.11)

$$v_{gd}^g = Ri_{gd}^g + L\frac{di_{gd}^g}{dt} - \omega L i_{gq}^g + v_{convd}^g \quad (2.10)$$

$$v_{gq}^g = Ri_{gq}^g + L\frac{di_{gq}^g}{dt} - \omega L i_{gd}^g + v_{convq}^g \quad (2.11)$$

ทำการจัดรูปสมการดังกล่าวใหม่ให้อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง โดยที่ $v_{gq}^g = 0$ จะได้สมการดังสมการที่ (2.12) และ (2.13)

$$-\left(L\frac{di_{gd}^g}{dt} + Ri_{gd}^g \right) = v_{convd}^g - v_{gd}^g - \omega L i_{gq}^g \quad (2.12)$$

$$-\left(L\frac{di_{gq}^g}{dt} + Ri_{gq}^g \right) = v_{convq}^g + \omega L i_{gd}^g \quad (2.13)$$

จะเห็นได้ว่าการคัปปลิง (coupling) ระหว่าง v_{gd}^g กับ v_{gq}^g ทำให้ความเร็วในการตอบสนองของระบบควบคุมช้าลง ดังนั้นจึงต้องทำการดีคัปปลิง (decoupling) โดยการบวกค่า v_{gd}^g และ $\omega L i_{gq}^g$ ในสมการที่ (2.12) ทั้ง 2 ข้างและลบค่า $\omega L i_{gd}^g$ ในสมการที่ (2.13) ทั้ง 2 ข้างเช่นเดียวกันเพื่อกำจัดการคัปปลิงระหว่างแรงดันข้างต้นออกไปทำให้ระบบควบคุมตอบสนองได้เร็วขึ้นจากการดีคัปปลิงจะได้ ดังสมการที่ (2.14) และ (2.15)

$$v_{convd}^g = -v'_{gd} + (\omega L i_{gq}^g + v_{gd}^g) \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_{convq}^g = -v_{gq}^g - (\omega L i_{gq}^g) \quad (2.15)$$

จากสมการที่ (2.14) และ (2.15) แรงดันไฟฟ้า v_{convd}^g และ v_{convq}^g คือค่าที่อ้างอิงจากทางด้านคอนเวอร์เตอร์โดยสมการแรงดันไฟฟ้าทั้งสองจะมีเทอมของการชดเชยแรงดัน (voltage compensation) อยู่ด้วยนั่นคือ $(\omega i_{gq}^g + v_{gd}^g)$ และ $-\omega i_{gq}^g$ ตามลำดับ

2.5.3.3 การพิจารณากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน

กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่กริดสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.16)

และ (2.17)

$$P_g = \frac{3}{2} \text{Re}(\bar{v}_g^g i_g^{g*}) = \frac{3}{2} (v_{gd}^g i_{gd}^g + v_{gq}^g i_{gq}^g) \quad (2.16)$$

$$Q_g = \frac{3}{2} \text{Im}(\bar{v}_g^g i_g^{g*}) = \frac{3}{2} (v_{gq}^g i_{gd}^g - v_{gd}^g i_{gq}^g) \quad (2.17)$$

เมื่ออยู่ในกรอบอ้างอิงที่หมุนด้วยความเร็วเชิงมุมเทียบกับกริด จะมีเพียงค่าแรงดันในแกน d เท่านั้น เนื่องจากความเร็วเชิงมุมของกรอบอ้างอิงเทียบกับกริด มีค่าเท่าความเร็วเชิงมุมของสเปซเวกเตอร์ในกรอบอ้างอิงเทียบกริด ซึ่งหมุนด้วยความเร็วเชิงมุมเดียวกันคือ ω_g ดังนั้นจะเหลือเพียง v_{gd}^g และ $v_{gq}^g = 0$ เขียนสมการใหม่จะได้ดังสมการ

$$P_g = \frac{3}{2} (v_{gd}^g i_{gd}^g) \quad (2.18)$$

$$Q_g = \frac{3}{2} (v_{gd}^g i_{gq}^g) \quad (2.19)$$

จากสมการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเมื่อนำมาเขียนเป็นแผนผังการควบคุมจะได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8

บทที่ 3

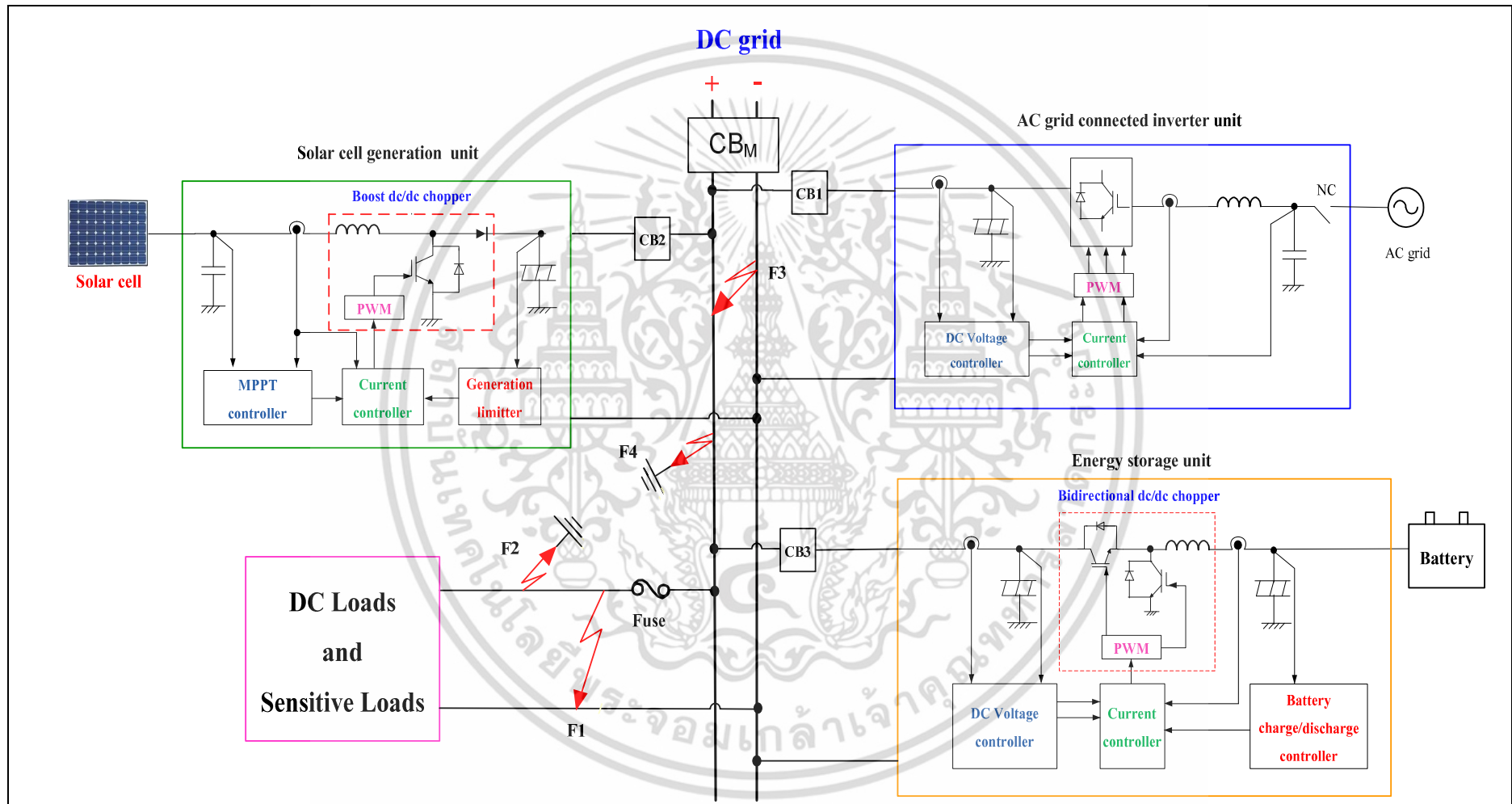
ฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรและการวินิจฉัยฟอลต์

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะของฟอลต์และตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า กระแสตรงขนาดเล็ก (DC Microgrid) ตลอดจนฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งจะเป็นหัวข้อที่ใช้ในการศึกษา รวมถึงเทคนิควิธีการวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรด้วยวิธีต่าง ๆ ซึ่งแต่ละวิธีจะมีคุณลักษณะที่เหมาะสมแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างความเข้าใจในลักษณะของฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจาก ฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ตลอดจนเทคนิควิธีการวินิจฉัยฟอลต์ในรูปแบบต่าง ๆ จึงได้นำผลจากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยและบทความทางวิชาการมาเรียบเรียงไว้ในบทนี้

3.2 ฟอลต์และผลกระทบของฟอลต์

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ออกแบบแผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า กระแสตรงขนาดเล็ก และอุปกรณ์ป้องกัน เพื่อจำลองการทำงานของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า กระแสตรงขนาดเล็กหรือ (DC microgrid) ขนาด 150 โวลต์ ซึ่งเป็นระบบที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน โดยใช้เป็นพลังงานแสงอาทิตย์ ผ่านวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้า กระแสตรง (DC-DC converter) โดยมีระบบสะสมพลังงานเป็นแบตเตอรี่ รวมทั้งมีการเชื่อมต่อกับ ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC power system) โดยผ่านวงจรเรียงกระแสที่ทำงานได้แบบ 2 ทิศทาง (Bidirectional rectifier) นอกจากนี้ยังมีภาระทางไฟฟ้า ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC loads) เชื่อมต่ออยู่ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กและอุปกรณ์ป้องกัน รวมทั้งตำแหน่งที่เกิดฟอลต์

สำหรับฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสดังนั้น สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ ฟอลต์ระหว่างสายส่ง (Line to Line Fault), ฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับกราวนด์ (Positive Line to Ground Fault) และฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับกราวนด์ (Negative Line to Ground Fault) โดยสามารถคำนวณหากระแสฟอลต์ได้ตามสมการพื้นฐานดังต่อไปนี้

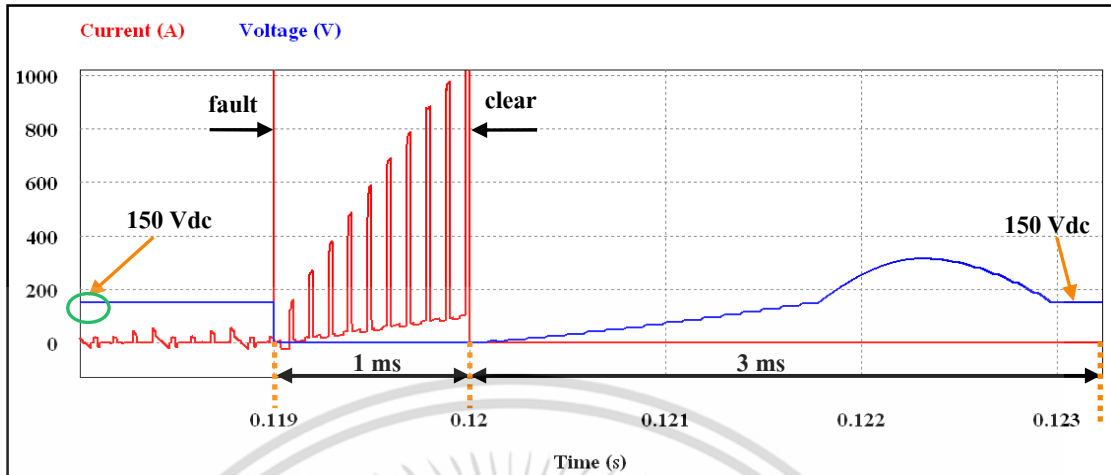
$$I_{dc(F)} = \frac{E_{dc(0)} - E_{dc(F)}}{R_{dc(F)}} \quad (3.1)$$

เมื่อ $I_{dc(F)}$ คือ กระแสฟอลต์
 $E_{dc(0)}$ คือ แรงดันก่อนเกิดฟอลต์
 $E_{dc(F)}$ คือ แรงดันในขณะเกิดฟอลต์
 $R_{dc(F)}$ คือ ความต้านทานของสายส่ง

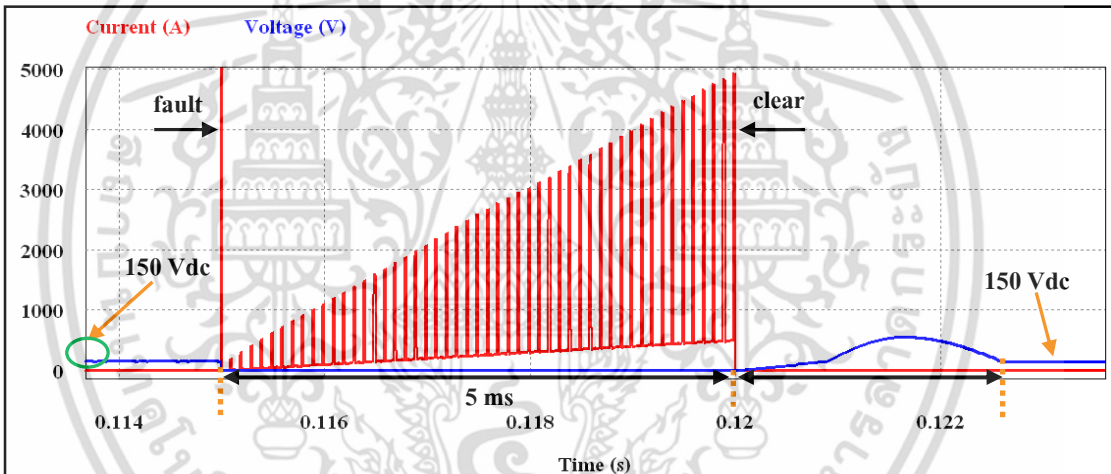
สำหรับผลกระทบของฟอลต์ที่เกิดขึ้นต่อระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบได้รับความเสียหายโดยเฉพาะอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุปกรณ์ควบคุมที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันในขณะเกิดฟอลต์สูง (Sensitive Loads) ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษารออกแบบระบบป้องกันสำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า กระแสตรงขนาดเล็กให้มีความเหมาะสม และสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

จากการศึกษาฟอลต์วงจรทั้งสอง 2 ชนิด คือ ฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับสายส่ง ชั่วลบ และฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับกราวนด์ โดยให้เกิดฟอลต์ขึ้นที่บัส และที่โหลด เพื่อพิจารณาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันในระบบ ซึ่งฟอลต์ที่โหลดนั้น ฟอลต์ F1 กำหนดให้เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับสายส่งชั่วลบ ส่วนฟอลต์ F2 เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับกราวนด์ สำหรับฟอลต์ที่ตำแหน่งบัสของระบบนั้น ฟอลต์ F3 เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับสายส่งชั่วลบ และฟอลต์ F4 เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับกราวนด์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยให้ระยะเวลาในการเกิดฟอลต์ F1 เป็นเวลา 1 ms และ 5 ms เพื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เกิดฟอลต์กับผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบ รวมถึงลักษณะกระแส และแรงดันในขณะเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบ ซึ่งสามารถแสดงผลการศึกษาได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

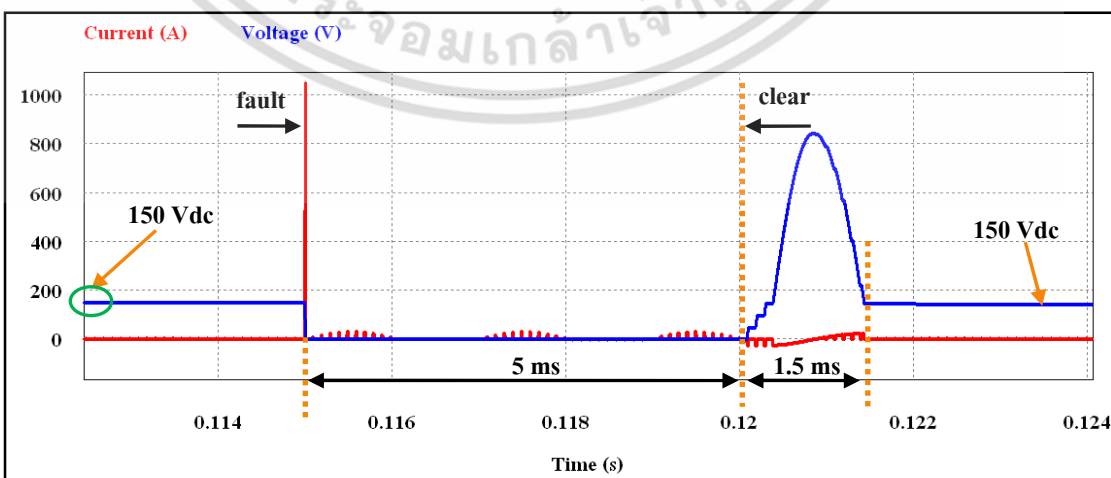
3.2.1 ฟอลต์ลัดวงจรที่โหลด (F1) ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับสายส่งชั่วคราว



รูปที่ 3.2 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F1) เป็นระยะเวลา 1 ms

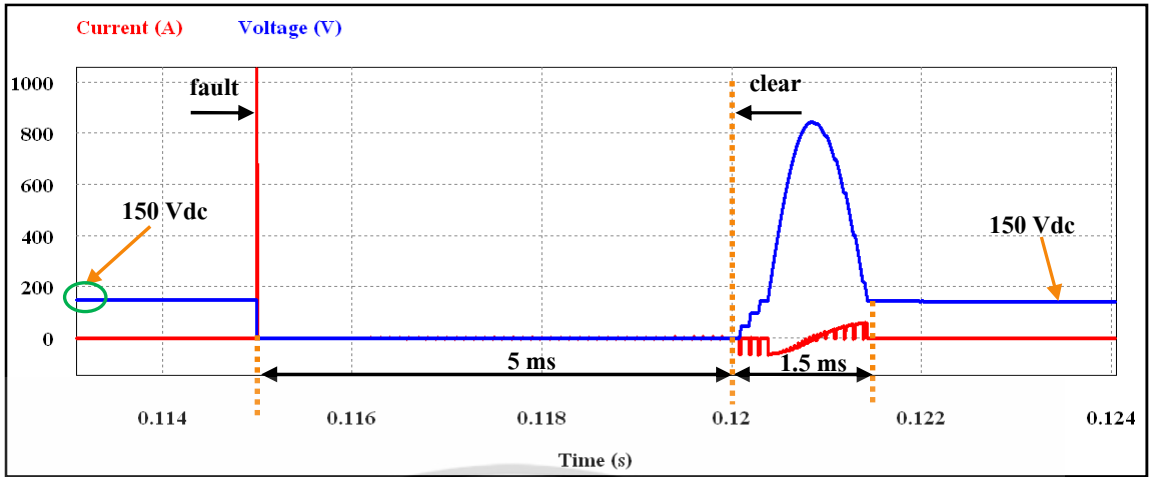


รูปที่ 3.3 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F1) เป็นระยะเวลา 5 ms

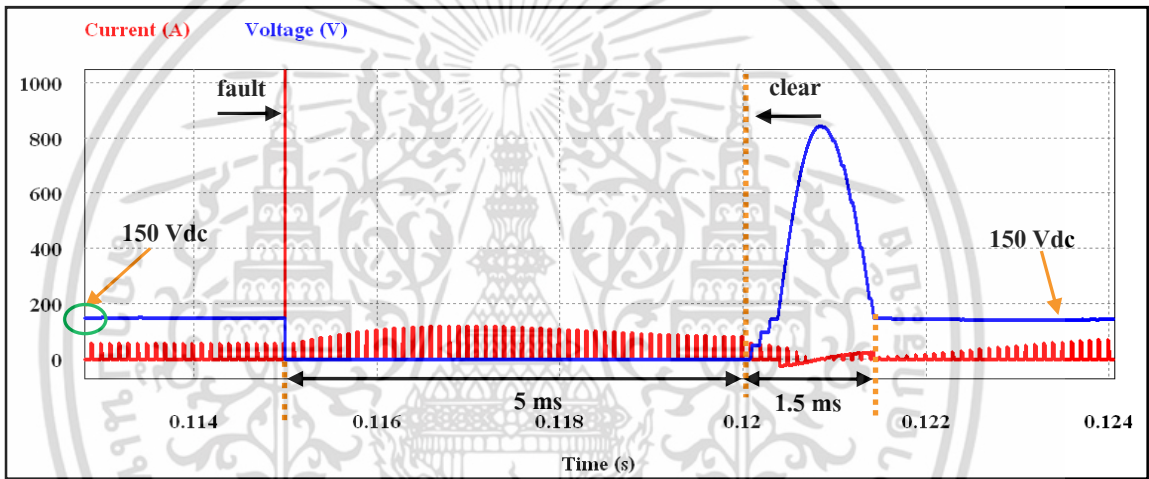


รูปที่ 3.4 กระแส และแรงดันที่ Solar cell ขณะเกิดฟอลต์ (F1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

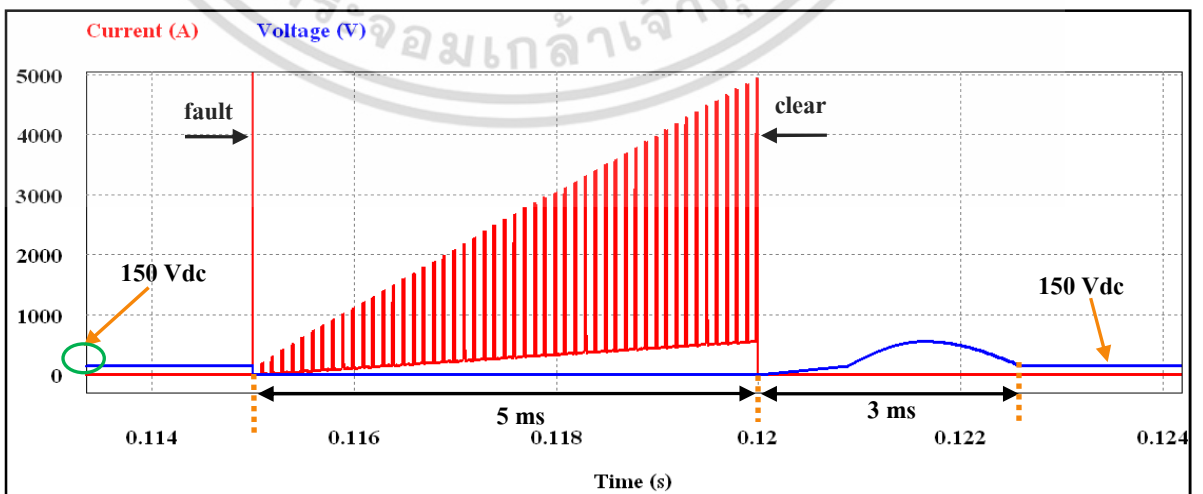


รูปที่ 3.5 กระแส และแรงดันที่ Battery ขณะเกิดฟอลต์ (F1)



รูปที่ 3.6 กระแส และแรงดันที่ Converter ขณะเกิดฟอลต์ (F1)

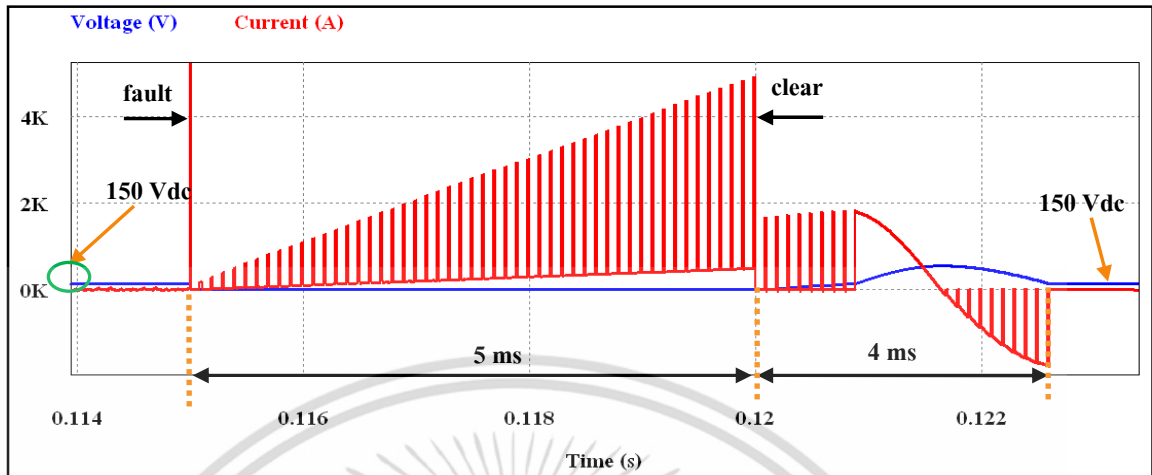
3.2.2 ฟอลต์ลัดวงจรที่โหลด (F2) ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับกราวนด์



รูปที่ 3.7 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F2) เป็นระยะเวลา 5 ms

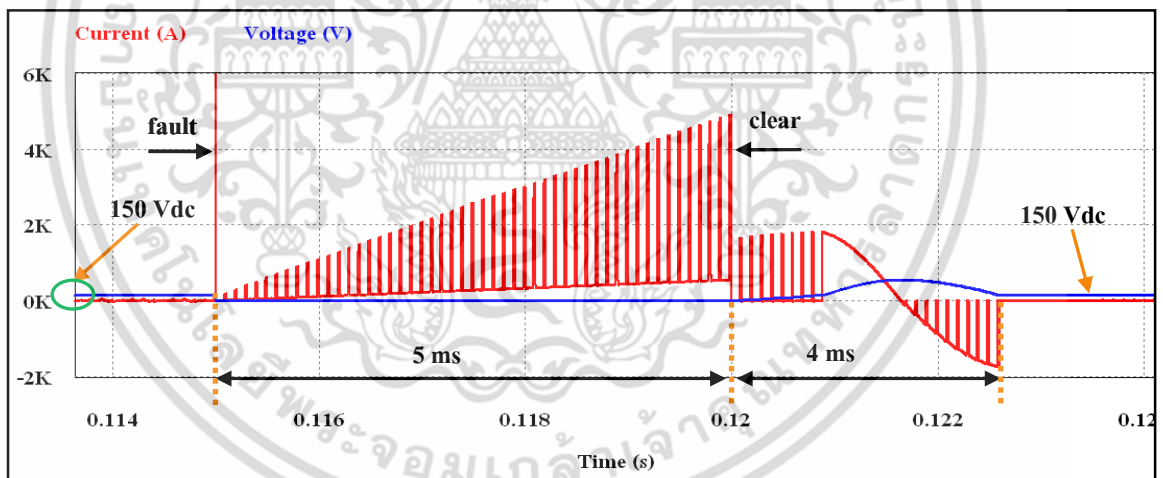
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นใบเขียวระบุด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ฟอลต์ลัดวงจรที่บัส (F3) ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับสายส่งชั่วคราว



รูปที่ 3.8 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F3) เป็นระยะเวลา 5 ms

3.2.4 ฟอลต์ลัดวงจรที่บัส (F4) ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับกราวนด์



รูปที่ 3.9 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F4) เป็นระยะเวลา 5 ms

จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบฟอลต์ลัดวงจรระหว่างสายส่งชั่วคราวกับสายส่งชั่วคราว และฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับกราวนด์นั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดัน คล้ายกัน และถ้าเกิดฟอลต์เป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสเพิ่มมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ฟอลต์ F1 ฟอลต์ที่โหนดระหว่างสายส่งชั่วคราวกับสายส่งชั่วคราว ระยะเวลาการเกิดฟอลต์ 5 ms จะมีขนาดของกระแสฟอลต์เป็น 5 เท่าเมื่อเทียบกับระยะเวลาการเกิดฟอลต์ 1 ms ก่อนที่ระบบป้องกันจะทำการตัดวงจรที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้า สำหรับตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่โหลดกับฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่บัส จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่แตกต่างกันกล่าวคือ หลังจากที่อยู่อุปกรณ์ป้องกันได้กำจัดฟอลต์ออกจากระบบแล้วกระแสนี้ยังคงมีการแกว่งตัวต่ออีกช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะปกติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าฟอลต์ที่บัสจะใช้เวลาในการกลับเข้าสู่สภาวะคงตัวของระบบนานกว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่โหลด ขณะเดียวกันที่ตำแหน่งอื่น ๆ ของระบบก็จะปรากฏกระแสฟอลต์ F1 เช่นกันแต่มีขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้ยังพบว่ากระแสลูกคลื่นแรกหลังจากเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบจะมีขนาดสูงมาก ดังนั้นอุปกรณ์ป้องกันจึงควรทำงานให้ถูกต้อง และเร็วที่สุด เพื่อที่จะป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการติดตั้งระบบป้องกัน โดยอาศัยอุปกรณ์ป้องกันหลัก ๆ ดังนี้

1. ฟิวส์ (Fuse) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันกระแสเกิน โดยอาศัยการหลอมละลายของวัสดุตัวนำ ซึ่งอาจจะเป็ทองแดง หรือเงินที่มีจุดหลอมเหลวต่ำเพื่อตัดวงจรที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ
2. เซอร์คิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่สามารถเปิดวงจรได้อัตโนมัติเมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้น โดยนำเอาสวิตช์อิเล็คทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ เรียกว่า โซลิดสเตทเซอร์คิตเบรกเกอร์ (Solid State Circuit Breaker)

สำหรับการออกแบบระบบป้องกันสำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น หลักการสำคัญคือระบบป้องกันจะต้องสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และรวดเร็ว โดยจะต้องเลือกใช้ใช้อุปกรณ์ป้องกันตามความเหมาะสม เช่น เลือกใช้เซอร์คิตเบรกเกอร์ ที่มีความเร็วในการทำงานสูง อาทิ โซลิดสเตทเซอร์คิตเบรกเกอร์ ซึ่งปัจจุบันมีงานวิจัยที่สามารถทำงานได้เร็วถึง 0.5 ms หรือในกรณีที่เป็นโหลดที่ไม่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันมากนักก็อาจใช้ฟิวส์ที่มีความเร็วในการหลอมละลายสูง เช่น ultra fast fuse ที่ใช้เวลาการหลอมละลายของโลหะตัวนำเร็วกว่าฟิวส์แบบธรรมดา เป็นต้น ทั้งนี้จะต้องทำการออกแบบลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (Coordination) ตลอดจนระบบป้องกันสำรอง (Back up Protection) ในกรณีที่ระบบป้องกันหลักไม่ทำงาน หรือทำงานผิดพลาด เช่น กรณีเกิดฟอลต์ F1 และ F2 หากฟิวส์ที่ใช้ป้องกันโหลดไม่สามารถทำการตัดวงจรออกจากระบบได้ CB1 ที่ Converter, CB2 ที่ Solar cell และ CB3 ที่ Battery จะต้องทำการตัดวงจรออกจากระบบ โดยลำดับเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในที่นี้ คือ เซอร์คิตเบรกเกอร์ จะตั้งให้ช้ากว่าเวลาการทำงานของฟิวส์ เช่น ฟอลต์ F1 ถ้าฟิวส์ทำงานที่ 2 ms ก็ควรตั้ง CB ไว่ที่ประมาณ 3 ms และขนาดกระแสทำงานของ CB ควรจะน้อยกว่าขนาดกระแสฟอลต์ที่ปรากฏที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบ ซึ่งอาจใช้รีเลย์ป้องกันทำงานร่วมด้วย ในขณะเดียวกัน CB1, CB2 และ CB3 ก็ต้องป้องกันอุปกรณ์ที่อยู่ภายใน Zone ป้องกันในกรณีที่เกิดฟอลต์ขึ้นที่บัสด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการหาตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้นให้ได้ว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นฟอลต์ที่โหลด หรือฟอลต์ที่บัส ซึ่งจะอาศัยอุปกรณ์ในการตรวจจับทั้งกระแส และแรงดัน เพื่อให้ระบบ

ป้องกันสามารถตรวจจับ และกำจัดฟอลต์ที่เกิดขึ้นออกจากระบบได้อย่างถูกต้อง และรวดเร็ว

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของฟอลต์ลัดวงจรที่จำลองให้เกิดขึ้นในตำแหน่งต่าง ๆ แล้วจะเห็นว่า ลักษณะของรูปคลื่นสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรากฏในตำแหน่งต่าง ๆ ย่อมส่งผลกระทบต่อความเสียหายต่ออุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กอย่างแน่นอน ซึ่งสำหรับในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะพิจารณาการเกิดฟอลต์ในอีกลักษณะหนึ่งที่น่าสนใจศึกษาและมีความสำคัญ กล่าวคือ เป็นฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร (Open Circuit Switch Fault) ที่เกิดขึ้นกับสวิตช์กำลังในอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ที่ต่ออยู่กับระบบ ซึ่งฟอลต์ชนิดนี้ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่เชื่อมต่ออยู่เช่นกัน โดยที่วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้สนใจที่จะศึกษาฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรเป็นหลัก สำหรับรูปแบบและลักษณะของการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรมานั้น โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

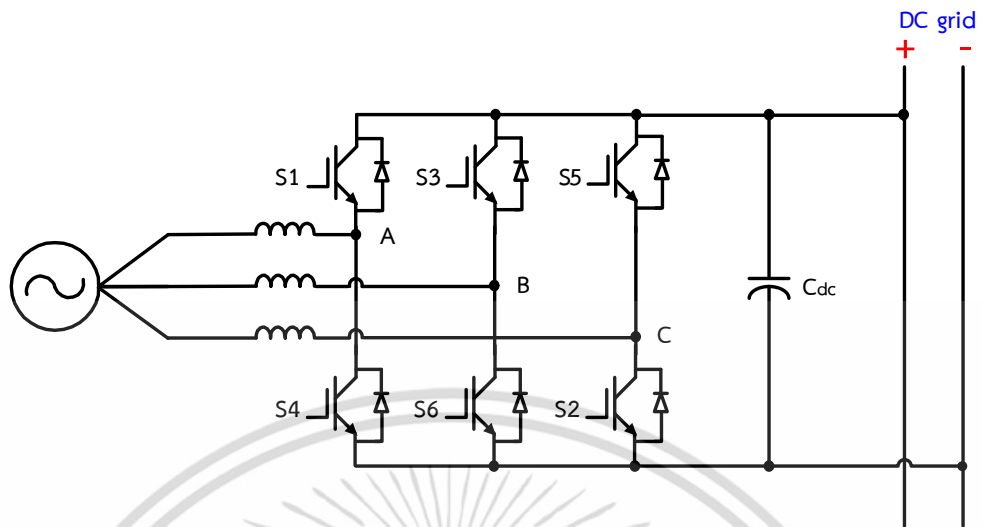
3.3 ฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร (Open Circuit Switch Fault)

สามารถจำแนกฟอลต์ทางไฟฟ้าที่สวิตช์คอนเวอร์เตอร์ได้ 2 ประเภท คือ

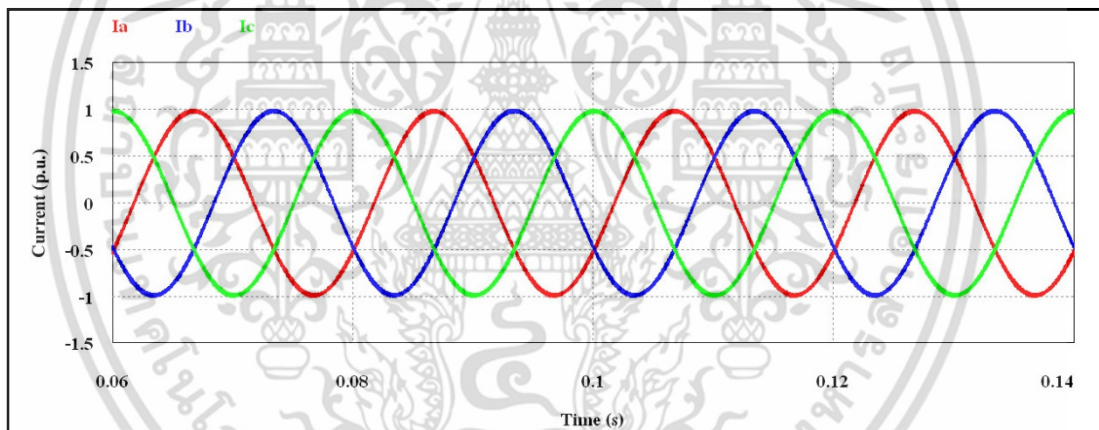
- ฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร (Open Circuit Switch Fault)
- ฟอลต์ชนิดสวิตช์ลัดวงจร (Short Circuit Switch Fault)

ขอบเขตของงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาในเรื่อง ฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร กรณีเกิดฟอลต์หนึ่งสวิตช์ โดยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ สามารถแบ่งได้เป็นฟอลต์ที่เกิดจากสัญญาณควบคุมผิดพลาดทำให้สวิตช์ตัวนั้นไม่ทำงาน กระแสขณะที่เกิดฟอลต์ จะมีขนาดไม่เท่ากับศูนย์ เนื่องจากกระแสสามารถไหลผ่านไดโอดที่ขนานกับสวิตช์ที่เกิดฟอลต์ได้ และความผิดพลาดที่เกิดจากสวิตช์เสียหายโดยที่ไดโอดที่ต่อขนานสวิตช์เสียหายไปด้วยเกิดลักษณะเปิดวงจร ทำให้กระแสไม่สามารถไหลได้เลย และในบางครั้งฟอลต์ชนิดสวิตช์ลัดวงจรเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นจะทำให้ตัวสวิตช์เสียหายและกลายเป็นฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในที่สุด เมื่อเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรขึ้นกับคอนเวอร์เตอร์ กระแสในเฟสที่เกิดฟอลต์นั้นจะหายไปครึ่งคาบ ซึ่งจะเป็นครึ่งบวกหรือครึ่งลบนั้นขึ้นอยู่กับว่าสวิตช์ในแฉวบนหรือแฉวล่างหายไป ด้วยลักษณะเฉพาะของกระแสเมื่อเกิดฟอลต์ที่สัมพันธ์กับสวิตช์แต่ละตัว ทำให้เราสามารถนำค่ากระแสเมื่อเกิดฟอลต์มาวิเคราะห์เพื่อหาตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ วิธีการในการวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ในปัจจุบันนี้มีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีนั้นก็จะมีขั้นตอนวิธีการ ข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป สำหรับลักษณะการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ต่าง ๆ นั้น สามารถแสดงลักษณะของสัญญาณกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์กำลังในอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ได้ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

3.3.1 สถานะการทำงานปกติของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์



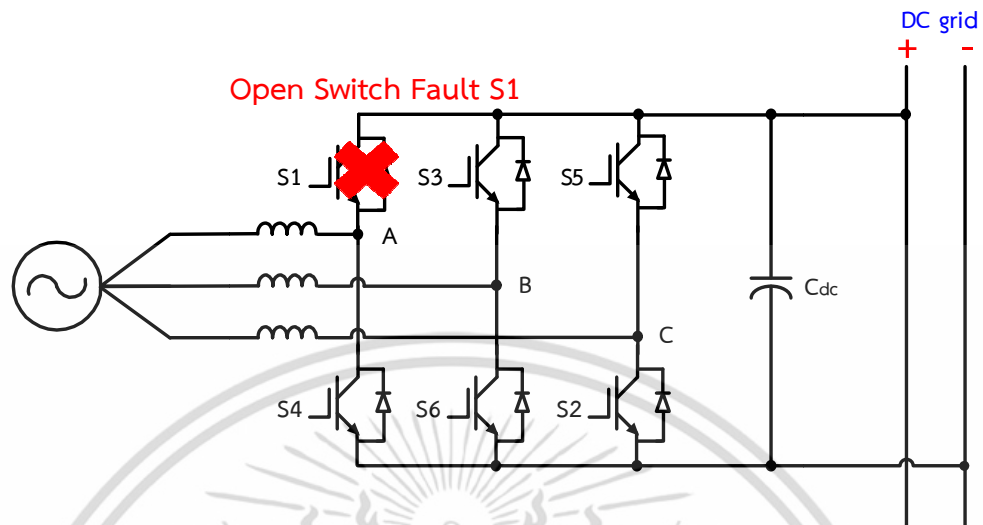
รูปที่ 3.10 สถานะการทำงานปกติของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์



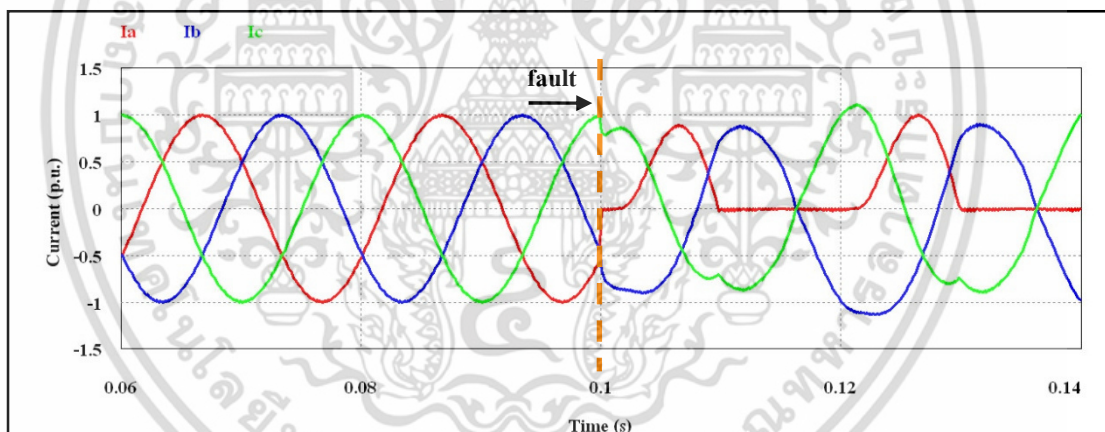
รูปที่ 3.11 กระแสในสถานะการทำงานปกติของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 สถานะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S1



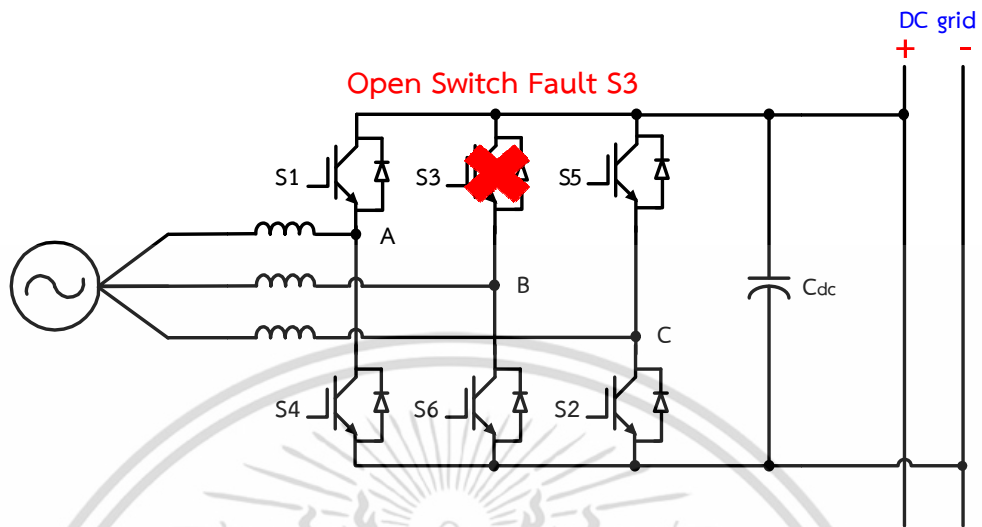
รูปที่ 3.12 สถานะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S1



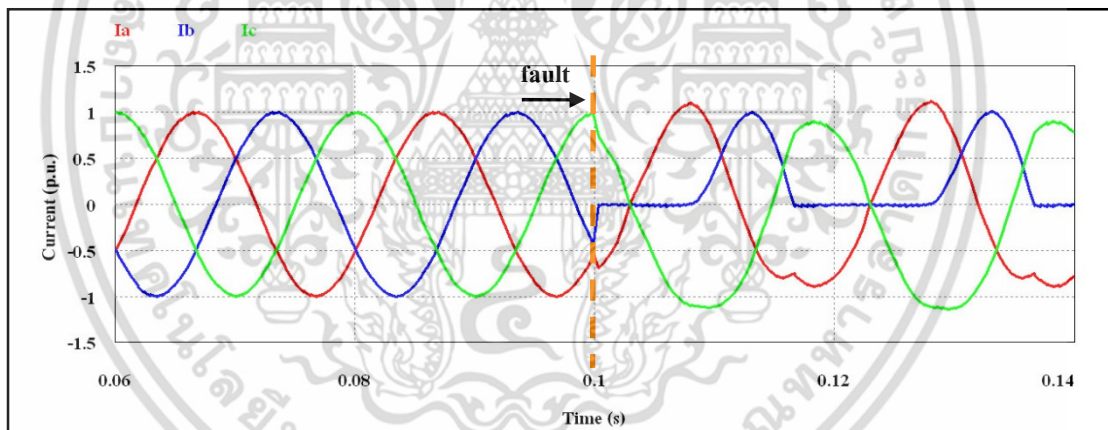
รูปที่ 3.13 กระแสในสถานะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S3



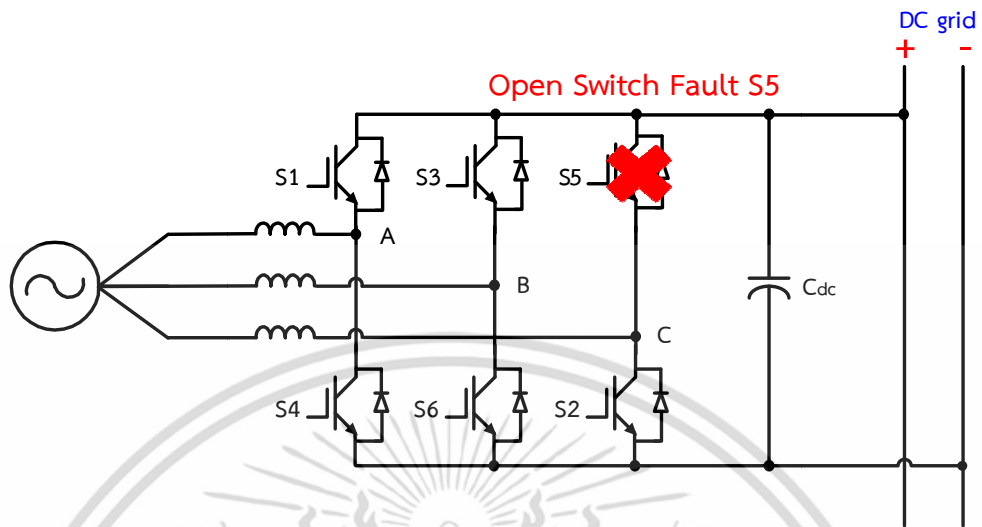
รูปที่ 3.14 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S3



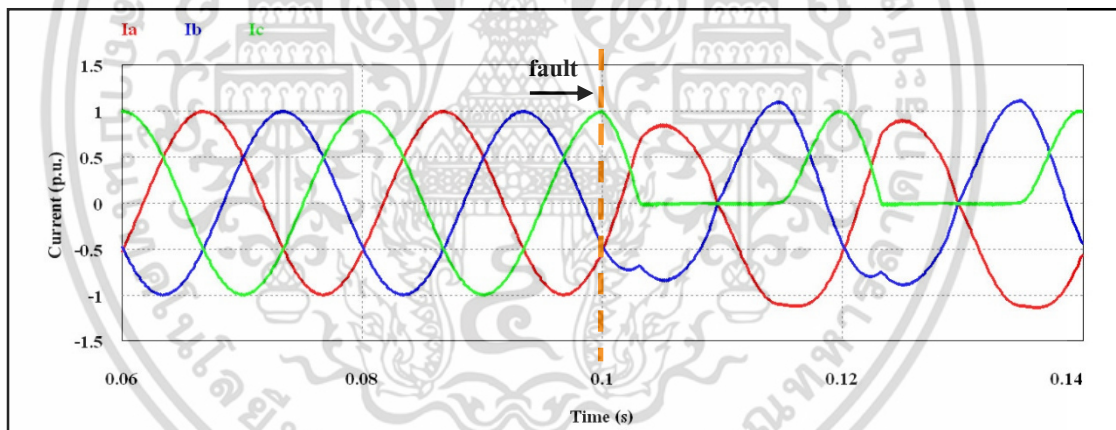
รูปที่ 3.15 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S5



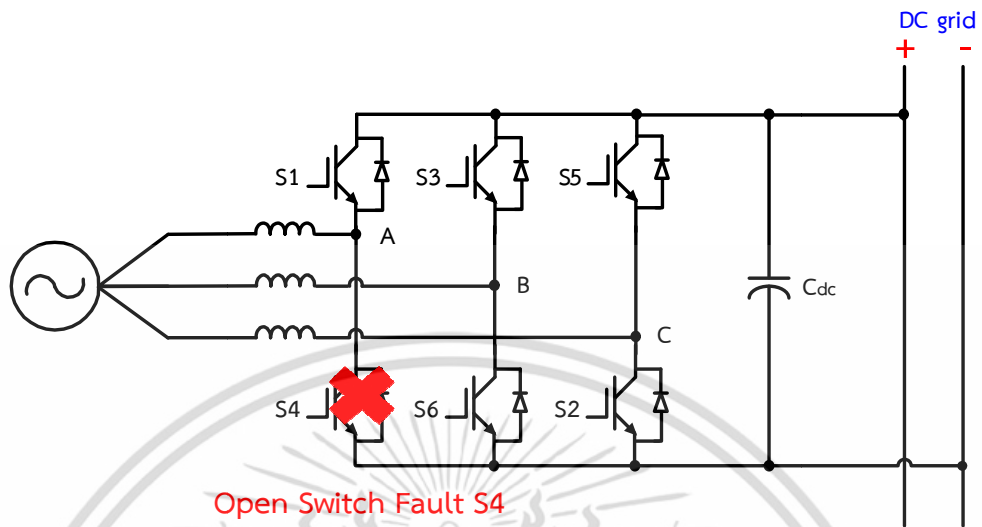
รูปที่ 3.16 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S5



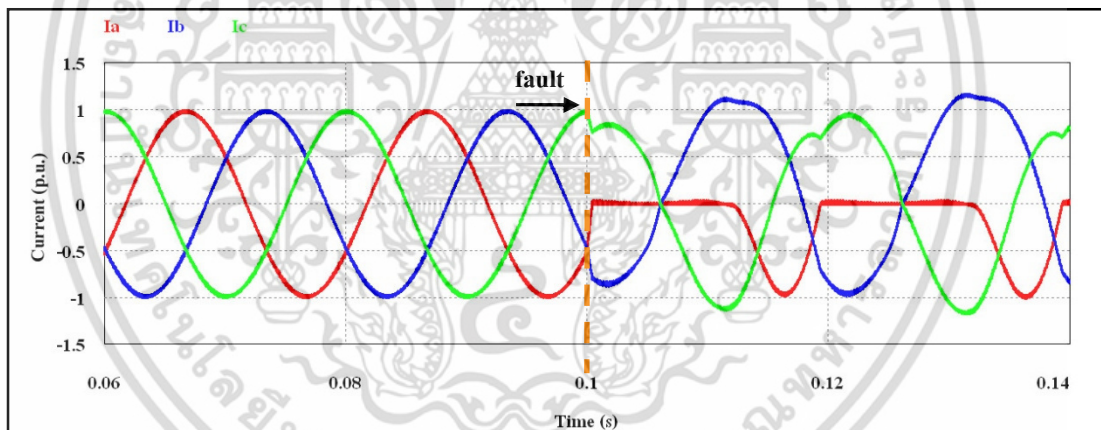
รูปที่ 3.17 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 สถานะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S4



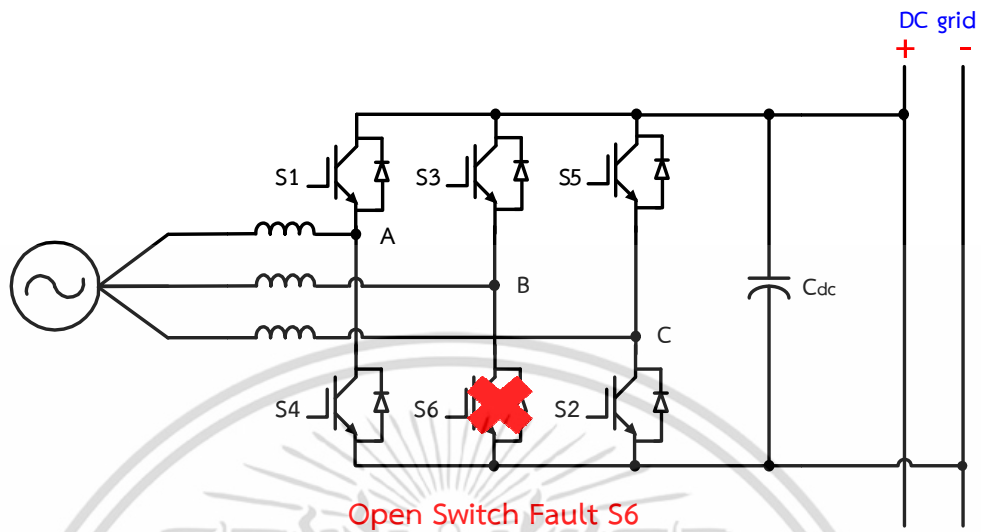
รูปที่ 3.18 สถานะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S4



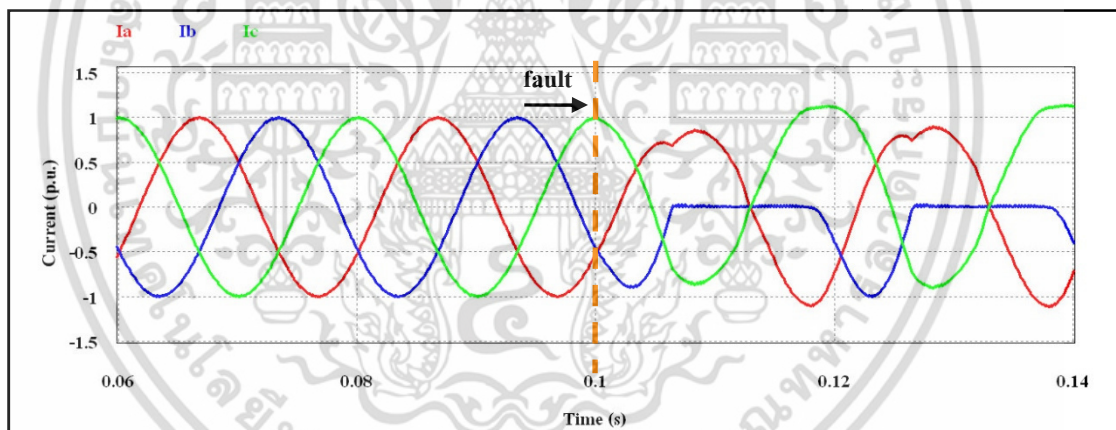
รูปที่ 3.19 กระแสในสถานะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S6



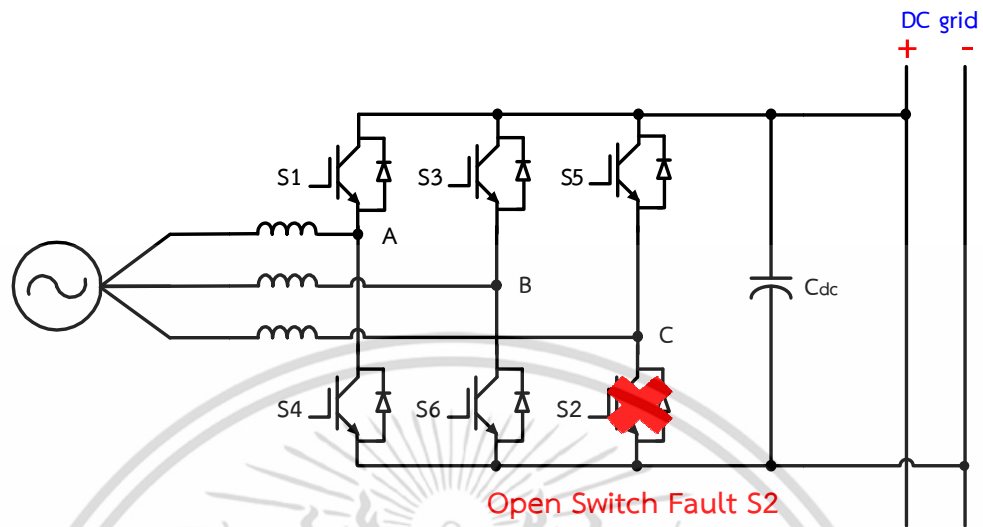
รูปที่ 3.20 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S6



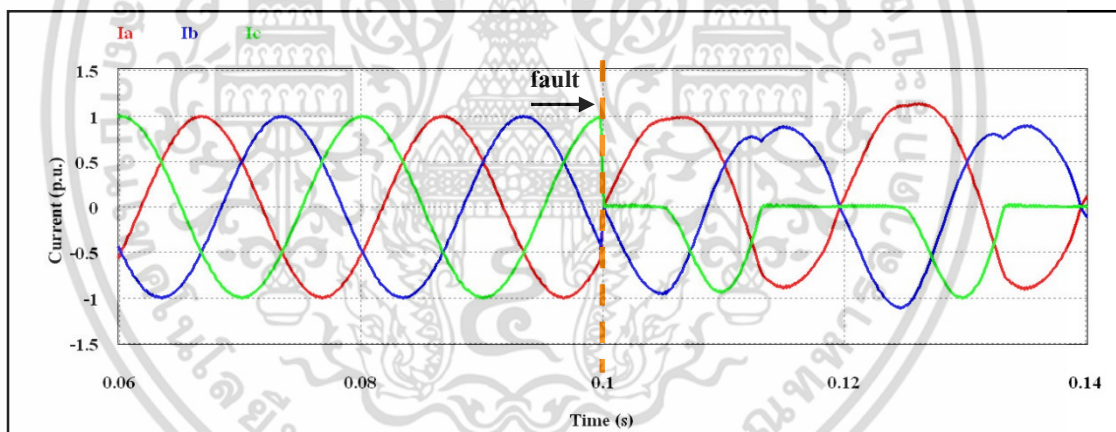
รูปที่ 3.21 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S2



รูปที่ 3.22 สภาวะการทำงานของอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S2



รูปที่ 3.23 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S2

สำหรับเทคนิควิธีการที่ใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์นั้น ได้มีการศึกษาแนะนำไว้ด้วยกันมากมายหลายวิธี ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เทคนิควิธีการวินิจฉัยฟอลต์ที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาพบว่ามี การนำเสนอวิธีการวินิจฉัยฟอลต์แบบสวิตช์เปิดวงจร [15 – 26] ที่ใช้เทคนิควิธีการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่น่าสนใจมีดังต่อไปนี้

- Park's Vector Method [15, 21]
- Normalized DC Current Method [23]
- Slope Method [18, 19]
- Simple DC Current Method [16, 25]
- Modified Normalized DC Current Method [16, 25]
- Absolute Normalized DC Current [26]

3.4.1 วิธี Park's Vector Method [15, 21]

วิธีนี้จะสามารถระบุตำแหน่งของสวิตช์ที่เกิดฟอลต์ได้โดยพิจารณาเวกเตอร์ที่เรียกว่า Park's Vector ซึ่งนำเสนอโดย Mendes [15] โดยจะหาค่าเฉลี่ยที่มากกว่า 1 คาบ ตามสมการที่ (3.4) เพื่อใช้ในการคำนวณองค์ประกอบโดยตรงของกระแส โดยค่ากระแส Park's Vector ตามสมการที่ (3.2) และ (3.3) จะใช้ในการหาขนาดตามสมการที่ (3.5) และมุมตามสมการที่ (3.6) ในสภาวะปกติ นั้นขนาดจะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อเกิดฟอลต์ขนาดจะไม่เป็นศูนย์ ซึ่งจะสามารถระบุการเกิดฟอลต์โดยพิจารณาค่า μ ที่มีค่าเกินขอบเขตที่กำหนดไว้และระบุตำแหน่งได้จากมุม ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์โดยใช้วิธี Park's Vector Method

ตำแหน่งฟอลต์	ขนาด μ	มุม (องศา)
S1	Threshold	150 to 210
S2		210 to 270
S3		270 to 330
S4		330 to 30
S5		30 to 90
S6		90 to 150

$$I_\alpha = I_a, \quad (3.2)$$

$$I_\beta = \frac{I_b - I_c}{\sqrt{3}}, \quad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mu_v = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N I_v(k\tau), \quad (3.4)$$

$$\mu = |\bar{\mu}| = \sqrt{\mu_\alpha^2 + \mu_\beta^2}, \quad (3.5)$$

$$\arg\{\mu\} = \arctan\left(\frac{\mu_\beta}{\mu_\alpha}\right), \quad (3.6)$$

$$\frac{1}{f_{mains}} = N\tau, \quad (3.7)$$

$$v \in [\alpha, \beta], \quad (3.8)$$

3.4.2 วิธี Normalized DC Current Method

เนื่องจากวิธี Park's Vector Method มีข้อเสียคือการคำนวณจะขึ้นกับผลของโหลดองค์ประกอบโดยตรงที่คำนวณได้จากตามสมการที่ (3.3) ซึ่งจะเป็นกระแสที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นการที่จะทำให้วิธีการวินิจฉัยฟอลต์เป็นอิสระจากโหลด หรือภาระทางไฟฟ้านั้น จะทำการจัดรูปแบบ (normalized) องค์ประกอบของกระแสตรงแทน [23] โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ของฮาร์มอนิกอันดับที่หนึ่งของกระแสจะถูกคำนวณโดยค่าเฉลี่ยของ DFT ตามสมการที่ (3.10) และ (3.11)

สำหรับการระบุตำแหน่งสวิตช์ที่เกิดฟอลต์ ค่า γ_i จะถูกเปรียบเทียบกับ threshold ตามสมการที่ (3.12) และ (3.13) โดยใช้ตารางที่ 3.2 ซึ่งสามารถนำไปหาค่าตัวแปรวินิจฉัยได้ดังสมการที่ (3.9) ค่า threshold ที่ได้จากการทดลองโดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 0.45 [23]

ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์โดยใช้วิธี Normalized DC Current Method

ตำแหน่งฟอลต์	$d_{1,a}$	$d_{1,b}$	$d_{1,c}$	$d_{2,a}$	$d_{2,b}$	$d_{2,c}$
S1	1	0	0	1	0	0
S2	0	1	0	0	1	0
S3	0	0	1	0	0	1
S4	0	1	1	1	0	0
S5	1	0	0	0	1	0
S6	1	1	0	0	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\gamma_v = \frac{\mu_v}{\sqrt{a_{1,v}^2 + b_{1,v}^2}}, \quad (3.9)$$

$$a_{1,v} = \frac{2}{N} \sum_{k=i-N+1}^i I_v(k\tau) \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right), \quad (3.10)$$

$$b_{1,v} = \frac{2}{N} \sum_{k=i-N+1}^i I_v(k\tau) \sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right), \quad (3.11)$$

$$d_{1,i} = \begin{cases} 1: \gamma_i > 0 \\ 0: \gamma_i \leq 0 \end{cases}, \quad (3.12)$$

$$d_{2,i} = \begin{cases} 1: |\gamma_i| > 0.45 \\ 0: |\gamma_i| \leq 0.45 \end{cases}, \quad (3.13)$$

$$v = [a, b, c], \quad (3.14)$$

3.4.3 วิธี Slope Method

วิธี Slope Method นี้ได้นำเสนอโดย Peugeot [18, 19] ที่ใช้ความชันของเส้นบ่งชี้ในระนาบเชิงซ้อนในการตรวจจับ โดยเส้นบ่งชี้จะถูกคำนวณโดยการใช้การแปลง Park's Vector ตามสมการที่ (3.1) และ (3.2) ของกระแสไลน์ โดยที่ส่วนที่เป็นเส้นตรงของเส้นบ่งชี้จะมีลักษณะเฉพาะในแต่ละเฟสที่เกิดฟอลต์ ความชันที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ (3.15) เมื่อนำเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่แสดงในตาราง จะแสดงให้เห็นว่าช่วงหนึ่งในสี่ของค่าต่อเนื่องที่ไม่เปลี่ยนแปลงสามารถระบุการเกิดฟอลต์ได้

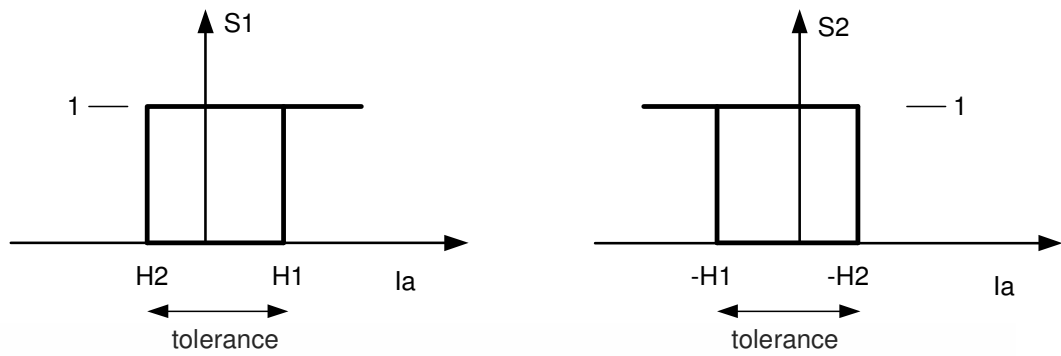
$$\sigma = \frac{\Delta i_\alpha}{\Delta i_\beta}, \quad (3.15)$$

ตารางที่ 3.3 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์โดยใช้วิธี Slope Method

Faulty phase	Phase U	Phase V	Phase W
σ	0	$\sqrt{3}$	$-\sqrt{3}$

เพื่อที่จะระบุตำแหน่งของสวิตช์ที่เกิดฟอลต์ จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบว่ากระแสในเฟสที่เกิดฟอลต์นั้นเป็นบวกหรือลบ โดยสามารถยกตัวอย่างการทำงานของ Schmitt-trigger เพื่อที่จะตรวจดูกระแส ดังแสดงในรูปที่ 3.24 วิธีการนี้จะทำให้สามารถระบุตำแหน่งสวิตช์ที่เกิดฟอลต์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 Hysteresis ในการตรวจจับกระแสสำหรับวิธี Slope Method

3.4.4 วิธี Simple Direct Current Method

วิธีที่ง่ายและสะดวกสำหรับใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์อีกวิธีหนึ่ง คือ Simple DC Current method [16, 25] เป็นวิธีที่ใช้อุปกรณ์กระแสตรง ในการคำนวณตามสมการที่ (3.3) สำหรับเฟสแต่ละเฟส จะไม่มีการ transformations หรือ normalization โดยที่องค์ประกอบกระแสตรงขนาดใหญ่ของทั้งสามเฟสจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่า threshold ในตารางที่ 3.4 ซึ่งทำให้สามารถระบุสวิตช์ที่เกิดฟอลต์ได้

ตารางที่ 3.4 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์โดยใช้วิธี Simple Direct Current Method

ตำแหน่งฟอลต์	μ_a	μ_b	μ_c
S1	$> \delta$		
S2		$> \delta$	
S3			$> \delta$
S4	$< -\delta$		
S5		$< -\delta$	
S6			$< -\delta$

3.4.5 วิธี Modified Normalized DC Current Method

เนื่องจาก วิธี Normalized DC Current Method มีข้อเสียเปรียบบางอย่างเมื่อมีการควบคุมแบบลูปปิด (Closed loop control) ดังนั้นจึงมีการนำเสนอการปรับเปลี่ยนที่ทำให้ใช้งานง่ายขึ้น Modified Normalized DC Current method [16, 25] จะใช้ขั้นตอนวิธีการเหมือนกับ Normalized DC Current method แต่ใช้เงื่อนไขที่น้อยกว่าเพื่อระบุสวิตช์ที่เกิดฟอลต์ ดังแสดงในตารางที่ 3.5 ช่องว่างในตารางหมายถึงสถานะที่ไม่เกี่ยวข้อง โดยจะมีเพียงค่าสัมบูรณ์ γ_a , γ_b และ

γ_c ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะค่าที่ใหญ่ที่สุดเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์โดยใช้วิธี Modified Normalized DC Current Method

ตำแหน่งฟอลต์	$d_{1,a}$	$d_{1,b}$	$d_{1,c}$	$d_{2,a}$	$d_{2,b}$	$d_{2,c}$
S1	1			1		
S2		1			1	
S3			1			1
S4	0			1		
S5		0			1	
S6			0			1

สำหรับการคำนวณค่า γ_v สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.16) – (3.22)

$$\gamma_v = \frac{\mu_v}{I_{1,v}}, \quad (3.16)$$

$$\mu_v = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N I_v(k\tau), \quad (3.17)$$

$$I_{1,v} = a_{1,v} \cos\left(\frac{2\pi}{T} k\tau\right) + b_{1,v} \sin\left(\frac{2\pi}{T} k\tau\right), \quad (3.18)$$

$$a_{1,v} = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N I_v(k\tau) \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right), \quad (3.19)$$

$$b_{1,v} = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N I_v(k\tau) \sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right), \quad (3.20)$$

$$v \in [a, b, c], \quad (3.21)$$

$$\frac{1}{f} = N\tau, \quad (3.22)$$

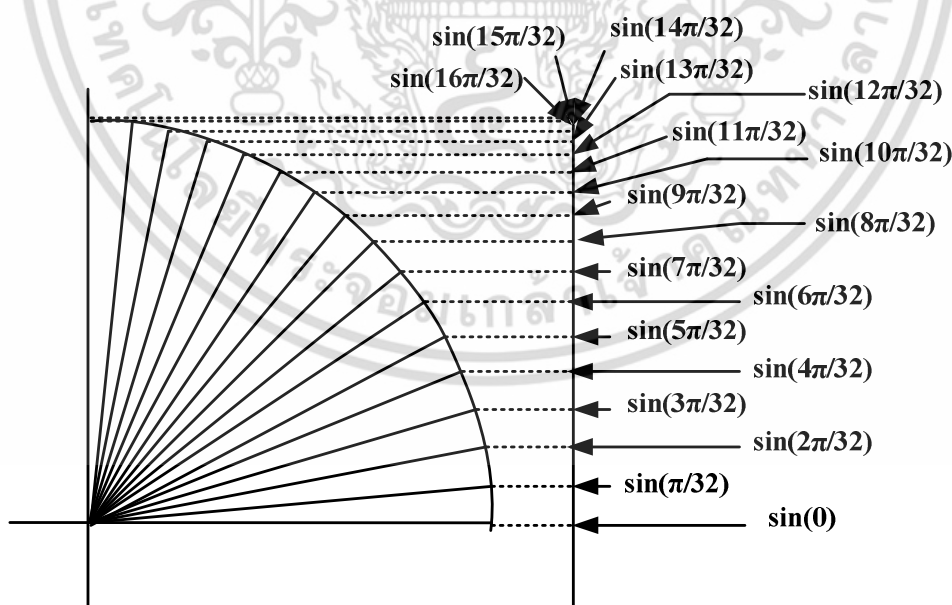
หากไม่รวมถึงวิธี slope method ในแต่ละวิธีจะขึ้นอยู่กับวิธีการคำนวณองค์ประกอบของกระแส และหรือองค์ประกอบพื้นฐานของเวกเตอร์เพียง 1 เฟสจาก 3 เฟส หรือทั้ง 3 เฟส และกระแสตรงนี้จะนำมาใช้คำนวณค่าดัชนีการวินิจฉัย โดยที่เทคนิค recursive moving average จะถูกใช้สำหรับคำนวณหาดัชนีวินิจฉัย ในขณะที่วิธี slope method นั้นจะไม่สามารถใช้ในการตรวจจับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลต์ได้ดีเท่าไรนัก [16, 25] และยังใช้เวลาในการตรวจจับพอลต์นานกว่าวิธีอื่น ๆ เนื่องจาก slope method จะมีค่าบางค่าที่อยู่ในย่านที่เกิดพอลต์ภายใต้เงื่อนไขสภาวะปกติได้ [16, 25] สำหรับวิธี Modified Normalized DC Current ถือว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งวิธีนี้มีการนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Abramik [23] และมีการปรับปรุงแก้ไขในภายหลังโดย Rothenhagen และ Fuchs [24] โดยวิธีนี้จะใช้ค่า moving average ของกระแสไลน์ เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการวินิจฉัย เพื่อให้ตัวแปรนี้เป็นอิสระจากโหลด และค่า moving average จะต้องถูกปรับโดยองค์ประกอบพื้นฐานของกระแส ซึ่งหมายถึง DFT จะมีความซับซ้อนของโปรแกรม และใช้เวลาในการประมวลผลนานขึ้น

3.4.6 วิธี Absolute Normalized DC Current

จากการศึกษาวิธี Normalized DC Current และวิธี Modified Normalized DC Current วิธีนี้จะใช้เวลาในการวินิจฉัยพอลต์นานและต้องใช้ DFT ในการคำนวณ ดังนั้นเพื่อลดการทำงานของ DSP จึงถูกพัฒนาแก้ไขด้วยวิธี Absolute Normalized DC Current เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว

สำหรับวิธี Absolute Normalized DC Current นี้ นำเสนอโดย W. Sae-Kok และ D. M. Grant [26] โดยที่สัญญาณจะถูกสุ่มมาเป็น N ครั้งในหนึ่งคาบเวลาด้วยระยะห่างเชิงมุมคงที่ระหว่างตัวอย่างการสุ่ม (Sample) ดังแสดงในรูปที่ 3.25 ในระหว่างเกิดพอลต์ครึ่งลูกคลื่นวงกลมหนึ่งหน่วย จะแบ่งออกเป็น 4 เซกเตอร์ และจะพิจารณาเฉพาะเซกเตอร์แรก ดังแสดงในรูปที่ 3.25 โดยในแต่ละเซกเตอร์จะมี 16 ตัวอย่างการสุ่ม (Sample) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $\sin(2m\pi / N)$ โดยที่ m คือ 1, 2, 3, ... , 16 และ N คือ 1, 2, 3, ... , 64



รูปที่ 3.25 เซกเตอร์แรกของวงกลมหนึ่งหน่วยสำหรับการคำนวณกระแสพอลต์

วิธี Absolute Normalized DC Current [26] นี้จะคล้ายกับวิธี Normalized DC Current แต่จะแทนการใช้ตัวแปรองค์ประกอบพื้นฐานที่ทำการจัดรูปแบบ (normalized) ด้วยการใช้ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของกระแสในแต่ละเฟสในขณะที่เกิดฟอลต์ โดยกระแสฟอลต์จะเกิดขึ้นเพียงครึ่งลูกคลื่น ซึ่งวิธีการนี้จะมีการคำนวณค่าสัมบูรณ์เพียงอย่างเดียว และจะใช้เวลาคำนวณน้อยกว่าและค่าสิ่งที่ใช้ในการตรวจจับฟอลต์จะมีขนาดเล็กกว่าด้วย ซึ่งการกำหนดค่าการฟุ้งเกิน (Threshold) ไว้ที่ค่า 0.65 นั้นถือว่ามีความเหมาะสมทั้งการจำลองและการทดลอง [26] ซึ่งจะนำมาใช้เป็นค่าการฟุ้งเกิน (Threshold) ของค่าดัชนีวินิจฉัย ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ด้วย โดยสามารถคำนวณค่าดัชนีวินิจฉัยได้ดังสมการที่ (3.23) – (3.25)

$$\lambda_v = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |I_v(k\tau)|, \quad (3.23)$$

$$\mu_v = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N I_v(k\tau), \quad (3.24)$$

$$\xi_v = \frac{\mu_v}{\lambda_v}, \quad (3.25)$$

โดยที่ ξ_v คือ ตัวแปรดัชนีวินิจฉัยของแต่ละเฟส
 I_v คือ กระแสของแต่ละเฟส
 k คือ 1, 2, 3, ..., N
 τ คือ คาบของการสุ่ม
 v คือ เฟส a, b และ c

เมื่อ ξ_v คือ ตัวแปรวินิจฉัยสำหรับวิธี Absolute Normalized DC Current ในแต่ละเฟส จากการศึกษาพบว่าการจำลองให้สวิตช์ตัวบนในเฟส A เปิดวงจร ดังนั้นจึงมีการสูญเสียด้านบวกไปครึ่งลูกคลื่น ค่าของ ξ_v หลังจากเกิดฟอลต์เปิดวงจร ค่าของ ξ_v ในเฟส A จะเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ และจะอ้อมตัวในช่วง +1 และ -1 ในขณะที่ค่าของ ξ_v ในเฟส B และ C จะยังคงอยู่ไม่เกินค่าที่กำหนด จึงสรุปได้ว่าค่าของ ξ_v สามารถใช้เป็นตัวแปรการวินิจฉัยในลักษณะเดียวกันกับค่าของ γ_v ของวิธี Modified Normalized DC Current Method

เนื่องจากค่าดัชนีวินิจฉัย ξ_v ที่คำนวณนั้น คำนวณบนพื้นฐานของค่ากระแสตามสมการดังกล่าวข้างต้น ซึ่งแยกคำนวณในแต่ละเฟส กล่าวคือ เฟส A, B และ C ทำให้ค่าดัชนีวินิจฉัยที่คำนวณได้จะเป็นค่าดัชนีวินิจฉัยของแต่ละเฟส และเมื่อค่าดัชนีวินิจฉัยเกินค่าที่กำหนดให้เป็นค่าขอบเขตการฟุ้งเกิน (Threshold) จึงทำให้สามารถระบุการเกิดฟอลต์ได้ว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากเฟสใด โดยค่าดัชนีวินิจฉัยที่คำนวณได้นั้นจะมีค่าบวก (+) หรือลบ (-) ขึ้นอยู่กับว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตช์ตัวบนหรือตัวล่างในเฟสนั้น ๆ และขึ้นอยู่กับโหมดการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ในขณะนั้นด้วย ว่า คอนเวอร์เตอร์อยู่ในโหมดการทำงานแบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter) หรืออยู่ในโหมดการทำงานแบบเรียงกระแส (Rectifier) เนื่องจากการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 2 โหมดจะอ้างอิงทิศทางการไหลของกระแสและกำลังไฟฟ้าที่ตรงกันข้ามกัน ดังนั้นผลของการคำนวณค่าดัชนีวินิจัยที่มีค่าเป็นบวก (+) หรือลบ (-) จึงขึ้นอยู่กับโหมดการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ด้วย กล่าวคือหากคอนเวอร์เตอร์ทำงานอยู่ในโหมดอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ค่าดัชนีวินิจัยที่คำนวณได้มีค่าเป็นบวก (+) จะระบุได้ว่าพอลต์ที่เกิดขึ้นนั้น เกิดขึ้นที่สวิตช์ตัวล่างของเฟสนั้น ๆ แต่ถ้าหากค่าดัชนีวินิจัยที่คำนวณได้มีค่าเป็นลบ (-) จะระบุได้ว่าพอลต์ที่เกิดขึ้นนั้น เกิดขึ้นที่สวิตช์ตัวบนของเฟสนั้น ๆ ในทางตรงกันข้ามหากคอนเวอร์เตอร์ทำงานอยู่ในโหมดเรียงกระแส (Rectifier) ค่าดัชนีวินิจัยที่คำนวณได้เป็นบวก (+) จะระบุได้ว่าพอลต์ที่เกิดขึ้นนั้น เกิดขึ้นที่สวิตช์ตัวบนของเฟสนั้น ๆ แต่ถ้าหากค่าดัชนีวินิจัยที่คำนวณได้เป็นลบ (-) จะระบุได้ว่าพอลต์ที่เกิดขึ้นนั้น เกิดขึ้นที่สวิตช์ตัวล่างของเฟสนั้น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การกำหนดทิศทางการไหลของกระแสอ้างอิง และรูปแบบวงจรด้วย ซึ่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้อ้างอิงการทำงาน ของคอนเวอร์เตอร์ในโหมดเรียงกระแสหรือที่เรียกว่า เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ และกำหนดทิศทางการไหลของกระแสจากฝั่งไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงให้มีค่าเป็นบวก (+) โดยสามารถแสดงตำแหน่งการเกิดพอลต์ได้ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ตำแหน่งการเกิดพอลต์โดยใช้วิธี Absolute Normalized DC Current

โหมดการทำงาน	เฟส	ตำแหน่งพอลต์		เปรียบเทียบค่า
อินเวอร์เตอร์ (Inverter)	A	S1	(ตัวบน)	$\zeta_a < -\text{Threshold}$
		S4	(ตัวล่าง)	$\zeta_a > \text{Threshold}$
	B	S3	(ตัวบน)	$\zeta_b < -\text{Threshold}$
		S6	(ตัวล่าง)	$\zeta_b > \text{Threshold}$
	C	S5	(ตัวบน)	$\zeta_c < -\text{Threshold}$
		S2	(ตัวล่าง)	$\zeta_c > \text{Threshold}$
เรียงกระแส (Rectifier)	A	S1	(ตัวบน)	$\zeta_a > \text{Threshold}$
		S4	(ตัวล่าง)	$\zeta_a < -\text{Threshold}$
	B	S3	(ตัวบน)	$\zeta_b > \text{Threshold}$
		S6	(ตัวล่าง)	$\zeta_b < -\text{Threshold}$
	C	S5	(ตัวบน)	$\zeta_c > \text{Threshold}$
		S2	(ตัวล่าง)	$\zeta_c < -\text{Threshold}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้หากกำหนดให้พิจารณาการทำงานของคอนเวอร์เตอร์อยู่ในโหมดการทำงานแบบเรียงกระแส (Rectifier) ซึ่งสามารถจำแนกเหตุการณ์สำหรับการพิจารณาได้ออกเป็น 3 เหตุการณ์ คือ สภาวะปกติ สภาวะเกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์ตัวบน และสภาวะเกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์ตัวล่าง

ในสภาวะปกติ นั้น กระแสทั้ง 3 เฟส สามารถไหลผ่านสวิตช์กำลังรวมถึงไดโอดที่ต่อขนานอยู่กับสวิตช์ได้อย่างปกติ การคำนวณค่าดัชนีวินิจัย ζ_v ตามสมการที่ (3.23) – (3.25) จะได้ค่าดัชนีวินิจัย $\zeta_a, \zeta_b, \zeta_c$ ที่มีค่าเป็น 0 หรือค่าเข้าใกล้ 0 ดังนั้นการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในสภาวะปกติ จึงไม่พบการเกิดฟอลต์ขึ้น

ในสภาวะเกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์ตัวบน โดยสมมติให้เกิดขึ้นที่สวิตช์เฟส A ตัวบน และกำหนดให้คอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดเรียงกระแส กระแสจะไม่สามารถไหลผ่านสวิตช์กำลังได้ การคำนวณค่าดัชนีวินิจัย ζ_v ตามสมการที่ (3.23) – (3.25) จะได้ค่าดัชนีวินิจัย $\zeta_a, \zeta_b, \zeta_c$ ที่มีค่าไม่เป็น 0 และค่า ζ_a จะมีค่าเกินค่าขอบเขตการพุ่งเกิน (Threshold) ที่ตั้งค่าไว้ โดยค่าดัชนีวินิจัยที่คำนวณได้เป็นบวก (+) นั่นคือ $\zeta_a > \text{Threshold}$ ซึ่งจะสามารถระบุตำแหน่งการเกิดฟอลต์ได้ว่าเกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์ S1 ดังตารางที่ 3.6

ในสภาวะเกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์ตัวล่าง โดยสมมติให้เกิดขึ้นที่สวิตช์เฟส A ตัวล่าง และกำหนดให้คอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดเรียงกระแส กระแสจะไม่สามารถไหลผ่านสวิตช์กำลังได้ การคำนวณค่าดัชนีวินิจัย ζ_v ตามสมการที่ (3.23) – (3.25) จะได้ค่าดัชนีวินิจัย $\zeta_a, \zeta_b, \zeta_c$ ที่มีค่าไม่เป็น 0 และค่า ζ_a จะมีค่าเกินค่าขอบเขตการพุ่งเกิน (Threshold) ที่ตั้งค่าไว้ โดยค่าดัชนีวินิจัยที่คำนวณได้เป็นลบ (-) นั่นคือ $\zeta_a < -\text{Threshold}$ ซึ่งจะสามารถระบุตำแหน่งการเกิดฟอลต์ได้ว่าเกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์ S4 ดังตารางที่ 3.6 เป็นต้น

3.5 บทสรุป

ในบทที่ 3 นี้จะนำเสนอในส่วนของลักษณะของการเกิดฟอลต์วงจรในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC Microgrid) และลักษณะของฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร รวมถึงเทคนิคและวิธีการในการวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ซึ่งจะมีเทคนิคและวิธีการที่ได้ทำการศึกษา มา ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะใช้เทคนิค Absolute Normalized DC Current สำหรับใช้ในการวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยสัญญาณกระแสที่ใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์จะถูกแปลงมาจากสัญญาณกระแสทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นสัญญาณกระแสที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุท ซึ่งวิธี Absolute Normalized DC Current จะสามารถช่วยลดระยะเวลาในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรลงได้

บทที่ 4

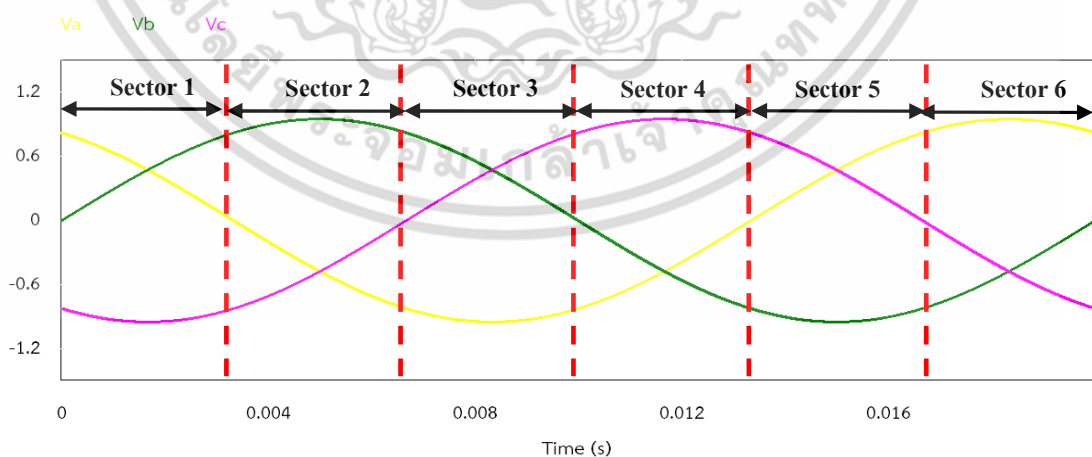
การสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ (Current Reconstruction)

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดและวิธีการสำหรับการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ (Current Reconstruction) โดยใช้สัญญาณกระแสเอาต์พุตของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง (DC link) เพื่อใช้สำหรับการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ซึ่งจะพื้นฐานในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบต่อไป

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าสามเฟสและสถานะการสวิตช์กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง

จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง [27-29] จะพบว่า กระแสไฟฟ้า 3 เฟสและสถานะการสวิตช์ของสวิตช์กำลังในคอนเวอร์เตอร์นั้นมีความสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในบัสกระแสตรง โดยที่สถานะการสวิตช์ในแต่ละเซกเตอร์นั้น สามารถแทนค่า “1” คือ สถานะที่สวิตช์ หรือไดโอดตัวบนที่ต่อขนานอยู่ทำงาน ในขณะที่แทนค่า “0” คือ สถานะที่สวิตช์ หรือไดโอดตัวล่างที่ต่อขนานอยู่ทำงาน ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ที่ทำงานในโหมดเรียงกระแส (Rectifier) หรือที่เรียกว่า เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC converter) ซึ่งสามารถแสดงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่คอนเวอร์เตอร์ในแต่ละเซกเตอร์ได้ ดังแสดงรูปที่ 4.1

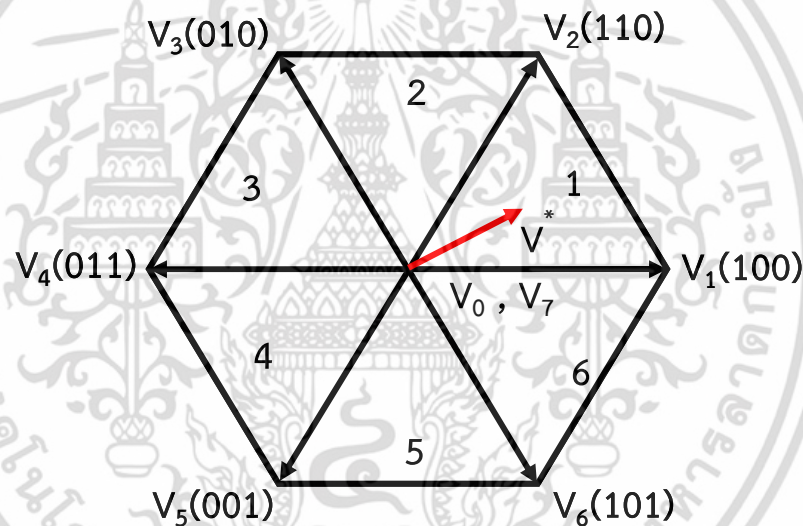


รูปที่ 4.1 สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่คอนเวอร์เตอร์ในแต่ละเซกเตอร์

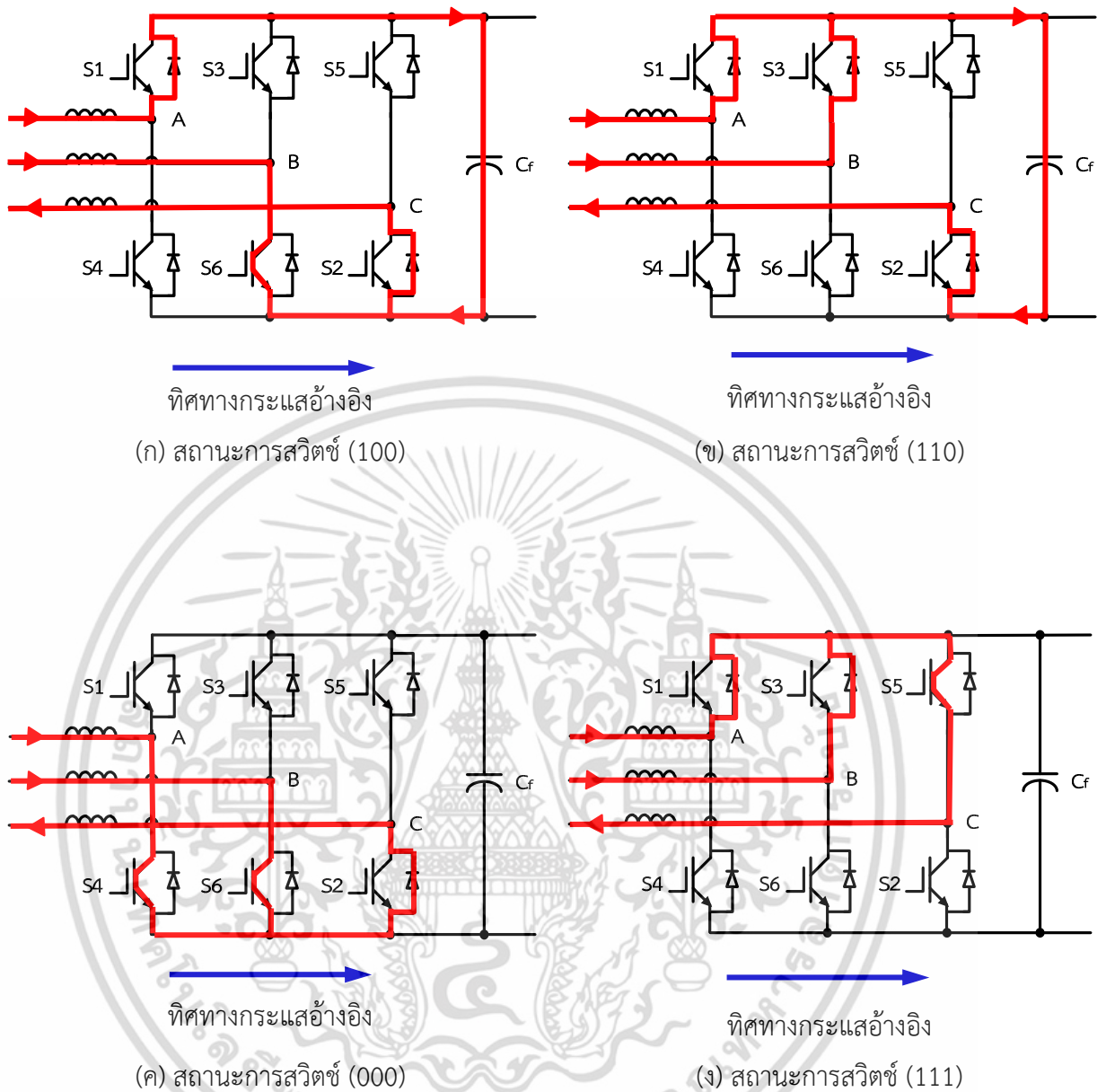
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การทำงานในเซกเตอร์ที่ 1

เมื่อเวกเตอร์ของแรงดันปรากฏในเซกเตอร์ที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เวกเตอร์ที่ทำงานจะประกอบด้วยเวกเตอร์ $V_1 = (100)$ และ $V_2 = (110)$ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าในเฟส A และเฟส B จะมีค่าเป็นบวก ส่วนแรงดันไฟฟ้าในเฟส C จะมีค่าเป็นลบ ดังนั้นเมื่อสถานะการสวิตช์เป็น 100 กระแสไฟฟ้าจะไหลจากเฟส A และเฟส B ไปสู่เฟส C ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้างี้แสดงในรูปที่ 4.3 (ก) โดยจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงคือ กระแสไฟฟ้าจากเฟส A ในทิศทางบวก (+i_a) และเมื่อสถานะการสวิตช์ เปลี่ยนเป็น 110 กระแสไฟฟ้าก็ยังคงไหลจากเฟส A และเฟส B ไปสู่เฟส C เหมือนเดิม ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้างี้แสดงในรูปที่ 4.3 (ข) โดยจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงคือ กระแสไฟฟ้าจากเฟส C ในทิศทางลบ (-i_c) สำหรับสถานะการสวิตช์ 000 และ 111 จะไม่ปรากฏกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ค) และ (ง) ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 เวกเตอร์แรงดันเซกเตอร์ที่ 1

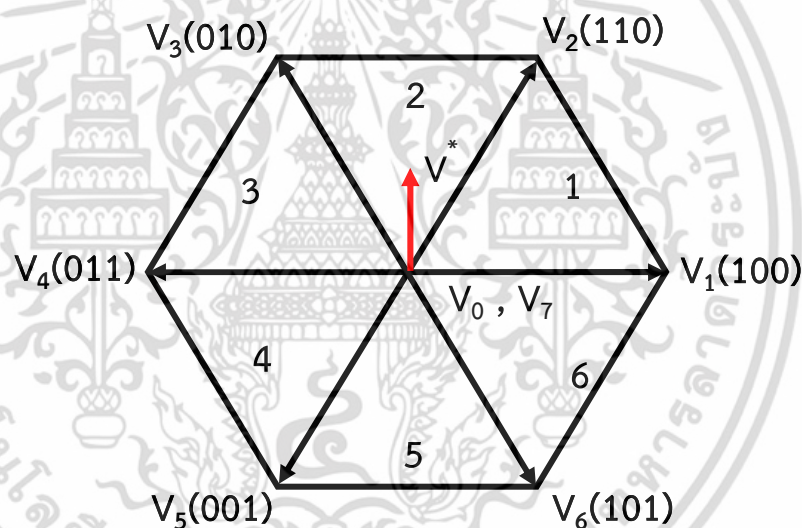


รูปที่ 4.3 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าของการทำงานในเซกเตอร์ที่ 1

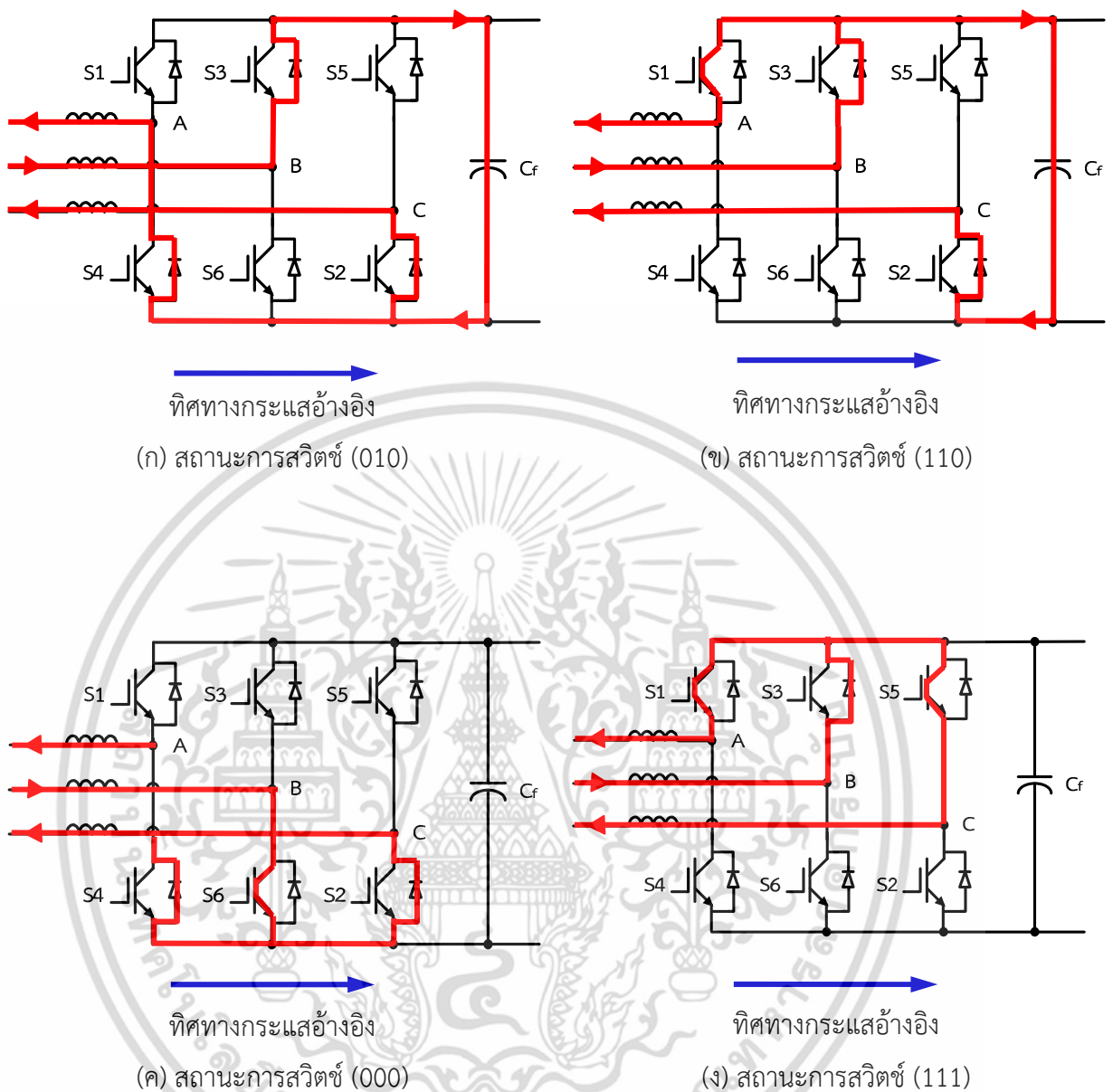
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทำงานในเซกเตอร์ที่ 2

เมื่อเวกเตอร์ของแรงดันปรากฏในเซกเตอร์ที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.4 เวกเตอร์ที่ทำงานจะประกอบด้วยเวกเตอร์ $V_3 = (010)$ และ $V_2 = (110)$ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าในเฟส A และเฟส C จะมีค่าเป็นลบ ส่วนแรงดันไฟฟ้าในเฟส B จะมีค่าเป็นบวก ดังนั้นเมื่อสถานะการสวิตช์เป็น 010 กระแสไฟฟ้าจะไหลจากเฟส B ไปสู่เฟส A และเฟส C ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้างี้แสดงในรูปที่ 4.5 (ก) โดยจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงคือ กระแสไฟฟ้าจากเฟส B ในทิศทางบวก (+i_b) และเมื่อสถานะการสวิตช์ เปลี่ยนเป็น 110 กระแสไฟฟ้าก็ยังคงไหลจากเฟส B ไปสู่เฟส A และเฟส C เหมือนเดิม ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้างี้แสดงในรูปที่ 4.5 (ข) โดยจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงคือ กระแสไฟฟ้าจากเฟส C ในทิศทางลบ (-i_c) สำหรับสถานะการสวิตช์ 000 และ 111 จะไม่ปรากฏกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ค) และ (ง) ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 เวกเตอร์แรงดันเซกเตอร์ที่ 2

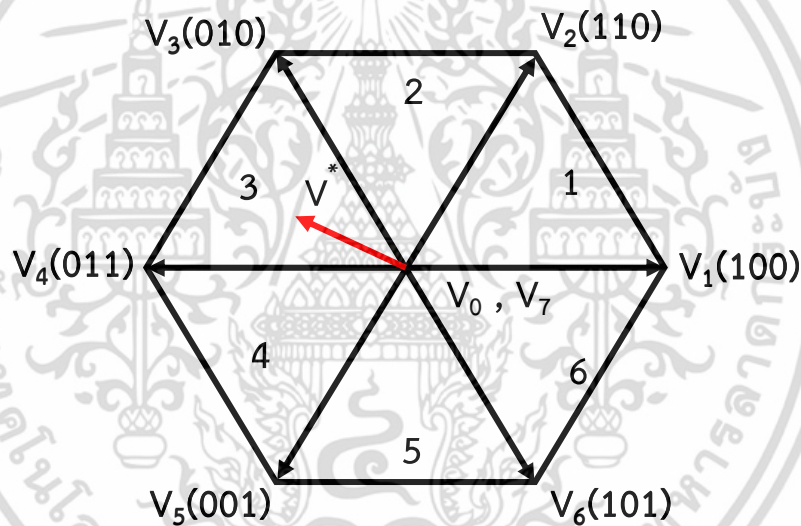


รูปที่ 4.5 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าของการทำงานในเซกเตอร์ที่ 2

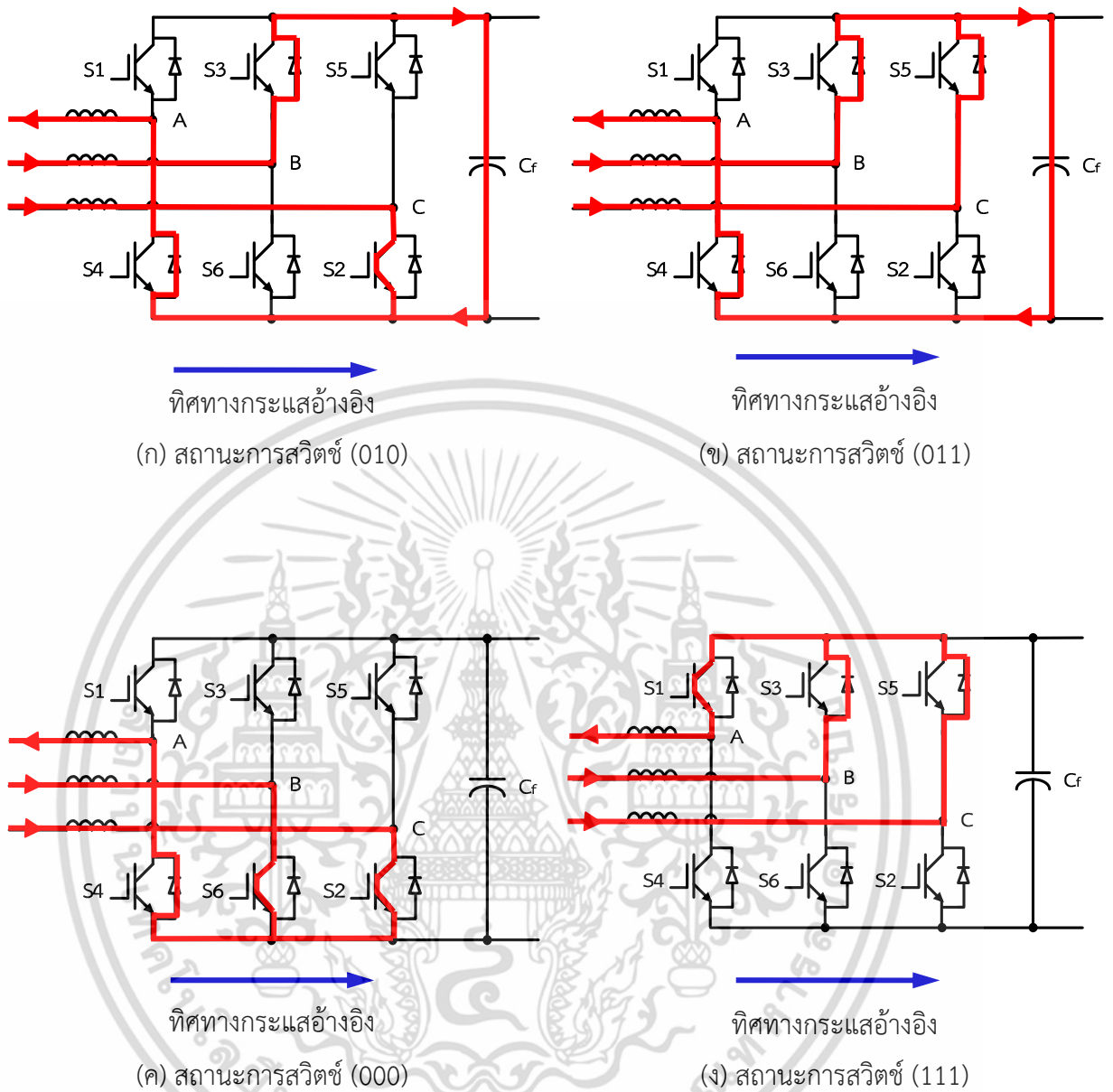
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทำงานในเซกเตอร์ที่ 3

เมื่อเวกเตอร์ของแรงดันปรากฏในเซกเตอร์ที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 เวกเตอร์ที่ทำงานจะประกอบด้วยเวกเตอร์ $V_3 = (010)$ และ $V_4 = (011)$ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าในเฟส B และเฟส C จะมีค่าเป็นบวก ส่วนแรงดันไฟฟ้าในเฟส A จะมีค่าเป็นลบ ดังนั้นเมื่อสถานะการสวิตช์เป็น 010 กระแสไฟฟ้าจะไหลจากเฟส B และเฟส C ไปสู่เฟส A ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้างี้แสดงในรูปที่ 4.7 (ก) โดยจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงคือ กระแสไฟฟ้าจากเฟส B ในทิศทางบวก ($+i_b$) และเมื่อสถานะการสวิตช์เปลี่ยน เป็น 011 กระแสไฟฟ้าก็ยังคงไหลจากเฟส B และเฟส C ไปสู่เฟส A เหมือนเดิม ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้างี้แสดงในรูปที่ 4.7 (ข) โดยจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงคือ กระแสไฟฟ้าจากเฟส A ในทิศทางลบ ($-i_a$) สำหรับสถานะการสวิตช์ 000 และ 111 จะไม่ปรากฏกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ค) และ (ง) ตามลำดับ



รูปที่ 4.6 เวกเตอร์แรงดันเซกเตอร์ที่ 3

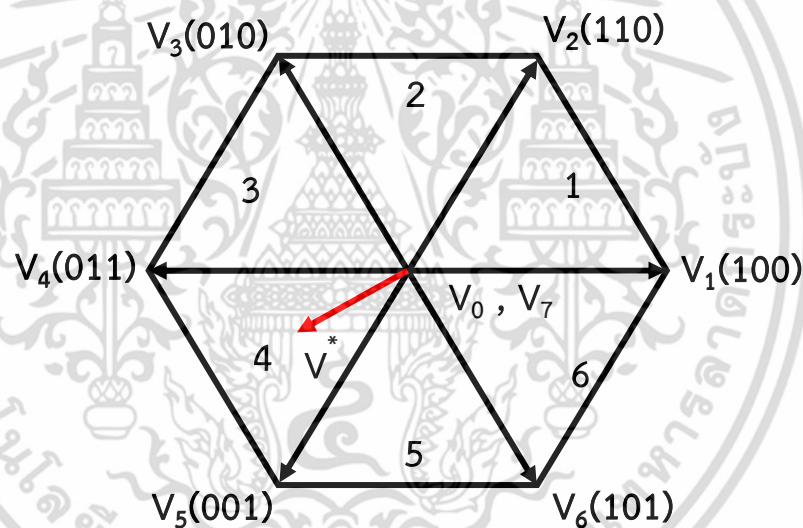


รูปที่ 4.7 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าของการทำงานในเซกเตอร์ที่ 3

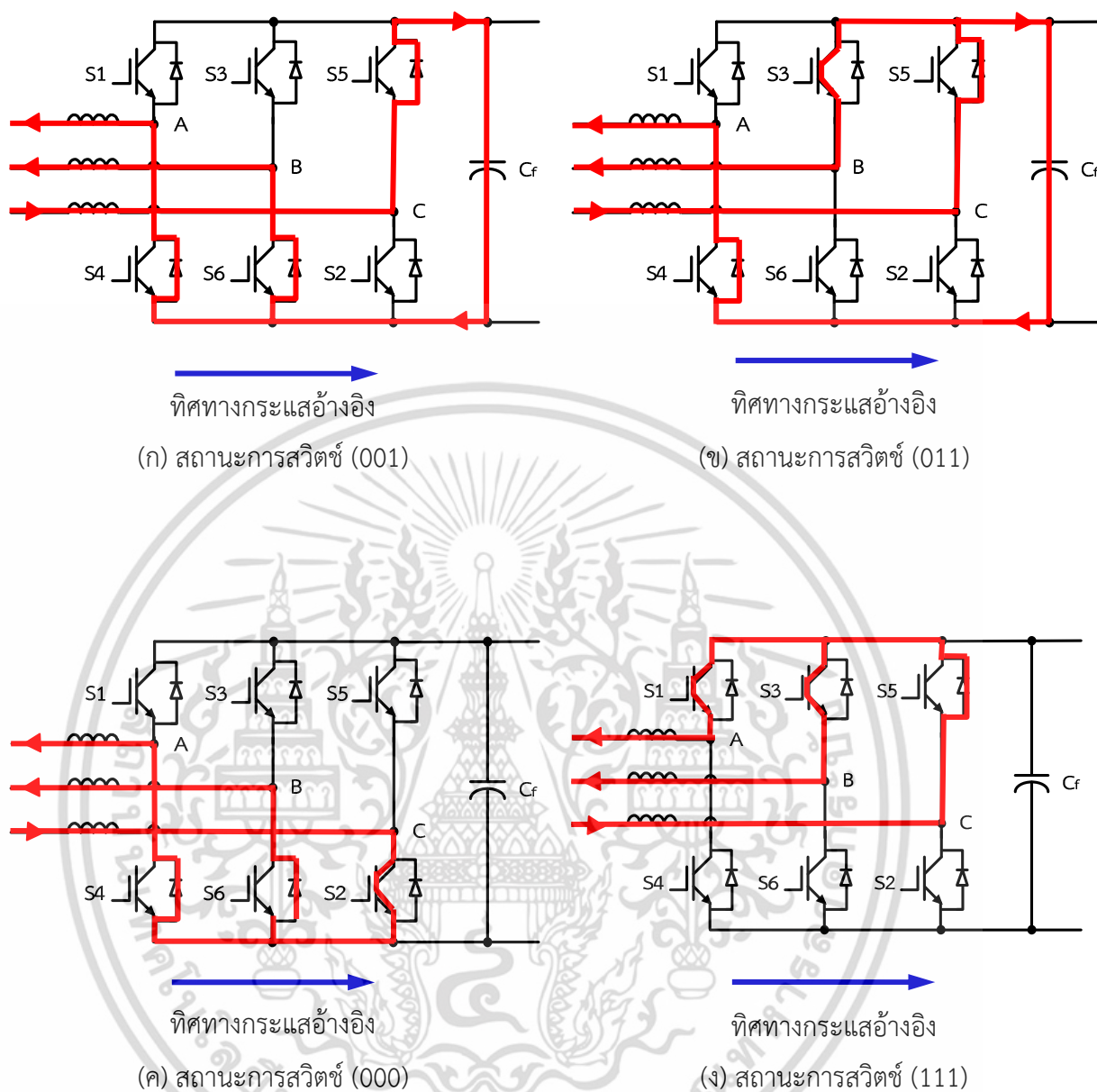
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การทำงานในเซกเตอร์ที่ 4

เมื่อเวกเตอร์ของแรงดันปรากฏในเซกเตอร์ที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.8 เวกเตอร์ที่ทำงานจะประกอบด้วยเวกเตอร์ $V_5 = (001)$ และ $V_4 = (011)$ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าในเฟส C จะมีค่าเป็นบวก ส่วนแรงดันไฟฟ้าในเฟส A และเฟส B จะมีค่าเป็นลบ ดังนั้นเมื่อสถานะการสวิตช์เป็น 001 กระแสไฟฟ้าจะไหลจากเฟส C ไปสู่เฟส A และเฟส B ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้างี้แสดงในรูปที่ 4.9 (ก) โดยจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงคือ กระแสไฟฟ้าจากเฟส C ในทิศทางบวก (+i_c) และเมื่อสถานะการสวิตช์ เปลี่ยนเป็น 011 กระแสไฟฟ้าก็ยังคงไหลจากเฟส C ไปสู่เฟส A และเฟส B เหมือนเดิม ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้างี้แสดงในรูปที่ 4.9 (ข) โดยจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงคือ กระแสไฟฟ้าจากเฟส A ในทิศทางลบ (-i_a) สำหรับสถานะการสวิตช์ 000 และ 111 จะไม่ปรากฏกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ค) และ (ง) ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 เวกเตอร์แรงดันเซกเตอร์ที่ 4

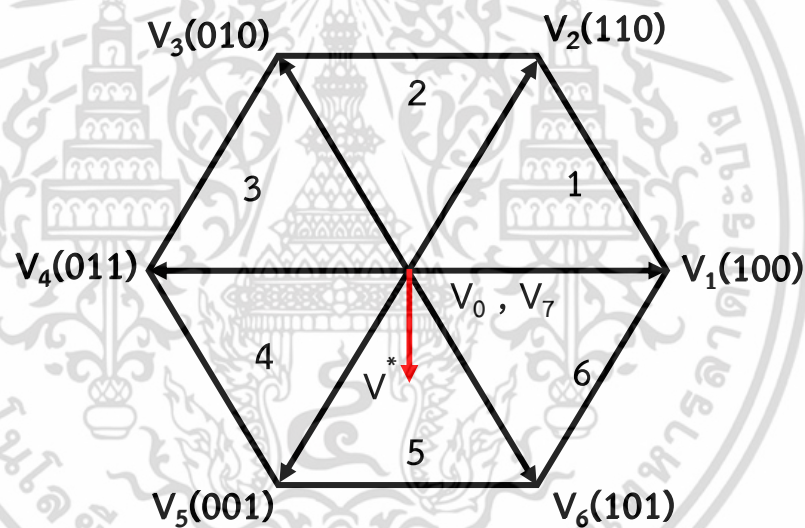


รูปที่ 4.9 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าของการทำงานในเซกเตอร์ที่ 4

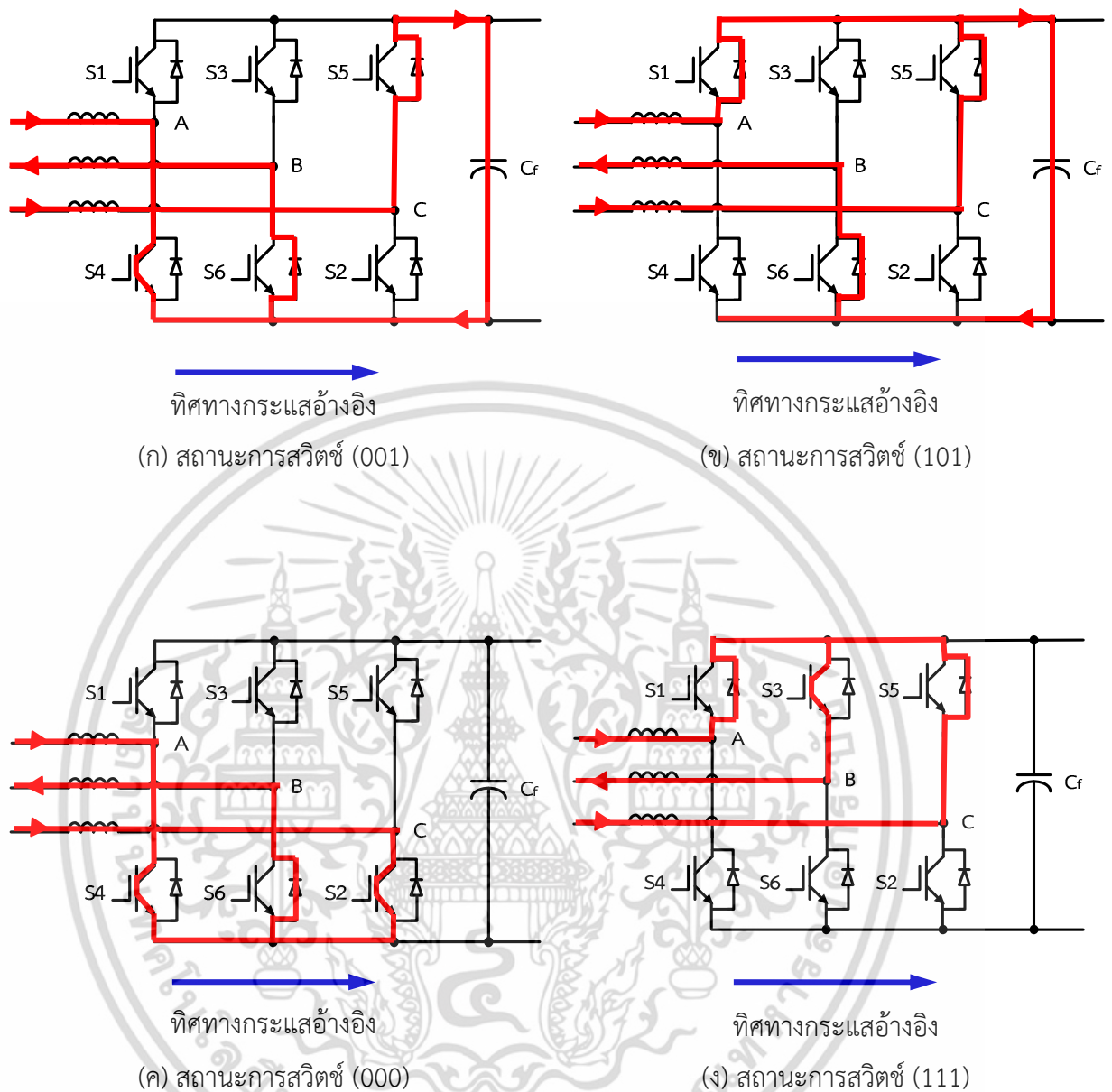
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การทำงานในเซกเตอร์ที่ 5

เมื่อเวกเตอร์ของแรงดันปรากฏในเซกเตอร์ที่ 5 ดังแสดงในรูปที่ 4.10 เวกเตอร์ที่ทำงานจะประกอบด้วยเวกเตอร์ $V_5 = (001)$ และ $V_6 = (101)$ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าในเฟส A และเฟส C จะมีค่าเป็นบวก ส่วนแรงดันไฟฟ้าในเฟส B จะมีค่าเป็นลบ ดังนั้นเมื่อสถานะการสวิตช์เป็น 001 กระแสไฟฟ้าจะไหลจากเฟส A และเฟส C ไปสู่เฟส B ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้างแสดงในรูปที่ 4.11 (ก) โดยจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงคือ กระแสไฟฟ้าจากเฟส C ในทิศทางบวก ($+i_c$) และเมื่อสถานะการสวิตช์ เปลี่ยนเป็น 101 กระแสไฟฟ้าก็ยังคงไหลจากเฟส A และเฟส C ไปสู่เฟส B เหมือนเดิม ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้างแสดงในรูปที่ 4.11 (ข) โดยจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงคือ กระแสไฟฟ้าจากเฟส B ในทิศทางลบ ($-i_b$) สำหรับสถานะการสวิตช์ 000 และ 111 จะไม่ปรากฏกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.11 (ค) และ (ง) ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 เวกเตอร์แรงดันเซกเตอร์ที่ 5

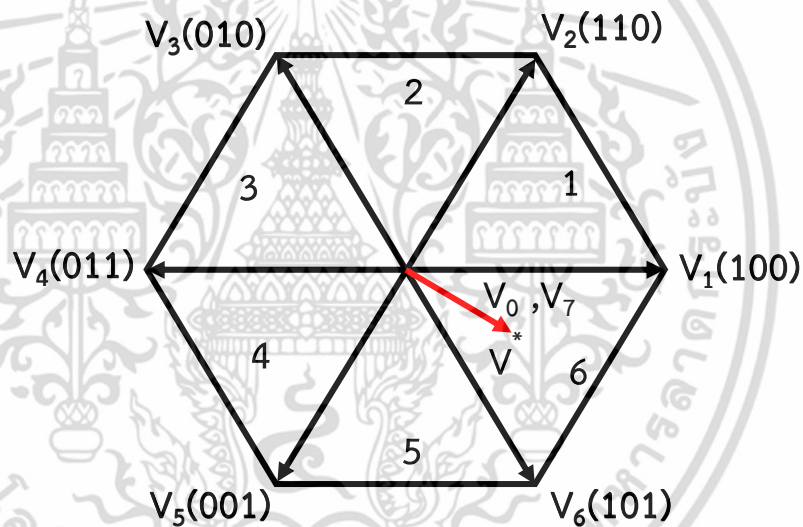


รูปที่ 4.11 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าของการทำงานในเซกเตอร์ที่ 5

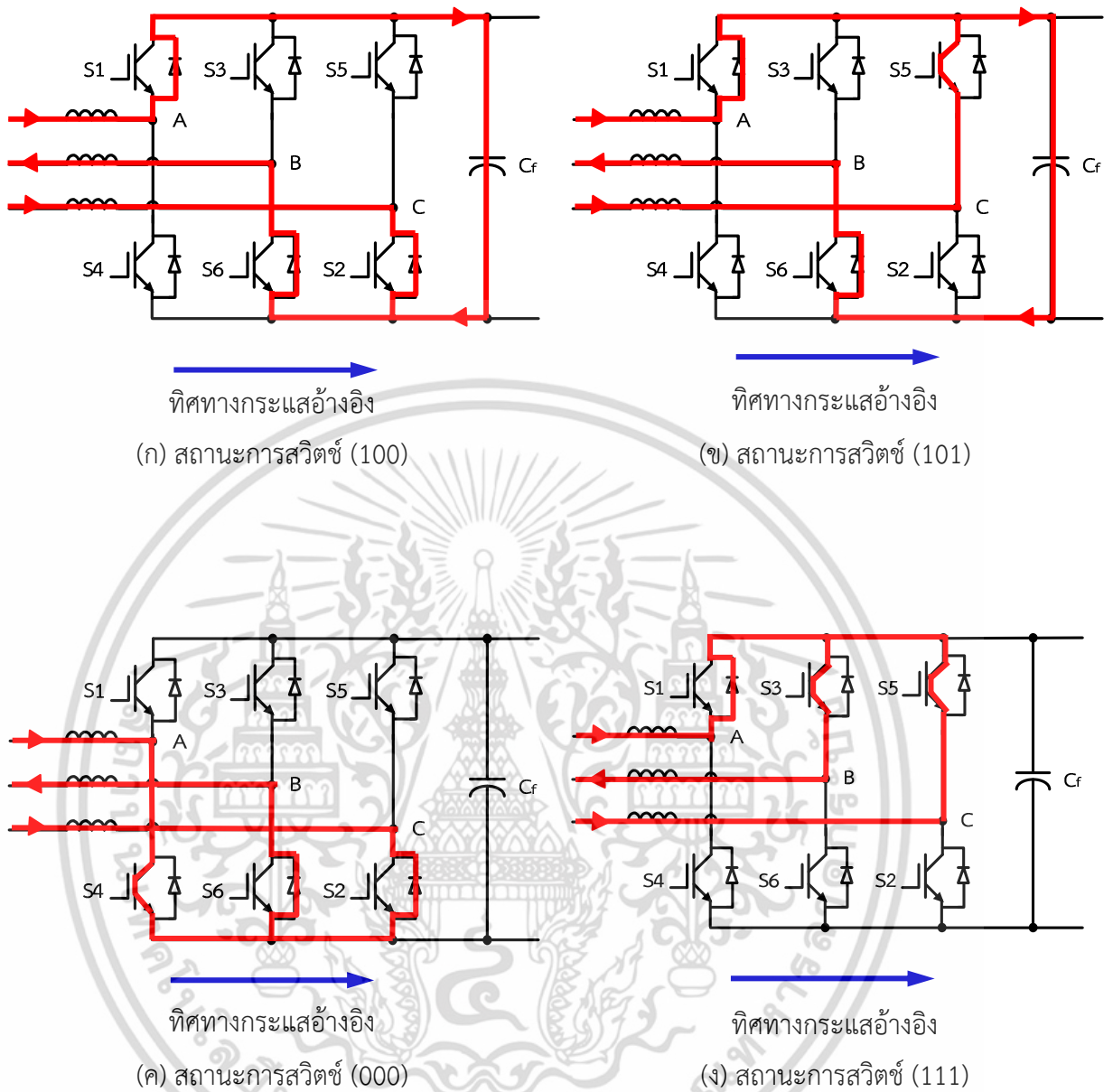
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 การทำงานในเซกเตอร์ที่ 6

เมื่อเวกเตอร์ของแรงดันปรากฏในเซกเตอร์ที่ 6 ดังแสดงในรูปที่ 4.12 เวกเตอร์ที่ทำงานจะประกอบด้วยเวกเตอร์ $V_1 = (100)$ และ $V_6 = (101)$ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 จะพบว่าแรงดันไฟฟ้าในเฟส A จะมีค่าเป็นบวก ส่วนแรงดันไฟฟ้าในเฟส B และเฟส C จะมีค่าเป็นลบ ดังนั้นเมื่อสถานะการสวิตช์เป็น 100 กระแสไฟฟ้าจะไหลจากเฟส A ไปสู่เฟส B และเฟส C ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้างี้แสดงในรูปที่ 4.13 (ก) โดยจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงคือ กระแสไฟฟ้าจากเฟส A ในทิศทางบวก ($+i_a$) และเมื่อสถานะการสวิตช์ เปลี่ยนเป็น 101 กระแสไฟฟ้าก็ยังคงไหลจากเฟส A ไปสู่เฟส B และเฟส C เหมือนเดิม ซึ่งทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้างี้แสดงในรูปที่ 4.13 (ข) โดยจะเห็นได้ว่ากระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงคือ กระแสไฟฟ้าจากเฟส B ในทิศทางลบ ($-i_b$) สำหรับสถานะการสวิตช์ 000 และ 111 จะไม่ปรากฏกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ค) และ (ง) ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 เวกเตอร์แรงดันเซกเตอร์ที่ 6



รูปที่ 4.13 ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าของการทำงานในเซกเตอร์ที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง (I_{dc}) กับ สถานะการสวิตช์ (Voltage Vector) และกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ทั้ง 8 สถานะการสวิตช์ สามารถสรุปเป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ดังกล่าวได้ดังตารางที่ 4.1 และเมื่อพิจารณาการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงในแต่ละเซกเตอร์การทำงานนั้นจะพบว่าสามารถทราบค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงเพียง 2 ค่าเท่านั้นในแต่ละการทำงาน แต่สามารถหาค่าที่เหลือได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ $i_a + i_b + i_c = 0$ ทำให้สามารถทราบค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้ทั้งหมด ซึ่งสามารถนำไปสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับได้ต่อไป

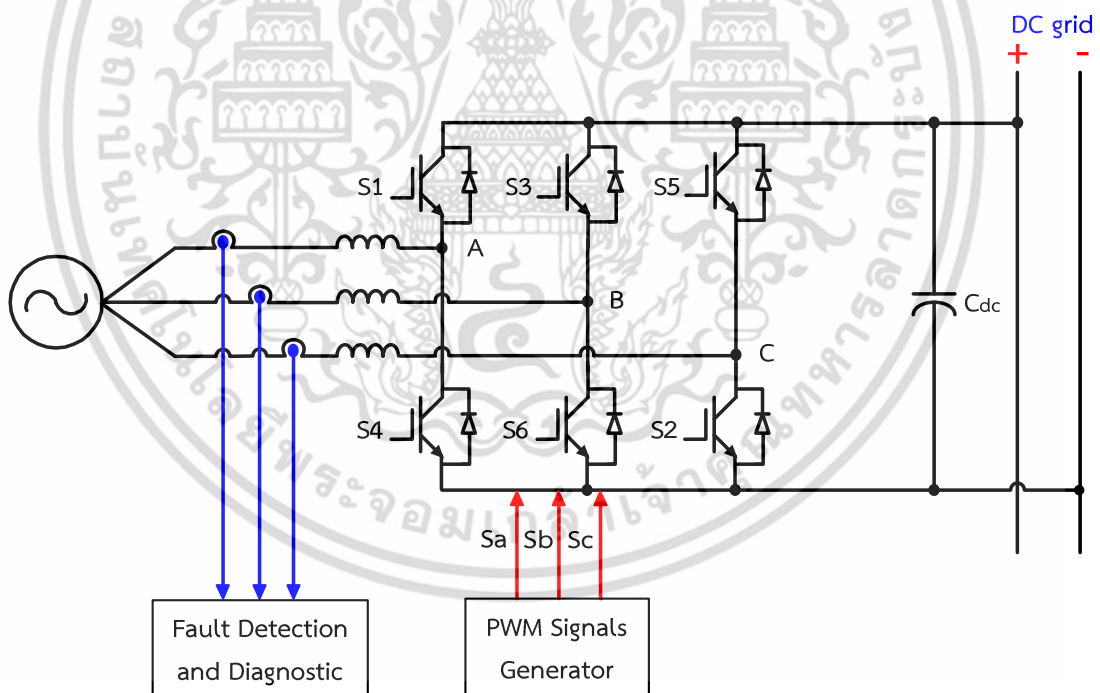
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหลในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงกับสถานะการสวิตช์และกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ทั้ง 8 สถานะการสวิตช์

Voltage Vector	DC-link current I_{dc}
$V_0 = (000)$	0
$V_1 = (100)$	$+i_a$
$V_2 = (110)$	$-i_c$
$V_3 = (010)$	$+i_b$
$V_4 = (011)$	$-i_a$
$V_5 = (001)$	$+i_c$
$V_6 = (101)$	$-i_b$
$V_7 = (111)$	0

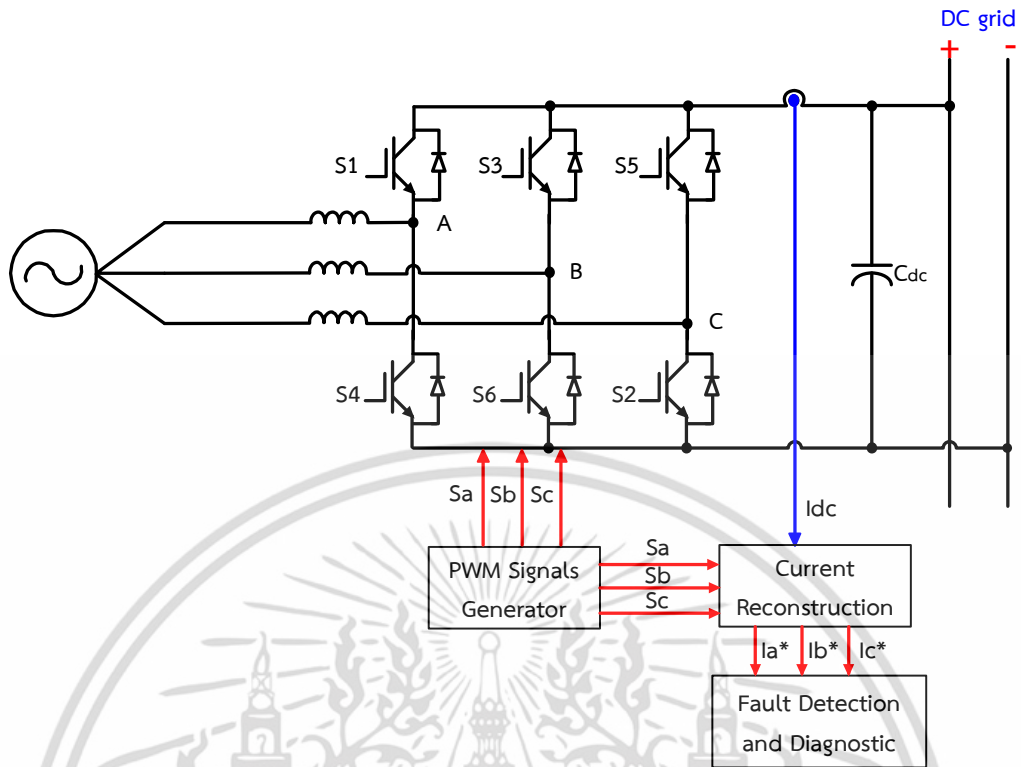
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ (Current Reconstruction)

จากการศึกษาพบว่า การตรวจจับพอลต์ด้วยวิธีแบบเก่าจะต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแส สำหรับใช้ในการตรวจจับพอลต์ถึง 3 ชุด ซึ่งเป็นการตรวจจับกระแสทางด้านอินพุตดังแสดงในรูปที่ 4.14 ส่งผลทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงสำหรับการติดตั้งระบบตรวจจับพอลต์ ในขณะที่สัญญาณกระแสเอาต์พุตทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟกระแสตรงกับสถานะการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์กำลัง และสัญญาณกระแสทางด้านอินพุตนั้น มีความสัมพันธ์กันอยู่จึงมีความเป็นไปได้ว่าจะสามารถสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับให้มีลักษณะเหมือนสัญญาณทางด้านอินพุตได้ อีกทั้งในปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ โดยใช้สัญญาณกระแสทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงตามที่นำเสนอไว้ใน [30, 31] วิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงได้นำเสนอวิธีการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับโดยอาศัยสัญญาณกระแสจากกระแสเอาต์พุตทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งข้อดีสำหรับวิธีการนี้คือจะใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสเพียงชุดเดียวดังแสดงในรูปที่ 4.15 เพื่อใช้สำหรับตรวจจับพอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรสำหรับเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบตรวจจับพอลต์ลง สะดวกต่อการซ่อมบำรุงรักษาและมีความน่าเชื่อถือมากกว่า เนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าอุปกรณ์ตรวจจับกระแส 3 ชุด



รูปที่ 4.14 การตรวจจับพอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแส 3 ชุด



รูปที่ 4.15 การตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแส 1 ชุด

การสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับโดยใช้กระแสเอาท์พุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง (DC link) ให้มีลักษณะเหมือนกับกระแสทางด้านอินพุทนั้น จะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณของกระแสทางด้านเอาท์พุทกับสถานะการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์กำลังโดยมีสมการแสดงความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$i_a = I_{dc} \left[S_A - \frac{S_B}{2} - \frac{S_C}{2} \right], \tag{4.1}$$

$$i_b = I_{dc} \left[-\frac{S_A}{2} + S_B - \frac{S_C}{2} \right], \tag{4.2}$$

$$i_c = I_{dc} \left[-\frac{S_A}{2} - \frac{S_B}{2} + S_C \right], \tag{4.3}$$

$$i_a + i_b + i_c = 0 \tag{4.4}$$

เมื่อ

i_a, i_b, i_c คือ กระแสทางด้านอินพุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์

I_{dc} คือ กระแสทางด้านเอาท์พุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์

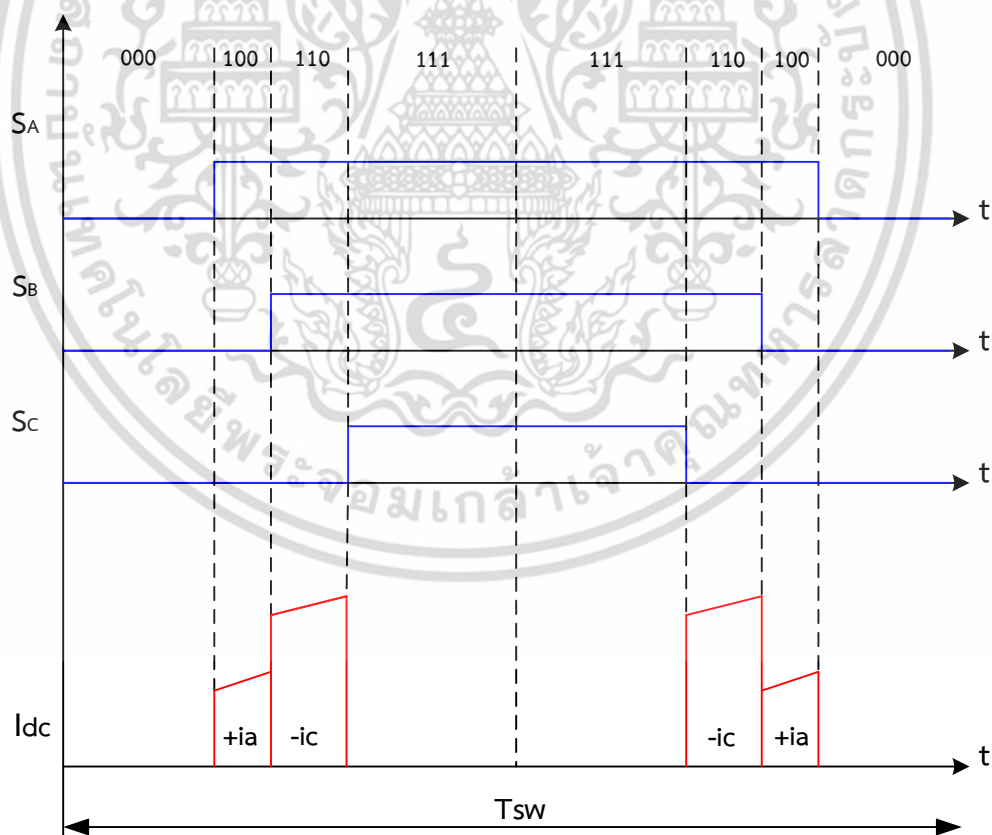
S_A, S_B, S_C คือ สถานะการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์กำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับสัญญาณควบคุมอุปกรณ์สวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ให้นำกระแสหรือไม่นำกระแสนั้น จะใช้เป็นสัญญาณ PWM โดยอาศัยการเปรียบเทียบกันของสัญญาณอ้างอิงรูปคลื่นไซน์ (sine wave) ตัดกันกับสัญญาณพาหะรูปสามเหลี่ยม (carrier) ทำให้ได้สถานะการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์กำลังที่ใช้ในการพิจารณาเพียง 6 สถานะเท่านั้น ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์กำลังกับกระแสเอาต์พุตทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงได้ดังตารางที่ 4.2 สำหรับความสัมพันธ์สัญญาณพีดับบีวเอ็มและกระแสในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงที่สถานะการสวิตช์ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และสามารถเขียนแผนผังการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับโดยใช้เทคนิคที่นำเสนอนี้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.17

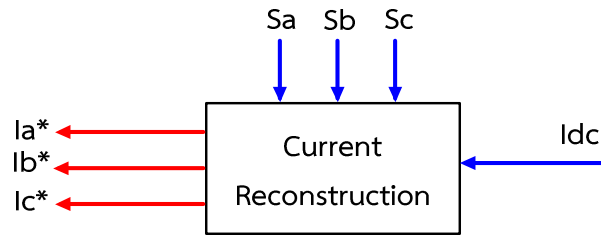
ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการสวิตช์กับกระแสที่วงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง [31]

สถานะการสวิตช์	0,0,1	0,1,0	0,1,1	1,0,0	1,0,1	1,1,0
S_A, S_B, S_C	0,0,1	0,1,0	0,1,1	1,0,0	1,0,1	1,1,0
I_{dc} (A)	$+i_c$	$+i_b$	$-i_a$	$+i_a$	$-i_b$	$-i_c$



รูปที่ 4.16 สัญญาณพีดับบีวเอ็มและกระแสในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงที่สถานะการสวิตช์ต่าง ๆ ในเซกเตอร์ที่ 1 [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แผนผังการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ [31]

โดยที่ I_a^* , I_b^* , I_c^* คือ สัญญาณกระแสคืนกลับที่ได้จากวงจรตรวจจับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถเขียนลักษณะการไหลของกระแสในแต่ละเซกเตอร์ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สัญญาณกระแสคืนกลับที่ได้จากวงจรตรวจจับไฟฟ้ากระแสตรงในแต่ละเซกเตอร์

เซกเตอร์ (Sector)	กระแสไฟฟ้าเฟส a	กระแสไฟฟ้าเฟส b	กระแสไฟฟ้าเฟส c
1	$+I_a^*$	$-(I_a^*+I_c^*)$	$-I_c^*$
2	$-(I_b^*+I_c^*)$	$+I_b^*$	$-I_c^*$
3	$-I_a^*$	$+I_b^*$	$-(I_a^*+I_b^*)$
4	$-I_a^*$	$-(I_a^*+I_c^*)$	$+I_c^*$
5	$-(I_b^*+I_c^*)$	$-I_b^*$	$+I_c^*$
6	$+I_a^*$	$-I_b^*$	$-(I_a^*+I_b^*)$

4.4 ข้อดีของการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรด้วยสัญญาณกระแสคืนกลับ [8]

- สามารถลดอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแส (Current Transformer) จากที่ต้องใช้วัดสัญญาณกระแสทางด้านอินพุตจำนวน 3 ชุด เหลือเพียง 1 ชุด เนื่องจากวัดกระแสตรงทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงทางด้านเอาต์พุต
 - ช่วยลดต้นทุนสำหรับการสร้างระบบตรวจจับและป้องกันฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรสำหรับอุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ลงได้ ซึ่งมีจุดเด่นคือใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสเพียง 1 ชุด
 - ขนาดของคอนเวอร์เตอร์ ที่มีระบบตรวจจับและป้องกันฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรมีขนาดเล็กกลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 บทสรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงเทคนิคการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ (Current Reconstruction) ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย โดยเทคนิคที่นำเสนอนี้สามารถนำเอาสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุตในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์มาสร้างเป็นสัญญาณกระแสคืนกลับที่มีลักษณะคล้ายสัญญาณกระแสทางด้านอินพุต เพื่อใช้ในการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร (Open Switch Fault) ในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งนำไปสู่การจำลองทางคอมพิวเตอร์ และการออกแบบวงจรต้นแบบ ตลอดจนการศึกษาวิจัยในบทต่อ ๆ ไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

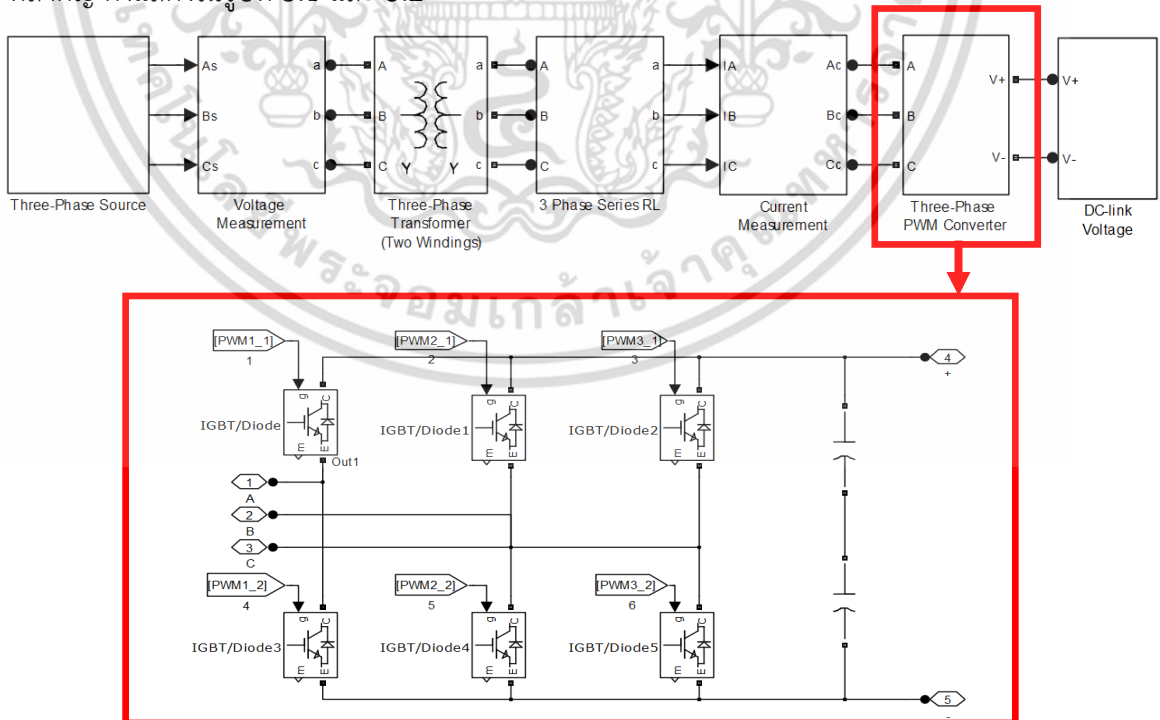
การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/Simulink

5.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/Simulink เพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้องในการทำงานของวงจรเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์และระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ที่ทำการออกแบบ ซึ่งได้นำเสนอไว้แล้วในบทที่ 4 โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/Simulink เวอร์ชัน 7.4.0 (R2007a) [32] รวมถึงศึกษาความเป็นไปในการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ (Current Signal Reconstruction) เพื่อใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร อันจะนำไปสู่แนวทางในการออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริงต่อไป

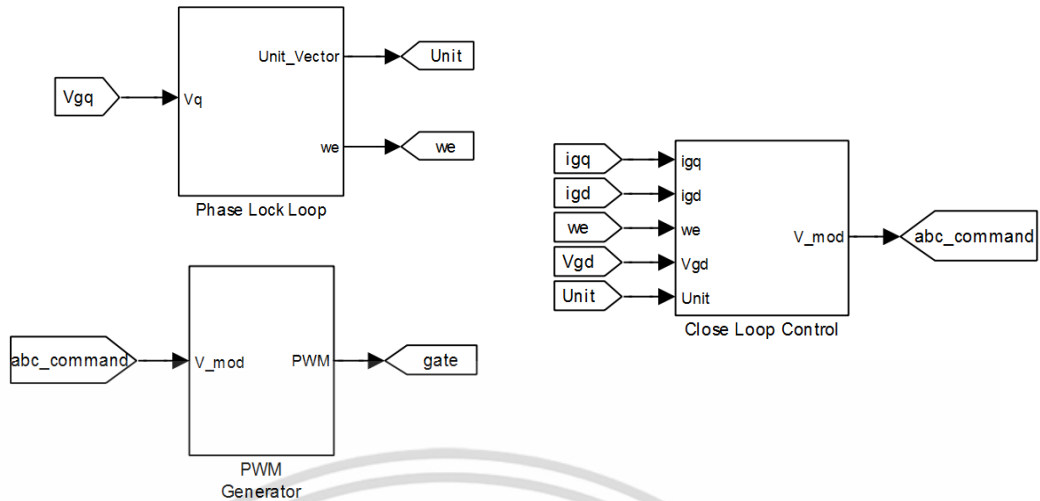
5.2 แบบจำลองการทำงานของวงจรเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์และระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์

แบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้จะใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink โดยที่ผลการจำลองจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนวงจรกำลัง และวงจรควบคุม โดยในแต่ละบล็อกจะประกอบไปด้วยรายละเอียดที่สำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2



รูปที่ 5.1 วงจรกำลัง

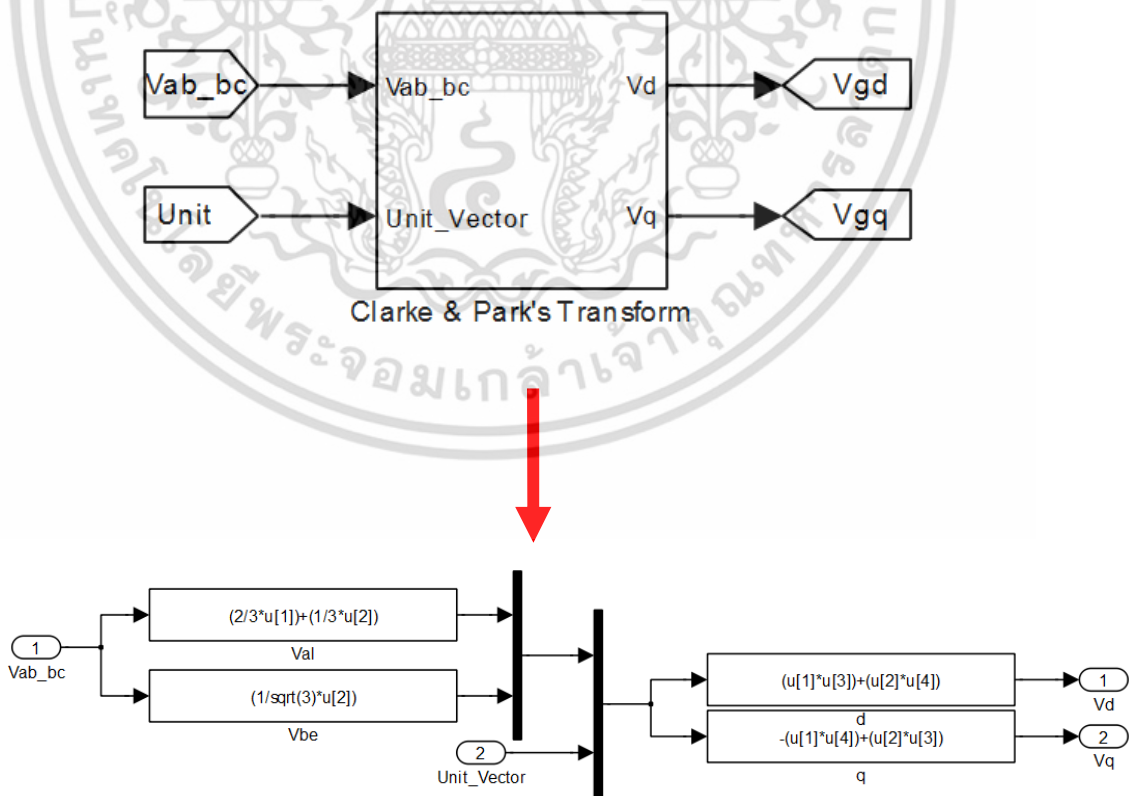
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 วงจรควบคุม

5.2.1 การแปลงของ Clarke และการแปลงของ Park

การแปลงของคลาร์คเป็นการแปลงแกนจากกรอบอ้างอิงสามเฟสไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่งสองเฟส และการแปลงของปาร์ค เป็นการแปลงแกนจากกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งไปสู่กรอบอ้างอิงที่หมุนด้วยความเร็วใด ๆ ซึ่งรูปแบบการแปลงแกนทั้ง 2 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 5.3

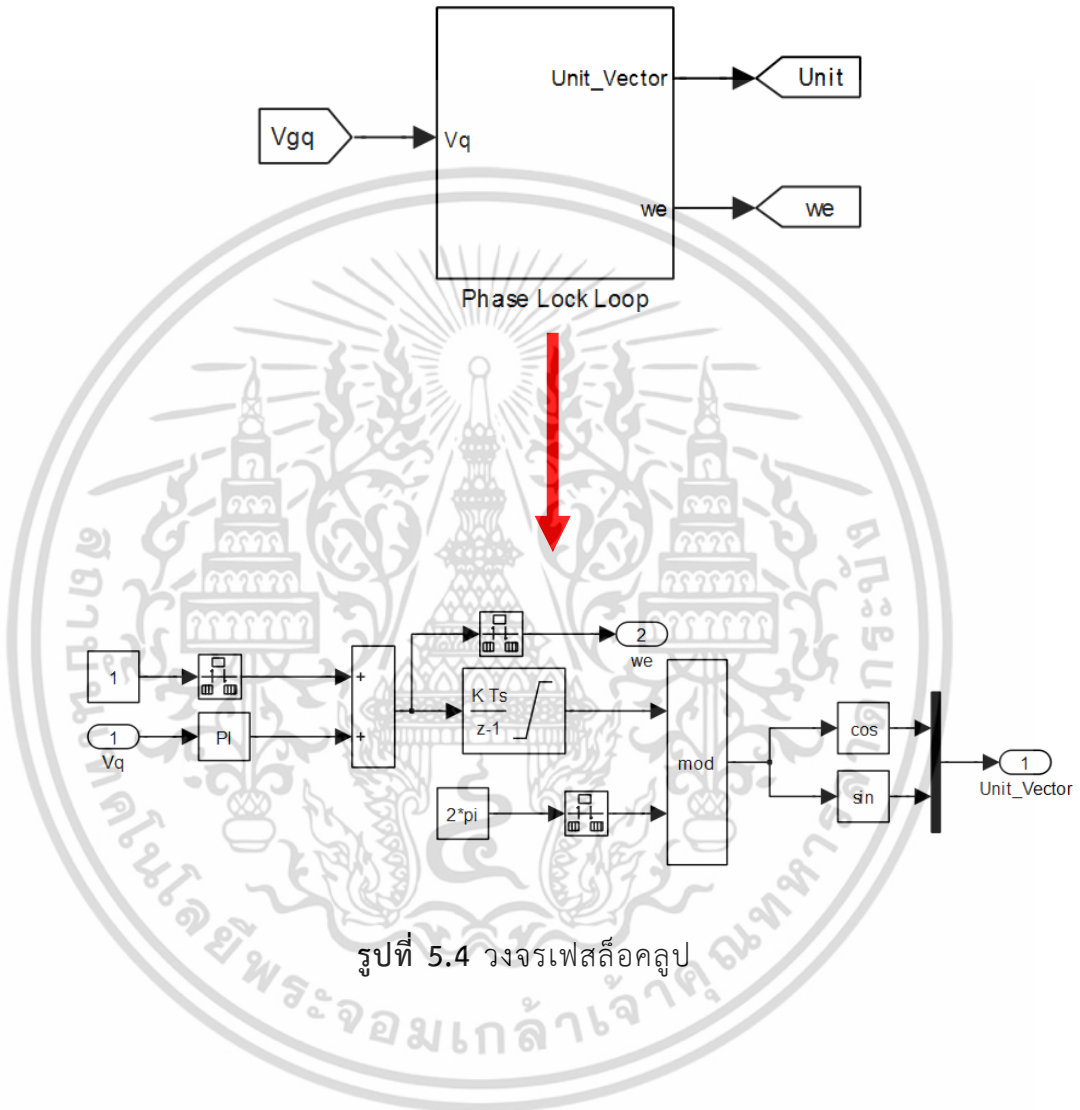


รูปที่ 5.3 การแปลงของคลาร์ค และการแปลงของปาร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 เฟสล็อกคูล (Phase Lock Loop , PLL)

วงจรเฟสล็อกคูลมีหน้าที่ในการประมาณค่าความเร็วเชิงมุมและมุมเฟสของแรงดันเพื่อใช้ในการแปลงแกนจากกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งไปสู่กรอบอ้างอิงใด ๆ เทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่กริด ดังแสดงในรูปที่ 5.4

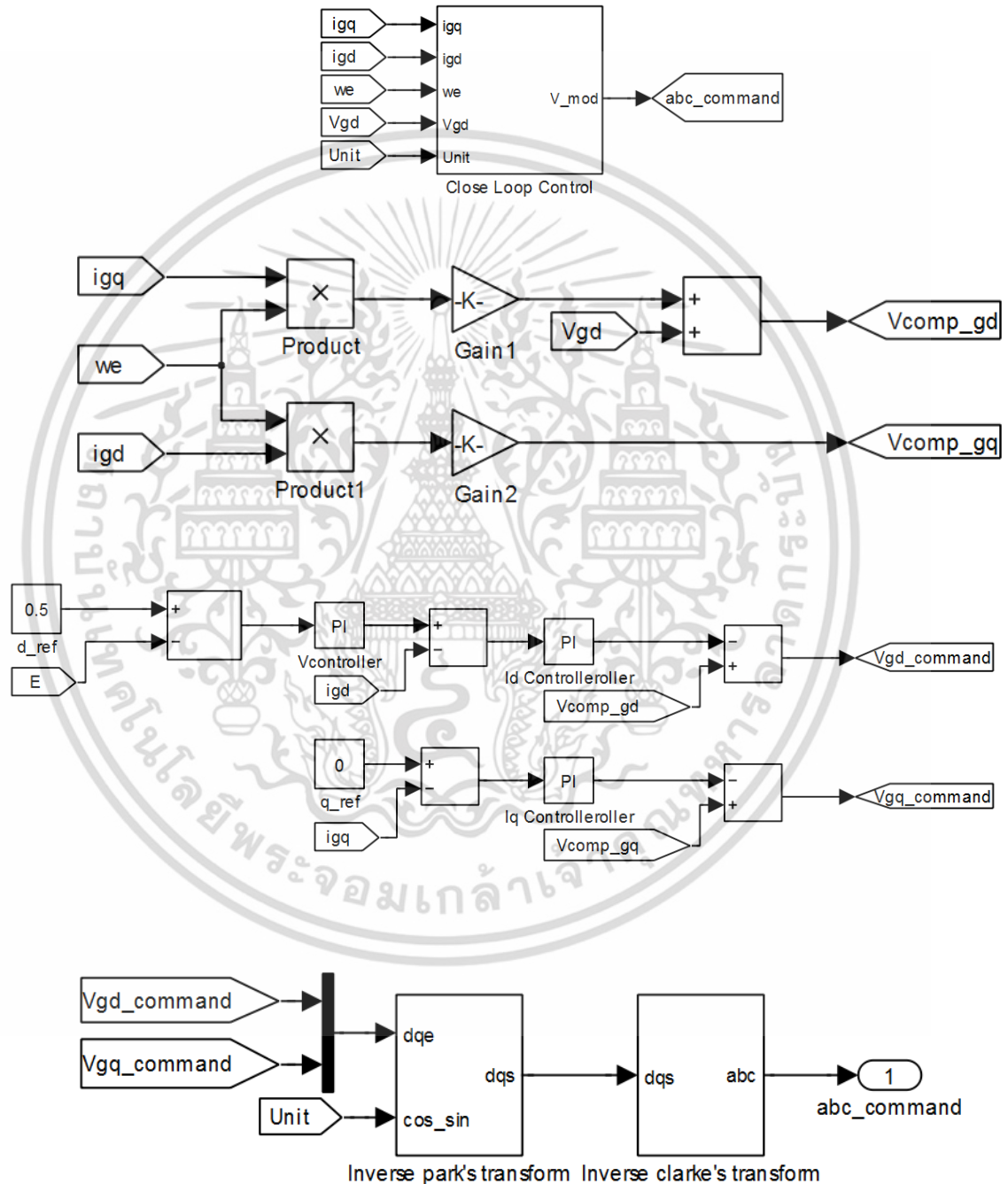


รูปที่ 5.4 วงจรเฟสล็อกคูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.3 การควบคุมวงรอบปิด

การควบคุมวงรอบปิด (closed-loop control) เป็นการควบคุมแรงดันที่จุดเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงให้คงที่ และควบคุมค่าตัวประกอบกำลังให้แรงดันกับกระแสมีเฟสตรงกัน (In-phase) และมีส่วนของการชดเชยแรงดัน และการสร้างสัญญาณมอดูเลชัน

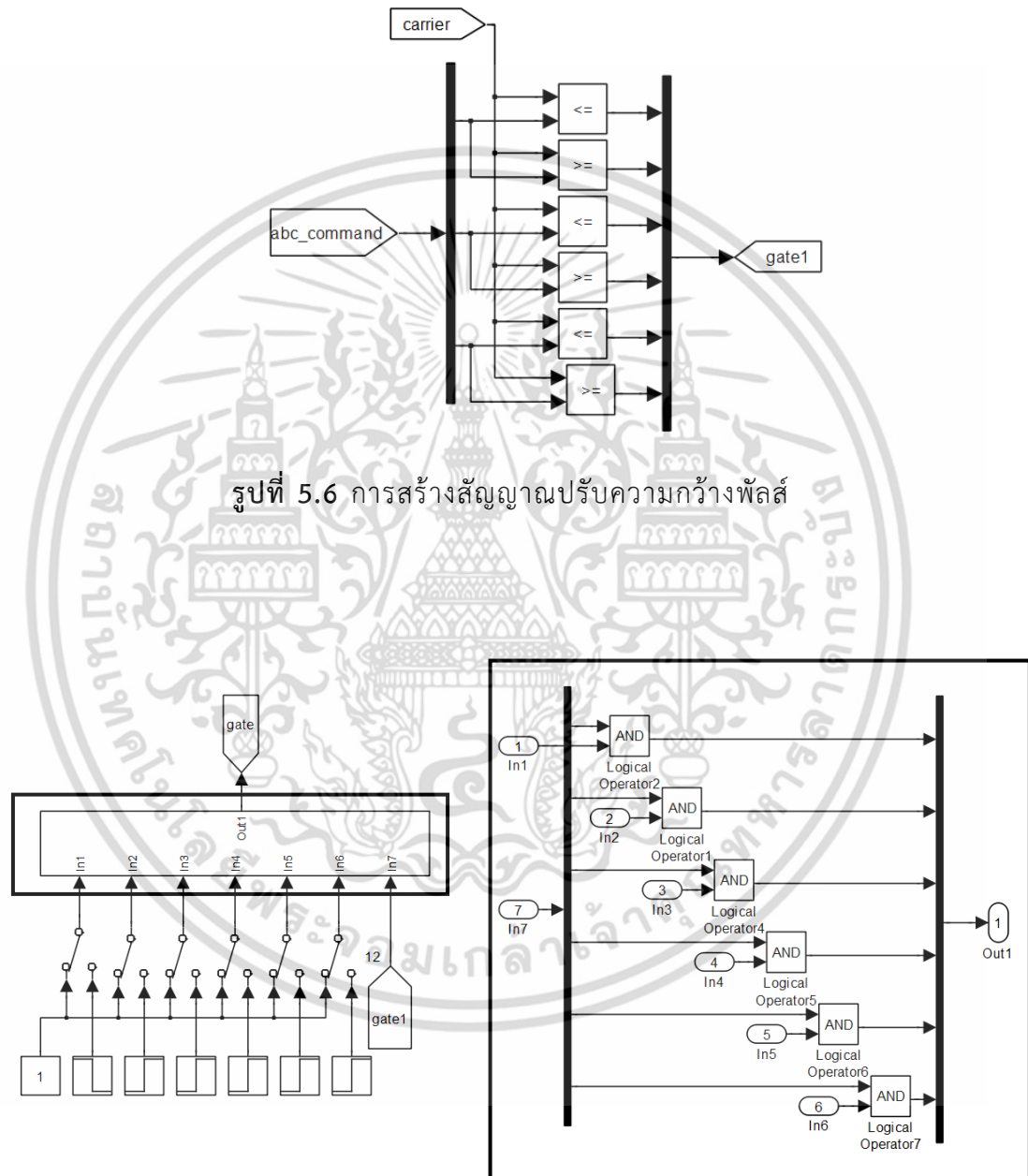


รูปที่ 5.5 การควบคุมวงรอบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

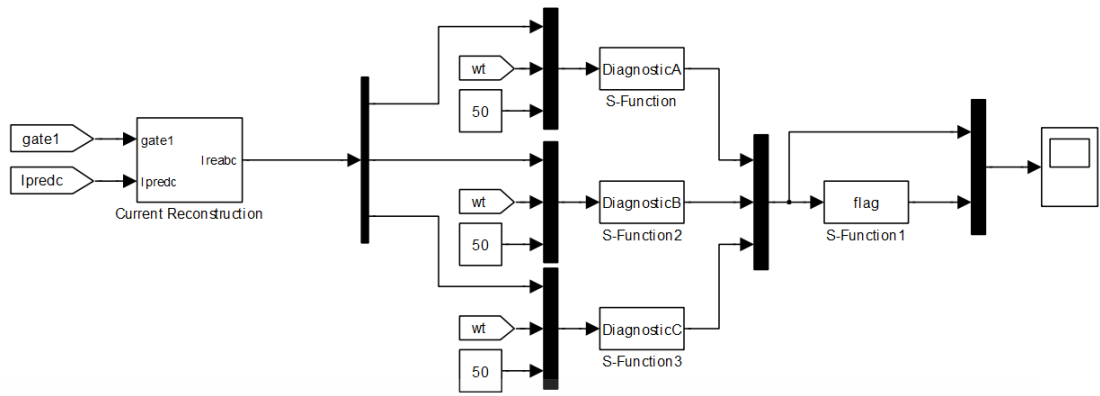
5.2.4 การสร้างสัญญาณปรับความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation, PWM)

วิธีการสร้างสัญญาณปรับความกว้างพัลส์คือ การนำสัญญาณแรงดันที่ได้จากการสร้างสัญญาณมอดูเลชันมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งมีความถี่การสวิตซ์เท่ากับ 3.5 kHz ดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.7 สวิตซ์ที่ใช้ในการจำลองการเกิดฟลตและแหล่งกำเนิดสัญญาณปรับความกว้างพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

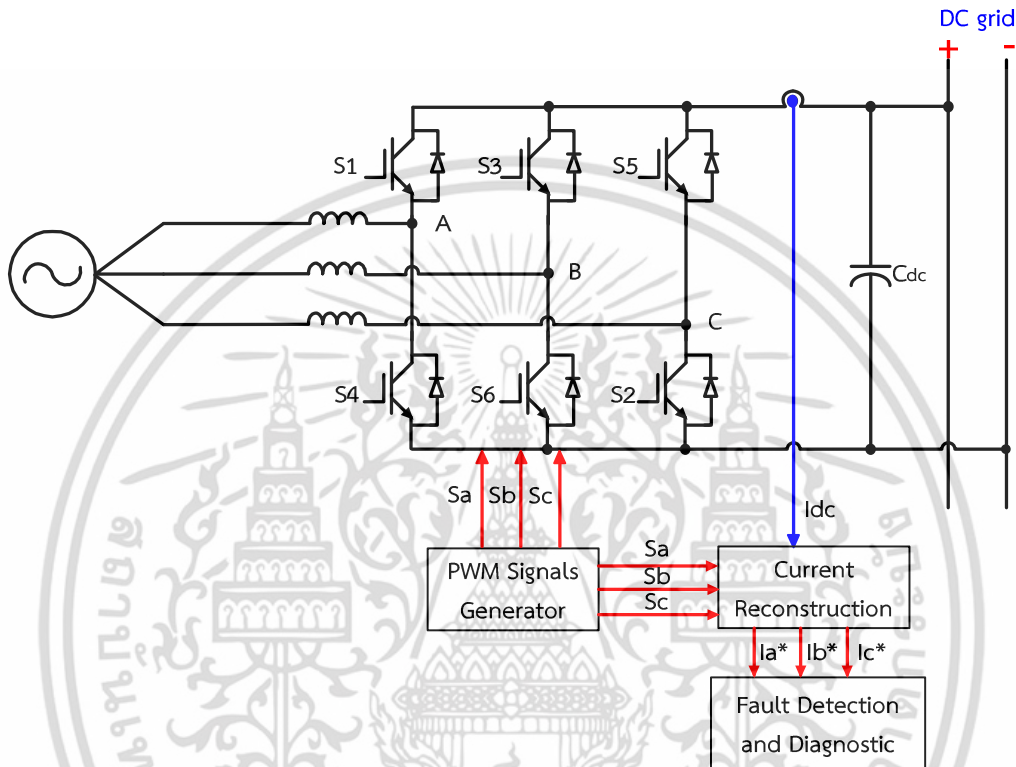


รูปที่ 5.8 วงจรที่ใช้ในการวินิจฉัยและการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร
ในคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 5.8 ในส่วนของระบบวินิจฉัยและตรวจจับฟอลต์นั้นได้ทำการเขียนโปรแกรมลงบน m-file s function เพื่อทำการคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์โดยใช้สมการดังที่กล่าวไปแล้ว ในบทที่ 3 โดยการตั้งค่าที่ m-file s function ให้ทำการคำนวณแบบดิสครีต โดยที่คาบของการสุ่มเท่ากับ $285.7 \mu\text{s}$ โดยเท่ากับคาบเวลาการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์เมื่อใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่แล้วเมื่อความถี่ของกระแสที่นำมาคำนวณเปลี่ยนไปจะทำให้ค่าของการสุ่มต่อคาบนั้นคงที่ ซึ่งในโครงงานนี้ได้กำหนดค่าของการสุ่มต่อคาบไว้ที่ 1500 จุดและใช้เฟสล็อกคูล (Phase Lock Loop) ดังแสดงในรูปที่ 5.4 ในการประมาณค่าตำแหน่งขององศาของกระแสที่ไหลผ่านคอนเวอร์เตอร์ที่องศานั้นจะมีค่าตั้งแต่ $0-2\pi$ และค่าองศานั้นจะเป็นตัวกำหนดว่าจะให้ทำการสุ่มที่ตำแหน่งใดของกระแส และจะทำการสุ่มที่เต็มตลอดช่วงของคาบเวลาในทุกความถี่ เมื่อได้ค่าเฉลี่ยและค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของแต่ละการสุ่มออกมามาคำนวณในสมการที่ 3.16 และสมการที่ 3.17 จะได้ค่าตัวแปรวินิจฉัย (Diagnostic Variables) ซึ่งจะใช้ในการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร เมื่อค่า Diagnostic Variables มีค่ามากกว่า 0.65 หรือ -0.65 จะทำให้เกิดการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรของคอนเวอร์เตอร์ขึ้น หลังจากนั้นจะนำระบบที่ได้ออกแบบไว้ในคอมพิวเตอร์มาใช้ในการสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการทดลองจริง ซึ่งได้แสดงระบบที่ใช้ในการทดลองไว้ ดังแสดงในรูปที่ 5.9

5.3 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นจะแบ่งหัวข้อการจำลองเป็น 5 ส่วน คือ การจำลองสัญญาณควบคุม การจำลองแรงดันเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้า การจำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร การจำลองการวินิจฉัยการตรวจจับฟอลต์ และการจำลองการปรับโครงสร้างวงจร

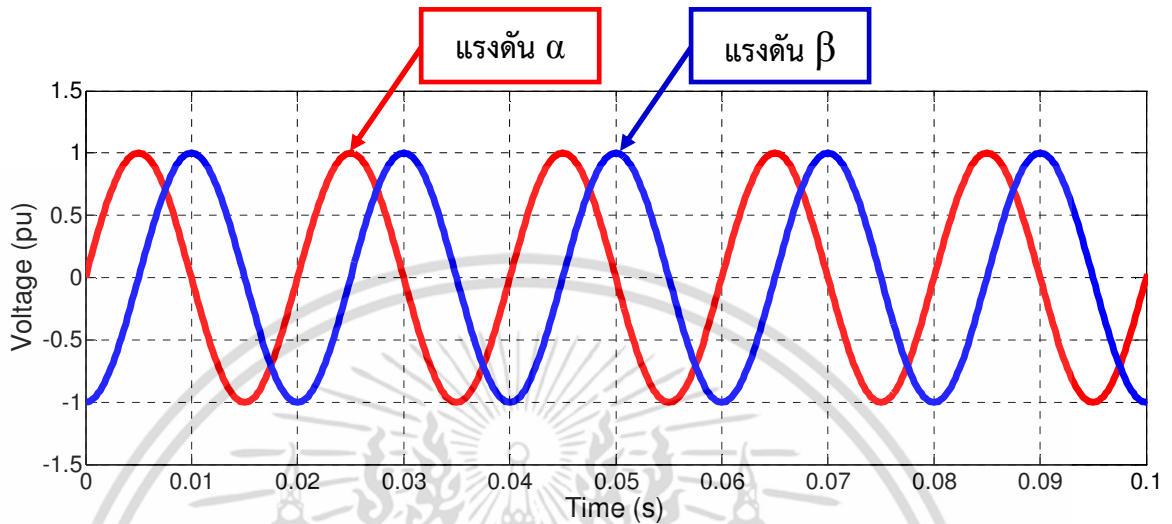


รูปที่ 5.9 ระบบที่ใช้ในการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในคอนเวอร์เตอร์สามเฟส

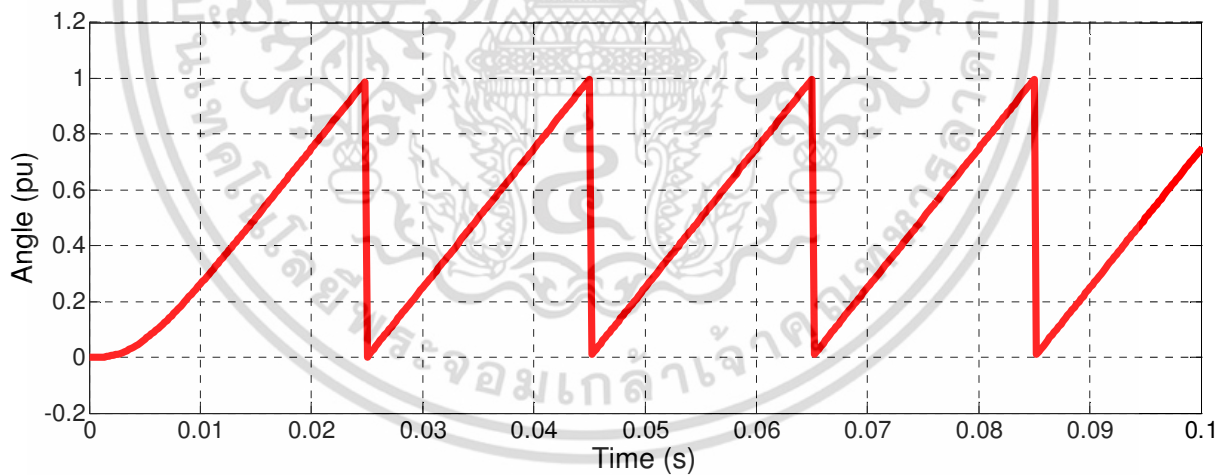
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1 การจำลองสัญญาณควบคุม

การทดลองในส่วนแรกนี้จะเป็นการทดสอบสัญญาณเบื้องต้น เพื่อใช้สำหรับควบคุมคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งมีผลการทดลองดังนี้

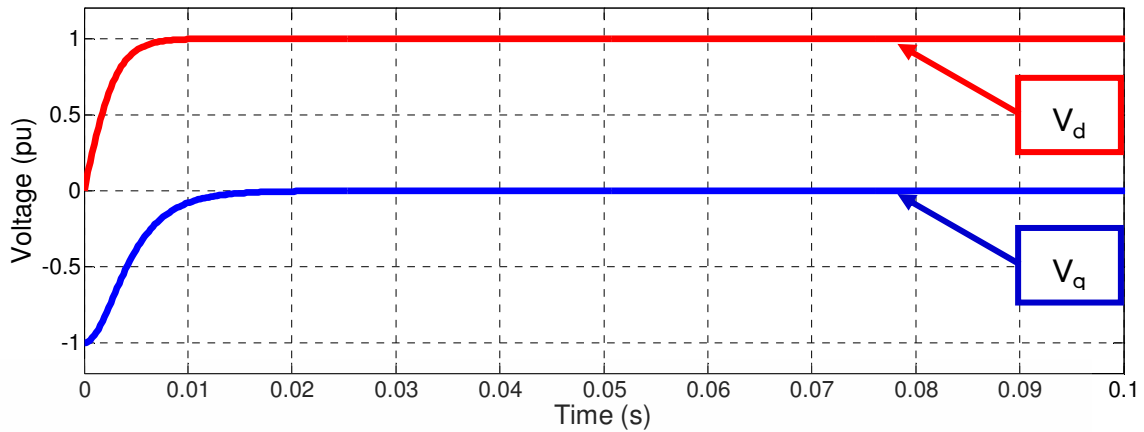


รูปที่ 5.10 ผลการจำลองสัญญาณแรงดันแอลฟา (V_{α}) และสัญญาณแรงดันเบต้า (V_{β}) สำหรับการแปลงของคลาร์ค

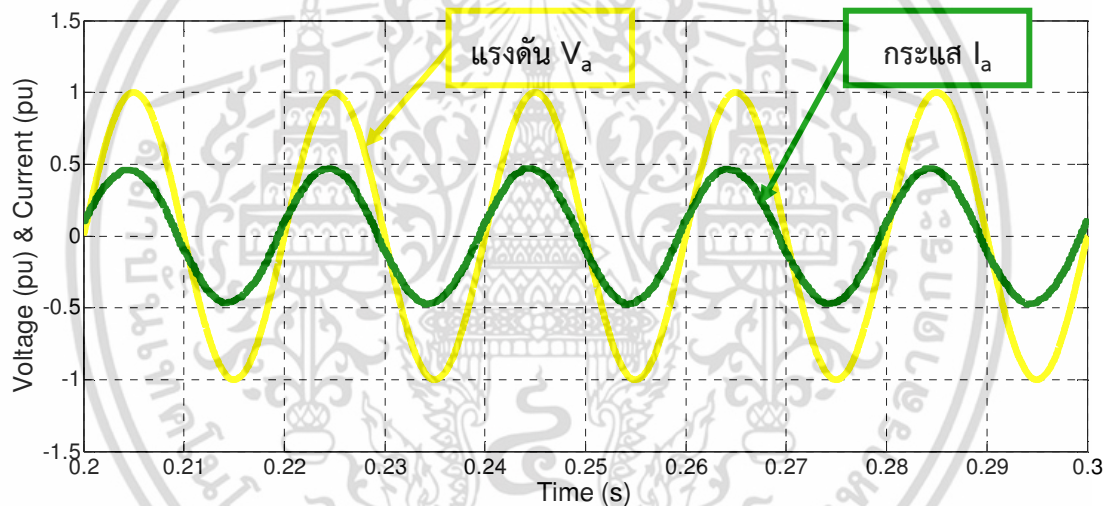


รูปที่ 5.11 เฟสลิ้อคูลูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 ผลการจำลองสัญญาณแรงดันในแนวแกน d (V_d) และสัญญาณแรงดันในแนวแกน q (V_q)

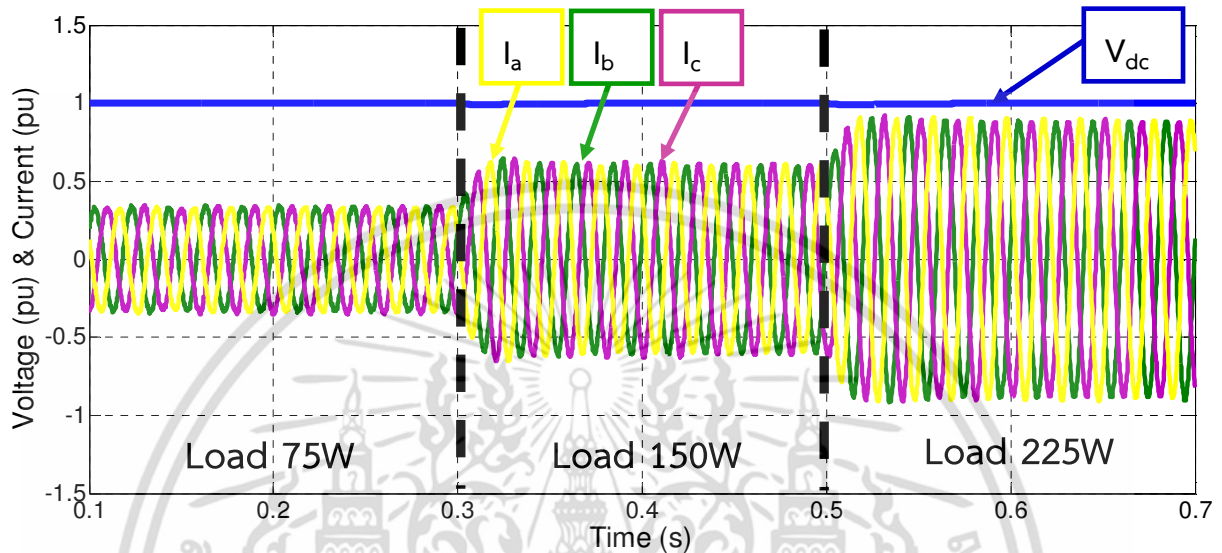


รูปที่ 5.13 รูปคลื่นกระแสและแรงดันเฟส A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 การจำลองแรงดันเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลด

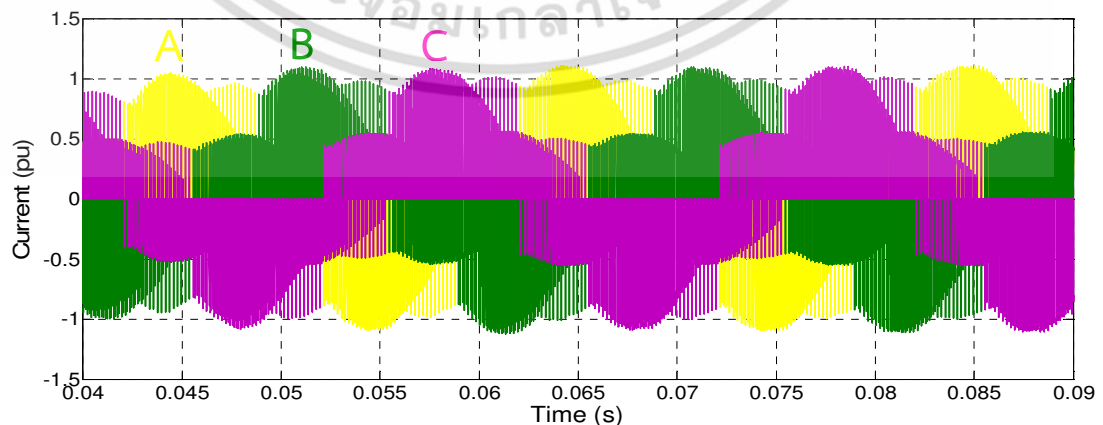
แบบจำลองแรงดันเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดทำเพื่อศึกษาและพิสูจน์ทฤษฎีตามที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 และนำข้อมูลมาปรับปรุงเพื่อใช้ในการทดลองในระบบควบคุมวงรอบปิดต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 ผลการจำลองรูปคลื่นกระแสเฟส A เฟส B และเฟส C ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้า

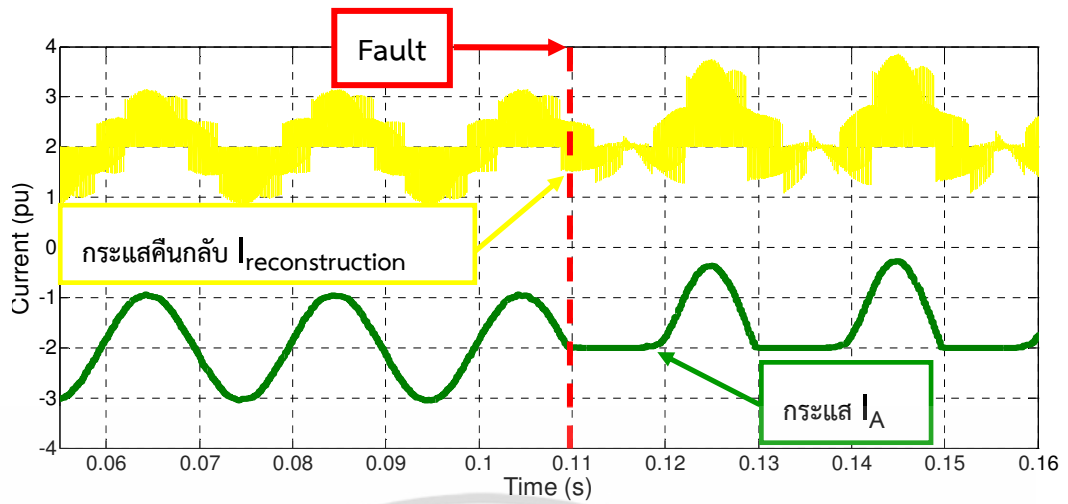
5.3.3 การจำลองการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

แบบจำลองการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับทำเพื่อศึกษาและพิสูจน์ทฤษฎีตามที่ได้กล่าวมาในบทที่ 2 และนำข้อมูลมาปรับปรุงเพื่อใช้ในการทดลองในระบบตรวจจับพอลต์ ดังแสดงในรูปที่ 5.15

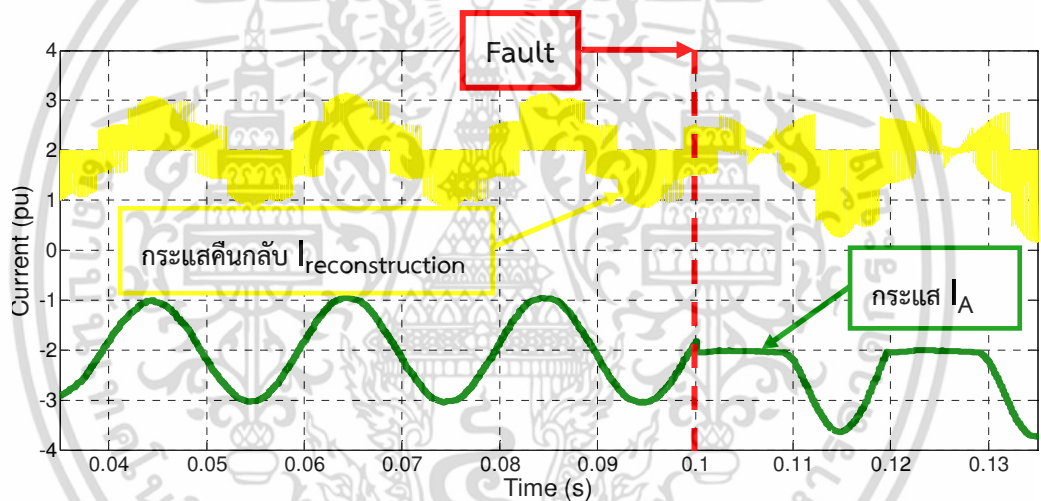


รูปที่ 5.15 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นสัญญาณกระแสคืนกลับสถานะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นสัญญาณกระแสคืนกลับสถานะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ด้านบน

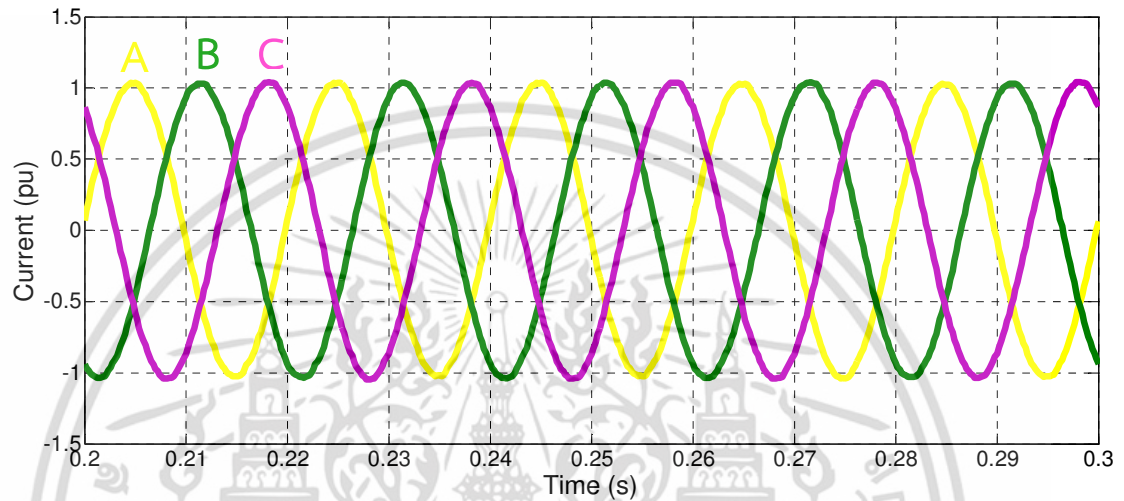


รูปที่ 5.17 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นสัญญาณกระแสคืนกลับสถานะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ด้านล่าง

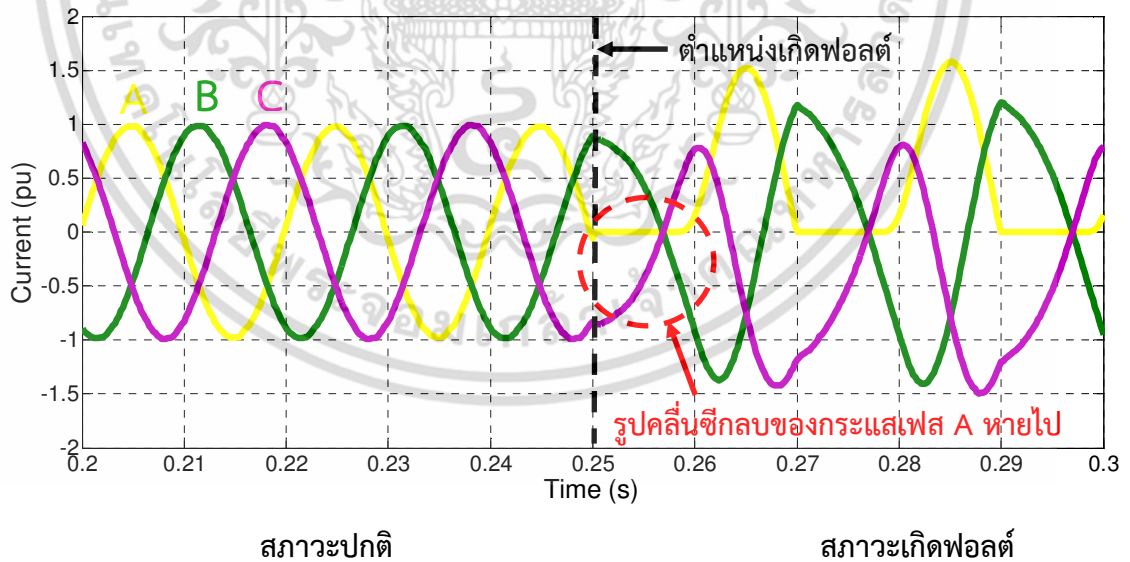
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.4 การจำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร

การจำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ซึ่งจะแสดงผลการจำลองรูปคลื่นกระแสทั้งในสภาวะปกติและในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรของคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส เพื่อแสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของสัญญาณกระแสในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ซึ่งจะเป็นการยืนยันผลการศึกษาในบทที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 5.18 ถึง 5.24

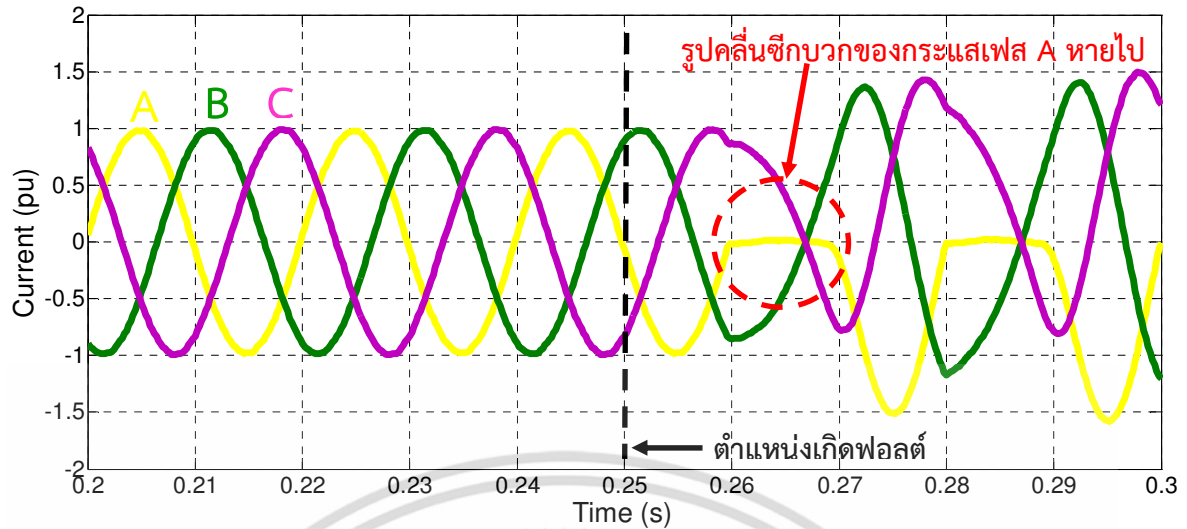


รูปที่ 5.18 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสขาเข้าสภาวะปกติ



รูปที่ 5.19 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S1 (เฟส A ด้านบน)

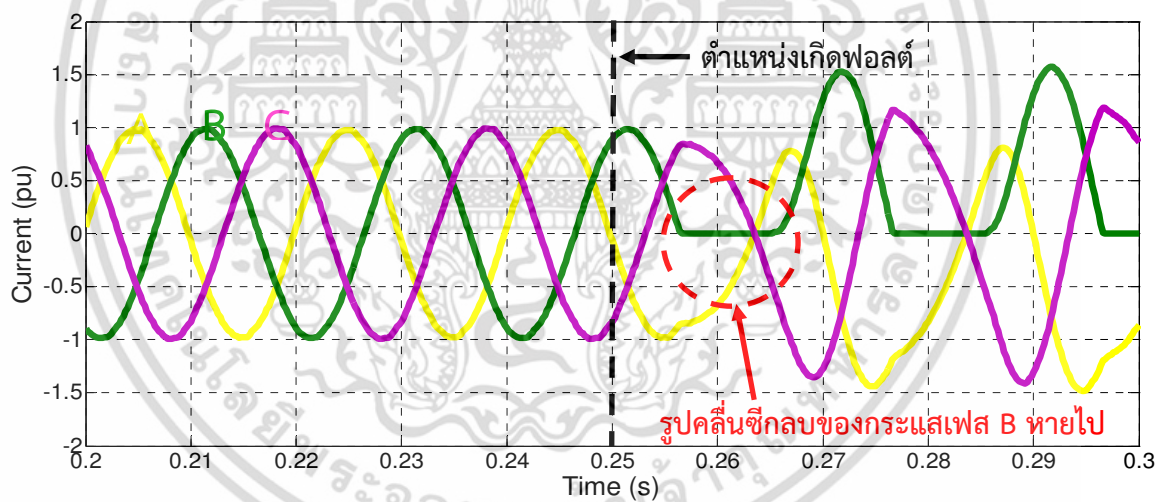
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สภาวะปกติ

สภาวะเกิดฟอลต์

รูปที่ 5.20 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ สวิตช์ S4 (เฟส A ด้านล่าง)

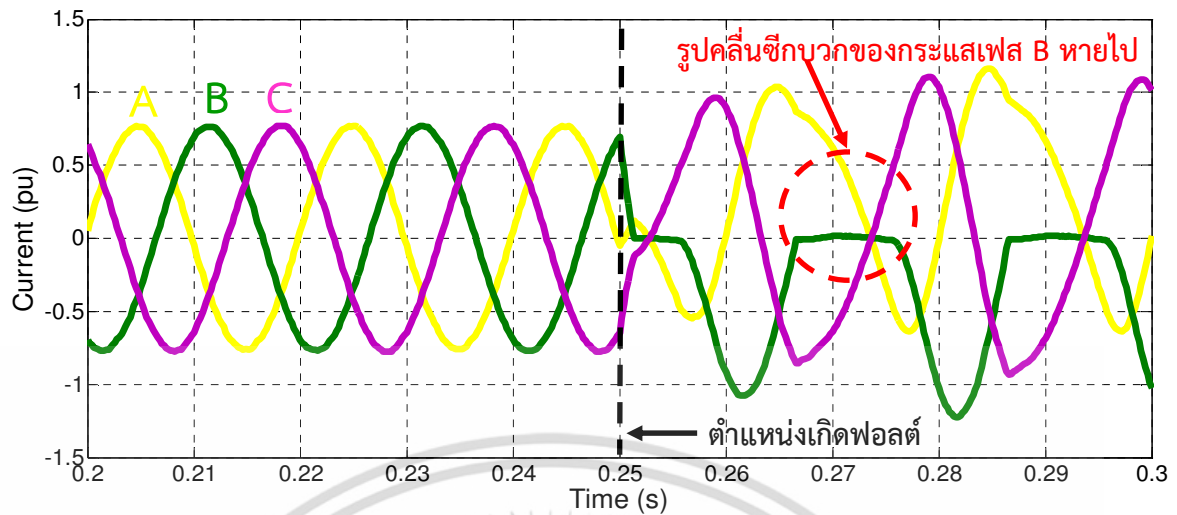


สภาวะปกติ

สภาวะเกิดฟอลต์

รูปที่ 5.21 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ สวิตช์ S3 (เฟส B ด้านบน)

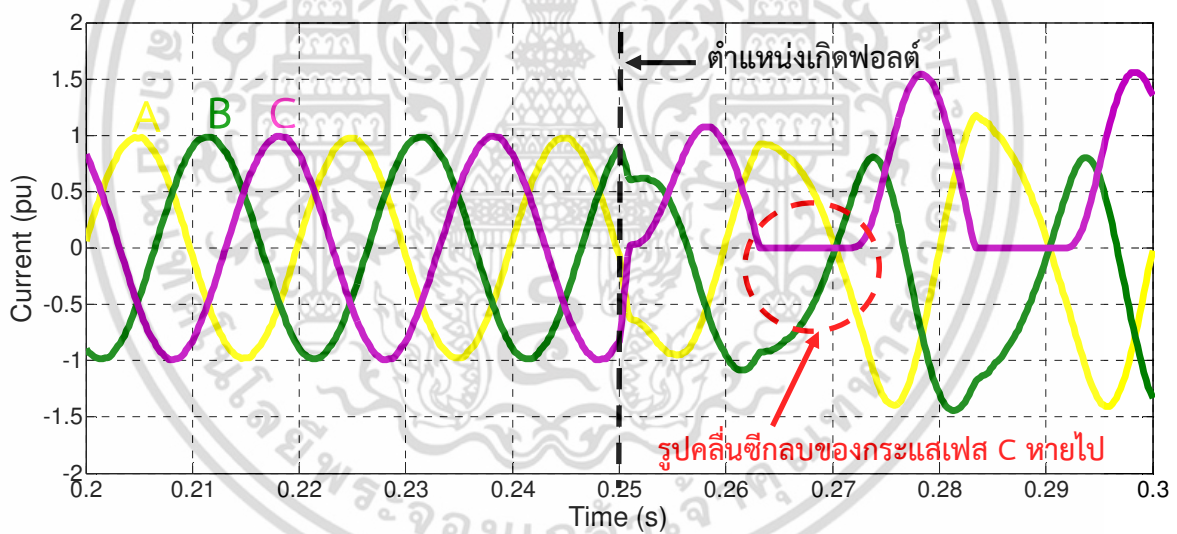
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สภาวะปกติ

สภาวะเกิดฟอลต์

รูปที่ 5.22 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ สวิตช์ S6 (เฟส B ด้านล่าง)

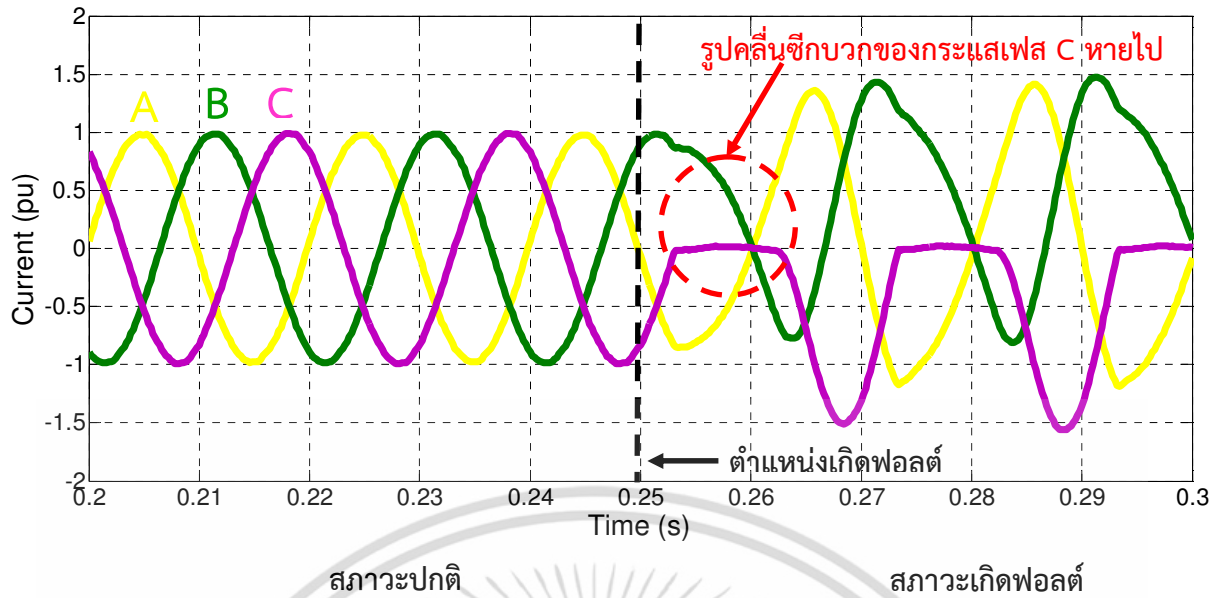


สภาวะปกติ

สภาวะเกิดฟอลต์

รูปที่ 5.23 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ สวิตช์ S5 (เฟส C ด้านบน)

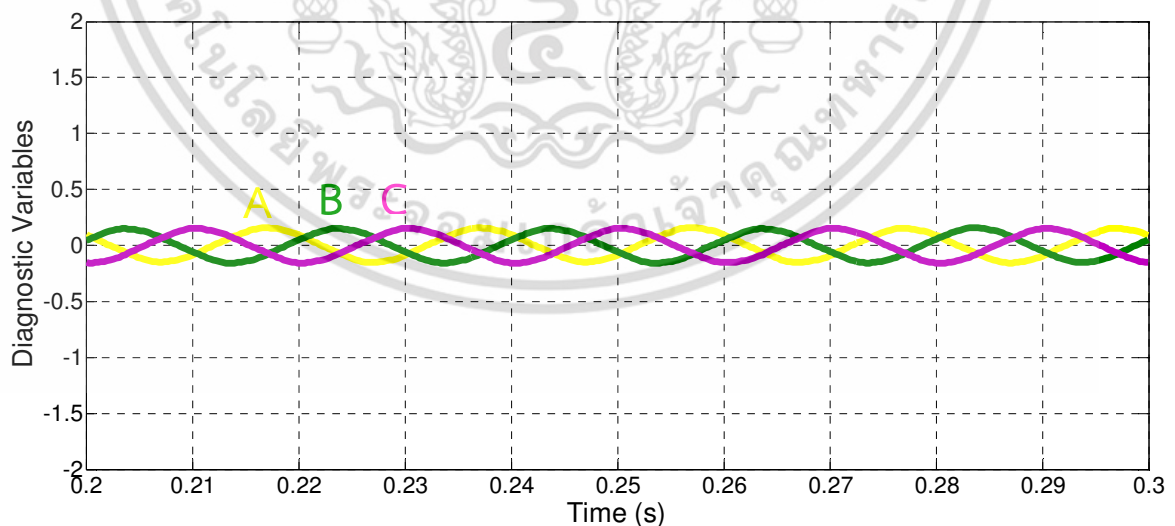
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 ผลการจำลองแสดงรูปคลื่นกระแสสามเฟสเมื่อเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ สวิตช์ S2 (เฟส C ด้านล่าง)

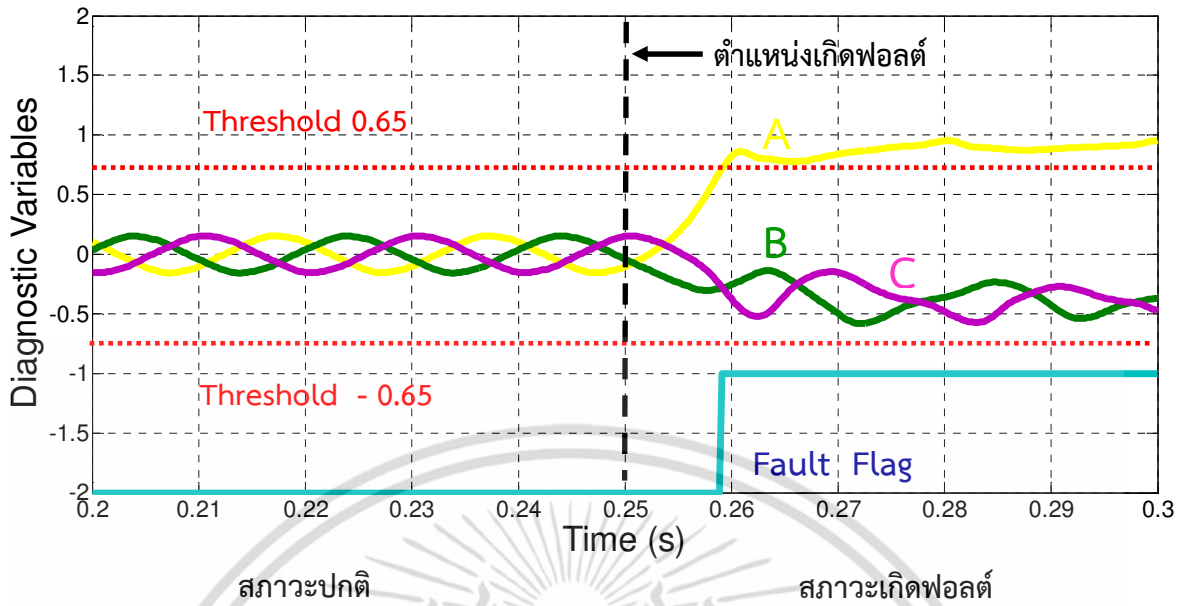
5.3.5 การจำลองการวินิจฉัยการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์ปิดวงจร

การจำลองการวินิจฉัยการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์ปิดวงจร จะแสดงผลของตัวแปรการ วินิจฉัยของกระแสทั้งสามเฟสในสภาวะปกติและสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์ปิดวงจร โดยจำลองให้ เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์ปิดวงจรที่สวิตช์ต่าง ๆ ของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถแสดงผลการ จำลองได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.25 – 5.31

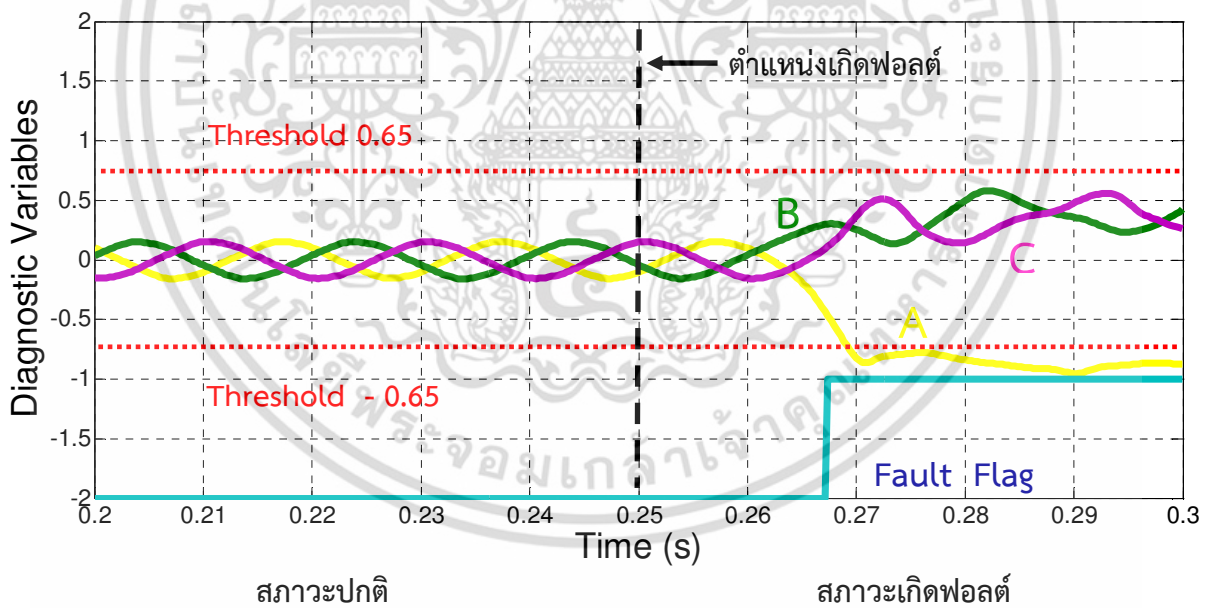


รูปที่ 5.25 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

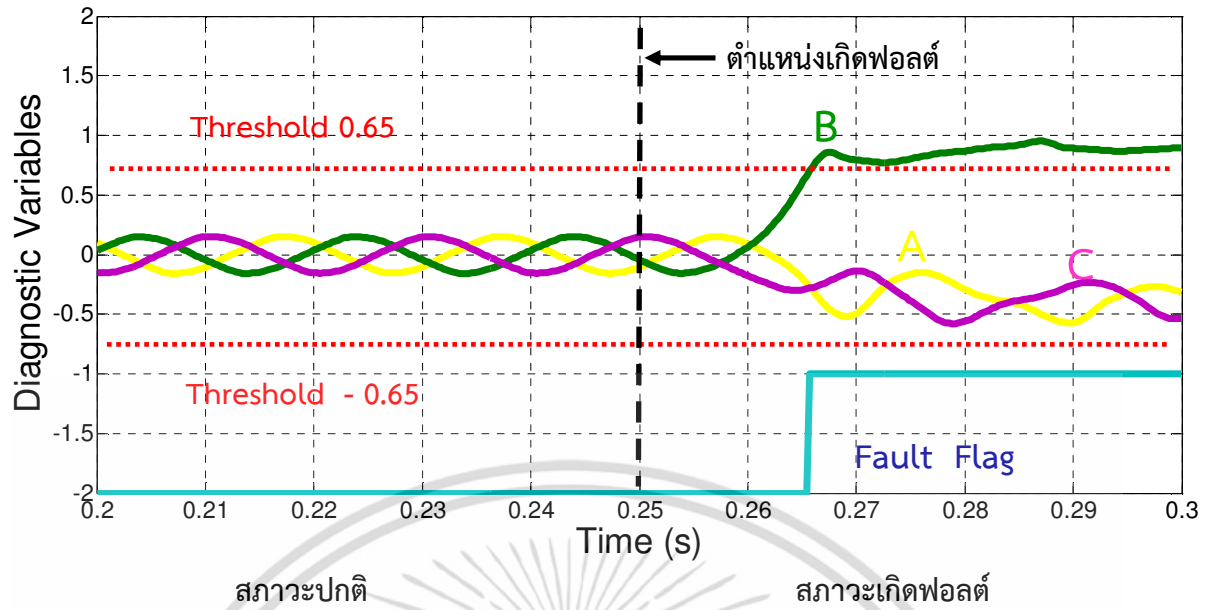


รูปที่ 5.26 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดฟอลต์ที่สวิตช์ S1 (เฟส A ด้านบน)

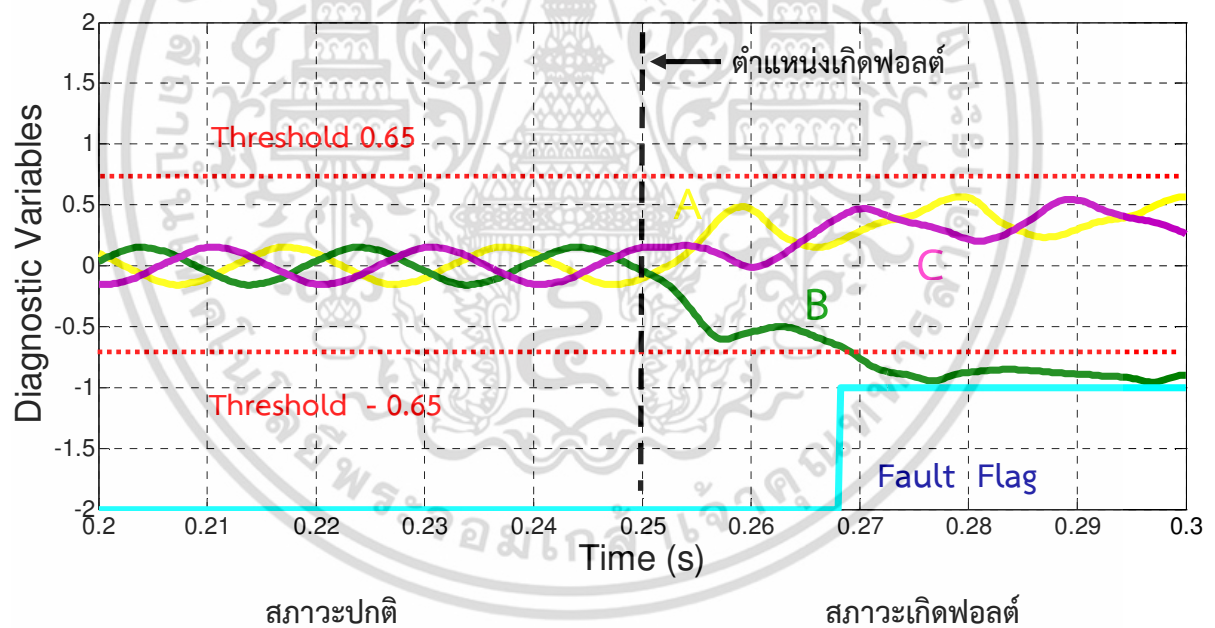


รูปที่ 5.27 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดฟอลต์ที่สวิตช์ S4 (เฟส A ด้านล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

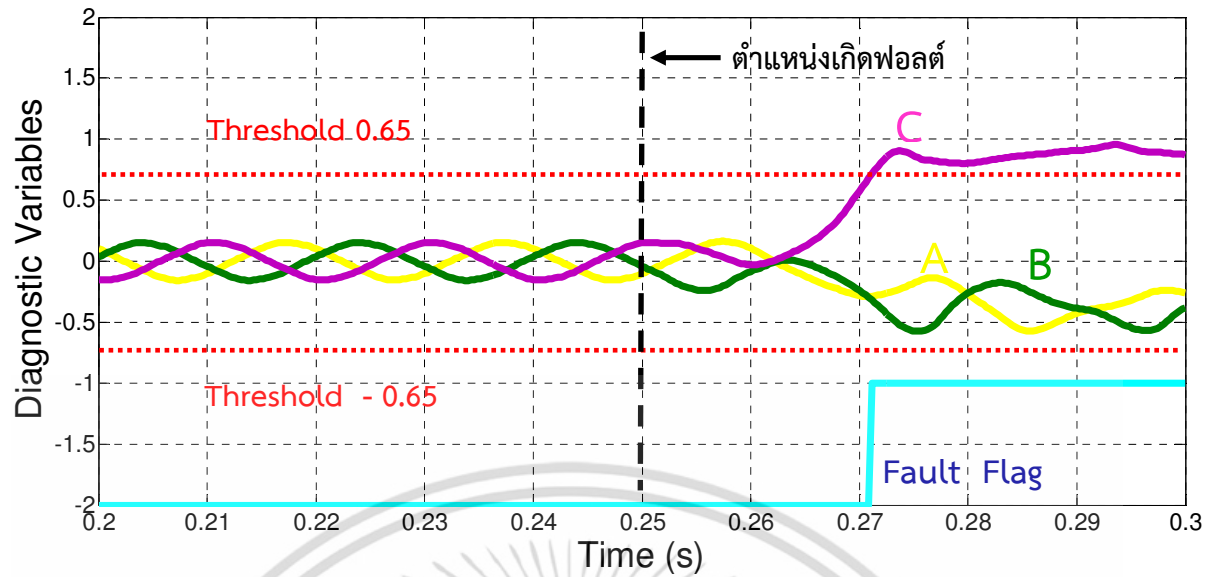


รูปที่ 5.28 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดฟอลต์ที่สวิตช์ S3 (เฟส B ด้านบน)

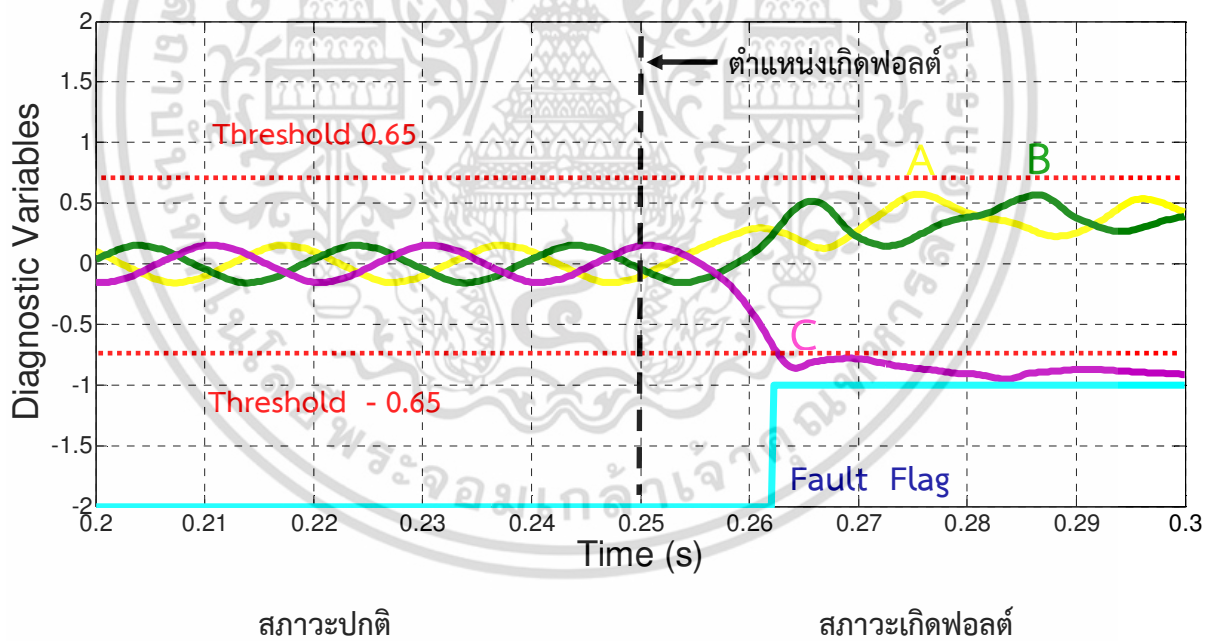


รูปที่ 5.29 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดฟอลต์ที่สวิตช์ S6 (เฟส B ด้านล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.30 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดฟอลต์ที่สวิตช์ S5 (เฟส C ด้านบน)



รูปที่ 5.31 ผลการจำลองแสดงค่าตัวแปรวินิจฉัยในสภาวะที่เกิดฟอลต์ที่สวิตช์ S2 (เฟส C ด้านล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 บทสรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงการจำลองและผลการจำลองในหัวข้อต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วยผลการจำลองการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ผลการจำลองการเกิดฟลลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ผลการจำลองการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ ผลการจำลองการตรวจจับและวินิจฉัยฟลลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยที่ผลการจำลองสามารถแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับจากสัญญาณกระแสตรงทางด้านเอาต์พุตสามารถใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟลลต์ได้ ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบและสร้างวงจรเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์และระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟลลต์ ซึ่งจะกล่าวถึงในบทที่ 6 ต่อไป



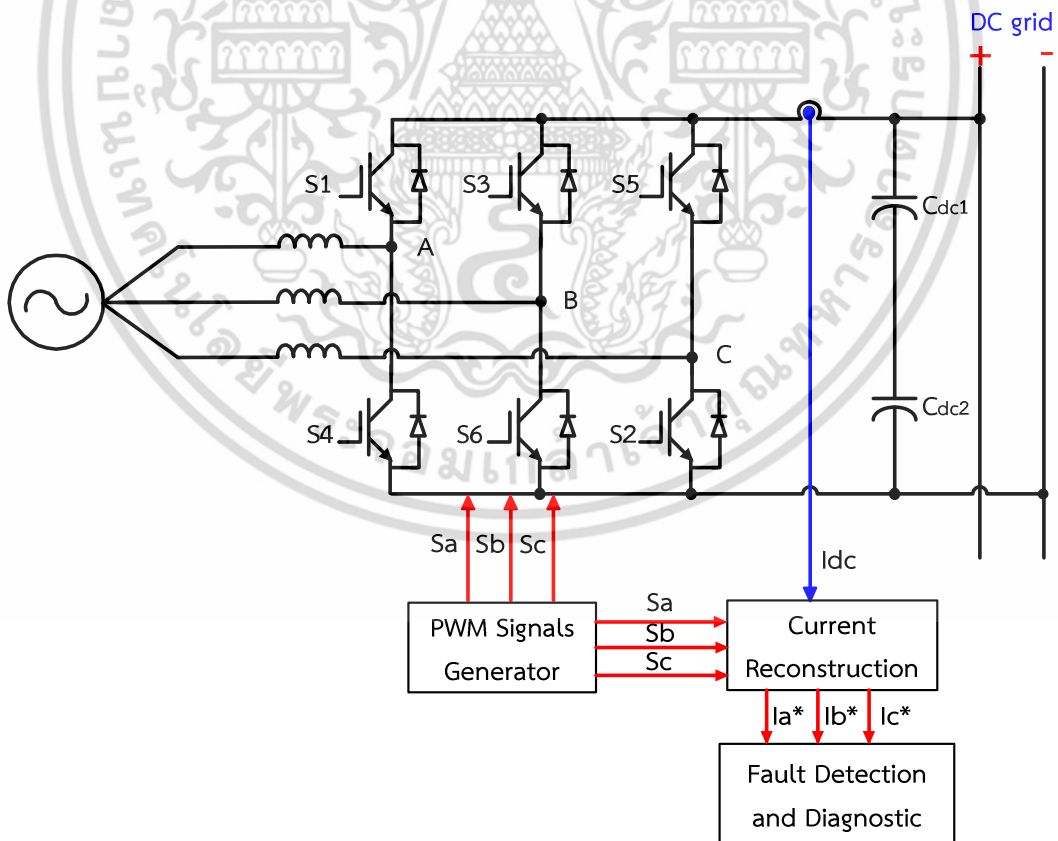
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การออกแบบและการสร้างระบบต้นแบบ

6.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการสร้างเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ เพื่อใช้สำหรับทดสอบระบบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยใช้เทคนิคการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับจากสัญญาณกระแสตรงทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงให้มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุต สำหรับรายละเอียดในการออกแบบและการสร้างอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ วงจรควบคุม และวงจรกำลัง โดยวงจรควบคุมจะทำหน้าที่หลักในการสร้างสัญญาณขับสวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ รวมถึงการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับเพื่อใช้ตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ส่วนวงจรกำลังทำหน้าที่ในการรองรับภาระทางไฟฟ้า และใช้ทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ซึ่งเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสที่ออกแบบและสร้างขึ้นนั้น มีขนาดพิกัดกำลังที่ 1.5 กิโลวัตต์ พิกัดแรงดันไฟฟ้า 380/220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยมีโครงสร้างของระบบและเครื่องต้นแบบ ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แผนผังการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส และระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์

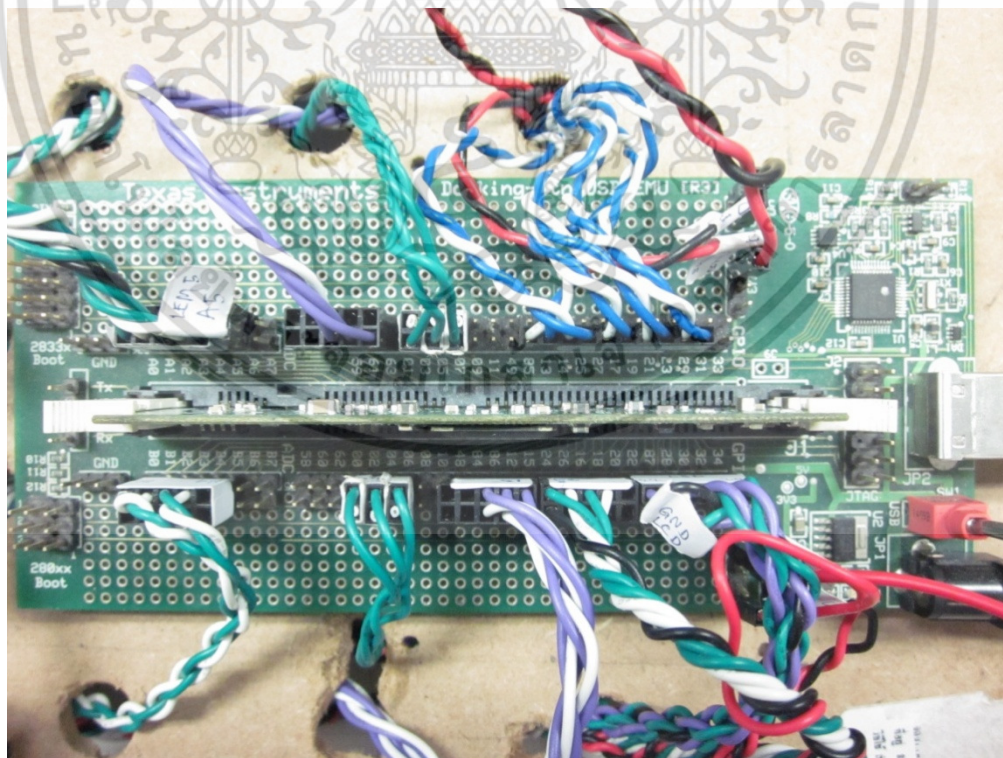
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การออกแบบวงจรควบคุม

การทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์และระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร จะถูกควบคุมและประมวลผลสัญญาณด้วยระบบดิจิทัล โดยใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลสัญญาณ ซึ่งวงจรควบคุมจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ คือ จอแสดงผล LCD วงจรขับสัญญาณเกต ไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแส วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก และอุปกรณ์จำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยมีการออกแบบวงจรดังนี้

6.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

วิทยานิพนธ์เล่มนี้เลือกใช้ภาษาซี (C language) ในการเขียนโปรแกรมควบคุม เนื่องจากเป็นภาษาที่พัฒนาได้ง่าย และสะดวกต่อการใช้งาน เมื่อเทียบกับภาษาทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์อื่น ๆ และเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุมเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ TMS320F28335 โดยจะทำการสร้างสัญญาณปรับความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation : PWM) เพื่อใช้เป็นสัญญาณในการขับสวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งได้เลือกใช้สวิตช์กำลังเป็นไอจีบีที (IGBT) นอกจากนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ยังทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ เพื่อใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยการคำนวณหาค่าดัชนีวินิจฉัยดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ดังแสดงในรูปที่ 6.2

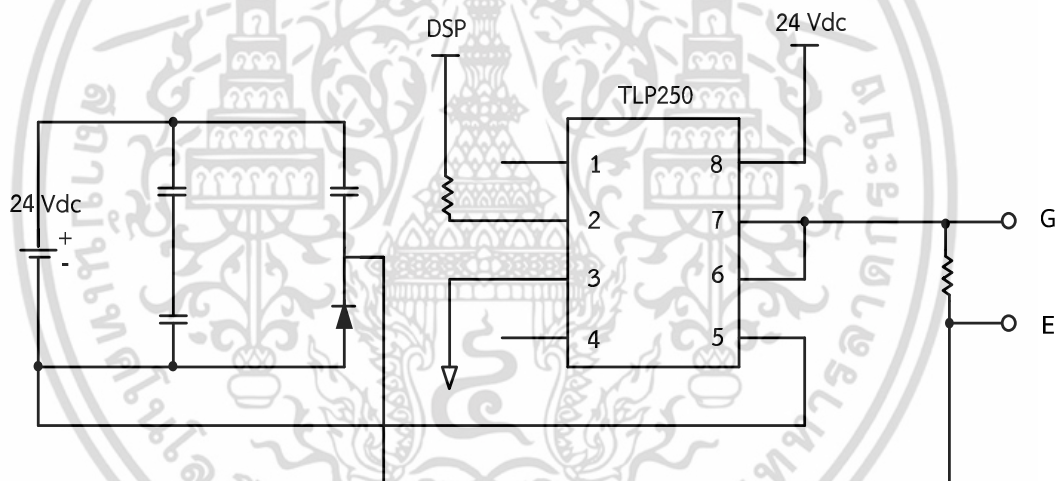


รูปที่ 6.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ TMS320F28335

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

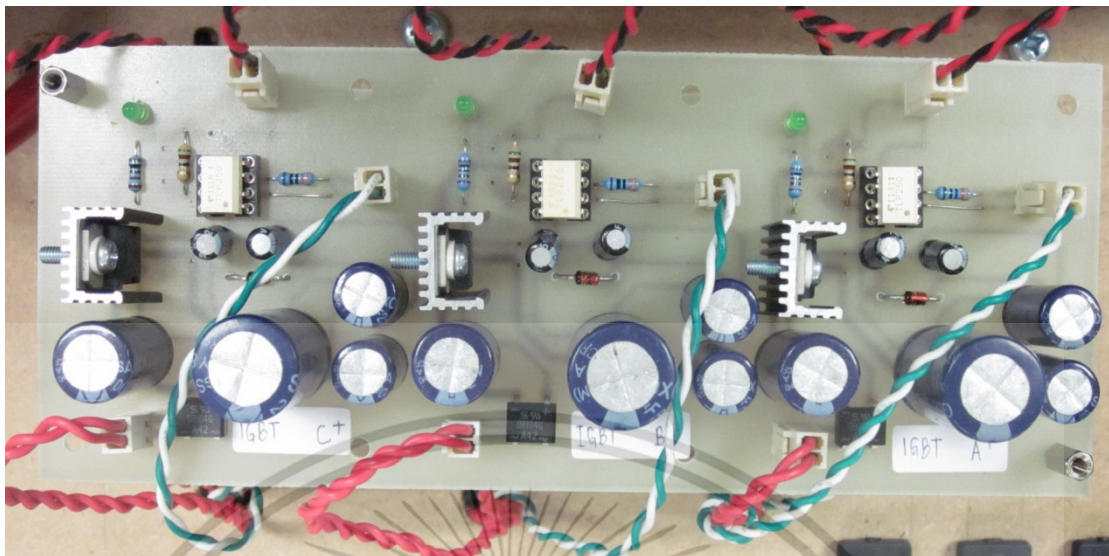
6.2.2 วงจรขับสัญญาณเกต

วงจรขับสัญญาณเกต (Gate Drive) ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณควบคุมการสวิตช์ซึ่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากสัญญาณควบคุมที่ได้มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะมีค่าระดับแรงดันอยู่ในช่วง 0 ถึง 5 โวลต์ แต่ว่าสัญญาณที่ต้องใช้ในการขับสวิตช์กำลัง (IGBT) จะต้องใช้สัญญาณแรงดัน 15 โวลต์ขึ้นไป ดังนั้นจึงเลือกใช้ IC เบอร์ TLP250 ซึ่งเหมาะกับการใช้งานสวิตช์กำลังชนิด IGBT โดยภายในของ IC เบอร์ TLP250 จะประกอบด้วยวงจรแยกโดดทางแสง (Opto Isolate) เพื่อแยกกราวด์กันระหว่างวงจรกำลังและวงจรควบคุมไม่ให้เกิดสัญญาณรบกวนระหว่างกัน และเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในกรณีที่เกิดความเสียหายทางด้านวงจรกำลัง โดยจะทำหน้าที่ยกแรงดันจาก 5 โวลต์ เป็น 15 โวลต์ และยังออกแบบให้มีแรงดันไฟตรงด้านลบขนาด -9 โวลต์ เพื่อให้สวิตช์กำลังสามารถหยุดนำกระแสได้เร็วขึ้น สำหรับโครงสร้างวงจรขับสัญญาณเกต ดังแสดงในรูปที่ 6.3 และชิ้นงานอุปกรณ์ขับสัญญาณเกต ดังแสดงในรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.3 โครงสร้างวงจรขับสัญญาณเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 อุปกรณ์ขับเคลื่อนสัญญาณเกต

6.2.3 วงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแส

สำหรับวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแส (Voltage and Current Sensor) นั้น จะแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และสัญญาณกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ (ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณกระแส 2 ชุด และอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณแรงดัน 3 ชุด) และใช้ในการตรวจวัดและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร (ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณกระแส 1 ชุด)

สำหรับการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดแรงดัน (Voltage Sensor) ของ LEM รุ่น LV25-P ซึ่งมีคุณสมบัติสามารถตรวจวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าได้สูงสุดถึง 500 โวลต์ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำหน้าที่ตรวจวัดแรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์ตรวจวัดแรงดัน แล้วส่งสัญญาณระดับแรงดันที่ได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการควบคุมการทำงานของระบบ แต่เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณดังกล่าวมีขนาดเล็กมากจึงจำเป็นต้องทำการขยายสัญญาณก่อนเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้ออปแอมป์เบอร์ TL082 เป็นตัวขยายสัญญาณ และเชื่อมต่อกับตัวต้านทานปรับค่าได้ เพื่อปรับระดับของสัญญาณในแกน x ให้ได้ค่าตามที่ต้องการ ซึ่งจะได้สัญญาณอนาล็อกเป็นรูปคลื่นไซน์ที่มีแกน x อยู่ที่ระดับแรงดัน 1.5 โวลต์ และแกน y มีค่าระดับแรงดันตั้งแต่ 0 ถึง 3 โวลต์ เปลี่ยนแปลงไปตามระดับแรงดันที่วัดได้ สำหรับโครงสร้างของวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันและกระแส ดังแสดงในรูปที่ 6.5 และชิ้นงานวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดัน ดังแสดงในรูปที่ 6.6 โดยมีหลักการทำงาน คือ อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันทำหน้าที่วัดแรงดันระหว่างเฟส โดยมี R_1 ทำหน้าที่จำกัดปริมาณกระแสสูงสุดที่ 10 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะทำการวัดแรงดันเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

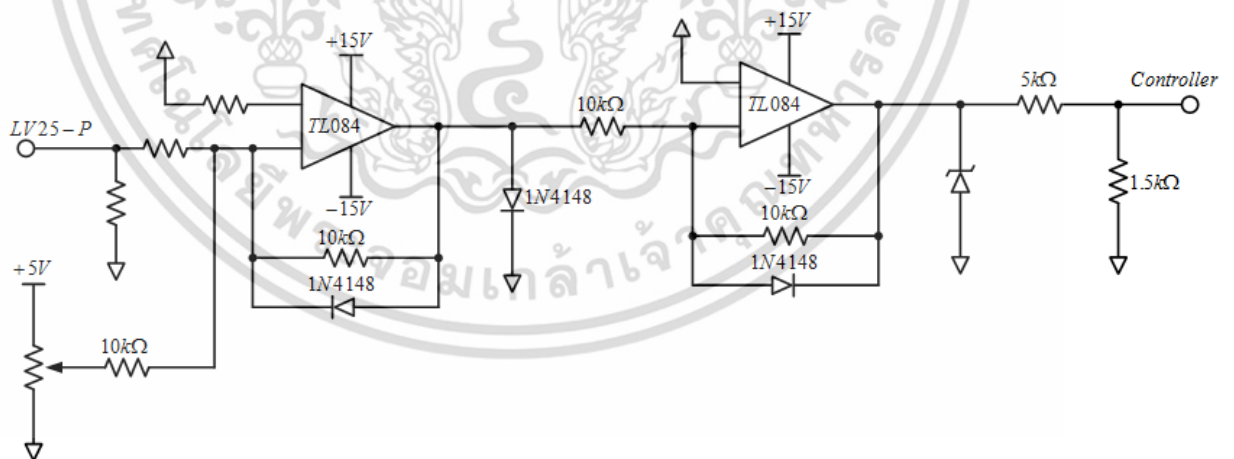
ระหว่างเฟสฝั่งกระแสสลับที่ระดับแรงดัน 380 โวลต์ และวัดแรงดันที่วงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงที่ระดับแรงดัน 150 โวลต์ ซึ่งสามารถคำนวณขนาดของ R_1 ได้ดังสมการที่ (6.1) และได้ค่า R_1 ดังสมการที่ (6.2) ถึง (6.3) ตามลำดับ

สำหรับการตรวจวัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสไฟฟ้ากระแสสลับนั้นในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดกระแส (Current Sensor) ของ LEM รุ่น LA100-P/SP13 โดยอาศัยหลักการของ Hall effect ซึ่งสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะมีขนาดสัญญาณที่เล็กมาก เช่นเดียวกับการตรวจวัดสัญญาณแรงดัน จึงจำเป็นต้องใช้ออปแอมป์เบอร์ TL082 เป็นตัวขยายสัญญาณ เพื่อให้ได้สัญญาณอยู่ในช่วง 0 ถึง 3 โวลต์ จากนั้นสัญญาณที่ตรวจวัดได้ และผ่านการขยายสัญญาณจะถูกส่งเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบต่อไป สำหรับชิ้นงานวงจรตรวจวัดสัญญาณกระแส ดังแสดงในรูปที่ 6.7

$$R_1 = \frac{v}{i} \quad (6.1)$$

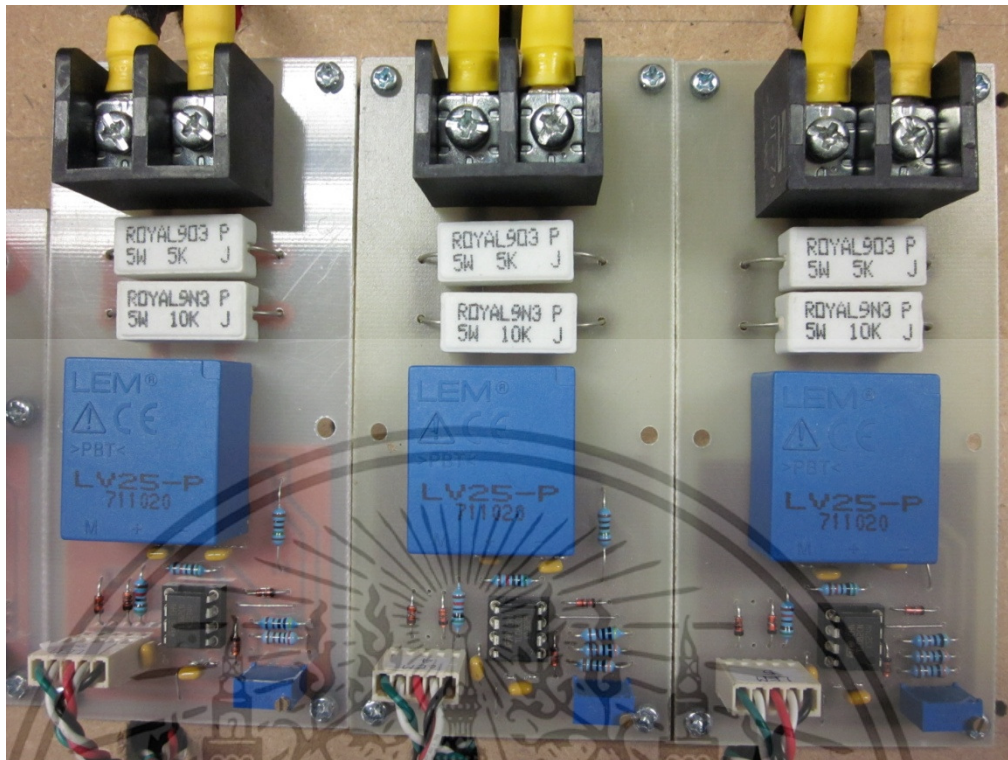
$$R_{ac} = \frac{380}{10 \times 10^{-3}} = 38 \text{ k}\Omega \quad (6.2)$$

$$R_{ac} = \frac{150}{10 \times 10^{-3}} = 15 \text{ k}\Omega \quad (6.3)$$

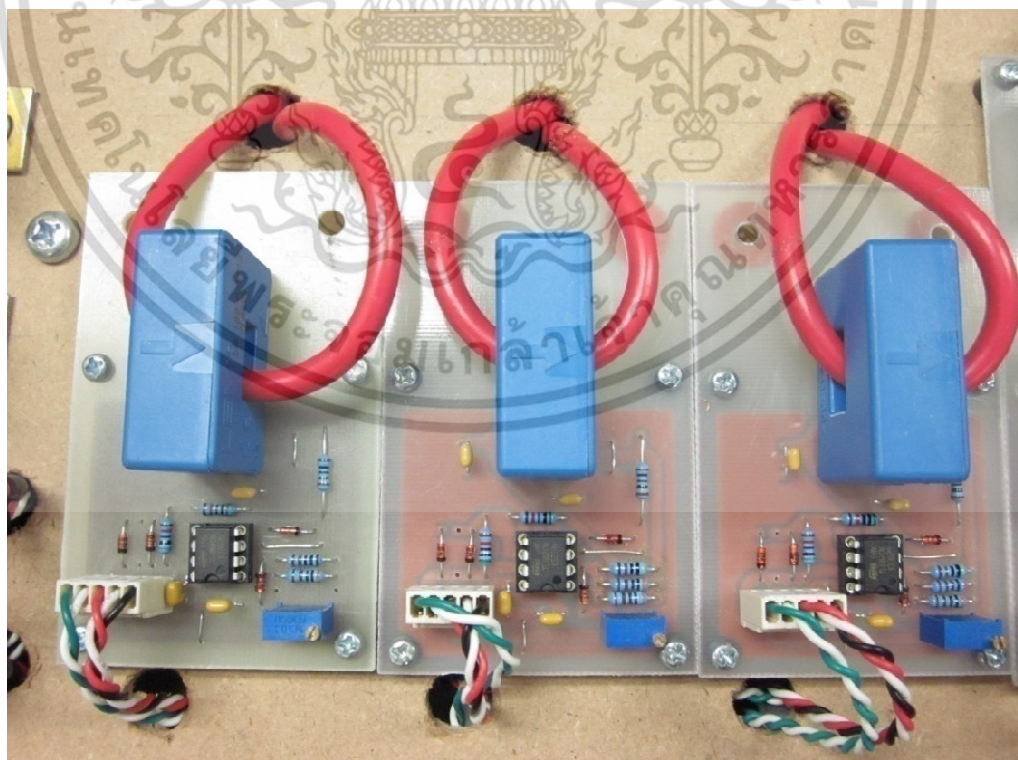


รูปที่ 6.5 โครงสร้างของวงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันและกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 วงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดัน

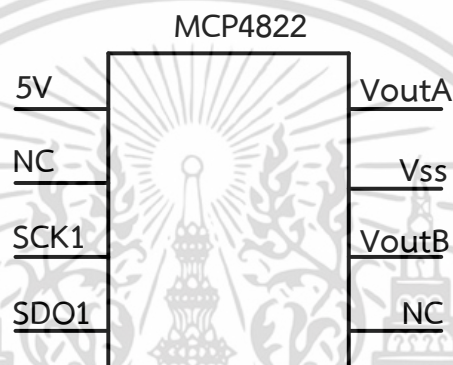


รูปที่ 6.7 วงจรตรวจวัดสัญญาณกระแส

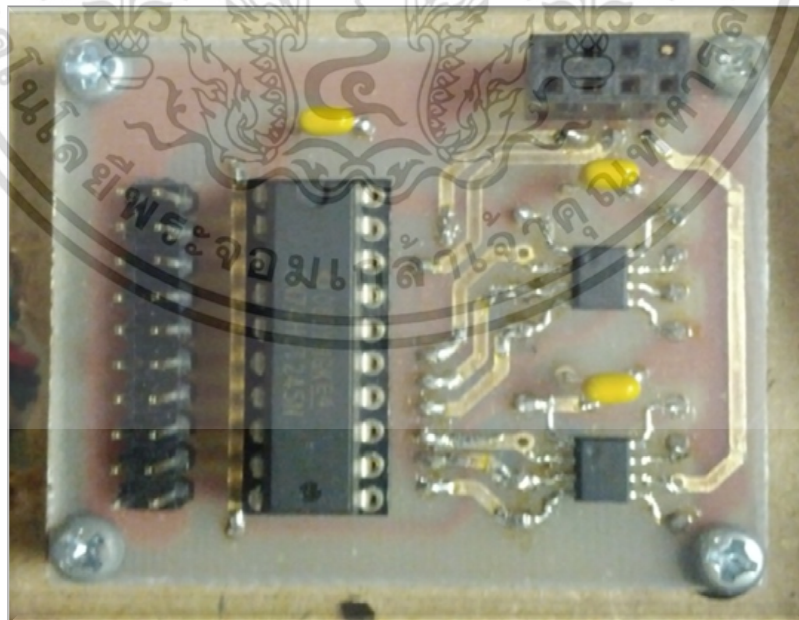
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.4 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก

เนื่องจากเอาต์พุตที่ออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น เป็นสัญญาณดิจิทัลที่สามารถแสดงค่าได้เพียง 0 กับ 1 แต่มีความจำเป็นต้องการดูค่าที่มีความละเอียดมากกว่าสัญญาณดิจิทัลที่ออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นเพื่อให้เราสามารถดูค่าได้อย่างละเอียดมากขึ้น จึงจำเป็นต้องแปลงสัญญาณดิจิทัลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เป็นสัญญาณอนาล็อก โดยจะใช้ไอซีเบอร์ MCP4822 ซึ่งจะมีความละเอียด 12 บิต โดยมีโครงสร้างของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ดังแสดงในรูปที่ 6.8 และชิ้นงานของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ดังแสดงในรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.8 โครงสร้างของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก



รูปที่ 6.9 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.5 อุปกรณ์จำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร

เนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้มุ่งเน้นที่ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ดังนั้นการที่จะทำการทดสอบในสภาวะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรได้นั้นจึงจำเป็นต้องทำการจำลองให้เกิดฟอลต์ขึ้น โดยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์จำลองการเกิดฟอลต์ขึ้น โดยวงจรจะประกอบไปด้วยสวิตช์เปิด-ปิด แบบโยกจำนวน 6 สวิตช์ เพื่อใช้ในการจำลองให้เกิดฟอลต์ขึ้นในสวิตช์กำลังแต่ละตัวของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 6 ตัว โดยสวิตช์แต่ละตัวจะทำการตัด-ต่อสัญญาณขับเคลื่อนของไอจีบีทีได้ 1 ตัว ซึ่งการตัด-ต่อสัญญาณขับเคลื่อนนั้น ทำได้โดยเปิดสวิตช์ตัวที่ต้องการจะจำลองให้เกิดฟอลต์ โดยสามารถจำลองให้เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรได้เพียงครั้งละ 1 สวิตช์เท่านั้น เมื่อทำการเปิดสวิตช์จะมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 2 โวลต์ ส่งเข้าสู่อุปกรณ์ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงดังกล่าวก็จะทำการตัดสัญญาณขับเคลื่อนให้กับไอจีบีทีตัวที่จำลองให้เกิดฟอลต์ เมื่อไอจีบีทีตัวที่จำลองให้เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ไม่ได้รับสัญญาณขับเคลื่อนก็จะไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ซึ่งก็เปรียบเสมือนกับว่าเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ในขณะเดียวกันหากทำการปิดสวิตช์ก็จะมีสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงส่งไปยังอุปกรณ์ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะส่งสัญญาณขับเคลื่อนให้แก่ไอจีบีทีเหมือนเดิม ซึ่งนั่นก็หมายความว่าเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ก็จะกลับเข้าสู่โหมดภาวะการทำงานปกติอีกครั้ง โดยอุปกรณ์จำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ใช้ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ดังแสดงในรูปที่ 6.10



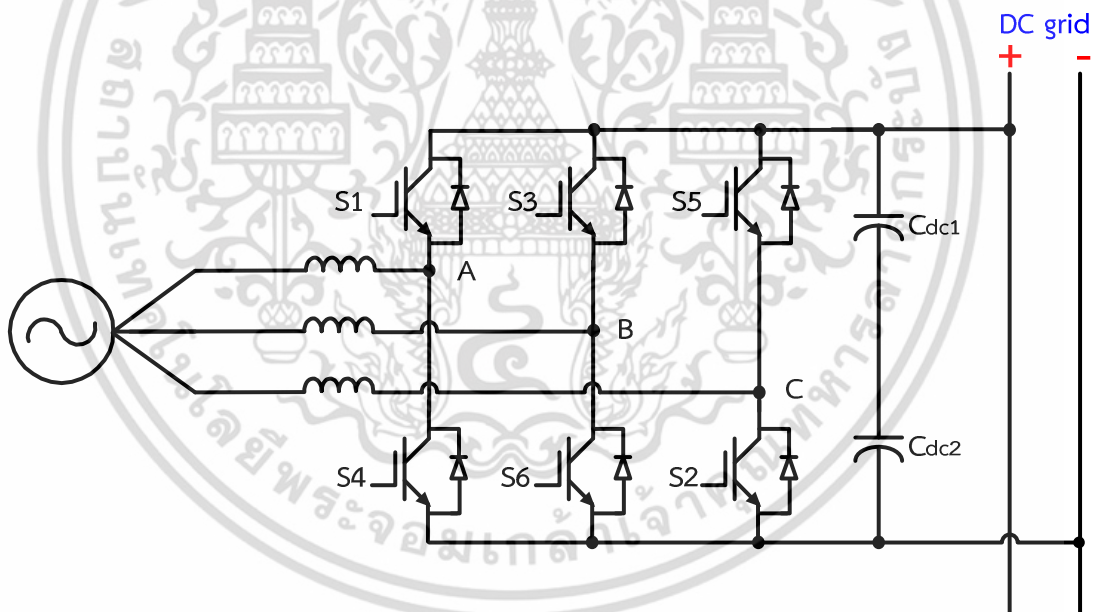
รูปที่ 6.10 อุปกรณ์จำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การออกแบบวงจรกำลัง

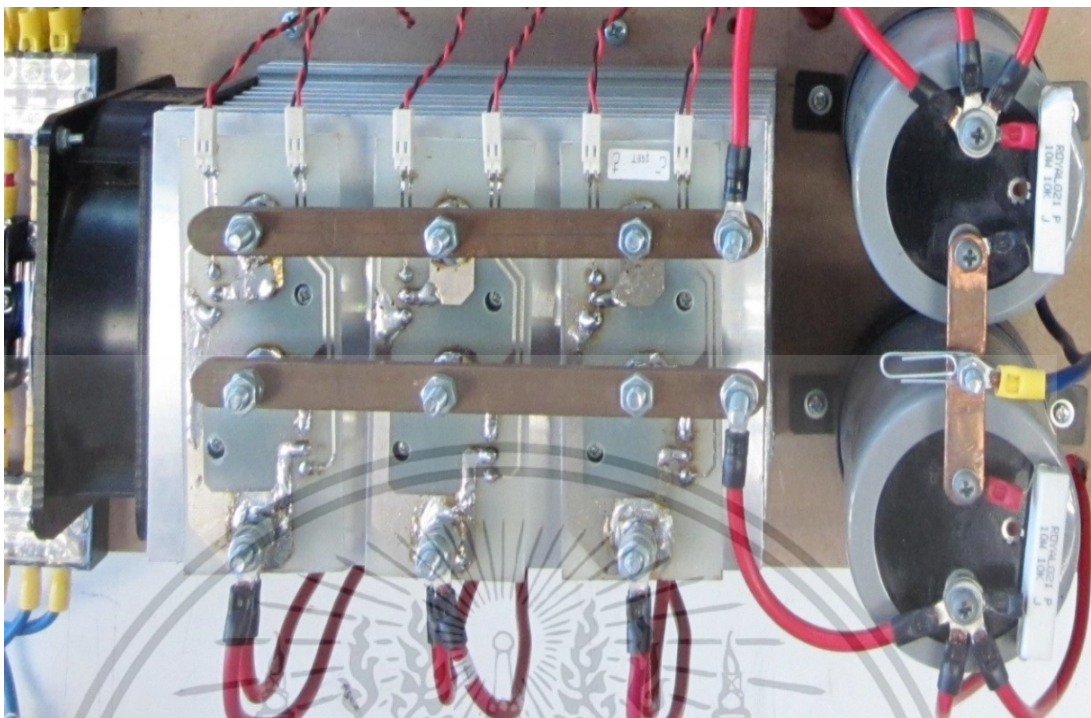
6.3.1 เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นจะประกอบไปด้วย อุปกรณ์สวิตช์กำลัง ซึ่งเลือกใช้เป็นไอจีบีที (IGBT) เบอร์พิกัดแรงดัน 900 โวลต์ พิกัดกระแส 60 แอมป์ จำนวน 6 ตัว โดยมีโครงสร้างวงจรของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 6.11 โดยติดตั้งบนแผ่นระบายความร้อน (Heat Sink) พร้อมพัดลมระบายความร้อน เนื่องจากสวิตช์กำลังจะทำงานที่ความถี่สวิตช์สูง จึงเกิดความร้อนสะสมตลอดการทำงาน ดังนั้นการระบายความร้อนที่เหมาะสมจะช่วยให้สามารถยืดอายุการใช้งานของสวิตช์กำลังได้ สำหรับการเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะใช้ บัสบาร์ทองแดงทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า นอกจากนี้ทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงยังได้ใช้ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ขนาด 2,200 ไมโครฟารัด จำนวน 2 ตัว เชื่อมต่อกับวงจร เพื่อลดค่าระลอกคลื่นของแรงดันไฟฟ้าด้านออก โดยการทำงานของสวิตช์กำลังจะทำงานได้เมื่อได้รับสัญญาณขับเคลื่อนที่ได้จากวงจรขับเคลื่อนเกต ซึ่งจะป้อนเข้าที่ขาเกต (Gate) ของไอจีบีที สำหรับเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสที่สร้างขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.11 โครงสร้างของวงจรเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.12 เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

6.3.2 อุปกรณ์ป้องกัน

เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ และอุปกรณ์อื่น ๆ ของระบบ จึงได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันให้แก่ระบบ ดังนี้

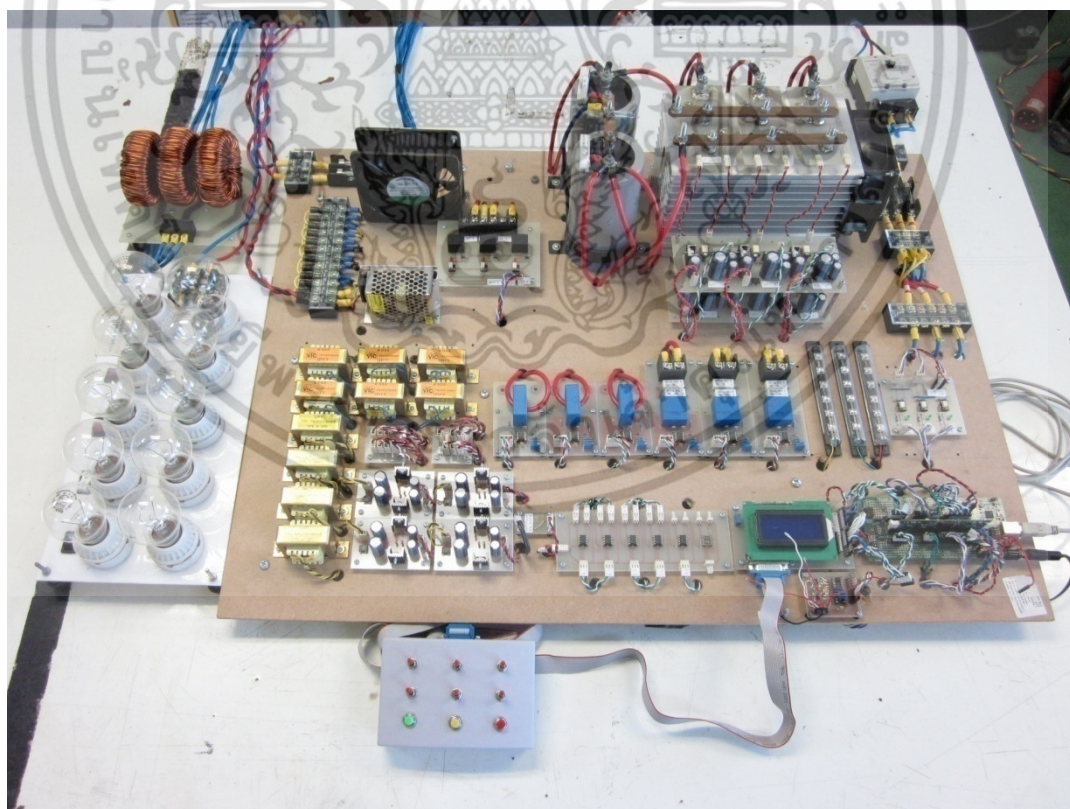
1. เซอร์กิตเบรกเกอร์ 3 เฟส ของบริษัท MISUBISHI รุ่น NF30-CS ขนาดพิกัดกระแส 30 แอมป์ ขนาดพิกัดแรงดัน 380 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ ทำหน้าที่ในการป้องกันโหลดเกิน และการลัดวงจร
2. ฟิวส์ขนาด 10 แอมป์ ทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์และระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ต้นแบบ

เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์และระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ต้นแบบที่ได้จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ สำหรับใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ดังแสดงในรูปที่ 6.13 มีส่วนประกอบทั้งหมดดังนี้

1. ชุดเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์	จำนวน 1 ชุด
2. ชุดวงจรขับสัญญาณเกต	จำนวน 6 ชุด
3. ชุดวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน	จำนวน 3 ชุด
4. ชุดวงจรตรวจจับสัญญาณกระแส	จำนวน 3 ชุด
5. ชุดอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์	จำนวน 1 ชุด
6. ชุดวงจรแสดงผล LCD	จำนวน 1 ชุด
7. ชุดอุปกรณ์ป้องกันแรงดันและกระแสเกิน	จำนวน 2 ชุด
8. ชุดแหล่งจ่ายไฟ	
±12 โวลต์ 500 มิลลิแอมแปร์	จำนวน 6 ชุด
±15 โวลต์ 200 มิลลิแอมแปร์	จำนวน 4 ชุด
+5 โวลต์ 100 มิลลิแอมแปร์	จำนวน 1 ชุด



รูปที่ 6.13 เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์และระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการออกแบบและการสร้างเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์และระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ ซึ่งจะประกอบไปด้วย 2 องค์ประกอบใหญ่ ๆ คือ ภาควงจรควบคุม และ ภาควงจรกำลัง โดยภาควงจรควบคุมประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรขับสัญญาณเกต วงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแส วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก และอุปกรณ์จำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ส่วนภาควงจรกำลังประกอบด้วย เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ขนาดพิกัด 1.5 กิโลวัตต์ และอุปกรณ์ป้องกัน โดยการออกแบบและสร้างระบบต้นแบบจะใช้หลักการ และทฤษฎีพื้นฐานในบทที่ 2 ถึง 4 รวมถึงผลการจำลองที่ได้จากการจำลองในบทที่ 5 ได้ถูกนำมาใช้ในการออกแบบและคำนวณค่าพิกัดอุปกรณ์ตลอดจนการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับผลการทดสอบระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์จะได้นำเสนอต่อไปในบทที่ 7



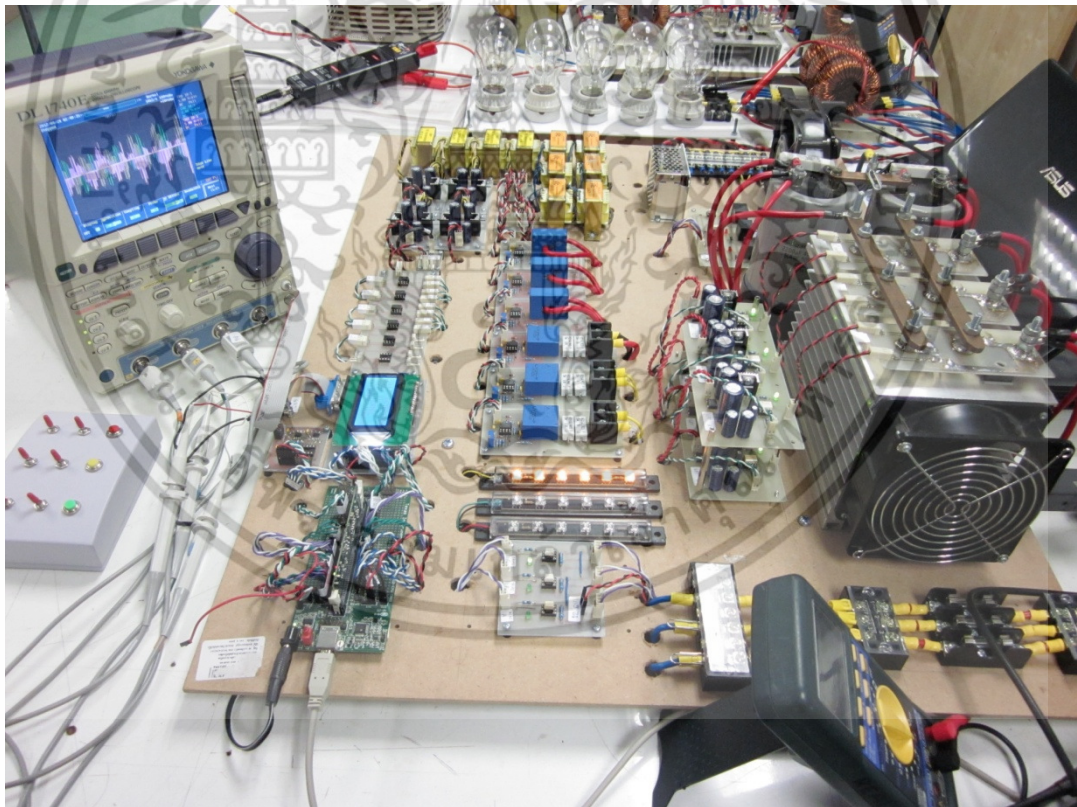
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ผลการทดสอบ

7.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส และระบบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรต้นแบบ โดยอาศัยหลักการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 โดยการทดสอบจะแบ่งเป็นในส่วนของ การทดสอบการทำงานในสภาวะปกติของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส การทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ การทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรและการทดสอบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรสำหรับเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส และระบบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรต้นแบบ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 การทดสอบเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์และระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

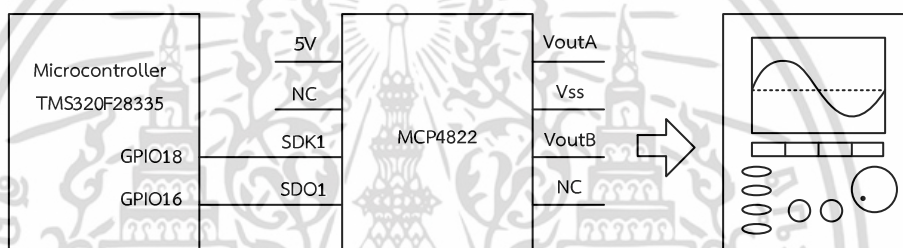
7.2 การทดสอบการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

7.2.1 วัตถุประสงค์

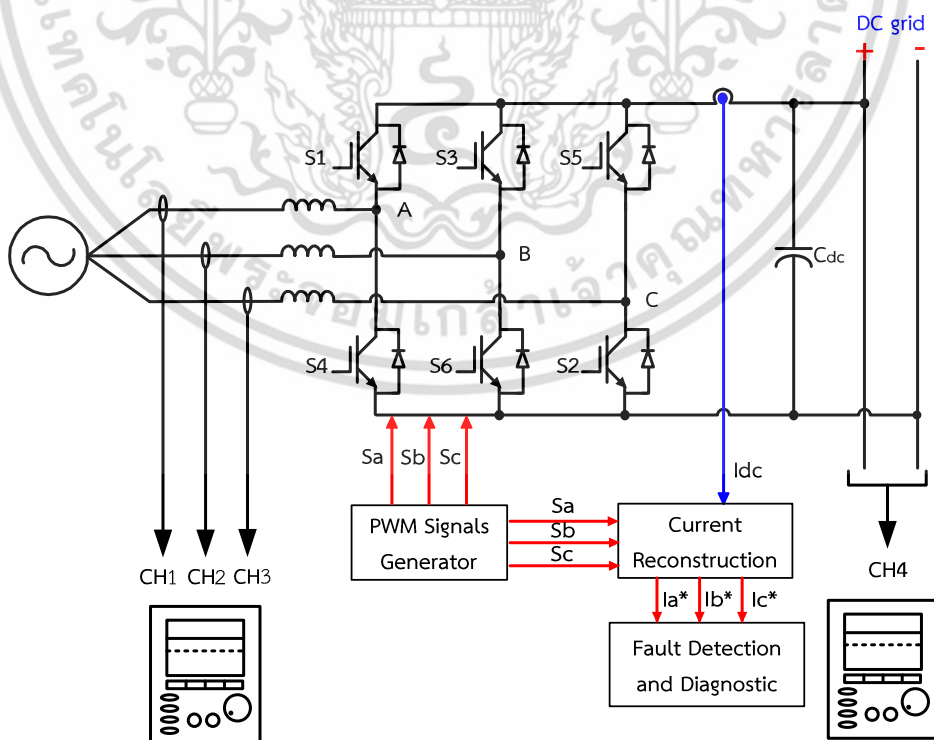
เพื่อทดสอบการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในสภาวะปกติ รวมถึงสัญญาณการควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สำหรับการทดสอบ เพื่อเป็นการยืนยันการทำงานที่ถูกต้องของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ก่อนที่จะทำการทดสอบในหัวข้ออื่น ๆ ต่อไป

7.2.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในสภาวะปกตินี้ สามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบวงจรควบคุม และการทดสอบวงจรกำลัง โดยยังไม่ได้ทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ และการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ สำหรับวงจรการทดสอบวงจรควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 7.2 และวงจรการทดสอบวงจรกำลัง ดังแสดงในรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.2 วงจรการทดสอบวงจรควบคุม



รูปที่ 7.3 วงจรการทดสอบวงจรกำลัง

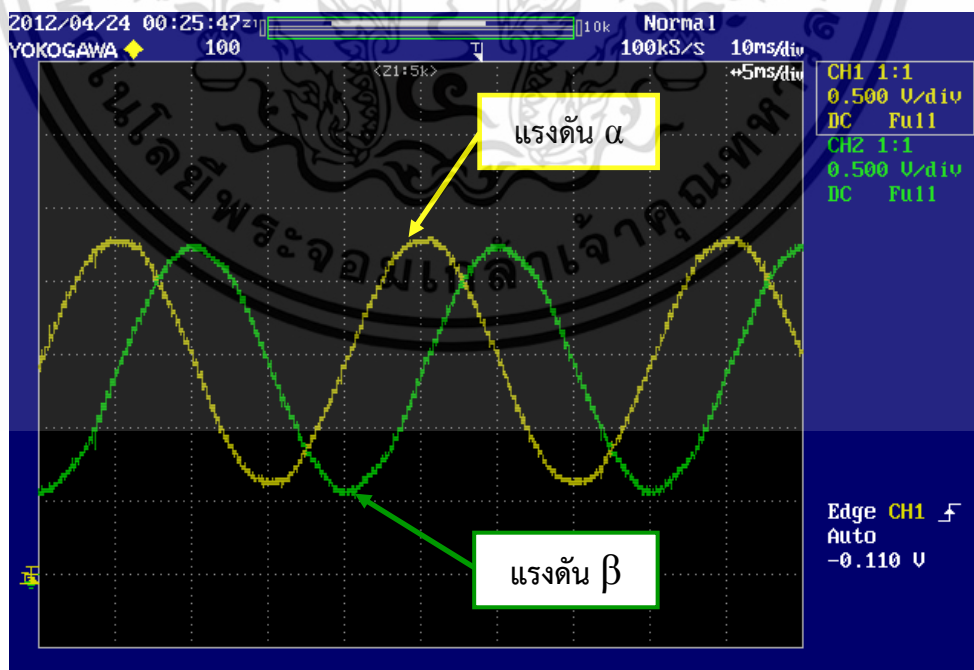
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

- ทำการจ่ายไฟเลี้ยงวงจรให้กับวงจรควบคุม คือ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรขับสัญญาณเกต วงจรตรวจวัดสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแส และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก
- ทำการวัดสัญญาณควบคุมที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์โดยวัดสัญญาณผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ซึ่งสัญญาณที่ทำการวัด คือ สัญญาณแรงดัน α สัญญาณแรงดัน β สัญญาณแรงดัน V_d สัญญาณแรงดัน V_q สัญญาณมุมของแรงดันอ้างอิง และสัญญาณชับเกต
- ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้วงจรกำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส พร้อมวัดสัญญาณแรงดัน และสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุตทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง
- ทำการเพิ่มภาระทางไฟฟ้าจาก 200 วัตต์ เป็น 300 วัตต์ และ 400 วัตต์ ตามลำดับ พร้อมวัดสัญญาณกระแสทางด้านอินพุตของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส รวมถึงวัดสัญญาณแรงดัน และสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุตในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง

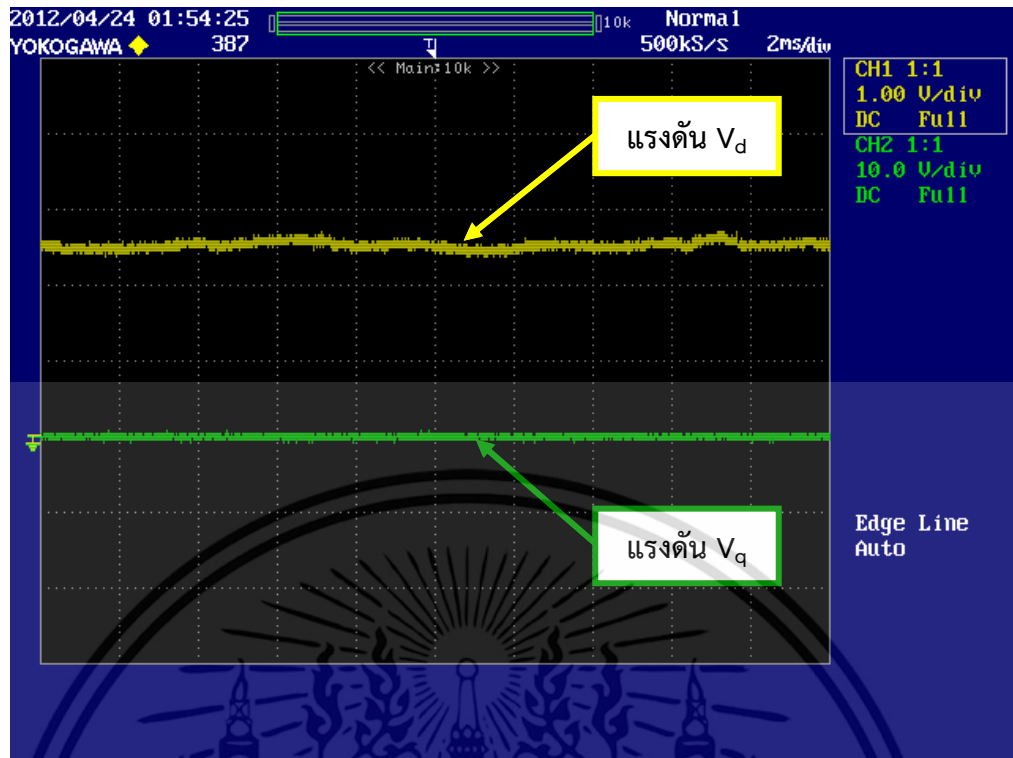
7.2.4 ผลการทดสอบวงจรควบคุม

ผลการทดสอบในหัวข้อนี้จะเป็นการยืนยันการทำงานที่ถูกต้องของวงจรควบคุมก่อนที่จะจ่ายสัญญาณควบคุมการทำงานให้กับเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ซึ่งจากการทำการทดสอบจะพบว่าในส่วนของวงจรควบคุม สามารถทำงานได้ถูกต้องเป็นไปตามทฤษฎีพื้นฐานตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว สำหรับผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7.4 ถึง 7.7

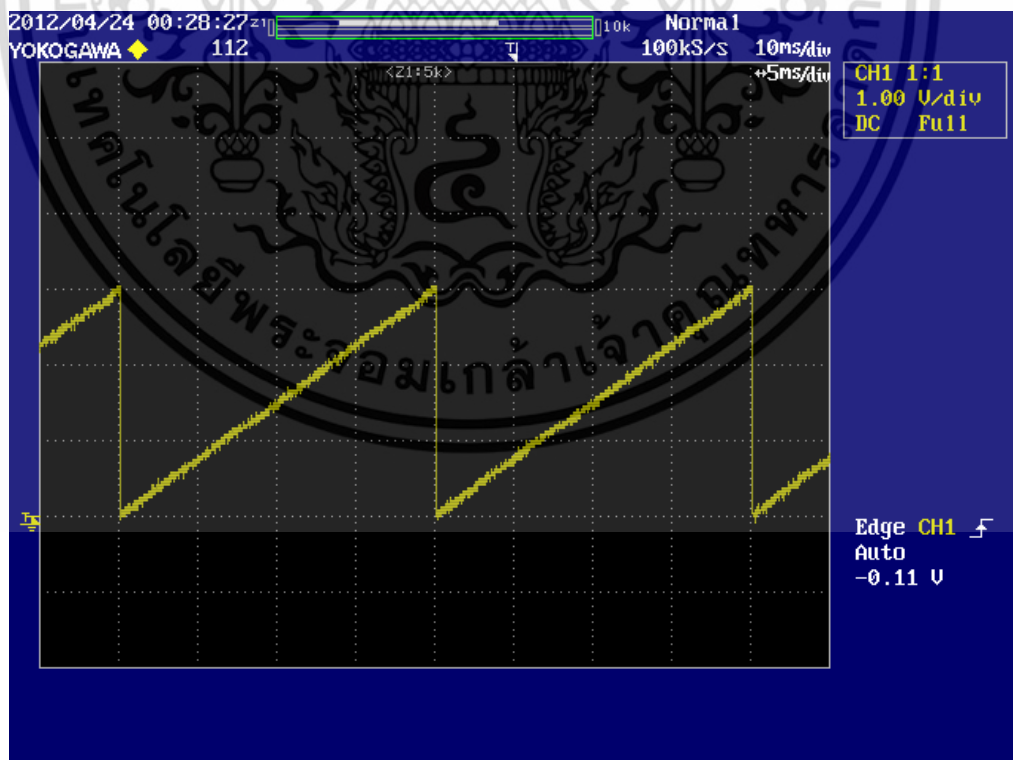


รูปที่ 7.4 สัญญาณแรงดัน α (สีเหลือง) และสัญญาณแรงดัน β (สีเขียว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

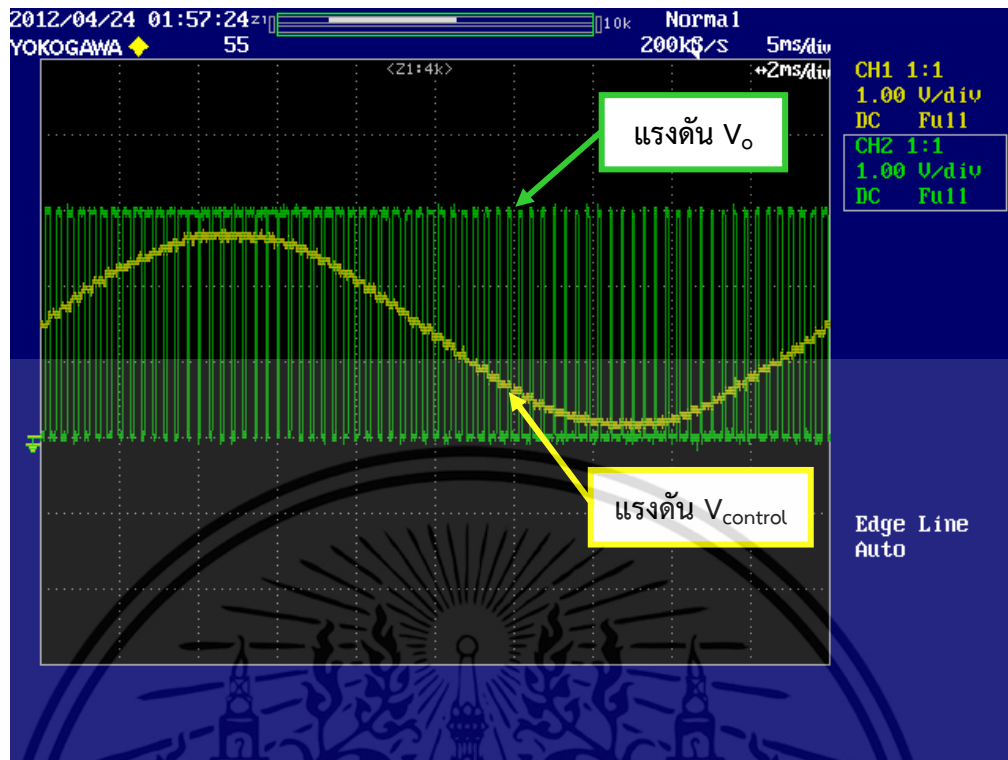


รูปที่ 7.5 สัญญาณแรงดัน V_d (สีเหลือง) และสัญญาณแรงดัน V_q (สีเขียว)



รูปที่ 7.6 สัญญาณมุมของแรงดันอ้างอิง

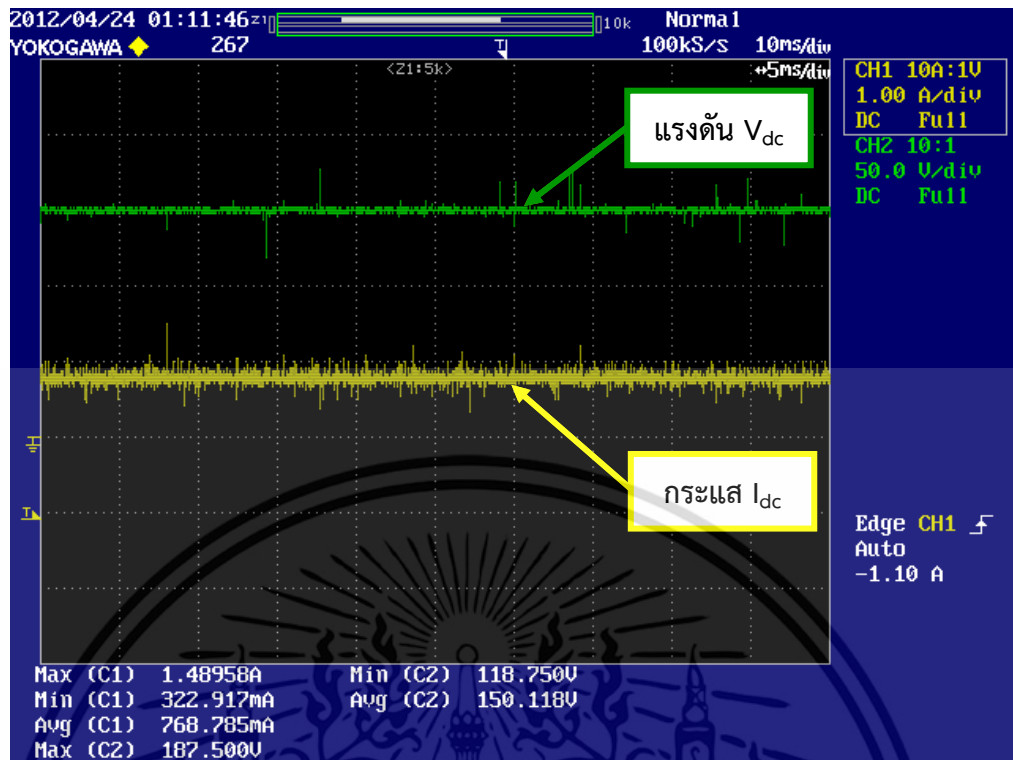
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



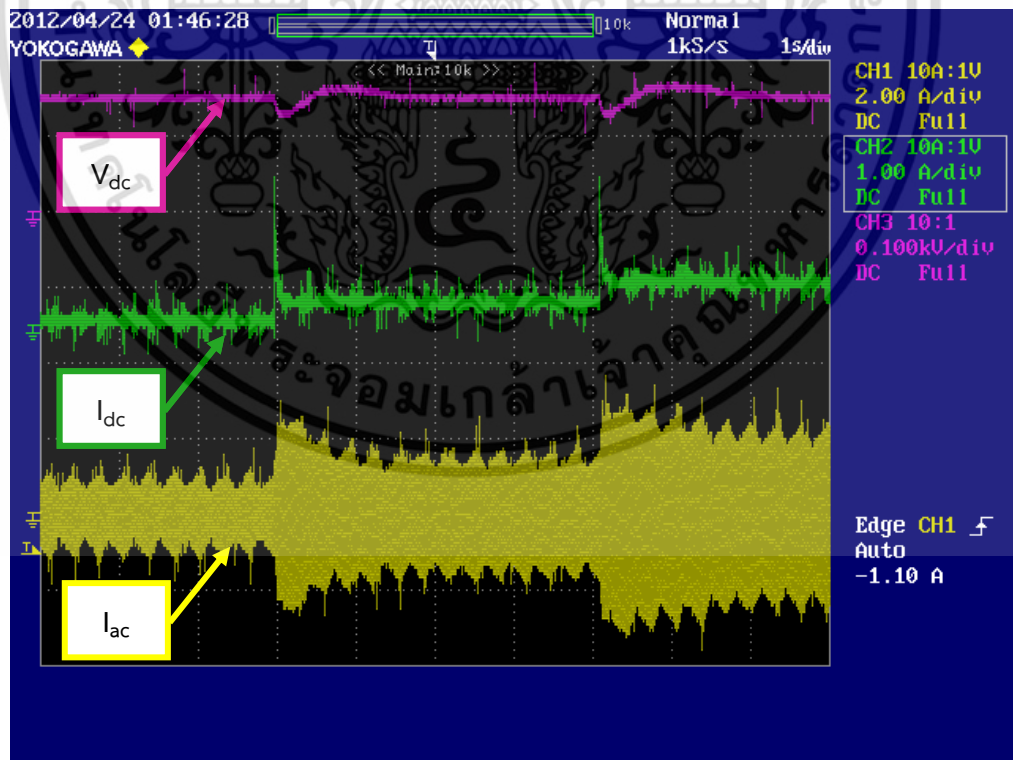
รูปที่ 7.7 สัญญาณขับเคลื่อน

7.2.5 ผลการทดสอบวงจรกำลัง

ผลการทดสอบในหัวข้อนี้จะเป็นการยืนยันการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส สามารถแปลงผันแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดแรงดัน 150 โวลต์ได้ และยังเป็น การทดสอบการควบคุมแบบวงรอบปิด (Close Loop Control) ของโปรแกรมที่ได้ออกแบบ และเขียนลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ว่าสามารถทำการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตให้มีระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้คงที่ไว้ที่ระดับแรงดัน 150 โวลต์ได้ แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยสามารถสังเกตได้จากสัญญาณกระแสต้านอินพุต สัญญาณแรงดัน และสัญญาณกระแสต้านเอาต์พุตทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง (DC link) สำหรับผลการทดสอบ ดังแสดงดังรูปที่ 7.8 ถึง 7.9



รูปที่ 7.8 สัญญาณแรงดัน (สีเขียว) และสัญญาณกระแส (สีเหลือง) ด้านเอาต์พุต



รูปที่ 7.9 สัญญาณแรงดัน (สีชมพู) และสัญญาณกระแส (สีเขียว) ด้านเอาต์พุต และสัญญาณกระแส

อินพุตเฟส A (สีเหลือง) ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2.6 สรุปผลการทดสอบการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

จากผลการทดสอบการทำงานวงจรควบคุม และวงจรกำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส พบว่าสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และสามารถรักษาระดับแรงดันด้านเอาต์พุตให้คงที่ที่ 150 โวลต์ ถึงแม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปของภาระทางไฟฟ้า ซึ่งนั่นหมายความว่าโปรแกรมควบคุมแบบวงรอบปิดที่ได้ออกแบบนั้น สามารถทำงานได้ถูกต้องเป็นไปตามทฤษฎี

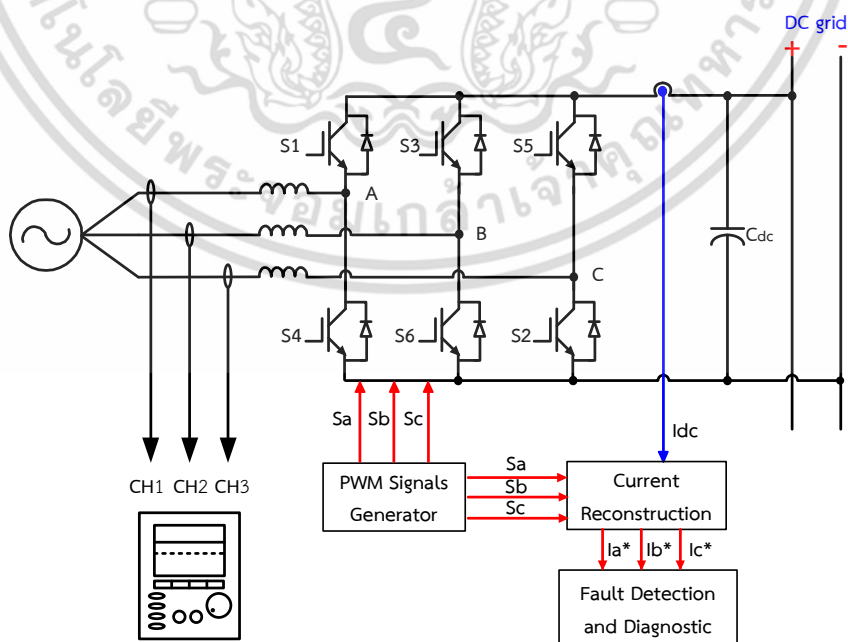
7.3 การทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร

7.3.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยอาศัยอุปกรณ์จำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรดังรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 6 ซึ่งจะทำให้ทราบถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสทางด้านอินพุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส สัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุทในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร

7.3.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรให้เกิดขึ้นที่สวิตช์กำลัง (IGBT) ของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ที่ตำแหน่งสวิตช์ในแต่ละเฟส โดยแบ่งเป็นชุดสวิตช์ด้านบน S1, S3, S5 และชุดสวิตช์ด้านล่าง S4, S6, S2 ซึ่งทำการจำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรเพียงครั้งละ 1 สวิตช์เท่านั้น นั่นคือที่ตำแหน่งสวิตช์ S1, S2, S3, S4, S5 และ S6 ตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น สำหรับวงจรการทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ดังแสดงในรูปที่ 7.10



รูปที่ 7.10 วงจรการทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร

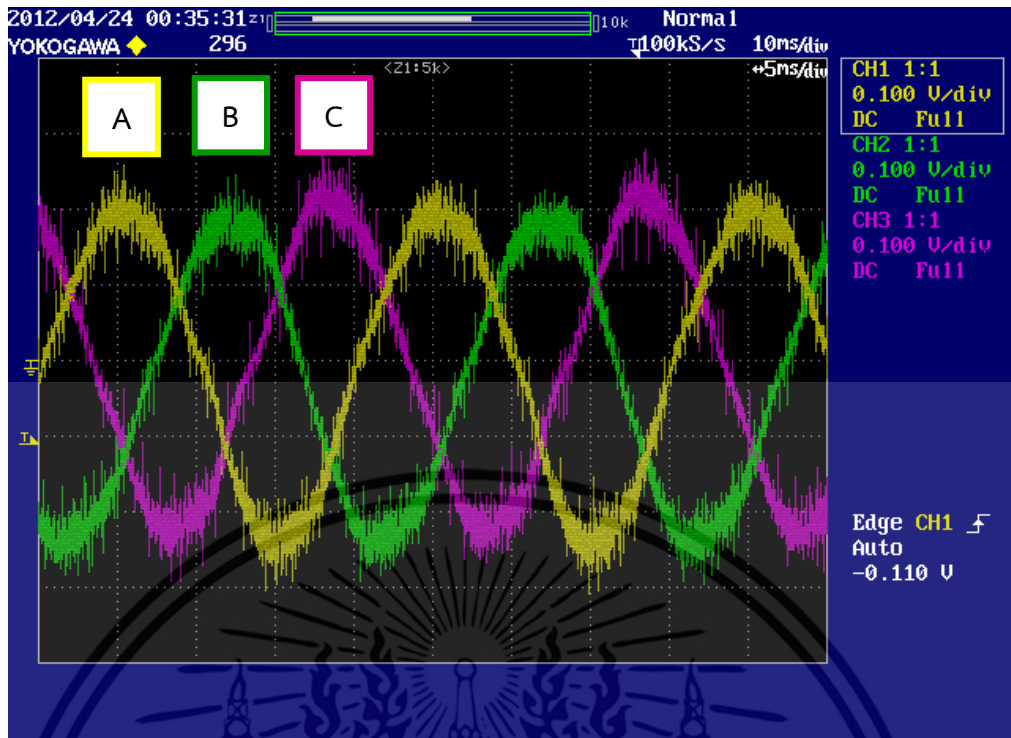
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

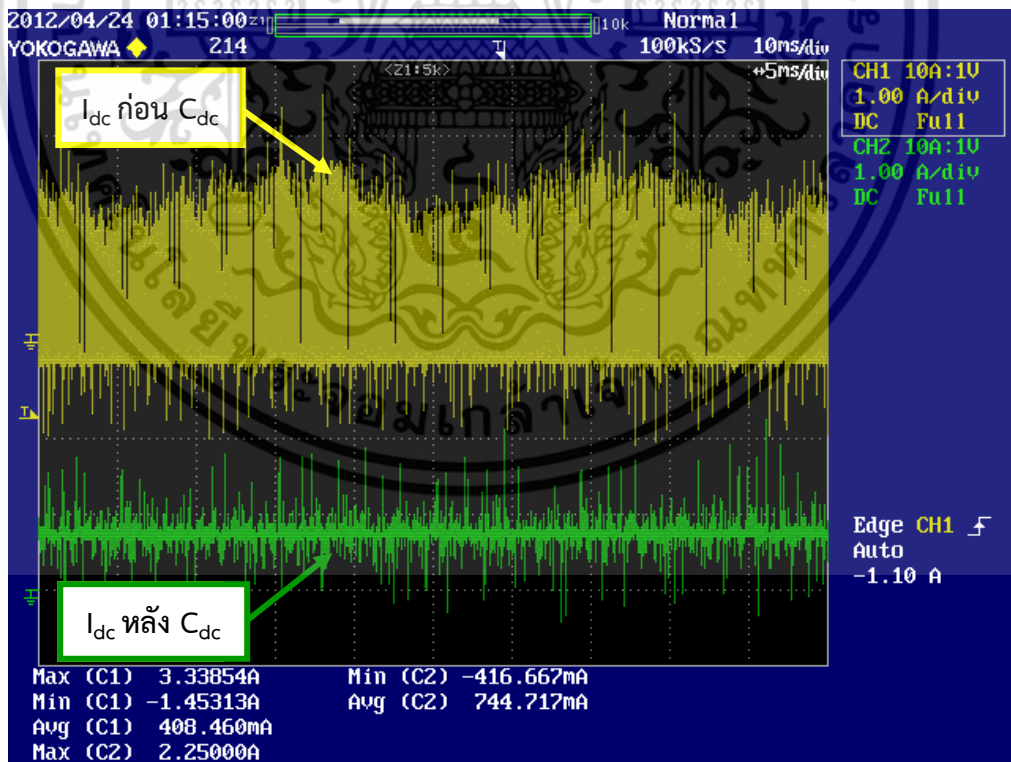
- ทำการเชื่อมต่อเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสกับภาระทางไฟฟ้าเข้าด้วยกัน พร้อมวัดสัญญาณกระแสทางด้านอินพุท และสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุทที่ตำแหน่ง ก่อนเข้าตัวเก็บประจุ และหลังเข้าตัวเก็บประจุแล้วในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง (DC Link)
- ทำการเปิดสวิตช์ของอุปกรณ์จำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรเพื่อจะทำการตัดสัญญาณขับเคลื่อนที่ป้อนให้กับสวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสโดยเริ่มจากที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 พร้อมวัดสัญญาณกระแสทางด้านอินพุท สัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุท และสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุทที่ตำแหน่งก่อนเข้าตัวเก็บประจุ และหลังเข้าตัวเก็บประจุแล้ว ในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง (DC Link) จากนั้นทำการปิดสวิตช์ และกดปุ่มรีเซต เพื่อส่งสัญญาณขับเคลื่อนให้กับสวิตช์กำลัง (IGBT) ของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสตามปกติ
- ทำการจำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์อื่น ๆ โดยทำการเปิดสวิตช์ที่ใช้ในการจำลองที่ตำแหน่งสวิตช์ S4 , S3 , S6 , S5 และ S2 ตามลำดับ โดยเรียงตามลำดับเฟส ซึ่งจะทำการจำลองให้เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรครั้งละ 1 สวิตช์เท่านั้น พร้อมบันทึกผลการทดสอบ

7.3.4 ผลการทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์วงจร

จากการทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 , S2 , S3 , S4 , S5 และ S6 โดยจำลองให้เกิดฟอลต์เพียงครั้งละ 1 สวิตช์ ได้ผลการทดสอบซึ่งแสดงถึงลักษณะของการเปลี่ยนแปลงไปของสัญญาณกระแสทางด้านอินพุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส และสัญญาณแรงดัน และสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุทในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ดังแสดงในรูปที่ 7.11 ถึง 7.19



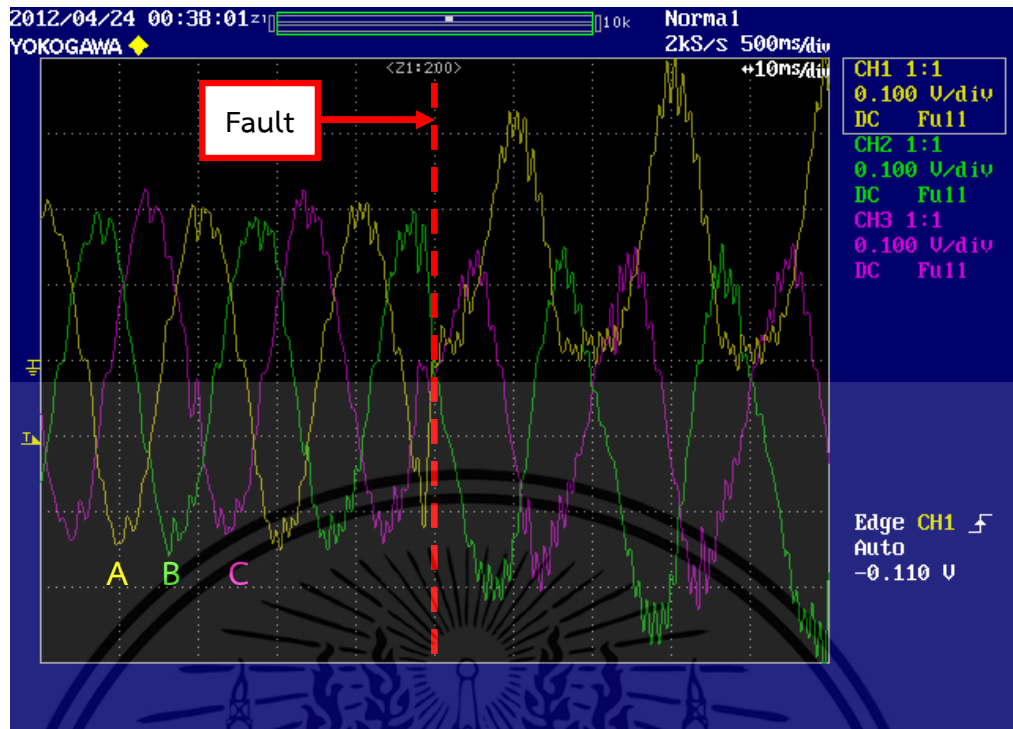
รูปที่ 7.11 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสในสภาวะปกติ



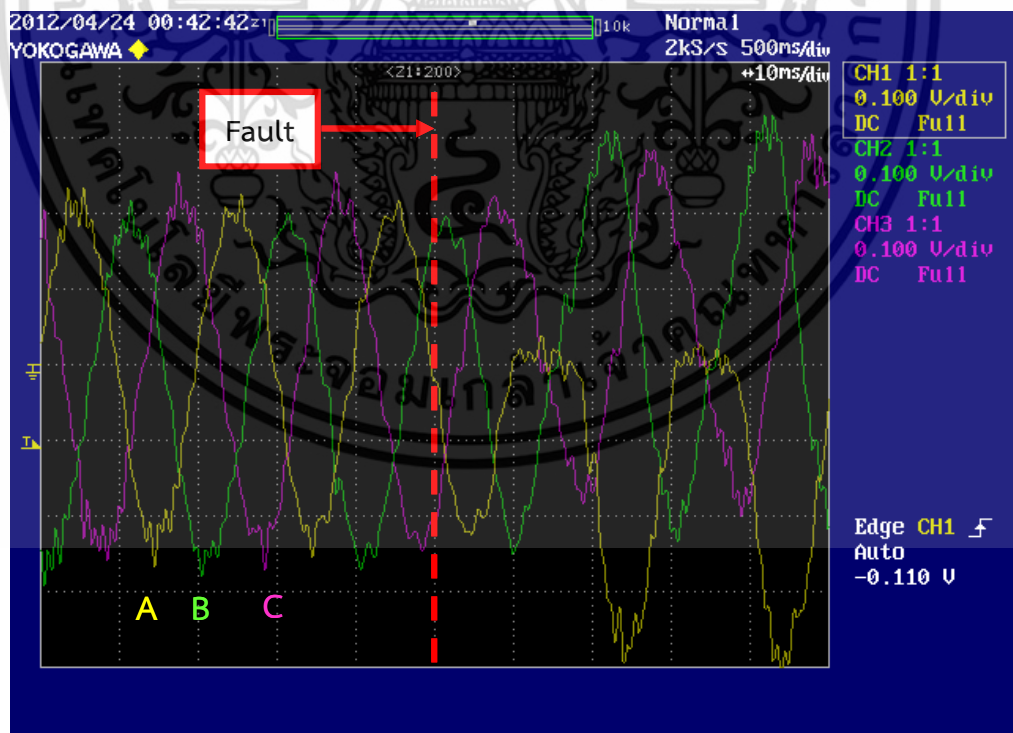
รูปที่ 7.12 สัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสก่อนเข้าตัวเก็บประจุ

(สีเหลือง) และหลังเข้าตัวเก็บประจุ (สีเขียว) ในสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการดำเนินงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ท่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

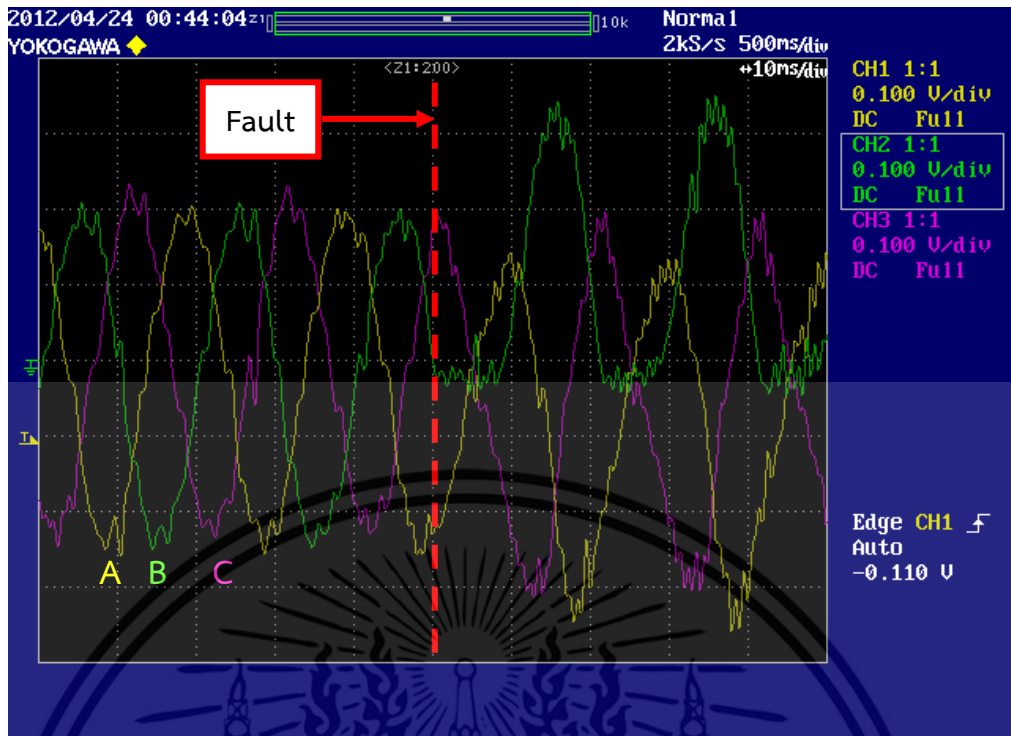


รูปที่ 7.13 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสในขณะเกิดฟอลต์ชนิด สวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 (เฟส A ตัวบน)

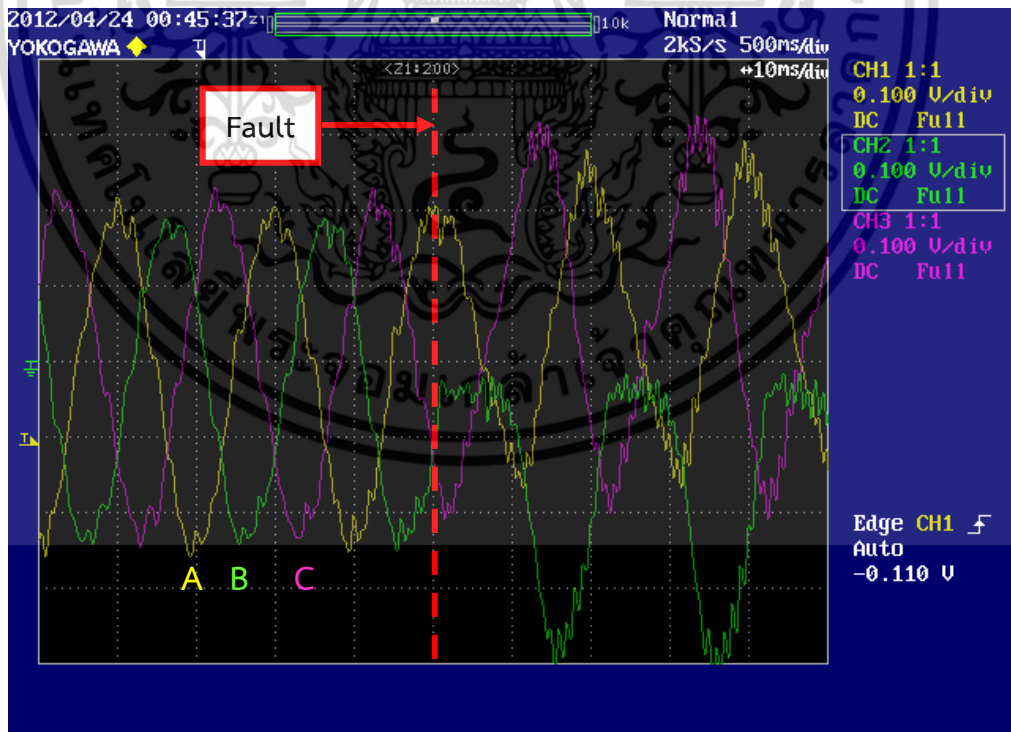


รูปที่ 7.14 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสในขณะเกิดฟอลต์ชนิด สวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S4 (เฟส A ตัวล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

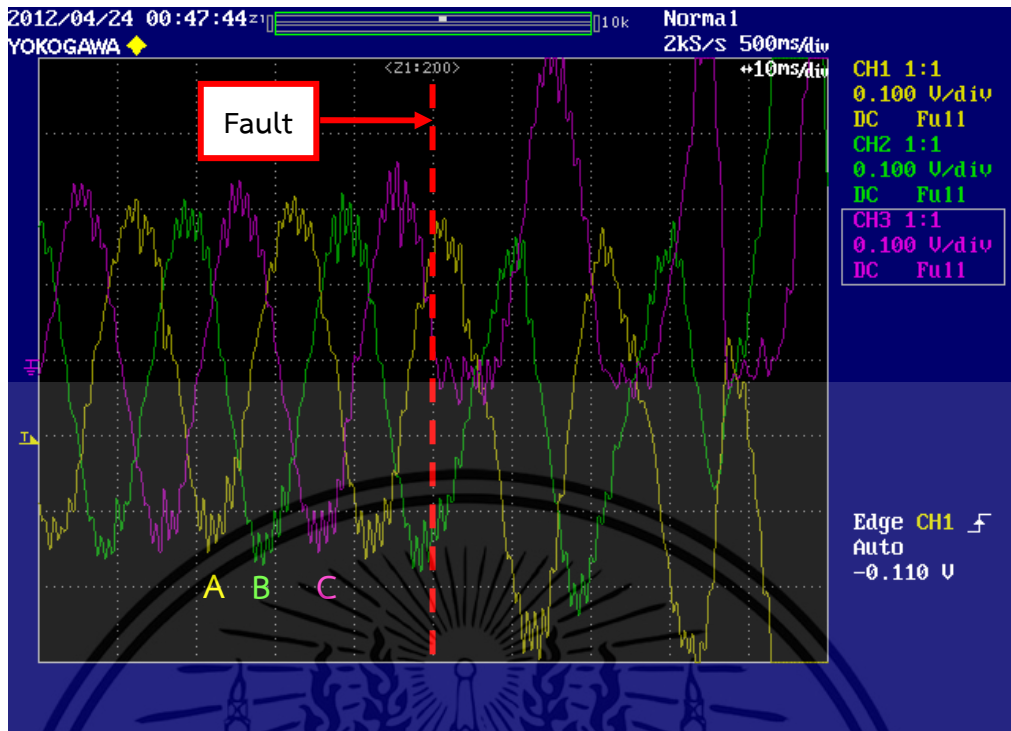


รูปที่ 7.15 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสในขณะเกิดฟอลต์ชนิดค
 สวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S3 (เฟส B ตัวบน)

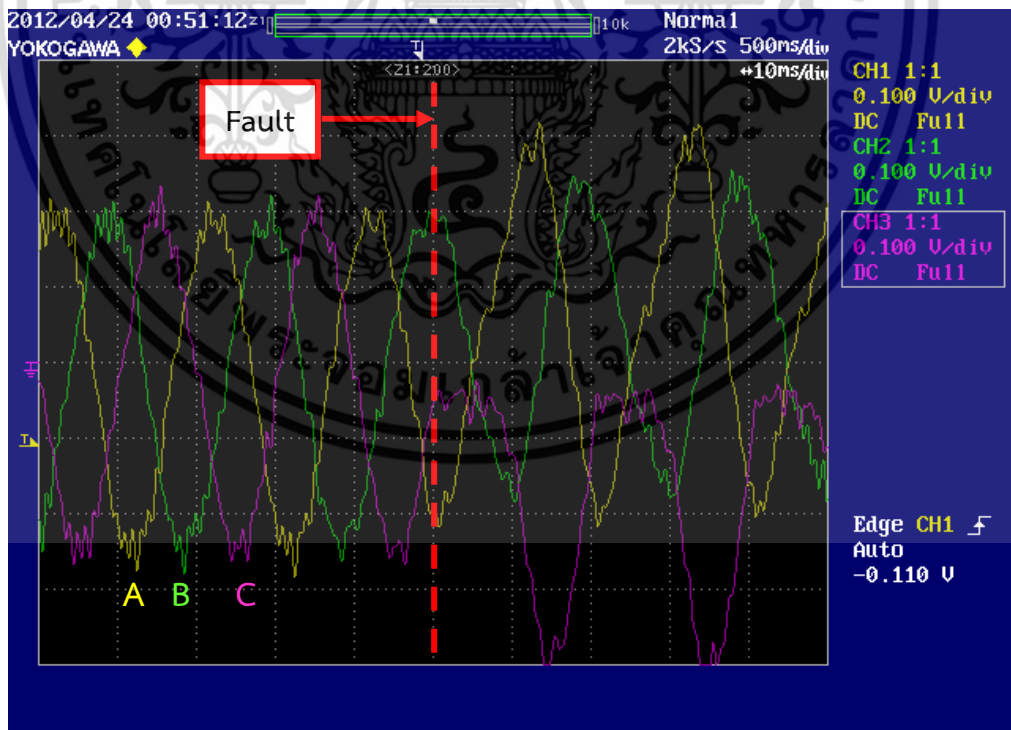


รูปที่ 7.16 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสในขณะเกิดฟอลต์ชนิด
 สวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S6 (เฟส B ตัวล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

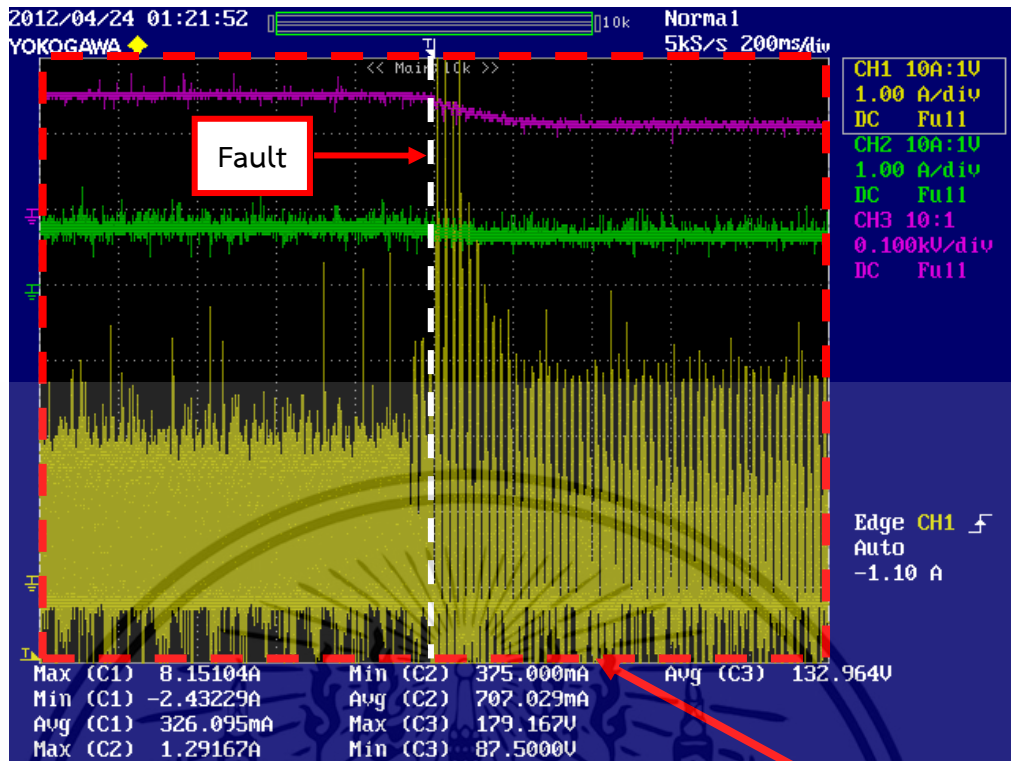


รูปที่ 7.17 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสในขณะเกิดฟอลต์ชนิด สวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S5 (เฟส C ตัวบน)

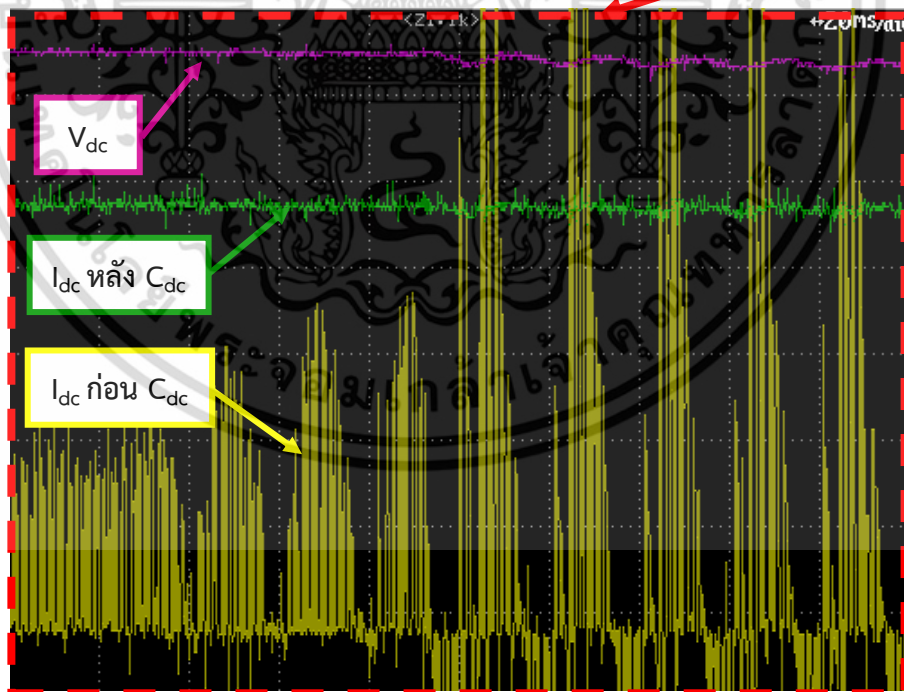


รูปที่ 7.18 สัญญาณกระแสทางด้านอินพุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสในขณะเกิดฟอลต์ชนิด สวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S2 (เฟส C ตัวล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Magnified view



รูปที่ 7.19 สัญญาณแรงดัน (สีชมพู) และสัญญาณกระแสก่อนเข้าตัวเก็บประจุ (สีเขียว) และหลังเข้าตัวเก็บประจุ (สีเหลือง) ทางด้านเอาต์พุตในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 (เฟส A ตัวบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นจะถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3.5 สรุปผลการทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์วงจร

จากผลการทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร พบว่าในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 หรือที่ตำแหน่งสวิตช์เฟส A ด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 7.13 นั้น จะส่งผลทำให้กระแสทางด้านอินพุทในเฟส A ทางด้านครึ่งลบหายไป โดยจะมีค่าเป็นศูนย์ เหลือแต่เพียงกระแสเฟส A ทางด้านครึ่งบวก โดยจะเกิดค่าองค์ประกอบของสัญญาณกระแสตรง (DC Offset) ขึ้น ซึ่งเกิดขึ้นทั้งในเฟส A ที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร และเฟส B และ C ที่ไม่ได้เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร กล่าวคือ ในเฟส A ที่เกิดฟอลต์จะมีค่าแอมพลิจูดทางด้านครึ่งบวกที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนเฟส B และ C ที่ไม่ได้เกิดฟอลต์จะมีค่าแอมพลิจูดทางด้านครึ่งลบที่สูงขึ้น ลักษณะเช่นนี้ย่อมอาจส่งผลเสียหายขึ้นได้ในกรณีทีเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ทำงานเต็มพิกัดกำลัง เพราะจะทำให้ค่าของสัญญาณกระแสทางด้านอินพุทเกินพิกัดที่ได้ออกแบบไว้

สำหรับการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S2 หรือที่ตำแหน่งสวิตช์เฟส A ด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 7.14 นั้น จะทำให้กระแสทางด้านอินพุทในเฟส B ทางด้านครึ่งบวกหายไป โดยจะมีค่าเป็นศูนย์ เหลือแต่เพียงกระแสเฟส A ทางด้านครึ่งบวก และเกิดค่าองค์ประกอบของสัญญาณกระแสตรง (DC Offset) ขึ้นทั้งที่เฟส A ที่เกิดฟอลต์ โดยจะมีค่าแอมพลิจูดทางด้านครึ่งลบที่เพิ่มสูงขึ้น ส่วนเฟส B และ C ที่ไม่ได้เกิดฟอลต์จะมีค่าแอมพลิจูดทางด้านครึ่งบวกที่สูงขึ้น เหมือนกับการเกิดฟอลต์ที่สวิตช์ S1 ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น แต่เป็นไปในลักษณะตรงกันข้าม สำหรับผลการทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเฟส B และ C ดังแสดงในรูปที่ 7.15 ถึง 7.18 ซึ่งมีผลเปลี่ยนแปลงของสัญญาณกระแสในลักษณะเดียวกันกับการเกิดฟอลต์ในเฟส A

ในขณะเดียวกันการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรก็ส่งผลกระทบต่อสัญญาณแรงดัน และสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 7.19 ในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 (เฟส A ด้านบน) ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุทจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด และกระแสก่อนเข้าตัวเก็บประจุจะมีองค์ประกอบของสัญญาณกระแสที่เปลี่ยนแปลงไป ในลักษณะเช่นนี้ย่อมส่งผลกระทบต่อภาระทางไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ หากเป็นภาระทางไฟฟ้าที่ต้องการค่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่คงที่สม่ำเสมอ (Sensitive Load) ยกตัวอย่างเช่น คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ควบคุมแบบลอจิก (PLC) อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เป็นต้น ย่อมทำให้อุปกรณ์เหล่านี้ไม่สามารถทำงานภายใต้สภาวะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรเช่นนี้ได้

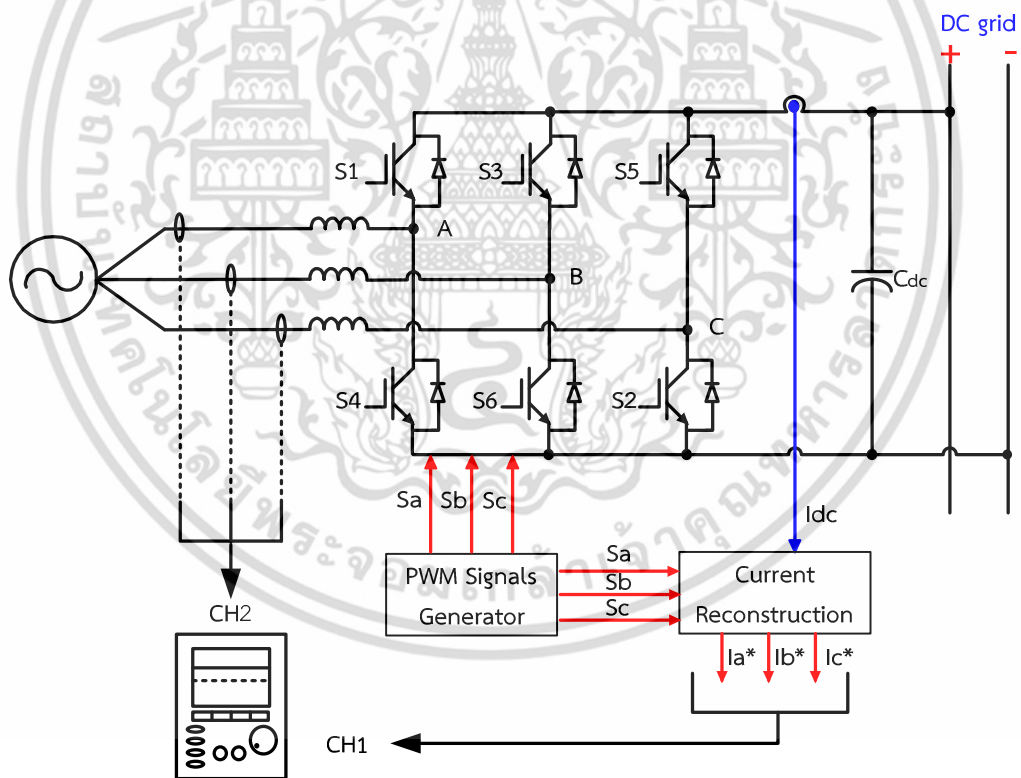
7.4 การทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

7.4.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ในส่วนของการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับว่าสามารถสร้างสัญญาณกระแสจากสัญญาณกระแสตรงทางด้านเอาต์พุตให้กลับไปมีคุณลักษณะและองค์ประกอบของสัญญาณที่คล้ายกับสัญญาณทางด้านอินพุตของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ เพื่อใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรต่อไป

7.4.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบในสภาวะปกติ และในสภาวะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยจะทำการวัดสัญญาณจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ซึ่งจะแปลงสัญญาณที่ได้รับสัญญาณมาจากอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับวงจรที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 7.20



รูปที่ 7.20 วงจรการทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

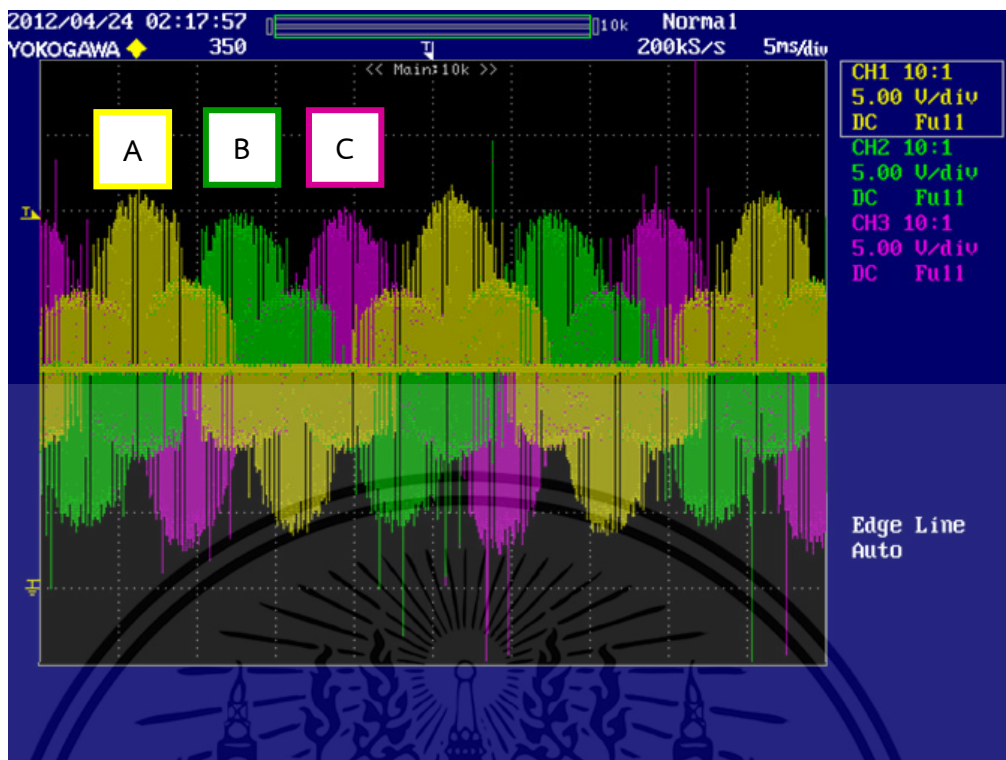
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

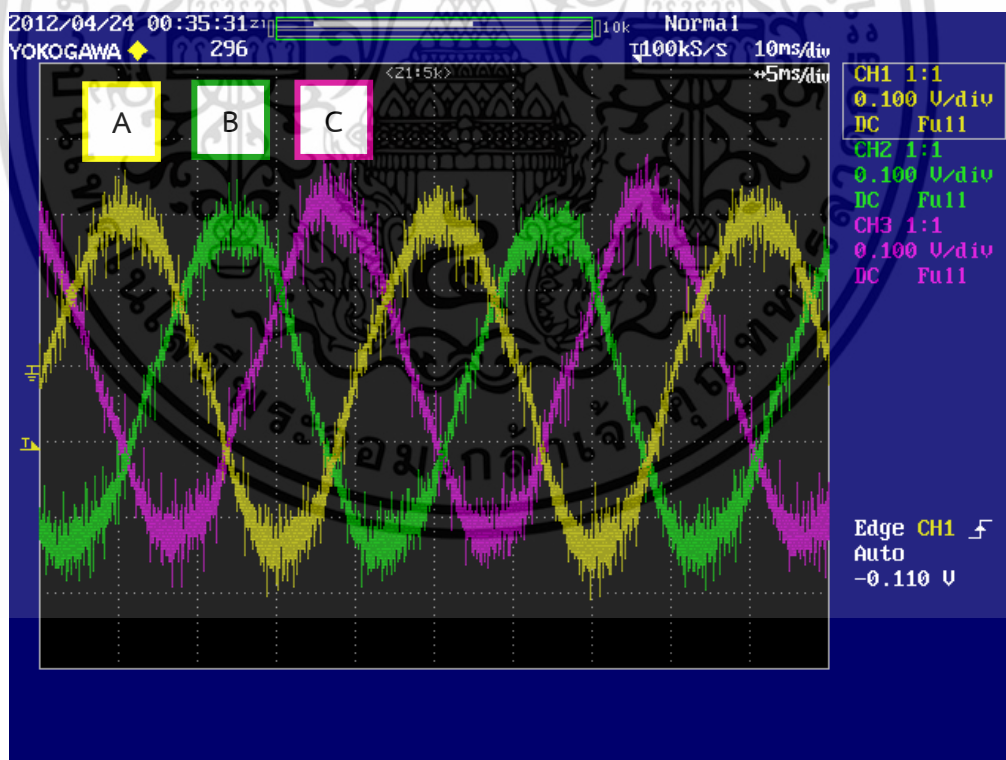
- ทำการจ่ายไฟเลี้ยงวงจรตรวจวัดสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุท ในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง โดยจะทำการวัดสัญญาณกระแสก่อนเข้าตัวเก็บประจุ เพื่อใช้เป็นสัญญาณอินพุทในการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ
- ทำการจ่ายไฟเลี้ยงวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก และเชื่อมวงจรกับไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมวัดสัญญาณกระแสคืนกลับที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ทั้ง 3 เฟส
- ทำการจำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยใช้อุปกรณ์จำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยจำลองให้เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 , S4 , S3 , S6 , S5 และ S2 เรียงตามลำดับเฟส พร้อมวัดผลการเปลี่ยนแปลงไปของสัญญาณกระแสที่ได้จากการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ โดยแสดงทั้งในลักษณะของสัญญาณกระแสทั้ง 3 เฟส และแยกแสดงสัญญาณกระแสในแต่ละเฟส รวมถึงเปรียบเทียบผลการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ กับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุท
- ทำการปิดสวิตช์ของอุปกรณ์จำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร พร้อมทั้งกดปุ่มรีเซ็ตทุกครั้ง เมื่อต้องการเปลี่ยนการจำลองให้เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งสวิตช์ตัวอื่น ๆ

7.4.4 ผลการทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

จากการทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับทั้งในสภาวะปกติ และในสภาวะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ต่าง ๆ ได้ผลการทดสอบของสัญญาณกระแสที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสอินพุทด้านเข้า โดยสามารถบ่งบอกได้ว่าเป็นสัญญาณกระแสของเฟสใด และเมื่อทดสอบในสภาวะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร สัญญาณกระแสที่ได้จากทดสอบก็สามารถบ่งบอกได้ว่าเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรขึ้นที่ตำแหน่งสวิตช์ตัวใด สำหรับผลการทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับทั้ง 3 เฟส เปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุทในสภาวะปกติ ดังแสดงในรูปที่ 7.21 นอกจากนี้ในส่วนของการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ ในสภาวะการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 7.22 ถึง 7.27 และได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณกระแสคืนกลับกับสัญญาณกระแสจริงทางด้านอินพุทในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรแบบแยกเพียง 1 เฟส เพื่อให้สามารถเห็นสัญญาณได้ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 7.28 ถึง 7.30



(ก) สัญญาณกระแสคืนกลับทั้ง 3 เฟส

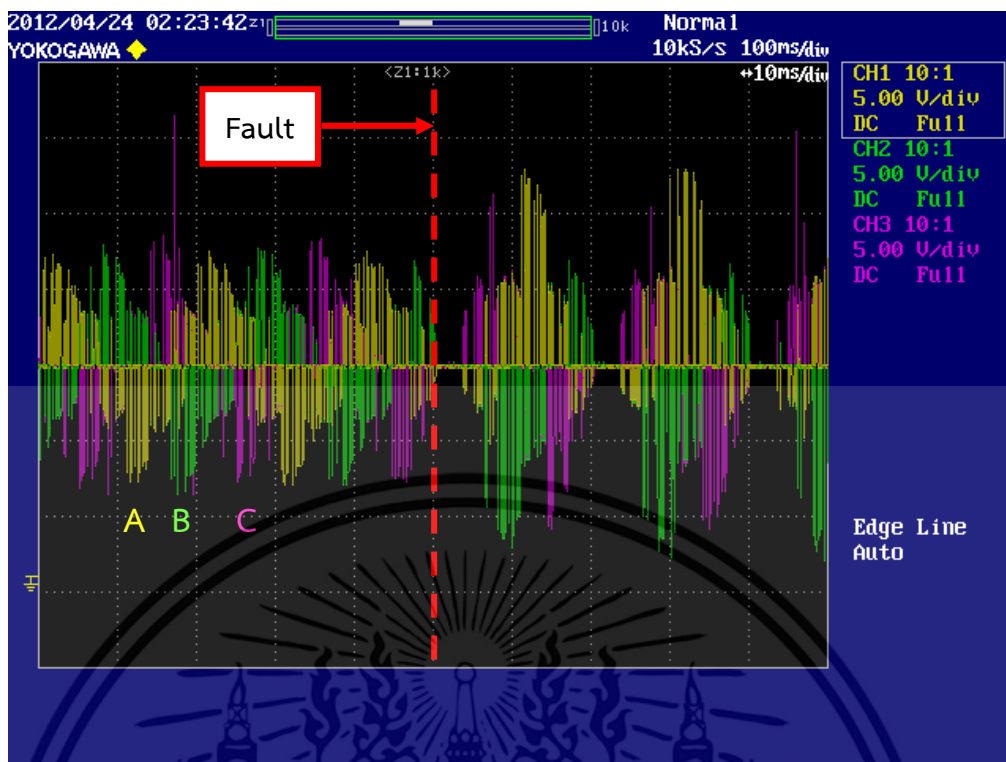


(ข) สัญญาณกระแสจริงทางด้านอินพุททั้ง 3 เฟส

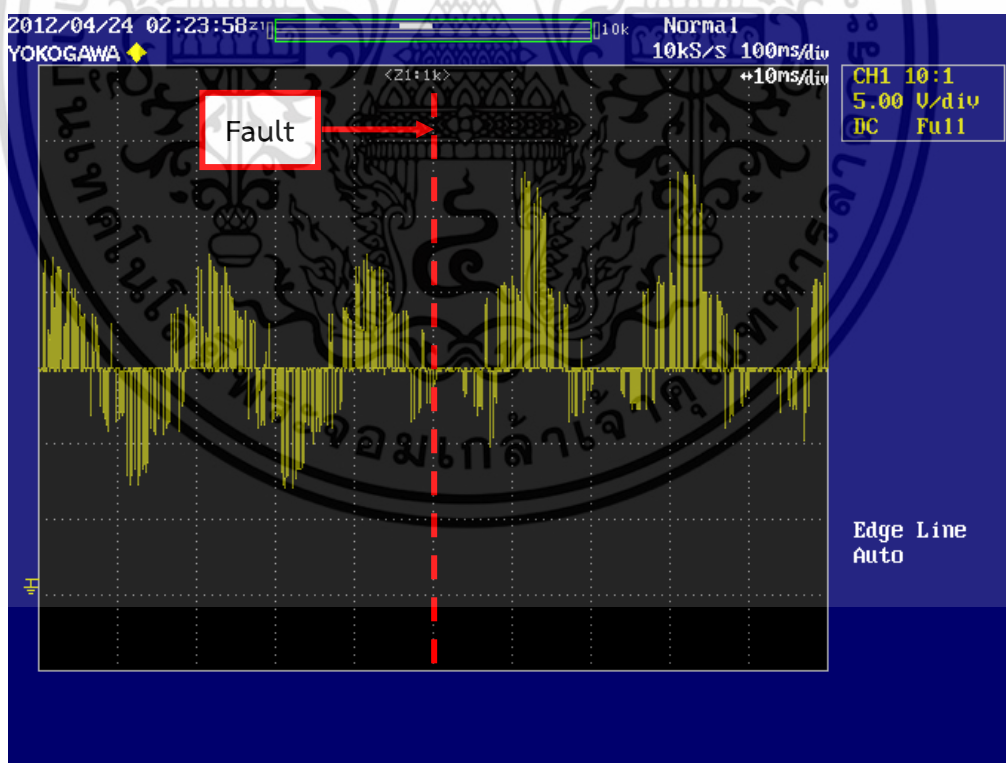
รูปที่ 7.21 สัญญาณกระแสคืนกลับเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสจริงทางด้านอินพุททั้ง 3 เฟส

ในสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณกระแสคืนกลับทั้ง 3 เฟส

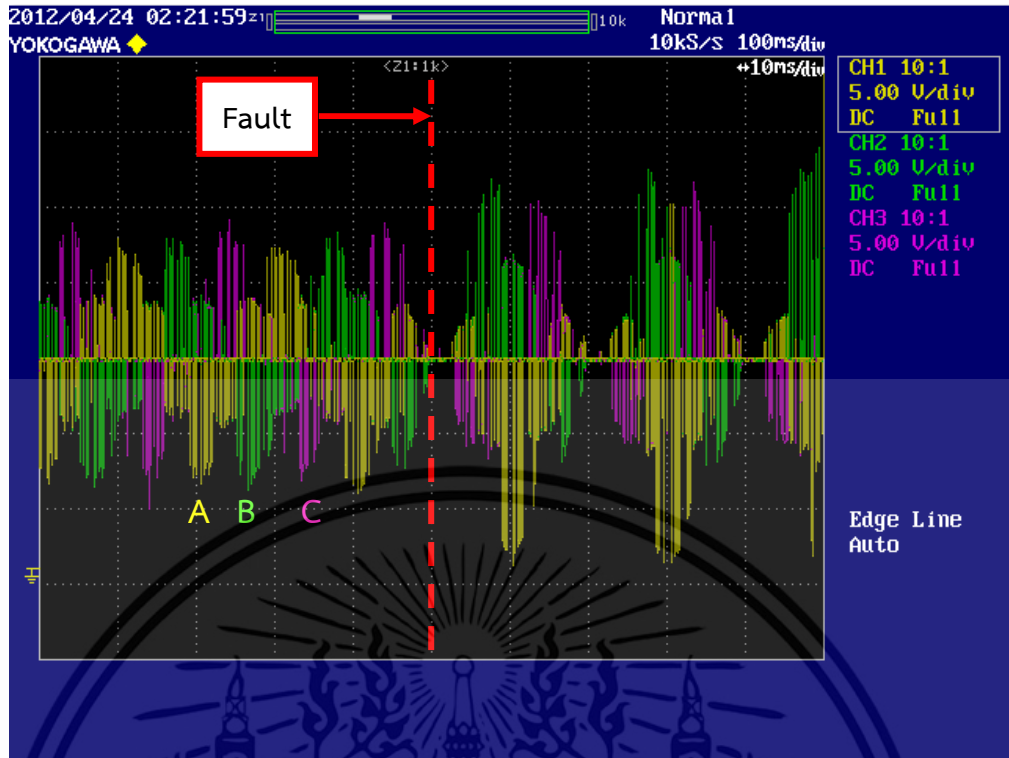


(ข) สัญญาณกระแสคืนกลับของเฟส A

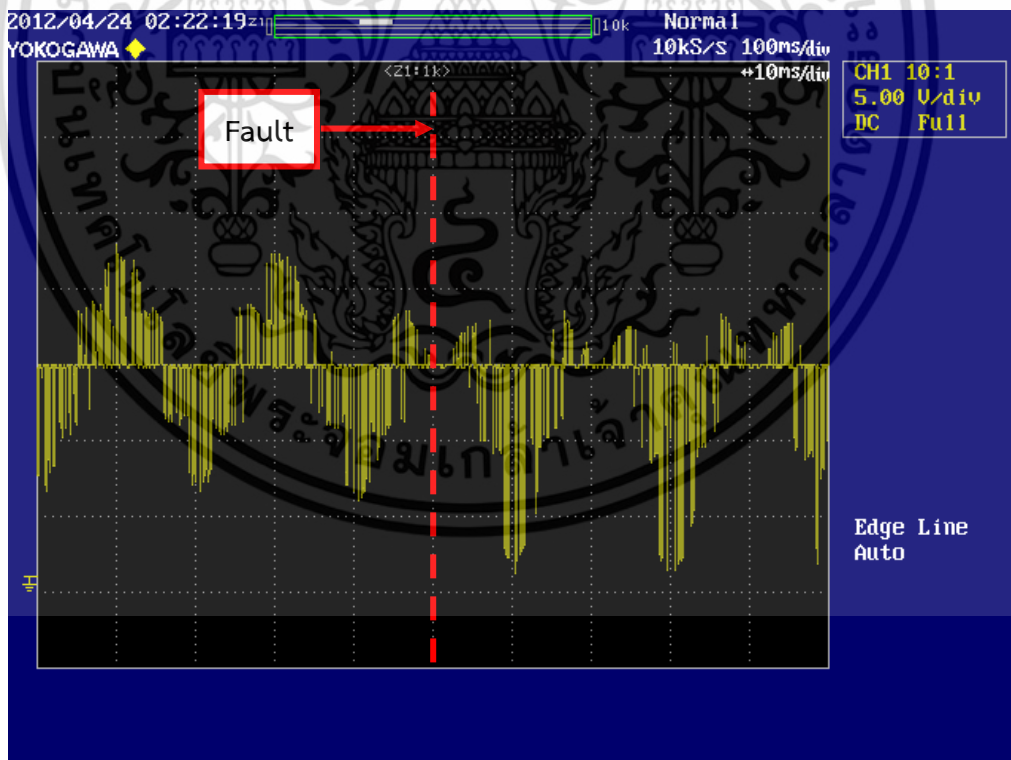
รูปที่ 7.22 สัญญาณกระแสคืนกลับในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 (เฟส A

ตัวบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณกระแสคืนกลับทั้ง 3 เฟส

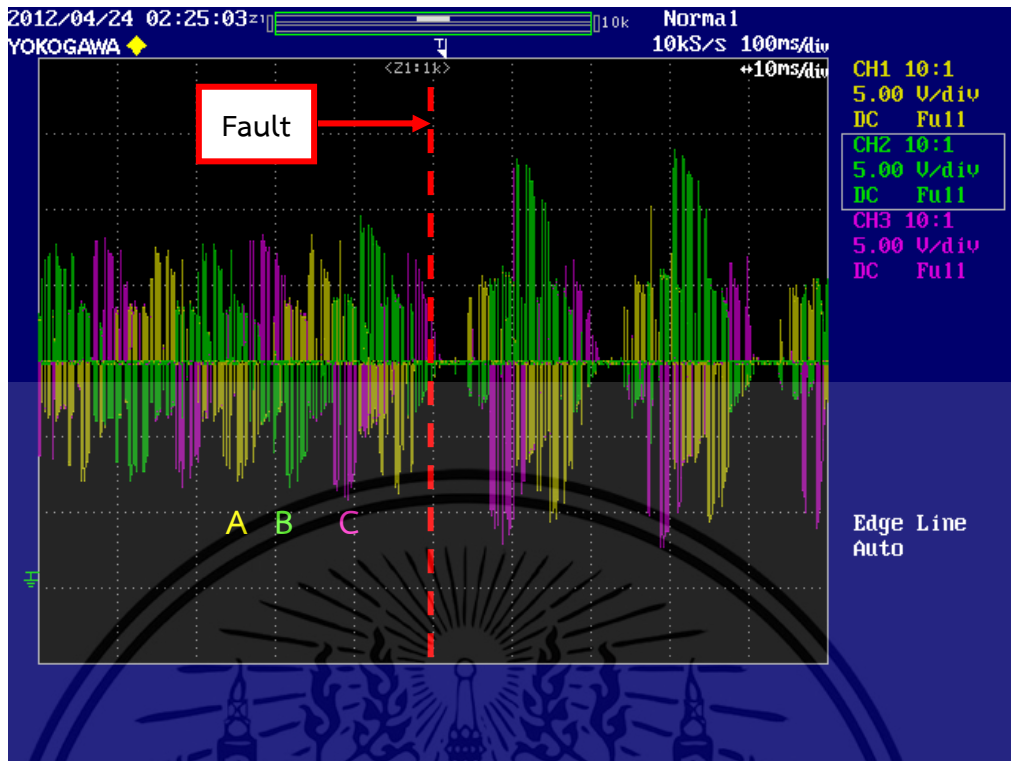


(ข) สัญญาณกระแสคืนกลับของเฟส A

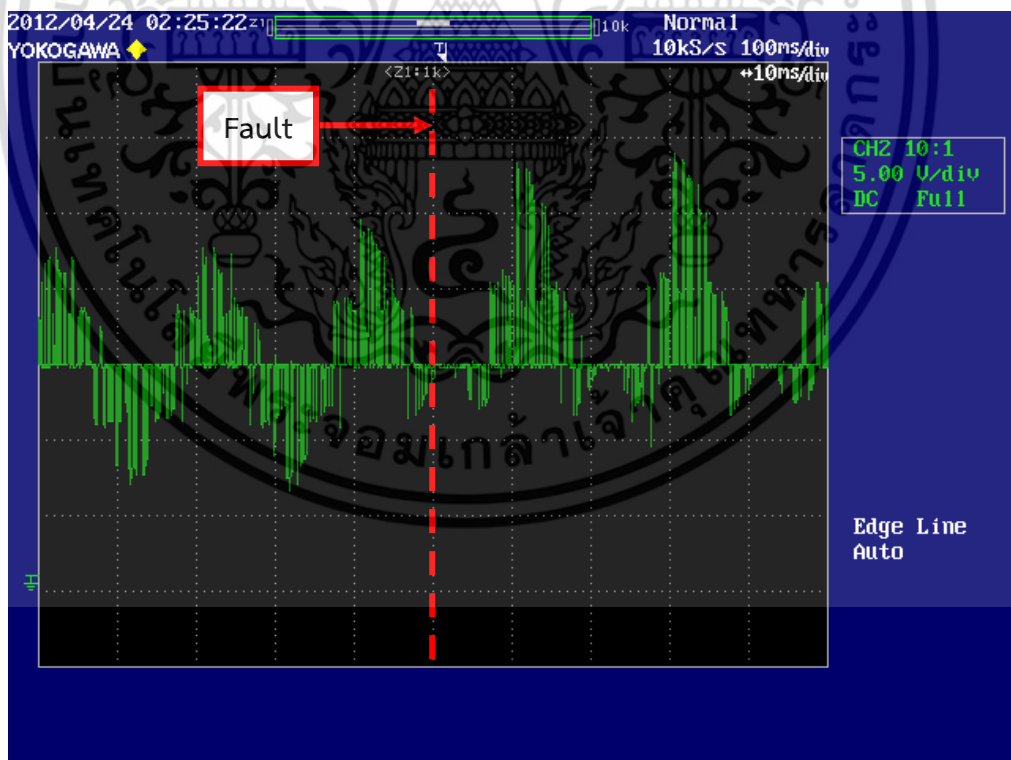
รูปที่ 7.23 สัญญาณกระแสคืนกลับในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S4 (เฟส A

ตัวล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณกระแสคืนกลับทั้ง 3 เฟส

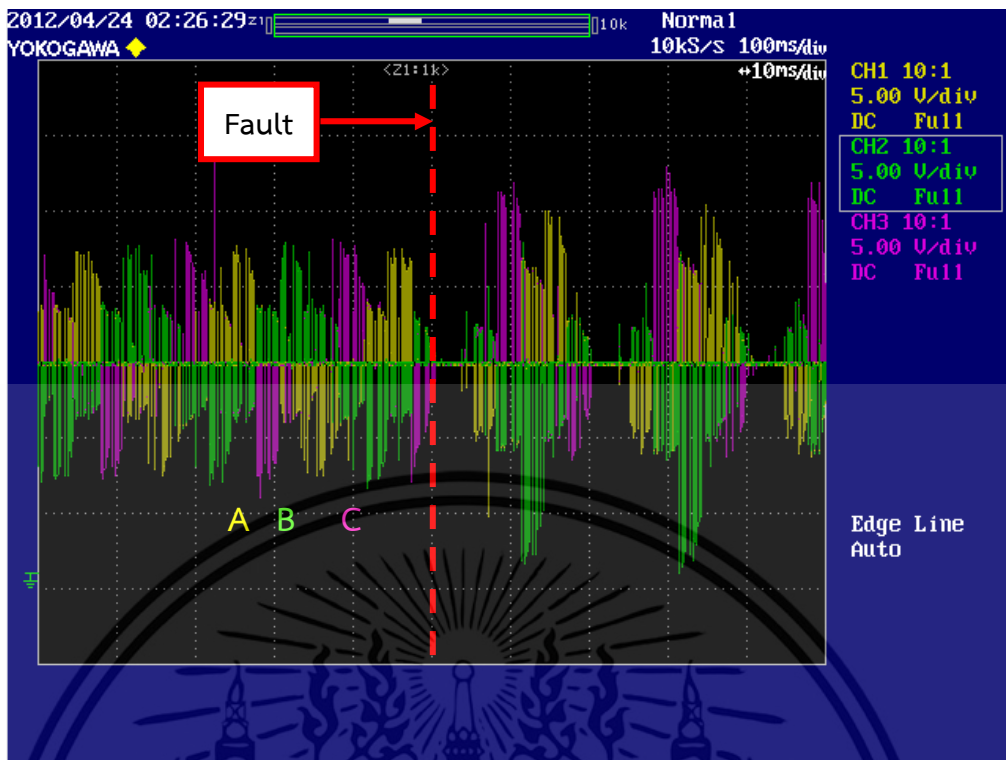


(ข) สัญญาณกระแสคืนกลับของเฟส B

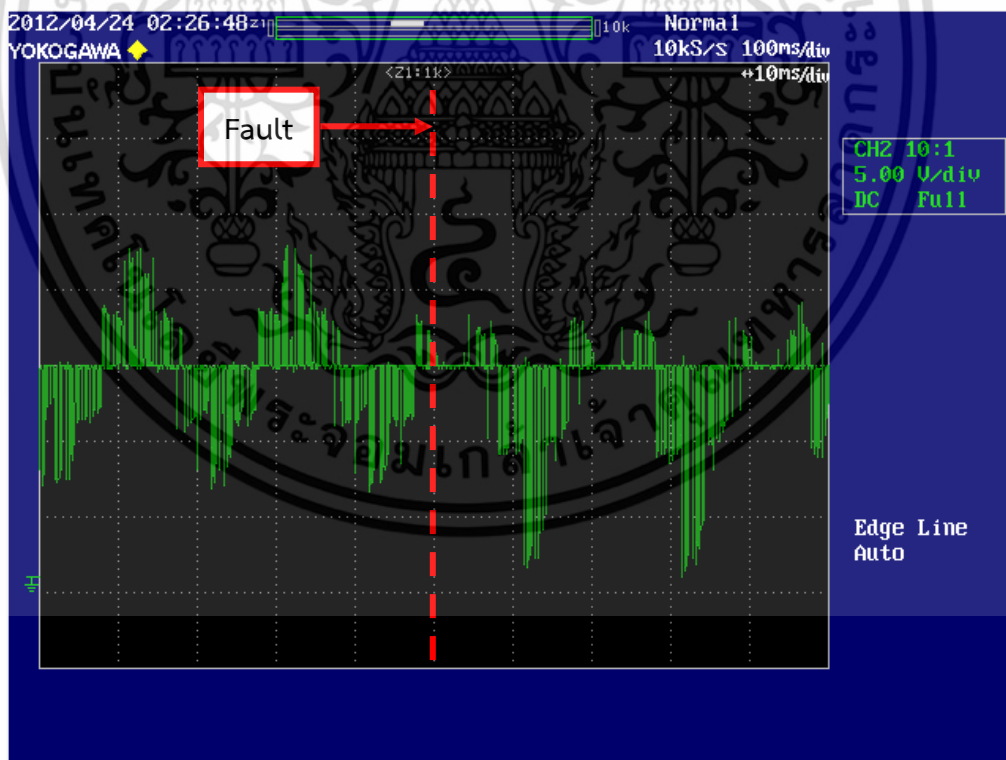
รูปที่ 7.24 สัญญาณกระแสคืนกลับในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S3 (เฟส B

ตัวบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



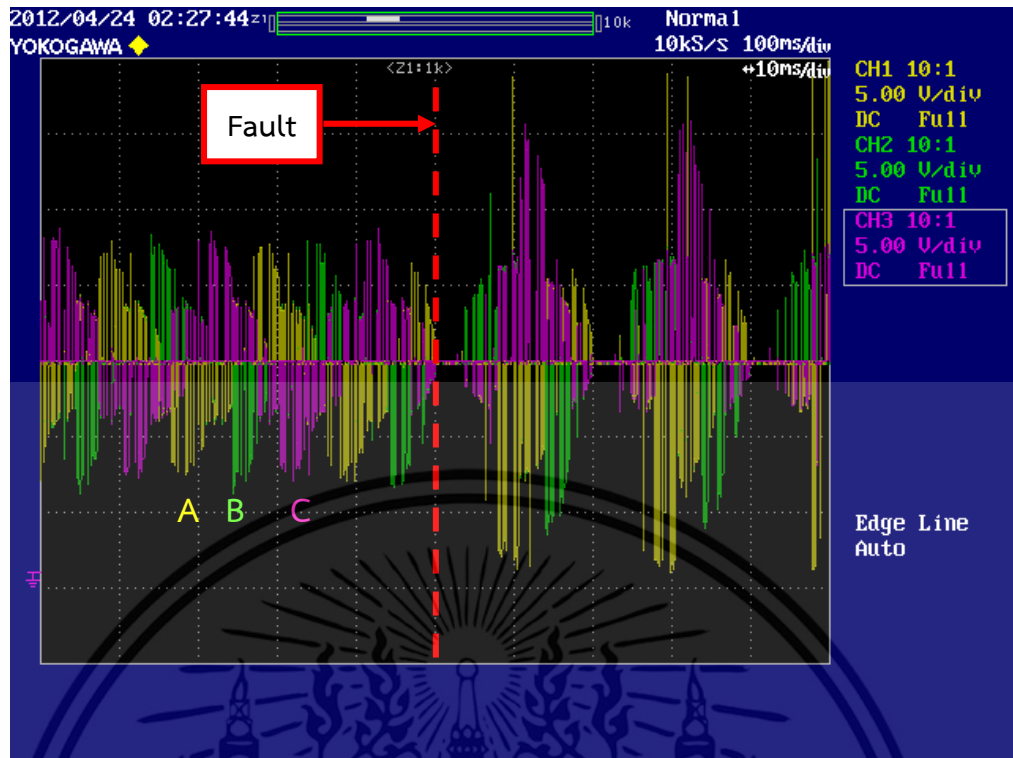
(ก) สัญญาณกระแสคืนกลับทั้ง 3 เฟส



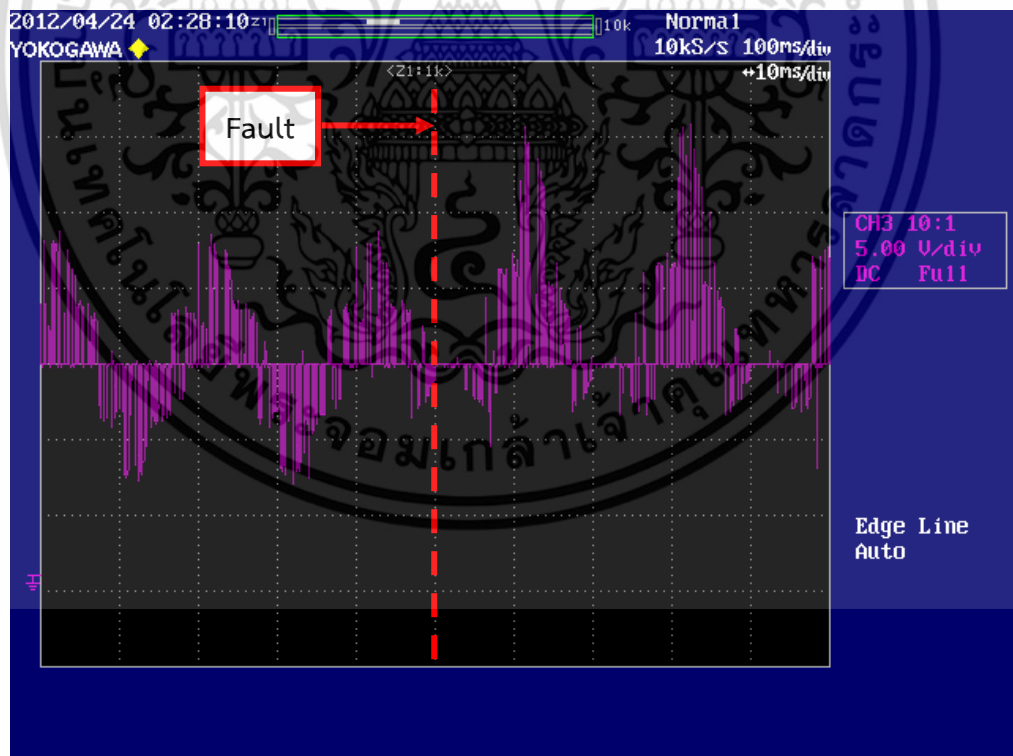
(ข) สัญญาณกระแสคืนกลับของเฟส B

รูปที่ 7.25 สัญญาณกระแสคืนกลับในขณะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S6 (เฟส B ตัวล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณกระแสคืนกลับทั้ง 3 เฟส

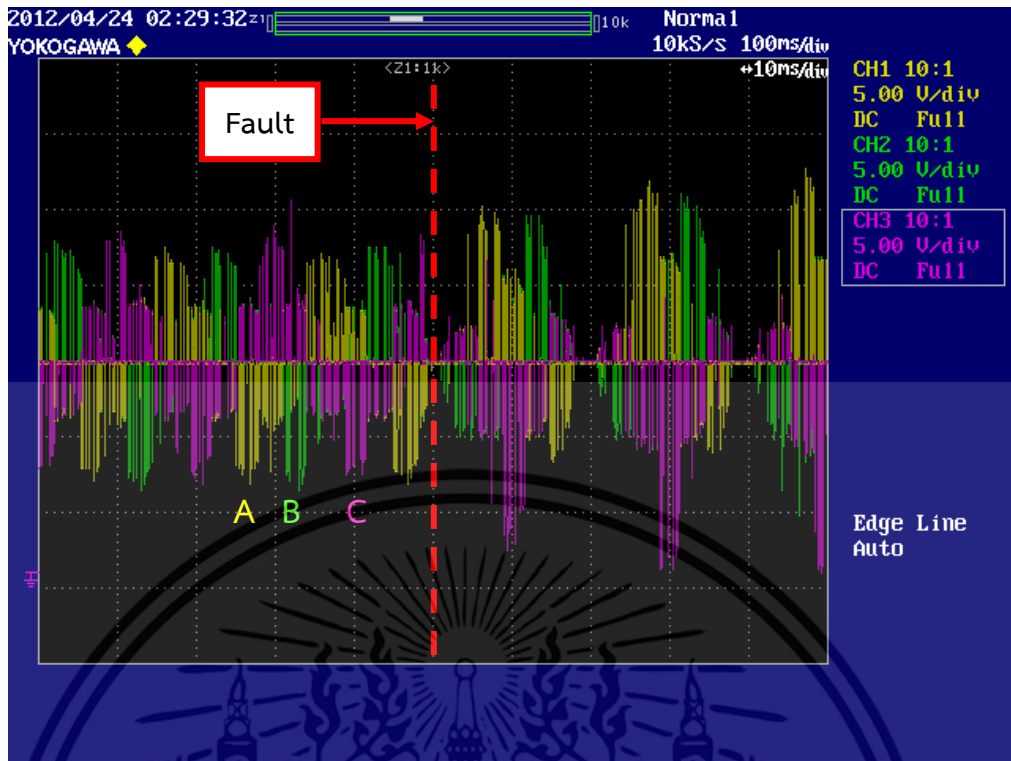


(ข) สัญญาณกระแสคืนกลับของเฟส C

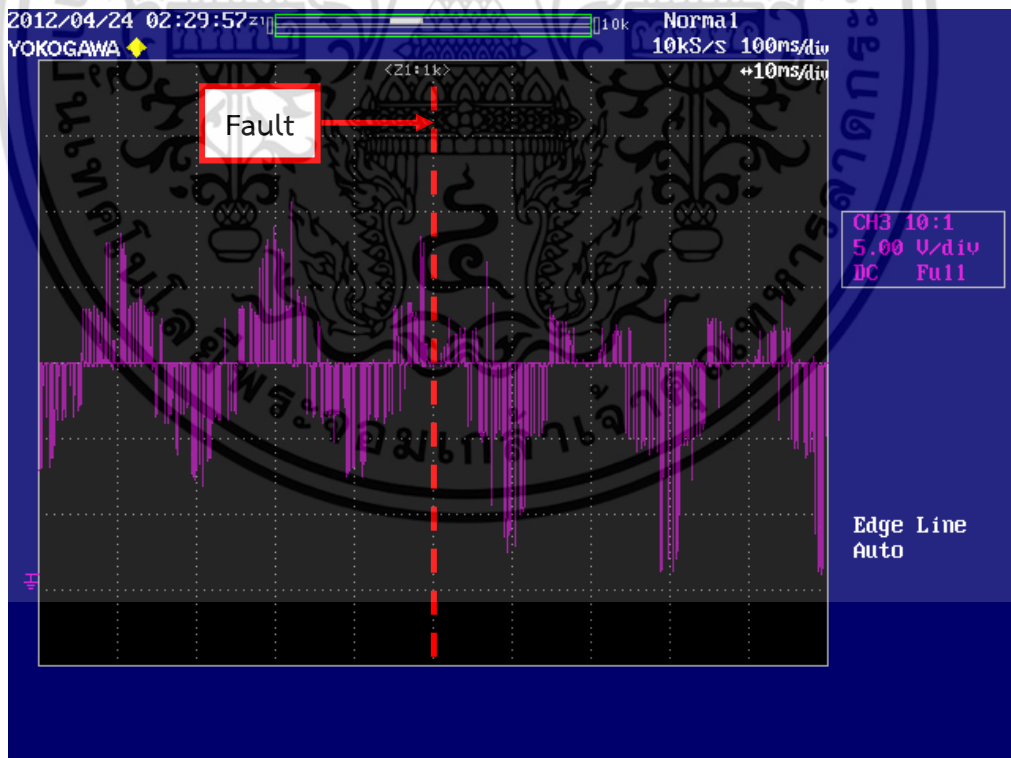
รูปที่ 7.26 สัญญาณกระแสคืนกลับในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S5 (เฟส C

ตัวบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณกระแสคืนกลับทั้ง 3 เฟส

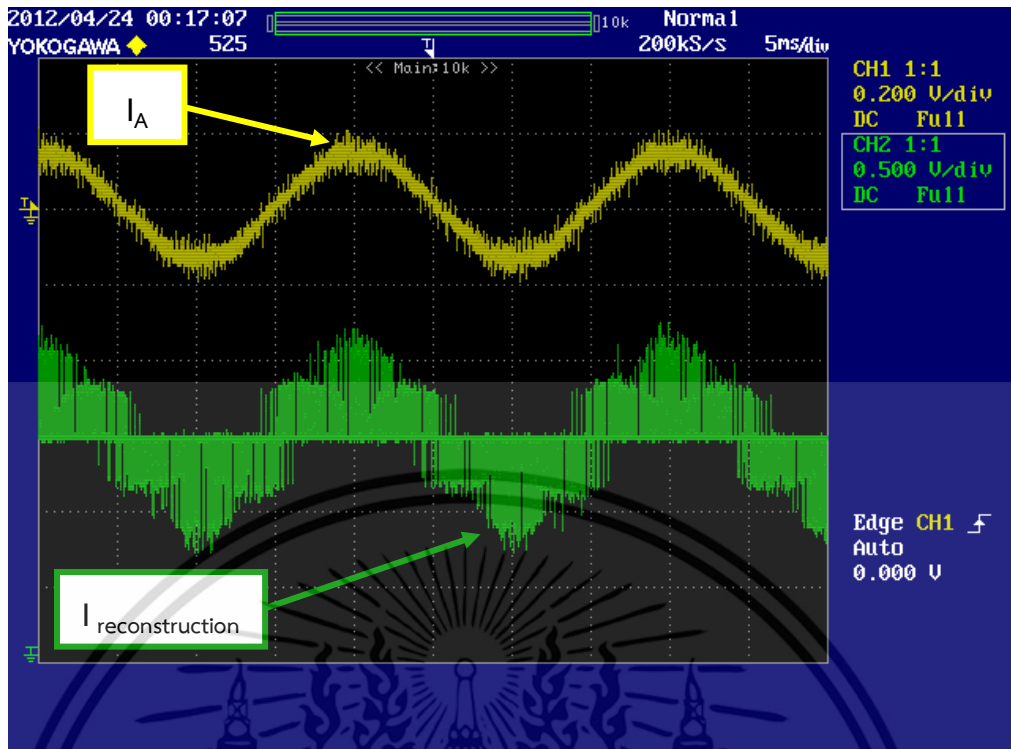


(ข) สัญญาณกระแสคืนกลับของเฟส C

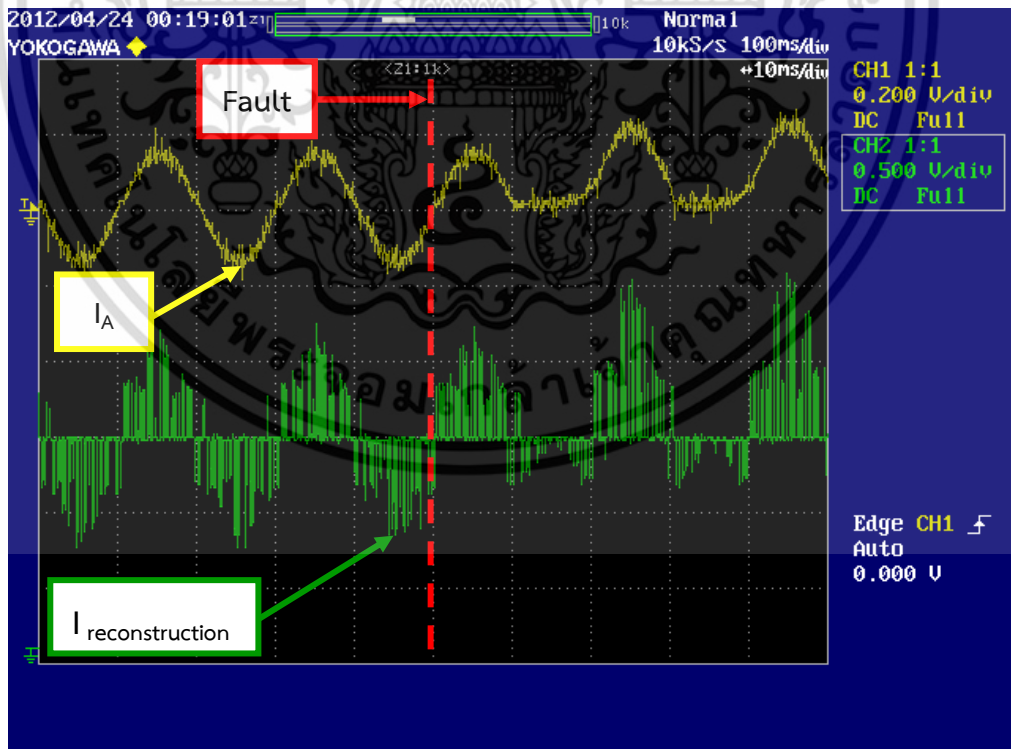
รูปที่ 7.27 สัญญาณกระแสคืนกลับในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S2 (เฟส C

ตัวล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



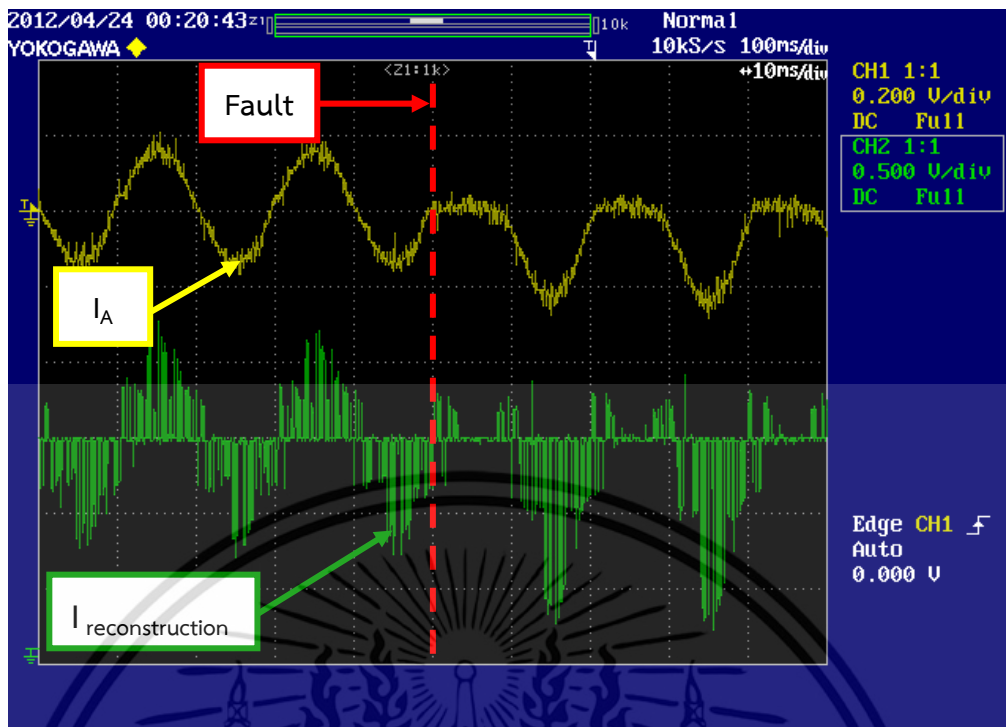
รูปที่ 7.28 สัญญาณกระแสคืนกลับเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสจริงทางด้านอินพุทในสภาวะปกติ



รูปที่ 7.29 สัญญาณกระแสคืนกลับเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสจริงทางด้านอินพุทในขณะที่เกิด

ฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 (เฟส A ตัวบน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานภายในเท่านั้น มิใช่เผยแพร่ให้คนอื่นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.30 สัญญาณกระแสคืนกลับเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสจริงทางด้านอินพุทในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S4 (เฟส A ตัวล่าง)

7.4.5 สรุปผลการทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

จากผลการทดสอบจะพบว่าวิธีการที่ออกแบบสามารถสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับจากสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุทในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงให้มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสจริงทางด้านอินพุทได้ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณกระแสเพียง 1 ชุดเท่านั้น โดยสามารถสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับได้ทั้งในสภาวะปกติ และในสภาวะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ต่าง ๆ ถึงแม้ว่าสัญญาณกระแสคืนกลับที่ได้นั้นจะไม่เรียบเป็นรูปคลื่นไซน์เหมือนกับสัญญาณกระแสจริงทางด้านอินพุทก็ตาม แต่ด้วยลักษณะของสัญญาณกระแสคืนกลับที่สามารถบ่งบอกเฟสของกระแส และองค์ประกอบของกระแสในด้านบวกและด้านลบที่ถูกต้อง จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะนำไปใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ข้อสำคัญอีกประการหนึ่งคือ สัญญาณที่ใช้ในการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับนั้นต้องเป็นสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุทก่อนเข้าตัวเก็บประจุที่เชื่อมต่ออยู่กับวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะทำให้ได้สัญญาณกระแสคืนกลับที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสด้านอินพุทมากที่สุด ทั้งนี้สาเหตุที่สัญญาณกระแสคืนกลับไม่ได้เรียบเป็นรูปคลื่นไซน์เหมือนสัญญาณกระแสทางด้านอินพุทนั้น เป็นผลมาจากสัญญาณกระแสตรงทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงก่อนเข้าตัวเก็บประจุจะมีองค์ประกอบของสัญญาณเป็นลักษณะพัลส์ความถี่สูงอันเนื่องมาจากการสวิตชิงของอุปกรณ์สวิตช์

กำลัง ดังนั้นคุณลักษณะดังกล่าวจึงยังคงปรากฏอยู่ในสัญญาณกระแสคืนกลับด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

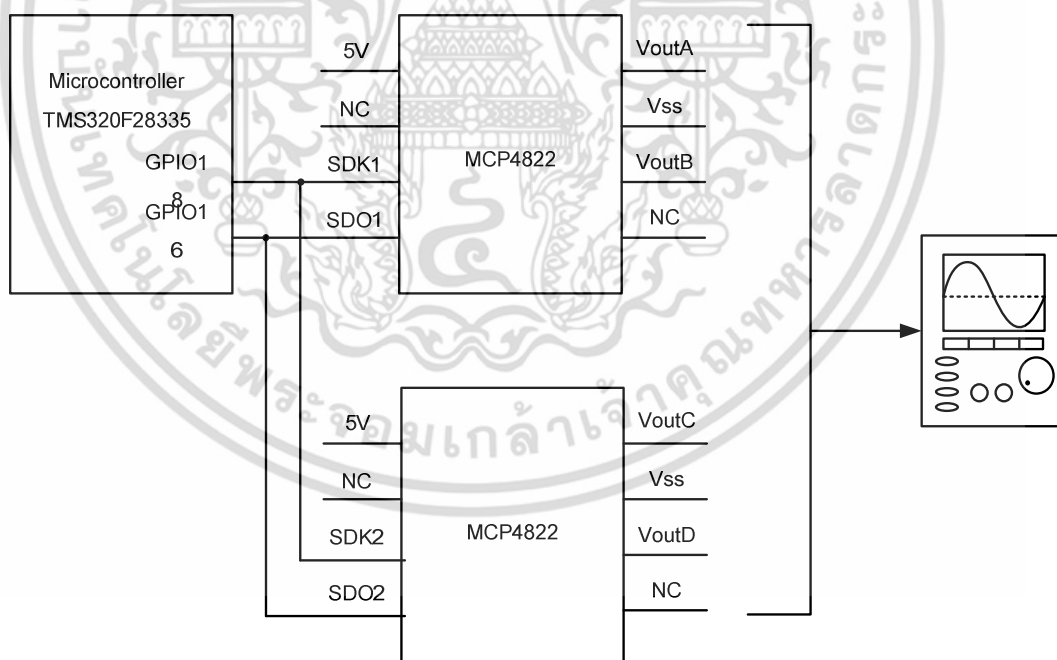
7.5 การทดสอบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิทช์เปิดวงจร

7.5.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิทช์เปิดวงจร โดยจะอาศัยการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับที่ได้จากการทดลองในหัวข้อที่ 7.4 เพื่อที่จะได้ค่าดัชนีวินิจฉัยและสัญญาณแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ (Fault Flag) ซึ่งสามารถนำสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการออกแบบระบบป้องกันฟอลต์ชนิดสวิทช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สำหรับงานวิจัยขั้นสูงได้

7.5.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบในหัวข้อนี้จะทำการทดสอบต่อเนื่องจากการทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ โดยจะทำการทดสอบระบบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิทช์เปิดวงจรในแต่ละตำแหน่งสวิทช์ ซึ่งจะอาศัยสัญญาณจากการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับที่ได้ในหัวข้อที่ 7.4 มาใช้ในการทดสอบระบบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิทช์เปิดวงจร โดยจะทำการจำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิทช์เปิดวงจรทั้ง 6 สวิทช์ แต่ทำการจำลองเพียงครั้งละ 1 สวิทช์เท่านั้น ซึ่งมีวงจรการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7.31



รูปที่ 7.31 วงจรการทดสอบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิทช์เปิดวงจร

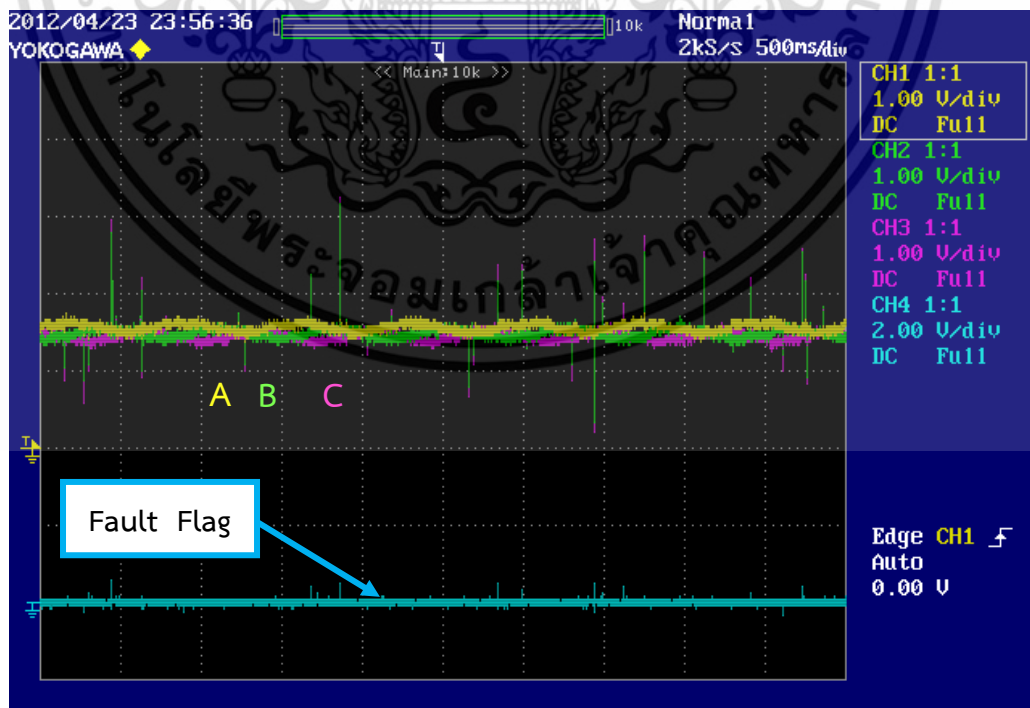
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

- ทำการจำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยใช้อุปกรณ์จำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยจำลองให้เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 , S4 , S3 , S6 , S5 และ S2
- ทำการวัดสัญญาณค่าดัชนีวินิจัย พร้อมแสดงสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ (Fault Flag) จากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก ทุกครั้งที่จำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในแต่ละสวิตช์จนครบทั้ง 6 สวิตช์
- ทำการตรวจสอบค่าดัชนีวินิจัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ที่ได้จากการทดสอบว่าถูกต้องและเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่

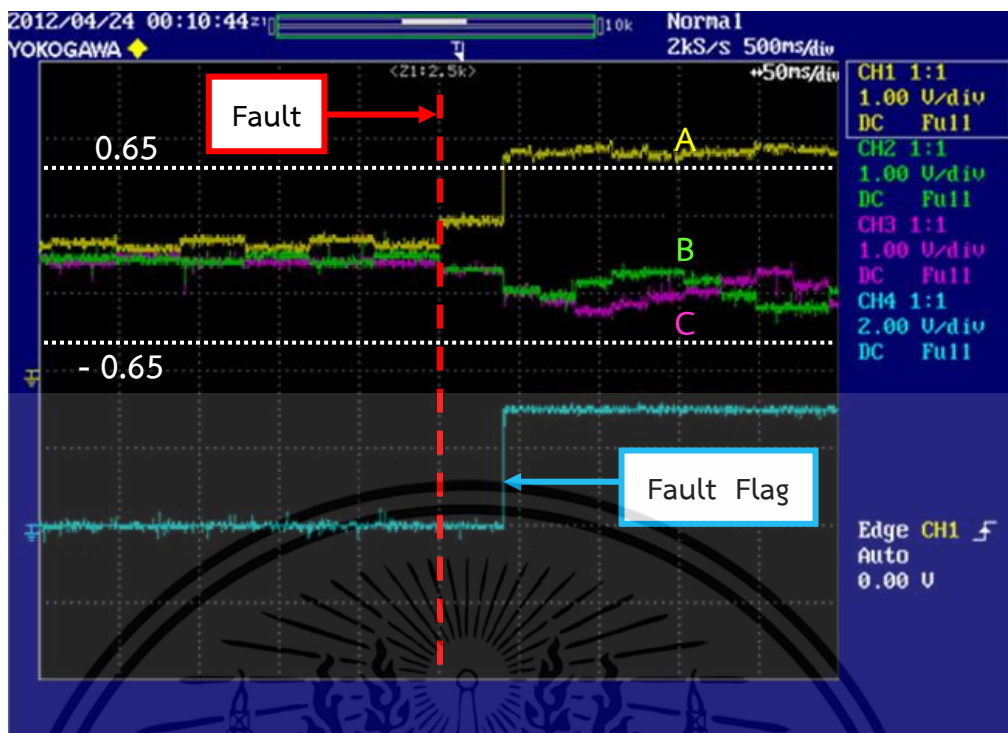
7.5.4 ผลการทดสอบการตรวจจับและวินิจัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร

จากการทดสอบการตรวจจับและวินิจัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ซึ่งเป็นการทดสอบต่อเนื่องจากการทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับพบว่า ระบบการตรวจจับและวินิจัยฟอลต์ที่ทำการออกแบบสามารถใช้สัญญาณกระแสคืนกลับในการตรวจจับและวินิจัยฟอลต์ที่จำลองให้เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง โดยสามารถระบุได้ว่าเกิดฟอลต์ขึ้นที่ตำแหน่งสวิตช์กำลังตัวใดในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ โดยอาศัยตัวบ่งชี้จากค่าดัชนีวินิจัยของแต่ละเฟส พร้อมแสดงสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ (Fault Flag) โดยที่สัญญาณกระแสคืนกลับสามารถนำมาใช้เป็นสัญญาณที่ใช้ในการตรวจจับและวินิจัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรได้ ซึ่งผลการทดสอบการตรวจจับและวินิจัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ดังแสดงในรูปที่ 7.32 – 7.38

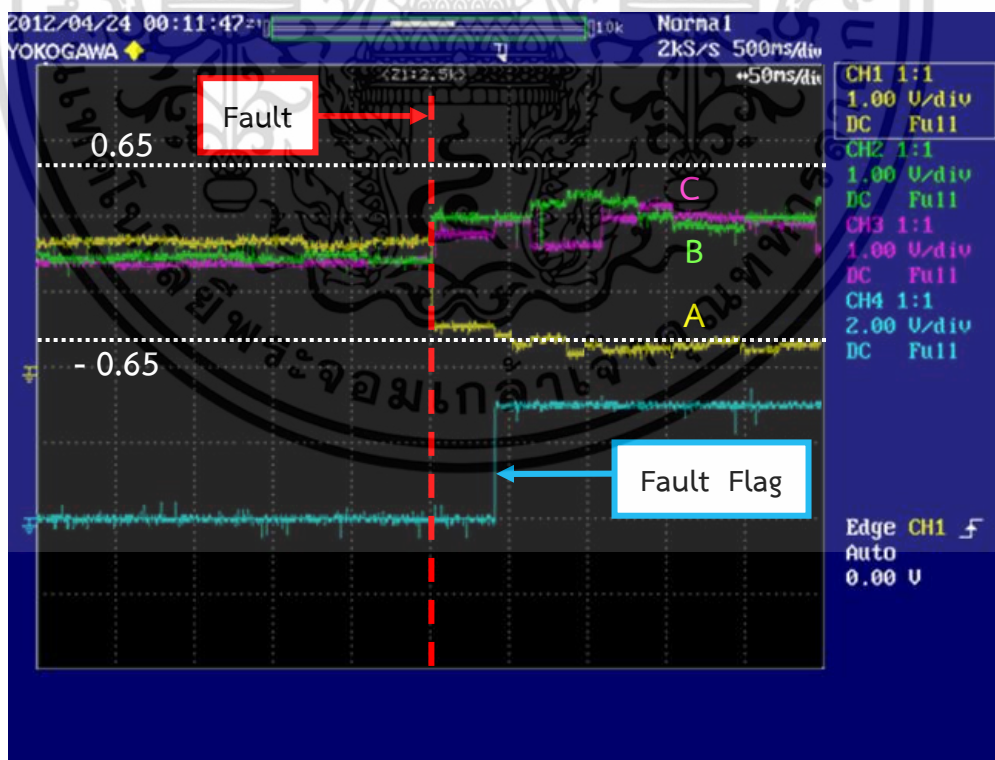


รูปที่ 7.32 ค่าดัชนีวินิจัยและสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ในสภาวะปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เป็นการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

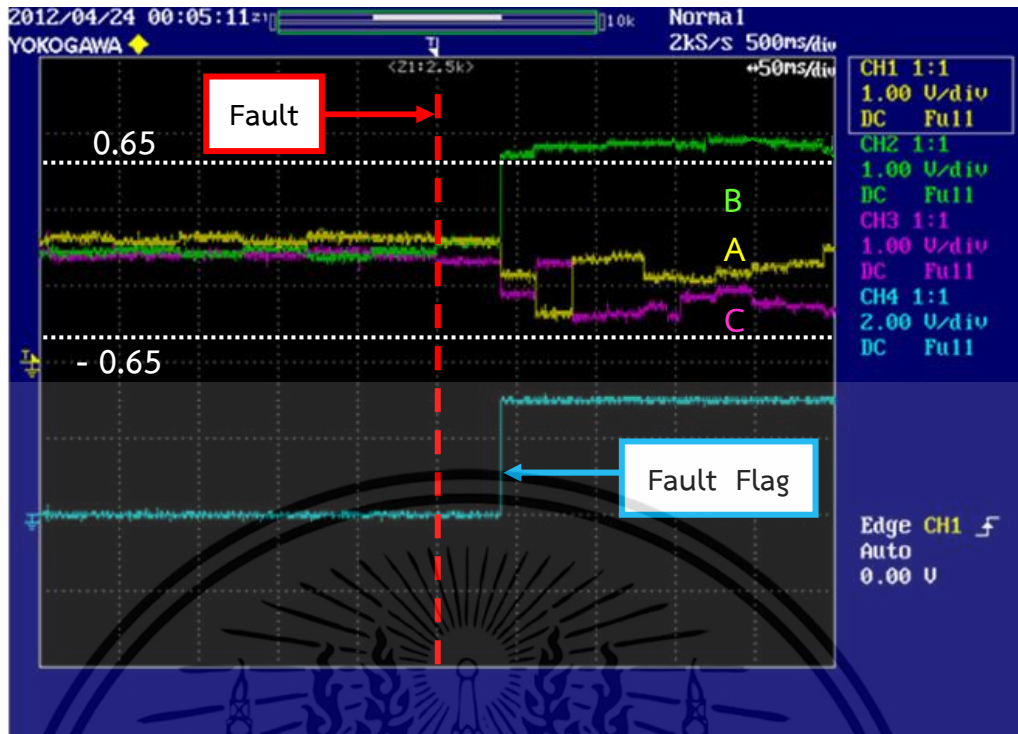


รูปที่ 7.33 ค่าดัชนีวินิจัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิด วงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 (เฟส A ตัวบน)

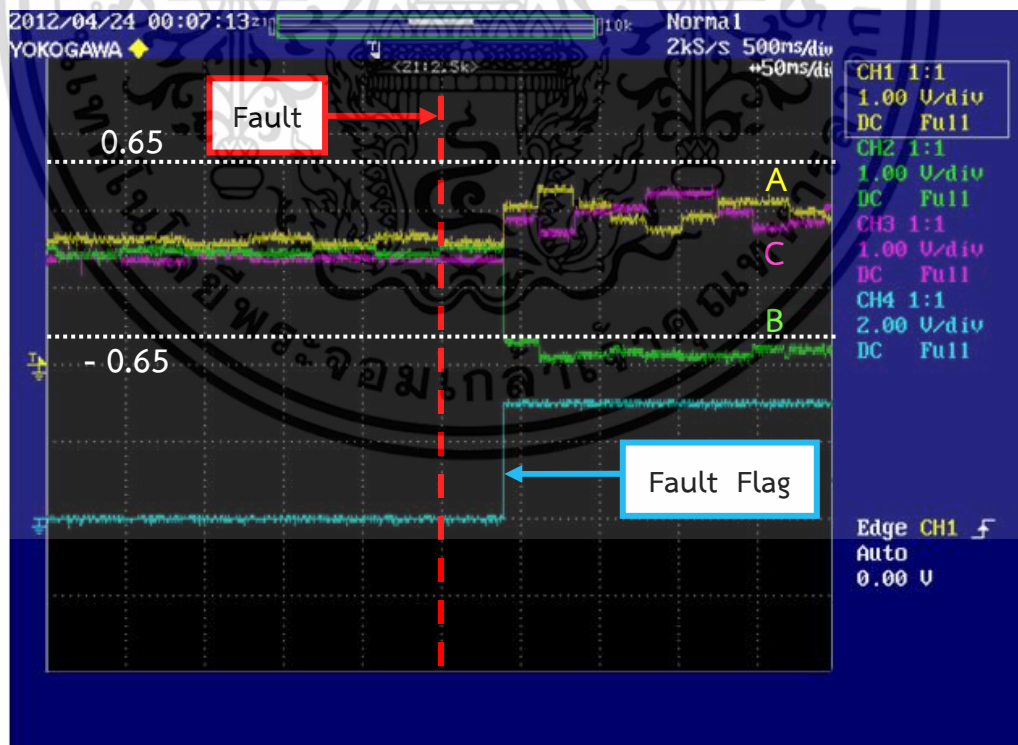


รูปที่ 7.34 ค่าดัชนีวินิจัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิด

วงจรถัดตำแหน่งสวิตช์ S4 (เฟส A ตัวล่าง)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ส่วให้บริษัทฯ ใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

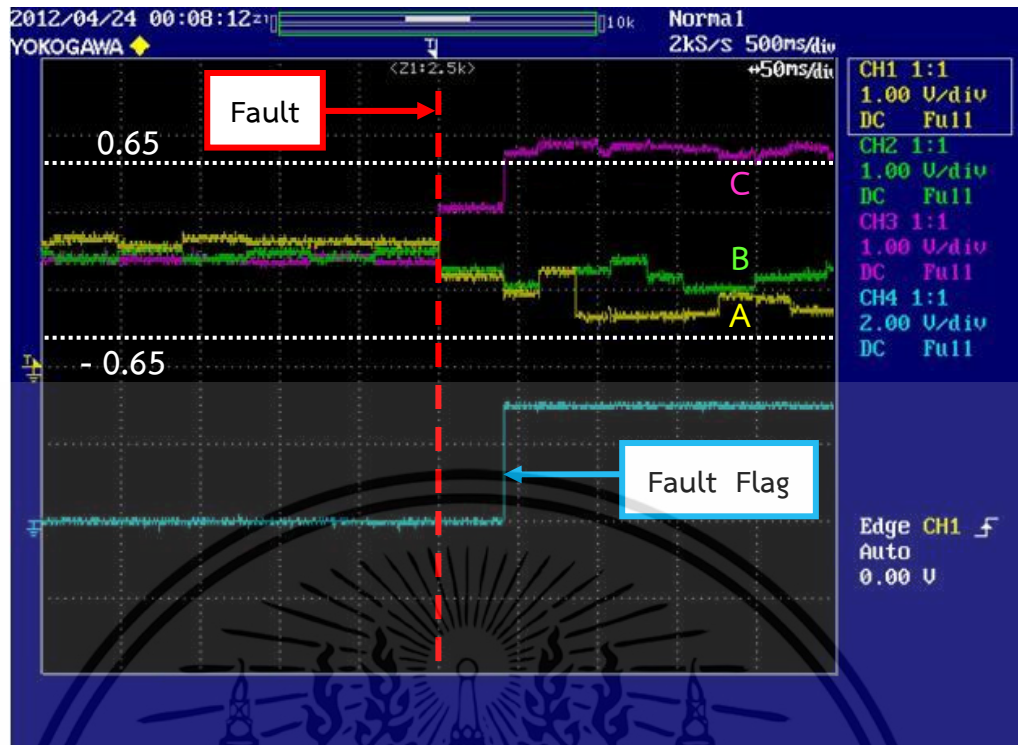


รูปที่ 7.35 ค่าดัชนีวินิจฉัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิด วงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S3 (เฟส B ตัวบน)

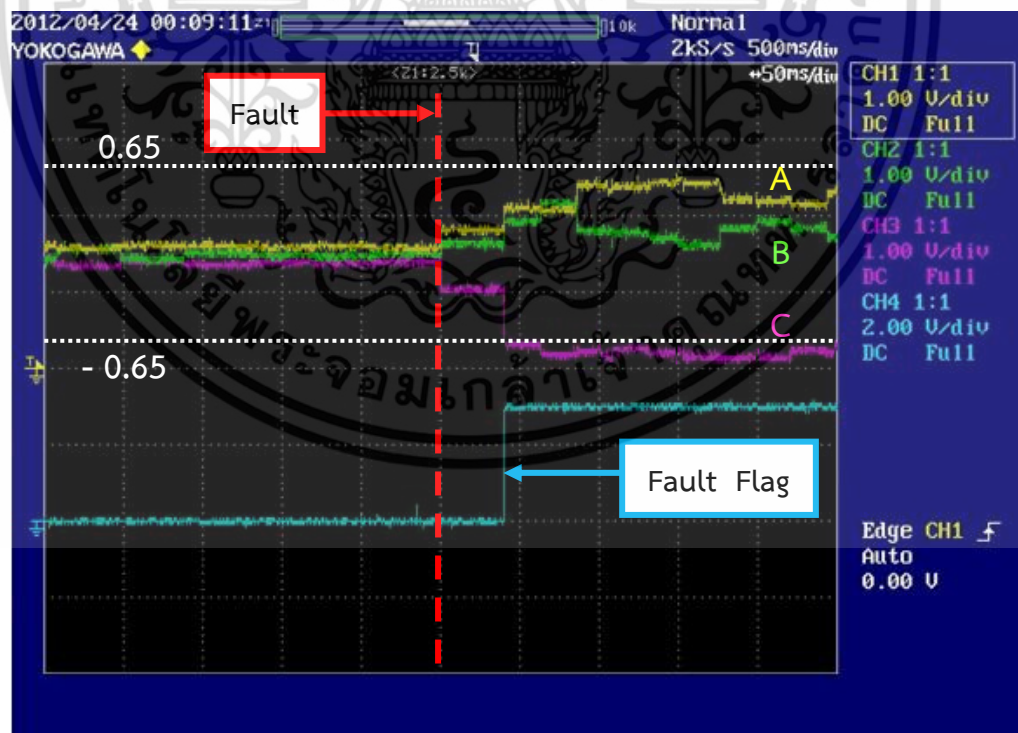


รูปที่ 7.36 ค่าดัชนีวินิจฉัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิด วงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S6 (เฟส B ตัวล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.37 ค่าดัชนีวินิจฉัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิด วงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S5 (เฟส C ตัวบน)



รูปที่ 7.38 ค่าดัชนีวินิจฉัย และสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ในขณะที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิด

วงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ S2 (เฟส C ตัวล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.5.5 สรุปผลการทดสอบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร

จากผลการทดสอบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรพบว่าในขณะที่ยังไม่ได้ทำการจำลองการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรนั้น ค่าดัชนีวินิจฉัยในแต่ละเฟสจะมีค่าประมาณ 0 ดังแสดงในรูปที่ 7.32 และเมื่อทำการจำลองให้เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่ตำแหน่งสวิตช์ต่าง ๆ คือที่ตำแหน่งสวิตช์ S1 , S4 , S3 , S6 , S5 และ S2 เรียงตามลำดับเฟส จะพบว่าค่าดัชนีวินิจฉัยในเฟสที่เกิดฟอลต์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยจะมีค่าใกล้เคียง 1 หรือ -1 ขึ้นอยู่กับว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นเฟสนั้น ๆ ถูกจำลองให้เกิดขึ้นที่สวิตช์ตัวล่าง หรือตัวบน ยกตัวอย่างเช่นในรูปที่ 7.33 เป็นค่าดัชนีวินิจฉัยในขณะที่จำลองให้เกิดขึ้นที่สวิตช์ S1 (เฟส A ตัวบน) จะพบว่าค่าดัชนีวินิจฉัยในเฟส A (กราฟสีเหลือง) จะมีค่าเป็น 1 ในขณะที่เดียวกันค่าดัชนีวินิจฉัยในเฟสอื่น ๆ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปบ้าง แต่จะมีค่าไม่ถึง 1 หรือ -1 ทั้งนี้เป็นเพราะในขณะที่เกิดฟอลต์องค์ประกอบของสัญญาณกระแสในเฟสอื่น ๆ จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในการทดสอบในหัวข้อที่ 7.3 เช่นเดียวกับในรูปที่ 7.34 แสดงค่าดัชนีวินิจฉัยในขณะที่จำลองให้เกิดขึ้นที่สวิตช์ S4 (เฟส A ตัวล่าง) จะพบว่าค่าดัชนีวินิจฉัยในเฟส A (กราฟสีเหลือง) จะมีค่าเป็น -1 ส่วนค่าดัชนีวินิจฉัยในเฟสอื่น ๆ จะมีค่าเกิดขึ้นเช่นกันแต่จะมีค่าไม่ถึง 1 หรือ -1 ดังนั้นค่าดัชนีวินิจฉัยที่เป็น 1 หรือ -1 นี้จึงเป็นตัวที่ใช้บ่งชี้ว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นที่สวิตช์ตัวบน หรือตัวล่างในแต่ละเฟส และค่าดัชนีวินิจฉัยก็เป็นตัวบ่งชี้ว่าเกิดฟอลต์ขึ้นที่เฟสใด เนื่องจากการคำนวณค่าดัชนีวินิจฉัยแยกต่างหากของแต่ละเฟส (เฟส A , B และ C) ด้วยเหตุนี้เองจึงสามารถระบุได้ว่าเกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์กำลังตัวใดในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ โดยในแต่ละการทดสอบนั้นจะตั้งค่าดัชนีวินิจฉัยสำหรับการทดสอบไว้ที่ค่า 0.65 เพื่อแสดงสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ (Fault Flag) โดยสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ จะแสดงด้วยกราฟสีฟ้า สำหรับผลการทดสอบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเฟส B และ C มีลักษณะเช่นเดียวกับกันภายในเฟส A ดังแสดงในรูปที่ 7.35 ถึง 7.38 ซึ่งระบบที่ทำการออกแบบสามารถตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรได้ทุกครั้งที่ทำกรจำลองฟอลต์ให้เกิดขึ้น และได้ผลการทดสอบที่ถูกต้องเป็นไปตามสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ นั่นคือสามารถระบุตำแหน่งฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้ว่าเกิดฟอลต์ขึ้นที่เฟสใดและที่สวิตช์ตัวใดของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งได้ผลสอดคล้องกับผลการจำลองในบทที่ 5

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าระบบที่ทำการออกแบบสามารถนำสัญญาณกระแสคืนกลับที่สร้างจากสัญญาณกระแสเอาท์พุททางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงมาใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรแทนสัญญาณกระแสจริงทางด้านอินพุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ได้ ซึ่งช่วยให้สามารถลดจำนวนอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสลงได้ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสเพียง 1 ชุดเท่านั้น นอกจากนี้ยังสามารถนำสัญญาณการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ (Fault Flag) ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบป้องกันฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรให้กับเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ รวมถึงการวางแผนในการบำรุงรักษาได้อีกด้วย

7.6 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงผลการทดสอบในหัวข้อต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วยผลการทดสอบการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ผลการทดสอบการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ผลการทดสอบการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ ผลการทดสอบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยที่ผลการทดสอบที่ได้นั้นสามารถยืนยันได้ว่าระบบการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ที่ทำการออกแบบสามารถใช้สัญญาณกระแสคืนกลับในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ที่จำลองให้เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง โดยสามารถระบุได้ว่าเกิดฟอลต์ขึ้นที่ตำแหน่งสวิตช์ตัวใดของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ และสามารถนำสัญญาณการแจ้งเตือนที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบป้องกันการเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรให้กับเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ได้อีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

บทสรุป ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

8.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอผลการศึกษากลับเกี่ยวกับการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ จากสัญญาณกระแสตรงทางด้านเอาต์พุตในวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง (DC Link) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสเพียง 1 ชุด เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ซึ่งโดยปกติในการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรจะต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแส (Current Sensor) ถึง 3 ชุด ทำให้ส่งผลต่อต้นทุนที่สูงสำหรับการติดตั้งระบบตรวจจับฟอลต์ดังกล่าว รวมถึงขนาดของอุปกรณ์เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่ใหญ่ขึ้นด้วย ดังนั้นการอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสเอาต์พุตทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรงที่ออกจากเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์กับลำดับการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์กำลัง และสัญญาณกระแสทางด้านอินพุตที่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 จึงนำมาสู่แนวคิดในการใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุต ซึ่งจะใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสเพียง 1 ชุด แล้วทำการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ (Current Reconstruction) ซึ่งจะได้สัญญาณที่มีลักษณะและองค์ประกอบที่ใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุต เพื่อใช้ในการวินิจฉัยและตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร โดยวิธีการนี้สามารถลดอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสจากที่ต้องใช้ 3 ชุด เหลือเพียง 1 ชุด ซึ่งนั่นหมายถึงราคาต้นทุนที่ใช้สำหรับตรวจจับฟอลต์ที่ลดลง และยังรวมถึงขนาดของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่เล็กลงด้วย นอกจากนี้ยังช่วยลดความเสี่ยงในกรณีที่มีการตรวจจับฟอลต์ด้วยวิธีเดิมที่ใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสด้านอินพุต 3 ชุดนั้น หากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสตัวใดตัวหนึ่งชำรุด การตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรก็ไม่สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ กล่าวคือในเฟสที่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสชำรุดจะไม่สามารถตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงได้มุ่งเน้นในการศึกษาเทคนิคการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับสำหรับการใช้ในการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์

จากการจำลองการทำงานที่ได้ออกแบบขึ้น ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB/Simulink พบว่าเทคนิคการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสเพียง 1 ชุด สามารถนำมาใช้ในการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรได้เป็นอย่างดี โดยสามารถตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรได้ทุกกรณี และทุกครั้งที่จำลองให้เกิดฟอลต์ขึ้น ไม่ว่าจะเกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์ตัวใดก็ตาม และระบบการวินิจฉัย และตรวจจับฟอลต์สามารถวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ขึ้นได้ และคำนวณหาค่าดัชนีวินิจฉัย เพื่อใช้เป็นสัญญาณแจ้งเตือน (Fault Flag) สำหรับการบ่งชี้ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรว่าเกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์ตัวใดได้ จึงนำไปสู่การออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริง ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทำการทดลองการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส พร้อมด้วยระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ที่ได้ทำการสร้างขึ้น ผลการทดลองพบว่า ระบบต้นแบบที่ได้ทำการจัดสร้างขึ้นสามารถสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสเพียง 1 ชุด จากสัญญาณกระแสตรงด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ให้มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสด้านอินพุตได้ และเมื่อทำการจำลองให้เกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ก็สามารถระบุได้ว่าเกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์ตัวใดได้อย่างถูกต้องทุกครั้ง และสามารถแสดงสัญญาณแจ้งเตือน ระบุให้ทราบว่าเกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์ตัวใดของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสามารถนำสัญญาณดังกล่าวไปใช้ในการวางแผนซ่อมแซม หรือบำรุงรักษาเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถวิจัยพัฒนาต่อยอดในการปรับเปลี่ยนโครงสร้างวงจร (Reconfiguration) [33] เปลี่ยนจากเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบ 6 สวิตช์ ไปควบคุมเป็นเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบลดจำนวนสวิตช์เหลือเพียง 4 สวิตช์ [34, 35] เพื่อให้เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ในกรณีที่ไม่สามารถหยุดการทำงานของระบบเพื่อทำการซ่อมแซม หรือบำรุงรักษาได้ทันที

จากผลการจำลอง และผลการทดลองจึงสรุปได้ว่าการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับสามารถนำมาใช้ในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ได้เป็นอย่างดี โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสเพียงชุดเดียว ซึ่งทำให้สามารถช่วยลดต้นทุน รวมถึงขนาดของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ลงได้ และยังคงให้ความถูกต้องแม่นยำในการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรได้เช่นเดียวกับการใช้สัญญาณกระแสทางด้านอินพุต

8.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทำการจัดสร้างขึ้นงานจริง และการทำการทดลอง พบว่ามีข้อสังเกตบางประการที่ขอเสนอแนะไว้ดังนี้

1. การทำงานของอุปกรณ์สวิตช์กำลังนั้น จะทำงานที่ความถี่สูงจึงทำให้เกิดความร้อนสะสมตลอดการทำงาน จึงจำเป็นที่จะต้องมียุทธศาสตร์ระบายความร้อนที่เหมาะสม เช่น ติดตั้งพัดลมหรือ Heat Sink ช่วยในการระบายความร้อน เพื่อรักษาอายุการใช้งานของสวิตช์กำลังให้ยาวนานยิ่งขึ้น
2. ควรแยกอุปกรณ์ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ออกจากวงจรกำลัง รวมทั้งทำการแยกสายตัวนำ และแยกกราวด์ระหว่างวงจรกำลังและวงจรควบคุมออกจากกัน ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวน (Noise) ซึ่งส่งผลกระทบต่อวงจรควบคุมการทำงานของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ทำให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานของสวิตช์กำลัง
3. การออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductance) ด้านหน้าวงจรทางด้านอินพุต ควรเลือกค่าความเหนี่ยวนำให้เหมาะสม เนื่องจากหากมีค่าความเหนี่ยวนำน้อยเกินไปก็จะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของกระแส หรือกระแสฮาร์มอนิกด้านอินพุตสูงตามไปด้วย ในขณะที่เดียวกันหากเลือกค่าตัวเหนี่ยวนำ

ที่สูงเกินไปก็จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ตัวเหนี่ยวนำสูงเช่นกัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์กำลัง และแรงดันทางด้านเอาต์พุท

4. สำหรับสัญญาณกระแสตรงทางด้านเอาต์พุทที่นำมาใช้ในการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับนั้น ควรใช้สัญญาณกระแสก่อนผ่านตัวเก็บประจุ (Capacitor) ที่ต่อขนานอยู่ทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ทั้งนี้เพื่อให้ได้สัญญาณกระแสคืนกลับที่มีลักษณะและองค์ประกอบใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุทมากที่สุด

5. เนื่องจากสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุทของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ก่อนเข้าตัวเก็บประจุที่ต่อขนานทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง ที่นำมาใช้ในการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับนั้น มีสัญญาณความถี่สูงอันเนื่องมาจากการทำงานสวิตช์กำลังปะปนอยู่ ดังนั้นการเลือกหน่วยประมวลผล MCU ของวงจรควบคุม ควรเลือกหน่วยประมวลผลที่มีความสามารถเพียงพอ และเหมาะสมกับการทำงานในลักษณะดังกล่าว

6. ก่อนทำการทดลองทุกครั้งควรเขียนวงจรการทดลองให้ชัดเจน พร้อมทั้งตรวจสอบการต่อวงจรให้ถูกต้องโดยละเอียด ทั้งนี้เพื่อความปลอดภัยในการทำงาน

8.3 แนวทางการพัฒนา

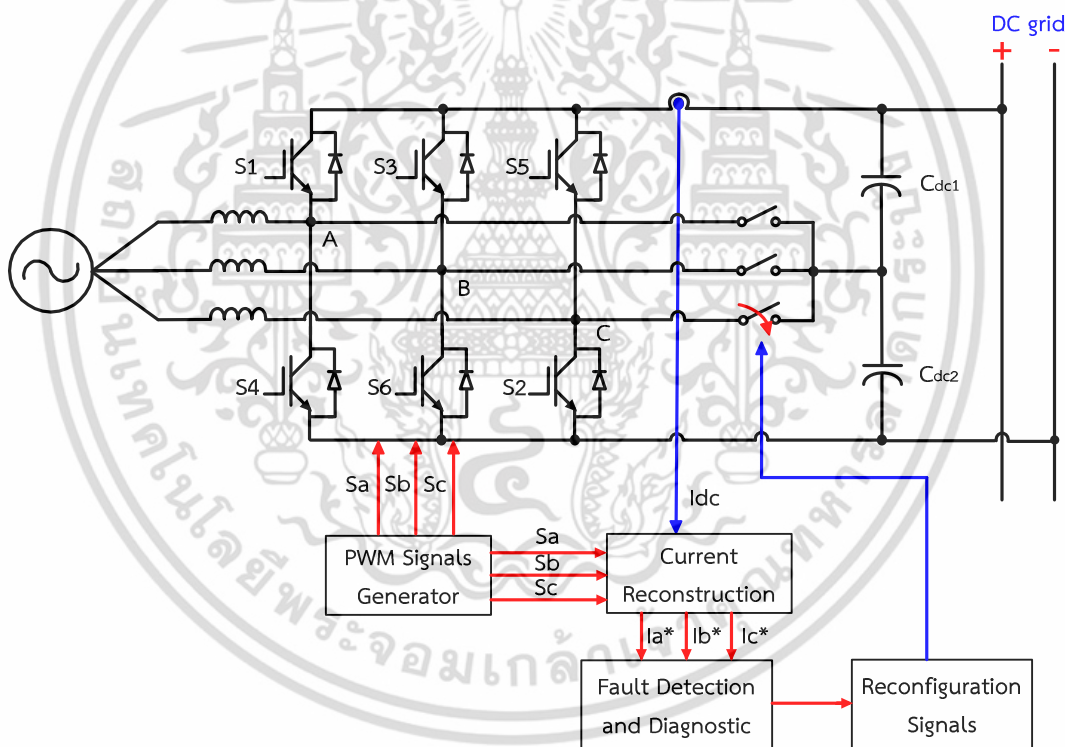
1. งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในกรณีเกิดฟลัดด์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรขึ้นพร้อมกันที่สวิตช์กำลังทั้ง 2 ตัวในกึ่งเดียวกัน หรือในกรณีที่เกิดฟลัดด์ขึ้นที่สวิตช์ตัวใดตัวหนึ่งในแต่ละกึ่ง มากกว่า 1 กิ่งขึ้นไป ระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟลัดด์ที่ออกแบบนี้ จะไม่สามารถตรวจจับฟลัดด์ที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงควรมีการพัฒนาต่อยอดโปรแกรมควบคุมสำหรับระบบตรวจจับและวินิจฉัยฟลัดด์ให้สามารถตรวจจับและวินิจฉัยการเกิดฟลัดด์ในลักษณะดังกล่าวได้ แต่อย่างไรก็ตามการเกิดฟลัดด์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรจะส่งผลทำให้กระแสในกิ่งที่ไม่ได้เกิดฟลัดด์เพิ่มสูงขึ้น รวมถึงในกิ่งที่เกิดฟลัดด์เอง สวิตช์ตัวที่ไม่ได้เกิดฟลัดด์ก็จะต้องรับภาระกระแสที่ไหลผ่านในปริมาณที่สูงขึ้น ดังนั้นการทดสอบในกรณีที่เกิดมากกว่า 1 กิ่งขึ้นไปย่อมส่งผลกระทบต่อสวิตช์ตัวอื่น ๆ ที่ไม่ได้เกิดฟลัดด์ในปริมาณที่สูงมากขึ้นไปอีกจึงต้องใช้ความระมัดระวังไม่ให้เกินพิกัดกระแสของสวิตช์กำลังที่จะรองรับได้

2. สัญญาณที่ได้จากการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับสำหรับงานวิจัยนี้ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังแต่อย่างใด เนื่องจากมุ่งเน้นที่จะศึกษาในการตรวจจับและวินิจฉัยฟลัดด์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเพื่อความสมบูรณ์ของระบบมากยิ่งขึ้น จึงควรพัฒนาโปรแกรมควบคุม รวมถึงเพิ่มวงจรรองสัญญาณ เพื่อให้สามารถนำสัญญาณกระแสคืนกลับที่ได้มาใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงในการควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลัง จะทำให้ช่วยลดอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณกระแสที่ใช้สำหรับการควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ได้

3. ผลจากการศึกษาวิจัยนี้ สามารถนำค่าดัชนีวินิจฉัย และสัญญาณแจ้งเตือนการเกิดฟลัดด์ที่ได้จากการตรวจจับและวินิจฉัยฟลัดด์ โดยอาศัยสัญญาณจากการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับไปพัฒนาต่อยอดในการปรับเปลี่ยนโครงสร้างวงจร (Reconfiguration) ให้กับเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์

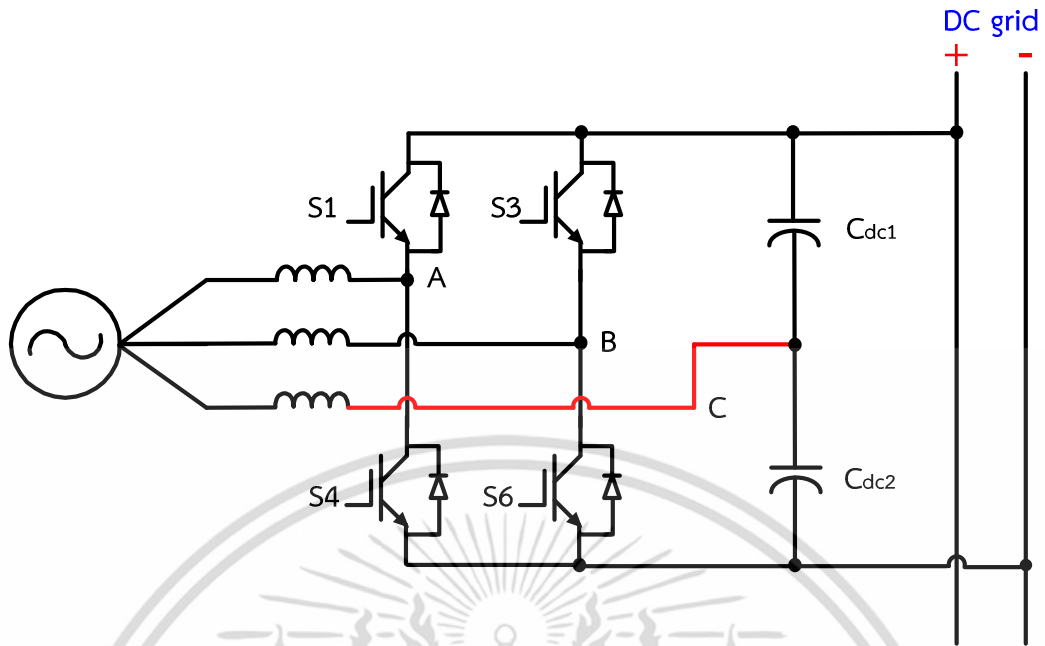
โดยการดำเนินการแบบลดจำนวนสวิตช์กำลัง จากเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบ 6 สวิตช์ เป็น เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบ 4 สวิตช์ ดังแสดงในรูปที่ 8.1 และรูปที่ 8.2 เพื่อให้เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ยังสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องในกรณีที่เกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรขึ้น โดยที่ไม่ต้องหยุดระบบทั้งหมดเพื่อซ่อมแซมบำรุงรักษาในทันที ซึ่งอาจจะต้องแลกมากับการที่พิกัดกำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่ลดลง เนื่องจากจำนวนสวิตช์ที่ลดลงแต่ก็ยังดีกว่า ระบบทั้งหมดจะต้องหยุดชะงักลงทั้งหมด ซึ่งจะเกิดผลเสียหายที่รุนแรงมากกว่า

4. การปรับเปลี่ยนโครงสร้างวงจร (Reconfiguration) โดยการดำเนินการให้เข้าสู่รูปแบบการทำงานแบบลดจำนวนสวิตช์ของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์นั้น นอกจากจะต้องทำการควบคุมการทำงานของระบบให้ปรับเปลี่ยนโครงสร้างวงจรในส่วนของวงจรกำลังแล้ว ในส่วนของโปรแกรมการควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ก็ย่อมที่จะต้องเปลี่ยนไปสู่การทำงานในรูปแบบเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบ 4 สวิตช์ด้วย



รูปที่ 8.1 แผนผังการตรวจจับและวินิจฉัยฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส พร้อมด้วยการปรับโครงสร้างวงจร (Reconfiguration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.2 เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบ 4 สวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Shashi B. Patra, Joydeep Mitra, and Satish J. Ranade, "Microgrid Architecture: A Reliability Constrained Approach," **IEEE PES Power Engineering Society General Meeting**, Vol.3, June 2005, pp. 2372 – 2377.
- [2] Robert H. Lasseter, "Dynamic Distribution using (DER) Distributed Energy Resources," **IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition**, May 2006, pp. 932 – 934.
- [3] R. H. Lasseter, and P. Paigi, "Microgrid : A conceptual solution," in **35th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference**, pp. 4285–4290, 2004.
- [4] S. Papathanassiou, D. Georgakis, N. hatziaqyriou, A. Engler, and C. Hardt, "Operation of a prototype Micro-grid system based on microsources equipped with fast-acting power electronics interfaces," **IEEE PESC 2004**, Vol.4, Jun. 2004, pp. 2521-2526.
- [5] S. Morozumi, "Micro-grid demonstration projects in japan," **PCC (Power Conversion Conference) 2007**, Apr. 2007, pp. 635-642.
- [6] Ji-Heon Lee, Hyun-Jun kim, Byung-Moon Han, Yu-Seok Jeong, Hyo-Sik Yang, and Han-Ju Cha, "DC Micro-grid Operational Analysis with a Detailed Simulation Model for Distributed Generation," **Journal of Power Electronics**, Vol. 11, No.3, May 2011. pp. 350 – 359.
- [7] Sumphan Juphao, Warachart Sae-Kok, and Surin Khomfoi, "Current Signal Reconstruction Technique from Single dc Bus Current Sensor for Open Switch Fault Detection in a Three Phase ac-dc Converter," **Proceeding of the 34th Electrical Engineering Conference (EECON-34)**, 30 November – 2 December 2011, pp. 657 – 660.
- [8] Daniel Salomonsson, Lennart Soder, and Ambra Sannino, "Protection of Low-Voltage DC Microgrid," **IEEE Transactions on Power Delivery**, vol. 24, no. 3, July 2009. pp. 1045-1053.
- [9] Robert M. Cuzner, and Giri Venkataramanan, "The Status of DC Micro-Grid Protection," **IEEE Transactions on Industry Applications**, October 2008, pp.1-8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

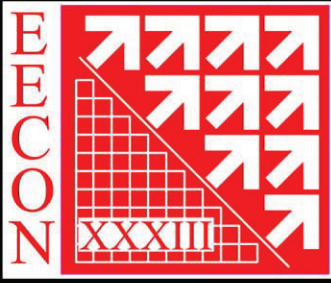
- [10] P. Biczal, "Power electronic converters in DC microgrid," **IEEE CPE'07 (Compatibility in Power Electronics 2007)**, May/June. 2007, pp. 1-6.
- [11] Kai Rothenhagen, and Friedrich W. Fuchs. "Performance of Diagnosis Methods for IGBT Open Circuit Faults in Three Phase Voltage Source Inverters for AC Variable Speed Drives," **Proceedings of the 2005 European Conference on Power Electronic and Applications**, Dresden, Germany, 2005, pp. P.1 - P.10.
- [12] Hyeong Gil Joo, Myung Joong Youn, and Hwi Beom Shin, "Estimation of phase currents from a dc-link current sensor using space vector PWM method," **Electric Machines and Power Systems**, Vol. 28, 2000, pp. 1053 – 1069.
- [13] Lee Woo Cheol, Hyun Dong Seok, and Lee Taeck Kie, "A Novel Method for Three-Phase PWM Rectifiers Using a Single Current Sensor," **IEEE Transactions on Power Electronics**, Vol. 15, No. 5, 2000, pp. 861 – 870.
- [14] Frede Blaabjerg and John K. Pedersen, "An ideal PWM-VSI inverter using only one current sensor in the dc-link," **Proceedings of PEVD'94, 1994**, pp.458 – 464.
- [15] A. M. S. Mendes, A. J. Marques Cardoso, E. S. Saraiva, "Voltage Source Inverter Fault Diagnosis in Variable Speed AC Drives by Park's Vector Approach," **Proceedings of the 1998 IEE 7th International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives**, pp. 538-543.
- [16] K. Rothenhagen, F. W. Fuchs "Performance of Diagnosis Methods for IGBT Open Circuit Faults in Three Phase Voltage Source Inverters for AC Variable Speed Drives," **Proceedings of the 2005 European Conference on Power Electronic and Applications**, Dresden,Germany, pp. P.1-P.10.
- [17] B. A. Welchko, T. A. Lipo, T. M. Jahns, S. E. Schulz, "Fault Tolerant Three-Phase AC Motor Drive Topologies: A Comparison of Features, Cost, Limitations," **IEEE Transactions on Power Electronics**, vol. 19, no. 4, Jul. 2004, pp. 1108-1116.
- [18] R. Peugeot, S. Courtine, and J.P. Rognon, "Two Knowledge-Based Approaches to Fault Detection and Isolation on a PWM Inverter," **Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Control Applications**, pp. 565-570.

- [19] Raphael Peugot, St'ephane Courtine, and Jean-Pierre Rognon, "Fault Detection and Isolation on a PWM Inverter by Knowledge-Based Model," **IEEE Trans. on Industry Applications**, vol. 34, no. 6, Nov./Dec. 1998, pp. 1318-1326.
- [20] A. M. S. Mendes and A. J. Marques Cardoso, "Voltage Source Inverter Fault Diagnosis in Variable Speed AC Drives, by the Average Current Park's Vector Approach," **Proceedings of International Conference on Machines and Drives, 1999**, pp. 704-706.
- [21] A. M. S. Mendes and A. J. Marques Cardoso, "Fault Diagnosis in a Rectifier-Inverter System Used in Variable Speed AC Drive by the Average Park's Vector Approach," **Proceedings of the 1999 EPE 8th European Conference on Power Electronics and Applications**, pp. P.1-P.9.
- [22] C. Kral and K. Kafka, "Power Electronics Monitoring for a Controlled Voltage Source Inverter," **Proceedings of IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2000**, pp. 213-217.
- [23] S. Abramik *et al.*, "A Diagnostic Method for On-line Fault Detection and Localization in VSI-Fed AC Drive," **Proceedings of the 2003 EPE 10th European Conference on Power Electronics and Applications**, pp. P.1-P.8.
- [24] F. W. Fuchs, "Some Diagnosis Methods for Voltage Source Inverters in Variable Speed Drives with Induction Machines a Survey," **Proceedings of the 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, November 2003**, pp. 1378-1385.
- [25] K. Rothenhagen and F. W. Fuchs, "Performance of Diagnosis Methods for IGBT Open Circuit Faults in Voltage Source Active Rectifiers," **Proceedings of the 35th Power Electronics Specialists Conference, 2004**, pp. 4348-4354.
- [26] W. Sae-Kok and D. M. Grant, "Open Switch Fault Diagnosis for a Doubly-Fed Induction Generator," **Proceeding of the 7th International Conference on Power Electronics and Drive System, 2007**, pp. 131-138.

- [27] Frede Blaabjerg, John K. Pedersen, Ulrik Jaeger and Paul Thøgersen, “Single Current Sensor Technique in the DC link of Three-Phase PWM-VS Inverters: A Review and a Novel Solution,” **IEEE Transactions on Industry Applications**, Vol.33, No.5, October 1997, pp.1241 – 1253.
- [28] Yikun Gu, Fenglei Ni, Dapeng Yang, and Hong Liu, “A Novel Phase Current Reconstruction Method Using a Single DC-Link Current Sensor,” **Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation**, August 2009, pp.4874 – 4879.
- [29] Slobodan N. Vukosavic and Aleksandar M. Stankovic, “Sensorless Induction Motor Drive with a Single DC-Link Current Sensor and Instantaneous Active and Reactive Power Feedback,” **IEEE Transactions on Industry Electronics**, Vol.48, No.1, February 2001, pp.195 – 204.
- [30] B. Saritha, and P. A. Janakiraman, “Sinusoidal Three-Phase Current Reconstruction and Control Using a DC-Link Current Sensor and a Curve-Fitting Observer,” **IEEE Transactions on Industry Electronics**, Vol.54, No.5, October 2007, pp.2657 – 2664.
- [31] S.B. Bodkhe and M.V. Aware “Robust method for current reconstruction from DC link in a sensorless induction motor drive,” **International Journal of Engineering, Science and Technology**, Vol.2, No.10, December 2010, pp.87 – 99.
- [32] <http://mathwork.com>, **MathWork Inc., MATLAB User’s Guide Version6.**, 2003.
- [33] W. Sae-Kok, D.M. Grant, and B.W. Williams, “System reconfiguration under open-switch faults in a doubly fed induction machine” **IET Renewable Power Generation**, Vol. 4, Iss. 5, 2010, pp. 458 – 470.
- [34] M. Monfared, H. Rastegar, and H. M. Kojabadi, “Overview of Modulation Techniques for the Four-Switch Converter Topology,” **Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Power and Energy**, PECon 08, December 2008, pp. 803 – 807.
- [35] Tzann-Shin Lee, and Jia-Hong Liu, “Modeling and Control of a Three-Phase Four-Switch PWM Voltage-Source Rectifier in d-q Synchronous Frame,” **IEEE Transactions on Power Electronics**, Vol. 26, No. 9, September 2011, pp. 2476 – 870.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประชุมวิชาการ ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๓

33rd Electrical Engineering Conference (EECON-33)

คำนำ

Keynote Speakers

บทความรับเชิญ

บทความดีเด่น

ดัชนีผู้เขียนบทความ Vol.1 (Author Index Vol.1)

ดัชนีผู้เขียนบทความ Vol.2 (Author Index Vol.2)

ดัชนีคำสำคัญ Vol.1 (Keyword Index Vol.1)

ดัชนีคำสำคัญ Vol.2 (Keyword Index Vol.2)

กำหนดการ

Sponsor

หน้าปก Proceedings

Proceeding Vol.1

Proceeding Vol.2

Abstract Program

บทความทางวิศวกรรมไฟฟ้า

ไฟฟ้ากำลัง (PW)

อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)

ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)

อิเล็กทรอนิกส์ (EL)

การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)

ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

ไฟโตนิกส์ (PH)

คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)

วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)

ร่วมจัดโดย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



111 Years Engineering
Innovation

การออกแบบการป้องกันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน

Design of a Protection Paradigm for a DC Microgrid Incorporating with Renewable Energy Resource

สัมพันธ์ จูณา¹ วรชาติ แซ่ก๊ก¹ สุรินทร์ คำผอย^{1,2}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

²ศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 0-2739-2478 E-mail : sumphanj@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการออกแบบระบบป้องกันสำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่เชื่อมต่อเข้ากับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน โดยทำการศึกษาดังพฤติกรรมของฟอลต์ที่เกิดขึ้นทั้งในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่จะใช้ในการออกแบบระบบป้องกัน โดยได้ทำการศึกษาและจำลองพฤติกรรมของฟอลต์ รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วยโปรแกรม PSIM นอกจากนี้ยังได้นำเสนออุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในการออกแบบระบบป้องกันให้สามารถตัดวงจรที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม จากผลการจำลองพบว่าระบบป้องกันที่ทำการออกแบบสามารถกำจัดฟอลต์ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : ระบบป้องกัน, ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก, แหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน, ฟอลต์

Abstract

The design of a protection paradigm for a dc microgrid incorporating with renewable energy resource is presented in this paper. The acquaintance of fault occurring in a dc distribution and power electronic devices is a key issue for designing of the protection system. The faults and their consequences are also clearly explained by utilizing the PSIM software package. In addition, the protection devices are designed to protect and clear the fault. The simulation results illustrate that the designed protection system can clear the occurring fault satisfactorily.

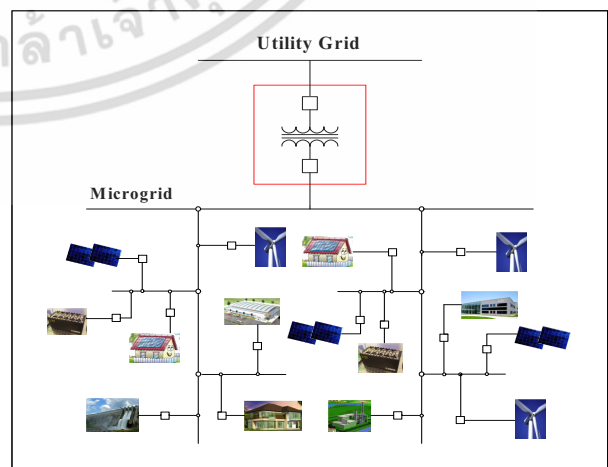
Keyword : Protection system, DC Microgrid system, Renewable energy resource, Fault

1. บทนำ

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก หรือ Microgrid นั้น เป็นระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถสร้างสมดุลระหว่างการผลิตพลังงานไฟฟ้ากับภาระทางไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบ ซึ่งสามารถเชื่อมต่อ

ขนานเข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก หรืออาจจะบริหารจัดการแยกเป็นอิสระโดยไม่มีการเชื่อมต่อ เช่น พื้นที่ที่เป็นเกาะ และอาจมีการรวมเอาแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ ฯลฯ เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ทั้งนี้พลังงานหมุนเวียนนั้น ถือได้ว่าเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และมีข้อดีในด้านการจัดการทางพลังงานได้ง่าย สามารถตอบสนองต่อภาระทางไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับการป้องกันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กนั้น ยังไม่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย ทั้งที่ความเป็นจริงแล้วระบบป้องกันสำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น เป็นสิ่งที่สำคัญ และมีความจำเป็น เนื่องจากเสถียรภาพทางไฟฟ้า และความเชื่อถือได้ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ตลอดจนความปลอดภัยของผู้ใช้งานเองนั้นถือเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญ ซึ่งถ้าหากไม่มีระบบป้องกันที่ดีแล้วนั้น เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยตามมาได้

บทความฉบับนี้จึงนำเสนอการศึกษาพฤติกรรมของความผิดปกติของทางไฟฟ้า (fault) ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งในที่นี้ใช้เป็นระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำไปสู่การออกแบบระบบป้องกันและเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันให้มีความเหมาะสม โดยใช้โปรแกรม PSIM ในการจำลองการทำงานของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และระบบป้องกัน



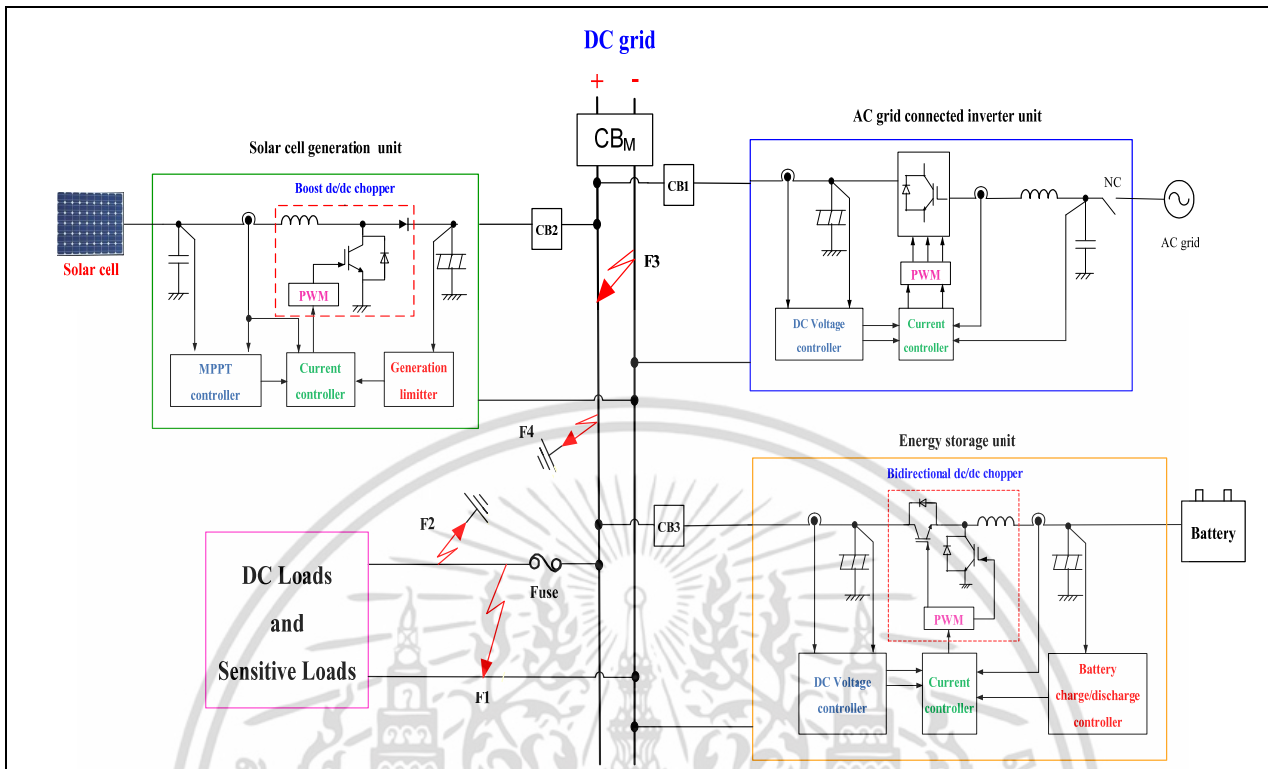
รูปที่ 1 แผนผังระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microgrid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่มีการเสีย | ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ที่แปะลงเนื้อหา และต้องยื่นอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 33 (ECON-33) 1-3 ธันวาคม 2553 จังหวัดเชียงใหม่ จัดโดย สจล. มห. มทม.



The 33rd Electrical Engineering Conference, 1-3 December 2010, Organized by KMITL, CMU, MUT



รูปที่ 2 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก และอุปกรณ์ป้องกัน รวมทั้งตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ [1]

2. ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC microgrid)

การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงนั้น มีความเหมาะสมกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีการเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้แหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน และภาระทางไฟฟ้าส่วนใหญ่นั้น จะใช้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้ช่วยลดจำนวนคอนเวอร์เตอร์ในการแปลงผันแรงดันไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ ไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่สนับสนุนว่าการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงนั้นจะเกิดค่าความสูญเสีย (loss) ในระบบการส่งจ่ายน้อยกว่าการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับถึง 15% [2] จึงทำให้ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงมีประสิทธิภาพในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่า

ในบทความฉบับนี้ ได้จำลองการทำงานของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กหรือ (DC microgrid) ขนาด 150 โวลต์ ซึ่งเป็นระบบที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน โดยใช้เป็นพลังงานแสงอาทิตย์ ผ่านวงจรแปลงกระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC/DC converter) โดยมีระบบสะสมพลังงานเป็นแบตเตอรี่ รวมทั้งมีการเชื่อมต่อกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC power system) โดยผ่านวงจรเรียงกระแสแบบ 2 ทิศทาง (Bidirectional rectifier) นอกจากนี้ยังมีภาระทางไฟฟ้า ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC loads) เชื่อมต่ออยู่ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2

3. ฟอลต์ และผลกระทบของฟอลต์

ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงนั้น แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือฟอลต์ระหว่างสายส่ง (Line to Line Fault), ฟอลต์ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับกราวนด์ (Positive Line to Ground Fault) และฟอลต์ระหว่างสายส่งขั้วลบกับกราวนด์ (Negative Line to Ground Fault) โดยสามารถคำนวณหากระแสฟอลต์ได้ตามสมการพื้นฐานดังต่อไปนี้

$$I_{dc(F)} = \frac{E_{dc(0)} - E_{dc(F)}}{R_{dc(F)}} \quad (1)$$

เมื่อ $I_{dc(F)}$ คือ กระแสฟอลต์
 $E_{dc(0)}$ คือ แรงดันก่อนเกิดฟอลต์
 $E_{dc(F)}$ คือ แรงดันในขณะเกิดฟอลต์
 $R_{dc(F)}$ คือ ความต้านทานของสายส่ง

สำหรับผลกระทบของฟอลต์ที่เกิดขึ้นต่อระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบได้รับความเสียหาย โดยเฉพาะอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุปกรณ์ควบคุมที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันในขณะเกิดฟอลต์สูง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาการออกแบบระบบป้องกันสำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กให้มีความเหมาะสม และสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่มีการเสีย | ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 33 (ECON-33) 1-3 ธันวาคม 2553 จังหวัดเชียงใหม่ จัดโดย สจล. มท. มทม.



The 33rd Electrical Engineering Conference, 1-3 December 2010, Organized by KMITL, CMU, MUT

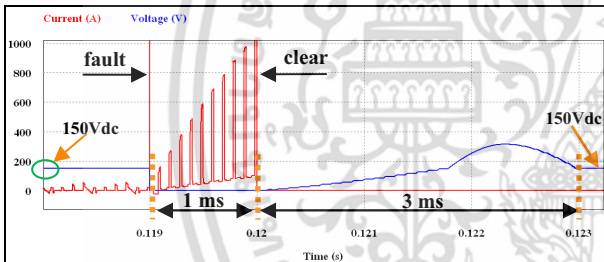
4. การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม PSIM ในการจำลองการทำงานของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และระบบป้องกัน โดยที่การออกแบบการจำลองนั้นจะศึกษาฟอลต์ 2 ชนิดคือ ฟอลต์ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับสายส่งขั้วลบ และฟอลต์ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับกราวด์ โดยให้เกิดฟอลต์ขึ้นที่บัสและที่โหลด เพื่อพิจารณาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันในระบบ ซึ่งฟอลต์ที่โหนดนั้น ฟอลต์ F1 กำหนดให้เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับสายส่งขั้วลบ ส่วนฟอลต์ F2 เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับกราวด์ สำหรับฟอลต์ที่ตำแหน่งบัสของระบบนั้น ฟอลต์ F3 เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับสายส่งขั้วลบ และฟอลต์ F4 เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับกราวด์ ดังรูปที่ 2 โดยให้ระยะเวลาในการเกิดฟอลต์ F1 เป็นเวลา 1 ms และ 5 ms เพื่อเปรียบเทียบกับระหว่างระยะเวลาที่เกิดฟอลต์กับผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบ รวมถึงลักษณะกระแสและแรงดันในขณะเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบ

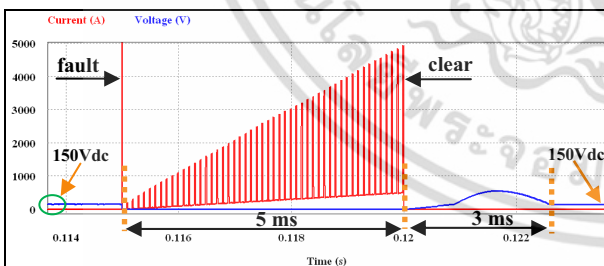
5. ผลการจำลอง

ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

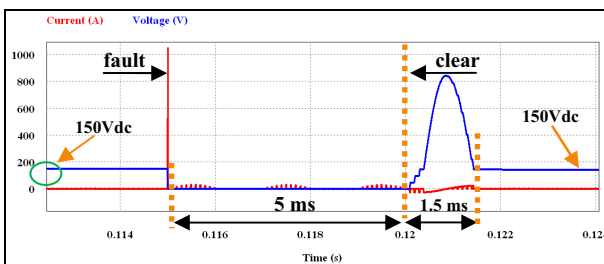
5.1 ฟอลต์ที่โหนด (F1) ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับสายส่งขั้วลบ



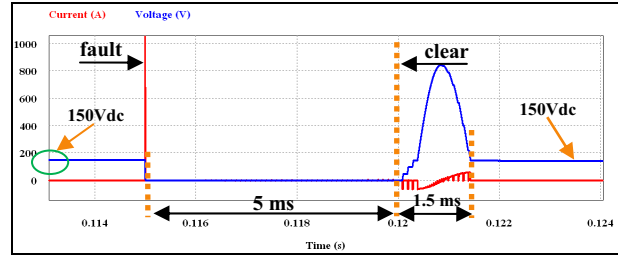
รูปที่ 3 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F1) เป็นระยะเวลา 1 ms



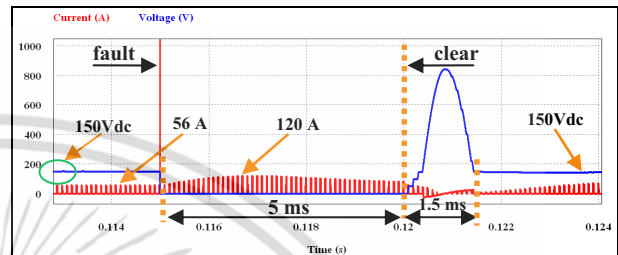
รูปที่ 4 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F1) เป็นระยะเวลา 5 ms



รูปที่ 5 กระแส และแรงดันที่ Solar cell ขณะเกิดฟอลต์ (F1)

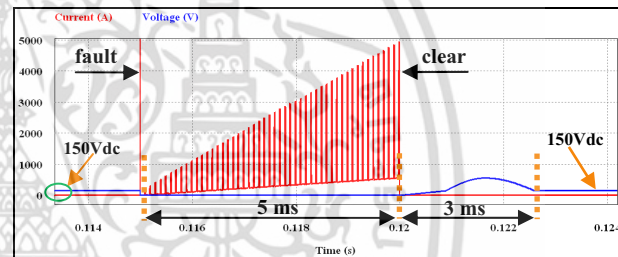


รูปที่ 6 กระแส และแรงดันที่ Battery ขณะเกิดฟอลต์ (F1)



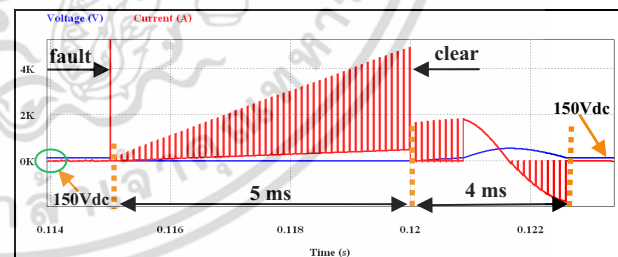
รูปที่ 7 กระแส และแรงดันที่ Converter ขณะเกิดฟอลต์ (F1)

5.2 ฟอลต์ที่โหนด (F2) ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับกราวด์



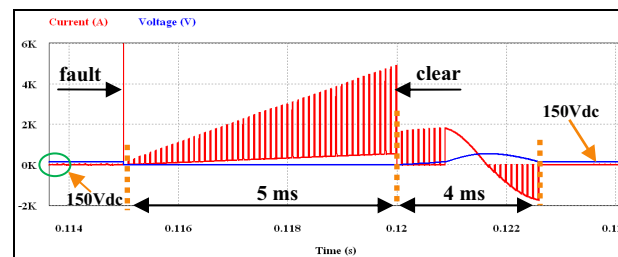
รูปที่ 8 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F2) เป็นระยะเวลา 5 ms

5.3 ฟอลต์ที่บัส (F3) ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับสายส่งขั้วลบ



รูปที่ 9 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F3) เป็นระยะเวลา 5 ms

5.4 ฟอลต์ที่บัส (F4) ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับกราวด์



รูปที่ 10 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F4) เป็นระยะเวลา 5 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่มีการแจ้ง | ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์เผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร หากพบทั้งที่มีกรณีไปใช้
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 33 (ECON-33) 1-3 ธันวาคม 2553 จังหวัดเชียงใหม่ จัดโดย สจล. มห. มทม.



The 33rd Electrical Engineering Conference, 1-3 December 2010, Organized by KMITL, CMU, MUT

จากผลการจำลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบฟอลต์ระหว่างสายส่ง ขั้วบวกกับสายส่งขั้วลบ และฟอลต์ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับกราวด์นั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันคล้ายกัน และถ้าเกิดฟอลต์ เป็นระยะเวลาสั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสเพิ่มมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ฟอลต์ F1 ฟอลต์ที่โหนดระหว่างสายส่งขั้วบวกกับสายส่ง ขั้วลบ ระยะเวลาการเกิดฟอลต์ 5 ms จะมีขนาดของกระแสฟอลต์ เป็น 5 เท่าเมื่อเทียบกับระยะเวลาการเกิดฟอลต์ 1 ms ก่อนที่ระบบป้องกัน จะทำการตัดวงจรที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้า สำหรับตำแหน่งที่เกิด ฟอลต์ ระหว่างฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่โหนดกับฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่บัส จะมี ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่แตกต่างกันกล่าวคือ หลังจากที่ อุปกรณ์ป้องกันได้กำจัดฟอลต์ออกจากระบบแล้วกระแสยังคงมีการแกว่ง ตัวต่ออีกช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะปกติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าฟอลต์ ที่บัสจะใช้เวลาในการกลับเข้าสู่สภาวะคงตัวของระบบนานกว่าฟอลต์ ที่เกิดขึ้นที่โหนด ขณะเดียวกันที่ตำแหน่งอื่น ๆ ของระบบก็จะปรากฏ กระแสฟอลต์ F1 เช่นกันแต่มีขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้ยังพบว่ากระแสถูก แรกหลังจากเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบจะมีขนาดสูงมาก ดังนั้นอุปกรณ์ ป้องกันจึงควรทำงานให้ถูกต้อง และเร็วที่สุด เพื่อที่จะป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

6. แนวทางการออกแบบการป้องกันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก

ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการติดตั้งระบบป้องกัน โดยอาศัยอุปกรณ์ป้องกันหลัก ๆ ดังนี้ [3], [4]

1. ฟิวส์ (Fuse) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันกระแสเกิน โดยอาศัยการหลอมละลายของวัสดุตัวนำ ซึ่งอาจจะเป็นทองแดง หรือเงินที่มี จุดหลอมเหลวต่ำ เพื่อตัดวงจรที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ
2. เซอร์คิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่สามารถเปิดวงจรได้อัตโนมัติ เมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้น โดยนำเอาสวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ เรียกว่า โซลิดสเตทเซอร์คิตเบรกเกอร์

สำหรับการออกแบบระบบป้องกันสำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า นั้น หลักการสำคัญคือ ระบบป้องกันจะต้องสามารถทำงานได้อย่าง ถูกต้อง และรวดเร็ว โดยจะต้องเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันตามความ เหมาะสม เช่น เลือกใช้เซอร์คิตเบรกเกอร์ ที่มีความเร็วในการทำงานสูง อาทิ โซลิดสเตทเซอร์คิตเบรกเกอร์ ซึ่งปัจจุบันมีงานวิจัยที่สามารถ ทำงานได้เร็วถึง 0.5 ms หรือในกรณีที่เป็นโหนดที่ไม่มีควมไวต่อการ เปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันมากก็อาจใช้ฟิวส์ที่มีความเร็วใน การหลอมละลายสูง เช่น ultra fast fuse ที่ใช้เวลาการหลอมละลายของ โลหะตัวนำเร็วกว่าฟิวส์แบบธรรมดา เป็นต้น ทั้งนี้จะต้องทำการ ออกแบบลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (Coordination) ตลอดจน ระบบป้องกันสำรอง (Back up Protection) ในกรณีที่ระบบป้องกันหลัก ไม่ทำงาน หรือทำงานผิดพลาด เช่น กรณีเกิดฟอลต์ F1 และ F2 หากฟิวส์ ที่ใช้ป้องกันโหนด ไม่สามารถทำการตัดวงจรออกจากระบบได้ CB1 ที่

Converter, CB2 ที่ Solar cell, และ CB3 ที่ Battery จะต้องทำการตัดวงจร ออกจากระบบ โดยลำดับเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในที่นี้คือ เซอร์คิตเบรกเกอร์จะตั้งให้ช้ากว่าเวลาการทำงานของฟิวส์ เช่น ฟอลต์ F1 ถ้าฟิวส์ทำงานที่ 2 ms ก็ควรตั้ง CB ไว้ที่ประมาณ 3 ms และขนาด กระแสทำงานของ CB ควรจะน้อยกว่าขนาดกระแสฟอลต์ที่ปรากฏที่ ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบ ซึ่งอาจใช้รีเลย์ป้องกันทำงานร่วมด้วย ใน ขณะเดียวกัน CB1, CB2 และ CB3 ก็ต้องป้องกันอุปกรณ์ที่อยู่ใน Zone ป้องกันในกรณีที่เกิดฟอลต์ขึ้นที่บัสด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ จะต้องทำการหาตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้นให้ได้ว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นนั้น เป็นฟอลต์ที่โหนด หรือฟอลต์ที่บัส ซึ่งจะอาศัยอุปกรณ์ในการตรวจจับทั้ง กระแส และแรงดัน เพื่อให้ระบบป้องกันสามารถตรวจจับ และ กำจัดฟอลต์ที่เกิดขึ้นออกจากระบบได้อย่างถูกต้อง และรวดเร็ว

7. บทสรุป

บทความฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษารูปแบบการป้องกัน ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่าย พลังงานหมุนเวียน โดยใช้โปรแกรม PSIM จำลองการทำงาน เพื่อศึกษา ถึงผลการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันที่เกิดขึ้นจากฟอลต์ ซึ่งผล การจำลองพบว่าขณะที่เกิดฟอลต์แรงดันที่สายส่งจะลดลงเป็นศูนย์ ส่วน กระแสจะเกิดการแกว่งตัว และเปลี่ยนแปลงตลอดเวลานานกว่าอุปกรณ์ ป้องกันจะตัดวงจรที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ ซึ่งระบบป้องกันที่ทำการ ออกแบบสามารถกำจัดฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี และสามารถใช้เป็น แนวทางในการออกแบบระบบป้องกันสำหรับการใช้งานจริงต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการ อนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (EPPO) และจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้ สัญญาเลขที่ MRG5280027

เอกสารอ้างอิง

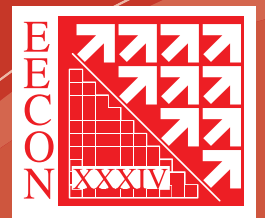
- [1] Youichi Ito, Yang Zhongqing and Hirofumi Akagi, "DC Micro-grid Based Distribution Power Generation System," Power Electronics and Motion Control Conference, 2004, pp. 1740 – 1745.
- [2] H. Kakigano, M. Nomura and T. Ise, "Loss Evaluation of DC Distribution for Residential Houses Compared with AC system," The 2010 International Power Electronics Conference, 2010, pp. 480-486.
- [3] Daniel Salomonsson, Lennart Soder and Ambra Sannino, "Protection of Low-Voltage DC Microgrid," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no. 3, Jul. 2009. pp. 1045-1053.
- [4] Robert M. Cuzner and Giri Venkataramanan, "The Status of DC Micro-Grid Protection," IEEE Transactions on Industry Applications. Oct. 2008, pp.1-8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่มีการตีพิมพ์ | ที่ตั้งอื่น อีกที่ทั้งที่มีให้ตีพิมพ์อยู่แล้ว และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกแห่งที่มีการนำไปใช้ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 33 (ECON-33) 1-3 ธันวาคม 2553 จังหวัดเชียงใหม่ จัดโดย สจล. มห. มทม.



The 33rd Electrical Engineering Conference, 1-3 December 2010, Organized by KMITL, CMU, MUT



The 34th Electrical Engineering Conference (EECON-34) การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34

Volume I

- ❖ ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- ❖ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- ❖ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)

30 พฤศจิกายน - 2 ธันวาคม 2554

ณ โรงแรมแอมบาสเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน พัทยา จังหวัดชลบุรี

ดำเนินการโดย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม



เทคนิคการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสทางด้านบัสกระแสตรง 1 ชุด

สำหรับการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

Current Signal Reconstruction Technique from Single dc Bus Current Sensor for Open Switch Fault

Detection in a Three Phase ac-dc Converter

สัมพันธ์ จูณา¹ วรชาติ แซ่กัก¹ สุรินทร์ คำฝอย^{1,2}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

²ศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร./โทรสาร. 0-2329-8331 E-mail : sumphanji@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอเทคนิคการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสทางด้านบัสกระแสตรง 1 ชุด สำหรับการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งสัญญาณกระแสทางด้านบัสกระแสตรงนั้น จะถูกนำมาใช้ในการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับให้มีลักษณะเหมือนกับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุทโดยใช้เทคนิคที่นำเสนอนี้ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าสามารถใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสเพียงชุดเดียว สำหรับการใช้ในการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ซึ่งจะทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายลงได้ โดยงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม PSIM 9.0 ในการจำลองการทำงาน จากผลการจำลองพบว่าเทคนิคที่นำเสนอนี้สามารถสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับได้ใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุทได้ทั้ง 3 เฟส โดยมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 3.73% ในสภาวะปกติ และ 8.97 % ในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร ฉะนั้นเทคนิคที่นำเสนอนี้จึงสามารถนำมาใช้สำหรับการตรวจจับฟอลต์ในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ได้ โดยมีค่าใช้จ่ายที่ถูกลง

คำสำคัญ : เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์, การสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ, ฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร, อุปกรณ์ตรวจจับกระแส

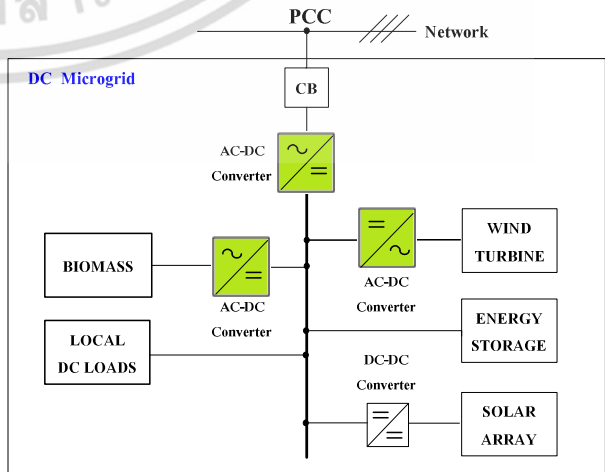
Abstract

A current signal reconstruction technique from single dc bus current sensor for an open switch fault in a three phase ac to dc converter is presented in this paper. A dc bus current signal can be reconstructed to represent the related input three phase current signals using the proposed technique. Therefore, it is promising that only a single current sensor can be used for detect an open switch fault in a three phase ac to dc converter with cost reduction. Simulation study is performed by using PSIM 9.0 to investigate the proposed technique. The simulation results illustrate that the proposed technique can perform dc bus current signal reconstruction with very close to the original three phase input current signals; thereupon, the proposed technique is a promising method to use for fault detection with cost reduction in an ac to dc converter.

Keyword : AC-DC Converter, Current Reconstruction, Open Switch Fault, Single Current Sensor

1. บทนำ

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microgrid) หรือระบบไมโครกริดนั้นเป็นระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดย่อมที่สามารถสร้างสมดุลระหว่างการผลิตพลังงานไฟฟ้ากับภาระทางไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบ โดยมุ่งเน้นการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการภายในพื้นที่ที่รับผิดชอบ ซึ่งเป็นการผลิตกำลังไฟฟ้า ณ จุดใช้งาน (Distributed Energy Resource: DER) โดยสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก หรือจะบริหารจัดการแยกเป็นอิสระโดยไม่มี การเชื่อมต่อ เช่น พื้นที่ที่เป็นเกาะ นอกจากนี้วิวัฒนาการทางด้านเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อช่วยสนับสนุนการนำเอาพลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ มาใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานให้กับระบบไมโครกริดอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งในบทความฉบับนี้ได้ทำการศึกษาในส่วนของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC Microgrid) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์เชื่อมต่ออยู่กับระบบเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมต่อเข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดที่ต่ออยู่กับระบบ อย่างไรก็ตามถันเกิดฟอลต์ขึ้นที่สวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ จะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับระบบ โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสและแรงดันสูง ดังนั้นการทำงานที่ต่อเนื่องของอุปกรณ์เอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นสิ่งที่สำคัญ

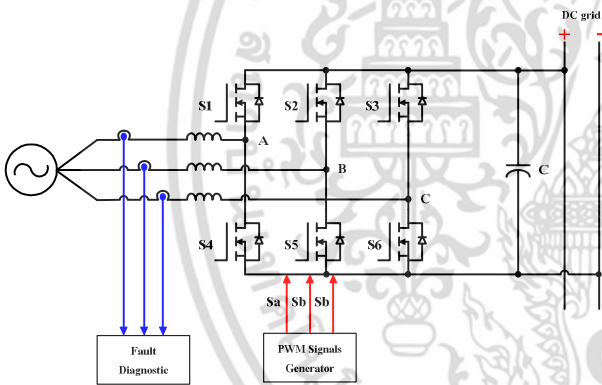


รูปที่ 1 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC Microgrid)

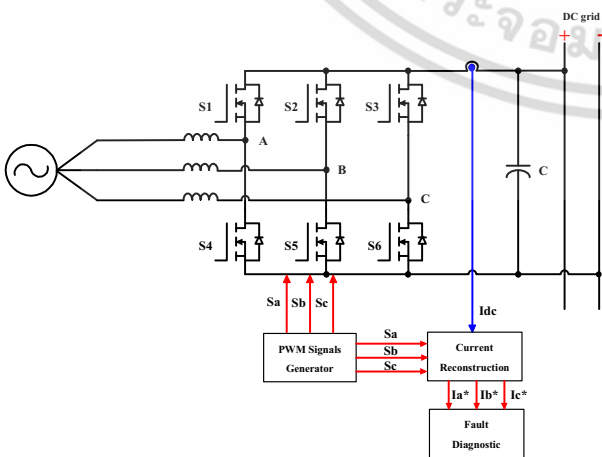
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การตรวจจับฟอลต์ด้วยวิธีดั้งเดิมกับวิธีที่นำเสนอ

จากการศึกษาพบว่า การตรวจจับฟอลต์ด้วยวิธีดั้งเดิมจะต้องใช้ อุปกรณ์ตรวจจับกระแสสำหรับใช้ในการตรวจจับฟอลต์ถึง 3 ชุด ซึ่งเป็นการตรวจจับกระแสทางด้านอินพุตทั้งสามในรูปที่ 2 ส่งผลทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงสำหรับการติดตั้งระบบตรวจจับฟอลต์ ในขณะที่สัญญาณกระแสเอาต์พุตทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟกระแสดังกล่าวกับสถานะการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์กำลัง และสัญญาณกระแสทางด้านอินพุตนั้น มีความสัมพันธ์กันอยู่จึงมีความเป็นไปได้ว่าจะสามารถสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับให้มีลักษณะเหมือนสัญญาณทางด้านอินพุตได้อีกทั้งในปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่ทำการศึกษากี่ยวกับการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับโดยใช้สัญญาณกระแสทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟกระแสดังกล่าวมาใช้ ใน [1], [2] บทความฉบับนี้จึงได้นำเสนอวิธีการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับโดยอาศัยสัญญาณกระแสจากกระแสเอาต์พุตทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟกระแสดังกล่าว ซึ่งข้อดีสำหรับวิธีการนี้คือจะใช้ อุปกรณ์ตรวจจับกระแสเพียงชุดเดียวดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อใช้สำหรับตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรสำหรับเอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบตรวจจับฟอลต์ลงได้ โดยบทความฉบับนี้ได้ใช้โปรแกรม PSIM 9.0 จำลองการทำงานสำหรับการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ



รูปที่ 2 การตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรด้วยวิธีดั้งเดิม ใช้ อุปกรณ์ตรวจจับกระแส 3 ชุด



รูปที่ 3 การตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรด้วยวิธีที่นำเสนอ

ใช้ อุปกรณ์ตรวจจับกระแส 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เชิงพาณิชย์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เทคนิคการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

การสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับโดยใช้กระแสเอาต์พุตของเอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟกระแสดังกล่าว (DC link) ให้มีลักษณะเหมือนกับกระแสทางด้านอินพุตนั้น จะอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณของกระแสทางด้านเอาต์พุตกับสถานะการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์กำลังโดยมีสมการแสดงความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้ [2]

$$i_a = I_{dc} \left[S_A - \frac{S_B}{2} - \frac{S_C}{2} \right] \quad (1)$$

$$i_b = I_{dc} \left[-\frac{S_A}{2} + S_B - \frac{S_C}{2} \right] \quad (2)$$

$$i_c = I_{dc} \left[-\frac{S_A}{2} - \frac{S_B}{2} + S_C \right] \quad (3)$$

$$i_a + i_b + i_c = 0 \quad (4)$$

เมื่อ

i_a, i_b, i_c

คือ กระแสทางด้านอินพุตของเอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์

I_{dc}

คือ กระแสทางด้านเอาต์พุตของเอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์

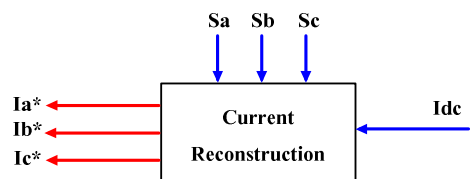
S_A, S_B, S_C

คือ สถานะการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์กำลัง

สำหรับสัญญาณควบคุมอุปกรณ์สวิตช์กำลังของเอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ให้นำกระแสหรือไม่นำกระแสนั้น จะใช้เป็นสัญญาณ PWM โดยอาศัยการเปรียบเทียบกันของสัญญาณอ้างอิงรูปคลื่นไซน์ (sine wave) ตัดกับสัญญาณพาหะรูปสามเหลี่ยม (carrier) ทำให้ได้สถานะการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์กำลังที่ใช้ในการพิจารณา 6 สถานะ ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์กำลังกับกระแสเอาต์พุตทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟกระแสดังกล่าวได้ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งในกรณีที่ S_A หรือ S_B หรือ $S_C = 1$ หมายถึงสวิตช์ด้านบนนำกระแส นั่นคือสวิตช์ S_1 หรือ S_2 หรือ S_3 นำกระแสตามลำดับ และในกรณีที่ S_A หรือ S_B หรือ $S_C = 0$ หมายถึงสวิตช์ด้านล่างนำกระแส นั่นคือสวิตช์ S_4 หรือ S_5 หรือ S_6 นำกระแสตามลำดับ ซึ่งสามารถเขียนแผนผังการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับโดยใช้เทคนิคที่นำเสนอนี้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะการสวิตช์กับกระแสที่วงจรเชื่อมโยงไฟกระแสดังกล่าว [2]

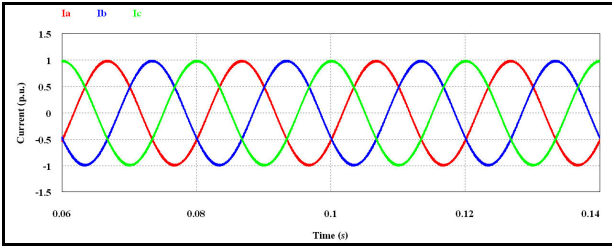
S_A, S_B, S_C	0,0,1	0,1,0	0,1,1	1,0,0	1,0,1	1,1,0
$I_{dc} (A)$	$+i_c$	$+i_b$	$-i_a$	$+i_a$	$-i_b$	$-i_c$



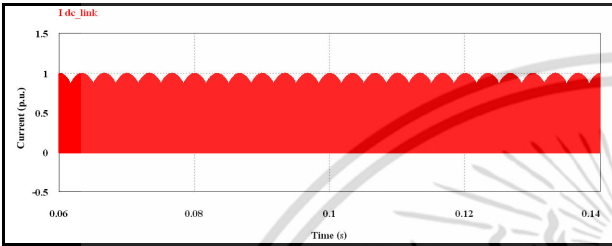
รูปที่ 4 แผนผังการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

4. ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

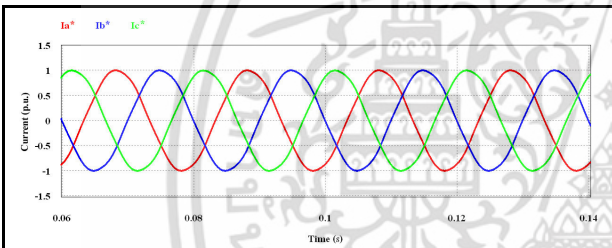
4.1 สภาวะการทำงานปกติ



รูปที่ 5 กระแสในสภาวะปกติทางด้านอินพุท

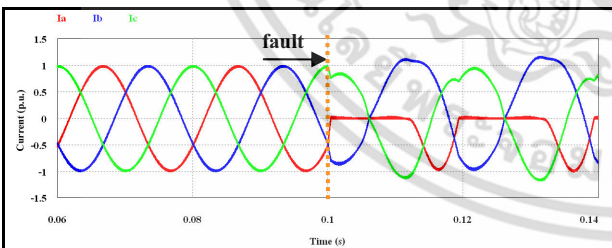


รูปที่ 6 กระแสในสภาวะปกติทางด้านเอาต์พุท
ที่ไม่ได้ทำการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

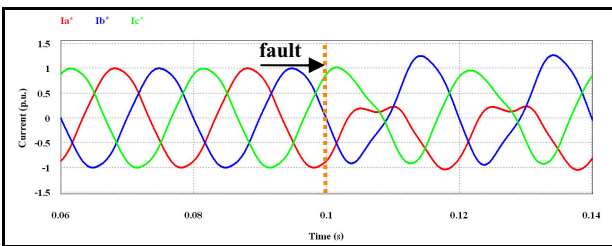


รูปที่ 7 กระแสในสภาวะปกติทางด้านเอาต์พุท
ที่ทำการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

4.2 สภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S1

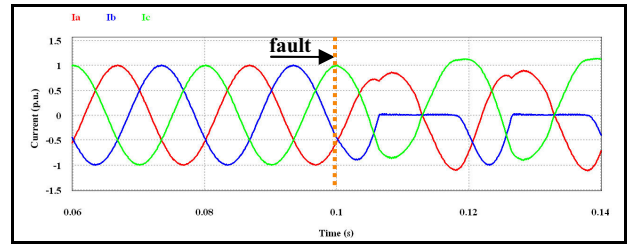


รูปที่ 8 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S1
ทางด้านอินพุท

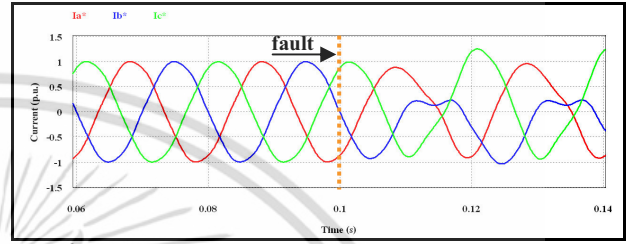


รูปที่ 9 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S1
ทางด้านเอาต์พุทที่ทำการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

4.3 สภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S2

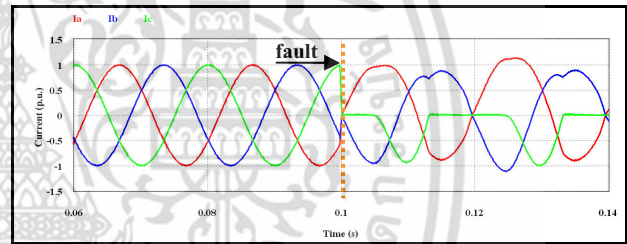


รูปที่ 10 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S2
ทางด้านอินพุท

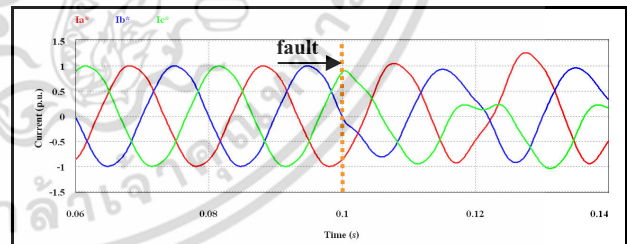


รูปที่ 11 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S2
ทางด้านเอาต์พุทที่ทำการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

4.4 สภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S3

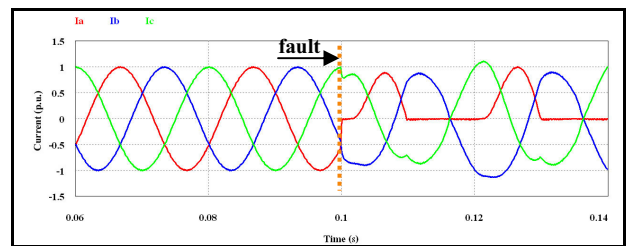


รูปที่ 12 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S3
ทางด้านอินพุท



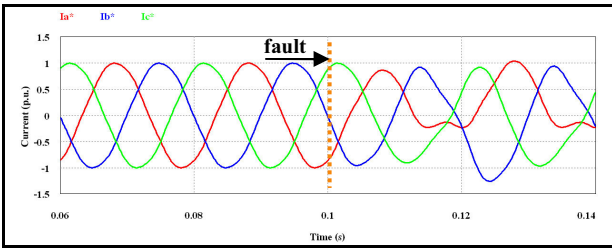
รูปที่ 13 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S3
ทางด้านเอาต์พุทที่ทำการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

4.5 สภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S4



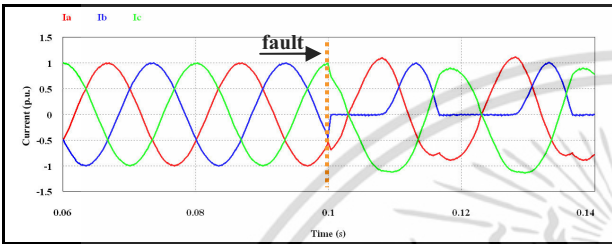
รูปที่ 14 กระแสในสภาวะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S4
ทางด้านอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

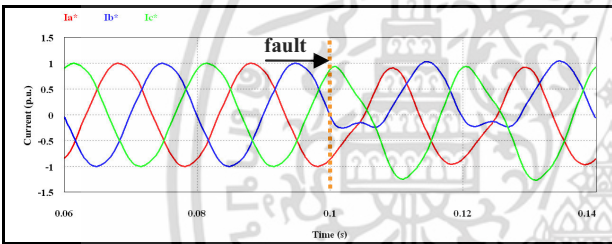


รูปที่ 15 กระแสในสถานะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S4 ทางด้านเอาต์พุตที่ทำการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

4.6 สถานะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S5

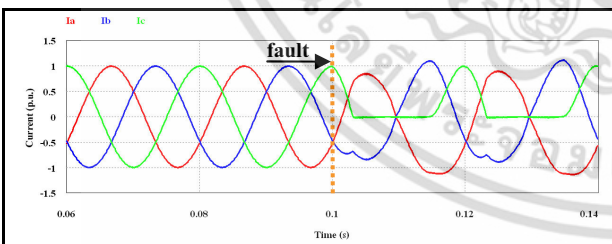


รูปที่ 16 กระแสในสถานะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S5 ทางด้านอินพุต

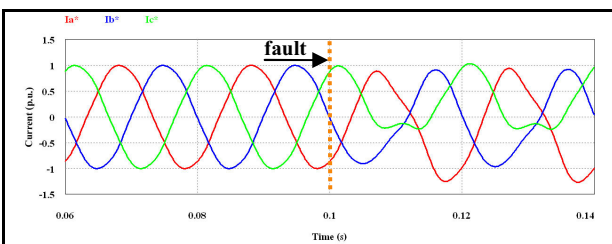


รูปที่ 17 กระแสในสถานะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S5 ทางด้านเอาต์พุตที่ทำการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ

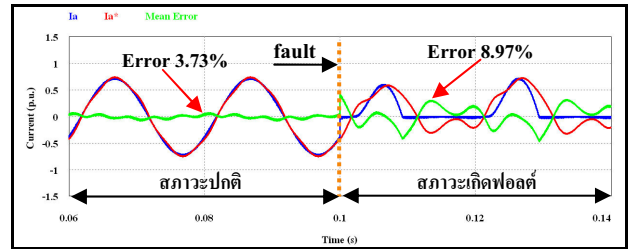
4.7 สถานะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S6



รูปที่ 18 กระแสในสถานะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S6 ทางด้านอินพุต



รูปที่ 19 กระแสในสถานะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่สวิตช์ S6 ทางด้านเอาต์พุตที่ทำการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ



รูปที่ 20 เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนระหว่างสัญญาณกระแสทางด้านอินพุตกับสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุตที่ทำการสร้างกระแสคืนกลับ

จากผลการจำลองพบว่าระบบที่ทำการออกแบบสามารถสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับ โดยใช้กระแสเอาต์พุตทางด้านวงจรเชื่อมโยงไฟกระแสตรงให้มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสทางด้านอินพุตได้ โดยมีความคลาดเคลื่อนในสถานะปกติ 3.73 % และสถานะเกิดฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจร 8.97 % ดังแสดงในรูปที่ 20 และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรที่เกิดขึ้นที่สวิตช์กำลังของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ได้ สำหรับทฤษฎีและวิธีการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรนั้นได้ถูกนำเสนอไว้ใน [3] โดยที่วิธีการที่นำเสนอนี้ ทำให้ลดจำนวนอุปกรณ์ตรวจจับกระแสแสดงเหลือเพียงชุดเดียวซึ่งวิธีการเดิมจะต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับกระแสทางด้านอินพุตถึง 3 ชุด ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบตรวจจับฟอลต์ลงได้

5. บทสรุป

บทความฉบับนี้นำเสนอผลการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับของสัญญาณกระแสเอาต์พุตที่มีลักษณะเหมือนกับกระแสอินพุตเพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ โดยใช้โปรแกรม PSIM 9.0 จำลองการทำงานจากผลการจำลองพบว่าระบบที่ทำการออกแบบสามารถสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับของกระแสเอาต์พุตที่มีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณกระแสอินพุตได้ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟกระแสตรงขนาดเล็กสำหรับการใช้งานจริงต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (EPPO) ประจำปีงบประมาณ 2553

เอกสารอ้างอิง

- [1] Frede Blaabjerg, John K. Pedersen, Ulrik Jaeger and Paul Thoenes, "Single Current Sensor Technique in the DC link of Three-Phase PWM-VS Inverters: A Review and a Novel Solution," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.33, No.5, October 1997, pp.1241 – 1253.
- [2] S.B. Bodkhe and M.V. Aware "Robust method for current reconstruction from DC link in a sensorless induction motor drive," International Journal of Engineering, Science and Technology, Vol.2, No.10, December 2010, pp.87 – 99.
- [3] W. Sae-Kok and D. M. Grant, "Open Switch Fault Diagnosis for a Doubly-Fed Induction Generator," Proceeding of the 7th International Conference on Power Electronics and Drive System, 2007, pp. 131-138.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นายสัมพันธ์ จูเภา
วัน เดือน ปี เกิด 3 ตุลาคม 2530
ที่อยู่ 85 หมู่ที่ 7 ตำบลบางพระ อำเภอฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000
E-mail sumphanj@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2554 สำเร็จการศึกษาบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาธุรกิจระหว่างประเทศ
คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
- พ.ศ. 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- พ.ศ. 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพุทธศรีรังสิตพิบูล
อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา
- พ.ศ. 2546 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนพุทธศรีรังสิตพิบูล
อำเภอบ้านโพธิ์ จังหวัดฉะเชิงเทรา
- พ.ศ. 2543 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษา โรงเรียนปัญญาพิทยาคาร
“สนั่น พิชิตกุล อนุสรณ์” อำเภอมืองฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา
- พ.ศ. 2538 สำเร็จการศึกษาระดับก่อนประถมศึกษา (ปฐมวัย) โรงเรียนศรีวิทยา
อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2555 – ปัจจุบัน ตำแหน่ง วิศวกร ระดับ 5 แผนกมิเตอร์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอลำลูกกา
อำเภอลำลูกกา จังหวัดพิจิตร

สถานที่ทำงานปัจจุบัน

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอลำลูกกา เลขที่ 48 ถนนราษฎร์พลี 1 ตำบลชะอำ
อำเภอลำลูกกา จังหวัดพิจิตร 76120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทุนสนับสนุนการวิจัย

- พ.ศ. 2553 ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยระดับปริญญาโท จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (EPPO) แผนเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2553
- พ.ศ. 2552 ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยระดับปริญญาตรี จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (EPPO) แผนเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2552
- พ.ศ. 2552 ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการโครงการงานอุตสาหกรรมและวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี (IRPUS) ประจำปี 2552

รางวัลที่ได้รับ

- พ.ศ. 2553 ได้รับรางวัลบทความดีเด่น สาขาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE) ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON 33) ระหว่างวันที่ 1 - 3 ธันวาคม 2553 จังหวัดเชียงใหม่

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. สัมพันธ์ จูเกา , วรชาติ แซ่ก๊ก และสุรินทร์ คำฝอย, “เทคนิคการสร้างสัญญาณกระแสคืนกลับจากอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณกระแสทางด้านบัสกระแสตรง 1 ชุด สำหรับการตรวจจับฟอลต์ชนิดสวิตช์เปิดวงจรในเอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34 (EECON 34), เล่มที่ 1, ชลบุรี, 30 พฤศจิกายน - 2 ธันวาคม 2554, หน้า 373 - 376.
2. สัมพันธ์ จูเกา , วรชาติ แซ่ก๊ก และสุรินทร์ คำฝอย, “การออกแบบและป้องกันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON 33), เล่มที่ 1, เชียงใหม่, 1 - 3 ธันวาคม 2553, หน้า 505 - 508.
3. สารเดช วรรณวิน , สิทธิชัย แซ่เฮ้ง , สัมพันธ์ จูเกา และสุรินทร์ คำฝอย, “อินเวอร์เตอร์หลายระดับสำหรับการแก้ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 400 โวลต์,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 33 (EECON 33), เล่มที่ 1, เชียงใหม่, 1 - 3 ธันวาคม 2553, หน้า 505 - 508. (รางวัลบทความดีเด่น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้