

ผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลัง



นางสาว มนทิรา จันเทรมะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต


สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF PROTECTION SYSTEM MODIFICATION ON VOLTAGE DIP ASSESSMENT
IN POWER SYSTEMS



Ms. Montira Chantrayma

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 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดัน
ตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลัง
โดย นางสาวนทิตรา จันเทรมะ
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออากรณ์)

.....
(อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสทธิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์)

.....
(กฤษณวิศ ชัชชรานนท์)

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มนตรีรา จันทรธนะ : ผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลัง. (EFFECT OF PROTECTION SYSTEM MODIFICATION ON VOLTAGE DIP ASSESSMENT IN POWER SYSTEMS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ. ไชยะ แซ่มซ้อย, 176 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลังเนื่องจากการเกิดฟอลต์ โดยทำการประเมินแรงดันตกชั่วขณะด้วยวิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์ และสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับนำมาใช้ในการประเมินทั้งขนาดและระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจ เมื่อเกิดฟอลต์ที่บัสต่างๆในระบบไฟฟ้า โดยอาศัยข้อมูลจริงที่ตรวจวัดได้จากสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวง แล้วใช้แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะเพื่อเปรียบเทียบตามการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ และ/หรือ ระยะเวลาในการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ดังนั้นการพิจารณาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้าเป็นแนวทางหนึ่งเพื่อเป็นการหาแนวทางในการลดผลกระทบแรงดันตกชั่วขณะต่อไป

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อนิสิต.....*อ.ที่ปรึกษา*.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....*อ.ที่ปรึกษา*.....

ปีการศึกษา.....2551.....

4770655321: MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: VOLTAGE SAGS / VOLTAGE DIPS / POWER QUALITY

MONTIRA CHANTRAYMA : EFFECT OF PROTECTION SYSTEM MODIFICATION ON
VOLTAGE DIP ASSESSMENT IN POWER SYSTEMS. THESIS PRINCIPAL ADVISOR :
MR.CHAIYA CHAMCHOY, 176 pp.

This thesis presents the effect of protection system modification on voltage dip assessment in a power system due to faults. A method of fault positioning and a developed computer program are adopted to assess voltage dip for both magnitude and duration at the point of interest while there is a fault in power systems base on actual data of MEA's substation. The results are used to evaluate in voltage dip coordination charts compared by each type of protection system which are differed by a duration of fault clearing and/or a magnitude of voltage dip. As a result, the consideration of effect of protection system modification on voltage dip is one of the solutions to reduce the effect of voltage dip on power system.

Department :..... Electrical Engineering

Field of study :..... Electrical Engineering

Academic year :..... 2008

Student's signature *Montira Chantrayma*

Principal Advisor's signature *Dr. Chamchoy*

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ไชยะ แซ่มซ้อย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการ ทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนั้น ต้องขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ (ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสทธิพงษ์ พิชัยสวัสดิ์ (กรรมการสอบวิทยานิพนธ์) และคุณนริศ ชัชชานนท์ (กรรมการสอบ วิทยานิพนธ์) ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไป ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนพนักงานการไฟฟ้านครหลวงทุกท่านที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยเฉพาะ

คุณฐิติพงษ์ อินทรสินธุ์ และคุณสุกริษา หะยีดีอรามา ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับหลักการ วิเคราะห์และการพัฒนาโปรแกรม

คุณจตุพร ธรรมเจริญ ที่ได้อำนวยความสะดวกทุกๆด้านในการหาข้อมูลของระบบจริงที่ นำมาทดสอบ

และขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคน และคุณสมชาย กสานติกุล ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการ พัฒนาโปรแกรม รวมทั้งจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการจัดทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา – มารดาและทุกคนในครอบครัวที่ได้ให้ กำลังใจที่ดีตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฒ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขั้นตอนศึกษาและวิธีดำเนินการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	2
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3
2 ทฤษฎีและนิยามที่ใช้ในการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ.....	4
2.1 คำจำกัดความของแรงดันตกชั่วขณะ.....	4
2.2 วิธีการคำนวณฟอลต์ในระบบไฟฟ้า.....	6
2.2.1 ฟอลต์แบบสมมาตร.....	7
2.2.2 ฟอลต์แบบไม่สมมาตร.....	9
2.2.2.1 ฟอลต์แบบฟอลต์ลงดินเส้นเดียว.....	9
2.2.2.2 ฟอลต์ระหว่างสาย.....	10
2.2.2.3 ฟอลต์สองสายลงดิน.....	11
2.3 การป้องกันระบบไฟฟ้า.....	12
2.3.1 ฟิวส์แรงสูง.....	13
2.3.1.1 ฟิวส์ตัดตอนแรงสูง.....	13
2.3.1.2 เพาเวอร์ฟิวส์.....	15
2.3.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์และรีเลย์.....	19
2.3.2.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์.....	19
2.3.2.2 รีเลย์ป้องกัน.....	24

บทที่	หน้า
2.3.3 รีโคลสเซอร์อัตโนมัติ.....	29
2.4 การประเมินแรงดันตกชั่วขณะ.....	32
2.4.1 การประเมินขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ.....	32
2.4.2 การประเมินระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ.....	35
2.4.3 วิธีการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ.....	35
2.4.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมิน.....	37
3 แนวทางการลดผลกระทบแรงดันตกชั่วขณะ.....	41
3.1 การลดระยะเวลาของการปลดวงจรเนื่องจากฟอลต์.....	41
3.2 แนวทางการลดจำนวนของฟอลต์.....	42
3.3 แนวทางการปรับปรุงระบบไฟฟ้า.....	42
3.4 แนวทางการปรับปรุงระบบป้องกันเพื่อลดระยะเวลาในการกำจัดฟอลต์.....	46
3.4.1 การใช้ Recloser แทน Expulsion Fuse สำหรับ Lateral.....	48
3.4.2 การใช้ Current Limiting Fuse แทน Expulsion Fuse.....	48
3.5 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อลดผลกระทบเพิ่มเติม.....	50
3.6 การปรับปรุงอุปกรณ์ให้สามารถทนต่อสถานะแรงดันตกชั่วขณะได้.....	50
4 โปรแกรมศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อ	
การประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	51
4.1 ขอบเขตและเงื่อนไขที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม.....	51
4.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม.....	52
4.3 การใช้งานโปรแกรม.....	55
4.3.1 หน้าจอหลัก.....	55
4.3.1.1 ปุ่ม Open Data.....	56
4.3.1.2 ปุ่ม New Data.....	58
4.3.1.3 ปุ่ม Next Page.....	59
4.3.2 หน้าจอป้อนข้อมูลสถานีไฟฟ้าย่อย.....	59
4.3.2.1 ปุ่ม save.....	60
4.3.2.2 ปุ่ม Update จำนวนสายป้อน.....	60
4.3.2.3 ปุ่ม Back Page.....	61
4.3.2.4 ปุ่ม Next Page.....	61

บทที่	หน้า
4.3.3 หน้าจอป้อนข้อมูลระบบป้องกันการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส.....	61
4.3.3.1 ปุ่ม Lateral Data.....	62
4.3.3.2 ปุ่ม Clear Data.....	64
4.3.3.3 ปุ่ม Back Page.....	64
4.3.3.4 ปุ่ม Next Page.....	64
4.3.4 หน้าจอป้อนข้อมูลระบบป้องกันการเกิดฟอลต์ลงดิน.....	64
4.3.5 หน้าจอแสดงผลตารางการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ.....	65
4.3.6 หน้าจอแสดงผลการประเมินตามมาตรฐาน ITIC/SEMI F47.....	65
4.3.7 หน้าจอแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ และตารางความถี่สะสม.....	66
4.3.8 หน้าจอแสดงกราฟของตารางความถี่สะสม ของการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ.....	67
5 การศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อ การประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	68
5.1 การตรวจสอบค่าความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรม.....	68
5.1.1 กรณีที่ระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยตรง.....	69
5.1.2 กรณีที่ระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทาน (NGR).....	73
5.2 การประเมินระบบจริง.....	75
5.2.1 ข้อมูลและค่าพารามิเตอร์ของระบบจริงที่นำมาใช้ในการประเมิน.....	75
5.2.2 ข้อมูลของระบบป้องกันเมื่อทำการปรับปรุงในกรณีต่างๆ.....	84
5.2.2.1 กรณีที่ 1 ระบบป้องกันกรณีที่ใช้งานทั่วไป.....	84
5.2.2.2 กรณีที่ 2 ระบบป้องกันกรณีที่ใช้ Current Limiting Fuse แทน Explosion Fuse สำหรับ Lateral.....	88
5.2.2.3 กรณีที่ 3 ระบบป้องกันกรณีที่ใช้ Recloser แทน Explosion Fuse สำหรับ Lateral.....	88
5.2.2.4 กรณีที่ 4 ระบบป้องกันกรณีที่ต้องความต้านทานลงดิน (NGR) ร่วมกับกรณีที่ใช้งานทั่วไป.....	93

บทที่	หน้า
5.2.2.5	
กรณีที่ 5 ระบบป้องกันกรณีที่ต้องความต้านทานลงดิน (NGR) ร่วมกับกรณีที่ใช้ Current Limiting Fuse.....	93
5.2.2.6	
กรณีที่ 6 ระบบป้องกันกรณีที่ต้องความต้านทานลงดิน (NGR) ร่วมกับกรณีที่ใช้ Recloser.....	93
5.3	
ผลการประเมินระบบจริง.....	93
6	
สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	141
รายการอ้างอิง.....	144
ภาคผนวก.....	145
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ Relay Setting และ Relay Coordination.....	146
ภาคผนวก ข การประยุกต์ใช้โปรแกรม PSS-ADEPT 5.0 สำหรับ การคำนวณฟลลต์ในระบบไฟฟ้า.....	155
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	176

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์แรงดันตกชั่วขณะ.....5
2.2	การเลือกชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามระดับแรงดันใช้งาน.....23
2.3	ผลที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์ของรูปที่ 2.33.....36
2.4	ตารางแสดงค่าความถี่การเกิดของแรงดันตกชั่วขณะในแต่ละช่วงขนาด และระยะเวลา.....37
2.5	ตารางความถี่สะสมของระดับแรงดันตกชั่วขณะ.....37
3.1	เปรียบเทียบแรงดันระหว่างเฟส (pu) ก่อนต่อ NGR และหลังต่อ NGR.....45
5.1	ข้อมูลของระบบทดสอบ 11 บัส.....69
5.2	การเปรียบเทียบผลการคำนวณกรณีฟอลต์แบบสมมาตร เมื่อระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยตรง.....70
5.3	การเปรียบเทียบผลการคำนวณกรณีฟอลต์ลงดินเส้นเดียว เมื่อระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยตรง.....71
5.4	การเปรียบเทียบผลการคำนวณกรณีฟอลต์สองเส้น เมื่อระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยตรง.....72
5.5	การเปรียบเทียบผลการคำนวณกรณีฟอลต์ลงดินสองเส้น เมื่อระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยตรง.....73
5.6	การเปรียบเทียบผลการคำนวณกรณีฟอลต์ลงดินเส้นเดียว เมื่อระบบทดสอบต่อ NGR.....74
5.7	การเปรียบเทียบผลการคำนวณกรณีฟอลต์ลงดินสองเส้น เมื่อระบบทดสอบต่อ NGR.....75
5.8	ข้อมูลระบบไฟฟ้าของสถานีย่อยวัดบำเพ็ญ.....76
5.9	ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟสของแต่ละสายป้อน.....82
5.10	ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน ของแต่ละสายป้อน.....82
5.11	ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส ของแต่ละสายป้อน.....83
5.12	ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน ของแต่ละสายป้อน.....83
5.13	การกำหนดค่าของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟส.....84

ตารางที่	หน้า
5.14	การกำหนดค่าของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ลงดิน.....85
5.15	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์ แบบสามเฟสในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง.....94
5.16	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์ แบบสามเฟสในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน.....95
5.17	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์ แบบ 1 เฟสลงดินในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง.....99
5.18	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์ แบบ 1 เฟสลงดินในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน.....100
5.19	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์ แบบเฟสกับเฟสในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง.....102
5.20	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์ แบบเฟสกับเฟสในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน.....103
5.21	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์ แบบเฟสกับเฟสลงดินในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง.....105
5.22	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์ แบบเฟสกับเฟสลงดินในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน.....106
5.23	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะในกรณีของ ระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง.....108
5.24	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะในกรณีของ ระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน.....109
5.25	เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vab ที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47 ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง.....109
5.26	เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vab ที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F47 ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน.....110
5.27	เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vbc ที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F47 ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง.....110
5.28	เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vbc ที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F47 ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน.....110
5.29	เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vca ที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F47 ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง.....111

ตารางที่	หน้า
5.30	เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vca ที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F47 ในกรณีของระบบที่ต่อความต้านทานลงดิน.....111
5.31	สรุปผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกัน ที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC ของระบบจริง.....112
5.32	สรุปผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน SEMI F-47 ของระบบจริง.....114
5.33	ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟสของแต่ละสายป้อนของระบบจำลอง.....117
5.34	ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดินของแต่ละสายป้อนของระบบจำลอง.....117
5.35	ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสของแต่ละสายป้อนของระบบจำลอง.....117
5.36	ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดินของแต่ละสายป้อนของระบบจำลอง.....118
5.37	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟสในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง.....118
5.38	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟสในกรณีของระบบที่ต่อความต้านทานลงดิน.....119
5.39	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดินในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง.....123
5.40	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดินในกรณีของระบบที่ต่อความต้านทานลงดิน.....124
5.41	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง.....126
5.42	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสในกรณีของระบบที่ต่อความต้านทานลงดิน.....127
5.43	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดินในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง.....129

ตารางที่	หน้า
5.44	ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิด ฟลัดด์แบบเฟสกับเฟสลงดินในกรณีของระบบที่ต่อความต้านทานลงดิน.....130
5.45	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะของระบบจำลอง ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง..... 133
5.46	เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะของระบบจำลอง ในกรณีของระบบที่ต่อความต้านทานลงดิน.....133
5.47	เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vab ของระบบจำลองที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F47ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง..... 134
5.48	เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vab ของระบบจำลองที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F47 ในกรณีของระบบที่ต่อความต้านทานลงดิน..... 134
5.49	เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vbc ของระบบจำลองที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F47ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดิน โดยตรง..... 134
5.50	เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vbc ของระบบจำลองที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F47 ในกรณีของระบบที่ต่อความต้านทานลงดิน.....135
5.51	เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vca ของระบบจำลองที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F47ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง.....135
5.52	เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vca ของระบบจำลองที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F47 ในกรณีของระบบที่ต่อความต้านทานลงดิน.....135
5.53	สรุปผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการ ประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC ของระบบจำลอง.....136
5.54	สรุปผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการ ประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน SEMI F-47 ของระบบจำลอง.....138
ก.1	Overcurrent Relay KCGG 140 Setting สำหรับ ตัวอย่างสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวง.....153

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในเรื่องแรงดันตกชั่วขณะ	4
2.2	ความหมายของ Voltage Sag	6
2.3	ความหมายของ Voltage Dip	6
2.4	ฟอลต์แบบ 3 เฟส	8
2.5	ฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน (ที่เฟส A)	9
2.6	ฟอลต์แบบเฟสกับเฟส (ระหว่างเฟส B กับเฟส C)	10
2.7	ฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน(ระหว่างเฟส B กับเฟส C ลงดิน)	11
2.8	ฟิวส์แรงสูงชนิดตัวฟิวส์อยู่ในกระบอก	13
2.9	ฟิวส์แรงสูงชนิดตัวฟิวส์ไม่ได้อยู่ในกระบอก	14
2.10	ฟิวส์แรงสูงชนิดที่อยู่ภายในสิ่งห่อหุ้ม	14
2.11	ลักษณะของฟิวส์ตัดตอนแรงสูง เมื่อตัวฟิวส์หลอมละลายขาดออกจากกัน	15
2.12	เพาเวอร์ฟิวส์ประเภทเอ็กซ์แพนชันร่วมกับ สวิตช์ตัดตอนแรงสูงภายนอกอาคาร	16
2.13	เพาเวอร์ฟิวส์ประเภทบอริกแอซิด ติดตั้งอยู่ใน ตู้โหลดอินเตอร์รัพเตอร์สวิตช์เกียร์	16
2.14	ฟิวส์จำกัดกระแส	17
2.15	ฟิวส์แรงสูง HRC ชนิดจำกัดกระแส	18
2.16	คุณลักษณะเส้นโค้งเวลา-กระแสของฟิวส์แรงสูง HRC ชนิดจำกัดกระแส	18
2.17	รูปแบบทั่วไปของเส้นโค้งกระแสปล่อยผ่านค่ายอด สำหรับฟิวส์ชนิดจำกัดกระแส	19
2.18	แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเปิด	20
2.19	แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบในกล่องหุ้ม	20
2.20	เปรียบเทียบมินิมัมมอยล์และบัลค์มอยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์	21
2.21	โครงสร้างของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบก๊าซ SF ₆ สำหรับใช้งานกับระบบแรงดันสูง	22
2.22	เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบสุญญากาศ ขนาด 12 kV 630 A ติดตั้งภายในอาคาร	23
2.23	รีเลย์แบบอาศัยแรงดูดของแม่เหล็กไฟฟ้า ชนิดแกนเหล็กเคลื่อนที่	25
2.24	รีเลย์แบบอาศัยแรงดูดของแม่เหล็กไฟฟ้า ชนิดบานพับ	25
2.25	รีเลย์แบบอาศัยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ชนิดจานเหนี่ยวนำ	26

รูปที่	หน้า
2.26	รีเลย์แบบอาศัยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ชนิดด้วยเหนี่ยวนำ.....26
2.27	เส้นโค้งแสดงเวลา- กระแส รีเลย์กระแสเกินแบบเวลาผกผัน.....28
2.28	เส้นโค้งเวลา-กระแส รีเลย์กระแสเกินแบบเวลาตายตัวและแบบ IDMT..... 29
2.29	ภาพตัดด้านข้างของรีโกลสเซอร์อัดโนมิตี.....31
2.30	การแบ่งขนาดแรงดันตกชั่วขณะ.....32
2.31	สายส่งระหว่างบัส $m - n$ ที่มีการเพิ่มบัส p เข้าไป.....34
2.32	ตำแหน่งการเกิดฟอลต์.....36
2.33	ITIC Curve Scatter Plot38
2.34	SEMI Curve Scatter Plot.....39
2.35	การเปรียบเทียบของ SEMI Curve กับ ITIC Curve.....39
2.36	ขอบเขตการตอบสนองต่อแรงดันตกชั่วขณะ.....40
3.1	แสดงแนวทางในการลดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะ.....41
3.2	แสดง Curve การทำงานของ Overcurrent ชนิดต่างๆ.....47
3.3	การเปรียบเทียบระหว่างการใช้ Current Limiting Fuse กับ Expulsion Fuse.....48
3.4	แรงดันและกระแสระหว่างการทำงานของ Current Limiting Fuse เมื่อเกิดฟอลต์ลงดินเส้นเดียว.....49
3.5	แรงดันและกระแสระหว่างการทำงานของ Expulsion Fuse เมื่อเกิดฟอลต์ลงดินเส้นเดียว.....49
4.1	แผนผังขั้นตอนการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์ ในระบบไฟฟ้ากำลัง.....54
4.2	หน้าจอหลักของโปรแกรมคำนวณตำแหน่งความผิดพลาดในระบบไฟฟ้า 55
4.3	หน้าจอให้ป้อนชื่อของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ต้องการ.....57
4.4	หน้าจอแสดงข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ต้องการที่มีอยู่ในฐานข้อมูล.....57
4.5	หน้าจอให้ป้อนชื่อของสถานีไฟฟ้าย่อยใหม่ที่ต้องการ.....58
4.6	หน้าจอแสดงตารางเพื่อให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยใหม่.....58
4.7	หน้าจอแสดงตารางเมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูล ของสถานีไฟฟ้าย่อยเรียบร้อยแล้ว 59
4.8	ตัวอย่างหน้าจอแสดงการหาจำนวนสายป้อนทั้งหมดที่มีของสถานีไฟฟ้าย่อย...60

รูปที่	หน้า
4.9	หน้าจอข้อมูลระบบป้องกันการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส61
4.10	หน้าจอเลือกการป้อนหรือแก้ไขข้อมูลฟิวส์.....62
4.11	หน้าจอสำหรับป้อนข้อมูลฟิวส์ใหม่.....63
4.12	หน้าจอสำหรับแก้ไขข้อมูลฟิวส์ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล.....63
4.13	หน้าจอข้อมูลระบบป้องกันการเกิดฟอลต์ลงดิน.....64
4.14	หน้าจอแสดงตารางการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ.....65
4.15	หน้าจอแสดงผลการประเมินตามมาตรฐาน ITIC/SEMI F47.....66
4.16	หน้าจอแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ และตารางความถี่สะสม.....67
4.17	หน้าจอแสดงกราฟของตารางความถี่สะสมของ การประเมินแรงดันตกชั่วขณะ.....67
5.1	แผนผังวงจรเส้นเดียวของระบบทดสอบ 11 บัส.....68
5.2	แผนผังวงจรเส้นเดียวของระบบจริง (สถานีไฟฟ้าย่อยวัดบำเพ็ญ).....81
5.3	Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ ระหว่างเฟสในกรณีที่ 186
5.4	Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ ลงดินในกรณีที่ 1.....87
5.5	Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ ระหว่างเฟสในกรณีที่ 289
5.6	Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ ลงดินในกรณีที่ 290
5.7	Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ ระหว่างเฟสในกรณีที่ 391
5.8	Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ ลงดินในกรณีที่ 3.....92
5.9	การประเมินโดยใช้มาตรฐาน SEMI F-47 กับ ITIC.....94
5.10	ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส.....95
5.11	ภาพขยายผลการประเมินของแรงดันสาย Vab เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส.....96

รูปที่	หน้า
5.12 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส.....	96
5.13 ภาพขยายผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส.....	97
5.14 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vca เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส.....	97
5.15 ภาพขยายผลการประเมินของแรงดันสาย Vca เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส.....	98
5.16 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน.....	101
5.17 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน.....	101
5.18 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vca เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน.....	102
5.19 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส.....	103
5.20 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส.....	104
5.21 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vca เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส.....	104
5.22 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน.....	106
5.23 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน.....	107
5.24 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vca เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน.....	107
5.25 แผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกัน ที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC ของระบบจริง.....	113
5.26 แผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มี ต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน SEMI F-47 ของระบบจริง.....	115
5.27 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์ แบบสามเฟส.....	119
5.28 ภาพขยายผลการประเมินของแรงดันสาย Vab ของระบบจำลอง เมื่อเกิดฟอลต์ แบบสามเฟส.....	120
5.29 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์ แบบสามเฟส.....	120
5.30 ภาพขยายผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc ของระบบจำลอง เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส.....	121
5.31 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vca ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์ แบบสามเฟส.....	121
5.32 ภาพขยายผลการประเมินของแรงดันสาย Vca ของระบบจำลอง เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส.....	122

รูปที่	หน้า
5.33 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน.....	125
5.34 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน.....	125
5.35 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vca ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน.....	126
5.36 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส.....	127
5.37 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส.....	128
5.38 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vca ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส.....	128
5.39 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน.....	131
5.40 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน.....	131
5.41 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vca ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน.....	132
5.42 แผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC ของระบบจำลอง.....	137
5.43 แผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน SEMI F-47 ของระบบจำลอง.....	139
ก.1 ตัวอย่างสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวง.....	147
ก.2 Time Curve ของ Fuse M100K.....	149
ก.3 Time-Coordination สำหรับตัวอย่างสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวง.....	154
ข.1 Toolbar ของโปรแกรม.....	155
ข.2 การสร้าง diagram ใหม่.....	156

รูปที่	หน้า
ข.3	ขั้นตอนการตั้งค่าคุณสมบัติของ network model157
ข.4	หน้าต่าง Network Properties157
ข.5	โหนดชนิดต่างๆ.....158
ข.6	Toolbar สำหรับการเลือกโหนด.....158
ข.7	Toolbar สำหรับการเลือกชนิดของอุปกรณ์ต่อขนาน.....159
ข.8	ขั้นตอนในการสร้างอุปกรณ์ต่อขนาน.....159
ข.9	Toolbar สำหรับการเลือกชนิดของ Branch.....160
ข.10	ขั้นตอนในการสร้างBranch.....160
ข.11	หน้าต่างคุณสมบัติของโหนด.....161
ข.12	หน้าต่างคุณสมบัติของสาย.....162
ข.13	หน้าต่างคุณสมบัติของหม้อแปลง.....164
ข.14	หน้าต่างคุณสมบัติของแหล่งจ่าย.....167
ข.15	หน้าต่างคุณสมบัติของฟอลต์.....169
ข.16	หน้าต่าง Analysis Option.....170
ข.17	Network diagram.....171
ข.18	การกำหนดตำแหน่งการเกิดฟอลต์และรูปแบบของฟอลต์ในระบบไฟฟ้า.....171
ข.19	แสดงผลการคำนวณของเฟส A.....172
ข.20	แสดงผลการคำนวณของเฟส B.....172
ข.21	แสดงผลการคำนวณของเฟส C.....173

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ ขอบเขต และขั้นตอนของการศึกษาวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ รวมทั้งลำดับเนื้อหาในบทถัด ๆ ไป เพื่อให้ผู้ที่สนใจสามารถมองเห็นภาพรวมของการศึกษาภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Dip หรือ Voltage Sag) เป็นปัญหาคุณภาพไฟฟ้ากำลังที่สำคัญที่ได้รับความสนใจเนื่องจากอาจมีผลกระทบต่อกลุ่มอุปกรณ์ที่ไวต่อปรากฏการณ์นี้เช่น คอมพิวเตอร์, ชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วรอบได้ (adjustable speed drive) และอุปกรณ์อื่นๆ อาจทำงานผิดพลาดหรือหยุดทำงาน ซึ่งอาจเป็นเหตุให้สายการผลิตหยุดชะงักหรือคุณภาพของสินค้าที่ผลิตไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด ดังนั้นในการเลือกอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันจึงควรเลือกให้เหมาะสมกับระบบไฟฟ้า โดยอาจพิจารณาจากการประเมินแรงดันตกชั่วขณะที่มีสาเหตุหลักเกิดขึ้นจากการผิดปกติหรือฟอลต์ในระบบไฟฟ้าทำให้แรงดันลดขนาดลงอย่างทันทีทันใด ทำให้มีค่าต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ แล้วตามด้วยการคืนตัวของแรงดันในช่วงเวลาสั้น ๆ ดังนั้นข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกัน, การจัดลำดับความสัมพันธ์ (coordination) ของระบบป้องกันรวมทั้งการปรับปรุงระบบป้องกันอาจส่งผลถึงคุณภาพของแรงดันในระบบจำหน่ายด้วยเช่นกัน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อแรงดันตกชั่วขณะ
- 2) เพื่อศึกษาการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์
- 3) เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อมีการปรับเปลี่ยนระบบป้องกัน

1.3 ขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์

ศึกษาผลกระทบของการปรับปรุงระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะของสายป้อน 12/24 kV ณ จุดที่สนใจ โดยผลของการประเมินแรงดันตกชั่วขณะจะแสดงถึงขนาด และระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะในแต่ละระดับ โดยกำหนดการปรับปรุงระบบป้องกันมี 6 กรณีคือกรณีที่ 1 เป็นรูปแบบการป้องกันทั่วไปของระบบแบบเรเดียล, กรณีที่ 2 เพิ่มเดิมการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทาน (Neutral Ground Resistor : NGR), กรณีที่ 3 การใช้ Recloser แทน Expulsion Fuse สำหรับ Lateral, กรณีที่ 4 การใช้ Current Limiting Fuse แทน Expulsion Fuse, กรณีที่ 5 เพิ่มเดิมการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทานและใช้ Recloser แทน Expulsion Fuse สำหรับ Lateral และกรณีที่ 6 เพิ่มเดิมการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทานและใช้ Current Limiting Fuse แทน Expulsion Fuse โดยที่แต่ละกรณีต้องทำการจัดลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสม

1.4 ขั้นตอนศึกษาและวิธีดำเนินการ

- 1) ศึกษาการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์
- 2) ศึกษาวิธีการสร้างและใช้งานแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ
- 3) ศึกษาขั้นตอนและวิธีการเขียนโปรแกรม
- 4) สร้างโปรแกรมเพื่อใช้ในการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ
- 5) ศึกษาหาข้อมูลของระบบจริงและทดลองใช้โปรแกรมทำการประเมินระบบจริง
- 6) นำผลที่ได้มาพัฒนาและปรับปรุงโปรแกรมให้มีความเหมาะสมกับระบบจริง
- 7) สรุปผลและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

- 1) ทำให้ทราบผลกระทบของการทำการปรับปรุงระบบป้องกันที่มีต่อแรงดันตกชั่วขณะ
- 2) สามารถทำการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์
- 3) ผลที่ได้สามารถนำไปเป็นข้อมูลในการปรับปรุงระบบเพื่อลดระดับแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลังได้

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบทเป็นดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและนิยามที่ใช้ในการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ

บทที่ 3 กล่าวถึงแนวทางการลดผลกระทบแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

บทที่ 4 กล่าวถึงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการประเมิน

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเมื่อใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ออกแบบ

แบบและพัฒนาขึ้นทำการประเมินระบบจริง

บทที่ 6 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและนิยามที่ใช้ในการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ

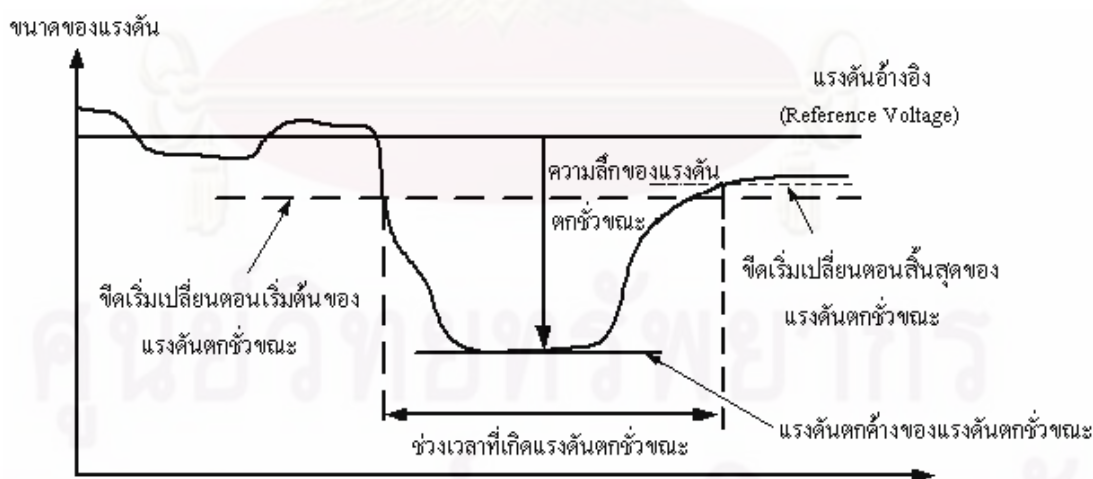
การประเมินแรงดันตกชั่วขณะที่มีสาเหตุหลักเกิดขึ้นจากความผิดปกติหรือฟอลต์ในระบบไฟฟ้า นั่นคือเมื่อเกิดฟอลต์ที่สายป้อนใดสายป้อนหนึ่งทำให้เกิดไฟฟ้าดับที่สายป้อนนั้น และทำให้สายป้อนข้างเคียงเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งความรุนแรงขึ้นกับ 2 ปัจจัยคือ

1. ขนาดแรงดันที่เหลือขณะเกิดฟอลต์ซึ่งขึ้นกับตำแหน่งที่เกิดฟอลต์, ขนาดของกระแสฟอลต์ และชนิดของการเกิดฟอลต์
2. ช่วงระยะเวลาที่เกิดฟอลต์ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่อุปกรณ์ป้องกันทั้งหมดทำงานเพื่อกำจัดฟอลต์

จะเห็นได้ว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในการบ่งชี้ระดับความรุนแรง ซึ่งมีทฤษฎีและวิธีการที่ใช้ในการประเมินดังนี้

2.1 คำจำกัดความของแรงดันตกชั่วขณะ

แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Dip หรือ Voltage Sag)[1] คือ การที่แรงดันมีขนาดลดลงต่ำกว่าค่าแรงดันปกติเกินเกณฑ์ที่กำหนด เช่น 90 % แล้วตามด้วยการคืนตัวของแรงดันกลับสู่ค่าปกติในช่วงเวลาสั้น ๆ โดยมีพารามิเตอร์ต่างๆ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในเรื่องแรงดันตกชั่วขณะ

- แรงดันอ้างอิง เป็นแรงดันที่ระบุเพื่อใช้อ้างอิงในการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนต่าง ๆ ความลึกของแรงดันตกชั่วขณะ หรือค่าอื่น ๆ โดยคิดเทียบเป็น % หรือ pu

- ขีดเริ่มเปลี่ยนตอนเริ่มต้นของแรงดันตกชั่วขณะ เป็นค่าแรงดันที่กำหนดขึ้นโดยเทียบกับแรงดันอ้างอิงเพื่อเป็นตัวกำหนดจุดเริ่มเกิดของแรงดันตกชั่วขณะ โดยปกติแล้วมักกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 85% ถึง 95% หรือ 0.85 ถึง 0.95 pu ของแรงดันอ้างอิง

- ขีดเริ่มเปลี่ยนตอนสิ้นสุดของแรงดันตกชั่วขณะ เป็นค่าแรงดันที่กำหนดขึ้น โดยเทียบกับแรงดันอ้างอิงเพื่อเป็นตัวกำหนดจุดสิ้นสุดของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ โดยปกติอาจกำหนดเป็นค่าเดียวกันกับขีดเริ่มเปลี่ยนตอนเริ่มต้น หรืออาจกำหนดให้มีค่าสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนตอนเริ่มต้นประมาณ 1%

- แรงดันตกค้างของแรงดันตกชั่วขณะ เป็นค่าแรงดันต่ำสุดที่บันทึกได้ในขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ อาจแสดงเป็น โวลต์ หรือร้อยละเทียบกับแรงดันอ้างอิง หรือ pu เทียบกับแรงดันอ้างอิง

- ความลึกของแรงดันตกชั่วขณะ คือผลต่างของแรงดันอ้างอิงกับแรงดันตกค้าง

- ช่วงเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ เป็นระยะเวลาระหว่างจังหวะที่แรงดันลดค่าต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนตอนเริ่มต้น และจังหวะที่แรงดันคืนตัวมีค่าสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนตอนสิ้นสุด

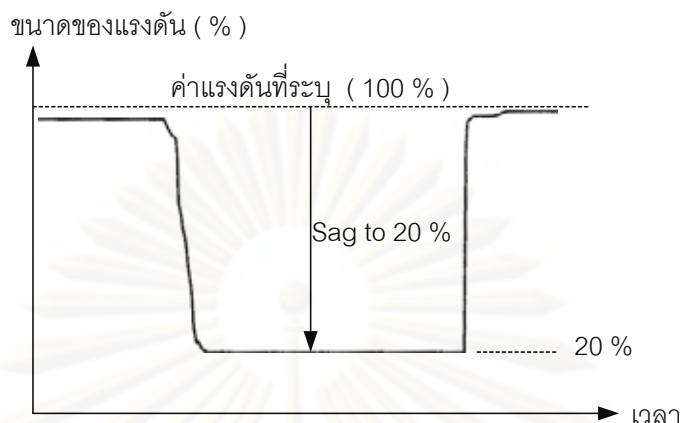
การกำหนดคุณลักษณะของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ ตามนิยามของมาตรฐานต่าง ๆ สรุปรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบมาตรฐานของปรากฏการณ์แรงดันตกชั่วขณะ

มาตรฐาน ตัวแปร	IEC 61000 –2 – 1 – 2002	EN 50160 – 1999	IEEE 1159 – 1995
ชื่อ	Voltage Dips	Voltage Dips	Voltage Sags
ขนาด (pu.)	0.0 – 0.9	0.01 – 0.9	0.1 – 0.9
ระยะเวลา	½ Cycle – few sec	10 ms – 1 min	½ Cycle – 1 min

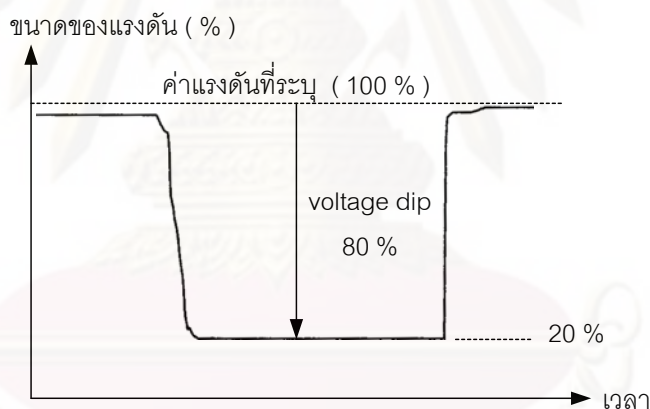
การเรียก Voltage Sag (IEEE 1159) และ Voltage Dip (EN 50160 และ IEC 61000 Series) มีความหมายต่างกัน [2] ดังนี้

“a sag to 20 %” หมายถึง แรงดันลดค่าลงไปอยู่ที่ระดับ 20 % ของค่าที่ระบุ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความหมายของ Voltage Sag

“voltage dip 80 %” หมายถึงแรงดันลดค่าลงไปจากค่าที่ระบุ คิดเป็น 80 % ไปอยู่ที่ระดับ 20 % ของค่าที่ระบุ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความหมายของ Voltage Dip

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะจะหมายถึง ขนาดของแรงดันค่าต่ำสุดที่เหลืออยู่ในช่วงเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ

2.2 วิธีการคำนวณฟอลต์ในระบบไฟฟ้า

โดยทั่วไประบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้งานเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟสสมดุล ซึ่งสิ่งหนึ่งที่เกิดโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้คือ ฉนวนที่ส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบเกิดเสื่อมสภาพ หรือการที่สายตัวนำเปลือยสัมผัสกัน ซึ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุให้ระบบเกิดการลัดวงจร หรือฟอลต์

สำหรับสาเหตุของการเกิดฟอลต์ขึ้นกับระบบยังมีอีกหลายสาเหตุ เช่น ฟาผ่าลงสายตัวนำ ต้นไม้พาดลงบนสายตัวนำ รถยนต์ชนเสาไฟฟ้า เป็นต้น สำหรับประโยชน์ของการศึกษาฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลังจะให้ผลและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ดังนี้

1. ทำให้ทราบระดับของกระแสลัดวงจรสูงสุดและต่ำสุดที่บัสต่างๆ
2. นำค่าระดับกระแสลัดวงจรไปกำหนดขนาดพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์
3. กำหนดรูปแบบของรีเลย์ป้องกัน
4. ทำให้ทราบระดับแรงดันขณะเกิดฟอลต์

โดยทั่วไปฟอลต์ในระบบไฟฟ้าแรงสูงสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

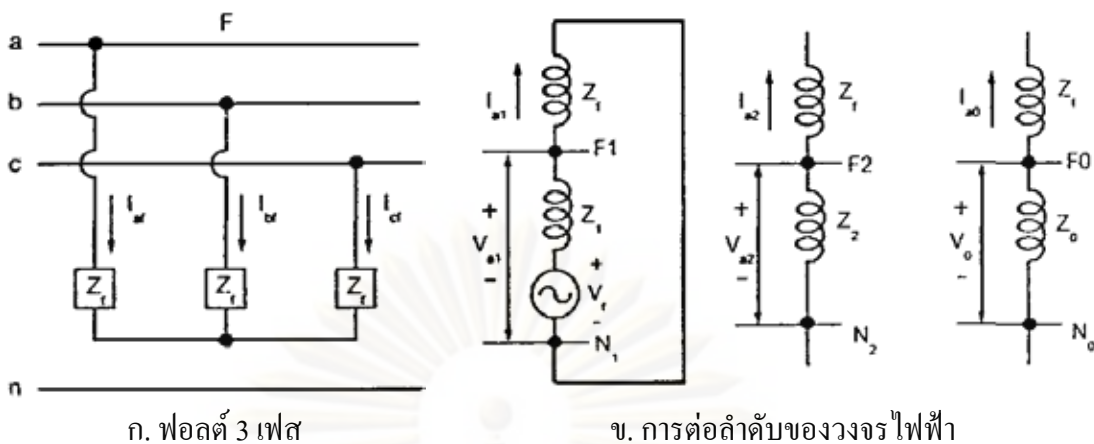
1. ฟอลต์แบบสมมาตร (Symmetrical fault) เป็นฟอลต์ 3 เฟสสมดุล ซึ่งฟอลต์ชนิดนี้มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยที่สุดคือประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนฟอลต์รวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง แต่มีความเป็นไปได้สูงที่เป็นฟอลต์รุนแรงที่สุด

2. ฟอลต์แบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical fault) เป็นฟอลต์แบบไม่สมดุล ซึ่งฟอลต์ชนิดนี้เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังเป็นส่วนมาก สามารถแบ่งออกเป็นฟอลต์ลงดินเส้นเดียว (Single Line to Ground Fault), ฟอลต์ระหว่างสาย (Line to Line Fault) และฟอลต์สองสายลงดิน (Double line to ground Fault) ซึ่งเป็นต้นเหตุให้กระแสที่ไหลในระบบไม่สมดุล

ดังนั้นวิธีการของส่วนประกอบสมมาตรจึงมีประโยชน์อย่างมากเมื่อนำมาวิเคราะห์หากระแสและแรงดันในทุกส่วนของระบบหลังจากได้เกิดฟอลต์ขึ้น การพิจารณาฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังทำโดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีของเทวินินเพื่อหากระแสฟอลต์ โดยการแทนระบบทั้งหมดด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 หน่วย และอิมพีแดนซ์อนุกรม และสุดท้ายนำวิธีการของบัสอิมพีแดนซ์เมทริกซ์มาใช้วิเคราะห์ฟอลต์ โดยการคำนวณฟอลต์ทั้งแบบสมมาตร (Symmetrical) และแบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical) มีรายละเอียดดังนี้ [3, 4]

2.2.1 ฟอลต์แบบสมมาตร (Three Phase Fault)

ฟอลต์ประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อสายทั้งสามเฟสถูกลัดวงจรพร้อมกัน ซึ่งจะมีขนาดกระแสและแรงดันเท่ากันทุกเฟสและมีมุมต่างเฟสกัน 120 องศา [2] โดยมี Connection Diagram ดังรูปที่ 2.4



ก. ฟอลต์ 3 เฟส

ข. การต่อลำดับของวงจรไฟฟ้า

รูปที่ 2.4 ฟอลต์แบบ 3 เฟส

โดยกระแสลัดวงจรในขณะเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟส มีค่าเท่ากับ

$$I_{3\phi}^{(1)} = \frac{1}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \quad (2.1)$$

สำหรับฟอลต์ชนิดนี้กระแส $I_{3\phi}^{(0)} = I_{3\phi}^{(2)} = 0$ เมื่อตัวแปรต่างๆ คือ

$Z_{kk}^{(1)}$ คือ Z_{bus} ที่บัสที่เกิดความผิดปกติ k

Z_f คือ อิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งเกิดฟอลต์

การคำนวณหาค่าแรงดันที่บัสอื่นๆ โดยสมมติว่ากำลังสนใจบัส m จะได้ตามสมการ (2.2)-(2.4)

$$V_m^{(0)} = -Z_{mk}^{(0)} I_{3\phi}^{(0)} = 0 \quad (2.2)$$

$$V_m^{(1)} = 1 - Z_{mk}^{(1)} I_{3\phi}^{(1)} \quad (2.3)$$

$$V_m^{(2)} = -Z_{mk}^{(2)} I_{3\phi}^{(2)} = 0 \quad (2.4)$$

ซึ่งก็คือ

$$V_m^{(1)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \quad (2.5)$$

จะได้แรงดันที่บัส m ในแต่ละเฟสดังนี้

$$V_m^a = V_m^{(1)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \quad (2.6)$$

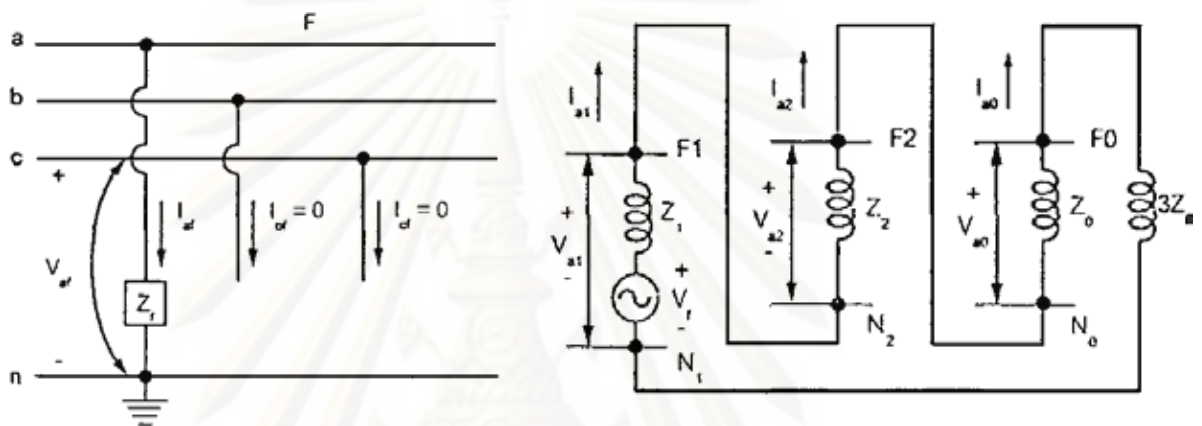
$$V_m^b = a^2 V_m^{(1)} = a^2 \left(1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \right) \quad (2.7)$$

$$V_m^c = a V_m^{(1)} = a \left(1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_f} \right) \quad (2.8)$$

2.2.2 ฟอลต์แบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical Fault)

2.2.2.1 ฟอลต์แบบฟอลต์ลงดินเส้นเดียว (Single Line to Ground Fault)

ฟอลต์ประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อมีสายเฟสใดเฟสหนึ่งของระบบไฟฟ้าถูกลัดวงจรลงดิน ซึ่งเป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ง่าย และมีอัตราการเกิดมากที่สุดในระบบไฟฟ้า โดยมี Connection Diagram ดังรูปที่ 2.5



ก. ฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน (ที่เฟส A)

ข. การต่อลำดับของวงจรไฟฟ้า

รูปที่ 2.5 ฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน (ที่เฟส A)

สามารถคำนวณหากระแสขณะลัดวงจรในกรณีเกิดฟอลต์ชนิดนี้ที่บัส k ได้ดังนี้คือ

$$I_f^{(0)} = I_f^{(1)} = I_f^{(2)} = \frac{1}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.9)$$

จะได้แรงดันที่บัส m ใดๆ ขณะเกิดฟอลต์ที่บัส k ในแบบ Symmetrical Component ดังนี้

$$V_m^{(0)} = -Z_{mk}^{(0)} I_f^{(0)} = \frac{-Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.10)$$

$$V_m^{(1)} = 1 - Z_{mk}^{(1)} I_f^{(1)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.11)$$

$$V_m^{(2)} = -Z_{mk}^{(2)} I_f^{(2)} = \frac{-Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.12)$$

จะได้แรงดันที่บัส m ในแต่ละเฟสดังนี้

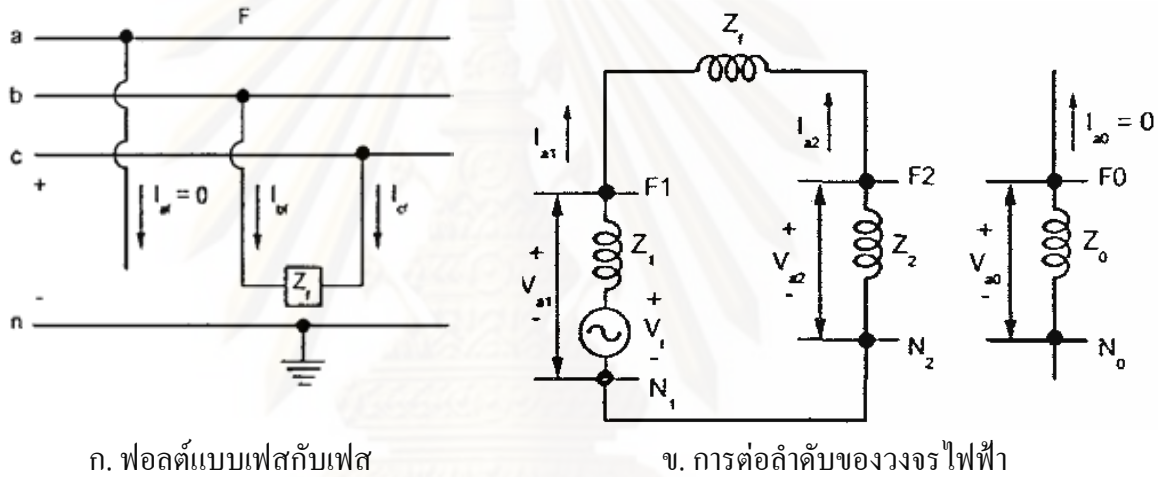
$$V_m^a = V_m^{(0)} + V_m^{(1)} + V_m^{(2)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(0)} + Z_{mk}^{(1)} + Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.13)$$

$$V_m^b = V_m^{(0)} + a^2 V_m^{(1)} + a V_m^{(2)} = a^2 - \frac{Z_{mk}^{(0)} + a^2 Z_{mk}^{(1)} + a Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.14)$$

$$V_m^c = V_m^{(0)} + a V_m^{(1)} + a^2 V_m^{(2)} = a - \frac{Z_{mk}^{(0)} + a Z_{mk}^{(1)} + a^2 Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + 3Z_f} \quad (2.15)$$

2.2.2.2 ฟอลต์ระหว่างสาย (Line to Line Fault)

เป็นฟอลต์ที่เกิดขึ้นระหว่างเฟส โดยสาเหตุใหญ่ๆมักจะเกิดจากสัตว์ เช่น นกหรือลิง เป็นต้น ซึ่งมี Connection Diagram ดังรูปที่ 2.6



ก. ฟอลต์แบบเฟสกับเฟส

ข. การต่อลำดับของวงจรไฟฟ้า

รูปที่ 2.6 ฟอลต์แบบเฟสกับเฟส (ระหว่างเฟส B กับเฟส C)

สามารถคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรของฟอลต์ชนิดนี้โดย $I_f^{(0)} = 0$

$$I_f^{(1)} = -I_f^{(2)} = \frac{1}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (2.16)$$

คำนวณหาค่าแรงดันที่บัส m ใดๆ จากสมการต่อไปนี้

$$V_m^{(0)} = -Z_{mk}^{(0)} I_f^{(0)} = 0 \quad (2.17)$$

$$V_m^{(1)} = 1 - Z_{mk}^{(1)} I_f^{(1)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (2.18)$$

$$V_m^{(2)} = -Z_{mk}^{(2)} I_f^{(2)} = \frac{Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \quad (2.19)$$

จะได้แรงดันที่บัส m ในแต่ละเฟสดังนี้

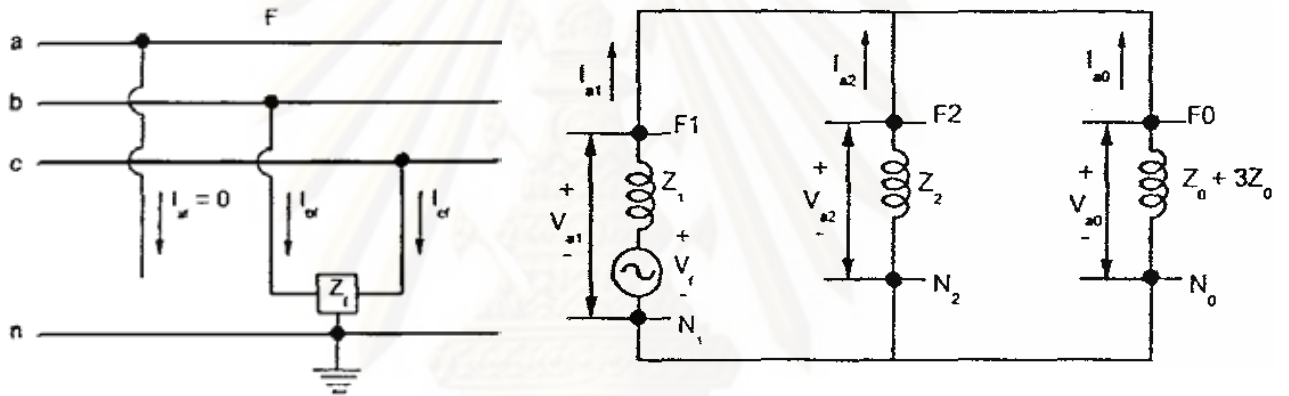
$$V_m^a = V_m^{(1)} + V_m^{(2)} = 1 - \frac{Z_{mk}^{(1)} - Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \tag{2.20}$$

$$V_m^b = a^2 V_m^{(1)} + a V_m^{(2)} = a^2 - \frac{a^2 Z_{mk}^{(1)} - a Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \tag{2.21}$$

$$V_m^c = a V_m^{(1)} + a^2 V_m^{(2)} = a - \frac{a Z_{mk}^{(1)} - a^2 Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} + Z_{kk}^{(2)} + Z_f} \tag{2.22}$$

2.2.2.3 ฟอลต์สองสายลงดิน (Double Line to Ground Fault)

เป็นฟอลต์ที่เกิดขึ้นระหว่าง 2 เฟสกับดิน ซึ่งมี Connection Diagram ดังรูปที่ 2.7



ก. ฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน

ข. การต่อลำดับของวงจรไฟฟ้า

รูปที่ 2.7 ฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน (ระหว่างเฟส B กับเฟส C ลงดิน)

คำนวณหาค่ากระแสลัดวงจรของฟอลต์ชนิดนี้ ได้ดังนี้

$$I_f^{(0)} = - \frac{1 - I_f^{(1)} Z_{kk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(0)}} \tag{2.23}$$

$$I_f^{(1)} = \frac{Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(1)} Z_{kk}^{(0)} + Z_{kk}^{(1)} Z_{kk}^{(2)} + Z_{kk}^{(2)} Z_{kk}^{(0)}} \tag{2.24}$$

$$I_f^{(2)} = - \frac{1 - I_f^{(1)} Z_{kk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(2)}} \tag{2.25}$$

โดยกำหนดให้ $Z_{kk}^{(0)} = Z_{kk}^{(0)} + 3Z_f$ คำนวณหาแรงดันที่บัส m ดังนี้

$$V_m^{(0)} = \frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}^{(0)}} (1 - I_f^{(1)} Z_{kk}^{(1)}) \tag{2.26}$$

$$V_m^{(1)} = 1 - Z_{mk}^{(1)} I_f^{(1)} \tag{2.27}$$

$$V_m^{(2)} = \frac{Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(2)}} (1 - I_f^{(1)} Z_{kk}^{(1)}) \quad (2.28)$$

โดยทั่วไปแล้ว $\frac{Z_{mk}^{(1)}}{Z_{kk}^{(1)}} = \frac{Z_{mk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(2)}} = \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}}$ จะได้ $I_f^{(1)}$ และแรงดันแต่ละเฟสที่บัส m ดังนี้

$$I_f^{(1)} = \frac{Z_{kk}'^{(0)} + Z_{kk}}{(Z_{kk})^2 + 2Z_{kk}Z_{kk}'^{(0)}} \quad (2.29)$$

$$V_m^a = 1 + \frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}'^{(0)}} + \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} - I_f^{(1)} Z_{kk} \left(\frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}'^{(0)}} + 2 \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} \right) \quad (2.30)$$

$$V_m^b = a^2 + \frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}'^{(0)}} + a \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} - I_f^{(1)} Z_{kk} \left(\frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}'^{(0)}} - \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} \right) \quad (2.31)$$

$$V_m^c = a + \frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}'^{(0)}} + a^2 \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} - I_f^{(1)} Z_{kk} \left(\frac{Z_{mk}^{(0)}}{Z_{kk}'^{(0)}} - \frac{Z_{mk}}{Z_{kk}} \right) \quad (2.32)$$

2.3 การป้องกันระบบไฟฟ้า

ปัจจุบันความต้องการพลังงานไฟฟ้าขยายตัวมากยิ่งขึ้น ในขณะที่การเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้าย่อมเกิดความเสียหายต่อระบบการผลิตภาคอุตสาหกรรม เพื่อที่จะป้องกันระบบไฟฟ้าให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและลดความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นแก่ระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้ากรณีระบบผิดปกติ ซึ่งหน้าที่ของระบบป้องกันไฟฟ้าที่ดี คือต้องสามารถตัดระบบไฟฟ้าออกจากวงจรให้เร็วที่สุดกรณีที่เกิดภาวะผิดปกติในระบบไฟฟ้า และในส่วนของปัญหาคุณภาพไฟฟ้ากำลังที่ต้องทำการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าทางด้านแรงดันตกชั่วขณะด้านการไฟฟ้ามีหลายวิธีเช่น

- การใช้ Fuse Saving
- การใช้ Current Limiting Fuse
- การใช้ Smaller Lateral Fuse
- การใช้ Faster Breaker หรือ Recloser
- การเพิ่ม Nominal Voltage
- การลดอัตราการผลิตฟอลต์

จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในระบบไฟฟ้ามีผลต่อคุณภาพไฟฟ้าโดยตรงจึงมีความจำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของอุปกรณ์ป้องกันซึ่งในที่นี่จะพิจารณาถึงอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินชนิดต่างๆ ดังนี้ [4, 5, 6]

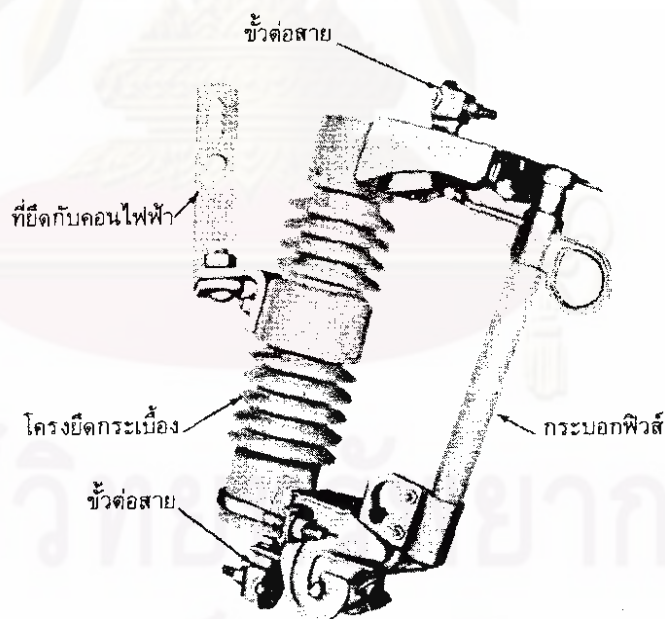
2.3.1 ฟิวส์แรงสูง (High Voltage Fuse)

หน้าที่หลักของฟิวส์คือ การหลอมละลายไส้ฟิวส์ให้ขาดออกจากกันเมื่อมีกระแสเกินหรือกระแสลัดวงจรไหลผ่านตัวมัน ดังนั้นวัสดุประสงค์ของฟิวส์ ได้แก่ การแยกฟอลต์ถาวรโดยการตัดส่วนของสายป้อนหรืออุปกรณ์ที่ต่อกับสายป้อน เช่น หม้อแปลงจำหน่ายที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ ฟิวส์ที่ใช้งานในระบบจำหน่ายจัดเป็นฟิวส์แรงสูง ซึ่งสามารถจำแนกเป็น 2 ประเภทดังนี้

2.3.1.1 ฟิวส์ตัดตอนแรงสูง (Dropout Fuse Cutout)

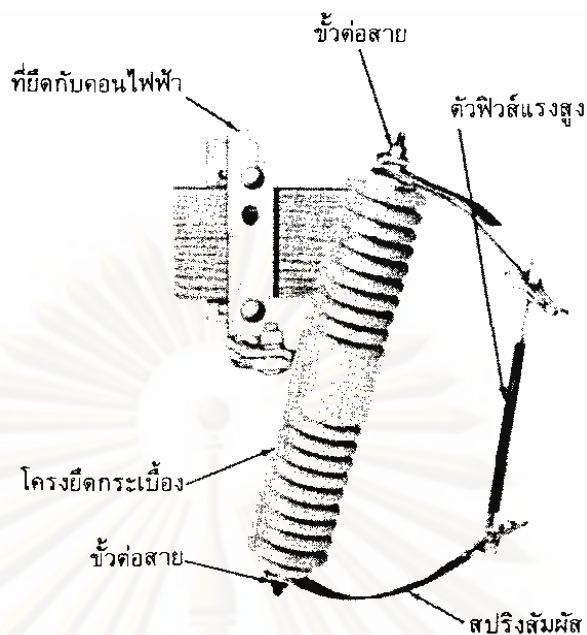
ฟิวส์ตัดตอนแรงสูง หมายถึงอุปกรณ์ตัดตอนที่ต้องมีค่าสูงสุดของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าระดับการฉนวนอิมพัลส์มาตรฐาน (BIL) ที่ฉนวนสามารถทนได้ และต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรงเหมาะสมที่จะติดตั้งกับเสาไฟฟ้าหรือคอนสายได้ เหมาะสมกับระบบแรงดันไฟฟ้าที่ใช้อยู่ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. ชนิดที่ตัวฟิวส์อยู่ในกระบอกรูป (open type) เป็นฟิวส์ประเภทเอ็กซ์แพนชัน (expansion) คือเป็นอุปกรณ์ป้องกันที่มีการพุ่งระบายของไฟและก๊าซ ในขณะที่ตัวฟิวส์ (fuse link) หลอมขาดออกจากกัน อันเนื่องมาจากการลัดวงจร



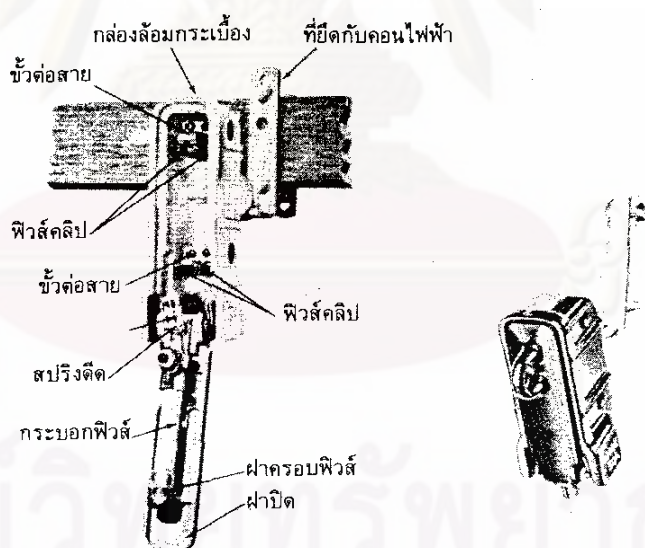
รูปที่ 2.8 ฟิวส์แรงสูงชนิดตัวฟิวส์อยู่ในกระบอกรูป

2. ชนิดที่ตัวฟิวส์ไม่ได้อยู่ในกระบอกรูป (open-link type) เป็นฟิวส์ประเภทเอ็กซ์แพนชัน เหมือนชนิดแรก เพียงแต่ตัวฟิวส์เป็นชนิดที่ไม่ได้บรรจุในกระบอกรูป



รูปที่ 2.9 ฟิวส์แรงสูงชนิดตัวฟิวส์ไม่ได้อยู่ในกระบอก

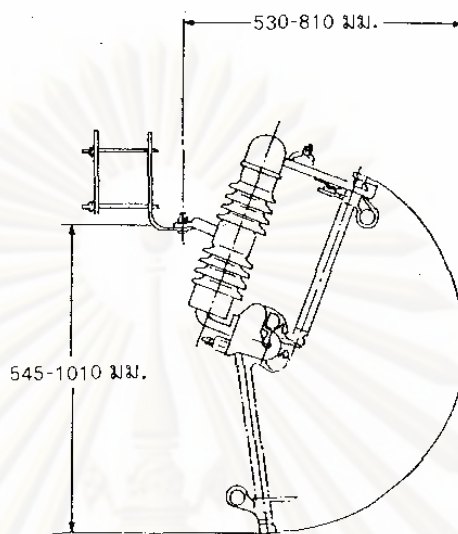
3. ชนิดที่อยู่ภายในสิ่งห่อหุ้ม (enclosed type) เป็นฟิวส์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์แพนชั่นแตกต่างจากชนิดแรก กระบอกฟิวส์ขั้วต่อสายใส่บรรจุอยู่ในกล่องล้อมปิด



รูปที่ 2.10 ฟิวส์แรงสูงชนิดที่อยู่ภายในสิ่งห่อหุ้ม

ลักษณะการทำงานของฟิวส์ตัดตอนแรงสูง เมื่อเกิดการลัดวงจรตัวฟิวส์จะหลอมละลายและเกิดการอาร์ก ความร้อนในรูปประกายไฟหรือเปลวไฟ ความดันและก๊าซที่เกิดขึ้นภายในกระบอกฟิวส์หรือสิ่งห่อหุ้มตัวฟิวส์ จะขับเคลื่อนออกสู่ภายนอกพร้อมกับขับส่วนของตัวฟิวส์ที่ขาดออกจากกันที่อยู่ส่วนล่างให้ห่างออกจากกันมากพอที่จะไม่เกิดการอาร์กต่อไป ส่วนของก๊าซและความ

ร้อนที่ถูกขับออกมานั้น เป็นส่วนที่อาจทำให้อุปกรณ์และสายไฟที่อยู่ส่วนล่างและบนเกิดความเสียหายได้



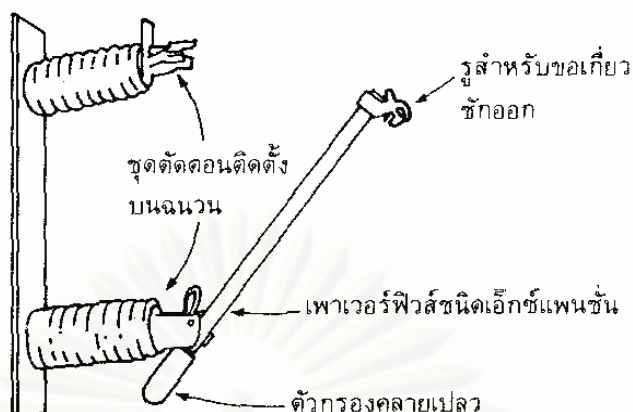
รูปที่ 2.11 ลักษณะของฟิวส์ตัดตอนแรงสูง เมื่อตัวฟิวส์หลอมละลายขาดออกจากกัน

2.3.1.2 เพาเวอร์ฟิวส์ (Power Fuse)

เพาเวอร์ฟิวส์มีคุณลักษณะอื่นๆ ที่แตกต่างจากฟิวส์ตัดตอนแรงสูงคือสามารถเลือกขนาดฟิวส์ที่สูงกว่าทั้งฟิวส์แรงดัน ฟิวส์กระแส และฟิวส์กระแสขณะตัดวงจร สามารถเลือกใช้ได้ทั้งติดตั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร เพาเวอร์ฟิวส์แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. เพาเวอร์ฟิวส์เอ็กซ์แพนชัน มีลักษณะการทำงานเหมือนกับฟิวส์ตัดตอนแรงสูง สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามสภาพการใช้งานคือ

ก) ประเภทเอ็กซ์แพนชัน (expansion) เป็นชนิดที่กระบอกฟิวส์ทำด้วยใยแก้วและลักษณะการทำงานเหมือนฟิวส์ตัดตอนแรงสูง ข้อจำกัดของฟิวส์ประเภทนี้คือใช้ภายนอกอาคารอย่างเดียว โดยปกติจะใช้กับสถานีจ่ายไฟฟ้า สำหรับป้องกันหม้อแปลงขนาดเล็กถึงขนาดกลาง และใช้ป้องกันคาปาซิเตอร์

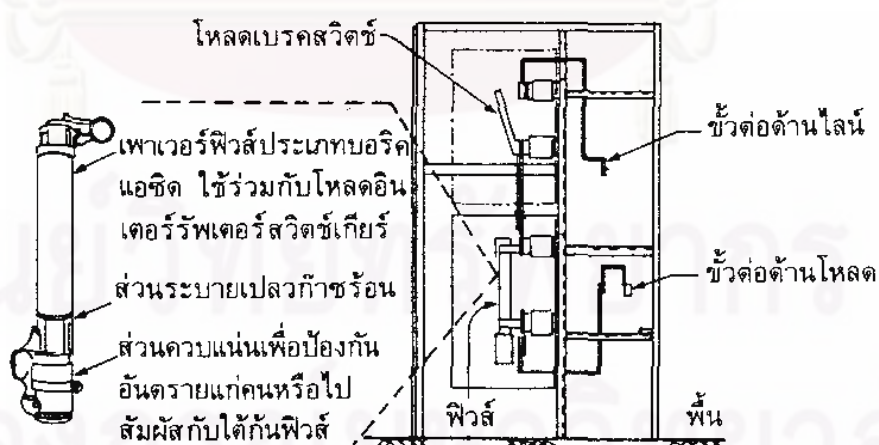


รูปที่ 2.12 เพาเวอร์ฟิวส์ประเภทเอ็กซ์แพนชัน ร่วมกับสวิตช์ตัดคอนแรงสูงภายนอกอาคาร

ข) ประเภทบอริกแอซิด (boric acid) กระบอกฟิวส์จะบรรจุด้วยบอริกแอซิดเพื่อทำหน้าที่ดับอาร์คในขณะที่เกิดกระแสลัดวงจร ผงของบอริกแอซิดที่บรรจุแน่นในกระบอกฟิวส์มีผลดังนี้

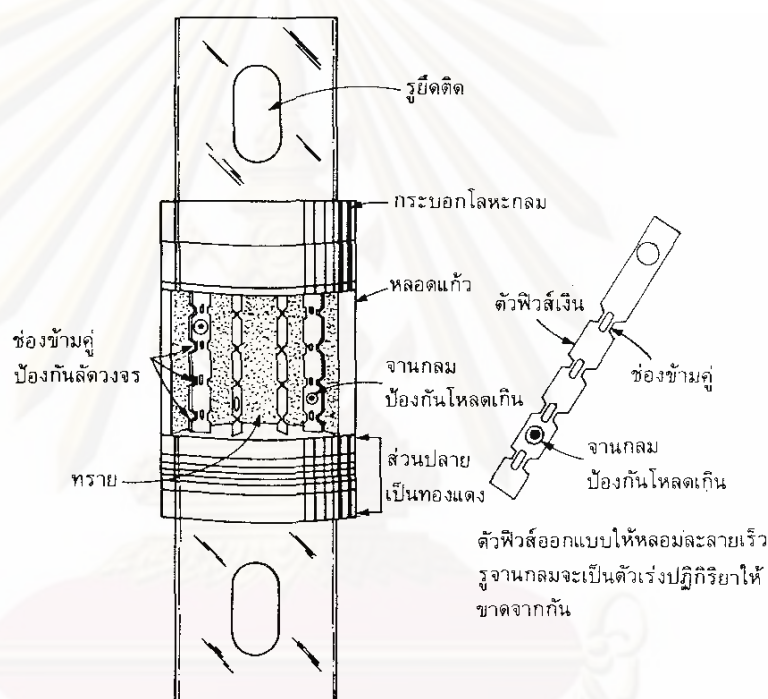
- สำหรับฟิวส์ขนาดเดียวกัน จะสามารถตัดกระแสลัดวงจรได้สูงกว่า มีจุดหลอมละลายต่ำที่พิกัดกระแสลัดวงจร ทำให้มีอาร์กน้อย ลดการแตกตัวของก๊าซและเปลวไฟ
- ก๊าซที่เกิดจากบอริกแอซิดจะไม่ลุกไหม้ ทำให้ลดเปลวไฟป้องกันการวาวไฟ
- สามารถควบคุมก๊าซที่กระจายเมื่อเกิดการอาร์ก ไอของบอริกแอซิดสามารถควบคุมเป็นของเหลวจากอุปกรณ์ระบายความร้อน

สำหรับเพาเวอร์ฟิวส์ประเภทนี้สามารถใช้ได้ทั้งภายในและนอกอาคาร



รูปที่ 2.13 เพาเวอร์ฟิวส์ประเภทบอริกแอซิด ติดตั้งอยู่ภายในตู้โพลีอินเตอรัพเตอร์สวิตช์เกียร์

2. เพาเวอร์ฟิวส์จำกัดกระแส (current limiting power fuse) ฟิวส์ชนิดนี้มีพิกัดตัดกระแสลัดวงจรสูงๆ ได้ หรือเรียกว่า ฟิวส์แรงสูง HRC ซึ่งมีการออกแบบโดยการเจาะตัวฟิวส์ให้เป็นร่องและใช้ผงทราย (quartz sand) เป็นส่วนประกอบด้วย จะทำให้ความหนาแน่นของกระแสของส่วนตัวฟิวส์ในช่วงที่เรียกว่า ช่องข้ามคู่ (double bridge) มีค่าค่อนข้างสูง เมื่อมีกระแสลัดวงจรที่สูงมากไหลผ่าน ก็จะทำให้ส่วนช่องข้ามคู่หลอมละลาย ความร้อนที่เกิดขึ้น ณ จุดนี้จะทำให้ทรายที่อยู่โดยรอบหลอมเหลวและหุ้มห่อส่วนที่ขาดของวงจรรอย่างรวดเร็ว ทำให้ส่วนของตัวฟิวส์ที่ขาดออกจากกันถูกกั้นด้วยฉนวนและสามารถตัดกระแสลัดวงจรได้ โดยหลักการแล้วฟิวส์ประเภทนี้ใช้ทรายดูดซับพลังความร้อนที่เกิดขึ้นในฟิวส์ จะเป็นการลดความรุนแรงและความเสียหายในระบบไฟฟ้าได้อย่างมาก



รูปที่ 2.14 ฟิวส์จำกัดกระแส

จุดเด่นของฟิวส์แรงสูงชนิดจำกัดกระแสคือ

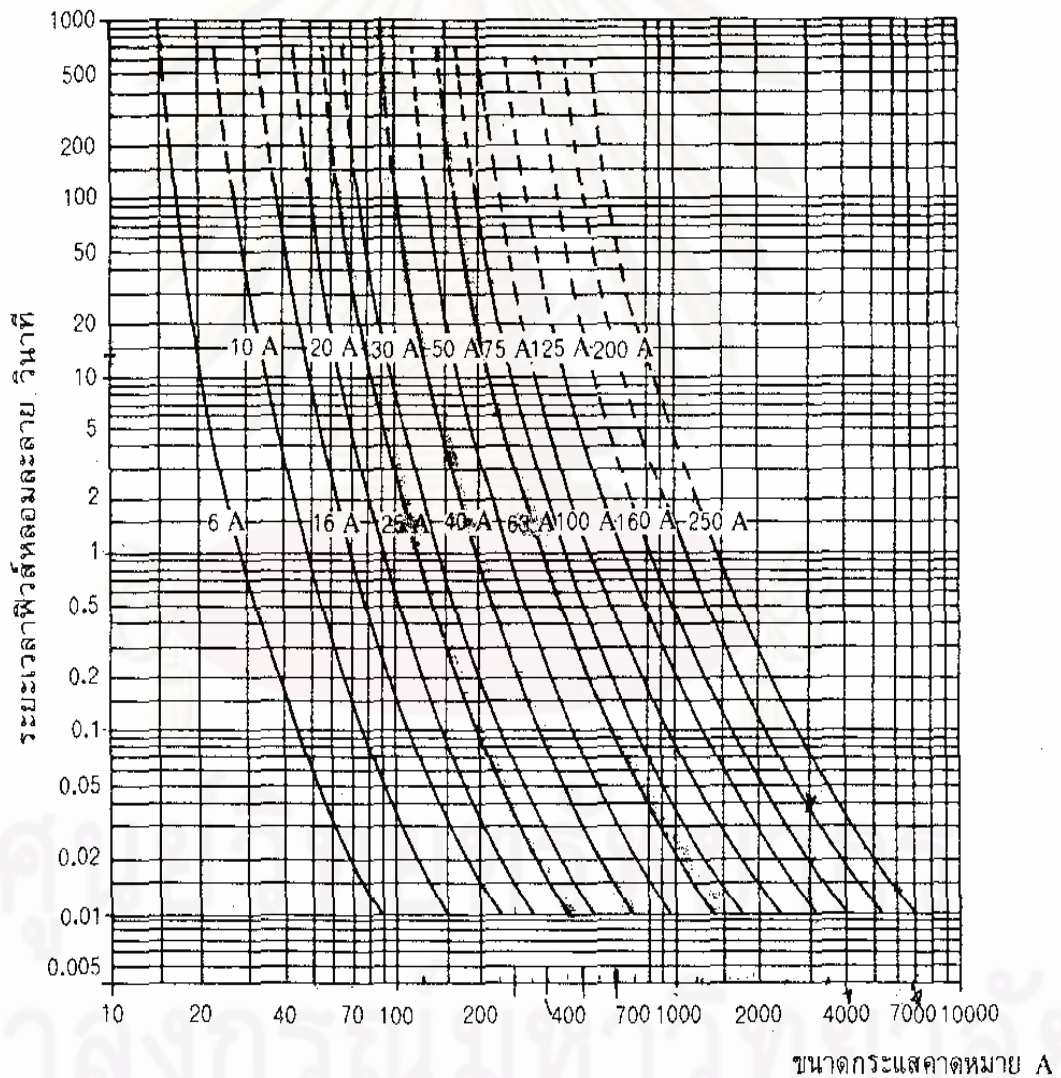
- ขณะกระแสลัดวงจรจะไม่มีอาร์กเนื่องจากก๊าซ ซึ่งพลังงานการอาร์กทั้งหมดจะถูกทรายดูดซับ ทำให้ลดความร้อนและความรุนแรงอันจะเกิดความเสียหายแก่ระบบไฟฟ้า ฟิวส์ชนิดนี้สามารถใช้ในอาคาร โดยติดตั้งอยู่ในกล่องปิดล้อม มีขนาดเล็ก ไม่มีเสียง และไม่มีความร้อนจากก๊าซหรือเปลวไฟ

- ปฏิกริยาฟิวส์นี้สามารถควบคุมให้กระแสไหลผ่านฟิวส์ต่ำขณะกระแสลัดวงจรในระบบกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้จะช่วยลดความเสียหายในวงจรไฟฟ้าขณะฟอลต์

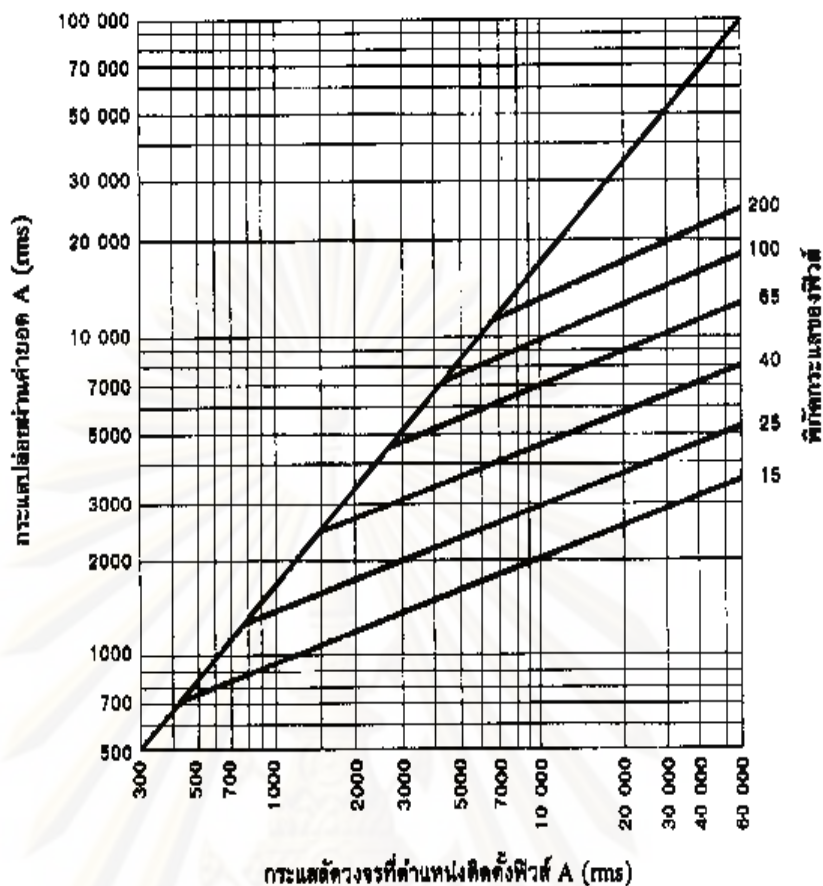
- มีอัตราพิกัดกระแสขณะตัดวงจรสูง สามารถนำไปใช้กับระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันระดับกลางและระดับสูงที่มีค่าพิกัดกระแสตัดวงจรสูงๆ



รูปที่ 2.15 ฟิวส์แรงสูง HRC ชนิดจำกัดกระแส



รูปที่ 2.16 คุณลักษณะเส้นโค้งเวลา-กระแสของฟิวส์แรงสูง HRC ชนิดจำกัดกระแส



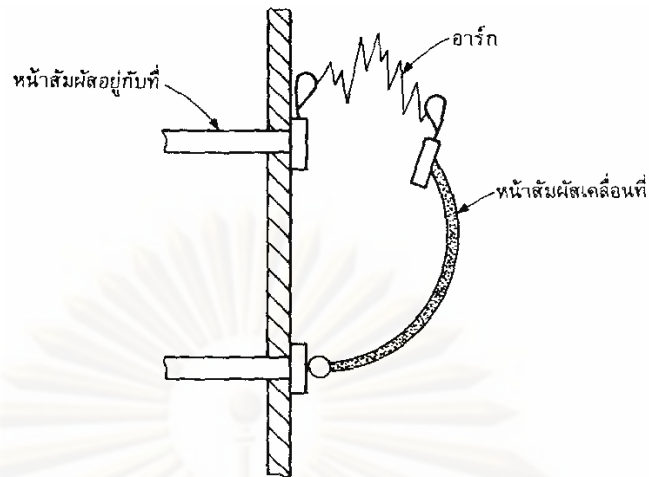
รูปที่ 2.17 รูปแบบทั่วไปของเส้นโค้งกระแสสลายผ่านค่ายอด สำหรับฟิวส์ชนิดจำกัดกระแส

2.3.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์และรีเลย์ (Circuit Breakers and Relays)

2.3.2.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์

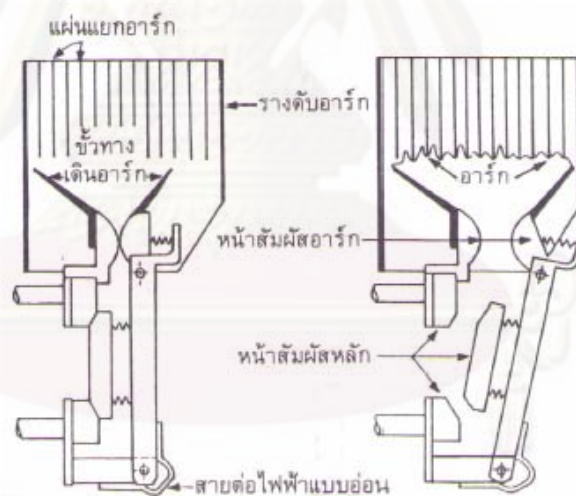
คือ อุปกรณ์ตัดตอนอัตโนมัติ ซึ่งมีความสามารถในการตัดกระแสหรือปิดเข้าได้ทุกสภาวะ กล่าวคือ ทั้งในกรณีที่เกิดฟอลต์หรือในเหตุการณ์ปกติ สำหรับหน้าที่หลักของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ได้แก่ การดับอาร์กที่เกิดขึ้นเนื่องจากหน้าสัมผัสอยู่กับที่และหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แยกออกจากกันขณะตัดกระแสฟอลต์ ด้วยเหตุนี้จึงจำแนกชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามตัวกลางดับอาร์กได้ 4 ชนิดคือ

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบอากาศ (air circuit breaker : ACB) ตัวตัดการไหลของกระแสหรืออินเตอร์รัพเตอร์ใช้อากาศเป็นตัวกลางในการดับอาร์กซึ่งเป็นหลักการที่ง่ายที่สุด ส่วนความยาวของอาร์กจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าแรงดันระหว่างหน้าสัมผัสในขณะที่ขจัดจังหวะการไหลของกระแส เบรกเกอร์ที่ใช้อากาศเป็นอินเตอร์รัพเตอร์ ควรเป็นแบบเปิด ดังรูป 2.18



รูปที่ 2.18 แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเปิด

หากอินเตอร์รัพเตอร์เป็นแบบมีกล่องหุ้ม (enclosed type) การดับอาร์คจะต้องติดตั้งอุปกรณ์บางอย่างเพิ่ม เช่น รางดับอาร์ค (arc chute), แผ่นแยกอาร์ค (arc barrier), และช่องทางเดินอาร์ค (arc runner) เป็นต้น เพื่อให้ลำอาร์คใหญ่ๆ ถูกแยกออกเป็นอาร์คเล็กๆ พร้อมกันนี้ก็จะคายความร้อนกับแผ่นแยกอาร์ค ทำให้อาร์คเย็นตัวลงและดับได้อย่างรวดเร็ว

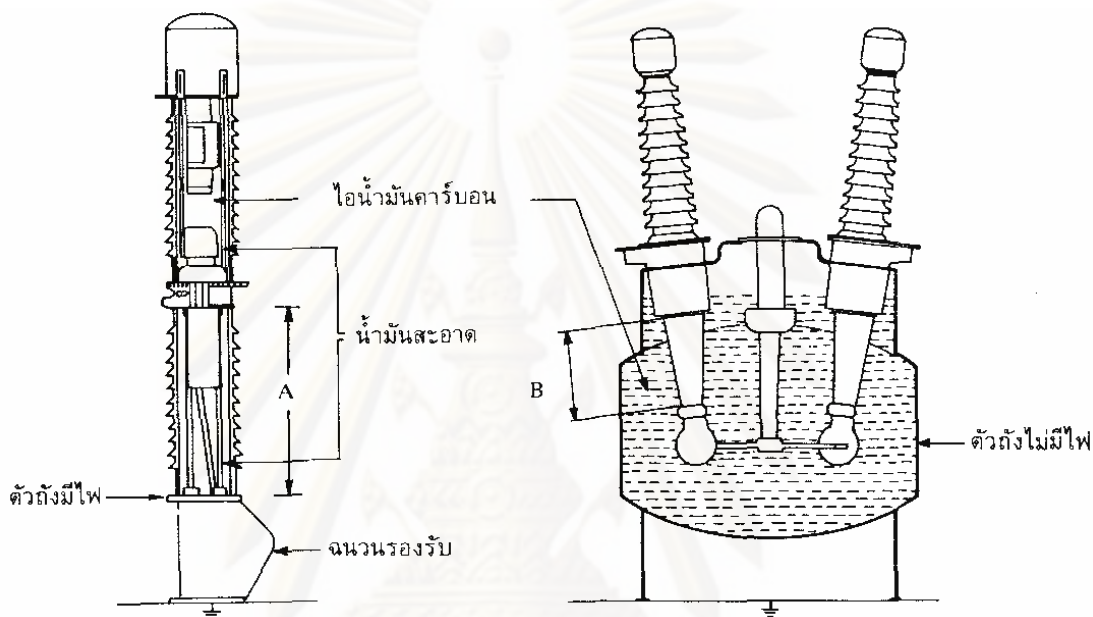


รูปที่ 2.19 แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบในกล่องหุ้ม

2. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบน้ำมัน (oil circuit breaker : OCB) เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ดับอาร์คโดยอาศัยน้ำมัน ที่ใช้งานทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

ก) บัลค์ออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (bulk oil circuit breaker) เป็นชนิดที่ใช้น้ำมันมาก อินเตอร์รัพเตอร์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์อยู่ในถังเหล็กใหญ่บรรจุน้ำมันอยู่เต็มจึงมีชื่อเรียกว่าแบบตัวถังไม่มีไฟ (dead tank)

ข) มินิมั้มอยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (minimum oil circuit breaker) เป็นชนิดที่ใช้ น้ำมันน้อย และเป็นแบบตัวถังมีไฟ ดังรูปที่ 2.20 เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้จะใช้น้ำมัน 1 ใน 10 เท่าของ บัลค์ออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์ เมื่อเปรียบเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าเทียบกับดินที่ A (ผ่านน้ำมันสะอาด) ดังรูปที่ 2.20 ก) และที่ B (ผ่านไอน้ำมันคาร์บอน) ดังรูปที่ 2.20 ข) สำหรับในการดับอาร์ก นั้นอาศัยการพ่นน้ำมันจากลูกสูบทำงานด้วยสปริงอัดน้ำมันให้ฉีดอย่างแรง ตัดกระแสอาร์กในเวลาสั้นๆ

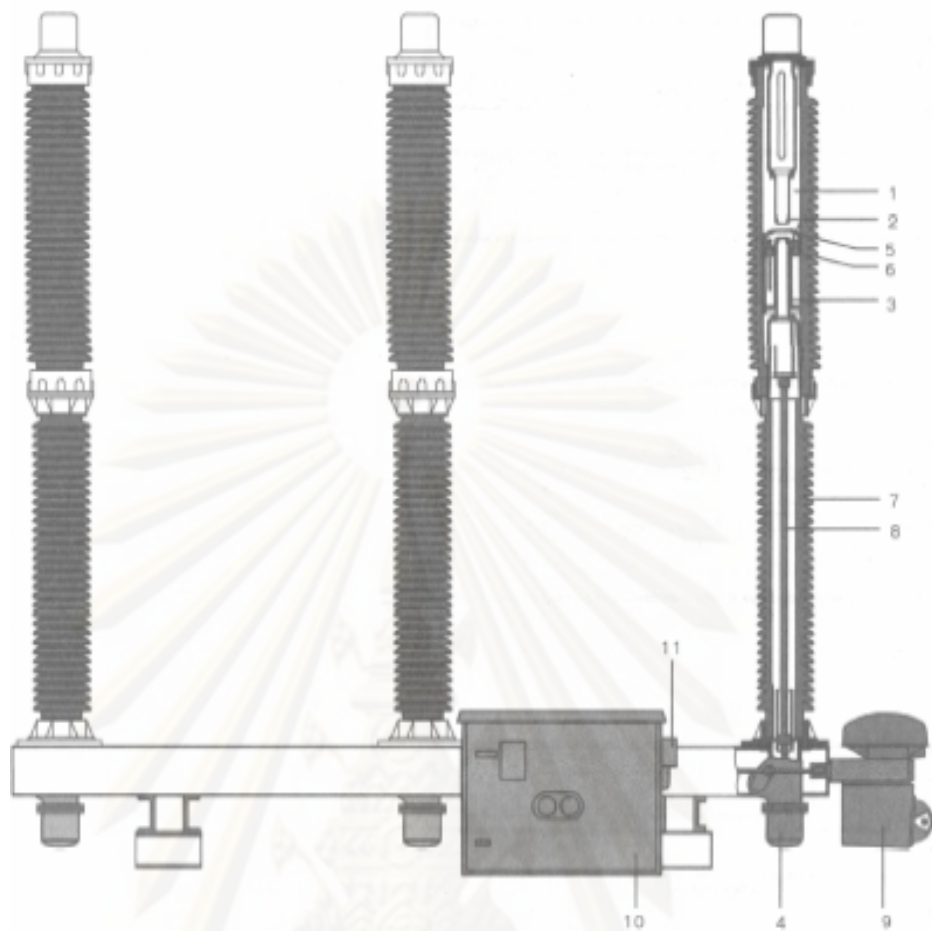


ก) มินิมั้มอยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์

ข) บัลค์ออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์

รูปที่ 2.20 เปรียบเทียบมินิมั้มอยล์และบัลค์ออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์

3. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบก๊าซ SF₆ (SF₆ gas circuit breaker : GCB) เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ดับอาร์กโดยอาศัยก๊าซ SF₆ ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นพิษ ไม่ติดไฟและไม่ช่วยให้ไฟติด และไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ทนความร้อนสูง มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ และมีความคงทนของสารไดอิเล็กตริกสูงมาก มีแรงดันเบรกคาว์สูง เพราะก๊าซ SF₆ สามารถจับตัวกับอิเล็กตรอนในสนามไฟฟ้าได้มาก ดังนั้นก๊าซ SF₆ จึงมีคุณสมบัติเป็นลบ เคลื่อนที่ได้ช้า ทำให้อัตราการเพิ่มของอิเล็กตรอนอิสระถูกหน่วงให้ช้าลง ทำให้มีแรงดันเบรกคาว์สูงกว่าก๊าซอื่น เหมาะที่จะใช้เป็นฉนวน หลักการทำงานในห้องดับอาร์กคือ ก๊าซ SF₆ จะถูกเป่าเข้ามาในทรงกระบอก ในขณะที่หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์แยกออกจากกัน ทำให้ความดันในห้องดับอาร์กเพิ่มขึ้น เมื่อก๊าซ SF₆ เป่าล้าอาร์ก ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมล้าอาร์ก ทำให้แตกตัวเป็นลำแคบๆ และรอบๆ จะมีอนุภาคมืดๆ ทำให้อาร์กดับได้



- | | |
|---------------------------|---|
| 1. ส่วนตัดกระแส | 7. ฉนวน |
| 2. หน้าสัมผัสที่เกิดอาร์ก | 8. ก้านสูบ |
| 3. หน้าสัมผัสเคลื่อนที่ | 9. กลไกทำงานด้วยไฮดรอลิก |
| 4. เครื่องกรอง | 10. ส่วนควบคุม |
| 5. กระจับอกสูบ | 11. เครื่องตรวจความหนาแน่นของแก๊ส SF ₆ |
| 6. ลูกสูบอัดแก๊ส | |

รูปที่ 2.21 โครงสร้างของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบก๊าซ SF₆ สำหรับใช้งานกับระบบแรงดันสูง

4. เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบสุญญากาศ (vacuum circuit breaker : VCB) เป็นการดับอาร์กแบบลดความดัน คือที่ความดันต่ำมากจะมีค่าความคงทนของไดอิเล็กตริกสูงพอสมควร และจะมีโมเลกุลของอากาศเหลือน้อยมาก เนื่องจากเข้าใกล้สุญญากาศ เมื่อโมเลกุลของอากาศเหลือน้อยทำให้เกิดอาร์กได้ยาก และเมื่อกระแสดับผ่านศูนย์กลางไปแล้ว จะลดความรุนแรงของอาร์กลง และค่าคงทนของไดอิเล็กตริกสูงพอสมควร จึงทำให้อาร์กสามารถดับลงไปได้



รูปที่ 2.22 เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบสุญญากาศ ขนาด 12 kV 630 A ติดตั้งภายในอาคาร

การเลือกใช้งานเซอร์กิตเบรกเกอร์ส่วนใหญ่จะเลือกให้สอดคล้องกับระดับแรงดันใช้งานดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเลือกชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามระดับแรงดันใช้งาน

ระดับแรงดันใช้งาน	ชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์
1. แรงดันสูง	- เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบแก๊ส SF ₆ - เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบน้ำมันน้อย
2. แรงดันปานกลาง	- เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบแก๊ส SF ₆ - เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบน้ำมันน้อย - เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบสุญญากาศ - เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบอากาศ
3. แรงดันต่ำ	- เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบอากาศ

ส่วนของการทำงานนั้น เซอร์กิตเบรกเกอร์จะถูกควบคุมโดยรีเลย์ป้องกันและตามปกติได้ติดตั้งอยู่ในสถานีไฟฟ้า ปัจจุบันขนาดพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะกำหนดด้วยกระแสประสิทธิผลสมมาตร (rms symmetrical current) ที่ระดับแรงดันใช้งานและโดยทั่วไปเวลาการทำงานเพื่อตัดกระแสของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีค่าต่ำสุดที่ 3 ถึง 5 ไซเคิล

2.3.2.2 รีเลย์ป้องกัน (Protective relay)

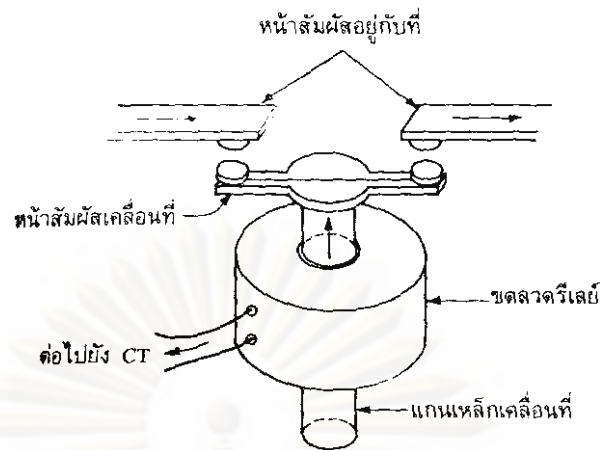
เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสภาวะผิดปกติของระบบไฟฟ้าแล้วส่งสัญญาณไปสั่งการให้ทำการตัดซึ่งด้วยการปลดหรือสับเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยทั่วไปรีเลย์ต้องมีคุณลักษณะพื้นฐานดังต่อไปนี้

1. ความเชื่อถือได้ (reliability) หมายถึงรีเลย์ต้องทำงานได้อย่างถูกต้องตลอดเวลาภายใต้สภาวะการณต่างๆ ไม่ว่าจะป็นเหตุการณ์ปกติหรือมีฟอลต์เกิดขึ้น
2. ความสามารถในการแยกแยะ (selectivity) รีเลย์ต้องตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่างๆ โดยการแยกแยะให้ถูกต้องว่าสมควรทำงานหรือไม่
3. ความเร็ว (speed) เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นรีเลย์ต้องใช้เวลาในการตัดสินใจให้น้อยที่สุดเพื่อสั่งปลดเซอร์กิตเบรกเกอร์ก่อนที่อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบจะได้รับความเสียหาย
4. ความง่าย (simplicity) รีเลย์ต้องมีโครงสร้างของอุปกรณ์ประกอบน้อยและมีวงจรไม่ซับซ้อน
5. ความประหยัด (economy) การออกแบบรีเลย์ควรพิจารณาให้มีการทำงานครบทุกข้อที่กล่าวมา และควรเลือกรูปแบบของการป้องกันให้มีการลงทุนน้อยที่สุดที่ป็นไปได้

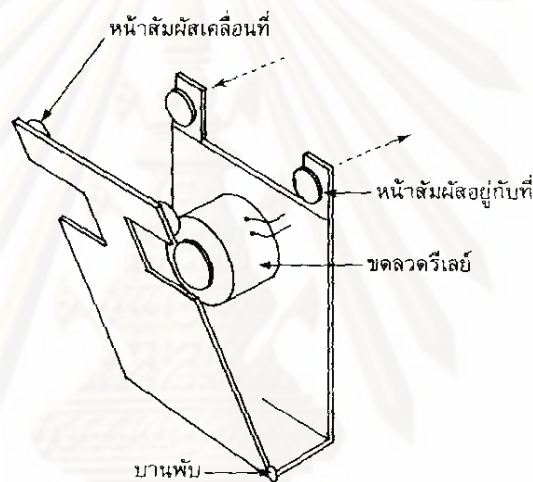
ชนิดของรีเลย์ป้องกันที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งตามหลักการทำงานได้ 3 ชนิด คือ

1. รีเลย์แบบไฟฟ้า-กล (electromechanical relay) คือ รีเลย์ที่อาศัยกระแสไฟฟ้าสร้างแรงดึงดูดหรือแรงบิดทางแม่เหล็กทำให้เกิดการเคลื่อนที่ทางกลของหน้าสัมผัส แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ
 - ก. รีเลย์แบบอาศัยแรงดูดของแม่เหล็กไฟฟ้า

โครงสร้างประกอบด้วยขดลวดโซลินอยด์ที่มีหน้าสัมผัสอยู่กับที่ (fixed contact) จับยึดอยู่ อีกส่วนหนึ่งจะเป็นแกนอาร์เมเจอร์หรือแกนกระเดื่อง (plunger) และหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ (moving contact) ดังรูปที่ 2.23 หรือส่วนของอาร์เมเจอร์แบบบานพับ (hinged armature) ดังรูปที่ 2.24 สำหรับการงานเมื่อขดลวดโซลินอยด์ได้รับสัญญาณมากเพียงพอมากระตุ้นทำให้สนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดนี้มีแรงดึงดูดแกนอาร์เมเจอร์จึงทำให้หน้าสัมผัสอยู่กับที่และเคลื่อนที่ต่อดึงกัน ซึ่งรีเลย์แบบนี้ ส่วนมากจะใช้เป็นรีเลย์แบบทำงานทันที (Instantaneous relay) นั่นคือเมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดมากกว่ากระแสปรับตั้งมันจะทำงานทันที



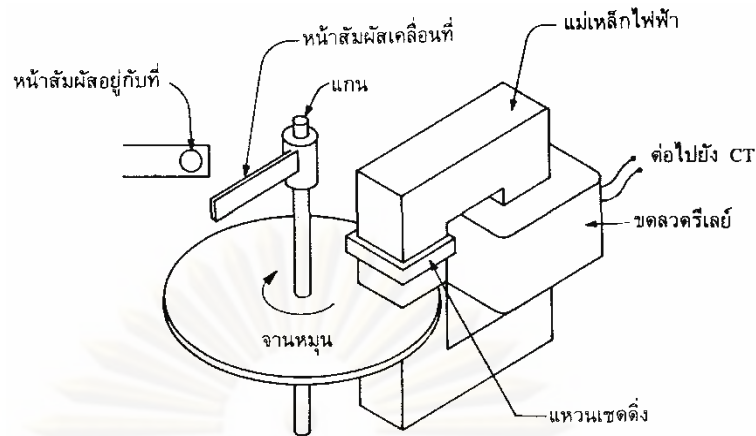
รูปที่ 2.23 รีเลย์แบบอาศัยแรงดูดของแม่เหล็กไฟฟ้า ชนิดแกนเหล็กเคลื่อนที่



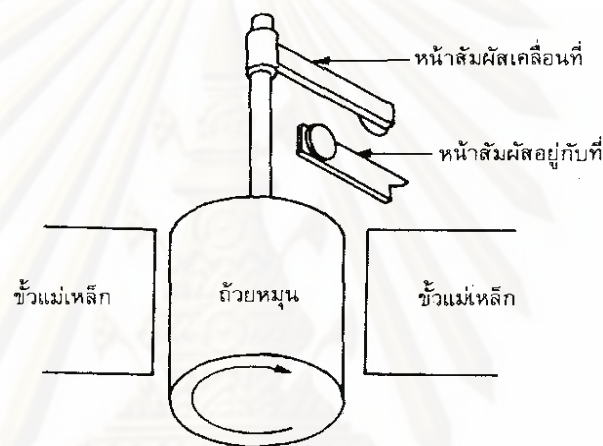
รูปที่ 2.24 รีเลย์แบบอาศัยแรงดูดของแม่เหล็กไฟฟ้า ชนิดบานพับ

ข. รีเลย์แบบอาศัยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

รีเลย์ชนิดนี้ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับ ใช้หลักการเดียวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction motor) แรงบิดที่จะเกิดขึ้นในตัวนำซึ่งหมุนได้ ตัวหมุนอาจเป็นจาน (disc) หรือถ้วย (cup) และต้องทำด้วยสารที่ไม่ใช่แม่เหล็ก ส่วนมากจะเป็นอะลูมิเนียมหรือทองแดง แรงบิดเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และ Eddy Current ซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำบนตัวหมุน ซึ่งรีเลย์ที่มีโครงสร้างแบบจานจะใช้เป็นรีเลย์กระแสเกิน-เวลา (time overcurrent relay) และรีเลย์แรงดันต่ำ/เกิน-เวลา (time under/overvoltage relay) ส่วนรีเลย์ที่มีโครงสร้างแบบถ้วยจะใช้เป็นรีเลย์แบบมีทิศทาง (directional relay) รีเลย์แบบผลต่าง (differential relay) และรีเลย์แบบระยะทาง (distance relay)



รูปที่ 2.25 รีเลย์แบบอาศัยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ชนิดจานเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.26 รีเลย์แบบอาศัยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ชนิดถ้วยเหนี่ยวนำ

2. รีเลย์แบบสแตติก (static relay) หลักการทำงานจะอาศัยการสวิตชิงของอุปกรณ์โซลิดสเตต โดยการนำสัญญาณขาเข้ารีเลย์ที่อาจเป็นแรงดัน กระแส และมุมเฟสหรือความถี่มาเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ได้ตั้งไว้ ถ้าสัญญาณขาเข้ามีค่าสูงกว่าสัญญาณที่ตั้งไว้ อุปกรณ์ตรวจจับก็จะทำงานโดยส่งสัญญาณขาออกที่เป็นสัญญาณไบนารี เพื่อไปควบคุมการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์

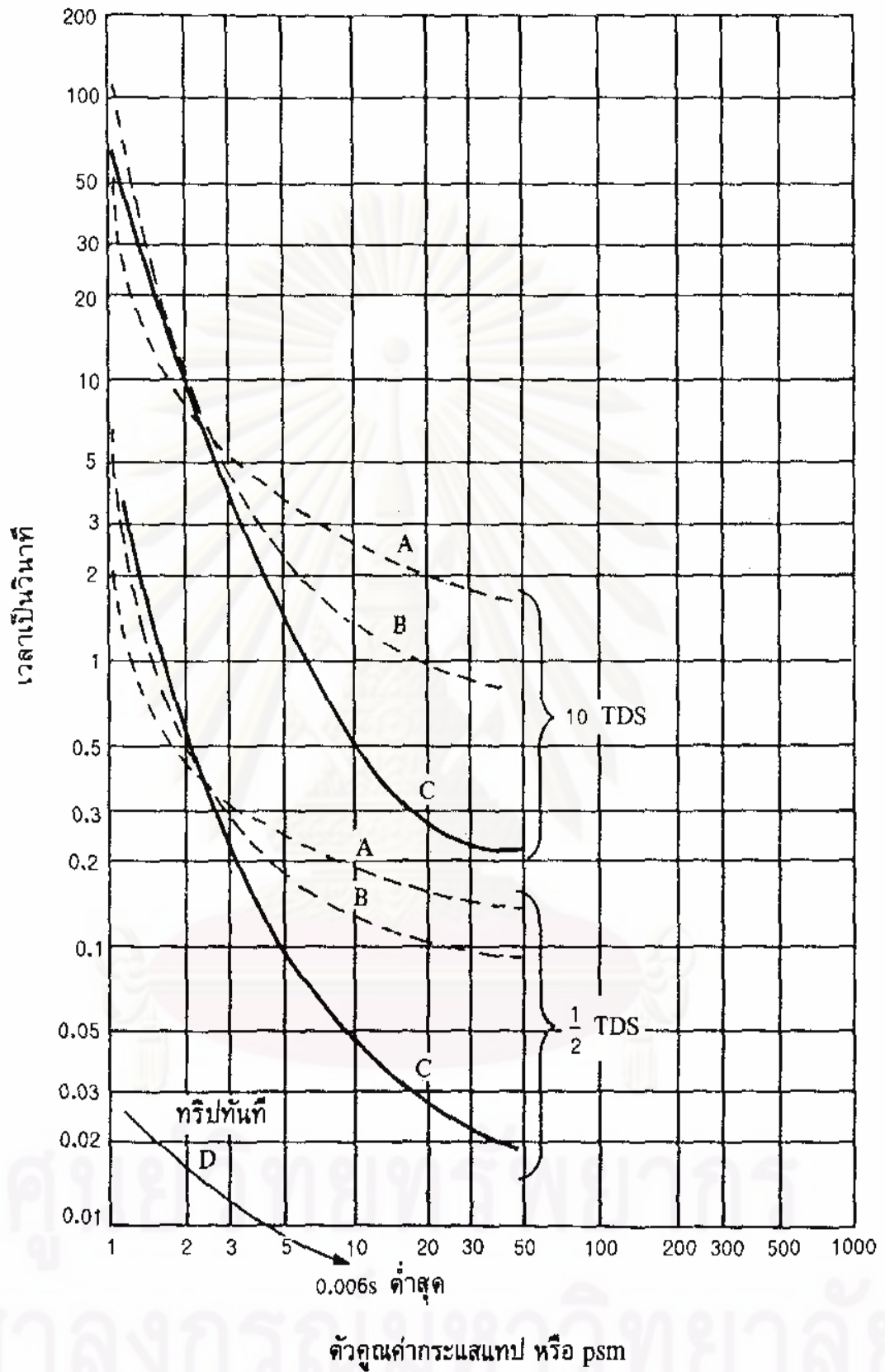
3. รีเลย์แบบดิจิทัล (digital relay) เนื่องจากเทคโนโลยีทางด้านวงจรรวมขนาดใหญ่ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว สอดคล้องกับระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันก็มีขนาดใหญ่และซับซ้อนมากขึ้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องการรูปแบบของระบบป้องกันที่มีคุณลักษณะในด้านความเร็ว ความแม่นยำ และความเชื่อถือได้สูง ดังนั้นระบบป้องกันที่ใช้รีเลย์แบบดิจิทัลหรือไมโครโปรเซสเซอร์จึงเข้ามามีบทบาท รีเลย์ป้องกันมีหลายชนิดซึ่งในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะรีเลย์กระแสเกิน ซึ่งเป็นรีเลย์ที่ทำงานเมื่อมีกระแสเกินค่าที่กำหนดที่เกิดขึ้นในส่วนที่ต้องการป้องกัน แบ่งตามลักษณะการทำงานดังนี้

1. รีเลย์กระแสเกินชนิดทำงานทันที (instantaneous overcurrent relay) รีเลย์จะทำงานทันทีเมื่อกระแสเข้ารีเลย์เท่ากับหรือสูงกว่ากระแสเริ่มทำงาน (pick up current) เส้นโค้งชนิด D ดังรูปที่ 2.27

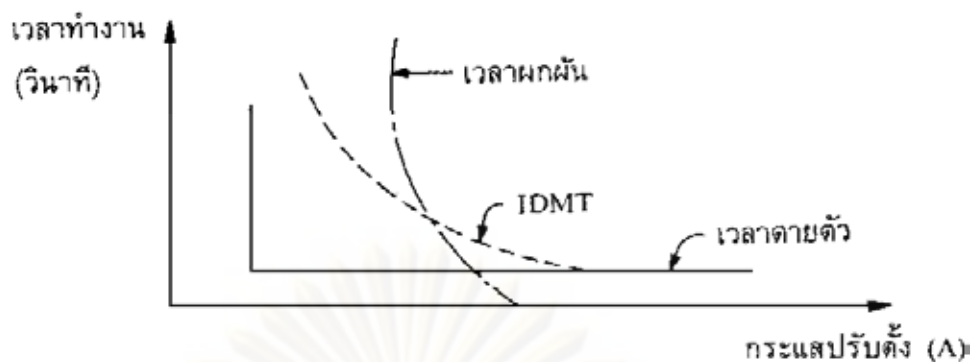
2. รีเลย์กระแสเกินแบบเวลาตายตัว (definite time overcurrent relay) เป็นรีเลย์ที่จะทำงานในช่วงเวลาที่ค่าหนึ่ง เมื่อกระแสเข้ารีเลย์มีค่าเท่ากับหรือเกินกว่ากระแสเริ่มทำงาน ถึงแม้ว่าจะมีค่ากระแสเกินมากกว่าค่ากระแสเริ่มทำงานก็ตาม รีเลย์ยังคงทำงานในช่วงเวลาที่กำหนด ดังรูปที่ 2.28

3. รีเลย์กระแสเกินแบบเวลาผกผัน (inverse time overcurrent relay) รีเลย์ชนิดนี้เวลาที่ใช้ในการทำงานจะเป็นส่วนกลับกับค่ากระแส กล่าวคือกระแสยิ่งสูงรีเลย์จะใช้เวลาในการทำงานยิ่งสั้น และถ้ากระแสต่ำรีเลย์จะใช้เวลาในการทำงานนาน การออกแบบรีเลย์ให้มีคุณสมบัติของเวลาผกผันมีอยู่หลายชนิด เช่น เวลาผกผัน (เส้นโค้งชนิด A), เวลาผกผันมาก (เส้นโค้งชนิด B), เวลาผกผันมากที่สุด (เส้นโค้งชนิด C) เวลาการทำงานของรีเลย์สามารถปรับตั้งเวลาสูงสุดหรือต่ำสุดได้ โดยการปรับตั้งหน้าปัดตั้งเวลา ดังรูปที่ 2.27

4. รีเลย์กระแสเกินแบบเวลาผกผันตายตัวต่ำสุด (inverse definite time overcurrent relay) หรือ IDMT เป็นรีเลย์ที่มีลักษณะเวลากับกระแสเป็นแบบผสมระหว่างเวลาผกผันกับเวลาตายตัวดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.27 เส้นโค้งแสดงเวลา- กระแส รีเลย์กระแสเกินแบบเวลาผกผัน



รูปที่ 2.28 เส้นโค้งเวลา-กระแส รีเลย์กระแสเกินแบบเวลาตายตัวและแบบ IDMT

รีเลย์แบบ time delay สามารถปรับตั้งรีเลย์แต่ละแบบได้ 2 วิธีคือ

ก. ตัวคูณค่ากระแสแทป (multiples of tap value current) เป็นค่ากระแสจริงที่ทำให้รีเลย์เริ่มทำงานด้วยตัวคูณเป็นร้อยละของกระแสที่กำหนด ซึ่งเรียกว่า Plug Setting Multiplier หรือ PSM ส่วนค่าปรับตั้งกระแสแทป (current tap setting) หรือ CTS จะมีตัวเลขให้เลือก กระแสแทปหมายถึงการปรับตั้งค่าให้ค่ากระแสเริ่มทำงานต่ำสุด พอดีที่จะให้งานหมุนตลอดจนกระทั่งหน้าสัมผัสปิด

ข. ค่าปรับตั้งหน้าปัดตั้งเวลา (time dial setting) หรือตัวคูณค่าปรับตั้งเวลา (time multiplier setting : TMS) เป็นการปรับตั้งระยะห่างระหว่างหน้าสัมผัสเคลื่อนที่กับหน้าสัมผัสอยู่กับที่จะกำหนดหรือปรับตั้งที่หน้าปัดตั้งเวลา ค่าปรับตั้งหน้าปัดตั้งเวลาจะควบคุมให้หน้าสัมผัสทั้งสองอยู่ใกล้หรืออยู่ห่าง ทั้งนี้ก็เพื่อให้เวลาการทำงานของรีเลย์เร็วหรือช้าได้ตามต้องการ ค่าปรับตั้งหน้าปัดตั้งเวลาตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกาจะเริ่มต้นจาก $\frac{1}{2}$ ถึง 11 ส่วนมาตรฐานอังกฤษจะเริ่มต้นจาก 0.1 ถึง 1 การปรับตั้งตัวเลขหน้าปัดตั้งเวลานั้น ถ้าปรับตั้งตัวเลขยิ่งสูงเวลาการทำงานของรีเลย์จะยิ่งนาน

2.3.2 รีโคลสเซอร์อัตโนมัติ (Automatic Circuit Reclosers)

รีโคลสเซอร์อัตโนมัติ คือ อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินที่ทำงานโดยการปลดวงจรและปิดซ้ำอย่างอัตโนมัติตามจำนวนครั้งที่ได้ตั้งไว้ เพื่อทำการตรวจสอบว่าสาเหตุของกระแสเกินเป็นเพราะฟอลต์ชั่วคราวหรือฟอลต์ถาวร ถ้าเป็นฟอลต์ชั่วคราวหลังจากรีโคลสเซอร์ปลดวงจรแล้วและฟอลต์ชั่วคราวได้หมดสภาพไป ดังนั้นเมื่อรีโคลสเซอร์ทำงานในขั้นตอนปิดซ้ำ ซึ่งตรวจหาฟอลต์ไม่พบจึงทำให้ระบบไฟฟ้าสามารถจ่ายพลังไฟฟ้าได้ต่อไป แต่ในกรณีฟอลต์ถาวร เมื่อรีโคลสเซอร์ทำงานในขั้นตอนปิดซ้ำปรากฏว่ายังตรวจพบฟอลต์อีก ซึ่งในที่สุดรีโคลสเซอร์จะเปิดค้าง (lockout) เพื่อปลดวงจรนี้ออกจากระบบจนกว่าจะแก้ไขต้นเหตุของฟอลต์ให้เรียบร้อยก่อนจึงสามารถต่อวงจรนี้เข้าระบบอีกครั้งหนึ่ง

รีโคลสเซอร์สามารถตั้งจำนวนลำดับครั้งการทำงานได้แตกต่างกันดังนี้

1. ทำงานแบบปลดทันที 2 ครั้งตามด้วยปลดแบบหน่วงเวลา 2 ครั้งและเปิดค้าง
2. ทำงานแบบปลดทันที 1 ครั้งตามด้วยปลดแบบหน่วงเวลา 3 ครั้งและเปิดค้าง
3. ทำงานแบบปลดทันที 3 ครั้งตามด้วยปลดแบบหน่วงเวลา 1 ครั้งและเปิดค้าง
4. ทำงานแบบปลดทันที 4 ครั้งและเปิดค้าง
5. ทำงานแบบหน่วงเวลา 4 ครั้งและเปิดค้าง

สำหรับการตั้งค่าเริ่มทำงานของรีโคลสเซอร์ โดยทั่วไปจะตั้งค่าให้ทำงานแบบปลดทันทีที่ 2 เท่าของพิกัดกระแสของรีโคลสเซอร์ และรีโคลสเซอร์ต้องมีความสามารถในการตัดกระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตรที่สัมพันธ์กับพิกัดกระแสสมมาตรของรีโคลสเซอร์ โดยค่าพิกัดกระแสลัดวงจรแบบไม่สมมาตรสามารถหาได้จากการคูณพิกัดกระแสลัดวงจรแบบสมมาตรที่ตำแหน่งติดตั้งรีโคลสเซอร์ด้วยแฟกเตอร์ประมาณ 1.4 ถึง 1.6

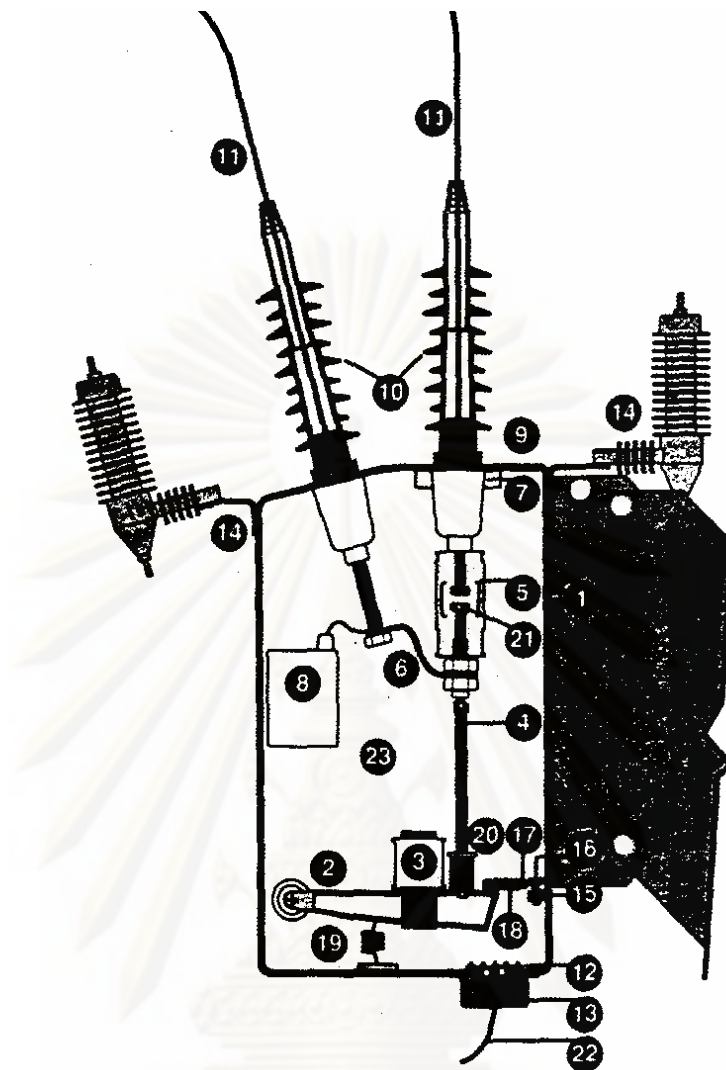
การทำงานของรีโคลสเซอร์จะมี 2 สถานะดังนี้

1. การสับหน้าสัมผัสเข้าหากัน (closed contacts)

เมื่อขดลวดโซลินอยด์ได้รับพัลส์ของกระแสจากตู้ควบคุมการทำงานก็จะสร้างสนามแม่เหล็กเพื่อดูดกลไกปลด-สับ (mechanism plate) และยกแกนของหน้าสัมผัส (pushrods) ให้ดันหน้าสัมผัสในตัวตัดกระแสแบบสูญญากาศเข้าหากัน และหน้าสัมผัสคงอยู่ในตำแหน่งปิดวงจรได้ด้วยการยึดของสลัก (latch) ซึ่งมีแกนปลดหน้าสัมผัส (trip bar) เป็นตัวค้ำสลัก

2. การปลดหน้าสัมผัสออกจากกัน (trip contacts)

หน้าสัมผัสของรีโคลสเซอร์สามารถปลดออกจากกันได้ก็ต่อเมื่อมีพัลส์ของกระแสจากตู้ควบคุมจ่ายให้กับขดลวดปลดหน้าสัมผัส (trip coil) โดยขดลวดนี้จะสร้างสนามแม่เหล็กไปดูดแกนอาร์เมเจอร์ปลดหน้าสัมผัส (trip bar armature) ซึ่งทำให้แกนปลดหน้าสัมผัสไปปลดสลักในขณะเดียวกันสปริงปลดหน้าสัมผัส (opening spring) และสปริงความดัน (contact pressure spring) จะเป็นตัวดึงเพื่อเร่งให้หน้าสัมผัสแยกออกจากกันได้เร็วยิ่งขึ้น



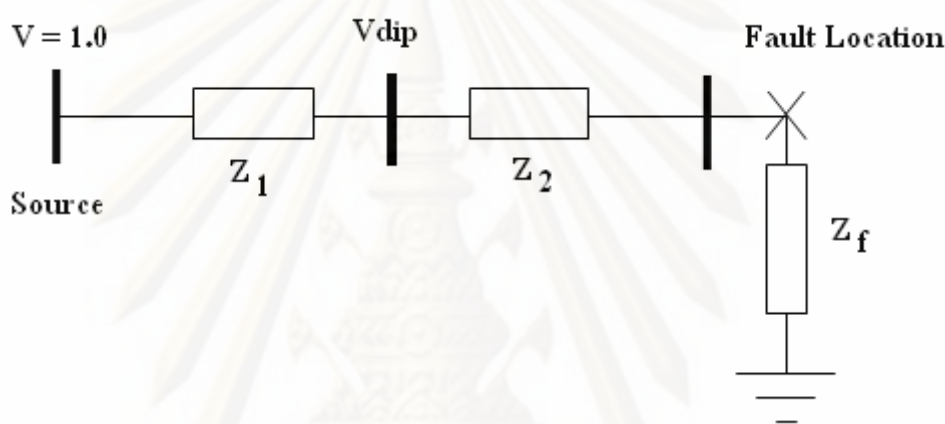
- | | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| 1. โครงสร้างภายนอก | 13. ฝาครอบจุดเข้าของสายเคเบิลควบคุม |
| 2. กลไกปลด-สับ | 14. เครื่องล่อไฟ |
| 3. ขดลวดโซลินอยด์ | 15. ขดลวดปลดหน้าสัมผัส |
| 4. แกนของหน้าสัมผัส | 16. แกนอาร์เมเจอร์ปลดหน้าสัมผัส |
| 5. ตัวตัดกระแสสูญญากาศ | 17. แกนปลดหน้าสัมผัส |
| 6. ตัวนำต่อเชื่อมแบบยึดหยุ่น | 18. สลัก |
| 7. หม้อแปลงกระแส | 19. สปริงปลดหน้าสัมผัส |
| 8. หม้อแปลงแรงดัน | 20. สปริงความดัน |
| 9. บุชชิ่ง | 21. หน้าสัมผัส |
| 10. บุชชิ่งหุ้มสารโพลีเมอร์ | 22. สายเคเบิลต่อไปสู่ควบคุม |
| 11. สายตัวนำเข้าและออก | 23. แก๊ส SF ₆ |
| 12. สวิตช์สายเคเบิลควบคุม | |

รูปที่ 2.29 ภาพตัดด้านข้างของรีโคลสเซอร์อัตโนมัติ

2.4 การประเมินแรงดันตกชั่วขณะ

2.4.1 การประเมินขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ

ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะคือขนาดของแรงดันที่เหลืออยู่ (Remaining voltage) ขณะที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ โดยการประเมินขนาดของแรงดันตกชั่วขณะนั้นจะได้มาจากการใช้หลักการของการแบ่งแรงดัน ยกตัวอย่างเช่นในกรณีที่เกิดฟอลต์ 3 เฟสขึ้นในระบบไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.30 สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [7]



รูปที่ 2.30 การแบ่งขนาดแรงดันตกชั่วขณะ

$$V_{dip} = \frac{Z_2 + Z_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (2.33)$$

สำหรับ Z_1, Z_2 คือค่าอิมพีแดนซ์จริงของสายส่ง และ Z_f คือ ค่าฟอลต์อิมพีแดนซ์

จากตัวอย่างเป็นฟอลต์แบบสมมาตร ข้อมูลสำคัญที่ต้องใช้ในการคำนวณคือค่าอิมพีแดนซ์ลำดับบวกในระบบจำหน่าย นั่นคือ ค่าแรงดันตกชั่วขณะจะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์จริงของสายส่ง (Z_2) นับตั้งแต่จุดที่พิจารณาจนถึงจุดที่เกิดฟอลต์ ถ้ากรณีที่เป็นฟอลต์แบบไม่สมมาตร ค่าอิมพีแดนซ์ลำดับลบและลำดับศูนย์ก็จะต้องนำมาใช้ในการคำนวณด้วย สำหรับระบบร่างแห (Network) สามารถคำนวณขนาดของแรงดันตกชั่วขณะได้โดยพิจารณาให้ระบบมี N บัสรวมทั้งบัสที่ใช้อ้างอิง (Reference bus) ใช้ทฤษฎีการวางซ้อนของเทวินิน (Thevenin's superposition) กำหนดแรงดันก่อนเกิดฟอลต์คือ $V_k^{(0)}$ และให้ฟอลต์เกิดที่บัส f สามารถคำนวณขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส k ได้จากสมการ

$$V_k = V_k^{(0)} + \Delta V_k \quad (2.34)$$

ΔV_k คือการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่บัส k เนื่องจากการเกิดฟอลต์โดยให้มีแหล่งจ่ายแรงดัน $-V_f^{(0)}$ ต่อเข้าที่ตำแหน่งการเกิดฟอลต์ และใช้ทฤษฎีบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ (Bus impedance matrix) จากความสัมพันธ์ $[V] = [Z][I]$

$$\begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \vdots \\ \Delta V_f \\ \vdots \\ \Delta V_k \\ \vdots \\ \Delta V_m \\ \vdots \\ \Delta V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & \cdots & Z_{1f} & \cdots & Z_{1k} & \cdots & Z_{1m} & \cdots & Z_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{f1} & \cdots & Z_{ff} & \cdots & Z_{fk} & \cdots & Z_{fm} & \cdots & Z_{fn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{k1} & \cdots & Z_{kf} & \cdots & Z_{kk} & \cdots & Z_{km} & \cdots & Z_{kn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{m1} & \cdots & Z_{mf} & \cdots & Z_{mk} & \cdots & Z_{mm} & \cdots & Z_{mn} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ Z_{n1} & \cdots & Z_{nf} & \cdots & Z_{nk} & \cdots & Z_{nm} & \cdots & Z_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ I_f \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

จะทำให้สามารถคำนวณ ΔV_k ได้จากสมการ

$$\Delta V_k = Z_{kf} I_f \quad (2.36)$$

ที่ตำแหน่งเกิดฟอลต์ ($k = f$) และ $\Delta V_f = -V_f^{(0)}$ ดังนั้น

$$I_f = \frac{-V_f^{(0)}}{Z_{ff}} \quad (2.37)$$

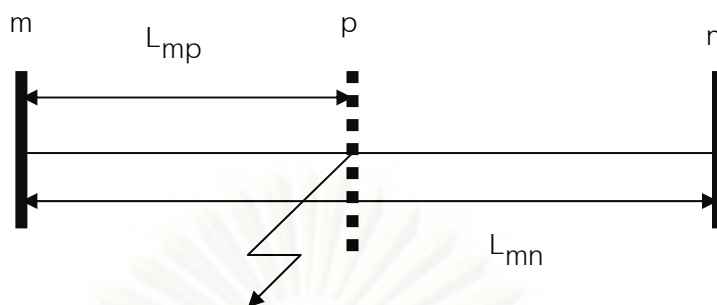
และจากสมการที่ (2.34)

$$V_k = V_k^{(0)} - \frac{Z_{kf}}{Z_{ff}} V_f^{(0)} \quad (2.38)$$

ถ้าแรงดันก่อนเกิดฟอลต์สามารถประมาณให้ใกล้เคียงกันและเท่ากับ 1 เปรอ์ยูนิตจะได้

$$V_k = 1 - \frac{Z_{kf}}{Z_{ff}} \quad (2.39)$$

ส่วนกรณีที่ตำแหน่งการเกิดฟอลต์กระจายเกิดขึ้นบนสายส่งดังรูปที่ 2.31 สามารถคำนวณขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ V_k ที่บัส k ได้ดังนี้ [8]



รูปที่ 2.31 สายส่งระหว่างบัส $m - n$ ที่มีการเพิ่มบัส p เข้าไป

จากรูปที่ 2.31 มีการเกิดฟอลต์ขึ้นบนสายส่งระหว่างบัส $m - n$ ที่ตำแหน่ง p ในการคำนวณจะทำการเพิ่มบัส p เข้าไปยังตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ขึ้นบนสายส่งเพื่อใช้ในการคำนวณโดยจะทำการนิยามค่า λ ซึ่งใช้แทนตำแหน่งการเกิดฟอลต์ระหว่างบัส $m - n$ ดังนี้

$$\lambda = \frac{L_{mp}}{L_{mn}} \quad (0 \leq \lambda \leq 1) \quad (2.40)$$

ค่า λ สามารถเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ตามตำแหน่งของบัส p ที่เปลี่ยนระหว่างบัส $m - n$ ทำให้สามารถคำนวณ Z_{kp} และ Z_{pp} ได้ตามลำดับจากสมการ

$$Z_{kp} = (1 - \lambda)Z_{km} + \lambda Z_{kn} \quad (2.41)$$

และ

$$Z_{pp} = (1 - \lambda)^2 Z_{mm} + \lambda^2 Z_{nn} + 2\lambda(1 - \lambda)Z_{mn} + \lambda(1 - \lambda)Z_{mn} \quad (2.42)$$

สำหรับค่า $Z_{pp}, Z_{mm}, Z_{nn}, Z_{mn}$ คือ ค่าที่อยู่ตามตำแหน่งในบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ และ Z_{mn} คือค่าอิมพีแดนซ์จริงของสายส่งระหว่างบัส $m - n$

ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ V_k ที่บัส k จากการเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง p บนสายส่ง $m - n$ สามารถคำนวณได้โดยแทนสมการที่ (2.41) และ (2.42) ในสมการที่ (2.39)

$$V_k = 1 - \frac{(1 - \lambda)Z_{km} + \lambda Z_{kn}}{(1 - \lambda)^2 Z_{mm} + \lambda^2 Z_{nn} + 2\lambda(1 - \lambda)Z_{mn} + \lambda(1 - \lambda)Z_{mn}} \quad (2.43)$$

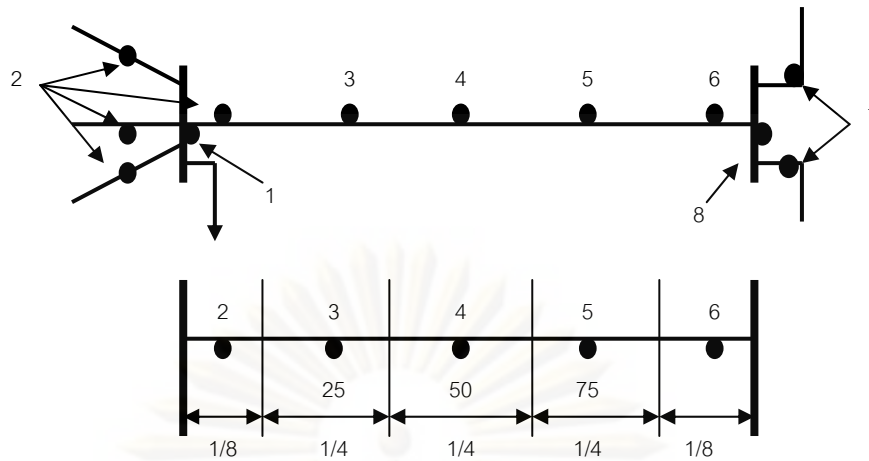
2.4.2 การประเมินระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ

ระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะในแต่ละครั้งที่มีสาเหตุมาจากการเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบนั้น สามารถประเมินได้จากระยะเวลาการกำจัดฟอลต์ของอุปกรณ์ที่ติดตั้งป้องกันฟอลต์อยู่ในระบบ[9] ซึ่งฟอลต์แต่ละชนิดจะมีเวลาใช้ในการกำจัดต่างกันซึ่งอุปกรณ์ป้องกันพยายามที่จะใช้เวลาน้อยที่สุดในการกำจัดฟอลต์แต่ในทางปฏิบัติเวลาในการกำจัดฟอลต์นั้นจะเป็นไปตามการจัดลำดับความสัมพันธ์ในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่มีในระบบทั้งหมด จากนั้นทำการหาระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทำโดย plot ค่าของอุปกรณ์ป้องกันในระบบที่ทำการจัดลำดับความสัมพันธ์ทั้งหมดลงบน Current-Time Characteristic และเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบจึงนำค่ากระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นไปเปรียบเทียบกับลงบน Current-Time Characteristic เพื่อดูว่าจากการจัดลำดับความสัมพันธ์แล้วอุปกรณ์ป้องกันชนิดใดเป็นตัวกำจัดกระแสฟอลต์ และต้องใช้เวลาเท่าใดในการกำจัดฟอลต์ นั่นคือสามารถหาระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะได้

2.4.3 วิธีการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ

วิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์ (Method of fault positions) [7] ซึ่งเป็นวิธีที่ตรงไปตรงมาสำหรับการพยากรณ์แรงดันตกชั่วขณะแบบ stochastic โดยจะคำนวณขนาดและระยะเวลาจากการเกิดฟอลต์หลายๆ ตำแหน่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลังและส่งผลให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจ หลังจากนำอัตราการเกิดของฟอลต์ของแต่ละอุปกรณ์มาพิจารณาจะทำให้สามารถคำนวณจำนวนครั้งหรือความถี่ของการเกิดฟอลต์ได้

ขนาดและระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะจะต้องคำนวณทุกๆ ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ที่เกิดครอบคลุมทั้งระบบ แต่ละตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ต้องมีการกำหนดให้ชัดเจนตัวอย่างเช่น ฟอลต์ในสถานีย่อยหรือฟอลต์ที่เกิดระหว่าง 25% ถึง 75% ของความยาวสาย ซึ่งแต่ละตำแหน่งที่เกิด ฟอลต์จะถูกแบ่งโดยใช้อัตราการเกิดของฟอลต์ของแต่ละอุปกรณ์มาพิจารณา



รูปที่ 2.32 ตำแหน่งการเกิดฟอลต์

พิจารณาสายส่งยาว 100 กิโลเมตรในรูปที่ 2.32 มีอัตราการเกิดฟอลต์ 8 ครั้งต่อ 100 กิโลเมตร ต่อปี และฟอลต์ 10 ครั้ง ต่อ 100 สถานีไฟฟ้าย่อย ต่อปี สำหรับฟอลต์ที่เกิดในระบบจะถูกแทนด้วยตำแหน่งการเกิดฟอลต์ 8 ตำแหน่ง ฟอลต์ตำแหน่งที่ 1 และ 8 แสดงการเกิดฟอลต์ในสถานีไฟฟ้าย่อย ตำแหน่งที่ 2 และ 6 แสดงการเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งใกล้กับสถานีไฟฟ้าย่อย ตำแหน่งที่ 3, 4 และ 5 แสดงการเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 25%, 50% และ 75% ตามลำดับ ในแต่ละตำแหน่งการเกิดฟอลต์ ค่าของขนาด ระยะเวลาและความถี่ของแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจและใช้เป็นตำแหน่งพิจารณาคือตำแหน่งที่ 1 สามารถคำนวณได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ผลที่ได้จากการประเมินด้วยวิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์ของรูปที่ 2.33

ลำดับ	ตำแหน่งการเกิดฟอลต์	ความถี่ (ครั้ง/ปี)	ขนาด(%)	ระยะเวลา (ms)
1	บัสฟอลต์ที่สถานีไฟฟ้าย่อย	0.1	0	180
2	ฟอลต์บนสายส่งใกล้กับสถานีไฟฟ้าย่อย	4	0	80
3	ฟอลต์ที่ระยะ25%ของสายส่ง	2	32	90
4	ฟอลต์ที่ระยะ50%ของสายส่ง	2	49	105
5	ฟอลต์ที่ระยะ75%ของสายส่ง	2	57	110
6	ฟอลต์ที่ระยะ100%ของสายส่ง	1	64	250
7	ฟอลต์ที่ระยะ0%ของสายส่งห่างไกล	2	64	90
8	บัสฟอลต์ในสถานีไฟฟ้าย่อยห่างไกล	0.1	64	180

จากตารางที่ 2.3 สามารถทำเป็นลักษณะของตารางแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะในแต่ละช่วงขนาดและระยะเวลาได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงค่าความถี่การเกิดของแรงดันตกชั่วขณะในแต่ละช่วงขนาดและระยะเวลา

ขนาด(%)	ระยะเวลา เป็นมิลลิวินาที		
	0<100	100<200	≥200
>60-80	2.0	0.1	1.0
>40-60	0.0	4.0	0.0
>20-40	2.0	0.0	0.0
0-20	4.0	0.1	0.0

และจากตารางที่ 2.4 สามารถทำเป็นลักษณะของตารางความถี่สะสมของระดับแรงดันตกชั่วขณะได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตารางความถี่สะสมของระดับแรงดันตกชั่วขณะ

ขนาด(%)	ระยะเวลา เป็นมิลลิวินาที (ms)		
	≥0	≥100	≥200
≤80	13.2	5.2	1.0
≤60	10.1	4.1	0.0
≤40	6.1	0.1	0.0
≤20	4.1	0.1	0.0

การคำนวณระดับแรงดันตกชั่วขณะด้วยวิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์นั้น ในแต่ละจุดที่คำนวณจะมีเมตริกซ์อิมพีแดนซ์ที่ต่างกันไปทุกครั้ง ดังนั้นวิธีการคำนวณแบบนี้ต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณและวิธีนี้มีความเหมาะสมที่จะใช้กับระบบที่มีลักษณะเป็นแบบร่างแหที่ซับซ้อน

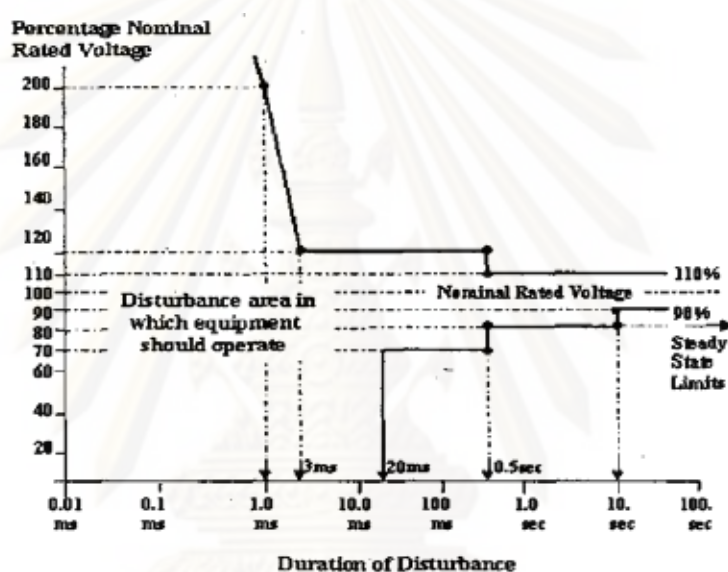
2.4.4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมิน

การบอกถึงลักษณะของแรงดันตกชั่วขณะสามารถแสดงในรูปของขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะโดยแทนลงใน magnitude-duration plane นั่นคือ แกนแนวตั้งแสดงขนาดของแรงดันตกชั่วขณะ ส่วนแกนอนแสดงผลของระยะเวลาในการเกิดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งใน

ปัจจุบันมีมาตรฐานที่ยอมรับในการกำหนดความสามารถทนต่อ Voltage Dips Voltage Swells และ Short Interruption ของอุปกรณ์ รูปแบบที่นิยมใช้มี 2 รูปแบบ คือ ITIC Curve Scatter Plot และ SEMI Curve Scatter Plot [1, 7, 10]

1) ITIC Curve Scatter Plot

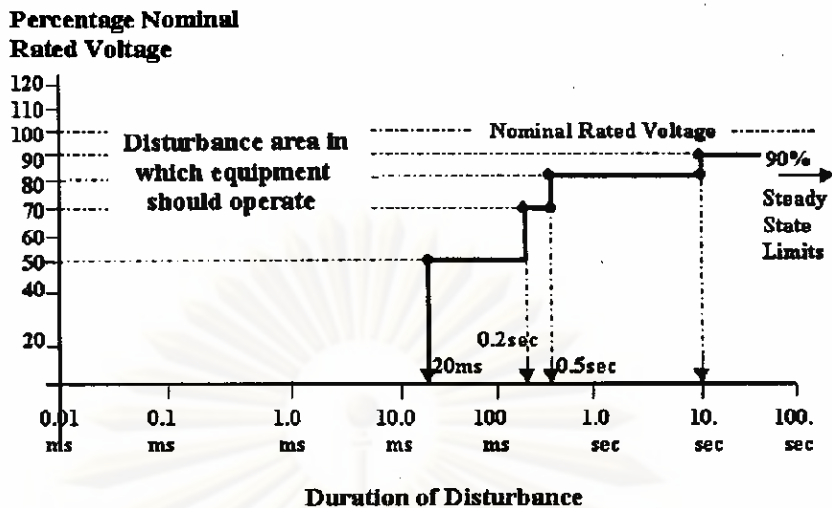
ITIC Curve เป็น CBEMA Curve ที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ในปี 1996 โดยใช้ข้อมูลจาก Information Technology Industry Council (ITIC) เพื่อให้มีความสอดคล้องกับเทคโนโลยีสมัยใหม่มากขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 ITIC Curve Scatter Plot

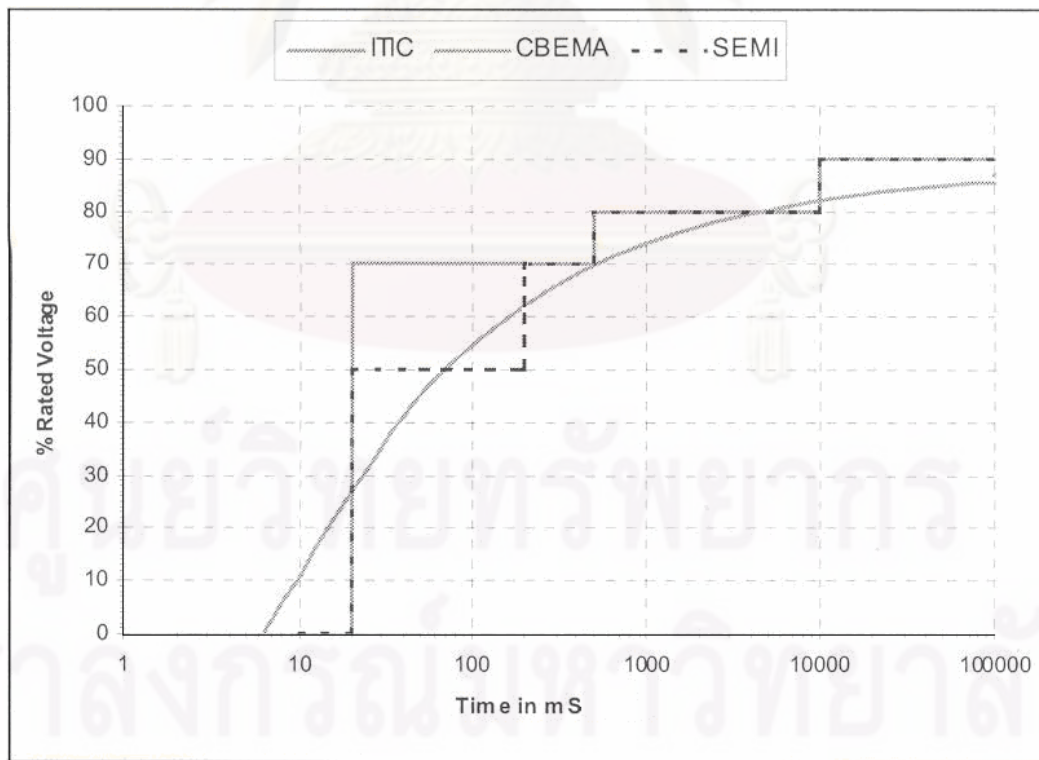
2) SEMI Curve Scatter Plot

SEMI Curve ถูกพัฒนาขึ้นมาจากความร่วมมือกันของผู้ประกอบการด้านสารกึ่งตัวนำ ประกอบด้วย ผู้ผลิต ผู้จำหน่ายอุปกรณ์และผู้ขายไฟฟ้า เพื่อใช้แสดงถึงความสามารถในการทนต่อ Voltage Dips ของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำแสดงดังรูปที่ 2.34



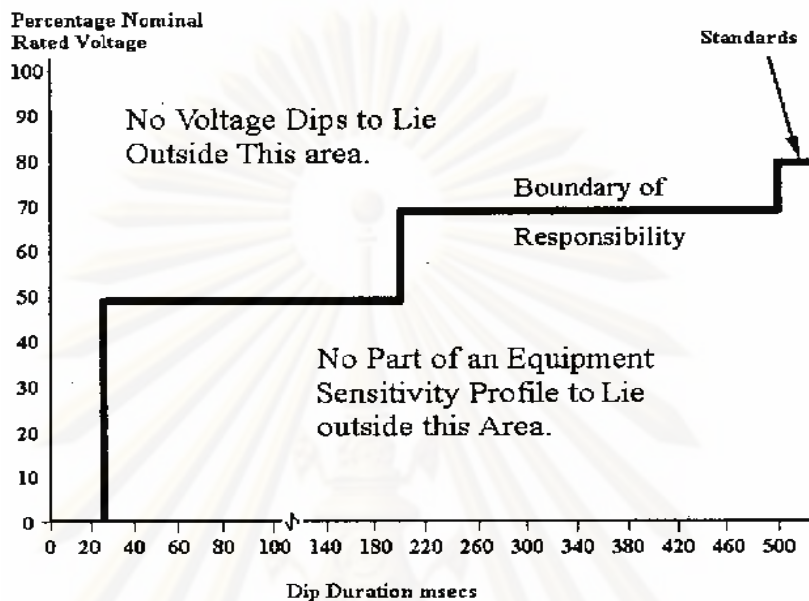
รูปที่ 2.34 SEMI Curve Scatter Plot

ส่วนรูปที่ 2.35 แสดงการเปรียบเทียบของ SEMI Curve กับ ITIC Curve จะพบว่า อุปกรณ์ที่ผลิตตาม SEMI Curve จะมีความทนต่อแรงดันตกชั่วขณะที่อยู่ในช่วง 20 ms – 200 ms ได้ดีกว่า ITIC



รูปที่ 2.35 การเปรียบเทียบของ SEMI Curve กับ ITIC Curve

ขอบเขตการตอบสนองต่อแรงดันตกชั่วขณะนั้นสำหรับ ITIC Curve และ SEMI Curve ต่างพิจารณาถึงขอบเขตการตอบสนองของแรงดันตกชั่วขณะของผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 ขอบเขตการตอบสนองต่อแรงดันตกชั่วขณะ

จากรูปมีเส้นขอบเขตแบ่งพื้นที่เป็น 2 พื้นที่ คือ พื้นที่ฝั่งซ้าย และพื้นที่ฝั่งขวา โดยพื้นที่ฝั่งซ้ายเป็นพื้นที่ที่อุปกรณ์ควรทำงานได้อย่างปกติตามเกณฑ์ที่กำหนดหรือแรงดันตกชั่วขณะไม่ควรกระจายตัวออกนอกพื้นที่นี้ นั่นคือระบบมีเสถียรภาพและมีความไวในการแยกฟอลต์ เช่น แรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นในระบบ ส่วนพื้นที่ฝั่งขวาเป็นพื้นที่บอกความไวต่อแรงดันตกชั่วขณะของอุปกรณ์ไม่ควรออกนอกพื้นที่นี้ หรืออุปกรณ์ใดที่สามารถทนแรงดันตกชั่วขณะได้ดีกว่า ณ ระดับความลึกของแรงดันตกชั่วขณะเดียวกัน ถือได้ว่าอุปกรณ์นั้นมีความสามารถทนแรงดันตกชั่วขณะได้ดีสูงกว่า เพื่อให้อุปกรณ์และระบบไม่ตอบสนองต่อแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นในฝั่งนี้ ทั้งผู้ผลิตและผู้ที่เกี่ยวข้องต้องผลิตหรือเลือกใช้อุปกรณ์ที่ได้มาตรฐานเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

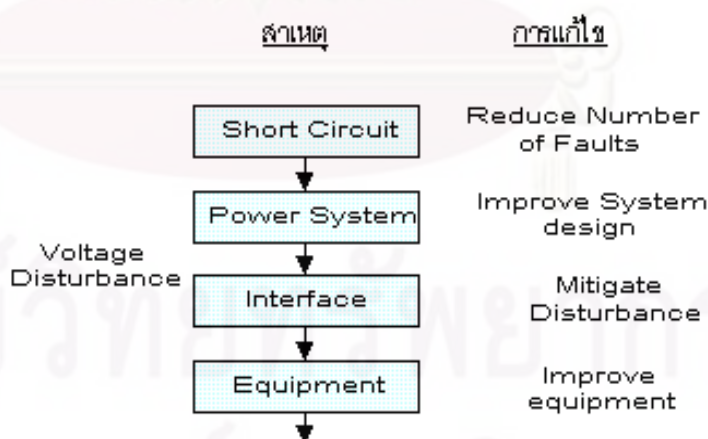
บทที่ 3

แนวทางการลดผลกระทบแรงดันตกชั่วขณะ

แรงดันตกชั่วขณะ เป็นปรากฏการณ์ที่ขนาดของแรงดันลดลงต่ำกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน แล้วกลับคืนสู่สภาพเดิมในช่วงเวลาสั้น ๆ ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้อุปกรณ์ไฟฟ้าขาดหายไปจำนวนหนึ่ง ซึ่งอาจมีผลให้อุปกรณ์ทำงานผิดพลาด หรือหยุดทำงานไปเลย เช่น ทำให้หลอดก๊าซดีสชาร์จดับ คอนแทกเตอร์ดีดตัวออก เป็นต้น ดังนั้น การแก้ปัญหาจากแรงดันตกชั่วขณะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์โดยนำปัจจัยต่าง ๆ เข้ามาพิจารณา ซึ่งแนวทางการลดผลกระทบแรงดันตกชั่วขณะ มีดังนี้ [1, 11]

3.1 การลดระยะเวลาของการปลดวงจรเนื่องจากฟอลต์

ดังได้กล่าวไว้แล้วว่า สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะขึ้นในระบบ คือ ฟอลต์ ซึ่งการเกิดฟอลต์ที่ค่ากระแสลัดวงจรสูง ๆ จะทำให้ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะมีความถี่มาก และหากระบบป้องกันกำจัดฟอลต์ได้ช้า ผลกระทบเนื่องจากระยะเวลาของแรงดันตกชั่วขณะอาจมีระดับความรุนแรงที่มากพอจะทำให้อุปกรณ์ของผู้ใช้ไฟปลดวงจรออก และเพื่อให้เกิดภาพที่ชัดเจนขึ้น รูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นแนวทางในการแก้ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากการลัดวงจรซึ่งนำไปสู่การปลดวงจรของอุปกรณ์



รูปที่ 3.1 แสดงแนวทางในการลดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะ

3.2 แนวทางการลดจำนวนของฟอลต์

การป้องกันไม่ให้เกิดฟอลต์ขึ้นในระบบถือเป็นการแก้ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะที่ดีที่สุด แต่อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงไม่สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจากระบบจำหน่ายและสายส่งที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันเป็นระบบเหนือดิน (Overhead Lines) มีโอกาสเกิดฟอลต์ได้ง่าย อย่างไรก็ตามการลดจำนวนครั้งของการเกิดฟอลต์ในระบบอาจดำเนินการได้ดังนี้

- การนำระบบ Underground Cables มาใช้งานแทนระบบ Overhead Lines เพื่อลดจำนวนครั้งของการเกิดฟอลต์ แต่ระบบ Underground Cables ก็มีข้อเสียที่ต้องพิจารณาคือ มีการลงทุนสูงและเมื่อเกิดความเสียหายต้องใช้เวลาซ่อมเป็นเวลานาน ทำให้ระยะเวลาไฟดับเกิดขึ้นนานเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ Overhead Lines
- การนำสายหุ้มฉนวน เช่น Aerial Cable มาใช้งานแทนสายเปลือยในระบบสายอากาศ
- ตรวจสอบระบบจำหน่ายให้มีระยะความปลอดภัยตามที่มาตรฐานกำหนดเพื่อป้องกันมิให้ต้นไม้หรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ หรือครอบฉนวนไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเกิดฟอลต์
- ทำการสำรวจสายป้อนเพื่อหาจุดบกพร่องและทำแผนงานการบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าทั้งในส่วนของผู้ใช้และการไฟฟ้า เพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดฟอลต์

3.3 แนวทางการปรับปรุงระบบไฟฟ้า

การลดผลกระทบตามแนวทางการปรับปรุงระบบอาจทำได้โดยการ ติดตั้งระบบสำรองเพิ่มเติมให้กับโหลดที่มีความสำคัญ ยกตัวอย่างเช่น

- การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อช่วยรักษาระดับแรงดันระหว่างที่เกิดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะให้กับโหลดที่ไม่สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน
- การลดจำนวนสายป้อนหรือสายส่งที่จ่าย จาก bus เดียวกันเพื่อลดจำนวนครั้งของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ
- พิจารณาเพิ่มแหล่งจ่ายให้กับโหลดที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน โดยแหล่งจ่ายที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่ควรมาจากแหล่งจ่ายเดียวกัน
- ใช้เทคนิคปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะลดลง

ในที่นี้จะพิจารณาเทคนิคปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะลดลงเพื่อการลดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะจากการเกิดฟอลต์แบบฟอลต์ลงดินเส้นเดียว ทำได้โดยใช้

Neutral Ground Resistor (NGR) [1, 2] นั่นคือ การต่อลงดินโดยผ่านความต้านทาน[2] เป็นการต่อสายจุดศูนย์ผ่านความต้านทานลงดิน ซึ่งมีวงจรสมมูลเป็นอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อกับอิมพีแดนซ์ลงดิน โดยการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทานถูกนำมาใช้เพื่อลดกระแสที่จะไหลผ่านลงดิน มีเหตุผลดังนี้

1. ลดความเสียหาย เช่น การหลอมละลาย การไหม้ของอุปกรณ์ที่เป็นทางผ่านของกระแสผิดพลาด
2. ลดความเครียดทางกลของวงจร และอุปกรณ์ที่เป็นทางผ่านของกระแสผิดพลาด
3. ลดอันตรายจากการช็อก (shock) ทางไฟฟ้า ที่จะเกิดกับคนที่ไปสัมผัสกับสายดินขณะเกิดผิดพลาด
4. ลดอันตรายที่เกิดจากการเกิดประกายไฟ (Arc or Flash Hazard) ขณะเกิดผิดพลาด
5. ลดการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ และช่วยแก้ไขได้อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดการผิดพลาด
6. ควบคุมแรงดันเกินชั่วขณะให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัย พร้อมทั้งหลีกเลี่ยงการตัดวงจรออกในขณะเกิดผิดพลาดช่วงแรกๆ

ข้อดีของการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทานต่ำเป็นระบบที่กระแสผิดพลาดลงดินมีค่ามากพอที่จะทำให้อุปกรณ์ป้องกันสามารถจะตัดวงจรได้อย่างรวดเร็วและสามารถเลือกตัดเฉพาะวงจรที่เกิดผิดพลาดเท่านั้นได้

ตัวอย่างในหาขนาดแรงดันตกค้างที่บัสเมื่อเกิดการลัดวงจรแบบเฟสเดียวลงดินที่ระยะห่าง 1 km. บนสายป้อน เมื่อระบบไฟฟ้ามี MVA base = 100 และ kV base = 11 มีค่าอิมพีแดนซ์ดังนี้ (ระบบ Solidly Grounded)

$$Z_{S1} = Z_{S2} = 4.94 + j65.9\%$$

$$Z_{SO} = 3.52 + j 50.5 \%$$

$$Z_{F1} = Z_{F2} = 9.7 + j 26\% / \text{km}$$

$$Z_{FO} = 18.4 + j 112 \% / \text{km}$$

จาก

$$V_A = \frac{\sum Z_F}{\sum Z_F + \sum Z_S}$$

โดย

$$\sum Z_S = 2Z_{S1} + Z_{SO} = 2(4.94 + j65.9) + 3.52 + j 50.5 = 13.4 + j182.3$$

$$\sum Z_F = 2Z_{F1} + Z_{FO} = 2(9.7 + j26) + 18.4 + j 112 = 37.8 + j164$$

$$\sum Z_F + \sum Z_S = 37.8 + j164 + 134.4 + j182.3 = 51.2 + j346.3$$

$$\therefore V_A = \frac{37.8 + j164}{51.2 + j346.3} = \frac{168.3 \angle 77.02^\circ}{350.06 \angle 81.59^\circ} = 0.481 \angle -4.57 \text{ pu}$$

$$V_B = a^2 - \frac{-Z_{S1} + Z_{SO}}{\sum Z_F + \sum Z_S}$$

$$= 1 \angle 240^\circ - \frac{-(4.94 + j65.9) + 3.52 + j50.5}{51.2 + j346.3}$$

$$= 1 \angle 240^\circ - \frac{-1.42 - j15.4}{51.2 + j346.3}$$

$$= 1 \angle 240^\circ - 0.0442 \angle 183.14^\circ$$

$$= -0.4559 - j0.8636 = 0.976 \angle 242.17^\circ \text{ pu}$$

$$V_C = a - \frac{-Z_{S1} + Z_{SO}}{\sum Z_F + \sum Z_S}$$

$$= 1 \angle 120^\circ - (-0.0442 \angle 183.14^\circ)$$

$$= -0.4559 + j0.8684$$

$$= 0.981 \angle 117.70^\circ$$

หากต่อ NGR ทำเป็น Resistance Grounded ทำให้ $Z_{SO} = 787 + j220 \%$ จะได้

$$\sum Z_S = 2Z_{S1} + Z_{SO} = 2(4.94 + j65.9) + 787 + j220 = 796.88 + j351.8$$

$$\sum Z_F = 2Z_{F1} + Z_{FO} = 2(9.7 + j26) + 18.4 + j112 = 37.8 + j164$$

$$\sum Z_F + \sum Z_S = 37.8 + j164 + 796.88 + j351.8 = 834.68 + j515.8$$

$$V_A = \frac{\sum Z_F}{\sum Z_F + \sum Z_S} = \frac{37.8 + j164}{834.68 + j515.8} = \frac{168.3 \angle 77.02^\circ}{981.19 \angle 31.71^\circ} = 0.172 \angle 45.3^\circ$$

$$V_B = 1 \angle 240^\circ - \frac{-(4.94 + j65.9) + 787 + j220}{834.68 + j515.8}$$

$$= 1 \angle 240^\circ - \frac{782.06 + j154.1}{834.68 + j515.8}$$

$$= 1 \angle 240^\circ - 0.8124 \angle -20.56^\circ$$

$$= -1.261 - j0.581 = 1.3883 \angle 204.7^\circ$$

$$V_C = 1 \angle 120^\circ - 0.8124 \angle -20.56^\circ$$

$$= -1.261 - j1.1513 = 1.7075 \angle 137.6^\circ$$

ก่อนต่อ NGR

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix}_{line} = \frac{j}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix}_{phase}$$

$$= \frac{j}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.481 \angle -4.57^\circ \\ 0.976 \angle 242.17^\circ \\ 0.981 \angle 117.70^\circ \end{bmatrix}$$

$$V_A = \frac{j}{\sqrt{3}} [-0.976 \angle 242.17^\circ - 0.981 \angle 117.7^\circ] = 1.00 \text{ pu}$$

$$V_B = \frac{j}{\sqrt{3}} [-0.481 \angle -4.57^\circ + 0.981 \angle 117.7^\circ] = 0.752 \text{ pu}$$

$$V_C = \frac{j}{\sqrt{3}} [0.481 \angle -4.57^\circ - 0.976 \angle 242.17^\circ] = 0.720 \text{ pu}$$

หลังต่อ NGR

$$\begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix}_{line} = \frac{j}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.172 \angle 45.3^\circ \\ 1.3883 \angle 204.7^\circ \\ 1.7075 \angle 137.6^\circ \end{bmatrix}$$

$$V_A = \frac{j}{\sqrt{3}} [1.3883 \angle 204.7^\circ - 1.7075 \angle 137.6^\circ] = 1.0 \text{ pu}$$

$$V_B = \frac{j}{\sqrt{3}} [-0.172 \angle 45.3^\circ + 1.7075 \angle 137.6^\circ] = 0.995 \text{ pu}$$

$$V_C = \frac{j}{\sqrt{3}} [0.172 \angle 45.7^\circ - 1.3883 \angle 204.7^\circ] = 0.895 \text{ pu}$$

จะเห็นได้ว่า Vline ตอนต่อ NGR มีค่าสูงกว่า Vline ต่อไม่ต่อ NGR ทำให้ปัญหาเรื่องแรงดันตกชั่วขณะลดลงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบแรงดันระหว่างเฟส (pu) ก่อนต่อ NGR และหลังต่อ NGR

Vline	ก่อนต่อ NGR	หลังต่อ NGR
V _A	1.00	1.00
V _B	0.752	0.995
V _C	0.720	0.895

วิธีการนี้จะช่วยลดผลกระทบของปัญหาแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากการเกิดฟอลต์ลงดินเส้นเดียวเท่านั้น แต่จะไม่สามารถลดผลกระทบในกรณีของการเกิดฟอลต์แบบอื่นๆ ได้ และวิธีการนี้จะทำให้เกิดผลกระทบข้างเคียงที่สำคัญคือ เมื่อเกิดฟอลต์ลงดินเส้นเดียวขึ้นที่เฟสใดเฟสหนึ่งจะทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นกับอีกสองเฟสที่เหลือ จึงทำให้ต้องเปลี่ยนขนาดแรงดันใช้งานของกับดักฟ้าผ่า (Lightning Arrester) และลูกถ้วยฉนวน

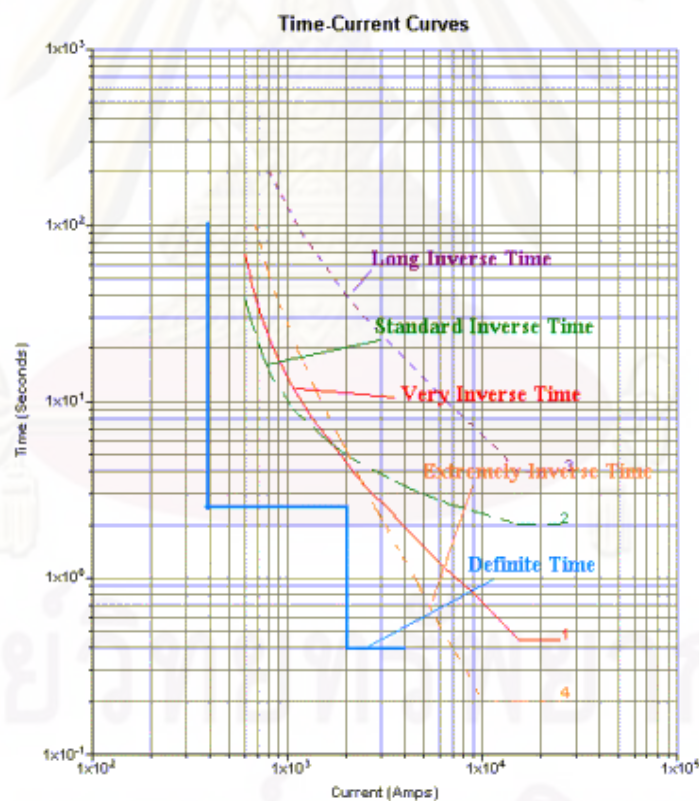
3.4 แนวทางการปรับปรุงระบบป้องกันเพื่อลดระยะเวลาในการกำจัดฟอลต์

เมื่อมาพิจารณาการป้องกันของระบบจำหน่ายแบบเรเดียลซึ่งมีระบบป้องกัน[12] คือ ป้องกันสายจำหน่ายด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกินทั้งแบบการป้องกันฟอลต์ลงดิน (Ground protection) และป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟส (Phase protection) ส่วนสายแยกข้าง (Lateral) ป้องกันด้วย Expulsion Fuse โดยที่รีเลย์มี Auto Reclosing Function แบบ 2 ครั้ง ซึ่งเป็นการทำ Fuse Saving Scheme นั่นคือในครั้งแรกเบรกเกอร์จะทำงานด้วย instantaneous curve หรือใช้ fast curve ที่ใช้กับ recloser เพื่อจัดการกับฟอลต์ก่อน lateral fuse ด้านล่างจะทำงาน หลังจากครั้งแรกหากฟอลต์ยังคงมีอยู่ระบบจะทำการจัดลำดับการทำงานเพื่อให้ฟิวส์ขาดก่อนเบรกเกอร์หรือ recloser จะตัดในครั้งที่ 2 จะเห็นได้ว่ารีโคลสเซอร์ติดตั้งเป็นระบบป้องกันสำหรับสายเมน หรือสายเมนย่อยมีคุณลักษณะการทำงานที่สัมพันธ์กันระหว่างกระแสและเวลา (Time Current Characteristic Curve) และสามารถกำหนดค่าการทำงานได้ทั้งแบบทำงานเร็ว (Fast Curve) และแบบทำงานช้า (Slow Curve) ส่วนฟิวส์ใช้ติดตั้งเป็นระบบป้องกันในสายแยกที่มีโหลดไม่มากนัก ลักษณะการทำงานของฟิวส์เป็นแบบ Extremely Inverse Time Characteristic คือเมื่อกระแสเกินพิกัดยังมีค่ามากเวลาที่ฟิวส์หลอมละลายจะยิ่งเร็วขึ้น โดยปกติฟิวส์จะเริ่มหลอมละลายเมื่อมีกระแสเกินพิกัดตั้งแต่สองเท่าของพิกัดฟิวส์ขึ้นไป ในการกำหนดค่าการทำงานของรีโคลสเซอร์และการเลือกชนิดของฟิวส์เพื่อกำจัดฟอลต์นั้นต่างก็มีส่วนในการลดผลกระทบจากปัญหาแรงดันตกชั่วขณะ กล่าวคือหากตั้งค่าการทำงานของรีโคลสเซอร์ไว้เร็วหรือเลือกใช้ฟิวส์แบบ K ปัญหาแรงดันตกชั่วขณะจะเกิดขึ้นเพียงชั่วระยะเวลาสั้นๆเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ เนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันสามารถกำจัดฟอลต์ได้รวดเร็ว แต่ทั้งนี้จะต้องพิจารณาการจัดลำดับความสัมพันธ์ของอุปกรณ์ป้องกันให้สัมพันธ์กัน และชนิดของฟอลต์ส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นว่าเป็นแบบชั่วคราวหรือถาวรประกอบกันไปด้วย จึงจะมีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

ส่วน Overcurrent Relay ซึ่งเป็นรีเลย์ที่ออกแบบให้ทำงาน เมื่อมีกระแสเกินพิกัดที่กำหนดไว้ ในการกำหนดค่าการทำงานของรีเลย์สามารถเลือกได้ 2 รูปแบบคือ แบบ Fixed Time หรือ Definite Time และแบบ Inverse Time นอกจากนี้ลักษณะของ Inverse Time นี้ยังแบ่งออกได้

หลายชนิด คือ Long Inverse Time ,Standard Inverse Time ,Very Inverse Time และ Extremely Inverse Time ดังในรูปที่ 3.2

ในการกำหนดค่าการทำงานโดยทั่วไปจะกำหนดค่าเริ่มต้นการทำงาน (Pick Up) ด้วยการทำงานในรูปแบบ Inverse Time และ รูปแบบ Definite Time สำหรับการทำงานแบบ Instantaneous และจากรูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าที่ค่ากระแสลัดวงจรสูงๆ การทำงานในลักษณะ Inverse Time ชนิด Extremely Inverse Time จะให้ผลในการลดระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะได้ดีที่สุด เนื่องจากสามารถกำจัดฟอลต์ได้รวดเร็ว นอกจากนั้นการกำหนดค่าการทำงานระหว่างรีเลย์ให้ทำงานสัมพันธ์กันก็เป็นอีกบทบาทหนึ่งในการลดความรุนแรง ของแรงดันตกชั่วขณะไม่ให้ขยายวงกว้าง โดยพิจารณากำหนดค่า Margin ระหว่างรีเลย์ตัวหน้าและตัวหลังให้น้อยลงเพื่อให้สามารถกำหนดค่า Pick Up ของรีเลย์ให้ต่ำลงได้ แต่อย่างไรก็ตามการกำหนดค่าการทำงานดังกล่าวต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขไม่ทำให้เกิดการ Trip พร้อมกันระหว่างรีเลย์ตัวหน้า (Protecting Relay) และตัวหลัง (Protected Relay)



รูปที่ 3.2 แสดง Curve การทำงานของ Overcurrent ชนิดต่างๆ

ดังนั้นการปรับปรุงระบบป้องกันเพื่อทำการลดระยะเวลาในการกำจัด ฟอลต์มีส่วนช่วยลดความรุนแรงของปัญหาแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นในระบบ สามารถทำได้ดังนี้

3.4.1 การใช้ Recloser แทน Expulsion Fuse สำหรับ Lateral

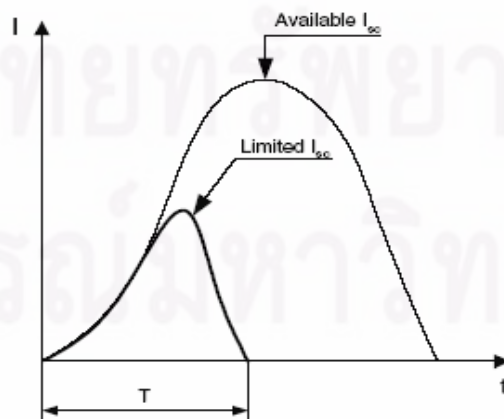
การเปลี่ยนจากการใช้ Expulsion Fuse มาเป็น Recloser ซึ่งมีประโยชน์ดังนี้

1. ทำให้ระยะเวลาการดับไฟของผู้ใช้ไฟน้อยลง
2. การใช้ Instantaneous Fault Clearance จะทำให้ช่วงเวลาของฟอลต์ลดลง ซึ่งจะช่วยลดความเสียหายต่ออุปกรณ์
3. ลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ลง

ในการทำการจัดลำดับความสัมพันธของอุปกรณ์ป้องกันนั้น การทำงาน 2 ครั้งแรก ของ Upstream Recloser จำเป็นต้องเปลี่ยนจาก Instantaneous curve เป็น Fast curve ซึ่งช้ากว่า Fast curve ของ Tap Recloser นั่นคือเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบที่ตำแหน่งหลัง Tap Recloser จะทำให้ Tap Breaker ทำงาน 2 ครั้งหลังจากนั้นจะเข้าสู่ Delay curve ของมัน ส่วน Upstream Breaker ควรจะทำงาน 2 ครั้ง เมื่ออุปกรณ์ป้องกันทั้งสองเข้าสู่ Delay curve จะทำการจัดลำดับความสัมพันธของอุปกรณ์ป้องกันทั้งสอง ดังนั้นในการพิจารณาจำเป็นต้องเลือกจำนวน Shot, ค่า Dead Time และ Reclaim Time ที่เหมาะสม

3.4.2 การใช้ Current Limiting Fuse แทน Expulsion Fuse

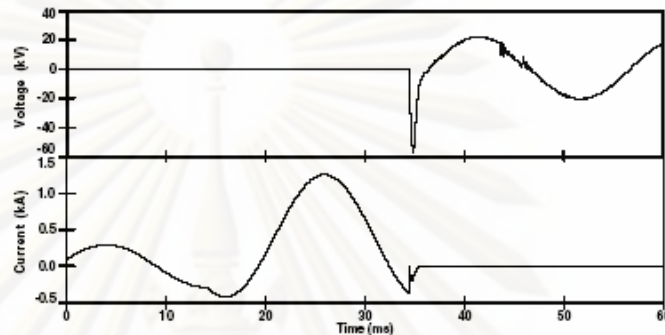
Current Limiting Fuse [14] คือฟิวส์ที่สามารถลดขนาดของกระแสฟอลต์ที่เกิดโดย downstream fault ได้ซึ่งมักใช้ในเขตที่มีกระแสฟอลต์สูงเพื่อลด fault duty ที่มีต่ออุปกรณ์ และช่วยลดความรุนแรงของแรงดันตกชั่วขณะได้ เนื่องจากสามารถกำจัดฟอลต์ได้ภายในเวลา 1/4 Cycle เป็นผลให้ระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะเกิดขึ้นเพียงชั่วระยะเวลาสั้นๆ ซึ่งโดยทั่วไปไม่เกิน 1 Cycle แต่ผลกระทบที่จะต้องพิจารณาควบคู่ไปด้วยก็คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าเกิน (Over Voltage) ที่เกิดขณะตัดวงจร



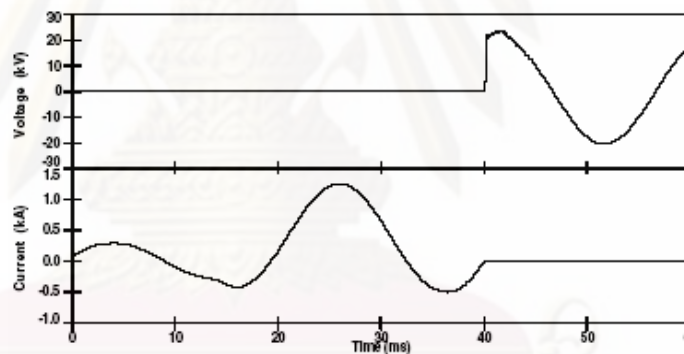
รูปที่ 3.3 การเปรียบเทียบระหว่างการใช้ Current Limiting Fuse กับ Expulsion Fuse

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างการใช้ Expulsion Fuse กับ Current Limiting Fuse แสดงดังรูปที่ 3.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า Current Limiting Fuse มีประโยชน์ดังนี้

1. ลดความถี่ของแรงดันตกชั่วขณะรวมทั้งลดระยะเวลาของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ Expulsion Fuse
2. เพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้เนื่องจากลดอันตรายที่ตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ได้



รูปที่ 3.4 แรงดันและกระแสระหว่างการทำงานของ Current Limiting Fuse เมื่อเกิดฟอลต์ลงดินเส้นเดียว



รูปที่ 3.5 แรงดันและกระแสระหว่างการทำงานของ Expulsion Fuse เมื่อเกิดฟอลต์ลงดินเส้นเดียว

จากรูปที่ 3.4 และ 3.5 แสดงแรงดันและกระแสระหว่างการทำงานของ Current Limiting Fuse และ Expulsion Fuse เมื่อเกิดฟอลต์ลงดินเส้นเดียวจะเห็นว่าฟิวส์ทั้งสองแบบมีค่ากระแสเพิ่มขึ้นในยอดแรกแต่แรงดันเกินที่เกิดจากการทำงานของ Current Limiting Fuse มีค่ามากกว่า Expulsion Fuse ในขณะที่ช่วงเวลาที่ตัดกระแสทั้งหมดของ Expulsion Fuse ยาวกว่า Current Limiting Fuse แต่เนื่องจาก Current Limiting Fuse ข้อเสียคือราคาแพงประมาณ 3-4 เท่าเมื่อเทียบกับ Expulsion Fuse รวมทั้งมีความลำบากในการทำการจัดลำดับความสัมพัน์ของการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันจึงต้องพิจารณาถึงผลประโยชน์ที่จะได้รับหลังทำการปรับปรุงระบบ

3.5 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อลดผลกระทบเพิ่มเติม

- ติดตั้งเครื่องสำรองไฟฟ้า (Uninterruption Power Supplies :UPS) เพื่อจ่ายให้โหลดที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน เช่น คอมพิวเตอร์ วงจรควบคุม
- ติดตั้งมอเตอร์-เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Motor-Generator Sets) ซึ่งจะสามารถแก้ไขปัญหาแรงดันตกในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ได้ประมาณ 2.5 วินาที
- ติดตั้ง Voltage Source Converters (VSCs) ซึ่งจะสามารถจ่ายแรงดัน เพื่อชดเชยขนาดของแรงดันตกได้ทั้งขนาดและเฟสโดยอาศัยวงจร Switching DC Voltage
- ติดตั้งเครื่องควบคุมแรงดันแบบอัตโนมัติ (Automatic Voltage Stabilizer) สามารถแก้ไขปัญหาแรงดันตกได้ $\pm 15\%$ ของแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด และควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกมาให้มีค่าเกือบคงที่เปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm 5\%$

3.6 การปรับปรุงอุปกรณ์ให้สามารถทนต่อสถานะแรงดันตกชั่วขณะได้

- อุปกรณ์ประเภทอิเล็กทรอนิกส์ , คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ควบคุม (เช่น อุปกรณ์แรงต่ำชนิด Single Phase) ปรับปรุงโดยการต่อเพิ่มค่าความจุทางไฟฟ้าให้กับ internal dc bus เพื่อช่วยทำให้อุปกรณ์มีความสามารถในการทนต่อสถานะแรงดันตกชั่วขณะได้นานขึ้น เพราะค่าความจุทางไฟฟ้าจะช่วยขยายช่วงเวลาสูงสุดที่อุปกรณ์สามารถทนต่อสถานะแรงดันตกชั่วขณะ
- อุปกรณ์แรงต่ำชนิด Single Phase ปรับปรุงโดยการปรับปรุงวงจร dc/dc converter ให้มีความซับซ้อนมากขึ้นเพื่อช่วยขยายช่วงระดับแรงดันขาเข้าของอุปกรณ์ให้กว้างขึ้น ซึ่งทำให้อุปกรณ์สามารถทำงานอยู่ได้ในขณะเกิดสถานะแรงดันตก
- อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบ (Adjustable Speed Drives : ASDs) หากต่อเพิ่มค่าความจุทางไฟฟ้าที่ dc bus แล้ว อุปกรณ์ประเภท AC Drives จะสามารถทนต่อสถานะแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดเนื่องจากฟอลต์แบบเฟสเดียว และแบบเฟสกับเฟสได้ หากต้องการให้ทนต่อฟอลต์แบบสามเฟสนั้นจำเป็นที่จะต้องไปปรับปรุงในภาคของอินเวอร์เตอร์ และเรกติไฟเออร์ต่อไป
- อุปกรณ์ปรับความเร็วรอบของ DC Motor (DC Adjustable Speed Drives) ทำการปรับปรุงได้ยากเนื่องจากกระแสในขดลวดอาเมเจอร์ และแรงบิดของ DC Motor จะตกลงอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดแรงดันตก ดังนั้นการลดผลกระทบ ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้งานของ drives

บทที่ 4

โปรแกรมศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกัน ที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลัง

เนื่องจากการศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น เป็นการพิจารณาผลการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในกรณีที่เกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง เมื่อทำการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันในแบบต่างๆ เพื่อความถูกต้องและแม่นยำสูง จำเป็นต้องมีการคำนวณการเกิดฟอลต์แต่ละแบบในหลายๆ ตำแหน่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลังที่ต้องการพิจารณา หากระบบไฟฟ้าที่พิจารณามีขนาดใหญ่มากๆ การคำนวณต้องใช้เวลามาก จึงไม่สะดวกถ้าจะใช้การคำนวณด้วยมือโดยตรง ดังนั้นเพื่อความสะดวก รวดเร็วและถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้วิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์ (Fault position method) ทำการประเมินซึ่งเป็นวิธีการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจซึ่งมีอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันต่ออยู่ โดยจะทำการคำนวณการเกิดฟอลต์ ณ ตำแหน่งอื่นๆ ที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลังโดยวิธีบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ (Z bus matrix) แล้วพิจารณาผลที่ทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะขึ้น ณ ตำแหน่งที่สนใจ พร้อมกับทำการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันในรูปแบบต่างๆ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลทั้ง ขนาด ระยะเวลา จนทำการคำนวณจนครบทุกตำแหน่งในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งผลที่ได้จะแสดงออกมาในรูปแบบของแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันตกชั่วขณะ ที่เปรียบเทียบตามการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันในรูปแบบต่างๆ โดยมีรายละเอียดโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังนี้

4.1 ขอบเขตและเงื่อนไขที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม

โปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นจะทำการศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลังเมื่อเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีขอบเขตและเงื่อนไขในการพัฒนาโปรแกรมดังนี้

1. เป็นการศึกษาหาตำแหน่งของความผิดพลาดในระบบสายจำหน่าย 12 kV และ 24 kV ในเขตการให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง ด้วยวิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์สำหรับประเมินแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจ
2. พิจารณาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular) คือให้มีขนาดและระยะเวลาเพียงค่าเดียวในแต่ละครั้งของการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

3. ไม่พิจารณาการเกิดฟอลต์ที่ซ้ำซ้อนหรือเกิดขึ้นพร้อมๆกัน
4. ในการคำนวณระยะเวลาการเกิดแรงดันตกชั่วขณะจะพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเฉพาะอันดับแรก(Primary protection) คือสมมติให้อุปกรณ์ป้องกันอันดับแรกสามารถทำการกำจัดฟอลต์ได้สำเร็จทุกครั้งโดยไม่พิจารณาการทำงานล้มเหลวของอุปกรณ์ป้องกัน
5. พิจารณาว่าเมื่ออุปกรณ์ป้องกันทำการกำจัดฟอลต์แล้วทำให้การเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นหายไป
6. ในการคำนวณฟอลต์ไม่พิจารณากระแสไหลทั้งหมดโดยกำหนดให้แรงดันก่อนเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งฟอลต์และตำแหน่งที่สนใจมีค่าประมาณเท่ากันทั้งขนาดและมุม คือมีค่าเท่ากับ 1 เปรอร์ยูนิต มุมศูนย์องศา ($1 \angle 0^\circ$)

4.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลัง ทำการพัฒนาขึ้นด้วยวิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์ (Fault position method) มีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหาดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: ป้อนข้อมูลพื้นฐานของระบบ เช่น ค่าฐานของกำลังงานปรากฏของระบบ (MVA), ค่าฐานของระดับแรงดัน (kV), ตำแหน่งที่สนใจพิจารณา, รูปแบบของการเกิดฟอลต์, ขนาดของหม้อแปลง, รูปแบบการต่อหม้อแปลง, ค่าอิมพีแดนซ์ในขณะลัดวงจร (Z_F) และค่าความต้านทานลงดินของหม้อแปลง (NGR)

ขั้นตอนที่ 2: เลือกข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ต้องการศึกษา หรือป้อนข้อมูลของอุปกรณ์ของระบบไฟฟ้า ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นค่าปริมาณทางไฟฟ้าจริง (Actual Quantities)

ขั้นตอนที่ 3: ป้อนข้อมูลรูปแบบของระบบป้องกันทั้ง 6 รูปแบบ

ขั้นตอนที่ 4: แปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นค่าเปอร์ยูนิต (p.u.)

ขั้นตอนที่ 5: ทำการสร้างบัสอิมพีแดนซ์เมตริกซ์ (Z bus matrix) เพื่อใช้ในการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 6: เริ่มต้นทำการประเมินโดยใช้วิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์ (Fault position method)

ซึ่งมีรายละเอียดในการคำนวณดังนี้

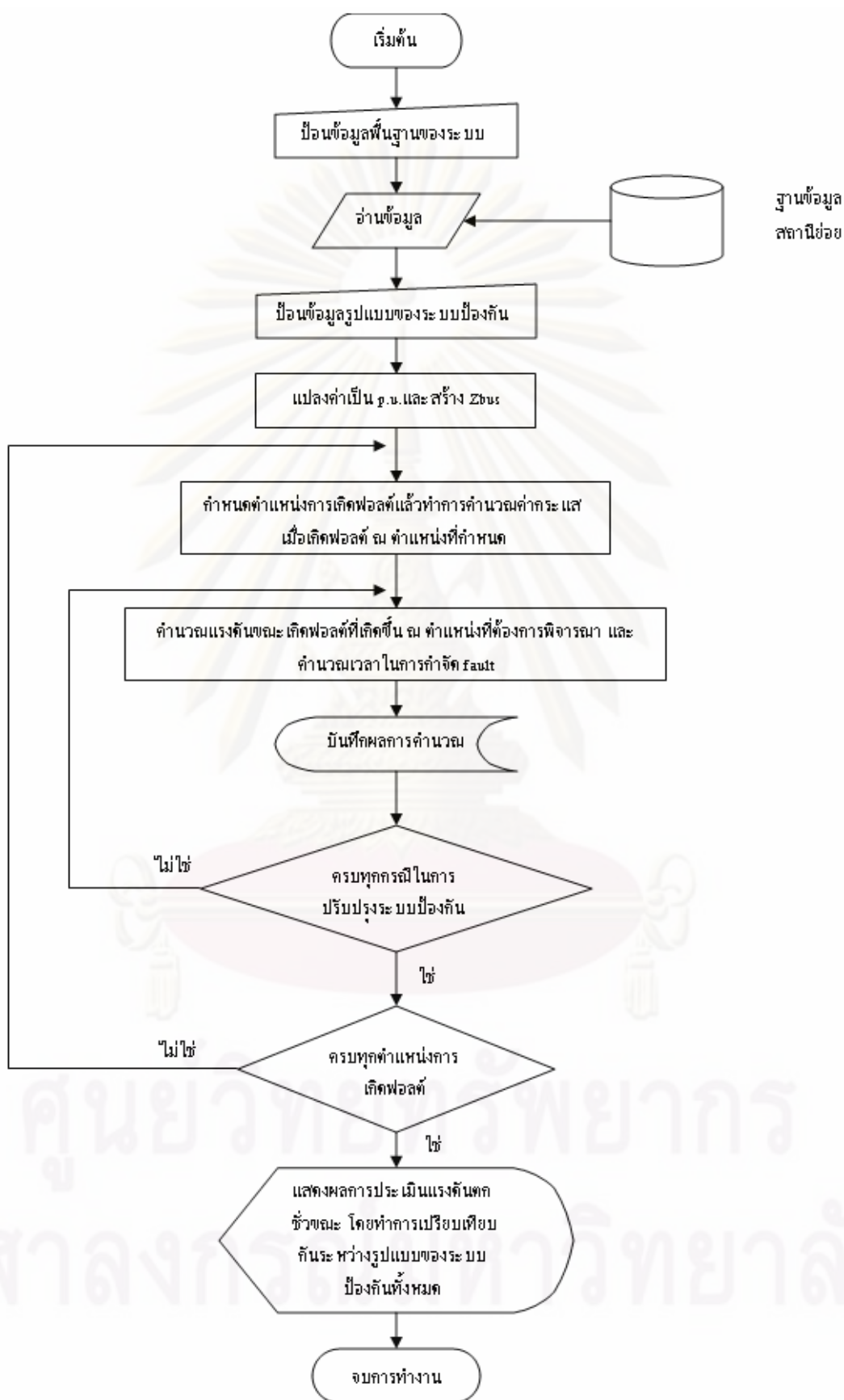
- 6.1 กำหนดตำแหน่งการเกิดฟอลต์ตามชนิดของอุปกรณ์แล้วทำการคำนวณค่ากระแสที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดฟอลต์ ณ ตำแหน่งที่กำหนด

- 6.2 นำค่ากระแสที่ผ่านอุปกรณ์ป้องกันไปพิจารณาหาค่าเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการกำจัดฟอลต์ (Total time to clearing fault) จากรูปแบบของระบบป้องกันทั้ง 6 รูปแบบ
- 6.3 กำหนดหาขนาดของแรงดันขณะเกิดฟอลต์ที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งที่สนใจ
- 6.4 ทำการบันทึกผลที่เกิดขึ้นทั้ง ขนาด ระยะเวลา และความถี่ ลงในตารางความถี่สะสมของระดับแรงดันตกชั่วขณะ
- 6.5 ทำการคำนวณซ้ำตั้งแต่กระบวนการที่ 1-4 จนครบทุกตำแหน่งการเกิดฟอลต์ที่กำหนดของอุปกรณ์แต่ละชนิดในระบบไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 7: ทำการคำนวณซ้ำขั้นตอนที่ 4 จนครบทุกอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

ขั้นตอนที่ 8: แสดงผลการเปรียบเทียบการประเมินในรูปแบบของตารางความถี่สะสมและแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะ เมื่อทำการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันทั้ง 6 รูปแบบ

จากขั้นตอนดังกล่าวสามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังขั้นตอนการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง ได้ดังรูปที่ 4.1



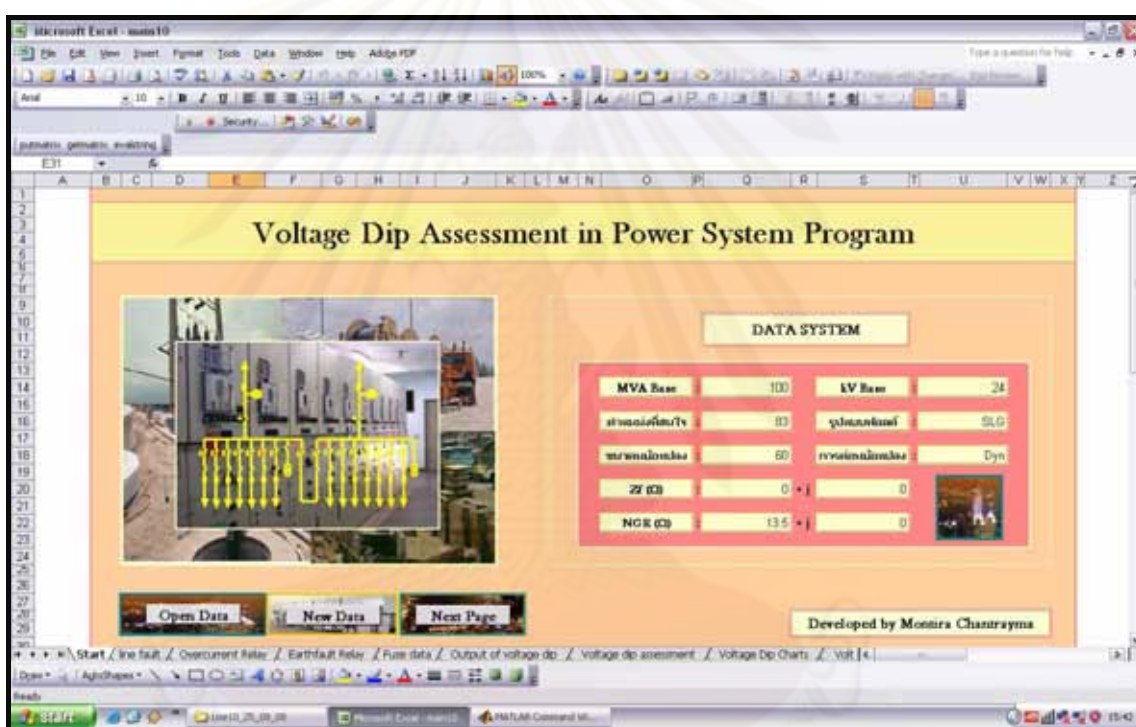
รูปที่ 4.1 แผนผังขั้นตอนการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

4.3 การใช้งานโปรแกรม

โปรแกรมที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นนี้ สามารถทำการคำนวณและเปรียบเทียบผลการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ ในกรณีที่เกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง เมื่อทำการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันในรูปแบบต่างๆ หลังจากทำป้อนข้อมูลต่างๆในโปรแกรม โดยมีรายละเอียดการใช้งานโปรแกรมเพื่อแสดงค่าต่างๆตามที่ต้องการ

4.3.1 หน้าจอหลัก

เมื่อเปิด โปรแกรม Fault location program ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 หน้าจอหลักของ โปรแกรมคำนวณตำแหน่งความผิดปกติในระบบไฟฟ้า

ผู้ใช้งานต้องทำการป้อนข้อมูลพื้นฐานของระบบสำหรับการคำนวณดังนี้

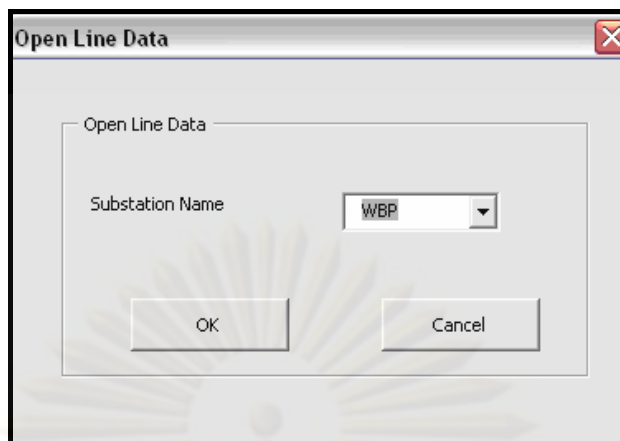
1. ค่ากำลังงานปรากฏ (S) ของระบบ มีหน่วยเป็นเมกะวัตต์เอ็มพี (MVA) ซึ่งจะใช้อ้างอิงเป็นค่าฐาน (S BASE)
2. ค่าแรงดันของระบบมีหน่วยเป็นกิโลโวลต์ (kV) ซึ่งจะใช้เป็นค่าแรงดันฐาน (kV BASE)
3. ระบุตำแหน่งที่สนใจจะพิจารณาการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ
4. ระบุรูปแบบของการเกิดฟอลต์ ซึ่งในโปรแกรมนี้กำหนดให้มี 4 รูปแบบคือ

- รูปแบบที่ 1 : Sym คือการเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟส
 - รูปแบบที่ 2 : SLG คือการเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน (ที่เฟส A)
 - รูปแบบที่ 3 : LL คือการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส (ระหว่างเฟส Bกับเฟส C)
 - รูปแบบที่ 4 : DLG คือการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน(ระหว่างเฟส Bกับเฟส C ลงดิน)
5. กำหนดขนาดกำลังงานปรากฏ (S) ของหม้อแปลง มีหน่วยเป็นเมกะโวลต์แอมป์ (MVA)
6. กำหนดรูปแบบการต่อชุดขดลวดของหม้อแปลง (Connection type) ซึ่งในโปรแกรมนี้ กำหนดให้มี 6 รูปแบบคือ
- รูปแบบที่ 1 คือแบบวายกราวด์ – ยายกราวด์ (Wye ground – Wye ground : YNyn)
 - รูปแบบที่ 2 คือแบบวายกราวด์ – ยาย (Wye ground – Wye : YNy)
 - รูปแบบที่ 3 คือแบบวาย – ยายกราวด์ (Wye– Wye ground : Yyn)
 - รูปแบบที่ 4 คือแบบวาย – ยาย (Wye– Wye : Yy)
 - รูปแบบที่ 5 คือแบบวายกราวด์ – เดลต้า (Wye ground – Delta : YNd)
 - รูปแบบที่ 6 คือแบบ เดลต้า – ยายกราวด์ (Delta – Wye ground : Dyn)
 - รูปแบบที่ 7 คือแบบวาย – เดลต้า (Wye – Delta : Yd)
 - รูปแบบที่ 8 คือแบบเดลต้า – ยาย (Delta – Wye: Dy)
 - รูปแบบที่ 9 คือแบบเดลต้า – เดลต้า (Delta – Delta : Dd)
7. กำหนดค่าอิมพีแดนซ์ในขณะลัดวงจร (Z_F)
8. กำหนดค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่อลงดินของหม้อแปลง (NGR) เพื่อใช้ในการจำกัดกระแสลัดวงจรลงดิน

เมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูลพื้นฐานของระบบเรียบร้อยแล้วจากนั้นต้องทำการป้อนข้อมูลระบบของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ต้องการประเมิน โดยสามารถเลือกได้ว่าจะใช้ข้อมูลจากสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีข้อมูลเก็บไว้ในฐานข้อมูลแล้ว หรือจะทำการป้อนข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยใหม่ได้ดังนี้

4.3.1.1 ปุ่ม Open Data

เป็นปุ่มที่ใช้เลือกข้อมูลสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีเก็บไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งเมื่อกดปุ่มแล้ว โปรแกรมจะแสดงหน้าจอให้ป้อนชื่อของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ต้องการดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 หน้าจอให้ป้อนชื่อของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ต้องการ

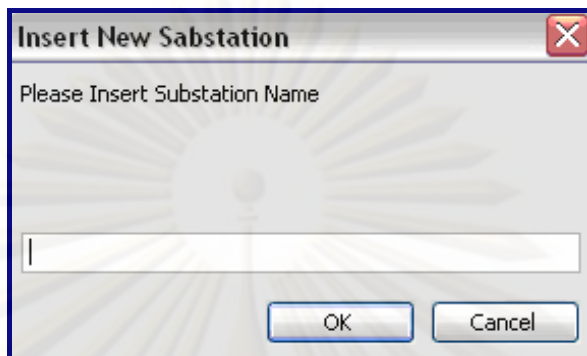
เมื่อผู้ใช้งานทำการป้อนชื่อของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ต้องการแล้ว โปรแกรมจะทำการเลือกข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยดังกล่าวจากฐานข้อมูลที่มีเก็บไว้ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะแสดงผลในหน้าต่าง ดังรูปที่ 4.4

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	From Bus	To Bus	R1	X1	R0	X0	ความยาวของสาย	สถานะสาย	ประเภทสาย	สถานะการตัด	สถานะการวัด	ชื่อสถานี			
2	0	1	0.006535	0.042146	0.023224	0.146483	0	0	0			Name	WBP		
3	1	2	0.02135	0.2089	0.02135	0.2089	0	0	Tr			Power Transformer			
4	2	3	0.0669	0.1053	0.736	0.371	0.00733	1	Main				115.24		
5	3	4	0.2	0.295	0.53	1.591	0.07223	1	Main						
6	3	5	0.2	0.295	0.53	1.591	0.06747	1	Main						
7	5	6	0.2	0.295	0.53	1.591	0.07954	1	Main						
8	6	7	0.2	0.295	0.53	1.591	0.05321	1	Main						
9	7	8	0.2	0.295	0.53	1.591	0.04831	1	Main						
10	8	9	0.2	0.295	0.53	1.591	0.09485	1	Main						
11	9	10	0.2	0.295	0.53	1.591	0.09113	1	Main						
12	10	11	0.2	0.295	0.53	1.591	0.09204	1	Main						
13	11	12	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910	0.08171	1	Main						
14	12	13	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910	0.03133	1	Main						
15	13	14	1.0570	0.3510	1.3840	1.6470	0.03471	1	Lateral						
16	7	15	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910	0.04119	1	Main						

รูปที่ 4.4 หน้าจอแสดงข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยที่ต้องการที่มีอยู่ในฐานข้อมูล

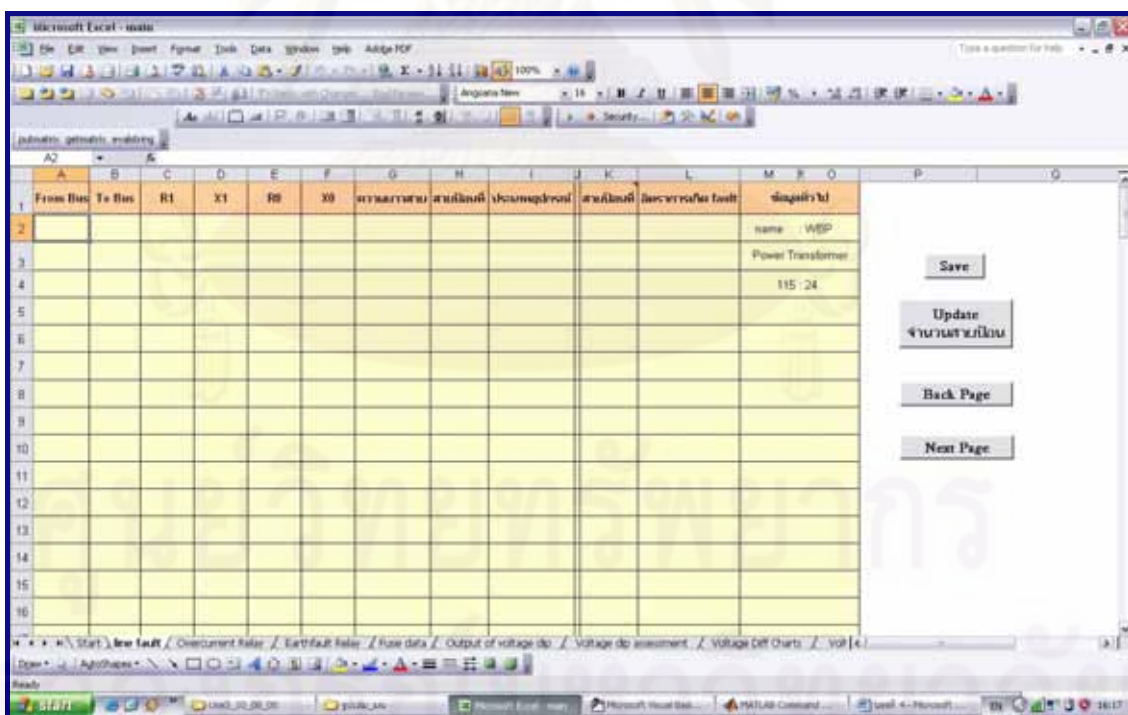
4.3.1.2 ปุ่ม New Data

เป็นปุ่มที่ใช้ป้อนข้อมูลสถานีไฟฟ้าย่อยใหม่ที่ต้องการ ซึ่งเมื่อกดปุ่มแล้ว โปรแกรมจะแสดงหน้าจอให้ป้อนชื่อของสถานีไฟฟ้าย่อยใหม่ที่ต้องการดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 หน้าจอให้ป้อนชื่อของสถานีไฟฟ้าย่อยใหม่ที่ต้องการ

เมื่อผู้ใช้งานทำการป้อนชื่อของสถานีไฟฟ้าย่อยใหม่ที่ต้องการแล้ว โปรแกรมจะแสดงหน้าจอเพื่อให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยใหม่ในหน้า ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 หน้าจอแสดงตารางเพื่อให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยใหม่

4.3.1.3 ปุ่ม Next Page

เป็นปุ่มที่ให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกทำงานในหน้าถัดไป

4.3.2 หน้าจอป้อนข้อมูลสถานีไฟฟ้าย่อย

เป็นหน้าจอที่ให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยดังรูปที่ 4.7

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
	From Bus	To Bus	R1	X1	R0	X0	พิกัดแกน x	พิกัดแกน y	ชื่อสาย/ชื่อ bus	ชนิดสาย/ชื่อ bus	ความยาว/ชื่อ bus	ชนิดสาย/ชื่อ bus	ชนิดสาย/ชื่อ bus	ชนิดสาย/ชื่อ bus	ชนิดสาย/ชื่อ bus
1	0	1	0.0370	0.0290	0.0370	0.0290	0	0	0						
2	1	2	0.403	0.39096	0.403	0.39096	0	0	Tr						Power Transformer
3	2	3	0.0649	0.1053	0.7740	0.3710	0.08733	1	L						115-24
4	3	4	0.2000	0.2910	0.5300	1.5910	0.07233	1	L						
5	3	5	0.2000	0.2910	0.5300	1.5910	0.06747	1	L						
6	5	6	0.2000	0.2910	0.5300	1.5910	0.07954	1	L						
7	4	7	0.2000	0.2910	0.5300	1.5910	0.05321	1	L						
8	7	8	0.2000	0.2910	0.5300	1.5910	0.04311	1	L						
9	8	9	0.2000	0.2910	0.5300	1.5910	0.09405	1	L						
10	9	10	0.2000	0.2910	0.5300	1.5910	0.09111	1	L						
11	10	11	0.2000	0.2910	0.5300	1.5910	0.09204	1	L						
12	11	12	0.2000	0.2910	0.5300	1.5910	0.08171	1	L						
13	12	13	0.2000	0.2910	0.5300	1.5910	0.03132	1	L						
14	13	14	3.0570	0.3510	1.3840	1.6470	0.03472	1	L						
15	9	15	0.2000	0.2910	0.5300	1.5910	0.04119	1	L						

รูปที่ 4.7 หน้าจอแสดงตารางเมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยเรียบร้อยแล้ว

ข้อมูลในหน้าจอตามรูปที่ 4.7 นี้จะแสดงค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงและสายป้อนทั้งหมดที่มีของสถานีไฟฟ้าย่อยดังนี้

1. ข้อมูลทั่วไปของสถานีไฟฟ้าย่อย คือ ชื่อและพิกัดแรงดันของหม้อแปลง
2. ค่าความต้านทานลำดับบวก (Positive resistance, R1) และค่ารีแอกแตนซ์ลำดับบวก (Positive reactance, X1) มีหน่วยเป็น โอห์มต่อกิโลเมตร
3. ค่าความต้านทานลำดับศูนย์ (Zero resistance, R0) และค่ารีแอกแตนซ์ลำดับศูนย์ (Zero reactance, X0) มีหน่วยเป็น โอห์มต่อกิโลเมตร
4. ความยาวของสายป้อนมีหน่วยเป็นกิโลเมตร (km)
5. หมายเลขของสายป้อน
6. ประเภทของอุปกรณ์

4.3.2.1 ปุ่ม save

เป็นปุ่มที่ให้ผู้ใช้งานบันทึกเก็บข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยไว้ในฐานข้อมูล เมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูลระบบของสถานีไฟฟ้าย่อยใหม่ หรือเมื่อผู้ใช้งานทำการแก้ไขข้อมูลจากสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีเก็บไว้ในฐานข้อมูลแล้ว โดยโปรแกรมจะทำการบันทึกเก็บข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยตามชื่อที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้

4.3.2.2 ปุ่ม Update จำนวนสายป้อน

เป็นปุ่มที่ทำการหาจำนวนสายป้อนทั้งหมดที่มีของสถานีไฟฟ้าย่อย ดังรูปที่ 4.8

From Bus	To Bus	RT	XT	RE	XD	ความยาวสาย	ชนิดสาย	ประเภทสาย	ชนิดสาย	ขนาดสาย	ชนิดสาย	ชื่อสาย
0	1	0.006535	0.045246	0.023554	0.146463	0	D	D	D			Name: WSP
1	2	0.02135	0.2089	0.02135	0.2089	0	0	Tr	Tr			Power Transformer
2	3	0.0649	0.1053	0.776	0.371	0.07333	1	Man	1			115_24
3	4	0.2	0.295	0.53	1.591	0.07333	1	Man	2			
4	5	0.2	0.295	0.53	1.591	0.06747	1	Man	3			
5	6	0.2	0.295	0.53	1.591	0.07954	1	Man	4			
6	7	0.2	0.295	0.53	1.591	0.05321	1	Man				
7	8	0.2	0.295	0.53	1.591	0.04331	1	Man				
8	9	0.2	0.295	0.53	1.591	0.09485	1	Man				
9	10	0.2	0.295	0.53	1.591	0.09111	1	Man				
10	11	0.2	0.295	0.53	1.591	0.09264	1	Man				
11	12	0.2090	0.2950	0.5300	1.5910	0.08171	1	Man				
12	13	0.2090	0.2950	0.5300	1.5910	0.03132	1	Man				
13	14	1.0570	0.3510	1.3940	1.6470	0.03470	1	Lateral				
14	15	0.2090	0.2950	0.5300	1.5910	0.04119	1	Man				

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างหน้าจอแสดงการหาจำนวนสายป้อนทั้งหมดที่มีของสถานีไฟฟ้าย่อย

เพื่อให้ผู้ใช้งานป้อนอัตราการเกิดฟอลต์ของสายป้อนแต่ละสายป้อนและอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อทำการคำนวณหาตำแหน่งการเกิดฟอลต์ (Fault position method) ซึ่งสามารถกำหนดตำแหน่งการเกิดฟอลต์ได้ตามขั้นตอนดังนี้

1. ทำการหาความยาวสายทั้งหมดของแต่ละสายป้อน
2. กำหนดจำนวนตำแหน่งการเกิดฟอลต์ให้มีค่าเท่ากับอัตราการเกิดฟอลต์ของสายป้อนแต่ละสายป้อน
3. หาระยะห่างของการเกิดฟอลต์ของแต่ละสายป้อนในแต่ละตำแหน่งจากสมการ (4.1)

$$\text{ระยะห่างของการเกิดฟอลต์} = \frac{\text{ความยาวสายทั้งหมดของแต่ละสายป้อน}}{\text{อัตราการเกิดฟอลต์ของแต่ละสายป้อน}} \quad (4.1)$$

4. กำหนดตำแหน่งการเกิดฟอลต์ทั้งหมดของแต่ละสายป้อน

4.3.2.3 ปุ่ม Back Page

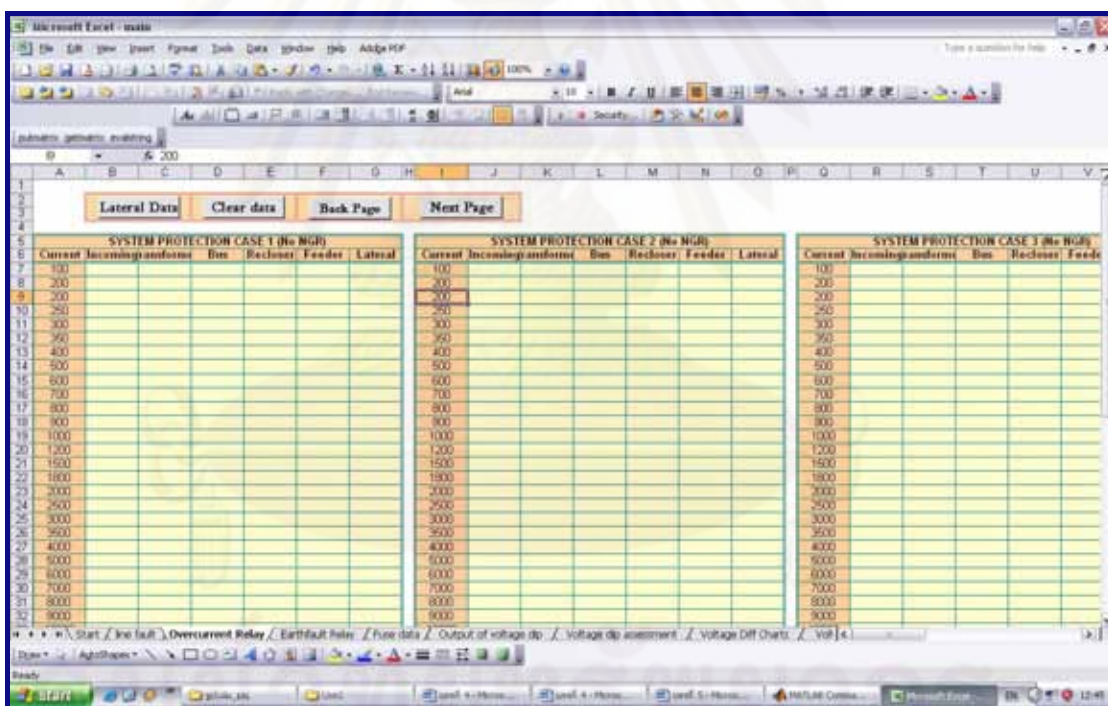
เป็นปุ่มที่ให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกกลับไปหน้าก่อนหน้านี้ได้

4.3.2.4 ปุ่ม Next Page

เป็นปุ่มที่ให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกทำงานในหน้าถัดไป

4.3.3 หน้าจอป้อนข้อมูลระบบป้องกันการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส (Phase protection)

เมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยแล้ว จากนั้นต้องทำการป้อนข้อมูลระบบป้องกันการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส (Phase protection) ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 หน้าจอข้อมูลระบบป้องกันการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส (Phase protection)

รูปแบบของระบบป้องกันมีทั้งหมด 6 รูปแบบ โดยแต่ละรูปแบบมีรายละเอียดดังนี้

1. การป้องกันภายในสถานีไฟฟ้าย่อย
2. การป้องกันหม้อแปลง 69/115 kV
3. การป้องกัน Incoming 12/24 kV

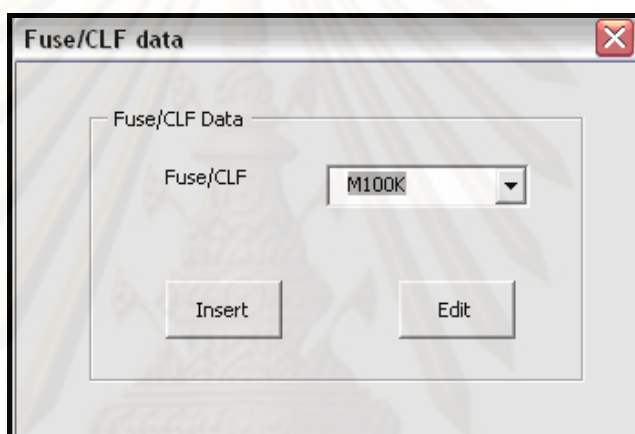
4. รีโกลสเซอร์
5. การป้องกันสายป้อนหลัก
6. การป้องกันสายป้อนย่อย

โดยในโปรแกรมนี้จะแยกการพิจารณาเรื่องการต่อความต้านทานลงดินดังนี้

1. รูปแบบที่ 1 ถึงรูปแบบที่ 3 เป็นการคิดกรณีระบบไม่มีการต่อ NGR
2. รูปแบบที่ 4 ถึงรูปแบบที่ 6 เป็นการคิดกรณีระบบมีการต่อ NGR

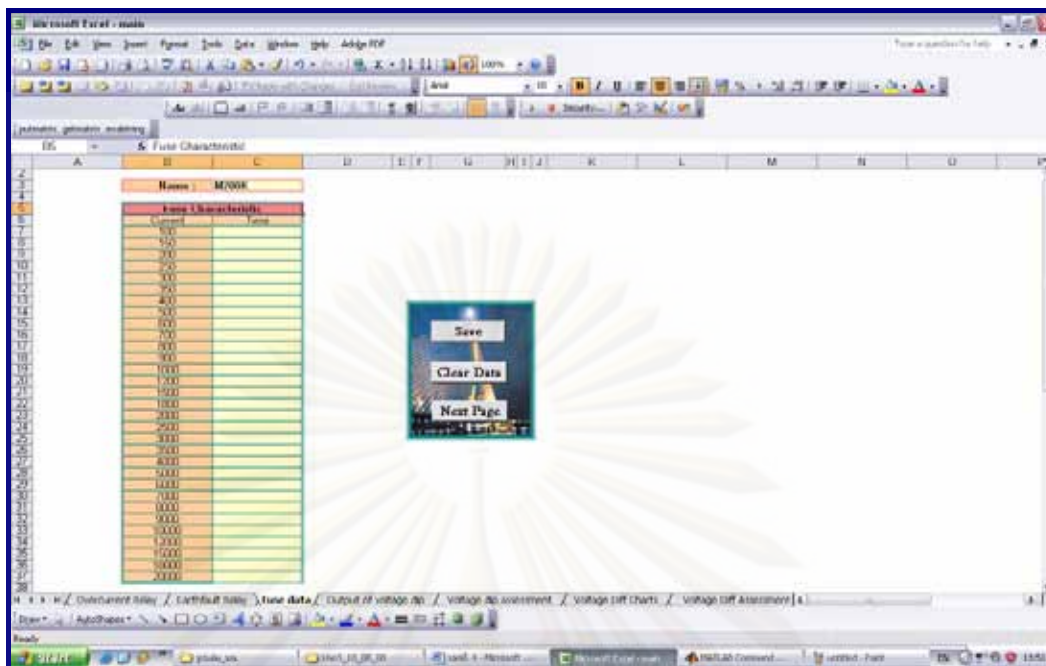
4.3.3.1 ปุ่ม Lateral Data

เป็นปุ่มเพื่อเลือกป้อนข้อมูลฟิวส์หรือแก้ไขข้อมูลฟิวส์ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล เพื่อใช้สำหรับป้องกันสายป้อนย่อย แสดงดังรูปที่ 4.10



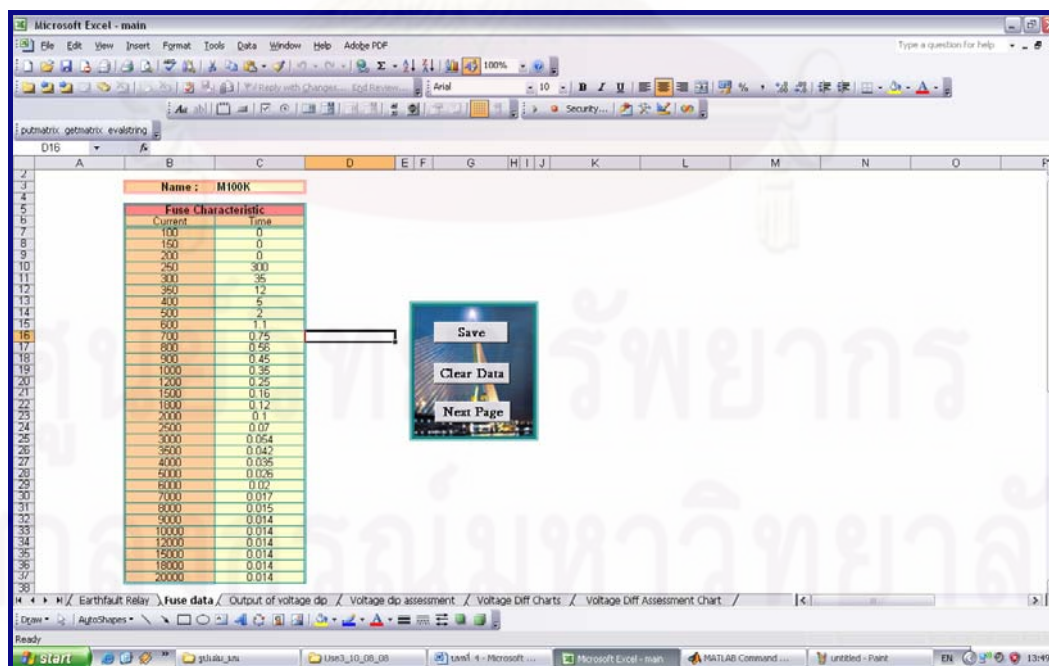
รูปที่ 4.10 หน้าจอเลือกการป้อนหรือแก้ไขข้อมูลฟิวส์

เมื่อผู้ใช้งานต้องการป้อนข้อมูลฟิวส์ใหม่ต้องทำการป้อนชื่อชนิดของฟิวส์แล้ว กดปุ่ม Insert โปรแกรมจะแสดงหน้าจอดังรูปที่ 4.11 เมื่อป้อนข้อมูลแล้วกดปุ่ม Save เพื่อเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล จากนั้นกดปุ่ม Next Page เพื่อกลับไปหน้าโปรแกรมหลัก



รูปที่ 4.11 หน้าจอสำหรับป้อนข้อมูลฟิวส์ใหม่

หากผู้ใช้งานต้องการแก้ไขข้อมูลฟิวส์ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลต้องทำการป้อนชื่อชนิดของฟิวส์ แล้ว กดปุ่ม Edit โปรแกรมจะแสดงหน้าจอดังรูปที่ 4.12 เมื่อแก้ไขข้อมูลแล้วกดปุ่ม Save เพื่อเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล จากนั้นกดปุ่ม Next Page เพื่อกลับไปหน้าโปรแกรมหลัก



รูปที่ 4.12 หน้าจอสำหรับแก้ไขข้อมูลฟิวส์ที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล

4.3.3.2 ปุ่ม Clear Data

เป็นปุ่มสำหรับลบข้อมูลระบบป้องกันทั้งหมด

4.3.3.3 ปุ่ม Back Page

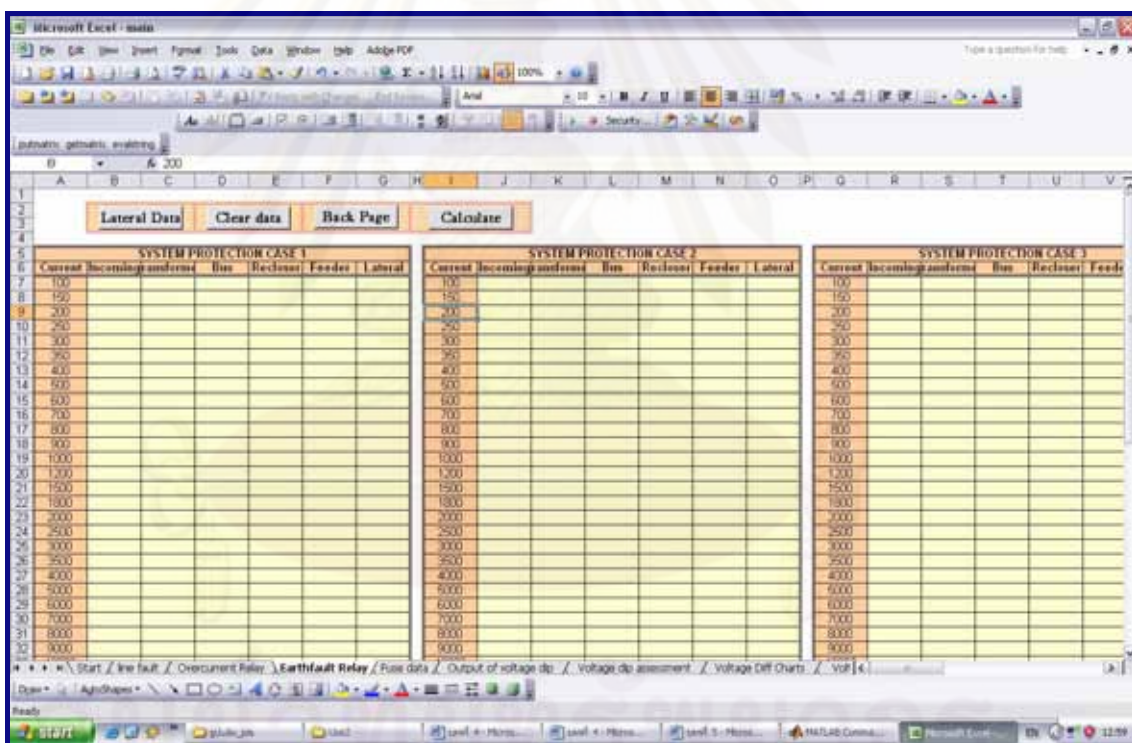
เป็นปุ่มที่ให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกกลับไปหน้าก่อนหน้า

4.3.3.4 ปุ่ม Next Page

เป็นปุ่มที่ให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกทำงานในหน้าถัดไป

4.3.4 หน้าจอป้อนข้อมูลระบบป้องกันการเกิดฟอลต์ลงดิน (Ground protection)

เมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูลระบบป้องกันการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส (Phase protection) แล้ว จากนั้นต้องทำการป้อนข้อมูลระบบป้องกันการเกิดฟอลต์ลงดิน (Ground protection) ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งมีรายละเอียดการทำงานเหมือนหน้าจอข้อมูลระบบป้องกันการเกิดฟอลต์ระหว่างเฟส



รูปที่ 4.13 หน้าจอข้อมูลระบบป้องกันการเกิดฟอลต์ลงดิน (Ground protection)

เมื่อผู้ใช้งานป้อนข้อมูลทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว สามารถทำการคำนวณการประเมินแรงดันตกชั่วขณะได้โดยกดปุ่ม Calculate

4.3.5 หน้าจอแสดงผลตารางการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ

เมื่อผู้ใช้งานกดปุ่ม Calculate แล้วโปรแกรมจะแสดงผลหน้าจอแสดงผลการประเมินดังรูปที่ 4.14 โดยโปรแกรมจะทำการคำนวณค่าต่างๆ ดังนี้

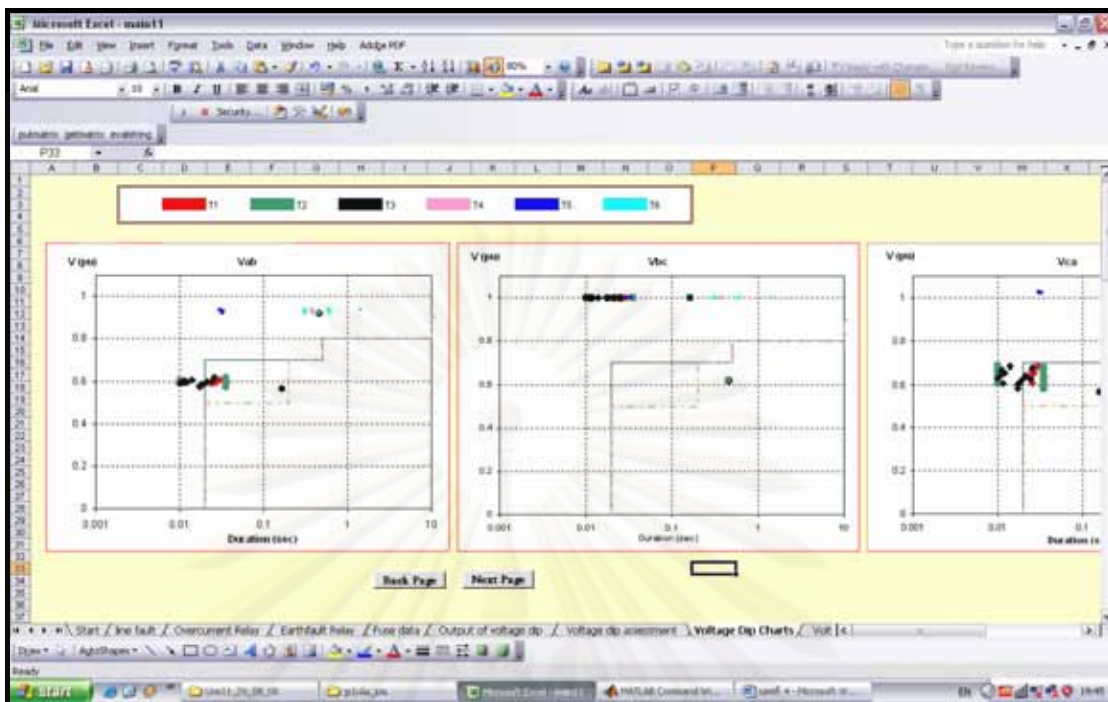
1. ค่าแรงดันตกชั่วขณะเฟส A, เฟส B และ เฟส C ณ ตำแหน่งที่สนใจ ขณะเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งต่างๆ
2. ค่ากระแสลัดวงจรเมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งต่างๆ
3. ระยะเวลาในการกำจัดฟอลต์ นั่นคือระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งจะมีค่าทั้งหมด 6 กรณีตามรูปแบบระบบป้องกันทั้งหมด

Output of Voltage Dip Calculation										
Case 1 - 3 (No NGR)							Case 4 - 6 (NGR)			
Fault type	Vab	Vbc	Vca	Result	T1	T2	T3	Vab	Vbc	Vca
1	0.921372	0.619682	0.917958	6281.7249	0.461562	0.461562	0.921372	0.619682	0.917958	6281.7249
2	0.966831	1	0.565369	6323.3843	0.163175	0.163175	0.93531	1	0.028367	896.735572
3	0.601542	1	0.643326	6273.88969	0.036	0.036	0.021476	0.934466	1	0.021361
4	0.927474	1	0.618381	6577.00787	0.036	0.036	0.018887	0.934762	1	0.026368
5	0.587158	1	0.635678	5332.16037	0.036	0.036	0.000713	0.93457	1	0.025614
6	0.632454	1	0.673256	4799.79672	0.036	0.036	0.004662	0.934145	1	0.023789
7	0.597436	1	0.636768	5307.83763	0.036	0.036	0.000743	0.934545	1	0.025597
8	0.595547	1	0.663778	5118.18133	0.026291	0.01	0.01111	0.934881	1	0.024891
9	0.579002	1	0.583693	5737.12608	0.036	0.036	0.017438	0.931309	1	0.026421
10	0.997562	1	0.996263	4898.34879	0.028916	0.01	0.012188	0.939963	1	0.023336
11	0.609038	1	0.683139	4612.87617	0.029674	0.01	0.014104	0.939868	1	0.022089
12	0.606881	1	0.628164	4883.95116	0.036	0.036	0.024561	0.925734	1	0.0225
13	0.599446	1	0.607286	4907.14861	0.026967	0.01	0.011915	0.921813	1	0.019642
14	0.58014	1	0.604303	5192.84421	0.036	0.036	0.017538	0.934927	1	0.02661
15	0.606388	1	0.662264	5029.48089	0.025823	0.01	0.011423	0.934538	1	0.02461
16	0.579202	1	0.601947	5907.79626	0.036	0.036	0.017361	0.934636	1	0.027032
17	0.601823	1	0.643031	5236.57047	0.036	0.036	0.021467	0.934813	1	0.02527
18	0.582042	1	0.628808	5440.06351	0.02336	0.01	0.009976	0.93468	1	0.025953
19	0.607695	1	0.644288	5217.74653	0.024894	0.01	0.010768	0.934812	1	0.024321

รูปที่ 4.14 หน้าจอแสดงผลตารางการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ

4.3.6 หน้าจอแสดงผลการประเมินตามมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47

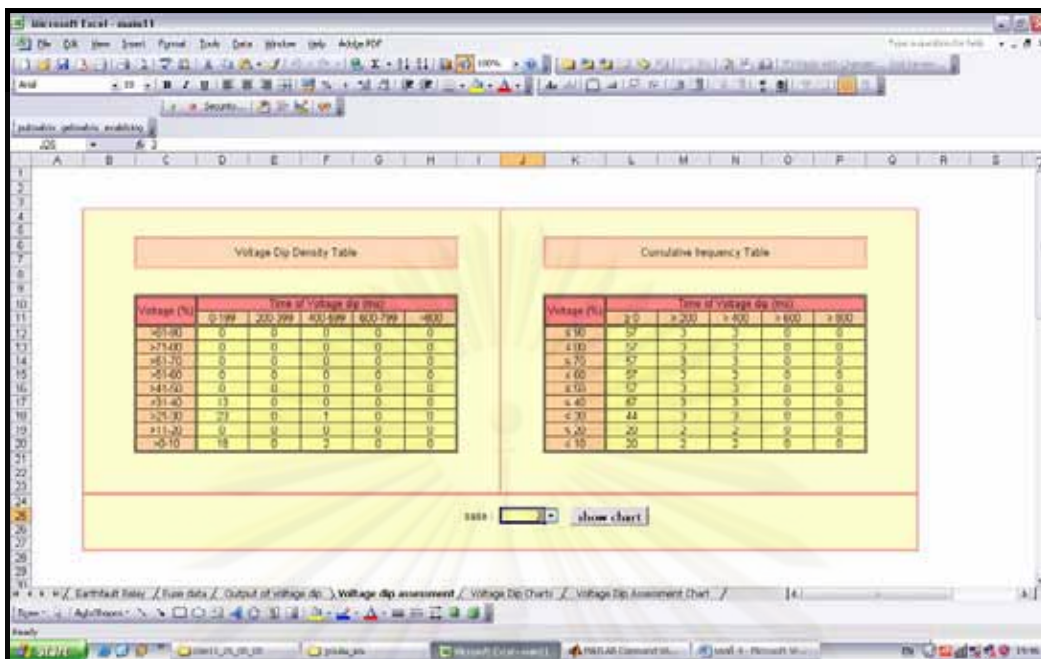
เมื่อผู้ใช้ทำการประเมินแรงดันตกชั่วขณะแล้วสามารถเรียกดูโดยกดปุ่ม show chart โปรแกรมจะแสดงผลหน้าจอแสดงผลการประเมินตามมาตรฐาน ITIC /SEMI F-47 ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 หน้าจอแสดงผลการประเมินตามมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47

4.3.7 หน้าจอแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage dip density table) และตารางความถี่สะสม (Cumulative frequency table)

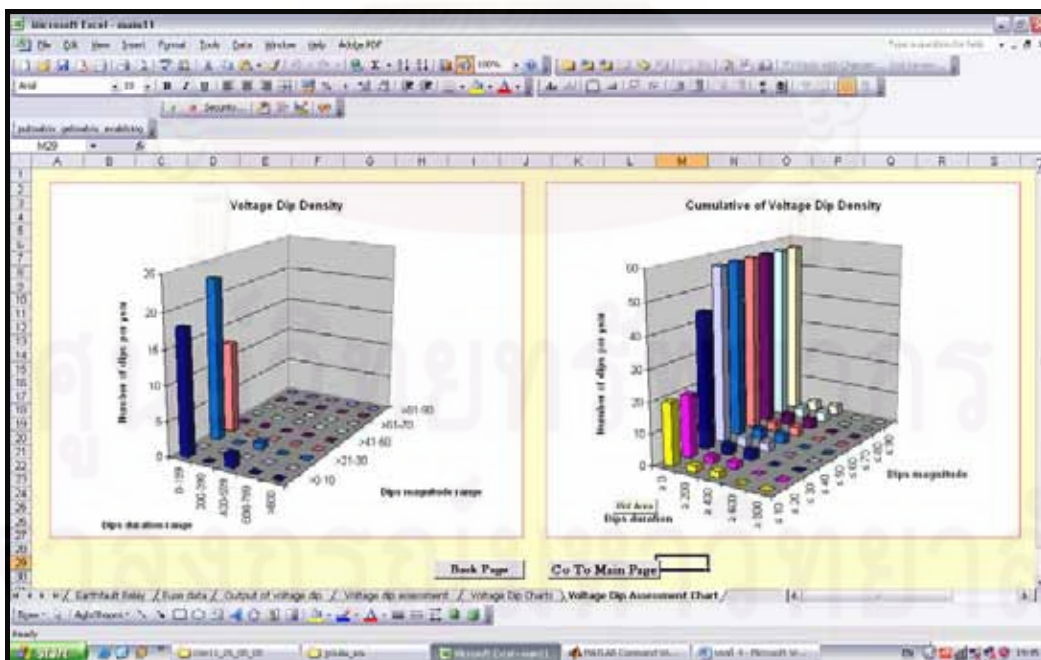
เมื่อผู้ใช้งานทำการแสดงผลการประเมินตามมาตรฐาน ITIC แล้วกดปุ่ม Next Page โปรแกรมจะทำการคำนวณความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ และตารางความถี่สะสม ดังรูปที่ 4.16 โดยรูปแบบของขนาดแรงดันตกชั่วขณะที่ต้องการประเมิน คือ แต่ละเฟส แยกเป็นอิสระจากกัน (Isolate 3 phase)



รูปที่ 4.16 หน้าจอแสดงความหนาแน่นของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะ และตารางความถี่สะสม

4.3.8 หน้าจอแสดงกราฟของตารางความถี่สะสมของการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ

เมื่อผู้ใช้งานกดปุ่ม show chart โปรแกรมจะแสดงหน้าจอแสดงกราฟของตารางความถี่สะสมของการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 หน้าจอแสดงกราฟของตารางความถี่สะสมของการประเมินแรงดันตกชั่วขณะ

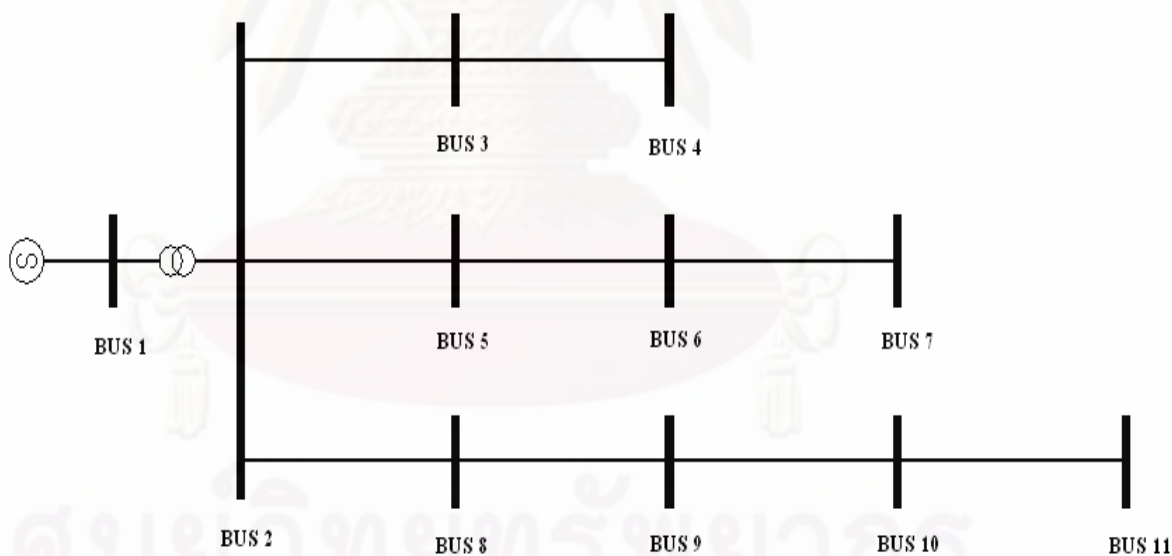
บทที่ 5

การศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกัน ที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลัง

ก่อนทำการประเมินระบบจริง ควรทำการตรวจสอบค่าความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรมประเมินแรงดันตกชั่วขณะที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าแรงดันขณะเกิดฟอลต์ ณ ตำแหน่งที่สนใจ และค่ากระแสฟอลต์ของทุกบัสจากระบบทดสอบที่ได้จากโปรแกรมที่ทำการพัฒนาขึ้น เทียบกับค่าจากโปรแกรมประยุกต์ PSS-ADEPT ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับและใช้งานในการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบัน

5.1 การตรวจสอบค่าความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรม

ทำการสมมติระบบทดสอบ 11 บัส ที่มีแผนผังวงจรเส้นเดียวดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนผังวงจรเส้นเดียวของระบบทดสอบ 11 บัส

การตรวจสอบค่าความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรมจะพิจารณาจากการเปรียบเทียบผลการคำนวณจากระบบทดสอบ 11 บัส ใน 2 กรณีคือ

1. กรณีที่ระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยตรง
2. กรณีที่ระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทาน (NGR : Neutral Ground Resistor)

โดยรายละเอียดข้อมูลของระบบทดสอบแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลของระบบทดสอบ 11 บัส

อุปกรณ์	อุปกรณ์ต่อที่บัส		ระยะทาง (km)	R1 (Ohm/km)	X1 (Ohm/km)	R0 (Ohm/km)	X0 (Ohm/km)
	จาก	ถึง					
แหล่งจ่าย	0	1	-	0.00	0.1	0.00	0.1
หม้อแปลง	1	2	-	0.00	0.15	0	0.15
สายป้อนที่ 1	2	3	5	0.25344	0.4032	0.4608	1.8432
สายป้อนที่ 1	3	4	5	0.25344	0.4032	0.4608	1.8432
สายป้อนที่ 2	2	5	5	0.25344	0.4032	0.4608	1.8432
สายป้อนที่ 2	5	6	5	0.25344	0.4032	0.4608	1.8432
สายป้อนที่ 2	6	7	5	0.25344	0.4032	0.4608	1.8432
สายป้อนที่ 3	2	8	5	0.25344	0.4032	0.4608	1.8432
สายป้อนที่ 3	8	9	5	0.25344	0.4032	0.4608	1.8432
สายป้อนที่ 3	9	10	5	0.25344	0.4032	0.4608	1.8432
สายป้อนที่ 3	10	11	5	0.25344	0.4032	0.4608	1.8432

จากนั้นทำการจำลองการเกิดฟอลต์ทุกแบบขึ้นที่บัสต่างๆ ทีละบัส จนครบทุกบัส สำหรับค่าที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบคือ ค่าแรงดันขณะเกิดฟอลต์ ณ ตำแหน่งบัสที่สนใจ โดยกำหนดให้บัสที่ 4 เป็นตำแหน่งที่สนใจ และค่ากระแสฟอลต์ที่ตำแหน่งเกิดฟอลต์

5.1.1 กรณีที่ระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยตรง

ในกรณีที่ระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยตรง เมื่อทำการจำลองการเกิดฟอลต์ทุกแบบขึ้นที่บัสต่างๆ ทีละบัส จนครบทุกบัส จะได้ผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณของการเกิดฟอลต์ทุกแบบ แสดงดังตารางที่ 5.2 – ตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณกรณีฟอลต์แบบสมมาตร
เมื่อระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยตรง

ตำแหน่ง ฟอลต์	แรงดันเฟส A, B, C ที่บัส 4 (เปอร์เซ็นต์)		ค่าความ คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)	กระแสฟอลต์ (กิโลแอมป์)		ค่าความ คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
	PSS-ADEPT	Program		PSS-ADEPT	Program	
บัส 1	0.00000	0.00000	0.00	8.36738	8.12288	2.92
บัส 2	0.00000	0.00000	0.00	10.69165	10.42280	2.51
บัส 3	0.00000	0.00000	0.00	3.85745	3.76444	2.41
บัส 4	0.00000	0.00000	0.00	2.34852	2.29792	2.15
บัส 5	0.66149	0.64690	2.21	3.85745	3.76444	2.41
บัส 6	0.80717	0.78970	2.16	2.34852	2.29792	2.15
บัส 7	0.86383	0.85070	1.52	1.67558	1.65007	1.52
บัส 8	0.66149	0.64690	2.21	3.85745	3.76444	2.41
บัส 9	0.80717	0.78970	2.16	2.34852	2.29792	2.15
บัส 10	0.86383	0.85070	1.52	1.67558	1.65007	1.52
บัส 11	0.89482	0.88430	1.18	1.30176	1.28657	1.17

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบผลการคำนวณกรณีฟอลต์ลงดินเส้นเดียว
เมื่อระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยตรง

ตำแหน่ง ฟอลต์	แรงดันเฟส A ที่บัส 4 (เปอร์เซ็นต์)		ค่าความ คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)	กระแสฟอลต์ (กิโลแอมป์)		ค่าความ คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
	PSS-ADEPT	Program		PSS-ADEPT	Program	
บัส 1	0.57735	0.56333	2.43	8.36738	8.12288	2.92
บัส 2	0.00000	0.00000	0.00	12.42172	12.10327	2.56
บัส 3	0.00000	0.00000	0.00	2.40948	2.35302	2.34
บัส 4	0.00000	0.00000	0.00	1.32642	1.30918	1.30
บัส 5	0.81750	0.79830	2.35	2.40948	2.35302	2.34
บัส 6	0.90070	0.88840	1.37	1.32642	1.30918	1.30
บัส 7	0.93122	0.92290	0.89	0.91488	0.90671	0.89
บัส 8	0.81750	0.79830	2.35	2.40948	2.35302	2.34
บัส 9	0.90070	0.88840	1.37	1.32642	1.30918	1.30
บัส 10	0.93122	0.92290	0.89	0.91488	0.90671	0.89
บัส 11	0.94756	0.94110	0.68	0.69820	0.69356	0.66

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบผลการคำนวณกรณีฟอลต์สองเส้น
เมื่อระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยตรง

ตำแหน่ง ฟอลต์	แรงดันเฟส B, C ที่บัส 4 (เปอร์เซ็นต์)		ค่าความ คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)	กระแสฟอลต์ (กิโลแอมป์)		ค่าความ คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
	PSS-ADEPT	Program		PSS-ADEPT	Program	
บัส 1	0.50000	0.50000	0.00	7.24637	7.13362	1.56
บัส 2	0.50000	0.50000	0.00	9.15025	8.93359	2.37
บัส 3	0.50000	0.50000	0.00	3.32395	3.26020	1.92
บัส 4	0.50000	0.50000	0.00	2.03387	1.99000	2.16
บัส 5	0.83742	0.82490	1.50	3.32396	3.26020	1.92
บัส 6	0.90574	0.89700	0.96	2.03387	1.99000	2.16
บัส 7	0.93383	0.92730	0.70	1.45109	1.42899	1.52
บัส 8	0.83742	0.82490	1.50	3.32395	3.26020	1.92
บัส 9	0.90574	0.89700	0.96	2.03387	1.99000	2.16
บัส 10	0.93383	0.92730	0.70	1.45109	1.42899	1.52
บัส 11	0.94907	0.94390	0.54	1.12736	1.11408	1.18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบผลการคำนวณกรณีฟอลต์ลงดินสองเส้น
เมื่อระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยตรง

ตำแหน่ง ฟอลต์	แรงดันเฟส B, C ที่บัส 4 (เปอร์เซ็นต์)		ค่าความ คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)	กระแสฟอลต์ (กิโลแอมป์)		ค่าความ คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
	PSS-ADEPT	Program		PSS-ADEPT	Program	
บัส 1	0.00000	0.00000	0.00	8.36739	8.33362	0.40
บัส 2	0.00000	0.00000	0.00	11.97678	11.67847	2.49
บัส 3	0.00000	0.00000	0.00	1.74694	1.70829	2.21
บัส 4	0.00000	0.00000	0.00	0.92644	0.91152	1.61
บัส 5	0.78773	0.76790	2.52	1.74694	1.70829	2.21
บัส 6	0.88110	0.86850	1.43	0.92644	0.91152	1.61
บัส 7	0.91761	0.90850	0.99	0.62974	0.62163	1.29
บัส 8	0.78773	0.76790	2.52	1.74694	1.70829	2.21
บัส 9	0.88110	0.86850	1.43	0.92644	0.91152	1.61
บัส 10	0.91761	0.90850	0.99	0.62974	0.62163	1.29
บัส 11	0.93701	0.92990	0.76	0.47950	0.47152	1.67

5.1.2 กรณีที่ระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทาน (NGR)

กรณีที่ระบบทดสอบมีการต่อลงดินโดยผ่านความต้านทาน (NGR) โดยกำหนดให้ระบบทดสอบ 11 บัสทำการต่อค่า NGR เท่ากับ 14.4 โอห์มเข้าไปในระบบ จากนั้นทำการจำลองการเกิดฟอลต์ที่บัสต่างๆ ทีละบัส จนครบทุกบัส แต่เนื่องจากการต่อ NGR มีผลกับกรณีที่เกิดฟอลต์ลงดินเท่านั้น จึงทำการจำลองในกรณีที่มีการเกิดฟอลต์ 2 แบบ คือฟอลต์ลงดินเส้นเดียว และฟอลต์ลงดินสองเส้น ซึ่งผลการเปรียบเทียบผลการคำนวณในกรณีที่ระบบทดสอบต่อ NGR แสดงดังตารางที่ 5.6 – ตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบผลการคำนวณกรณีฟอลต์ลงดินเส้นเดียวเมื่อระบบทดสอบต่อ NGR

ตำแหน่ง ฟอลต์	แรงดันเฟส A ที่บัส 4 (เปอร์เซ็นต์)		ค่าความ คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)	กระแสฟอลต์ (กิโลแอมป์)		ค่าความ คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
	PSS-ADEPT	Program		PSS-ADEPT	Program	
บัส 1	0.57735	0.56333	2.43	8.36738	8.12288	2.92
บัส 2	0.00000	0.00000	0.00	0.95943	0.95867	0.08
บัส 3	0.00000	0.00000	0.00	0.81809	0.81577	0.28
บัส 4	0.00000	0.00000	0.00	0.68483	0.68250	0.34
บัส 5	0.27757	0.27680	0.28	0.81809	0.81577	0.28
บัส 6	0.46471	0.46310	0.35	0.68483	0.68250	0.34
บัส 7	0.58761	0.58550	0.36	0.57730	0.57520	0.36
บัส 8	0.27757	0.27680	0.28	0.81809	0.81577	0.28
บัส 9	0.46471	0.46310	0.35	0.68483	0.68250	0.34
บัส 10	0.58761	0.58550	0.36	0.57730	0.57520	0.36
บัส 11	0.67033	0.66800	0.35	0.49393	0.49221	0.35

ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบผลการคำนวณกรณีฟอลต์ลงดินสองเส้นเมื่อระบบทดสอบต่อ NGR

ตำแหน่ง ฟอลต์	แรงดันเฟส B, C ที่บัส 4 (เปอร์เซ็นต์)		ค่าความ คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)	กระแสฟอลต์ (กิโลแอมป์)		ค่าความ คลาดเคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
	PSS-ADEPT	Program		PSS-ADEPT	Program	
บัส 1	0.00000	0.00000	0.00	8.36739	8.33362	0.40
บัส 2	0.00000	0.00000	0.00	0.49357	0.48090	2.57
บัส 3	0.00000	0.00000	0.00	0.44802	0.43639	2.60
บัส 4	0.00000	0.00000	0.00	0.39548	0.38636	2.31
บัส 5	0.68525	0.66710	2.65	0.44802	0.43639	2.60
บัส 6	0.87142	0.85670	1.69	0.39548	0.38636	2.31
บัส 7	0.95617	0.94520	1.15	0.34560	0.33968	1.71
บัส 8	0.68525	0.66710	2.65	0.44802	0.43639	2.60
บัส 9	0.87142	0.85670	1.69	0.39548	0.38636	2.31
บัส 10	0.95617	0.94200	1.48	0.34560	0.33968	1.71
บัส 11	1.00061	0.99200	0.86	0.30619	0.29927	2.26

จากผลการเปรียบเทียบของระบบทดสอบที่มีการต่อลงดินโดยตรงและระบบทดสอบที่ต่อ NGR จะพบว่าโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นให้ผลการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับผลจากโปรแกรม PSS-ADEPT โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์

5.2 การประเมินระบบจริง

5.2.1 ข้อมูลและค่าพารามิเตอร์ของระบบจริงที่นำมาใช้ในการประเมิน

ข้อมูลระบบจริงที่นำมาใช้ในการประเมินเป็นระบบจำหน่ายแรงดัน 24 กิโลโวลต์ (kV) ของสถานีไฟฟ้าย่อยวัดบำเพ็ญ การไฟฟ้านครหลวง มีจำนวนสายป้อน 4 สายป้อน (Feeder) ซึ่งรับไฟจากหม้อแปลงขนาด 36/60 MVA แรงดัน 115 kV/24 kV จำนวน 1 ลูก ความยาวทั้งหมดของสายป้อน 24 kV คือ 8.844 กิโลเมตร ส่วนใหญ่เป็นสายป้อนอากาศมีสายตัวนำเป็น Aluminum Spaced Cable (ASC) ซึ่งมีรายละเอียดของระบบดังแสดงในตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.2

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลระบบไฟฟ้าของสถานีย่อยวัดบำเพ็ญ

ประเภทของ อุปกรณ์	อุปกรณ์ต่อกัน		ระยะทาง (km)	R1 (Ohm/km)	X1 (Ohm/km)	R0 (Ohm/km)	X0 (Ohm/km)
	จาก	ถึง					
แหล่งจ่าย	0	1	-	0.006535	0.045246	0.023524	0.146463
หม้อแปลง	1	2	-	0.02135	0.2089	0.02135	0.2089
สายป้อนที่ 1	2	3	0.00733	0.0669	0.1053	0.7760	0.3710
สายป้อนที่ 1	3	4	0.07233	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	3	5	0.06747	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	5	6	0.07954	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	6	7	0.05321	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	7	8	0.04331	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	8	9	0.09485	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	9	10	0.09111	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	10	11	0.09204	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	11	12	0.08171	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	12	13	0.03132	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	13	14	0.03478	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 1	7	15	0.04119	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	15	16	0.08692	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 1	15	17	0.08293	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	17	18	0.0858	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	17	19	0.07756	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 1	19	20	0.05713	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 1	15	21	0.06847	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	21	22	0.07389	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	22	23	0.03458	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	23	24	0.02197	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 1	23	25	0.01996	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 1	25	26	0.06411	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 1	26	27	0.055	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 1	23	28	0.05158	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	28	29	0.09788	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	29	30	0.10587	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	30	31	0.05376	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลระบบไฟฟ้าของสถานีย่อยวัดน้ำเพ็ญ (ต่อ)

ประเภทของ อุปกรณ์	อุปกรณ์ต่อกันที่บัส		ระยะทาง (km)	R1 (Ohm/km)	X1 (Ohm/km)	R0 (Ohm/km)	X0 (Ohm/km)
	จาก	ถึง					
สายป้อนที่ 1	10	32	0.10347	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	32	33	0.05546	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	33	34	0.05021	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	33	35	0.03892	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	35	36	0.03892	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	36	37	0.06341	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	37	38	0.03057	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	38	39	0.05406	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 1	39	40	0.033	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 1	13	41	0.05534	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	41	42	0.01889	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 1	41	43	0.05222	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	43	44	0.03051	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	44	45	0.05266	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	45	46	0.0828	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 1	44	47	0.11276	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 1	47	48	0.03583	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 2	2	49	0.00354	0.0669	0.1053	0.7760	0.3710
สายป้อนที่ 2	49	50	0.14604	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	50	51	0.06663	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	51	52	0.08217	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	52	53	0.13234	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	53	54	0.10971	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	54	55	0.1253	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	55	56	0.12414	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	56	57	0.12767	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	54	58	0.10941	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 2	58	59	0.09183	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 2	59	60	0.11395	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 2	60	61	0.11461	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 2	49	62	0.0885	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลระบบไฟฟ้าของสถานีย่อยวัดบำเพ็ญ (ต่อ)

ประเภทของ อุปกรณ์	อุปกรณ์ต่อที่บัส		ระยะทาง (km)	R1 (Ohm/km)	X1 (Ohm/km)	R0 (Ohm/km)	X0 (Ohm/km)
	จาก	ถึง					
สายป้อนที่ 2	62	63	0.0769	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	63	64	0.09579	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	64	65	0.12244	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	65	66	0.09099	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	66	67	0.15536	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 2	67	68	0.07307	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 2	68	69	0.09003	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 2	66	70	0.12288	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	70	71	0.10651	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	71	72	0.1156	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	72	73	0.08605	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 2	73	74	0.10556	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 2	65	75	0.07542	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	75	76	0.15936	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	76	77	0.22637	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	77	78	0.14932	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	78	79	0.08507	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	79	80	0.10419	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	79	81	0.07235	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 2	76	82	0.10637	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 2	82	83	0.13993	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 3	2	84	0.01323	0.0669	0.1053	0.7760	0.3710
สายป้อนที่ 3	84	85	0.07081	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 3	85	86	0.09379	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 3	85	87	0.11046	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 3	87	88	0.08483	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 3	88	89	0.11374	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 3	89	90	0.10249	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 3	90	91	0.07687	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 3	91	92	0.12028	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 3	92	93	0.04383	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470

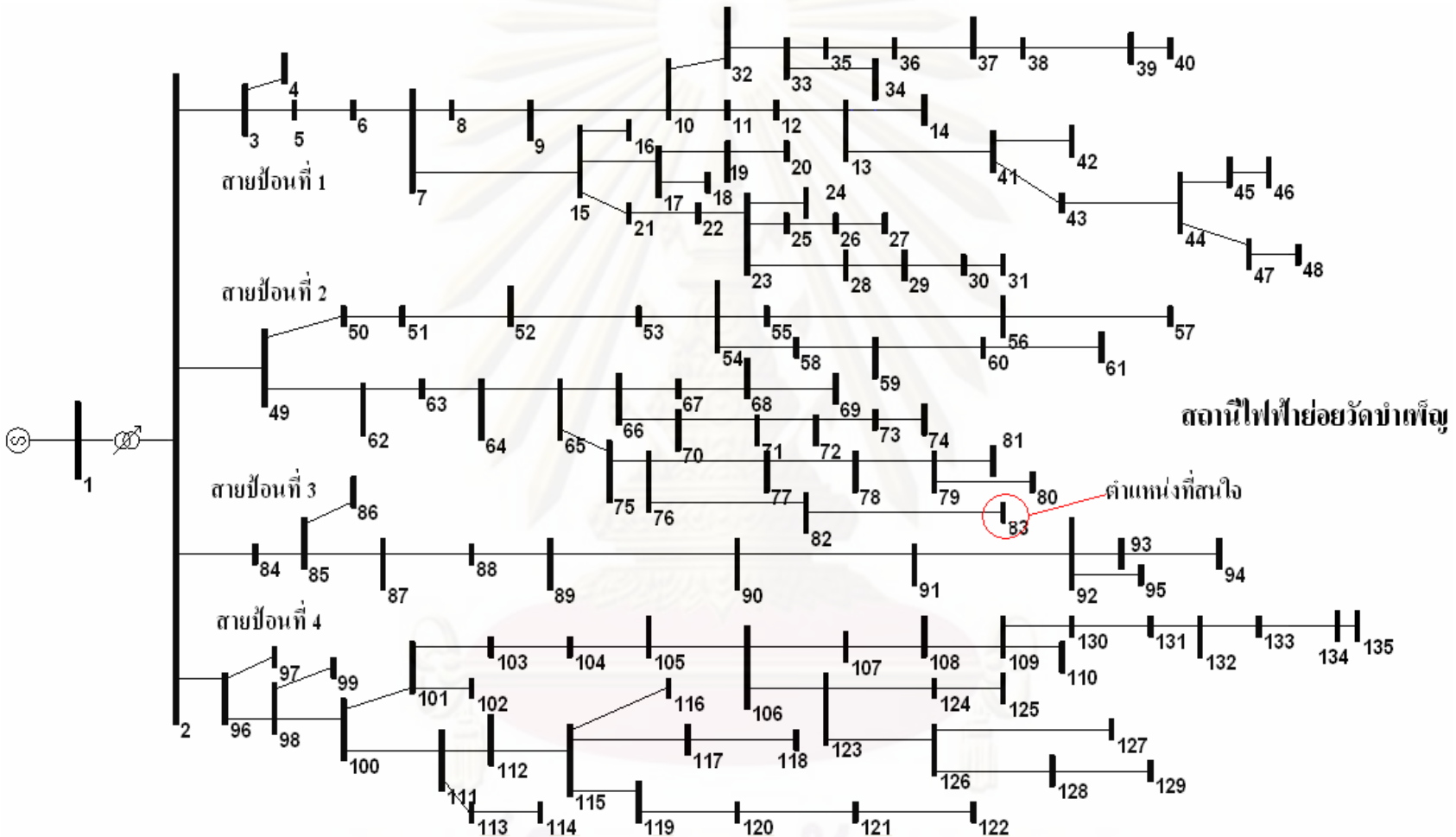
ตารางที่ 5.8 ข้อมูลระบบไฟฟ้าของสถานีย่อยวัดบำเพ็ญ (ต่อ)

ประเภทของ อุปกรณ์	อุปกรณ์ต่อที่บัส		ระยะทาง (km)	R1 (Ohm/km)	X1 (Ohm/km)	R0 (Ohm/km)	X0 (Ohm/km)
	จาก	ถึง					
สายป้อนที่ 3	93	94	0.04155	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 3	92	95	0.0473	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	2	96	0.00414	0.0669	0.1053	0.7760	0.3710
สายป้อนที่ 4	96	97	0.04389	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	96	98	0.04971	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	98	99	0.07488	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	98	100	0.1157	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	100	101	0.04596	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	101	102	0.04387	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	101	103	0.08965	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	103	104	0.04473	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	104	105	0.04469	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	105	106	0.05813	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	106	107	0.04978	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	107	108	0.03693	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	108	109	0.06718	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	109	110	0.04398	0.2000	0.2950	0.5300	1.5910
สายป้อนที่ 4	100	111	0.02234	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	111	112	0.02891	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	111	113	0.02516	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	113	114	0.00866	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	112	115	0.01578	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	115	116	0.03132	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	115	117	0.03225	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	117	118	0.01833	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	115	119	0.0693	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	119	120	0.00303	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	120	121	0.02033	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	121	122	0.00294	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	106	123	0.01623	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 4	123	124	0.09673	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลระบบไฟฟ้าของสถานีย่อยวัดบำเพ็ญ (ต่อ)

ประเภทของ อุปกรณ์	อุปกรณ์ต่อที่บัส		ระยะทาง (km)	R1 (Ohm/km)	X1 (Ohm/km)	R0 (Ohm/km)	X0 (Ohm/km)
	จาก	ถึง					
สายป้อนที่ 4	124	125	0.00258	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 4	123	126	0.06632	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 4	126	127	0.08837	0.5400	0.3300	0.8700	1.6260
สายป้อนที่ 4	126	128	0.07081	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	128	129	0.03565	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	109	130	0.00468	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	130	131	0.0877	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	131	132	0.01029	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	132	133	0.01167	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	133	134	0.0546	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470
สายป้อนที่ 4	134	135	0.00196	1.0570	0.3510	1.3860	1.6470

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.2 แผนผังวงจรเส้นเดียวของระบบจริง (สถานีไฟฟ้าย่อยวัดบำเพ็ญ)

สำหรับข้อมูลความยาวสายรวมของแต่ละสายป้อนในระบบจริงและข้อมูลอัตราการเกิดฟอลต์ต่อปีของสายป้อนแต่ละสายป้อน สามารถนำมาใช้หาจำนวนตำแหน่งที่ต้องกำหนดและระยะห่างของตำแหน่งการเกิดฟอลต์ของแต่ละสายป้อนที่ได้จากวิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์ (Fault position method) นั่นคือกำหนดให้กระจายเกิดห่างเป็นระยะทางเท่าๆ กันตลอดทั้งความยาวสาย [15, 16] โดยมีจำนวนตำแหน่งที่เกิดฟอลต์เท่ากับจำนวนครั้งของอัตราการเกิดฟอลต์ต่อปีของสายป้อน ซึ่งข้อมูลอัตราการเกิดฟอลต์ต่อปีของแต่ละสายป้อนที่นำมาพิจารณานั้นเป็นการนำสถิติการเกิดฟอลต์แต่ละประเภทของแต่ละสายป้อนที่เกิดขึ้นตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2546 ถึงวันที่ 1 สิงหาคม 2551 เป็นเวลา 5 ปีมาเฉลี่ย หากสายป้อนใดๆ มีอัตราการเกิดฟอลต์ต่อปีน้อยกว่า 1 จะทำการปรับให้มีอัตราการเกิดฟอลต์ต่อปีขั้นต่ำเท่ากับ 1 ครั้งต่อปี ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แต่ละแบบของแต่ละสายป้อนแสดงดังตารางที่ 5.9 - ตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.9 ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟสของแต่ละสายป้อน

สายป้อน	ความยาวสายรวม (กิโลเมตร)	อัตราการเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟส ของแต่ละสายป้อน/อัตราการ เกิดฟอลต์ที่ทำการปรับ (จำนวนครั้งต่อปี)	ระยะห่างของการเกิด ฟอลต์ของแต่ละสายป้อน (กิโลเมตร)
สายป้อนที่ 1	2.73663	0.2 / 1	2.73663
สายป้อนที่ 2	3.5491	0.4 / 1	3.5491
สายป้อนที่ 3	0.91918	0 / 1	0.91918
สายป้อนที่ 4	1.63916	0 / 1	1.63916

ตารางที่ 5.10 ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดินของแต่ละสายป้อน

สายป้อน	ความยาวสายรวม (กิโลเมตร)	อัตราการเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟส ลงดินของแต่ละสายป้อน (จำนวนครั้งต่อปี)	ระยะห่างของการเกิด ฟอลต์ของแต่ละสายป้อน (กิโลเมตร)
สายป้อนที่ 1	2.73663	4.2	0.6516
สายป้อนที่ 2	3.5491	7.2	0.4929
สายป้อนที่ 3	0.91918	2.2	0.4178
สายป้อนที่ 4	1.63916	4.4	0.3725

ตารางที่ 5.11 ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสของแต่ละสายป้อน

สายป้อน	ความยาวสายรวม (กิโลเมตร)	อัตราการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับ เฟสของแต่ละสายป้อน/อัตรา การเกิดฟอลต์ที่ทำการปรับ (จำนวนครั้งต่อปี)	ระยะห่างของการเกิด ฟอลต์ของแต่ละสายป้อน (กิโลเมตร)
สายป้อนที่ 1	2.73663	0.4 / 1	2.73663
สายป้อนที่ 2	3.5491	0 / 1	3.5491
สายป้อนที่ 3	0.91918	0 / 1	0.91918
สายป้อนที่ 4	1.63916	0.2 / 1	1.63916

ตารางที่ 5.12 ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดินของแต่ละสายป้อน

สายป้อน	ความยาวสายรวม (กิโลเมตร)	อัตราการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับ เฟสลงดินของแต่ละสายป้อน/ อัตราการเกิดฟอลต์ที่ทำการปรับ (จำนวนครั้งต่อปี)	ระยะห่างของการเกิด ฟอลต์ของแต่ละ สายป้อน (กิโลเมตร)
สายป้อนที่ 1	2.73663	2.6	1.05255
สายป้อนที่ 2	3.5491	0.8 / 1	3.5491
สายป้อนที่ 3	0.91918	0.8 / 1	0.91918
สายป้อนที่ 4	1.63916	2	0.81958

นอกจากนี้ สามารถปรับการกำหนดตำแหน่งการเกิดฟอลต์เป็นที่ตำแหน่งก็ได้ขึ้นกับอัตราการเกิดฟอลต์ที่กำหนดขึ้น เพื่อให้เห็นแนวโน้มของผลกระทบที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเมื่อทำการปรับปรุงระบบป้องกัน โดยในการกำหนดต้องแบ่งช่วงระยะให้เท่าๆกันและกระจายการเกิดตลอดทั้งความยาวสาย สำหรับแต่ละตำแหน่งของการเกิดฟอลต์ก็จะแตกต่างกันไปตามอัตราการเกิดฟอลต์ต่อระยะทางของสายนั้น

สำหรับข้อมูลอัตราการเกิดฟอลต์ต่อปีทางด้าน Incoming 69/115 kV และอัตราการเกิดฟอลต์ต่อปีของหม้อแปลงของสถานีไฟฟ้าย่อยวัดบำเพ็ญ มีอัตราการเกิดฟอลต์ต่อปีเท่ากับศูนย์ จึงทำการปรับข้อมูลให้มีอัตราการเกิดฟอลต์ต่อปี เท่ากับ 1

5.2.2 ข้อมูลของระบบป้องกันเมื่อทำการปรับปรุงในกรณีต่างๆ

เมื่อทราบระยะห่างของการเกิดฟอลต์ของแต่ละสายป้อนจะสามารถทำการระบุตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ทั้งหมดของแต่ละสายป้อนได้ จากนั้นทำการพิจารณาข้อมูลของระบบป้องกันที่ต้องการปรับปรุงเพื่อลดระยะเวลาในการกำจัดฟอลต์ตามที่ได้กล่าวในบทที่ 3 ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นกรณีต่างๆดังนี้

5.2.2.1 กรณีที่ 1 ระบบป้องกันกรณีที่ใช้งานทั่วไป [12]

ระบบป้องกันที่มีใช้งานทั่วไปของระบบจำหน่ายแบบเรเดียลคือ ป้องกันสายจำหน่ายด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกินทั้งแบบการป้องกันฟอลต์ลงดิน (Ground protection) และป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟส (Phase protection) ส่วนสายแยกข้าง (Lateral) ป้องกันด้วย Expulsion Fuse โดยที่รีเลย์มี Auto Reclosing Function แบบ 2 ครั้ง ซึ่งเป็นการทำ Fuse Saving Scheme นั่นคือ ในครั้งแรกเบรกเกอร์จะทำงานด้วย instantaneous curve หรือใช้ fast curve ที่ใช้กับ recloser เพื่อจัดการกับฟอลต์ก่อน lateral fuse ด้านล่างจะทำงาน หลังจากครั้งแรกหากฟอลต์ยังคงมีอยู่ระบบจะทำการจัดลำดับการทำงานเพื่อให้ฟิวส์ขาดก่อนเบรกเกอร์หรือ recloser จะตัดในครั้งที่ 2 โดยรีโคสเซอร์สำหรับสายเมน หรือสายเมนย่อยมีคุณลักษณะการทำงานที่สัมพันธ์กันระหว่างกระแสและเวลา (Time Current Characteristic Curve) และสามารถกำหนดค่าการทำงานได้ทั้งแบบทำงานเร็ว (Fast Curve) และแบบทำงานช้า (Slow Curve) ส่วนฟิวส์ใช้ติดตั้งเป็นระบบป้องกันในสายแยกที่มีโหลดไม่มากนัก ลักษณะการทำงานของฟิวส์เป็นแบบ Extremely Inverse Time Characteristic คือเมื่อกระแสเกินพิกัดยิ่งมีค่ามากเวลาที่ฟิวส์หลอมละลายจะยิ่งเร็วขึ้น ซึ่งมีการจัดลำดับความสัมพันธ์ดังตารางที่ 5.13 – ตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.13 การกำหนดค่าของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟส

ขอบเขตการป้องกัน	$I > (A)$	TMS	$I >> (A)$
Incomming 69/115 kV	1500	0.5, VI	6000
Transformer	145%of Max.Tr (HV.)	0.1, VI	1.3 of fault level
Incoming 12/24 kV	145%of Max.Tr (LV.)	0.05, VI	BLOCK
Feeder	600	0.05, EI	1800(12kV)/1200(24kV)

ตารางที่ 5.14 การกำหนดค่าของรีเลย์กระแสนินแบบป้องกันฟอลต์ลงดิน

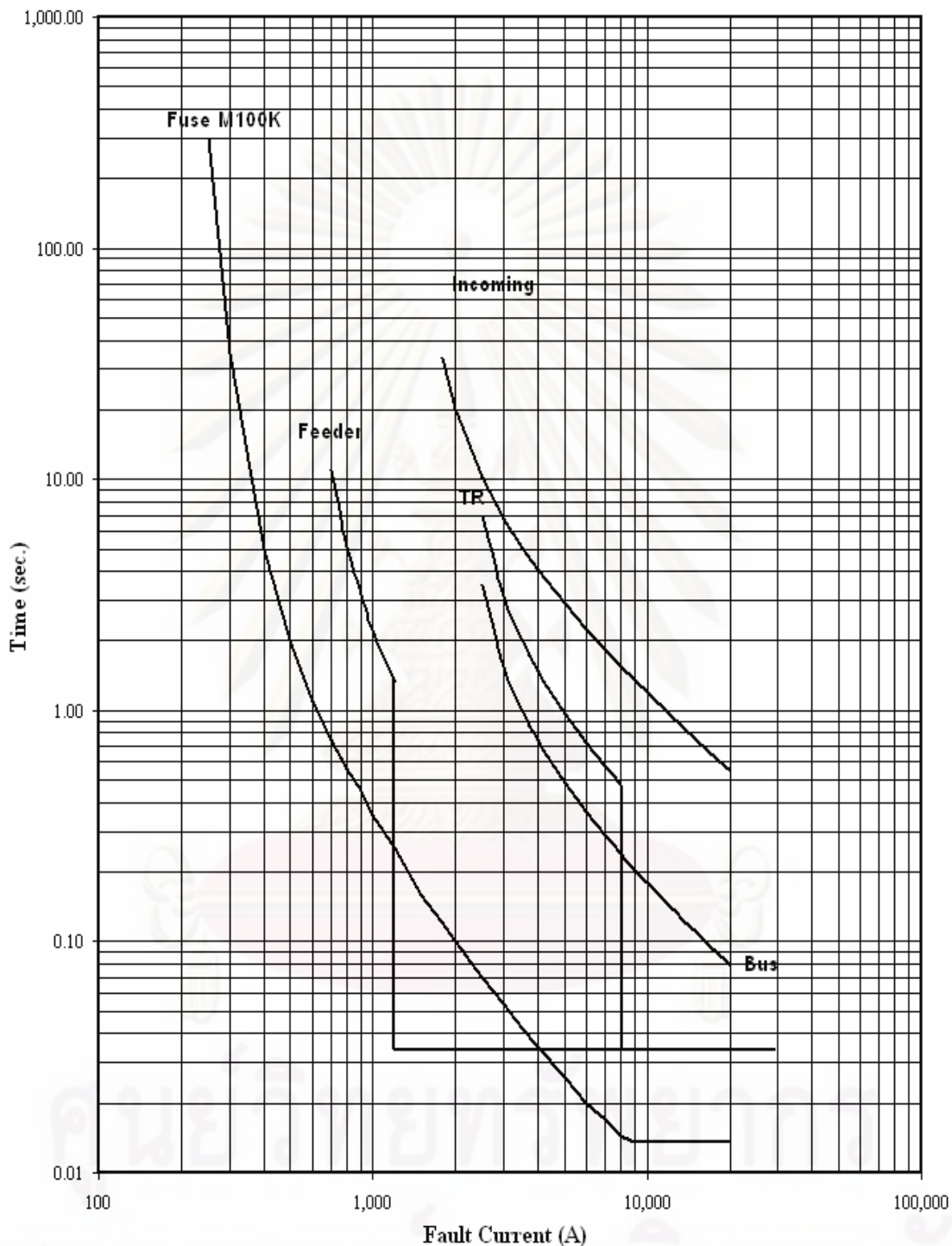
ขอบเขตการป้องกัน	$I >$ (A)	TMS	$I >>$ (A)
Incomming 69/115 kV	400	0.5, VI	6000
Incoming 12/24 kV	block	0.23, VI	BLOCK
Feeder	120	0.5, EI	1800(12kV)/1200(24kV)

ซึ่งสามารถแสดง Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสนินแบบป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟส และรีเลย์กระแสนินแบบป้องกันฟอลต์ลงดินได้ดังรูปที่ 5.3 และ รูปที่ 5.4 ตามลำดับ



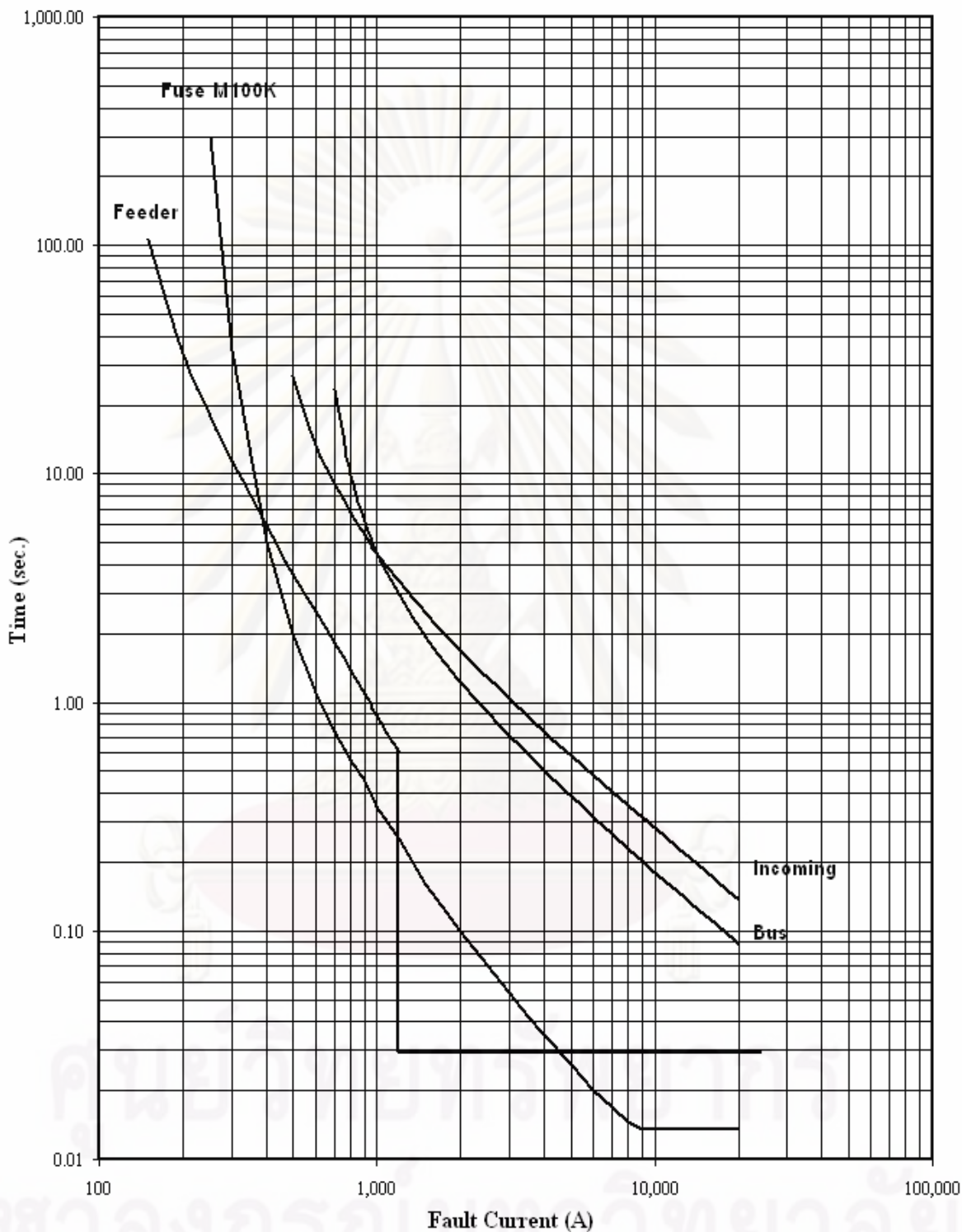
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

O/C Time Curve



รูปที่ 5.3 Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟสในกรณีที่ 1

E/F Time Curve



รูปที่ 5.4 Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ลงดินในกรณีที่ 1

5.2.2.2 กรณีที่ 2 ระบบป้องกันกรณีที่ใช้ Current Limiting Fuse แทน Explosion Fuse สำหรับ Lateral

เป็นการปรับปรุงระบบโดยใช้ Current Limiting Fuse แทน Explosion Fuse ซึ่งมีการจัดลำดับความสำคัญของระบบป้องกันส่วนอื่นๆ เช่นเดียวกับกรณีที่ใช้งานทั่วไป ซึ่งสามารถแสดง Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟส และรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ลงดินได้ดังรูปที่ 5.5 และ รูปที่ 5.6 ตามลำดับ

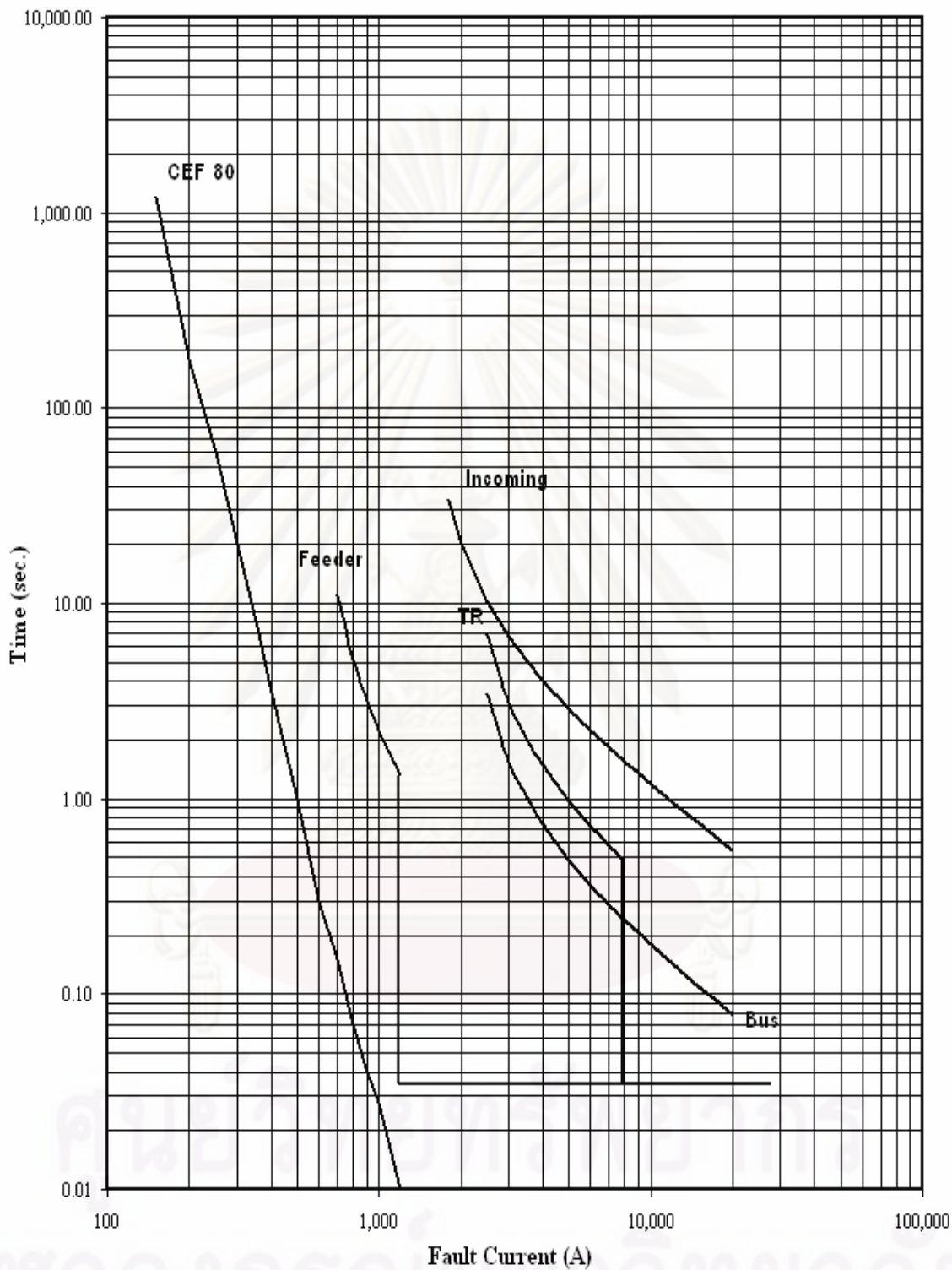
5.2.2.3 กรณีที่ 3 ระบบป้องกันกรณีที่ใช้ Recloser แทน Explosion Fuse สำหรับ Lateral

เป็นการปรับปรุงระบบโดยใช้ Recloser แทน Explosion Fuse ซึ่งมีการจัดลำดับความสำคัญของระบบป้องกันส่วนอื่นๆ เช่นเดียวกับกรณีที่ใช้งานทั่วไป ยกเว้นการทำ Fuse Saving Scheme นั่นคือในส่วนของการป้องกันสายป้อนหลัก (Feeder) จะไม่ทำการกำหนดให้ทำงานที่ Instantaneous ($I >>$) สามารถแสดง Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟส และรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ลงดินได้ดังรูปที่ 5.7 และ รูปที่ 5.8 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร

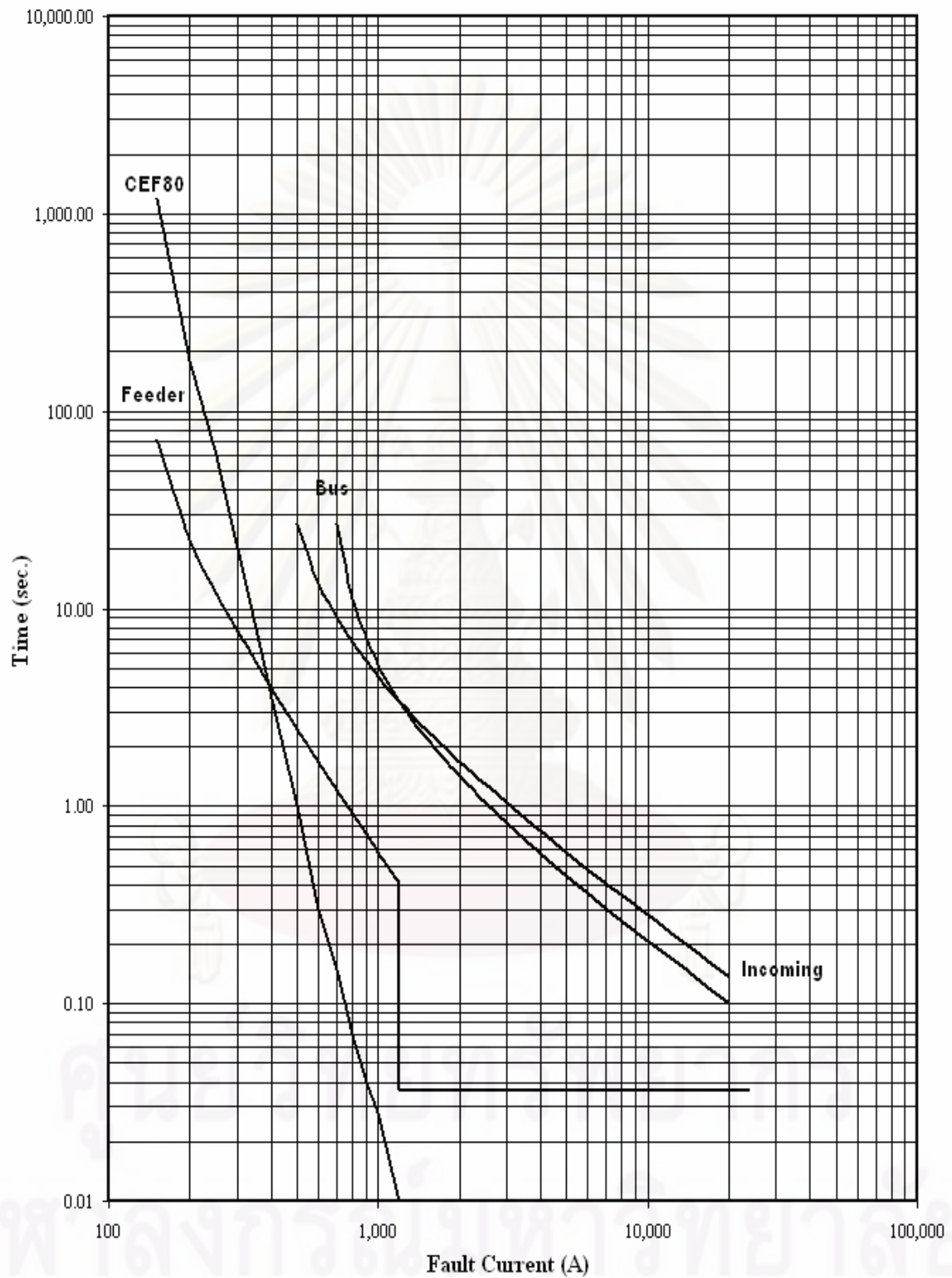
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

O/C Time Curve



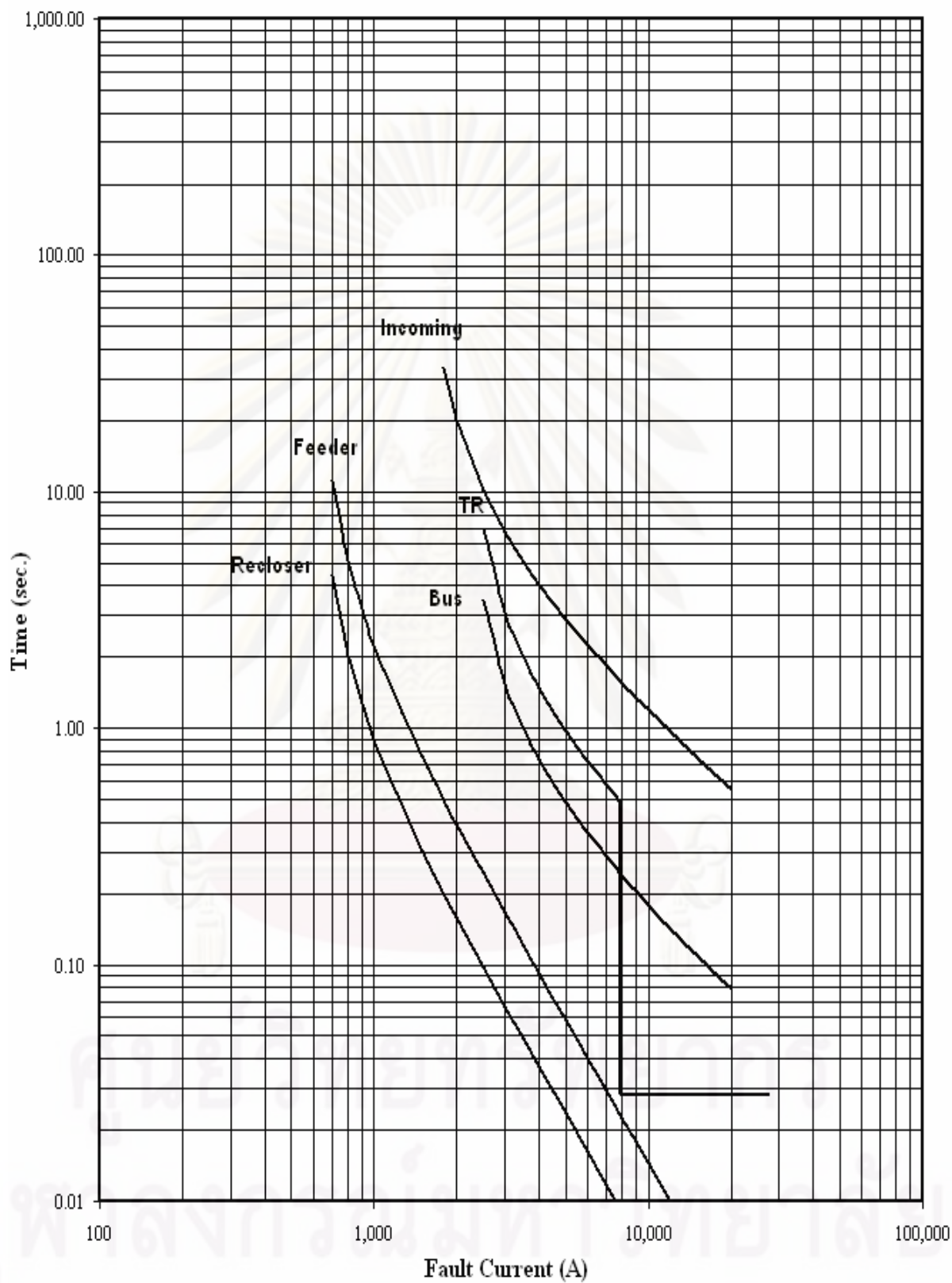
รูปที่ 5.5 Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟสในกรณีที่มี 2

E/F Time Curve



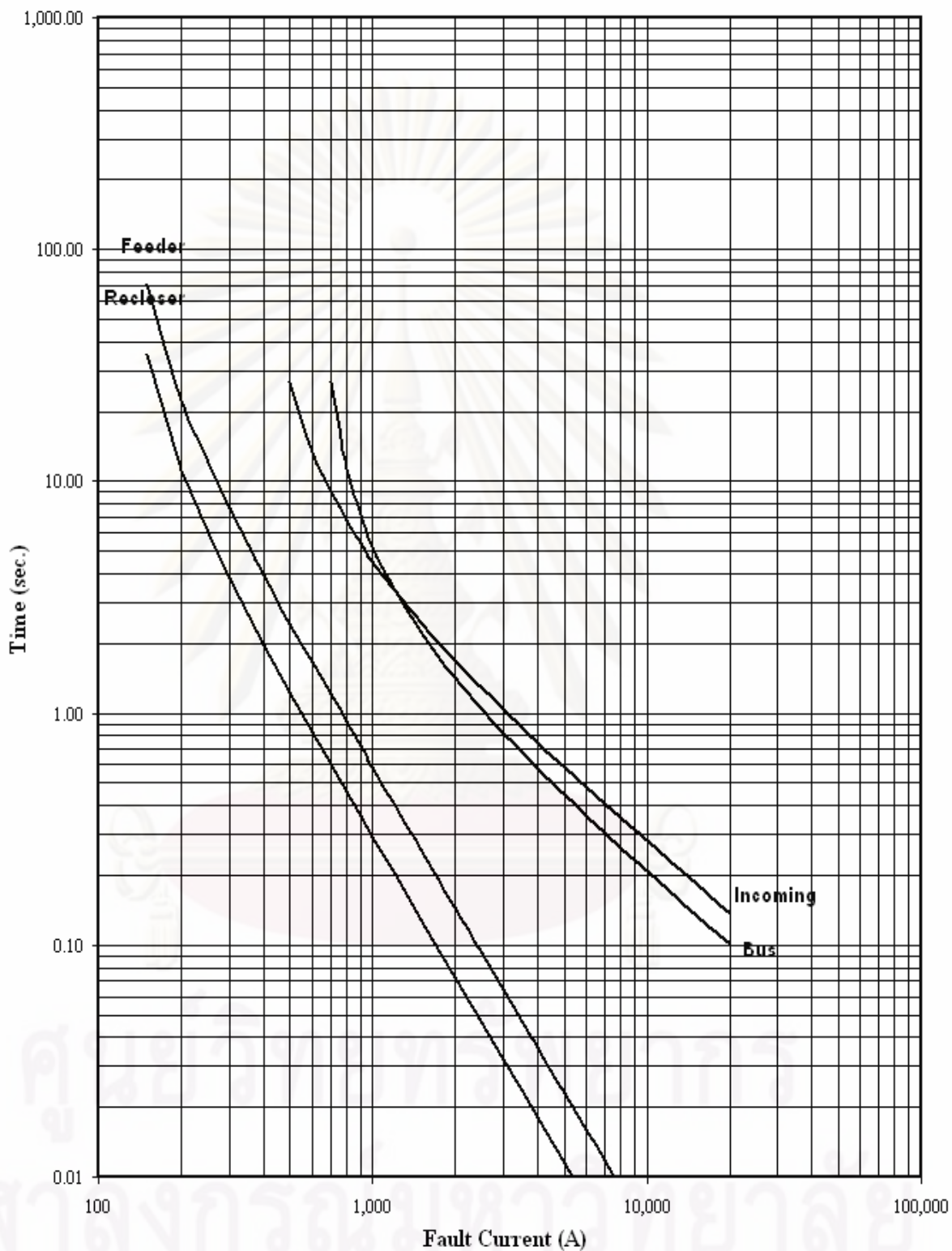
รูปที่ 5.6 Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ลงดินในกรณีที่ 2

O/C Time Curve



รูปที่ 5.7 Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟสในกรณีที่มี 3

E/F Time Curve



รูปที่ 5.8 Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ลงดินในกรณีที่ 3

จากนั้นจะทำการปรับปรุงระบบป้องกันร่วมกับเทคนิคปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะลดลง โดยมีการต่อความต้านทานลงดิน (NGR) ขนาด 13.5 โอห์ม เพื่อทำการจำกัดกระแสฟอลต์ให้มีค่าประมาณ 1,000 A มาใช้ร่วมกับการปรับปรุงระบบป้องกันกรณีข้างต้น ได้รูปแบบระบบป้องกันกรณีที่ 4 ถึง กรณีที่ 6 ดังนี้

5.2.2.4 กรณีที่ 4 ระบบป้องกันกรณีต่อความต้านทานลงดิน (NGR) ร่วมกับกรณีที่ใช้แกนทั่วไป

ในกรณีนี้จะมี Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟส และรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ลงดินจะมีรูปแบบเดียวกันกับรูปที่ 5.3 และ รูปที่ 5.4 ตามลำดับ

5.2.2.5 กรณีที่ 5 ระบบป้องกันกรณีต่อความต้านทานลงดิน (NGR) ร่วมกับกรณีที่ใช้ Current Limiting Fuse

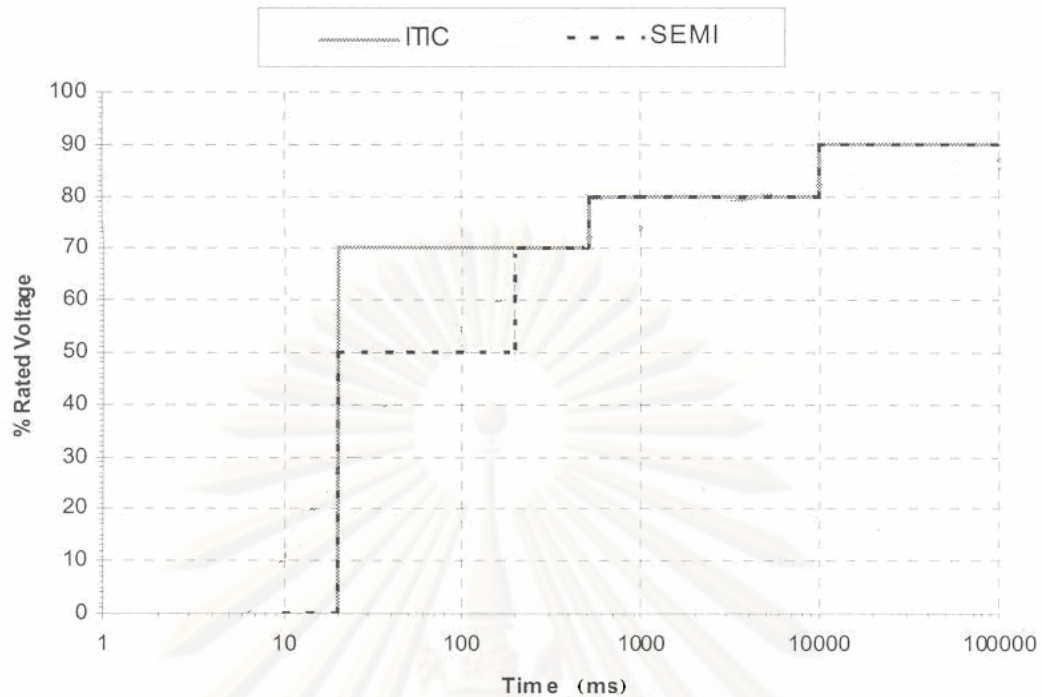
ในกรณีนี้จะมี Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟส และรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ลงดินจะมีรูปแบบเดียวกันกับรูปที่ 5.5 และ รูปที่ 5.6 ตามลำดับ

5.2.2.6 กรณีที่ 6 ระบบป้องกันกรณีต่อความต้านทานลงดิน (NGR) ร่วมกับกรณีที่ใช้ Recloser

ในกรณีนี้จะมี Current-Time Characteristic ของรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟส และรีเลย์กระแสเกินแบบป้องกันฟอลต์ลงดินจะมีรูปแบบเดียวกันกับรูปที่ 5.7 และ รูปที่ 5.8 ตามลำดับ

5.3 ผลการประเมินระบบจริง

การประเมินระบบจริงจะทำการประเมินผลกระทบของแรงดันตกชั่วขณะตำแหน่งบัส 83 ของสายป้อนที่ 2 เนื่องจากมีความยาวสายรวมมากที่สุด โดยจะใช้ข้อมูลของระบบจริงที่ป้อนไว้ จากนั้นจะประเมินโดยใช้ มาตรฐาน SEMI F-47 และ มาตรฐาน ITIC ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ยอมรับในการกำหนดความสามารถทนต่อ Voltage Dips ของอุปกรณ์ การกระจายตัวของแรงดันตกชั่วขณะสามารถแสดงในเทอมของขนาดและระยะเวลาที่เกิดในรูปแบบของ magnitude-duration plane ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 การประเมิน โดยใช้มาตรฐาน SEMI F-47 กับ ITIC

สำหรับตารางแสดงขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟสที่บัสต่างๆ ในกรณีที่มีการต่อลงดิน โดยตรงและระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน แสดงได้ดังตารางที่ 5.15 - 5.16 ตามลำดับ

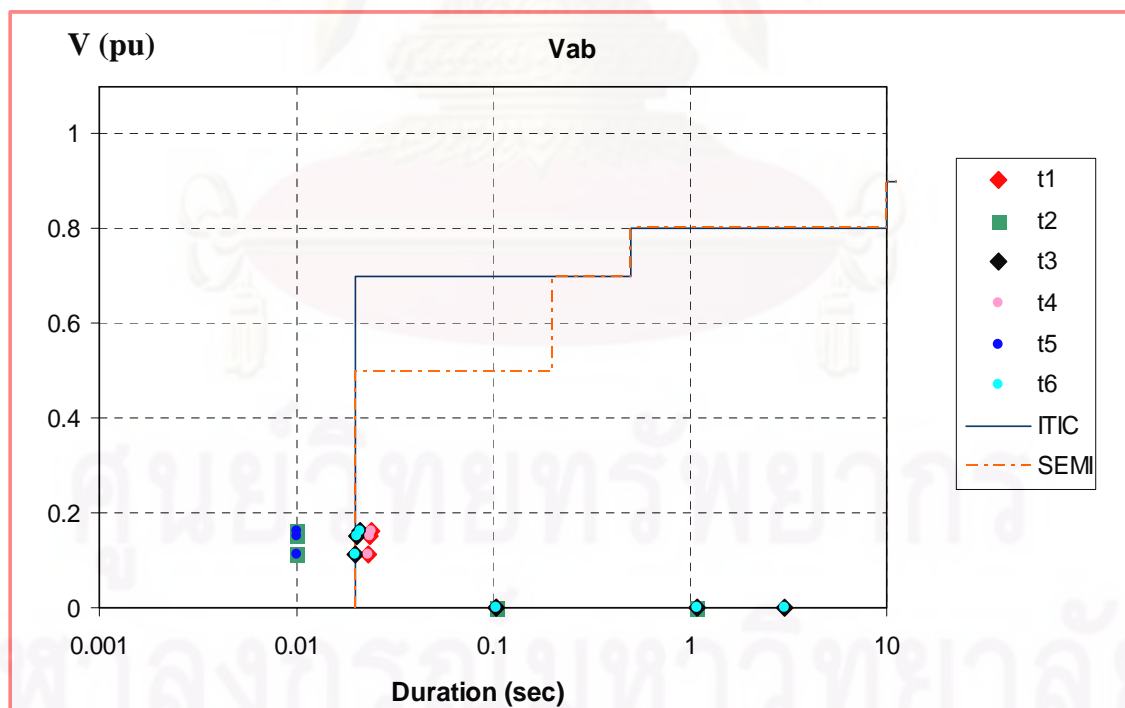
ตารางที่ 5.15 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส
ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดิน โดยตรง

ฟอลต์ ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 1 – กรณีที่ 3						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T1	T2	T3
1	0	0	0	10981.9253	1.079782	1.079782	1.079782
2	0	0	0	6080.02164	0.104756	0.104756	0.104756
48	0.161069	0.161069	0.161069	5315.87342	0.024105	0.01	0.021098
83	0	0	0	5305.59762	>60	>60	3.021172
95	0.11399	0.11399	0.11399	5495.67572	0.023026	0.01	0.0198
135	0.149901	0.149901	0.149901	5407.13894	0.023557	0.01	0.020439

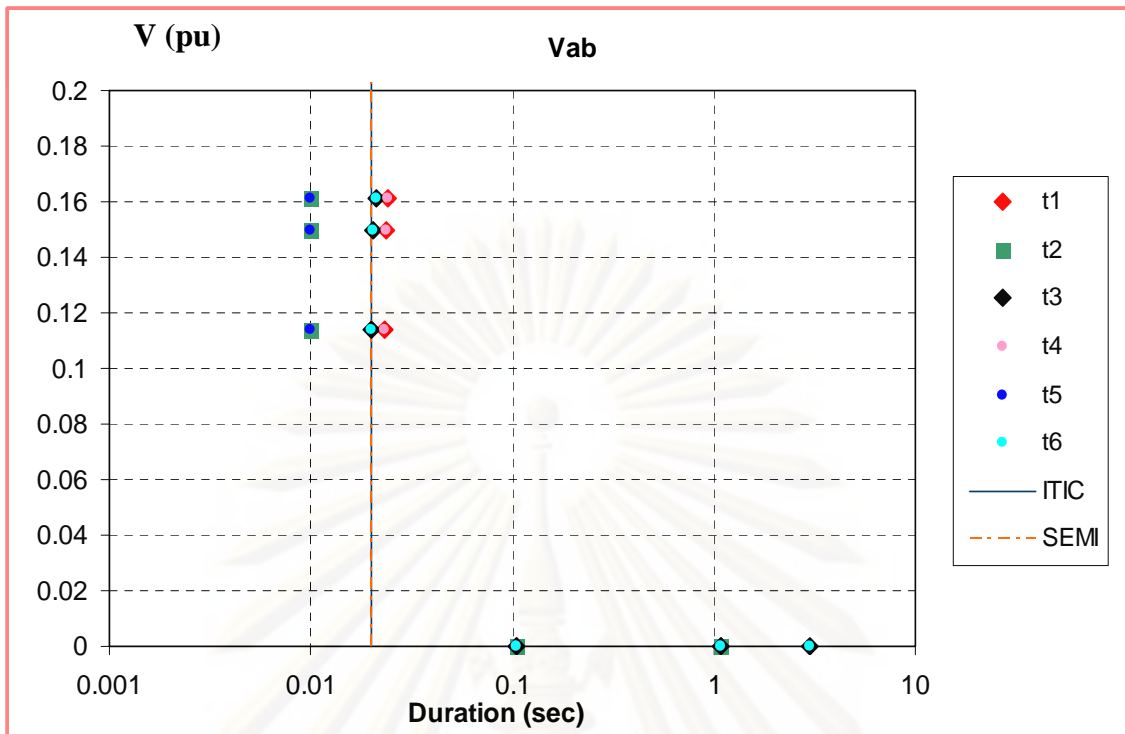
ตารางที่ 5.16 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส
ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ฟอลต์ ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 4 – กรณีที่ 6						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T4	T5	T6
1	0	0	0	10981.9253	1.079782	1.079782	1.079782
2	0	0	0	6080.02164	0.104756	0.104756	0.104756
48	0.161069	0.161069	0.161069	5315.87342	0.024105	0.01	0.021098
83	0	0	0	5305.59762	>60	>60	3.021172
95	0.11399	0.11399	0.11399	5495.67572	0.023026	0.01	0.0198
135	0.149901	0.149901	0.149901	5407.13894	0.023557	0.01	0.020439

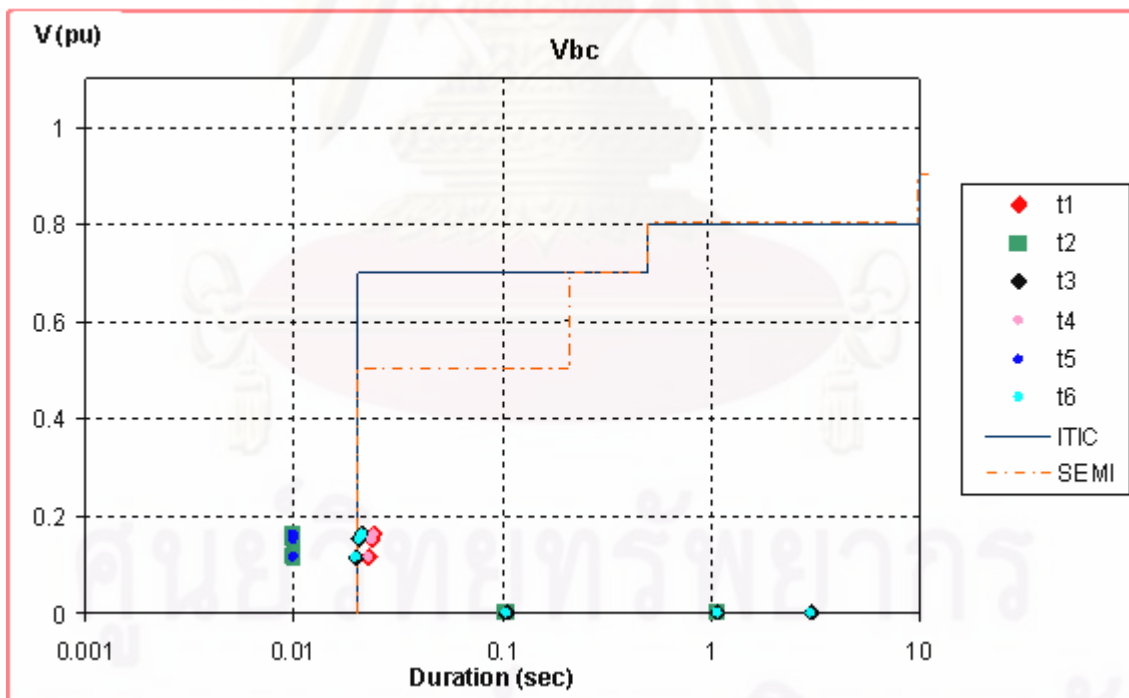
เมื่อแทนค่าขนาดแรงดันสายและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส ลงใน magnitude-duration plane สามารถแสดงผลการประเมินโดยใช้มาตรฐาน SEMI F-47 กับ ITIC ดังรูปที่ 5.10 - รูปที่ 5.15



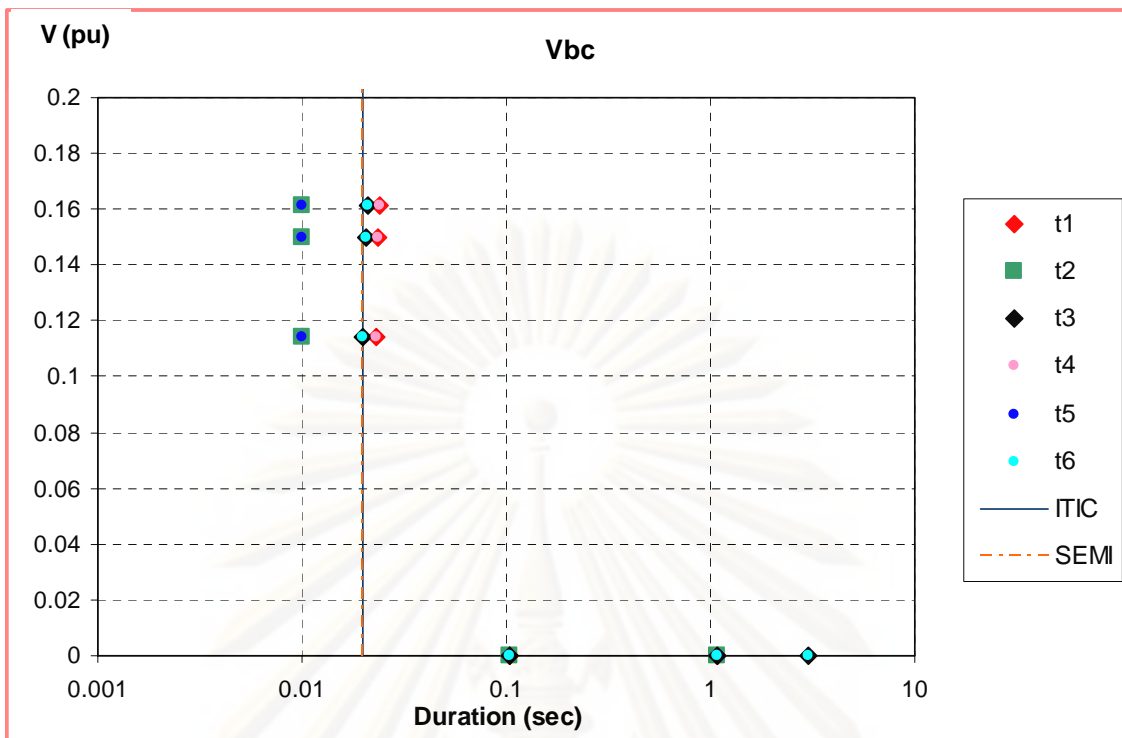
รูปที่ 5.10 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส



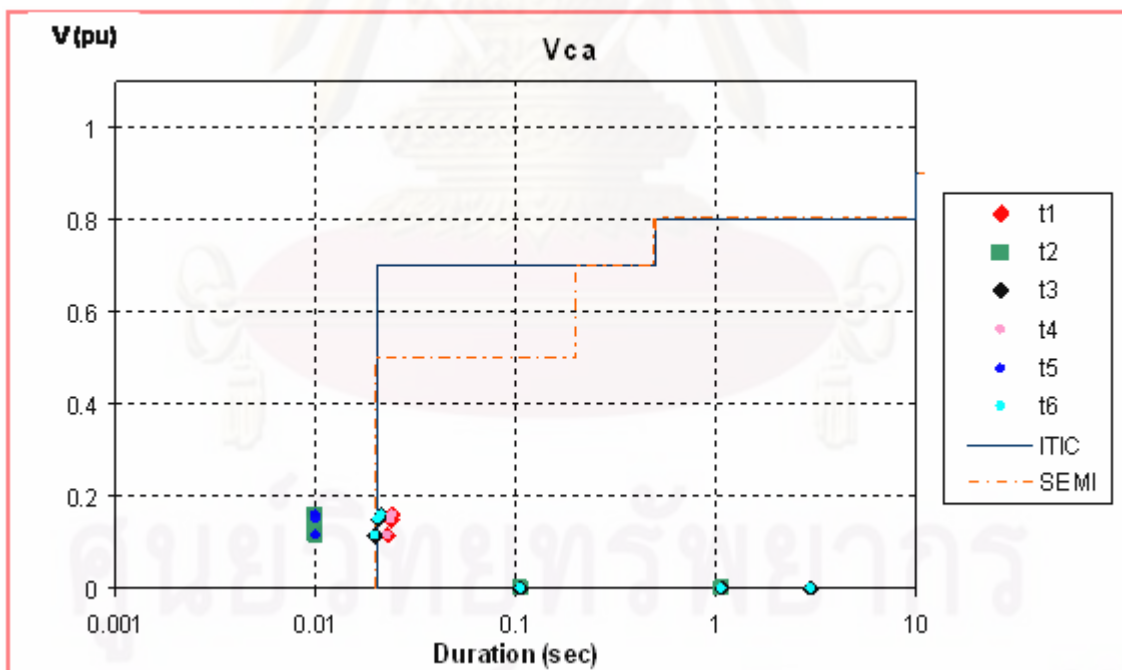
รูปที่ 5.11 ภาพขยายผลการประเมินของแรงดันสาย Vab เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส



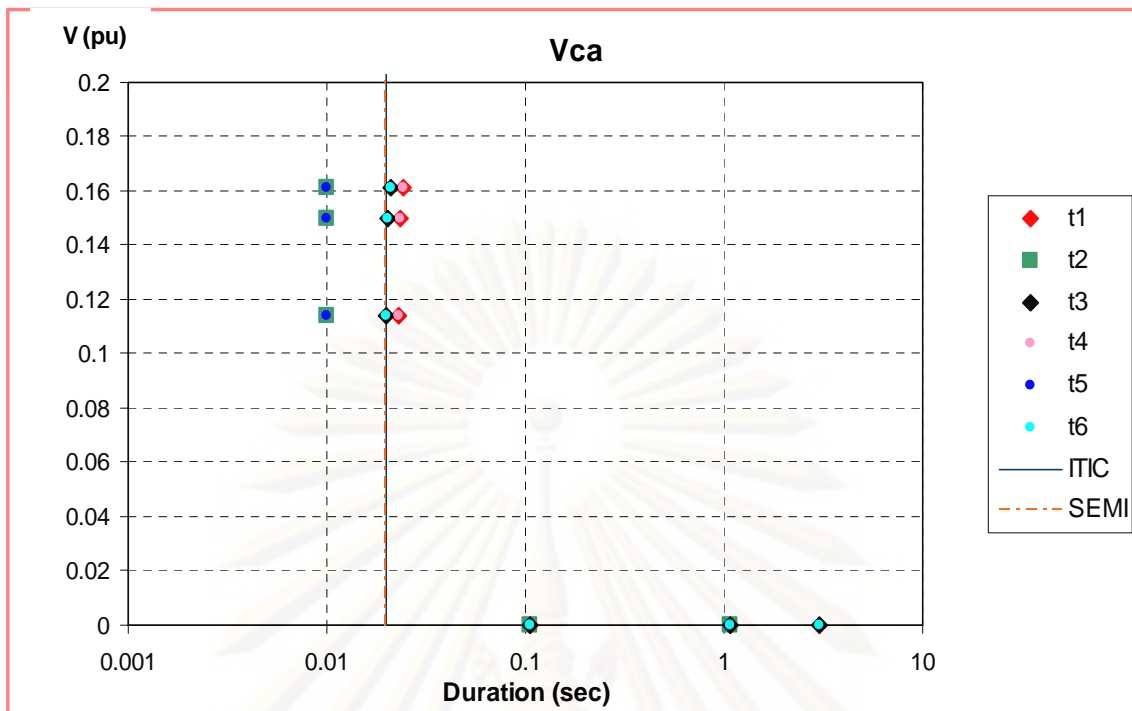
รูปที่ 5.12 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส



รูปที่ 5.13 ภาพขยายผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส



รูปที่ 5.14 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vca เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส



รูปที่ 5.15 ภาพขยายผลการประเมินของแรงดันสาย Vca เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส

สำหรับตารางแสดงขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดินที่บัสต่างๆ ในกรณีที่มีระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรงและระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน แสดงได้ดังตารางที่ 5.17 - 5.18 ตามลำดับ

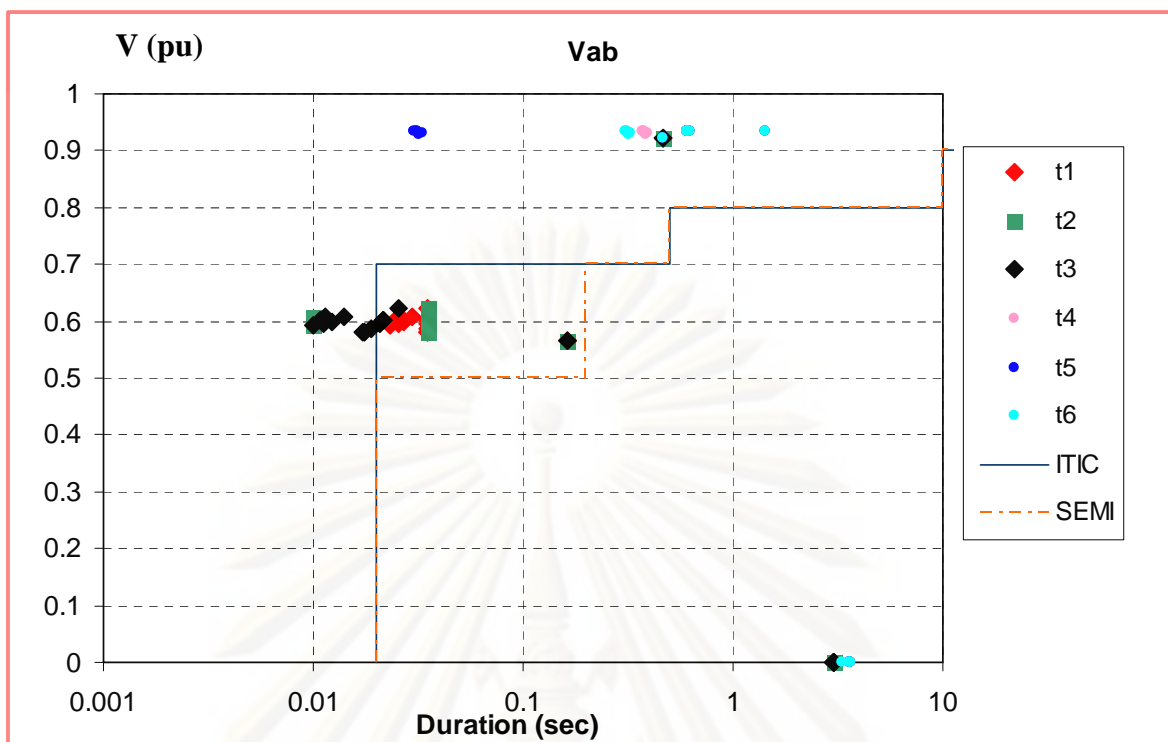
ตารางที่ 5.17 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน
ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ฟอลต์ ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 1 – กรณีที่ 3						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T1	T2	T3
1	0.921372	0.618692	0.917858	6281.7249	0.461562	0.461562	0.461562
2	0.566931	1	0.565369	6323.38943	0.163175	0.163175	0.163175
12	0.601847	1	0.643326	5223.88859	0.035	0.035	0.021476
22	0.587474	1	0.618381	5577.00787	0.035	0.035	0.018987
32	0.597158	1	0.635678	5332.16037	0.035	0.035	0.020713
46	0.622454	1	0.673255	4799.79572	0.035	0.035	0.025652
54	0	0	0	5327.83763	3.035	3.035	3.020743
58	0.595547	1	0.663778	5118.18133	0.025291	0.01	0.01111
64	0	0	0	5797.12808	3.035	3.035	3.017436
69	0.597562	1	0.656066	4898.34879	0.026915	0.01	0.012186
74	0.609028	1	0.683139	4602.87617	0.029574	0.01	0.014104
77	0	0	0	4883.85116	3.035	3.035	3.024561
82	0	0	0	5007.14161	>60	>60	3.011501
88	0.58014	1	0.604103	5782.64421	0.035	0.035	0.017538
93	0.606388	1	0.662284	5029.48089	0.025823	0.01	0.011423
102	0.579702	1	0.601947	5807.79528	0.035	0.035	0.017361
109	0.601823	1	0.643031	5226.57047	0.035	0.035	0.021457
123	0.592042	1	0.628808	5440.05351	0.02336	0.01	0.009976
130	0.601695	1	0.644238	5217.74553	0.024694	0.01	0.010759

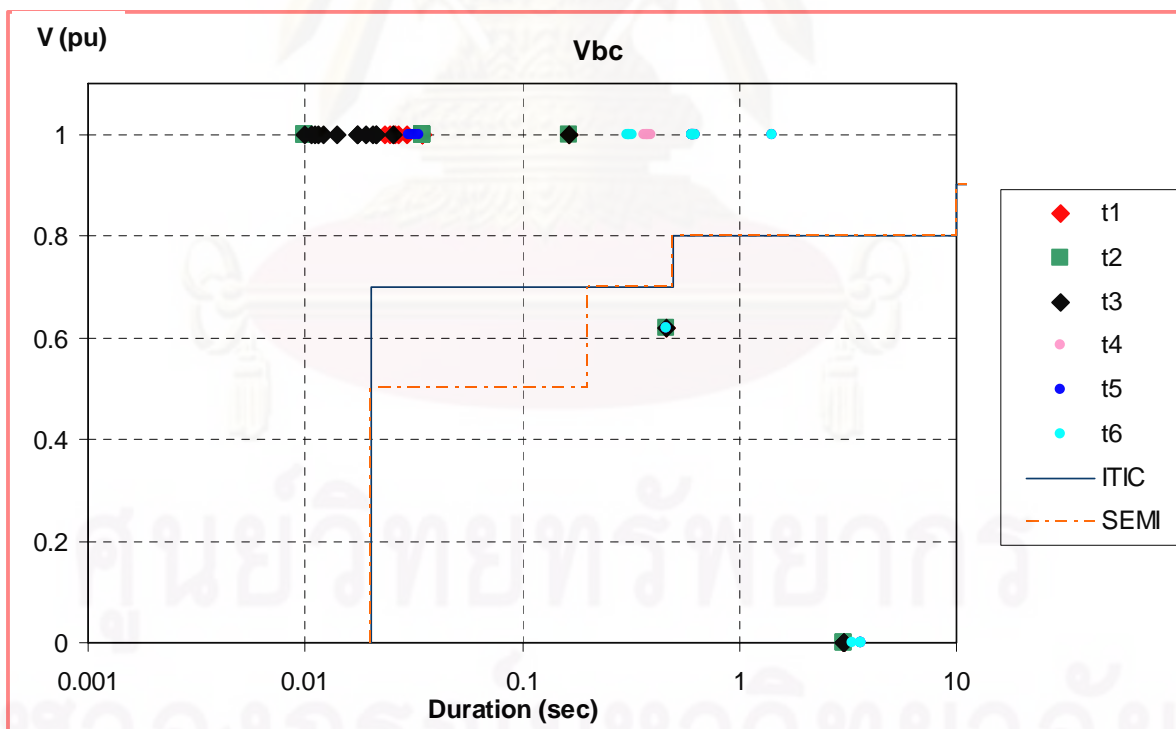
ตารางที่ 5.18 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน
ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ฟอลต์ ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 4 – กรณีที่ 6						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T4	T5	T6
1	0.921372	0.618692	0.917858	6281.7249	0.461562	0.461562	0.461562
2	0.93531	1	1.028367	996.726572	1.429178	1.429178	1.429178
12	0.934485	1	1.025261	978.314027	0.614682	0.614682	0.614682
22	0.934762	1	1.026368	984.964223	0.6054	0.6054	0.6054
32	0.93457	1	1.025614	980.444986	0.611708	0.611708	0.611708
46	0.934145	1	1.023759	969.0596	0.627598	0.627598	0.627598
54	0	0	0	980.413474	3.611752	3.611752	3.611752
58	0.934881	1	1.024931	970.713627	0.379286	0.031514	0.312645
64	0	0	0	988.760799	3.600102	3.600102	3.600102
69	0.929561	1	1.023208	965.29504	0.384705	0.032165	0.316426
74	0.929666	1	1.022089	955.163113	0.394837	0.03338	0.323496
77	0	0	0	971.069126	3.624793	3.624793	3.624793
82	0	0	0	968.540828	>60	>60	3.314161
88	0.934927	1	1.026961	988.385687	0.600625	0.600625	0.600625
93	0.934538	1	1.02461	971.983682	0.378016	0.031362	0.311758
102	0.934935	1	1.027032	988.926623	0.59987	0.59987	0.59987
109	0.934483	1	1.02527	978.411214	0.614546	0.614546	0.614546
123	0.93468	1	1.025953	982.199201	0.367801	0.030136	0.30463
130	0.934497	1	1.025241	977.993867	0.372006	0.030641	0.307564

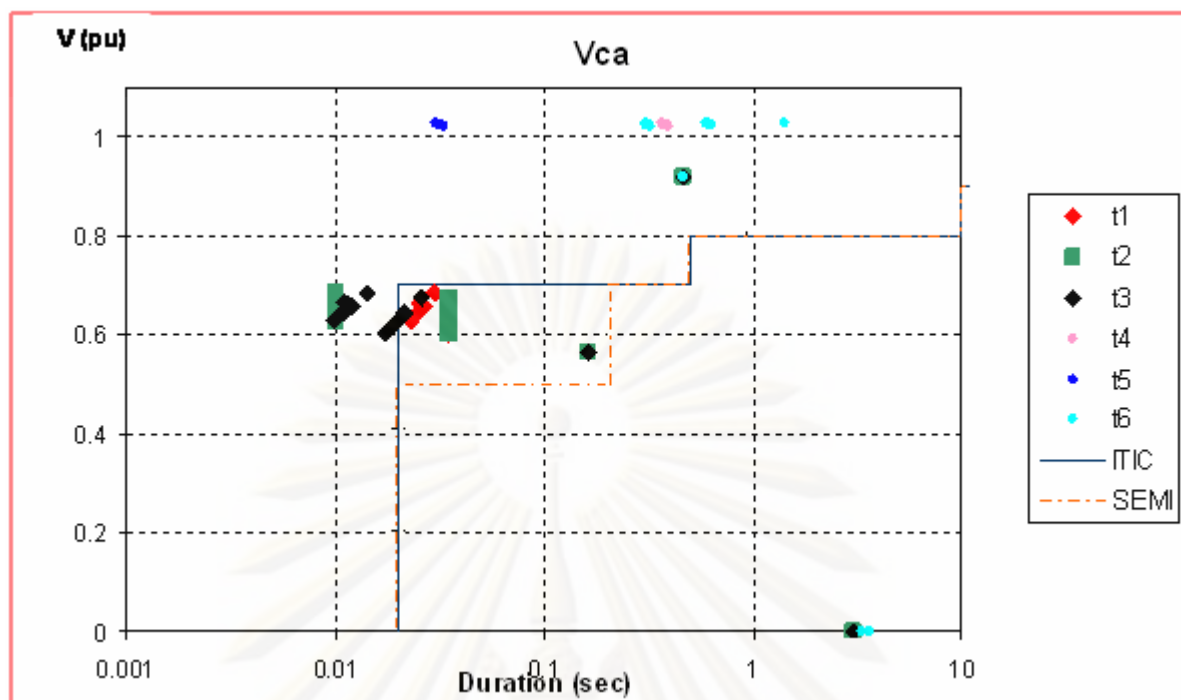
เมื่อแทนค่าขนาดแรงดันสายและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน ลงใน magnitude-duration plane สามารถแสดงผลการประเมินโดยใช้มาตรฐาน SEMI F-47 กับ ITIC ดังรูปที่ 5.16 - รูปที่ 5.18



รูปที่ 5.16 ผลการประเมินของแรงดันสาย V_{ab} เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน



รูปที่ 5.17 ผลการประเมินของแรงดันสาย V_{bc} เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน



รูปที่ 5.18 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vca เมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน

สำหรับตารางแสดงขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสที่บัสต่างๆ ในกรณีที่มีระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรงและระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน แสดงได้ดังตารางที่ 5.19 - 5.20 ตามลำดับ

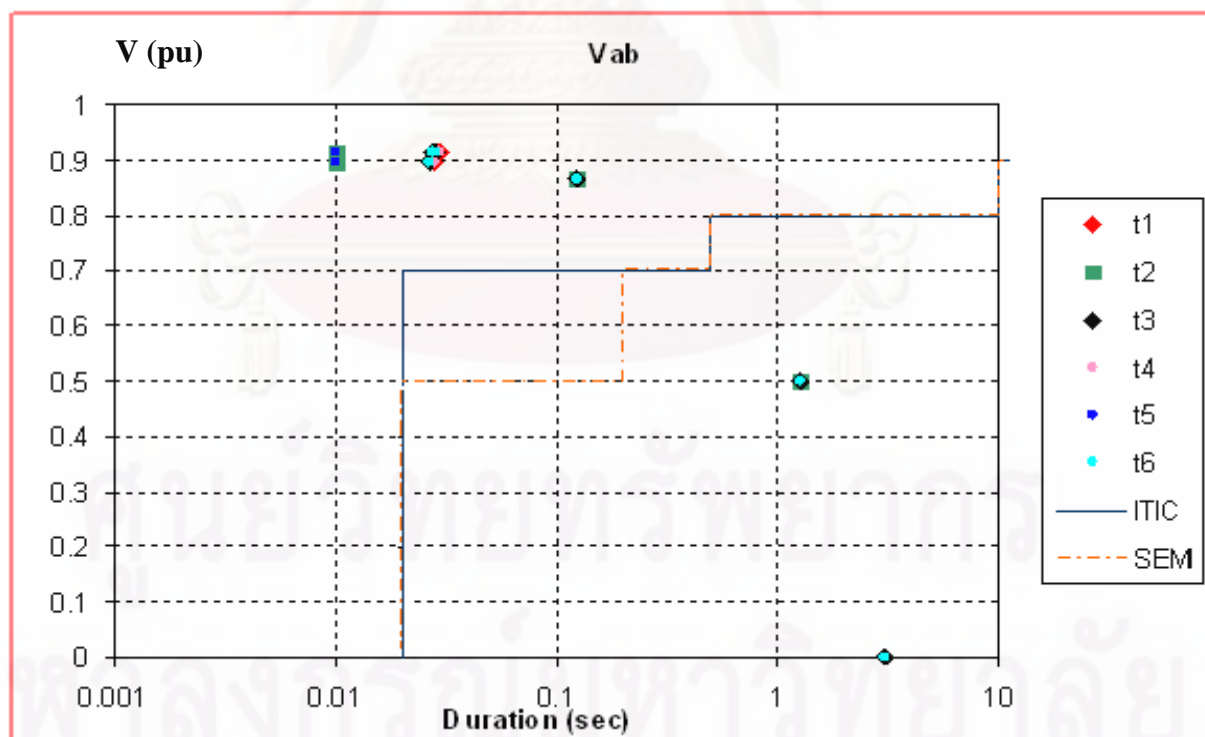
ตารางที่ 5.19 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ฟอลต์ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 1 – กรณีที่ 3						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T1	T2	T3
1	0.5	1	0.5	9510.62631	1.268901	1.268901	1.268901
2	0.866025	0	0.866025	5265.4532	0.123121	0.123121	0.123121
48	0.91539	0.161069	0.821603	4603.68143	0.029567	0.01	0.028708
83	0	0	0	4594.78232	>60	>60	3.028828
95	0.896486	0.11399	0.838337	4759.39478	0.028165	0.01	0.026613
135	0.915462	0.149901	0.820466	4682.71968	0.028856	0.01	0.027645

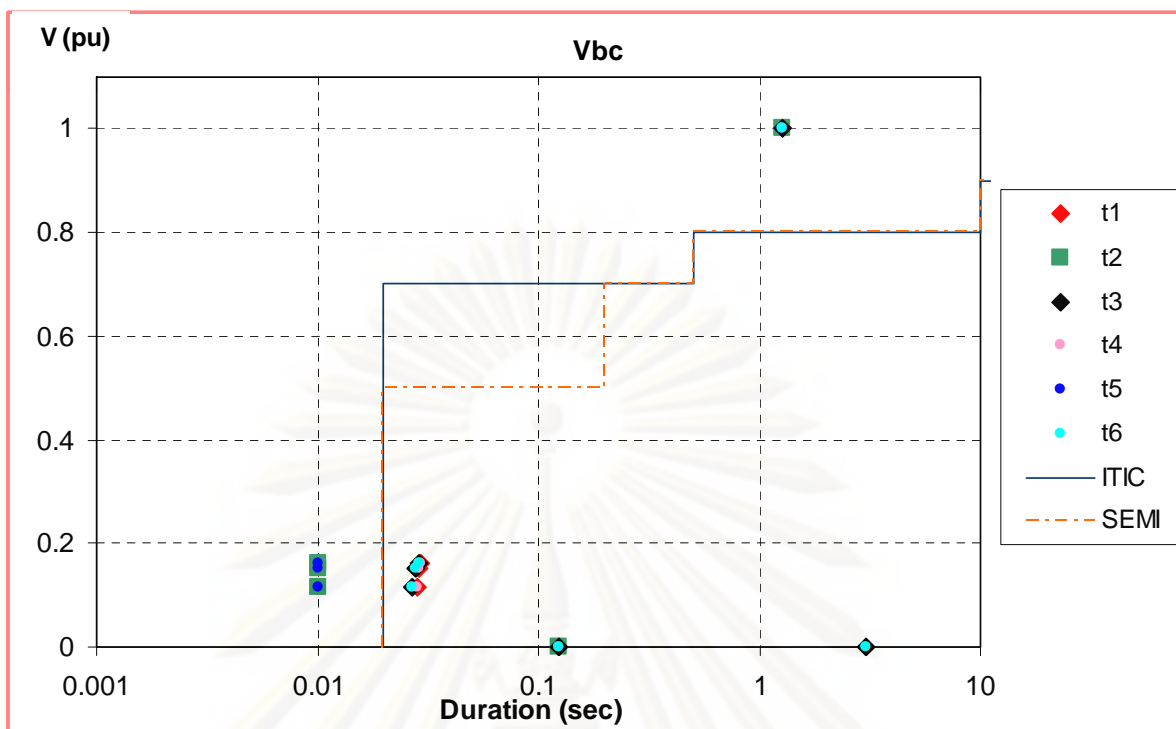
ตารางที่ 5.20 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส
ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ฟอลต์ ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 4 – กรณีที่ 6						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T4	T5	T6
1	0.5	1	0.5	9510.62631	1.268901	1.268901	1.268901
2	0.866025	0	0.866025	5265.4532	0.123121	0.123121	0.123121
48	0.91539	0.161069	0.821603	4603.68143	0.029567	0.01	0.028708
83	0	0	0	4594.78232	>60	>60	3.028828
95	0.896486	0.11399	0.838337	4759.39478	0.028165	0.01	0.026613
135	0.915462	0.149901	0.820466	4682.71968	0.028856	0.01	0.027645

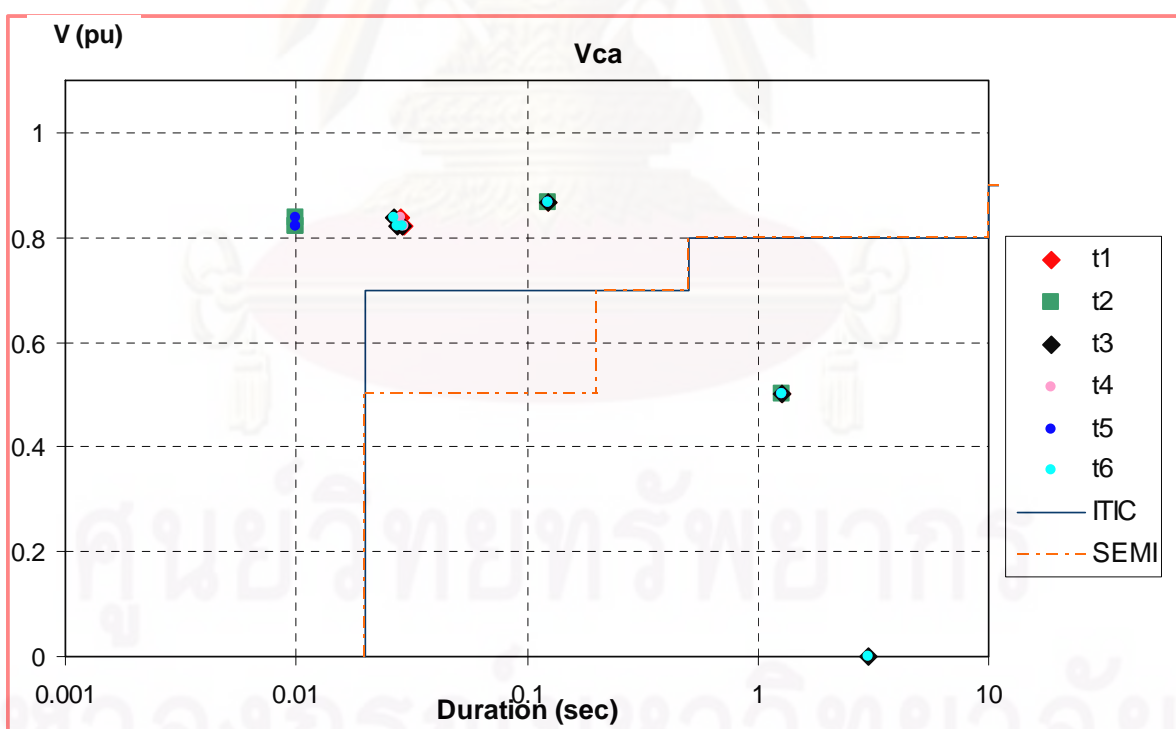
เมื่อแทนค่าขนาดแรงดันสายและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส ลงใน magnitude-duration plane สามารถแสดงผลการประเมินโดยใช้มาตรฐาน SEMI F-47 กับ ITIC ดังรูปที่ 5.19 - รูปที่ 5.21



รูปที่ 5.19 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส



รูปที่ 5.20 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส



รูปที่ 5.21 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vca เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส

สำหรับตารางแสดงขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดินที่บัสต่างๆ ในกรณีที่ระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรงและระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน แสดงได้ดังตารางที่ 5.21 - 5.22 ตามลำดับ

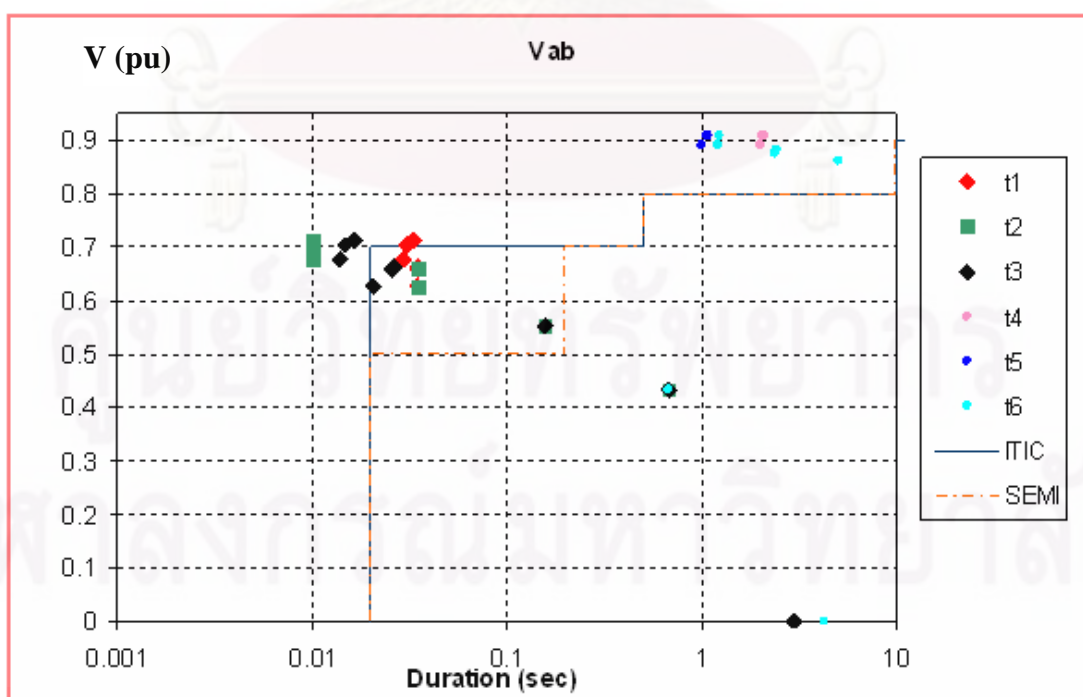
ตารางที่ 5.21 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ฟอลต์ ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 1 – กรณีที่ 3						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T1	T2	T3
1	0.433248	0.866496	0.433248	4398.86666	0.684967	0.684967	0.684967
2	0.55328	0	0.55328	6587.03624	0.156413	0.156413	0.156413
18	0.62698	0.061037	0.600922	5329.95898	0.035	0.035	0.020728
36	0.661599	0.095657	0.62263	4761.52308	0.035	0.035	0.026149
48	0.713572	0.161069	0.624836	4257.45819	0.032683	0.01	0.016345
83	0	0	0	4318.03565	>60	>60	3.015952
95	0.677017	0.11399	0.621781	4625.2189	0.029373	0.01	0.013959
110	0.659025	0.092914	0.621019	4803.18162	0.035	0.035	0.025608
135	0.702161	0.149901	0.611919	4501.87158	0.030483	0.01	0.014759

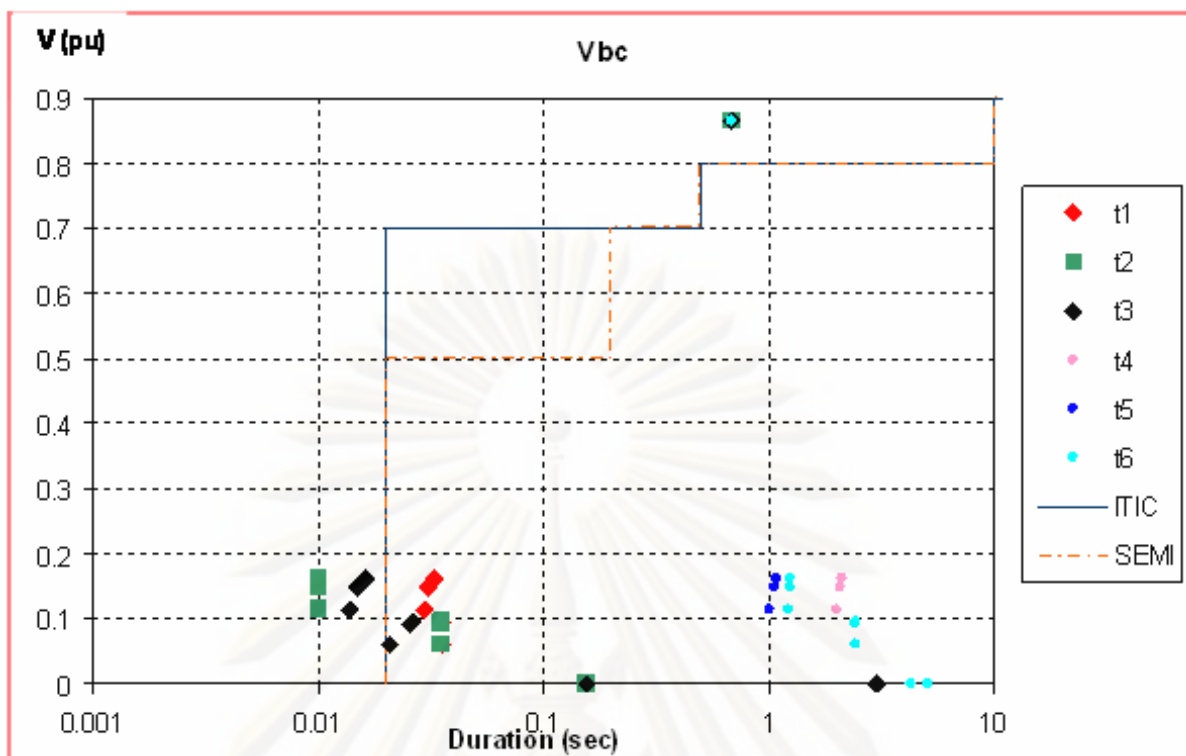
ตารางที่ 5.22 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน
ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ฟอลต์ ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 4 – กรณีที่ 6						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T4	T5	T6
1	0.433248	0.866496	0.433248	4398.866666	0.684967	0.684967	0.684967
2	0.861956	0	0.861956	507.601412	5.102456	5.102456	5.102456
18	0.874835	0.061037	0.849234	503.613216	2.416705	2.416705	2.416705
36	0.881826	0.095657	0.843129	501.130719	2.436023	2.436023	2.436023
48	0.908888	0.161069	0.818629	496.356696	2.109299	1.091083	1.24994
83	0	0	0	495.457544	>60	>60	4.256734
95	0.890506	0.11399	0.835016	499.747427	2.007577	1.006314	1.224319
110	0.881282	0.092914	0.84358	501.356575	2.434265	2.434265	2.434265
135	0.909268	0.149901	0.817412	497.485853	2.075424	1.062854	1.241408

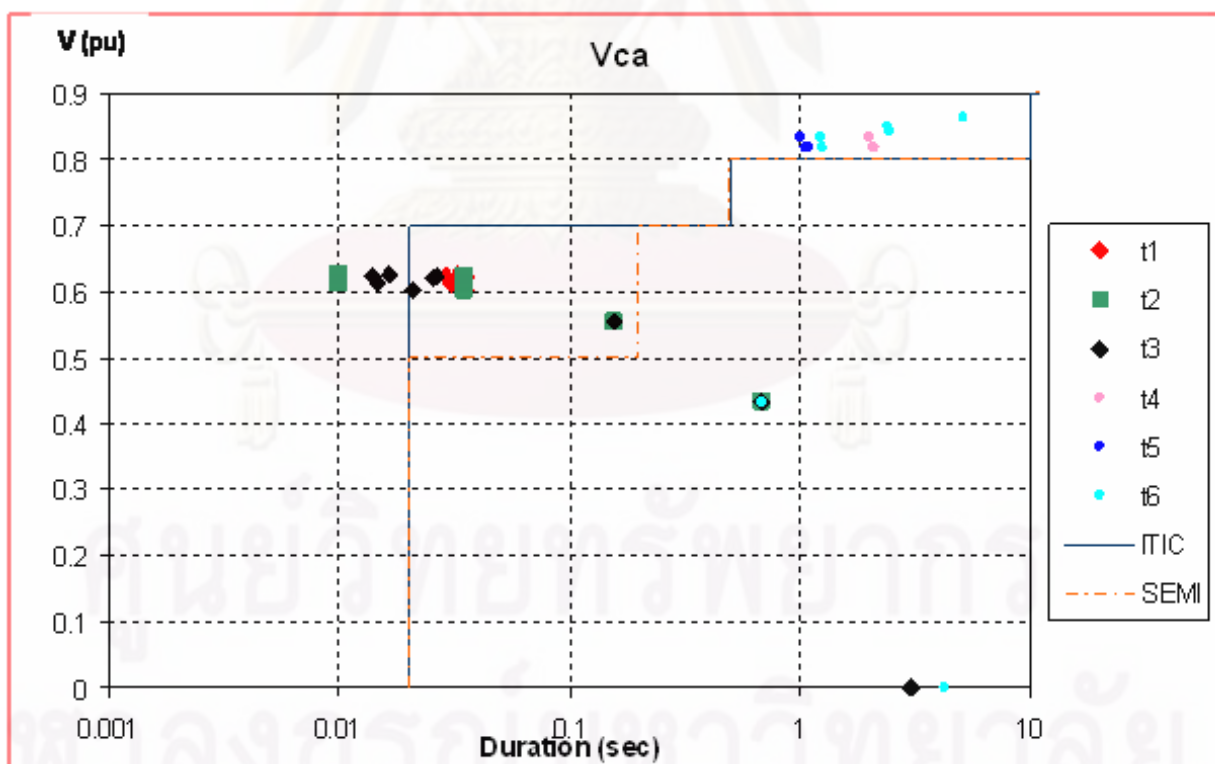
เมื่อแทนค่าขนาดแรงดันสายและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน ลงใน magnitude-duration plane สามารถแสดงผลการประเมินโดยใช้มาตรฐาน SEMI F-47 กับ ITIC ดังรูปที่ 5.22 - รูปที่ 5.24



รูปที่ 5.22 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน



รูปที่ 5.23 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน



รูปที่ 5.24 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vca เมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน

จากผลการประเมินระบบจริงของสถานีไฟฟ้าย่อยวัดบำเพ็ญสามมาถทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะเมื่อทำการปรับปรุงระบบป้องกันทุกกรณีว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรดังตารางที่ 5.23 – ตารางที่ 5.24 โดยไม่พิจารณาผลในกรณีที่เกิดฟอลต์ในบัสที่อยู่ในสายป้อนย่อยเดียวกันกับตำแหน่งที่สนใจเนื่องจากกรณีดังกล่าวถือว่าเป็นการเกิดไฟฟ้าดับ

และสามารถทำการเปรียบเทียบจำนวนครั้งของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47 ของแรงดันสายระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงระบบป้องกันทุกกรณีดังตารางที่ 5.25 – ตารางที่ 5.30 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.23 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะ
ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ประเภทของ ฟอลต์	กรณีของ การป้องกัน	ขนาด			ระยะเวลา
		Vab	Vbc	Vca	
สามเฟสฟอลต์	T2	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 57.54 %
	T3	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 13.24 %
1 เฟสลงดิน	T2	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 61.24 %
	T3	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 39.06 %
เฟสกับเฟส	T2	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 65.34 %
	T3	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 4.2 %
เฟสกับเฟสลง ดิน	T2	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 67.52 %
	T3	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 41.16 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.24 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะ
ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ประเภทของ ฟอลต์	กรณีของ การป้องกัน	ขนาด			ระยะเวลา
		Vab	Vbc	Vca	
สามเฟสฟอลต์	T4	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
	T5	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 57.54 %
	T6	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 13.24 %
1 เฟสลงดิน	T4	เพิ่มขึ้น 56.86 %	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 61.26 %	เพิ่ม > 0.59 sec
	T5	เพิ่มขึ้น 56.86 %	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 61.26 %	เพิ่ม > 0.0038 sec
	T6	เพิ่มขึ้น 56.86 %	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 61.26 %	เพิ่ม > 0.59 sec
เฟสกับเฟส	T4	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
	T5	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 65.34 %
	T6	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 4.2 %
เฟสกับเฟสลง ดิน	T4	เพิ่มขึ้น 35.82 %	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 38.18 %	เพิ่ม > 4.95 sec
	T5	เพิ่มขึ้น 35.82 %	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 38.18 %	เพิ่ม > 4.95 sec
	T6	เพิ่มขึ้น 35.82 %	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 38.18 %	เพิ่ม > 4.95 sec

ตารางที่ 5.25 เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vab ที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47
ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ประเภทของฟอลต์	T1		T2		T3	
	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI
สามเฟสฟอลต์	5	5	2	2	4	4
1 เฟสลงดิน	17	3	11	3	9	4
เฟสกับเฟส	1	1	1	1	2	2
เฟสกับเฟสลงดิน	6	1	5	1	6	2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.26 เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vab ที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47
ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ประเภทของฟอลต์	T4		T5		T6	
	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI
สามเฟสฟอลต์	5	5	2	2	4	4
1 เฟสลงดิน	3	3	3	3	4	4
เฟสกับเฟส	1	1	1	1	2	2
เฟสกับเฟสลงดิน	1	1	1	1	2	2

ตารางที่ 5.27 เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vbc ที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47
ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ประเภทของฟอลต์	T1		T2		T3	
	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI
สามเฟสฟอลต์	5	5	2	2	4	4
1 เฟสลงดิน	4	4	4	4	5	5
เฟสกับเฟส	4	4	1	1	5	5
เฟสกับเฟสลงดิน	7	7	4	4	5	5

ตารางที่ 5.28 เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vbc ที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47
ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ประเภทของฟอลต์	T4		T5		T6	
	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI
สามเฟสฟอลต์	5	5	2	2	4	4
1 เฟสลงดิน	4	4	4	4	5	5
เฟสกับเฟส	4	4	1	1	5	5
เฟสกับเฟสลงดิน	7	7	7	7	8	8

ตารางที่ 5.29 เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vca ที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47
ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ประเภทของฟอลต์	T1		T2		T3	
	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI
สามเฟสฟอลต์	5	5	2	2	4	4
1 เฟสลงดิน	17	3	11	3	9	4
เฟสกับเฟส	1	1	1	1	2	2
เฟสกับเฟสลงดิน	8	1	5	1	6	2

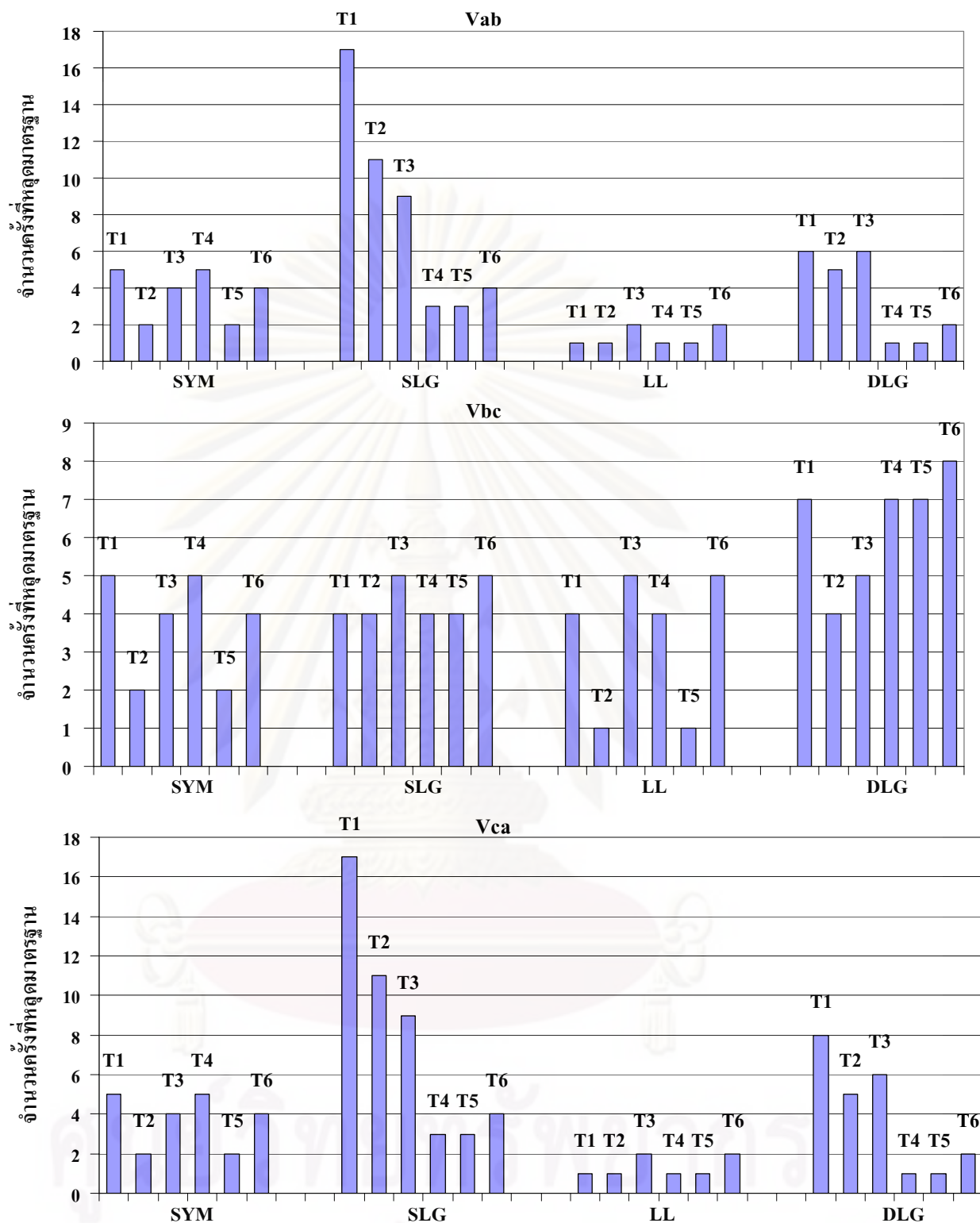
ตารางที่ 5.30 เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vca ที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47
ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ประเภทของฟอลต์	T4		T5		T6	
	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI
สามเฟสฟอลต์	5	5	2	2	4	4
1 เฟสลงดิน	3	3	3	3	4	4
เฟสกับเฟส	1	1	1	1	2	2
เฟสกับเฟสลงดิน	1	1	1	1	2	2

สำหรับตารางสรุปผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC และมาตรฐาน SEMI F-47 ของระบบจริงแสดงดังตารางที่ 5.31 – ตารางที่ 5.32 ตามลำดับ และแผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC และมาตรฐาน SEMI F-47 ของระบบจำลอง แสดงดังรูปที่ 5.25 – รูปที่ 5.26 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.31 สรุปผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกัน
ที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC ของระบบจริง

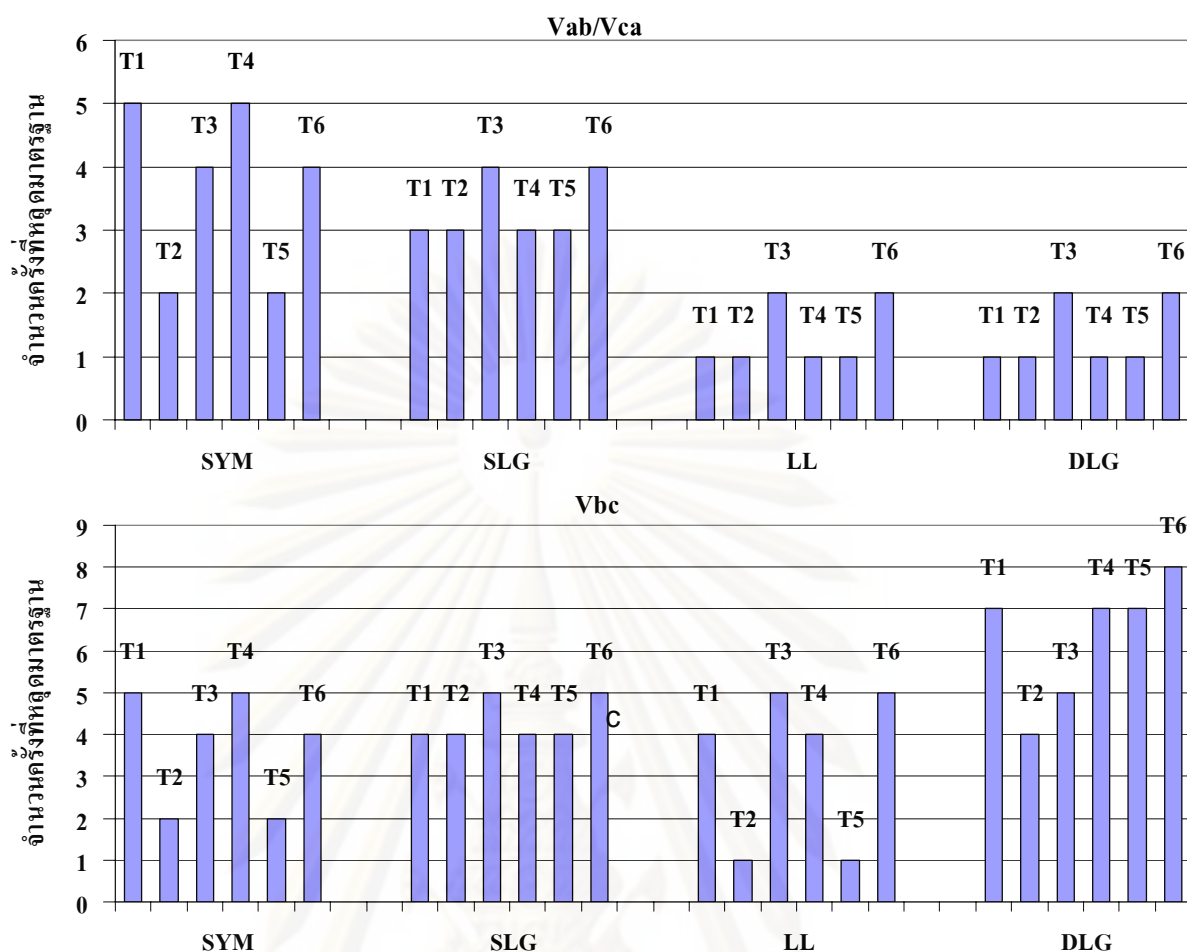
ประเภทของการเกิดฟอลต์		สามเฟสฟอลต์			1 เฟสลงดิน			เฟสกับเฟส			เฟสกับเฟสลงดิน		
แรงดันสาย		Vab	Vbc	Vca	Vab	Vbc	Vca	Vab	Vbc	Vca	Vab	Vbc	Vca
T1		5	-	-	17	4	17	1	4	1	6	7	8
T2	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	2	-	-	11	4	11	1	1	1	5	4	5
	ผลการเปรียบเทียบ	-3	-	-	-6	0	-6	0	-3	0	-1	-3	-3
T3	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	4	-	-	9	5	9	2	5	2	6	5	6
	ผลการเปรียบเทียบ	-1	-	-	-8	+1	-8	+1	+1	+1	0	-2	-2
T4	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	5	-	-	3	4	3	1	4	1	1	7	1
	ผลการเปรียบเทียบ	0	-	-	-14	0	-14	0	0	0	-5	0	-7
T5	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	2	-	-	3	4	3	1	1	1	1	7	1
	ผลการเปรียบเทียบ	-3	-	-	-14	0	-14	0	-3	0	-5	0	-7
T6	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	4	-	-	4	5	4	2	5	2	2	8	2
	ผลการเปรียบเทียบ	-1	-	-	-13	+1	-13	+1	+1	+1	-4	+1	-6



รูปที่ 5.25 แผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC ของระบบจริง

ตารางที่ 5.32 สรุปผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกัน
ที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน SEMI F-47 ของระบบจริง

ประเภทของการเกิดฟอลต์		สามเฟสฟอลต์			1 เฟสลงดิน			เฟสกับเฟส			เฟสกับเฟสลงดิน		
แรงดันสาย		Vab	Vbc	Vca	Vab	Vbc	Vca	Vab	Vbc	Vca	Vab	Vbc	Vca
T1		5	-	-	3	4	3	1	4	1	1	7	1
T2	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	2	-	-	3	4	3	1	1	1	1	4	1
	ผลการเปรียบเทียบ	-3	-	-	0	0	0	0	-3	0	0	-3	0
T3	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	4	-	-	4	5	4	2	5	2	2	5	2
	ผลการเปรียบเทียบ	-1	-	-	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-2	+1
T4	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	5	-	-	3	4	3	1	4	1	1	7	1
	ผลการเปรียบเทียบ	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	2	-	-	3	4	3	1	1	1	1	7	1
	ผลการเปรียบเทียบ	-3	-	-	0	0	0	0	-3	0	0	0	0
T6	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	4	-	-	4	5	4	2	5	2	2	8	2
	ผลการเปรียบเทียบ	-1	-	-	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1



รูปที่ 5.26 แผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน SEMI F-47 ของระบบจริง

จากผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC/ SEMI F-47 ของระบบจริง จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันโดยใช้ Current Limiting Fuse แทน Explosion Fuse สามารถลดผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะได้ทุกรูปแบบของฟอลต์ที่เกิดในระบบ และหากติดตั้ง NGR ร่วมกับระบบป้องกันปกติหรือติดตั้ง NGR ร่วมกับ Current Limiting Fuse จะยังสามารถลดผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะในกรณีที่เกิดฟอลต์ลงดินได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากค่าแรงดันที่มีค่าสูงขึ้น แต่ต้องพิจารณาถึงระยะเวลาในการกำจัดฟอลต์ที่นานขึ้นซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ในระบบต้องรับกระแสฟอลต์เป็นระยะเวลาที่นานขึ้น ส่วนการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันโดยใช้ Recloser แทน Explosion Fuse สามารถลดผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะได้ในบางรูปแบบของฟอลต์เท่านั้น และลดผลกระทบได้เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการปรับปรุงแบบอื่นๆ ส่วนเมื่อทำการติดตั้งร่วมกับ NGR ก็ลดผลกระทบได้เพียงเล็กน้อยเช่นกัน

ซึ่งจะเห็นได้ว่า กรณีที่ระบบมีการปรับปรุงระบบป้องกันโดยใช้ Current Limiting Fuse แทน Explosion Fuse ในสายป้อนย่อยที่เป็นสายป้อนย่อยเดียวกันกับตำแหน่งที่สนใจ หากเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง downstream ของ Current Limiting Fuse จะทำให้เกิดกรณีที่เกิดปรากฏการณ์ไฟฟ้าดับเกิดขึ้น แต่หากกรณีที่เกิดฟอลต์ที่สายป้อนอื่นๆ หรือที่สายป้อนหลักที่เป็นสายป้อนเดียวกันกับตำแหน่งที่สนใจแล้ว จะทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจ

ส่วนในกรณีที่ระบบมีการปรับปรุงระบบป้องกันโดยใช้ Recloser แทน Explosion Fuse ในสายป้อนย่อยที่เป็นสายป้อนย่อยเดียวกันกับตำแหน่งที่สนใจ หากเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง downstream ของ Recloser จะทำให้เกิดกรณีที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจเกิดขึ้น แต่หากกรณีที่เกิดฟอลต์ที่สายป้อนอื่นๆ หรือที่สายป้อนหลักที่เป็นสายป้อนเดียวกันกับตำแหน่งที่สนใจแล้ว จะทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจ

จากผลการประเมินระบบจริงจะเห็นได้ว่า เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งต่างๆ ค่าแรงดันตกชั่วขณะ ณ ตำแหน่งที่สนใจมีค่าลดต่ำลงมากและมีค่าใกล้เคียงกันทุกจุด เนื่องจากสถานีไฟฟ้าย่อยวัดบำเพ็ญเป็นสถานีไฟฟ้าย่อยขนาดเล็กมีความยาวสายป้อนยาวสูงสุดเพียง 3.5491 กิโลเมตร ทำให้เมื่อเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งต่างๆ ค่าอิมพีแดนซ์ของระบบจึงมีค่าใกล้เคียงกันซึ่งเป็นผลให้ค่าแรงดันตกชั่วขณะมีค่าใกล้เคียงกัน และหากพิจารณาถึงผลของความยาวสายป้อนของระบบเพื่อให้มีความใกล้เคียงกับข้อมูลสถานีไฟฟ้าย่อยอื่นๆ จึงได้สร้างระบบจำลองจากข้อมูลของสถานีไฟฟ้าย่อยวัดบำเพ็ญ โดยทำการปรับความยาวของสายป้อนทุกสายป้อนเป็น 4 เท่าของความยาวเดิม ซึ่งเป็นการปรับความยาวสายป้อนให้มีค่าใกล้เคียงกับความยาวสายป้อนของสถานีไฟฟ้าย่อยอื่นๆ ซึ่งมีค่าความยาวอยู่ในช่วง 5-20 กิโลเมตร ส่วนข้อมูลอัตราการเกิดฟอลต์ต่อปีของสายป้อนแต่ละสายป้อน ที่จะนำมาใช้หาจำนวนตำแหน่งและระยะห่างของการเกิดฟอลต์ของแต่ละสายป้อนยังคงใช้ค่าเท่ากับอัตราการเกิดฟอลต์ต่อปีของสถานีไฟฟ้าย่อยวัดบำเพ็ญ ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แต่ละแบบของแต่ละสายป้อนแสดงดังตารางที่ 5.33- ตารางที่ 5.36

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.33 ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟสของแต่ละสายป้อนของระบบจำลอง

สายป้อน	ความยาวสายรวม (กิโลเมตร)	อัตราการเกิดฟอลต์แบบ 3 เฟสของแต่ละ สายป้อน/อัตราการเกิดฟอลต์ที่ทำการปรับ (จำนวนครั้งต่อปี)	ระยะห่างของการเกิด ฟอลต์ของแต่ละสายป้อน (กิโลเมตร)
สายป้อนที่ 1	10.94652	0.2 / 1	10.94652
สายป้อนที่ 2	15.1816	0.4 / 1	15.1816
สายป้อนที่ 3	3.67672	0 / 1	3.67672
สายป้อนที่ 4	6.55664	0 / 1	6.55664

ตารางที่ 5.34 ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดินของแต่ละสายป้อนของระบบจำลอง

สายป้อน	ความยาวสายรวม (กิโลเมตร)	อัตราการเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน ของแต่ละสายป้อน (จำนวนครั้งต่อปี)	ระยะห่างของการเกิด ฟอลต์ของแต่ละสายป้อน (กิโลเมตร)
สายป้อนที่ 1	10.94652	4.2	2.60631
สายป้อนที่ 2	15.1816	7.2	2.10856
สายป้อนที่ 3	3.67672	2.2	1.67123
สายป้อนที่ 4	6.55664	4.4	1.49015

ตารางที่ 5.35 ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสของแต่ละสายป้อนของระบบจำลอง

สายป้อน	ความยาว สายรวม (กิโลเมตร)	อัตราการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสของแต่ละ สายป้อน/อัตราการเกิดฟอลต์ที่ทำการปรับ (จำนวนครั้งต่อปี)	ระยะห่างของการเกิด ฟอลต์ของแต่ละสายป้อน (กิโลเมตร)
สายป้อนที่ 1	10.94652	0.4 / 1	10.94652
สายป้อนที่ 2	15.1816	0 / 1	15.1816
สายป้อนที่ 3	3.67672	0 / 1	3.67672
สายป้อนที่ 4	6.55664	0.2 / 1	6.55664

ตารางที่ 5.36 ค่าความถี่และระยะห่างของการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดินของแต่ละสายป้อนของระบบจำลอง

สายป้อน	ความยาวสายรวม (กิโลเมตร)	อัตราการเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดินของแต่ละสายป้อน/อัตราการเกิดฟอลต์ที่ทำการปรับ (จำนวนครั้งต่อปี)	ระยะห่างของการเกิดฟอลต์ของแต่ละสายป้อน (กิโลเมตร)
สายป้อนที่ 1	10.94652	2.6	4.2102
สายป้อนที่ 2	15.1816	0.8 / 1	15.1816
สายป้อนที่ 3	3.67672	0.8 / 1	3.67672
สายป้อนที่ 4	6.55664	2	3.27832

สำหรับตารางแสดงขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟสที่บัสต่างๆ ในกรณีที่ระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรงและระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน แสดงได้ดังตารางที่ 5.37 - 5.38 ตามลำดับ

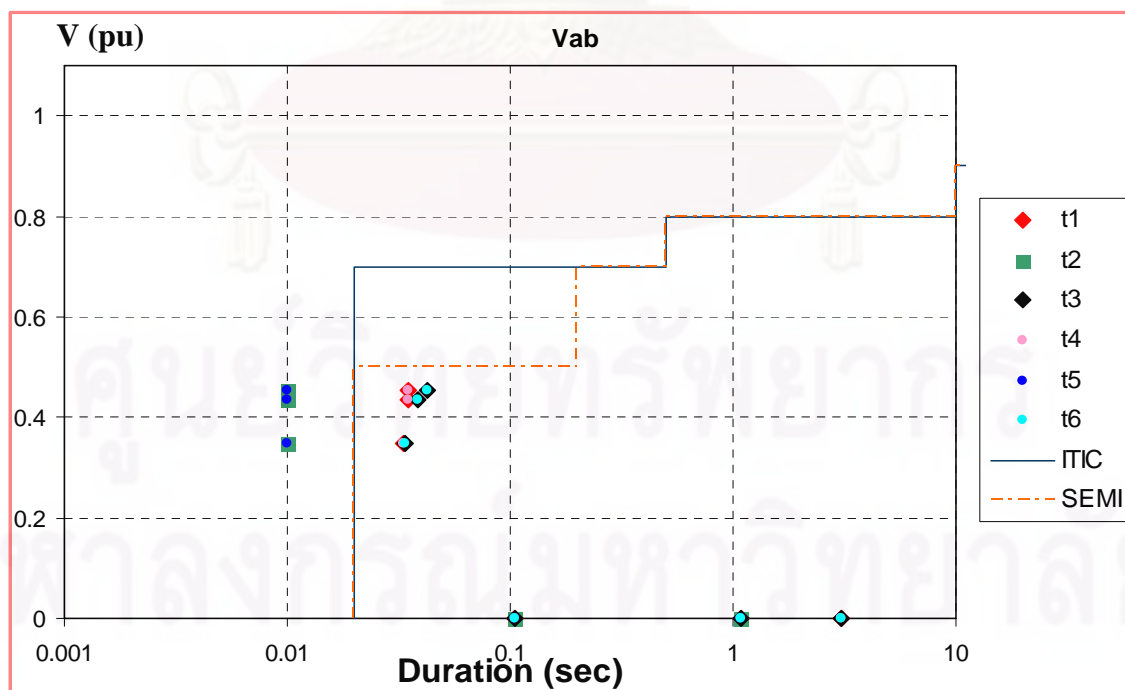
ตารางที่ 5.37 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ฟอลต์ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 1 – กรณีที่ 3						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T1	T2	T3
1	0	0	0	10981.9253	1.079782	1.079782	1.079782
2	0	0	0	6080.02164	0.104756	0.104756	0.104756
48	0.453534	0.453534	0.453534	3742.06731	0.035	0.01	0.042821
83	0	0	0	3658.69994	3.035	>60	3.044757
95	0.349206	0.349206	0.349206	4208.9673	0.033119	0.01	0.034018
135	0.435351	0.435351	0.435351	3925.92766	0.035	0.01	0.038549

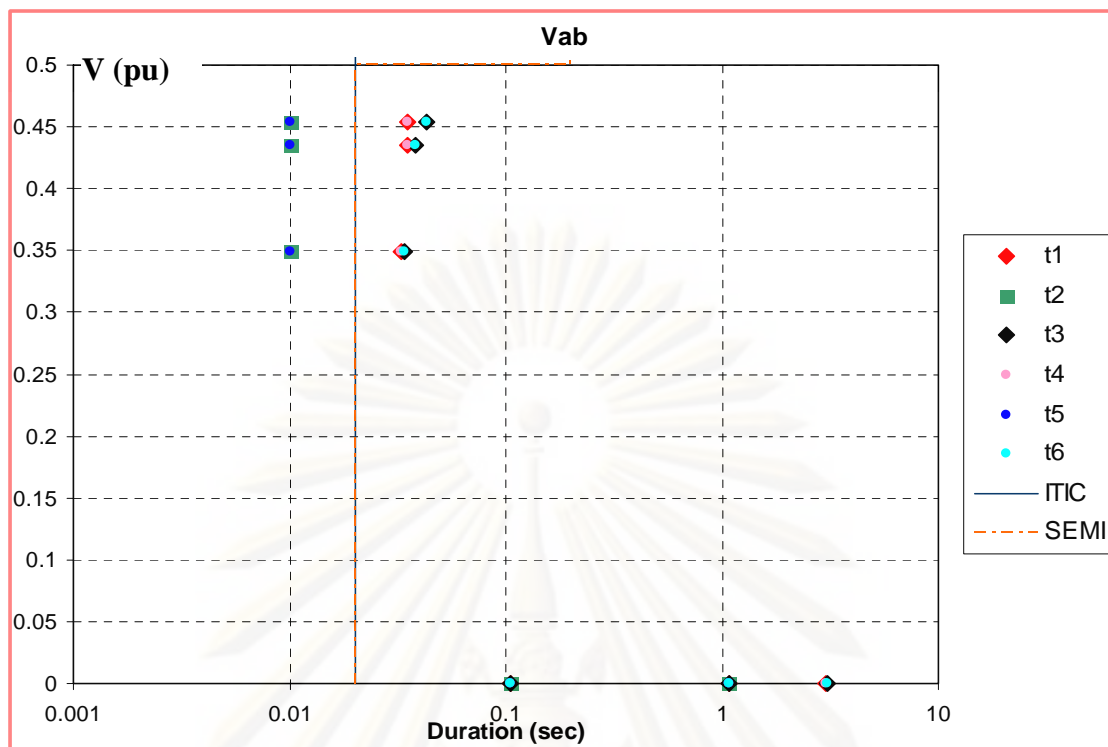
ตารางที่ 5.38 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส
ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ฟอลต์ ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 4 – กรณีที่ 6						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T4	T5	T6
1	0	0	0	10981.9253	1.079782	1.079782	1.079782
2	0	0	0	6080.02164	0.104756	0.104756	0.104756
48	0.453534	0.453534	0.453534	3742.06731	0.035	0.01	0.042821
83	0	0	0	3658.69994	3.035	>60	3.044757
95	0.349206	0.349206	0.349206	4208.9673	0.033119	0.01	0.034018
135	0.435351	0.435351	0.435351	3925.92766	0.035	0.01	0.038549

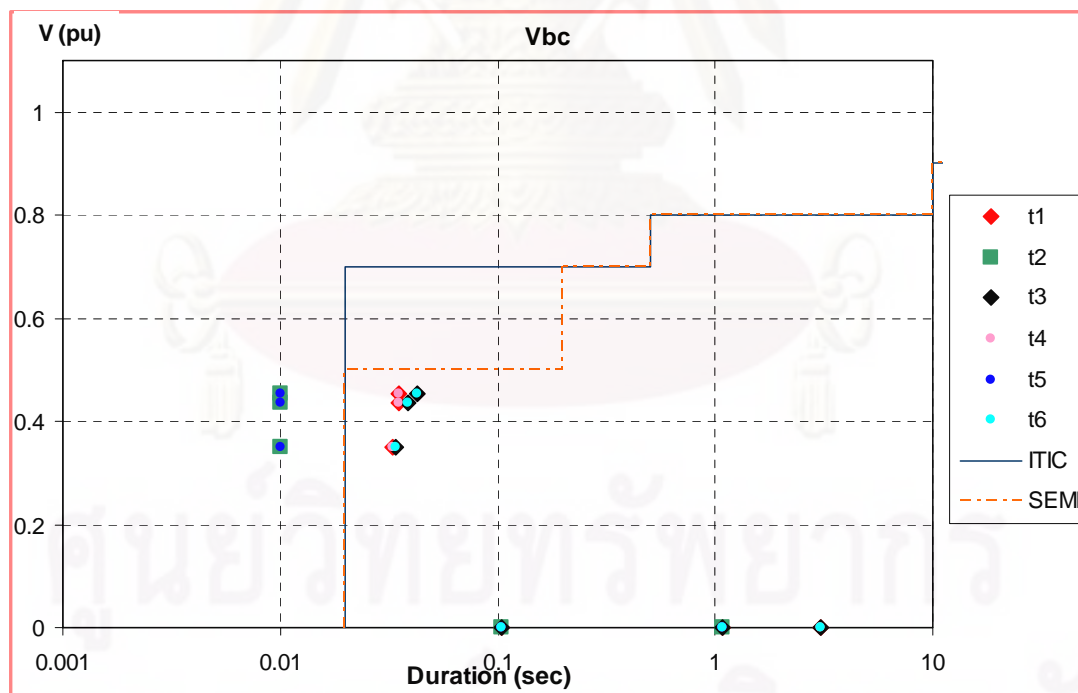
เมื่อแทนค่าขนาดแรงดันสายและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลอง
เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส ลงใน magnitude-duration plane สามารถแสดงผลการประเมินโดยใช้
มาตรฐาน SEMI F-47 กับ ITIC ดังรูปที่ 5.27 - รูปที่ 5.32



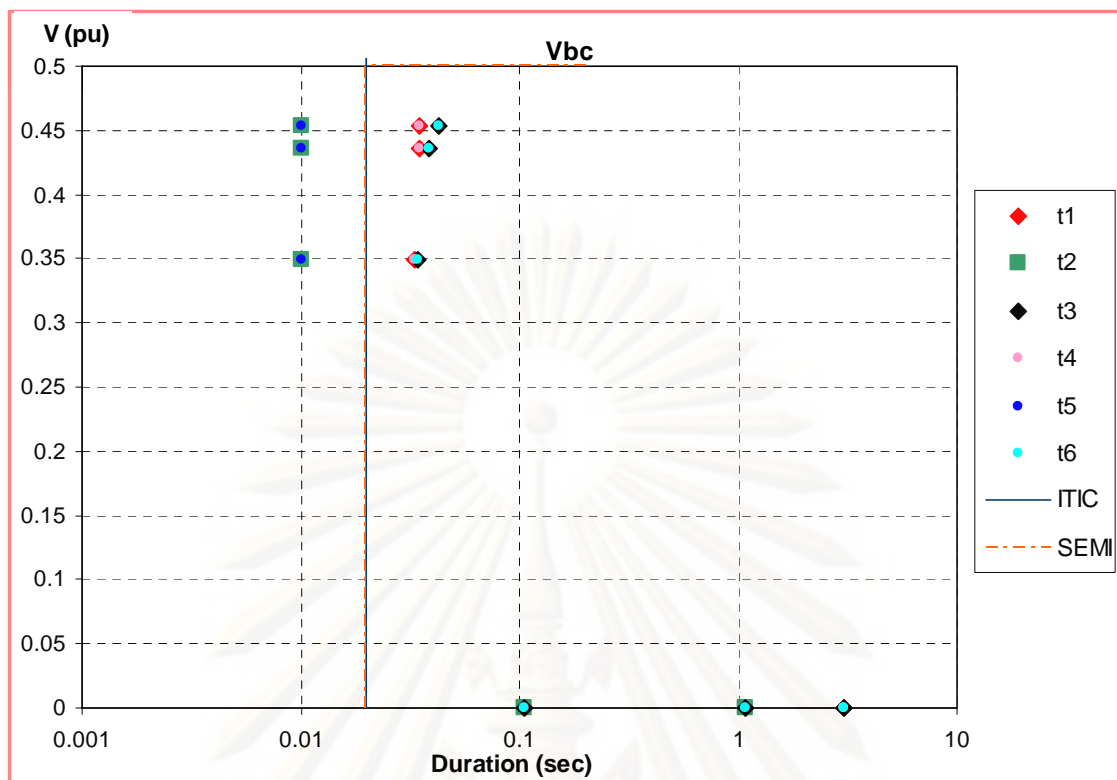
รูปที่ 5.27 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส



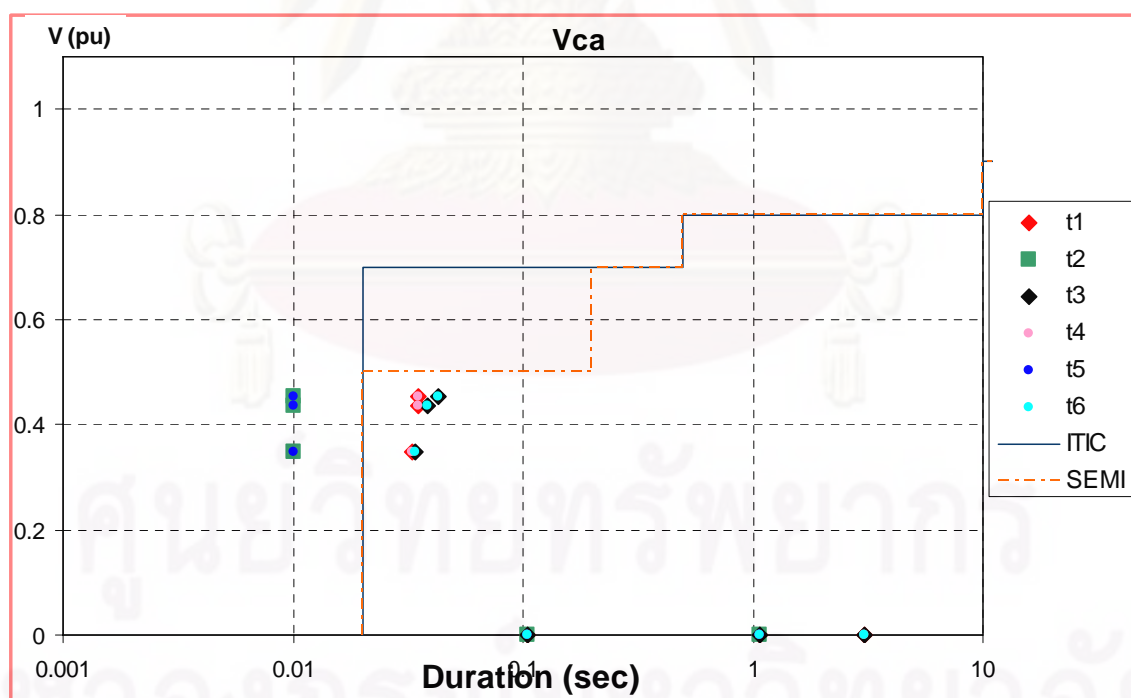
รูปที่ 5.28 ภาพขยายผลการประเมินของแรงดันสาย Vab ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส



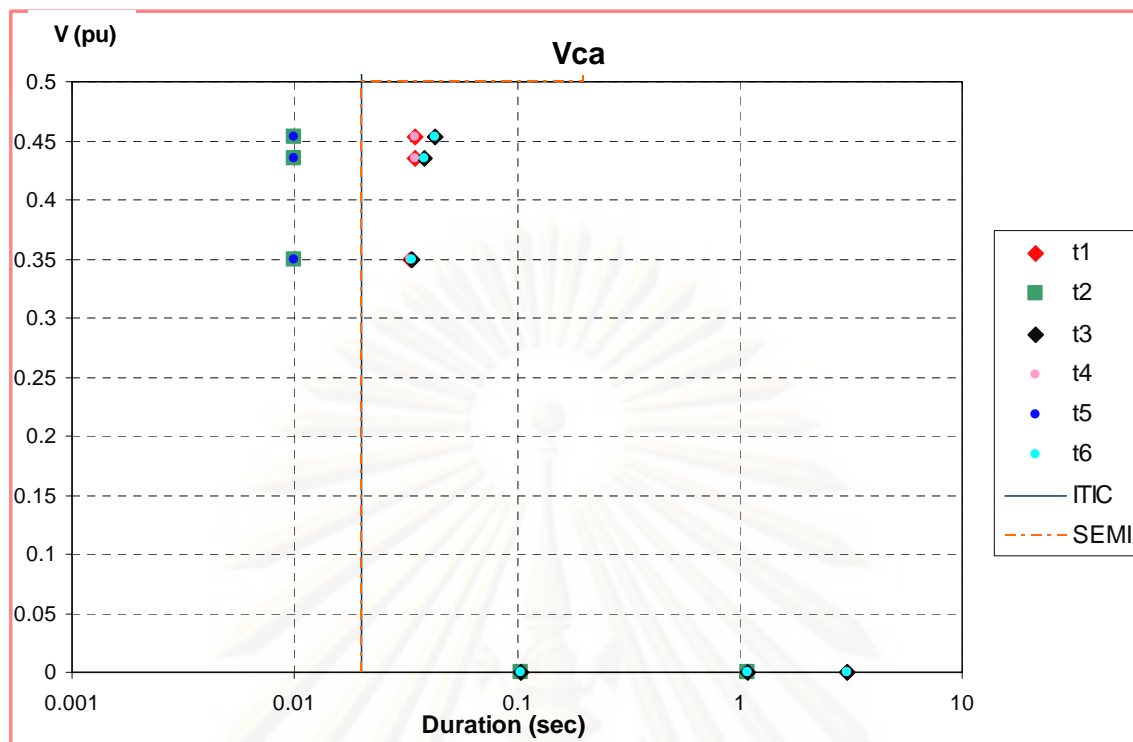
รูปที่ 5.29 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส



รูปที่ 5.30 ภาพขยายผลการประเมินของแรงดันสาย V_{bc} ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส



รูปที่ 5.31 ผลการประเมินของแรงดันสาย V_{ca} ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส



รูปที่ 5.32 ภาพขยายผลการประเมินของแรงดันสาย Vca ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟส

สำหรับตารางแสดงขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ยับ 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดินที่บัสต่างๆ ในกรณีที่ระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรงและระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน แสดงได้ดังตารางที่ 5.39 - 5.40 ตามลำดับ

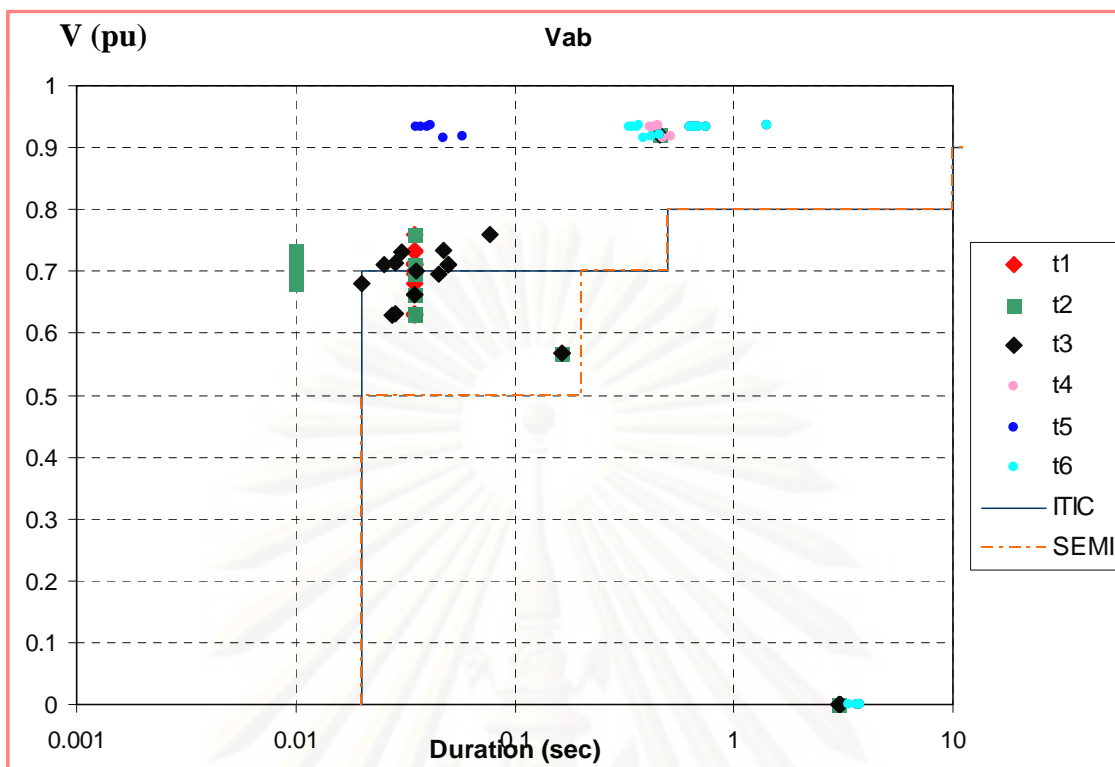
ตารางที่ 5.39 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์
แบบ 1 เฟสลงดินในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ฟอลต์ ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 1 – กรณีที่ 3						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T1	T2	T3
1	0.921372	0.618692	0.917858	6281.7249	0.461562	0.461562	0.461562
2	0.566931	1	0.565369	6323.38943	0.163175	0.163175	0.163175
12	0.710161	1	0.770727	3412.19245	0.035	0.035	0.050066
22	0.662849	1	0.722689	4102.70627	0.035	0.035	0.034699
32	0.696226	1	0.757219	3606.95236	0.035	0.035	0.044714
46	0.759433	1	0.815477	2763.03202	0.035	0.035	0.077501
54	0	0	0	3599.15713	3.035	3.035	3.044886
58	0.714453	1	0.804133	3205.61326	0.035	0.01	0.02855
64	0	0	0	4628.10354	3.035	3.035	3.02788
69	0.701376	1	0.768733	2872.35261	0.035	0.01	0.03566
74	0.734818	1	0.806452	2477.42061	0.035	0.01	0.047364
77	0	0	0	2879.30346	3.035	3.035	3.070927
82	0	0	0	3034.69821	3.035	>60	3.03146
88	0.632946	1	0.689158	4590.13222	0.035	0.035	0.028373
93	0.730229	1	0.800725	3084.14502	0.035	0.01	0.030619
102	0.630017	1	0.683642	4655.75228	0.035	0.035	0.027521
109	0.70992	1	0.770223	3417.04914	0.035	0.035	0.049901
123	0.680939	1	0.744213	3813.82431	0.035	0.01	0.020072
130	0.710505	1	0.772279	3400.65494	0.035	0.01	0.025229

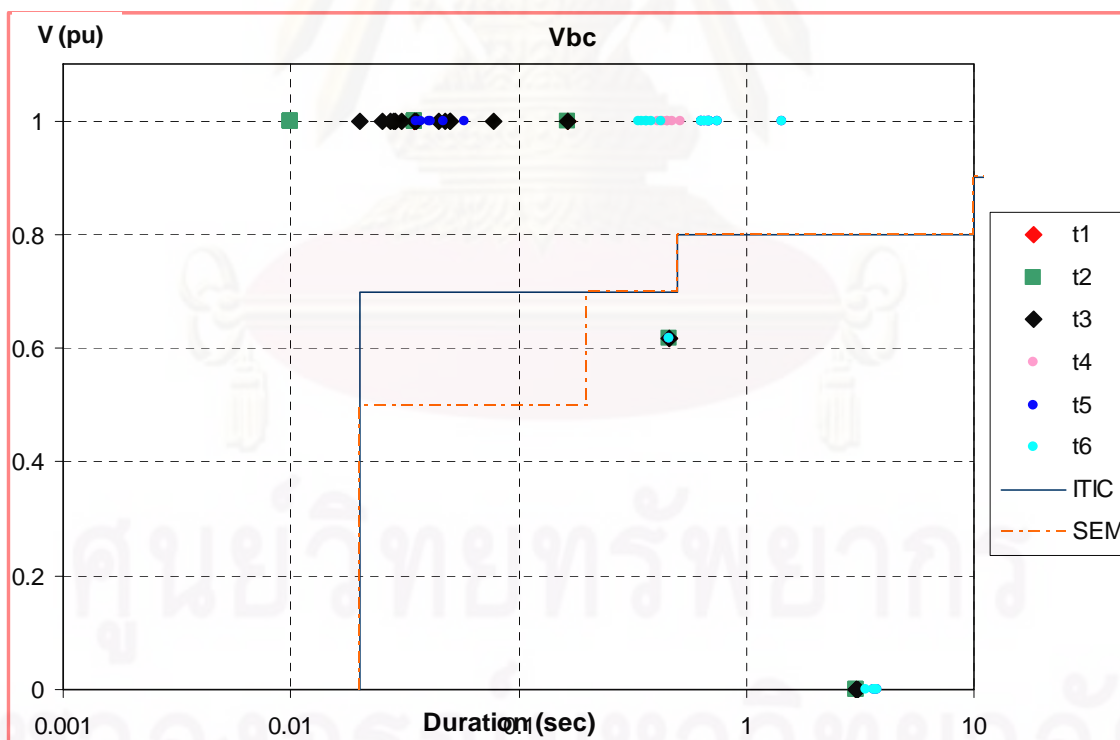
ตารางที่ 5.40 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดินในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ฟอลต์ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 4 – กรณีที่ 6						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T4	T5	T6
1	0.921372	0.618692	0.917858	6281.7249	0.461562	0.461562	0.461562
2	0.93531	1	1.028367	996.726572	1.429178	1.429178	1.429178
12	0.933188	1	1.016921	922.964097	0.691932	0.691932	0.691932
22	0.933624	1	1.020769	949.521694	0.654866	0.654866	0.654866
32	0.93329	1	1.018117	931.445095	0.680095	0.680095	0.680095
46	0.933113	1	1.012131	886.604549	0.750335	0.750335	0.750335
54	0	0	0	931.294653	3.680305	3.680305	3.680305
58	0.934898	1	1.016151	896.254238	0.45412	0.041124	0.365676
64	0	0	0	964.752409	3.633609	3.633609	3.633609
69	0.915551	1	1.008465	876.189435	0.476192	0.047143	0.385413
74	0.917332	1	1.005206	841.029164	0.514868	0.057691	0.419999
77	0	0	0	894.39001	3.735019	3.735019	3.735019
82	0	0	0	887.916301	>60	>60	3.373877
88	0.934032	1	1.02294	963.281008	0.635663	0.635663	0.635663
93	0.933859	1	1.014937	899.403699	0.450656	0.040179	0.362578
102	0.93404	1	1.0232	965.42119	0.632676	0.632676	0.632676
109	0.933175	1	1.016948	923.327483	0.691425	0.691425	0.691425
123	0.933518	1	1.019308	938.571846	0.411428	0.035371	0.335074
130	0.933251	1	1.016866	921.796713	0.428203	0.037384	0.346781

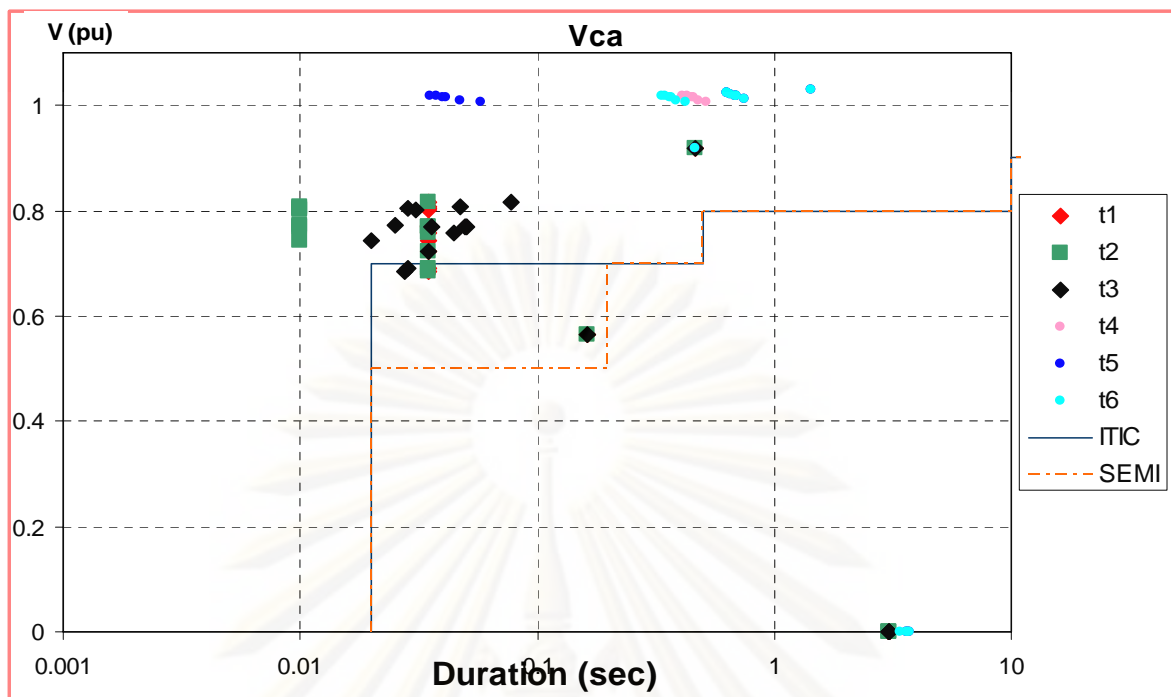
เมื่อแทนค่าขนาดแรงดันสายและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน ลงใน magnitude-duration plane สามารถแสดงผลการประเมินโดยใช้มาตรฐาน SEMI F-47 กับ ITIC ดังรูปที่ 5.33 - รูปที่ 5.35



รูปที่ 5.33 ผลการประเมินของแรงดันสาย V_{ab} ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน



รูปที่ 5.34 ผลการประเมินของแรงดันสาย V_{bc} ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน



รูปที่ 5.35 ผลการประเมินของแรงดันสาย V_{ca} ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบ 1 เฟสลงดิน

สำหรับตารางแสดงขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีข้อ 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสที่บัสต่างๆ ในกรณีที่ระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรงและระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน แสดงได้ดังตารางที่ 5.41 - 5.42 ตามลำดับ

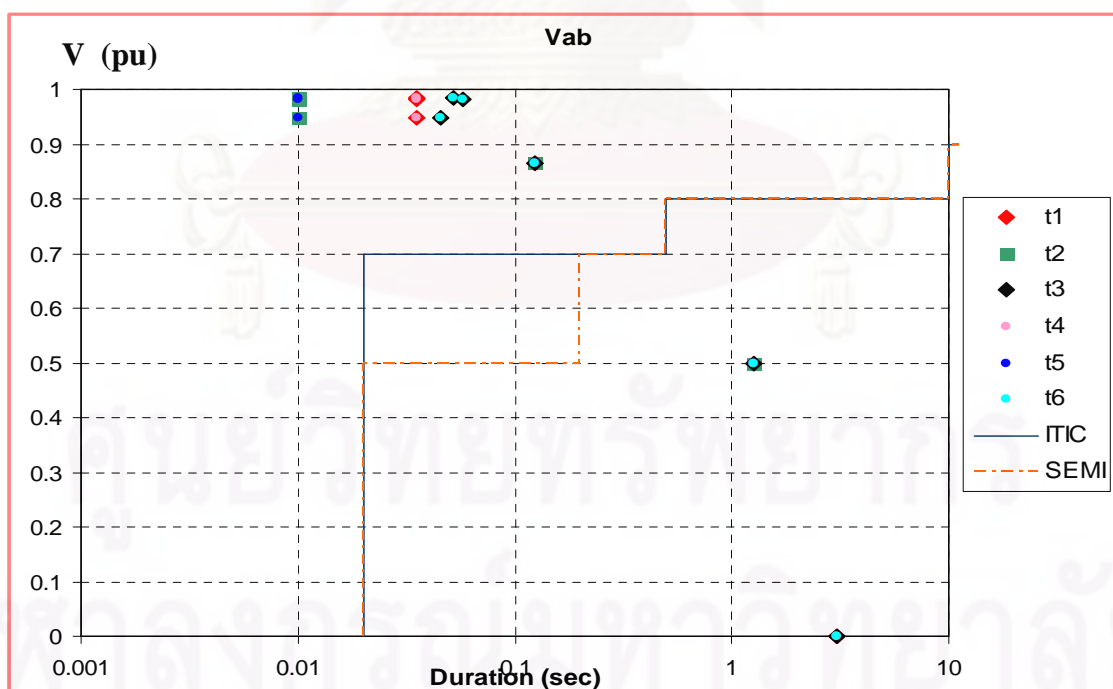
ตารางที่ 5.41 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีข้อ 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ฟอลต์ ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 1 – กรณีที่ 3						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T1	T2	T3
1	0.5	1	0.5	9510.62631	1.268901	1.268901	1.268901
2	0.866025	0	0.866025	5265.4532	0.123121	0.123121	0.123121
48	0.981262	0.453534	0.799982	3240.72535	0.035	0.01	0.057893
83	0	0	0	3168.52709	3.035	>60	3.060525
95	0.948066	0.349206	0.813722	3645.07261	0.035	0.01	0.045074
135	0.98552	0.435351	0.789629	3399.95309	0.035	0.01	0.05209

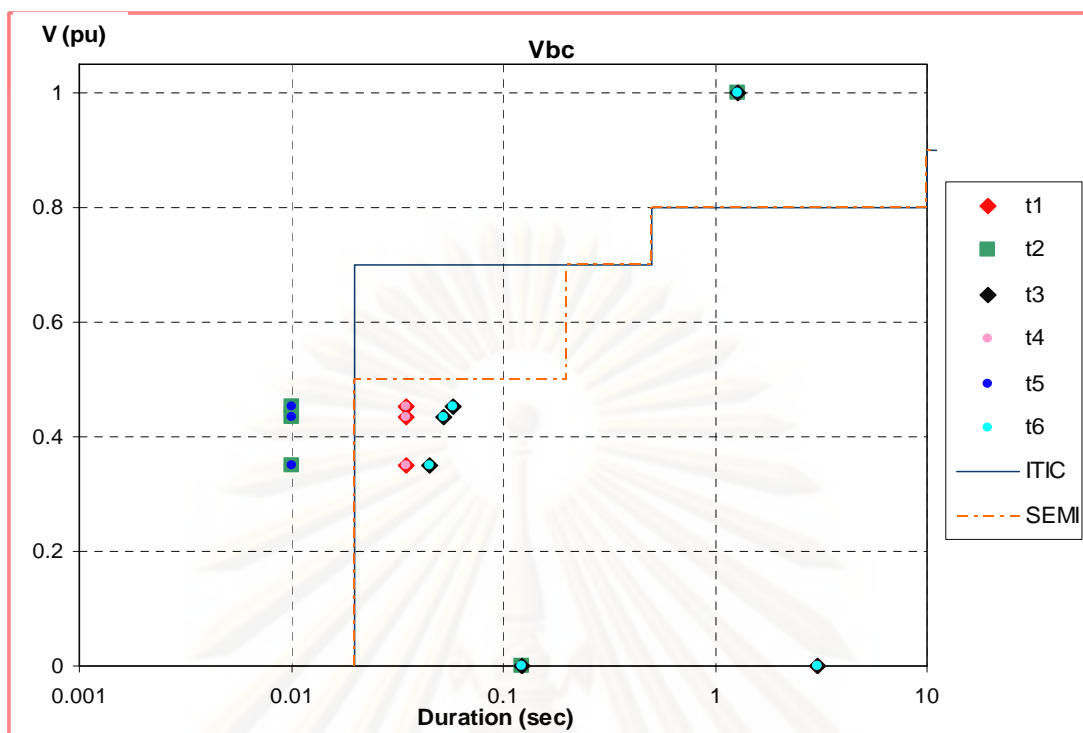
ตารางที่ 5.42 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ฟอลต์ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 4 – กรณีที่ 6						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T4	T5	T6
1	0.5	1	0.5	9510.62631	1.268901	1.268901	1.268901
2	0.866025	0	0.866025	5265.4532	0.123121	0.123121	0.123121
48	0.981262	0.453534	0.799982	3240.72535	0.035	0.01	0.057893
83	0	0	0	3168.52709	3.035	>60	3.060525
95	0.948066	0.349206	0.813722	3645.07261	0.035	0.01	0.045074
135	0.98552	0.435351	0.789629	3399.95309	0.035	0.01	0.05209

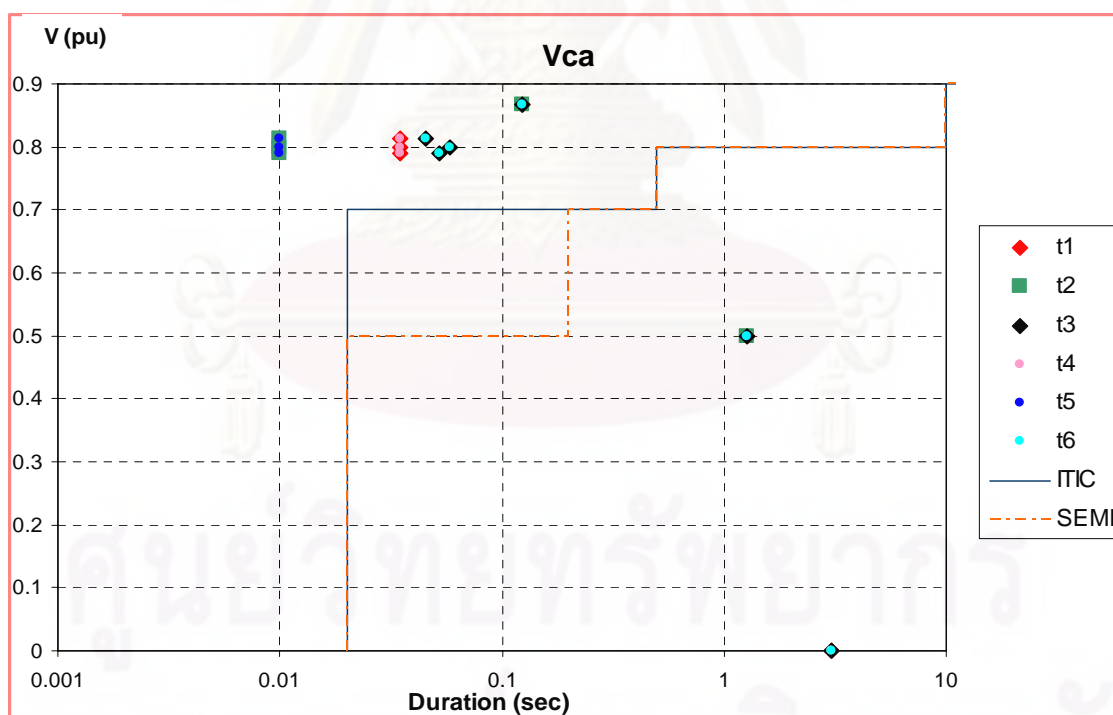
เมื่อแทนค่าขนาดแรงดันสายและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส ลงใน magnitude-duration plane สามารถแสดงผลการประเมินโดยใช้มาตรฐาน SEMI F-47 กับ ITIC ดังรูปที่ 5.36 - รูปที่ 5.38



รูปที่ 5.36 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส



รูปที่ 5.37 ผลการประเมินของแรงดันสาย V_{bc} ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส



รูปที่ 5.38 ผลการประเมินของแรงดันสาย V_{ca} ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟส

สำหรับตารางแสดงขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดินที่บัสต่างๆ ในกรณีี่ระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรงและระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน แสดงได้ดังตารางที่ 5.43 - 5.44 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.43 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดินในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ฟอลต์ ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 1 – กรณีที่ 3						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T1	T2	T3
1	0.433248	0.866496	0.433248	4398.86666	0.684967	0.684967	0.684967
2	0.55328	0	0.55328	6587.03624	0.156413	0.156413	0.156413
18	0.750826	0.209229	0.677152	3373.92086	0.035	0.035	0.051369
36	0.80566	0.302434	0.711648	2583.81869	0.035	0.035	0.087634
48	0.88457	0.453534	0.716502	2037.19143	0.035	0.01	0.070321
83	0	0	0	2081.68007	3.035	>60	3.068001
95	0.833137	0.349206	0.708303	2420.78794	0.035	0.01	0.050317
110	0.802059	0.295599	0.709227	2634.1729	0.035	0.035	0.084787
135	0.877777	0.435351	0.696517	2272.41108	0.035	0.01	0.058055

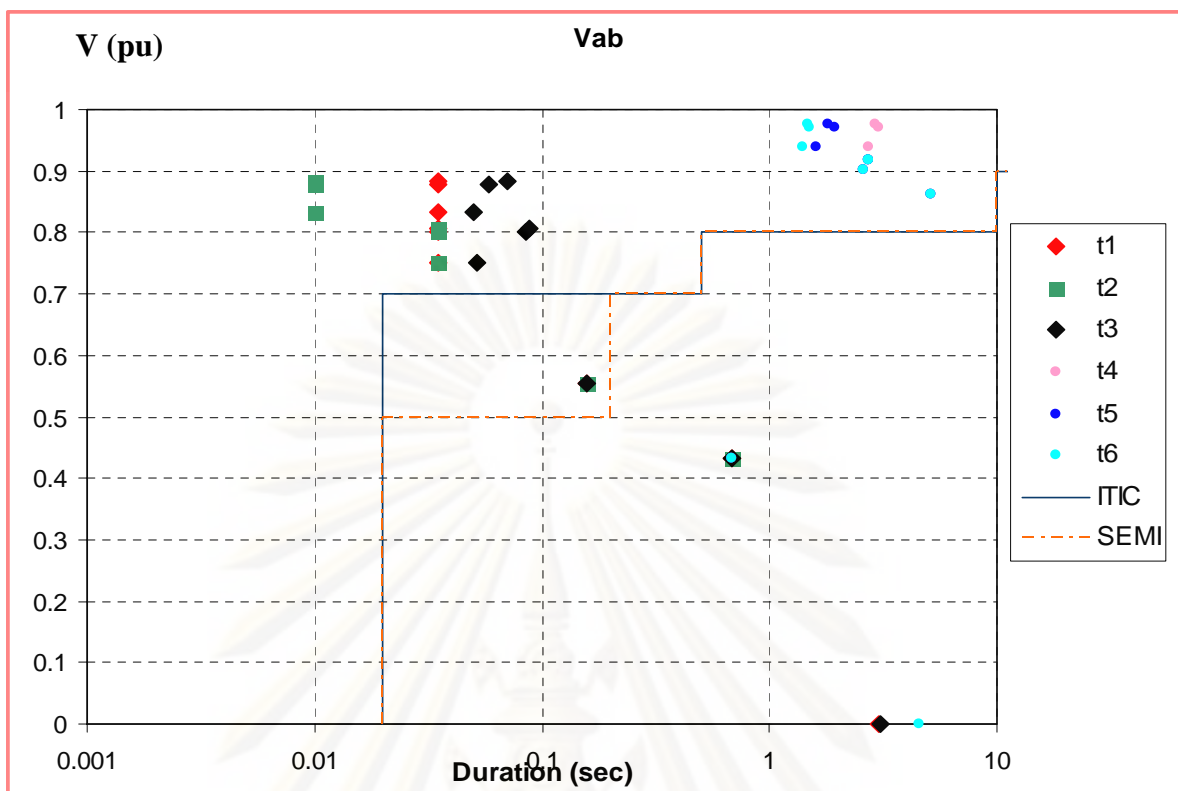
ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

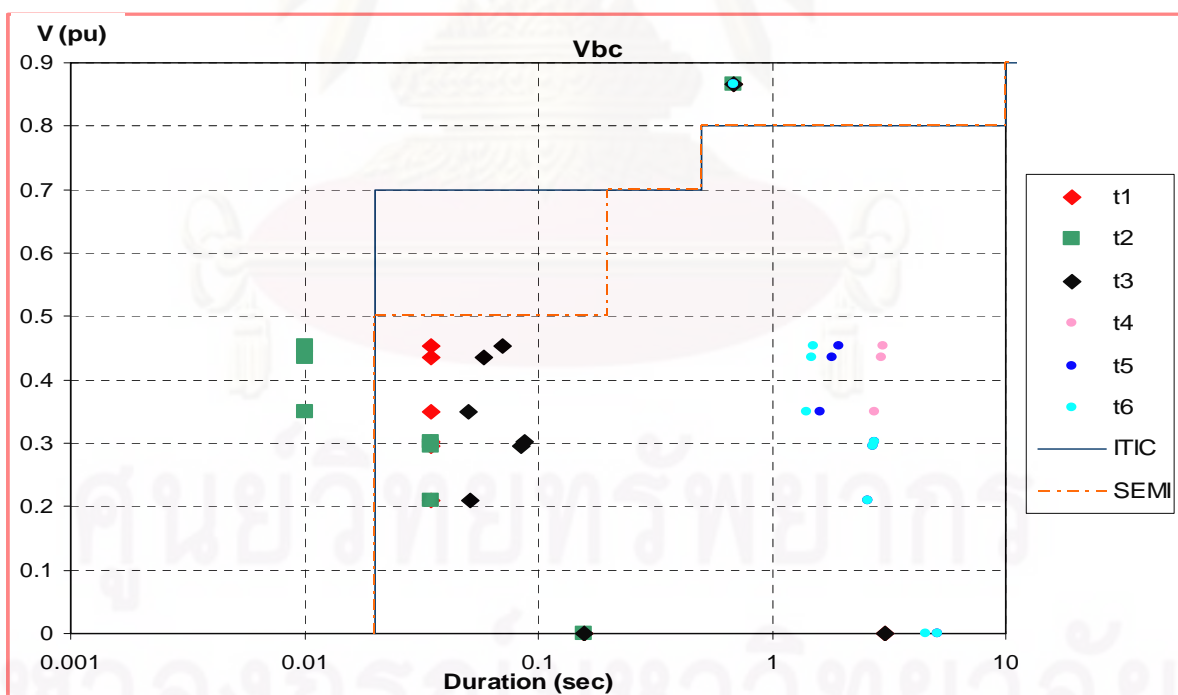
ตารางที่ 5.44 ขนาดและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดินในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ฟอลต์ที่บัส	การป้องกันกรณีที่ 4 – กรณีที่ 6						
	Residual Voltage (pu)			Ifault (A)	Time (sec)		
	Vab	Vbc	Vca		T4	T5	T6
1	0.433248	0.866496	0.433248	4398.86666	0.684967	0.684967	0.684967
2	0.861956	0	0.861956	507.601412	5.102456	5.102456	5.102456
18	0.903148	0.209229	0.829089	491.227871	2.577388	2.577388	2.577388
36	0.918814	0.302434	0.824695	480.730748	2.736023	2.736023	2.736023
48	0.970274	0.453534	0.798954	462.157506	3.016706	1.946062	1.508353
83	0	0	0	459.469441	>60	>60	4.528664
95	0.938135	0.349206	0.811842	475.345433	2.739637	1.616364	1.408704
110	0.917723	0.295599	0.824785	481.676319	2.721733	2.721733	2.721733
135	0.975124	0.435351	0.788753	467.051692	2.942744	1.823708	1.471372

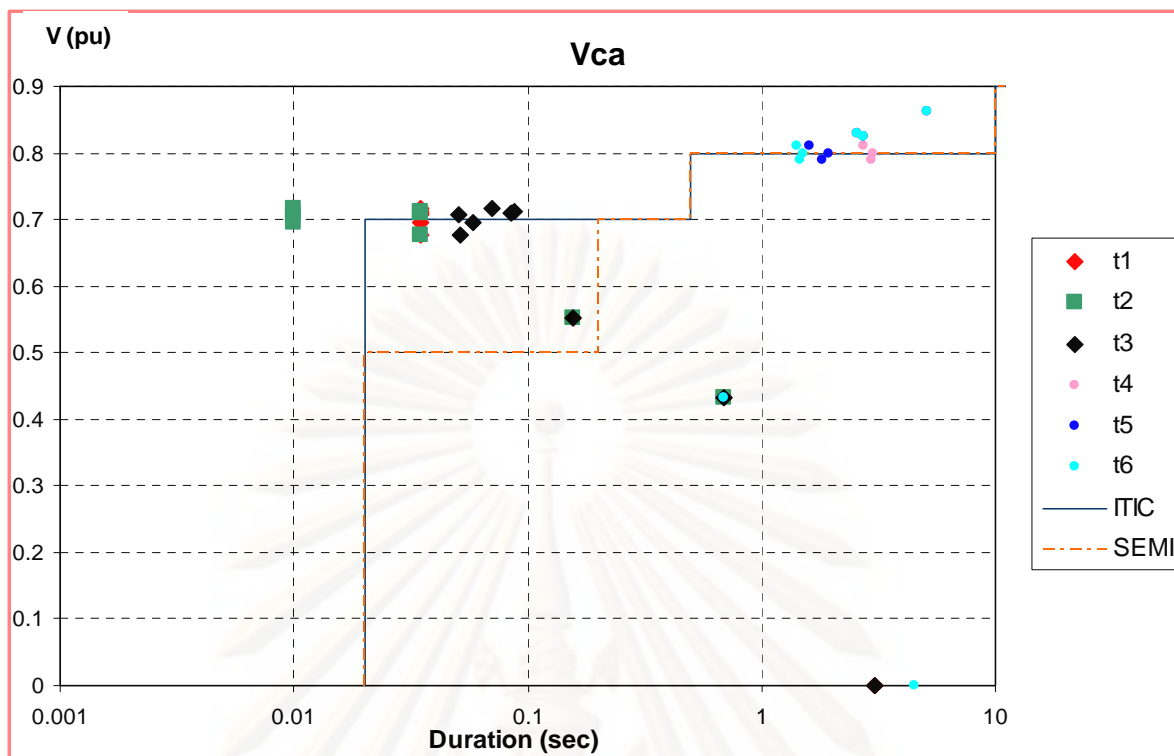
เมื่อแทนค่าขนาดแรงดันสายและระยะเวลาที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่บัส 83 ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน ลงใน magnitude-duration plane สามารถแสดงผลการประเมินโดยใช้มาตรฐาน SEMI F-47 กับ ITIC ดังรูปที่ 5.39 - รูปที่ 5.41



รูปที่ 5.39 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vab ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน



รูปที่ 5.40 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vbc ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน



รูปที่ 5.41 ผลการประเมินของแรงดันสาย Vca ของระบบจำลองเมื่อเกิดฟอลต์แบบเฟสกับเฟสลงดิน

จากผลการประเมินระบบจำลองที่ทำการปรับความยาวสายป้อนของสถานีไฟฟ้าย่อยวัด บำเพ็ญสามารถทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะเมื่อทำการปรับปรุงระบบ ป้องกันทุกกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรดังตารางที่ 5.45 – ตารางที่ 5.46 โดยไม่พิจารณาผลในกรณี ที่เกิดฟอลต์ในบัสที่อยู่ในสายป้อนย่อยเดียวกันกับตำแหน่งที่สนใจเนื่องจากกรณีดังกล่าวถือว่าเป็นการ เกิดไฟฟ้าดับ

และสามารถทำการเปรียบเทียบจำนวนครั้งของการเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47 ของแรงดันสายระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงระบบป้องกันทุกกรณีดังตารางที่ 5.47 – ตารางที่ 5.52 ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.45 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะของระบบจำลอง
ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ประเภทของ ฟอลต์	กรณีของ การป้องกัน	ขนาด			ระยะเวลา
		Vab	Vbc	Vca	
สามเฟสฟอลต์	T2	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 70.89 %
	T3	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 11.73 %
1 เฟสลงดิน	T2	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 71.43 %
	T3	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 8.16 %
เฟสกับเฟส	T2	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 71.43 %
	T3	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 47.67 %
เฟสกับเฟสลงดิน	T2	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 71.43 %
	T3	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 91.66 %

ตารางที่ 5.46 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะของระบบจำลอง
ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ประเภทของ ฟอลต์	กรณีของ การป้องกัน	ขนาด			ระยะเวลา
		Vab	Vbc	Vca	
สามเฟสฟอลต์	T4	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
	T5	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 70.89 %
	T6	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 11.73 %
1 เฟสลงดิน	T4	เพิ่มขึ้น 36.0 %	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 37.24 %	เพิ่ม > 0.598 sec
	T5	เพิ่มขึ้น 36.0 %	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 37.24 %	เพิ่ม > 0.0061 sec
	T6	เพิ่มขึ้น 36.0 %	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 37.24 %	เพิ่ม > 0.598 sec
เฟสกับเฟส	T4	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
	T5	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ลดลง 71.43 %
	T6	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 47.67%
เฟสกับเฟสลงดิน	T4	เพิ่มขึ้น 19.70 %	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 21.40 %	เพิ่ม > 4.95 sec
	T5	เพิ่มขึ้น 19.70 %	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 21.40 %	เพิ่ม > 4.95 sec
	T6	เพิ่มขึ้น 19.70 %	ไม่เปลี่ยนแปลง	เพิ่มขึ้น 21.40 %	เพิ่ม > 4.95 sec

ตารางที่ 5.47 เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vab ของระบบจำลองที่หลุดจากมาตรฐานITIC/SEMI F-47
ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ประเภทของฟอลต์	T1		T2		T3	
	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI
สามเฟสฟอลต์	6	6	2	2	6	6
1 เฟสลงดิน	10	4	8	3	10	4
เฟสกับเฟส	2	2	1	1	2	2
เฟสกับเฟสลงดิน	3	2	2	1	3	2

ตารางที่ 5.48 เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vab ของระบบจำลองที่หลุดจากมาตรฐานITIC/SEMI F-47
ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ประเภทของฟอลต์	T4		T5		T6	
	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI
สามเฟสฟอลต์	6	6	2	2	6	6
1 เฟสลงดิน	3	3	3	3	4	4
เฟสกับเฟส	2	2	1	1	2	2
เฟสกับเฟสลงดิน	1	1	1	1	2	2

ตารางที่ 5.49 เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน Vbc ของระบบจำลองที่หลุดจากมาตรฐานITIC/SEMI F-47
ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ประเภทของฟอลต์	T1		T2		T3	
	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI
สามเฟสฟอลต์	6	6	2	2	6	6
1 เฟสลงดิน	5	5	4	4	5	5
เฟสกับเฟส	5	5	1	1	5	5
เฟสกับเฟสลงดิน	8	8	4	4	8	8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.50 เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน V_{bc} ของระบบจำลองที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47
ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

ประเภทของฟอลต์	T4		T5		T6	
	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI
สามเฟสฟอลต์	6	6	2	2	6	6
1 เฟสลงดิน	4	4	4	4	5	5
เฟสกับเฟส	5	5	1	1	5	5
เฟสกับเฟสลงดิน	7	7	7	7	8	8

ตารางที่ 5.51 เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน V_{ca} ของระบบจำลองที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47
ในกรณีของระบบที่มีการต่อลงดินโดยตรง

ประเภทของฟอลต์	T1		T2		T3	
	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI
สามเฟสฟอลต์	6	6	2	2	6	6
1 เฟสลงดิน	7	4	6	3	7	4
เฟสกับเฟส	2	2	1	1	2	2
เฟสกับเฟสลงดิน	5	2	3	1	5	2

ตารางที่ 5.52 เปรียบเทียบจำนวนครั้งของแรงดัน V_{ca} ของระบบจำลองที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47
ในกรณีของระบบที่มีการต่อความต้านทานลงดิน

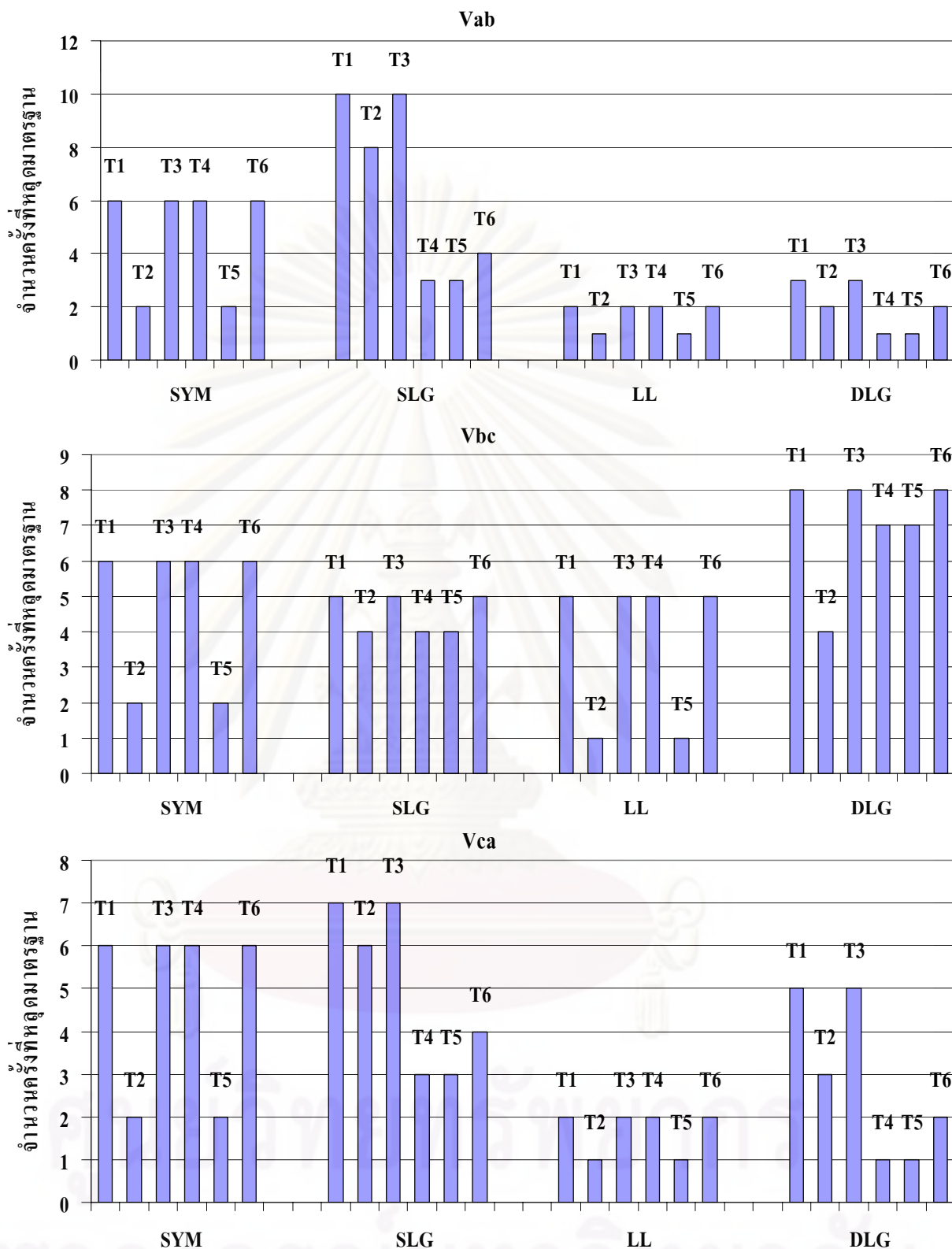
ประเภทของฟอลต์	T4		T5		T6	
	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI	ITIC	SEMI
สามเฟสฟอลต์	6	6	2	2	6	6
1 เฟสลงดิน	3	3	3	3	4	4
เฟสกับเฟส	2	2	1	1	2	2
เฟสกับเฟสลงดิน	1	1	1	1	2	2

สำหรับตารางสรุปผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC และมาตรฐาน SEMI F-47 แสดงดังตารางที่ 5.53 – ตารางที่ 5.54 ตามลำดับ และแผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC และมาตรฐาน SEMI F-47 ของระบบจำลอง แสดงดังรูปที่ 5.42 – รูปที่ 5.43 ตามลำดับ

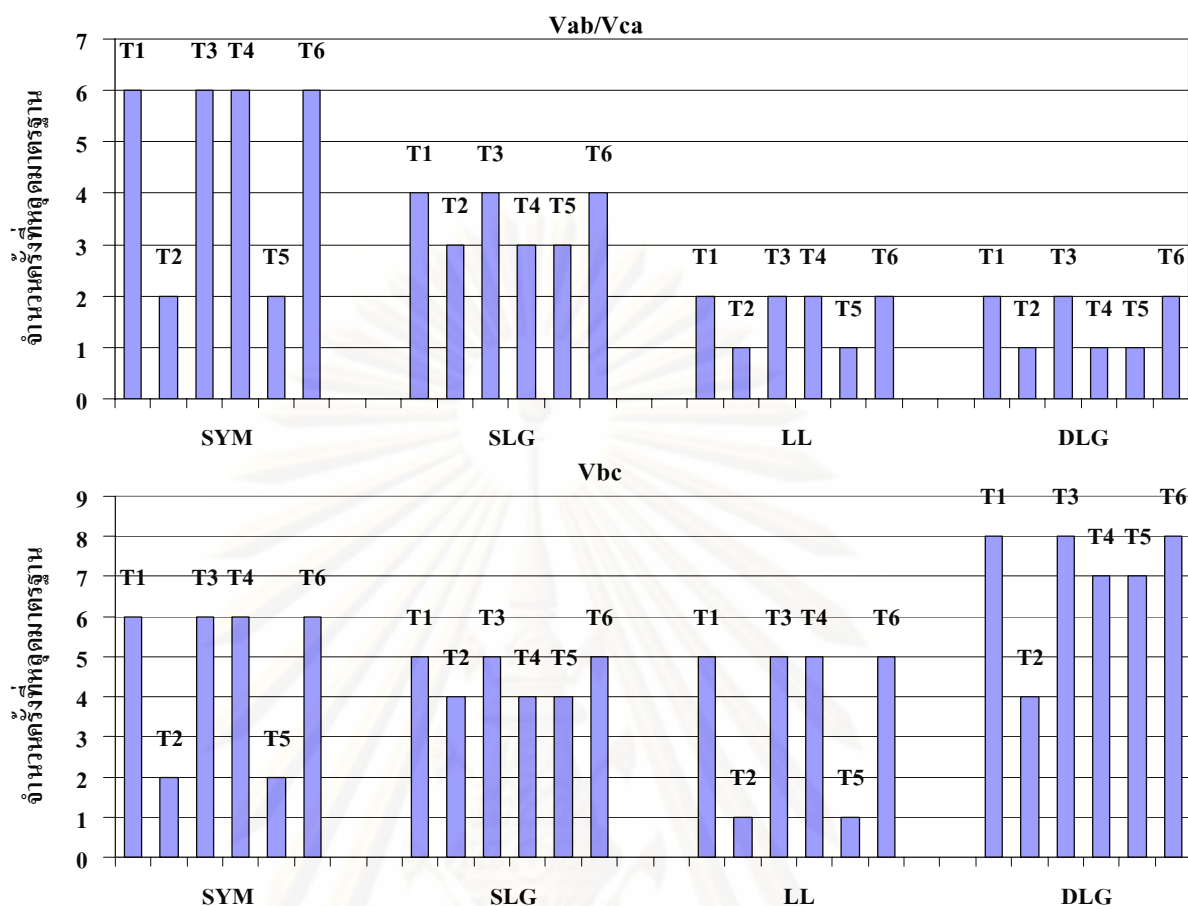
ตารางที่ 5.53 สรุปผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC ของระบบจำลอง

ประเภทของการเกิดฟอลต์		สามเฟสฟอลต์			1 เฟสลงดิน			เฟสกับเฟส			เฟสกับเฟสลงดิน		
แรงดันสาย		Vab	Vbc	Vca	Vab	Vbc	Vca	Vab	Vbc	Vca	Vab	Vbc	Vca
T1		6	-	-	10	5	7	2	5	2	3	8	5
T2	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	2	-	-	8	4	6	1	1	1	2	4	3
	ผลการเปรียบเทียบ	-4	-	-	-2	-1	-1	-1	-4	-1	-1	-4	-2
T3	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	6	-	-	10	5	7	2	5	2	3	8	5
	ผลการเปรียบเทียบ	0	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	6	-	-	3	4	3	2	5	2	1	7	1
	ผลการเปรียบเทียบ	0	-	-	-7	-1	-4	0	0	0	-2	-1	-4
T5	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	2	-	-	3	4	3	1	1	1	1	7	1
	ผลการเปรียบเทียบ	-4	-	-	-7	-1	-4	-1	-4	-1	-2	-1	-4
T6	จำนวนครั้งที่หลุด มาตรฐาน	6	-	-	4	5	4	2	5	2	2	8	2
	ผลการเปรียบเทียบ	0	-	-	-6	0	-3	0	0	0	-1	0	-3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.42 แผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC ของระบบจำลอง



รูปที่ 5.43 แผนภูมิแสดงผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน SEMI F-47 ของระบบจำลอง

จากผลการเปรียบเทียบผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะตามมาตรฐาน ITIC/ SEMI F-47 ของระบบจำลองจะเห็นได้ว่า ผลของการปรับเปลี่ยนความยาวสายจะทำให้ระบบมีจำนวนครั้งที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/ SEMI F-47 น้อยกว่าระบบจริงที่มีความยาวสายน้อยกว่า นั่นคือค่าอิมพีแดนซ์ของระบบจะมีผลต่อการเกิดแรงดันตกชั่วขณะด้วยเช่นกัน และผลของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับระบบจริง นั่นคือเมื่อใช้ Current Limiting Fuse แทน Explosion Fuse สามารถลดผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะได้ทุกรูปแบบของฟอลต์ที่เกิดในระบบ และหากติดตั้ง NGR ร่วมกับระบบป้องกันปกติหรือติดตั้ง NGR ร่วมกับ Current Limiting Fuse จะยังสามารถลดผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะในกรณีที่เกิดฟอลต์ลงดินได้ดียิ่งขึ้น

ส่วนการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันโดยใช้ Recloser แทน Explosion Fuse สามารถลดผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะได้ในบางรูปแบบของฟอลต์ และลดผลกระทบได้เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการปรับปรุงแบบอื่นๆ ส่วนเมื่อทำการติดตั้งร่วมกับ NGR ก็ลดผลกระทบได้เพียงเล็กน้อยเช่นกัน

จากผลการประเมินระบบจริงและระบบจำลองจะเห็นได้ว่า กรณีที่ระบบมีการปรับปรุงระบบป้องกันโดยใช้ Current Limiting Fuse แทน Explosion Fuse ในสายป้อนย่อยจะมีกรณีที่เกิดปรากฏการณ์ไฟฟ้าดับเกิดขึ้นในบางกรณีขึ้นกับตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ แต่หากระบบมีการปรับปรุงระบบป้องกันโดยใช้ Recloser แทน Explosion Fuse ในสายป้อนย่อยจะไม่เกิดกรณีที่เกิดปรากฏการณ์ไฟฟ้าดับเกิดขึ้นไม่ว่าจะเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งใดก็ตาม

ผลที่ได้สอดคล้องกับแนวทางการลดผลกระทบแรงดันตกชั่วขณะนั้นคือ ในกรณีที่เปลี่ยนจากการใช้ Current Limiting Fuse แทน Explosion Fuse หรือการใช้ Recloser แทน Explosion Fuse สำหรับสายป้อนย่อยนั้น สามารถช่วยลดระยะเวลาในการเกิดแรงดันตกชั่วขณะเมื่อเกิดฟอลต์ที่สายป้อนย่อยลงได้ สามารถดูได้จากผลการประเมินที่มีจำนวนครั้งของแรงดันที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F-47 ลดลง แต่การใช้ Recloser แทน Explosion Fuse นั้นหากต้องการให้ลดผลกระทบจากการเกิดแรงดันตกชั่วขณะอาจทำได้โดยลดระยะเวลาในการ Reclose ให้เร็วขึ้นซึ่งปกติสามารถตั้งได้ตั้งแต่ช่วง 0.5 – 5 วินาที หรืออาจทำการเลือกให้ทำงานแบบ Instantaneous ก็ได้

ส่วนในกรณีที่ทำการต่อความต้านทานลงดินจะเป็นการทำให้แรงดันสายมีค่าสูง ทำให้ปัญหาเรื่องแรงดันตกชั่วขณะลดลง สามารถดูได้จากผลการประเมินที่มีจำนวนครั้งของแรงดันที่หลุดจากมาตรฐาน ITIC/SEMI F47 ลดลง แต่จะเป็นการช่วยลดผลกระทบของปัญหาแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากการเกิดฟอลต์ลงดินเท่านั้นไม่สามารถลดผลกระทบในกรณีของการเกิดฟอลต์แบบอื่นๆ ได้

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้ากำลังเนื่องจากการเกิดฟอลต์ โดยใช้วิธีตำแหน่งการเกิดฟอลต์ และได้ศึกษาวิธีการสร้างและใช้งานแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ของระดับแรงดันตกชั่วขณะที่เปรียบเทียบตามการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันในรูปแบบต่างๆ เพื่อทำการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับนำมาใช้ในการคำนวณเพื่อช่วยในการประเมินแรงดันตกชั่วขณะเมื่อมีการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันให้มีความสะดวก รวดเร็ว และถูกต้องแม่นยำมากขึ้น โดยเน้นปรับปรุงโปรแกรมให้มีความสะดวกและเหมาะสมกับการใช้งานในการประเมินระบบจริง

การพัฒนาโปรแกรมได้ใช้โปรแกรม Microsoft Excel ที่มีการเชื่อมต่อกับโปรแกรม MATLAB ในการสร้างโปรแกรมประเมินแรงดันตกชั่วขณะ เนื่องจากมีความสะดวกต่อผู้ใช้งาน เนื่องจากเป็นโปรแกรมพื้นฐานที่ใช้งานง่าย ซึ่งการรับคำสั่งจะรับจากโปรแกรม Microsoft Excel โดยตรง และแสดงผลกลับไปโปรแกรม Microsoft Excel โดยมี MATLAB ทำหน้าที่เป็นเครื่องจักรในการคำนวณ โดยผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับ MATLAB เลย การพัฒนาโปรแกรมได้ออกแบบให้ง่ายต่อการป้อนข้อมูลในส่วนต่างๆของระบบ ซึ่งสามารถหาข้อมูลได้จากระบบ GIS ที่มีใช้งานในการไฟฟ้านครหลวง โดยข้อมูลที่ได้จาก GIS จะบอกรายละเอียดว่าบัสใดที่อยู่กับบัสใดบ้าง มีระยะทางเท่าใด และมีค่าพารามิเตอร์ของสายนั้นๆ เป็นเท่าใด ซึ่งผู้ใช้งานสามารถนำค่ามาป้อนในโปรแกรมได้โดยง่าย นอกจากนี้ในส่วนการป้อนข้อมูลของระบบป้องกันกรณีต่างๆ ผู้ใช้งานสามารถกำหนดการจัดลำดับความสัมพันธ์ใหม่ๆ ในส่วนของการป้องกันด้านสายป้อนเพื่อนำมาเปรียบเทียบผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันได้ทุกกรณี ในส่วนของการประเมินได้ออกแบบให้สามารถเลือกรูปแบบของฟอลต์ในการประเมินเพื่อให้เหมาะสมกับชนิดของอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งที่สนใจ และสามารถกำหนดค่าอัตราการเกิดฟอลต์เพื่อเป็นการกำหนดจำนวนตำแหน่งการเกิดฟอลต์ที่ต้องการพิจารณาได้ตามต้องการเพื่อดูแนวโน้มผลกระทบจากการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้าได้

การประเมินนี้คิดเฉพาะแรงดันตกชั่วขณะที่มีผลมาจากการเกิดฟอลต์ในระบบ ดังนั้นการที่พิจารณาผลกระทบของการปรับเปลี่ยนระบบป้องกันที่มีต่อการประเมินแรงดันตกชั่วขณะในระบบไฟฟ้าเป็นการหาแนวทางเพื่อเป็นแนวทางในการลดผลกระทบแรงดันตกชั่วขณะลงได้ ซึ่งในที่นี้เป็นการปรับปรุงระบบป้องกันเพื่อลดระยะเวลาในการกำจัดฟอลต์ โดยการใช้ Current Limiting

Fuse หรือ Recloser แทนการใช้ Explosion Fuse สำหรับสายป้อนย่อย ซึ่งจะเห็นได้ว่าสามารถช่วยลดระยะเวลาในการเกิดแรงดันตกชั่วขณะลงได้

ซึ่งข้อจำกัดของอุปกรณ์ต่างๆ คือ Current Limiting Fuse มีพิกัดกระแสในช่วงที่จำกัด และ Current Limiting Fuse มีน้ำหนักมากกว่า Explosion Fuse ทั่วไปซึ่งเป็นผลให้รูปแบบการติดตั้งต้องมีการปรับเปลี่ยน รวมทั้งต้องทำการฝึกผู้ปฏิบัติงานด้านสายจำหน่ายเพื่อทำการติดตั้ง Current Limiting Fuse และการใช้ Current Limiting Fuse ถึงแม้ว่าจะสามารถลดระยะเวลาในการกำจัดฟอลต์ได้มากกว่าการใช้ Recloser ก็ตาม แต่หากเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง Downstream ของ Current Limiting Fuse จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดไฟฟ้าดับส่งผลให้ค่า SAIDI ของระบบไฟฟ้าสูงขึ้น ส่วนการใช้ Recloser สามารถกำหนดให้ทำงานที่ Instantaneous curve ได้ตั้งแต่เวลา 0.5- 5 วินาที ขึ้นกับความต้องการใช้งาน แต่ควรหลีกเลี่ยงในกรณีที่มี Induction Machine หรือ Synchronous Machine มากๆ และการใช้ Current Limiting Fuse หรือ Recloser แทนการใช้ Explosion Fuse นั้นจะมีค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงมากกว่า Explosion Fuse อยู่ประมาณ 3-4 เท่า ดังนั้นหากจะทำการปรับปรุงระบบด้วยวิธีการใช้ Current Limiting Fuse หรือ Recloser นี้ อาจทำกับสถานีไฟฟ้าย่อยที่มีโหลดที่มีความสำคัญมากๆ หรือสถานีไฟฟ้าย่อยที่อยู่ใกล้เทคนิคอุตสาหกรรมที่ต้องการความมั่นคงและความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าในระดับสูง

ส่วนเทคนิคการปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้ขนาดของแรงดันตกชั่วขณะลดลงเพื่อการลดปัญหาแรงดันตกชั่วขณะจากการเกิดฟอลต์แบบฟอลต์ลงดินเส้นเดียว ทำได้โดยใช้ Neutral Ground Resistor (NGR) เพื่อทำให้แรงดันสายของระบบสูงขึ้นเป็นการลดผลกระทบของปัญหาแรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากการเกิดฟอลต์ลงดินได้ แต่จะไม่สามารถลดผลกระทบในกรณีของการเกิดฟอลต์แบบอื่นๆ ได้ แต่วิธีการนี้ทำให้เกิดผลกระทบข้างเคียงเนื่องจากจะทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นกับอีกสองเฟสที่เหลือ จึงทำให้ต้องเปลี่ยนขนาดแรงดันใช้งานของกัปดักฟ้าผ่า (Lightning Arrester) และถูกด้วยฉนวน และข้อเสียที่ต้องนำมาพิจารณาหากจำเป็นต้องทำการต่อค่าความต้านทานลงดินคือวิธีการนี้เป็นการจำกัดกระแสฟอลต์ให้มีค่าลดลง ซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์ป้องกันต้องใช้ระยะเวลานานเนื่องจากกระแสฟอลต์มีค่าต่ำ อย่างไรก็ตาม เมื่อสามารถทำการปรับปรุงระบบป้องกันเพื่อให้ผลการประเมินแรงดันตกชั่วขณะดีขึ้นแล้ว ผลที่ได้จากการประเมินนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อแสดงแนวโน้มการเกิดแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์ของระบบที่การไฟฟ้าสามารถให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ต้องการทราบข้อมูลของระบบ ณ ตำแหน่งที่เชื่อมต่ออยู่เพื่อใช้ประโยชน์ในการเลือกติดตั้งอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน หรือตั้งค่าอุปกรณ์ป้องกันแรงดันตกให้เหมาะสมกับระบบเพื่อลดผลกระทบอันเนื่องมาจากแรงดันตกชั่วขณะที่สามารถเกิดขึ้นได้ในรอบปี

ข้อเสนอแนะที่สามารถทำต่อไปสำหรับในส่วนของวิธีการประเมิน คือการปรับปรุงให้สามารถเลือกรูปแบบระบบป้องกันที่กว้างขึ้น เช่นสามารถกำหนดได้ว่าสายป้อนย่อยต่างๆ ของสถานีไฟฟ้าย่อยสามารถให้กำหนดแยกแต่ละสายป้อนย่อยได้ว่า สายป้อนย่อยใด จะมีอุปกรณ์ป้องกันใดๆ ต่ออยู่ เพื่อให้ระบบป้องกันมีความยืดหยุ่นขึ้น และมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงเนื่องจากไม่จำเป็นต้องทำการเปลี่ยนทุกๆ สายป้อนย่อยที่มีในสถานีไฟฟ้าย่อยนั้นๆ หรือเพิ่มการพิจารณาในส่วนของอุปกรณ์ป้องกันไปถึงขั้นทุติยภูมิ จากสถิติอัตราการล้มเหลวในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน และสามารถเพิ่มการพิจารณาผลการประเมินแรงดันตกชั่วขณะทางด้านแรงต่ำ เพื่อดูว่าเมื่อเกิดฟอลต์ทางด้านสายป้อน 12/24 kV แล้วทางด้านลูกค้ำที่รับไฟผ่านหม้อแปลงจำหน่ายจะได้รับผลกระทบจากการเกิดแรงดันตกชั่วขณะทั้งแรงดันเฟสและแรงดันสายอย่างไรบ้าง นั่นคือจะมีผลกระทบกับอุปกรณ์ชนิด 1 เฟส หรืออุปกรณ์ชนิด 3 เฟสอย่างไร



ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] IEC 61000-2-8: 2002, Voltage Dips and Short Interruptions on Public Electric Power Supply Systems with Statistical Measurement Results.
- [2] ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาคุณภาพไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่จ่ายให้ผู้ใช้ไฟอุตสาหกรรมที่ต้องการคุณภาพไฟฟ้าสูง, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2548.
- [3] Saadat H. Power system analysis. Singapore, McGraw-Hill, 1999.
- [4] ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, การป้องกันระบบไฟฟ้า.
- [5] ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช, การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง.
- [6] โดศักดิ์ ทศนานุตรริยะ, การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง.
- [7] Math H.J. Bollen, Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions. IEEE Press, 2000.
- [8] G. strbac, Y.S.Lim. Analytical approach to probabilistic prediction of voltage sags on transmission network. IEE Proc-.Generation, Transmission and Distribution, Vol.149 No.1,Jan.2002, p.7-14
- [9] L. Conrad, C. Grigg, K. Little. Predicting and preventing problems associated with remote fault clearing voltage dips. IEEE Trans. Industry Applications, vol 27, no.1,pp. 167-172, Jan/Feb 1991.
- [10] J. A. Martinez-Velasco, J.Martin-Arnedo. Calculation of Voltage Sag Indices for Distribution Networks. IPST05. 19-23 June 2005.
- [11] ฝ่ายวิจัยและพัฒนา การไฟฟ้านครหลวง. ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง และแนวทางการแก้ไข.
- [12] ฝ่ายบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง. Mea's Relay Setting Standard Reference.
- [13] ฝ่ายบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง. Relay Setting and Coordination.
- [14] J. A. Martinez-Velasco, J.Martin-Arnedo. Modeling of protective Devices for Voltage Sag Studies in Distribution Systems. 19-23 June 2005.
- [15] N.Abu Bakar, A. Mohamed, M. Ismail. A Case Study of Voltage Sag Analysis in a Utility Distribution System. PECon 2003.16-17 Nov 2003.p.333-336.
- [16] N.Abu Bakar, A. Mohamed, M. Ismail. Software Development of A Voltage Sag Analysis Tool for Power Quality Study. PECon 2003.p.36-40.
- [17] Shaw Power, Inc., Online Documentation PSS/ADEPT™ 5., April 2004
- [18] นิตติกร เกษพรหม. การประเมินแรงดันตกชั่วขณะเนื่องจากการเกิดฟอลต์ในระบบไฟฟ้ากำลัง. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2546.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ Relay Setting และ Relay Coordination

การศึกษาการจัดลำดับความสัมพันธ์ของระบบป้องกัน [13] นั้นพิจารณาจาก Time-Current Characteristic ของอุปกรณ์ต่างๆ ตั้งแต่ผู้ใช้งานจนถึงแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้า พร้อมกับพิจารณาเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ทั้งจากสถานะปกติและผิดปกติด้วย

การศึกษาการจัดลำดับความสัมพันธ์ของระบบป้องกันที่ได้นั้น จะต้องทำตั้งแต่เริ่มโครงการเพื่อพิจารณาอุปกรณ์ต่างๆที่มีอยู่ในระบบ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า, ขนาดของเคเบิล เป็นต้น และเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ในระบบก็จะต้องมีการพิจารณา Time-Coordination ใหม่ให้เหมาะสมด้วย

วัตถุประสงค์ของการศึกษา Relay Setting และ Relay Coordination คือ

1. เพื่อคำนวณ Characteristic, Rating และ Setting ของอุปกรณ์ป้องกัน
2. เพื่อให้แน่ใจว่า เมื่อมีฟอลต์เกิดขึ้นในระบบ หรือเกิด overload ในส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบแล้ว ส่วนนั้นถูกกำจัดออกไป และส่วนที่ไม่มีฟอลต์ยังคงสามารถจ่ายโหลดปกติ
3. Setting ของอุปกรณ์ป้องกัน สามารถป้องกัน overload ของอุปกรณ์ได้
4. กำจัดฟอลต์เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

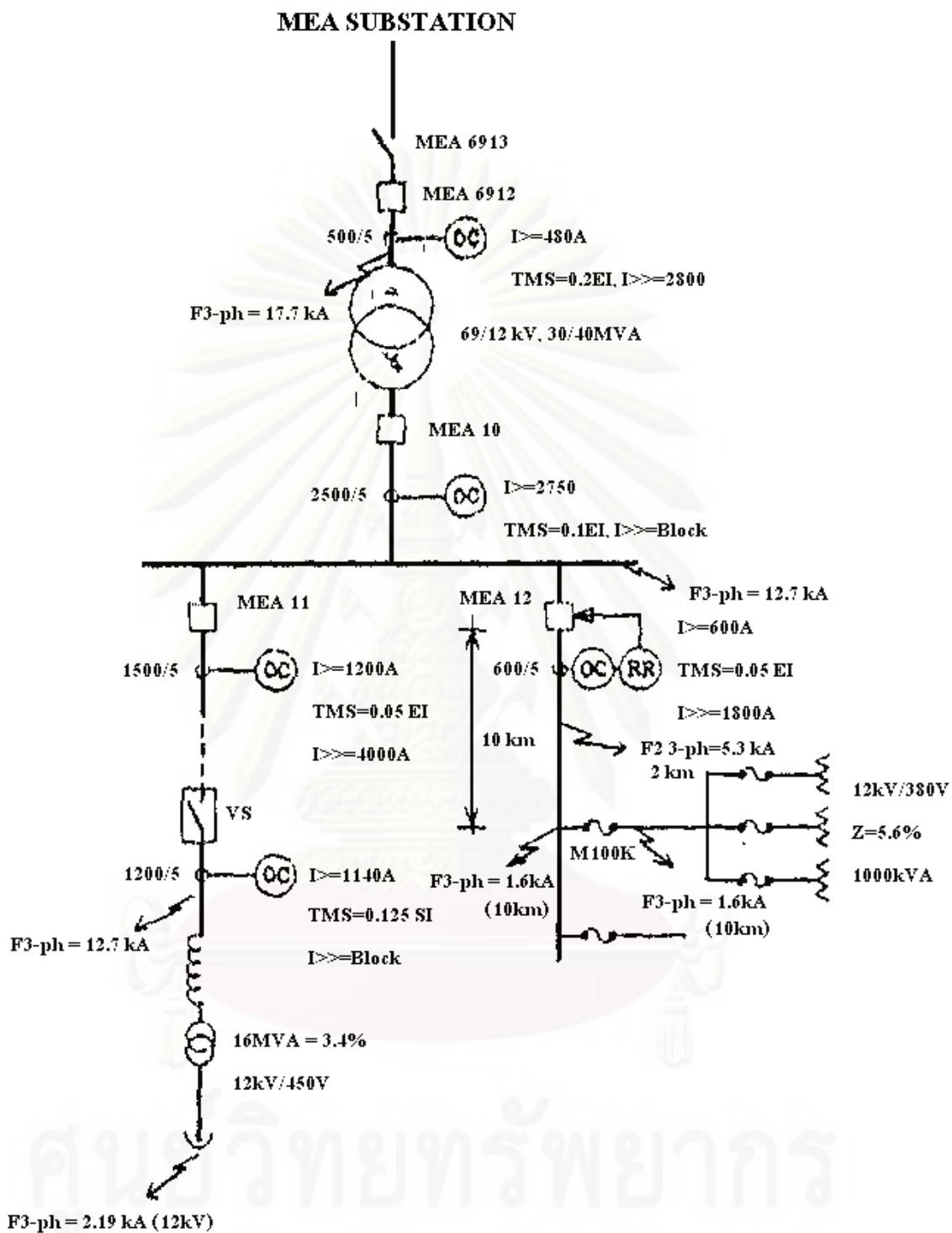
จากประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาการจัดลำดับความสัมพันธ์ตามวัตถุประสงค์ข้างต้นแล้ว ยังมีประโยชน์ในการพิจารณาเพื่อเลือก

1. Instrument Transformer Ratios
2. Protective Relay Characteristic
3. Fuse Rating
4. Characteristic, Settings และ Rating ของ Low-Voltage Circuit Breaker

ข้อกำหนดและขั้นตอนการทำ Relay Coordination เป็นดังนี้

1. Discrimination Time ระหว่าง Relay กับ Relay ประมาณ 0.3 sec. ที่ max.fault
2. Pick-up Setting ประมาณ 125-150% ของ Equipment Rated
3. Discrimination Time ระหว่าง Relay กับ Fuse ประมาณ $0.15-0.6t$ sec. โดยที่ $t = \text{Fuse Operating time}$
4. ทา Time Multiplier ที่ max.fault
5. Recheck Tripping เมื่อเกิด Fault ตาม Setting

ตัวอย่างสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวงสำหรับการคำนวณ Relay Setting และ Relay Coordination ที่แสดงดังรูปที่ ก.1

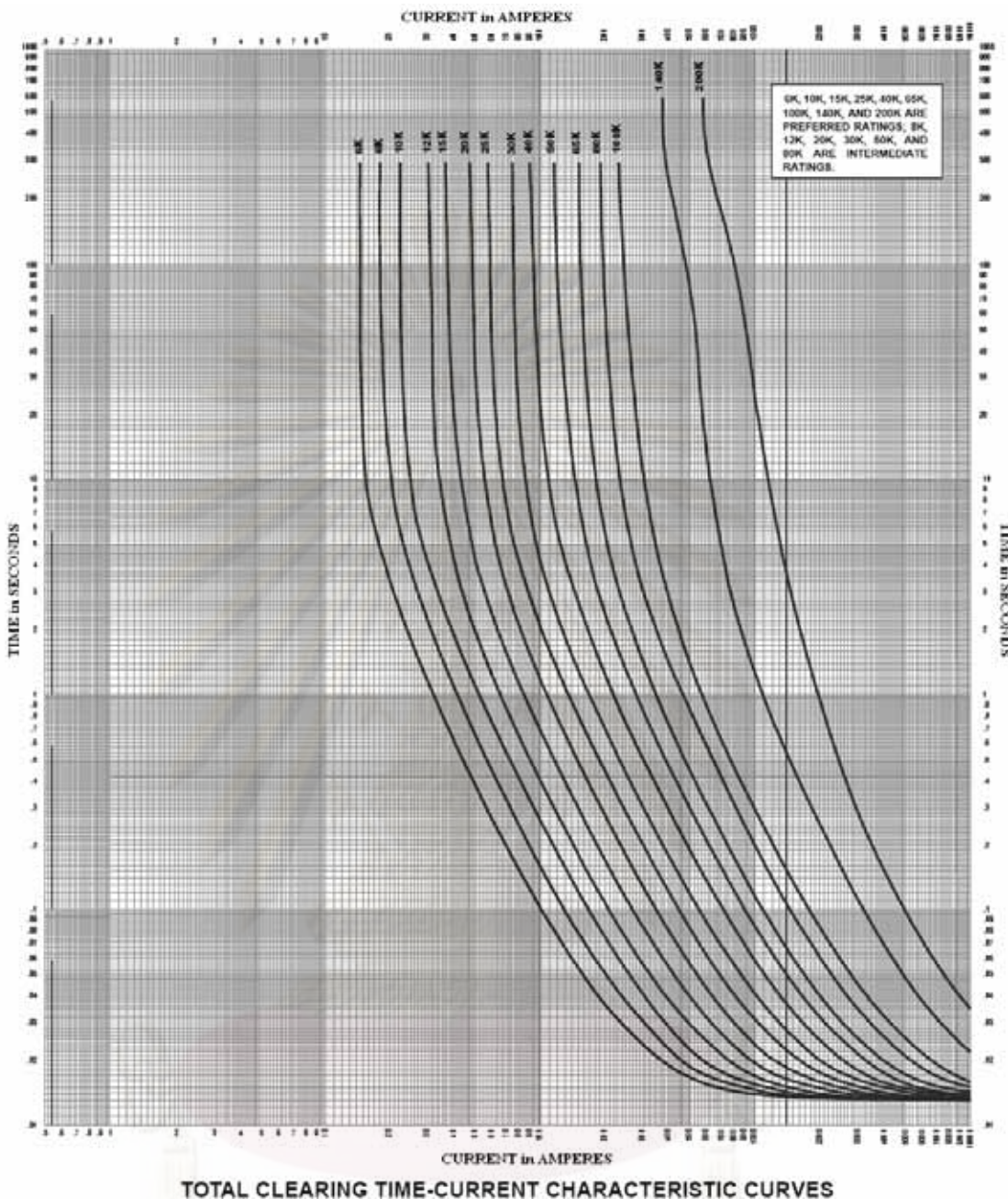


รูปที่ ก.1 ตัวอย่างสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวง

การพิจารณา Coordination ระหว่าง Fuse กับ Relay

ที่จุด Fa : Fault Current	= 1.6	kA
จาก Time Curve ของ Fuse M100K ตามรูปที่ ก.2 จะได้		
Operating Time	= 0.145	sec.
พิจารณา MEA12		
Pick-up Current, I>	= 600	A
หรือ I>	= 5	A
เพื่อให้มี Discrimination time	= 0.15-0.6t	
Operating Time ของ MEA12	= 0.15+0.4t	= 0.15 + (0.4*0.145)
	= 0.208	A
หรือ t discrimination	= 0.15-0.6t	= 0.15 - (0.6*0.145)
	= 0.063	A
t MEA12	= 0.063+0.145	= 0.208 sec.
Multiplier per Setting (MPS)	= 1600/600	= 2.66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.2 Time Curve ของ Fuse M100K

เลือก Curve EI สำหรับการ Coordination กับ Fuse

ที่ Time Multiply = 1.0

Operating Time = $80 / ((2.66^2 - 1)) = 13.09 \text{ sec.}, \text{EI curve}$
 $= 0.208 / 13.09 = 0.0158$

เลือก Time Multiply TMS = 0.05, EI

Operating Time at Fault current 1600 A = $13.09 * 0.05 = 0.654 \text{ sec.}$

เลือก set ค่า Instantaneous Pickup, $I_{>>}$ = 1800 A = 3 เท่าของ I_D

$$I_{>>} = 1800 \text{ A (Primary)}$$

$$\text{Secondary Current} = 1800 \times 5 / 600 = 15 \text{ A}$$

สรุป Setting for MEA 12 : $I_{>} = 600 \text{ A}$, $TMS = 0.05 \text{ EI}$, $I_{>>} = 1800 \text{ A}$, $t_{>>} = 0.0 \text{ sec.}$

พิจารณา VS

$$\text{Rated of Arc Furnace} = 866 \text{ A}$$

$$\text{Setting} = 1.3 \times 866 = 1126 \text{ A}$$

$$\text{Secondary Current} = 1126 \times 5 / 1200 = 4.69 \text{ A}$$

$$\text{เลือก } I_{>} = 1140 \text{ A (4.75 A Secondary)}$$

เลือก Fault Current 3 เท่าของ rated จะยอม Fault Duration Time 1.0 sec. (จะน้อยกว่ามาตรฐาน BS171 : 1936)

$$\text{Fault Current} = 3 \times 866 = 2598 \text{ A}$$

$$\text{Secondary Current} = 2598 \times 5 / 1200 = 10.8 \text{ A}$$

$$\text{MPS} = 2598 / 1140 = 2.27$$

$$\text{เลือก Curve SI}$$

$$\text{ที่ TMS เท่ากับ 1.0 : Operating Time} = 0.14 / (2.27^{0.02} - 1) = 8.469 \text{ sec., SI}$$

$$\text{Time Multiply} = 1.0 / 8.469 = 0.118$$

$$\text{เลือก Time Multiply TMS} = 1125 \text{ SI}$$

$$\text{Operating Time ที่ 3 เท่าของ Rated Transformer} = 0.14 \times 0.125 / (2.27^{0.02} - 1) = 1.05 \text{ sec.}$$

$$\text{Operating Time ที่ max.fault 12700A ของ} = 0.14 \times 0.125 / ((1140 / 12700)^{0.02} - 1) = 0.354 \text{ sec.}$$

สรุป Setting for VS : $I_{>} = 1140 \text{ A}$, $TMS = 0.125 \text{ SI}$, $I_{>>} = \text{BLOCK}$

พิจารณา MEA II

$$\text{Pick-up Setting} = 1200 \text{ A}$$

$$\text{Operating Time MEA II at max.fault} = t(\text{VS}) - 0.3 \text{ Sec.}$$

$$\text{Fault Current} = 12700 \text{ A}$$

$$\text{MPS} = 12700 / 1200 = 10.58$$

$$\text{เลือก Curve EI}$$

$$\text{Require Operating Time ของ MEA II} = 0.354 - 0.3 = 0.054 \text{ sec.}$$

$$\text{Time Multiply TMS} = 0.054 \times (10.58^2 - 1) / 80 = 0.074$$

$$\text{เลือก Time Multiply} = 0.05$$

$$\text{Operating Time ที่ max.fault} = 80 \times 0.05 / (10.58^2 - 1) = 0.036 \text{ sec.}$$

เนื่องจาก Vacuum Switch (VS) ไม่สามารถ Break on Fault ได้ แต่สามารถ Break on Load ได้ แต่ VS จะมี Operating Time มากกว่า Circuit Breaker เพราะฉะนั้นในการใช้งานกับเครื่องหลอมโลหะ จะใช้ VS เป็นตัว ปลด-สับ แต่ถ้าขณะเกิดฟอลต์จะให้ Circuit Breaker เป็นตัวปลดโดยที่ VS มี Capacity ดังนี้

$$\text{VS : Irated} = 1600 \text{ A, Ic} = 4 \text{ kA (Ic = Interrupting Capacity of VS)}$$

การ Setting ค่า Instantaneous จะประมาณ 2.5 เท่า ของค่า Irated ของ VS

$$\text{i>> Setting MEA II} = 2.5 \times 1600 = 4000 \text{ A} = \text{Ic}$$

$$\text{Secondary Current} = 4000 \times 5 / 1500 = 13 \text{ A}$$

สรุป Setting MEA II : I> = 1200 A, TMS = 0.05 EI, I>> = 4000 A, t>> = 0.0 sec.

พิจารณา VS

$$\text{Transformer Rated} = 40 \text{ MVA} / (12 \text{ kV} \times \sqrt{3}) = 1924.5 \text{ A}$$

$$\text{Overload} = 1.45 \times 1924.5 = 2790.5 \text{ A}$$

$$\text{Secondary Current} = 2790.5 \times 5 / 2500 = 5.58 \text{ A}$$

$$\text{เลือก Setting I>} = 2750 \text{ A (142.8\% of Transformer Rated)}$$

$$\text{Fault Current} = 12700 \text{ A}$$

MEA II :

$$\text{Operating Time MEA II at max.fault} = 80 \times 0.05 / (10.58^2 - 1)$$

$$= 0.036 \text{ sec}$$

MEA 10 :

$$\text{Operating Time} = 0.036 + 0.3 = 0.336 \text{ sec.}$$

$$\text{MPS} = 12700 / 2750 = 4.618$$

เลือก Curve EI

$$\text{ที่ TMS} = 1.0, \text{ Operating time} = 80 / (4.618^2 - 1) = 3.935 \text{ sec}$$

$$\text{Overload} = 0.336 / 3.935 = 0.085$$

$$\text{เลือก Time Multiply} = 0.1 \text{ EI}$$

$$\text{Operating Time at max.fault} = 80 \times 0.1 / (4.618^2 - 1)$$

$$= 0.393 \text{ sec}$$

สรุป Setting MEA 10 : I> = 2750 A, TMS = 0.1 EI, I>> = BLOCK

พิจารณา MEA 6912

$$\text{Overload Current (69 kV)} = 2750 \times 12 / 69 = 478 \text{ A}$$

Secondary Current	= 478 x 5/500	= 4.78 A
เลือก Setting I>	= 480	A
Fault Current (69 kV)	= 12700 x 12/69	= 2208.69 A
Secondary Current	= 2208.69 x 5/500	= 22.08 sec
MPS	= 2208.69/480	= 4.601
เลือก Curve EI		
ที่ TMS = 1.0, Operating time	= 80/(4.601 ² - 1)	= 3.99 sec
พิจารณา ϕ - ϕ fault 12 kV Side, I ϕ - ϕ	= 12700 x ($\sqrt{3}/2$)	= 10998.52 A
Operating Time MEA 10 ϕ - ϕ fault	= 80 x 0.1/((10998.52/2750) ² - 1)	
	= 0.533	sec
Operating Time ของ MEA 6912	= 0.533 + 0.3	= 0.833 sec
Time Multiply TMS	= 0.833/3.99	= 0.208
เลือก TMS	= 0.2EI	
Operating Time at max.fault (12 kV)	= 0.793	sec
Set ค่า Instantaneous, I>>	= (1.2 - 1.3) Through Fault Current	
	= 1.3 x (12700 x 12/69)	= 2871.3 A
เลือก I>>	= 2800	A
หรือ I>>	= 16100	A at 12 kV side
สรุป Setting MEA 6912 : I> = 480 A, TMS = 0.2 EI, I>> = 2800 A, t>> = 0.0 sec.		

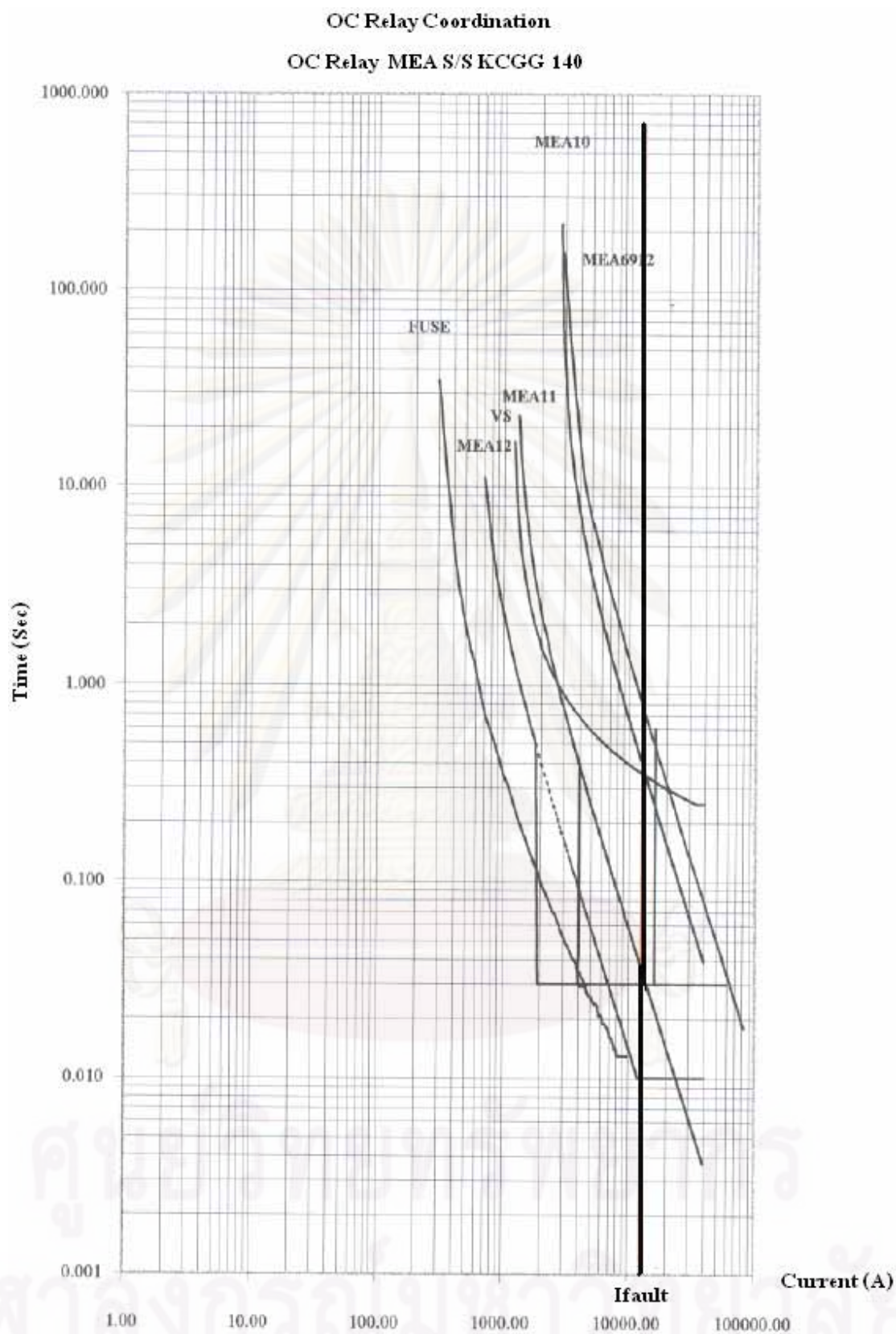
กรณีเกิด Fault at Bus 12 kV (Recheck)

MEA 11 :		
Fault Current	= 12700	A
Operating Time	= 0.03	Sec (Trip ด้วย Instantaneous)
MEA 10 :		
Fault Current	= 12700	A
Operating Time	= 0.393	Sec
MEA 6912 :		
Fault Current Transfer to 69 kV	= 12700 x 12/69	= 2208.69 A
Operating Time	= 0.793	Sec
Fault Current at 69 kV	= 17700	A
Operating Time	= 0.03	Sec (Trip ด้วย Instantaneous)

ผลการคำนวณการจัดลำดับความสัมพันธของระบบป้องกันสำหรับตัวอย่างสถานีไฟฟ้า
ย่อยของการไฟฟ้านครหลวงสามารถสรุปได้ดังตารางที่ ก.1 และแสดง Time-Coordination ดังรูปที่
ก.3

ตารางที่ ก.1 Overcurrent Relay KCGG 140 Setting สำหรับ
ตัวอย่างสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวง

Device No.	I> (A-Pri)	TMS (IEC255-4)	I>> (A-Pri)	CT.Ratio
MEA.II	1200	0.05, EI	4000	1500/5
VS	1140	0.125, EI	BLOCK	1200/5
MEA.12	600	0.05, EI	1800	600/5
MEA.10	2750	0.10, EI	BLOCK	2500/5
MEA.6912	480	0.20, EI	2800	500/5



รูปที่ ก.3 Time-Coordination สำหรับตัวอย่างสถานีไฟฟ้าย่อยของการไฟฟ้านครหลวง

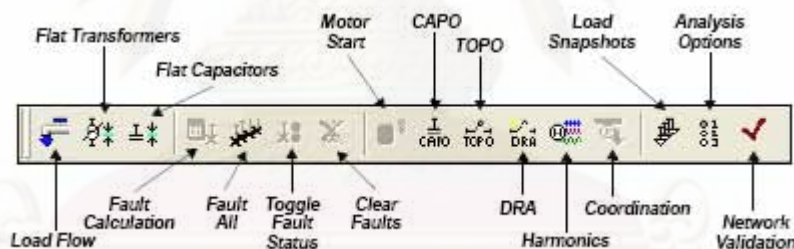
ภาคผนวก ข

การประยุกต์ใช้โปรแกรม PSS-ADEPT 5.0 สำหรับการคำนวณฟอลต์ในระบบไฟฟ้า

โปรแกรม PSS/ADEPT [17] มีความสามารถของการทำงานในการวิเคราะห์และออกแบบต่างๆดังนี้

- การสร้างแบบจำลองของ network ของระบบไฟฟ้า
- การวิเคราะห์ทางด้านวิศวกรรมซึ่งใช้แหล่งจ่ายไฟหลายแหล่งและมี โหนด หลาย โหนด
- การแสดงผลการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมบน Network Diagram
- การสร้างเป็นรายงานซึ่งแสดงผลของการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม
- การระบุและปรับปรุงข้อมูลของอุปกรณ์ในระบบ

ดังนั้นเราสามารถจะใช้โปรแกรม PSS/ADEPT สำหรับวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าในแบบต่างๆ ได้โดยง่าย ซึ่งผู้ใช้งานสามารถสร้างและปรับปรุงเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆของ network ผ่านทาง toolbar ดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 Toolbar ของโปรแกรม

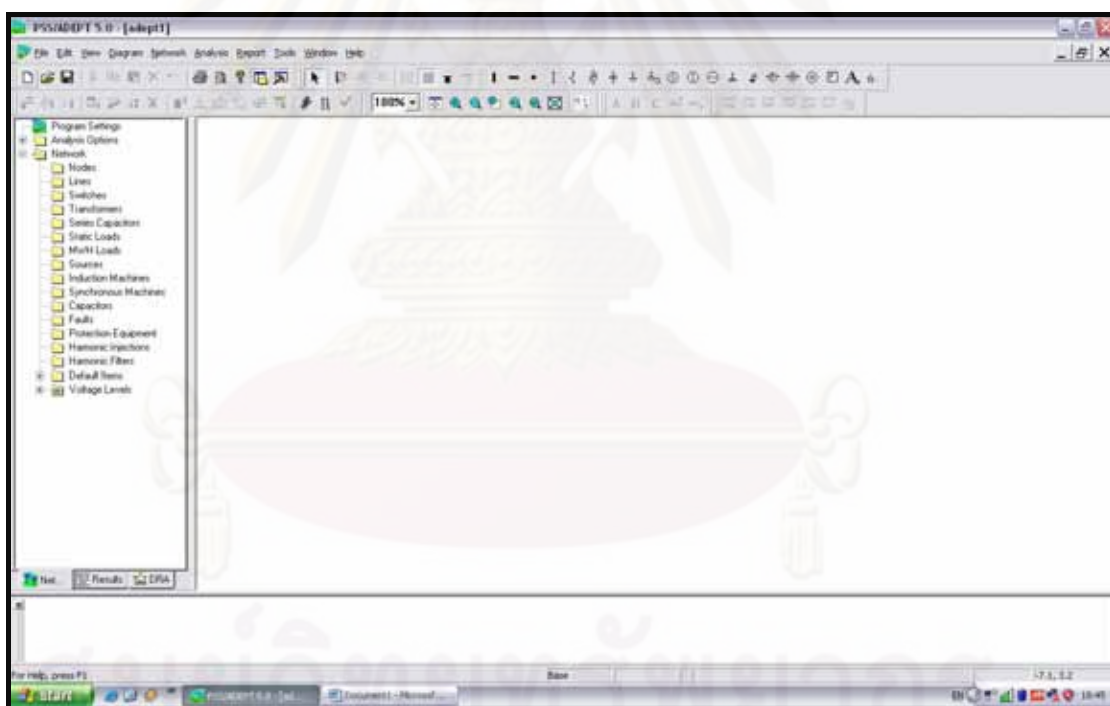
โดย toolbar ทั้งหมดที่ใช้งานมีรายละเอียดดังนี้

- Load Flow: แสดง Load Flow แบบ Steady State
- Flat Transformers: สำหรับตั้งค่า tap ของหม้อแปลง
- Fault Calculation: แสดงการคำนวณ Short Circuit ที่แต่ละ โหนด ที่เกิด fault ขึ้น
- Fault All: แสดงการคำนวณ Short Circuit ที่ทุกๆ โหนด
- Toggle Fault Status: สำหรับปรับเปลี่ยน status ของ fault
- Clear Fault : สำหรับลบ fault ออกจากระบบ
- Motor Starting Calculation: สำหรับคำนวณการสตาร์ทของมอเตอร์
- CAPO Analysis: สำหรับแสดง Capacitor Placement Optimization

- TOPO Analysis: สำหรับแสดง tie open point Optimization
- DRA Analysis: สำหรับการวิเคราะห์ reliability ของระบบจำหน่าย
- Harmonics Calculation: สำหรับการวิเคราะห์ฮาร์มอนิก
- Coordination: สำหรับการวิเคราะห์การ coordination ของอุปกรณ์ Protection ในระบบ
- Load Snapshots: สำหรับอธิบายรูปของข้อมูลโหลดซึ่งถูกเลือกมาใช้ในการวิเคราะห์
- Analysis Option: สำหรับแสดงรูปแบบของการวิเคราะห์
- Network Validation: สำหรับตรวจสอบสถานการณ์ผิดปกติในระบบ

ซึ่งในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม PSS/ADEPT สำหรับการวิเคราะห์การเกิดฟลด์ในระบบไฟฟ้า

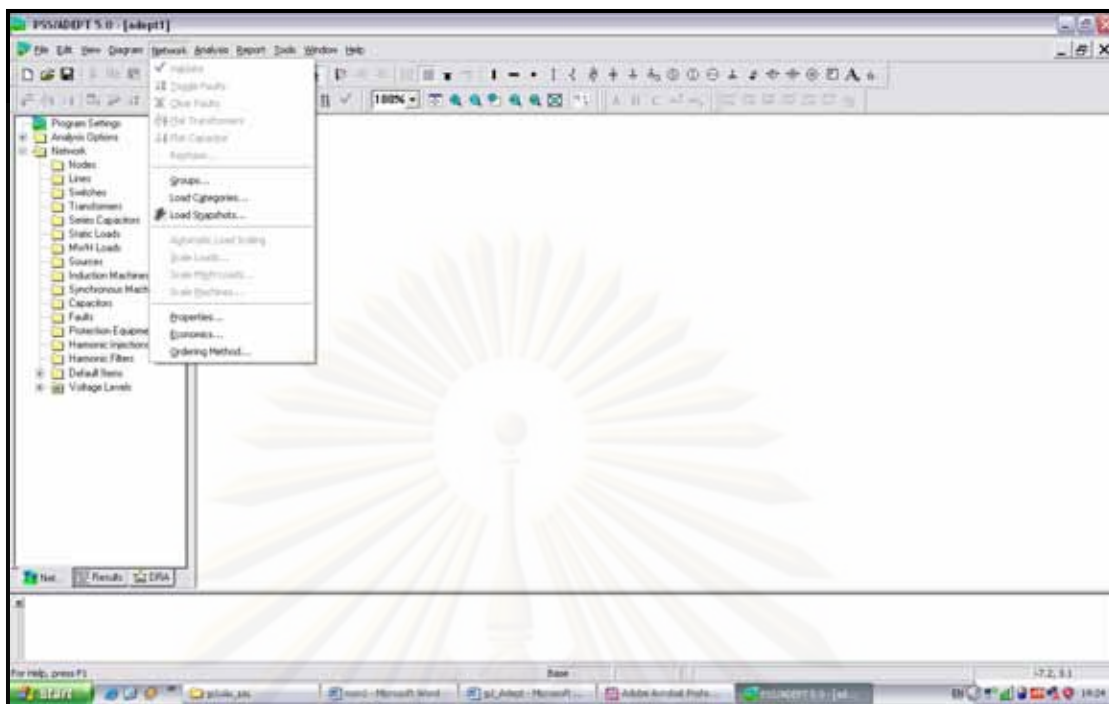
เมื่อเปิดโปรแกรม PSS/ADEPT ขึ้นมานั้น โปรแกรมจะเปิดหน้าต่างขึ้นมาให้โดยอัตโนมัติ แต่หากต้องการสร้าง diagram ใหม่ขึ้นมาอีกก็สามารถทำได้โดยการคลิกที่ปุ่ม new ที่ toolbar หรือเลือก File ที่เมนูหลัก แล้วเลือก New จะแสดง diagram ใหม่ดังรูปที่ ข.2



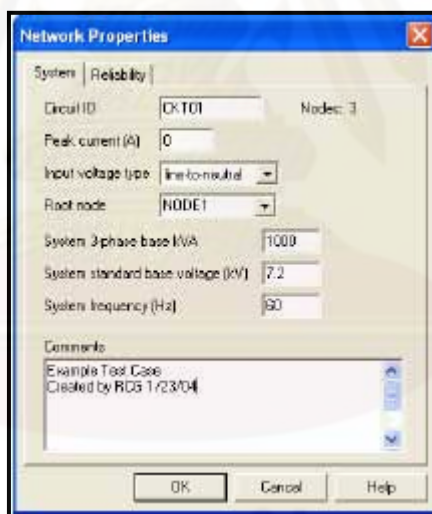
รูปที่ ข.2 การสร้าง diagram ใหม่

การตั้งค่าคุณสมบัติของ network model สามารถทำได้ดังขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เลือก Network ที่เมนูหลักแล้วเลือก Properties ดังรูปที่ ข.3 โปรแกรมก็จะเปิดหน้าต่างต่าง Network Properties ขึ้นมาดังรูปที่ ข.4 ตามลำดับ



รูปที่ ข.3 ขั้นตอนการตั้งค่าคุณสมบัติของ network model



รูปที่ ข.4 หน้าต่าง Network Properties

2. จากรูปที่ ข.4 แสดงหน้าต่างคุณสมบัติของ Network สามารถที่จะตั้งค่าต่างๆได้ดังนี้

- Peak current (A) สำหรับระบุ peak current ของ Substation หน่วยเป็น แอมป์
- Input voltage type: ใช้ระบุชนิดของแรงดันสำหรับทุกแรงดันใน network เช่น line-line(LL) หรือ Line-neutral (LN)
- Root โหนด ใช้กำหนดชื่อสำหรับแต่ละโหนดใน network เพื่อใช้เป็น root โหนด
- System Three-phase base kVA ระบุค่า kVA ของระบบ

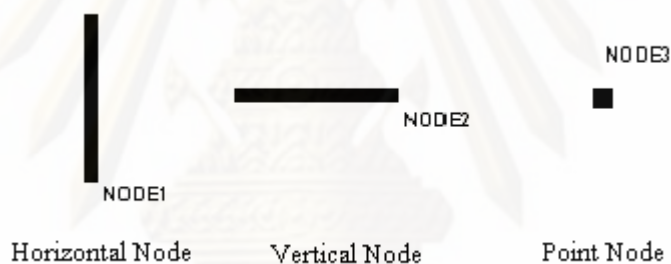
- System standard base voltage(kV) ใช้เพื่อระบุค่าแรงดัน base ของระบบ (kV)
- System Frequency (Hz): ระบุค่าความถี่ base ของระบบ
- Comments: ระบุข้อความเพื่ออธิบายลักษณะต่างๆของ Case ที่ตั้งขึ้นมา ทั้งนี้ข้อความในบรรทัดแรกจะถูกใช้เป็นหัวข้อของรายงานการทดสอบ

ข. 1 การสร้างอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้า

เมื่อทำการตั้งค่าคุณสมบัติของ network model แล้ว จากนั้นก็ต้องทำการสร้าง diagram ของระบบไฟฟ้า ซึ่งในระบบไฟฟ้าหนึ่งๆ จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

ข.1.1 โหนด

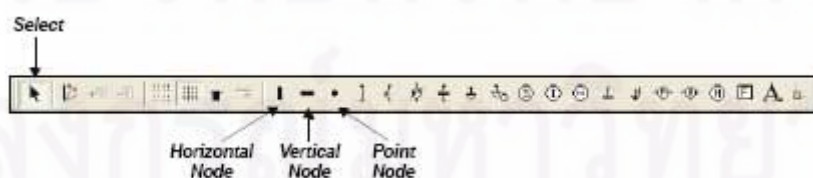
โหนดเป็นจุดต่อรวมของ Branch หรือ Network แบ่งโหนดออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ แนวตั้ง, แนวนอน และแบบจุด ดังรูปที่ ข.5



รูปที่ ข.5 โหนดชนิดต่างๆ

การสร้าง network diagram สามารถที่จะสร้างโหนดได้อย่างง่ายดาย โดยเลือกจาก toolbar ของ diagram โดยวิธีดังนี้

1. เลือกชนิดของโหนดซึ่งมี 3 ชนิดจาก Toolbar ของ diagram ดังรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.6 Toolbar สำหรับการเลือกโหนด

2. ลากโหนดที่เลือกไปวางบน diagram ตรงบริเวณที่ต้องการ

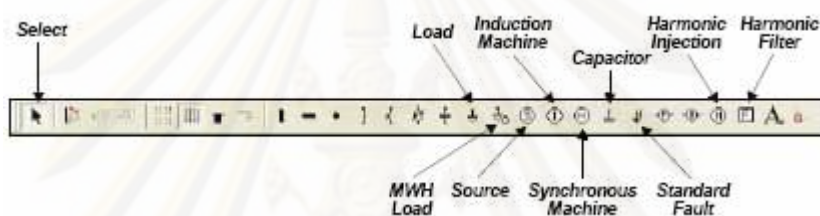
3. ทำซ้ำตามวิธีเดิมจนได้โหนดที่ต้องการจนครบอยู่บน Network diagram

ข.1.2 อุปกรณ์ต่อขนาน

อุปกรณ์ต่อขนานจะต้องต่ออยู่กับโหนดเพียงโหนดเดียวเท่านั้น และโหนดจะต้องถูกสร้างขึ้นมาก่อนการสร้างอุปกรณ์ต่อขนานของโปรแกรม PSS/ADEPT นั้น แบ่งอุปกรณ์ต่อขนานออกเป็น 6 ชนิดด้วยกัน ได้แก่ Load, Source, Induction Machine, Synchronous Machine, Capacitor และ Fault

การสร้างอุปกรณ์ต่อขนานสามารถทำได้โดย

1. เลือกชนิดของอุปกรณ์ต่อขนานจาก Toolbar ของ diagram ดังรูปที่ ข.7



รูปที่ ข.7 Toolbar สำหรับการเลือกชนิดของอุปกรณ์ต่อขนาน

2. เลือกตำแหน่งของโหนดที่ต้องการนำอุปกรณ์ต่อขนานไปวาง
3. นำ Mouse ไปวางบนโหนดที่เลือก แล้วคลิกแล้วลากออกไป ก็จะได้อุปกรณ์ต่อขนานที่ต่ออยู่กับโหนด ตามรูปที่ ข.8



รูปที่ ข.8 ขั้นตอนในการสร้างอุปกรณ์ต่อขนาน

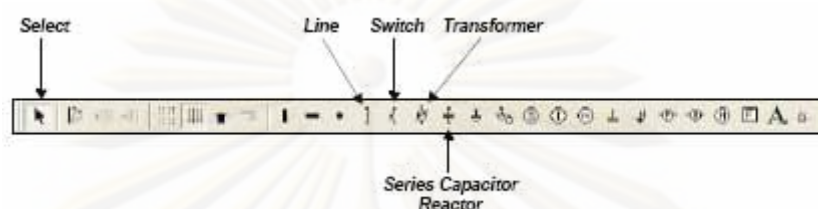
โดยโปรแกรม PSS/ADEPT จะตั้งชื่อให้อุปกรณ์ อุปกรณ์ต่อขนานโดยอัตโนมัติ เช่น Load1, Load2, Source1, Capac1 เป็นต้น

ข.1.3 Branch

Branch เป็นการเชื่อมต่อระหว่างโหนด 2 โหนด ซึ่งทั้ง 2 โหนด จะต้องมียู่ก่อนการสร้าง branch โปรแกรม PSS/ADEPT นั้นแบ่ง branch ออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ Line/cable, switch, transformer และ capacitor/reactor

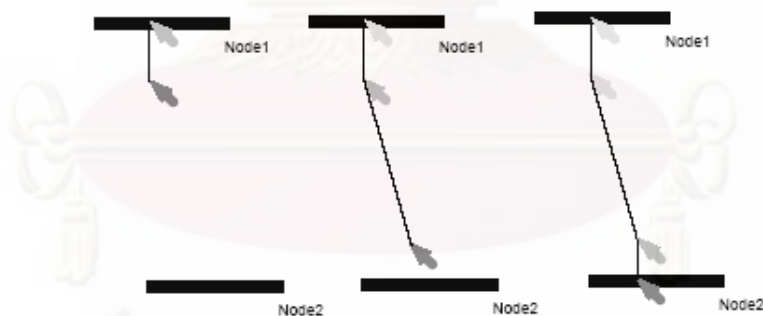
การสร้าง branch สามารถทำได้โดย

1. เลือกชนิดของ branch จาก Toolbar ของ diagram ดังรูปที่ ข.9



รูปที่ ข.9 Toolbar สำหรับการเลือกชนิดของ Branch

2. เลือกตำแหน่งบน โหนด เริ่มต้นที่จะนำ branch ไปวาง
3. คลิก mouse ค้างแล้วลากไปหาโหนดที่เป็นจุดสิ้นสุด หากต้องการให้ branch เป็นแบบมีจุดเปลี่ยนมุมให้ปล่อย mouse ก่อน แล้วคลิก mouse ใหม่แล้วลากค้างไปเรื่อยๆ จนถึงจุดที่ต้องการ ตามรูปที่ ข.10



รูปที่ ข.10 ขั้นตอนในการสร้างBranch

ข.2 การกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้า

เมื่อทำการสร้าง diagram ของระบบไฟฟ้าแล้ว จากนั้นทำการตั้งค่าคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่างๆในระบบไฟฟ้างี้

ข.2.1 การเปลี่ยนคุณสมบัติของโหนด

การปรับเปลี่ยน properties ของโหนดแต่ละโหนดสามารถทำได้อย่างอิสระ ยกตัวอย่างเช่น ต้องการเปลี่ยนชื่อของโหนด, ปรับ Base voltage, จัดกลุ่มโหนด เป็นต้น ทั้งนี้สามารถที่จะปรับคุณสมบัติของโหนด ที่เหมือนกันพร้อมๆกันได้

การเปลี่ยนคุณสมบัติของโหนด หรือ กลุ่มของโหนดสามารถทำได้ดังนี้

1. ดับเบิ้ลคลิกที่โหนด หรือคลิกขวาแล้วเลือกคุณสมบัติจะมีหน้าต่างคุณสมบัติของโหนด แสดงขึ้นมาดังรูปที่ ข.11



รูปที่ ข.11 หน้าต่างคุณสมบัติของโหนด

2. การแก้ไขข้อมูลต่างๆ ในคุณสมบัติของโหนด สามารถปรับเปลี่ยนได้เลยและสามารถใช้ปุ่ม tab เพื่อสลับไปปรับเปลี่ยนข้อมูลในช่องถัดไป อย่างไรก็ตามหากเลือกที่จะเปลี่ยนข้อมูลของโหนดเป็นกลุ่มพร้อมกันเลย ค่าต่างๆ ที่ปรับเปลี่ยนจะปรับเปลี่ยนกับโหนดทุกๆ ตัวในกลุ่มเหมือนกันทั้งหมด ยกเว้น Name ของโหนดแต่ละตัวในกลุ่มที่ไม่สามารถเปลี่ยนให้เหมือนกันได้ ซึ่งค่าต่างๆ ในหน้าต่างคุณสมบัติของโหนด มีดังนี้

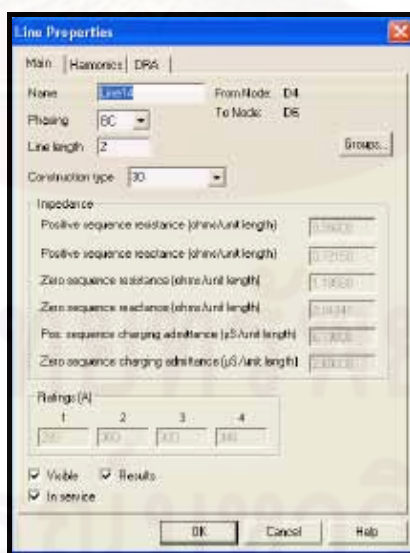
- Name แต่ละอุปกรณ์ใน network diagram จะต้องมีชื่อที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถตั้งชื่อได้ โดยมีความยาวสูงสุด 12 ตัวอักษร ทั้งนี้ จะต้องตั้งชื่อให้กับโหนดทุกโหนด ไม่สามารถเว้นว่างไว้ได้
- Base Voltage (kV) ของโหนด นั้นเป็นได้ทั้ง line-to-line และ line-to-neutral ทั้งนี้หาก base voltage ของโหนดมิได้ระบุไว้ Base voltage ของโหนดจะถูกกำหนดให้ไปเท่ากับ base voltage ของระบบซึ่งถูกกำหนดไว้ในหน้าต่างคุณสมบัติของ network
- Description สามารถใส่คำอธิบายที่เกี่ยวกับโหนดนั้น เช่นชนิดของ generator หรือ machine ที่ต่ออยู่กับโหนดนั้น โดยสามารถใส่คำอธิบายได้สูงสุด 40 ตัวอักษร

- Position ใช้ระบุตำแหน่งของโหนดในรูปของแกน x และแกน y โดยมีค่าจุดเริ่มต้น (0,0) ที่จุดล่างซ้ายสุดของ diagram
 - Type สามารถเลือกชนิดของโหนดได้ว่าเป็น busbar หรือเป็นจุด (Point)
 - Rotation หากโหนดที่ใช้เป็น busbar สามารถที่จะหมุนแกนของ busbar ได้เป็นองศา โดยหากต้องการ busbar ในแกนนอน ทำได้โดยตั้งค่า rotation เป็น 0 องศา หากต้องการ busbar ในแนวตั้ง ทำได้โดยตั้งค่า rotation เป็น 90 องศา
 - Label Configuration หาก โหนด เป็นลักษณะ point สามารถที่จะเลือกตำแหน่งที่จะแสดง โหนด label (เช่น ชื่อ โหนด) โดยเลือกใน label configuration
3. หากต้องการที่จะแสดงโหนดใน diagram ให้คลิกเลือกใน check box ของ Visible
 4. หากต้องการแสดงผลของโหนดใน diagram ให้คลิกเลือกใน check box ของ Results
 5. หากต้องการเพิ่ม โหนด เข้าไปในกลุ่ม โหนด ที่มีการจัดไว้ก่อนหน้าแล้ว สามารถทำได้โดยเลือกปุ่ม group แล้วคลิกเลือก box ของชื่อกลุ่ม โหนด ที่ต้องการแล้วเลือก ok
 6. เมื่อปรับเปลี่ยนค่าคุณสมบัติของโหนด เรียบร้อยแล้วให้คลิก ok

ข.2.2 การปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของสาย

สายเป็น branch ชนิดหนึ่งซึ่งเชื่อมต่อระหว่างโหนด 2 โหนด การปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของสายสามารถทำได้ดังนี้

1. ดับเบิ้ลคลิกที่สายหรือคลิกขวาแล้วเลือก properties จะมีหน้าต่าง properties ของ line แสดงขึ้นมาดังรูป ข.12



รูปที่ ข.12 หน้าต่างคุณสมบัติของสาย

2. เลือก main ที่ tab ข้างบนของหน้าต่าง เพื่อปรับเปลี่ยนค่าต่างๆของสายซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Name แต่ละอุปกรณ์ใน network diagram จะต้องมีชื่อที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงต้องตั้งชื่อให้สายแต่ละสาย โดยไม่ซ้ำกัน ทั้งนี้ที่หน้า line properties จะมีโหนดที่สายเชื่อมต่ออยู่ โดยบอกทางด้านขวามือของหน้าต่างว่าสายเชื่อมจากโหนดไหนไปยังโหนดไหน ซึ่งโหนดที่ระบุอยู่นี้ไม่สามารถแก้ไขได้ในหน้า line properties
- Phasing ใช้เพื่อระบุ phase ของระบบไฟฟ้าซึ่งใช้ใน network model ทั้งนี้สามารถเลือกเป็น Combination ของระบบไฟฟ้า 3 phase โดยจะเป็น bar ให้เลือก (เช่น ABC, AB, BC, CA, A, B, หรือ C) แต่ไม่สามารถระบุเข้าไปใหม่ได้
- Line Length Line length นั้นเป็นความยาวของ branch ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่า Impedance โดย Impedance จะมีค่าเป็น ohms ต่อหน่วยความยาว ซึ่งจะใช้ในการคำนวณถึงค่า Impedance รวมของสาย
- Construction Type จะต้องระบุค่า construction type ตาม Construction dictionary ซึ่งมีให้เลือกจาก bar ในหน้าต่าง line properties เมื่อระบุแล้ว โปรแกรมจะแสดงค่า impedance ต่างๆในหน้าต่าง line properties ตามชนิดของ construction type ที่เลือก ทั้งนี้ สามารถที่จะระบุ Construction type ขึ้นใหม่เองได้โดยจะต้องป้อนค่า impedance ต่างๆในหน้า line properties เข้าไปด้วย
- Impedance ทั้ง positive- และ zero-sequence resistance และ reactance จะต้องระบุอยู่ในหน่วยของ “โอห์มต่อหน่วยความยาว” ค่า Impedance นี้ไม่สามารถแก้ไขได้หากระบุ construction type ตาม Construction dictionary แต่หากระบุ construction type ขึ้นใหม่เอง ก็จำเป็นต้องป้อนค่า impedance แต่ละตัวเข้าไปด้วย
- Ratings ค่า line rating limit (A) ใช้เพื่อกำหนดว่าสายนั้น overload หรือไม่ โดยสามารถใส่ค่า rating ได้ทั้งหมด 4 ค่า ทั้งนี้หากระบุ construction type ตาม Construction dictionary ค่า rating จะปรากฏขึ้นมาโดยอัตโนมัติ แต่หากระบุ construction type ขึ้นใหม่เอง ก็จะต้องป้อนค่า rating เข้าไปด้วย

3. หากต้องการที่จะแสดงสายใน diagram ให้คลิกเลือกใน check box ของ Visible

4. เพื่อระบุว่าสายนั้นอยู่ในการใช้งานจะต้องเลือก Inservice ด้วย มิฉะนั้น line นั้นจะเสมือนถูกลดออกจากระบบ

5. หากต้องการที่จะแสดงผลของสายใน diagram ให้คลิกเลือกใน check box ของ Results

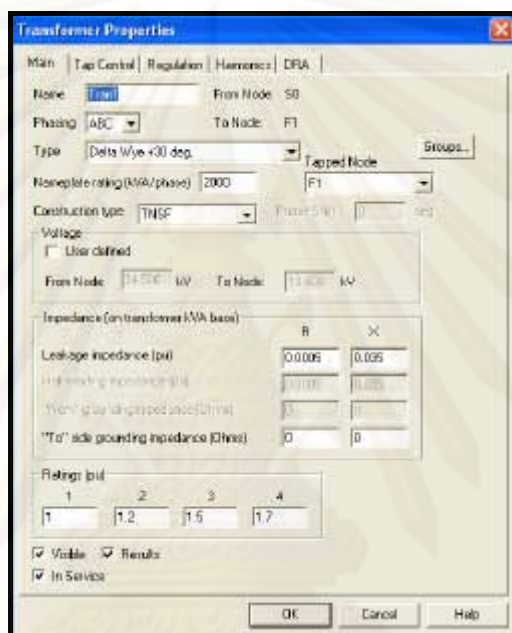
6. หากต้องการเพิ่ม line เข้าไปในกลุ่ม line ที่มีการจัดไว้ก่อนหน้าแล้ว สามารถทำได้โดยเลือกปุ่ม group แล้วคลิกเลือก box ของชื่อกลุ่ม line ที่ต้องการแล้วเลือก ok

7. เมื่อปรับเปลี่ยนค่า properties ของ line เรียบร้อยแล้วให้คลิก ok

ข.2.3 การปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของหม้อแปลง

หม้อแปลงเป็น branch ชนิดหนึ่งซึ่งต่ออยู่ระหว่างโหนด 2 โหนด สามารถที่จะปรับเปลี่ยนคุณลักษณะทางกายภาพ และคุณลักษณะทางไฟฟ้าของหม้อแปลงได้ ซึ่งการเปลี่ยนคุณสมบัติของหม้อแปลงทำได้ดังนี้

1. ดับเบิ้ลคลิกที่ transformer หรือคลิกขวาแล้วเลือก properties จะมีหน้าต่างคุณสมบัติของ transformer แสดงขึ้นมาดังรูปที่ 13



รูปที่ ข.13 หน้าต่างคุณสมบัติของหม้อแปลง

2. ในหน้าต่าง main สามารถที่จะปรับเปลี่ยนแก้ไขค่าต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- Name แต่ละอุปกรณ์ใน network diagram สำหรับการใส่โปรแกรม PSS/ADEPT จะต้องมีชื่อที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงต้องตั้งชื่อให้หม้อแปลงแต่ละตัวโดยไม่ซ้ำกัน ทั้งนี้ที่หน้า transformer properties จะมีชื่อโหนดที่หม้อแปลงเชื่อมอยู่ โดยบอกทางด้านขวาบนของหน้าต่างว่าหม้อแปลงเชื่อมจากโหนดไหนไปยังโหนดไหน ซึ่งโหนดที่ระบุอยู่นี้ไม่สามารถแก้ไขได้ในหน้าต่าง transformer properties
- Phasing ใช้เพื่อระบุ phase ของด้านเข้าของหม้อแปลง
- Type สำหรับเลือกชนิดของหม้อแปลง ได้แก่
 - 1) Wye-Wye
 - 2) Wye-Delta($\pm 30^\circ$)

- 3) Delta-Wye ($\pm 30^\circ$)
 - 4) Delta Auto Regulator
 - 5) Delta-Delta
 - 6) Wye Auto Regulator
 - 7) Center Tapped Delta-Delta
 - 8) Center Tapped Delta-Wye ($\pm 30^\circ$)
 - 9) Wye-Wye with Phase Shift
 - 10) Wye Auto
 - 11) Z Wye ($\pm 30^\circ$)
 - 12) Z Wye ($\pm 150^\circ$)
 - 13) Wye-Wye $+180^\circ$
- Tapped โหนด เป็นการระบุว่าระหว่าง 2 โหนดนั้นมี load tap changing อยู่ที่โหนดใด
 - Nameplate rating (kVA/phase) ให้ระบุค่า kVA/phase หากเป็นหม้อแปลง 3 เฟส ก็ต้องระบุเป็น kVA/phase ด้วย
 - Construction Type จะต้องระบุค่า construction type ตาม Construction dictionary ทั้งนี้สามารถที่จะระบุ Construction type ขึ้นใหม่เองได้
 - Phase shift (deg) ระบุมุมของ phase shift เป็นองศา ซึ่งค่า phase shift 1 นี้สามารถระบุได้เมื่อเลือกชนิดของหม้อแปลงเป็นแบบ Wye-Wye with Phase Shift เท่านั้น
 - Voltage โดยปกติแล้ว Voltage ของหม้อแปลงจะถูกตั้งตามโหนดด้านเข้าและด้านออกของหม้อแปลง แต่ในบางกรณี Voltage ของหม้อแปลงอาจไม่เท่ากับ Voltage ของโหนด ด้านเข้าและด้านออกได้ ดังนั้นจึงสามารถตั้งค่าของ Voltage ได้โดยเลือกที่ปุ่ม User defined แล้วก็สามารถกรอก voltage ด้านเข้าและด้านออกได้เอง
 - Impedance หม้อแปลงทุกตัวจะต้องกรอกค่า leakage impedance โดยหม้อแปลงบางตัวอาจต้องกรอก second impedance บางตัวอาจต้องกรอก grounding impedance ด้าน from หรือด้าน to ด้วย ค่า impedance ต่างๆที่ต้องกรอกสำหรับหม้อแปลงแต่ละตัวนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของหม้อแปลงแต่ละประเภทที่เลือก รายละเอียดดังตาราง โดยจะต้องกรอกในรูปของค่าของ per unit (PU) โดยจะมีให้กรอกทั้งค่า Resistance (R) และค่า Reactance (X)
 - Rating ใช้เพื่อตรวจสอบว่าหม้อแปลงนั้น overload หรือไม่ขณะที่มี loadflow โดยสามารถใส่ค่า rating ได้ทั้งหมด 4 ค่า โดยใช้ค่าที่ระบุในหน่วย pu ที่ nameplate ของหม้อแปลง

3. หากต้องการที่จะแสดงหม้อแปลงใน diagram ให้คลิกเลือกใน check box ของ Visible
4. เพื่อระบุว่าหม้อแปลงนั้นอยู่ในการใช้งานจะต้องเลือก In service ด้วย มิฉะนั้นหม้อแปลงนั้น จะเสมือนถูกถอดออกจากระบบ
5. หากต้องการที่จะแสดงผลของหม้อแปลงใน diagram ให้คลิกเลือกใน check box ของ Results
6. เมื่อปรับเปลี่ยนค่าคุณสมบัติของหม้อแปลงเรียบร้อยแล้วให้คลิก ok

โดยหลักการของหม้อแปลง จะประกอบด้วย coupled winding 2 ชุดขึ้นไป โดยอัตราส่วนจำนวนรอบของ windings ก็คือ อัตราส่วนการแปลงของหม้อแปลง ทั้งนี้สามารถ tap หม้อแปลงเพื่อเปลี่ยน winding ratio เพื่อควบคุม ระดับ voltage ของระบบได้ ในโปรแกรม PSS/ADEPT นั้น Two-winding transformer จะมี 2 ขั้ว ได้แก่ ขั้ว from ขั้ว to การต่อ ground อาจทำได้ทั้งด้าน From หรือ To หรือทั้ง 2 ด้านเลยก็ได้

Transformer Grounding ในการต่อหม้อแปลงนั้นสามารถจะต่อ ground ได้โดยการต่อ impedance ภายนอกเข้าไประหว่างขั้วของหม้อแปลงกับ จุดต่อลง ground โดยการต่อหม้อแปลงแบบ Wye connected windings นั้นสามารถที่จะต่อ ground และทำให้มีค่า Ground impedance ได้ ขณะที่ การต่อแบบ delta connected windings นั้น ไม่มีการต่อ ground ดังนั้น จึงไม่มีค่า ground impedance

ข.2.4 การเปลี่ยนคุณสมบัติของแหล่งจ่าย

แหล่งจ่ายเป็นอุปกรณ์ที่วางอยู่ที่ โหนด เพื่อเป็นตัวระบุ voltage reference ของ network ในการใช้งานโปรแกรม PSS/ADEPT นั้น Three-phase source จะต้องระบุทั้ง Positive- และ Zero-Sequence impedance

การระบุค่าคุณสมบัติของแหล่งจ่ายมีรายละเอียดดังนี้

1. ดับเบิลคลิกที่ source หรือคลิกขวาแล้วเลือก properties จะมีหน้าต่าง คุณสมบัติของแหล่งจ่ายแสดงขึ้นมาดังรูปที่ ข.14



รูปที่ ข.14 หน้าต่างคุณสมบัติของแหล่งจ่าย

2. ในหน้าต่าง main สามารถที่จะปรับเปลี่ยนแก้ไขค่าต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้
- Name ระบุชื่อของแหล่งจ่าย ที่ใช้ในโปรแกรม PSS/ADEPT ทั้งนี้ที่หน้า source properties จะมีชื่อ โหนด ที่ source ต่ออยู่ โดยบอกทางด้านขวาบนของหน้าต่าง ซึ่ง โหนด ที่ระบุอยู่นี้ไม่สามารถแก้ไขได้ในหน้า source properties
 - Type ระบุชนิดของแหล่งจ่ายเป็น Swing ซึ่งจะเป็ชนิดที่จะพยายามควบคุมรักษาค่าของ Terminal voltage และมุม ของ Terminal voltage ไว้ที่ค่าเดิมโดยการปรับ source's internal voltage
 - Nominal voltage (kV) ให้ระบุ nominal voltage ของแหล่งจ่ายโดยปกติโปรแกรมจะ กำหนดค่าเท่ากับ voltage ของ โหนดที่ source ต่ออยู่
 - kVA rating ใส่ค่า kVA rating ของแหล่งจ่าย ซึ่งโดยปกติโปรแกรมจะใส่ค่าให้เท่ากับค่า base kVA ซึ่งระบุอยู่ในหน้า Network Properties
 - Angle(degrees) เป็นมุมมองสาของแหล่งจ่ายเทียบกับมุม 0 องศา หากใน network มี แหล่งจ่ายอยู่เพียงแหล่งจ่ายเดียว ค่ามุมนี้จะเป็น 0 องศา หากใน Network มีแหล่งจ่าย มากกว่า 1 แหล่งจ่ายใน network จะต้องกรอกค่ามุมลงไปด้วยหากแหล่งจ่ายมีมุม shift เนื่องจากต่อแบบ Wye-delta หรือ Delta-Wye
 - Scheduled voltage (pu of nominal) ให้ระบุ scheduled voltage ของแหล่งจ่ายในหน่วย ของ per unit (pu) เมื่อเทียบกับ nominal voltage
 - Positive sequence resistance and reactance (pu on system kVA base) ระบุ Positive sequence resistance และ reactance ในหน่วย per unit (pu)

- Zero sequence resistance and reactance (pu on system kVA base) ระบุ Zero sequence resistance และ reactance ในหน่วย per unit (pu)
 - Grounding resistance and reactance (ohms) ระบุ Grounding resistance และ reactance ในหน่วย ohms
3. หากต้องการที่จะแสดงแหล่งจ่าย ใน diagram ให้คลิกเลือกใน check box ของ Visible
 4. หากต้องการที่จะแสดงผลของแหล่งจ่ายใน diagram ให้คลิกเลือกใน check box ของ

Results

5. หากต้องการเพิ่มแหล่งจ่ายเข้าไปในกลุ่ม source ที่มีการจัดไว้ก่อนหน้าแล้ว สามารถทำได้โดยเลือกปุ่ม group แล้วคลิกเลือก box ของชื่อกลุ่ม line ที่ต้องการแล้วเลือก ok
6. เมื่อปรับเปลี่ยนค่า properties ของsource เรียบร้อยแล้วให้คลิก ok

ข.2.5 การเปลี่ยนคุณสมบัติของ standard fault

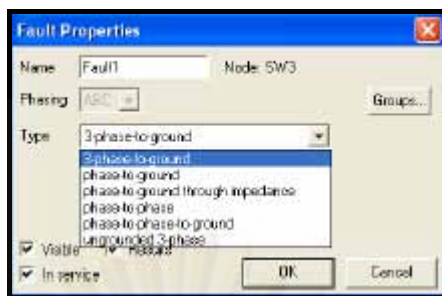
Fault เป็นอุปกรณ์ อุปกรณ์ต่อขนานที่นำมาต่อขนานเข้ากับโหนดที่มีอยู่ในระบบ โดยที่ Standard fault สามารถแบ่งได้ออกเป็นหลายชนิดดังนี้

- Three-phase-to-ground
- Phase-to-ground
- Phase-to-ground through an impedance
- Phase-to-phase
- Phase-to-phase-to-ground
- Ungrounded three-phase

สำหรับ fault ทุกชนิดที่ไม่ใช่ Three-phase-to-ground หรือ Ungrounded three-phase จะต้องระบุ phase ที่ fault เกิดขึ้นด้วย และถ้าเลือก fault เป็น Phase-to-ground through an impedance ก็จะต้องระบุค่า impedance ด้วย

การเปลี่ยนคุณสมบัติของ fault สามารถทำได้ดังนี้

1. ดับเบิ้ลคลิกที่ fault หรือคลิกขวาแล้วเลือก properties จะมีหน้าต่าง properties ของ source แสดงขึ้นมาดังรูปที่ 15



รูปที่ ข.15 หน้าต่างคุณสมบัติของฟอลต์

2. การปรับเปลี่ยนแก้ไขค่าต่างๆ มีรายละเอียดดังนี้

- Name ระบุชื่อของ fault ทั้งนี้ จะมีชื่อ โหนดที่ fault ต่ออยู่ โดยบอกทางด้านขวาบนของหน้าต่าง ซึ่งโหนดที่ระบุอยู่นี้ไม่สามารถแก้ไขได้ในหน้า fault properties
- Type เลือกชนิด fault ที่ต้องการ
- Phasing ถ้า fault ที่เลือกไม่ใช่ Three-phase-to-ground หรือ Ungrounded three-phase จะต้องเลือก phase ที่ fault เกิดขึ้นด้วย แต่หากเลือกชนิดของ fault เป็น Three-phase-to-ground หรือ Ungrounded three-phase แล้ว phasing ก็จะถูกระบุเป็น ABC โดยที่ไม่สามารถแก้ไขได้

3. หากต้องการที่จะแสดง fault ใน diagram ให้คลิกเลือกใน check box ของ Visible

4. หากต้องการที่จะแสดงผลของ fault ใน diagram ให้คลิกเลือกใน check box ของ Results

5. เพื่อระบุว่า fault นั้นอยู่ในการใช้งาน จะต้องเลือก In service ด้วย มิฉะนั้น fault นั้นจะเสมือนถูกถอดออกจากระบบ

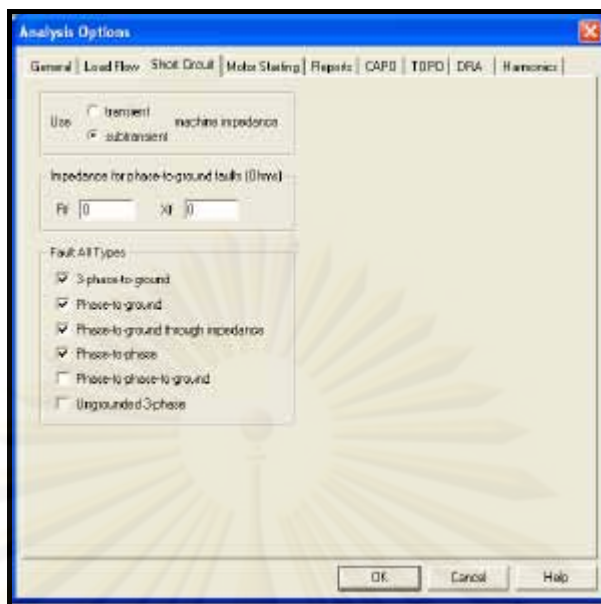
6. หากต้องการเพิ่ม fault เข้าไปในกลุ่ม fault ที่มีการจัดไว้ก่อนหน้าแล้ว สามารถทำได้โดยเลือกปุ่ม group แล้วคลิกเลือก box ของชื่อกลุ่ม line ที่ต้องการแล้วเลือก ok

7. เมื่อปรับเปลี่ยนค่า properties ของ fault เรียบร้อยแล้วให้คลิก ok

การตั้ง option ของ Short circuit Analysis

สำหรับการคำนวณ short circuit ในการใช้งาน โปรแกรม PSS/ADEPT นั้น สามารถที่จะกำหนดชนิดของ fault สำหรับการคำนวณ fault all calculation ได้ กำหนดว่าจะใช้ machine transient impedance หรือ subtransient impedance ก็ได้ และกำหนดค่า impedance ซึ่งใช้สำหรับ phase-to-ground fault ได้ ซึ่งมีวิธีการตั้งค่าดังนี้

1. เลือก Analysis แล้วเลือก option ที่เมนูหลัก หลังจากนั้นจะมีหน้าต่าง Analysis options เปิดขึ้นมาดังรูปที่ 16



รูปที่ ข.16 หน้าต่าง Analysis Option

2. เลือก Short Circuit Tab

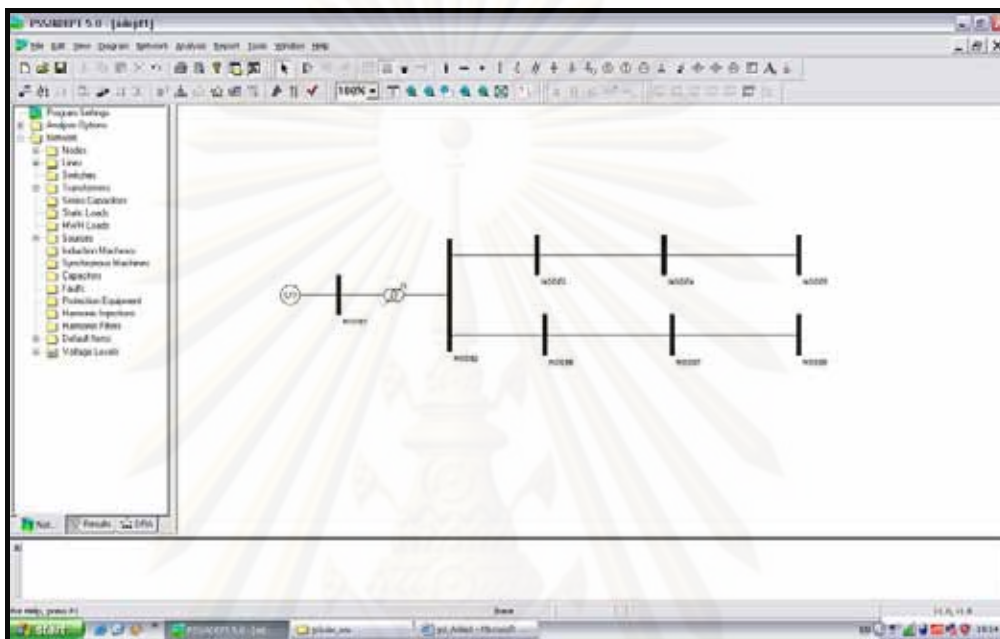
3. ตั้งค่าต่างๆดังนี้

- Machine Impedance ซึ่งสามารถเลือกได้ทั้ง transient impedance หรือ subtransient impedance ซึ่งการจะเลือกว่าเป็น transient หรือ subtransient impedance นั้น ขึ้นอยู่ระยะเวลาของการเกิด fault ซึ่ง subtransient จะมีขนาดเล็กกว่าและเกิดกระแสเร็วกว่า โดยทำให้เกิดกระแสทันทีหลังเกิด หลังเกิด fault (ประมาณ 2 cycles) ส่วน Transient impedance จะทำให้เกิดกระแสหลังจากช่วง subtransient period โดยความยาวของระยะเวลาในการเกิดขึ้นกับ time constant ของ machine และสำหรับ Synchronous machine นั้นจะขึ้นกับชนิดของ exciter ด้วย
 - Impedance for phase-to-ground faults สามารถกำหนดค่า impedance ซึ่งใช้เมื่อเลือกชนิดของ fault เป็น phase-to-ground fault เท่านั้น
 - Fault All Type สามารถที่จะเลือกชนิดของ Fault ทุกๆชนิดซึ่งจะกำหนดให้เกิดขึ้นบน Network ได้ โดยโปรแกรมจะคำนวณ fault ทุกชนิดตามลำดับและแยกกันในแต่ละโหนด ในระบบ power system network ซึ่ง Option Fault All Type นี้ จะไม่ได้ใช้สำหรับการคำนวณ Standard Fault Calculation
4. เมื่อปรับเปลี่ยนค่า properties ต่างๆ เรียบร้อยแล้วให้คลิก ok

ข.3 การประมวลผล Short Circuit Analysis

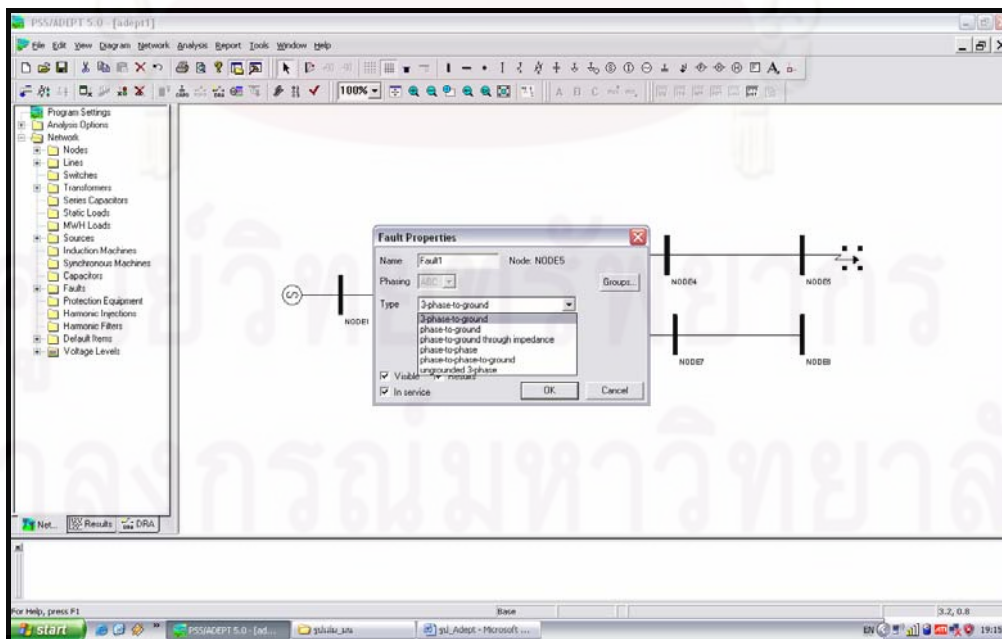
เมื่อทราบวิธีการสร้างวงจรไฟฟ้าลงใน Network diagram และการกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบแล้ว สามารถทำการประมวลผล Short Circuit Analysis ได้ดังนี้

1. กำหนด Network diagram ทั้งหมดดังรูปที่ ข.17



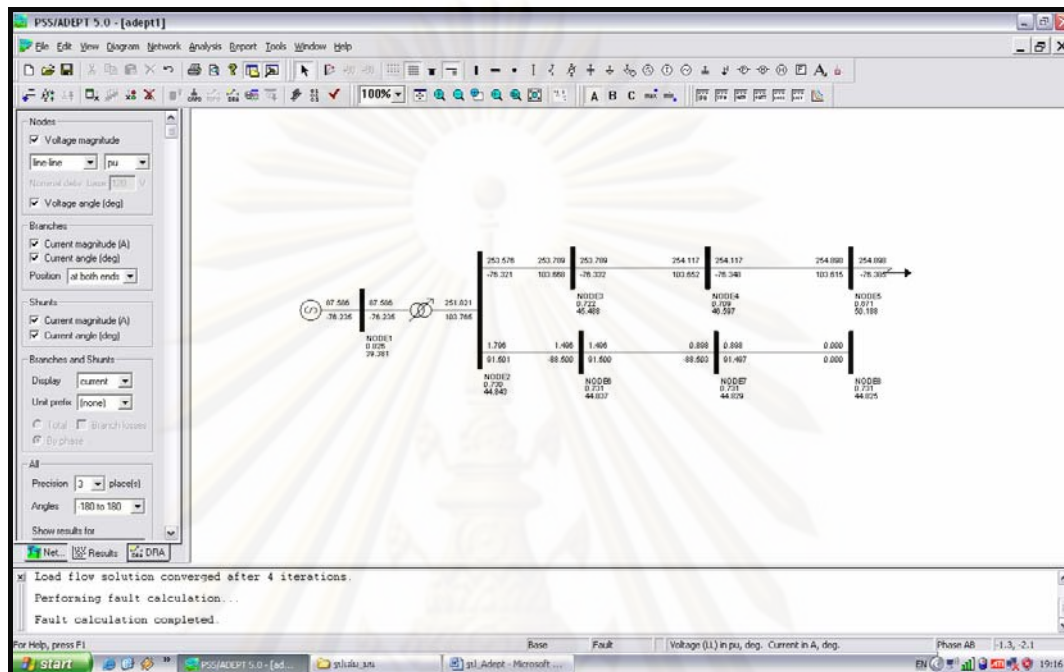
รูปที่ ข.17 Network diagram

2. กำหนดตำแหน่งที่ต้องการให้เกิดฟอลต์พร้อมกับกำหนดคุณสมบัติของฟอลต์ ซึ่งในที่นี้ กำหนดให้ฟอลต์ที่เกิดเป็นแบบ Single line to ground ที่เฟส A ดังรูปที่ ข.18

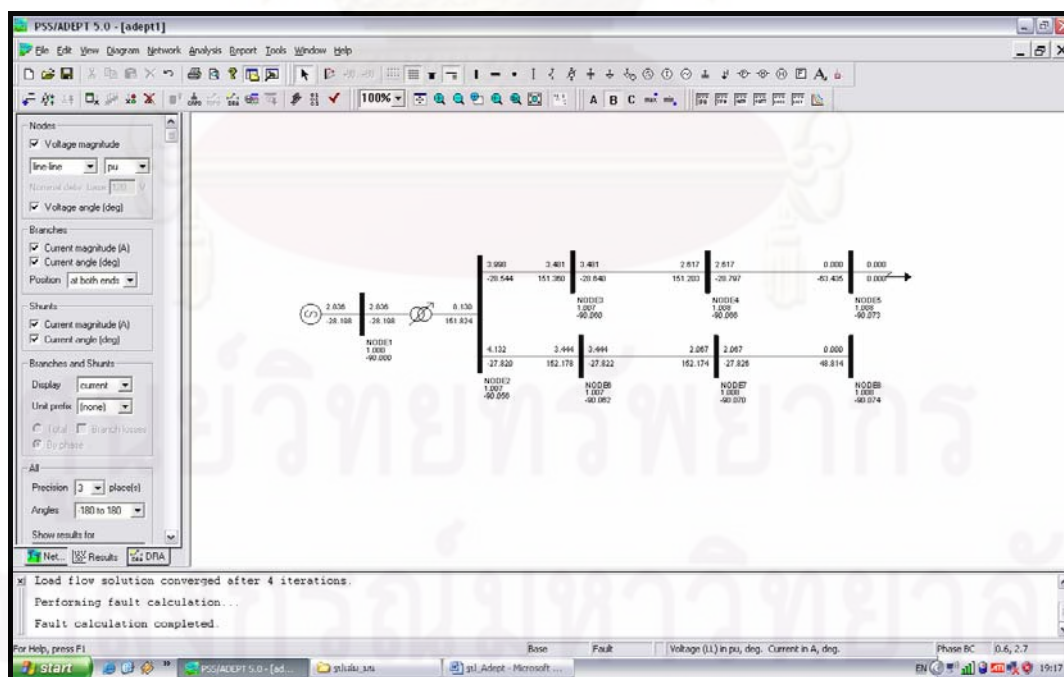


รูปที่ ข.18 การกำหนดตำแหน่งการเกิดฟอลต์และรูปแบบของฟอลต์ในระบบไฟฟ้า

3. เลือกปุ่ม Fault Calculation บน Analysis Toolbar ซึ่งโปรแกรมก็จะแสดงผลของการวิเคราะห์บน diagram ตาม option ที่เลือก โดยจะแสดงค่ากระแสและแรงดันต่างๆ ของเฟสต่างๆ จากรูปที่ ข.19 ถึงรูปที่ ข.21 แสดงผลการคำนวณของเฟส A, เฟส B และเฟส C ตามลำดับ



รูปที่ ข.19 แสดงผลการคำนวณของเฟส A



รูปที่ ข.20 แสดงผลการคำนวณของเฟส B

ข.4.3 Branch Power Losses report

รายงาน Branch Power Losses Reports สามารถทำขึ้นได้หลังจากการ run Load flow, short circuit และ start motor ซึ่งจะเป็น branch losses ในแต่ละ phase

ข.4.4 Input List of Network Data Report

จะเป็นรายงานรายการข้อมูล network input data

ข.4.5 Node Voltage reports

รายงาน Node Voltage Reports สามารถทำขึ้นได้หลังจากการ run Load flow, short circuit และ start motor ซึ่งจะเป็นแรงดันที่โหนด ซึ่งรายงาน Node Voltage Reports แบ่งออกเป็น 5 ชนิด ได้แก่

1. By phase
2. By sequence
3. Over threshold
4. Under Threshold
5. Drop unbalance profile

ข.4.6 Shunt current Reports

รายงาน Shunt current Reports สามารถทำขึ้นได้หลังจากการคำนวณ Load flow, short circuit และ start motor ซึ่งจะเป็นกระแส Shunt Current ในแต่ละ phase ของ shunt item (เช่น machine, load, fault)

ข.4.7 Shunt Power report

รายงาน Shunt power Reports สามารถทำขึ้นได้หลังจากการ run Load flow, short circuit และ start motor ซึ่งจะเป็น Shunt Power ในแต่ละ phase ของ shunt item (เช่น machine, load, fault)

ข.4.8 Status Reports

รายงานสถานะของอุปกรณ์นั้นแบ่งออกเป็น 7 ชนิด ได้แก่

1. Transformer
2. Synchronous machine
3. Induction machine
4. Switched capacitors
5. Converted MWh loads
6. Out-of-service shunt devices
7. Out-of-service branch devices

ข.4.9 Network summary report

รายงาน network summary report ประกอบด้วย ข้อมูลสรุปต่างๆของ network ได้แก่ จำนวน item ชนิดต่างๆ ใน network, จำนวน loop, total system load , total power drawn และ total losses โดยรายงาน Network summary Reports สามารถทำขึ้นได้หลังจากการ run Load flow, short circuit และ start motor

ข.4.10 Power Flow summary

Power flow summary จะเป็นรายงาน network conditions ตามลักษณะการวิเคราะห์ รายงานนี้จะประกอบด้วย branch name, first โหนด(upstream), second โหนด (downstream), branch phasing, branch construction type, maximum current over all phases present, minimum voltage over all phases present, total branch power และ distance

ข.4.11 Power Flow detail

Power Flow detail จะเป็นรายงาน network conditions หลังจากการวิเคราะห์ รายงานนี้จะเป็นรายงานที่มีรายละเอียดมากกว่า Power Flow summary โดยประกอบด้วย branch name, first โหนด(upstream), second โหนด (downstream), branch phasing, branch construction type, ค่า current ในแต่ละ phase, ค่า voltage ในแต่ละ phase, minimum voltage, total branch power, total branch losses และ total distance

ข.4.12 Fault All Current report

รายงาน Fault All Current report นั้นจะสามารถทำได้หลังจากวิเคราะห์ fault all calculation เท่านั้น โดยประกอบด้วยค่า fault current ในแต่ละ โหนด ใน network

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวนทีรา จันทร์ธมมะ เกิดวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2523 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2544 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย