

การพัฒนาระบบตรวจจับเหตุการณ์สายจ่ายไฟฟ้าขาดด้วยวิธีวัดกระแสสาย
กรณีศึกษาสายไฟทางด้าน โหลดมีการสัมผัสดิน



นายอณตชัย พงศ์ถาวรสวัสดิ์

ศูนย์วิทยพัทยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A DEVELOPMENT ON DETECTION SYSTEM FOR BROKEN DISTRIBUTION
CONDUCTOR USING THE 3-PHASE LINE CURRENT MEASUREMENT :
CASE STUDY CONDUCTOR ON THE LOAD SIDE IS TOUCHING TO GROUND



Mr.Anantachai Pongthavornsawad

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาระบบตรวจจับเหตุการณ์สายจ่ายไฟฟ้าขาดด้วยวิธีวัด
กระแสสาย กรณีศึกษาสายไฟทางด้านโหลคมมีการสัมผัสดิน

โดย


นายอณัฏชชัย พงศ์ถาวรสวัสดิ์

สาขาวิชา

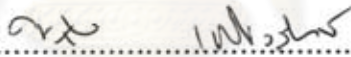
วิศวกรรมไฟฟ้า

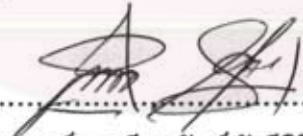
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์ ดร. วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ


.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมตัน เพ็ชรรักษ์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร. วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา)


.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนพงศ์ สุวรรณศรี)

ศูนย์วิทยุโทรพยากรณ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อณันตชัย พงศ์ถาวรสวัสดิ์: การพัฒนาระบบตรวจจับเหตุการณ์สายจ่ายไฟฟ้าขาดด้วยวิธี
 วัดกระแสสาย กรณีศึกษาสายไฟทางด้านโหลดมีการสัมผัสดิน (A DEVELOPMENT ON
 DETECTION SYSTEM FOR BROKEN DISTRIBUTION CONDUCTOR USING
 THE 3-PHASE LINE CURRENT MEASUREMENT: CASE STUDY CONDUCTOR
 ON THE LOAD SIDE IS TOUCHING TO GROUND) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
 อ.ดร. วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา, 79 หน้า

เหตุการณ์ความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นเป็นกรณี
 ระบบป้องกันที่ติดตั้งใช้โดยทั่วไปในสถานีไฟฟ้าไม่สามารถตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้
 ทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในบริเวณที่เกิดความผิดปกติได้ วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเทคนิค
 ใหม่ซึ่งใช้หลักการการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแสมาประยุกต์เข้ากับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
 เพื่อใช้สำหรับการตรวจจับความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้น การวิจัยเริ่มด้วย
 การออกแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อใช้ในการจำลองความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้า
 ขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ ระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ออกแบบไว้ที่ระดับแรงดัน 22 kV
 ระยะทางวงจรสายป้อนอยู่ที่ประมาณ 39.5 กิโลเมตร มีหม้อแปลงจำหน่ายกระจายตามระยะทาง
 วงจรสายป้อน ในการจำลองความผิดปกติฯ นั้น จะทำการจำลอง 2 รูปแบบคือ ทำการจำลอง
 ความผิดปกติฯ ด้วยโปรแกรมประยุกต์ และทำการจำลองความผิดปกติฯ บนชุดระบบจำหน่าย
 ไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการ เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองไปหารูปแบบการตรวจจับ และออกแบบ
 อุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติฯ ซึ่งอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติฯดังกล่าว เป็นอุปกรณ์
 อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความสามารถในการตอบสนองต่อเหตุการณ์ความผิดปกติฯ ที่เกิดขึ้นในระบบ

จากผลการทดลองที่ได้ทั้ง 2 รูปแบบ พบว่ากระแสสายจะมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดของ
 กระแส และเวลาของสัญญาณกระแส โดยกระแสจะมีการเลื่อนเวลาดังไปจาก 20 มิลลิวินาที เมื่อ
 เกิดความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ และอุปกรณ์
 ตรวจจับความผิดปกติฯ ที่ทดลองในชุดระบบจำหน่ายไฟฟ้า ก็ได้ส่งสัญญาณแจ้งเตือนออกมา โดย
 อุปกรณ์ตรวจจับเฟส A ใช้เวลาในการตรวจจับความผิดปกติอยู่ที่ 18.33 มิลลิวินาที เฟส B ใช้เวลา
 ตรวจจับความผิดปกติ 17.27 มิลลิวินาที และเฟส C ใช้เวลาตรวจจับความผิดปกติ 13.83
 มิลลิวินาที

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิติศ.....อณันตชัย พงศ์ถาวรสวัสดิ์
 สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา 2553

##5170721821: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: Down conductor fault, EMTP-program, Distribution system.

ANANTACHAI PONGTHAVORNSAWAD: A DEVELOPMENT ON DETECTION SYSTEM FOR BROKEN DISTRIBUTION CONDUCTOR USING THE 3-PHASE LINE CURRENT MEASUREMENT: CASE STUDY CONDUCTOR ON THE LOAD SIDE IS TOUCHING TO GROUND. ADVISOR: WEERAPUN RUNGSEEVIJITPRAPA, Dr.-Ing., 79 pp.

Down conductor fault is hardly detected in conventional protection system and the occurred fault causes danger to people, animal and property. This thesis study proposes the novel technique to detect the fault by time shifting method and invents the protective equipment for down conductor fault. Distribution system model is designed for down conductor fault simulation in 22 kV systems, with 39.5 kilometers long feeder line and distribution transformers distributed along the feeder line. Down conductor fault is simulated in 2 types, by EMTP-program and by real distribution system model in the laboratory. Fault simulated from the model is used to design the detective scheme and the protective equipment. The protective equipment installed on each phase is the electronic circuits that can response the down conductor the occurred fault in the system.

According to the result of both types, the whole line current is changed both in magnitude and period time. When fault occurred, the period time is shifted from the ordinary of 20 ms. The protective equipment installed in the distribution system model, sent alert signal at 18.33 ms on phase A, 17.27 ms on phase B and 13.83 ms on phase C.

Department: Electrical Engineering Student's Signature.....*A.*

Field of Study: Electrical Engineering Advisor's Signature.....*W. P.*

Academic Year 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างดีจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อาจารย์ ดร.วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา ที่ได้พบกัญแจดอกสำคัญที่ใช้ในการไขปัญหาของวิทยานิพนธ์นี้ รวมทั้งได้สละเวลาเพื่อตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้เป็นที่เรียบร้อยจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่เอื้อเพื่อข้อมูลและความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบคุณว่าที่ร้อยตรีภูวดล จันทรรัตน์ที่ได้ร่วมพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการป้องกันจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทุก ๆ ท่าน ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกทั้งอุปกรณ์และสถานที่เพื่อใช้ในการทดลอง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ และขอบคุณนางสาวรุ่งทิwa วัฒนวารภรณ์ที่คอยสนับสนุน และเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้มาโดยตลอด

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูคุณเวทิต์แด่บูรพาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีความรู้และประสบความสำเร็จมาจนครบเท่าทุกวันนี้

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	7
1.3 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์	7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.5 ขั้นตอนในการทำวิทยานิพนธ์	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Electrical distribution system)	9
2.2 การต่อโหลด 3 เฟส (Three Phase Load Connection)	11
2.3 ความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Fault in distribution systems)	15
2.4 การเพิ่มขึ้นของศักย์ไฟฟ้าดิน (Ground potential rise)	18
2.5 หลักการเลื่อนเวลาของกระแส (Time shifting method on current wave)	20
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน	20
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21

บทที่ 3 การออกแบบจำลองเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระไฟฟ้า	23
3.1 ออกแบบการจำลองความผิดปกติด้วยโปรแกรมประยุกต์	23
3.2 ออกแบบการจำลองความผิดปกติในภายห้องปฏิบัติการ	27
3.3 ออกแบบเทคนิคการตรวจจับความผิดปกติ	29
3.3.1 แนวความคิดในการตรวจจับความผิดปกติ	29
3.3.2 ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงาน (Flow chart diagram)	30
3.3.3 วงจรการตรวจจับความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาด	32
บทที่ 4 การจำลองความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดและวิเคราะห์ผล	35
4.1 จำลองความผิดปกติด้วยโปรแกรมประยุกต์และวิเคราะห์ผลการจำลอง	35
4.1.1 ความผิดปกติต่อภาระทางไฟฟ้าแบบเดลต้า (Delta load)	35
4.1.2 ความผิดปกติต่อภาระทางไฟฟ้าแบบวาย 3 เฟส 3 สาย	41
4.1.3 ความผิดปกติต่อภาระทางไฟฟ้าแบบวาย 3 เฟส 4 สาย	45
4.2 จำลองความผิดปกติภายในห้องปฏิบัติการและวิเคราะห์ผลการทดลอง	48
4.3 ทดสอบตรวจจับความผิดปกติด้วยวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์	51
4.3.1 ทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติด้วยเครื่องสอบเทียบ	51
4.3.2 ทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติด้วยการจำลองความผิดปกติ ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง	52
4.3.3 ผลการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ	55
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผลการวิจัย	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
5.3 ปัญหาในการทำวิจัย	59

รายการอ้างอิง	60
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	62
ภาคผนวก ข ผลการจำลองความผิดพลาดแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้น	71
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	79



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมแบบต่างๆ	16
3.1 เปรียบเทียบอุปกรณ์ระบบจำหน่ายกับ โมเดลการจำลองด้วย โปรแกรม ATP	25
3.2 โมเดลความผิดปกติที่ใช้จำลองสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ	26
3.3 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้จำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในห้องปฏิบัติการ	27
3.4 อุปกรณ์ที่ใช้จำลองความผิดปกติบนชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า	28
4.1 แสดงผลของกระแสสาย เมื่อระบบจำหน่ายอยู่ในสภาวะปกติ	36
4.2 ผลของกระแสทั้งสามเฟส เมื่อจำลองความผิดปกติลงบนเฟส “C” ณ ช่วงความยาวสายต่างๆ โดยภาระเป็นเคลต้า	38
4.3 การเปรียบเทียบเวลาของสัญญาณกระแสที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เมื่อเกิดความผิดปกติในเฟส “C” ที่ระยะสายจำหน่ายช่วงต่างๆ	39
4.4 การวิเคราะห์การเลื่อนเวลาของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาดในเฟส “A” และ “B” แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระแบบเคลต้า	39
4.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติในเฟส “C” แต่ละช่วงของสายจำหน่ายแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระแบบเคลต้า	40
4.6 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติ บนเฟส “A” และ “B” แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระแบบเคลต้า	41
4.7 ข้อมูลกระแสทั้งสามเฟส เมื่อเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติบนเฟส “C” แล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ แบบวาย 3 เฟส 3 สาย	43
4.8 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดและการเลื่อนเวลาของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในเฟสต่างๆ แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระแบบวาย 3 เฟส 3 สาย	44
4.9 ข้อมูลกระแสทั้งสามเฟส เมื่อเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติบนเฟส “C” บนระยะสายส่งช่วงที่ 4 แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ แบบวาย 3 เฟส 4 สาย	46
4.10 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดและการเลื่อนเวลาของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติในเฟสต่างๆ แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระแบบ วาย 3 เฟส 4 สาย	47
4.11 ปริมาณกระแสทั้งสามเฟส เมื่อเกิดความผิดปกติ ในเฟส “C”	49

- 4.12 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดและการเลื่อนเวลาของกระแส เมื่อเกิดความผิดพร่องๆ
ในเฟส “C” แล้วสัมพันธ์พื้นด้านภาวะ 50
- 4.13 ลักษณะเฉพาะของความผิดพร่องแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมพันธ์พื้นด้านภาวะ 50



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 เหตุการณ์จำลองของสายตัวนำไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้น	2
1.2 เหตุการณ์สายจ่ายไฟฟ้าขาด 3 เฟสจากสถานที่จริง	2
1.3 เหตุการณ์สายจ่ายไฟฟ้าขาด 2 เฟสจากสถานที่จริง	2
1.4 สาย SAC เสื่อมสภาพ และอาจเกิดเหตุการณ์สายขาดในลำดับต่อมาได้	4
1.5 วงจรสมมูลกรณีสายตัวนำขาด และทิศทางกระแสของกระแสสาย	4
1.6 สถิติสายไฟฟ้าขาด แยกตามการไฟฟ้าเขตของ กฟภ. ในช่วงปี พ.ศ. 2551-2552	6
2.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง และส่วนประกอบของระบบไฟฟ้ากำลัง	10
2.2 แสดงการต่อโหลดสามเฟสแบบวาย	12
2.3 วงจรสมมูลหนึ่งเฟส กรณีที่โหลดทั้งสามเฟสเท่ากัน	12
2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามเฟสที่มีการต่อแบบเดลต้า (Δ)	13
2.5 แสดงการต่อโหลดสามเฟสแบบเดลต้า	14
2.6 แสดงการเกิด Three Phase Fault	16
2.7 แสดงการเกิด Line to Line Fault	17
2.8 แสดงการเกิด Double Line to Ground Fault	17
2.9 แสดงการเกิด Single Line to Ground Fault	17
2.10 แสดงการเกิด Open Conductor Fault	18
2.11 แสดงการเกิด Down Conductor Fault	18
2.12 แสดงการเกิดสัทธิไฟฟ้าในพื้นดิน	19
2.13 สัญญาณของกระแสขณะเกิดความผิดปกติ เพื่อมาอธิบายถึงการเลื่อนของเวลา	20
2.14 รูปแบบขาพอร์ตต่างๆของ PIC16F877	21
3.1 วงจรจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า รูปแบบรัศมี ระยะทาง 39.5 กิโลเมตร	24
3.2 การจำลองความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสลงพื้นด้านภาระ	26

3.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลองที่ใช้ในการทดลอง	28
3.4 แสดงจุดที่เกิดความผิดปกติในชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า คือช่วงที่ 2 – 3	29
3.5 รูปแบบการตรวจจับความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ	29
3.6 ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของ การตรวจจับความผิดปกติ	30
3.7 ผังการทำงานของหน่วยประมวลผลความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาด	31
3.8 ภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า	32
3.9 ภาคการแปลงสัญญาณกระแส	32
3.10 ภาคการประมวลผลสัญญาณกระแส	33
3.11 ภาคการแจ้งเตือน	33
3.12 แบบวงจรการตรวจจับความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาด	34
3.13 วงจรการตรวจจับความผิดปกติฯ ทั้งสามเฟสที่สมบูรณ์พร้อมใช้งาน	34
4.1 สัญญาณของกระแสสายทั้งสามเฟส ในสภาวะปกติ	35
4.2 เวกเตอร์ของกระแสสาย เมื่อระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาวะปกติ	36
4.3 สัญญาณของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติฯ ขึ้นในช่วงที่ 3 ของวงจรจำหน่ายไฟฟ้า โดยภาระเป็นเดลด้า	37
4.4 ตัวอย่างเวกเตอร์กระแสสาย เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติฯ ซึ่งภาระเป็นเดลด้า.....	37
4.5 สัญญาณของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติฯ บนช่วงที่ 4 ของวงจรจำหน่ายไฟฟ้า โดยภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 3 สาย	42
4.6 เวกเตอร์กระแสสาย เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติฯ ซึ่งภาระเป็นวาย 3 เฟส 3 สาย .	43
4.7 สัญญาณของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติฯ บนช่วงที่ 4 ของวงจรจำหน่ายไฟฟ้า โดยภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 4 สาย	45
4.8 เวกเตอร์กระแสสาย เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติฯ ซึ่งภาระเป็นวาย 3 เฟส 4 สาย	46
4.9 สัญญาณของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติฯ ในระหว่างช่วงที่ 2 กับ 3 ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง	48
4.10 วิเคราะห์ด้านการเลื่อนของเวลา เมื่อเกิดความผิดปกติฯ ในระหว่างช่วงที่ 2 กับ 3 ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง	49

4.11 การทดลองอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติพร้อมทั้งเครื่องสอบเทียบ	51
4.12 วงจรการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกับเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมา สัมผัสพื้นด้านภาระแบบวาย 3 เฟส 3 สาย	52
4.13 วงจรวัดสัญญาณกระแสเฟส A เทียบกับสัญญาณการทำงานของวงจรตรวจจับเฟส A .	52
4.14 วงจรวัดสัญญาณกระแสเฟส B เทียบกับสัญญาณการทำงานของวงจรตรวจจับเฟส B .	53
4.15 วงจรวัดสัญญาณกระแสเฟส C เทียบกับสัญญาณการทำงานของวงจรตรวจจับเฟส C .	53
4.16 อุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติฯ ที่ต่อร่วมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง	54
4.17 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติฯ ณ ตำแหน่งเวลาที่สายไฟฟ้าขาด	55



ศูนย์วิทยพัทยาการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

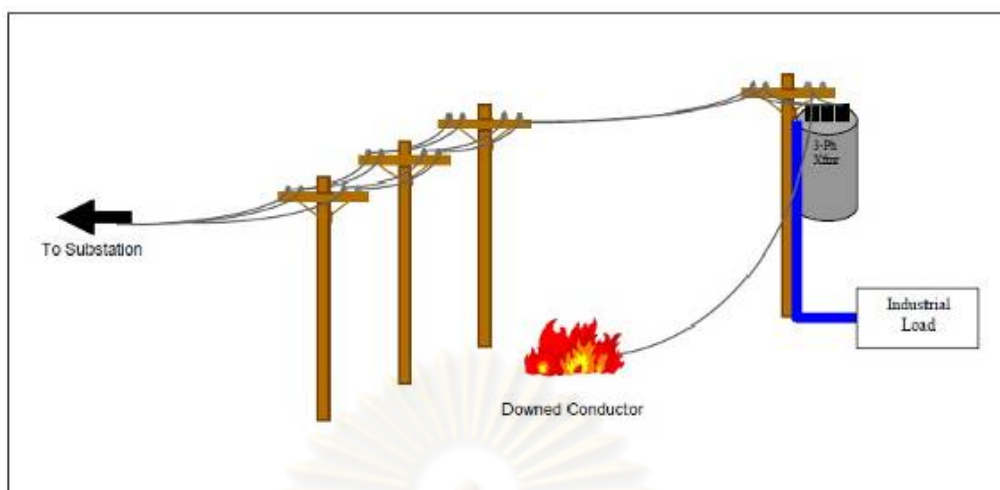
บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำ

1.1 ที่มาของปัญหา

ระบบจำหน่ายไฟฟ้านับว่ามีความสำคัญต่อผู้ใช้ไฟฟ้า เพราะเป็นระบบที่สามารถเข้าถึงผู้ใช้ไฟฟ้าได้โดยตรง นั่นจึงเป็นเหตุผลให้ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องตระหนักถึงเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในระบบจำหน่าย ในระบบจำหน่ายก็สามารถเกิดเหตุการณ์ที่เรียกว่าความผิดปกติพร้อมกันได้ ซึ่งความผิดปกติในระบบก็มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ขึ้นอยู่กับสาเหตุการเกิดความผิดปกติ ลักษณะของการเกิดความผิดปกติ อาทิเช่น ความผิดปกติระหว่างเฟสกับเฟส ความผิดปกติลงดินและความผิดปกติเนื่องจากสายตัวนำขาด เป็นต้น ความผิดปกติระหว่างเฟสกับเฟส และความผิดปกติลงดินสามารถตรวจจับได้ด้วยอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วในระบบ เช่น หม้อแปลงกระแส รีเลย์ป้องกัน เพราะปริมาณของความผิดพร่องนั้นสูงจนหม้อแปลงกระแส สามารถตรวจจับได้ แต่ในอีกลักษณะหนึ่ง ความผิดปกติเนื่องสายตัวนำขาดหรือความผิดปกติโดยจุดที่ผิดปกติเกิดอิมพีแดนซ์ค่าสูงนั้น อุปกรณ์ตรวจจับที่มีอยู่ในระบบไม่สามารถตรวจจับได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะระดับความรุนแรงของกระแสผิดพร่องมีปริมาณไม่มากเพียงพอ ที่จะทำให้อุปกรณ์ตรวจจับนั้นตรวจพบได้ ความผิดปกติประเภทนี้ส่งผลกระทบต่อประชาชนในด้านความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน เนื่องจากระบบไม่สามารถตรวจจับได้ ทำให้ไม่สามารถกำจัดความผิดปกติประเภทนี้ ถ้ามีประชาชนอยู่ในบริเวณที่เกิดความผิดปกติจะทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิตได้ ดังภาพที่ 1.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อสายตัวนำไฟฟ้าขาด สายจะตกลงสู่พื้นด้วยน้ำหนักของสายเอง ทำให้บริเวณดังกล่าวเกิด Gradient Voltage ขึ้น เมื่อมีคนหรือสิ่งมีชีวิตอยู่ในบริเวณดังกล่าวก็อาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ ส่วนภาพที่ 1.2 เป็นเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาดทั้งสามเฟสแล้วสัมผัสพื้น ซึ่งบันทึกได้จากสถานที่เกิดเหตุจริง และภาพที่ 1.3 ก็เป็นเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาด แต่ขาดเพียง 2 เฟส ด้านหนึ่งสัมผัสกับพื้นดินแล้วและอีกด้านหนึ่งจะพบว่าสายตัวนำห้อยอยู่ในอากาศ



ภาพที่ 1.1 เหตุการณ์จำลองของสายตัวนำไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้น



ภาพที่ 1.2 เหตุการณ์สายจ่ายไฟฟ้าขาด 3 เฟสจากสถานที่จริง



ภาพที่ 1.3 เหตุการณ์สายจ่ายไฟฟ้าขาด 2 เฟสจากสถานที่จริง

เหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดนั้นมีสาเหตุ และปัจจัยหลายต่อหลายอย่างในการทำให้เกิดการชำรุดขึ้นกับสายตัวนำไฟฟ้า เช่น ภัยธรรมชาติ อุบัติเหตุ ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในตัวนำ ความไม่สมบูรณ์ในกระบวนการผลิตสายไฟฟ้า หรือการติดตั้งสายตัวนำไฟฟ้าในสถานที่ใช้งานก็มีส่วนเป็นสาเหตุเริ่มต้นให้เกิดการชำรุดต่อสายตัวนำไฟฟ้า ลักษณะการเกิดความชำรุดของสายไฟฟ้าจนนำมาซึ่งการขาดเสียหาย นั้น พออธิบายได้คร่าวๆ 2 ลักษณะดังนี้

1. กลไกการชำรุดของสายตัวนำไฟฟ้านั้นเริ่มจากการสั่น (Vibration) ซึ่งเกิดจากลม หรือแผ่นดินไหว จุดเกิดเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดที่พบมากที่สุดนั้นคือ บริเวณจุดที่ห้อยกับสเปเซอร์ (Spacer) และเสาต้นที่เป็นจุดต่อสายร่วม (Splicing pole) เพราะจุดดังกล่าวถูกยึด หรือตรึงไว้เป็นเหตุให้เกิดการแกว่งเกิดขึ้นกับสายตัวนำไฟฟ้าที่ติดตั้งใช้งาน การแกว่งนี้จะทำให้ตัวนำเกิดการเปราะแตกได้ เมื่อตัวนำเปราะแตกแล้ว ความหนาแน่นกระแสจะสูงขึ้นในบริเวณที่ตัวนำเปราะแตก ส่งผลให้ความร้อนบริเวณดังกล่าวมีค่าสูงขึ้น ฉนวนก็จะได้รับความร้อนสูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้ความคงทนแข็งแรงของฉนวนสายไฟฟ้าลดลง จนไม่สามารถรับแรงดึงเนื่องจากน้ำหนักสายตัวนำไฟฟ้าได้ ทำให้สายตัวนำไฟฟ้าขาดในที่สุด เวลาที่สายไฟฟ้าขาดจะเกิดแรงดึงเนื่องจากน้ำหนักของสายไฟฟ้าเอง ทำให้สายไฟฟ้าตกสู่พื้นเบื้องล่างและนำมาซึ่งอันตรายต่อประชาชนและสิ่งมีชีวิต

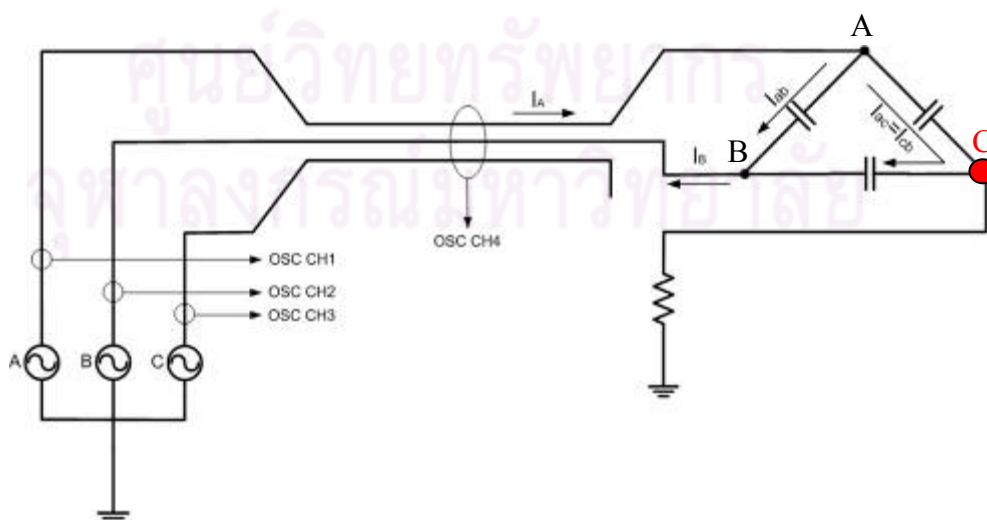
2. เกิดจากแรงดึงอย่างแรง ซึ่งอาจเกิดจากอุบัติเหตุกับเสาไฟฟ้า แล้วส่งผลให้เกิดการฉุดรั้งของสายตัวนำไฟฟ้าที่ติดตั้งบนเสาไฟฟ้า ได้ด้วยน้ำหนักของเสาไฟฟ้าที่รั้งลงบนสายตัวนำไฟฟ้า ทำให้สายตัวนำไฟฟ้าขาดแล้วตกลงสู่พื้นได้

จากลักษณะการเกิดความชำรุดกับสายตัวนำไฟฟ้า ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จึงมีภาพที่แสดงให้เห็นถึงความชำรุดของสายไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่จริงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ตามภาพที่ 1.4 จะพบว่า ส่วนที่เป็นตัวนำไฟฟ้าของสายไฟฟ้าเกิดการแตกเสียหาย และฉนวนของสายไฟฟ้าเกิดการฉีกขาด ถ้ายังใช้งานสายไฟฟ้าเส้นดังกล่าวต่อไป อาจจะทำให้เกิดเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นตามมา จนทำให้ประชาชนในบริเวณดังกล่าวได้รับอันตรายได้ และในความเป็นจริงของระบบไฟฟ้าในปัจจุบันนั้นคือ ถ้าไม่มีการแจ้งจากประชาชนว่าพบปัญหาด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า ผู้ให้บริการไฟฟ้าจะไม่ดำเนินการแก้ไขปัญหานั้นได้ เช่นกันกับเหตุการณ์นี้ ถ้าสายไฟฟ้าชำรุด ตัวนำไฟฟ้าเปราะแตก แต่ไม่ถึงขั้นที่สายไฟฟ้าจะขาด ประชาชนผู้ที่สัญจรผ่านไปผ่านมา ย่อมไม่ทราบหรือรับรู้ถึง สภาพสายไฟฟ้าที่ขาดผ่านศีรษะนั้นเกิดปัญหาหรือความบกพร่องอยู่ ผู้ให้บริการไฟฟ้าก็ยังไม่ดำเนินการเปลี่ยนสายไฟฟ้าให้ใหม่ได้ เหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดจึงเป็นเหตุการณ์ที่พร้อมจะเกิดขึ้นได้เสมอ



ภาพที่ 1.4 สาย SAC เสื่อมสภาพ และอาจเกิดเหตุการณ์สายขาดในลำดับต่อมาได้

เมื่อเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงสัมผัสพื้นเกิดขึ้นแล้ว จะมีวงจรสมมูลของการเกิดเหตุการณ์ดังได้แสดงไว้ในภาพที่ 1.5 เมื่อพิจารณาวงจรสมมูลดังกล่าวแล้วจะพบว่า เมื่อสายตัวนำไฟฟ้าเฟส C ขาดนั้น กระแสในเฟส A และเฟส B ยังคงมีกระแสไหลไปยังด้านภาระอยู่ ทำให้โหนดของภาระมีแรงดันเกิดขึ้น ทั้งโหนด A (V_A) และ โหนด B (V_B) ส่วน โหนด C (V_C) นั้น จะมีแรงดันเป็นครึ่งหนึ่งของแรงดันระหว่าง โหนด A และ B (V_{AB}) เมื่อ โหนด C (จุดสีแดง) มีแรงดันเป็น V_C แล้วตกลงมาสัมผัสกับพื้นดิน โดยพื้นผิวดินจะมีค่าความต้านทาน (R_F) ความต้านทานนี้ได้รวมค่าความต้านทานดินในบริเวณดังกล่าวแล้ว ลักษณะดังกล่าวนี้เสมือนการนำแรงดันจุ่มลงดิน จึงทำให้มีกระแสไหลลงดิน ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่าแรงดันเกรเดียนต์ (Gradient Voltage) ในบริเวณดังกล่าว นำมาซึ่งแรงดันอย่างก้าวที่อาจจะเกิดขึ้นกับบุคคลที่เข้าไปในบริเวณนั้นได้

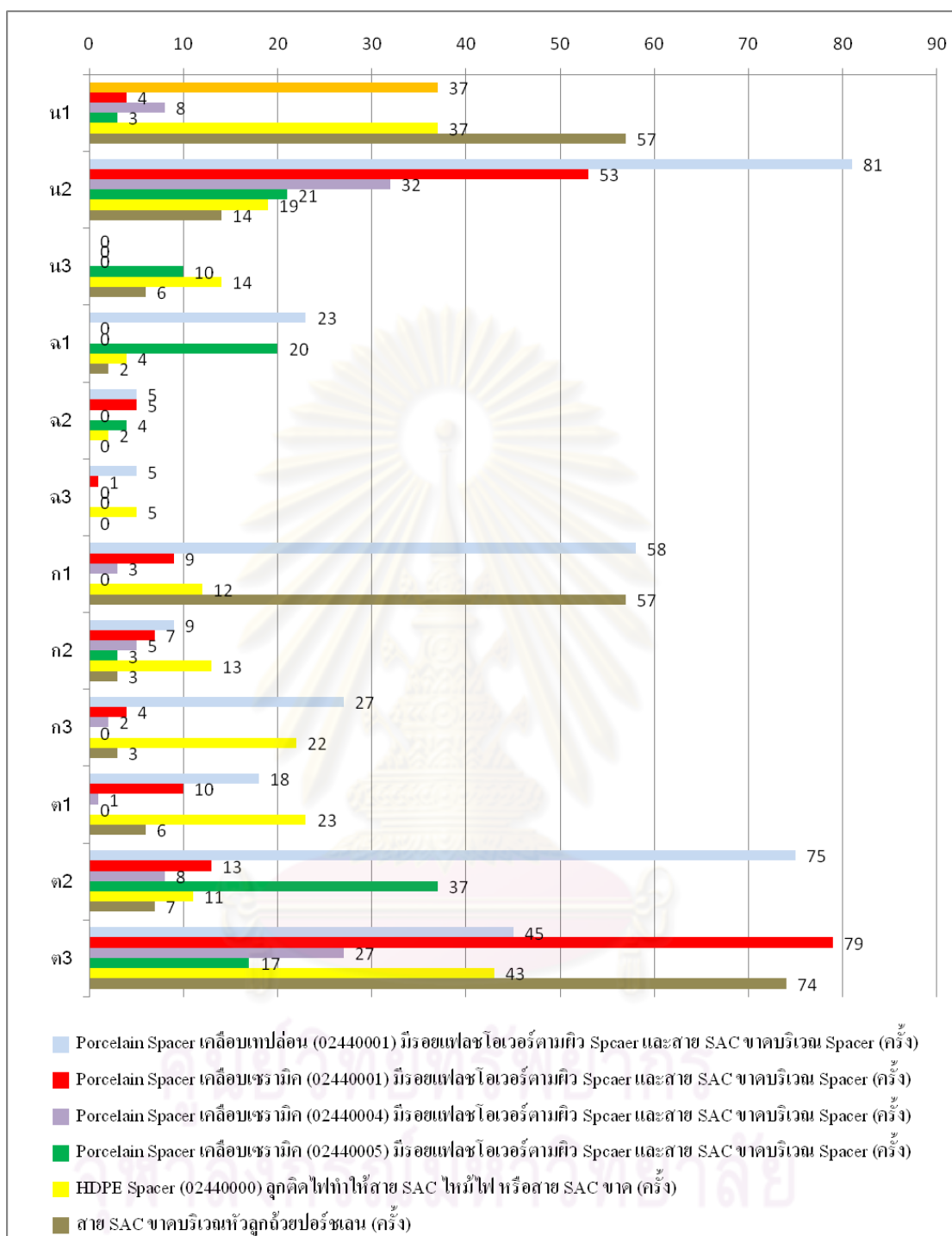


ภาพที่ 1.5 วงจรสมมูลกรณีสายตัวนำขาด และทิศทางการไหลของกระแสสาย

เหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบจำหน่าย โดยจากสถิติข้อมูลที่ได้รับจากกองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่รวบรวมเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดจากเขตการให้บริการไฟฟ้า ภายใต้ความรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคทั้ง 12 เขต ประกอบด้วยภาคเหนือ 3 เขต ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3 เขต ภาคกลาง 3 เขต และภาคใต้ 3 เขต โดยแสดงในภาพที่ 1.7 เป็นกราฟแท่งแบ่งตามเขตการรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งแบ่งจำนวนการเกิดเหตุการณ์สายไฟฟ้าประเภท SAC – Space Aerial Cable ขาดบนสเปเซอร์ชนิดต่างๆที่มีใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในช่วงปี พ.ศ. 2551 – 2552 มีจำนวนเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดถึง 1,203 เหตุการณ์ นับว่าเกิดเหตุการณ์ลักษณะนี้ขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าบ่อยครั้ง และก่อให้เกิดความไม่ปลอดภัยต่อสิ่งมีชีวิตและทรัพย์สินอีกด้วย [1]

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอวิธีการออกแบบจำลองความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสกับพื้นดิน เพื่อหาลักษณะจำเพาะของความผิดพลาดที่ได้จากการจำลองทั้งแบบจำลองด้วยโปรแกรมประยุกต์ หรือจำลองความผิดพลาดลงบนระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง และการวิจัยนี้ยังได้นำเสนอแบบแผนใหม่ในการตรวจจับเหตุการณ์ความผิดพลาดเนื่องมาจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสกับพื้นดินให้มีประสิทธิภาพมากกว่าระบบการตรวจจับความผิดพลาดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เมื่อได้ลักษณะจำเพาะของความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นดินร่วมกับแบบแผนการตรวจจับความผิดพลาดใหม่แล้ว จะสามารถออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้น โดยใช้สัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีอยู่แล้วเช่น หม้อแปลงกระแสในการตรวจจับ เป็นต้น อุปกรณ์ตรวจจับที่ได้ออกแบบนี้จะใช้อุปกรณ์จำพวกอิเล็กทรอนิกส์ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการตรวจจับในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเดิมให้มีประสิทธิภาพในการตรวจจับความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสกับพื้นได้

ศูนย์วิจัยทรัพย์สิน
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 1.6 สถิติสายไฟฟ้าขาด แยกตามการไฟฟ้าเขตของ กฟภ. ในช่วงปี พ.ศ. 2551-2552

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ให้มีความสามารถในการแจ้งเตือนเหตุการณ์ความผิดปกติเนื่องจากสายตัวนำขาด โดยอาศัยเทคนิคการตรวจจับกระแสสายในแต่ละเฟส ทั้งสามเฟสในระบบไฟฟ้า แล้วใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลเหตุการณ์ผิดปกติของสายตัวนำขาดในการแจ้งเตือนเหตุการณ์ดังกล่าวให้ผู้ใช้งานได้ทราบถึงความบกพร่องในระบบไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์

พิจารณาเฉพาะระบบจำหน่ายไฟฟ้าในสายป้อนเดี่ยว (Single Feeder) ระดับแรงดันสูงปานกลาง สำหรับสายตัวนำด้านไฟฟ้าแรงสูงขาด แล้วสัมผัสลงดินด้านภาระ โดยครอบคลุมภาระแบบเดลต้า, วาย 3 เฟส 3 สาย และวาย 3 เฟส 4 สาย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ระบบตรวจจับความผิดปกติที่พัฒนาขึ้นมาสามารถจำแนกประเภทของความผิดปกติแบบต่างๆ ได้ ซึ่งจะช่วยให้ออกแบบ และพัฒนาต่อยอด เพื่อดำเนินการตัดวงจร (De-energize) เมื่อเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้า และต่อวงจร (Energize) เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในการใช้พลังงานไฟฟ้า
- 2) อุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติที่สามารถป้องกันเหตุการณ์ความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสกับพื้น เพื่อเกิดความปลอดภัยต่อชีวิต และทรัพย์สิน
- 3) สามารถลดการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

1.5 ขั้นตอนในการทำวิทยานิพนธ์

- 1) รวบรวมสถิติการเกิดเหตุการณ์สายจำหน่ายขาด และภาพเหตุการณ์สายตัวนำขาดในระบบไฟฟ้า
- 2) แยกแยะความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในระบบไฟฟ้า พร้อมศึกษาความสามารถของระบบป้องกันที่มีต่อความผิดปกติแบบต่างๆ
- 3) ศึกษาองค์ประกอบของระบบไฟฟ้ากำลัง พร้อมทั้งจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าขึ้น เพื่อศึกษาปริมาณกระแสด้วยแรงดัน 3 เฟส 380 โวลต์

4) จำลองเหตุการณ์ความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้าน
ภาระ ด้วยโปรแกรม EMTP – ATP

5) จำลองเหตุการณ์ความผิดปกติฯ ลงบนระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง

5) วิเคราะห์รูปคลื่นของกระแสสายที่ได้จากการจำลองความผิดปกติฯ

6) ศึกษาวิธีเขียน Microcontroller และการนำสัญญาณเข้าไปประมวลการทำงานใน
Microcontroller

7) นำ Microcontroller มาทดลองในชุดจำลองระบบจำหน่าย และ จำลองความผิดปกติ
เพื่อให้ Microcontroller ตรวจจับเหตุการณ์ผิดปกติที่สมมติขึ้น

8) รวบรวมผลการทดลอง พร้อมการวิเคราะห์ผลการทดลอง และเขียนรูปเล่มวิทยานิพนธ์



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการวิจัยเกี่ยวกับความผิดปกติเนื่องจากสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้น โดยเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นจึงมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องอยู่หลายด้าน อาทิเช่น ด้านความรู้ทั่วไปของระบบไฟฟ้ากำลัง ด้านการเกิดความผิดปกติ ด้านการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง ด้านประเภทการต่อภาระในระบบไฟฟ้า และด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แต่จะขออธิบายถึงส่วนที่สำคัญและเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยมีรายละเอียดพอที่จะอธิบายได้ดังนี้

2.1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Electrical Distribution Systems)

ระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทั่วไปแบ่งระดับออกได้ดังนี้

- ระบบผลิตไฟฟ้า

ระบบผลิตไฟฟ้าเป็นส่วนที่ผลิตไฟฟ้าให้แก่ระบบไฟฟ้ากำลัง โดยในระบบการผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่นั้นจะอาศัยพลังงานทางกลเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเจนเนอเรเตอร์เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุด พลังงานกลที่ใช้ผลิตไฟฟ้านั้น สามารถได้มาจากแหล่งพลังงานอื่นๆ เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนเป็นต้นและอาจจะมีส่วนน้อยที่ใช้หลักการการเปลี่ยนแสงซึ่งเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง เช่น การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้า

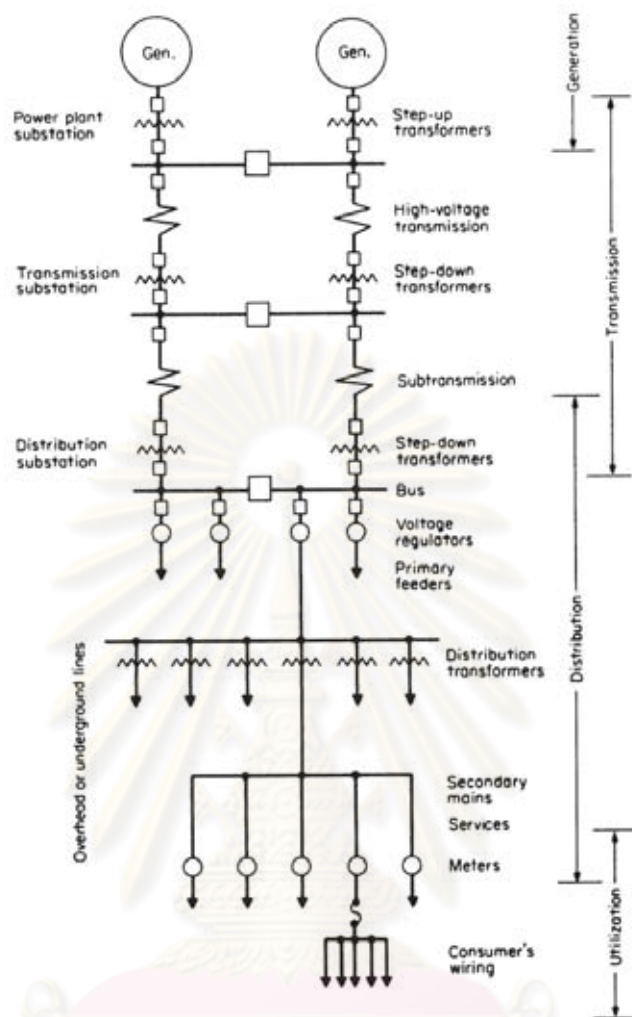
- ระบบส่งกำลังไฟฟ้า

เมื่อผลิตไฟฟ้าได้แล้ว จะต้องมียระบบที่ทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังแหล่งการใช้พลังงาน ระบบดังกล่าวนี้เรียกว่า ระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่แล้วระบบนี้จะใช้ระดับแรงดันที่สูงมากๆ เพื่อให้สามารถส่งกำลังไฟฟ้าไปได้ระยะทางไกลยิ่งขึ้น โดยให้ความสูญเสีย (Loss) ต่ำ

- ระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบนี้ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันจากระบบส่งกำลังไฟฟ้า มาสู่ระดับจำหน่ายไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นนับว่าเป็นระบบที่เข้าถึงประชาชนผู้ใช้ไฟฟ้ามากที่สุด กล่าวคือระบบไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือนก็ล้วนเป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งสิ้น ทำให้เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นภายในระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้ ย่อมส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งทางตรง และทางอ้อม

ตัวอย่างระบบไฟฟ้ากำลัง แสดงได้ในภาพที่ 2.1 ซึ่งครอบคลุมทั้งสามระบบไฟฟ้าหลัก คือ ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบส่งกำลังไฟฟ้า และระบบจำหน่ายไฟฟ้า



ภาพที่ 2.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง และส่วนประกอบของระบบไฟฟ้ากำลัง

ในที่นี้จะกล่าวถึงระบบจำหน่ายไฟฟ้า ระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นระบบที่มีความสำคัญอย่างหนึ่งในระบบไฟฟ้ากำลัง เพราะเป็นระบบที่ลดทอนระดับแรงดันจากแรงดัน 115 kV ลงมาสู่ระดับแรงดันสูงปานกลาง ระบบดังกล่าวนี้เป็นระบบที่กระจายพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่เมือง ชุมชน หรือพื้นที่ห่างไกล [2]

ในประเทศไทยระดับแรงดันของระบบจำหน่ายจะแบ่งตามผู้ให้บริการไฟฟ้า และพื้นที่ให้บริการ เช่น แรงดันระดับ 12 และ 24 kV เป็นแรงดันระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ซึ่งรับผิดชอบการจ่ายไฟฟ้าในพื้นที่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ

ส่วนแรงดัน 11, 22 และ 33 kV เป็นแรงดันระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ซึ่งพื้นที่รับผิดชอบการจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค คือ 73 จังหวัดทั่วประเทศ ยกเว้น กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ

2.2 การต่อโหลด 3 เฟส (Three Phase Load Connection)

พิจารณาเฉพาะแหล่งจ่ายที่ต่อแบบวาย (Wye) ต่อเข้ากับโหลดสามเฟส ซึ่งโหลดสามเฟสที่จะนำมาต่อมีสองชนิดคือ โหลดสามเฟสต่อแบบวาย (Y) กับ โหลดสามเฟสต่อแบบเดลต้า (Δ) [3]

การต่อโหลดแบบวาย (Wye Connection)

ถ้าเป็นโหลดสามเฟสต่อแบบ Y เมื่อต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามเฟส จะได้ดังภาพที่ 2.2 ภาพที่ 2.2(a) เป็นการต่อแบบสามเฟส สี่สาย มีสายนิวทรัล ทำหน้าที่นำกระแสที่ไม่สมดุลของโหลดกลับเข้าระบบ ในกรณีที่โหลดทั้งสามไม่เท่ากัน ส่วนกรณีที่โหลดทั้งสามเท่ากัน ($Z_1 = Z_2 = Z_3$) สายนิวทรัลสามารถปลดออกได้ เนื่องจากไม่มีกระแสที่ไหลจากโหลดทั้งสาม การต่อโหลดที่ไม่ใช้สายนิวทรัลเรียกว่า ระบบสามเฟสสามสาย ซึ่งแสดงลักษณะการต่อดังภาพที่ 2.2(b) จากภาพจะเห็นว่า โหลดในแต่ละเฟส จะต่อขนานกับแหล่งกำเนิดแรงดันโดยตรง ดังนั้นแรงดันตกคร่อมที่โหลดแต่ละตัวจะมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_{an} &= E_{AN} \\ V_{bn} &= E_{BN} \\ V_{cn} &= E_{CN} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1)$$

กระแสที่ไหลออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละเฟสเรียกว่ากระแสเฟส (Phase Current) ซึ่งได้แก่ I_A, I_B และ I_C ส่วนกระแสที่ไหลผ่านสายตัวนำที่ต่อระหว่างขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับโหลดเรียกว่ากระแสสาย (Line Current) ซึ่งได้แก่ I_{Aa}, I_{Bb} และ I_{Cc} จากวงจรภาพที่ 2.2 จะเห็นว่ากระแสเฟสเป็นกระแสตัวเดียวกับกระแสสาย การคำนวณหาค่ากระแสสายและกระแสเฟส จึงทำได้เหมือนกับระบบหนึ่งเฟส นั่นคือ

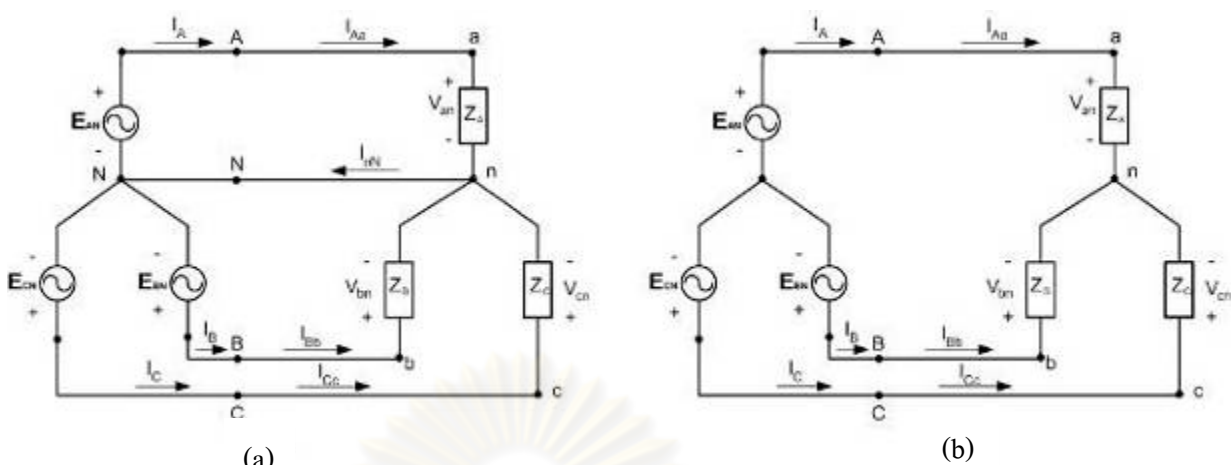
$$I_{Aa} = I_A = \frac{V_{an}}{Z_A} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$I_{Bb} = I_B = \frac{V_{bn}}{Z_B} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$I_{Cc} = I_C = \frac{V_{cn}}{Z_C} \quad \dots\dots\dots (4)$$

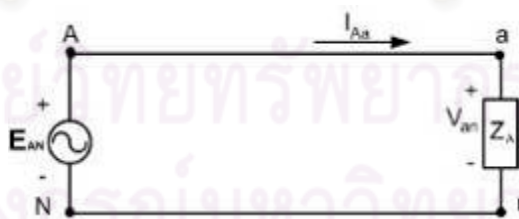
สำหรับกระแส I_{nN} จะเท่ากับผลรวมของกระแสสายทั้งสามเฟส ซึ่งเขียนสมการได้ว่า

$$I_{nN} = I_{Aa} + I_{Bb} + I_{Cc} \quad \dots\dots\dots (5)$$



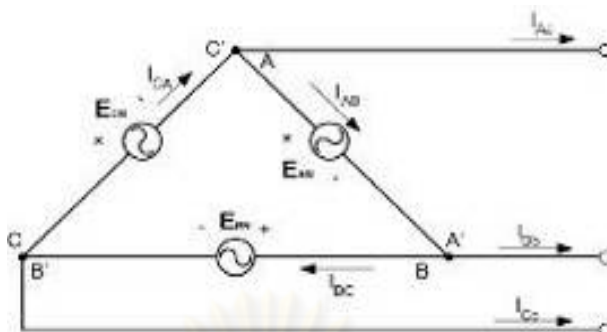
(a) ภาพที่ 2.2 แสดงการต่อโหลดสามเฟสแบบวาย

ในกรณีที่ระบบสามเฟสมีโหลดทั้งสามเฟสเท่ากันหรือสมดุล ($Z_A = Z_B = Z_C$) สมการที่ 5 จะให้ค่ากระแส I_{nN} เท่ากับศูนย์ ในสภาวะเช่นนี้สายนิวทรัลสามารถปลดออกจากระบบได้ แต่ถ้าระบบสามเฟสมีโหลดทั้งสามเฟสไม่เท่ากันหรือไม่สมดุล ($Z_A \neq Z_B \neq Z_C$) ผลรวมของกระแสตามสมการที่ 5 จะไม่เท่ากับศูนย์ ทำให้สายนิวทรัลจะทำหน้าที่รักษาระดับของแรงดันเฟสให้สมดุลจากสมการที่ 2 ถึงสมการที่ 4 เมื่อโหลดทั้งสามเฟสสมดุล จะให้ค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดแต่ละเฟสเท่ากัน ส่วนมุมเฟสของกระแสแต่ละเฟสจะต่างกันเป็นมุม 120° ตามลำดับเฟส จากความจริงดังกล่าวถ้าทราบค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดตัวใดตัวหนึ่งพร้อมกับลำดับเฟสของวงจรก็จะสามารถหาค่ากระแสของโหลดที่เหลือทั้งสองได้ ดังนั้นการวิเคราะห์วงจรสามเฟส เมื่อโหลดสมดุลสามารถทำได้ด้วยการวิเคราะห์แบบหนึ่งเฟส โดยหาค่ากระแสในเฟสใดเฟสหนึ่ง จากนั้นใช้ความสัมพันธ์ของลำดับเฟสหาค่าของกระแสในเฟสที่เหลือ ภาพที่ 2.3 เป็นวงจรสมมูลหนึ่งเฟส ของวงจรสามเฟสเมื่อโหลดสมดุล



ภาพที่ 2.3 วงจรสมมูลหนึ่งเฟส กรณีที่โหลดทั้งสามเฟสเท่ากัน

การต่อโหลดแบบเดลต้า (Delta Connection)



ภาพที่ 2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามเฟสที่มีการต่อแบบเดลต้า (Δ)

จากภาพที่ 2.4 จะได้กระแสเฟสคือ I_{AB}, I_{BC} และ I_{CA} ส่วนกระแสสาย I_{Aa}, I_{Bb} และ I_{Cc} การวัดแรงดันระหว่างสาย A กับสาย B จะเหมือนกับการวัดแรงดันเฟส นั่นคือการต่อแบบเดลต้า (Δ) จะให้แรงดันสายเท่ากับแรงดันเฟส ถ้าระบบมีลำดับเฟส \overline{ABC} จะได้ว่า

$$E_{AB} = E_{AA'} = E_m \angle 0^\circ \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$E_{BC} = E_{BB'} = E_m \angle -120^\circ \quad \dots\dots\dots (7)$$

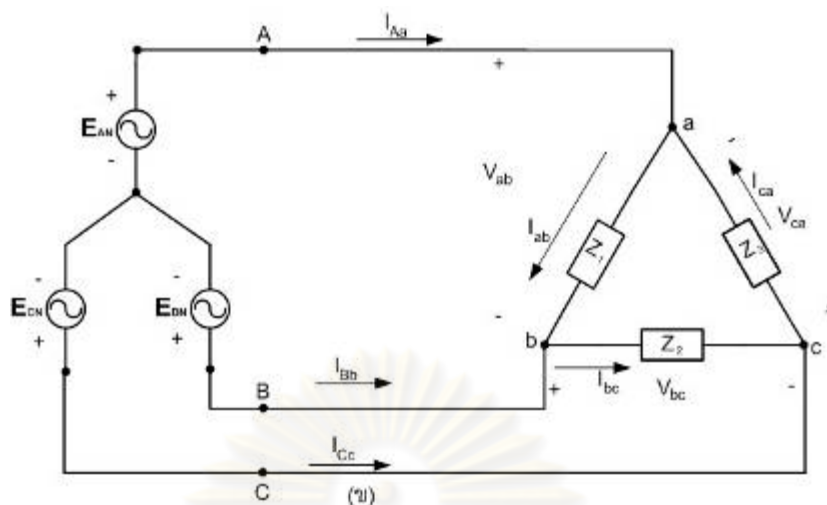
$$E_{CA} = E_{CC'} = E_m \angle 120^\circ \quad \dots\dots\dots (8)$$

จากภาพที่ 2.4 ถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อโหลด จะเห็นว่ากระแสสาย (I_{Aa}, I_{Bb} และ I_{Cc}) จะไม่เท่ากับกระแสเฟส (I_{AB}, I_{BC} และ I_{CA}) ในทางปฏิบัติการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามเฟสแบบเดลต้า (Δ) มักไม่นิยมต่อใช้งานเนื่องจากเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อโหลดกระแสที่ไหลผ่านโหลดจะสร้างเส้นแรงแม่เหล็กที่มีลักษณะบิดเบือนจากสภาพปกติ ทำให้การเกิดแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดแต่ละขดมีขนาดหรือเฟสไม่สมดุล ผลรวมของแรงดันเฟสทั้งสามจะไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งผลอันนี้จะทำให้เกิดกระแสหมุนเวียนภายในขดลวดทั้งสามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าร้อนและประสิทธิภาพการทำงานลดลง โหลดสามเฟสแบบเดลต้า (Δ) มีทั้งที่สมดุลและไม่สมดุลขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานภายในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยจะพิจารณาแบบเดลต้า (Δ) สมดุลคือ ($Z_1=Z_2=Z_3$) ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2.4 ในการหาค่ากระแสสายจึงต้องอาศัยกฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์ เขียนสมการกระแสสายที่โนดทั้งสามของโหลด ซึ่งจะได้ว่า

$$I_{Aa} = I_{ab} - I_{ca} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$I_{Bb} = I_{bc} - I_{ab} \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$I_{Cc} = I_{ca} - I_{bc} \quad \dots\dots\dots (11)$$



ภาพที่ 2.5 แสดงการต่อโหลดสามเฟสแบบเดลต้า

ส่วนกระแสเฟสซึ่งไหลผ่านอิมพีแดนซ์ในแต่ละเฟส หาได้จากแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์ตัวนั้นๆ หากด้วยอิมพีแดนซ์เช่น กระแสเฟส I_{ab} เป็นกระแสที่ไหลจากโนด a ไปยังโนด b มีอิมพีแดนซ์ Z_1 ต่ออยู่ระหว่างโนด a - b ดังนั้นสามารถหากระแสเฟส I_{ab} ได้

$$I_{ab} = \frac{V_{ab}}{Z_1} \tag{12}$$

ในทำนองเดียวกัน

$$I_{bc} = \frac{V_{bc}}{Z_2} \tag{13}$$

$$I_{ca} = \frac{V_{ca}}{Z_3} \tag{14}$$

ในกรณีที่โหลดสมดุลกระแสเฟสซึ่งไหลผ่านอิมพีแดนซ์ทั้งสามจะมีค่าเท่ากัน ส่วนมุมเฟสในแต่ละเฟสจะต่างกันเป็นมุม 120° ถ้ากำหนดให้กระแสเฟส $I_{ab} = I \angle \theta$ และระบบมีลำดับเฟสแบบ \overline{ABC} จะทำให้ได้กระแสเฟส $I_{ca} = I \angle (\theta + 120^\circ)$ จากสมการที่ 9 จะได้กระแสสาย I_{Aa} เท่ากับ

$$I_{Aa} = I_{ab} - I_{ca}$$

$$\begin{aligned} I_{Aa} &= I \cos \theta + jI \sin \theta - I \cos(\theta + 120^\circ) - jI \sin(\theta + 120^\circ) \\ &= -2I \sin(\theta + 60^\circ) \sin(-60^\circ) + j2I \cos(\theta + 60^\circ) \sin(-60^\circ) \\ &= \sqrt{3}I(\sin(\theta + 60^\circ) - j \cos(\theta + 60^\circ)) \\ &= \sqrt{3}I(\cos(\theta - 30^\circ) - j \sin(\theta - 30^\circ)) \\ &= \sqrt{3}I \angle (\theta - 30^\circ) \text{ A} \end{aligned} \tag{15}$$

$$|I_{Aa}| = \sqrt{3}I = \sqrt{3}|I_{ab}| \tag{16}$$

จากสมการที่ 16 ขนาดของกระแสสาย I_{Aa} จะเท่ากับ $\sqrt{3}$ ของกระแสเฟส ส่วนเฟสของกระแสสาย จะล่าหลังเฟสของกระแสเฟสที่มีอักษرفเฟสตัวแรกตรงกัน เป็นมุม 30° เช่นกระแสสาย I_{Aa} ล่าหลังกระแสเฟส I_{ab} กระแสสาย I_{Bb} ล่าหลังกระแสเฟส I_{bc} และกระแสสาย I_{Cc} ล่าหลังกระแสเฟส I_{ca} แต่ถ้ระบบมีลำดับเฟสแบบ \overline{ACB} กระแสสายจะนำหน้ากระแสเฟสอยู่ 30° สรุปได้ว่าโหลดสามเฟสที่ต่อแบบเดลต้า (Δ) สมดุล จะมีกระแสสายเท่ากับ $\sqrt{3}$ ของกระแสเฟสและมุมเฟสจะเคลื่อนออกไป 30° ส่วนแรงดันสายจะเท่ากับแรงดันเฟส

2.3 ความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Fault in distribution systems)

ความผิดปกติในระบบจำหน่ายนั้น อาจมีสาเหตุมาจากอุบัติเหตุ สัตว์เลื้อยคลาน การเสื่อมอายุของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ และภัยธรรมชาติ เป็นต้น สาเหตุข้างต้นนำมาสู่ประเภทของความผิดปกติชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

ความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถแบ่งได้เป็นประเภทดังนี้

1. Three Phase Fault
2. Line to Line Fault
3. Double Line to Ground Fault
4. Single Line to Ground Fault
5. Open Conductor Fault
6. Down Conductor Fault

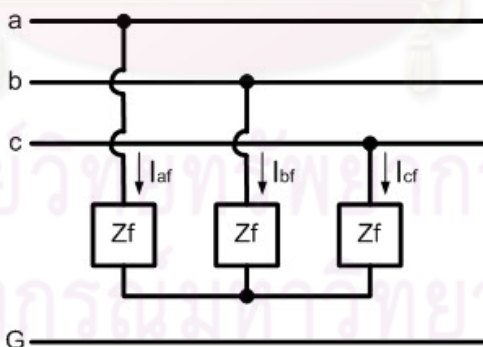
ความผิดปกติในแบบต่าง ๆ นั้น เมื่อเกิดในระบบไฟฟ้าแล้ว จะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้า ในลักษณะที่ต่างกัน ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งแสดงสาเหตุของการเกิดความผิดปกติ และผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า เมื่อเกิดความผิดปกติแบบต่างๆขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

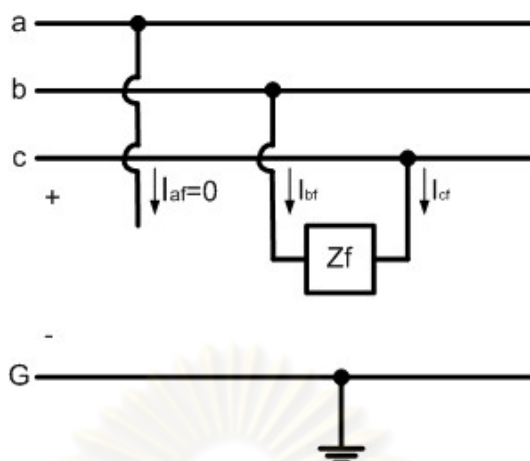
ตารางที่ 2.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า เมื่อเกิดความผิดปกติแบบต่างๆ

ประเภทความผิดปกติ	สาเหตุ	ผลกระทบ
Three Phase Fault	ภัยธรรมชาติ, ความประมาทของผู้ปฏิบัติงาน	กระแสสูงในเฟสที่เกิด ความผิดปกติ
Line to Line Fault	ฉนวนเสียหาย, ภัยธรรมชาติ, อุบัติเหตุ	กระแสสูง และระบบไฟฟ้า เสียหาย
Double Line to Ground Fault	ฉนวนเสื่อมสภาพ, อุบัติเหตุ	กระแสสูง และแรงดันลดลง ในเฟสที่เกิดความผิดปกติ
Single Line to Ground Fault	ฉนวนเสื่อมสภาพ, สัตว์, ต้นไม้	กระแสสูง และแรงดันลดลง ในเฟสที่เกิดความผิดปกติ
Open Conductor Fault	สายไฟฟ้าขาด, สายไฟฟ้าชำรุด	ระบบเสียหาย กระแสและ แรงดันจะลดลง
Down Conductor Fault	สายไฟฟ้าขาด, ต้นไม้	ระบบเสียหาย กระแสผิดปกติ จะขึ้นอยู่กับความ ต้านทานผิดปกติ

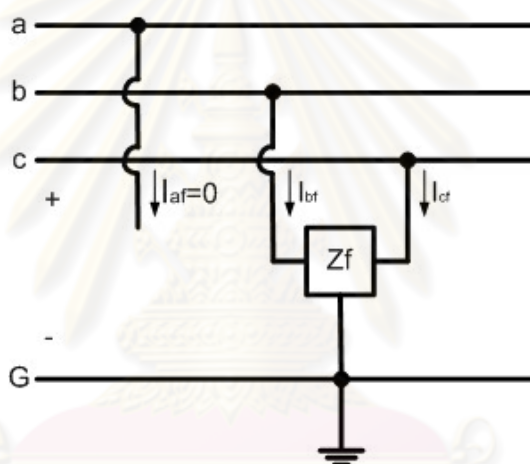
รูปแบบของความผิดปกติในลักษณะต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้ถูกแสดงใน
ภาพที่ 2.6 – 2.11



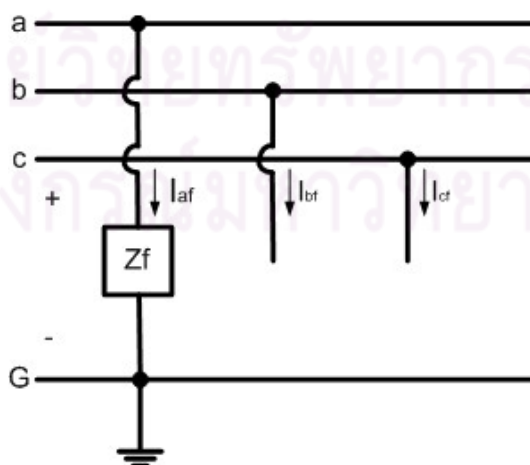
ภาพที่ 2.6 การเกิดความผิดปกติแบบ Three Phase Fault



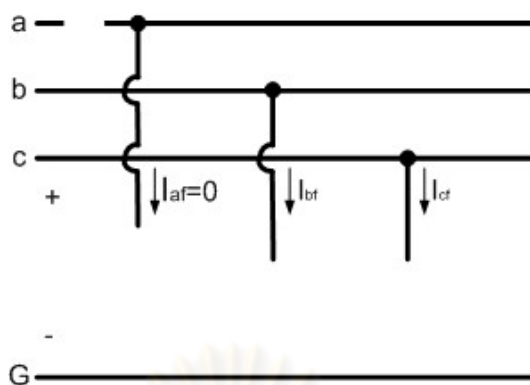
ภาพที่ 2.7 การเกิดความผิดปกติแบบ Line to Line Fault



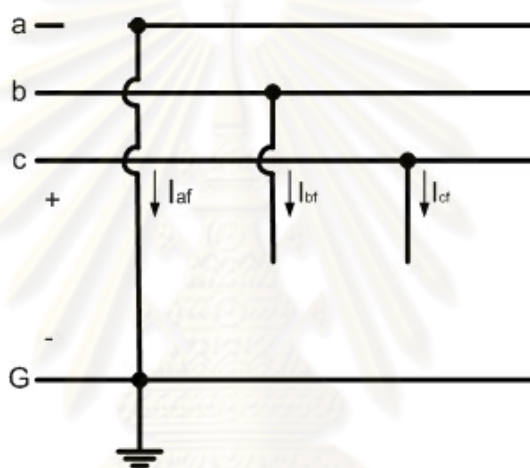
ภาพที่ 2.8 การเกิดความผิดปกติแบบ Double Line to Ground Fault



ภาพที่ 2.9 การเกิดความผิดปกติแบบ Single Line to Ground Fault



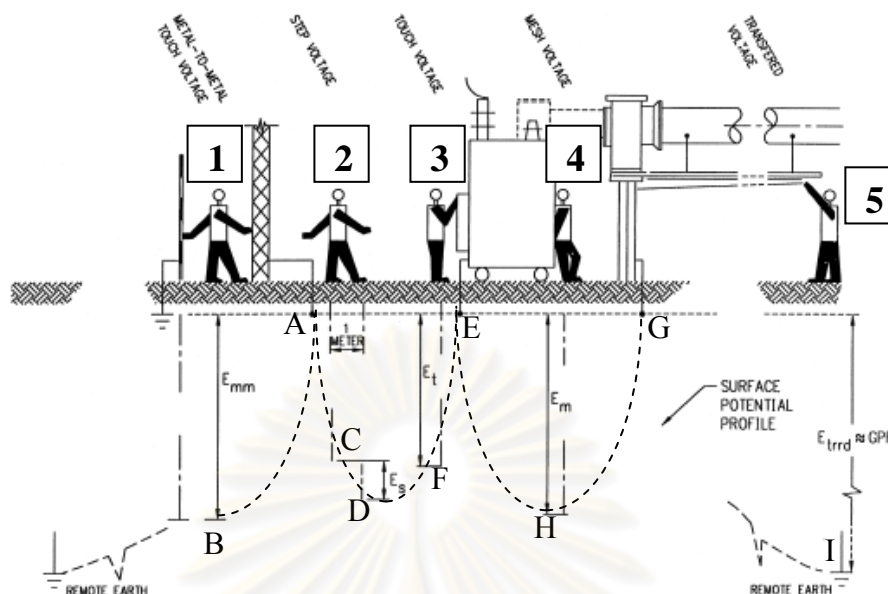
ภาพที่ 2.10 การเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ Open Conductor Fault



ภาพที่ 2.11 การเกิดความผิดปกติพร้อมแบบ Down Conductor Fault

2.4 การเพิ่มขึ้นของศักย์ไฟฟ้าดิน (Ground Potential Rise)

การเพิ่มขึ้นของศักย์ไฟฟ้าดินมีสาเหตุมาจากความผิดปกติที่เกิดขึ้นในสถานีไฟฟ้า โรงไฟฟ้า หรือระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยเมื่อกระแสผิดปกติไหลผ่านอุปกรณ์ หรือโครงสร้างของสถานีไฟฟ้าลงดิน ซึ่งดินจะมีค่าความต้านทานดินอยู่จำกัด กระแสที่ไหลลงดินจะสร้างศักย์ไฟฟ้าขึ้น โดยศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีความสัมพันธ์กับระยะทางระหว่างจุดที่เกิดความผิดปกติลงดินกับจุดลงดินของระบบ ผลของศักย์ไฟฟ้าดินที่เพิ่มขึ้น สามารถเป็นสาเหตุให้เกิดแรงดันที่อันตราย แม้ว่าจะห่างจากจุดที่เกิดความผิดปกติจริงไปหลายร้อยเมตรก็ตาม มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อระดับความรุนแรงของศักย์ไฟฟ้าดิน เช่น กระแสผิดปกติที่เกิดขึ้น ประเภทของดิน ความชื้นของดิน อุณหภูมิ ชั้นหินที่อยู่ใต้พื้นดิน และเวลาของความผิดปกติที่เกิดขึ้น เป็นต้น [4]



ภาพที่ 2.12 แสดงการเกิดสัคย์ไฟฟ้าในพื้นดิน

พิจารณาตำแหน่งของคนที่ยืนในภาพที่ 2.12 สามารถอธิบายอันตรายจากไฟฟ้าได้ดังนี้ [5]

คนในตำแหน่งที่ 1 ยืนในตำแหน่งที่มีข้อข้างหนึ่งสัมผัสที่รีวของสถานีไฟฟ้า ส่วนมืออีกข้างหนึ่งสัมผัสกับโครงโลหะที่ต่อลงดินซึ่งมีศักดาไฟฟ้าเท่ากับที่จุด A ทำให้แรงดันสัมผัสเท่ากับ E_{mm}

คนในตำแหน่งที่ 2 การยืนในตำแหน่งนี้มีศักดาไฟฟ้าที่เท่าทั้งสองข้างไม่เท่ากัน คือมีสัคย์ไฟฟ้าที่จุด C และ D ทำให้เกิดแรงดันย่างก้าว (Step voltage) E_s แรงดันย่างก้าวที่มากที่สุดเกิดขึ้นเมื่อเท้าข้างหนึ่งอยู่เหนือกริดพอดีที่จุด A หรือที่จุด E แรงดันย่างก้าวที่พิจารณาในที่นี้คิดที่ระยะระหว่างเท้าทั้งสองข้าง 1 เมตร

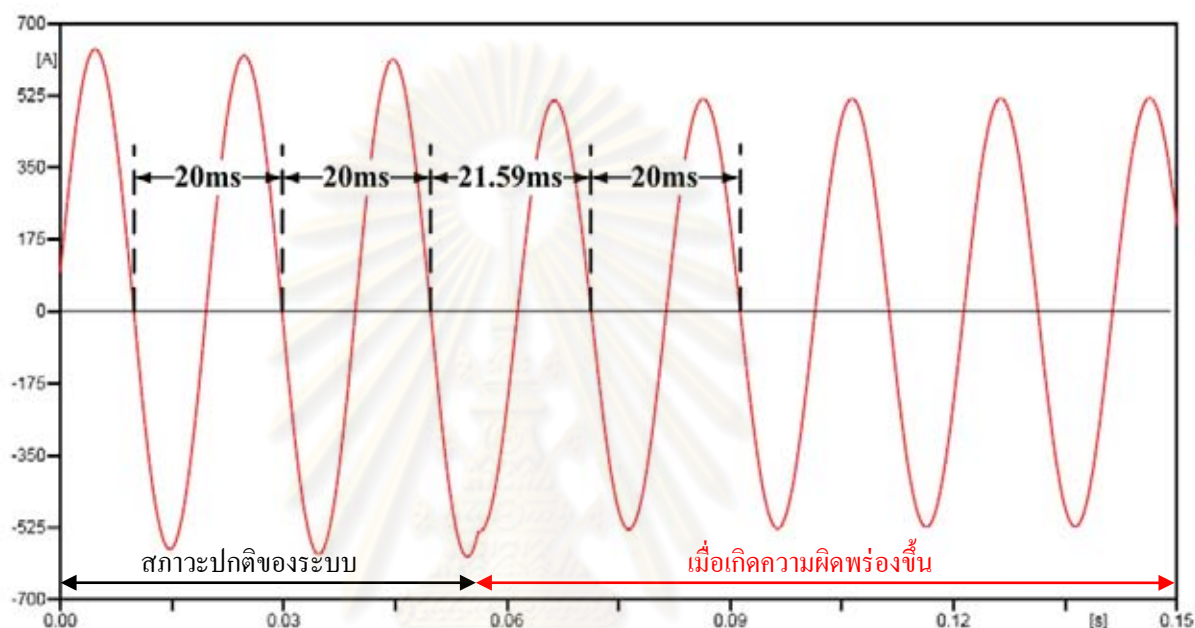
คนในตำแหน่งที่ 3 ยืนสัมผัสกับโครงโลหะของอุปกรณ์ มือที่สัมผัสกับโครงโลหะทำให้มีสัคย์ไฟฟ้าเท่ากับกริดที่จุด E ส่วนเท้ายืนบนพื้นดินซึ่งมีสัคย์ไฟฟ้าตามเส้นศักดาไฟฟ้าที่จุด F ความต่างสัคย์ไฟฟ้าระหว่างจุด E และ F คือแรงดันสัมผัส E_t

คนในตำแหน่งที่ 4 เหมือนกับคนในตำแหน่งยืนที่ 1 ต่างกันแต่เพียงคนยืนในตำแหน่งที่ 2 ยืนอยู่บนพื้นดินที่มีศักดาไฟฟ้าต่ำสุด คนยืนสัมผัสกับโครงโลหะของอุปกรณ์ และมือสัมผัสกับโครงโลหะ ทำให้มีสัคย์ไฟฟ้าเท่ากับกริดที่จุด E ความต่างสัคย์ระหว่างจุด E และ H คือ แรงดันสัมผัส E_m

คนในตำแหน่งที่ 5 ยืนในตำแหน่งที่มีมือสัมผัสกับโครงโลหะที่ยื่นออกมาจากสถานีไฟฟ้า และโครงโลหะนี้ได้มีการต่อลงดินที่จุด G เนื่องจากยืนอยู่นอกสถานีไฟฟ้า เท้าของคนที่ยืนสัมผัสจึงอยู่ห่างไกลจากสถานีไฟฟ้า ทำให้เกิดแรงดันสัมผัส E_{trrd} สูงเกือบเท่ากับแรงดันดินที่สูงขึ้น (GPR – Ground Potential Rise)

2.5 หลักการการเลื่อนเวลาของกระแส (Time shifting method on current wave)

สัญญาณใดๆที่มีความถี่หนึ่งจะมีคาบเวลาที่ค่าหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ จะมีค่าคาบเวลาอยู่ที่ 20 มิลลิวินาที (ระยะเวลาจากขอบขาขึ้นถึงขอบขาขึ้นของสัญญาณ) หรือจะคิดเพียงครึ่งลูกคลื่น คาบเวลาจะอยู่ที่ 10 มิลลิวินาที (ระยะเวลาจากขอบขาขึ้นถึงขอบขาลงของสัญญาณ) แต่เมื่อเกิดความผิดปกติของสัญญาณ ระยะเวลาดังกล่าวอาจเกิดการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 2.13 สัญญาณของกระแสขณะเกิดความผิดปกติเพื่อมาอธิบายถึงการเลื่อนของเวลา

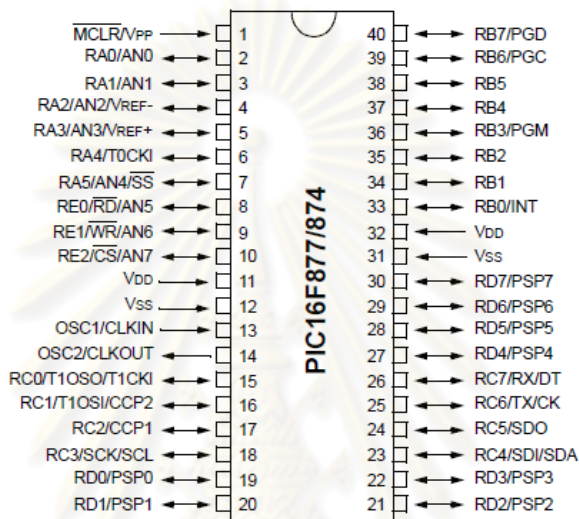
ในสภาวะปกติของระบบ 50 เฮิรตซ์ ระบบไฟฟ้าจะมีคาบเวลาของสัญญาณอยู่ที่ 20 มิลลิวินาที แต่เมื่อใดก็ตามที่เกิดความผิดปกติขึ้นภายในระบบ ระบบเองจะพยายามปรับสมดุลเพื่อให้เกิดเสถียรภาพขึ้นดังเดิม ผลของการปรับสัญญาณเข้าสู่สมดุลดังกล่าวจะทำให้เกิดการเลื่อนเวลาของสัญญาณขึ้น และเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลได้แล้ว คาบเวลาของสัญญาณจะกลับมาสู่ค่าเดิมที่ 20 มิลลิวินาที

2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ และการประยุกต์ใช้งาน (Microcontroller and their application)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถเขียนโปรแกรมการทำงาน หรือลักษณะพิเศษของตัวโปรแกรมการทำงานลงไปในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ แล้วให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวประมวลผล และตัดสินใจตามโปรแกรมที่ออกแบบ หรือเขียนโดยผู้พัฒนา

มีการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ในหลายรูปแบบ อาทิเช่น ใช้เป็นเซ็นเซอร์ในการตรวจวัดทางอุตสาหกรรม หรือในอุตสาหกรรมหุ่นยนต์อัตโนมัติ, ใช้ในการประยุกต์ เพื่อแก้ไขปัญหาเฉพาะด้าน

ในวิทยานิพนธ์นี้จะเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 สำหรับประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 2.14 [6]



ภาพที่ 2.14 รูปแบบขาพอร์ตต่างๆของ PIC16F877

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- Ilyoul Lee [7] ได้จดสิทธิบัตรทรัพย์สินทางปัญญาชื่อ Apparatus for and Method of Detecting High Impedance Fault on Distribution Circuits with Delta Connected Loads ในปี ค.ศ. 1981 กล่าวถึงเทคนิคสำหรับการตรวจจับความผิดปกติแบบอิมพีแดนซ์สูงลงดินบนระบบจำหน่ายที่มีโหลดเป็นเดลต้า โดยเทคนิคนี้จะอาศัยการตรวจจับสถานะของส่วนประกอบฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 ของกระแสสายทั้ง 3 เฟสในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของขนาดกระแสเฟสใดเฟสหนึ่ง เพื่อบ่งบอกว่าเกิดความผิดปกติแบบอิมพีแดนซ์สูงลงดินจริงหรือเป็นการรบกวนในระบบไฟฟ้า

- Martin T. Bishop [8] ได้จดสิทธิบัตรทรัพย์สินทางปัญญาชื่อ Protective Relay Apparatus for Detecting High-Impedance Ground Faults ในปี ค.ศ. 1986 โดยกล่าวเกี่ยวกับวิธีป้องกันที่ทำหน้าที่ตรวจจับความผิดปกติแบบเฟสลงดินผ่านอิมพีแดนซ์ค่าสูงในระบบจำหน่ายแบบ 3 เฟส 3 สาย โดยวิธีดังกล่าวจะทำงาน เมื่ออัตราส่วนของกระแสลำดับลบกับกระแสลำดับบวกที่เกินกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งใช้ในการตรวจจับเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาด

- Majid Al-Dabbagh [9] ได้จัดสิทธิบัตรทรัพย์สินทางปัญญาชื่อ High Impedance Fault Detector ในปี ค.ศ. 1997 โดยกล่าวถึงวิธีและอุปกรณ์ในการตรวจจับความผิดปกติแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงลงดินและปรากฏการณ์การอาร์กต่างๆในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งการตรวจจับทำได้โดยการแยกสัญญาณที่มีองค์ประกอบของความถี่ด้วยขนาดและรูปแบบของสัญญาณต่างๆ เช่นสัญญาณกระแสและแรงดันลำดับที่ศูนย์ (zero-sequence current and voltage) กระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 และ 8 เป็นต้น ถ้าขนาดและรูปแบบเกิดความแตกต่างไปจากเดิม ก็สามารถบอกได้ถึงโอกาสการเกิดอาร์กขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

- Hart et al. [10] ได้จัดสิทธิบัตรทรัพย์สินทางปัญญาชื่อ High Impedance Fault Detection ในปี ค.ศ. 2002 การตรวจจับความผิดปกติแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงลงดินที่ถูกปรับปรุงนี้ จะประกอบด้วย ตัววิเคราะห์ที่ติดตั้ง ณ เซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือสถานีไฟฟ้า โดยตัววิเคราะห์จะทำหน้าที่วิเคราะห์รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้า หรือ/และแรงดันไฟฟ้า เพื่อตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในวงจรสายป้อน ทั้งแบบสายป้อนวงจรเดียว หรือสายป้อนแบบหลายวงจร ซึ่งสายป้อนแบบหลายวงจรจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับระยะไกลในตำแหน่งของลูกค้ำ อุปกรณ์ตรวจจับระยะไกลนี้จะตรวจจับแรงดันที่หายไป เมื่อเกิดความผิดปกติ แล้วมีการสื่อสารข้อมูลกลับไปยังตัววิเคราะห์ที่ติดตั้งในสถานีไฟฟ้า

- Craig G. Wester [11] นำเสนอการตรวจจับความผิดปกติแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงลงดิน ทั้งแบบตรวจจับทางกล และทางไฟฟ้า ในการตรวจจับความผิดปกติทางกลนั้นจะใช้หลักการทำให้เหตุการณ์ความผิดปกติที่เกิดจากอิมพีแดนซ์ค่าสูงนั้นกลายเป็นอิมพีแดนซ์ค่าต่ำ แล้วระบบตรวจจับที่ติดตั้งภายในสถานีไฟฟ้าสามารถตรวจจับความผิดปกติขึ้นได้ ส่วนการตรวจจับทางไฟฟ้านั้น วิธีแรกที่น่าเสนอคือ การตรวจวัดกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่ 3 เทียบกับสัญญาณแรงดันพื้นฐาน ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกว่าค่าที่ได้ศึกษาไว้จะ สามารถบอกได้ว่าเป็นความผิดปกติหรือไม่ เป็นต้น

- A. Lazkano et al. [12] ทำการศึกษาการตรวจจับความผิดปกติแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงลงดินในระบบจำหน่ายของประเทศสเปน โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะวิเคราะห์ความเสี่ยงของการผิดปกติดังกล่าว และการวิเคราะห์อาร์กแนวใหม่ ด้วยการประเมินจากกระแสฮาร์โมนิกลำดับต่ำ (low order harmonic current)

- Eilert BJERKAN et al. [13] นำเสนอการตรวจจับเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาด หรือสายไฟฟ้าสัมผัสพื้น ด้วยวิธีการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันติดตั้งเข้าไปในวงจรสายป้อน แล้วอาศัยการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัด ทำการส่ง-รับข้อมูลที่ได้ และทำการหาความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้

บทที่ 3

การออกแบบจำลองเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการจำลองความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้าน โหลด (Broken conductor fault on the load side) โดยจะแบ่งการออกแบบการจำลอง เป็น 2 ลักษณะดังนี้

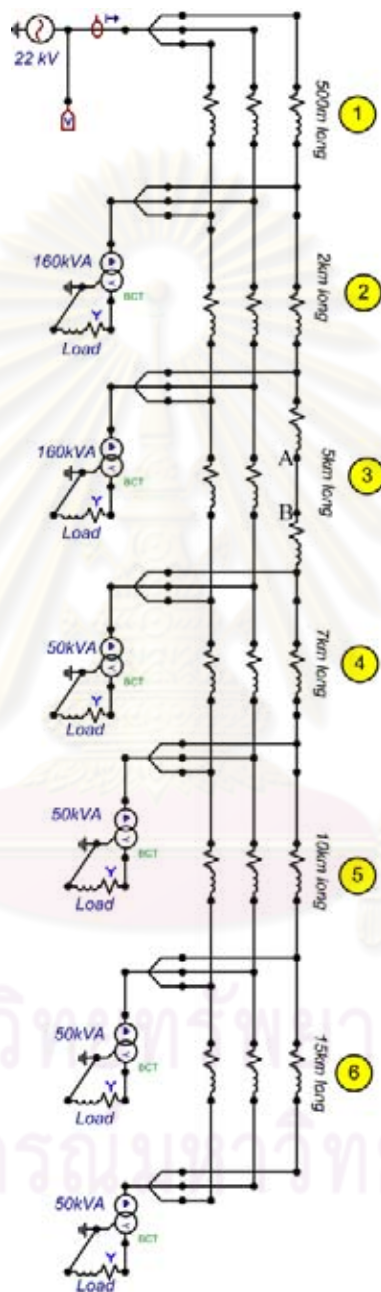
1. ออกแบบการจำลองความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ด้วยโปรแกรม ATP- Alternative Transients Program
2. ออกแบบการจำลองความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ภายในห้องปฏิบัติการ

ทั้งนี้การออกแบบในบทนี้จะรวมถึงการออกแบบเทคนิคในการตรวจจับความผิดปกติ เนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระไฟฟ้า

3.1 ออกแบบการจำลองความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระไฟฟ้า ด้วยโปรแกรมประยุกต์ ATP – Alternative Transients Program





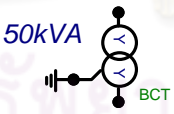
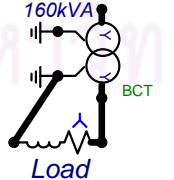
ในการจำลองความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระด้วยโปรแกรมประยุกต์นั้น จะเลือกใช้โปรแกรม ATP – Alternative Transients Program เป็นโปรแกรมในการจำลองความผิดปกติ และแสดงผลการจำลองความผิดปกติดังกล่าวด้วยสัญญาณกระแส เพราะฉะนั้น ในลำดับแรกจำเป็นต้องสร้างระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จะทำการจำลองความผิดปกติ ในที่นี้จะสมมติให้บัสแรงดันสูงปานกลาง (Medium voltage bus) เป็นแหล่งจ่ายของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จำลองขึ้น ส่วนอุปกรณ์ตรวจวัด ทั้งกระแส (Current transformer) และแรงดัน (Potential transformer) จะใช้โพรบวัดกระแสและแรงดันตามลำดับ ในส่วนของสายจ่ายไฟฟ้าแบบเดินอากาศ (Overhead line) จะแทนด้วยความต้านทานและความเหนี่ยวนำ และหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution transformer) ที่ติดตั้งไว้ตามวงจรสายป้อน (Outgoing feeder) นั้น ให้แทนด้วยโมเดลสำเร็จรูปของหม้อแปลงจำหน่าย โดยใช้ตัวแปรต่างๆตามอุปกรณ์หม้อแปลงจำหน่ายจริง ภาระไฟฟ้าของระบบจำหน่ายจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ เดลต้า(Delta) วาย 3 เฟส 3 สาย(Wye without neutral)และวาย 3 เฟส 4 สาย(Wye with neutral) ส่วนความผิดปกติที่เกิดจากเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดนั้นจะจำลอง โดยใช้ สวิตซ์ที่ควบคุมด้วยเวลา (Switch time controlled) แล้วเมื่อสายไฟฟ้ามาสัมผัสพื้นจะใช้ค่าความต้านทานต่อลงดิน เพื่อแทนเหตุการณ์ดังกล่าว

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จำลองขึ้น เพื่อทำการจำลองความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาด แล้วสัมผัสพื้นดินด้านภาระ สามารถแสดงได้ภาพที่ 3.1 ซึ่งเป็นระบบจำหน่ายที่มีลักษณะแบบรัศมี (radial scheme) และมีหม้อแปลงจำหน่ายประกอบอยู่ 6 เครื่องในวงจรสายป้อนนี้



ภาพที่ 3.1 วงจรจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า รูปแบบรัศมี ระยะทาง 39.5 กิโลเมตร
รายละเอียดของวงจรจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบอุปกรณ์ระบบจำหน่ายกับโมเดลการจำลองด้วยโปรแกรม ATP

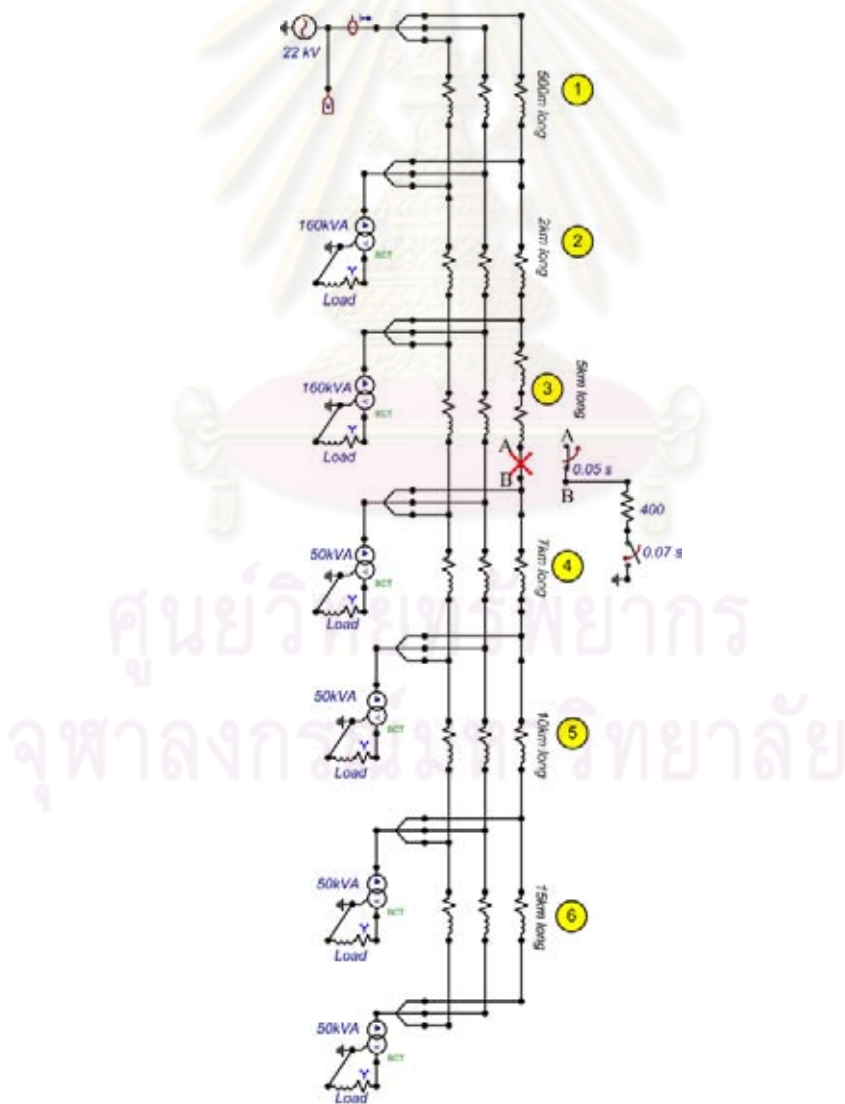
ระบบจำหน่ายจริง		ระบบจำหน่ายจำลอง	
อุปกรณ์ไฟฟ้า	รายละเอียด	โมเดลจำลอง	ค่าตัวแปร
บัสแรงดันสูงปานกลาง	รับไฟฟ้าจากหม้อแปลงกำลังด้านทุติยภูมิที่ติดตั้งภายในสถานีไฟฟ้า ปกติจะมีแรงดันอยู่ที่ 22 – 33 kV		แรงดันสายเท่ากับ 22 kV ความถี่ 50 Hz
หม้อแปลงกระแส	ใช้ในการตรวจวัดปริมาณกระแสของวงจรสายป้อนที่ออกจากสถานีไฟฟ้า การเลือกใช้จะพิจารณาจากความเหมาะสมของวงจรสายป้อนนั้น		ใช้โพรบวัดกระแสทั้งสามเฟส
สายไฟฟ้าแบบเดินในอากาศ	ในระบบจำหน่ายจะเลือกใช้ SAC – Space Aerial Cable หรือ PIC – Partial Insulated Cable เป็นสายไฟฟ้าเดินอากาศ		เลือกตัวแปรทางไฟฟ้าของสาย SAC ขนาด 185 ตร.มม. ในการจำลอง Resistance 0.2069 Ω/km. และ Inductance 0.5 mH/km.
หม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า	โดยทั่วไปหม้อแปลงจำหน่าย จะต่อแบบเดลต้า(Δ)ในด้านแรงสูง และเป็นแบบวาย(Y) สำหรับด้านแรงต่ำ		ในวงจรจำลองเลือกใช้ 2 ขนาด คือ 50 kVA และ 160 kVA โดยมีแรงดัน 22kV/400V, Dyn11
	ให้หม้อแปลงจำหน่าย ต่อแบบวาย(Y)ในด้านแรงสูง และเป็นแบบวาย(Y)มีนิวทรัล สำหรับด้านแรงต่ำ		ในวงจรจำลองเลือกใช้ 2 ขนาด คือ 50 kVA และ 160 kVA โดยมีแรงดัน 22kV/400V, Yyn0
	ให้หม้อแปลงจำหน่าย ต่อแบบวาย(Y)ในด้านแรงสูง และเป็นแบบวาย(Y) สำหรับด้านแรงต่ำ โดยทั้งสองด้านมีนิวทรัล		ในวงจรจำลองเลือกใช้ 2 ขนาด คือ 50 kVA และ 160 kVA โดยมีแรงดัน 22kV/400V, YNyn0

ในการจำลองความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ จะต้องสร้างโมเดลที่ใช้แทนความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระที่เกิดขึ้นภายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โมเดลดังกล่าวมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 โมเดลความผิดพลาดที่ใช้จำลองสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ

ระบบจำหน่ายจริง		ระบบจำหน่ายจำลอง	
ความผิดพลาด	รายละเอียด	โมเดลจำลอง	ค่าตัวแปร
สายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ	เป็นความผิดพลาดแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ด้วยความต้านทานผิดพลาดขนาด 400 โอห์ม		สมมติเวลาสายไฟฟ้าขาดเวลา 0.05 วินาที และใช้เวลาที่สายไฟฟ้าตกลงสู่พื้นด้วยเวลา 0.07 วินาที

ทำการจำลองความผิดพลาดด้วยโมเดลสายไฟฟ้าขาด ดังตารางที่ 3.2 ลงในภาพที่ 3.2 โดยจะจำลองความผิดพลาดในแต่ละช่วงสายตั้งแต่ 1 – 6



ภาพที่ 3.2 การจำลองความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสลงพื้นด้านภาระ

3.2 ออกแบบการจำลองความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระภายในห้องปฏิบัติการ

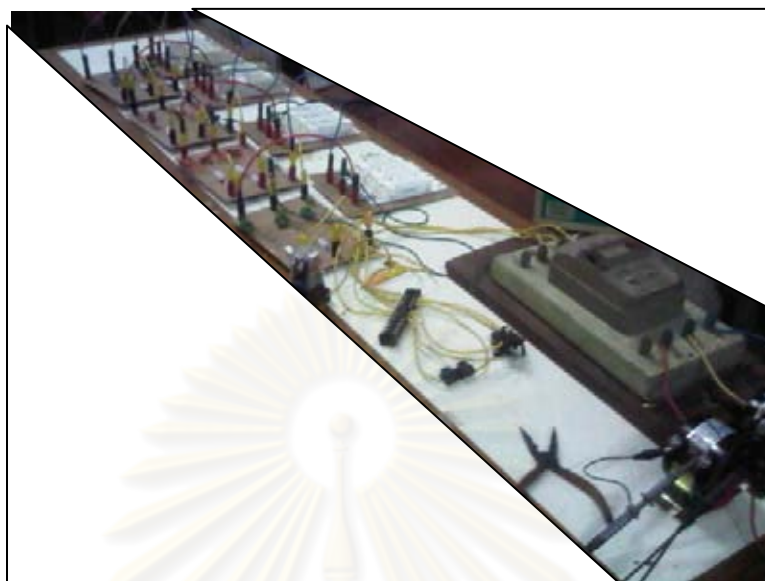
เป็นการออกแบบการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ทางไฟฟ้า และจำลองความผิดพลาดลงในชุดทดลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณลักษณะของความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายที่จำลองด้วยโปรแกรม ATP

โดยอุปกรณ์ที่ใช้ทำการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น ถูกสรุปและเปรียบเทียบกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริง ตามตารางที่ 3.3 ดังนี้

ตารางที่ 3.3 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้จำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า ในห้องปฏิบัติการ

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริง	ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง	
อุปกรณ์ไฟฟ้า	อุปกรณ์จำลอง	ค่าใช้งานของอุปกรณ์
บัสแรงดันสูงปานกลาง		แหล่งจ่ายที่มีแรงดันสายเท่ากับ 400 V ความถี่ 50 Hz
หม้อแปลงกระแส		หม้อแปลงกระแสที่มีอัตราส่วน 30/5 A
สายไฟฟ้าแบบเดินในอากาศ		ใช้ตัวต้านทานอนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำ ในการจำลองสายจำหน่ายไฟฟ้า
หม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า		ใช้บัลลาสต์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำแทนขดลวดของหม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งต่อแบบวายไม่มีนิวทรัล

การนำอุปกรณ์ในตารางที่ 3.3 มาต่อเป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลองจะได้ดังภาพที่ 3.3




ภาพที่ 3.3 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลองที่ใช้ในการทดลอง

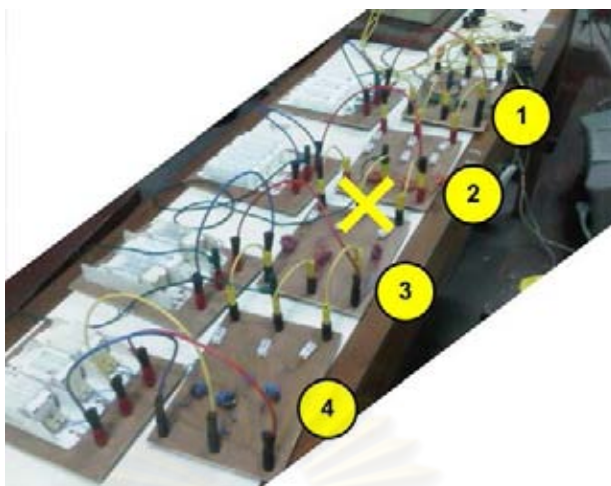
ชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้ จะใช้ออสซิลโลสโคปในการวัดสัญญาณกระแสที่ได้จากหม้อแปลงวัดกระแส โดยแสดงผลการทดลองในรูปแบบของรูปคลื่น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผล

ในการจำลองความผิดพลาดเนื่องจากสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ จะใช้อุปกรณ์ดังแสดงในตารางที่ 3.4 เป็นตัวทำเหตุการณ์ความผิดพลาดแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้น

ตารางที่ 3.4 อุปกรณ์ที่ใช้จำลองความผิดพลาดบนชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริง		ระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง	
เหตุการณ์	รายละเอียด	อุปกรณ์จำลอง	การใช้งานของอุปกรณ์
ความผิดพลาด	เป็นความผิดพลาดแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ		ใช้แมกเนติก คอนแทคเตอร์ ในการจำลองความผิดพลาดของเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วทำให้สายไฟฟ้าสัมผัสกับพื้น

การจำลองเหตุการณ์ความผิดพลาด จะใช้อุปกรณ์ในตารางที่ 3.4 เพื่อทำให้เกิดความผิดพลาดบนชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าในเฟส “C” ระหว่างสายจำหน่ายช่วงที่ 2 – 3 ตามภาพที่ 3.4



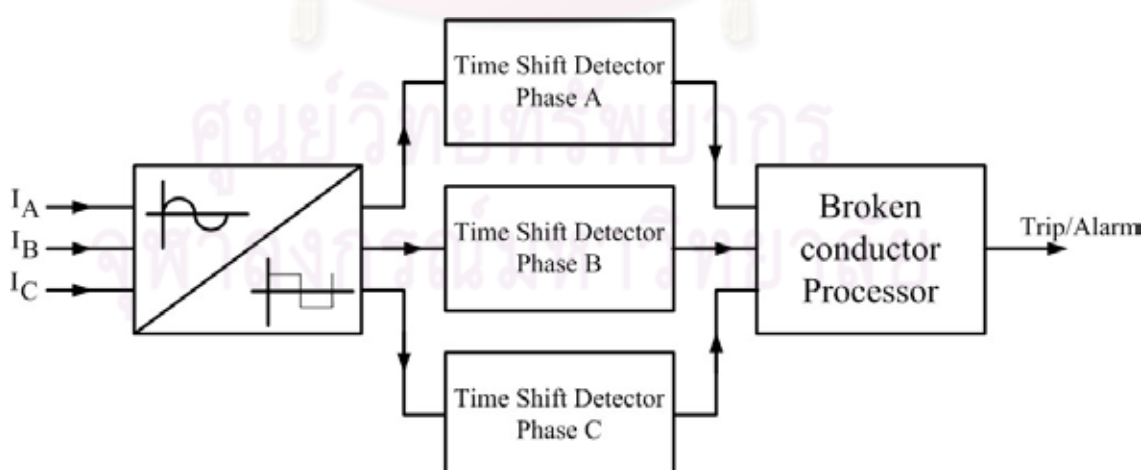
ภาพที่ 3.4 แสดงจุดที่เกิดความผิดปกติ ในชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า คือช่วงที่ 2 – 3

3.3 ออกแบบเทคนิคการตรวจจับความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ

การออกแบบเทคนิคการตรวจจับความผิดปกตินี้ จะอธิบายด้วยแนวคิดที่ใช้ในการออกแบบระบบตรวจจับความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระไฟฟ้า พร้อมทั้งการคำนวณเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับแนวความคิดที่ใช้ในการตรวจจับความผิดปกติ

3.3.1 แนวความคิดในการตรวจจับความผิดปกติ

ในขั้นตอนการออกแบบเทคนิคการตรวจจับนี้ จะแสดงการทำงานด้วย Block diagram ซึ่งมีรูปแบบดังนี้



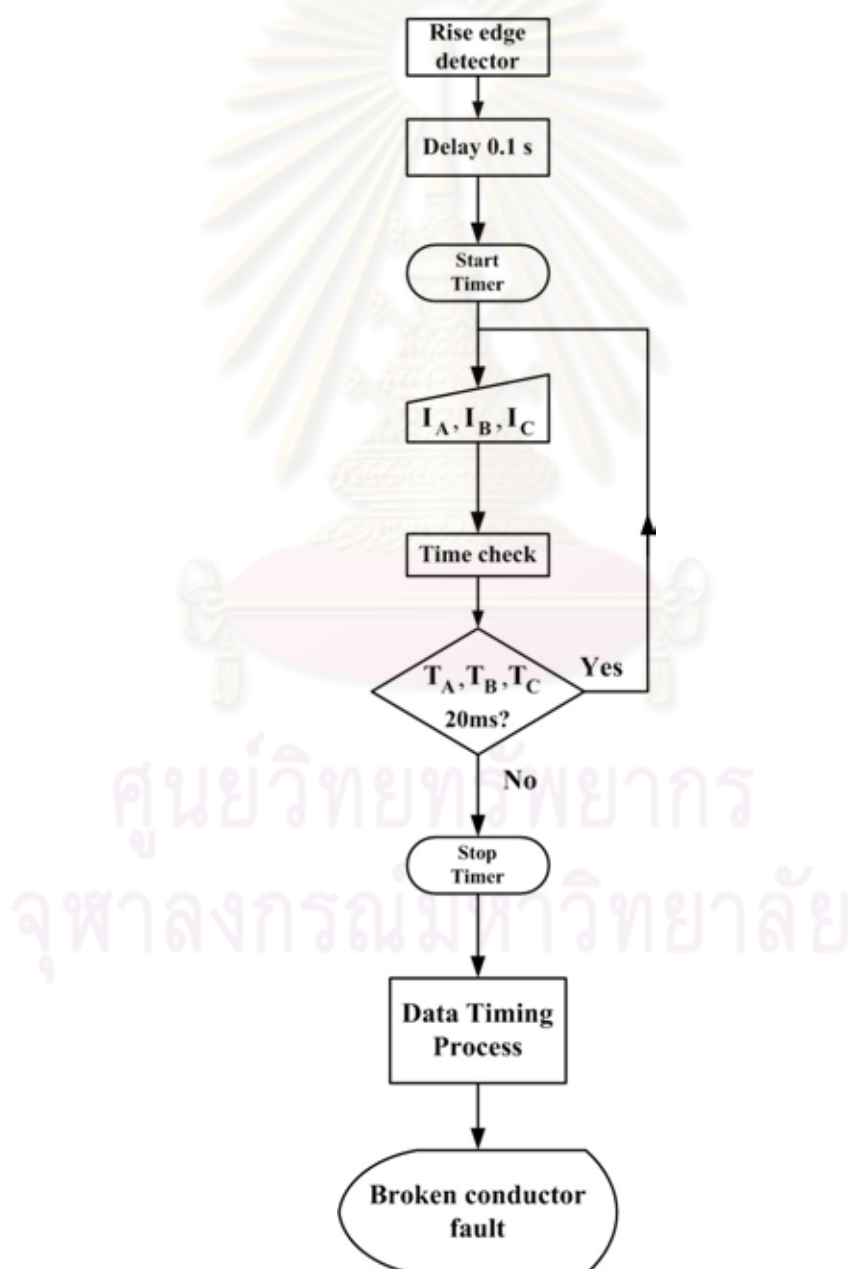
ภาพที่ 3.5 รูปแบบการตรวจจับความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ

สามารถอธิบายถึงเทคนิคการตรวจจับความผิดปกติโดยสังเขป ดังนี้ รับสัญญาณกระแสที่ได้จากหม้อแปลงกระแส นำมาเข้าวงจรการแปลงกระแส จากนั้นสัญญาณขาออกที่ได้จากการแปลง

จะถูกส่งต่อไปยัง ภาคการตรวจจับการเลื่อนของเวลา เพื่อวิเคราะห์สัญญาณความผิดปกติ ในแต่ละเฟส จากนั้นสัญญาณที่ได้จากการวิเคราะห์ของแต่ละเฟสจะนำมาประมวลผลในภาคการระบุเฟสที่เกิดความผิดปกติ แล้วส่งสัญญาณปลดวงจรการจ่ายพลังงานไฟฟ้า หรือส่งสัญญาณแจ้งเตือนให้แก่ผู้ปฏิบัติงานได้

3.3.2 ฟังงานแสดงขั้นตอนการทำงาน (Flow chart diagram)

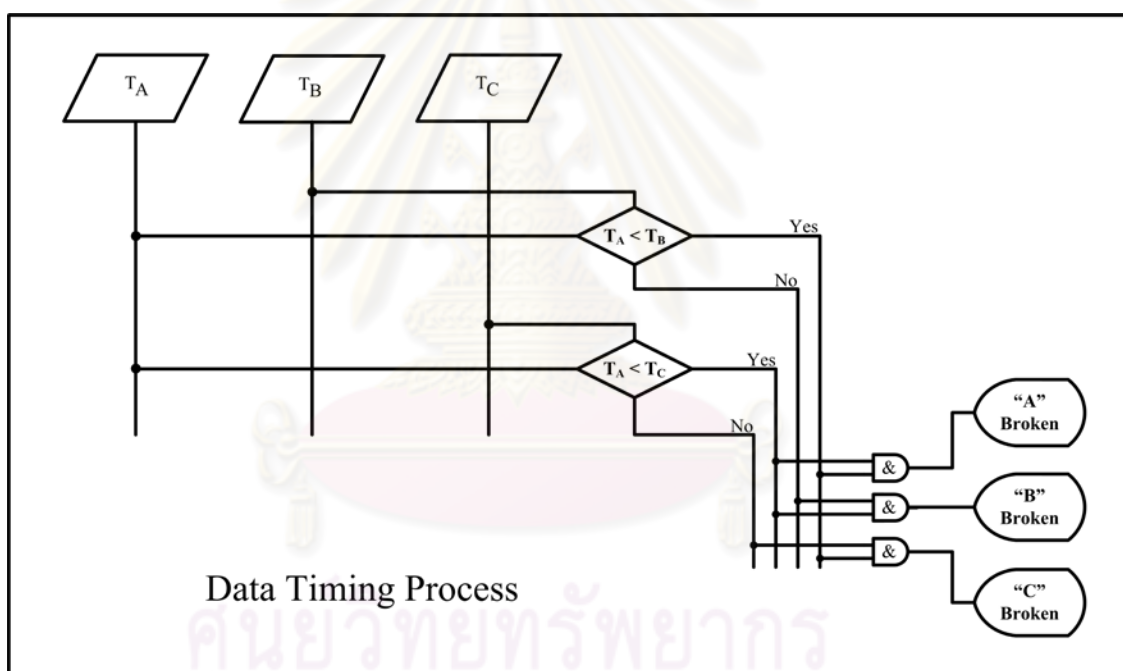
ฟังงานจะแสดงให้เห็นถึงขบวนการทางความคิดของงานวิทยานิพนธ์นี้ โดยแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ฟังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของการตรวจจับความผิดปกติ

ฝั่งงานด้านบนสามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อมีสัญญาณกระแสเข้าสู่ระบบจะทำการตรวจจับขอบขาขึ้นของสัญญาณ เมื่อพบจะทำการหน่วงเวลาไป 100 มิลลิวินาที เพื่อไม่ให้อุปกรณ์ป้องกันที่ออกแบบทำงานในช่วงกระแสกระชาก (Inrush current) แล้วจึงเริ่มเข้าสู่โปรแกรมการตรวจจับเวลา การตรวจจับจะตรวจสอบว่าเวลานั้นเป็น 20 มิลลิวินาที หรือไม่ ถ้าพบว่าใช่ ก็จะตรวจจับสัญญาณของกระแสต่อไป จนเมื่อตรวจสอบแล้วพบว่าเวลาของสัญญาณนั้นเกิดการเลื่อนแตกต่างออกไปจาก 20 มิลลิวินาที ระบบตรวจจับสัญญาณจะหยุดการทำงาน แล้วส่งค่าที่ตรวจสอบได้ไปยัง หน่วยประมวลผลความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นดินภาระ เพื่อวิเคราะห์ความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ฝั่งการทำงานของหน่วยประมวลผลความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นดินภาระ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.7

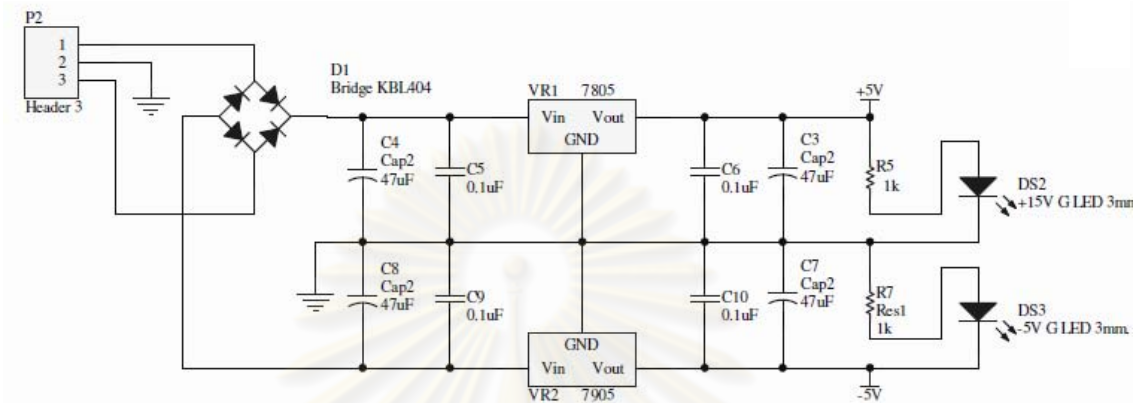


ภาพที่ 3.7 ฝั่งการทำงานของหน่วยประมวลผลความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาด

เมื่อ โปรแกรมการตรวจจับเวลาหยุดทำงาน เวลาของแต่ละเฟสจะถูกบันทึก แล้วถูกส่งเข้ามาสู่หน่วยประมวลผลความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาด การทำงานของหน่วยนี้จะทำการเปรียบเทียบเวลาของสัญญาณกระแสทั้งสามเฟส และเมื่อทำการเปรียบเทียบแล้ว พบว่าเฟสใดที่มีเวลาในการเลื่อนน้อยที่สุด จะเป็นเฟสที่เกิดปัญหาสายจำหน่ายไฟฟ้าขาด พฤติกรรมของความผิดพลาดนี้มาจากการทดลอง ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทที่ 4 เรื่องการจำลองความผิดพลาดเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดและวิเคราะห์ผลการจำลอง

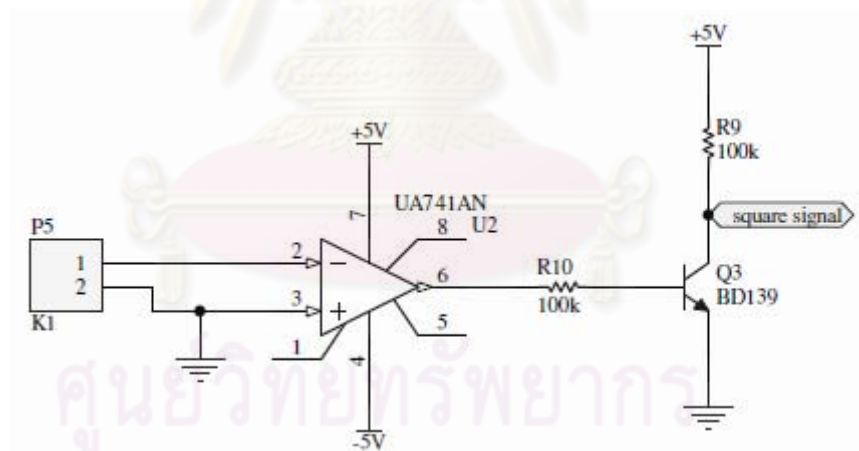
3.3.3 วงจรการตรวจจับความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาด

จากรูปแบบการตรวจจับความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ในภาพที่ 3.5 สามารถนำมาออกแบบวงจรการตรวจจับความผิดปกติได้ โดยแบ่งภาคการทำงานต่างๆดังนี้



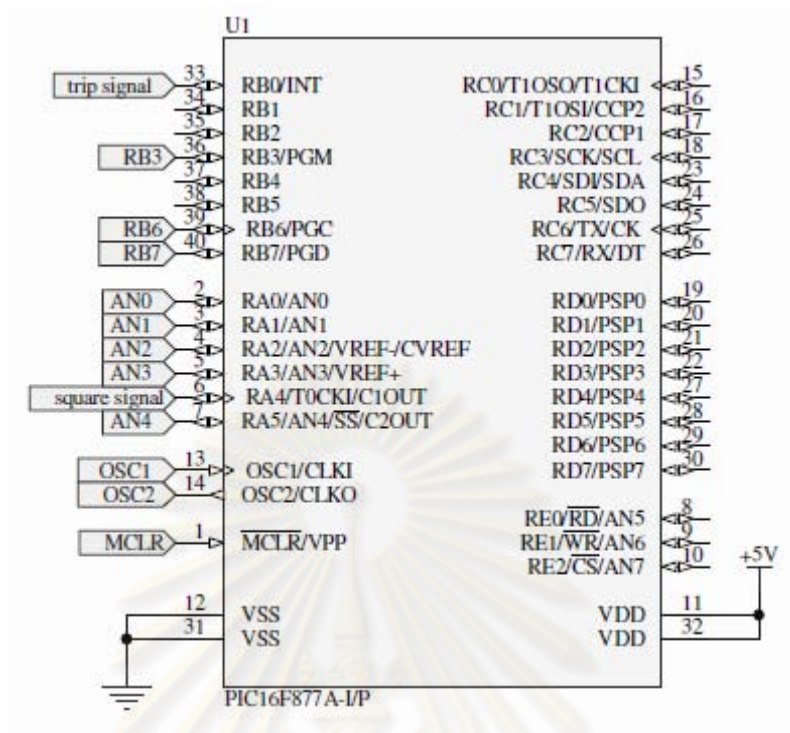
ภาพที่ 3.8 ภาคแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า

ภาคการทำงานนี้ ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และ ไมโครคอนโทรลเลอร์



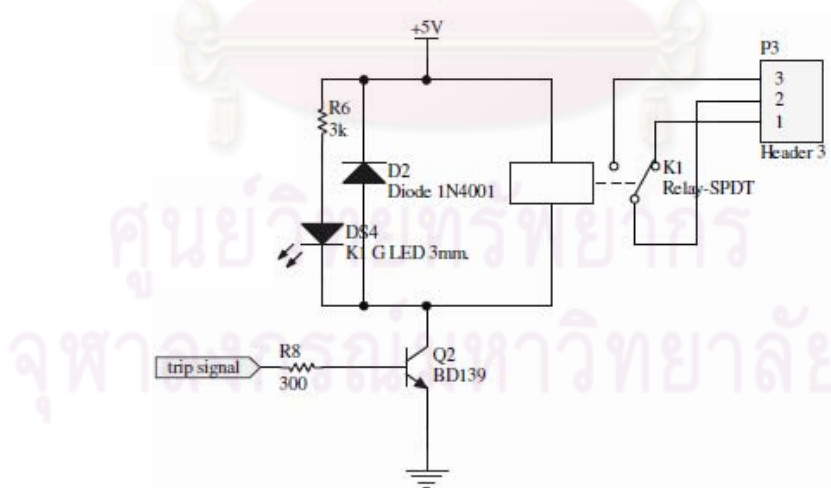
ภาพที่ 3.9 ภาคการแปลงสัญญาณกระแส

ภาคการแปลงสัญญาณกระแสนี้ ทำหน้าที่แปลงสัญญาณรูปคลื่นไซน์ของกระแสไฟฟ้า (Sinusoidal current) ให้เป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square current) เพื่อให้สัญญาณเข้าสู่ภาคการประมวลผลกระแสต่อไป



ภาพที่ 3.10 ภาคการประมวลผลสัญญาณกระแส

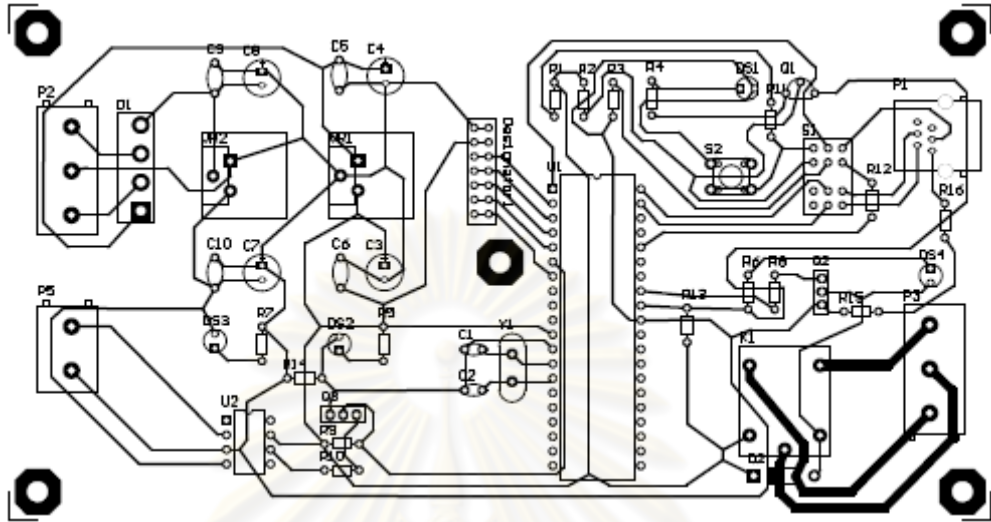
ภาคการประมวลผลสัญญาณกระแส ทำหน้าที่วิเคราะห์การเลื่อนเวลา และการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส เมื่อพบเหตุการณ์ความผิดปกติเนื่องจากสายไฟฟ้าขาด จะทำการส่งสัญญาณไปยังภาคการแจ้งเตือน ต่อไป



ภาพที่ 3.11 ภาคการแจ้งเตือน

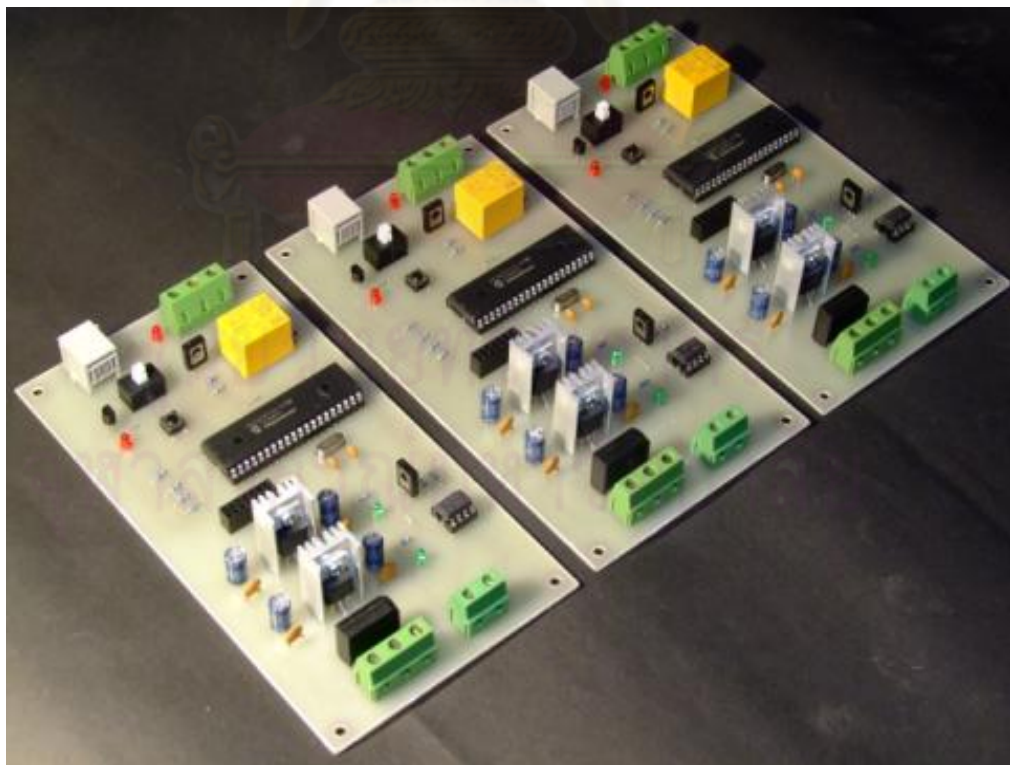
ภาคการทำงานนี้ จะทำหน้าที่เมื่อได้รับสัญญาณจากภาคการประมวลผลสัญญาณกระแส โดยทำการส่งสัญญาณการปลดวงจรจ่ายพลังงาน ไฟฟ้าของเซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือแจ้งเตือนผู้ให้บริการไฟฟ้า

แล้วเมื่อนำภาคการทำงานต่างๆมารวมเข้าด้วยกัน เพื่อประกอบเป็นวงจรการตรวจจับความผิดปกติพร่อง จะได้แบบของวงจรฯ ดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 แบบวงจรการตรวจจับความผิดปกติพร่องแบบสายไฟฟ้าขาด

และเมื่อนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องติดตั้งลงบนแบบวงจรฯ จะทำให้ได้วงจรการตรวจจับที่สมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 วงจรการตรวจจับความผิดปกติพร่องฯ ทั้งสามเฟสที่สมบูรณ์พร้อมใช้งาน

บทที่ 4

การจำลองความผิดพลาดเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดและวิเคราะห์ผลการจำลอง

จากบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงการออกแบบการจำลองความผิดพลาดของเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระไฟฟ้า ทั้งออกแบบโดยโปรแกรม ATP หรือออกแบบโดยอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อจำลองในห้องปฏิบัติการ

ต่อไปจะเป็นการแสดงผลการจำลองความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระไฟฟ้าตามแบบการจำลองต่างๆ พร้อมทั้งวิเคราะห์ผลของสัญญาณกระแสที่ได้จากการจำลองความผิดพลาด

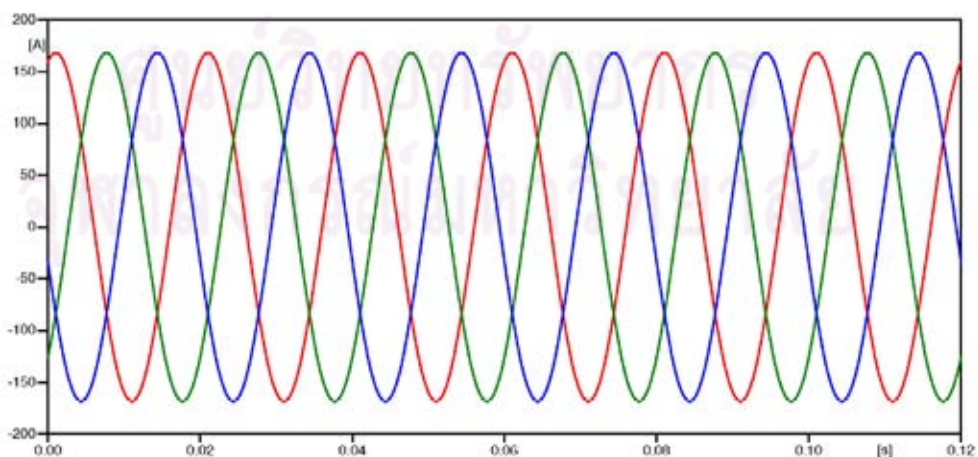
4.1 การจำลองความผิดพลาดด้วยโปรแกรม (ATP – Alternative Transients Program) และวิเคราะห์ผลการจำลอง

4.1.1 การจำลองระบบไฟฟ้าแบบรัศมี (radial circuit) เมื่อภาระเป็นแบบเดลต้า (Delta load)

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้านแรงดันสูงปานกลาง (Medium voltage) นั้น ภาระโดยส่วนใหญ่เป็นการต่อแบบเดลต้า (Delta connection) เพราะฉะนั้นจึงทำการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้ภาระเป็นแบบเดลต้า เพื่อให้ได้ลักษณะที่ใกล้เคียงกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริง

4.1.1.1 ผลการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า เมื่อสภาวะปกติ

ได้รูปคลื่นกระแสสายของทั้งสามเฟส ดังภาพที่ 4.1



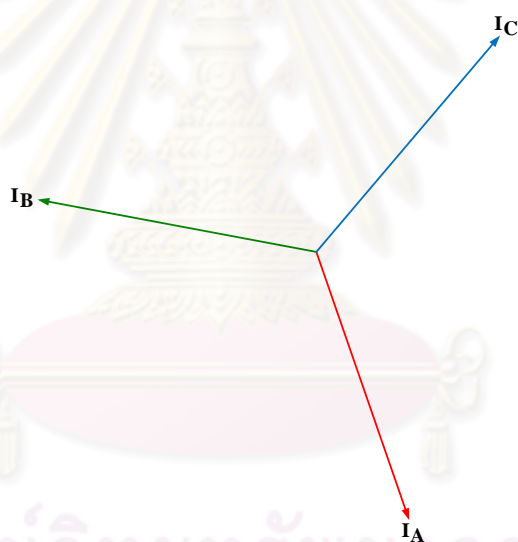
ภาพที่ 4.1 สัญญาณของกระแสสายทั้งสามเฟส ในสภาวะปกติ

กระแสสายที่ตรวจวัดได้ในทั้งสามเฟส มีค่า พอสรูปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของกระแสสาย เมื่อระบบจำหน่ายอยู่ในสภาวะปกติ

I_A (แดง)			I_B (เขียว)			I_C (น้ำเงิน)		
กระแส (A)	มุมเฟส (degree)	เวลาเลื่อน (ms)	กระแส (A)	มุมเฟส (degree)	เวลาเลื่อน (ms)	กระแส (A)	มุมเฟส (degree)	เวลาเลื่อน (ms)
118.95	-70.9	-	118.95	169.38	-	118.95	49.66	-

จากตาราง 4.1 ของวงจรสายป้อนนี้ สามารถนำมาสร้างเวกเตอร์ของกระแสสายได้ โดยจะพบว่า ปริมาณของกระแสทั้งสามเฟสจะมีค่าเท่ากัน ไม่เกิดการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแสขึ้นในสภาวะปกติ และมีมุมเฟสของกระแสทำมุมกันอยู่ที่ 120 องศา ซึ่งเวกเตอร์ของกระแสที่ได้จากตารางที่ 4.1 นั้น แสดงด้วยภาพที่ 4.2

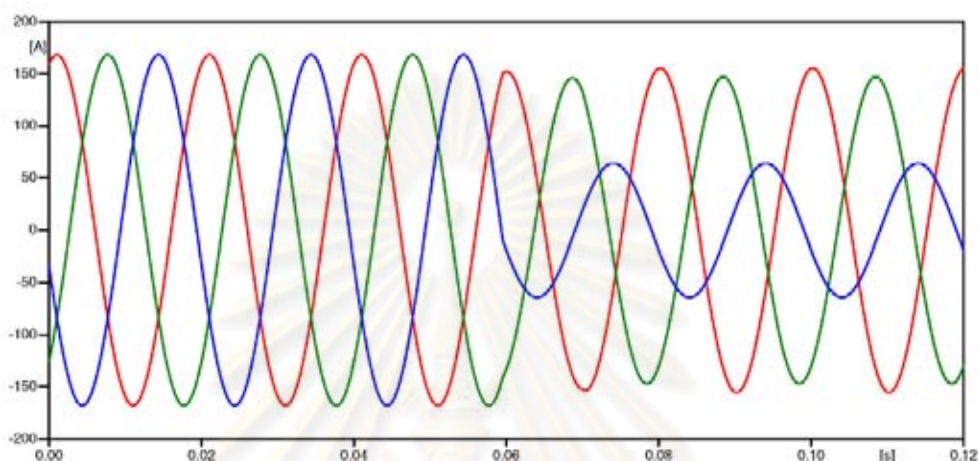


ภาพที่ 4.2 เวกเตอร์ของกระแสสาย เมื่อระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาวะปกติ

ทั้งนี้เวกเตอร์ของกระแสสายในภาพที่ 4.2 นั้น ยังแสดงให้เห็นถึงความปกติของระบบไฟฟ้า เพราะมุมเฟสของกระแสสายแต่ละเฟสทำมุมกันที่ 120 องศา และมีขนาดของกระแสสายที่ใกล้เคียงกันในทุกเฟส

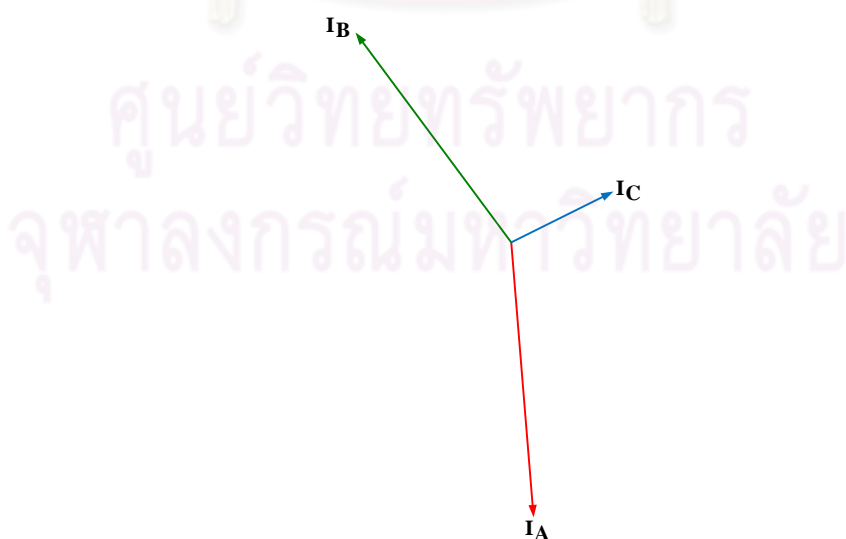
4.1.1.2 ผลการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า ให้เกิดความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นดินภาวะ กรณีที่ภาวะไฟฟ้าเป็นแบบเคลด้า

ตัวอย่างสัญญาณกระแสสาย เมื่อเวลาเกิดความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นดินภาวะ ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างสัญญาณของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในช่วงที่ 3 ของวงจรจำหน่ายไฟฟ้า โดยภาวะเป็นเคลด้า

จากตัวอย่างสัญญาณของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดในช่วงที่ 3 แล้วสัมผัสพื้นดินภาวะ ซึ่งภาวะเป็นแบบเคลด้า พบว่าสัญญาณในเฟส C มีขนาดกระแสสายที่ลดลงที่ชัดเจน ส่วนกระแสสายในเฟส A และ B นั้นลดลงเพียงเล็กน้อย ค่าขนาดของกระแสสายและมุมเฟสของกระแส สามารถนำมาสร้างเวกเตอร์ของกระแสทั้งสามเฟสได้ตามภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างเวกเตอร์ของกระแสสาย เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติ ซึ่งภาวะเป็นเคลด้า

การวิเคราะห์สัญญาณกระแสที่ได้จากการจำลองความผิดพลาด แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของกระแสสายทั้งสามเฟส เมื่อจำลองความผิดพลาดลงบนเฟส “C”

ณ ช่วงความยาวสายต่างๆ โดยภาระเป็นเคลต้า

ช่วงสายที่ขาด	I_A (แดง)			I_B (เขียว)			I_C (น้ำเงิน)		
	กระแส (A)	มุมเฟส (degree)	คาบเวลา (ms)	กระแส (A)	มุมเฟส (degree)	คาบเวลา (ms)	กระแส (A)	มุมเฟส (degree)	คาบเวลา (ms)
1	104.80	-99.74	18.579	101.69	90.80	21.647	0.000	-99.74	0.000
2	106.97	-94.74	18.852	102.28	106.30	21.341	22.70	13.47	19.600
3	109.99	-85.37	19.179	104.02	126.42	21.014	45.38	26.57	19.646
4	111.71	-81.04	19.401	107.42	139.75	20.731	63.88	32.86	19.840
5	113.86	-76.92	19.625	111.23	151.64	20.462	82.37	39.41	19.915
6	116.31	-73.52	19.851	115.19	161.15	20.254	100.73	44.84	19.991

ผลที่ได้การจำลอง จะพบว่ามีการลดลงของกระแสกระเดิม และยังมีมุมเฟสเปลี่ยนแปลงไปอีกด้วย เมื่อเกิดเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ทั้งนี้เพราะเมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระขึ้นในระบบไฟฟ้า ระบบไฟฟ้าจะทำการปรับเข้าสู่สมดุลใหม่

จากผลการจำลองความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าในตารางที่ 4.2 สามารถนำมาทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ โดยการเพิ่มการเปรียบเทียบในมิติของการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส และการเปรียบเทียบในมิติของการเปลี่ยนแปลงเวลาของสัญญาณ เพื่อความชัดเจนในการแยกแยะ หรือระบุความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระได้ดีขึ้น โดยการเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงเวลาของกระแส ถูกแสดงในตารางที่ 4.3 ส่วนตารางที่ 4.5 จะแสดงการเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสสายเมื่อเกิดความผิดพลาด

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบเวลาของสัญญาณกระแสที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม
เมื่อเกิดความผิดปกติต่างๆ ในเฟส “C” ที่ระยะสายจำหน่ายช่วงต่างๆ

ช่วงสาย ที่ขาด	I _A (แดง)		I _B (เขียว)		I _C (น้ำเงิน)	
	คาบเวลา (ms)	การเลื่อน เวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อน เวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อน เวลา (ms)
1	18.579	-1.421	21.647	1.647	-	-
2	18.852	-1.148	21.341	1.341	19.600	-0.400
3	19.179	-0.821	21.014	1.014	19.646	-0.354
4	19.401	-0.599	20.731	0.731	19.840	-0.160
5	19.625	-0.375	20.462	0.462	19.915	-0.085
6	19.851	-0.149	20.254	0.254	19.991	-0.009

การเปรียบเทียบในมิติของเวลาจากตารางด้านบน พบว่าเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นดินภาระที่ระยะสายจำหน่ายใดๆ กระแสเฟส “C” จะมีการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแสน้อยที่สุด นั่นแสดงว่า สายจ่ายไฟฟ้าเฟสที่ขาดจะมีการเลื่อนเวลาที่น้อยที่สุด เมื่อเทียบกับสัญญาณกระแสในเฟสอื่น

เพื่อการยืนยันผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงเวลาของสัญญาณกระแสดังกล่าว จึงเพิ่มการจำลองความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นดินภาระบนระยะสายจำหน่าย 14.5 กิโลเมตร (ช่วงที่ 4) ในเฟส “A” และ “B” ตามลำดับแล้ว เปรียบเทียบเวลาของสัญญาณกระแสที่เลื่อนไปจากระบบไฟฟ้าปกติ ผลการวิเคราะห์เพิ่มเติมนั้น พอสรุปได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์การเลื่อนเวลาของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติในเฟส “A” และ “B” แล้วสัมผัสพื้นดินภาระแบบเคลด้า

เฟสที่ขาด	I _A (แดง)		I _B (เขียว)		I _C (น้ำเงิน)	
	คาบเวลา (ms)	การเลื่อน เวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อน เวลา (ms)	คาบเวลา (ms)
A	19.816	-0.184	19.316	-0.684	20.764	0.764
B	20.660	0.660	19.842	-0.158	19.290	-0.710

พบว่า เมื่อเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติดังกล่าว ในเฟส “A” การเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแสของเฟส “A” จะมีเวลาที่เปลี่ยนไปน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับเฟสที่ไม่ได้เกิดความผิดปกติ ส่วนการขาดในเฟส “B” จะได้ผลเช่นเดียวกับเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดในเฟส “A” และ “C”

จึงสรุปผลการจำลองความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ ในด้านการวิเคราะห์เชิงการเลื่อนเวลาได้ว่า “ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีภาระด้านแรงสูงปานกลางเป็นแบบการต่อเคลต้า (Delta connection) ซึ่งเป็นลักษณะส่วนใหญ่ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าของประเทศไทย จะมีการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแสเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมน้อยที่สุด ในเฟสที่สายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ”

ต่อไปจะวิเคราะห์ในด้านขนาดของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากกระแสโหลด เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ผลการจำลองความผิดปกติฯ พอสรุปได้ดังในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติฯ ในเฟส “C” แต่ละช่วงของสายจำหน่ายแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระแบบเคลต้า

ช่วงสาย ที่ขาด	I_A (แอมป์)		I_B (เอมพิเอ)		I_C (น้ำเงิน)	
	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)
1	104.80	11.90	101.69	14.51	0.000	100.00
2	106.97	10.07	102.28	14.02	22.70	80.92
3	109.99	7.54	104.02	12.56	45.38	61.85
4	111.71	6.09	107.42	9.69	63.88	46.29
5	113.86	4.28	111.23	6.49	82.37	30.76
6	116.31	2.23	115.19	3.17	100.73	15.32

จากผลการวิเคราะห์ในมิติของขนาดกระแสดังกล่าว พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสของเฟส “C” จะมีค่าการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด เมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสของเฟสอื่น

ทำการวิเคราะห์ด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสเพิ่มเติม เพื่อยืนยันผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลง โดยจะทำการจำลองเหตุการณ์สายจ่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระบนระยะทาง

14.5 กิโลเมตร (ช่วงที่ 4) ในเฟส “A” และ “B” ตามลำดับ ผลการจำลองเพิ่มเติม นั้น พอลจะวิเคราะห์เพิ่มเติมได้ตามตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติ บนเฟส “A” และ “B” แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระแบบเดลต้า

เฟส ที่ขาด	I_A (แอมป์)		I_B (เอมพิ)		I_C (น้ำเงิน)	
	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)
A	63.89	46.29	109.46	7.98	106.11	10.80
B	107.43	9.69	63.88	46.30	111.71	6.09

พบว่าเมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นในเฟส “A” จะมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดที่มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงของกระแสเฟสอื่นๆ ส่วนผลที่ได้จากการจำลองความผิดปกติ บนเฟส “B” จะได้ลักษณะเดียวกับเฟส “A”

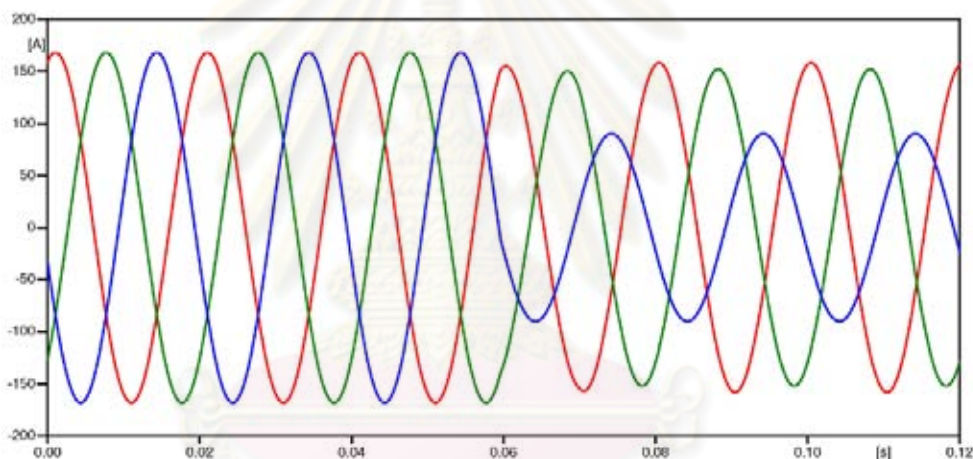
เพราะฉะนั้น จึงสรุปผลของความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ ในด้านของการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสสายได้ว่า “ในระบบจำหน่ายที่มีภาระด้านไฟฟ้าแรงสูงปานกลางเป็นการต่อแบบเดลต้า (Delta connection) นั้น เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสจะเกิดขึ้นมากที่สุดในเฟสที่สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ”

4.1.2 การจำลองระบบไฟฟ้าแบบรัศมี (Radial circuit) เมื่อภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 3 สาย (Load wye without neutral)

หัวข้อนี้จะเปลี่ยนภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองจากเดลต้าไปเป็นวาย 3 เฟส 3 สาย (Load wye without neutral) และจากการจำลองระบบจำหน่ายที่มีภาระเป็นวาย 3 เฟส 3 สายในสภาวะปกติ พบว่ามีผลการจำลองเหมือนกับระบบจำหน่ายที่มีภาระเป็นเดลต้าในสภาวะปกติ ดังนั้นจึงไม่ขอกล่าวถึงสภาวะปกติของระบบจำหน่ายที่มีภาระเป็นวาย 3 เฟส 3 สาย โดยจะขอกกล่าวถึงการจำลองระบบจำหน่ายที่มีภาระแบบวาย 3 เฟส 3 สาย เมื่อเกิดความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ ดังนี้

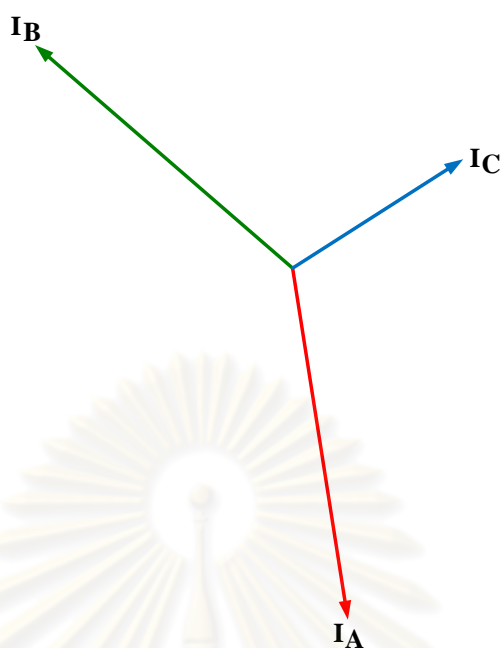
4.1.2.1 ผลการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า ให้เกิดความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ กรณีที่ภาระไฟฟ้าเป็นแบบวาย 3 เฟส 3 สาย

เมื่อทำการจำลองเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ซึ่งภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 3 สาย ในช่วงที่ 4 ของวงจรสายป้อนจำลอง ผลของกระแสสายที่ได้ เมื่อจำลองความผิดปกติ จะถูกแสดงด้วยสัญญาณกระแสทั้งสามเฟส ได้แก่ A, B และ C ซึ่งจะพบว่า สัญญาณกระแสในเฟส C (สีน้ำเงิน) จะมีขนาดของกระแสที่ลดลงมากที่สุด เมื่อเทียบกับสัญญาณกระแส 2 เฟสที่เหลือ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.5 และจากสัญญาณกระแสในภาพที่ 4.5 สามารถวิเคราะห์แล้วสร้างเวกเตอร์ของสัญญาณกระแสสายได้ โดยแสดงไว้ในภาพที่ 4.6 ซึ่งจะพบว่าระบบไฟฟ้าไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุล เพราะเนื่องจากขนาดกระแสที่ลดลงของสัญญาณกระแสเฟส C และมุมเฟสระหว่างกระแสเฟส A กับกระแสเฟส B นั้น มุมเฟสทำมุมกันเกิน 120 องศา



ภาพที่ 4.5 สัญญาณของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติ บนช่วงที่ 4 ของวงจรจำหน่ายไฟฟ้า โดยภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 3 สาย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.6 เวกเตอร์กระแสสาย เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติ ซึ่งภาระเป็นสาย 3 เฟส 3 สาย

จากสัญญาณกระแสที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์ความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาด แล้วตกลงมาสัมผัสกับพื้นด้านภาระ ผลของกระแสสายจะได้ตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลกระแสทั้งสามเฟส เมื่อเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติบนเฟส “C” แล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ แบบสาย 3 เฟส 3 สาย

ช่วง สายที่ ขาด	I_A (แดง)			I_B (เขียว)			I_C (น้ำเงิน)		
	ขนาด (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)	ขนาด (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)	ขนาด (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)
4	111.71	-80.99	19.46	107.42	139.32	20.67	63.88	32.35	19.80

การวิเคราะห์ความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ เมื่อภาระเป็นประเภทสาย 3 เฟส 3 สาย จะทำการวิเคราะห์เหมือนในกรณีภาระที่เป็นแบบเดลต้า คือวิเคราะห์ด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสและด้านการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแส โดยจะเพิ่มการจำลองสายจำหน่ายขาดในเฟส “A” และ “B” ด้วย เพื่อที่เป็นการยืนยันผลการจำลองความผิดปกติว่าการวิเคราะห์นี้ สามารถระบุหรือเจาะจงเฟสที่เกิดความผิดปกติลักษณะดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น การวิเคราะห์ความผิดปกติชนิดนี้ที่มีต่อภาระประเภทสาย 3 เฟส 3 สาย ได้ถูกวิเคราะห์แล้วแสดงในตารางที่ 4.8 เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นการวิเคราะห์ทั้งสองลักษณะคือ ทั้งการวิเคราะห์ด้วยการ

เปลี่ยนแปลงมิติของขนาดกระแสสาย และวิเคราะห์ด้วยมิติการเปลี่ยนแปลงเวลาของสัญญาณกระแสสาย ซึ่งจะพบการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน เมื่อเปรียบเทียบเหตุการณ์สายไฟฟ้าที่ขาดในเฟสเดียวกัน กล่าวคือ ถ้าจะพิจารณากรณีที่สายไฟฟ้าเฟส A ขาด ก็ให้พิจารณาในตารางที่ 4.8 โดยพิจารณาเฉพาะแถวที่เฟสที่ขาดเป็น เฟส A ซึ่งจะพบว่า การเปลี่ยนแปลงของขนาดกระแสเฟส A เกิดขึ้น 46.27%, เฟส B 6.03% และเฟส C 9.63% นั้นหมายความว่าเฟส A ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ความผิดปกติพ่วงมากที่สุด จึงอาจสันนิษฐานได้ว่า สายไฟฟ้าเฟส A เป็นเฟสที่เกิดเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาด ตารางที่ 4.8 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดและการเลื่อนเวลาของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในเฟสต่างๆ แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระแบบสาย 3 เฟส 3 สาย

เฟสที่ขาด	I_A (แดง)		I_B (เขียว)		I_C (น้ำเงิน)	
	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)
A	63.88	46.27	111.73	6.03	107.44	9.63
B	107.43	9.64	63.88	46.26	111.71	6.04
C	111.71	6.04	107.42	9.65	63.88	46.26
เฟสที่ขาด	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)
A	19.797	-0.203	19.297	-0.703	20.696	0.696
B	20.660	0.660	19.842	-0.158	19.290	-0.710
C	19.460	-0.540	20.672	0.672	19.799	-0.201

จากการวิเคราะห์ผลของกระแสในตารางที่ 4.8 พบว่าเมื่อเกิดความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ ซึ่งเป็นประเภทสาย 3 เฟส 3 สาย จะเกิดลักษณะคล้ายกับภาระประเภทเดลด้า กล่าวคือ “เปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสจะมีค่ามากที่สุด และสัญญาณกระแสที่เกิดการเลื่อนเวลาน้อยที่สุด จะปรากฏขึ้นในสายจำหน่ายไฟฟ้าเฟสที่ขาด”

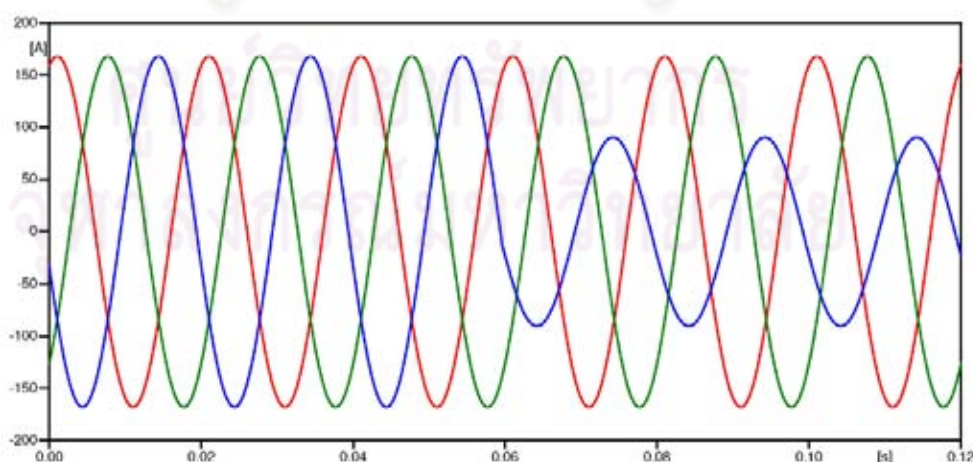
4.1.3 การจำลองระบบไฟฟ้าแบบรัศมี (radial circuit) เมื่อภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 4 สาย (Load wye with neutral)

หัวข้อนี้จะเปลี่ยนภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองความผิดพลาด จากวาย 3 เฟส 3 สาย (Load wye without neutral) ไปเป็นวาย 3 เฟส 4 สาย (Load wye with neutral) และจากการจำลองระบบจำหน่ายที่มีภาระเป็นวาย 3 เฟส 4 สายในสภาวะปกติ พบว่ามีผลการจำลองเหมือนกับระบบจำหน่ายที่มีภาระเป็นเดลต้าในสภาวะปกติ ดังนั้นจึงไม่ขอกล่าวถึงสภาวะปกติของระบบจำหน่ายที่มีภาระเป็นวาย 3 เฟส 4 สาย โดยจะขอกล่าวถึงการจำลองระบบจำหน่ายที่มีภาระแบบวาย 3 เฟส 4 สาย เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ ดังนี้

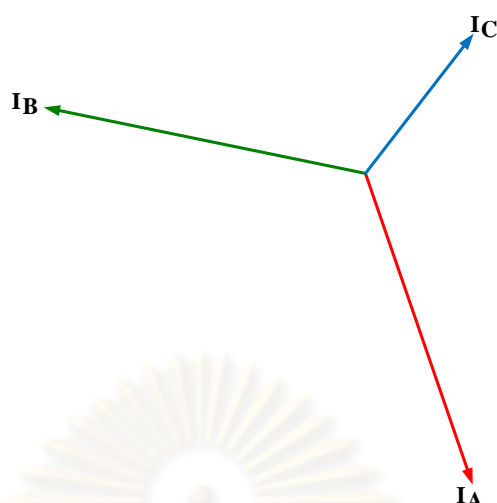
4.1.3.1 ผลการจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า ให้เกิดความผิดพลาดเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ กรณีที่ภาระไฟฟ้าเป็นแบบวาย 3 เฟส 4 สาย

การจำลองความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ซึ่งภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 4 สาย (Load wye with neutral) นี้จะทำการจำลองความผิดพลาดฯ บนเฟส “C” ของสายจำหน่ายไฟฟ้าระยะทาง 14.5 กิโลเมตรจากสถานีไฟฟ้า (ช่วงที่ 4) ด้วยความต้านทานผิดพลาด 400 โอห์ม

ผลการจำลองความผิดพลาดฯ ได้แสดงด้วยสัญญาณกระแสทั้งสามเฟส ดังภาพที่ 4.7 และสามารถสร้างเวกเตอร์ของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดพลาดฯ โดยแสดงในภาพที่ 4.8 ซึ่งเวกเตอร์ของกระแสสายในภาพที่ 4.8 นั้น แสดงให้เห็นว่าระบบไฟฟ้าเกิดความไม่สมดุลขึ้น เมื่อเกิดความผิดพลาดแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสกับพื้นด้านภาระ



ภาพที่ 4.7 สัญญาณของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดพลาดฯ ในช่วงที่ 4 ของวงจรจำหน่ายไฟฟ้า โดยภาระเป็นแบบวาย 3 เฟส 4 สาย



ภาพที่ 4.8 เวกเตอร์กระแสสาย เมื่อระบบไฟฟ้าเกิดความผิดปกติ ซึ่งภาระเป็นสาย 3 เฟส 4 สาย

จากสัญญาณที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์ความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้ว สัมผัสพื้นด้านภาระ พอสรุปผลได้ตามตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลกระแสทั้งสามเฟส เมื่อเกิดเหตุการณ์ความผิดปกติบนเฟส “C” บนระยะสายส่ง ช่วงที่ 4 แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ แบบสาย 3 เฟส 4 สาย

ช่วง สายที่ ขาด	I_A (แดง)			I_B (เขียว)			I_C (น้ำเงิน)		
	ขนาด (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)	ขนาด (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)	ขนาด (A)	มุมเฟส (degree)	คาบ เวลา (ms)
4	118.89	-70.95	20	118.89	168.43	20	63.89	52.19	19.83

การวิเคราะห์ความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระ เมื่อภาระเป็นประเภทการต่อแบบสาย 3 เฟส 4 สาย จะทำการวิเคราะห์ความผิดปกติ เหมือนในกรณีของภาระที่เป็นแบบ สาย 3 เฟส 3 สาย คือวิเคราะห์ด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสและวิเคราะห์ด้านการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแส โดยจะเพิ่มการจำลองเหตุการณ์สายจำหน่ายขาดในเฟส “A” และ “B” ด้วย เพื่อที่จะสามารถระบุหรือเจาะจงเฟสที่เกิดความผิดปกติในลักษณะดังกล่าวได้ดียิ่งขึ้น การวิเคราะห์กระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติ ต่อภาระประเภทสาย 3 เฟส 4 สาย ผลการวิเคราะห์ด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดกระแสสาย และการวิเคราะห์ด้านการเปลี่ยนแปลงเวลาของสัญญาณกระแสนั้น ได้ถูกแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดและการเลื่อนเวลาของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติพร้อมๆ ในเฟสต่างๆ แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระแบบ วาย 3 เฟส 4 สาย

เฟส ที่ขาด	I_A (แดง)		I_B (เขียว)		I_C (น้ำเงิน)	
	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (A)	เปลี่ยนแปลง (%)
A	63.89	46.26	118.91	0.018	118.89	0.000
B	118.87	0.018	63.89	46.26	118.88	0.006
C	118.89	0.000	118.89	0.000	63.89	46.26
เฟส ที่ขาด	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)
A	19.797	-0.203	20	-	20	-
B	20	-	19.842	-0.158	20	-
C	20	-	20	-	19.830	-0.170

จากตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ผลของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ซึ่งเป็นประเภทวาย 3 เฟส 4 สาย สามารถแยกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 กรณี คือ

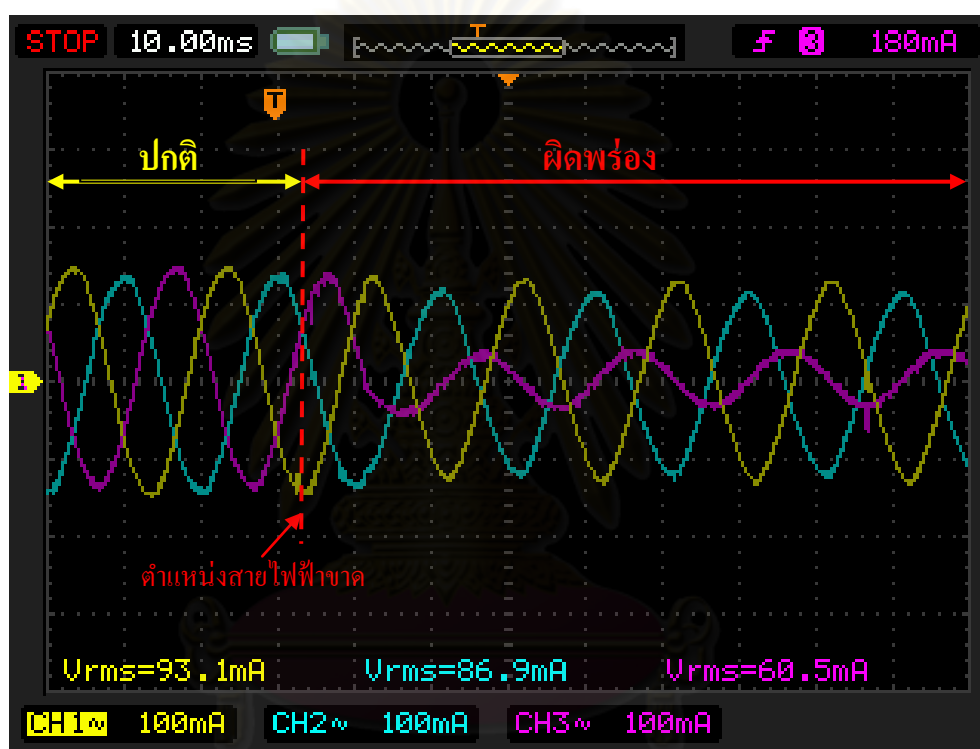
กรณีที่ 1 ด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสสาย พบว่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสมีค่าการเปลี่ยนแปลงมากในสายจำหน่ายไฟฟ้าเฟสที่ขาด ซึ่งจะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเหมือนกับการต่อภาระแบบเดลต้า และวาย 3 เฟส 3 สาย

กรณีที่ 2 ด้านการเปลี่ยนแปลงการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแสสายมีลักษณะแตกต่างกับภาระประเภทเดลต้าหรือวาย 3 เฟส 3 สาย คือ สัญญาณกระแสสายมีการเลื่อนเวลาเกิดขึ้นเฉพาะในสายจำหน่ายไฟฟ้าเฟสที่ขาด

4.2 การจำลองความผิดปกติภายในห้องปฏิบัติการและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การจำลองเหตุการณ์ความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสกับพื้นด้านภาระ ลงบนระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลองภายในห้องปฏิบัติการนั้น จะทดลอง/วิจัยในลักษณะเดียวกันกับการจำลองความผิดปกติ ด้วยโปรแกรมประยุกต์

ผลของกระแสสาย เมื่อจำลองความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง ที่วัดรูปคลื่นผ่านดิจิตอลออสซิลโลสโคป ดังแสดงในภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 สัญญาณของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติ ในระหว่างช่วงที่ 2 กับ 3 ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าในช่วงปกติ สัญญาณกระแสสายจะไม่มีเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเกิดเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาด ณ ตำแหน่งเส้นประสีแดงในภาพที่ 4.9 จะพบการเปลี่ยนแปลงกระแสสายในทุกเฟส และเฟส C เป็นเฟสที่มีการเปลี่ยนแปลงลดลงมากที่สุด ส่วนเฟส A และเฟส B มีการเปลี่ยนแปลงกระแสสายจากเดิมเล็กน้อย

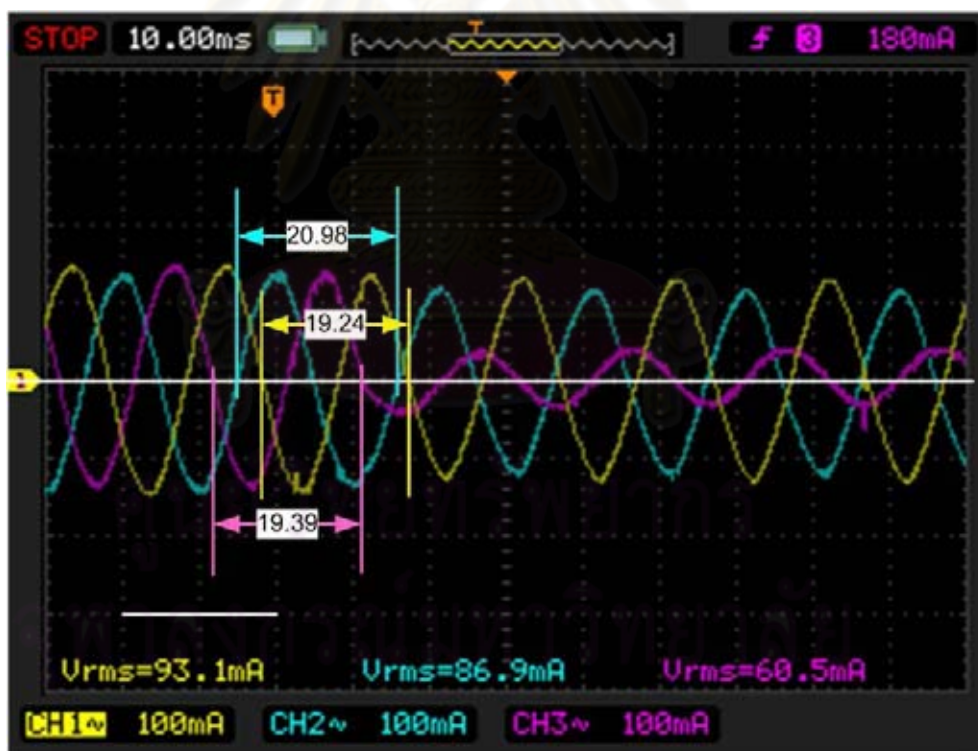
ปริมาณกระแสสายทั้งสามเฟสได้แสดงในรูปแบบของตาราง เมื่อเหตุการณ์ความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาดได้ถูกจำลองในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง ตามตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ปริมาณกระแสทั้งสามเฟส เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบ ในเฟส "C"

ช่วงสายที่ขาด	I_A (เหลือง)			I_B (ฟ้า)			I_C (ชมพู)		
	ขนาด (mA)	มุมเฟส (degree)	คาบเวลา (ms)	ขนาด (mA)	มุมเฟส (degree)	คาบเวลา (ms)	ขนาด (mA)	มุมเฟส (degree)	คาบเวลา (ms)
2-3	93.1	-50	19.24	86.9	142.64	20.98	60.5	46.82	19.38

จากสัญญาณของกระแสสาย เมื่อเกิดความผิดปกติ ในระหว่างช่วงที่ 2 กับ 3 ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง ในภาพที่ 4.9 นั้น สามารถวิเคราะห์ผลกระแสสายได้ 2 ลักษณะคือ ด้านการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส และด้านการเปลี่ยนแปลงการเลื่อนของเวลา

การวิเคราะห์ด้านการเปลี่ยนแปลงการเลื่อนเวลานั้น ได้ถูกวิเคราะห์ลงไป ในภาพที่ 4.10 ซึ่งพบว่าคาบเวลาของกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสจะเปลี่ยนแปลงไปจาก 20 มิลลิวินาทีทั้งสิ้น



ภาพที่ 4.10 วิเคราะห์ด้านการเลื่อนของเวลา เมื่อเกิดความผิดปกติ ในระหว่างช่วงที่ 2 กับ 3 ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง

ส่วนการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดและการเลื่อนเวลาของสัญญาณกระแส และจากการวิเคราะห์ดังกล่าว พอสรุปได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดและการเลื่อนเวลาของกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติ
ในเฟส “C” แล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ

เฟส ที่ขาด	I_A (เหลือง)		I_B (ฟ้า)		I_C (ชมพู)	
	กระแส (mA)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (mA)	เปลี่ยนแปลง (%)	กระแส (mA)	เปลี่ยนแปลง (%)
C	93.10	5.95	86.90	12.22	60.50	38.88
เฟส ที่ขาด	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)	คาบเวลา (ms)	การเลื่อนเวลา (ms)
C	19.24	-0.760	20.98	0.980	19.39	-0.610

ผลวิเคราะห์ของตารางด้านบน พบว่าเมื่อเกิดความผิดปกติเนื่องจากสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ซึ่งภาระของชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้านี้เป็นแบบวาย 3 เฟส 3 สาย จะได้ลักษณะที่ระบุความผิดปกติได้ดังนี้คือ “เปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแสจะมีค่ามากที่สุด และสัญญาณที่เกิดการเลื่อนเวลาน้อยที่สุด จะปรากฏขึ้นในสายจำหน่ายไฟฟ้าเฟสที่ขาด”

ตารางที่ 4.13 ลักษณะเฉพาะของความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ

ภาระไฟฟ้า	จุดสังเกต	คุณลักษณะของความผิดปกติ	
		เฟสที่ปกติ	เฟสที่ขาด
เดลต้า	% การเปลี่ยนแปลงกระแส	ไม่เกิน 15% ของกระแสโหลด	มากกว่า 15% ของกระแสโหลด
	การเลื่อนเวลาของกระแส	เกิดการเลื่อนเวลา	เกิดการเลื่อนเวลา น้อยที่สุด
วาย 3 เฟส 3 สาย	% การเปลี่ยนแปลงกระแส	มีการลดลงของ กระแสโหลด	มีการลดลงของกระแส มากที่สุด
	การเลื่อนเวลาของกระแส	เกิดการเลื่อนเวลา	เกิดการเลื่อนเวลา น้อยที่สุด
วาย 3 เฟส 4 สาย	% การเปลี่ยนแปลงกระแส	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง	มีการลดลงของกระแส
	การเลื่อนเวลาของกระแส	ไม่มีการเลื่อนเวลา	เกิดการเลื่อนเวลา

4.3 การทดสอบตรวจจับความผิดปกติจากเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ ด้วยวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์

ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำอุปกรณ์ที่ได้ออกแบบตามหัวข้อการออกแบบเทคนิคการตรวจจับความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ มาทดลองตรวจจับความผิดปกติที่จะเกิดขึ้นในชุดจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการ

4.3.1 ทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติด้วยเครื่องสอบเทียบ

การทดสอบดังกล่าวจะเป็นการสมมติการเปลี่ยนแปลงคาบเวลาของสัญญาณขาเข้าด้วยเครื่องสอบเทียบ FLUKE รุ่น CALIBRATOR 5500A เข้าไปยังอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติฯ เสมือนว่าสัญญาณกระแสเกิดการเลื่อนเวลา การเลื่อนเวลาในที่นี้จะใช้การเปลี่ยนความถี่ของสัญญาณแทนการเลื่อนเวลาของสัญญาณ



(ก) ในสภาวะปกติ (50 Hz)



(ข) ในสภาวะผิดปกติ (53 Hz)

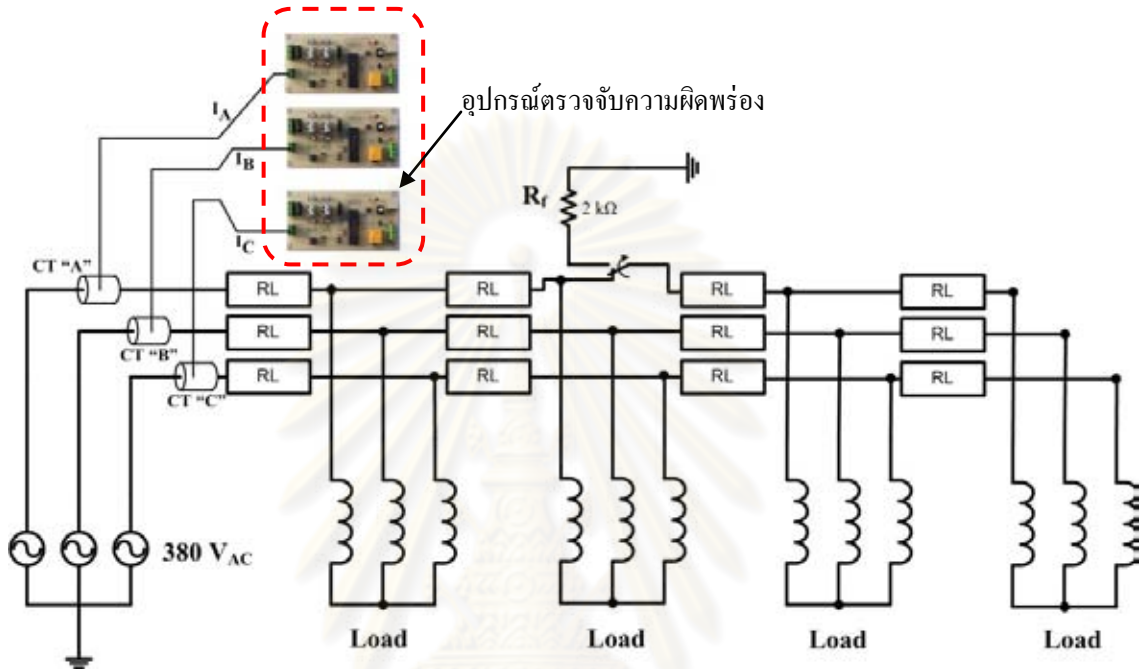
ภาพที่ 4.11 การทดลองอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติกับเครื่องสอบเทียบ

ในภาพที่ 4.11(ก) อุปกรณ์ตรวจจับฯ เมื่อพบว่าสัญญาณที่ตรวจวัดมีค่าความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ (วงกลมสีแดง) หรือคาบเวลา 20 มิลลิวินาที อุปกรณ์ตรวจจับฯ จะไม่มีสัญญาณแจ้งเตือนปรากฏขึ้น (หลอด LED ภายในวงกลมสีน้ำเงิน ไม่สว่าง)

ส่วนภาพที่ 4.11(ข) นั้นอุปกรณ์ตรวจจับฯ พบสัญญาณที่มีความถี่ 53 เฮิร์ตซ์ (วงกลมสีแดง) หรือคาบเวลา 18.87 มิลลิวินาที อุปกรณ์ตรวจจับฯ จะมีสัญญาณแจ้งเตือนปรากฏขึ้น (หลอด LED ภายในวงกลมสีน้ำเงิน สว่าง)

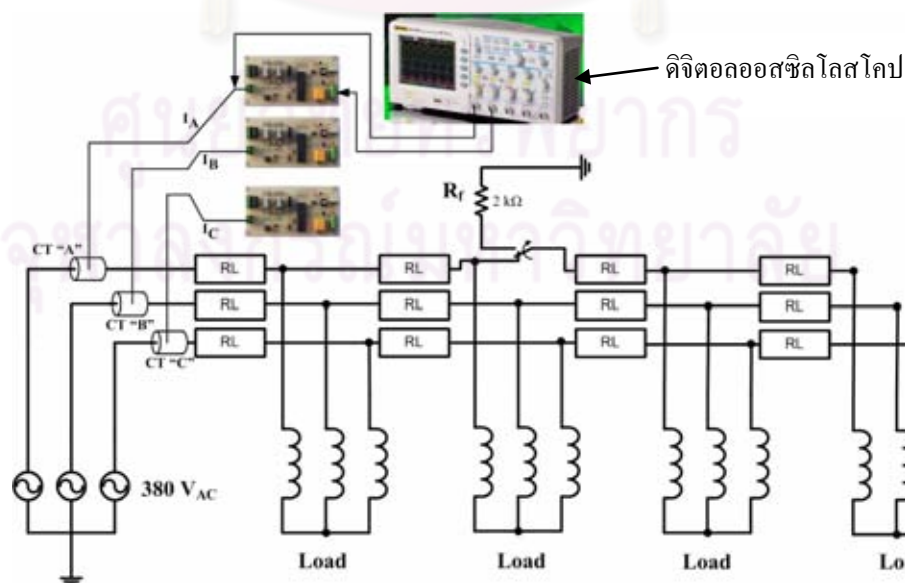
4.3.2 การทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติด้วยการจำลองความผิดปกติในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง

วงจรการทดสอบความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์ความผิดปกติให้ทำการป้องกันหรือแจ้งเตือน เมื่อตรวจพบความผิดปกติ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.12



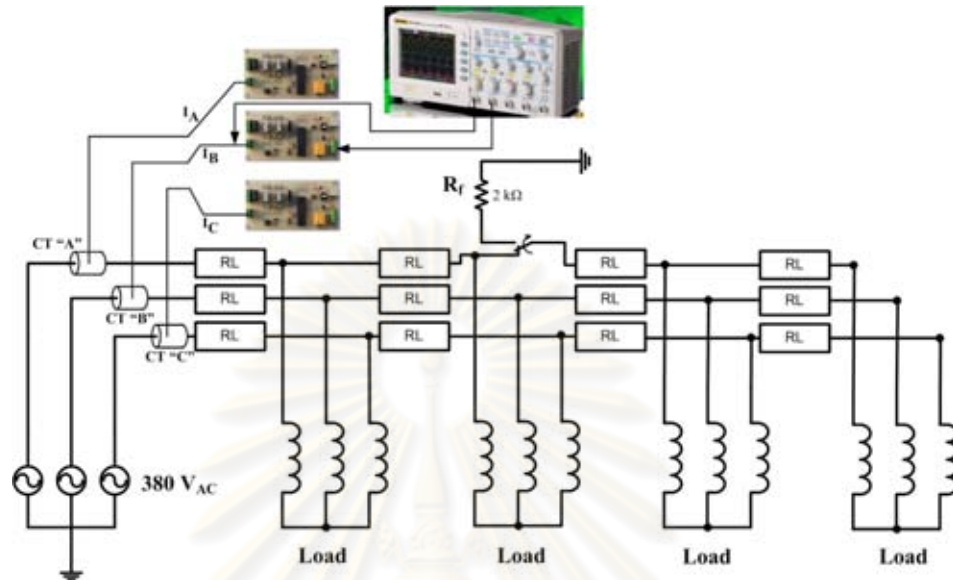
ภาพที่ 4.12 วงจรการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกับเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมา สัมผัสพื้นด้านาระบบสาย 3 เฟส 3 สาย

ทดลองการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติในเฟส A โดยต่อวงจรตามภาพที่ 4.13



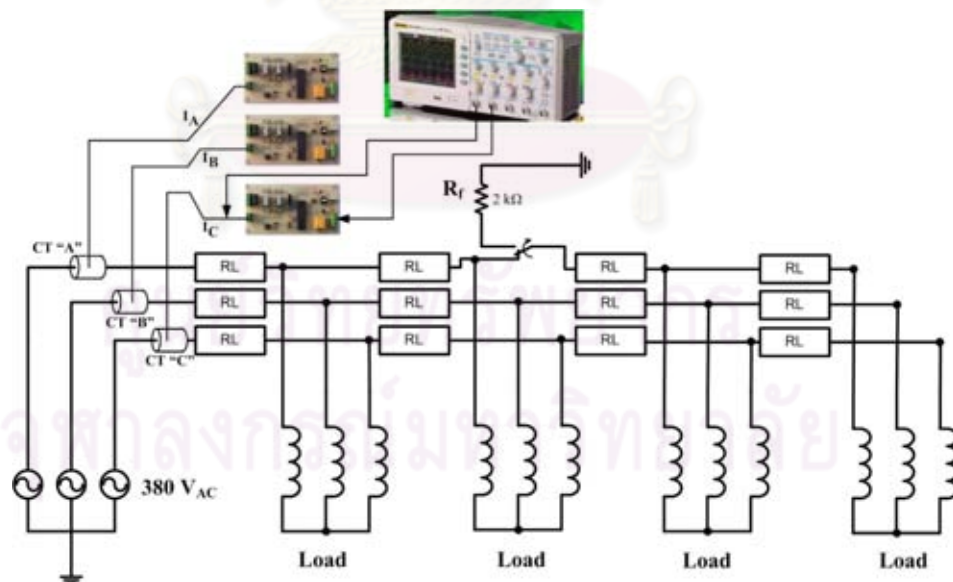
ภาพที่ 4.13 วงจรวัดสัญญาณกระแสเฟส A เทียบกับสัญญาณการทำงานของวงจรตรวจจับเฟส A

ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันที่อุปกรณ์ตรวจจับความผิดพลาดของเฟส B โดยต่อวงจรตามภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 วงจรวัดสัญญาณกระแสเฟส B เทียบกับสัญญาณการทำงานของวงจรตรวจจับเฟส B

ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันที่อุปกรณ์ตรวจจับความผิดพลาดของเฟส C โดยต่อวงจรตามภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 วงจรวัดสัญญาณกระแสเฟส C เทียบกับสัญญาณการทำงานของวงจรตรวจจับเฟส C

การทำการทดลองในลักษณะนี้ เพราะอุปกรณ์ตรวจจับฯ จะอาศัยหลักการเลื่อนเวลาและการเปลี่ยนแปลงขนาดของกระแส เมื่อตรวจพบการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวฯ อุปกรณ์ตรวจจับจะส่งสัญญาณแจ้งเตือนออกมา ด้วยเหตุนี้จึงต้องทำการเปรียบเทียบสัญญาณขาเข้า ซึ่งก็คือสัญญาณกระแส

ที่ได้จากหม้อแปลงวัดกระแส กับสัญญาณขาออก ซึ่งก็คือคือสัญญาณแรงดัน โดยใช้ CH1 ของ ออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณขาเข้า ซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์ ส่วน CH2 ของ ออสซิลโลสโคปทำการวัดสัญญาณขาออก (Output) ซึ่งก็คือสัญญาณแรงดันของอุปกรณ์ตรวจจับ ความผิดปกติ ซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง

การทดลองทั้ง 3 กรณีดังกล่าวนี้ เป็นการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ เมื่อจำลองความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสดินในเฟส A ของระบบไฟฟ้าจำลอง ทั้งยังจะทำให้ทราบถึงเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับฯ ว่ารวดเร็วเพียงใด เมื่อตรวจจับได้ว่า เกิดความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระชั้นในระบบไฟฟ้า จำลอง

การนำอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติไปเฟ้อะวังระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง นั้นได้ถูกแสดงใน ภาพที่ 4.16

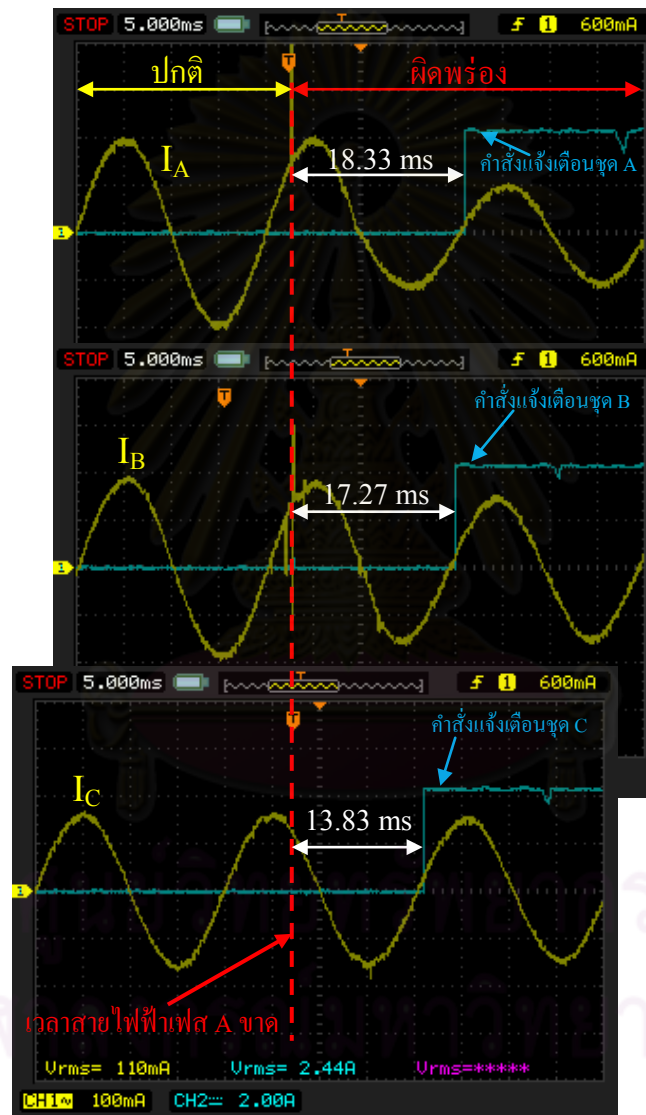


ภาพที่ 4.16 อุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติฯ ที่ต่อร่วมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.3 ผลการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ

ผลการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ นั้น จะแสดงผลการทำงานผ่านดิจิตอลออสซิลโลสโคป (Digital Oscilloscope) ซึ่งเป็นการแสดงผลของสัญญาณกระแสเทียบกับสัญญาณอ้างอิงของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ



ภาพที่ 4.17 แสดงการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ ณ ตำแหน่งเวลาที่สายไฟฟ้าขาด

สัญญาณกระแสสาย และสัญญาณอ้างอิงเตือนของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ ได้ถูกแสดงไว้
ภาพที่ 4.17 โดยสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (สีเหลือง) เป็นสัญญาณกระแสสายของเฟสต่างๆ ส่วนสัญญาณกระแสตรง (สีฟ้า) นั้นเป็นสัญญาณอ้างอิงเตือนของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติใน

แต่ละเฟส จะพบว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์สายไฟฟ้าขาด (เส้นประสีแดง) อุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ จะใช้เวลาในการแจ้งเตือนแตกต่างกัน โดยอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ ของเฟส A ใช้เวลาในการแจ้งเตือนอยู่ที่ 18.33 มิลลิวินาที, อุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ ของเฟส B ใช้เวลาในการแจ้งเตือนอยู่ที่ 17.27 มิลลิวินาที และอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ ของเฟส C ใช้เวลาในการแจ้งเตือน อยู่ที่ 13.83 มิลลิวินาที

จากการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสกับพื้นด้านภาระ ทั้ง 3 ชุด คืออุปกรณ์ตรวจจับเฟส A, อุปกรณ์ตรวจจับเฟส B และอุปกรณ์ตรวจจับเฟส C พบว่าเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า อุปกรณ์ทั้งสามชุดดังกล่าวสามารถที่จะตอบสนองต่อความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ เพราะมีสัญญาณแจ้งเตือนปรากฏออกมาให้เห็น ส่วนในสถานะปกติของระบบไฟฟ้า อุปกรณ์ดังกล่าวก็ไม่ส่งสัญญาณแจ้งเตือนออกมา นับว่าอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นด้านภาระนั้น สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามหน้าที่การเฝ้าระวังระบบไฟฟ้า



ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

เหตุการณ์ความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้น เป็นความผิดปกติที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้า การเกิดความผิดปกติลักษณะนี้ นำมาซึ่งการสูญเสียชีวิต และทรัพย์สิน และระบบป้องกันที่ใช้อยู่ในระบบไฟฟ้าก็ไม่สามารถกำจัดความผิดปกติลักษณะนี้ออกจากระบบไฟฟ้าได้ ในการจะศึกษาและวิจัยปัญหานี้ ต้องอาศัยทฤษฎีและความรู้ด้านระบบไฟฟ้ากำลัง ประกอบกันหลายเรื่อง เพื่ออธิบายและวิเคราะห์เหตุการณ์ความผิดปกติ อาทิเช่น ความรู้ด้านระบบป้องกันในระบบไฟฟ้า เพื่อที่จะสามารถอธิบายถึงปัญหาของระบบป้องกันในปัจจุบันว่าไม่มีความสามารถในการป้องกันความผิดปกติประเภทสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นได้, ความรู้ด้านระบบการต่อลงดิน ใช้เพื่ออธิบายถึงอันตรายที่เกิดจากความผิดปกติชนิดนี้, ต้องเข้าใจถึงลักษณะและประเภทของความผิดปกติแบบต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้า เพื่อใช้ลักษณะจำเพาะของความผิดปกติในการแยกประเภท และทฤษฎีอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น

เมื่อศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีต่างๆเรียบร้อยแล้ว ก็มาถึงขั้นตอนการออกแบบ ขั้นตอนนี้นับว่าเป็นขั้นตอนแรก เพราะเป็นการออกแบบ และวางแผนการทดลอง โดยเริ่มที่การจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้ในการวิจัย เลือกระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้งานที่ระดับแรงดัน 22 kV มีหม้อแปลงจำหน่ายกระจายตามวงจร สายป้อนจำนวน 4 – 6 เครื่อง ส่วนสายไฟฟ้าให้เป็นสาย SAC – Space Aerial Cable ขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร ความยาวของวงจรสายป้อนนี้ เท่ากับ 39.5 กิโลเมตร จากลักษณะของระบบจำหน่ายที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น สามารถแบ่งการออกแบบได้เป็น 2 แบบคือ 1. จำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า ด้วยโปรแกรมประยุกต์ และ 2. จำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า ภายในห้องปฏิบัติการ การจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้น เพื่อให้สามารถทดลอง/จำลองความผิดปกติแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ ทำให้การจำลองความผิดปกติแบ่งเป็น 2 แบบเช่นกัน ต่อไปจะเป็นการจำลองความผิดปกติฯ ลงบนระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลองที่ได้สร้างขึ้น ทั้ง 2 แบบ และปรากฏว่าการจำลองทั้ง 2 แบบให้ผลลัพธ์ที่ได้หลังจากทำการจำลองความผิดปกติฯ เหมือนกัน คือสัญญาณกระแสสายมีการเปลี่ยนแปลงทั้งสามเฟส โดยเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณของกระแส และในเชิงของเวลาด้วย เมื่อทำการจำลองเหตุการณ์สายจำหน่ายไฟฟ้าขาดในช่วงระยะทางต่างๆบนวงจรสายป้อน อีกทั้งยังจำลองการขาดบนสายไฟฟ้าเฟสอื่นด้วยนั้น จะพบลักษณะจำเพาะที่สำคัญในการนำไปออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติดังกล่าว

อุปกรณ์การตรวจจับความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้น เป็นอุปกรณ์จำพวกอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีคุณสมบัติในการรับรู้ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในวงจร สายป้อนที่มีอุปกรณ์ดังกล่าวติดตั้งอยู่ พร้อมทั้งสามารถแจ้งเตือนไปยังผู้ให้บริการไฟฟ้าได้ เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้น ในการทดลองติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสพื้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลองที่ได้สร้างขึ้นภายในห้องปฏิบัติการ พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องกล่าวคือ ในสถานะที่ระบบจำหน่ายปกติไม่มีความผิดปกติ อุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ จะไม่มีการส่งสัญญาณแจ้งเตือน แต่เมื่อใดก็ตามที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า อุปกรณ์ตรวจจับจะทำการแจ้งเตือนภายในเวลา 20 มิลลิวินาที

คุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วตกลงมาสัมผัสดินด้านภะนั้น พอสรุปได้ดังนี้ คือ

- 1) การตรวจจับความผิดปกติจะเป็นอิสระกับเฟสอื่น ทำให้เหตุการณ์ประเภทภาระไม่สมดุล (Unbalance load condition) ไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ
- 2) ไม่ต้องคำนึงถึงชนิดของภาระในระบบจำหน่ายที่จะทำการเฝ้าระวังว่าจะเป็นตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ หรือตัวเก็บประจุไฟฟ้า เพราะค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) ไม่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ
- 3) มีความสามารถในการตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้น และสามารถส่งสัญญาณในการปลดวงจรจำหน่ายไฟฟ้าได้ภายในเวลา 20 มิลลิวินาที
- 4) เหตุการณ์กระแสกระชาก (Inrush current) เมื่อต้องการเริ่มจ่ายไฟฟ้าให้วงจรสายป้อนนั้น ไม่มีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติ

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรเก็บสัญญาณกระแส เมื่อเกิดความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภะนั้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจริง ว่าเป็นไปตามผลการจำลองด้วยชุดจำลองระบบจำหน่ายหรือไม่
- 2) อุปกรณ์การตรวจจับความผิดปกติดังกล่าว ในขณะนี้อาจจะยังไม่สามารถนำไปใช้ในระบบจำหน่ายที่มีลักษณะเป็น โครงข่ายได้ จึงควรมีการศึกษา วิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต

5.3 ปัญหาในการทำวิจัย

1) ไม่สามารถนำอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติของแบบสายจำหน่ายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นไปทดลองในวงจรสายป้อนจริงได้ เพราะอาจส่งผลกระทบต่อประชาชนในบริเวณที่ทำการทดลองได้ ดังนั้นในการวิจัยนี้ จึงใช้แบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อทำการจำลองความผิดปกติแทนการทดลองจริงในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2) ฟังก์ชันการระบุเฟส ว่าสายไฟฟ้าเฟสใดขาดนั้น ยังติดปัญหาด้านการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ตรวจจับความผิดปกติแต่ละเฟส ยังไม่สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] แผนกวิจัยอุปกรณ์ไฟฟ้า กองวิจัย ฝ่ายวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. รายงานปัญหาการ
ใช้งานสายเคเบิลอากาศ (Space Aerial Cable : SAC) กับ Spacer.
- [2] Pansini, A.J. Electrical Distribution Engineering. : The Fairmont Press, 2006.
- [3] ชนวัฒน์ ฉลาดสกุล. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง Power System Analysis. สมาคมส่งเสริม
เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.
- [4] ANSI/IEEE Std. IEEE guide for safety in AC substation grounding. New York, 2000.
- [5] รศ.ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ และเทพกัญญา ขัติแสง. การต่อลงดิน Grounding. โครงการพัฒนา
ความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง, 2549.
- [6] ญัฐพล วงศ์สุนทรชัย และชัยวัฒน์ ลีมพรจิตรวิไล. ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์
PIC16F87x. บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 2006.
- [7] Lee, I. Apparatus for and Method of Detecting High Impedance Fault on Distribution Circuits
with Delta Connected Loads (US. Patent 4,297,738). 27 October 1981
- [8] Martin, T.B. Protective Relay Apparatus for Detecting High-Impedance Ground Faults (US.
Patent 4,600,961). 15 July 1986.
- [9] Majid, A.D. High Impedance Fault Detector (US. Patent 5,602,709). 11 February 1997.
- [10] David, G.H., Damir, N, and Steven A.K. High Impedance Fault Detection (US. Patent
6,453,248 B1). 17 September 2002.
- [11] Craig, G.W. High Impedance Fault Detection on Distribution Systems. Rural Electric Power
Conference, The 42nd Annual Conference, C5, 26-28 April 1998
- [12] Lazkano, A., Ruiz, J., Aramendi, E., Leturiondo, L.A. and Gonzalez, J.A. STUDY OF HIGH
IMPEDANCE FAULT DETECTION IN LEVANTE AREA IN
SPAIN. Harmonics and Quality of Power, Proceedings vol. 3. Ninth
International Conference on Harmonics and Quality of Power, pp.1011-1016,
2000.
- [13] BJERKAN, E., HØIDALEN, H.K. and HERNES, J.G. RELIABLE DETECTION OF
DOWNED AND BROKEN CONDUCTORS. CIRED 19th International
Conference on Electricity Distribution, 21-24 May 2007: Paper 0571.



ภาคผนวก (Appendices)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก อุปกรณ์วัดที่ใช้ในการวิจัย

ภาคผนวก ก.1 อุปกรณ์ตรวจวัด

1. หม้อแปลงวัดกระแส RISESUN RCT-15-1



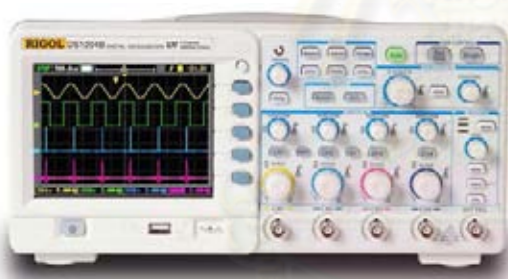
- เป็นแบบ Ring type

- อัตราส่วนกระแส 30 / 5 A

- Burden 15 VA

- Accuracy 1.0

2. ออสซิลโลสโคป RIGOL DS1204B



- มี 4 ช่องสัญญาณขาเข้า

- มี Bandwidth เท่ากับ 200 MHz

- อัตราการสุ่มของสัญญาณเท่ากับ 2GSa/sec.

- มีการทริกสัญญาณที่หลากหลายเช่น Edge, Video, Pulse Width, Alternate and Pattern trigger

- Time base range เท่ากับ 1 ns/div - 50 s/div

- Vertical sensitivity range เท่ากับ 2 mV/div ~ 10 V/div

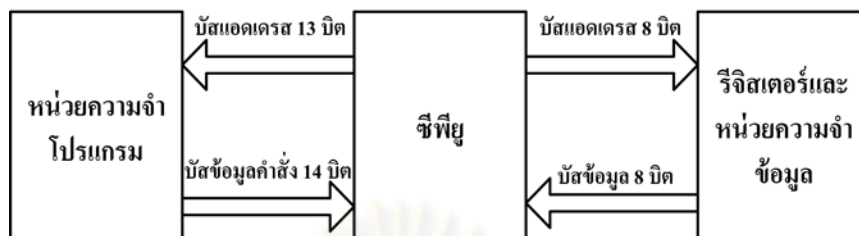
ภาคผนวก ก.2 อุปกรณ์ที่ใช้ออกแบบอุปกรณ์ป้องกันความผิดพลาด

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ Microchip PIC16F877

โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87X

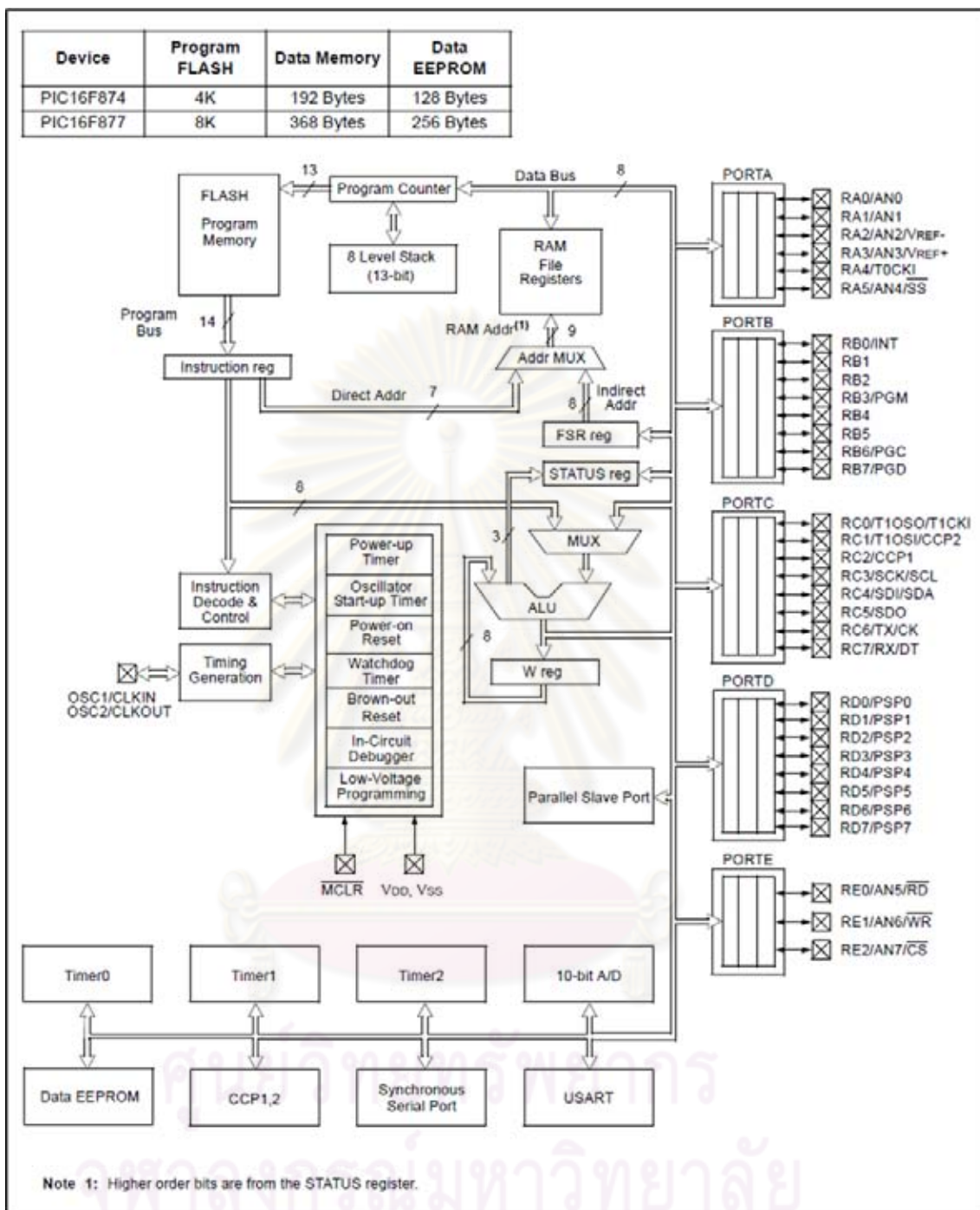
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard architecture) กล่าวคือ มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน โดยมีบัสสำหรับติดต่อแยกกันด้วย ดังแสดงไดอะแกรมแสดงรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด จะเห็นได้ว่าซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วย

บัสแอดเดรส 13 บิต และบัสข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรม 14 บิต ในขณะที่บัสสำหรับติดต่อกับ หน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ภายในเป็นแบบ 8 บิต ทั้งบัสแอดเดรสและบัสข้อมูล



แสดงไดอะแกรมแสดงรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด

นอกจากการจัดสถาปัตยกรรมแบบนี้แล้ว การกระทำคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ยังใช้กระบวนการที่เรียกว่า ไปป์ไลน์ (pipeline) ทำให้สามารถเฟตช์คำสั่งถัดไป ในขณะที่กำลังเอ็กคิวต์คำสั่งในปัจจุบัน ส่งผลให้ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มมากขึ้น นั่นจึงเป็นที่มาของความสามารถในการกระทำคำสั่ง 1 คำสั่ง ภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก (เฟตช์: fetch เป็นกระบวนการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วแปลเป็นเลขฐานสิบหกเพื่อให้ซีพียูเข้าใจส่วนกระบวนการเอ็กคิวต์ (execute) เป็นการทำงานคำสั่งให้เกิดผลลัพธ์ตามที่คำสั่งนั้นๆ กำหนด โครงสร้างการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ PIC16F877 ถูกแสดงได้ในโครงสร้างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 รุ่น 40 ขา



โครงสร้างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 รุ่น 40 ขา

คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F87X

คุณสมบัติหลัก

- ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- สามารถกระทำคำสั่งโดยสัญญาณเพียงหนึ่งลูก ยกเว้นคำสั่งการกระโดด
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz
- หน่วยความจำโปรแกรม
 - 2 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC 16F870/871/872
 - 4 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC 16F873 (A)/874(A)
 - 8 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC 16F876/876A/877/877A
- หน่วยความจำข้อมูลแรมหรือรีจิสเตอร์
 - 128 ไบต์ สำหรับ PIC 16F870/871/872
 - 192 ไบต์ สำหรับ PIC 16F873 (A)/874(A)
 - 368 ไบต์ สำหรับ PIC 16F876 (A)/ 877(A)
- ขนาดหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม
 - 64 ไบต์ สำหรับ PIC 16F870/871/872
 - 128 ไบต์ สำหรับ PIC 16F873 (A)/874(A)
 - 256 ไบต์ สำหรับ PIC 16F876 (A)/877(A)
- ตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์สูงสุดถึง 15 แหล่งขึ้นกับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์
- มีแอสติก 8 ระดับ
- มีวงจรวอร์ออนรีเซต (POR)
- มีพาวเวอร์อัปไทเมอร์ และออสซิลเลเตอร์สตาร์ทอัปไทเมอร์
- มีวงจรวอตช์ด็อกไทเมอร์ ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลสามารถเลือกระดับการป้องกันได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน

- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V ได้
- แก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ICD (In-circuit Debugger) ผ่านพอร์ตเพียง 2 ขา
- ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- ไฟเลี้ยง +2 ถึง +5.5V
- กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25mA
- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลด
น้อยกว่า 2mA ที่ไฟเลี้ยง +5V และสัญญาณนาฬิกา 4MHz
20A ที่ไฟเลี้ยง +3V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz
น้อยกว่า 1A ในโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บาย

คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม

- ไทเมอร์ 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต มีปริสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตในตัว, ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต พร้อมปริสเกลเลอร์ และ ไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปริสเกลเลอร์, โปสต์สเกลเลอร์ และรีจิสเตอร์คาบเวลา (period register) ขนาด 8 บิตในตัว
- มีโมดูล CCP 2 ชุด โดย
 - ส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (capture) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 12.5 นาโนวินาที
 - ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ (compare) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 200 นาโนวินาที
- มีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิต (5 ช่องสำหรับ PIC 16F873(A)/876(A) และ 8 ช่องสำหรับ PIC 16F874(A)/877(A))
- วงจร PWM มีความละเอียดสูงสุด 10 บิต
- วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และบัส I2C
- วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส บิต
- มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (บราวเอาต์ดีเท็กชัน: Brown-out detection) เพื่อการรีเซตซีพียู หรือเรียกว่า บราวเอาต์รีเซต (brown-out reset: BOR)

ขาพอร์ตต่างๆ รวมทั้งหน้าที่การทำงานแสดงอย่างคร่าวๆ

ตารางสรุปการทำงานของขาพอร์ต A ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
OSC1/CLKIN	(13)	อินพุต	ซิมิตซ์ทริกเกอร์/ซิมอส ⁽³⁾⁽⁴⁾	ขาต่อคริสตอล/รับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
OSC2/CLKOUT	(14)	เอาต์พุต	-	ขาต่อคริสตอล/ในโหมด RC เป็นขาเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาความถี่ ¼ ของสัญญาณที่ขา OSC1
MCLR/VPP	(1)	อินพุต	ซิมิตซ์ทริกเกอร์	-ขารับสัญญาณรีเซตหลัก (Master Clear Input) ทำงานที่ลอจิก “0” -ขารับแรงดันโปรแกรม (programming voltage)
ขาพอร์ต A เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง				
RA0/AN0	(2)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาล็อก	-ขาพอร์ต RA0 -อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่อง 0
RA1/AN1	(3)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาล็อก	-ขาพอร์ต RA1 -อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่อง 1
RA2/AN2/VREF-	(4)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาล็อก	-ขาพอร์ต RA2 -อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่อง 2 -อินพุตแรงดันอ้างอิงลบ
RA3/AN3/VREF+	(5)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาล็อก	-ขาพอร์ต RA3 -อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล ช่อง 3 -อินพุตแรงดันอ้างอิงบวก
RA4/T0CKI	(6)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซิมิตซ์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RA4 กรณีใช้พอร์ตเอาต์พุตมีโครงสร้างแบบครนเปิด -อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทมเมอร์ 0
RA5/SS/AN4	(7)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาล็อก	-ขาพอร์ต RA5 -ขาสัญญาณ Slave select ใช้ในการสื่อสารข้อมูลอนุกรม synch

ตารางสรุปการทำงานของขาพอร์ต B ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ขาพอร์ต B เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง สามารถกำหนดให้ต่อตัวต้านทาน पुलอัปภายในเมื่อทำงานเป็นอินพุตได้ทางซอฟต์แวร์				
RB0/INT	(33)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล/ซมิตต์ทริก เกอร์ ⁽¹⁾	-ขาพอร์ต RB0 -อินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอก
RB1	(34)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล	-ขาพอร์ต RB1
RB2	(35)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล	-ขาพอร์ต RB2
RB3/PGM	(36)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล	-ขาพอร์ต RB3 -อินพุตรับแรงดันโปรแกรมต่ำ (+5V) ถ้าเอ็นเอเบิลไว้
RB4	(37)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล	-ขาพอร์ต RB4 และสามารถเกิดอินเทอร์รัปต์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขาเอ็นเอเบิลไว้
RB5	(38)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล	-ขาพอร์ต RB5 และสามารถเกิดอินเทอร์รัปต์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขาเอ็นเอเบิลไว้
RB6/PGC	(39)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล/ซมิตต์ทริก เกอร์ ⁽²⁾	-ขาพอร์ต RB6 -เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบักในวงจร (ICD)
RB7/PGD	(40)	อินพุต/ เอาต์พุต	ทีทีแอล/ซมิตต์ทริก เกอร์ ⁽²⁾	-ขาพอร์ต RB7 -เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบักในวงจร (ICD)

ตารางสรุปการทำงานของขาพอร์ต C ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ขาพอร์ต C เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง				
RC0/T1OSO/T1CKI	(15)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC0 -เอาต์พุตวงจรรอสซิลเลเตอร์ของไทมเมอร์ 1 -อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทมเมอร์ 1
RC1/T1OSI/CCP2	(16)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC1 -อินพุตวงจรรอสซิลเลเตอร์ของไทมเมอร์ 1 -เอาต์พุตวงจรถ่ายแบบ/PWM สำหรับโมดูล CCP2
RC2/CCP1	(17)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC2 -อินพุตวงจรถ่ายแบบ -เอาต์พุตวงจรถ่ายแบบ/PWM สำหรับโมดูล CCP1
RC3/SCK/SCL	(18)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC3 -ขาสัญญาณนาฬิกาของวงจรร SPI และระบบบัส I ² C
RC4/SDI/SDA	(23)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC4 -ขาข้อมูลอินพุตวงจรร SPI -ขาข้อมูลอนุกรมของระบบบัส I ² C
RC5/SDO	(24)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC5 -ขาข้อมูลเอาต์พุตวงจรร SPI
RC6/TX/CK	(25)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC6 -ขาเอาต์พุต USART สำหรับเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม
RC7/RX/DT	(26)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์	-ขาพอร์ต RC7 -ขาอินพุต USART สำหรับเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม

ตารางสรุปการทำงานของขาพอร์ตต่อไฟเลี้ยงของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ขาต่อไฟเลี้ยง				
VDD	(11,32)	อินพุต	-	-ขาต่อไฟเลี้ยง ใช้ได้ตั้งแต่ +2 ถึง +5.5V
VSS	(12,31)	อินพุต	-	-ขาต่อกราวด์

ตารางสรุปการทำงานของขาพอร์ต D ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ขาพอร์ต D เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง สามารถใช้เป็นส่วนขยายพอร์ตแบบขนานเพื่อติดต่อกับระบบบัสอื่นๆ				
RD0/PSP0	(19)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์/ ทีทีแอล ⁽³⁾	-ขาพอร์ต RD0 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 0
RD1/PSP1	(20)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์/ ทีทีแอล ⁽³⁾	-ขาพอร์ต RD1 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 1
RD2/PSP2	(21)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์/ ทีทีแอล ⁽³⁾	-ขาพอร์ต RD2 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 2
RD3/PSP3	(22)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์/ ทีทีแอล ⁽³⁾	-ขาพอร์ต RD3 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 3
RD4/PSP4	(27)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์/ ทีทีแอล ⁽³⁾	-ขาพอร์ต RD4 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 4
RD5/PSP5	(28)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์/ ทีทีแอล ⁽³⁾	-ขาพอร์ต RD5 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 5
RD6/PSP6	(29)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์/ ทีทีแอล ⁽³⁾	-ขาพอร์ต RD6 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 6
RD7/PSP7	(30)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์/ ทีทีแอล ⁽³⁾	-ขาพอร์ต RD7 -ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 7

ตารางสรุปการทำงานของขาพอร์ต E ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

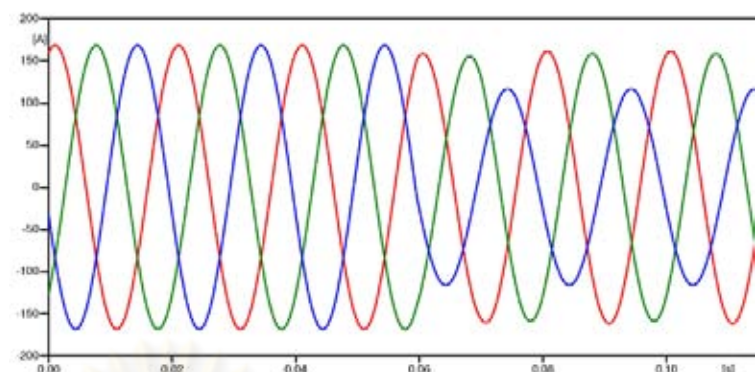
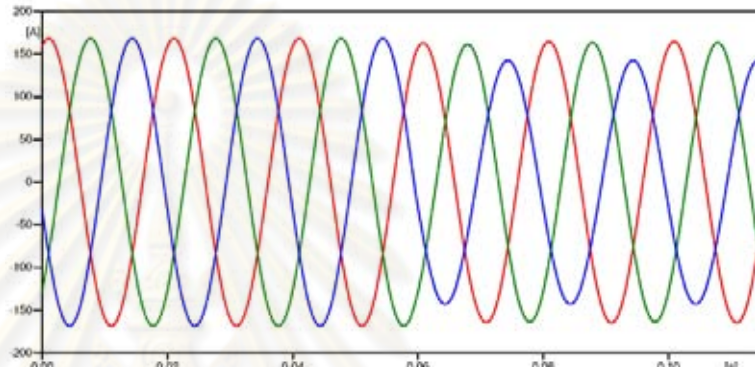
ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรมัลติเพล็กซ์	รายละเอียดการทำงาน
ขาพอร์ต E เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง				
RE0/RD/AN5	(8)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์/ ทีทีแอล ⁽³⁾	-ขาพอร์ต RE0 -ขาสัญญาณ RD สำหรับส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน
RE1/WR/AN6	(9)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์/ ทีทีแอล ⁽³⁾	-ขาพอร์ต RE1 -ขาสัญญาณ WR สำหรับส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน
RE2/CS/AN7	(10)	อินพุต/ เอาต์พุต	ซมิตต์ทริกเกอร์/ ทีทีแอล ⁽³⁾	-ขาพอร์ต RE2 -ขาสัญญาณ CS สำหรับส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน

ภาคผนวก ข ผลการจำลองความผิดปกติแบบสายไฟฟ้าขาดแล้วสัมผัสพื้นด้านภาระ

ภาคผนวก ข.1 ผลการจำลองความผิดปกติด้วยโปรแกรม Alternative Transient Program*

- ความต้านทานผิดปกติเท่ากับ 100Ω

ช่วงสายที่เกิดความผิดปกติ			รูปคลื่นของกระแสสาย
ช่วงที่ 1	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	18.74	
	B	22.65	
	C	-	
ช่วงที่ 2	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	18.98 ms	
	B	21.34 ms	
	C	19.65 ms	
ช่วงที่ 3	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	19.27 ms	
	B	21.01 ms	
	C	19.64 ms	
ช่วงที่ 4	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	19.48 ms	
	B	20.73 ms	
	C	19.84 ms	

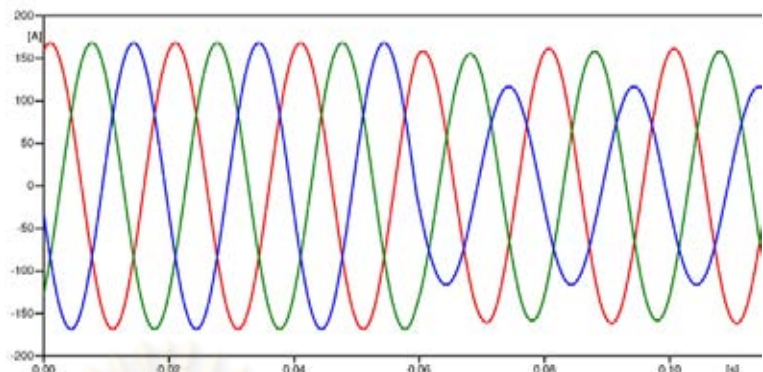
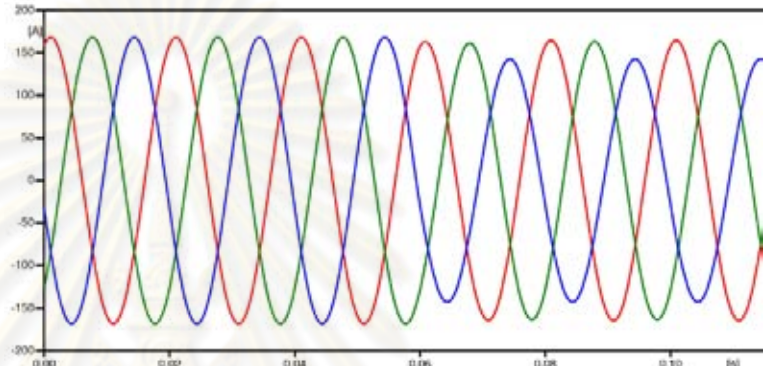
ช่วงที่ 5	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	19.64 ms	
	B	20.46 ms	
	C	19.91 ms	
ช่วงที่ 6	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	19.85 ms	
	B	20.25 ms	
	C	19.99 ms	

*เป็นการจำลองความผิดรบกวนแบบสายจำหน่ายไฟฟ้า เฟส C ขาดแล้วล้มคัสพัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

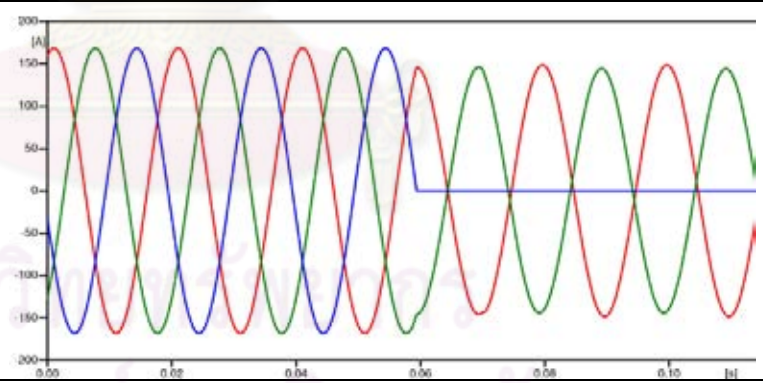
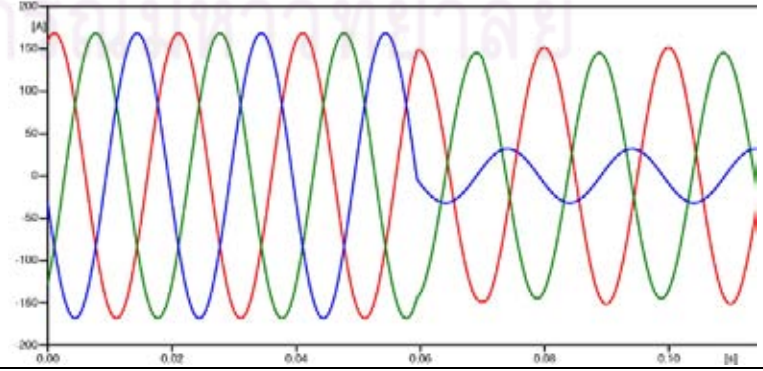
- ความต้านทานผิดพ่วงเท่ากับ 200Ω

ช่วงสายที่เกิดความผิดพ่วง			รูปคลื่นของกระแสสาย
ช่วงที่ 1	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	18.67 ms	
	B	22.65 ms	
	C	-	
ช่วงที่ 2	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	18.91 ms	
	B	21.34 ms	
	C	19.6 ms	
ช่วงที่ 3	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	19.27 ms	
	B	21.01 ms	
	C	19.65 ms	
ช่วงที่ 4	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	19.48 ms	
	B	20.73 ms	
	C	19.84 ms	

ช่วงที่ 5	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	19.64 ms	
	B	20.46 ms	
	C	19.92 ms	
ช่วงที่ 6	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	19.85 ms	
	B	20.25 ms	
	C	19.99 ms	

*เป็นการจำลองความผิดปรongแบบสายจำหน่ายไฟฟ้า เฟส C ขาดแล้วล้มคัสพื้น

- ความต้านทานผิดปรongเท่ากับ 400Ω

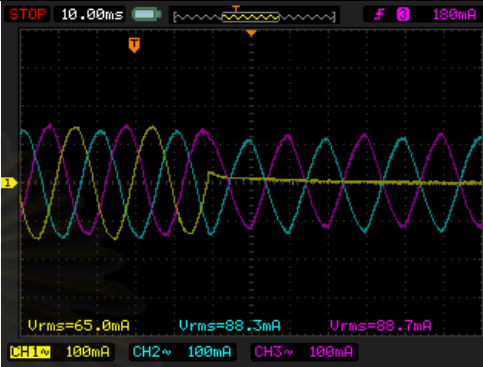


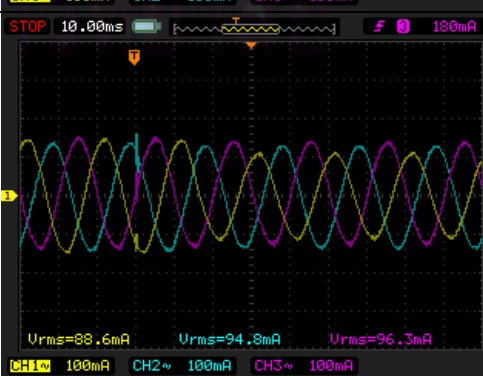
ช่วงสายที่เกิดความผิดปรong			รูปคลื่นของกระแสสาย
ช่วงที่ 1	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	18.58 ms	
	B	22.65 ms	
	C	-	
ช่วงที่ 2	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	18.85 ms	
	B	21.34 ms	
	C	19.60 ms	

ช่วงที่ 3	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	19.18 ms	
	B	21.01 ms	
	C	19.65 ms	
ช่วงที่ 4	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	19.40 ms	
	B	20.73 ms	
	C	19.84 ms	
ช่วงที่ 5	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	19.62 ms	
	B	20.46 ms	
	C	19.92 ms	
ช่วงที่ 6	เฟส	เวลาเลื่อน	
	A	19.85 ms	
	B	20.25 ms	
	C	19.99 ms	

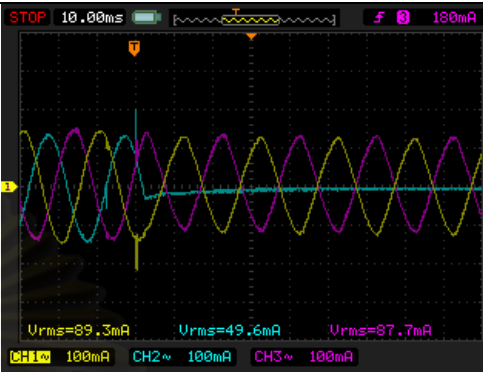

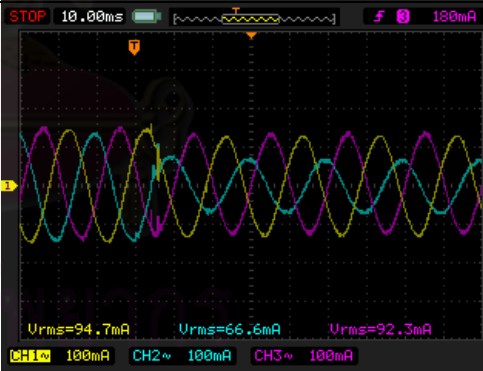
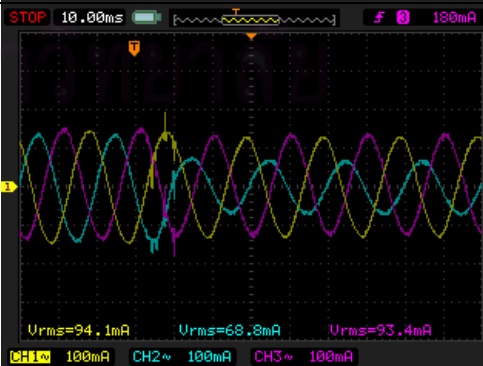
*เป็นการจำลองความผิดปรongแบบสายจำหน่ายไฟฟ้า เฟส C ขาดแล้วสัมผัสพื้น

ภาคผนวก ข.2 ผลการจำลองความผิดพร่องบนระบบจำหน่ายไฟฟ้าจำลอง

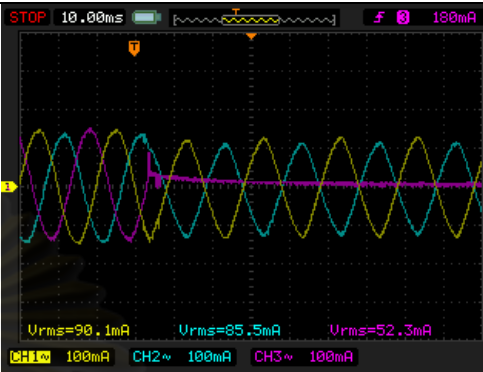

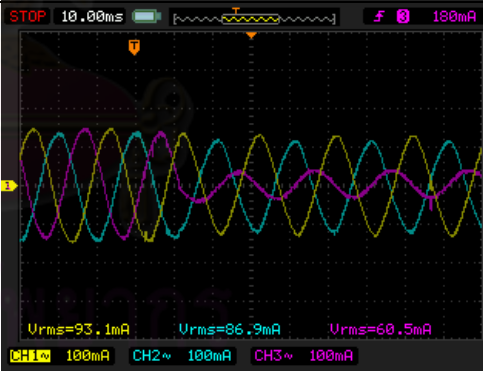
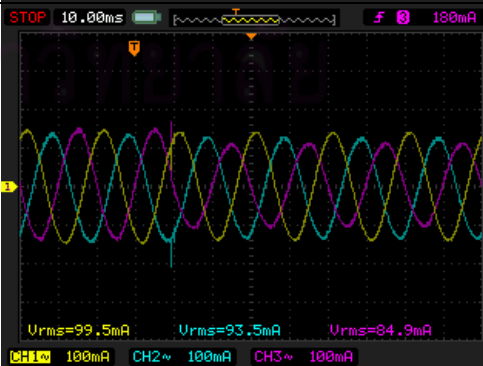
- การจำลองความผิดพร่องสายไฟฟ้าขาดที่เฟส “A” แล้วสัมผัสพื้นด้วยความต้านทาน $2k\Omega$ ช่วงสายต่างๆของวงจรสายป้อนจำลอง

ช่วงสายที่เกิดความผิดพร่อง	รูปคลื่นของกระแสสาย
ช่วงที่ 1	
ช่วงที่ 2	
ช่วงที่ 3	
ช่วงที่ 4	

- การจำลองความผิดพร่องสายไฟฟ้าขนาดที่เฟส “B” แล้วสัมผัสพื้นด้วยความต้านทาน $2k\Omega$ ช่วงสายต่างๆของวงจรสายป้อนจำลอง

ช่วงสายที่เกิดความผิดพร่อง	รูปคลื่นของกระแสสาย
ช่วงที่ 1	
ช่วงที่ 2	
ช่วงที่ 3	
ช่วงที่ 4	

- การจำลองความผิดพลาดสายไฟฟ้าขาดที่เฟส “C” แล้วสัมผัสพื้นด้วยความต้านทาน $2k\Omega$ ช่วงสายต่างๆของวงจรสายป้อนจำลอง

ช่วงสายที่เกิดความผิดพลาด	รูปคลื่นของกระแสสาย
ช่วงที่ 1	
ช่วงที่ 2	
ช่วงที่ 3	
ช่วงที่ 4	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอณัฏตชัย พงศ์ถาวรสวัสดิ์ เกิดวันที่ 13 สิงหาคม พ.ศ.2528 จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2550

ปัจจุบันทำงานเป็นวิศวกร ระดับ 4 กองโครงการ ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีความสนใจในงานวิศวกรรมป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง และงานบำรุงรักษา อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงภายในสถานีไฟฟ้าแรงสูง



ศูนย์วิทยพัทธยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย