การศึกษาระบบป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

THE STUDY OF PROTECTION SYSTEM FOR HIGH VOLTAGE EQUIPMENT

นายกิตติชัย ตวนกูเปีย

นายคมสัน พรมศรี

นายณัชพล ตัณยะกุล

นายณัฐดนัย แก้วมณี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF PROTECTION SYSTEM FOR HIGH VOLTAGE EQUIPMENT

KITTICHAI TOUNKUPIA
KOMSAN PROMSRI
NUTCHAPOL TANYAKUL
NATDANAI KAEWMANEE

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2559

การศึกษาระบบป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง
THE STUDY OF PROTECTION SYSTEM FOR HIGH VOLTAGE EQUIPMENT

นายกิตติชัย ตวนกูเปีย
นายคมสัน พรมศรี
นายณัชพล ตัณยะกุล
นายณัฐดนัย แก้วมณี

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.นรเศรษฐ พัฒนเดช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2559

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาระบบป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

ผู้จัดทำ

1. นายกิตติชัย ตวนกูเปีย
2. นายคมสัน พรมศรี
3. นายณัชพล ตัณยะกุล
4. นายณัฐดนัย แก้วมณี

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร.นรเศรษฐ พัฒนเดช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาระบบป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

นาย กิตติชัย ตวนกูเปีย
นาย คมสัน พรมศรี
นาย ณัชพล ตัณยะกุล
นาย ณัฐดนัย แก้วมณี
รศ.ดร. นรเศรษฐ พัฒนเดช อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอการศึกษาการใช้งานรีเลย์ในการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และ มอเตอร์ ตามมาตรฐาน IEEE Std C37.91-2008 IEEE Std C37.110-1996 เป็นต้น โดยทำการทดลองกำหนดฟังก์ชั่นการทำงานของรีเลย์แต่ละประเภทเพื่อตรวจสอบว่ารีเลย์สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการหรือไม่ โดยรีเลย์ที่ใช้ในการศึกษาทดลองคือ Differential Relay (87) Over Current Relay (50) รวมทั้งได้จำลองโปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์การทำงานของ Over Current Relay กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในการตัดวงจรขณะเกิดความผิดพร่องและจำลองการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ เพื่อวิเคราะห์ลำดับและเวลาในการตัดวงจรทั้งก่อนและหลังเกิดความผิดพร่อง อีกทั้งยังใช้โปรแกรม DIgSILENT จำลองเพื่อทำการทดสอบการทำงานของ BECKWITH : Generator Protection M-3420 ในโหมดของ Over Current (50) ที่ขนาดกระแส 4 kA , 6 kA , 8 kA 10 kA และ 12 kA รวมถึงจำลองการ Coordinate อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Study of Protection System For High Voltage Equipment

Mr.Kittichai Tounkupia
Mr.Komsan Promsri
Mr.Nutchapol Tanyakul
Mr.Natdanai Kaewmanee
Assoc Prof.Dr.techn. Norasage Pattanadech Advisor
year 2016

ABTRACT

This project presents the study of protective relays for Generator, Transformer and Motor Protection according to IEEE Std C37.91-2008 and IEEE Std C37.11-1996. The operation function of Differential Relay (87), Over Current Relay (50) were simulated to verify the relay performance. Besides, MATLAB program was used to analyze the operation of the over-current relay with the circuit breaker to find out the operation parameters of circuit breaker during fault occurring Moreover, the simulation of primary and secondary protection of the electrical power system was studied to analyze the sequence and timing operation of the circuit breaker before and after fault existence. Furthermore, DIgSILENT program was utilized to verify the operation performance of BECKWITH: Generator Protection M-3420 in the function of the Over Current (50) with the current of 4 kA, 6 kA, 8 kA 10 kA and 12 kA including the simulating of coordinated relays applying for electrical power system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก รศ.ดร. นรเศรษฐ พัฒนเดช ที่ให้คำปรึกษา ความรู้ รวมทั้งให้ความช่วยเหลือพร้อมกับแก้ข้อบกพร่องในด้านต่าง ๆ ตั้งแต่การอธิบายทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง แนวทางการปฏิบัติงาน และคอยสอบถามความคืบหน้าและปัญหาต่าง ๆ ตลอดการทำงาน โดยท่านคอยจะให้คำปรึกษารวมถึงการลงมือปฏิบัติงานจริงด้วยตนเองในบางครั้งเพื่อช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น และยังคอยตรวจสอบความถูกต้องของปริญญานิพนธ์ ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงและมีความสมบูรณ์ ซึ่งคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณโรงไฟฟ้าโกลว์ จังหวัดระยองและพี่ที่ทำงานในบริษัท สำหรับการช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เช่น สถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบ ทั้งนี้ขอขอบคุณรุ่นพี่ ป.เอก ป.โท ทุกท่านที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบริษัท Meidensha Corporation ที่ให้การสนับสนุน โดยการมอบทุนสำหรับวิจัยให้กับโครงงานปริญญานิพนธ์นี้ ที่ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นมา

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และคณาจารย์ทุกท่านที่คอยถ่ายทอดวิชาความรู้เพื่อให้ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งยังนำไปประกอบวิชาชีพได้ในอนาคต

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงสมาชิกท่านอื่น ๆ ในครอบครัว ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือทั้งในด้านกำลังใจและทุนทรัพย์ ให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ I

ABSTRACT II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญรูปภาพ VII

สารบัญตาราง XVI

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 2

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง 5

2.2 อุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง 6

2.2.1 หม้อแปลงกระแส (CT) 6

2.2.2 หม้อแปลงแรงดัน (VT) 7

2.2.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) 8

2.2.4 สวิตช์ใบมีดปลดวงจร (Disconnecting Switch) 11

2.2.5 ฟิวส์กำลังแรงสูง (High Voltage Power Fuse) 11

2.2.6 แบตเตอรี่ (Battery) 12

2.2.7 เครื่องสำรองไฟฟ้า (Uninterruptible Power Supply : UPS) 18

2.3 รีเลย์ป้องกัน (Protective Relay) 21

2.3.1 คุณสมบัติที่ดีของระบบป้องกัน 21

2.3.2 หลักการทำงานของระบบป้องกันไฟฟ้า 21

2.3.3 ประเภทของรีเลย์ป้องกัน 21

2.3.4 รีเลย์กระแสเกิน (Over Current Relay) 23

2.3.5 รีเลย์ผลต่าง (Differential Relay) 25

2.3.6 รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay) 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.4 การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Protection) 26

2.4.1 ปัญหาการเกิดความผิดพร่องทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 27

2.5 การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Protection) 33

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการป้องกันหม้อแปลง 34

2.5.2 รีเลย์ป้องกันสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 34

2.5.3 ปัญหาในการตรวจวัดความผิดพร่องรีเลย์ป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง 35

2.5.4 รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Relay) 36

2.5.5 การป้องกัน Overexcitation 37

2.5.6 รีเลย์ป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วจากขดลวดไปที่แทงก์ 37

2.5.7 Differential Protection 38

2.5.8 Restricted Earth Fault Protection 39

2.5.9 การเกิดกระแสหล่อเลี้ยงสนามแม่เหล็กพุ่งเข้า 39

2.5.8 Restricted Earth Fault Protection 39

2.6 การป้องกันบัสบาร์ (Bus Bar Protection) 42

2.6.1 การป้องกันโดยใช้รีเลย์ของระบบให้ป้องกันรวมบัสเข้าไปด้วย 42

2.6.2 การป้องกันโครงสร้างรองรับกับดิน (Frame – Earth Protection) 42

2.6.3 การป้องกันแบบใช้รีเลย์ผลต่าง (Differential Protection) 42

2.7 การป้องกันมอเตอร์ (Motor Protection) 43

2.7.1 หลักการป้องกันมอเตอร์ 44

บทที่ 3 การออกแบบการทดสอบและการประกอบชุดทดสอบ 48

3.1 แนวคิดพื้นฐาน 48

3.2 ภาพร่างโครงสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 50

3.2.1 ชุดทดสอบรีเลย์ป้องกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 50

3.2.2 วิธีการใช้งานเครื่อง CMC 256 (OMICRON) 51

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ 59

4.1 การจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB 59

4.1.1 จำลองการเกิดความผิดพร่องรูปแบบต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง 59

4.1.2 จำลองการเกิด Magnetizing – Inrush Current เมื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า 62

4.1.3 จำลองการทำงานของรีเลย์กระแสเกินร่วมกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ 66

4.1.4 จำลองการทำงานของรีเลย์แบบผลต่างร่วมกับเซอร์กิตเบรคเกอร์ 70

4.1.5 การจำลองการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ 76

4.2 การจำลอง Simution ในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory 80

4.2.1 การศึกษา Time Over Current Relay Fault Analysis และ Time Over Current Protection Setting For The Bus Power System Network Using SEL751A Relay Model 80

4.2.2 การศึกษา Time Over Current Relay จากโปรแกรม DigSILENT 85

4.2.3 การศึกษาการตั้งค่าและการทำงานของ BECKWITH : Generator Protection M-3420 ด้วยโปรแกรม DIgSILENT 92

4.2.4 การทดสอบฟังก์ชั่นการทำงานของ Over Current 112

4.2.4.1 ที่ค่ากระแส 4 kA 116

4.2.4.2 ที่ค่ากระแส 6 kA 117

4.2.4.3 ที่ค่ากระแส 8 kA 118

4.2.4.4 ที่ค่ากระแส 10 kA 120

4.2.4.5 ที่ค่ากระแส 12 kA 121

4.2.4 การจำลองการ Coordinate ในฟังก์ชั่น Over Current ระหว่าง Generator Protection Relay 123

4.2.4.1 ที่ค่ากระแส 4 kA 137

4.2.4.2 ที่ค่ากระแส 6 kA 141

4.2.4.3 ที่ค่ากระแส 8 kA 145

4.2.4.4 ที่ค่ากระแส 10 kA 149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.3 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 153
4.3.1 การต่อวงจรที่ใช้สำหรับการทดสอบ 153
4.3.2 ขั้นตอนการทดสอบ 155
4.3.3 ผลการทดสอบ 155
4.4 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับมอเตอร์ 174
4.4.1 การต่อวงจรที่ใช้สำหรับการทดสอบ 174
4.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ 174
4.3.2 ขั้นตอนการทดสอบ 175
4.5 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้า 178
4.5.1 การต่อวงจรที่ใช้สำหรับการทดสอบ 178
4.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ 178
4.3.2 ขั้นตอนการทดสอบ 179
บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ 186
5.1 สรุป 186
5.2 ข้อเสนอแนะ 187
เอกสารอ้างอิง 188
ภาคผนวก 190
ภาคผนวก ก. บทความวิชาการ 191
ภาคผนวก ข. การบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า 196
ประวัติผู้เขียน 209

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ระบบการป้องกันไฟฟ้าโดยใช้รีเลย์ควบคุมการทริปเซอร์กิตเบรกเกอร์	5
2.2	ตัวอย่างการใช้งานของหม้อแปลงกระแสในสถานีไฟฟ้าย่อย	6
2.3	ลักษณะภายนอกของหม้อแปลงแรงดัน	7
2.4	ลักษณะภายนอกของ Air Circuit Breaker	8
2.5	ลักษณะภายนอกของ Oil Circuit Breaker	9
2.6	ลักษณะภายนอกของ Vacuum Circuit Breaker	10
2.7	ลักษณะภายนอกของ SF6 Circuit Breaker	11
2.8	ฟิวส์กำลังแรงสูง (High Voltage Power Fuse)	12
2.9	แบตเตอรี่แบบ Vented หรือ Flooded Lead Acid batteries	14
2.10	แบตเตอรี่แบบ Sealed maintenance free batteries	14
2.11	Offline UPS หรือ Standby UPS	19
2.12	Line Interactive UPS with Stabilizer หรือ Online Protection UPS	20
2.13	True On-line UPS	20
2.14	รีเลย์แบบไฟฟ้า-กล	22
2.15	ลักษณะภายนอกของสแตติกรีเลย์	23
2.16	ลักษณะภายนอกของดิจิตอลรีเลย์	23
2.17	กราฟรีเลย์กระแสเกินแบบต่างๆ	24
2.18	ลักษณะภายนอกของรีเลย์กระแสเกิน	25
2.19	วงจรการทำงานของรีเลย์ผลต่าง	25
2.20	ชนิดของรีเลย์ระยะทาง	26
2.21	โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	26
2.22	วงจรการป้องกันแบบกระแสผลต่างเมื่อไม่มีความผิดปกติ Generator Protection	27
2.23	วงจรการป้องกันแบบกระแสเกินในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	28
2.24	วงจรการป้องกันขดลวดสนามโดยวิธีกระแสสลับเข้าในวงจรสนาม	29
2.25	กราฟ V/Hz Characteristic ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	30
2.26	การจ่ายกำลังไฟฟ้าตามลักษณะของ Generator Capability Curve	32
2.27	หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง	34
2.28	โครงสร้างของ Buchholz Relay	35
2.29	หม้อแปลงต่อเป็น Y และต่อจุดกลางลงดินโดยตรง	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.30 หม้อแปลงต่อเป็น Y และต่อจุดกลางลงดินผ่านอิมพิแดนซ์	36
2.31 วงจรการใช้รีเลย์กระแสเกินสำหรับป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า	37
2.32 วงจรการป้องกันการลัดวงจรจากถังลงดิน	37
2.33 วงจรการป้องกันหม้อแปลงแบบใช้กระแสผลต่าง	38
2.34 กระแสที่เริ่มต้นเข้าหล่อเลี้ยงหม้อแปลง	39
2.35 วงจรการป้องกันบัสโดยใช้รีเลย์ต่อระหว่างโครงสร้างรองรับกับดิน	42
2.36 วงจรการป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟส และลงดินที่บัส	43
2.37 มอเตอร์เหนี่ยวนำ	43
2.28 กราฟ Limit Curves สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก	44
3.1 ด้านหน้าของเครื่องทดสอบรีเลย์ป้องกัน CMC 256 (OMICRON)	50
3.2 ด้านหลังของเครื่องทดสอบรีเลย์ป้องกัน CMC 256 (OMICRON)	50
3.3 ภาพร่างเครื่องทดสอบรีเลย์ป้องกัน CMC 256 (OMICRON)	50
3.4 แผงด้านหน้าแสดงฟังก์ชันการทำงานของเครื่อง CMC 256 (OMICRON)	51
3.5 โปรแกรม Test Universe software CMC 256 (OMICRON)	52
3.6 หน้าจอการทำงานของโปรแกรม Test Universe software CMC 256 (OMICRON)	52
3.7 เครื่อง CMC 156 (OMICRON)	53
3.8 รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	54
3.9 รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า	54
3.10 เครื่องวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ (Multi – Meter)	55
3.11 รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับมอเตอร์	55
3.12 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ (Power Supply)	56
3.13 ตัวปรับการ Reset เวลาที่เกี่ยวข้องกับค่า Temperature	56
3.14 เครื่องทดสอบ CMC 356 (OMICRON)	57
3.15 รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	57
3.16 รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับเครื่องหม้อแปลงไฟฟ้า	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	แบบวงจรจำลองความผิดพร่องชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง	59
4.2	สายไฟที่เกิดการลัดวงจรแบบเส้นเดียวลงกราวน์	60
4.3	ผลของการจำลองแรงดันของการลัดวงจรชนิดเส้นเดียวลงกราวน์ ซึ่งความผิดพร่องนี้ถูกสร้างขึ้นที่เวลา 0.1 s ทำให้แรงดันเฟส A ลดลงต่ำกว่าแรงดันเฟสอื่นๆ	60
4.4	แบบจำลองกระแสของการลัดวงจรชนิดเส้นเดียวลงกราวน์ ความผิดพร่องถูกสร้างขึ้นที่เวลา 0.1 s ทำให้กระแสเฟส A มีการพุ่งเกิน(Over Shoot) สูงกว่าปกติประมาณ 5 เท่า	61
4.5	สายไฟที่เกิดการลัดวงจรแบบสามเฟส	61
4.6	แบบจำลองแรงดันของการลัดวงจรชนิดสามเฟสสมมาตร	62
4.7	แบบจำลองกระแสของการลัดวงจรชนิดสามเฟสสมมาตร	62
4.8	แบบจำลองกระแสพุ่งเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า ประกอบด้วย แหล่งจ่ายขนาด 500 kV หม้อแปลงไฟฟ้า 150 MVA 500/230 kV	63
4.9	พารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส 500 kV, 60 Hz	64
4.10	พารามิเตอร์ของหม้อแปลงขนาด 150 MVA 500/230 kV โดยเพิ่มค่า hysteresis.mat	64
4.11	พารามิเตอร์ของหม้อแปลงขนาด 150 MVA 500/230 kV	65
4.12	ค่ากระแสพุ่งเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า	65
4.13	B-H Curve ของหม้อแปลงไฟฟ้า	66
4.14	แบบจำลองการทำงานของรีเลย์กระแสเกินร่วมกับเซอร์กิตเบรกเกอร์	66
4.15	วงจรดิจิตอลภายในรีเลย์กระแสเกิน	67
4.16	พารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส 500 MVA, 11 kV, 50 Hz	67
4.17	พารามิเตอร์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 3 เฟส	68
4.18	พารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดความผิดพร่อง 3 เฟส	68
4.19	รีเลย์กระแสเกินสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรหลังจากเกิดความผิดพร่องที่เวลา 0.1 sec	69
4.20	รูปคลื่นกระแสก่อนและหลังการเกิด 3 Phase Fault ที่เวลา 0.1 sec	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 รูปคลื่นแรงดันก่อนและหลังการเกิด 3 Phase Fault ที่เวลา 0.1 sec	69
4.22 แบบจำลองการทำงานของรีเลย์ผลต่างร่วมเซอร์กิตเบรกเกอร์	70
4.23 วงจรดิจิตอลภายในรีเลย์ผลต่าง ประกอบด้วย Comparison Logic S-R Flip-Flop และ And Logic	71
4.24 พารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส 500 MVA 11 kV 50 Hz	71
4.25 พารามิเตอร์การตั้งค่าหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส (Y-Y) 250 MVA, 11/0.4 kV	72
4.26 พารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส 250 MVA, 11/0.4 kV	72
4.27 พารามิเตอร์ของการสร้างความผิดพร่อง	73
4.28 พารามิเตอร์ของภาระทางไฟฟ้า	73
4.29 รูปคลื่นกระแสก่อนและหลังเกิดความผิดพร่องนอกโซนป้องกัน ที่เวลา 0.1 sec	74
4.30 รูปคลื่นแรงดันก่อนและหลังเกิดความผิดพร่องนอกโซนป้องกัน ที่เวลา 0.1 sec	74
4.31 รูปคลื่นกระแสก่อนและหลังเกิดความผิดพร่องในโซนป้องกัน ที่เวลา 0.1 sec	75
4.32 รูปคลื่นแรงดันก่อนและหลังเกิดความผิดพร่องในโซนป้องกัน ที่เวลา 0.1 sec	75
4.33 วงจรตัดวงจรแบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ	76
4.34 ภายในวงจรป้องกันกระแสเกินปฐมภูมิ	76
4.35 ภายในวงจรป้องกันกระแสเกินทุติยภูมิ	77
4.36 คลื่นกระแส 3 เฟสทางด้านป้องกันปฐมภูมิก่อนและหลังเกิดความผิดพร่อง	77
4.37 คลื่นแรงดัน 3 เฟสทางด้านป้องกันปฐมภูมิก่อนและหลังเกิดความผิดพร่อง	78
4.38 คลื่นกระแส 3 เฟสทางด้านป้องกันทุติยภูมิก่อนและหลังเกิดความผิดพร่อง	78
4.39 คลื่นแรงดัน 3 เฟสทางด้านป้องกันทุติยภูมิก่อนและหลังเกิดความผิดพร่อง	79
4.40 ไดอะแกรมของวงจรทดลอง	80
4.41 การกำหนดค่า short circuit ของ Bus3	83
4.42 การกำหนดค่า short circuit ของ Bus3	83
4.43 การกำหนดค่าที่ต้องการให้แสดง	84
4.44 กราฟ short circuit ที่ Bus3 (รูปขยาย)	84
4.45 ไดอะแกรมของวงจรทดลอง	85
4.46 การสร้างวงจร 5 Bus เพื่อจำลองการทำงานของ relay	88
4.47 การกำหนดค่าของแต่ละ Bus	88
4.48 การกำหนดค่า External Grid , CT, TR, Line	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.49 การสร้างและกำหนดค่าของ Relay	89
4.50 การคำนวณค่า load flow ของวงจร	90
4.51 การแสดงค่ากราฟ Over Current Relay	90
4.52 กราฟ Over Current relay ที่จำลองได้	91
4.53 วงจร Protection Relay ในโปรแกรม DigSILENT	92
4.54 หมายเลขการทำงานของ BECKWITH : Generator Protection M-3420	93
4.55 ตั้งค่าอัตราส่วนของ CT	95
4.56 ตั้งค่าอัตราส่วนของ VT	95
4.57 การตั้งค่าหมายเลข (24DT#1) : Volts/Hz	96
4.58 การตั้งค่าหมายเลข (24DT#2) : Volts/Hz	97
4.59 การตั้งค่าหมายเลข (27IT) : Volts/Hz	97
4.60 การตั้งค่าหมายเลข (27#1) : RMS Under Voltage	98
4.61 การตั้งค่าหมายเลข (27#2) : RMS Under Voltage	98
4.62 การตั้งค่าหมายเลข (32#1) : Directional Power	99
4.63 การตั้งค่าหมายเลข (32#2) : Directional Power	100
4.64 การตั้งค่าหมายเลข (40#1) : Loss of Field (dual-zone offset-mho Characteristic)	101
4.65 การตั้งค่าหมายเลข (40#1) : Delay Loss of Field (dual-zone offset-mho Characteristic)	101
4.66 การตั้งค่าหมายเลข (40#2) : Loss of Field (dual-zone offset-mho Characteristic)	102
4.67 การตั้งค่าหมายเลข (40#2) : Delay Loss of Field (dual-zone offset-mho Characteristic)	102
4.68 การตั้งค่าหมายเลข (46IT) : Negative Sequence Over Current	103
4.69 กราฟแสดงหมายเลข (46DT) : Negative Sequence Over Current	103
4.70 กราฟแสดงหมายเลข (46) : Negative Sequence Over Current	104
4.71 การตั้งค่าหมายเลข (50) : Instantaneous Over Current	105
4.72 กราฟแสดงหมายเลข (50) : Instantaneous Over Current	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.73	การตั้งค่าหมายเลข (51) : Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint	106
4.74	กราฟแสดงหมายเลข (51) : Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint	107
4.75	กราฟแสดงหมายเลข (50) Instantaneous Over Current และหมายเลข (51) Overcurrent, with Voltage Control or Voltage Restraint	108
4.76	การตั้งค่าหมายเลข (59) : RMS Over Voltage	109
4.77	การตั้งค่าหมายเลข (81#1) : Frequency	110
4.78	การตั้งค่าหมายเลข (81#2) : Frequency	110
4.79	การตั้งค่าหมายเลข (81#3) : Frequency	110
4.80	การตั้งค่าหมายเลข (81#4) : Frequency	111
4.81	การตั้งค่าหมายเลข (87) : Phase Differential Current	111
4.82	กราฟแสดงหมายเลข (50) Instantaneous Over Current และหมายเลข (51) Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint	112
4.83	กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 4 Ka	113
4.84	กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 6 kA	113
4.85	กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 8 kA	114
4.86	กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 10 kA	114
4.87	กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 12 kA	115
4.88	แสดงวงจรที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อจ่ายกระแส 4 kA	116
4.89	กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ที่กระแส 4 kA	116
4.90	แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time เมื่อจ่ายกระแส 4 kA	116
4.91	แสดงวงจรที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อจ่ายกระแส 6 kA	117
4.92	กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ที่กระแส 6 kA	117
4.93	แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time เมื่อจ่ายกระแส 6 kA	118
4.94	แสดงวงจรที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อจ่ายกระแส 8 kA	118
4.95	กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ที่กระแส 8 kA	119
4.96	แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time เมื่อจ่ายกระแส 8 kA	119
4.97	แสดงวงจรที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อจ่ายกระแส 10 kA	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.98 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ที่กระแส 10 kA	120
4.99 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time เมื่อจ่ายกระแส 10 kA	121
4.100 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อจ่ายกระแส 12 kA	121
4.101 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ที่กระแส 12 kA	122
4.102 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time เมื่อจ่ายกระแส 12 kA	122
4.103 ตั้งค่าอัตราส่วนของ CT	124
4.104 ตั้งค่าอัตราส่วนของ VT	124
4.105 การตั้งค่า Beckwith : Generator Protection M-3420 หมายเลข (51) Overcurrent, with Voltage Control or Voltage Restraint	125
4.106 การตั้งค่า Beckwith : Generator Protection M-3420 หมายเลข (50) Instantaneous Over Current	126
4.107 กราฟแสดงค่า Over Current Beckwith : Generator Protection M-3420	126
4.108 การตั้งค่า ABB : REL 670 หมายเลข (50) Instantaneous Over Current	127
4.109 การตั้งค่า ABB : REL 670 หมายเลข (51) Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint	127
4.110 กราฟแสดงค่า Over Current ABB : REL 670	128
4.111 การตั้งค่า GEC Relay Model : KCGG142 หมายเลข (50) Instantaneous Over Current	129
4.112 การตั้งค่า GEC Relay Model : KCGG142 หมายเลข (51) Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint	129
4.113 กราฟแสดงค่า Over Current ของ GEC Relay Model : KCGG142	130
4.114 การตั้งค่า Schweitzer : SEL 751 หมายเลข (51) Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint	131
4.115 กราฟแสดง Over Current ของ Schweitzer : SEL 751	131
4.116 กราฟแสดงการ Coordinate ในหมายเลข Over Current	132
4.117 แสดงค่าการ Coordinate ในหมายเลข Over Current	132
4.118 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 4 kA	133
4.119 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 6 kA	134
4.120 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 8 kA	135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.121 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 10 kA	136
4.122 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA	137
4.123 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA	137
4.124 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA	138
4.125 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA	138
4.126 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA	139
4.127 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA	139
4.128 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ ABB : REL 67 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA	140
4.129 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA	140
4.130 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA	141
4.131 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA	141
4.132 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA	142
4.133 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA	142
4.134 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA	143
4.135 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA	143
4.136 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA	144
4.137 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Timeของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA	144

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.138	กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA	145
4.139	แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA	145
4.140	กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA	146
4.141	แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA	146
4.142	กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA	147
4.143	แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA	147
4.144	กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA	148
4.145	แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Timeของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA	148
4.146	กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA	149
4.147	แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA	149
4.148	กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA	150
4.149	แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA	150
4.150	กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA	151
4.151	แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA	151
4.152	กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA	152
4.153	แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Timeของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA	152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.154 รีเลย์ป้องกันที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	153
4.155 การต่อวงจรสำหรับรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	154
4.156 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับมอเตอร์	174
4.157 รีเลย์ป้องกันที่ใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้า	178

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สถิติการเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้ากำลัง	6
2.2	เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ชนิด Lead Acid กับ Nickel Cadmium	16
2.3	เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ชนิด Flood Lead Acid กับ SMF Lead Acid	17
2.4	การตั้งค่าเวลาในการประสานสัมพันธ์ ของ Over Current Relay	24
2.5	การรับภาระเกินขนาดในขดลวด Stator และ Rotor ตามมาตรฐาน IEEE Std C37.91-2008	29
2.6	ระดับความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทนต่อการเกิด Unbalanced Current	31
2.7	รีเลย์ที่ใช้กับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	33
2.8	คลื่นฮาร์โมนิคขณะกระแสเริ่มเข้าหม้อแปลง	40
2.9	รีเลย์ที่ใช้กับขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า	41
2.10	ความสามารถในการทนอุณหภูมิของมอเตอร์	45
2.11	รีเลย์ที่ใช้กับขนาดของมอเตอร์	47
3.1	คุณสมบัติของการทดสอบรีเลย์ในการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	48
3.2	คุณสมบัติของการทดสอบรีเลย์ในการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า	49
3.3	คุณสมบัติของการทดสอบรีเลย์ในการป้องกันมอเตอร์	49
3.4	คุณสมบัติของการทดสอบรีเลย์ในการป้องกันบัสบาร์	49
4.1	แสดงค่าความจริง S-R Flip Flop ที่ใช้ในการจำลองในรูป 4.15	70
4.2	ข้อมูลบัส	80
4.3	ข้อมูล External grid	80
4.4	ข้อมูล Transformer	81
4.5	ข้อมูล Transmission line	81
4.6	ข้อมูล Load	81
4.7	ข้อมูล Current Transformer	81
4.8	Over Current setting on SEL751A Relay Model(Phase Element)	82
4.9	Over Current setting on SEL751A Relay Model (Ground Element)	82
4.10	ข้อมูลบัส	85
4.11	ข้อมูล External grid	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.12	ข้อมูล Transformer	86
4.13	ข้อมูล Transmission Line	86
4.14	ข้อมูล Load	86
4.15	ข้อมูล Current Transformer	87
4.16	Over Current setting on SEL751A Relay Model(Phase Element)	87
4.17	Over Current setting on SEL751A Relay Model (Ground Element)	87
4.18	การตั้งค่า BECKWITH : Generator Protection M-3420 ด้วยโปรแกรม DIgSILENT	94
4.19	หมายเลข (24) : Volts/Hz	96
4.20	หมายเลข (27) : RMS Under Voltage	98
4.21	หมายเลข (32) : Directional Power	99
4.22	หมายเลข (40) : Loss of Field (dual-zone offset-mho characteristic	100
4.23	หมายเลข (46) : Negative Sequence Over Current	102
4.24	หมายเลข (50) : Instantaneous Over Current	104
4.25	หมายเลข (51) : Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint	106
4.26	หมายเลข (59) : RMS Over Voltage	108
4.27	หมายเลข (81) : Frequency	109
4.28	หมายเลข (87) : Phase Differential Current	111
4.29	แสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ตามค่ากระแสต่างๆ	115
4.30	แสดงค่าเวลาที่รีเลย์ควรจะทำงาน กับการทำงานจริง ตามค่ากระแสต่างๆ	122
4.31	ข้อมูลการตั้งค่า CT , VT Ratio	123
4.32	การตั้งค่า Beckwith : Generator Protection M-3420	125
4.33	การตั้งค่า ABB : REL 670	126
4.34	การตั้งค่า GEC Relay Model : KCGG142	128
4.35	การตั้งค่า Schweitzer : SEL 751	130
4.36	เวลาการทำงานของรีเลย์ ที่กระแสระดับ 4 kA	133
4.37	เวลาการทำงานของรีเลย์ ที่กระแสระดับ 6 kA	134
4.38	เวลาการทำงานของรีเลย์ ที่กระแสระดับ 8 kA	135
4.39	เวลาการทำงานของรีเลย์ ที่กระแสระดับ 10 kA	136
4.40	เวลาการทำงานของรีเลย์ ที่กระแสระดับต่างๆ	136

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.41	แสดงค่าลำดับการทำงานของรีเลย์ และเวลาที่รีเลย์ทำงาน ที่กระแส 4 kA	140
4.42	แสดงค่าลำดับการทำงานของรีเลย์ และเวลาที่รีเลย์ทำงาน ที่กระแส 6 kA	144
4.43	แสดงค่าลำดับการทำงานของรีเลย์ และเวลาที่รีเลย์ทำงาน ที่กระแส 8 kA	148
4.44	แสดงค่าลำดับการทำงานของรีเลย์ และเวลาที่รีเลย์ทำงาน ที่กระแส 10 kA	152
4.45	ข้อมูลของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	155
4.46	การทดสอบรีเลย์ป้องกัน	156
4.47	การตั้งค่า	157
4.48	Generator Differential (87)	163
4.49	การทดสอบการจ่ายไฟ	164
4.50	การทดสอบเวลาในการดำเนินการ	164
4.51	I2 >1 Alarm	164
4.52	I2 >1 Trip	165
4.53	การทดสอบค่าเริ่มต้น	165
4.54	การทดสอบเวลาในการดำเนินการ	165
4.55	Breaker Failure (50BF)	166
4.56	Reverse Power (32)	166
4.57	Reverse Power 2	167
4.58	Loss of Excitation (40-1)	167
4.59	Loss of Excitation (40-2)	168
4.60	Volt/Hz (24DT-1)	168
4.61	Volt/Hz (24DT-2)	169
4.62	Volt/Hz (24IT)	169
4.63	Under Voltage (27)	170
4.64	Over Voltage (59)	170
4.65	Under Frequency	171
4.66	Over Frequency	171
4.67	Neutral Over Voltage (59N)	172
4.68	Inadvertent Energization (50/27)	172
4.69	Voltage Fuse Failure (60FL)	173

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.70	ตารางการตั้งค่า (Setting) ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับมอเตอร์	175
4.71	Meterring Phase Check CT Ratio : 400 / 5 A	176
4.72	ACC Time Test Trip	176
4.73	Unbalanced Test	176
4.74	Over Load Test	177
4.75	Single Phase Test	177
4.76	Metering Ground Check CT Ratio : 50/5 A	177
4.77	การตั้งค่า	179
4.78	ทดสอบกระแสแอมแปร์ 118kV	180
4.79	ทดสอบกระแสแอมแปร์ CT G1	180
4.80	ทดสอบกระแสแอมแปร์ AUX.TR	181
4.81	ทดสอบกระแสแอมแปร์ CT G2	181
4.82	การตั้งค่า	182
4.83	การจับคู่กับ CT	182
4.84	การทดสอบ pick up	183
4.85	การทดสอบไบแอส	183
4.86	เวลาการทำงาน	184
4.87	การบล็อกฮามอนิคส์ที่ 2	185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันได้มีการขยายตัวทางอุตสาหกรรมมากขึ้นทำให้พลังงานไฟฟ้าได้กลายเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งของการดำรงชีวิตและการพัฒนาประเทศ เมื่อการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากำลังของแต่ละอุตสาหกรรมมีมากขึ้นทำให้ระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Electrical network system) มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันที่จำกัดขอบเขตความเสียหายซึ่งอาจจะเกิดขึ้นต่อระบบไฟฟ้าแรงสูงและทำการตัดวงจรส่วนที่เสียหายออกจากระบบอย่างรวดเร็ว

เมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้น ในระบบไฟฟ้ากำลังทำให้มีผลเสียหายต่อกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมและเกิดผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในระดับแรงดันต่างๆ ระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่จะเกิดความผิดพร่องอย่างรุนแรงและมีกระแสสูงมาก ถ้าระบบป้องกันไฟฟ้าที่มีในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมทำงานไม่สอดคล้องกันจะทำให้เกิดการตัดวงจรออกโดยไม่จำเป็นทำให้กระบวนการการผลิตที่ไม่เกิดความผิดพร่องต้องหยุดการผลิต (Shut down) สูญเสียการเชื่อมต่อของระบบ (Synchronism) และเกิดการสูญเสียต่อภาคธุรกิจดังนั้นควรมีการป้องกันการสูญเสียดังกล่าวเพื่อเป็นการเพิ่มความเชื่อถือได้ให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบไฟฟ้ากำลังทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง จึงจำเป็นจะต้องมีระบบป้องกันที่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้

ในการประยุกต์ใช้รีเลย์ป้องกันอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ไม่เพียงแต่ต้องรู้เรื่องหลักการทำงานของรีเลย์แต่ละแบบสำหรับการใช้กับวงจรไฟฟ้าแต่ละประเภทเท่านั้น แต่วิศวกรระบบป้องกัน (Protection Engineers) ยังต้องมีความรู้ความเข้าใจเป็นอย่างดีเกี่ยวกับการทำงานของระบบไฟฟ้าและข้อจำกัดของอุปกรณ์สวิตซ์เกียร์ รวมทั้งจะต้องทำความเข้าใจพฤติกรรมของระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดพร่อง หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นชั่วขณะ (Transient Voltage) อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานและคุณสมบัติของอุปกรณ์ป้องกันพื้นฐานต่างๆ ทางไฟฟ้าแรงสูง ได้แก่ รีเลย์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ หม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดัน และแบตเตอรี่
2. เพื่อศึกษามาตรฐาน IEEE ที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ป้องกันพื้นฐานทางไฟฟ้าแรงสูง
3. เพื่อศึกษาการใช้งานรีเลย์ป้องกันในเขตการป้องกันของระบบไฟฟ้ากำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เพื่อศึกษาการจัดลำดับเวลาการทำงานให้สัมพันธ์กันของรีเลย์ (Co-ordination) กับการเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้าแรงสูง

5. เพื่อศึกษาการวิเคราะห์ระบบป้องกันไฟฟ้าแรงสูงโดยการจำลองโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ได้แก่ MATLAB และ Digsilent

6. ทำการออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบรีเลย์

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาหลักการทำงานและคุณสมบัติของอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ทางไฟฟ้าแรงสูง ได้แก่ รีเลย์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ หม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดัน และแบตเตอรี่

2. ศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ป้องกันพื้นฐานในระบบไฟฟ้าแรงสูง ได้แก่ มาตรฐาน IEEE Std C37.91-2008 IEEE Std C37.110-1996 รวมทั้งมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

3. ศึกษาการใช้งานรีเลย์ป้องกันในเขตการป้องกันของระบบไฟฟ้าแรงสูง ได้แก่ เขตการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เขตการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า เขตการป้องกันบัสบาร์ เขตการป้องกันสายส่งไฟฟ้าหรือสายจำหน่าย และเขตการป้องกันมอเตอร์

4. วิเคราะห์การจัดลำดับเวลาการทำงานให้สัมพันธ์กันของรีเลย์ และการเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้าแรงสูงในระบบแรงดันไม่เกิน 230 kV

5. วิเคราะห์ระบบป้องกันไฟฟ้าแรงสูงโดยการจำลองโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ได้แก่ MATLAB Simulink และ Digsilent

6. วิเคราะห์การทำงานของรีเลย์ด้วยอุปกรณ์ทดสอบรีเลย์

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและศึกษาอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ทางไฟฟ้าแรงสูง ได้แก่ รีเลย์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ หม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดัน และแบตเตอรี่

2. ศึกษามาตรฐานในระบบไฟฟ้าแรงสูงและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบรีเลย์ป้องกันได้แก่ มาตรฐาน IEEE Std C37.91-2008 IEEE Std C37.110-1996 รวมทั้งมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

3. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม MATLAB เพื่อจำลองการทำงานของรีเลย์โดยใช้ Simulink และ Digsilent เพื่อทดสอบการ Co-ordination ในฟังก์ชั่น ของรีเลย์

4. ทดสอบและบันทึกผลการทดสอบของรีเลย์

5. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบของรีเลย์

6. จัดทำปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินการ	ระยะเวลา									
	ปี 2559					ปี 2560				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและศึกษาอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ทางไฟฟ้าแรงสูง ได้แก่ รีเลย์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ หม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดัน และแบตเตอรี่	←- - - →									
	←———									
2. ศึกษามาตรฐานในระบบไฟฟ้าแรงสูงและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบรีเลย์ป้องกัน เช่น มาตรฐาน IEEE Std C37.91-2008 IEEE Std C37.110-1996 รวมทั้งมาตรฐานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง	←- - - - - →									
	←———									
3. ศึกษาการใช้งานโปรแกรม MATLAB และ DIgSILENT ในการจำลองการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าแรงสูง			←- - - - →							
			←———							
4. ทดสอบและบันทึกผลการทดสอบของรีเลย์				←- - - - →						
				←———						
5. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบของรีเลย์							←- - - →			
							←———			
6. จัดทำปริญญานิพนธ์									←- - →	
									←———	

←- - - → วางแผน

←——— ปฏิบัติจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจถึงมาตรฐาน และวิธีการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าแรงสูง ได้แก่ รีเลย์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ หม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดัน และแบตเตอรี่

2. เข้าใจถึงปัญหา และวิธีการแก้ไข รวมทั้งเทคนิคต่างๆ ในการทดสอบรีเลย์ เช่น รีเลย์ป้องกันมอเตอร์ , รีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

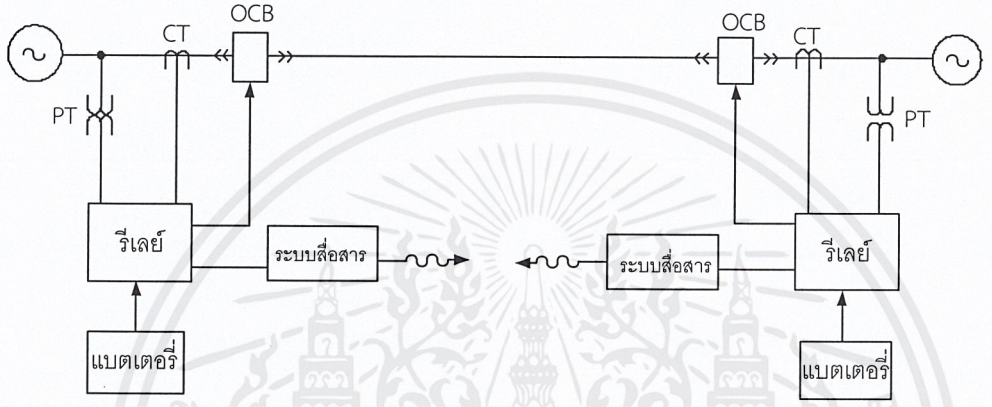
3. ใช้เป็นแหล่งข้อมูลในการวิจัยเกี่ยวกับอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ทางไฟฟ้าแรงสูงสำหรับใช้ในการศึกษาและนำไปพัฒนาต่อไป

4. มีความเข้าใจในการวิเคราะห์โปรแกรมทางวิศวกรรม ได้แก่ MATLAB และ DIgSILENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ประกอบด้วยทฤษฎีด้านวิศวกรรมการป้องกันในระบบไฟฟ้าระบบการป้องกันไฟฟ้าในด้านต่างๆ โดยมีรีเลย์ป้องกัน (Protective Relay) อุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้า องค์ประกอบในการเลือกอุปกรณ์ป้องกันการคำนวณค่าต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง และหลักการทำงานของรีเลย์ป้องกัน (Protective Relay) ชนิดต่าง ๆ โดยระบบการป้องกันไฟฟ้าโดยใช้รีเลย์ควบคุมการทริปเซอร์กิตเบรกเกอร์แสดงดังรูปที่2.1



รูปที่ 2.1 ระบบการป้องกันไฟฟ้าโดยใช้รีเลย์ควบคุมการทริปเซอร์กิตเบรกเกอร์ [1]

2.1 ความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง [1]

ความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง สามารถแบ่งได้เป็น 6 ประเภท ดังนี้

1. การลัดวงจร (Short Circuit) ระหว่างเฟสต่อเฟส หรือเฟสกับดิน มีสาเหตุเนื่องมาจากการเสื่อมของฉนวนไฟฟ้า

2. การเกิดแรงดันสูง (Over Voltage) สาเหตุเนื่องจากอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าผิดปกติ ฟ้าผ่า หรือสวิตช์ชิงเสิร์จ (Switching Surge)

3. การเกิดความถี่ต่ำ (Under Frequency) สาเหตุเนื่องจากการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ได้ไม่เพียงพอกับโหลด

4. การเกิด Out of Step เนื่องจากเกิดการลัดวงจรที่ไม่สามารถถูกกำจัดออกไปอย่างทันท่วงที ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามจุดต่างๆ ไม่สามารถทำงานประสานกันได้

5. การโหลดเกิน (Over Load) มีสาเหตุเนื่องจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าเกินกำลัง

6. การสูญเสียสภาวะซิงโครนัส (Loss of Synchronism)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสถิติการเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้ากำลัง แสดงดังตารางที่ 2.1

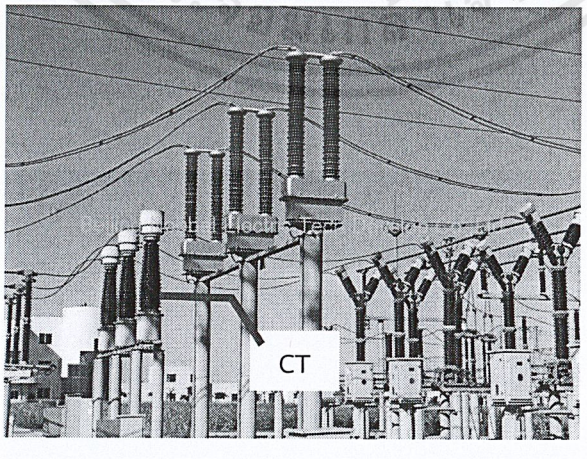
ตารางที่ 2.1 สถิติการเกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้ากำลัง

ชนิดความผิดพร่อง	การเกิดความผิดพร่อง (%)
Line to Ground	85
Line to Line	8
Double Line to Ground	5
Symmetrical Three Phase Fault	2
รวม	100

2.2 อุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง

2.2.1 หม้อแปลงกระแส (CT) [2, 3]

CT ใช้หลักการ Electromagnetic Induction ทำหน้าที่แปลงขนาดกระแสของระบบไฟฟ้าค่าสูงให้เป็นค่าต่ำเพื่อประโยชน์ในการวัด และป้องกันแยกวงจร Secondary ออกจากวงจร Primary เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งโลหะที่ใช้ทำแกนเหล็กส่วนใหญ่ต้องเป็นวัสดุ Ferromagnetic



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการใช้งานของหม้อแปลงกระแสในสถานีไฟฟ้าย่อย [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อแปลงกระแส สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดได้ ดังนี้

1) Toroidal / Donut CT

2) Bushing Type CT

3) Bar-Type CT

1) การบอกลักษณะของ CT

CT จะมีพิกัดกระแสด้านทุติยภูมิเป็น 1 A (IEC Standard) หรือ 5 A (IEEE Standard) เช่น 200/5, 300/5, 400/5 เป็นต้น

2) CT Saturation

กรณีที่เกิดสภาวะทรานเซียนต์ หรือเกิดลัดวงจรในระบบจะส่งผลให้แกนเหล็กของหม้อแปลงกระแสเกิดการอิ่มตัว

วิธีการแก้ไขปัญหา CT อิ่มตัว

1. ระบบป้องกันที่ใช้ “Linear Coupler”

2. รีเลย์ผลต่างแบบเปอร์เซนต์ไบเอส

3. รีเลย์ผลต่างแบบอิมพีแดนซ์สูง

2.2.2 หม้อแปลงแรงดัน (VT) [5, 6]

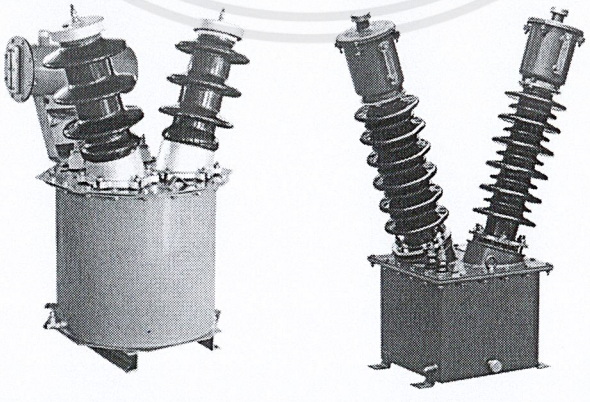
ทำหน้าที่ลดแรงดันด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงที่สูงเป็น 100 kV ลงเหลือแรงดันทุติยภูมิมาตรฐานเช่น 110, 115, 120 V ซึ่งปกติความผิดพลาดของ VT จะมีค่าน้อย โดยปัจจุบัน VT ที่มีใช้งาน คือ

1. Magnetic-Type Voltage Transformer (MVT)

ใช้งานที่แรงดันเดียว หรือที่ Flux Density เดียว ไม่มีลักษณะเป็น Wide Range

2. Capacitive Voltage Transformer (CVT)

ใช้หลักการแบ่งแรงดันมีลักษณะเป็น Capacitive Divider คือมี Capacitor สองชุดต่ออนุกรมกัน



รูปที่ 2.3 ลักษณะภายนอกของหม้อแปลงแรงดัน [7]

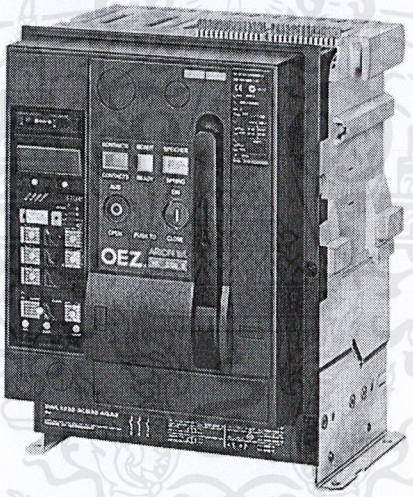
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) [8, 9]

เป็นอุปกรณ์ตัดตอนอัตโนมัติที่ใช้ สำหรับตัดกระแสไฟฟ้าทั้งสภาวะปกติ และเกิดการลัดวงจร ซึ่งมีองค์ประกอบพิเศษเพื่อการดับอาร์ค (Arc) สามารถปลด และสับเข้าไปในวงจรขณะที่มีโหลด นอกจากนี้ยังใช้ในการตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบยังสามารถสับเข้าใหม่ได้โดยอัตโนมัติที่มีความเร็วสูงจะมีเวลาการตัดตอนประมาณ 50 – 60 ms โดยชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ มีดังนี้

1. Air Circuit Breaker (ใช้กับระดับแรงดันต่ำ)

ใช้ลมอัดให้มีแรงดันสูงพ่นดับอาร์ค ความดันของลมที่ใช้ในกรณีอยู่ในระหว่าง 1200-3500 ปอนด์/ ตร.นิ้ว และสามารถเปิดหน้าสัมผัส(Contact) ได้รวดเร็วมาก ในขณะที่หน้าสัมผัสเปิดนั้น กลไกของเซอร์กิตเบรคเกอร์จะไปเปิดลิ้นลมปล่อยให้อัดทะลักเข้าไปที่หน้าสัมผัส และเป่าอาร์คจากหน้าสัมผัสเข้าไปยัง Arc Chute ซึ่งอาร์คจะถูกทำให้เย็นและดับลงอย่างรวดเร็ว และลมอัดจำนวนนี้ก็จะถูกขับดันออกไปภายนอกบรรยากาศ



รูปที่ 2.4 ลักษณะภายนอกของ Air Circuit Breaker [10]

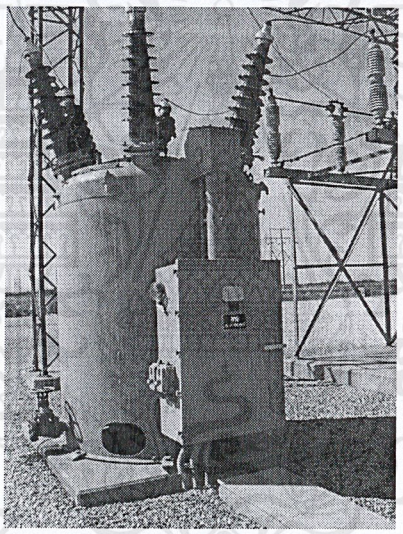
2. Oil Circuit Breaker (ใช้กับระดับแรงดันไม่เกิน 33 kV)

ใช้น้ำมัน Mineral Oil เรียกว่า Insulating Oil เป็นฉนวนผลิตจาก Petroleum แบ่งเป็น 2 แบบ คือ แบบ Bulk Oil Type ใช้น้ำมันมากใส่ในห้องดับอาร์ค (Arcing Chamber) แช่ไว้ในถังเหล็กเรียกว่า Dead Tank Type และแบบ Minimum Oil Type ใช้น้ำมันน้อยใส่ใน Arcing Chamber แช่ไว้ใน Porcelain ตั้งอยู่บน Support Insulator เรียกว่า Live Tank Type ในปัจจุบันแทบไม่มีการผลิต Oil Circuit Breaker เพื่อใช้ในระดับแรงดันสูงกว่า 69 kV อาร์คเกิดใน Arcing Chamber ที่เป็น Insulated Pressure Chamber ในขณะที่หน้าสัมผัส เริ่มเคลื่อนที่จากกัน น้ำมันในห้องดับอาร์ค ยังมีอุณหภูมิและความดันปกติ เมื่อเริ่มมีระยะห่าง Gap จะเกิดอาร์คและความร้อนที่ทำให้น้ำมันบริเวณนั้นแตกตัว (Vaporize) เกิดความดันขึ้นในห้องดับอาร์คเมื่อหน้าสัมผัส ที่เคลื่อนที่จะเปิดช่องระบายด้านข้างในห้อง ช่องระบายจะวางเรียงตัวตามแนวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าสัมผัส เคลื่อนที่ ช่องระบายจะทำหน้าที่ระบายความดัน มีผลคือจะนำเอาพลังงานออกจากอาร์คและบังคับให้บางส่วนของอาร์คยาวยื่นเข้าไปในช่องระบายอาร์คก็จะยาวขึ้น ในกรณีที่ Minimum Oil Breaker ตัดกระแสสูงที่แรงดันสูง จะมีการออกแบบให้มีลักษณะเป็น Oil Pump ในขณะที่หน้าสัมผัส เคลื่อนที่จากกัน ฉีดน้ำมันเข้าไปในห้องดับอาร์คเพื่อเร่งระบายความร้อนออกจาก Bulk Oil Breaker จะมีหน้าสัมผัสและห้องดับอาร์คหนึ่ง หรือสองชุดต่อ 1 เฟส และอาจจะอยู่ในถังเดียวกันโดยมีแผ่นกั้น (Barrier) ระหว่างเฟสหรือแยกถังออกเป็นแต่ละเฟสก็ได้Minimum Oil Breaker อาจใช้ Interrupter Unit มาต่ออนุกรมกันภายนอก เพื่อให้แต่ละ Chamber แบ่งแรงดันเท่าๆ กัน หน้าสัมผัสที่ใช้ต่อ หรือแยกวงจรจะมีส่วนที่อยู่กับที่ เรียกว่า Fixed Contact และส่วนที่เคลื่อนที่ เรียกว่า Moving Contact ส่วนที่เป็น Fixed Contact จะมีส่วนปลายเป็นทองแดงที่เป็นชิ้นๆ ประกอบกันเป็นก้อนมีรูอยู่ที่ตรงกลางเพื่อให้ Moving Contact เสียบเข้าได้

โดยข้อเสียของ Oil Circuit Breaker คือ การจุดไฟ/ติดไฟ และการบำรุงรักษา อาจจะทำได้ยากและไม่เหมาะสมกับการใช้งาน อีกทั้งยังต้องเก็บน้ำมันไว้ในที่ที่เหมาะสมด้วย



รูปที่ 2.5 ลักษณะภายนอกของ Oil Circuit Breaker [11]

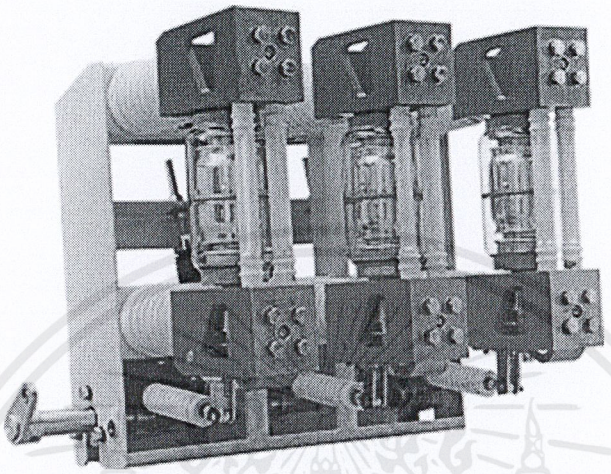
3. Vacuum Circuit Breaker (ใช้กับระดับแรงดัน 69, 115, 230 kV)

เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบสุญญากาศ (Vacuum Circuit Breaker) เมื่อหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ แยกออกจากกัน จะทำให้เกิดอาร์คขึ้น ซึ่งอาร์คที่เกิดขึ้นประกอบด้วย อิเล็กตรอน ไอออน ส่วนผสมของก๊าซ รวมเรียกว่าพลาสมา (Plasma) ซึ่งทำให้เกิดการนำไฟฟ้าขึ้นได้ การเกิดอาร์คนี้ทำให้หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์เสียหายได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดับอาร์คในเวลาที่เร็วที่สุด

เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบสุญญากาศเป็นการดับอาร์คแบบลดความดัน คือ ที่ความดันต่ำมาก จะมีค่าความคงทนของไดอิเล็กตริกสูงพอสมควร และมีโมเลกุลของอากาศเหลือน้อยมาก เนื่องจากเข้าใกล้สุญญากาศ เมื่อโมเลกุลของอากาศเหลือน้อยทำให้เกิดอาร์คได้ยาก และเมื่อกระแสสลับผ่านศูนย์ลงไปแล้ว จะลดความรุนแรงของอาร์คลงและค่าคงทนของไดอิเล็กตริกสูงพอสมควร จึงทำให้อาร์คสามารถดับลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบสุญญากาศส่วนมากจะติดตั้งภายในอาคารและตัวหน้าสัมผัส(Interrupter) ไม่ต้องการการบำรุงรักษา เพราะหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบสุญญากาศอยู่ในสุญญากาศจึงไม่มีสิ่งสกปรกและจะมีอายุการใช้งานยาวนานแต่การผลิตเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบสุญญากาศนั้นทำได้ยากเพราะหน้าสัมผัสจะเป็นโลหะชนิดพิเศษ และไม่สามารถสร้างให้มีแรงดันสูงได้



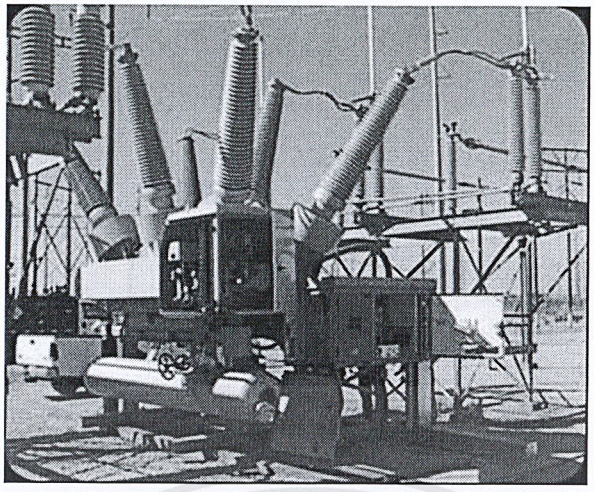
รูปที่ 2.6 ลักษณะภายนอกของ Vacuum Circuit Breaker [12]

4. SF_6 Circuit Breaker (ใช้กับระดับแรงดัน 500 kV)

เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบ SF_6 ซึ่งก๊าซ SF_6 เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ติดไฟ ไม่ช่วยให้ติดไฟและไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น ทนความร้อนได้สูง มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ และมีความคงทนของสารไดอิเล็กตริกสูงมาก ก๊าซ SF_6 จะมีแรงดันเบรกดาวน์สูงเนื่องจาก สามารถจับตัวอิเล็กตรอนอิสระในสนามไฟฟ้าได้มาก ดังนั้นอิเล็กตรอนจะไปเกาะก๊าซ SF_6 ทำให้ มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นก๊าซที่สามารถจับอิเล็กตรอนได้ไอออนลบซึ่งเคลื่อนที่ได้ช้า เป็นผลทำให้อัตราการเพิ่มของอิเล็กตรอนอิสระถูกหน่วงให้ช้าลงด้วย ส่งผลให้ก๊าซ SF_6 มีแรงดันเบรกดาวน์สูงกว่าก๊าซชนิดอื่น จึงเหมาะในการนามาใช้เป็นฉนวนของเซอร์กิตเบรกเกอร์

ในห้องดับอาร์คประกอบด้วย หน้าสัมผัสที่อยู่กับที่และหน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ได้กับก๊าซ SF_6 ที่บรรจุในห้องดับอาร์ค โดยก๊าซ SF_6 จะถูกเป่าเข้ามาในทรงกระบอก เมื่อมีการแยกออกของหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำให้ความดันในห้องดับอาร์คมีความดันเพิ่มขึ้น เมื่อก๊าซ SF_6 เป่าลำอาร์ค ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมลำอาร์ค และทำให้อาร์คแตกตัวเป็นลำแคบๆ และบริเวณรอบๆ จะมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้อาร์คสามารถดับได้และก๊าซ SF_6 สามารถกลับคืนสภาพได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้ยากต่อการเกิดแรงดันตกคร่อมหน้าสัมผัส (Recovery Voltage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ลักษณะภายนอกของ SF_6 Circuit Breaker [13]

2.2.4 สวิตช์ใบมีดปลดวงจร (Disconnecting Switch) [6, 8]

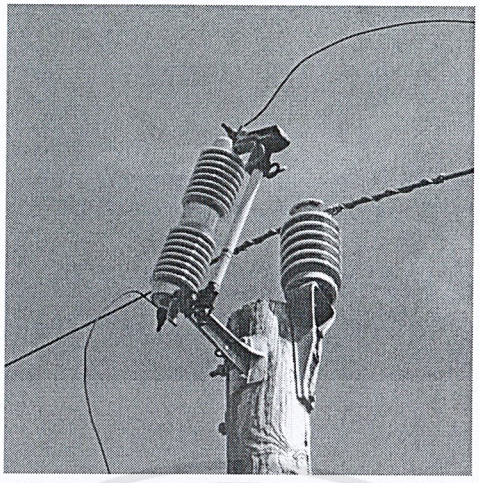
ทำหน้าที่ปลดอุปกรณ์ออกจากระบบ เพื่อทำการบำรุงรักษาสวิตช์จะออกแบบเพื่อใช้งานสำหรับปลดและสับวงจรขณะไม่มีโหลด ซึ่งการใช้งานของสวิตช์ใบมีดปลดวงจร มีดังนี้

1. ขณะที่เซอร์กิตเบรกเกอร์อยู่ในสภาพปิด ห้ามทำการปลดสวิตช์สับวงจร
2. ระหว่างสวิตช์ใบมีดกับใบมีดต่อลงกราวด์ เมื่อสับสวิตช์ใบมีดต่อลงกราวด์อยู่จะสับใบมีดไม่ได้ในทำนองเดียวกันกับเซอกิตเบรกเกอร์กับใบมีดหัวท้าย
3. ห้ามสับสวิตช์ใบมีดในขณะจ่ายโหลดโดยเด็ดขาด

2.2.5 ฟิวส์กำลังแรงสูง (High Voltage Power Fuse) [6]

ฟิวส์กำลังแรงสูงใช้ป้องกันอุปกรณ์ เช่น หม้อแปลง คาปาซิเตอร์แบงค์ (Capacitor Bank) สายเคเบิล และสายส่งแรงสูง เป็นต้น เมื่อเกิดความผิดพร่องจะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอุปกรณ์ทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นฟิวส์กำลังแรงสูงจึงเป็นอุปกรณ์ป้องกันได้ดี สามารถทำงานได้รวดเร็วกว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์ และรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ฟิวส์กำลังแรงสูง (High Voltage Power Fuse) [14]

2.2.6 แบตเตอรี่ (Battery)

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไป ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโตรไลต์ (electrolyte solution)

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ได้ผลิตไฟฟ้า สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (recharge)ได้หลายครั้ง และประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุ/จ่ายประจุนั่นเอง

1. ความสามารถในการจัดเก็บพลังงาน

ความจุของแบตเตอรี่ในการบรรจุพลังงานมีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour; Ah) พลังงานในแบตเตอรี่ 12 V 100 Ah หมายถึง 12V x 100Ah หรือ 12V x 100A x 3600s จะได้เท่ากับ 4.32 MJ ถ้าแบตเตอรี่ 100 Ah หมายถึงแบตเตอรี่จะจ่ายกระแส 1 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ชั่วโมง แบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากันอาจมีความเร็วในการจ่ายกระแสต่างกันได้

2. การทำงานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ประกอบด้วยเซลล์หรือหมู่ของเซลล์ต่อเข้าด้วยกัน ในหมู่ของเซลล์ประกอบขึ้นด้วยกลุ่มของแผ่นธาตุทั้งแผ่นบวกและแผ่นลบ ซึ่งแผ่นธาตุทั้งบวกและลบทำจากโลหะต่างชนิดกันกั้นด้วยฉนวน เรียกว่าแผ่นกั้น โดยนำมาจุ่มไว้ใน Electrolyte (Sulfuric Acid) น้ำกรดผสมจะทำปฏิกิริยากับแผ่นธาตุในเชิงเคมีเพื่อเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า และแต่ละเซลล์สามารถจ่ายประจุไฟฟ้าได้ประมาณ 2 โวลต์ เซลล์ของแบตเตอรี่ส่วนมากจะถูกนำมาต่อเข้ากับแบบอนุกรม (Series) ซึ่งจะเพิ่มโวลต์หรือแรงดันขึ้นเรื่อยๆ เช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ จะต้องใช้จำนวนเซลล์ 6 เซลล์มาต่อกันแบบอนุกรม และแบตเตอรี่ 24 โวลต์ ใช้ 12 เซลล์มาต่ออนุกรมกัน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดพลังงานไฟฟ้า แผ่นธาตุสองชนิดแผ่นบวก คือ Lead Dioxide และแผ่นลบ คือ Sponge Lead ถูกนำมาจุ่มลงในกรดผสม และแรงดันก็จะเกิดขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อระบบแบตเตอรี่ครบวงจร กระแสก็จะไหลทันทีเพื่อเปลี่ยนพลังงานเคมีออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ในกรณีนี้เรียกว่า การคายประจุ (Discharge) ซึ่งสารละลายที่มีความเป็นกรดในน้ำกรดผสมจะวิ่งเข้าทำปฏิกิริยาต่อแผ่นธาตุทั้งทางบวกและลบ โดยจะค่อยๆ เปลี่ยนสภาพของแผ่นธาตุทั้งสองชนิดให้กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (Lead Sulfate) เมื่อแผ่นธาตุทั้งบวกและลบเปลี่ยนสภาพไปเป็นโลหะชนิดเดียวกัน คือ ตะกั่วซัลเฟต แบตเตอรี่ก็จะไม่มีสภาพของความแตกต่างทางแรงดันและกระแส ก็จะทำให้กระแสหยุดไหล

3. ค่า DOD (Depth of Discharge) ของแบตเตอรี่

ค่าที่บอกถึงความสามารถของแบตเตอรี่ ในการนำเอาความจุที่มีอยู่ออกมาใช้งาน อาจจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือ Ah ก็ได้ ยกตัวอย่าง เช่น แบตเตอรี่เต็มความจุคือ 100% แต่สามารถนำเอาออกมาใช้งานได้เพียง 35% ที่เหลือ 65% เก็บสำรองไว้เพื่อรักษาแบตเตอรี่เอาไว้ นั่นคือแบตเตอรี่นี้มี DOD 35%

4. ส่วนประกอบของแบตเตอรี่

1. แผ่นธาตุบวก (Positive Plate) เป็นโลหะผสมของตะกั่วผสมกับสารละลายกรดซัลฟูริก (Sulfulic Acid) มี 2 ชนิด คือ แบบหลอด (Tubular Type) และ แบบเรียบ (Pasted Type)

2. แผ่นธาตุลบ (Negative Plate) เป็นโลหะผสมของตะกั่วเช่นเดียวกัน แต่เติมสารเร่งปฏิกิริยามีเฉพาะ แบบเรียบ

3. แผ่นกั้น (Seperator) มีหลายชนิด เช่น แผ่นกั้นยางไมโครโฟรัส (Microporous Rubber) พลาสติก (Plastic) กระดาษใยแก้ว

4. เปลือกและฝา (Container and Cover) ทำจากพลาสติกใส (Transparent Plastic) ซึ่งมีความยืดหยุ่นทนต่อแรงกระแทก ทนต่อการกัดกร่อนของกรด

5. ประเภทของแบตเตอรี่

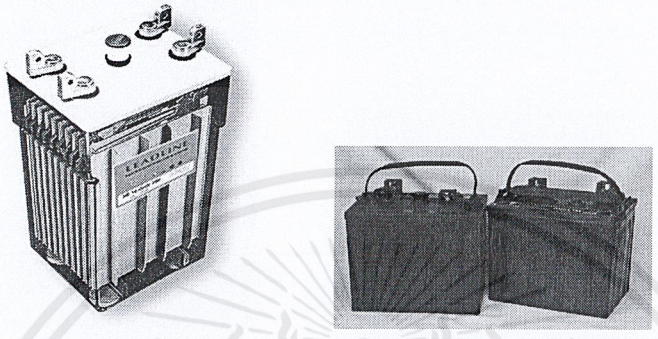
แบตเตอรี่จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆที่จะใช้ใน UPS คือ

5.1 Vented หรือ Flooded Lead Acid batteries

แบตเตอรี่ชนิดนี้จะแบ่งย่อยอีกเป็น 2 ประเภทคือ แบบชนิดเป็นแท่งหลอด และแบบแผ่นเรียบ โดยความแตกต่างกันระหว่างโครงสร้างของแบตเตอรี่ทั้ง 2 ชนิดนี้คือ โดยส่วนมากชนิดแท่งหลอดจะมีอายุการใช้งานอยู่ที่ 8-10 ปี ส่วนแบตเตอรี่แบบแผ่นเรียบจะมีความคงทนทั้งทางกลและทางไฟฟ้ามากกว่าแบบแท่งหลอด คือจะมีอายุการใช้งานส่วนใหญ่อยู่ที่ 15-20 ปี ทั้งนี้เพราะว่าแบตเตอรี่แบบนี้จะมีฤทธิ์ของการกัดกร่อนและก่อให้เกิดก๊าซขณะชาร์จไฟ เพราะกรดซัลฟูริกมีการระเหยของตัวทำละลาย จึงจำเป็นจะต้องนำมาใช้ในห้องที่มีการออกแบบพิเศษ คือมีการระบายอากาศที่ดี และต้องเก็บวางไว้ให้ห่างจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความเปราะบางละเอียดอ่อน โดยห้องจะต้องมีการแยกห้องและชั้นวางโดยการติดตั้งด้วยแผ่นกระเบื้องชนิดป้องกันกรด ในการบำรุงรักษาจะต้องมีการตรวจสอบในเรื่องของความถ่วงจำเพาะ เพื่อใช้ในการเติมน้ำกรดและแบตเตอรี่ชนิดนี้มีความสามารถในการทนต่ออุณหภูมิและแรงดันที่สูงและการดิสชาร์จอาจส่งผลต่อตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

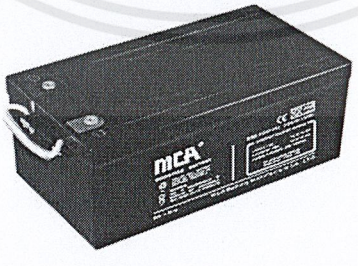
แบตเตอรี่เล็กน้อย ภายในห้องที่บรรจุแบตเตอรี่จำเป็นจะต้องห้ามสูบบุหรี่หรือก่อประกายไฟภายในห้อง และการชาร์จแบตเตอรี่ชนิดนี้จะไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ จึงจำเป็นจะต้องชาร์จอยู่กับที่เท่านั้น ในการชาร์จไฟครั้งแรกจะใช้เวลาในการชาร์จประมาณ 55-90 ชั่วโมง และแรงดันแต่ละเซลล์คือ 2 V แบตเตอรี่ประเภทนี้ส่วนมากจะใช้สำหรับในระบบ UPS ที่ต้องการความจุสูงมาก โดยส่วนมากจะใช้ในโรงไฟฟ้า



รูปที่ 2.9 แบตเตอรี่แบบ Vented หรือ Flooded Lead Acid batteries [15]

5.2 Sealed maintenance free batteries (SMF)

แบตเตอรี่ชนิด Valve Regulated Lead Acid (VRLA) แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่นิยมอย่างมากในการใช้งานเป็น UPS สำหรับคอมพิวเตอร์หรือการใช้งานในเชิงพาณิชย์ แบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่ได้ก่อให้เกิดควันก๊าซใดๆ และด้วยเหตุผลนี้เองจึงสามารถที่จะติดตั้งแบตเตอรี่ชนิดนี้ใกล้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆได้ นอกจากนี้แบตเตอรี่ชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องมีการบำรุงรักษาหรือการตรวจสอบความถ่วงจำเพาะเพื่อเติมน้ำกรด เหมือนแบตเตอรี่ชนิด Lead Acid อีกด้วย แบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีอายุการใช้งานค่อนข้างสั้นคือประมาณ 3-5 ปี โดยอายุการใช้งานนี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบการชาร์จ และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนมากจะนิยมใช้ในงานเชิงพาณิชย์เพราะมีการติดตั้งง่าย ไม่จำเป็นต้องบำรุงรักษา



รูปที่ 2.10 แบตเตอรี่แบบ Sealed maintenance free batteries [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 Nickel Cadmium (Ni-cd) batteries

Nickel Cadmium batteries จะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนในกระบวนการอิเล็กโตรไลซิสแต่ว่าก๊าซพวกนี้จะไม่ก่อให้เกิดการสึกกร่อนเหมือนกับแบตเตอรี่ชนิดFlood Lead Acid batteries ดังนั้นจึงสามารถทำการติดตั้งใกล้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความเปราะบางและมีความละเอียดอ่อนได้ และมีการใช้น้ำน้อยจึงทำให้มีการตรวจซ่อมบำรุงรักษาน้อย โดยปกติจะมีอายุการใช้งานในช่วง 20-25 ปี และแบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ประเภทต่างๆที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ โดยราคาเริ่มต้นอาจจะประมาณ 3 เท่าของแบตเตอรี่แบบ Flood Lead Acid batteries โดยจะขึ้นอยู่กับขีดความสามารถของตัวมัน แบตเตอรี่ชนิดนี้จะไม่ส่งผลเสียต่ออายุการใช้งานที่อุณหภูมิสูง และสามารถทำงานที่อุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าแบตเตอรี่แบบ Flood Lead Acid batteries โดยปกติแต่ละเซลล์จะมีแรงดันที่ 1.2 V ต่อเซลล์ แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนมากจะใช้ใน UPS ของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารเคมีหรือสภาพแวดล้อมที่อันตราย เช่น โรงงานปุ๋ย โรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานสารเคมีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการเปรียบเทียบกันระหว่างแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.2 และ 2.3

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ชนิด Lead Acid กับ Nickel Cadmium

ลำดับ	รายละเอียด	Ni-Cd	VRLA	หมายเหตุ
1	ความน่าเชื่อถือ	กรณีเกิดเหตุเลวร้ายที่สุดคือเซลล์เกิดการลัดวงจร ผลคือทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง แต่จะยังสามารถจ่ายไฟให้กับระบบได้อยู่	กรณีเกิดเหตุเลวร้ายที่สุดคือเซลล์เกิดการเปิดวงจร ผลคือทำให้แบตเตอรี่เสียหายฉุกเฉิน ทำให้ไม่สามารถจ่ายไฟให้กับระบบได้	ในจุดนี้ถือว่า Ni-Cd ทำได้ดีกว่าในแง่ของการใช้งาน
2	ความต้องการเครื่องปรับอากาศและต้นทุนด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้น	ไม่ต้องการ	ต้องการ	VRLA มีต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากแอร์และพลังงานที่ใช้
3	อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ (อ้างอิงจากผู้ผลิตใน UK)	20 ปี	5-7 ปี	VRLA มีต้นทุนที่เพิ่มขึ้นในด้านการเปลี่ยนทุกๆ5-7ปี เช่น ในปีที่ 6,12
4	ราคาแบตเตอรี่	แพงกว่า VRLA ประมาณ 3 เท่า	-	-
5	ค่าใช้จ่ายเริ่มต้นและ ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน	Ni-Cd มีค่าใช้จ่ายเริ่มต้นที่แพงกว่า VRLA แต่มีอายุการใช้งานที่นานกว่า และมีค่าใช้จ่ายระหว่างอายุการใช้งานถูกกว่า	Lead Acid มีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าแต่มีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าและต้องมีค่าใช้จ่ายระหว่างอายุการใช้งานเป็นระยะๆ	-
6	ขนาด	โดยทั่วไป**เซลล์** Ni-Cd จะมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ VRLA	VRLA มีขนาดแบตเตอรี่เล็กที่สุด	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ชนิด Flood Lead Acid กับ SMF Lead Acid

ลำดับ		Flood Lead Acid	VRLA
1	แผ่นขั้วบวก	ขั้วบวกจะถูกวางอยู่ในวัสดุที่ทำจากโพลีเอสเตอร์ ไม่สามารถปลดออกขณะกำลังชาร์จได้ และสามารถชาร์จได้ขั้นต่ำ 1200 รอบที่ 80%ของการคายประจุ	เป็นแผ่นแบนๆ วางบนโลหะผสมตะกั่ว ซึ่งจะมีอายุการใช้งานสั้น โดยชาร์จขั้นต่ำได้ 500รอบที่ 80% ของการคายประจุ
2	อิเล็กโทรด	แบตเตอรี่ใน UPS จะทำงานโดยความถ่วงจำเพาะที่ต่ำประมาณ 1.2 และปริมาตรขนาดใหญ่ ส่งผลให้มีการกัดกร่อนน้อยทำให้มีอายุการใช้งานยาวนาน อีกทั้งห้องที่มีขนาดใหญ่และมีการระบายความเย็นที่ดี จะช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้อีกด้วย	แบตเตอรี่แบบ VRLA จะทำงานโดยแรงดึงดูดอิเล็กโทรดที่สูงประมาณ 1.28 - 1.30 และปริมาตรขนาดเล็ก แต่ละเซลล์จะได้รับความร้อนสูง ขึ้นในระหว่างการชาร์จ และมีอัตราการคายประจุสูง ส่งผลให้มีอายุการใช้งานสั้น
3	ตัวคั่น	ใช้ Micro porous poly ethylene เป็นตัวคั่น ซึ่งยอมให้ไอออนบวกเคลื่อนที่ไปหาไอออนลบอย่างอิสระแต่ละแผ่นเพลส	ใช้ Adsorptive glass mat เป็นตัวคั่น ซึ่งจะปิดกั้นขั้วบวกและขั้วลบในแผ่นทำให้มีโอกาสในการเกิดลัดวงจรในเซลล์มากขึ้น
4	ความสามารถในการชาร์จ	สามารถชาร์จได้ที่กระแสและแรงดันที่คงที่ และน้ำจะหายไปในระหว่างการชาร์จที่นานเกินไป แต่สามารถเติมเข้าไปได้ด้วยตนเอง	VRLAสามารถชาร์จได้ที่แรงดันที่คงที่และกระแสที่จำกัด โดยห้ามชาร์จนานเกิน โดยอาจเกิดการเสื่อมของแบตเตอรี่ได้ และไม่สามารถเติมสารเข้าไปได้อีกและจะมีการสูญเสียน้ำอีกด้วย ส่งผลให้จะมีค่าแรงดึงดูดอิเล็กโทรดสูงขึ้นและอายุการใช้งานลดลง
5	ถังบรรจุ	ใช้แบบโปร่งใส เพื่อจะได้มองเห็นระดับของสารอิเล็กโทรด สำหรับการเติมสารในการตรวจบำรุงรักษา และมีการบำรุงรักษาต่ำ	ไม่สามารถมองเห็นอิเล็กโทรดได้
6	อุณหภูมิควบคุมที่เหมาะสม	อุณหภูมิโดยทั่วไปไม่ได้มีการเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติระหว่างการชาร์จ จึงไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศ	มีการบรรจุอย่างมิดชิด ทำให้อุณหภูมิมีการเพิ่มขึ้นอย่างสูงระหว่างการชาร์จ จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้การบำรุงรักษาราคาสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 เครื่องสำรองไฟฟ้า (Uninterruptible Power Supply : UPS)

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่สามารถทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างต่อเนื่อง แม้ในเวลาที่เกิดไฟดับหรือเกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าผันผวนผิดปกติ โดย UPS จะทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

UPS มีหน้าที่หลัก คือ ป้องกันความเสียหายที่สามารถเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อันมีสาเหตุจากความผิดปกติของพลังงานไฟฟ้า เช่น ไฟตก, ไฟดับ, ไฟกระชาก และไฟเกิน เป็นต้น รวมถึงมีหน้าที่ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองจากแบตเตอรี่ให้แก่อุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เมื่อเกิดปัญหาทางไฟฟ้า

1. ส่วนประกอบและหลักการทำงานของ UPS

1.1 เครื่องประจุกระแสไฟฟ้า (Charger)

เครื่องประจุแบตเตอรี่ หรือเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจาก AC เป็น DC (Rectifier)

1.2 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

ทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้า DC จากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า AC เป็น DC หรือแบตเตอรี่ และแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า AC สำหรับใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

1.3 แบตเตอรี่ (Battery)

ทำหน้าที่เก็บพลังงานไฟฟ้าสำรองไว้ใช้ในกรณีเกิดปัญหาทางไฟฟ้า โดยจะจ่ายกระแสไฟฟ้า DC ให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในกรณีที่ไม่สามารถรับกระแสไฟฟ้า AC จากระบบจ่ายไฟได้

2. ชนิดของ UPS สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

2.1 Offline UPS หรือ Standby UPS

อุปกรณ์ไฟฟ้า (Load) จะได้รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าหลัก จากการไฟฟ้าโดยตรง ในขณะเดียวกัน เครื่องประจุกระแสไฟฟ้า จะทำการประจุกระแสไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ไปด้วย แต่เวลาที่ไฟฟ้าดับ แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานไฟฟ้ากับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าและจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยใช้ตัวสับเปลี่ยน (Transfer Switch) สำหรับเลือกแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าระหว่างระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าหลัก หรือเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

กรณี สภาวะไฟฟ้าปกติหรือกระแสไฟฟ้าผิดปกติเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้นมากจน ตัวสับเปลี่ยนสลับแหล่งจ่ายไฟฟ้าไม่ทัน พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า จะมาจากระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ดังนั้น ถ้าคุณภาพไฟฟ้าจากระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าไม่ดี เช่น ไฟตก ไฟดับ ไฟกระชาก หรือมีสัญญาณรบกวน เป็นต้น อุปกรณ์ไฟฟ้าก็จะได้รับพลังงานไฟฟ้าคุณภาพไม่ดีเช่นเดียวกัน เนื่องจาก UPS ชนิดนี้ถูกออกแบบให้ป้องกันกรณีเกิดไฟดับเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ไม่สามารถป้องกันปัญหาแรงดันไฟฟ้าที่ผันผวนและสัญญาณรบกวนได้ จึงทำให้มีราคาถูกกว่า UPS ชนิดอื่นๆ และไม่เหมาะกับการใช้งานในบางพื้นที่ เช่น สถานที่ใกล้

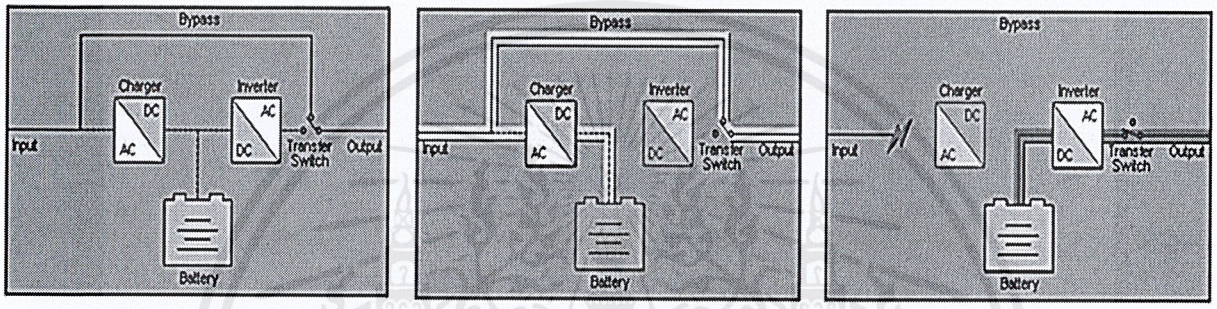
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า เช่น เขื่อน สถานีไฟฟ้า และสถานีไฟฟ้าย่อย เป็นต้น รวมถึงไม่เหมาะกับการใช้งานในประเทศไทยด้วย เนื่องจากเกิดไฟตกบ่อยครั้ง

ข้อดีและข้อเสีย ของ UPS ระบบนี้

ข้อดี : ราคาถูก ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา, ออกแบบง่าย ไม่ซับซ้อน, สามารถป้องกันปัญหาไฟดับได้เพียงอย่างเดียว และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่และ UPS สั้น

ข้อเสีย : ไม่สามารถแก้ไขปัญหาทางไฟฟ้า เช่น ไฟตก – ไฟเกินได้ และเมื่อมีความผิดปกติทางไฟฟ้าผ่านเข้าไปยัง UPS จะผ่านไปให้กับ Load ทันที ทำให้ Load เสียหายได้



รูปที่ 2.11 Offline UPS หรือ Standby UPS

2.2 Line Interactive UPS with Stabilizer หรือ Online Protection UPS

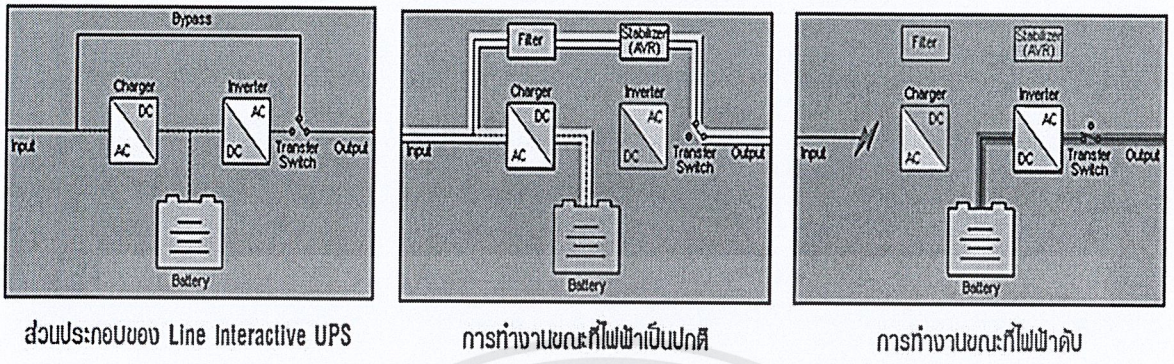
คล้ายคลึงกับ Offline UPS มาก แต่จะมีส่วนที่เพิ่มขึ้นมา คือ ระบบปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ (Stabilizer / AVR) เพื่อป้องกันปัญหาทางไฟฟ้า ช่วยให้ UPS ไม่จำเป็นต้องจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองจากแบตเตอรี่ทุกครั้งที่ไฟตกหรือไฟเกิน ไม่มากนัก ในขณะที่สภาวะไฟฟ้าปกติ อุปกรณ์ไฟฟ้า จะได้รับพลังงานไฟฟ้าจากระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าหลักจากการไฟฟ้า โดยผ่านระบบปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัตินี้ ซึ่งจะมีหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ ป้องกันปัญหาไฟตก ไฟเกิน และไฟกระชาก เป็นต้น พร้อมกันนี้ เครื่องประจุกระแสไฟฟ้า ก็จะทำการประจุกระแสไฟฟ้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เมื่อไฟฟ้าดับจะจ่ายพลังงานให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ทำการแปลงกระแสไฟฟ้าและจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยใช้ตัวสับเปลี่ยน สำหรับเลือกแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าระหว่างระบบปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ หรือเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งจัดได้ว่าเป็น UPS ที่เหมาะกับการใช้งานในประเทศไทยมากที่สุด ราคาไม่แพงและคุณภาพไฟฟ้าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ข้อดีและข้อเสีย ของ UPS ระของ UPS ระบบนี้

ข้อดี : มีระบบปรับแรงดันไฟฟ้าอัตโนมัติ เพื่อป้องกันปัญหาไฟเกินและไฟตก และราคาเหมาะสำหรับการใช้งานทั่วๆ ไป มีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสีย : ไม่สามารถแก้ปัญหาความผิดพลาดทางด้านความถี่ได้ และไม่เหมาะสำหรับอุปกรณ์ที่มีความไวต่อคุณภาพของกระแสไฟฟ้ามากๆ เช่น เครื่องมือแพทย์/เครื่องจักร



รูปที่ 2.12 Line Interactive UPS with Stabilizer หรือ Online Protection UPS

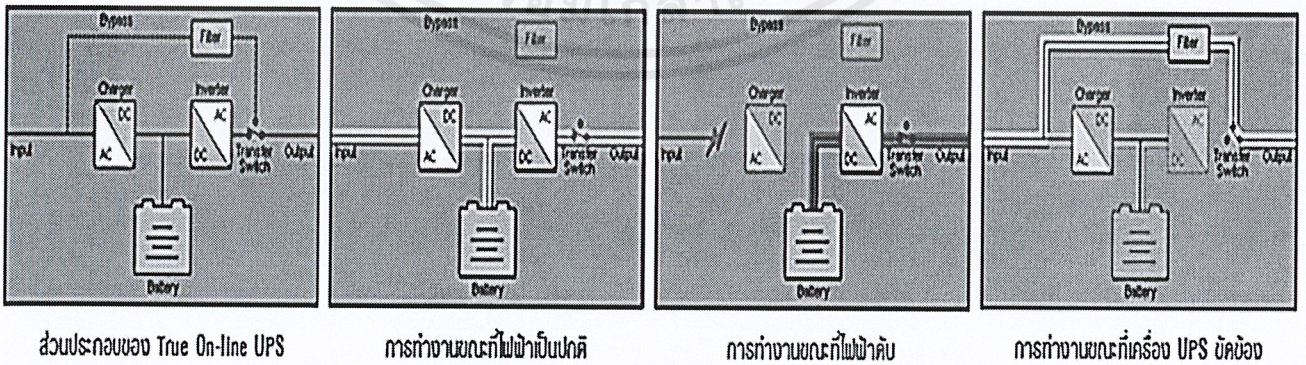
2.3 True on-line UPS

เป็น UPS ที่มีศักยภาพสูงสุด สามารถป้องกันปัญหาทางไฟฟ้าได้ทุกกรณี ไม่ว่าจะเป็น ไฟดับ, ไฟตก, ไฟเกินหรือสัญญาณรบกวนใดๆ และให้คุณภาพไฟฟ้าที่ดี กล่าวคือ เครื่องประจุกระแสไฟฟ้า และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า จะทำงานตลอดเวลา ไม่ว่าคุณภาพไฟฟ้าจะเป็นอย่างไร ก็สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า ได้ตามปกติ ยกเว้นกรณีเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เสีย จึงจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าหลักจากการไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า แต่ไม่ควรใช้งานต่อไปหากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเสีย

ข้อดีและข้อเสีย ของ UPS ระของ UPS ระบบนี้

ข้อดี : สามารถแก้ปัญหาทางไฟฟ้าได้ทุกกรณี และมีความเชื่อถือได้สูง อุปกรณ์ไฟฟ้าจะได้รับพลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง โดยไม่หยุดชะงัก, สามารถผลิต UPS ได้ทุกขนาด และสามารถตรวจเช็คเครื่อง UPS ได้โดยไม่ต้องปิดอุปกรณ์ต่อพ่วง

ข้อเสีย : การออกแบบยุ่งยาก ซับซ้อนมาก มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก และมีราคาที่สูง



รูปที่ 2.13 True On-line UPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 รีเลย์ป้องกัน (Protective Relay) [17]

ทำหน้าที่ตรวจสอบความผิดพร่องรวมทั้งสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในระบบไฟฟ้า และให้สัญญาณเพื่อปลดวงจรไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดพร่อง หรือส่งสัญญาณแจ้งเตือนความผิดปกติแก่ผู้ควบคุมระบบไฟฟ้า

2.3.1 คุณสมบัติที่ดีของระบบป้องกัน คือ

1) ความไว (Sensitivity) ต้องมีความไวพอที่จะรู้ถึงความผิดปกติ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในระบบ

2) ความเชื่อถือ (Reliability) ต้องทำงานได้ถูกต้องตามคุณสมบัติ และขอบเขตที่กำหนดให้ทำงาน

3) ความง่าย (Simplicity) ต้องมีโครงสร้างง่ายในการติดตั้ง เพื่อบำรุงรักษา และตรวจสอบ

4) ความสามารถแยกแยะ (Selectivity) ต้องแยกแยะว่าสภาวะไหนควร ทำงาน ไม่ทำงาน หรือ หน่วงเวลา

5) ความเร็ว (Speed) ต้องทำงานเร็ว เพื่อตัดตอนส่วนที่เกิดความผิดพร่องออกจากระบบให้เร็วที่สุด

6) ความประหยัด (Economy) ควรเลือกรีเลย์ป้องกันให้ประหยัดที่สุด และสามารถป้องกันได้สมบูรณ์

2.3.2 หลักการทำงานของระบบป้องกันไฟฟ้า

จำแนกส่วนต่างๆ ตามอุปกรณ์ของระบบไฟฟ้ากำลัง ในแต่ละส่วนของการทำงานได้ 2 ประเภท คือ

1) การป้องกันหลัก หรือการป้องกันปฐมภูมิ

เป็นการป้องกันชั้นแรกเมื่อเกิดความผิดพร่องขึ้นในระบบ

2) การป้องกันสำรอง

เป็นการป้องกันขั้นที่สองสำรองเผื่อการป้องกันหลักไม่สามารถทำงานได้

2.3.3 ประเภทของรีเลย์ป้องกัน

ปกติรีเลย์ป้องกันแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

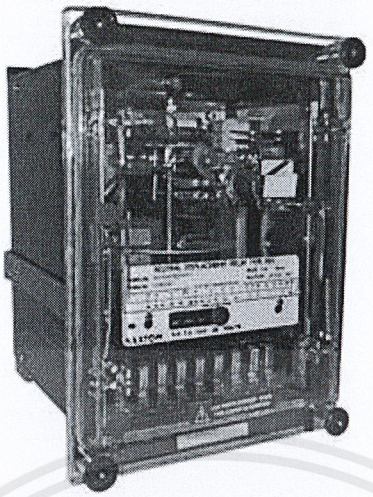
1. รีเลย์แบบไฟฟ้า – กล (Electromechanical Relay)

อาศัยกระแสไฟฟ้าสร้างแรงดึงดูด หรือแรงบิดทางแม่เหล็กทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสรีเลย์แบบไฟฟ้า – กล แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการทำงาน คือ

1.1 รีเลย์แบบอาศัยแรงดึงดูดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Attraction)

ประกอบด้วยแกนเหล็ก ซึ่งมีขดลวดพันอยู่ ทำให้เกิดแรงดูดแม่เหล็กไฟฟ้าดูดแกนเหล็ก หรือแผ่นเหล็กให้เคลื่อนที่ขดลวดที่พันอยู่สามารถใช้ได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 รีเลย์แบบไฟฟ้า-กล [18]

1.2 รีเลย์แบบอาศัยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction)

ใช้หลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กทำให้เกิดแรงบิดหมุนที่โรเตอร์ ซึ่งมีลักษณะการทำงานเหมือนมอเตอร์เหนี่ยวนำ มี 2 ประเภท คือ ชนิดจานเหนี่ยวนำ และรีเลย์ชนิดถ้วยเหนี่ยวนำ

2. สแตติกรีเลย์ (Static Relay)

เป็นรีเลย์ที่ใช้ส่วนประกอบของโซลิดสเตท หรือสารกึ่งตัวนำสามารถทำงานได้รวดเร็ว มีความเชื่อถือสูงมีการทำงาน และลักษณะสมบัติทุกอย่างเหมือนรีเลย์ไฟฟ้า – กล

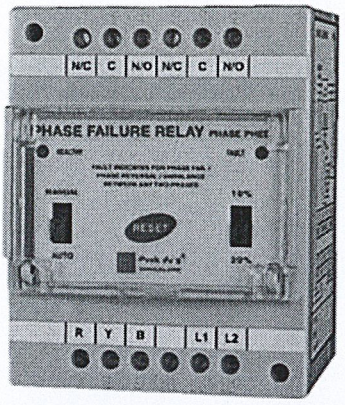
ข้อดี

1. ไม่มีส่วนที่สึกหรอ
2. ใช้พลังงานไฟต่ำ มีความไวสูง และความคลาดเคลื่อนต่ำ
3. การบำรุงรักษาง่ายรวมถึงไม่มีประกายไฟเกิดขึ้นขณะทำงาน
4. มีค่า VA หรือ Burden ต่ำกว่าแบบรีเลย์แบบทางกล

ข้อเสีย

1. รูปร่างบางมีโอกาสชำรุดได้ง่าย
2. การทำงานของสแตติกรีเลย์ มักจะเปลี่ยนตามอุณหภูมิ
3. จะชำรุดเมื่อเกิดเสริซ์แรงสูง (High Voltage Surge)
4. ต้องการ DC Power Supply เพราะหากไม่มีไฟฟ้าป้อนเข้ารีเลย์ก็จะทำงานไม่ได้
5. มีความอ่อนไหวต่อ Static Charge, Surge Voltage และ Electromagnetic Interference

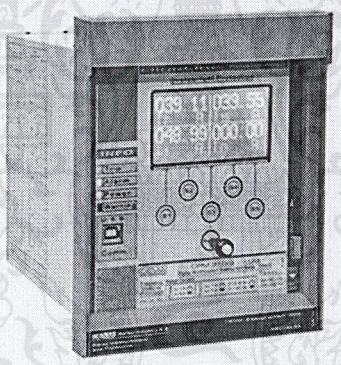
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 ลักษณะภายนอกของสแตติกรีเลย์ [18]

3. ดิจิตอลรีเลย์ (Digital / Numerical Relay) [9]

เทคโนโลยี Microprocessor มีการพัฒนาก้าวหน้ามากขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กันในด้าน Digital Computer สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นรีเลย์ป้องกันได้เรียกว่า Computer Relays หรือ Digital Relay ปัจจุบันนิยมใช้งานกันมากเนื่องจากมีความหลากหลายของฟังก์ชันการใช้งาน (Multi-Functional)



รูปที่ 2.16 ลักษณะภายนอกของดิจิตอลรีเลย์ [19]

2.3.4 รีเลย์กระแสเกิน (Over Current Relay) [20]

ทำงานเมื่อมีกระแสเกินพิกัดไหลในระบบที่ต้องการป้องกัน เป็นรีเลย์ที่มีการใช้งานมากที่สุดใช้ในการป้องกันเครื่องกำเนิดหม้อแปลง สายส่ง บัสบาร์ ทั้งในระบบสายส่ง และระบบจำหน่าย

ชนิดของรีเลย์กระแสเกิน

1. รีเลย์กระแสเกินชนิดเวลาผกผันกับกระแส (Inverse Time Over Current Relay)
2. รีเลย์กระแสเกินชนิดทำงานทันที (Instantaneous Over Current Relay)
3. รีเลย์แบบดิฟฟินิตไทม์เล็ก (Definite Time Lag Relay)
4. รีเลย์แบบอินเวอสดิฟฟินิตมินิมั่มไทม์เล็ก (Inverse Definite Time Lag Relay)

ช่วงเวลาลำดับ (Grading Margin)

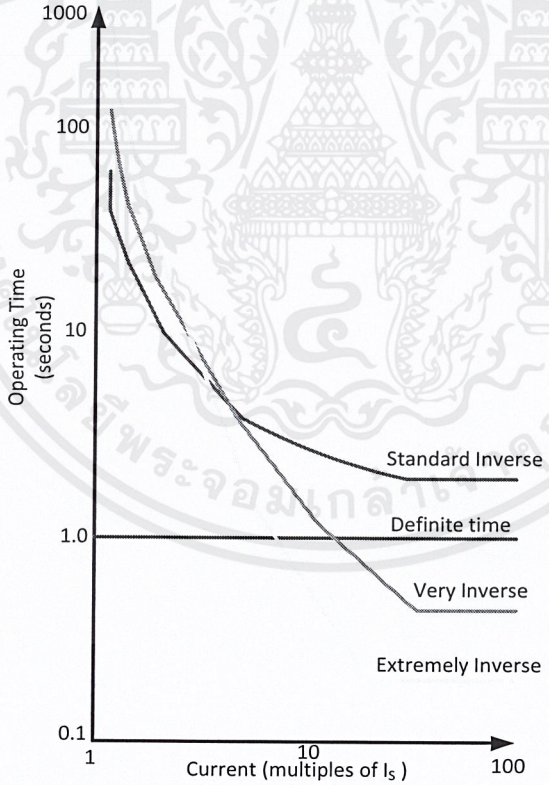
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการตั้งค่าเวลาในการประสานสัมพันธ์แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การตั้งค่าเวลาในการประสานสัมพันธ์ ของ Over Current Relay

Standard Inverse (SI)	$t = TMS \times \frac{0.14}{I_r^{0.02} - 1}$
Very Inverse (VI)	$t = TMS \times \frac{13.5}{I_r - 1}$
Extremely Inverse (EI)	$t = TMS \times \frac{80}{I_r^2 - 1}$
Long Time Standard Earth Fault	$t = TMS \times \frac{120}{I_r - 1}$

ช่วงเวลาที่แตกต่างระหว่างเวลาทำงานของรีเลย์กระแสเกินสองชุดที่อยู่ในเขตป้องกันชิดกัน เรียกว่า ช่วงเวลาลำดับ (Grading Margin) ซึ่งโดยทั่วไปมักเป็น 0.3 วินาที ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาตัดตอนของเซอร์กิตเบรกเกอร์ , โอเวอร์ชูท , ความผิดพลาด และช่วงเวลาเผื่อ โดยกราฟรีเลย์กระแสเกินแสดงดังรูปที่2.17



รูปที่ 2.17 กราฟรีเลย์กระแสเกินแบบต่างๆ

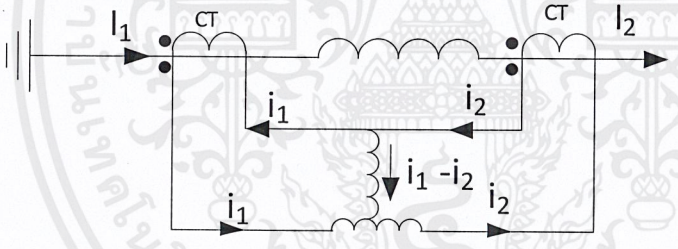
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 ลักษณะภายนอกของรีเลย์กระแสเกิน [18]

2.3.5 รีเลย์ผลต่าง (Differential Relay) [21]

รีเลย์จะทำงานเมื่อความแตกต่างของเวกเตอร์ของปริมาณไฟฟ้าที่คล้ายคลึงกัน 2 ปริมาณ หรือมากกว่ามีค่าเกินค่าที่ตั้งไว้ ซึ่งหลักการทำงานของ Differential Relay จะใช้ทั้งแรงดัน และกระแสชนิดของรีเลย์ผลต่างมี 2 แบบ ได้แก่

1. Percentage Differential Relay
2. High Impedance Differential Relay



รูปที่ 2.19 วงจรการทำงานของรีเลย์ผลต่าง

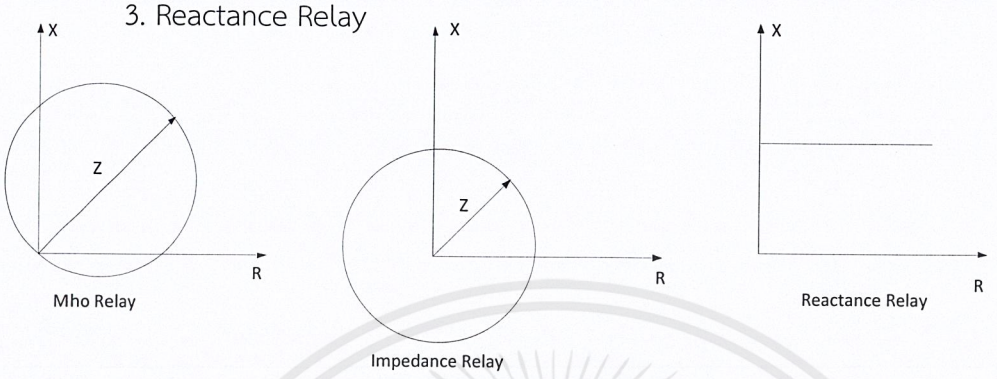
2.3.6 รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay)

ใช้ในการตรวจสอบสายส่ง พิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะความยาวของสายไฟฟ้า โดยรีเลย์ระยะทางสามารถตรวจวัดตำแหน่งที่เกิดความผิดพร่องบนวงจรสายส่งไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของรีเลย์ระยะทาง (Type of Distance Relay) แบ่งออกเป็น

1. Mho Relay
2. Impedance Relay
3. Reactance Relay



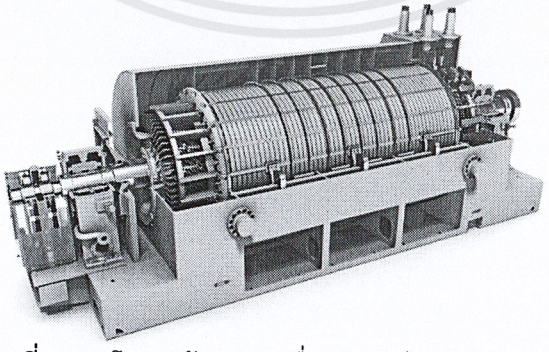
รูปที่ 2.20 ชนิดของรีเลย์ระยะทาง

การป้องกันสายส่งโดยวิธีการนำร่อง (Pilot Protection of Transmission Lines) ช่องทางการสื่อสารที่นิยมใช้ในการป้องกันโดยทั่วไปมี 4 วิธี คือ

1. การสื่อสารโดยใช้สายส่งกำลัง (Power Line Carrier)
2. การสื่อสารโดยใช้ไมโครเวฟ (Microwave)
3. การสื่อสารโดยใช้ใยแก้วนำแสง (Fiber Optics)
4. การสื่อสารโดยใช้สายโทรศัพท์ (Communication Cable)

2.4 การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Protection) [22, 23]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสขนาดใหญ่ออกแบบให้จ่ายพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุการใช้งาน โดยหยุดทำงานเพื่อบำรุงรักษาเพียงปีละไม่กี่ครั้ง ซึ่งเครื่องกำเนิดอาจจะได้รับความผิดปกติ หรือความเสียหาย ทำให้ฉนวนภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้รับความเครียด และเสียสภาพอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.21 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ปัญหาการเกิดความผิดพร่องทางไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. การเกิดความผิดพร่องภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Internal Fault)

1.1 Stator Fault

ฉนวนของสเตเตอร์เกิดชำรุดเสียหายเนื่องจากเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินในขดลวดตัวนำ สามารถป้องกันโดยใช้ กับดักฟ้าผ่าและ กับดักเสิร์จ การลัดวงจรในขดลวดตัวนำของสเตเตอร์มี 3 ประเภท คือ

1.1.1 การลัดวงจรลงดิน

ทำการต่อนิวทรอลของขดลวดตัวนำ และอิมพีแดนซ์ค่าสูงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าลงดิน เพื่อจำกัดค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรลงดินให้มีค่าประมาณ 5 – 20 A และไม่ให้แกนเหล็กไหม้ โดยสามารถป้องกันการลัดวงจรลงดิน ดังนี้

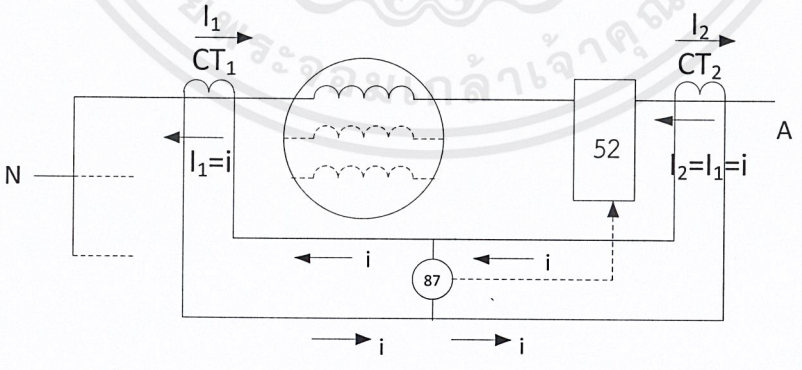
1. ใช้ Ground Differential Protection (87GN)
2. ใช้ Protection (50G และ 51G)
3. ใช้ Ground Over Voltage Ground Overcurrent Protection (59G)
4. ใช้ Neutral Over Voltage Protection (59GN)
5. ใช้ 100 % Stator Winding Ground Fault Protection

โดยที่วิธีตรวจสอบความผิดพร่องใกล้กับจุดนิวตรอลมี 2 วิธี คือ

1) การใช้ Third Harmonic Under Voltage Ground Relay (27Th)

2) Low Frequency Injection (ใช้ความถี่ 10 – 25 Hz เข้าไปที่ขดลวด Stator)

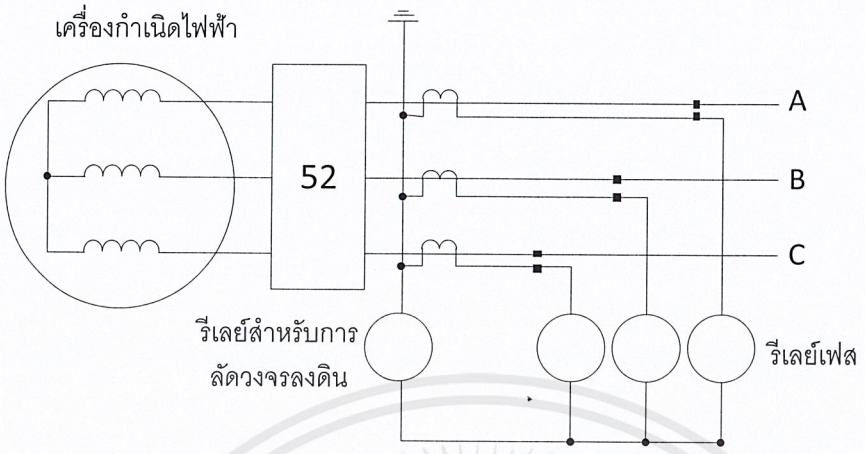
โดยวงจรการป้องกันแบบกระแสผลต่างเมื่อไม่มีความผิดปกติ แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 วงจรการป้องกันแบบกระแสผลต่างเมื่อไม่มีความผิดปกติ Generator Protection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยวงจรการป้องกันแบบกระแสเกินในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 วงจรการป้องกันแบบกระแสเกินในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.1.2 การลัดวงจรระหว่างเฟส

การลัดวงจรแบบนี้เกิดขึ้นระหว่างเฟสกับเฟส และไม่เกี่ยวกับดิน แต่ถ้าเกิดขึ้นแล้วมักจะกลายเป็นการลัดวงจรลงดินไปในที่สุด โดยสามารถป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟสได้ดังนี้

1. Phase Differential Relay เพื่อป้องกัน Stator Phase Fault (87)
2. Voltage – Supervised Overcurrent Relay เพื่อป้องกัน Phase Fault
3. Distance Relay (21) เพื่อป้องกัน Phase Fault และเป็น Backup ให้กับ Line Protection

1.1.3 การลัดวงจรระหว่างวงขดลวด (Interturn)

มีโอกาสเกิดขึ้นยาก และไม่มีการป้องกันต้องรอให้กลายเป็นการลัดวงจรลงดินก่อนระบบป้องกัน จึงจะสั่งตัดวงจร

1.2 Rotor Fault

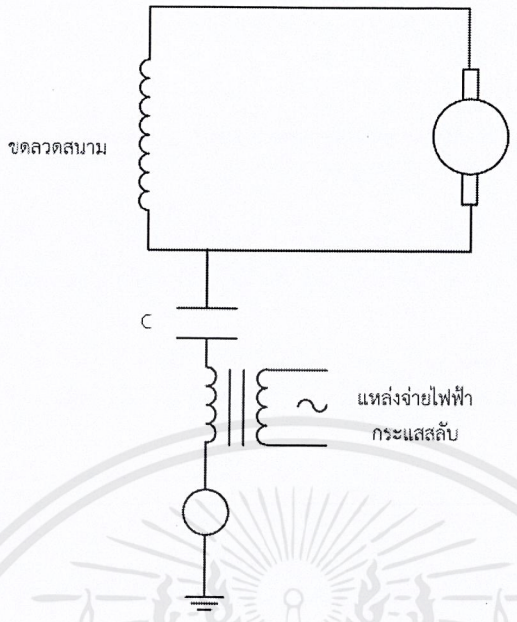
โรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะหมุนด้วยความเร็วสูงจนเกิดแรงกระทำในแนวรัศมี และเครื่องอาจเกิดการสั่นตลอดเวลา จึงทำให้เกิดความเสียหายกับฉนวนไฟฟ้าบน Rotor Winding ได้ง่ายกว่าที่จะเกิดกับ Stator Winding

1.2.1 การป้องกันการลัดวงจร ในวงจรสนามจึงเป็นเรื่องสำคัญ หลักการที่ใช้ป้องกันอาจแยกเป็น 2 วิธี คือ

1. วิธีใช้กระแสสลับเข้าไปในวงจรสนาม (A.C. Injection Method)
2. วิธีใช้กระแสตรงเข้าไปในวงจรสนาม (D.C. Injection Method)

โดยวงจรการป้องกันขดลวดสนามโดยวิธีกระแสสลับเข้าในวงจรสนาม แสดงดังรูปที่ 2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 วงจรการป้องกันขดลวดสนามโดยวิธีกระแสสลับเข้าในวงจรสนาม

2. การเกิดความผิดพร่องจากการทำงาน หรือจากระบบไฟฟ้า

2.1 การรับภาระเกินขนาด

ทำให้เกิดการสะสมความร้อนสูงบนขดลวด โดยรีเลย์ Thermal Overload Relay (49) จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่ผ่าน Resistance Temperature Detector (RTD) เพื่อวัดอุณหภูมิของ Stator Winging จะใช้การประเมินอุณหภูมิของขดลวดได้จากกระแสที่ไหลจากเครื่องกำเนิด

โดยทั่วไปเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถรับภาวะโหลดเกินในช่วงเวลาหนึ่งได้โดยตามข้อกำหนดตาม ANSI C50.13 ขดลวดสเตเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะสามารถทนค่ากระแสเกินได้ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 การรับภาระเกินขนาดในขดลวด Stator และ Rotor ตามมาตรฐานIEEE Std C37.91-2008

เวลา (วินาที)	10	30	60	120
% กระแสเกินใน Stator	218	150	127	115
% กระแสเกินใน Rotor	209	146	125	113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 แรงดันเกิน / ต่ำ (Over / Under Voltage)

2.2.1 Over Voltage

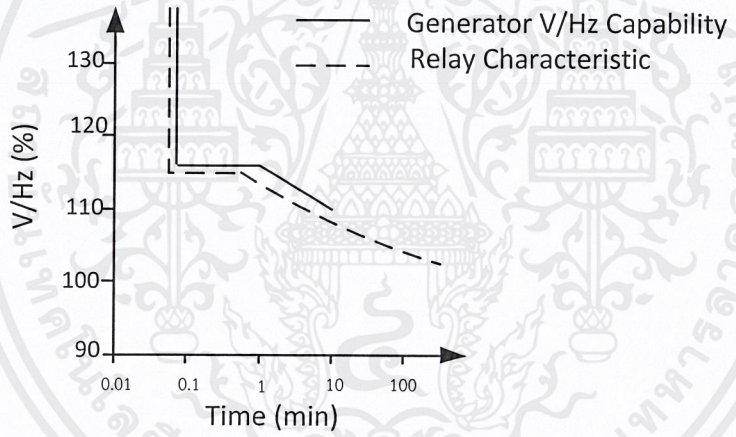
สาเหตุมาจากความผิดพลาดของเครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า (AVR), Insulation Fault โดยจะใช้ Overvoltage Relay (59) ในการป้องกันการเกิดแรงดันเกิน

2.2.2 Under Voltage

เกิดจากความต้องการใช้ไฟฟ้ามากกว่ากำลังผลิตไฟฟ้า การป้องกันจะใช้ Undervoltage Relay (27) เพื่อให้สัญญาณตัดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์

2.3 ฟลักซ์เกิน (Over Fluxing / Overexcitation) (24)

Excitation Flux จะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอัตราส่วนของค่าแรงดันไฟฟ้า และค่าความถี่ไฟฟ้า (Voltage / Hertz) เมื่อเกิด Over Fluxing ทำให้แกนเหล็กเกิดการอิ่มตัว ผลที่ตามมาจะเกิด Eddy Current Loss และ Hysteresis Loss เพิ่มขึ้นด้วย โดยกราฟ V/Hz Characteristic ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 กราฟ V/Hz Characteristic ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$E = 4.44fN\phi$$

$$\phi = \frac{E}{4.44Nf}$$

$$\phi \propto \frac{E}{f}\left(\frac{V}{Hz}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 โหลดไม่สมดุล (Unbalanced Load)

จะทำให้เกิดซีเควนซ์ทั้ง 3 แบบ แต่ซีเควนซ์ลบจะทำให้เกิดปัญหามาก คือ กระแสไหลเวียนที่เกิดขึ้นมีค่าสูงทำให้โรเตอร์ร้อน และเกิดการสั่นสะเทือนรุนแรงในเครื่องด้วย

ซึ่งระดับความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทนต่อการเกิด Unbalanced Current หรือ Negative Sequence Current จะกำหนดค่าความร้อนโดย ดังสมการ $I_2^2 t = K$

โดยระดับความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทนต่อ Unbalanced Current แสดงดังตารางที่ 2.6

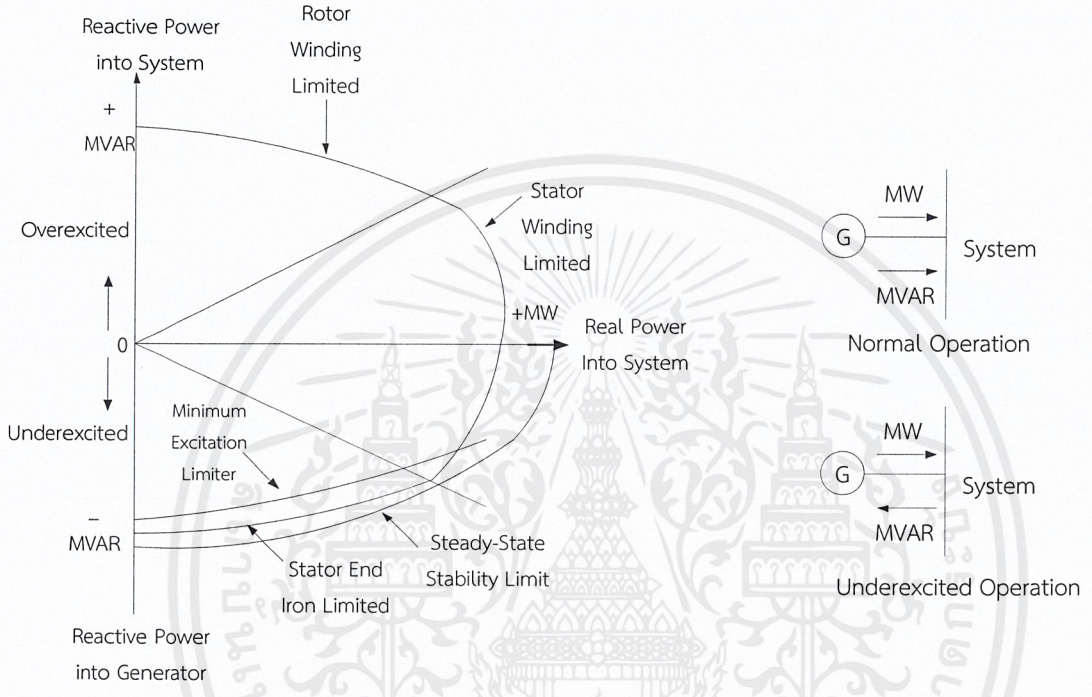
ตารางที่ 2.6 ระดับความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จะทนต่อการเกิด Unbalanced Current

Type of generator	Permissible I_2 (%)
Salient pole	
With connected amortisseur windings	10
With non-connected amortisseur windings	5
Cylindrical rotor	
Indirectly cooled	10
Directly cooled (Up to 350 MVA)	8
Directly cooled (351 MVA to 1250 MVA)	8-(MVA-350)/300
Directly cooled (1251 MVA to 1600 MVA)	5
Type of generator	Permissible I_2^2t
Salient pole generator	40
Synchronous condenser	30
Cylindrical rotor generators	
Indirectly cooled	30
Directly cooled (0 MVA to 800 MVA)	10
Directly cooled (801 MVA–1600 MVA)	< 10-(0.00625)(MVA-800)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การสูญเสียสนามไฟฟ้ากระตุ้น (Loss of Excitation) [22]

ส่งผลกระทบต่อการจ่ายไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าหลักเมื่อเกิด Loss of Field เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะรับ Reactive Power (MVAR) เข้ามาแทนที่จะต้องจ่ายออกไปเข้าระบบส่งจ่ายไฟฟ้า จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีพฤติกรรมเป็น Induction Generator



รูปที่ 2.26 การจ่ายกำลังไฟฟ้าตามลักษณะของ Generator Capability Curve

2.6 ความถี่ต่ำ / สูง (Under / Over Frequency)

2.6.1 Over Frequency

เกิดขึ้นเนื่องจากการปลดวงจรโหลดในระบบจำหน่าย ซึ่งใช้รีเลย์ป้องกันค่าความถี่สูง

2.6.2 Under Frequency

เกิดขึ้นเนื่องจากความต้องการใช้ไฟมากกว่าปกติ ซึ่งใช้รีเลย์ป้องกันค่าความถี่ต่ำ

2.7 Reverse Power

การตรวจวัดค่ากำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยคำนวณจาก Positive Sequence System ของค่ากระแส และแรงดัน มักทำให้เกิด Asymmetrical Fault โดยรีเลย์จะส่งสัญญาณปลดวงจรแบบหน่วงเวลาประมาณ 2 – 15 วินาที เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดเนื่องจากเกิด Power Swing ในระบบไฟฟ้าหลัก หรือเกิด Reverse Power ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรีเลย์ที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.7

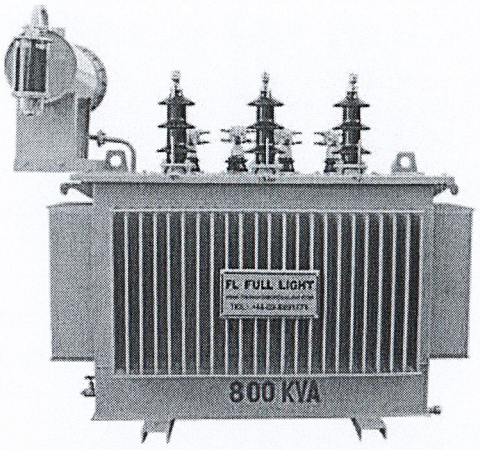
ตารางที่ 2.7 รีเลย์ที่ใช้กับขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [23]

ขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	รีเลย์ที่นำมาใช้ในการป้องกัน
การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก	1. Over Current Relay (Voltage Restraint or Voltage Controlled Type) (51V) 2. Ground Time Overcurrent Relay : (51G)
การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดกลาง	1. Overcurrent Relay: (51V) 2. Ground Time Overcurrent Relays : (51G) 3. Differential Relays (Fixed or Variable Percentage Type) : (87) 4. Reverse Power Relays : (32) 5. Impedance Relay (Offset Mho Type) : (40) 6. Negative Phase Sequence Overcurrent Relay : (46)
การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่	1. Overcurrent Relay : (51V) 2. Ground Time Overcurrent Relay : (51G) 3. Differential Relays: (87) 4. Ground Differential Relay : (87G) 5. Impedance Relay (Offset Mho Type) : (40) 6. Negative Phase Sequence Overcurrent Relay : (46) 7. Temperature Relay : (49) 8. Generator Field Ground Relay : (64F) 9. Voltage Balance Relay : (60) 10. Bus Differential Relay : (87B)

2.5 การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Protection) [22, 25]

หม้อแปลงไฟฟ้าขนาดใหญ่จะมีราคาแพง และมีความสำคัญกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างมาก ถ้ามีความผิดพร่องเกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าจนเกิดความเสียหายรุนแรงจะต้องมีการหยุดจ่ายไฟฟ้า โดยต้องมีการนำหม้อแปลงไปซ่อมเป็นเวลานานรวมทั้งมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงสูง กรณีที่เกิดความผอดพร่อง รีเลย์ป้องกันตรวจพบ และส่งสัญญาณปลดวงจรจะช่วยลดความเสียหายกับหม้อแปลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง [26]

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการป้องกันหม้อแปลง

1. ขนาด

โดยทั่วไปหม้อแปลงขนาดต่ำกว่า 2500 kVA จะใช้ฟิวส์ในการป้องกัน ส่วนในหม้อแปลงขนาด 2500 – 5000 kVA จะใช้รีเลย์ป้องกันกระแสเกินแบบทันที และแบบหน่วงเวลาทำงานร่วมกัน สำหรับหม้อแปลงขนาด 5000 – 10000 kVA จะใช้รีเลย์ป้องแบบผลต่าง นอกจากนี้ยังมีการป้องกันด้วยรีเลย์ตรวจจับความดัน (Pressure Relay) และรีเลย์ตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature Relay)

2. ตำแหน่งที่ตั้ง และหน้าที่

ถ้าหม้อแปลงอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีค่า $\frac{X}{R}$ ของระบบสูง ต้องใช้รีเลย์จำกัดสัญญาณฮาร์โมนิก

3. ระดับแรงดัน

ระดับแรงดันสูงจะต้องป้องกันที่รัดกุมกว่าแรงดันต่ำเพราะอาจส่งผลต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมที่สูงกว่า

4. การต่อขดลวด โดยมีวิธีการต่อทั้งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิอยู่สองแบบคือ การต่อแบบเดลต้าโดยต่อขดลวดเข้าด้วยกัน รวมกันแล้วจะได้วงจรแบบอนุกรมปิด และการต่อแบบวาย

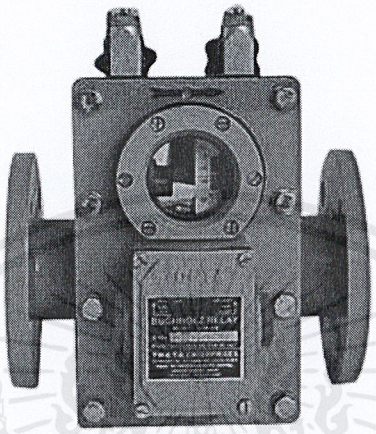
2.5.2 รีเลย์ป้องกันสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลง คือ ความร้อนสูงในขดลวดเนื่องจากกระแสไฟฟ้าเกินพิกัด ระบบระบายความร้อนไม่มีประสิทธิภาพ การขยายตัว และหดตัวของขดลวดเนื่องจากความร้อน เป็นต้น

ตามมาตรฐานสำหรับหม้อแปลงขนาดพิกัดน้อยกว่า 5 MVA การออกแบบระบบป้องกันจะเน้นที่ความประหยัด และไม่ซับซ้อน ซึ่งจะใช้ Gas Detector Relay, Time Neutral Over Current Relay (51N) และFuse สำหรับหม้อแปลงที่มีพิกัดมากกกว่า 5 MVA ที่ทำงานในระบบไฟฟ้าแรงดันมากกว่า 10 kV จะต้องเคลียร์ความผิดพร่องในหม้อแปลงที่มีความสำคัญทันที จึงควรมีระบบตรวจสอบ และป้องกันดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Buchholz Relay
2. Instantaneous and Time Overcurrent Relay (50 / 51)
3. Differential Relay (87T)
4. Overexcitation Relay (24)



รูปที่ 2.28 โครงสร้างของ Buchholz Relay [27]

รีเลย์ป้องกันสามารถแยกได้ว่าเป็น Normal Operation, External Fault หรือ Internal Fault Conditions ซึ่งปัจจัยที่เป็นสาเหตุทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาดได้ก็ คือ

1. กระแสไหลเข้าหม้อแปลงขณะเริ่มจ่ายไฟฟ้า (Inrush Current)
2. การจัดเรียง และรูปแบบการต่อขดลวดของหม้อแปลง
3. การอิ่มตัวของแกนเหล็กของหม้อแปลง
4. การเกิด Overexcitation หรือเกิดแรงดันเกินทำให้ค่า Magnetizing Current เพิ่มสูงขึ้น

2.5.3 ปัญหาในการตรวจวัดความผิดพร่องสำหรับรีเลย์ป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง

1. Winding Ground Fault สำหรับ Solidly Grounded Star – Connected Secondary Winding

ค่ากระแสลัดวงจรจะขึ้นอยู่กับค่ารีแอคแตนซ์รั่วไหล ซึ่งทางด้านทุติยภูมิจะมีค่ากระแสลัดวงจรใกล้เคียงตลอดความยาวของขดลวด และค่ากระแสทางด้านปฐมภูมิจะมีค่าสูงตลอดความยาว

2. Winding Ground Fault สำหรับ High – Impedance Grounded Star – Connected Secondary Winding

ค่ากระแสลัดวงจรจะขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่อลงดิน และแปรผันตามระยะระหว่างจุดลัดวงจรที่ขดลวดกับจุดนิวทรอล และจะทำให้ค่ากระแสปฐมภูมิต่ำ ส่งผลให้การตรวจวัดทำได้ยาก

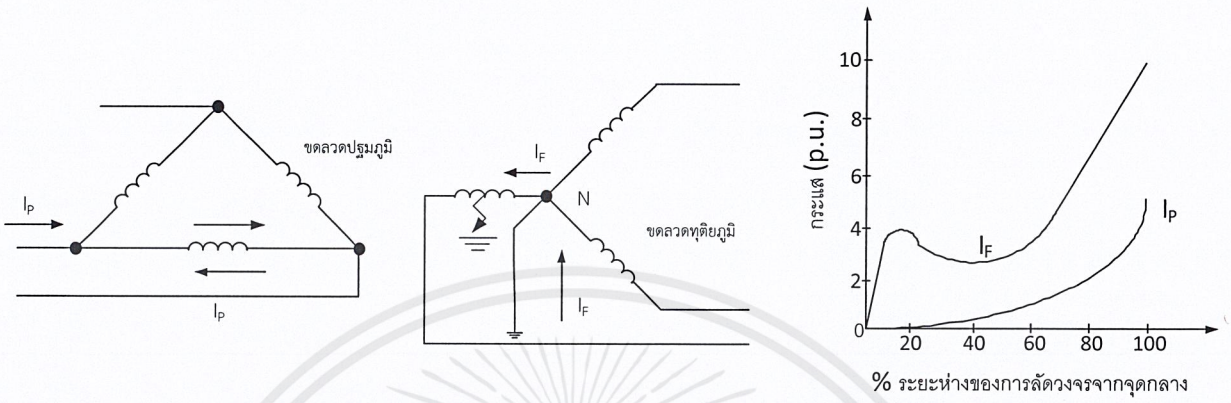
3. Winding Ground Fault สำหรับ Delta – Connected Winding

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าอิมพีแดนซ์ระหว่างขดลวดกับดินสูงมาก ส่งผลให้เกิดค่ากระแสลัดวงจรลงดินของขดลวด

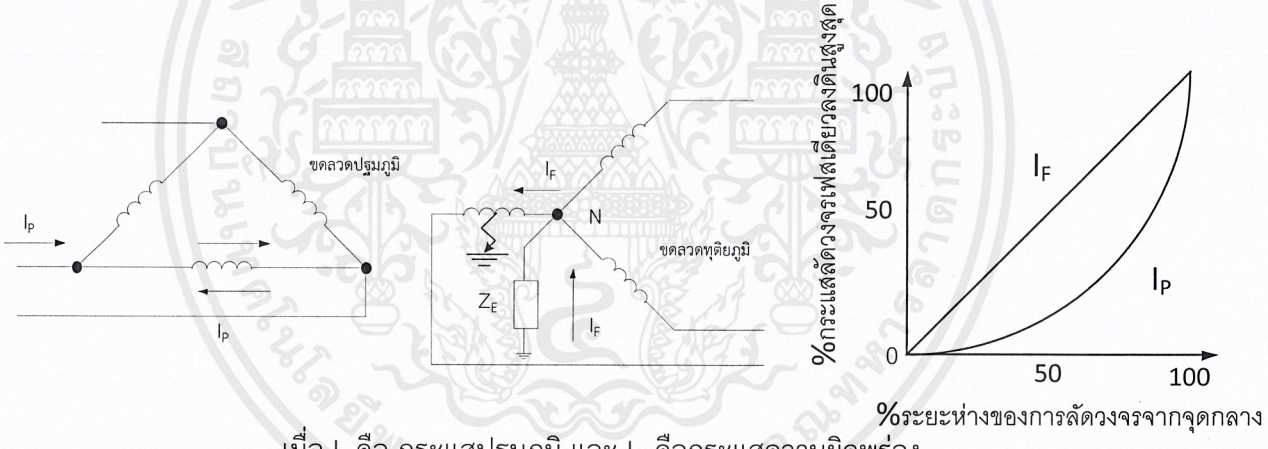
4. Turn – to – Turn Fault

5. Sequence Phase Shift เมื่อผ่านหม้อแปลงที่ต่อแบบ Delta – Wye



เมื่อ I_P คือ กระแสปฐมภูมิ และ I_F คือกระแสความผิดพร่อง

รูปที่ 2.29 หม้อแปลงต่อเป็น Y และต่อจุดกลางลงดินโดยตรง



เมื่อ I_P คือ กระแสปฐมภูมิ และ I_F คือกระแสความผิดพร่อง

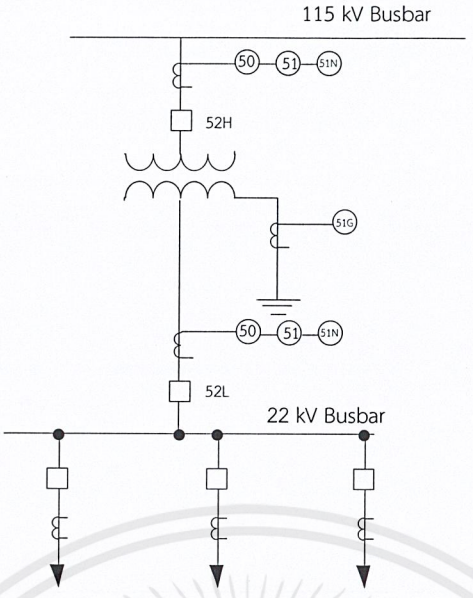
รูปที่ 2.30 หม้อแปลงต่อเป็น Y และต่อจุดกลางลงดินผ่านอิมพิแดนซ์

2.5.4 รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Relay)

รีเลย์ป้องกันกระแสเกินจะถูกใช้สำหรับเป็นระบบป้องกันหลักของหม้อแปลงขนาดเล็ก (ค่ากระแสเริ่มต้น 115 % ของกระแสภาระสูงสุด) แต่จะเป็นระบบป้องกันเสริมสำหรับหม้อแปลงขนาดใหญ่ หรือช่วยเสริมการป้องกันวงจรสายป้อนที่ออกจากหม้อแปลง

Instantaneous Overcurrent Relay (50) ที่อยู่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงจะทำหน้าที่เป็นระบบป้องกัน Phase – to – Phase Fault หรือThree – Phase Fault ที่รุนแรงมาก ซึ่งจะเกิดขึ้นบริเวณใกล้กับ Bushing หม้อแปลง รีเลย์ 50 ไม่ควรทำงานเมื่อเกิด Inrush Current ด้วย โดยวงจรการใช้รีเลย์กระแสเกินสำหรับป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



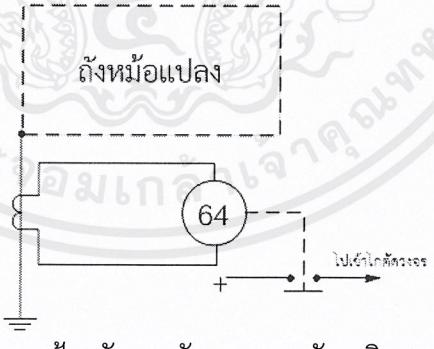
รูปที่ 2.31 การใช้รีเลย์กระแสเกินสำหรับป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า

2.5.5 การป้องกัน Overexcitation

Overfluxing Relay (24) จะตรวจวัดค่า V/Hz โดยอาจจะตรวจวัดค่าความถี่ไฟฟ้า การทำงานของรีเลย์ 24 จะมีลักษณะแบบ Inverse – Time Characteristic

2.5.6 รีเลย์ป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วจากขดลวดไปที่แทงก์ (Tank Leakage Relay)

กระแสรั่วไหลจากขดลวดในหม้อแปลงผ่าน Transformer Tank และไหลลงพื้นดินใช้ CT ตรวจวัดกระแสรั่วไหล และใช้ Tank Leakage Relay (64T) ป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วไหล โดยวงจรการป้องกันการลัดวงจรจากถังลงดิน แสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 วงจรการป้องกันการลัดวงจรจากถังลงดิน

2.5.7 Differential Protection

สามารถป้องกันความผิดพร่องที่เกิดขึ้นบนขดลวดทั้งหมดภายในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง สามารถทำได้โดยการใช้รีเลย์วัดผลต่างของกระแสไฟฟ้าชนิด Biased Differential Relay (87) หรือทำการชดเชยโดยทำการปรับค่าอัตราส่วนของหม้อแปลง CT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_1 n_1 = N_2 n_2$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (2.2)$$

เมื่อ n_1, n_2 คือ อัตราส่วนหม้อแปลงกระแส

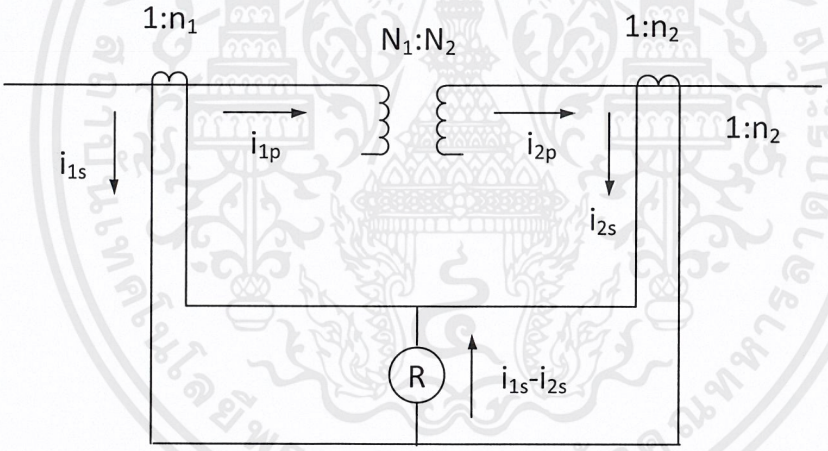
N_1, N_2 คือ อัตราส่วนหม้อแปลงกำลัง

i_{1s}, i_{2s} คือ กระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส

I_{1p}, I_{2p} คือ กระแสด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแส

ในสภาวะปกติ จะได้ $i_{1s} - i_{2s} = 0$ แต่เมื่อเกิดลัดวงจร $i_{1s} \neq i_{2s}$ ส่งผลให้เกิดผลต่างของกระแสขึ้น (i_d)

โดยวงจรการป้องกันหม้อแปลงแบบใช้กระแสผลต่าง แสดงดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 วงจรการป้องกันหม้อแปลงแบบใช้กระแสผลต่าง

2.5.8 Restricted Earth Fault Protection

การลัดวงจรลงดินด้วยวิธีตรวจวัดกระแสลัดวงจรลงดินทำได้ยาก โดยเฉพาะ หม้อแปลงที่ต่อแบบวายและต่อจุดนิวทรอลผ่านอิมพีแดนซ์ เพราะ ค่ากระแสลัดวงจรต่ำมาก ซึ่งการป้องกันจะทำได้สมบูรณ์ขึ้นได้โดยการใช้ การป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบจำกัด (Restricted Earth Fault Protection) เป็นการป้องกันขดลวดแต่ละขด ซึ่งคล้ายกับรีเลย์ผลต่าง ใช้รีเลย์แบบอิมพีแดนซ์สูง (ผลรวมกระแสทั้ง 3 เฟสจะสมดุล) หรือใช้รีเลย์เปอร์เซ็นต์ผลต่าง (กระแสที่ไหลในเฟส และนิวทรอลเป็นค่าในการหน่วงการทำงาน และใช้ผลต่างในการตัดวงจร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

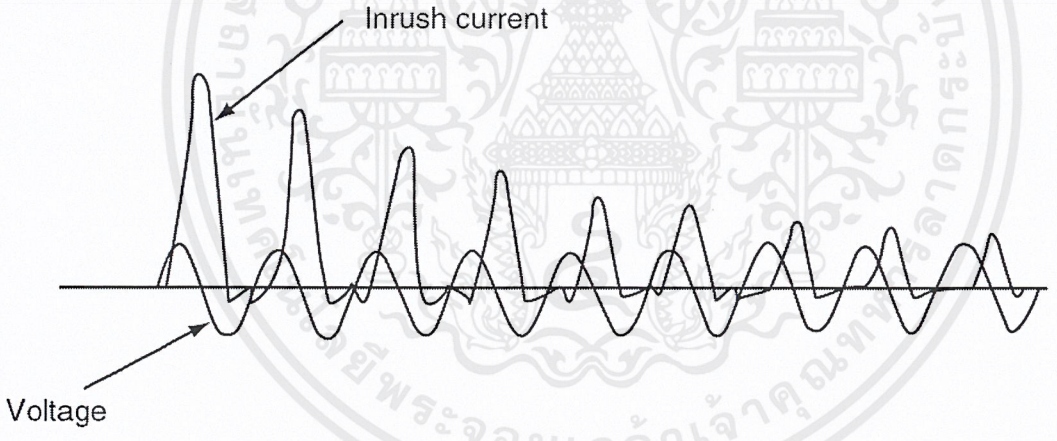
2.5.9 การเกิดกระแสหล่อเลี้ยงสนามแม่เหล็กพุ่งเข้า (Magnetizing Inrush Current)

ในปกติรีเลย์ป้องกันแบบกระแสผลต่างไม่ควรทำงานในกรณีเกิดกระแส inrush current ซึ่งไม่ใช่การลัดวงจร ซึ่งค่ายอดของกระแสพุ่งเข้าอาจมีค่าสูงสุดได้ถึง 6 – 8 เท่าของกระแสพิกัด กระแสพุ่งเข้าจะมีขนาดลดลงในช่วง 2 – 3 Cycle แรก และจะลดลงอย่างช้าๆ ใน Cycle ต่อๆ มาอาจใช้เวลาราว 4 – 6 วินาที

วิธีแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับกระแสพุ่งเข้านี้อาจทำได้ 2 วิธี คือ

1. ทำให้มีการลดขนาดของกระแสพุ่งเข้า เช่น ต่อความต้านทานอนุกรมกับวงจรสับสวิตซ์จ่ายไฟให้กับหม้อแปลง ขั้นแรกจ่ายแรงดันเพียงครึ่งหนึ่งก่อนแล้วค่อยจ่ายแรงดันเต็มพิกัดในขั้นที่สอง หรืออาจต่อตัวเก็บประจุขนานกับขดลวดของหม้อแปลงเพื่อให้เมื่อสับสวิตซ์เอาหม้อแปลงออก วงจรนี้จะกำจัดอำนาจแม่เหล็กค้างในหม้อแปลง เป็นต้น

2. เป็นวิธีที่ยุ่งยาก และราคาแพง เช่น Even Harmonic Cancellation, Harmonic Restraint Harmonic Blocking แต่วิธีที่นิยมที่สุด คือ แบบ Harmonic Restraint จะปรับรีเลย์ไม่ให้ทำงานเมื่อ Harmonic ลำดับที่ 2 มีค่าเกิน 15 % ของกระแส Fundamental โดยกราฟกระแสที่เริ่มต้นเข้าหล่อเลี้ยงหม้อแปลง แสดงดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 กระแสที่เริ่มต้นเข้าหล่อเลี้ยงหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขนาดค่าคลื่นฮาร์โมนิคขณะกระแสเริ่มเข้าหม้อแปลง แสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 คลื่นฮาร์โมนิคขณะกระแสเริ่มเข้าหม้อแปลง

ฮาร์โมนิคลำดับที่	ขนาดค่าเป็น % ของฟันดาเมนทัล
2	63
3	26.8
4	5.1
5	4.1
6	3.7
7	2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรีเลย์ที่ใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 รีเลย์ที่ใช้กับขนาดของหม้อแปลงไฟฟ้า [25]

ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า	รีเลย์ที่นำมาใช้ในการป้องกัน (Primary)	รีเลย์ที่นำมาใช้ในการป้องกัน (Secondary)
หม้อแปลงขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 2500 kVA)	Fuse	1. Time Delay Overcurrent Relay (51) 2. Residually Connected Ground Relay (51N) 3. Transformer Thermal Relay (49)
หม้อแปลงขนาดกลาง (2500 – 5000 kVA)	1. Instantaneous / Time Delay Overcurrent Relay (50, 51) 2. Residually Connected Ground Relay (50N, 51N)	1. Instantaneous / Time Delay Overcurrent Relay (50, 51) 2. Residually Connected Ground Relay (50N, 51N) 3. Transformer Thermal Relay (49) 4. Neutral Ground Relay (51G)
หม้อแปลงขนาดใหญ่ (5000 – 10000 kVA)	1. Instantaneous / Time Delay Overcurrent Relay (50, 51) 2. Residually Connected Ground Relay (50N, 51N)	1. Instantaneous / Time Delay Overcurrent Relay (50, 51) 2. Residually Connected Ground Relay (50N, 51N) 3. Transformer Thermal Relay (49) 4. Neutral Ground Relay (51G) 5. Pressure Switch (63) 6. Differential Protective Relay (87T)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

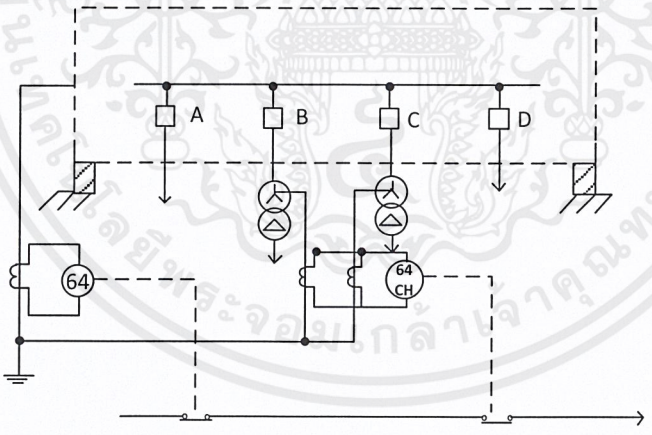
2.6 การป้องกันบัสบาร์ (Bus Bar Protection) [28]

ความผิดพร่องที่เกิดขึ้นที่บัสบาร์มักจะมีขนาดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่สูงมากอาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบส่งจ่ายไฟฟ้าค่อนข้างมากเกิดจากวัตถุแปลกปลอมเข้ามาในลานไกไฟฟ้าแรงสูงแล้วเกิดแตะพาดไปที่บัสบาร์ หรือเกิดจาก Switching Operation ที่ผิดพลาดในการป้องกันจะใช้ Bus Differential Relay (87B) ที่สามารถตรวจวัดความผิดพร่อง และให้สัญญาณตัดวงจรได้ภายในเวลาไม่ถึง 20 ms โดยที่รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay, 21) ทำหน้าที่เป็นระบบป้องกันเสริม (Back-up Protection) ของสายส่งไฟฟ้าโดยจะให้สัญญาณตัดวงจรแบบหน่วงเวลากับเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งระบบรีเลย์สำหรับป้องกันบัสบาร์ สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ

2.6.1 ป้องกันโดยใช้รีเลย์ของระบบให้ป้องกันรวมบัสเข้าไปด้วย (System Back-up Protection) มักใช้กับสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยขนาดเล็ก

2.6.2 การป้องกันโครงสร้างรองรับกับดิน (Frame – Earth Protection)

มีการฉนวนโครงสร้างที่รองรับบัส และอุปกรณ์อื่นๆ ทุกชิ้นจากดิน แล้วต่อสายจากโครงสร้างที่ต่อถึงกันเหล่านี้ลงดินที่จุดเดียว จะป้องกันการลัดวงจรลงดินของบัส และอุปกรณ์อื่นในเขตนี้ได้โดยต่อหม้อแปลงกระแสในสายลงดินดังกล่าว และใช้รีเลย์กระแสเกินแบบทำงานทันที หลักการ คือ เมื่อไม่มีการลัดวงจรในเขตบัสจะไม่มีกระแสไหลผ่านสายต่อลงดินเลย และเมื่อมีการลัดวงจรลงดินกระแสจะไหลลงดินผ่านสายนี้ได้ทางเดียวรีเลย์ก็จะทำงาน โดยวงจรการป้องกันบัสโดยใช้รีเลย์ต่อระหว่างโครงสร้างรองรับกับดินแสดงดังรูปที่ 2.35



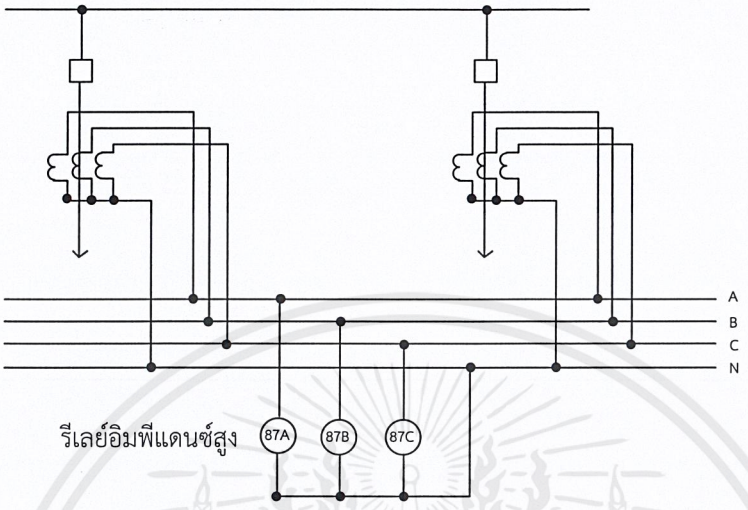
รูปที่ 2.35 วงจรการป้องกันบัสโดยใช้รีเลย์ต่อระหว่างโครงสร้างรองรับกับดิน

2.6.3 การป้องกันแบบใช้รีเลย์ผลต่าง (Differential Protection)

จะใช้รีเลย์ 3 ตัว และทำการปรับตั้งรีเลย์สำหรับการลัดวงจรระหว่างเฟส และการลัดวงจรลงดินจะตั้งค่าไว้เท่ากัน การต่อวงจรแบบนี้นิยมใช้ เพราะง่ายต่อการใช้งาน และทำงานได้อย่างถูกต้อง รวมทั้งใช้ Low Impedance Current Differential Relay ในการออกแบบระบบป้องกันจะใช้ Restraint Currents หรือ Bias Current ช่วยในการสร้างเสถียรภาพในการทำงานของรีเลย์ ซึ่งการจัดเรียงที่ง่ายสุด คือ Single Bus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

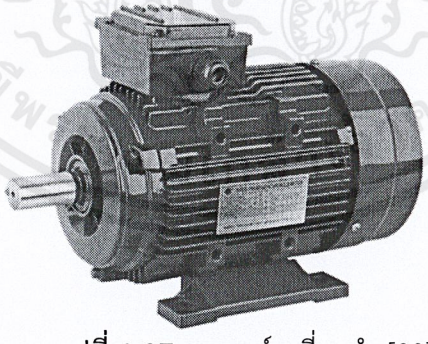
Configuration จะใช้ High Impedance Differential Relay ป้องกันบัสบาร์เดี่ยว โดยวงจรการป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟสและลงดินที่บัส แสดงดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.36 วงจรการป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟส และลงดินที่บัส

2.7 การป้องกันมอเตอร์ (Motor Protection) [29]

มอเตอร์กระแสสลับที่ต้องพิจารณาการป้องกัน คือ มอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor) โดยทั่วไป ความผิดปกติทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในมอเตอร์จะมีลักษณะเดียวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งในมอเตอร์ขนาดใหญ่จะคล้ายกับกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่ขนาดกลาง และเล็กจะมีองค์ประกอบรายละเอียดที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.37 มอเตอร์เหนี่ยวนำ [30]

การป้องกันมอเตอร์ต้องศึกษาลักษณะสมบัติของมอเตอร์ (Motor Characteristic) เช่น การป้องกันการใช้โหลดเกินขนาด (Overload) สภาวะแรงดันต่ำ (Under Voltage) ของมอเตอร์ รวมทั้งต้องทราบความสามารถในการทนต่อความร้อนที่เพิ่มขึ้น และป้องกันการลัดวงจร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 หลักการป้องกันมอเตอร์ แบ่งเป็น 4 ประเภท

1. การป้องกันขดลวดสเตเตอร์ (Stator Winding Protection)

สาเหตุที่ทำให้มอเตอร์เสียหาย หรืออายุการใช้งานสั้นลงนั้นมาจาก ฉนวนขดลวดสเตเตอร์ถูกทำลายหรือเสื่อมสภาพลง เช่น ใช้งานที่ความชื้นสูง ใช้งานเกินพิกัด เป็นต้น

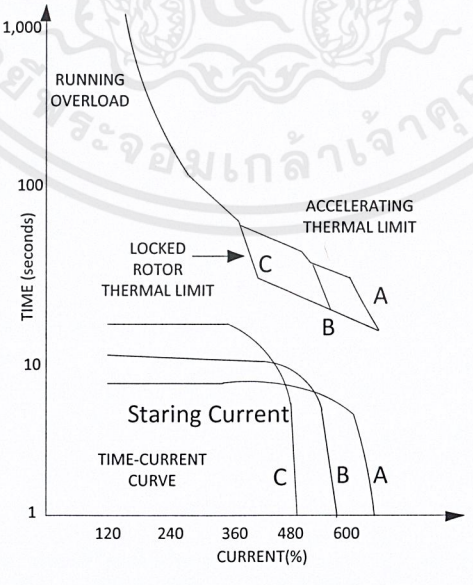
1.1 การป้องกันการทำงานเกินพิกัด (Overload Protection)

ทำให้กระแสสูงกว่าปกติ และเกิดความร้อนที่สเตเตอร์ ซึ่งถ้ามีอุณหภูมิเกินขีดจำกัดทางความร้อน (Thermal Limit) ก็จะทำให้ฉนวนเสียหายได้

มาตรฐาน ANSI/NFPA 70 – 7996 ในกรณีมอเตอร์ใช้งานต่อเนื่องจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นไม่เกิน 40 ^{o}C ที่ 1 Hp ซึ่งการป้องกันอุณหภูมิสูงเกินให้มอเตอร์ทำงานเกินพิกัดได้ดังนี้

- กระแสพิกัดมอเตอร์ (Full Load Current (I_{FL})) ไม่เกิน 9 A กระแสตัดวงจรจะต้องไม่เกิน 170 % ของ I_{FL}
- กระแสพิกัดมอเตอร์ 9.1 – 20 A กระแสตัดวงจรจะต้องไม่เกิน 156 % ของ I_{FL}
- กระแสพิกัดมอเตอร์ 20 A ขึ้นไป กระแสตัดวงจรจะต้องไม่เกิน 140 % ของ I_{FL}

สำหรับมอเตอร์ที่ไม่มีอุปกรณ์ป้องกันอุณหภูมิติดมาด้วยจะต้องติดตั้งรีเลย์กระแสเกิน (Overload Relay, 49) และทำการปรับตั้งจะต้องไม่เกิน 125 % (115 %) ของ I_{FL} บางครั้งออกแบบให้มอเตอร์ทำงานต่ำกว่าพิกัดปกติ (75 – 80 % ของพิกัด) ซึ่งปรับ Alarm ไว้ที่ 100 % ของ I_{FL} โดยการป้องกันการทำงานเกินพิกัดกำลังจะใช้รีเลย์ที่ทำงานด้วยความร้อน (Thermal Overload Relay) ในมอเตอร์ขนาดเล็ก และใช้รีเลย์กระแสเกินแบบหน่วงเวลา (Time Delay Over Current Relay) ร่วมกับรีเลย์ที่ทำงานด้วยความร้อน โดยกราฟ Limit Curves แสดงดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 กราฟ Limit Curves สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 การป้องกันสภาวะมอเตอร์ไม่หมุน (Locked Rotor Protection)

เกิดจากระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้า เช่น แรงดันต่ำ หรือไม่ครบเฟส โดยทั่วไปกระแสขณะที่โรเตอร์ไม่หมุนจะมีค่า 3-7 เท่าของกระแสพิกัด ซึ่งใกล้เคียงกับกระแสขณะเริ่มเดินเครื่อง และจะทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้น ควรพิจารณาเวลาที่ใช้ในการเดินเครื่อง เพื่อทำการปลดมอเตอร์ออกจากระบบโดยเฉพาะมอเตอร์ที่มีโหลดความเฉื่อยสูง (High Inertia) จะแยกสภาวะที่เริ่มเดินเครื่องกับมอเตอร์ไม่หมุนได้ยาก จึงใช้รีเลย์กระแสเกิน (51) ให้ทำงานสูงกว่ากระแสพิกัด และต่ำกว่า Thermal Limit (175-250 % ของ I_{FL}) ทำงานร่วมกับสวิตช์ความเร็วศูนย์ (Zero-Speed Switch, 12) รวมทั้งทำงานร่วมกับรีเลย์ระยะทาง (Distance Relay, 21) จะทำงานเมื่อเริ่มเดินเครื่องและไม่ทำงานเมื่อความเร็วรอบถึง 50 % ของพิกัด

1.3 การป้องกันอุณหภูมิสูง (Over Temperature Protection)

อาจเกิดจากการทำงานเกินพิกัด มอเตอร์ไม่หมุน ระบบระบายความร้อนเสียหาย โดยการป้องกันจะใช้รีเลย์กระแสเกิน และวัดอุณหภูมิโดยตรง (มอเตอร์ขนาดเล็กไม่เกิน 15 Hp ใช้ Thermocouple และขนาดใหญ่ใช้ RTD (Resistive Temperature Detector) โดยความสามารถในการทนอุณหภูมิของมอเตอร์ แสดงดังตารางที่2.10

ตารางที่ 2.10 ความสามารถในการทนอุณหภูมิของมอเตอร์ [23]

Insulation Class	Maximum Winding Temperature °C
A	140
B	165
F	190
H	215

1.4 การป้องกันมอเตอร์เริ่มเดินเครื่องซ้ำ (Frequency Start or Repetitive Start Protection) มักให้เริ่มเดินเครื่องได้ 2 ครั้ง คือ ที่อุณหภูมิแวดล้อม และไม่เกินจุดที่มอเตอร์ทำงานที่พิกัด

2. การป้องกันการลัดวงจรในขดลวดสเตเตอร์ (Stator Fault Protection)

2.1 การป้องกันกระแสลัดวงจรระหว่างเฟส (Phase Over Current Protection)

ในกรณีที่ใช้ฟิวส์ต้องคำนึงถึงสภาวะไม่สมดุล เช่น ฟิวส์ขาดบางเฟส ทำการปรับตั้ง 250 – 300 % ของ I_{FL} และถ้ามอเตอร์ที่ขนาด kVA เล็กกว่า 50 % จะใช้รีเลย์กระแสเกินกระแสเกินแบบทันที (50) (ปรับตั้งที่ 165 – 250 % ของกระแส Locked Rotor) เพื่อป้องกันการลัดวงจร รวมทั้งใช้รีเลย์ผลต่างสำหรับมอเตอร์ขนาดใหญ่กว่า 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การป้องกันกระแสลัดวงจรลงดิน (Ground Fault Protection)

1. Residual Connected Ground Over Current วัดจากผลรวมของกระแสแต่ละเฟสของ CT ซึ่งจะไม่สามารถปรับตั้งให้ต่ำได้อาจทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาด

2. Core Balance CT Scheme ใช้ Zero Sequence CT คล้องทั้ง 3 เฟส จะใช้แรงดันต่ำสามารถปรับตั้งให้รีเลย์มีความไวมากขึ้น

2.3 การป้องกันการลัดวงจรด้วยรีเลย์ผลต่าง (Differential Protection)

3. การป้องกันการลัดวงจรในโรเตอร์ (Rotor Fault Protection)

ใน Wound Rotor ใช้รีเลย์แรงดันเกิน (59)

4. การป้องกันสภาวะที่แหลงจ่ายไฟฟ้าผิดปกติ

4.1 การป้องกันสภาวะแรงดันต่ำ (Under Voltage Protection) มอเตอร์ขนาดใหญ่ต้องจ่ายแรงดันไม่ต่ำกว่า 70 – 85 % ของพิกัด ซึ่งถ้าแรงดันต่ำเกินไปจะทำให้มอเตอร์เดินเครื่องนานและเกิดความร้อนสูงได้ หรือในมอเตอร์แรงดันปานกลาง จะต่อ VT ให้รีเลย์ทำงานเมื่อแรงดันลดลงเหลือ 80 % ของแรงดันปกติ

4.2 การป้องกันสภาวะแรงดันเกิน (Over Voltage Protection) ทำให้เกิดกระแสเหนี่ยวนำในแกนเหล็กที่สูง และยังทำให้เกิดกระแสขณะเริ่มเดินเครื่องที่สูงด้วย ซึ่งถ้าเกิดกระชากสูงจะต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเสิร์จมาช่วย

4.3 การป้องกันสภาวะแรงดันไม่สมดุล (Unbalance Protection) จะมีกระแสลำดับลบ (Negative Sequence Current) ไหลทำให้เกิดความร้อนสูง โดยการป้องกันจะใช้

1. Phase – Balance Relay
2. Negative – Sequence Current Relay (46)
3. Phase – Balance Voltage Relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรีเลย์ที่ใช้กับมอเตอร์ขนาดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 รีเลย์ที่ใช้กับขนาดของมอเตอร์ [29]

ขนาดมอเตอร์	รีเลย์ที่นำมาใช้ในการป้องกัน
การป้องกันมอเตอร์ขนาดกลาง (< 500 kW)	1. Under Voltage Relay (27) 2. Thermal overload Relay (49/50) 3. Instantaneous Overcurrent Relay (50GS) 4. Incomplete Sequence Timer (48)
การป้องกันมอเตอร์ขนาดใหญ่ (> 500 kW)	1. Under Voltage Relay (27) 2. Current Balance Relay (46) 3. Temperature Relay (49) 4. Time Overcurrent Stalled Rotor Relay (49 / 50) 5. Instantaneous Overcurrent Relay (50) 6. Instantaneous Overcurrent Ground Relay (50GS) 7. Differential Relay (87) 8. Incomplete Sequence Timer (48)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบการทดสอบและการประกอบชุดทดสอบ

3.1 แนวคิดพื้นฐาน

พลังงานไฟฟ้ากลายเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งของการดำเนินชีวิต และการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการพัฒนาอุตสาหกรรม เมื่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าขยายตัวมากยิ่งขึ้น ในขณะที่เกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้า ย่อมเกิดผลเสียหายต่อระบบการผลิตอุตสาหกรรมและอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อระบบไฟฟ้าใหญ่ขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลขณะลัดวงจรจะสูงมาก เพื่อที่จะป้องกันระบบไฟฟ้าให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และลดความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น แก่ระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้ากรณีระบบผิดปกติ นอกจากนี้ระบบป้องกันยังต้องมีความเชื่อถือได้ดี สำหรับความผิดปกติของระบบไฟฟ้าที่อาจเกิดขึ้นได้ในลักษณะต่างๆ ต่อไปนี้

1. การลัดวงจรระหว่างเฟสต่อเฟสหรือเฟสกับดิน มีสาเหตุเนื่องมาจากการเสื่อมของฉนวนไฟฟ้า
2. การเกิดภาวะแรงดันสูง (Over Voltage) มีสาเหตุเนื่องมาจากอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าไม่ปกติ อาจเกิดจากฟ้าผ่า หรือสวิตชิ่งเสิร์จ (Switching Surge)
3. การเกิดความถี่ต่ำ (Under Frequency) มีสาเหตุเนื่องมาจากการผลิตกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอกับโหลด
4. การเกิดโหลดเกิน (Over Load) มีสาเหตุจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าเกินกำลัง

ระบบป้องกันไฟฟ้าที่ดีย่อมไม่เป็นผลกระทบกระเทือนต่อระบบการส่งและจ่ายไฟฟ้า ดังนั้นหน้าที่ของระบบป้องกันไฟฟ้าที่ดี คือต้องสามารถตัดระบบไฟฟ้าออกจากวงจรให้รวดเร็วที่สุดกรณีเกิดภาวะผิดปกติในระบบไฟฟ้า ซึ่งในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดสอบการทดสอบนี้ประกอบด้วย

1. การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
2. การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้า
3. การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับมอเตอร์

โดยคุณสมบัติของการทดสอบรีเลย์ในการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของการทดสอบรีเลย์ในการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ลำดับฟังก์ชัน	คุณสมบัติของรีเลย์ป้องกัน
1	Over Current
2	Over / Under Voltage
3	Reverse Power
4	Over / Under Frequency
5	Over Fluxing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยคุณสมบัติของการทดสอบรีเลย์ในการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของการทดสอบรีเลย์ในการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า

ลำดับฟังก์ชัน	คุณสมบัติของรีเลย์ป้องกัน
1	Magnetizing Inrush Current
2	Differential Protection
3	Over Fluxing

โดยคุณสมบัติของการทดสอบรีเลย์ในการป้องกันมอเตอร์ แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของการทดสอบรีเลย์ในการป้องกันมอเตอร์

ลำดับฟังก์ชัน	คุณสมบัติของรีเลย์ป้องกัน
1	Unbalance Test
2	Over Load
3	Single Phase Test
4	Rapid / Mechanical Jam Trip Test

โดยคุณสมบัติของการทดสอบรีเลย์ในการป้องกันบัสบาร์ แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของการทดสอบรีเลย์ในการป้องกันบัสบาร์

ลำดับฟังก์ชัน	คุณสมบัติของรีเลย์ป้องกัน
1	Unbalance Test
2	Over Load
3	Single Phase Test
4	Rapid / Mechanical Jam Trip Test
5	Ground Fault (Metering & Alarm) Test

ดังนั้นก่อนทำการทดลอง จะต้องทำการออกแบบ และประกอบสร้างชุดทดสอบ เพื่อใช้ในการทดสอบคุณสมบัติของรีเลย์ป้องกันสำหรับ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, หม้อแปลงไฟฟ้า, มอเตอร์ และบัสบาร์ ซึ่งใช้มาตรฐาน IEEE Std C37.102-2006, C37.91-2008, C37.96-2012 และC37.234-2009 รวมทั้งทำการจำลองเครื่องทดสอบโดยใช้โปรแกรม Solid Work เป็นรูป 3D ขึ้นมา เพื่อนำไปประกอบชุดทดลองร่วมกับวิเคราะห์ฟังก์ชันการทำงานในโหมดต่างๆ ของรีเลย์กับโปรแกรม Test Universe software CMC 256 (OMICRON)

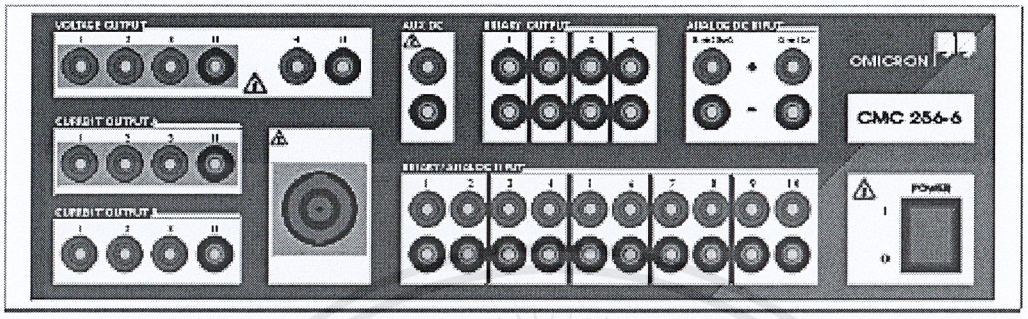
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ภาพร่างโครงสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

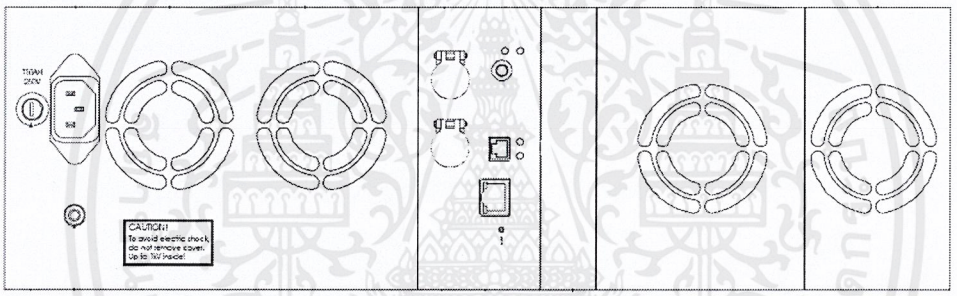
3.2.1 ชุดทดสอบรีเลย์ป้องกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1. ออกแบบ 3 มิติด้วยโปรแกรม Solid Works

ได้แก่ เครื่องทดสอบ CMC 256 (OMICRON)



รูปที่ 3.1 ด้านหน้าของเครื่องทดสอบรีเลย์ป้องกัน CMC 256 (OMICRON)



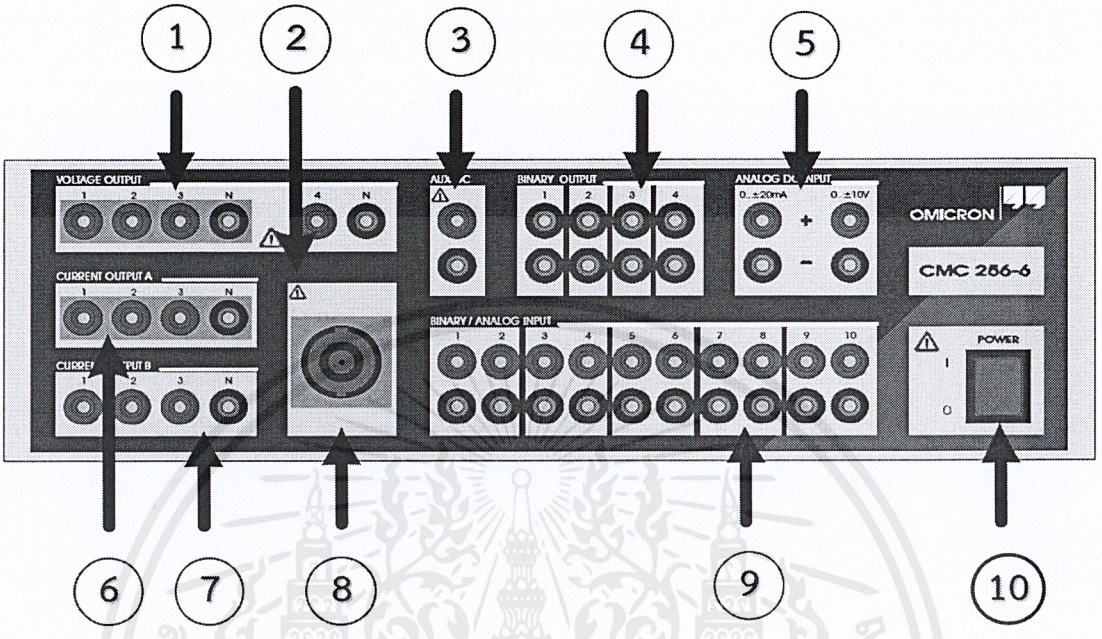
รูปที่ 3.2 ด้านหลังของเครื่องทดสอบรีเลย์ป้องกัน CMC 256 (OMICRON)

รูปที่ 3.3 ภาพร่างเครื่องทดสอบรีเลย์ป้องกัน CMC 256 (OMICRON)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ลักษณะแผงด้านหน้าพร้อมกับหน้าที่การใช้งานเครื่องที่ใช้ทดลอง

แผงด้านหน้าของเครื่อง CMC 256 ได้ทำการออกแบบโดยโปรแกรม Solid Work แบ่งเป็นส่วนต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผงด้านหน้าแสดงฟังก์ชันการทำงานของเครื่อง CMC 256 (OMICRON)

หมายเลขที่ 1 คือ ช่องแรงดันขาออก (Voltage Output)

หมายเลขที่ 2 คือ ป้ายเตือนสำหรับแรงดันอันตราย (Warning Indication)

หมายเลขที่ 3 คือ ช่องแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (Aux DC)

หมายเลขที่ 4 คือ ช่องไบนารี่ขาออก (Binary Output)

หมายเลขที่ 5 คือ ช่องปรับกระแสและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้า (Analog DC Input)

หมายเลขที่ 6 คือ ช่องกระแสไฟฟ้าขาออก A (Current Output : 3 x 12.5 A, 1 x 75 A)

หมายเลขที่ 7 คือ ช่องกระแสไฟฟ้าขาออก B (Current Output : 3 x 12.5 A, 1 x 75 A)

หมายเลขที่ 8 คือ ช่องแรงดันไฟฟ้าขาออก 1-3 และ ช่องกระแสไฟฟ้าขาออก A

หมายเลขที่ 9 คือ ช่องที่ต้องการวัด (Binary / Analog Input)

หมายเลขที่ 10 คือ สวิตช์เปิด – ปิด (Power)

3.2.2 วิธีการใช้งานเครื่อง CMC 256 (OMICRON)

1. ต่อ CMC 256 ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการเชื่อมต่อสายตามวงจรอาจมีทั้งการวัดกระแส และแรงดัน

- CMC 256 : กับช่องเสียบ (eth1) ที่ด้านหลังของอุปกรณ์

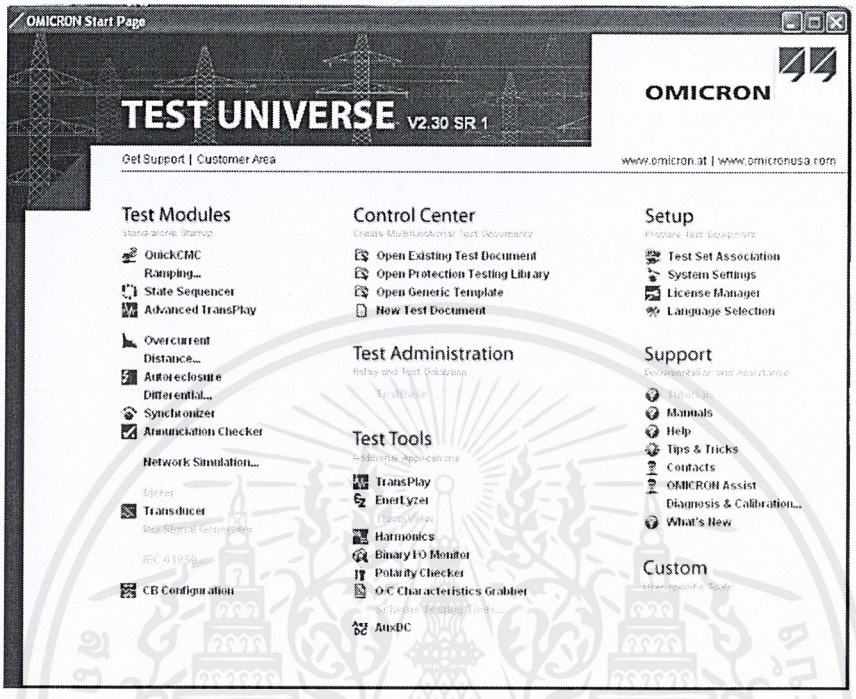
- PC : กับพอร์ตเชื่อมต่อแบบขนาน (LPT1) หรือไปอินเตอร์เฟซอีเธอร์เน็ต (LAN)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

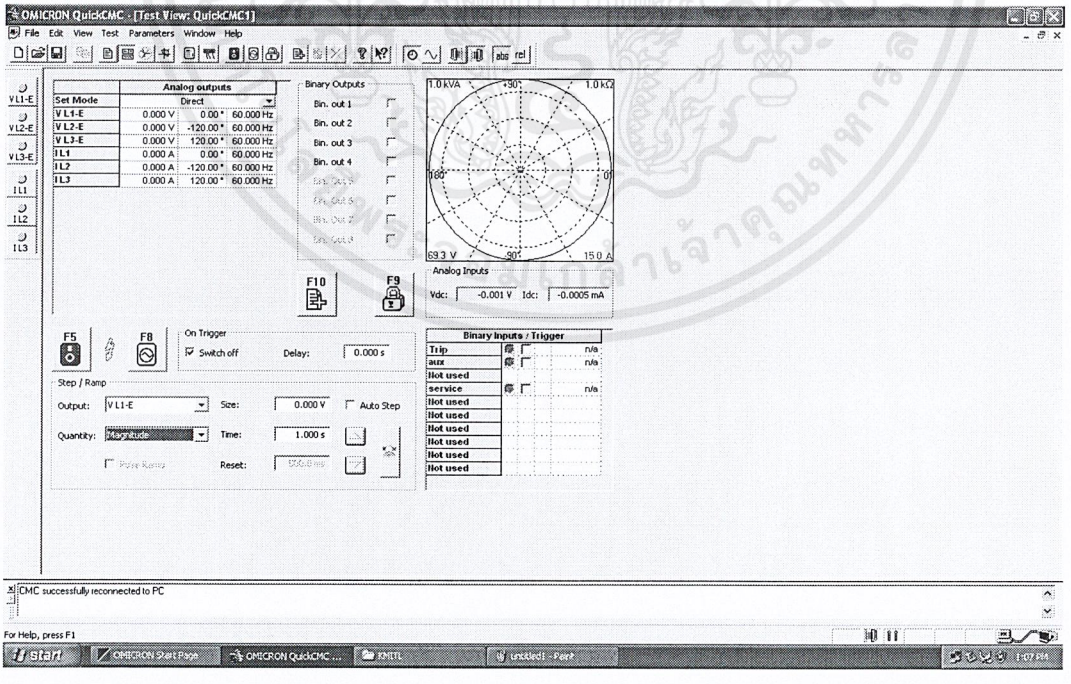
2. เสียบ CMC 256 และพีซีเข้ากับเต้าเสียบปลั๊กไฟ

3. เปิดอุปกรณ์ทั้งสอง

4.Start OMICRON Test Universe software



รูปที่ 3.5 โปรแกรม Test Universe software CMC 256 (OMICRON)



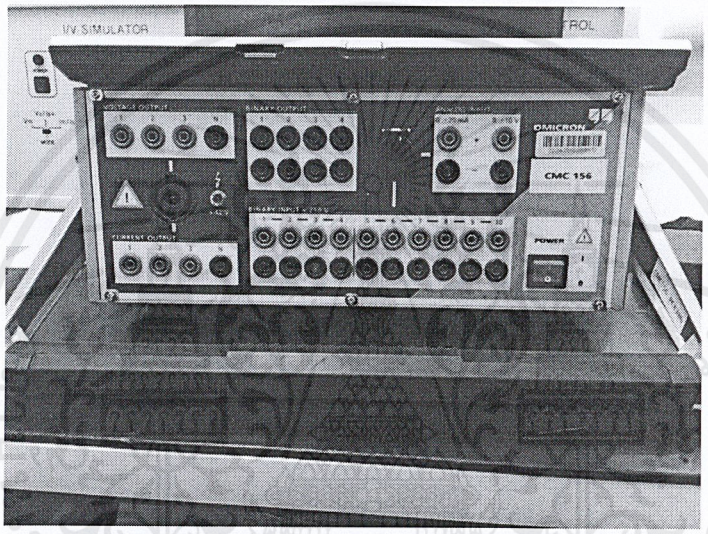
รูปที่ 3.6 หน้าจอการทำงานของโปรแกรม Test Universe software CMC 256 (OMICRON)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบ

1. เครื่องทดสอบ CMC 156 (OMICRON)

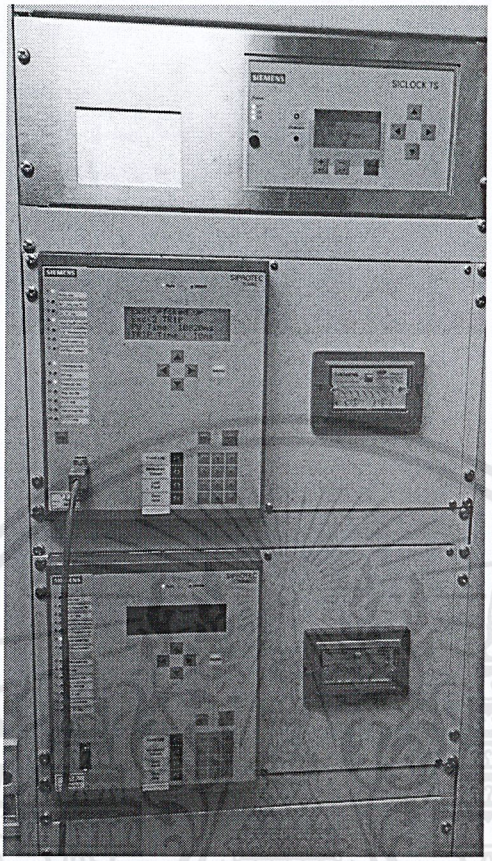
- Input Voltage 110 – 240 V
- Input Rated Power 600 VA
- Output Voltage 125 V
- Output Current 12 A
- Output Rated Power 40 / 50 VA
- Frequency 50 / 60 Hz



รูปที่ 3.7 เครื่อง CMC 156 (OMICRON)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (SIEMENS)



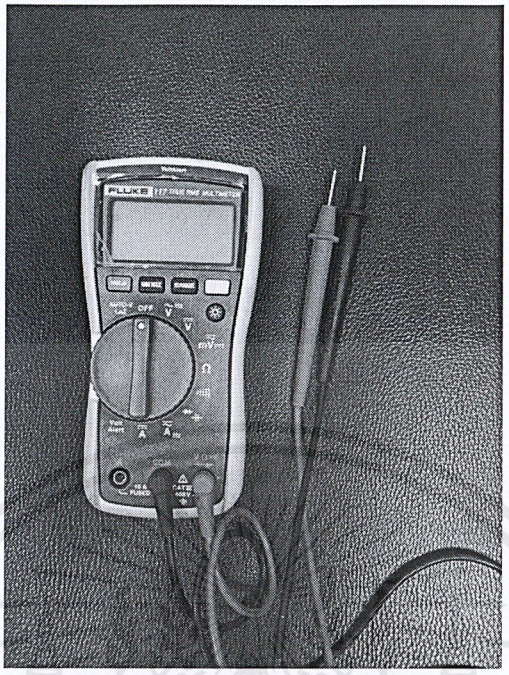
รูปที่ 3.8 รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3. รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า (SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES)

รูปที่ 3.9 รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องวัดกระแส และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และกระแสสลับ (Multi – Meter)



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ (Multi – Meter)

5. รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับมอเตอร์ (MULTILIN)

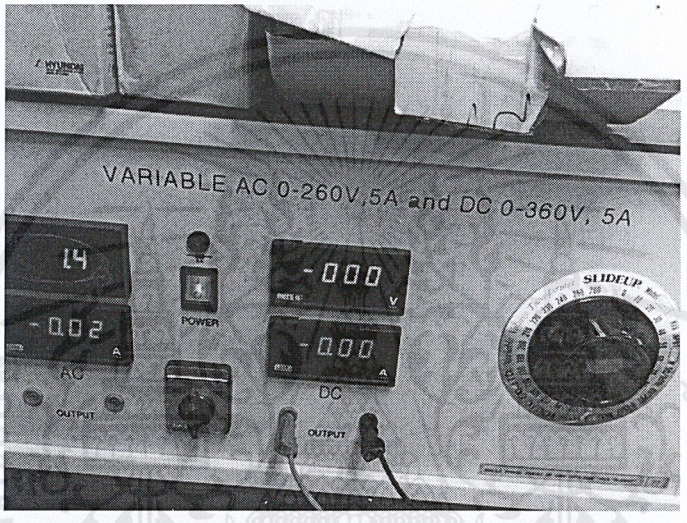
- Input Voltage 120 Vac, 125 Vdc
- Frequency 50 / 60 Hz
- Input Rated Power 20 VA

รูปที่ 3.11 รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

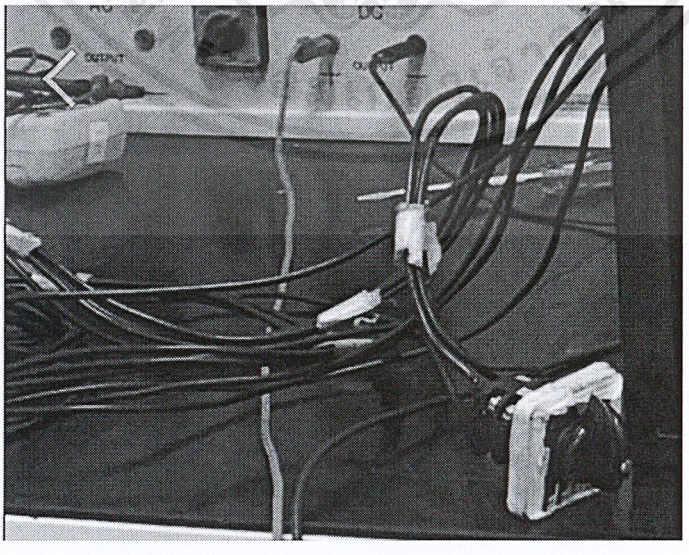
6. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ (Power Supply)

- Input Voltage 230 Vac
- Output Voltage 0 - 260 Vac
- Output Current 5 A
- Output Voltage 0 - 360 Vdc
- Output Current 5 A
- Frequency 50 / 60 Hz
- Output Rated Power 1000 VA



รูปที่ 3.12 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ (Power Supply)

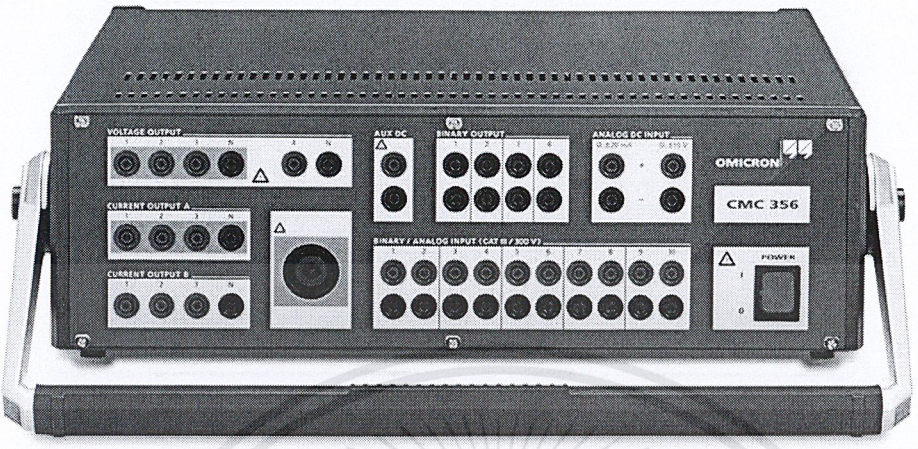
7. ตัวปรับการ Reset เวลาที่เกี่ยวข้องกับค่า Temperature สำหรับการป้องกันมอเตอร์



รูปที่ 3.13 ตัวปรับการ Reset เวลาที่เกี่ยวข้องกับค่า Temperature

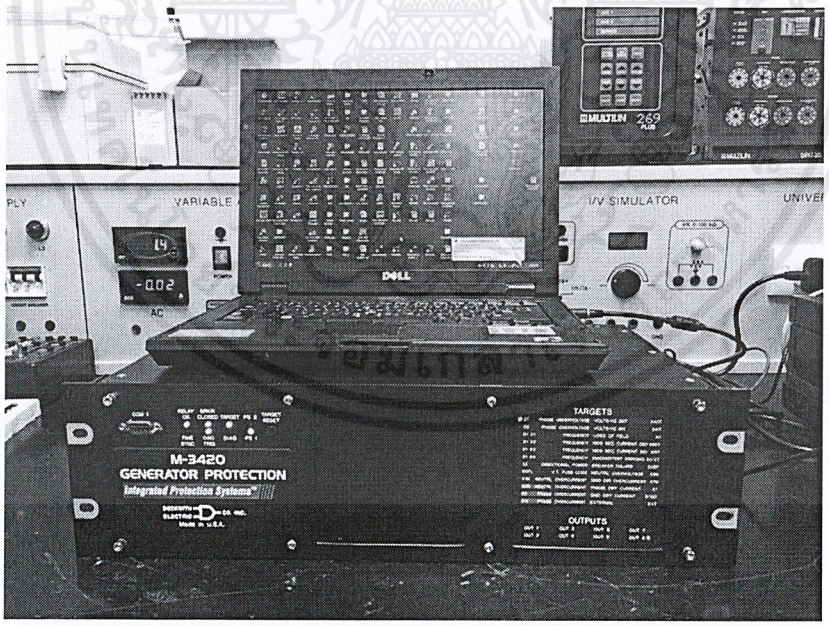
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เครื่องทดสอบ CMC 356 (OMICRON)



รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบ CMC 356 (OMICRON)

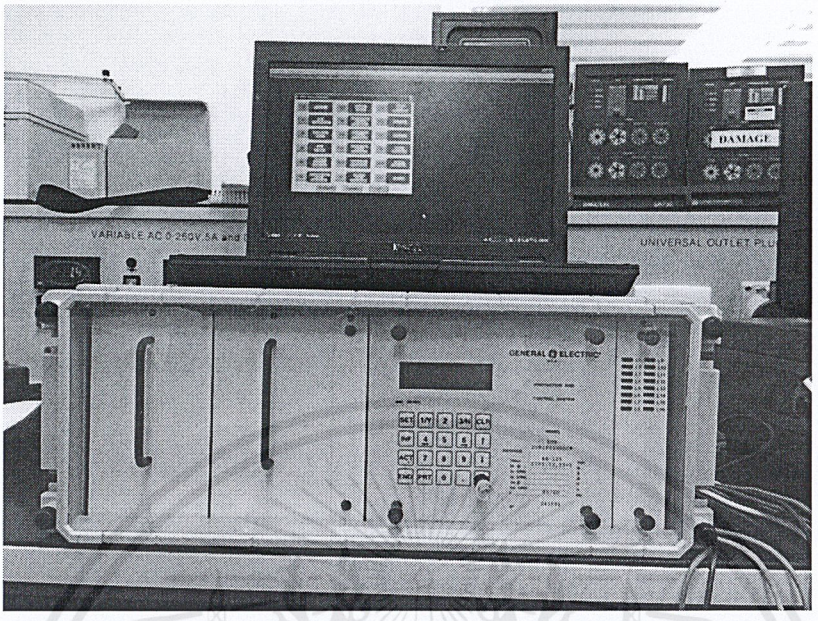
9. รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Protection M-3420)



รูปที่ 3.15 รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า (General Electric)



รูปที่ 3.16 รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับเครื่องหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดสอบและผลการทดสอบ

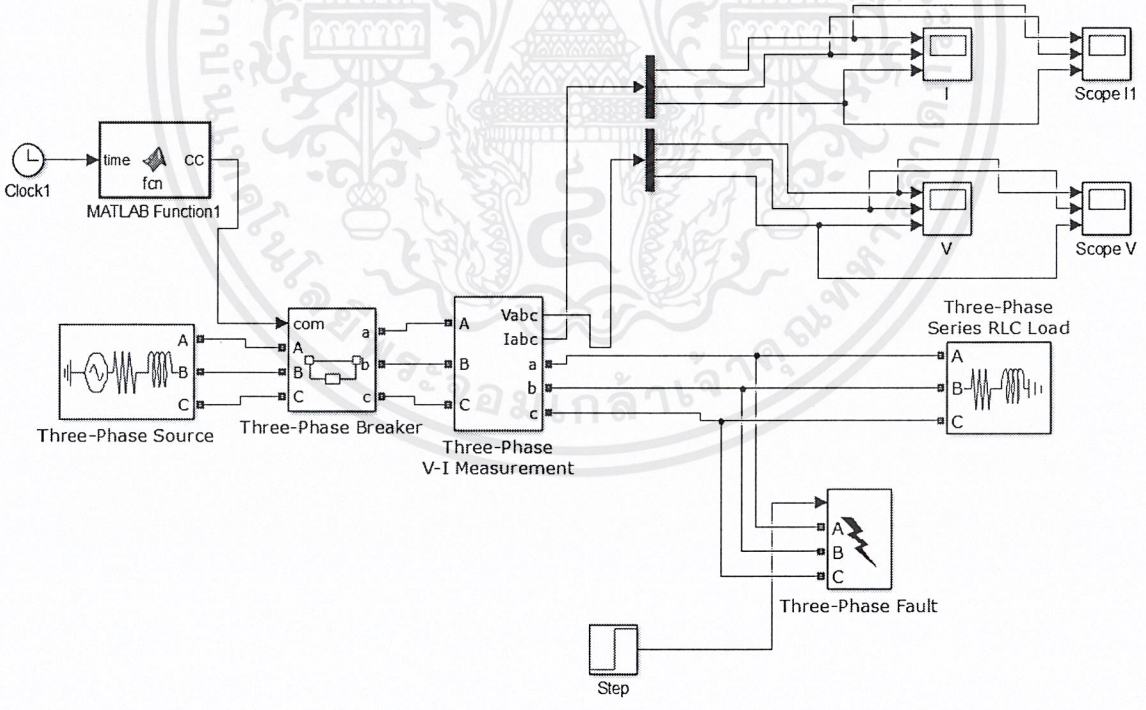
การทดสอบถูกแบ่งออกเป็น 5 ส่วน

1. การจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB
2. การจำลองด้วยโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory
3. การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
4. การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับมอเตอร์
5. การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้า

4.1 การจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB

4.1.1 จำลองการเกิดความผิดพร่องรูปแบบต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง

การทดลองนี้เป็นการจำลองการเกิดสภาวะความผิดพร่องชนิดต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น ความผิดพร่องแบบเส้นเดียวลงกราวน์ ความผิดพร่องแบบสามเฟสสมมาตร เป็นต้น

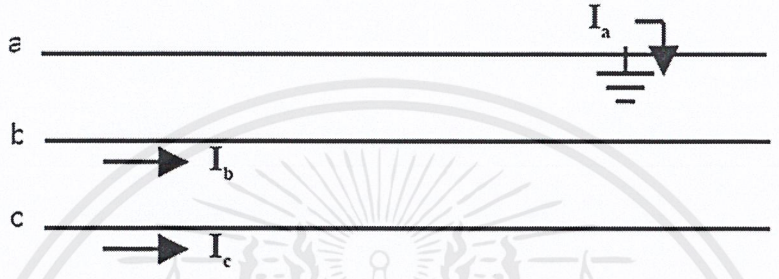


รูปที่ 4.1 แบบวงจรจำลองความผิดพร่องชนิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง

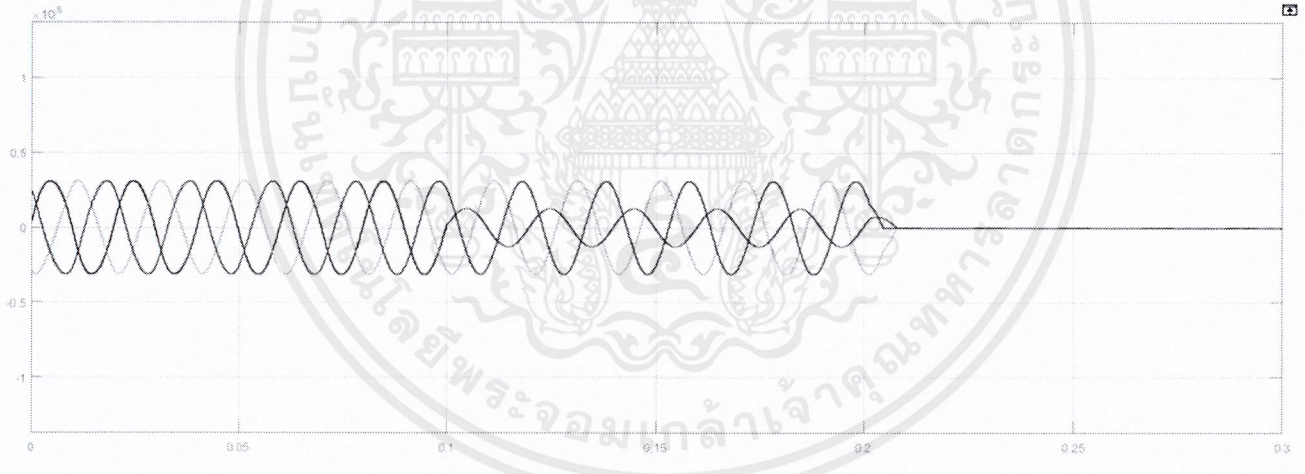
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบเส้นเดียวลงกราวน์ (Single Line to Ground Fault)

ความผิดพร่องแบบนี้เกิดเมื่อสายไฟเส้นหนึ่งตกลงพื้นดินหรือมีสายตัวนำต่อระหว่างสายไฟหนึ่งเส้นกับสายนิวทรัลหรือพื้นดิน จะมีหนึ่งเฟสที่เป็นเฟสที่เกิดความผิดพร่องนั้นเกิดแรงดันตกช่วงสั้น (Voltage Sag) และอีกสองเฟสที่เหลือจะเกิดแรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell) สำหรับเฟสที่เกิดความผิดพร่องจะมีขนาดแรงดันลดลงจนมีค่า ใกล้เคียงศูนย์หรือมีค่าเป็นศูนย์ มุมเฟสของสองเฟสที่เกิดความผิดพร่องจะมีไม่มี phase shift

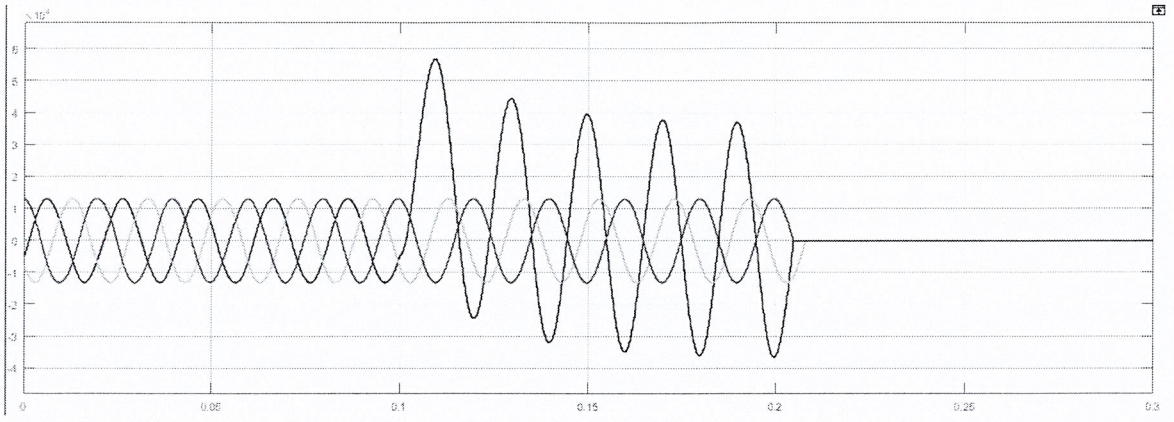


รูปที่ 4.2 สายไฟที่เกิดการลัดวงจรแบบเส้นเดียวลงกราวน์



รูปที่ 4.3 ผลของการจำลองแรงดันของการลัดวงจรชนิดเส้นเดียวลงกราวน์ ซึ่งความผิดพร่องนี้ถูกสร้างขึ้นที่เวลา 0.1 s ทำให้แรงดันเฟส A ลดลงต่ำกว่าแรงดันเฟสอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

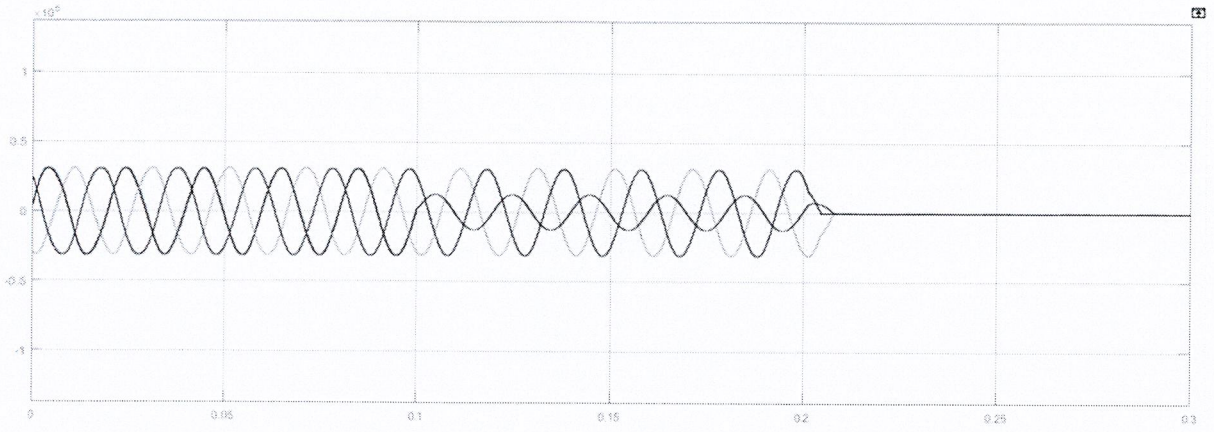


รูปที่ 4.4 แบบจำลองกระแสของการลัดวงจรชนิดเส้นเดียวลงกราวน์ ความผิดพร่องถูกสร้างขึ้นที่เวลา 0.1 s ทำให้กระแสเฟส A มีการพุ่งเกิน(Over Shoot) สูงกว่าปกติประมาณ 5 เท่า

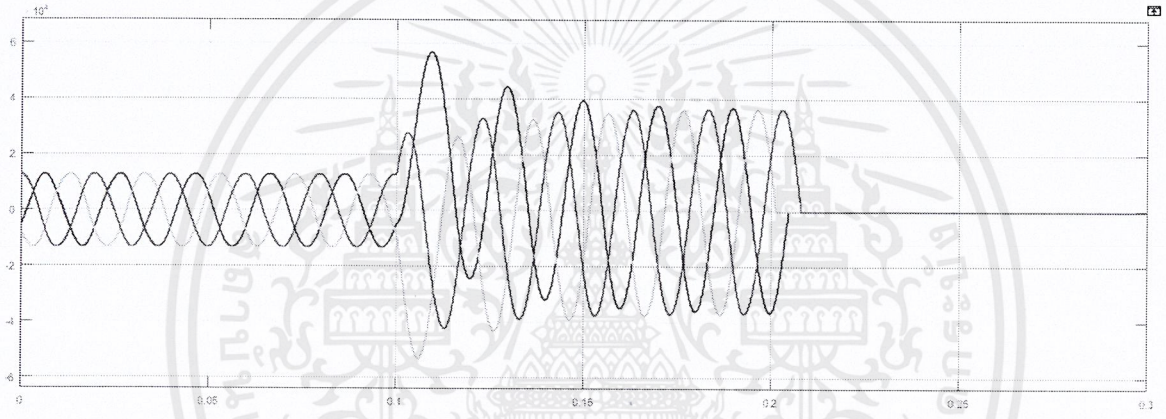
แบบสมมาตร (Symmetrical) ได้แก่ ลัดวงจรชนิดสามเฟส (Three Phase Fault) เกิดเมื่อสายไฟตัวนำทั้งสามสายตกลงพื้น หรือ มีสายตัวนำมาพาดผ่านทั้งสามสาย หรือ มีสายตัวนำพาดผ่านทั้งสามสายและต่อกับสายนิวทรัลหรือลงกราวน์ จะพบว่าเกิดแรงดันตกช่วงสั้น (Voltage Sag) ทั้งสามเฟสจน มีค่าใกล้เคียงศูนย์หรือมีค่าเป็นศูนย์แต่ในกรณีที่เป็นกราวน์ความผิดพร่อง จะมี Duration of Sag นานกว่าประมาณ 0.1 วินาที มุมเฟสของสองเฟสที่เกิด ความผิดพร่องจะมีไม่มี phase shift

รูปที่ 4.5 สายไฟที่เกิดการลัดวงจรแบบสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แบบจำลองแรงดันของการลัดวงจรชนิดสามเฟสสมมาตร

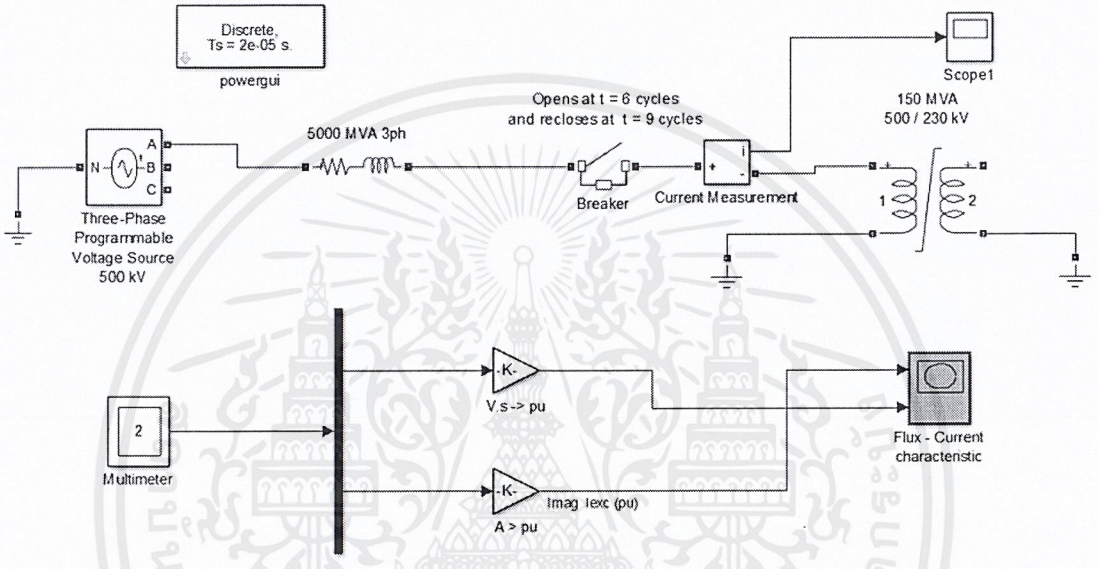


รูปที่ 4.7 แบบจำลองกระแสของการลัดวงจรชนิดสามเฟสสมมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

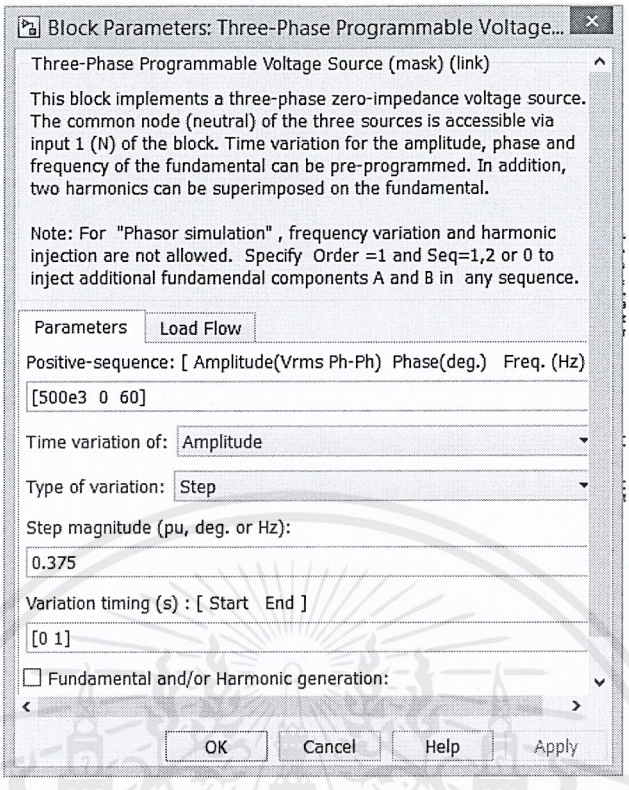
4.1.2 จำลองการเกิด Magnetizing – Inrush Current เมื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า

Magnetizing inrush current ถือว่าเป็นลักษณะของ transient อย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นขณะเริ่มจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่หม้อแปลง และไม่ถือเป็นอาการผิดปกติ ไม่จำเป็นที่จะต้องมีอุปกรณ์ป้องกัน เพียงแต่เราจะต้องคิดอยู่เสมอว่าอุปกรณ์ป้องกันหม้อแปลงของเราจะต้องมีเสถียรภาพเพียงพอต่อการรับการเกิด inrush current ผู้ทดลองจึงได้มีการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาสภาวะนี้

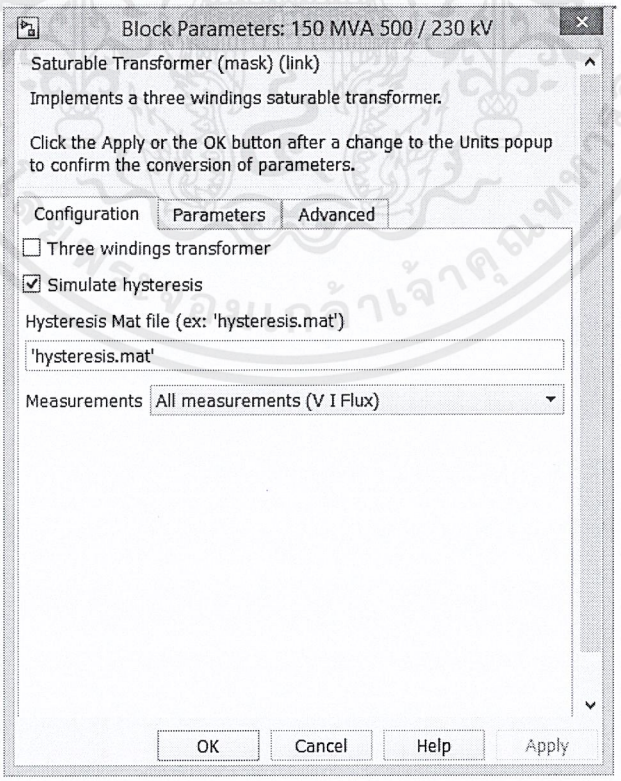


รูปที่ 4.8 แบบจำลองกระแสพุ่งเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า ประกอบด้วย แหล่งจ่ายขนาด 500 kV หม้อแปลงไฟฟ้า 150 MVA 500/230 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

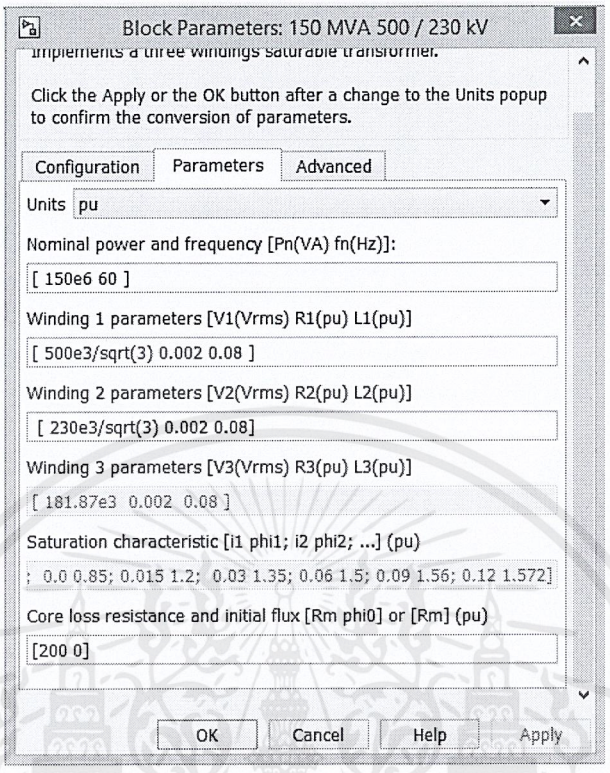


รูปที่ 4.9 พารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส 500 kV, 60 Hz

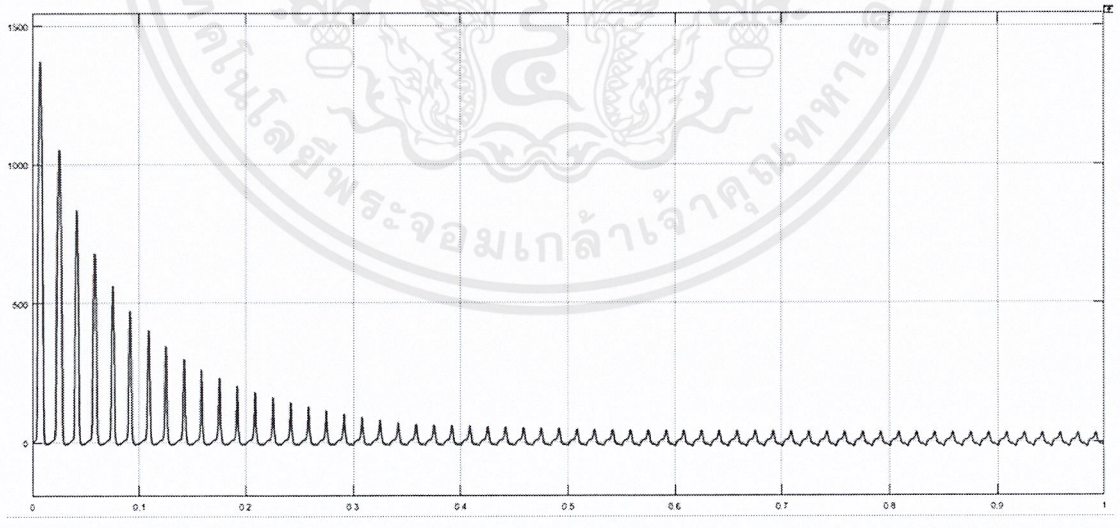


รูปที่ 4.10 พารามิเตอร์ของหม้อแปลงขนาด 150 MVA 500/230 kV โดยเพิ่มค่า hysteresis.mat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

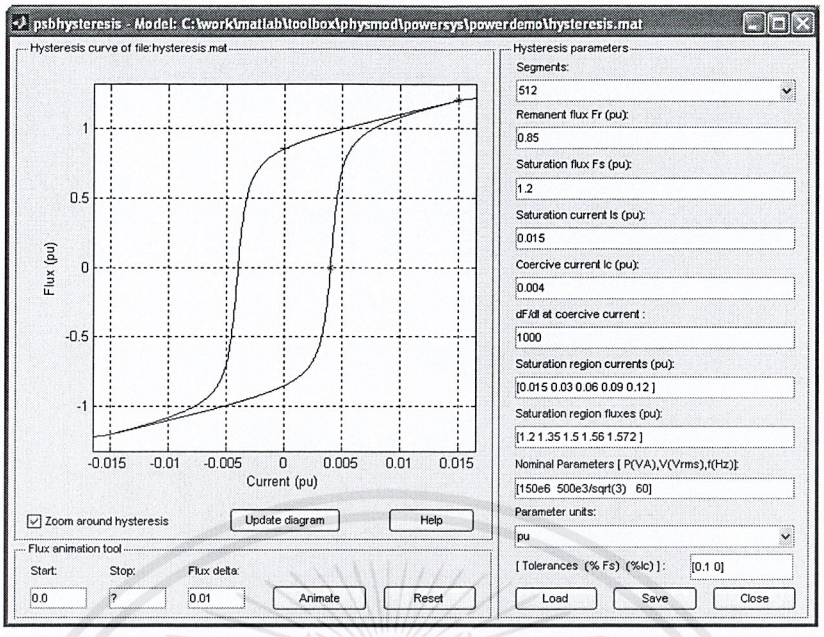


รูปที่ 4.11 พารามิเตอร์ของหม้อแปลงขนาด 150 MVA 500/230 kV



รูปที่ 4.12 ค่ากระแสพุ่งเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า

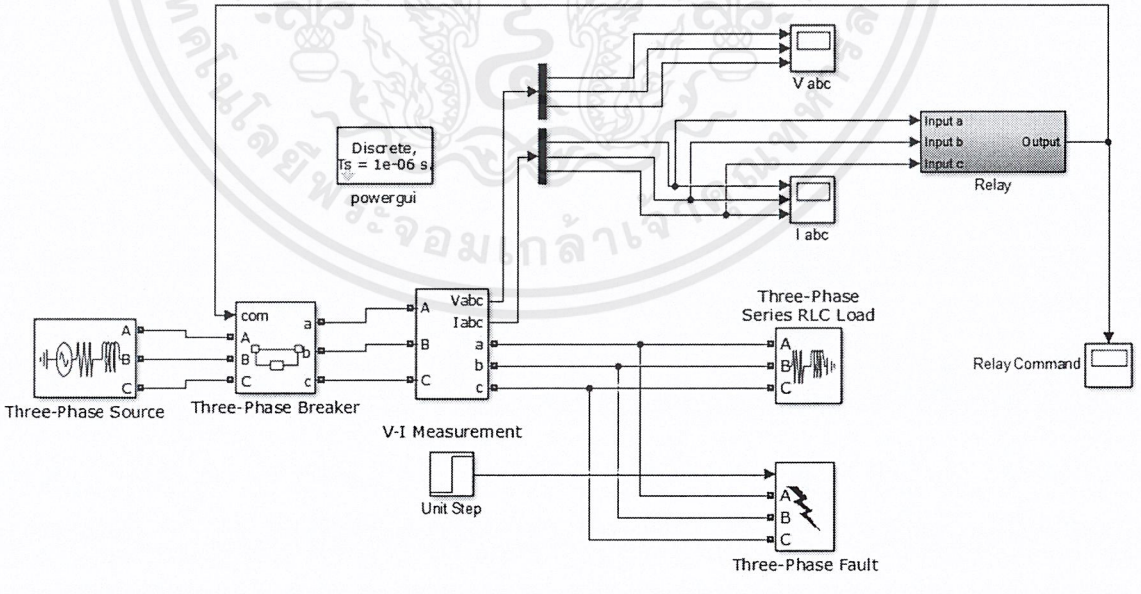
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 B-H Curve ของหม้อแปลงไฟฟ้า

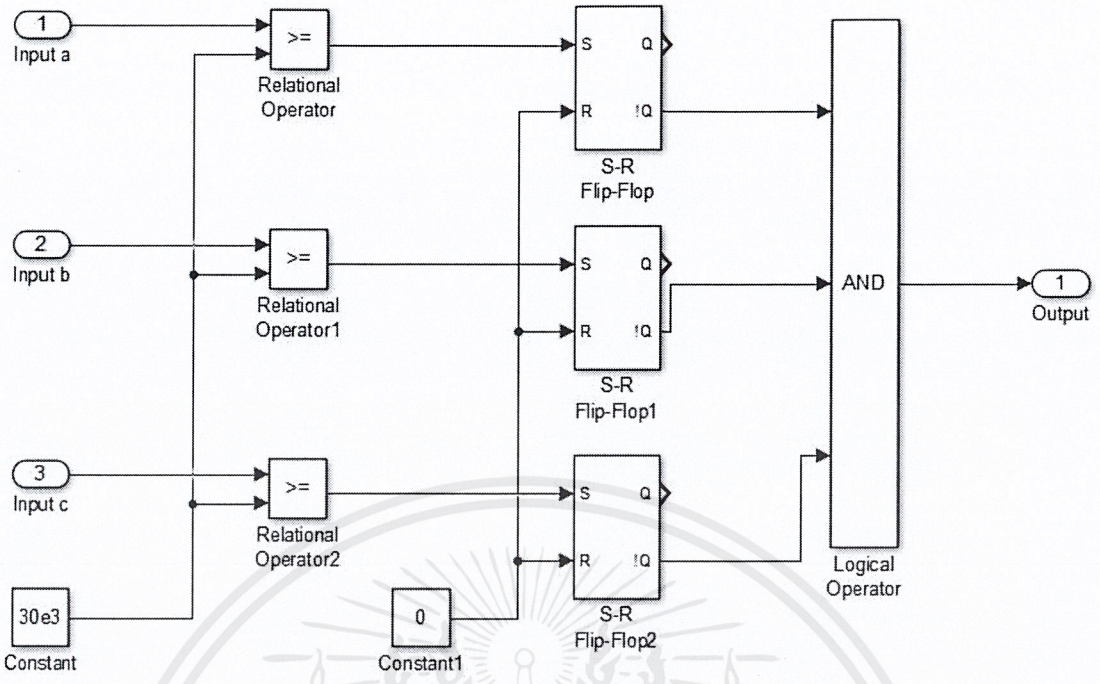
4.1.3 จำลองการทำงานของรีเลย์กระแสเกินร่วมกับเซอร์กิตเบรกเกอร์

การทดลองนี้เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ของการทำงานระหว่างเซอร์กิตเบรกเกอร์ และรีเลย์กระแสเกิน เช่น เวลาการตัดต่อวงจรหลังจากเกิดความผิดพร่องแบบต่างๆ

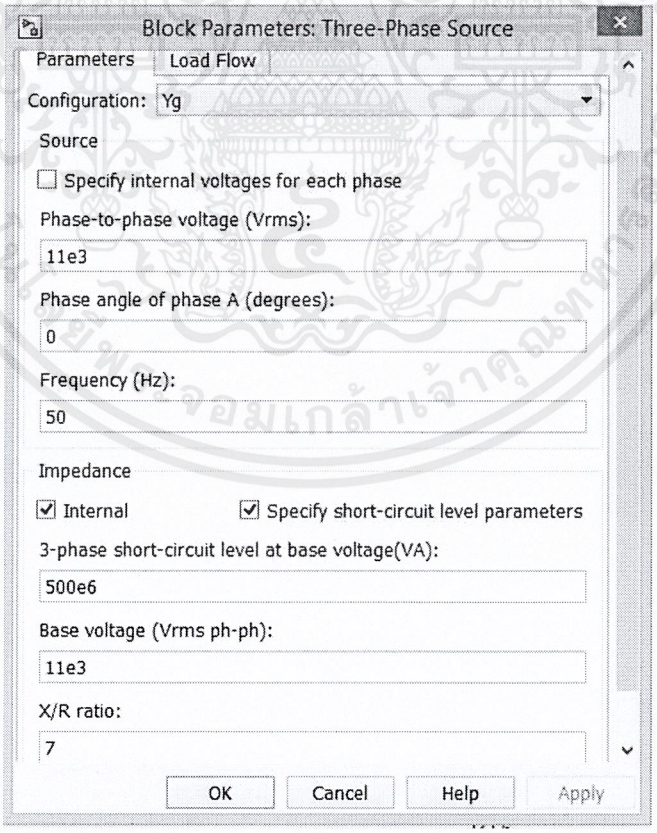


รูปที่ 4.14 แบบจำลองการทำงานของรีเลย์กระแสเกินร่วมกับเซอร์กิตเบรกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

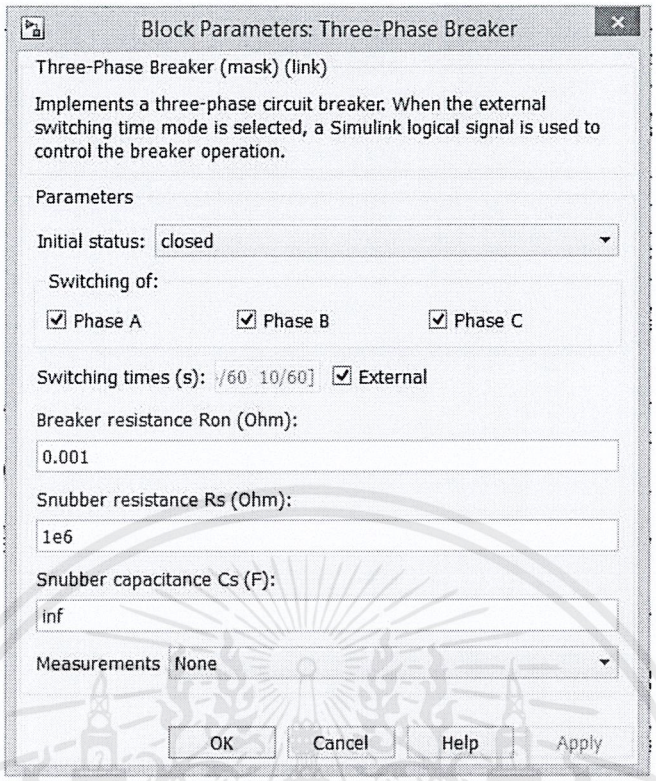


รูปที่ 4.15 วงจรดิจิตอลภายในรีเลย์กระแสเกิน

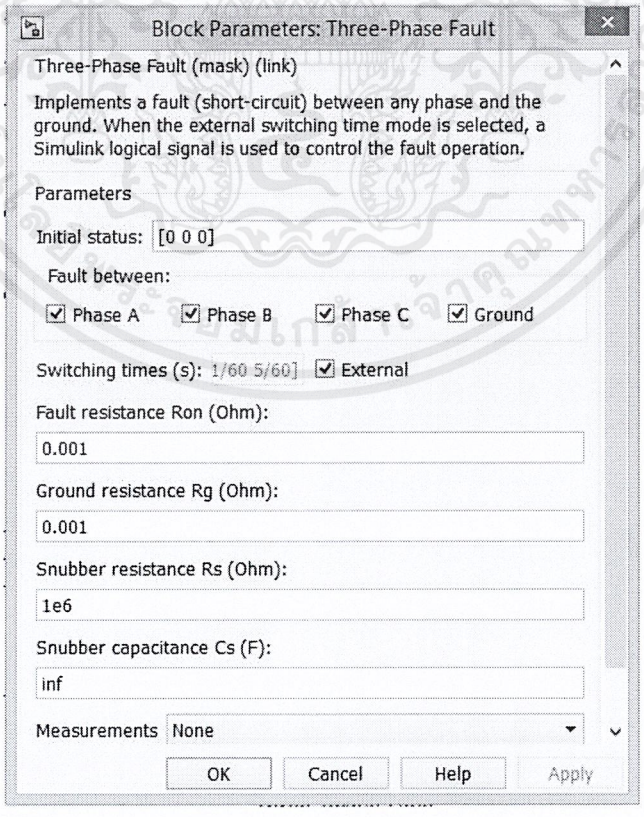


รูปที่ 4.16 พารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส 500 MVA, 11 kV, 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

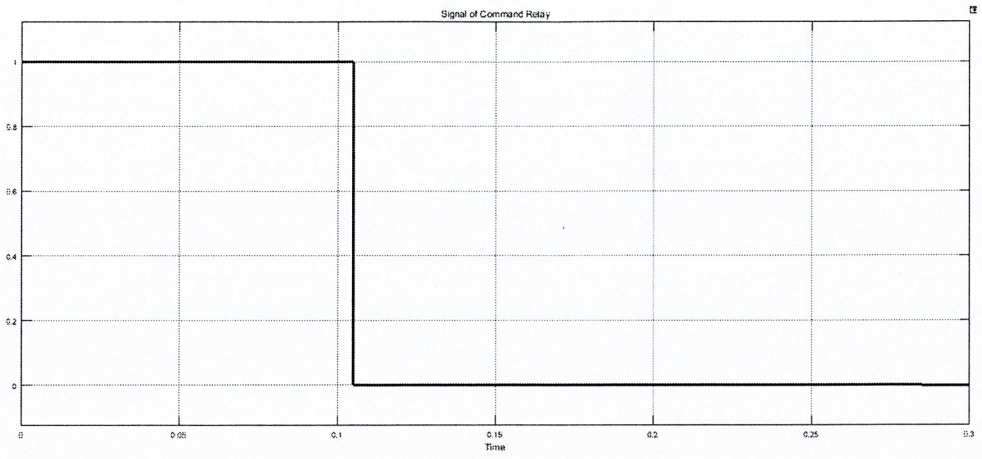


รูปที่ 4.17 พารามิเตอร์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 3 เฟส

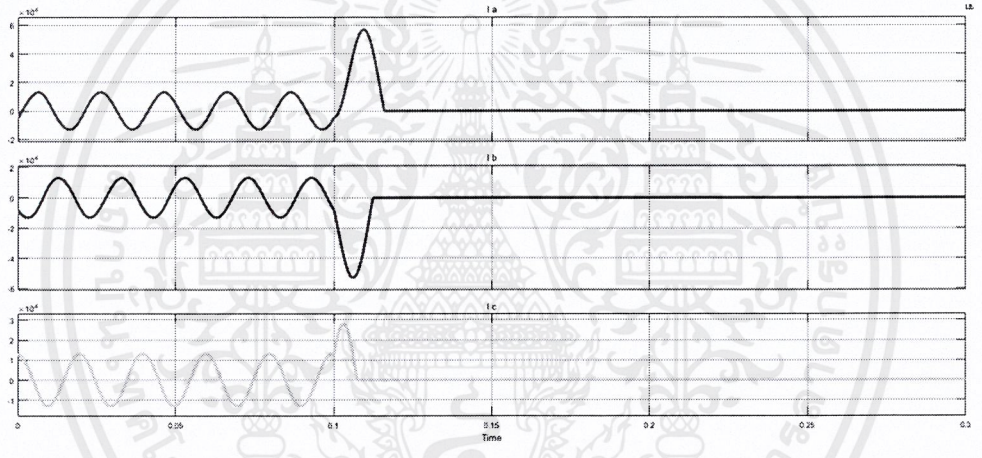


รูปที่ 4.18 พารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดความผิดพร่อง 3 เฟส

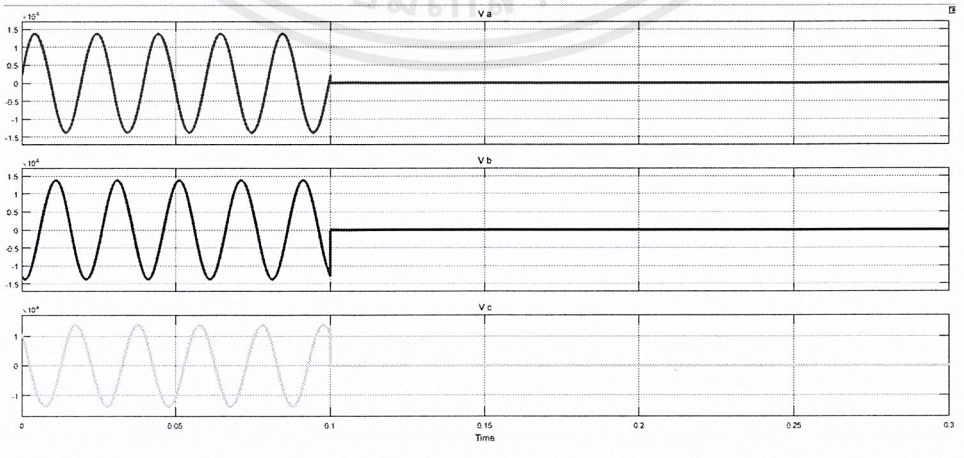
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 รีเลย์กระแสเกินสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรหลังจากเกิดความผิดพร่อง ที่เวลา 0.1 sec



รูปที่ 4.20 รูปคลื่นกระแสก่อนและหลังการเกิด 3 Phase Fault ที่เวลา 0.1 sec



รูปที่ 4.21 รูปคลื่นแรงดันก่อนและหลังการเกิด 3 Phase Fault ที่เวลา 0.1 sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความจริง S-R Flip Flop ที่ใช้ในการจำลองในรูป 4.15

S	R	Q_n	$!Q_n$
0	0	Q_{n-1}	$!Q_{n-1}$
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0

สรุปผลการทดลอง

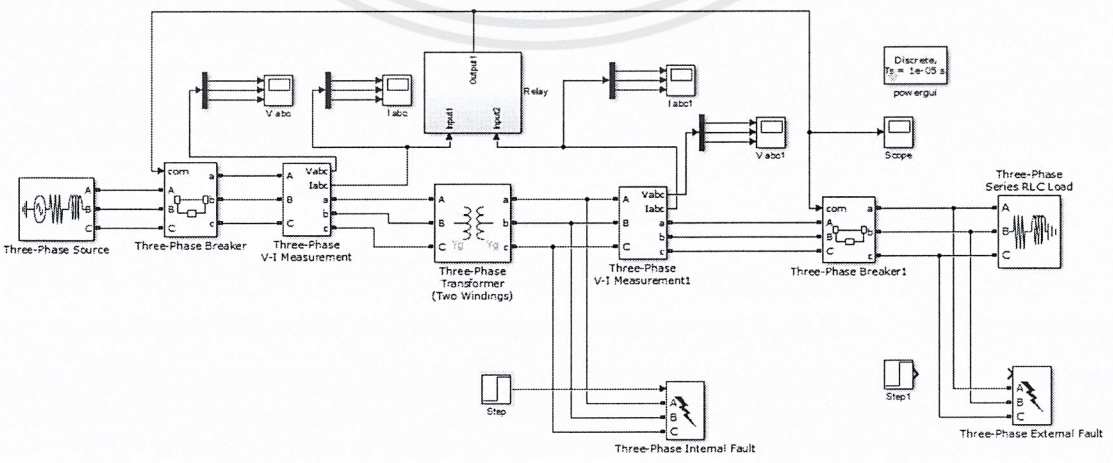
3 Phase Fault ซึ่งมี Fault Resistance 1 mΩ ถูกสร้างขึ้นที่เวลา 0.1 s หลังจากนั้นรีเลย์จะนำกระแสไปทำการเปรียบเทียบว่าเป็นกระแสปกติหรือไม่ (เทียบกับ 30 kA) ถ้าเยอะกว่าตัวเปรียบเทียบจะถือว่าเป็นความผิดปกติจะส่งค่า Logic ไปเปรียบเทียบกับ S-R Flip Flop และ And (Logic) ต่อไปเพื่อประมวลผลส่งสัญญาณให้แก่เซอกิตเบรกเกอร์

ในสภาวะปกติ(I < 30 kA) สัญญาณ Logic ของรีเลย์จะเป็น 1 แต่เมื่อมีความผิดปกติ (I > 30 kA) สัญญาณ Logic ของรีเลย์จะเป็น 0 เพื่อไปสั่ง Trip เซอร์กิตเบรกเกอร์

เวลารีเลย์ประมวลผล : 0.1 – 0.104957 s , เวลาในการกำจัด Fault : 0.1 - 0.115836 s

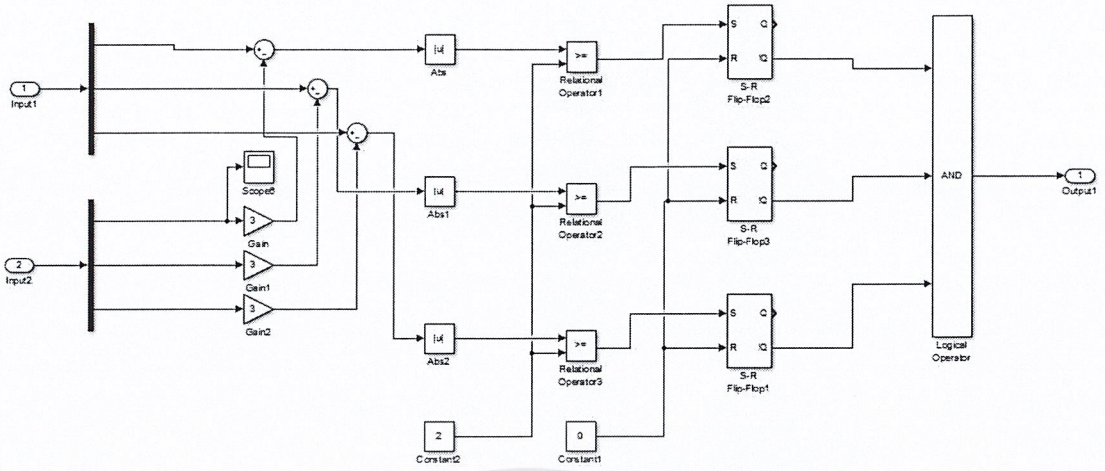
4.1.4 จำลองการทำงานของรีเลย์แบบผลต่างร่วมกับเซอร์กิตเบรคเกอร์

การจำลองการทำงานร่วมกันระหว่างรีเลย์แบบผลต่างกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งเป็นรีเลย์ที่นิยมใช้ป้องกันหม้อแปลงตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่

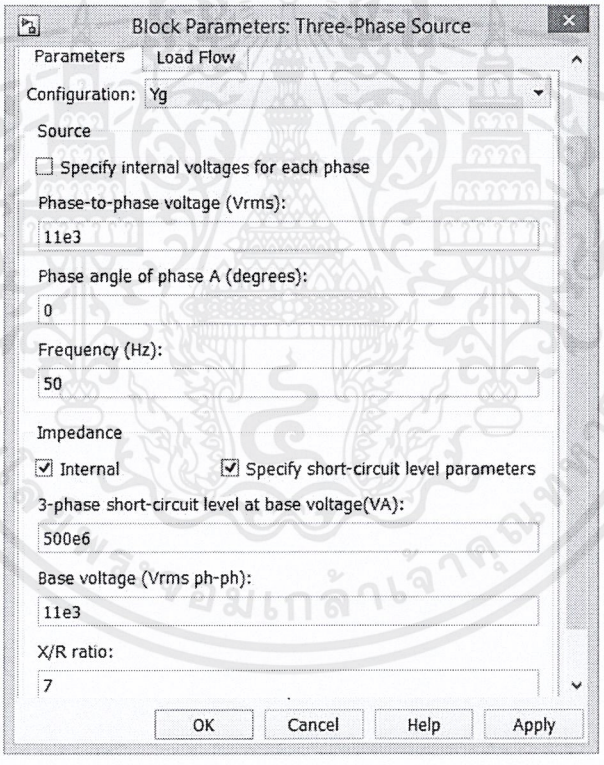


รูปที่ 4.22 แบบจำลองการทำงานของรีเลย์ผลต่างร่วมเซอร์กิตเบรกเกอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

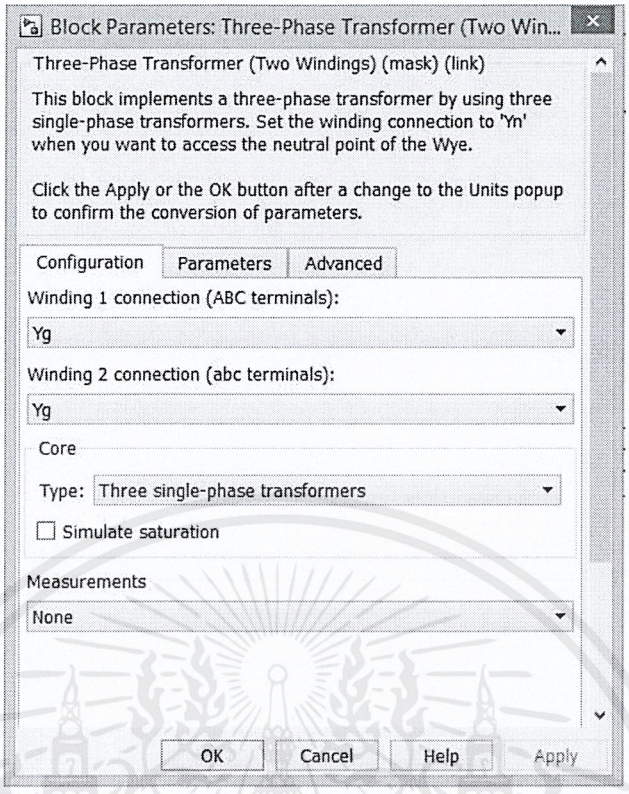


รูปที่ 4.23 วงจรดิจิตอลภายในรีเลย์ผลต่าง ประกอบด้วย Comparison Logic S-R Flip-Flop และ And Logic

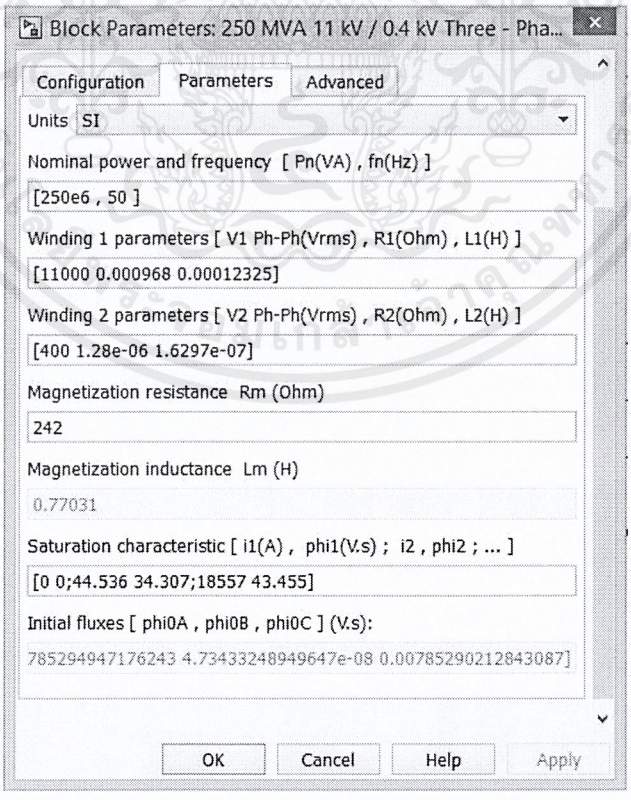


รูปที่ 4.24 พารามิเตอร์ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า 3 เฟส 500 MVA 11 kV 50 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

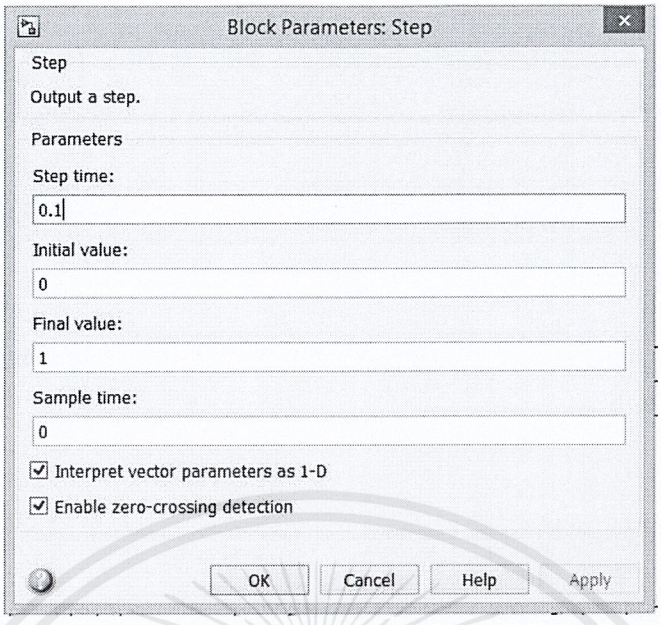


รูปที่ 4.25 พารามิเตอร์การตั้งค่าหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส (Y-Y) 250 MVA, 11/0.4 kV

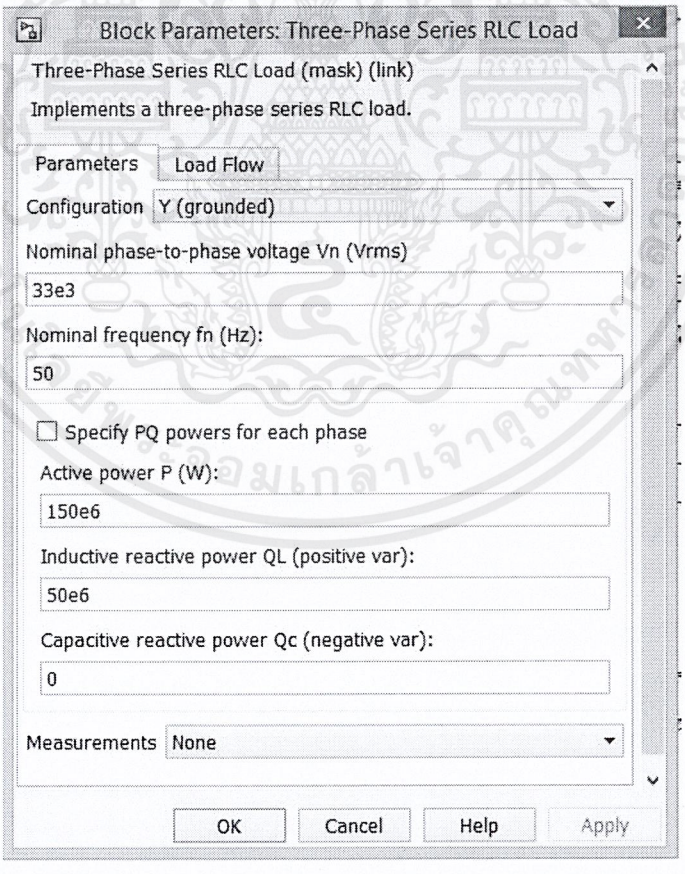


รูปที่ 4.26 พารามิเตอร์ของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส 250 MVA, 11/0.4 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 พารามิเตอร์ของการสร้างความผิดพร่อง

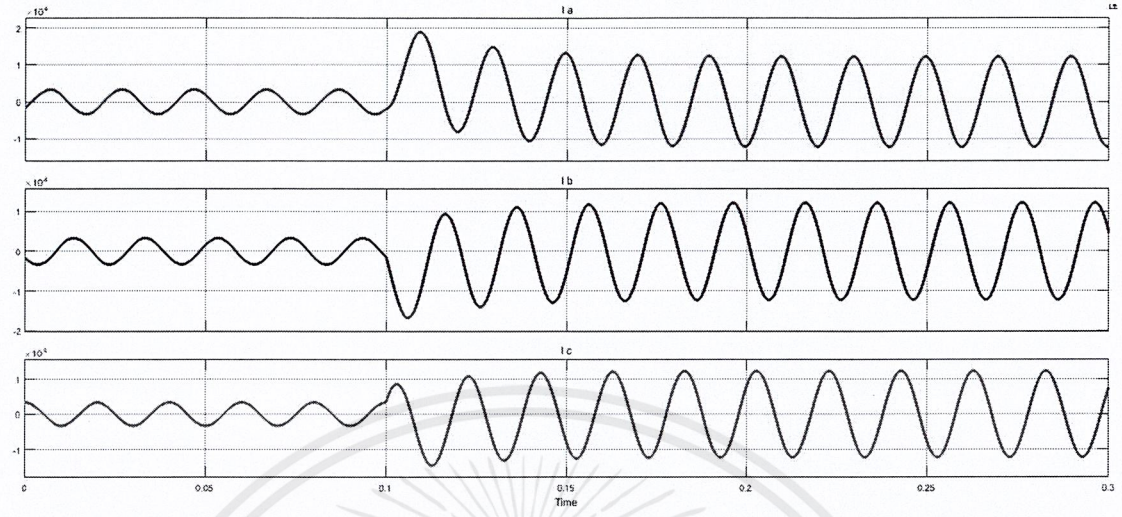


รูปที่ 4.28 พารามิเตอร์ของภาระทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

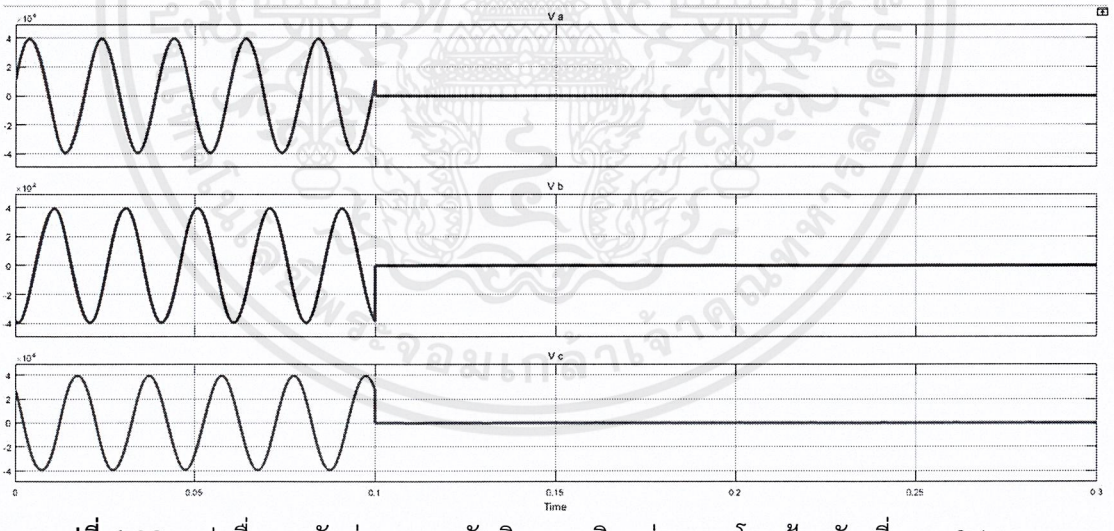
ผลการทดลอง

กรณีเกิดความผิดปกตินอกโซนป้องกัน



รูปที่ 4.29 รูปคลื่นกระแสก่อนและหลังเกิดความผิดพร่องนอกโซนป้องกัน ที่เวลา 0.1 sec

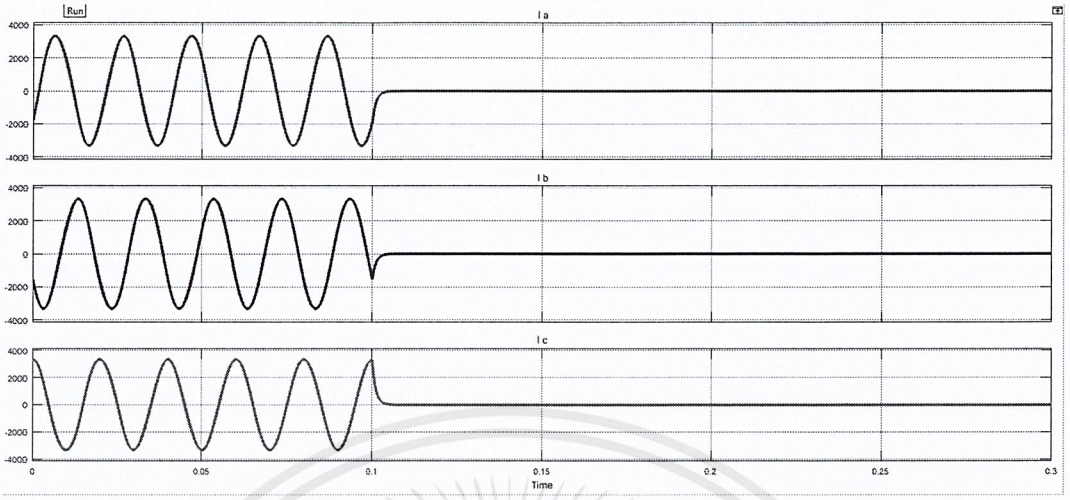
3 Phase Fault เกิดขึ้นนอกโซนป้องกันมีกระแสประมาณ 20 kA ซึ่งกระแสปกติประมาณ 4 kA ซึ่งรีเลย์ผลต่างไม่ควรสั่งงานเซอกิตเบรกเกอร์ทำงานเพราะอยู่นอกโซนการป้องกัน



รูปที่ 4.30 รูปคลื่นแรงดันก่อนและหลังเกิดความผิดพร่องนอกโซนป้องกัน ที่เวลา 0.1 sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

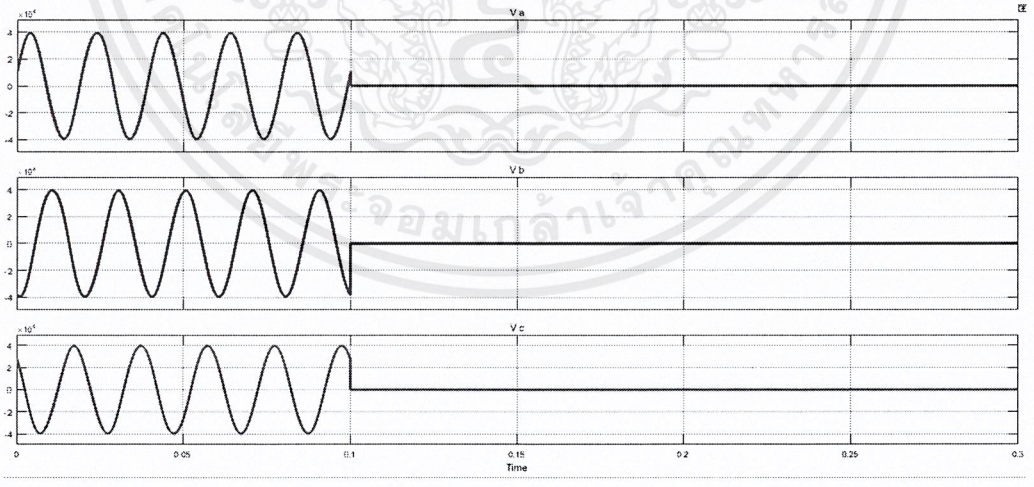
กรณีเกิดความผิดปกติภายในโซนป้องกัน



รูปที่ 4.31 รูปคลื่นกระแสก่อนและหลังเกิดความผิดพร่องในโซนป้องกัน ที่เวลา 0.1 sec

เมื่อรีเลย์ตรวจจับว่ากระแสเข้าและออกมีค่าไม่เท่ากันแล้วรีเลย์จะนำกระแสผลต่างมาเข้า S-R Flip Flop และ And Logic เพื่อนำสัญญาณส่งต่อไปให้เซอกิตเกอร์ทำงานต่อไป

จากรูปกราฟจะ Fault เกิดขึ้นภายในโซนป้องกันจึงทำให้รีเลย์สั่งเซอกิตเบรกเกอร์ทำงานทำให้กระแส Fault ลดลงจนเป็นศูนย์



รูปที่ 4.32 รูปคลื่นแรงดันก่อนและหลังเกิดความผิดพร่องในโซนป้องกัน ที่เวลา 0.1 sec

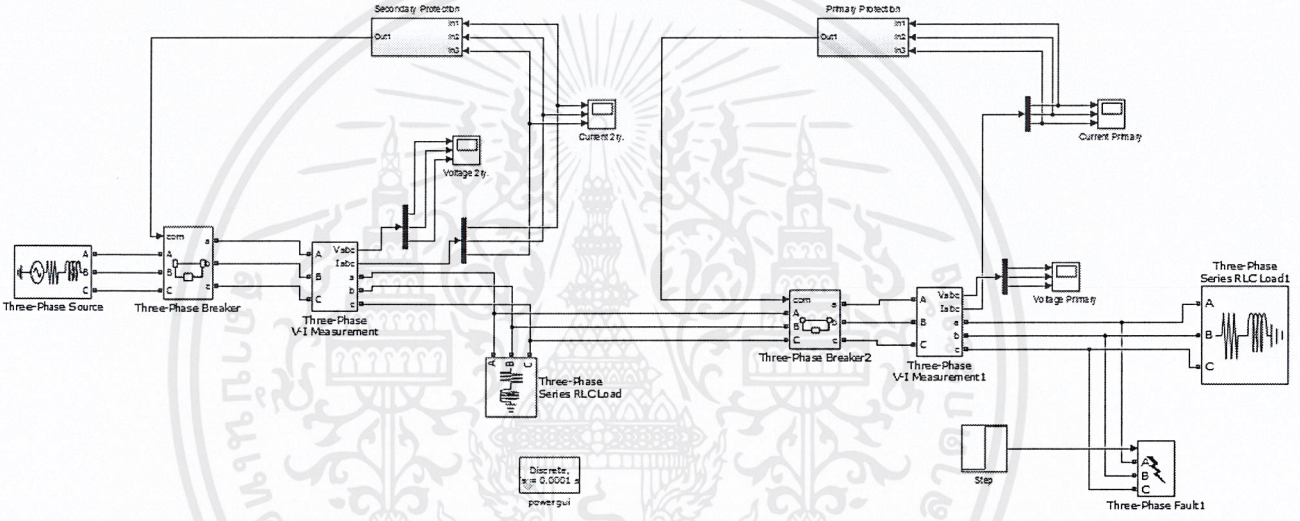
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

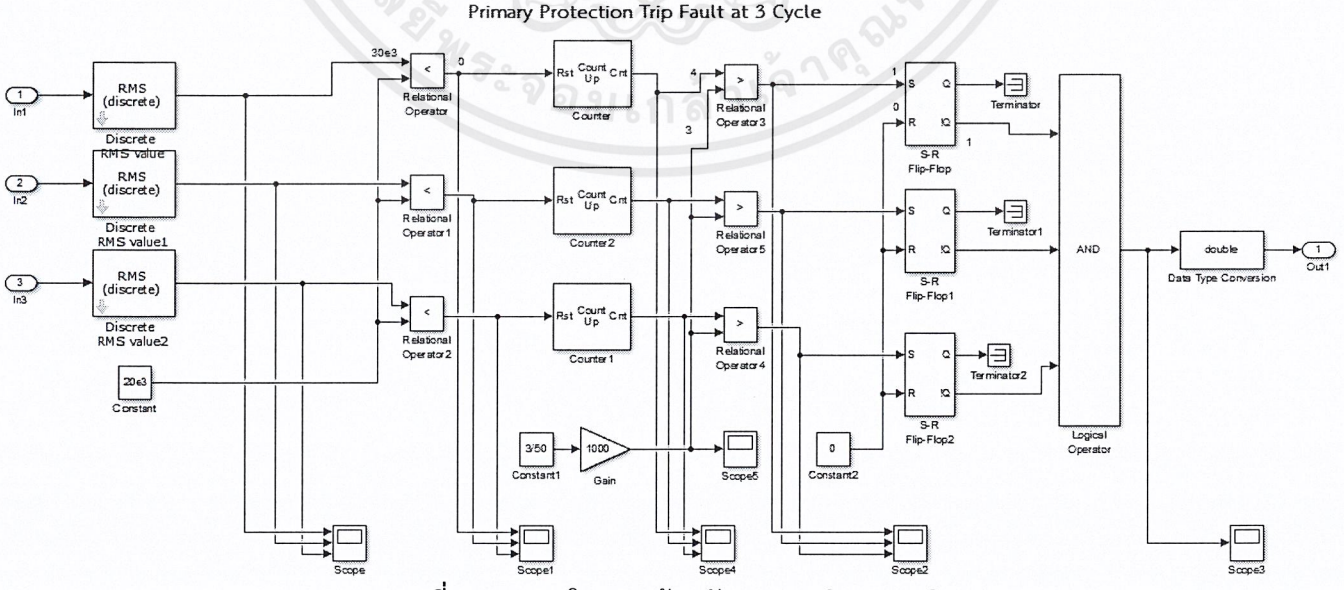
รีเลย์กระแสผลต่างนั้นจะวัดกระแสขาเข้าและขาออกว่าเท่ากันหรือไม่ ถ้าผลต่างของกระแสเป็น 0 A แสดงว่าไม่พบความผิดปกติภายในโซนป้องกันไม่ต้องสั่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงาน แต่เมื่อใดก็ตามกระแสขาเข้าและขาออกมีค่าไม่เท่ากับ 0 A แสดงว่าเกิดความผิดปกติภายในโซนการป้องกันควรสั่งให้เซอกิตเบรคเกอร์ทำงานทันที ดังที่แสดงไว้ในผลการทดลอง

4.1.5 การจำลองการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ

การทดลองนี้เป็นการจำลองการทำงานร่วมกันระหว่างรีเลย์กระแสเกินปฐมภูมิ และรีเลย์กระแสเกินทุติยภูมิ ซึ่งผู้ทดลองได้สร้างความผิดพร่องขึ้นที่โหลดทางฝั่งปฐมภูมิ

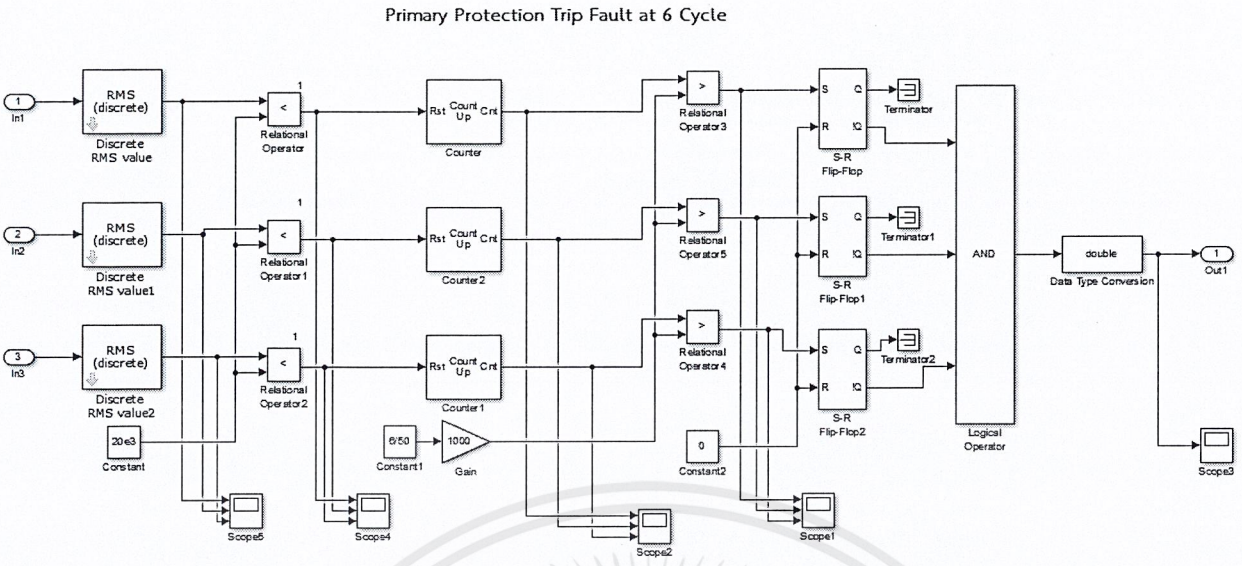


รูปที่ 4.33 วงจรตัดวงจรแบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ

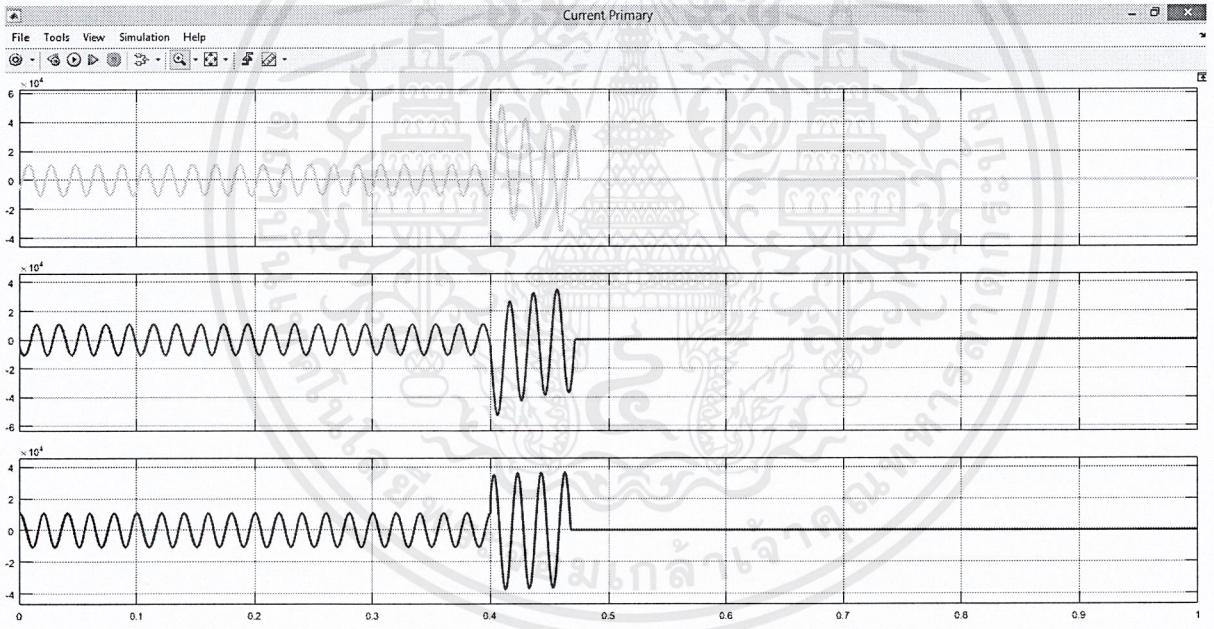


รูปที่ 4.34 ภายในวงจรป้องกันกระแสเกินปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



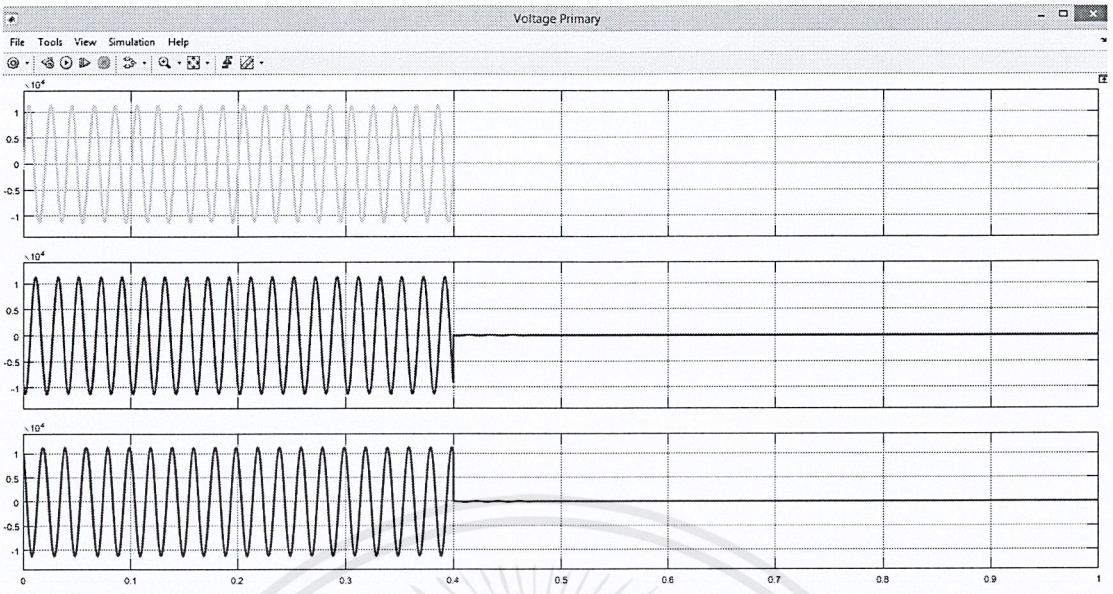
รูปที่ 4.35 ภายในวงจรป้องกันกระแสเกินทุติยภูมิ



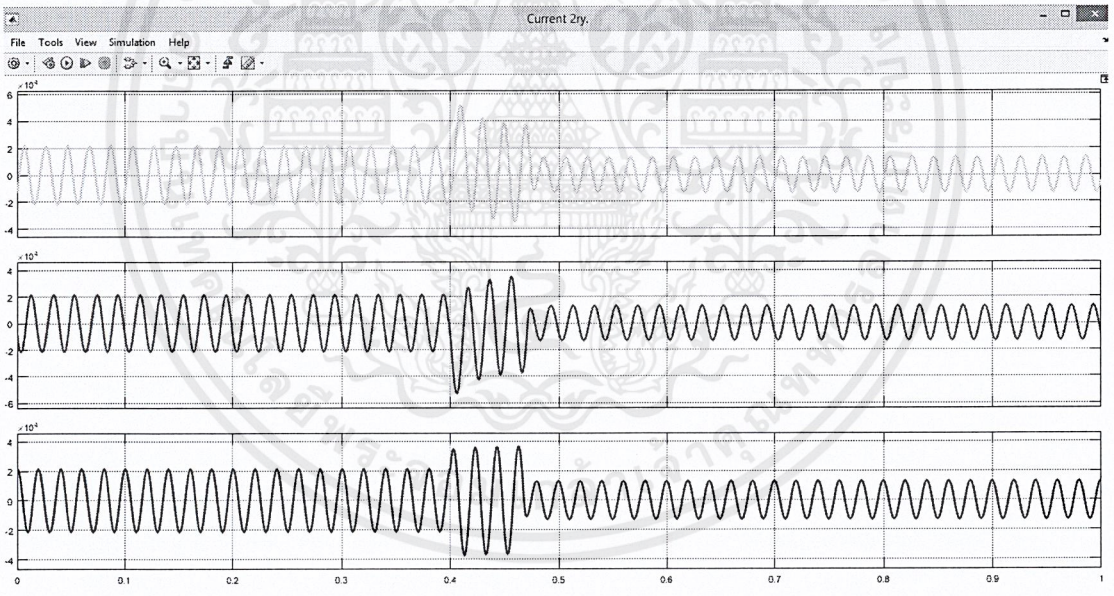
รูปที่ 4.36 คลื่นกระแส 3 เฟสทางด้านป้องกันปฐมภูมิก่อนและหลังเกิดความผิดพร่อง

กระแส 3 เฟสใกล้บริเวณเกิดความผิดพร่องขึ้น ซึ่งหลังจากเกิดความผิดพร่องที่เวลา 0.4 วินาที ได้ตัดวงจรส่วนผิดพร่องออกจากระบบที่เวลาประมาณ 0.4746 วินาที ซึ่งจะตัดวงจรเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



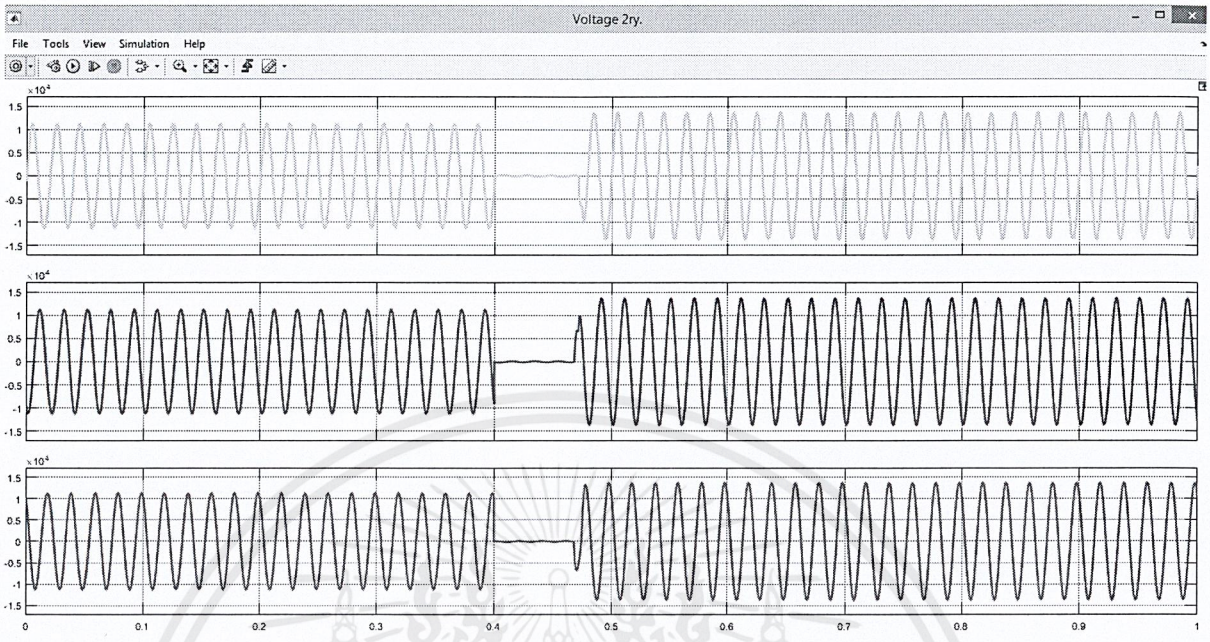
รูปที่ 4.37 คลื่นแรงดัน 3 เฟสทางด้านป้องกันปฐมภูมิก่อนและหลังเกิดความผิดพร่อง



รูปที่ 4.38 คลื่นกระแส 3 เฟสทางด้านป้องกันทุติยภูมิก่อนและหลังเกิดความผิดพร่อง

กระแส 3 เฟส ของส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับความผิดพร่อง (การป้องกันทุติยภูมิ) ซึ่งจะพบว่าขณะเกิดความผิดพร่องขึ้นที่เวลา 0.4 วินาทีนั้น กระแสมีการกระเพื่อมสูงขึ้นกว่าปกติ แต่หลังจากการทำงานของระบบป้องกันปฐมภูมิแล้วนั้น กระแสจะกลับมาสู่สภาวะปกติโดยเร็ว ประมาณ 0.05 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 คลื่นแรงดัน 3 เฟสทางด้านป้องกันทุติยภูมิก่อนและหลังเกิดความผิดพร่อง

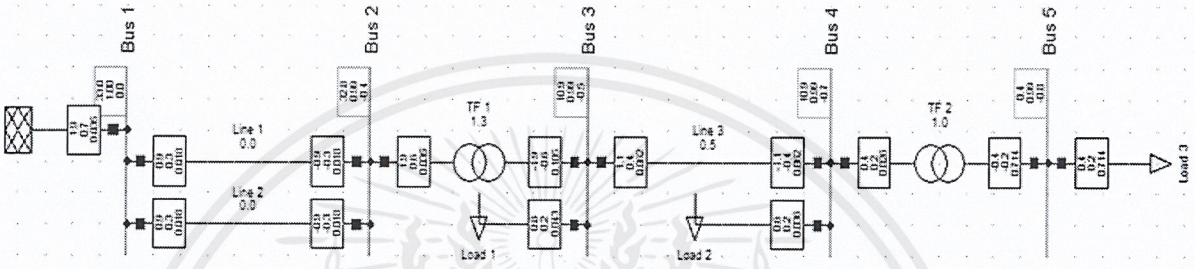
แรงดัน 3 เฟส ของส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับความผิดพร่อง (การป้องกันทุติยภูมิ) จะพบว่าขณะเกิดความผิดพร่องแรงดันจะตกเกือบ 0 และหลังจากระบบป้องกันด้านปฐมภูมิตัดความผิดพร่องออกไปแล้วแรงดันจะคืนสู่ปกติทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การจำลอง Simution ในโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory

4.2.1 การศึกษา Time Over Current Relay Fault Analysis และ Time Over Current Protection Setting For The Bus Power System Network Using SEL751A Relay Model

เป้าหมาย : เพื่อจัดเตรียมรีเลย์ชนิด Time Over Current สำหรับป้องกันระบบส่งจ่ายไฟฟ้า 5 บัส ดังรูป โดยใช้โปรแกรม DIgsilent และใช้รีเลย์ชนิดรุ่น SEL751A



รูปที่ 4.40 ไดอะแกรมของวงจรทดลอง

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลบัส

จำนวน	แรงดันไฟฟ้า (kV)	ชนิดของระบบ	ลำดับเฟส
บัส 1	33 kV	AC	ABC
บัส 2	33 kV	AC	ABC
บัส 3	11 kV	AC	ABC
บัส 4	11 kV	AC	ABC
บัส 5	11 kV	AC	

ตารางที่ 4.3 ข้อมูล External grid

รายการ	แรงดันไฟฟ้า (kV)	ชนิดของบัส	กำลังไฟฟ้า (MW)	ระดับแรงดัน (p.u.)
ระบบกริด	33 kV	PV	2	1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ข้อมูล Transformer

รายการ	แรงดันไฟฟ้า (kV)	แรงดันลัดวงจร	ความสูญเสียในลวดทองแดง	ระดับแรงดัน (p.u.)
หม้อแปลงไฟฟ้า	33 kV (HV)	10 %	10.5 kW	1.0

ตารางที่ 4.5 ข้อมูล Transmission line

รายการ	แรงดันไฟฟ้า (kV)	ระดับกระแสไฟฟ้า	ความยาวสายไฟ	ชนิด	ความต้านทาน	รีแอคแตนซ์
สาย 1	33 kV	42.41 kA	10.12 km	เคเบิล	0.3454Ω/km	0.9234 Ω/km
สาย 2	33 kV	42.41 kA	10.12 km	เคเบิล	0.3454Ω/km	0.9234 Ω/km
สาย 3	11 kV	12.34 kA	2.67 km	เคเบิล	0.1204Ω/km	0.2304 Ω/km

ตารางที่ 4.6 ข้อมูล Load

รายการ	ระดับแรงดัน (p.u.)	ความต้านทาน (Ω)	ตัวประกอบกำลัง	กำลังไฟฟ้า (MW)
โหลด 1	0.9534	0.1	0.96	0.78
โหลด 2	0.9565	0.1	0.95	0.65
โหลด 3	0.9123	0.1	0.92	0.45

ตารางที่ 4.7 ข้อมูล Current Transformer

รีเลย์	1	หม้อแปลงไฟฟ้า	Schweizer	SEL 751-1A	หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า	Ct	200A/1A
					หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า	CoreCt	200A/1A

หมายเลขของเฟส : 3 ABC

ด้านทุติยภูมิต่อแบบสตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 : Over Current setting on SEL751A Relay Model(Phase Element)

อุปกรณ์	เชื่อมสาย	ผู้ผลิต	รหัส	ชนิด	กระแสด้านปฐมภูมิ	กระแสด้านทุติยภูมิ	กระแสในหน่วย (p.u.)	เวลา	ลักษณะ class ของงาน	ทิศทาง
รีเลย์	หม้อแปลงไฟฟ้า	Schwizer	SEL 751 -1A	51P1	640	3.20	3.20	0.1	Cl-IEC Class A	ไม่มี
				50P1	2000	10.00	10.00	0.01	ชัดเจน	ไม่มี

ตารางที่ 4.9 : Over Current setting on SEL751A Relay Model (Ground Element)

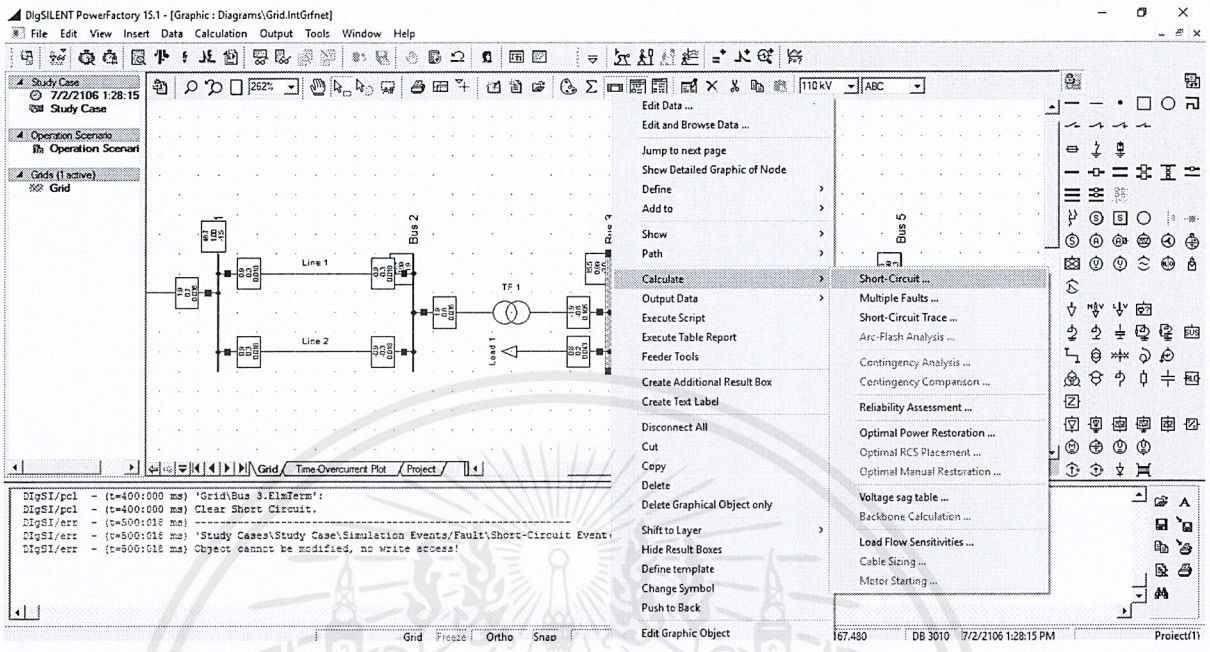
อุปกรณ์	เชื่อมสาย	ผู้ผลิต	รหัส	ชนิด	กระแสด้านปฐมภูมิ	กระแสด้านทุติยภูมิ	กระแสในหน่วย (p.u.)	เวลา	ลักษณะ class ของงาน	ทิศทาง
รีเลย์	หม้อแปลงไฟฟ้า	Schwizer	SEL751-1A	51G1	200	1.0	1.0	0.10	Cl-IEC Class A	ไม่มี
				50G1	1000	5.00	5.00	0.10	ชัดเจน	ไม่มี

ใช้ในระบบป้องกันสายส่ง บัส3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

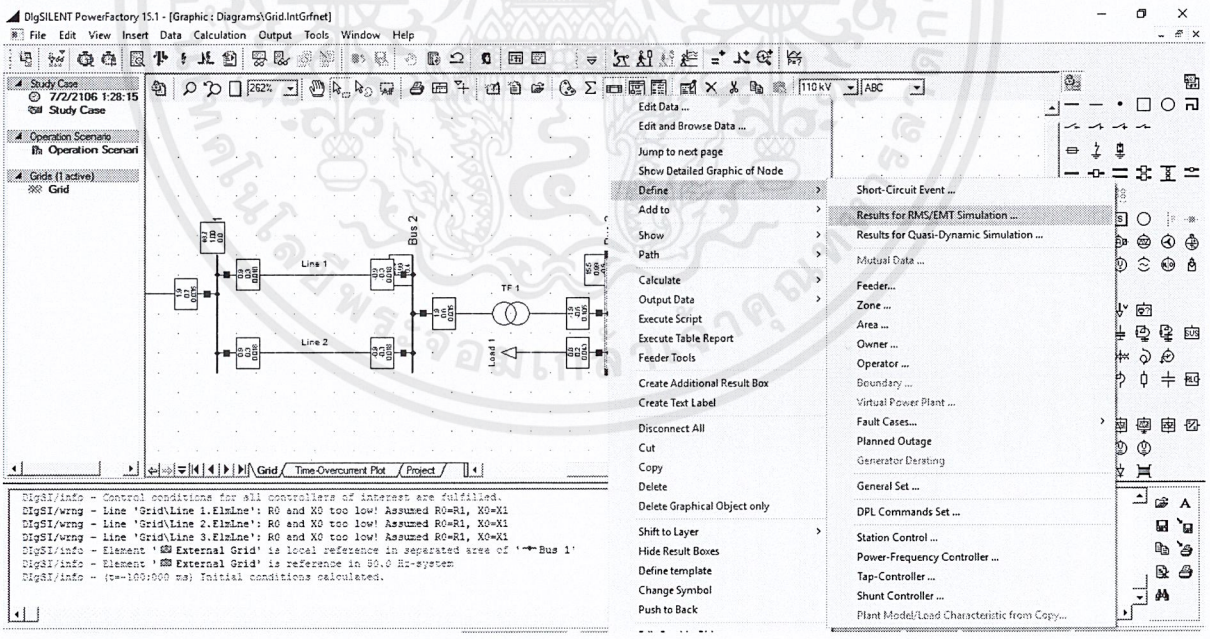
ขั้นตอนการทดลอง

1.ทำการกำหนดค่าการ short circuit ที่ Bus3



รูปที่ 4.41 การกำหนดค่า short circuit ของ Bus3(1)

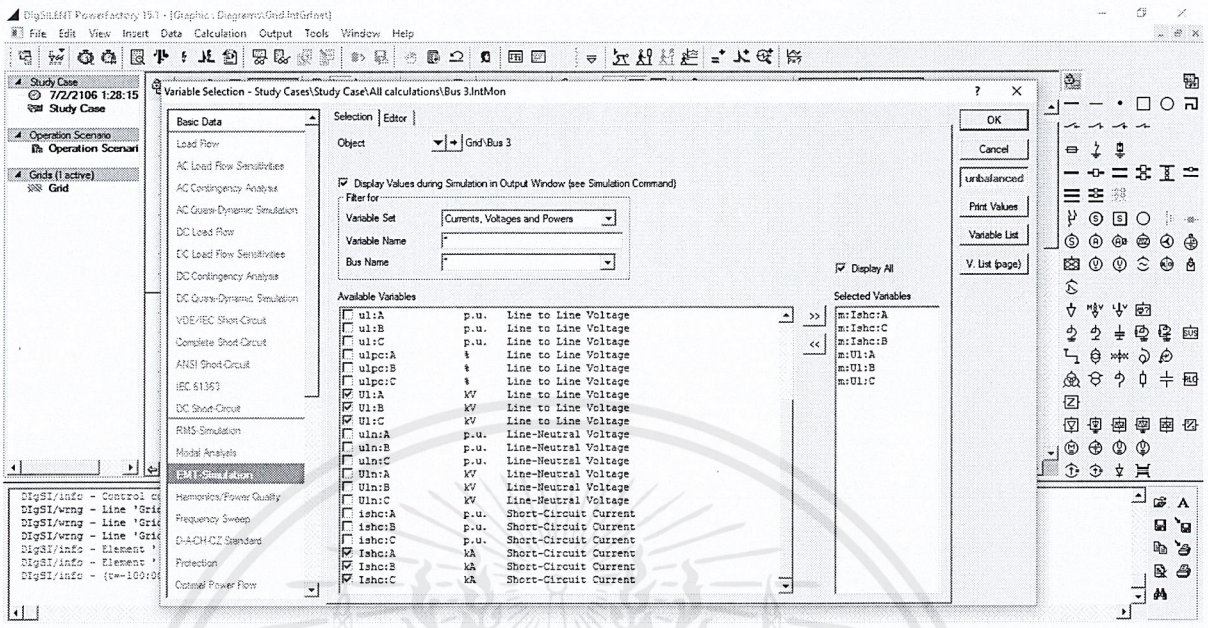
2.ทำการกำหนดรายละเอียดของ short circuit



รูปที่ 4.42 การกำหนดค่า short circuit ของ Bus3(2)

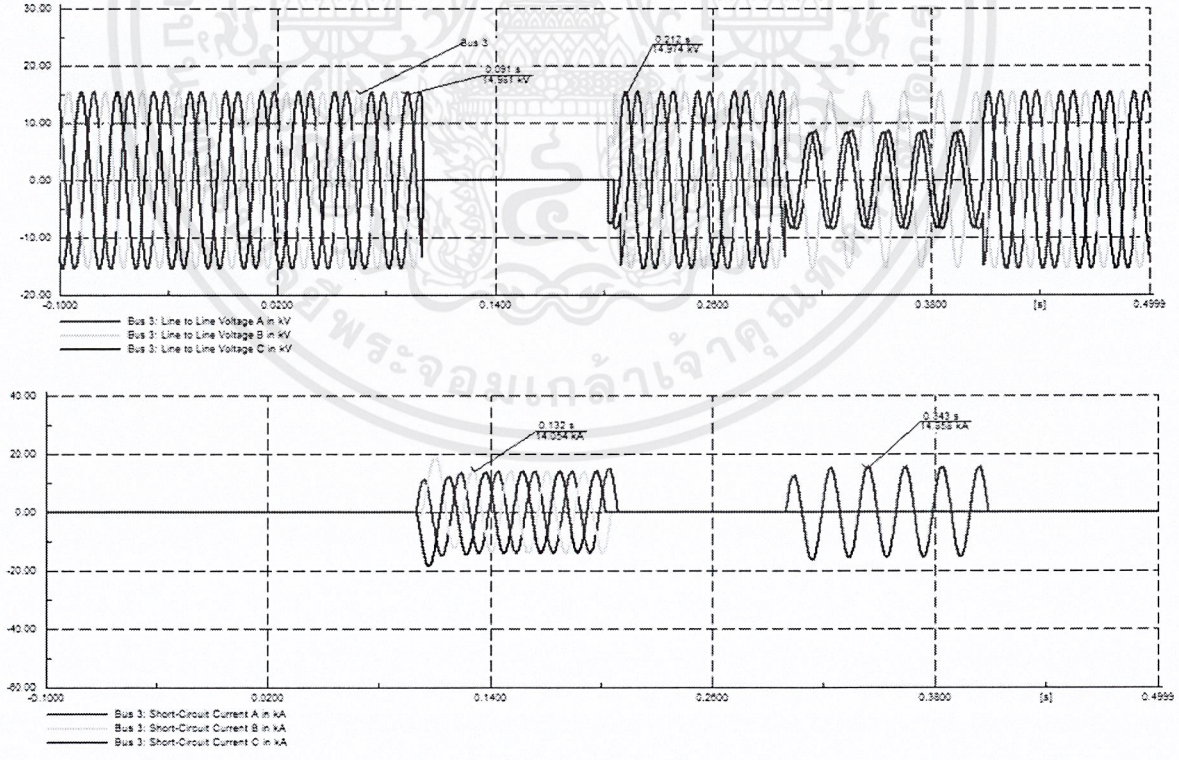
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.เลือกค่าที่เราต้องการสังเกตจากตารางที่มีให้



รูปที่ 4.43 การกำหนดค่าที่ต้องการให้แสดง

4.กดทำการแสดงกราฟ short circuit จะได้กราฟ



รูปที่ 4.44 กราฟ short circuit ที่ Bus3 (รูปขยาย)

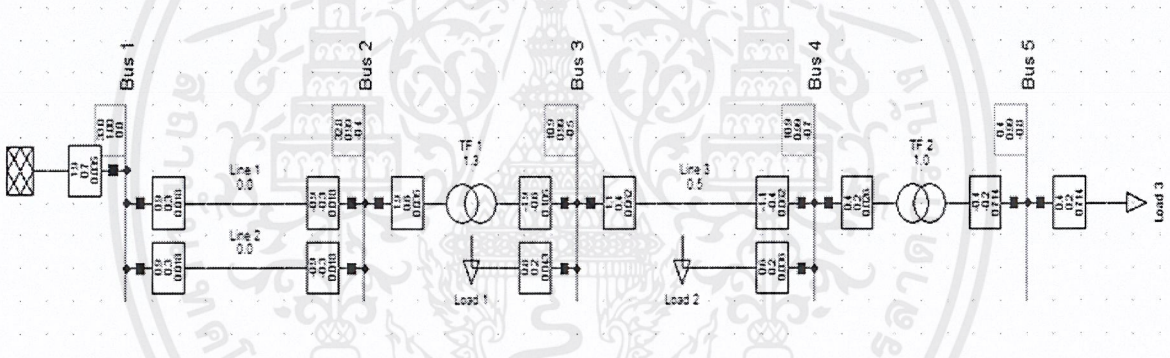
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากกราฟที่ได้ ในข้อ (4) แสดงให้เห็นถึงการจำลอง Trip วงจรเพื่อตัดวงจรออกจากระบบไฟฟ้า เมื่อเกิดความผิดพร่องทางไฟฟ้า โดยกำหนดค่าจากข้อ (3) พบว่าวงจรโปรแกรมทำงานได้อย่างปกติตามการตั้งค่า จะเห็นได้จากกราฟ ระบบจะกลับไปเป็นปกติเกือบจะทันที ตามความเร็วของ Relay ที่ตั้งค่าไว้

ซึ่งการจำลองโดยโปรแกรมแบบนี้ จะทำให้เราทราบถึงการจำลองการทำงานของ Relay กับระบบไฟฟ้าว่าจะสามารถตัดวงจรได้เร็วแค่ไหน ยอมรับได้หรือไม่ ซึ่งมีประโยชน์ในการออกแบบ Relay ในระบบไฟฟ้าจริง

4.2.2 การศึกษา Time Over Current Relay จากโปรแกรม DigSILENT



รูปที่ 4.45 ไดอะแกรมของวงจรทดลอง

ตารางที่ 4.10 ข้อมูลบัส

จำนวน	แรงดันไฟฟ้า (kV)	ชนิดของระบบ	ลำดับเฟส
บัส 1	33 kV	AC	ABC
บัส 2	33 kV	AC	ABC
บัส 3	11 kV	AC	ABC
บัส 4	11 kV	AC	ABC
บัส 5	11 kV	AC	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ข้อมูล External grid

รายการ	แรงดันไฟฟ้า (kV)	ชนิดของบัส	กำลังไฟฟ้า (MW)	ระดับแรงดัน (p.u.)
ระบบกริด	33 kV	PV	2	1.0

ตารางที่ 4.12 ข้อมูล Transformer

รายการ	แรงดันไฟฟ้า (kV)	แรงดันลัดวงจร	ความสูญเสียในลวดทองแดง	ระดับกำลังไฟฟ้า (MVA)
หม้อแปลงไฟฟ้า	33 kV (HV)	10 %	10.5 kW	150

ตารางที่ 4.13 ข้อมูล Transmission Line

รายการ	แรงดันไฟฟ้า (kV)	ระดับกระแสไฟฟ้า	ความยาวสายไฟ	ชนิด	ความต้านทาน	รีแอคแตนซ์
สาย 1	33 kV	42.41 kA	10.12 km	เคเบิล	0.3454Ω/km	0.9234 Ω/km
สาย 2	33 kV	42.41 kA	10.12 km	เคเบิล	0.3454Ω/km	0.9234 Ω/km
สาย 3	11 kV	12.34 kA	2.67 km	เคเบิล	0.1204Ω/km	0.2304 Ω/km

ตารางที่ 4.14 ข้อมูล Load

รายการ	ระดับแรงดัน (p.u.)	ความต้านทาน (Ω)	ตัวประกอบกำลัง	กำลังไฟฟ้า (MW)
โหลด 1	0.9534	0.1	0.96	0.78
โหลด 2	0.9565	0.1	0.95	0.65
โหลด 3	0.9123	0.1	0.92	0.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ข้อมูล Current Transformer

รีเลย์	1	หม้อแปลงไฟฟ้า	Schweizer	SEL 751-1A	หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า	CT	200A/1A
					หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า	Core CT	200A/1A

หมายเลขของเฟส : 3 ABC

ด้านทุติยภูมิต่อแบบสตาร์

ตารางที่ 4.16 : Over Current setting on SEL751A Relay Model(Phase Element)

อุปกรณ์	เชื่อมสาย	ผู้ผลิต	รหัส	ชนิด	กระแสด้านปฐมภูมิ	กระแสด้านทุติยภูมิ	กระแสในหน่วย (p.u.)	เวลา	ลักษณะ class ของงาน	ทิศทาง
รีเลย์	หม้อแปลงไฟฟ้า	Schwizer	SEL 751 -1A	51P1	640	3.20	3.20	0.1	Cl-IEC Class A	ไม่มี
				50P1	2000	10.00	10.00	0.01	ชัดเจน	ไม่มี

ตารางที่ 4.17 : Over Current setting on SEL751A Relay Model (Ground Element)

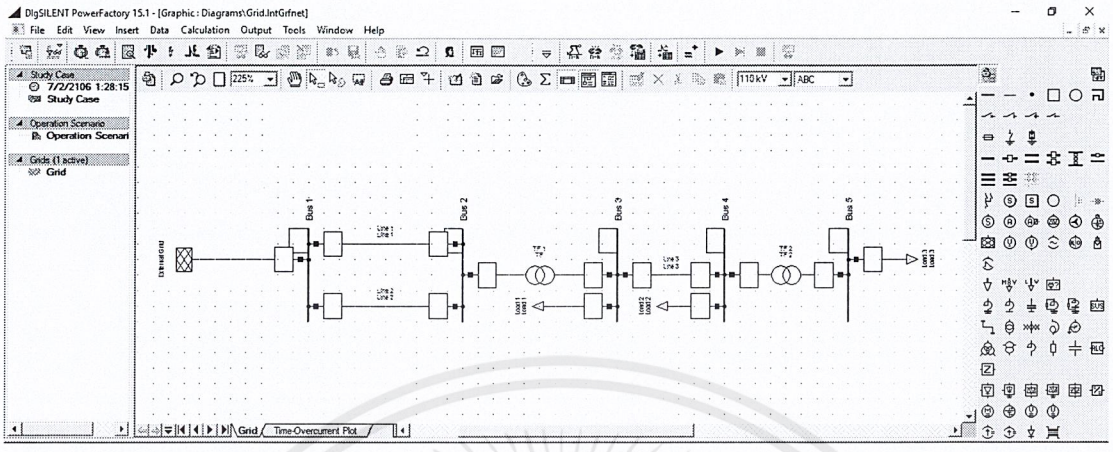
อุปกรณ์	เชื่อมสาย	ผู้ผลิต	รหัส	ชนิด	กระแสด้านปฐมภูมิ	กระแสด้านทุติยภูมิ	กระแสในหน่วย (p.u.)	เวลา	ลักษณะ class ของงาน	ทิศทาง
รีเลย์	หม้อแปลงไฟฟ้า	Schwizer	SEL751-1A	51G1	200	1.0	1.0	0.10	Cl-IEC Class A	ไม่มี
				50G1	1000	5.00	5.00	0.10	ชัดเจน	ไม่มี

ใช้ในระบบป้องกันสายส่ง บัส3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

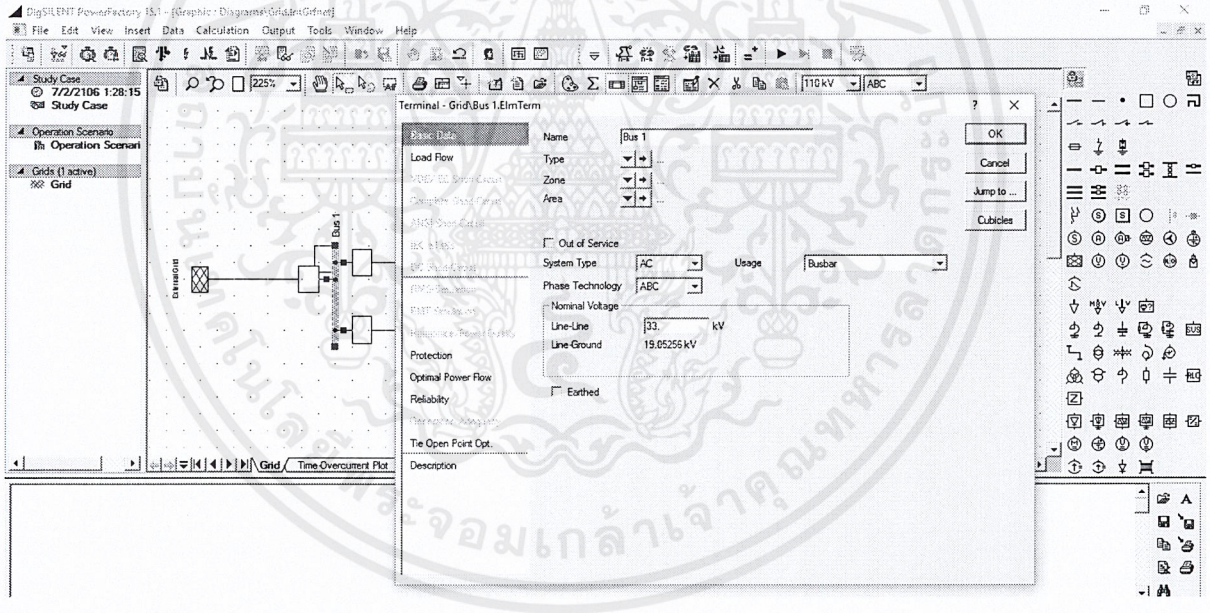
ขั้นตอนการทดลอง

1.ทำการสร้างวงจรในโปรแกรม



รูปที่ 4.46 การสร้างวงจร 5 Bus เพื่อจำลองการทำงานของ relay

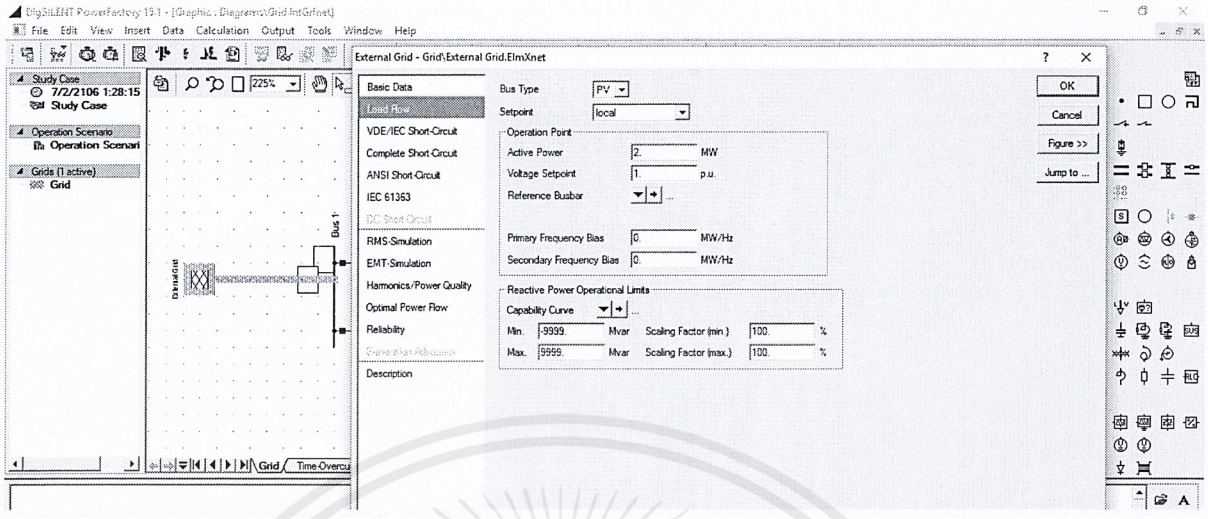
2.ทำการ set ค่าแต่ละ Bus ตามข้อมูลที่กำหนด



รูปที่ 4.47 การกำหนดค่าของแต่ละ Bus

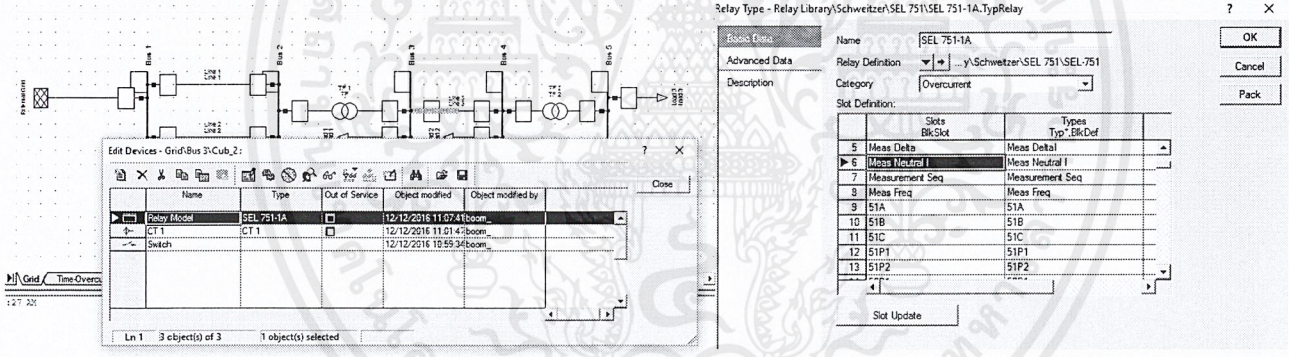
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ทำการ set ค่า External Grid , CT, TR, Line ตามข้อมูลที่กำหนด



รูปที่ 4.48 การกำหนดค่า External Grid , CT, TR, Line

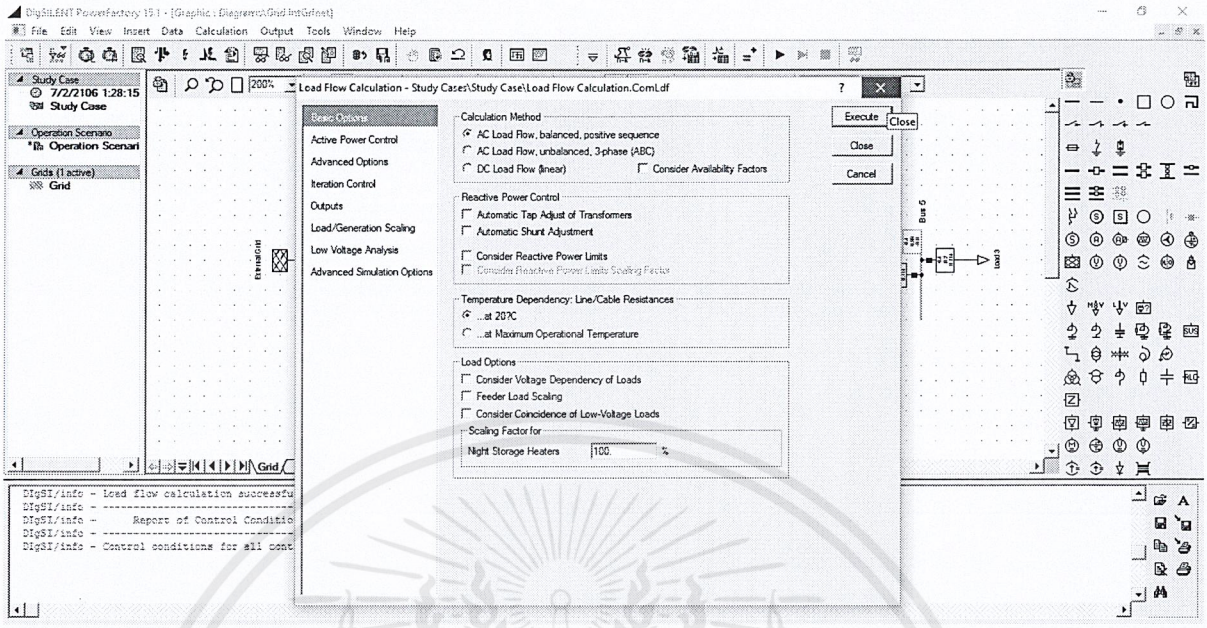
4.ทำการสร้าง Relay และ set ค่าต่างๆของ Relay



รูปที่ 4.49 การสร้างและกำหนดค่าของ Relay

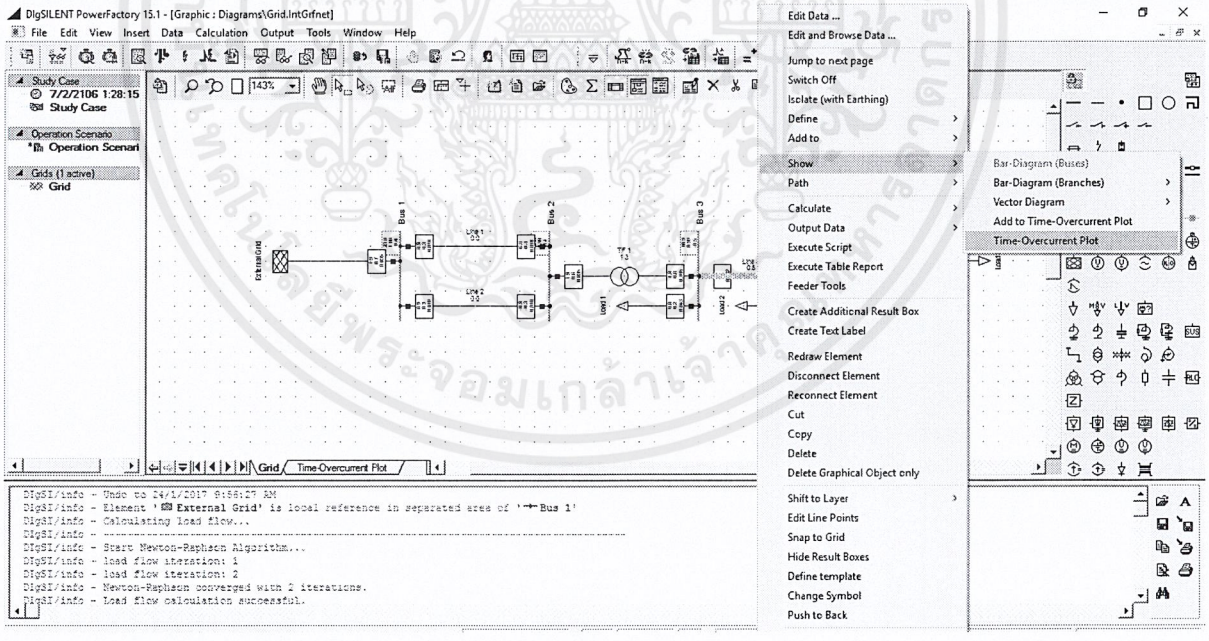
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.กด calculate load flow เพื่อคำนวณค่า load flow



รูปที่ 4.50 การคำนวณค่า load flow ของวงจร

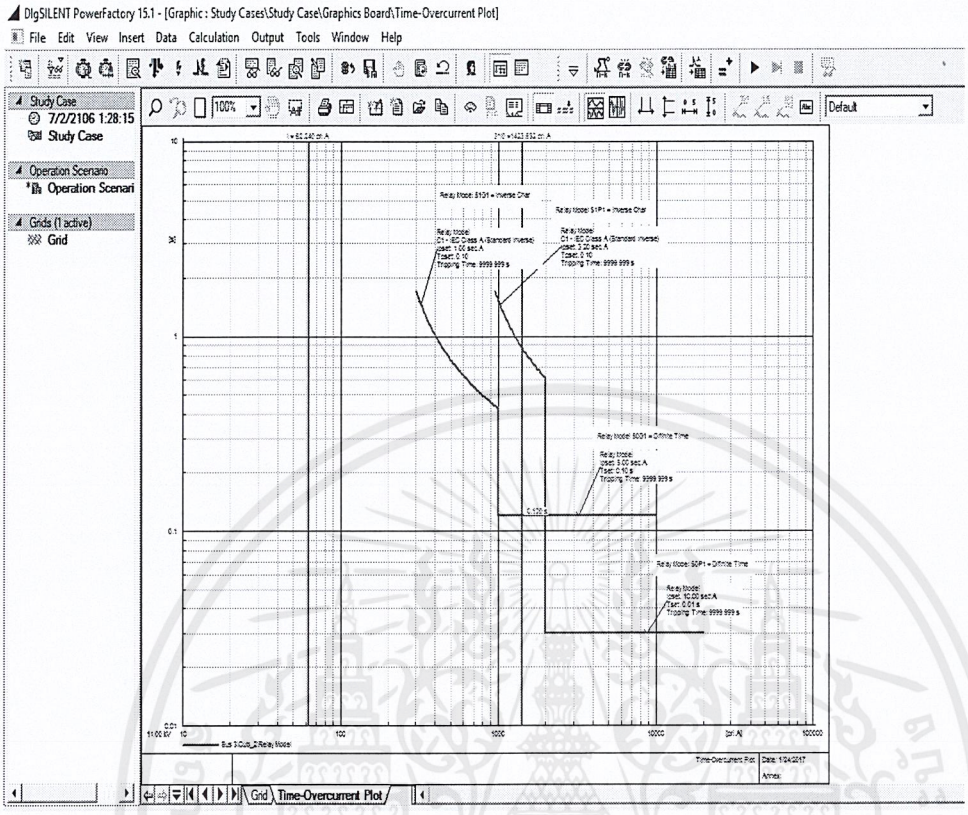
6.กดแสดงกราฟของ Over Current ได้ดังนี้



รูปที่ 4.51 การแสดงค่ากราฟ Over Current Relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.จะได้กราฟ Over Current เป็นดังนี้



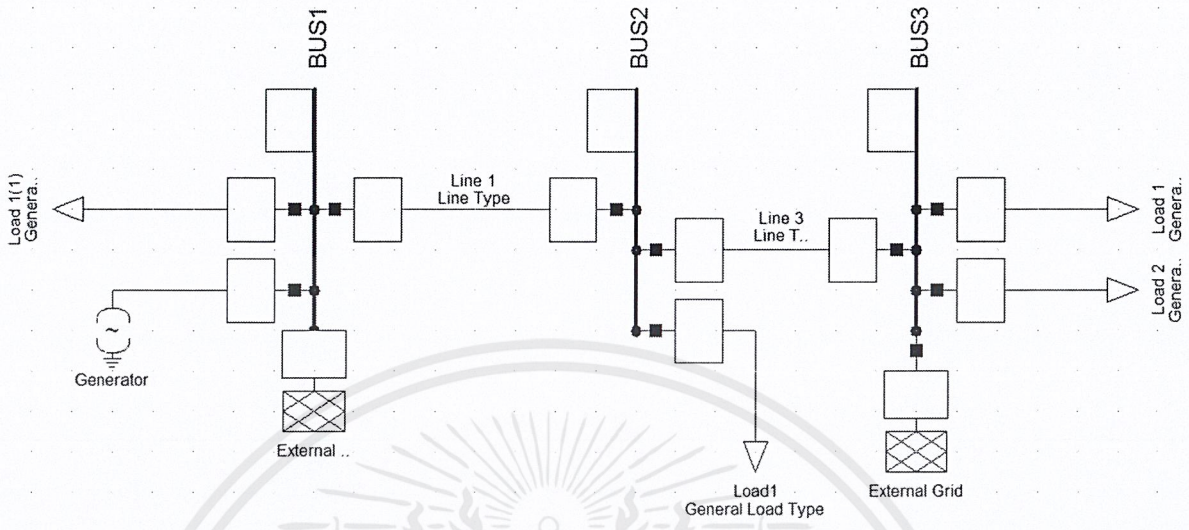
รูปที่ 4.52 กราฟ Over Current relay ที่จำลองได้

วิเคราะห์การทดลอง

กราฟที่แสดงในข้อ (7) แสดงให้เห็นถึงค่าที่ Protection Relay Trip ในระบบ ซึ่งเอาไว้ใช้กับวงจรที่สมมุติขึ้นมาในข้อที่ (1) ตามค่าที่เซ็ตไว้ในตารางข้างต้น ที่การออกแบบในโปรแกรมนี้มีประโยชน์ในการออกแบบในใช้ Protection Relay ในการทำระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

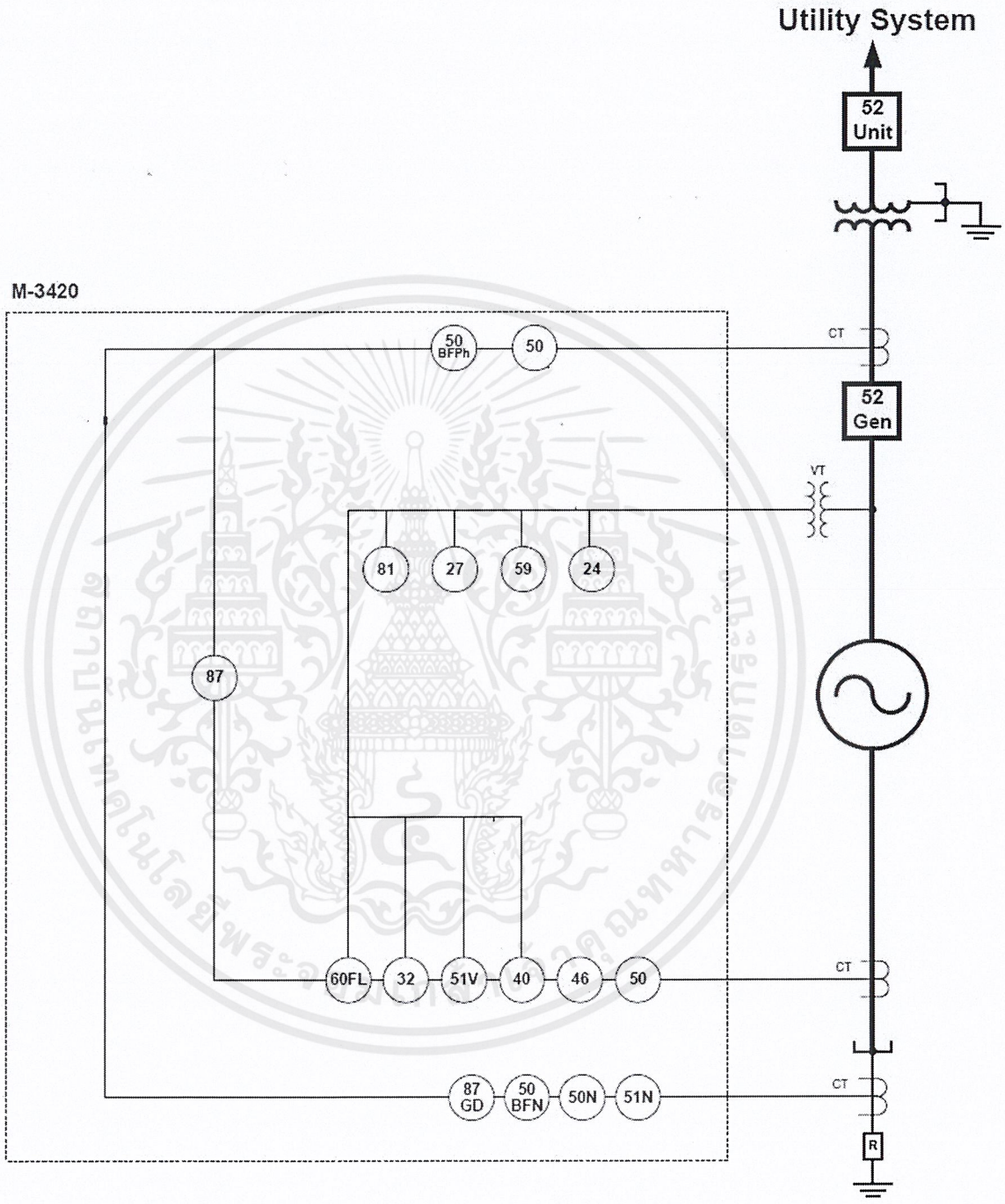
4.2.3 การศึกษาการตั้งค่าและการทำงานของ BECKWITH : Generator Protection M-3420 ด้วยโปรแกรม DIgSILENT



รูปที่ 4.53 วงจร Protection Relay ในโปรแกรม DigSILENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลขการทำงานของ BECKWITH : Generator Protection M-3420 แสดงดังรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.54 หมายเลขการทำงานของ BECKWITH : Generator Protection M-3420

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ฟังก์ชั่นการทำงานประกอบไปด้วย

หมายเลข (24) : Volts/Hz RMS

หมายเลข (27) : RMS Under Voltage

หมายเลข (32) : Directional Power

หมายเลข (40) : Loss of Field (dual-zone offset-mho Characteristic)

หมายเลข (46) : Negative Sequence Over Current

หมายเลข (50) : Instantaneous Over Current

หมายเลข (50BF-Ph) : Breaker Failure Phase Current

หมายเลข (50BFN) : Breaker Failure Neutral Current

หมายเลข (51V) : Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint

หมายเลข (51N) : Inverse Time Over Current, Neutral

หมายเลข (59) : RMS Over Voltage

หมายเลข (60FL) : VT Fuse-Loss Detection

หมายเลข (81) : Frequency

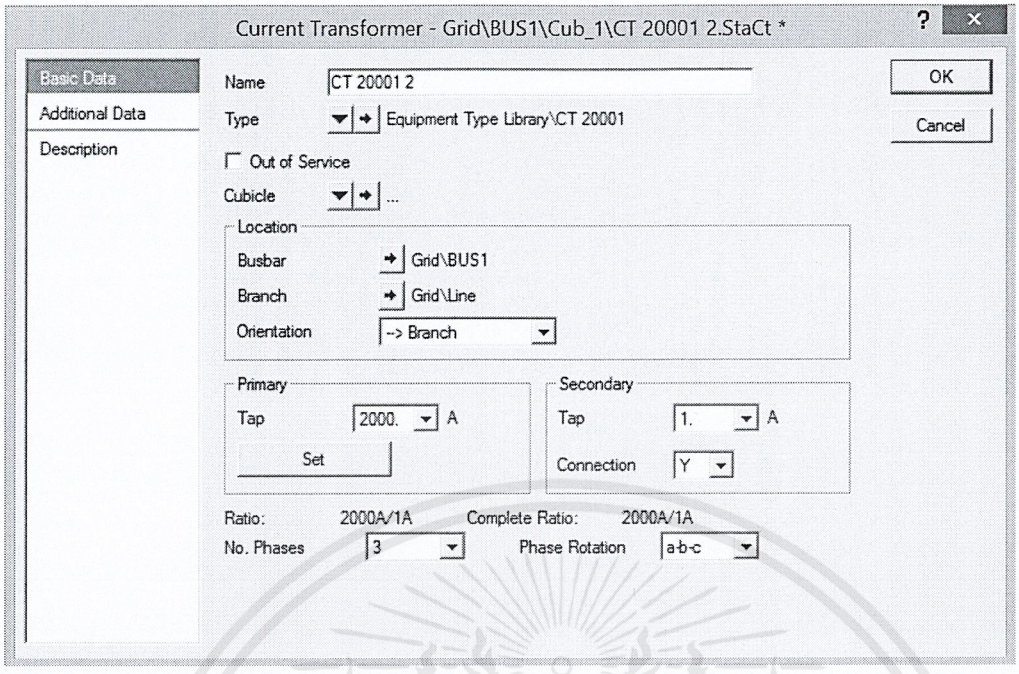
หมายเลข (87) : Phase Differential Current

หมายเลข (87GD) : Ground (Zero Sequence) Differential

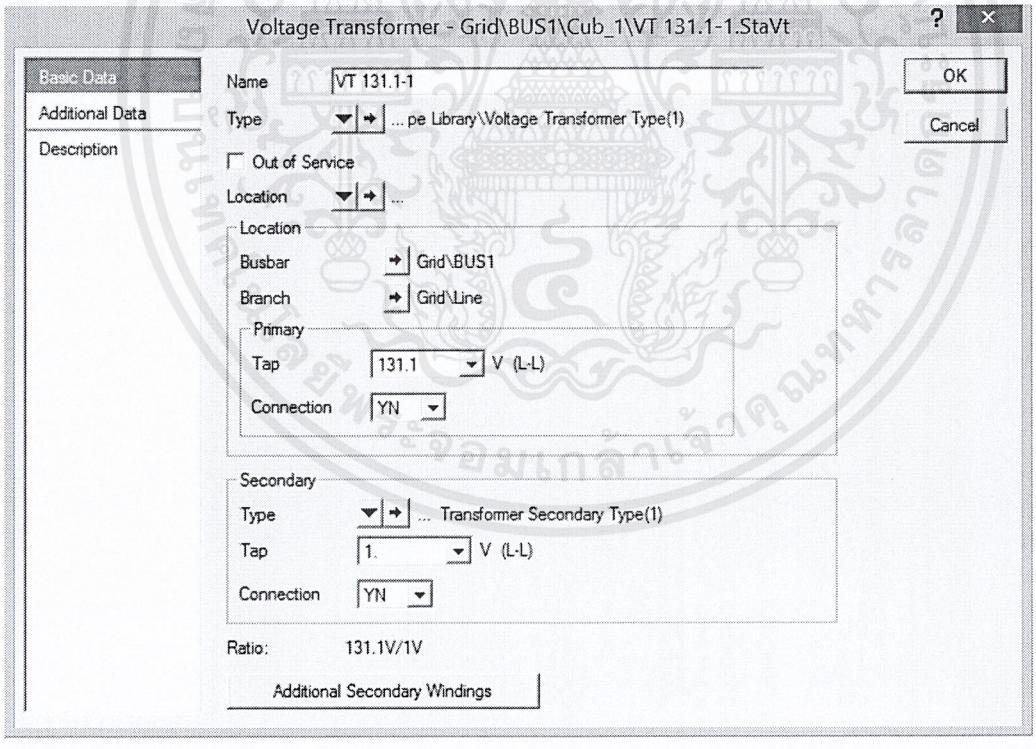
ตารางที่ 4.2 การตั้งค่า BECKWITH : Generator Protection M-3420 ด้วยโปรแกรม DIgSILENT

ตั้งค่าทั่วไป	
ระดับแรงดันไฟฟ้า	69V
ระดับกระแสไฟฟ้า	3.88A
ค่าการตั้งค่า VT	Line - Ground
59/27 Magnitude Select	RMS
ชนิดแบบ เดลต้า วาย	ทำได้
Relay Seal-In Time	30
Active Input Open/Close	All active close
อัตราส่วนของ VT.	131.3:1
อัตราส่วนของนิวทรอล VT.	57.5:1
อัตราส่วนของ CT	2000:1
อัตราส่วนของนิวทรอล CT.	1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.55 ตั้งค่าอัตราส่วนของ CT

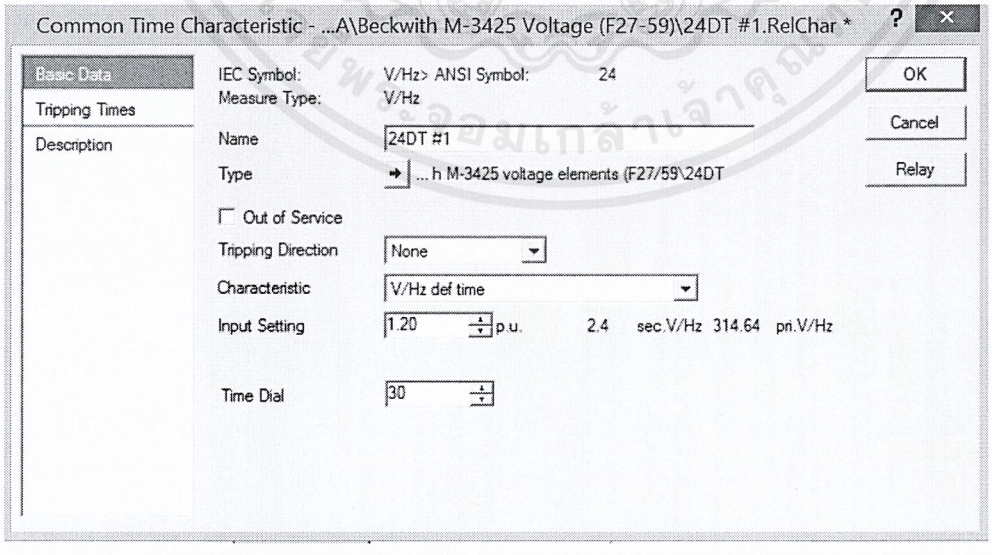


รูปที่ 4.56 ตั้งค่าอัตราส่วนของ VT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

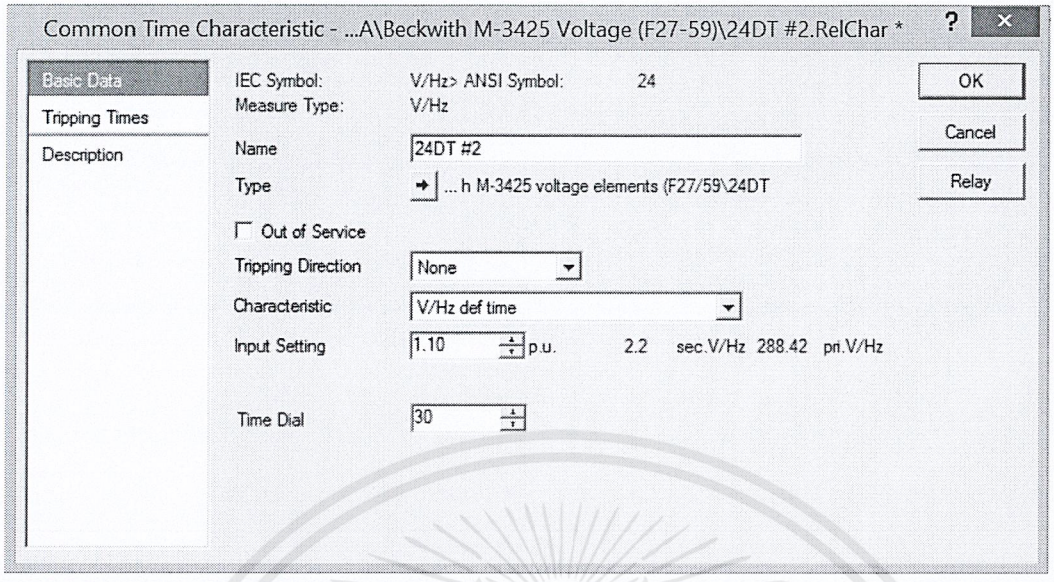
ตารางที่ 4.3 หมายเลข (24) : Volts/Hz

การตั้งค่ารีเลย์หมายเลข 24 VOLTZ PER HERTZ	
24DT #1 Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
24DT #1 Relay Output	1
24DT #1 Block Input	ไม่มี
24DT #1 Pick up	120%
24DT #1 Delay	100 Cycle
24DT #2 Enable/Disable	ทำได้
24DT #2 Relay Output	8
24DT #2 Block Input	ไม่มี
24DT #2 Pick up	110%
24DT #2 Delay	100 Cycle
24IT Enable/Disable	ทำได้
24IT Relay Output	1
24IT Block Input	ไม่มี
24IT Pick up	112%
24IT Curve	CRV1
24IT Time Dial	5
24IT Reset Rate	999

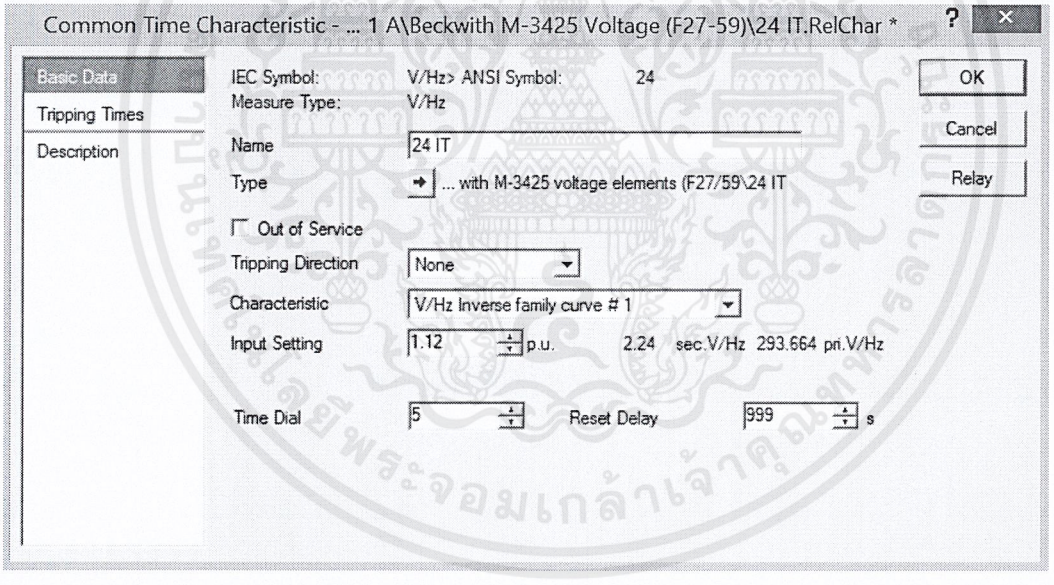


รูปที่ 4.57 การตั้งค่าหมายเลข (24DT#1) : Volts/Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.58 การตั้งค่าหมายเลข (24DT#2) : Volts/Hz

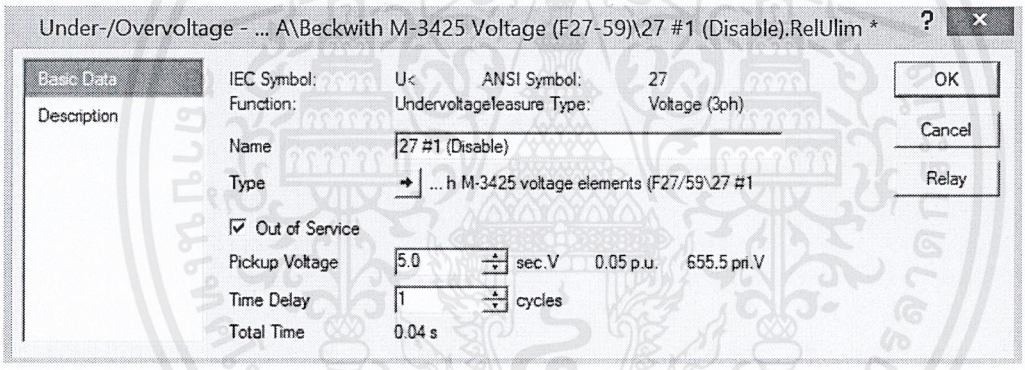


รูปที่ 4.59 การตั้งค่าหมายเลข (27IT) : Volts/Hz

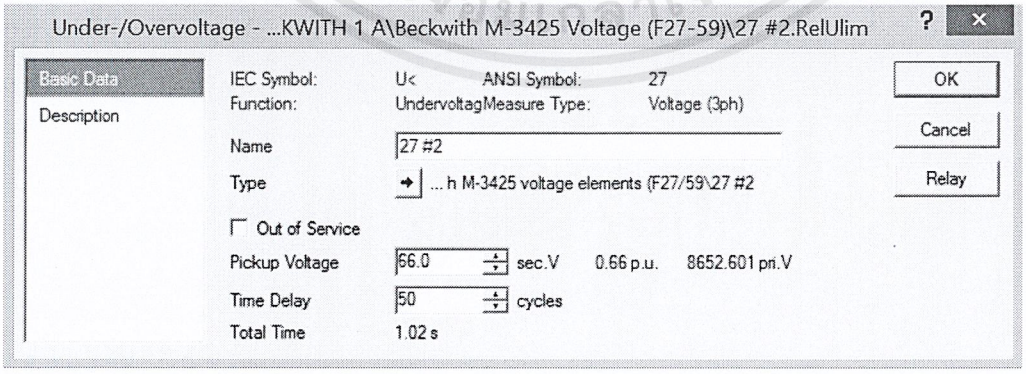
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 หมายเลข (27) : RMS Under Voltage

27 PHASE UNDERVOLTAGE	
27 #1 Enable/Disable	ปิดการใช้งาน
27 #1 Relay Output	-
27 #1 Block Input	-
27 #1 Pick up	-
27 #1 Delay	-
27 #2 Enable/Disable	ทำได้
27 #2 Relay Output	8 (Alarm)
27 #2 Block Input	FL.1
27 #2 Pick up	66 โวลต์
27 #2 Delay	50 Cycle



รูปที่ 4.60 การตั้งค่าหมายเลข (27#1) : RMS Under Voltage

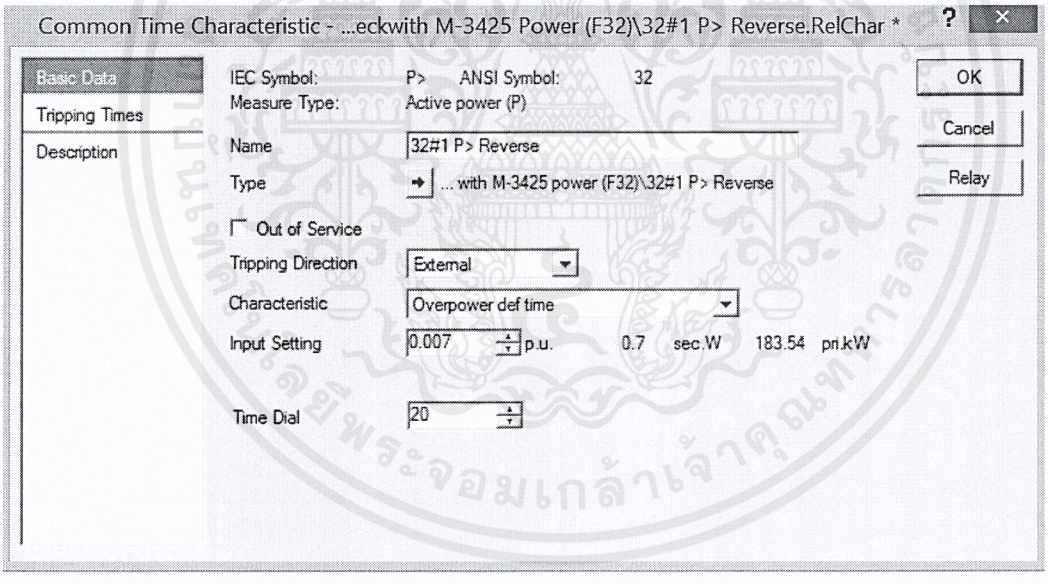


รูปที่ 4.61 การตั้งค่าหมายเลข (27#2) : RMS Under Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

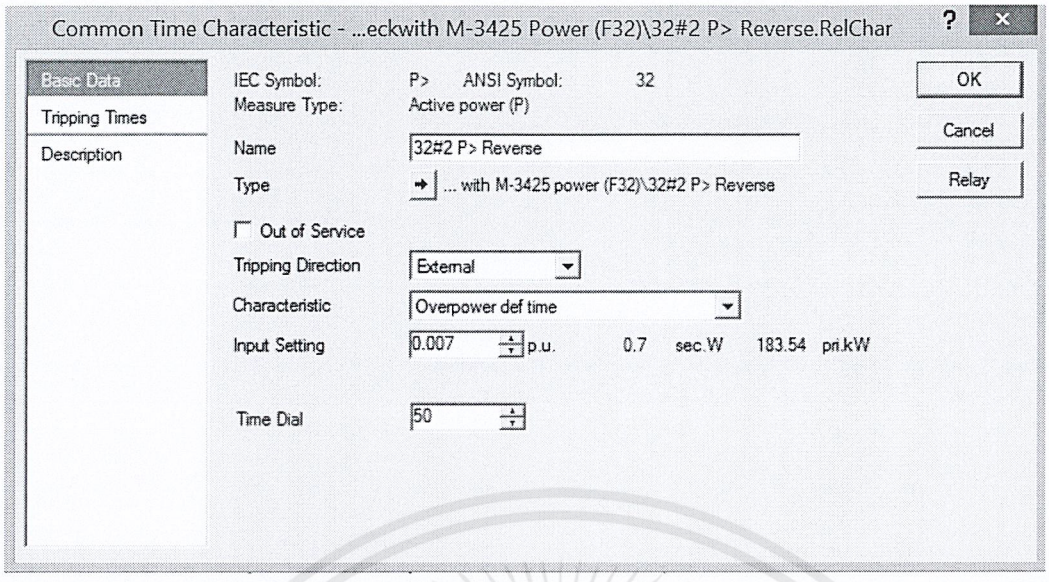
ตารางที่ 4.5 หมายเลข (32) : Directional Power

32 DIRECTIONAL POWER	
32 #1 Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
32#1 Relay Output	1
32 #1 Block Input	FL
32 #1 Pick up	-0.007 pu
32 #1 Delay	250 Cycle
32 #2 Enable/Disable	ทำได้
32 #2 Relay Output	5
32 #2 Block Input	ไม่มี
32 #2 Pick up	-0.007 p.u.
32 #2 Delay	100 Cycle



รูปที่ 4.62 การตั้งค่าหมายเลข (32#1) : Directional Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

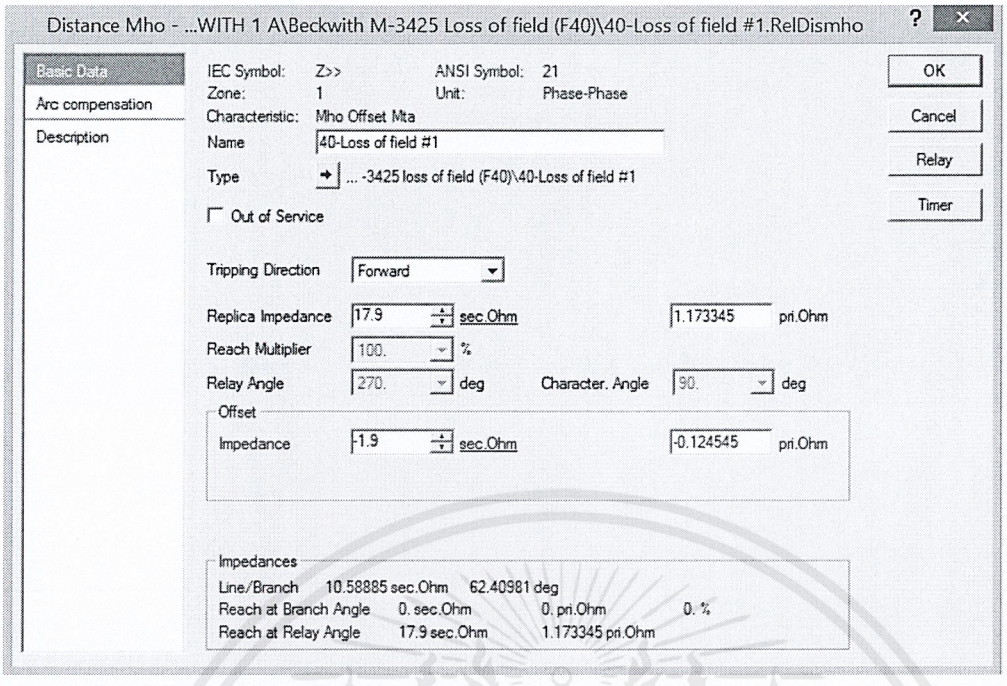


รูปที่ 4.63 การตั้งค่าหมายเลข (32#2) : Directional Power

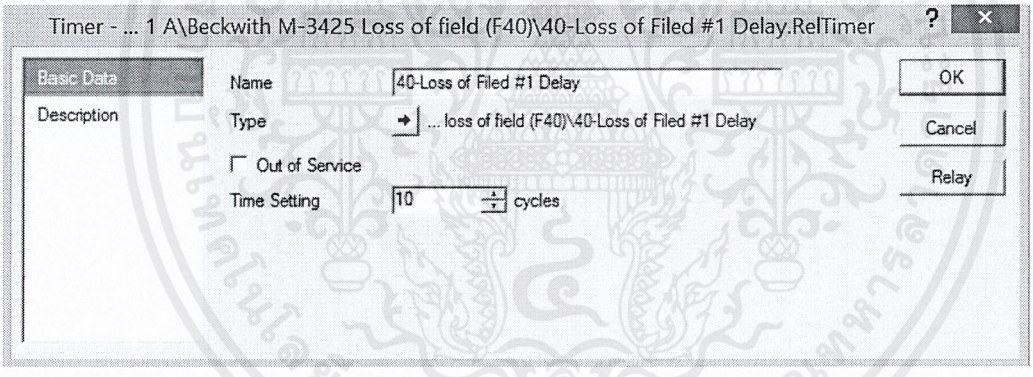
ตารางที่ 4.6 หมายเลข (40) : Loss of Field (dual-zone offset-mho characteristic

40 LOSS OF FIELD	
40 #1 Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
40 #1 Relay Output	1
40 #1 Block Input	FL
40 #1 Diameter	17.9 Ohm
40 #1 Offset	-1.9 Ohm
40 #1 Voltage Control	ไม่สามารถทำได้
40 #1 Delay	10 Cycle
40 #2 Enable/Disable	ทำได้
40 #2 Relay Output	1
40 #2 Block Input	FL
40 #2 Diameter	32.4 Ohm
40 #2 Offset	-1.9 Ohm
40 #2 Voltage Control	ไม่สามารถทำได้
40 #2 Delay	25 Cycle
40 Voltage Control	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

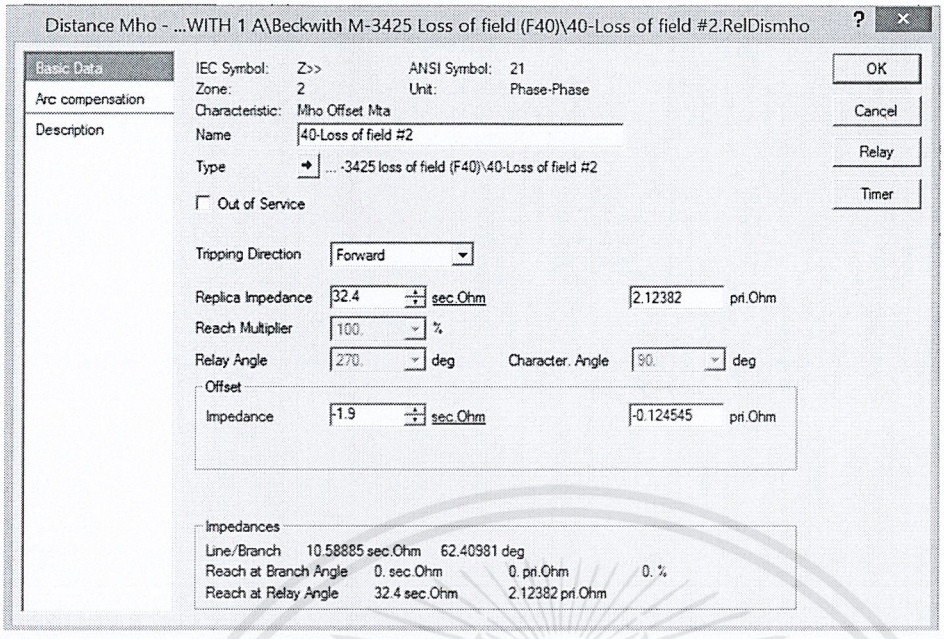


รูปที่ 4.64 การตั้งค่าหมายเลข (40#1) : Loss of Field (dual-zone offset-mho Characteristic)

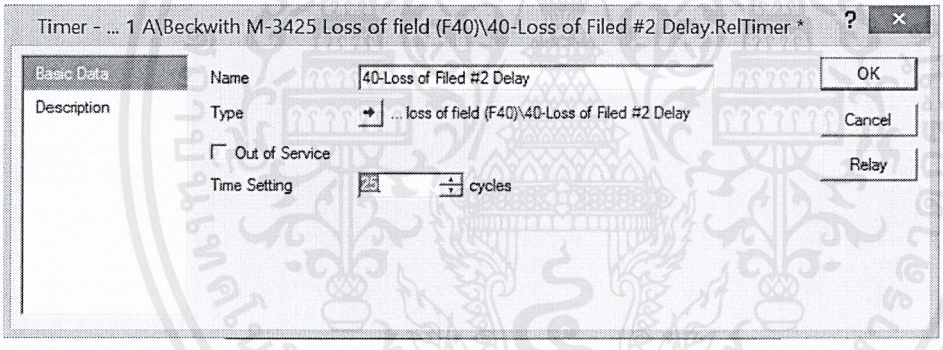


รูปที่ 4.65 การตั้งค่าหมายเลข (40#1) : Delay Loss of Field (dual-zone offset-mho Characteristic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.66 การตั้งค่าหมายเลข (40#2) : Loss of Field (dual-zone offset-mho Characteristic)



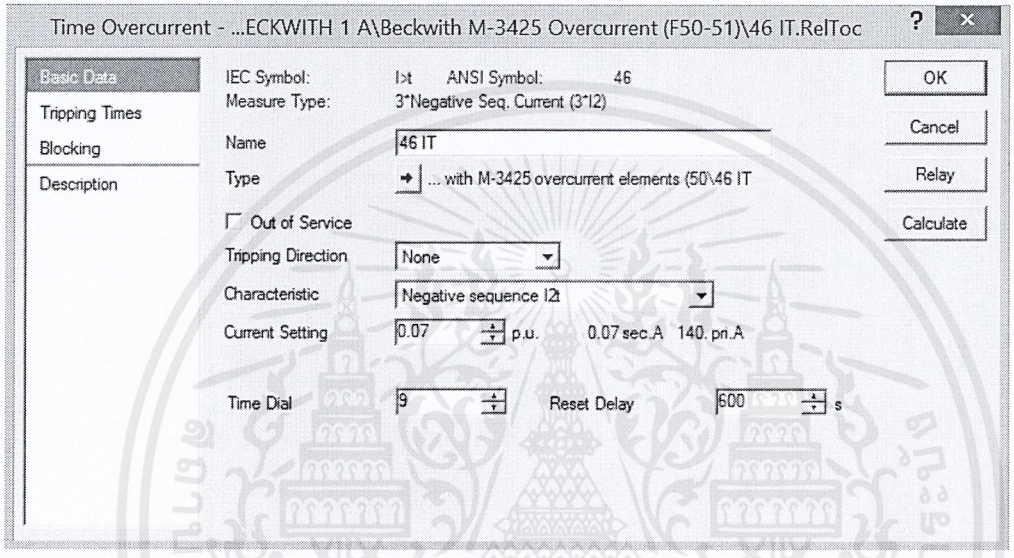
รูปที่ 4.67 การตั้งค่าหมายเลข (40#2) : Delay Loss of Field (dual-zone offset-mho Characteristic)

ตารางที่ 4.7 หมายเลข (46) : Negative Sequence Over Current

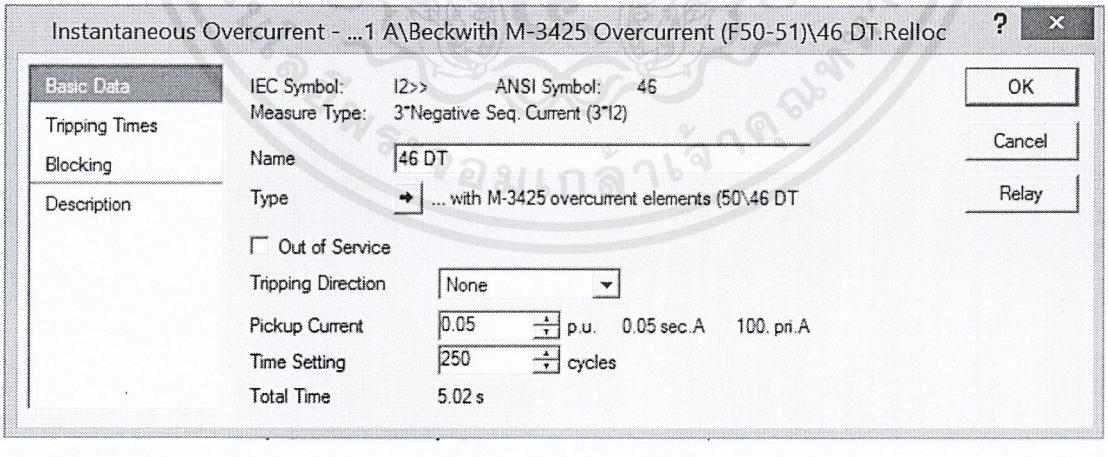
46 NEGATIVE SEQUENCE OVERCURRENT	
46DT Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
46DT Relay Output	8 (Alarm)
46DT Block Input	ไม่สามารถทำได้
46DT Pick up	5%
46DT Delay	250 Cycle
46IT Enable/Disable	ทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46IT Relay Output	1
46IT Block Input	ไม่สามารถทำได้
46IT Pick up	7%
46IT Time Dial	9
46IT Max Time Delay	65500 Cycle



รูปที่ 4.68 การตั้งค่าหมายเลข (46IT) : Negative Sequence Over Current

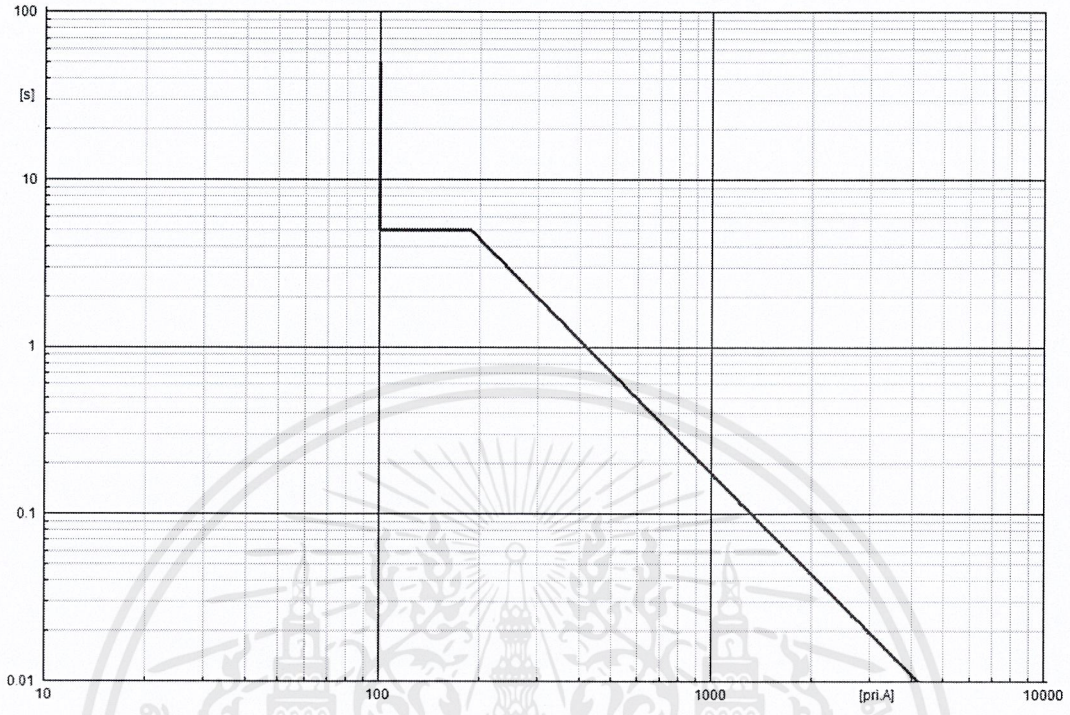


รูปที่ 4.69 กราฟแสดงหมายเลข (46DT) : Negative Sequence Over Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของ หมายเลข (46) : Negative Sequence Over Current ที่ได้ตั้งค่าไว้

แสดงใน รูปที่ 4.57



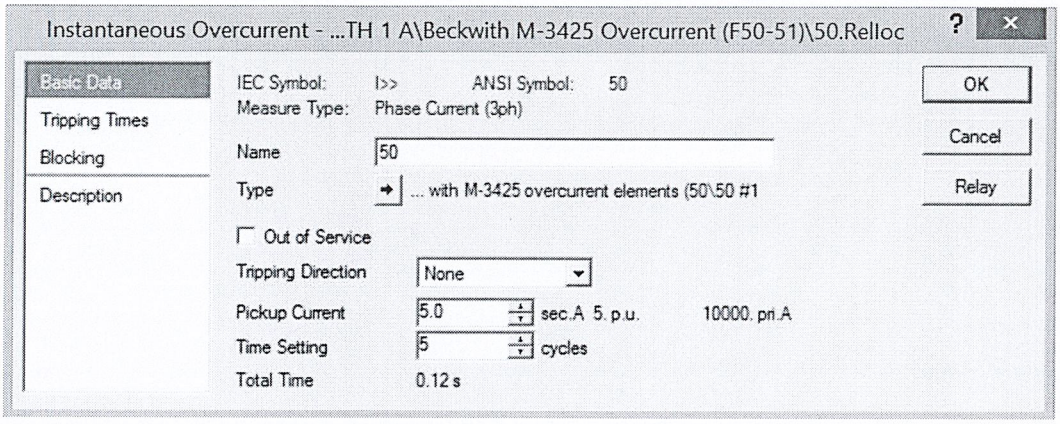
รูปที่ 4.70 กราฟแสดงหมายเลข (46) : Negative Sequence Over Current

กราฟที่แสดงเป็นการรวมกันของหมายเลข 46DT และ 46IT ในส่วนบนที่แสดงเป็นของ 46 DT โดยมีค่า 250 cycles มีค่าเท่ากับ 5 วินาที และส่วนของ Slope เป็นของ 46 IT ที่มีค่า Time Dial คือ 9

ตารางที่ 4.8 หมายเลข (50) : Instantaneous Over Current

50 INSTANTANEOUS PHASE OVERCURRENT	
50 Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
50 Relay Output	1
50 Time Delay	5 cycle
50 Pick up	5 p.u.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.71 การตั้งค่าหมายเลข (50) : Instantaneous Over Current

ลักษณะของ หมายเลข (50) : Instantaneous Over Current ที่ได้ตั้งค่าไว้ แสดงใน รูปที่ 4.59

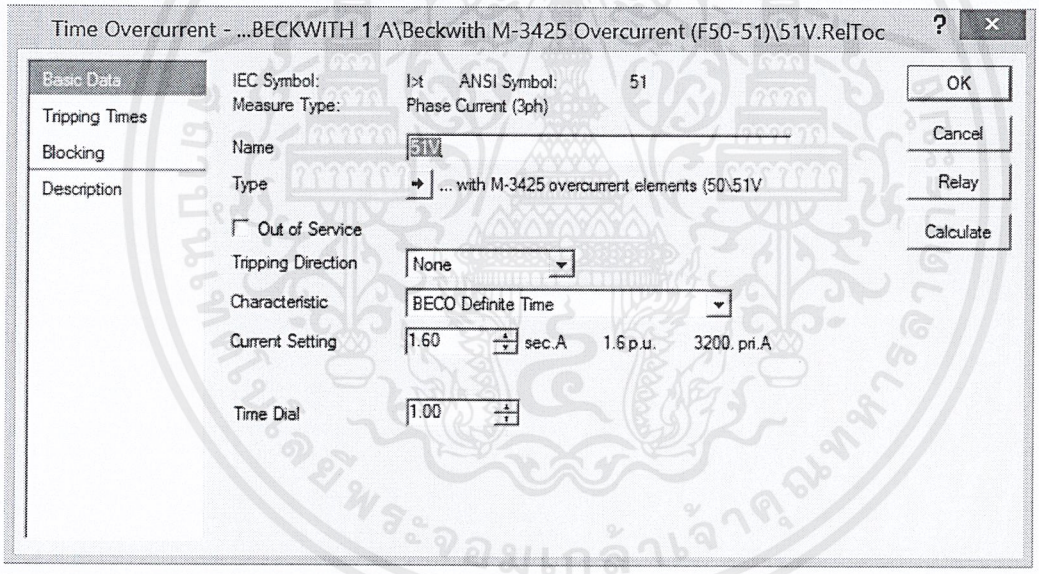
รูปที่ 4.72 กราฟแสดงหมายเลข (50) : Instantaneous Over Current

กราฟที่แสดงเป็นหมายเลข (50) โดยมีค่า Time Setting 5 cycles บวกกับค่าเริ่มต้น 1 cycle เท่ากับ 6 cycles หรือเท่ากับ 0.12 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 หมายเลข (51) : Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint

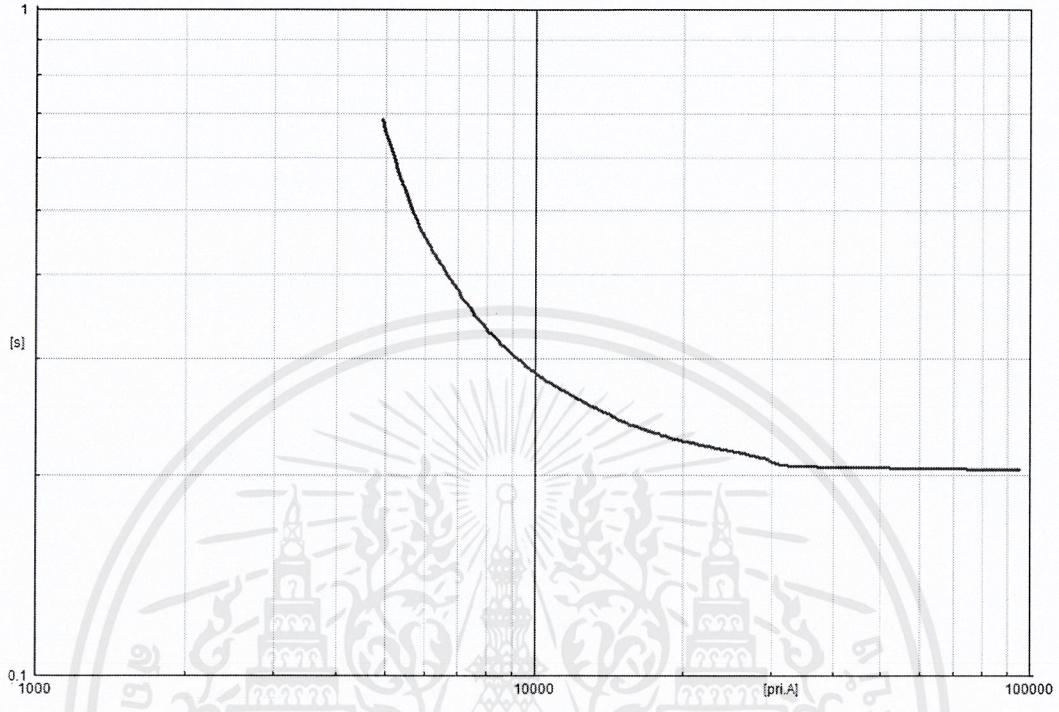
51 INVERSE TIME PHASE OVERCURRENT	
51 Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
51 Relay Output	1
51 Block Input	FL
51 Tap	1.60A
51 Curve	Definite time
51 Time Dial	1.0
51 Voltage Control	ทำได้
51 Voltage Control Pick up	59



รูปที่ 4.73 การตั้งค่าหมายเลข (51) : Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของ หมายเลข (51) : Over Current ที่ได้ตั้งค่าไว้ แสดงใน รูปที่ 4.61

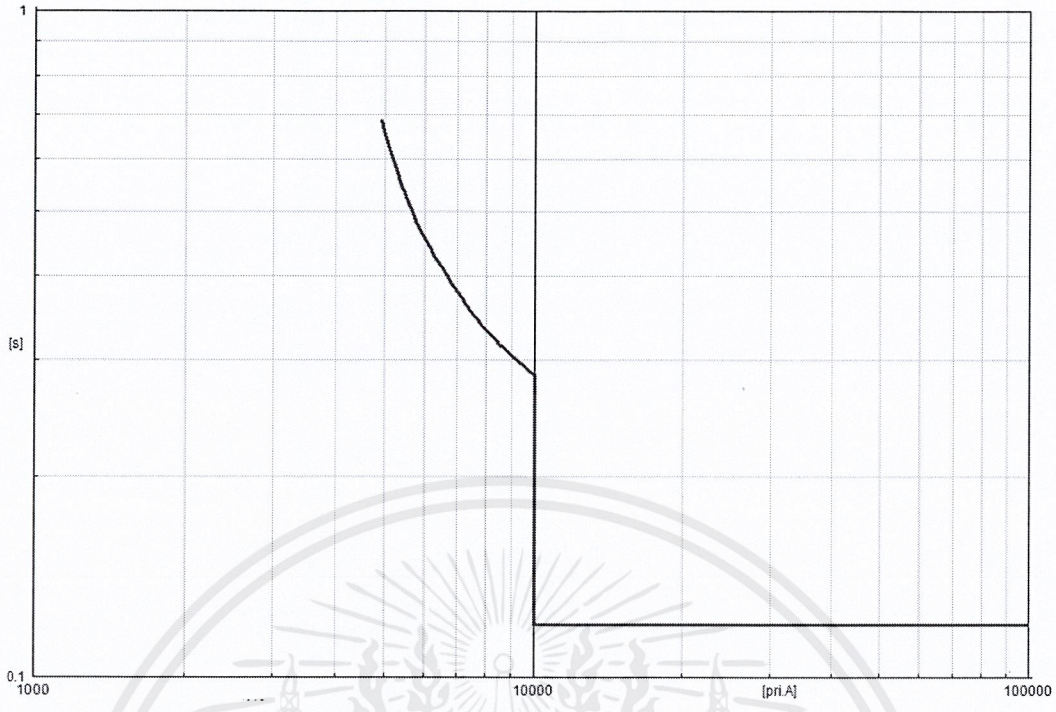


รูปที่ 4.74 กราฟแสดงหมายเลข (51) : Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint

กราฟที่แสดงเป็นหมายเลข (51) เป็น curve แบบ Definite Time ซึ่งค่ากระแส กับเวลาจะแปรผันแบบผกผันกัน โดยมี Current Setting ไว้ที่ 1.6 p.u.

การรวมกันของหมายเลข 50 และ 51 ในส่วนบนที่แสดงเป็นของ 46 DT โดยมีค่า 250 cycles มีค่าเท่ากับ 5 วินาที และส่วนของ Slope เป็นของ 46 IT ที่มีค่า Time Dial 9 แสดงดังรูปที่ 4.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

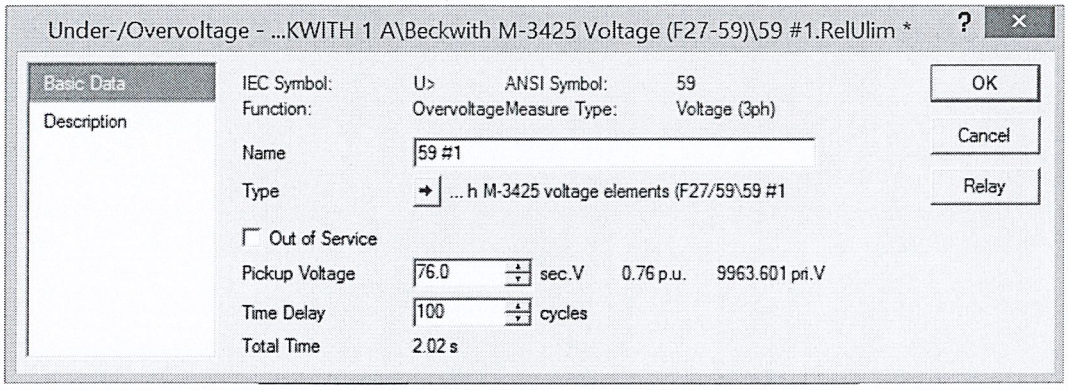


รูปที่ 4.75 กราฟแสดงหมายเลข (50) Instantaneous Over Current และหมายเลข (51) Overcurrent, with Voltage Control or Voltage Restraint

ตารางที่ 4.10 หมายเลข (59) : RMS Over Voltage

59 PHASE OVERVOLTAGE	
59 #1 Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
59 #1 Relay Output	1
59 #1 Block Input	ไม่สามารถทำได้
59 #1 Pick up	76 Volt
59 #1 Delay	100 Cycle
59 #2 Enable/Disable	ปิดการใช้งาน
59 #2 Relay Output	-
59 #2 Block Input	-
59 #2 Pick up	-
59 #2 Delay	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

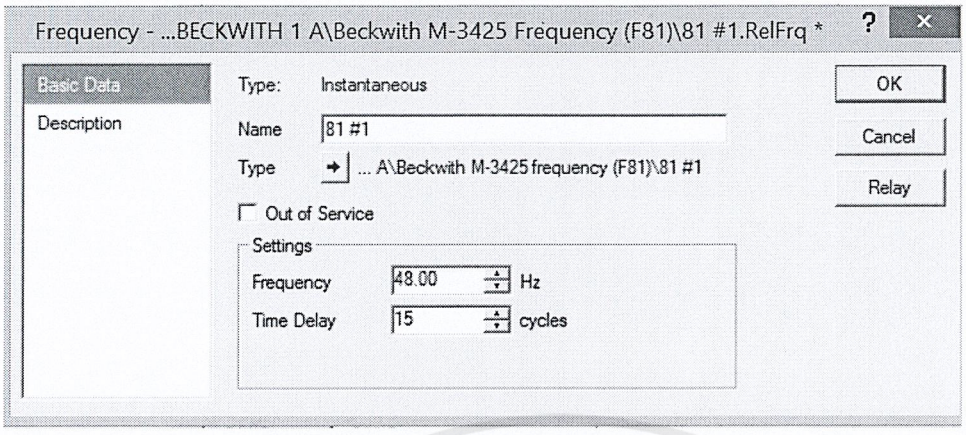


รูปที่ 4.76 การตั้งค่าหมายเลข (59) : RMS Over Voltage

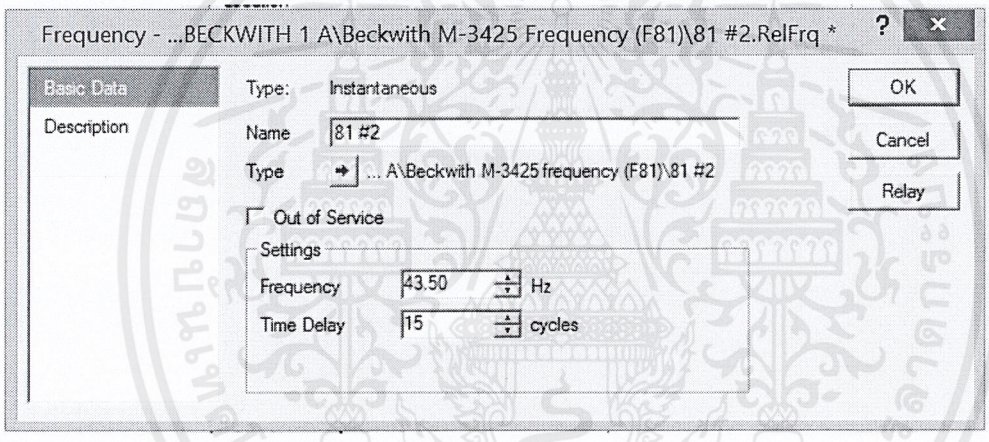
ตารางที่ 4.11 หมายเลข (81) : Frequency

81 FREQUENCY FUNCTION	
81 #1 Enable/Disable	ทำได้
81 #1 Relay Output	8
81 #1 Block Input	FL,1
81 #1 Pick up	48.0HZ
81 #1 Delay	15 Cycle
81 #2 Enable/Disable	ทำได้
81 #2 Relay Output	1
81 #2 Block Input	FL,1
81 #2 Pick up	43.5Hz
81 #2 Delay	15 Cycle
81 #3 Enable/Disable	ทำได้
81 #3 Relay Output	8
81 #3 Block Input	FL,1
81 #3 Pick up	51.5HZ
81 #3 Delay	15 Cycle
81 #4 Enable/Disable	ทำได้
81 #4 Relay Output	1
81 #4 Block Input	FL,1
81 #4 Pick up	55Hz
81 #4 Delay	15 Cycle

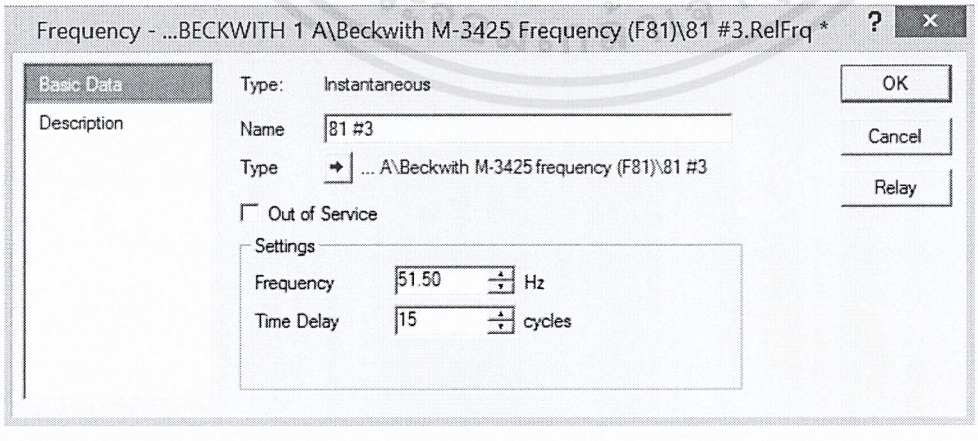
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.77 การตั้งค่าหมายเลข (81#1) : Frequency

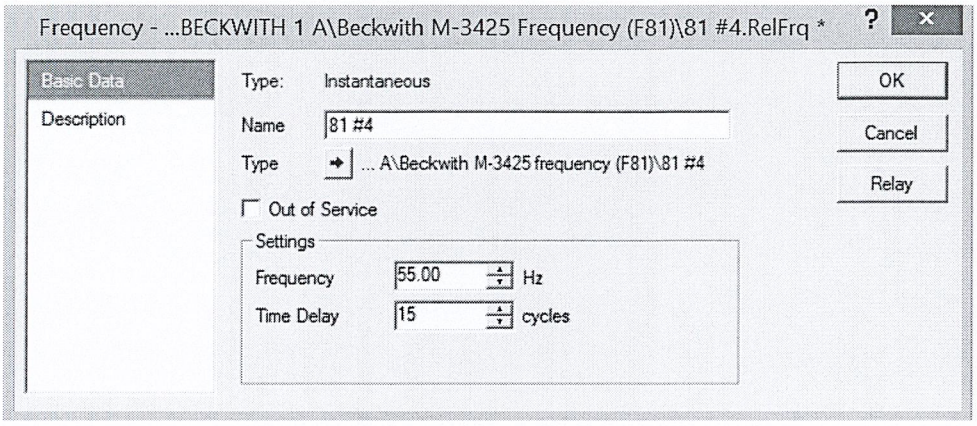


รูปที่ 4.78 การตั้งค่าหมายเลข (81#2) : Frequency



รูปที่ 4.79 การตั้งค่าหมายเลข (81#3) : Frequency

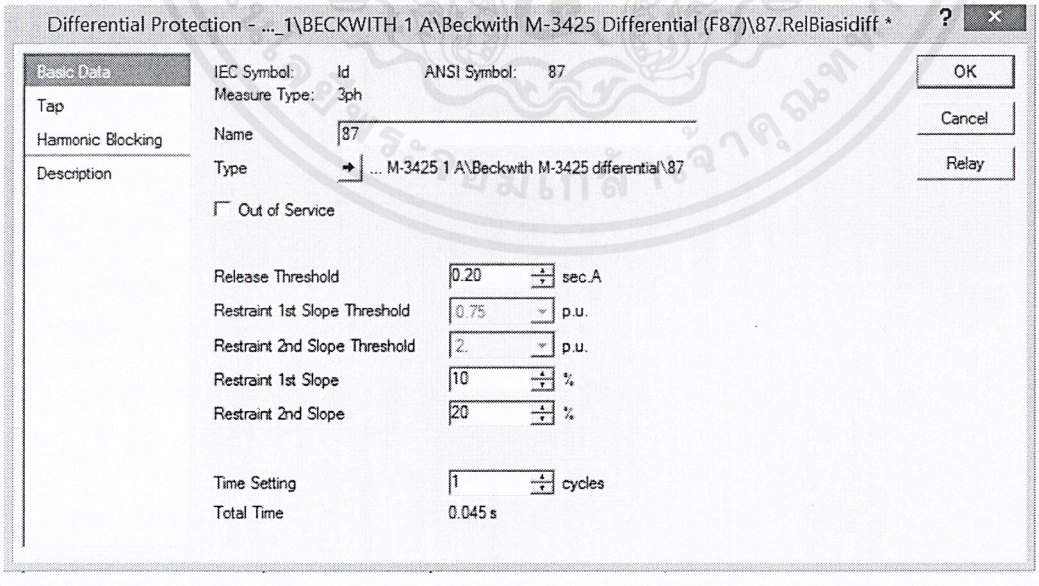
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.80 การตั้งค่าหมายเลข (81#4) : Frequency

ตารางที่ 4.12 หมายเลข (87) : Phase Differential Current

87 DIFFERENTIAL CURRENT	
87 Enable/Disable	ทำได้
87 Relay Output	1
87 Block Input	ไม่สามารถทำได้
87 Pick up	0.2A
87 Slope	10%
87 Delay	1 Cycle

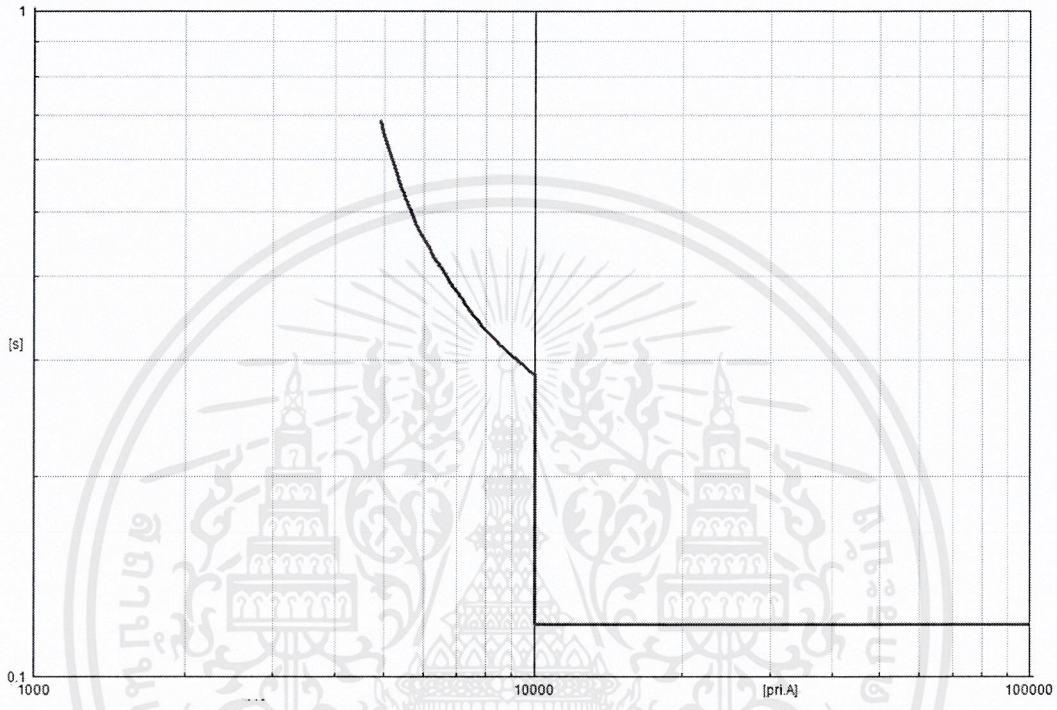


รูปที่ 4.81 การตั้งค่าหมายเลข (87) : Phase Differential Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

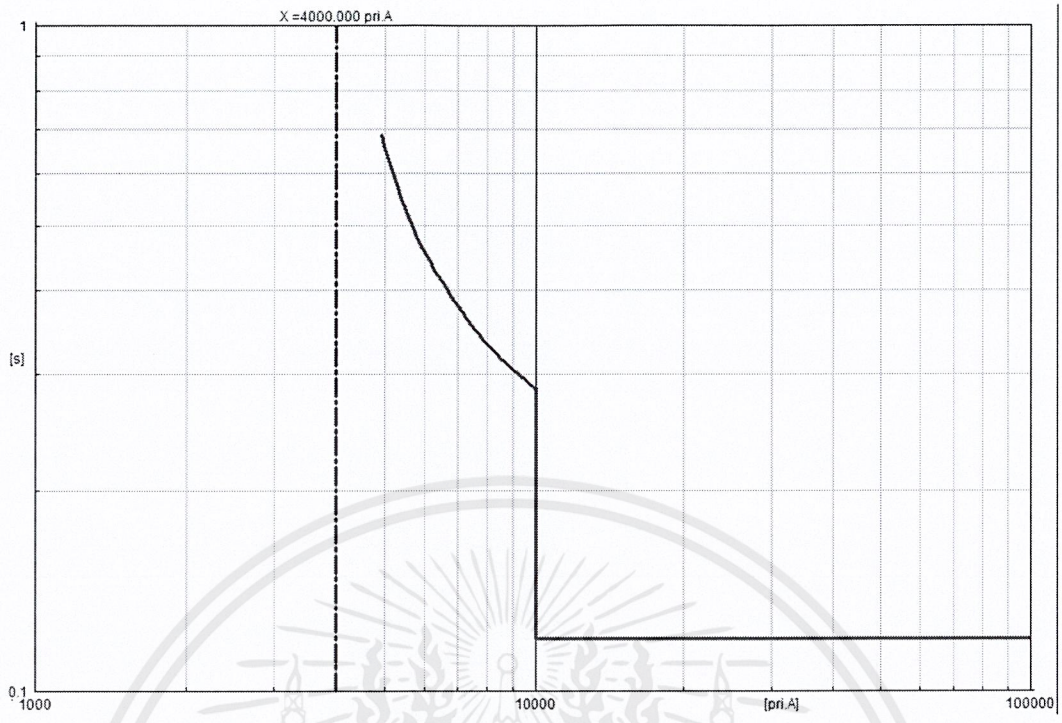
4.2.2 การทดสอบฟังก์ชั่นการทำงานของ Over Current

เป็นการการทดสอบการใช้งานของโปรแกรม ในหมายเลข (50) Instantaneous Over Current และหมายเลข (51) Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint ในโปรแกรมเพื่อทดสอบเวลาในการทำงานโดยการจ่ายค่ากระแส ที่ตามระดับต่างๆ ดังนี้ 4 kA , 6 kA , 8 kA , 10 kA และ 12 kA

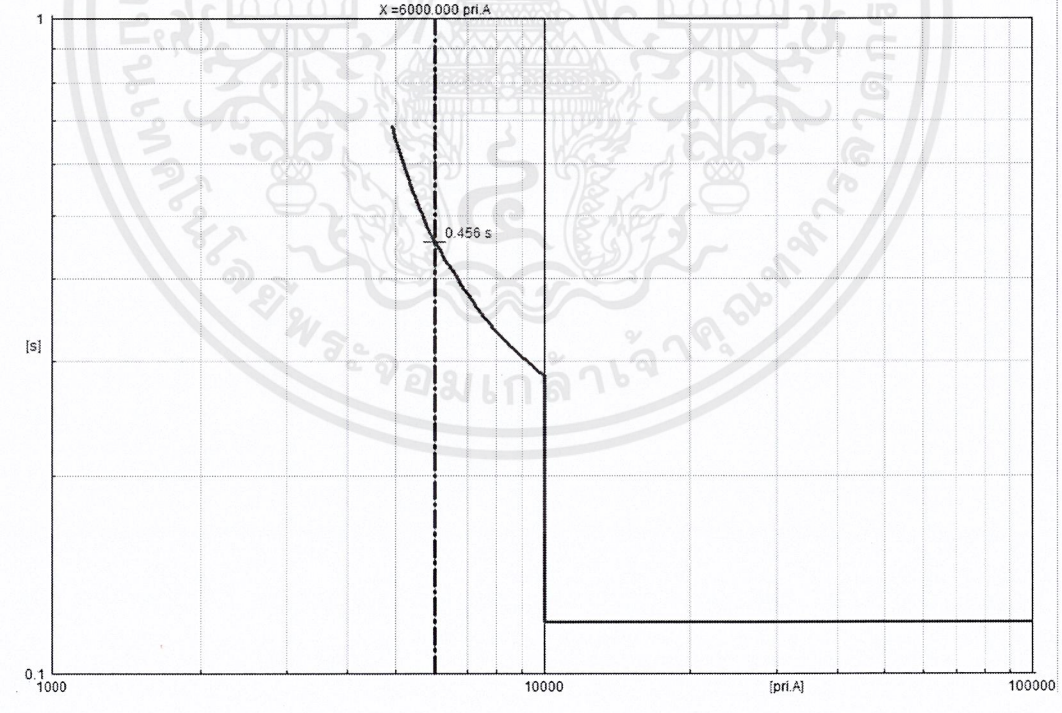


รูปที่ 4.82 กราฟแสดงหมายเลข (50) Instantaneous Over Current และหมายเลข (51) Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

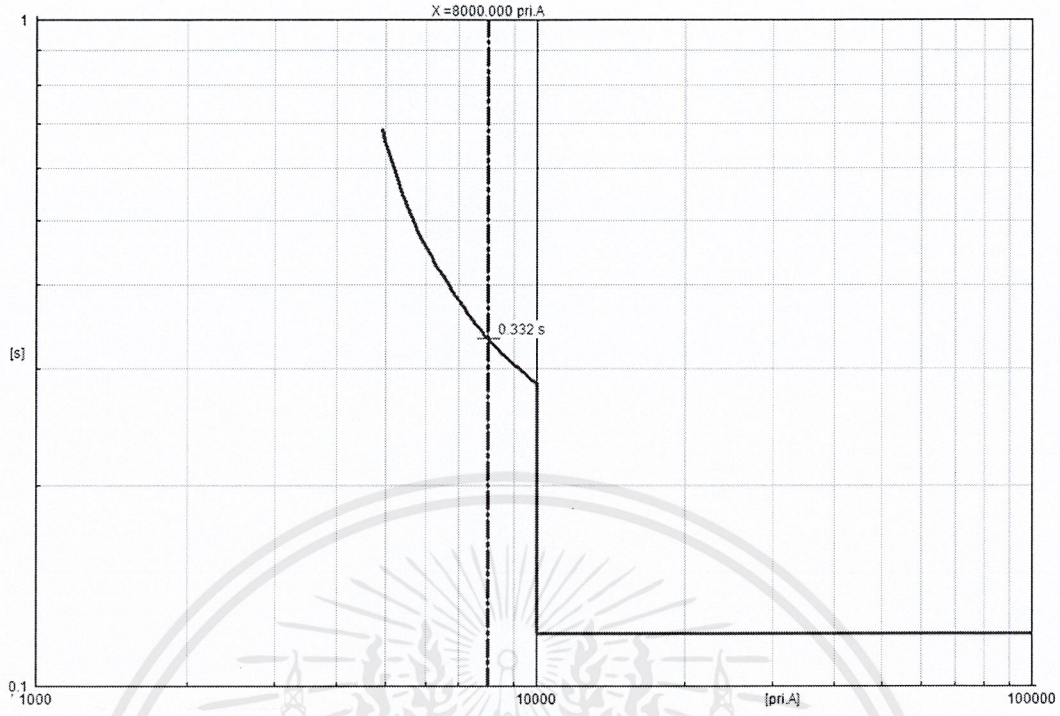


รูปที่ 4.83 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 4 kA

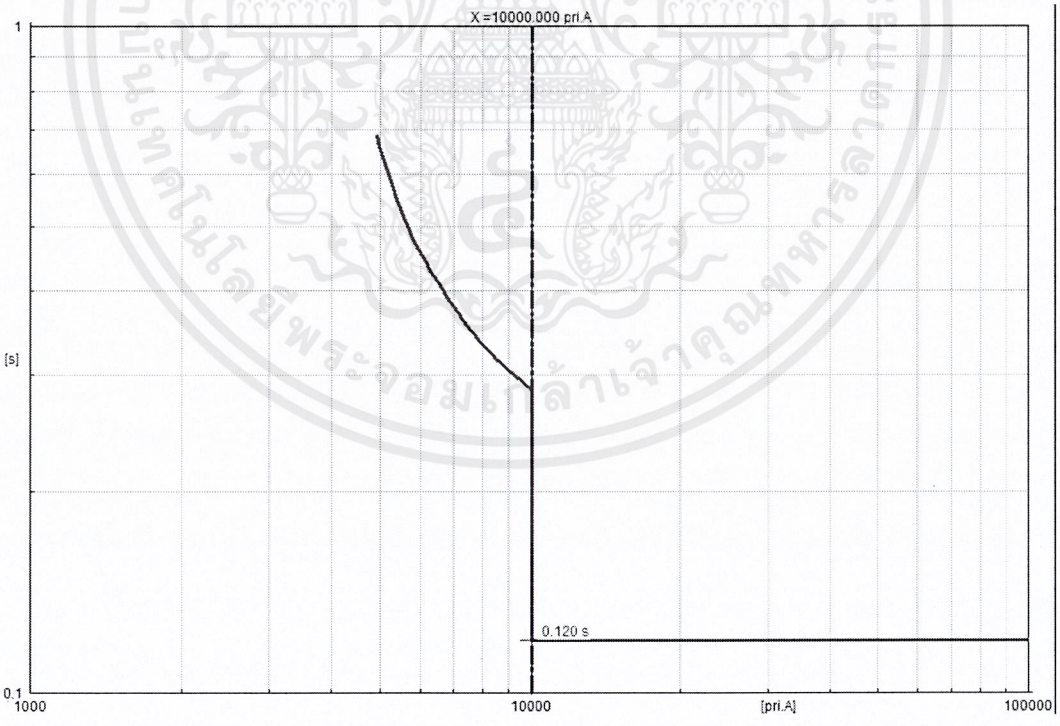


รูปที่ 4.84 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 6 kA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

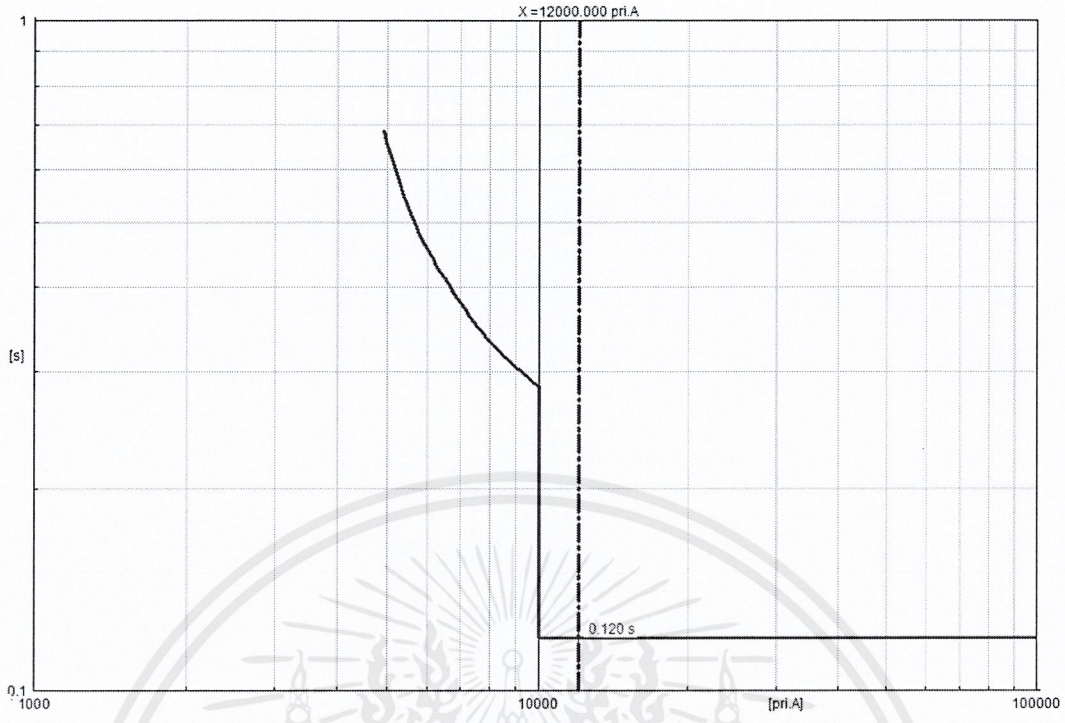


รูปที่ 4.85 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 8 kA



รูปที่ 4.86 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 10 kA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



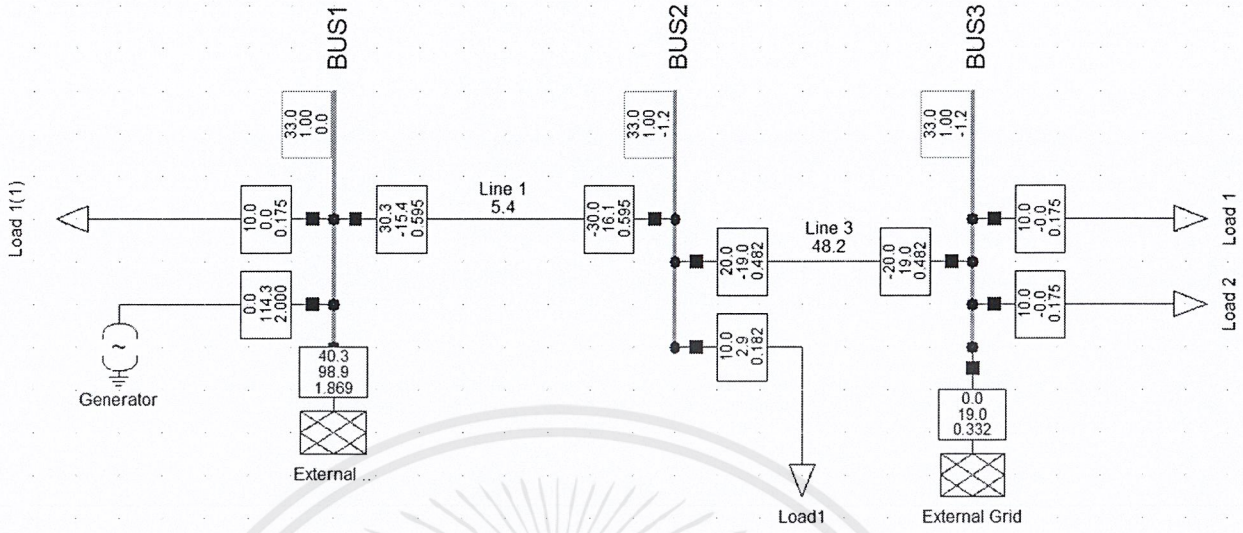
รูปที่ 4.87 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 12 kA

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ตามค่ากระแสต่างๆ

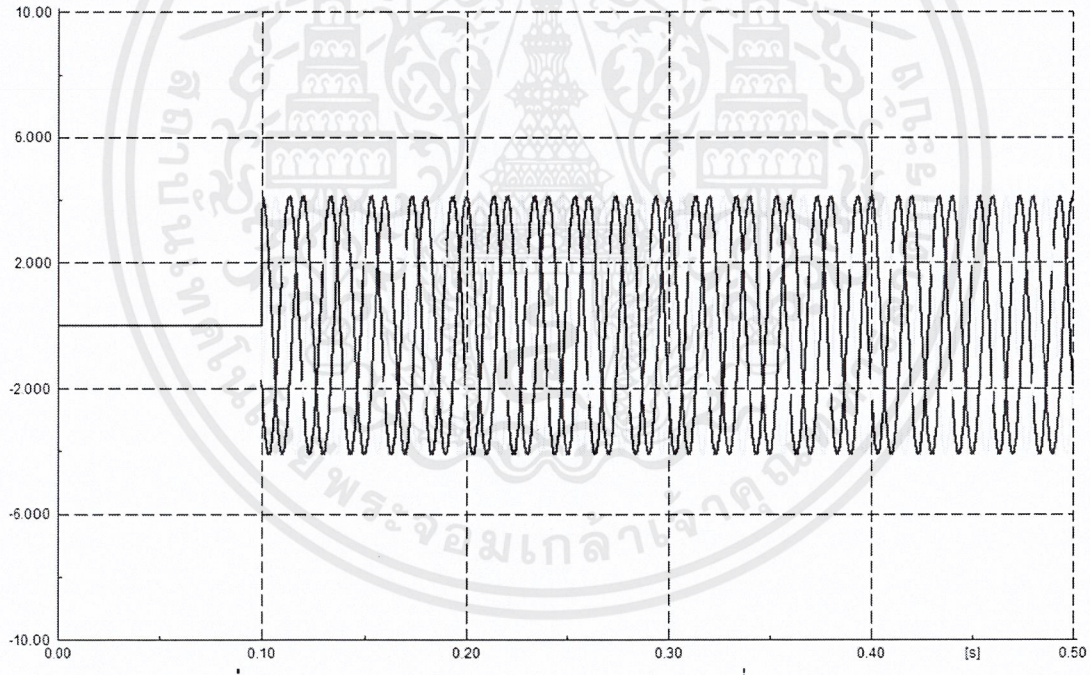
ค่ากระแส	เวลาที่คาดว่ารีเลย์จะทำงาน
4 kA	ไม่ทำงาน
6 kA	0.456 s
8 kA	0.332 s
10 kA	0.120 s
12 kA	0.120 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.1 ที่ค่ากระแส 4 kA



รูปที่ 4.88 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อจ่ายกระแส 4 kA



รูปที่ 4.89 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ที่กระแส 4 kA

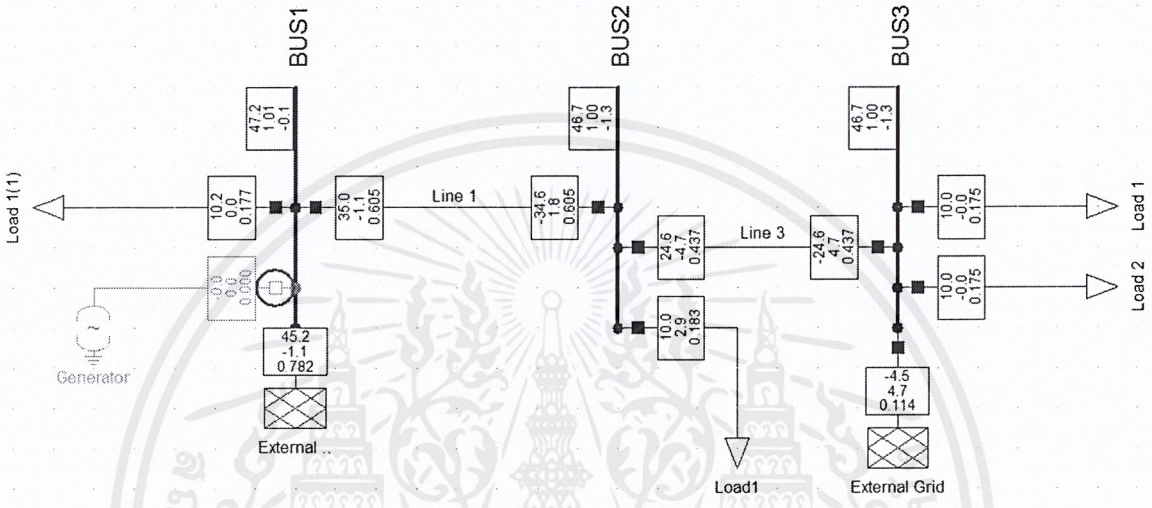
Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.90 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time เมื่อจ่ายกระแส 4 kA

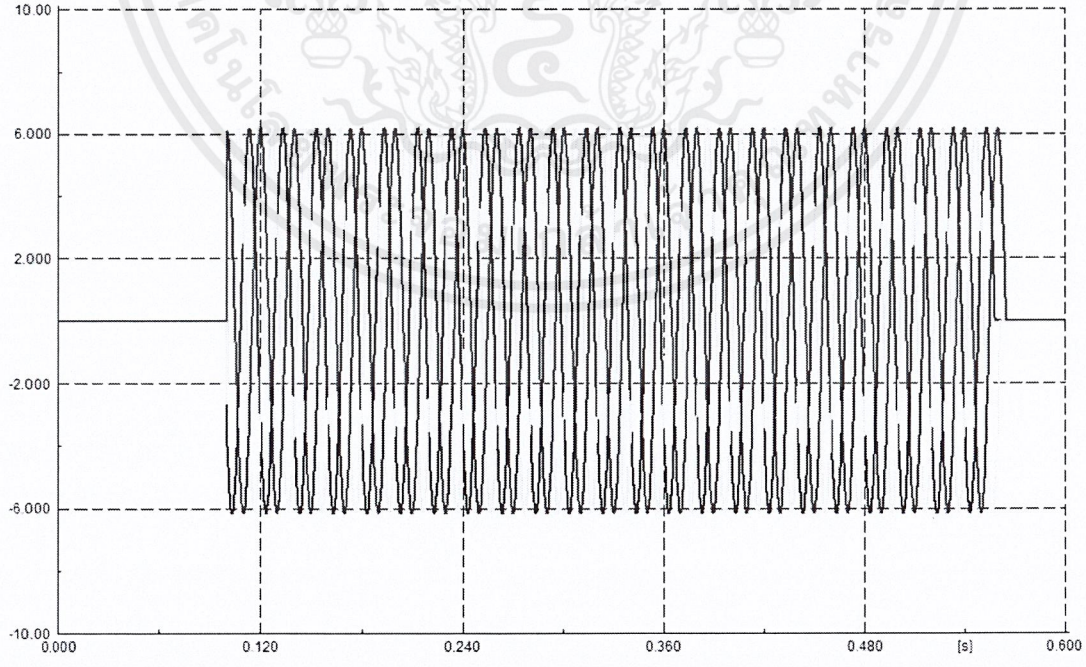
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่ารีเลย์ไม่ได้ทำงานตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ เนื่องจากที่ค่ากระแส 4 kA รีเลย์จะต้องไม่ทำงานจากกราฟและตารางข้างต้น จึงสรุปได้ว่า ที่กระแส 4 kA รีเลย์จะไม่ทำงาน ซึ่งตรงกับที่ตั้งค่าไว้

4.2.2.2 ที่ค่ากระแส 6 kA



รูปที่ 4.91 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อจ่ายกระแส 6 kA



รูปที่ 4.92 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ที่กระแส 6 kA

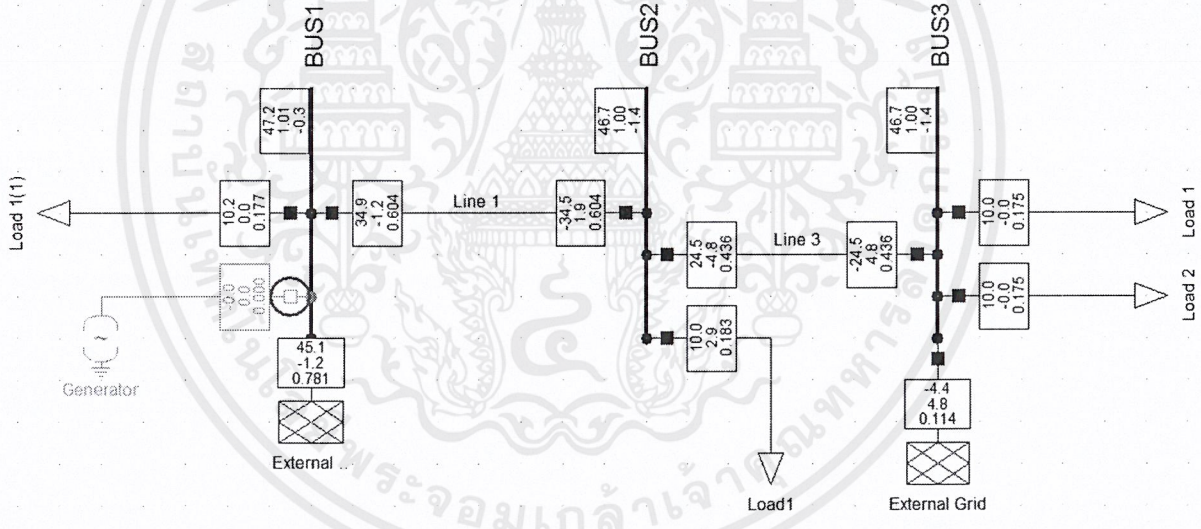
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fault Locations with Feeders			
Short-Circuit Calculation / Method : IEC 60909		3-Phase Short-Circuit / Max. Short-Circuit Currents	
Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration	
Always Considered	Automatic	Break Time	0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith)	0.56 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor	
Using Method B	User Defined No	User Defined	No

รูปที่ 4.93 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time เมื่อจ่ายกระแส 6 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.56 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.46 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้ที่ค่ากระแส 8 kA

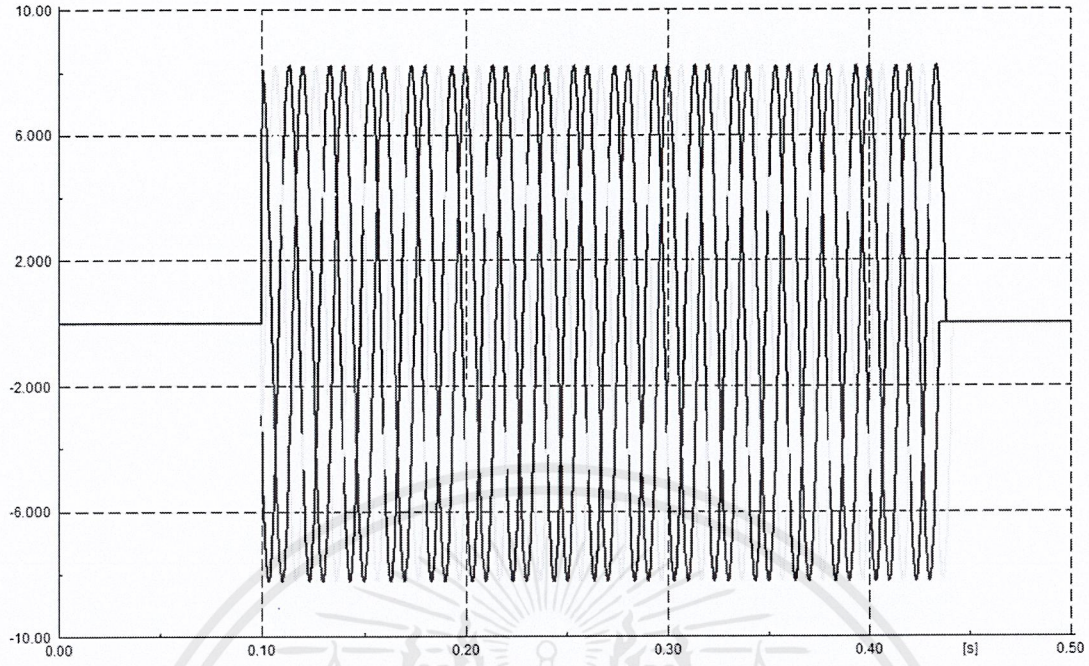
4.2.2.3 ที่ค่ากระแส 8 kA



รูปที่ 4.94 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อจ่ายกระแส 8 kA

จะเห็นได้ว่ารีเลย์ตัดวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกไปจากระบบ ที่วงกลมสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.95 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ที่กระแส 8 kA

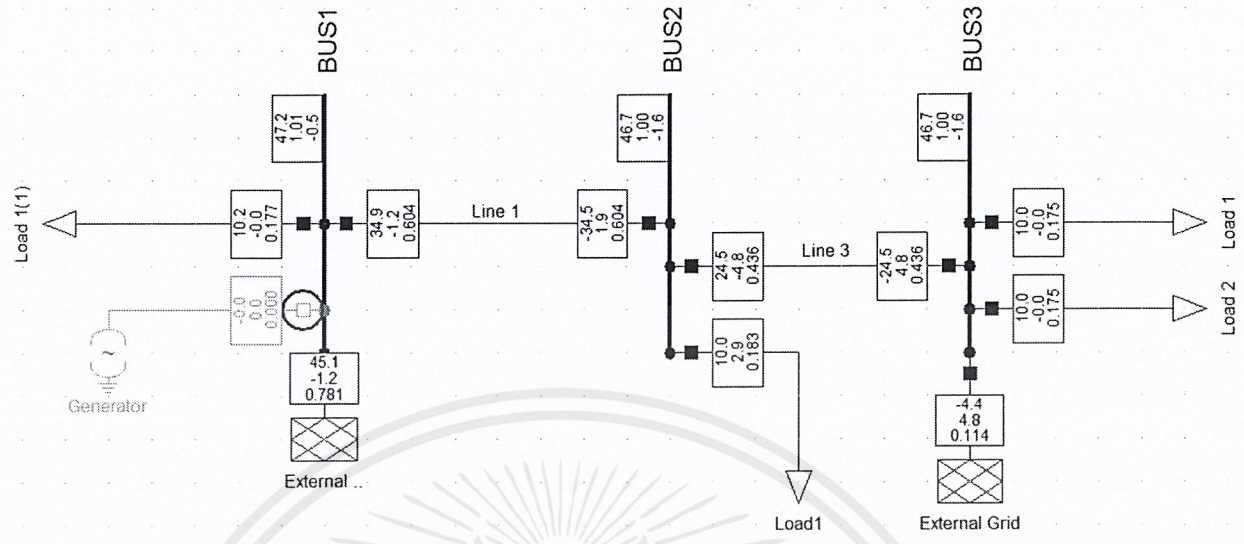
Fault Locations with Feeders		
Short-Circuit Calculation / Method : IEC 60909	3-Phase Short-Circuit	/ Max. Short-Circuit Currents
Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.43 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.96 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time เมื่อจ่ายกระแส 8 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.43 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.33 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

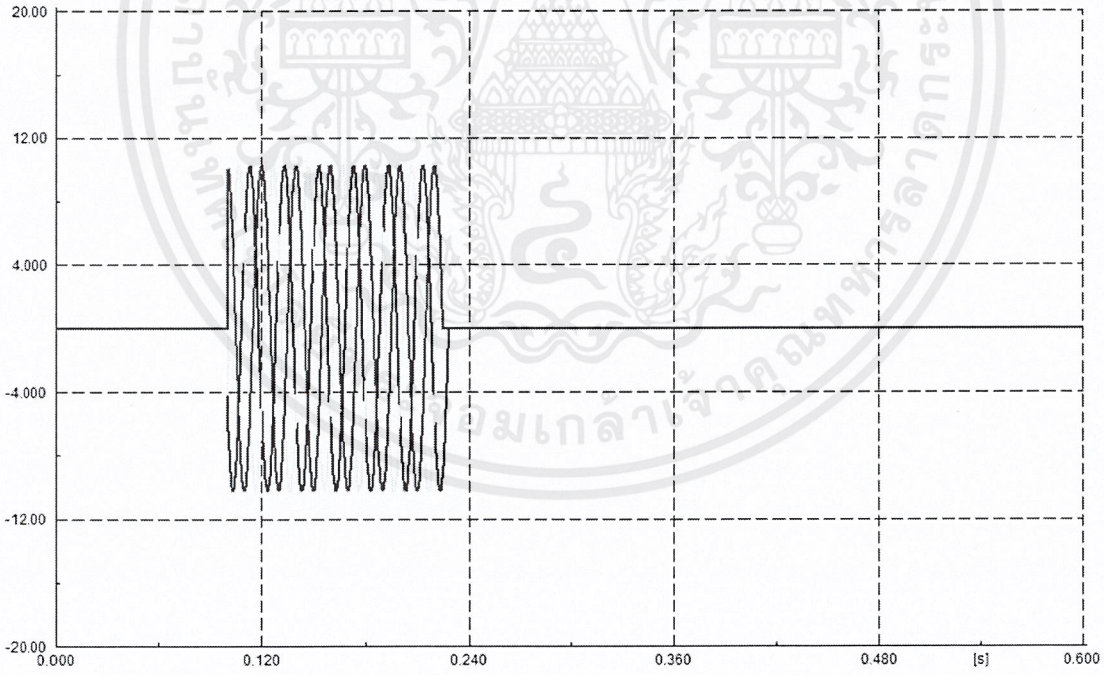
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.4 ที่ค่ากระแส 10 kA



รูปที่ 4.97 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อจ่ายกระแส 10 kA

จะเห็นได้ว่ารีเลย์ตัดวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกไปจากระบบ ที่วงกลมสีแดง



รูปที่ 4.98 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ที่กระแส 10 kA

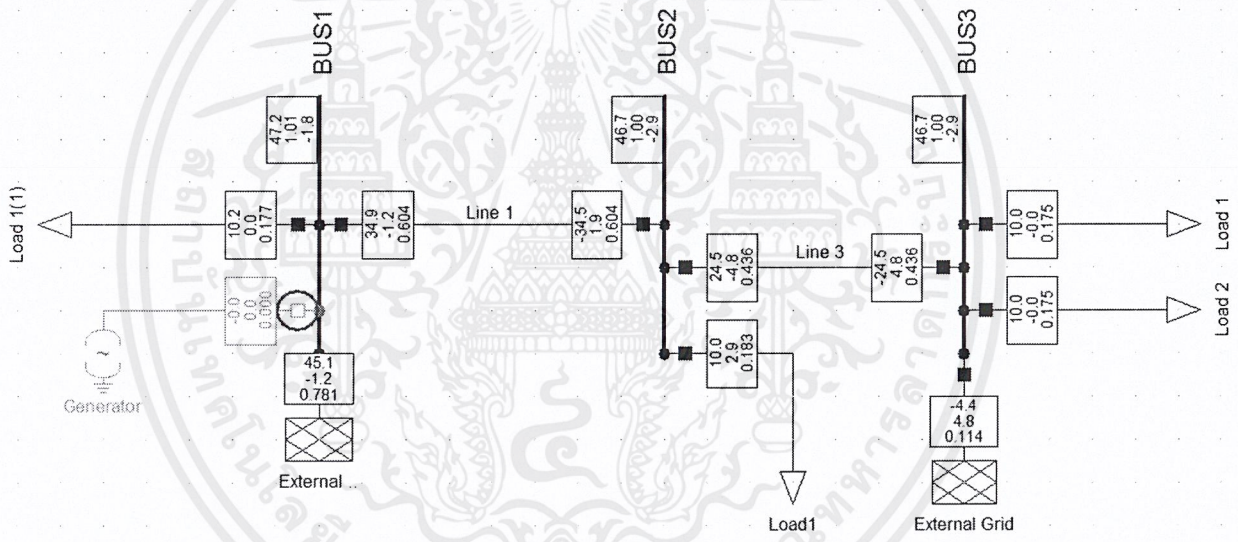
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fault Locations with Feeders					
Short-Circuit Calculation / Method : IEC 60909			3-Phase Short-Circuit	/ Max. Short-Circuit Currents	
Asynchronous Motors	Grid Identification		Short-Circuit Duration		
Always Considered	Automatic		Break Time	0.10 s	
			Fault Clearing Time (Ith)	0.22 s	
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature		c-Voltage Factor		
Using Method B	User Defined	No	User Defined	No	

รูปที่ 4.99 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time เมื่อจ่ายกระแส 10 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.22 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.12 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

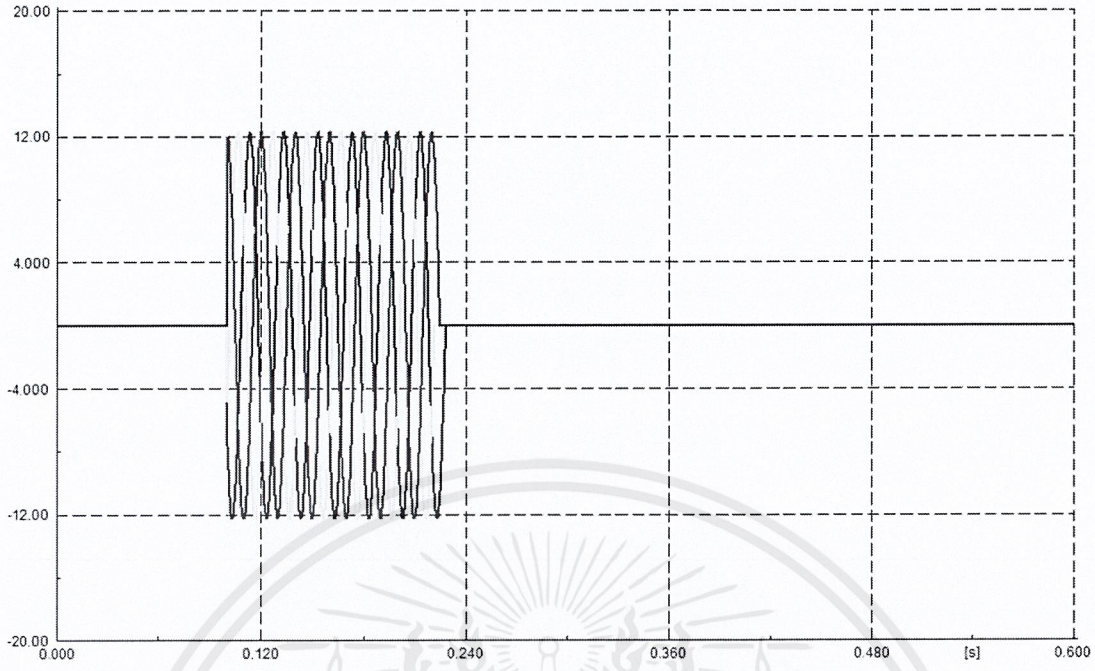
4.2.2.5 ที่ค่ากระแส 12 kA



รูปที่ 4.100 แสดงวงจรที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อจ่ายกระแส 12 kA

จะเห็นได้ว่ารีเลย์ตัดวงจรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกไปจากระบบ ที่วงกลมสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.101 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ที่กระแส 12 kA

Fault Locations with Feeders			
Short-Circuit Calculation / Method : IEC 60909		3-Phase Short-Circuit	/ Max. Short-Circuit Currents
Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration	
Always Considered	Automatic	Break Time	0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith)	0.22 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor	
Using Method B	User Defined No	User Defined	No

รูปที่ 4.102 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time เมื่อจ่ายกระแส 12 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.22 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.12 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าเวลาที่รีเลย์ควรจะทำงาน กับการทำงานจริง ตามค่ากระแสต่างๆ

ค่ากระแส	เวลาที่คาดว่ารีเลย์จะทำงาน	เวลาที่รีเลย์ทำงาน
4 kA	ไม่ทำงาน	ไม่ทำงาน
6 kA	0.456 s	0.46 s
8 kA	0.332 s	0.33 s
10 kA	0.120 s	0.12 s
12 kA	0.120 s	0.12 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป การศึกษาการตั้งค่าและการทำงานของ BECKWITH : Generator Protection M-3420 เป็นการตั้งค่าโปรแกรมในหมายเลขต่างๆ ทีรีเลย์มีโดยอ้างอิงจากการตั้งค่าจริงที่โรงไฟฟ้าใช้ และเปรียบเทียบเวลาในการตัดวงจรในฟังก์ชั่น Overcurrent (50) (51) ในกระแส 4 kA , 6 kA , 8 kA 10 kA และ 12 kA โดยเปรียบเทียบเวลาที่คาดว่ารีเลย์จะทำงาน กับเวลาทำงานจริงเพื่อทดสอบความแม่นยำของโปรแกรม และความถูกต้องในการตั้งค่า โดยในการทดลองนี้การทำงานจริงตรงกับค่าที่ตั้งไว้

4.2.3 การจำลองการ Coordinate ในฟังก์ชั่น Over Current ระหว่าง Generator Protection Relay

เครื่องรีเลย์ที่ใช้ในการทดสอบ มีดังนี้

Beckwith : Generator Protection M-3420

GEC Relay Model : KCGG142

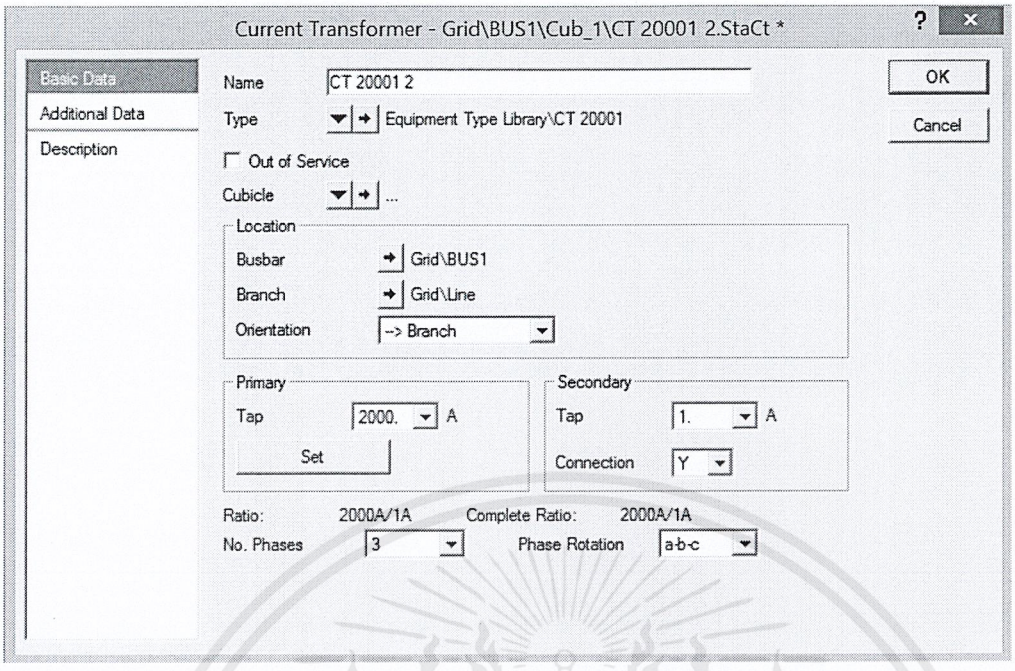
Schweitzer : SEL 751

ABB : REL 670

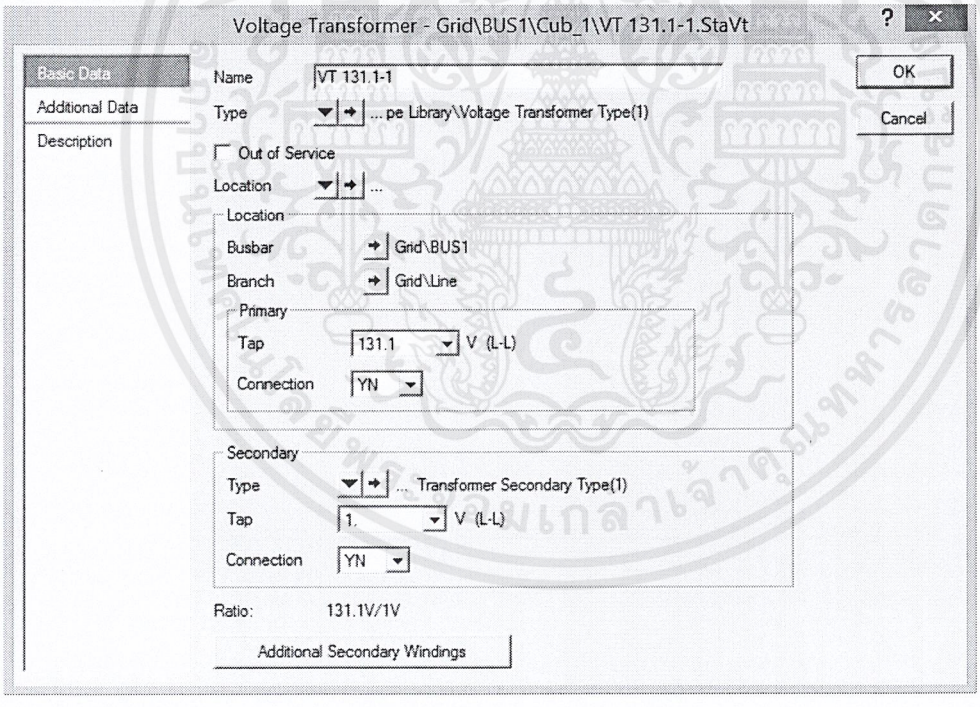
ตารางที่ 4.15 ข้อมูลการตั้งค่า CT , VT Ratio

การตั้งค่าทั่วไป	
อัตราส่วนของ VT.	131.3:1
อัตราส่วนของนิวทรอล VT.	57.5:1
อัตราส่วนของ CT	2000:1
อัตราส่วนของนิวทรอล CT.	1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.103 ตั้งค่าอัตราส่วนของ CT

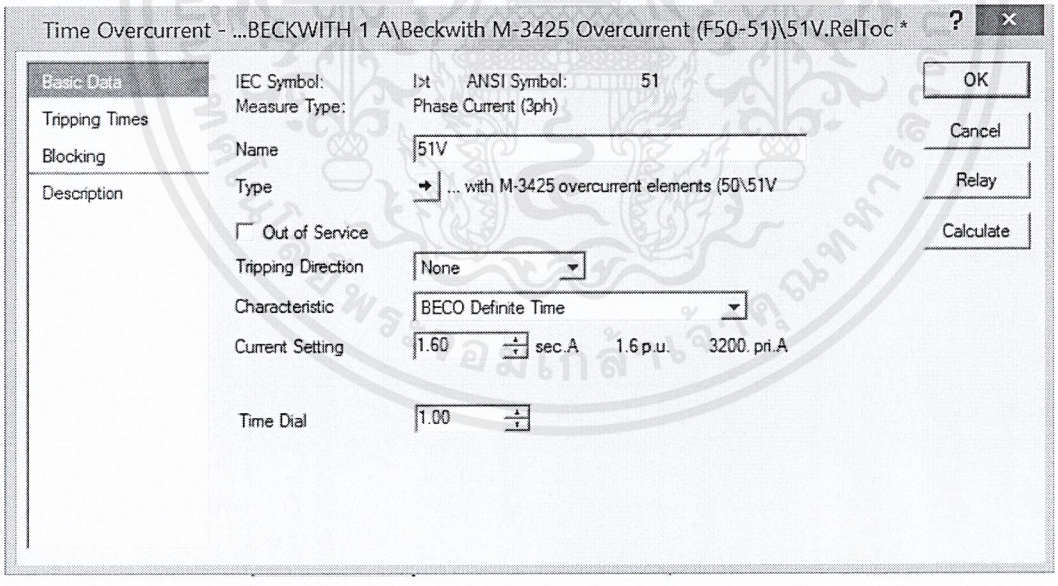


รูปที่ 4.104 ตั้งค่าอัตราส่วนของ VT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

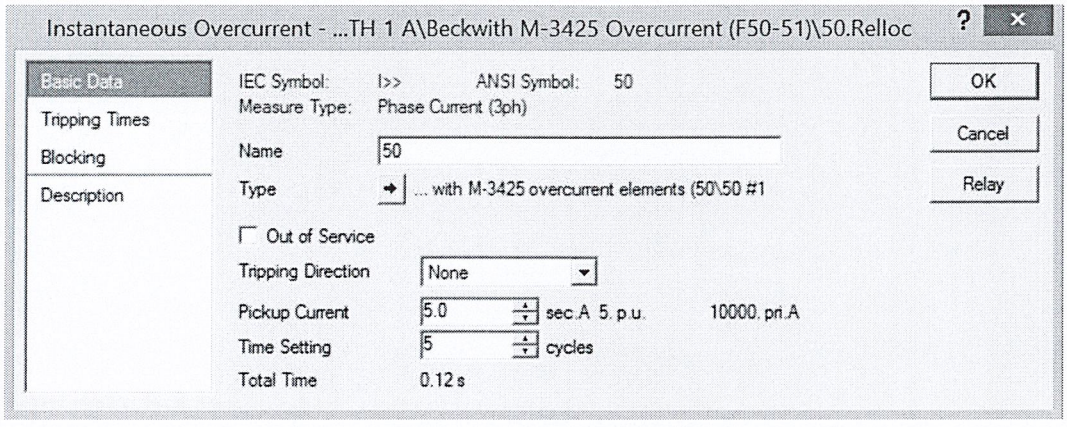
ตารางที่ 4.16 การตั้งค่า Beckwith : Generator Protection M-3420

50 INSTANTANEOUS NEUTRAL OVER CURRENT	
50 Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
50 Relay Output	1
50 Tap	5.0
50 Time Setting	5 cycle
51 INVERSE TIME PHASE OVERCURRENT	
51 Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
51 Relay Output	1
51 Block Input	FL
51 Tap	1.60A
51 Curve	Definite time
51 Time Dial	1.0
51 Voltage Control	ทำได้



รูปที่ 4.105 การตั้งค่า Beckwith : Generator Protection M-3420 หมายเลข (51) Overcurrent, with Voltage Control or Voltage Restraint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.106 การตั้งค่า Beckwith : Generator Protection M-3420 หมายเลข (50) Instantaneous Over Current

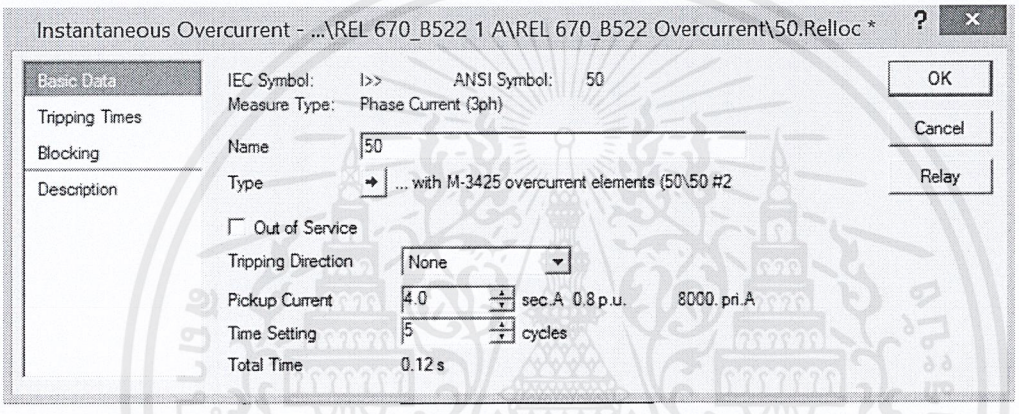
รูปที่ 4.107 กราฟแสดงค่า Over Current Beckwith : Generator Protection M-3420

ตารางที่ 4.17 การตั้งค่า ABB : REL 670

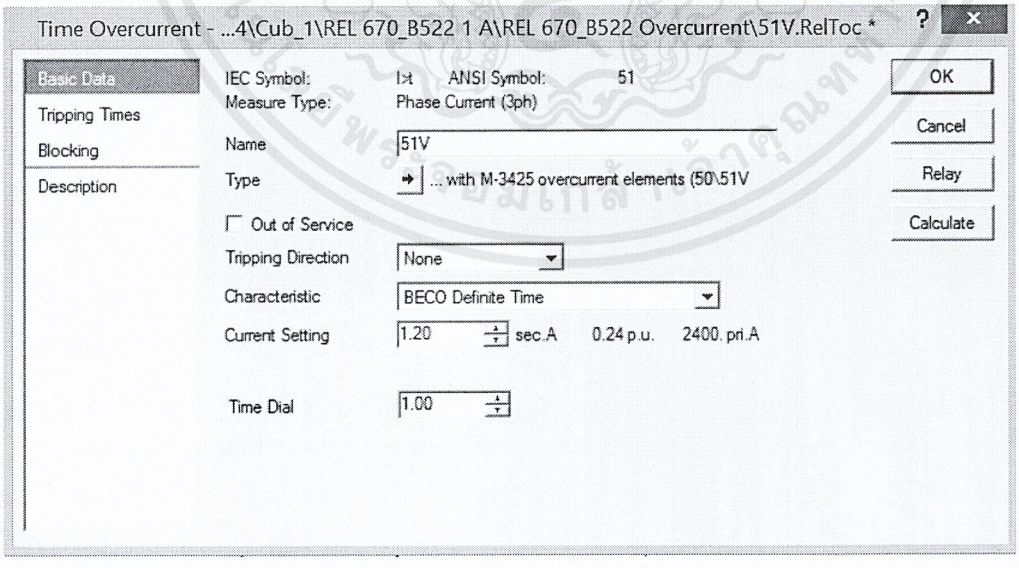
50 INSTANTANEOUS NEUTRAL OVERCURRENT	
50 Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
50 Relay Output	1
50 Tap	4.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50 Time Setting	5 cycle
51 INVERSE TIME PHASE OVERCURRENT	
51 Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
51 Relay Output	1
51 Block Input	FL
51 Tap	1.20A
51 Curve	Definite time
51 Time Dial	1.0

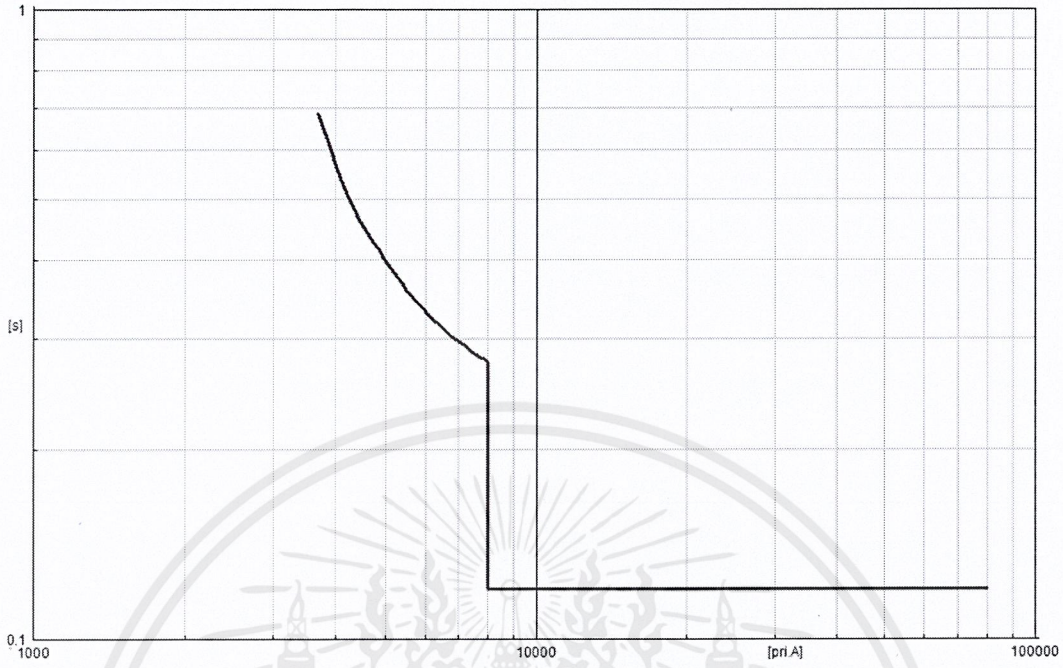


รูปที่ 4.108 การตั้งค่า ABB : REL 670 หมายเลข (50) Instantaneous Over Current



รูปที่ 4.109 การตั้งค่า ABB : REL 670 หมายเลข (51) Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

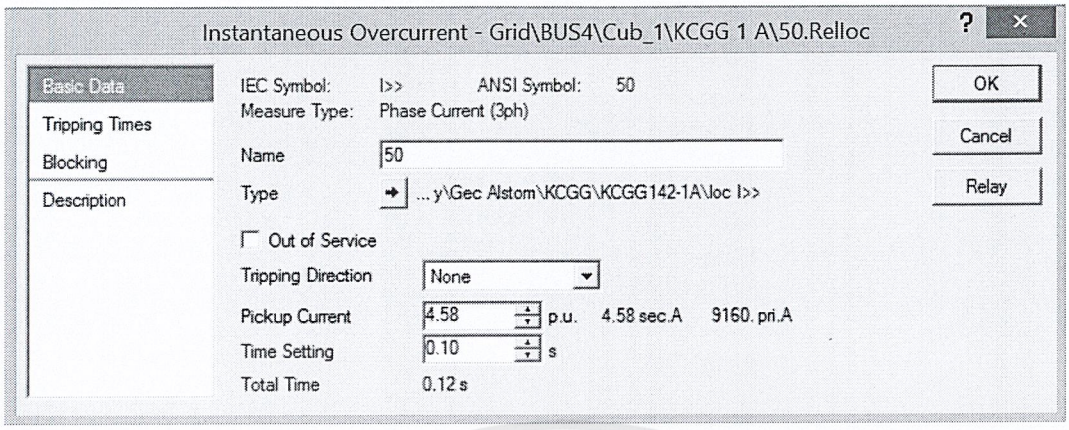


รูปที่ 4.110 กราฟแสดงค่า Over Current ABB : REL 670

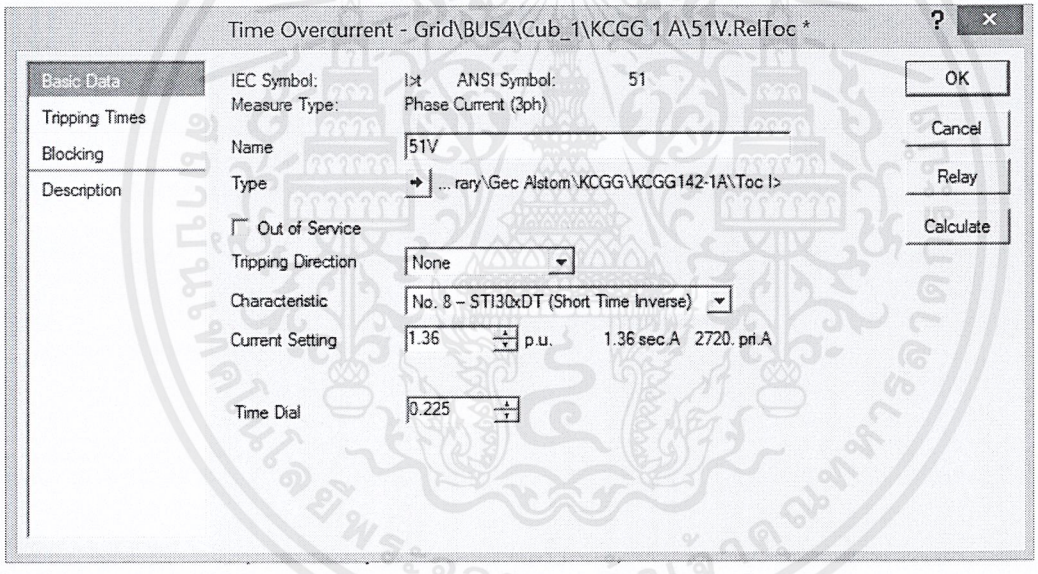
ตารางที่ 4.18 การตั้งค่า GEC Relay Model : KCGG142

50 INSTANTANEOUS NEUTRAL OVERCURRENT	
50 Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
50 Relay Output	1
50 Tap	4.58
50 Time Setting	0.10s
51 INVERSE TIME PHASE OVERCURRENT	
51 Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
51 Relay Output	1
51 Block Input	FL
51 Tap	1.36A
51 Curve	Short time Inverse
51 Time Dial	0.225
51 Voltage Control	ทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

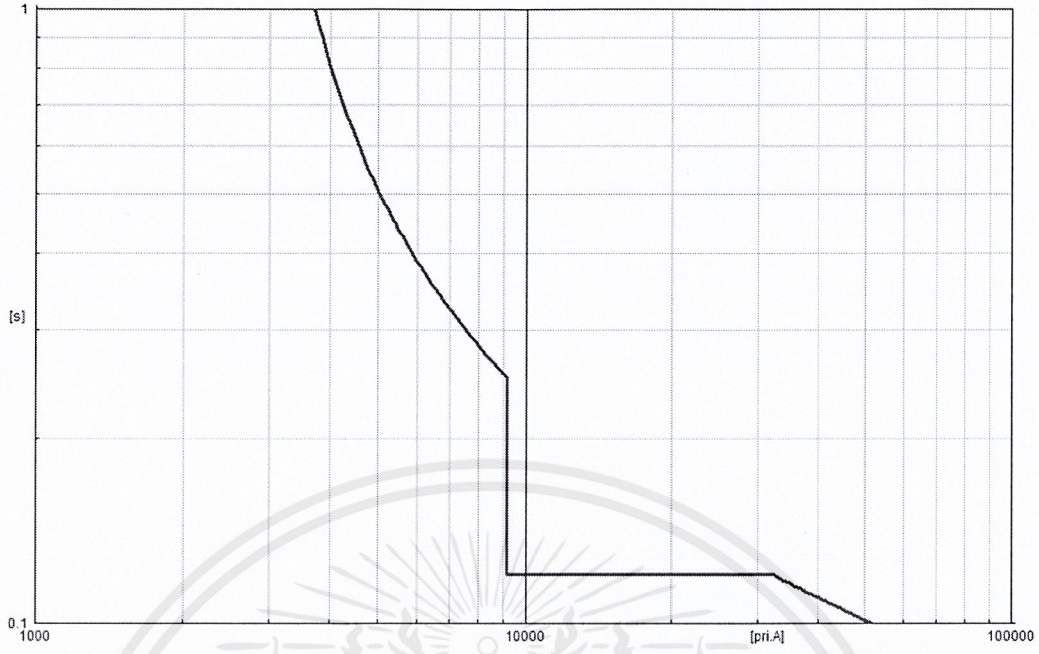


รูปที่ 4.111 การตั้งค่า GEC Relay Model : KCGG142 หมายเลข (50) Instantaneous Over Current



รูปที่ 4.112 การตั้งค่า GEC Relay Model : KCGG142 หมายเลข (51) Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

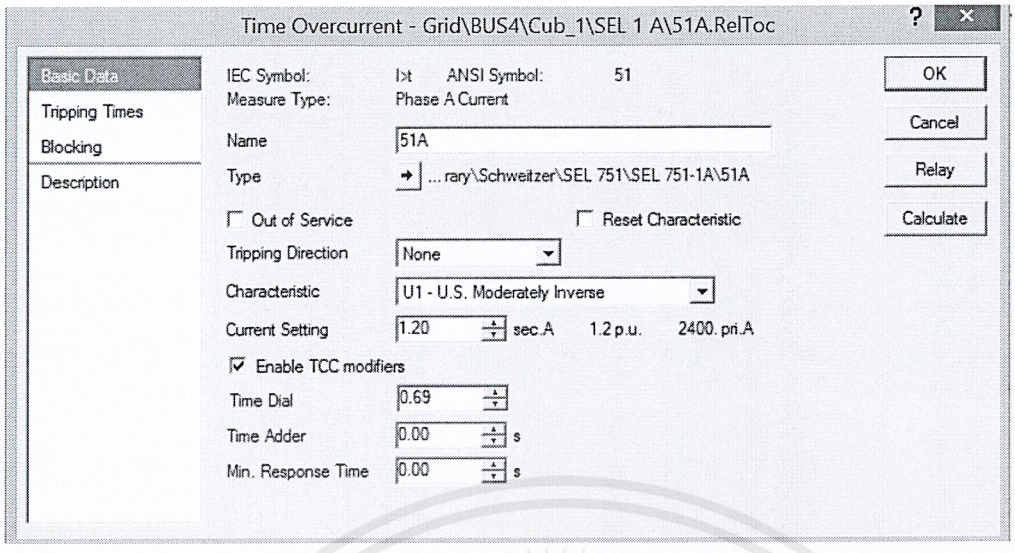


รูปที่ 4.113 กราฟแสดงค่า Over Current ของ GEC Relay Model : KCGG142

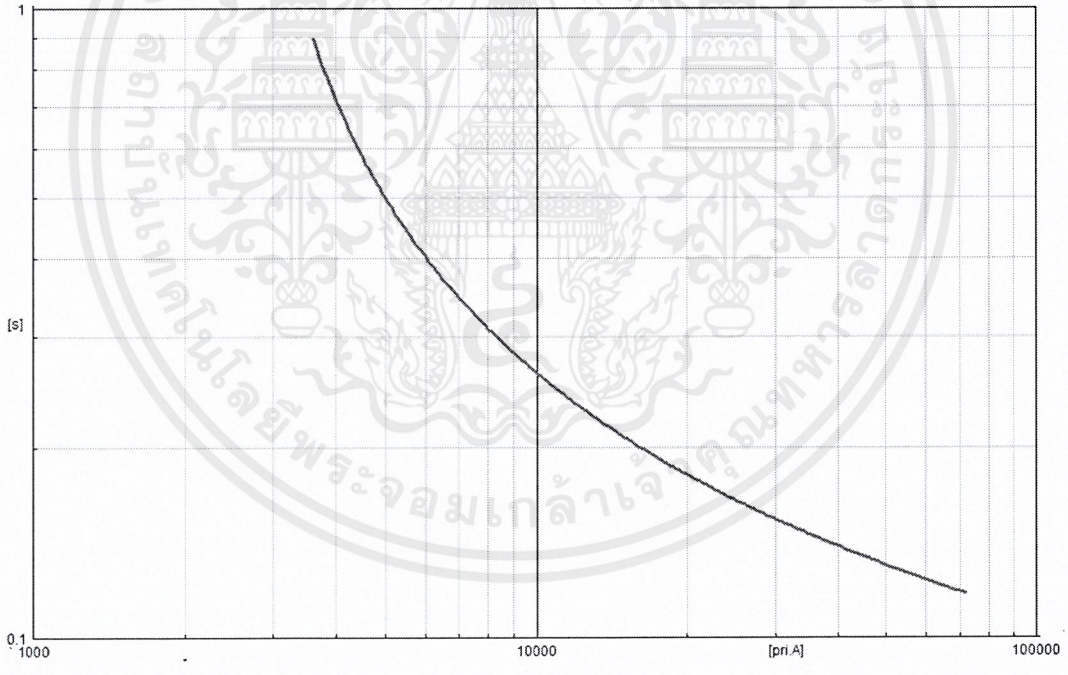
ตารางที่ 4.19 การตั้งค่า Schweitzer : SEL 751

51 INVERSE TIME PHASE OVERCURRENT	
51 Enable/Disable	เปิดการใช้งาน
51 Relay Output	1
51 Block Input	FL
51 Tap	1.20A
51 Curve	Moderately Inverse
51 Time Dial	0.69
51 Voltage Control	ทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

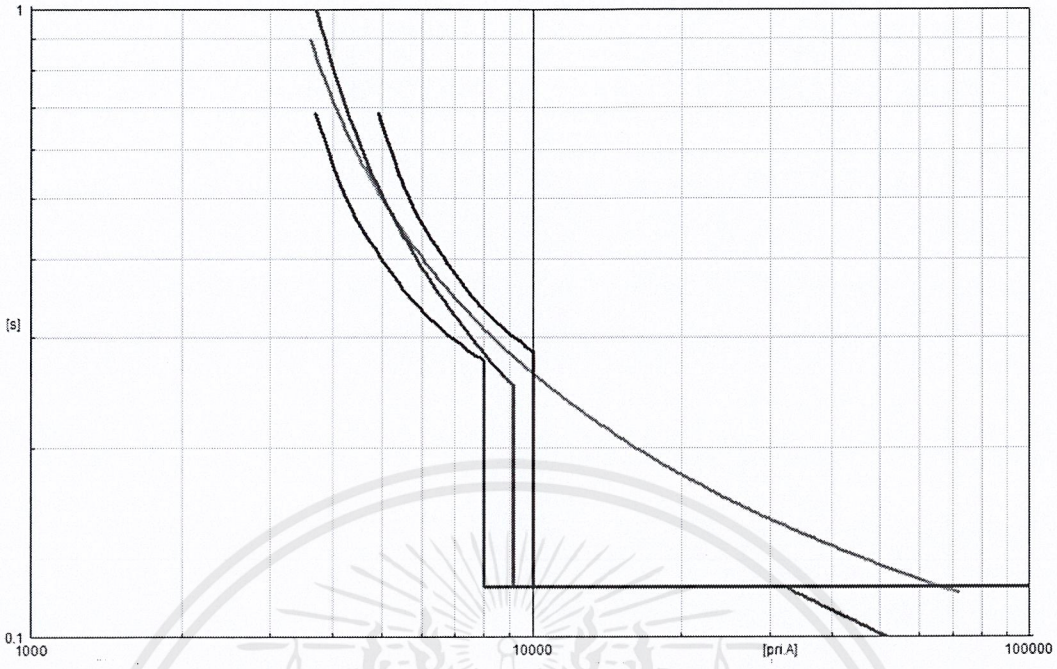


รูปที่ 4.114 การตั้งค่า Schweitzer : SEL 751 หมายเลข (51) Over Current, with Voltage Control or Voltage Restraint



รูปที่ 4.115 กราฟแสดง Over Current ของ Schweitzer : SEL 751

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.116 กราฟแสดงการ Coordinate ในหมายเลข Over Current

Beckwith : Generator Protection M-3420	สีดำ
GEC Relay Model : KCGG142	สีแดง
Schweitzer : SEL 751	สีน้ำตาล
ABB : REL 670	สีน้ำเงิน

Protection Settings (Over-/Undercurrent)

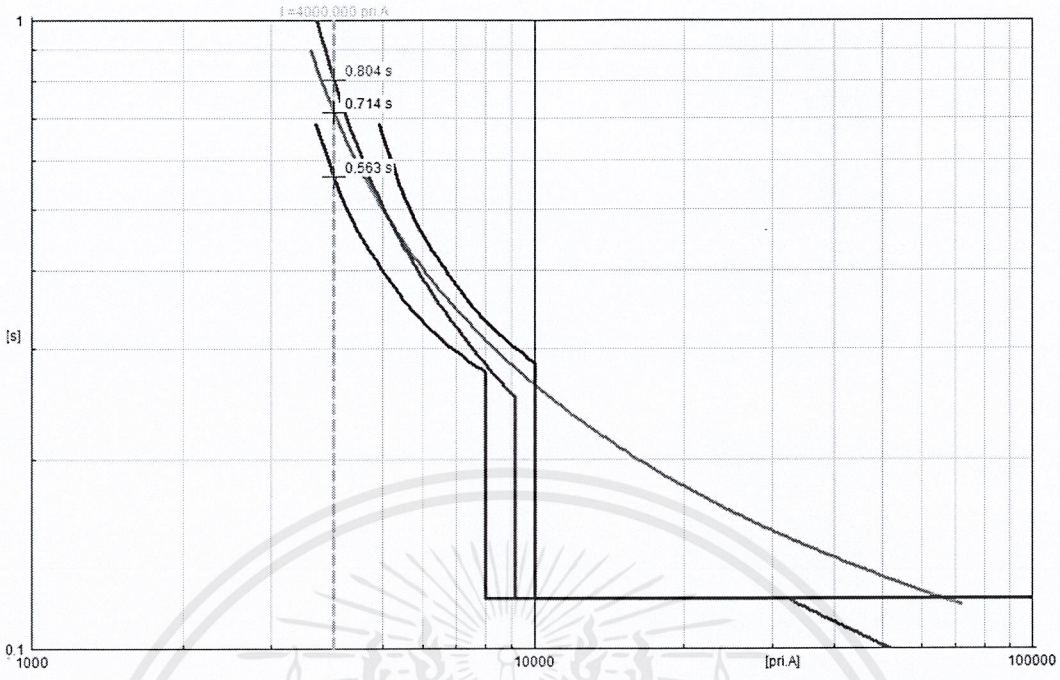
Project: Study Case — Time over: Study Case

	Protection Device	Location	Branch	Manufacturer	Model	Stage (Phase)	Current [pri.A]	Current [sec.A]	Current [p.u.]	Time	Characteristic	Directional
▶ 1	ABB 1 A	BUS1	Line	Beckwith	M-3425 5 A	51V	2220	1.11	0.22	1.00	BECO Definite T	None
						50 #2	8000	4.00	0.80	0.10	Definite	None
2	BECKWITH 1 A	BUS1	Line	Beckwith	M-3425 1 A	51V	3200	1.60	1.60	1.00	BECO Definite T	None
						50	10000	5.00	5.00	0.10	Definite	None
3	KCGG 1 A	BUS1	Line	Alstom	KCGG142-1A	51V	2720	1.36	1.36	0.22	No. 8 -- STI30x[	None
						50	9160	4.58	4.58	0.10	Definite	None
4	SEL 1 A	BUS1	Line	SEL	SEL 751-1A	51A	2400	1.20	1.20	0.69	U1 - U.S. Moder	None

Ln 1 | 7 Line(s) of 7 | 1 Line(s) selected

รูปที่ 4.117 แสดงค่าการ Coordinate ในหมายเลข Over Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

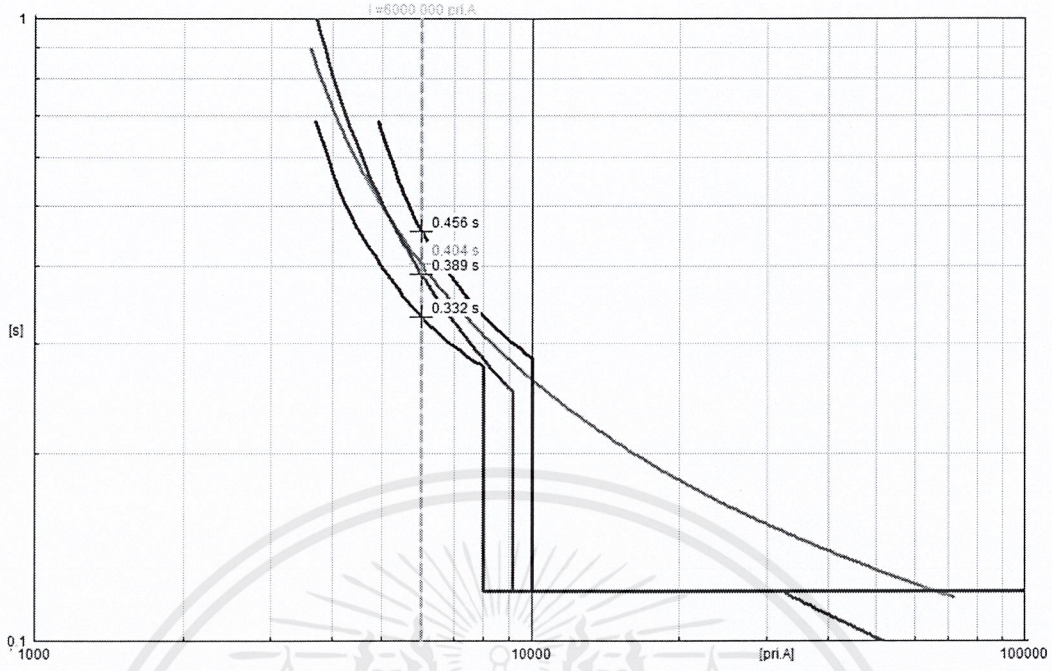


รูปที่ 4.118 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 4 kA

ตารางที่ 4.20 เวลาการทำงานของรีเลย์ ที่กระแสระดับ 4 kA

ชื่อรีเลย์	เวลาการทำงาน
Beckwith (สีดำ)	-
Schweitzer (สีน้ำตาล)	0.714 s
GEC (สีแดง)	0.804 s
ABB (สีน้ำเงิน)	0.563 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

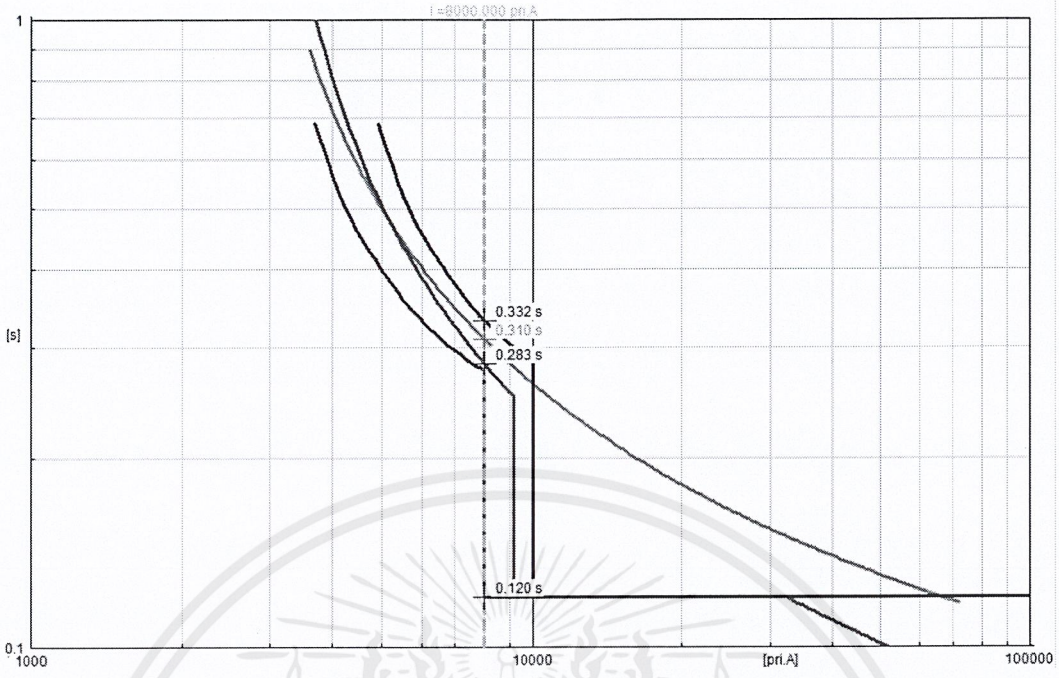


รูปที่ 4.119 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 6 kA

ตารางที่ 4.21 เวลาการทำงานของรีเลย์ ที่กระแสระดับ 6 kA

ชื่อรีเลย์	เวลาการทำงาน
Beckwith (สีดำ)	0.456 s
Schweitzer (สีน้ำตาล)	0.404 s
GEC (สีแดง)	0.389 s
ABB (สีน้ำเงิน)	0.332 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

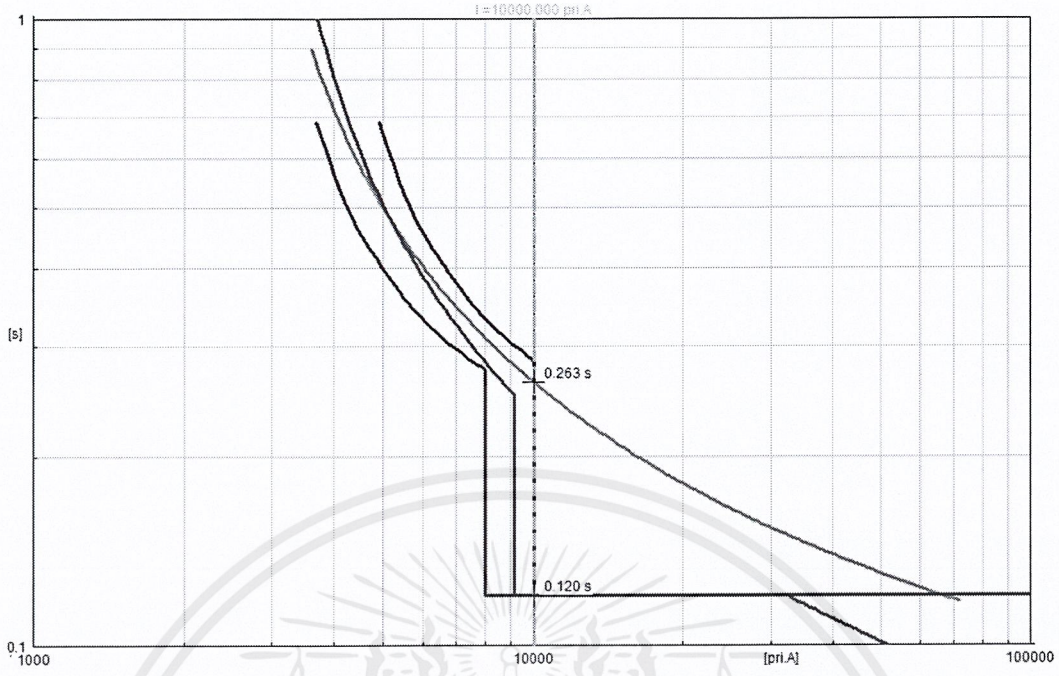


รูปที่ 4.120 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 8 kA

ตารางที่ 4.22 เวลาการทำงานของรีเลย์ ที่กระแสระดับ 8 kA

ชื่อรีเลย์	เวลาการทำงาน
Beckwith (สีดำ)	0.332 s
Schweitzer (สีน้ำตาล)	0.310 s
GEC (สีแดง)	0.283 s
ABB (สีน้ำเงิน)	0.120 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.121 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 10 kA

ตารางที่ 4.23 เวลาการทำงานของรีเลย์ ที่กระแสระดับ 10 kA

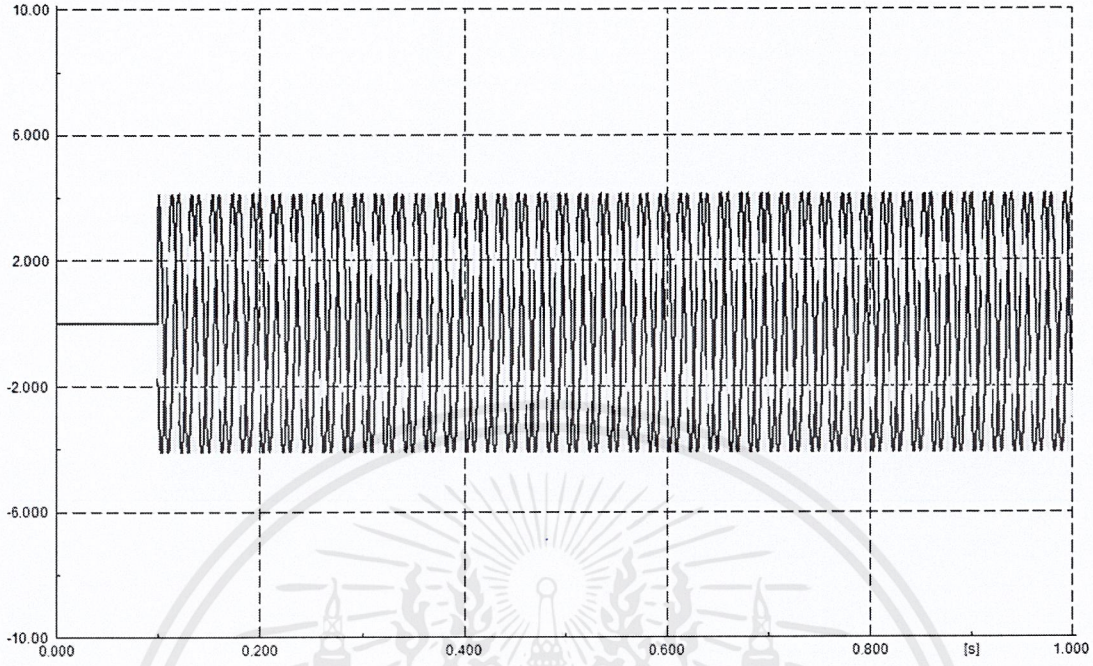
ชื่อรีเลย์	เวลาการทำงาน
Beckwith (สีดำ)	0.120 s
Schweitzer (สีน้ำตาล)	0.263 s
GEC (สีแดง)	0.120 s
ABB (สีน้ำเงิน)	0.120 s

ตารางที่ 4.24 เวลาการทำงานของรีเลย์ ที่กระแสระดับต่างๆ

ชื่อรีเลย์	เวลาการทำงาน ที่กระแสระดับต่างๆ			
	4 kA	6 kA	8 kA	10 kA
Beckwith (สีดำ)	-	0.456 s	0.332 s	0.120 s
Schweitzer (สีน้ำตาล)	0.714 s	0.404 s	0.310 s	0.263 s
GEC (สีแดง)	0.804 s	0.389 s	0.283 s	0.120 s
ABB (สีน้ำเงิน)	0.563 s	0.332 s	0.120 s	0.120 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.1 ที่กระแส 4 kA



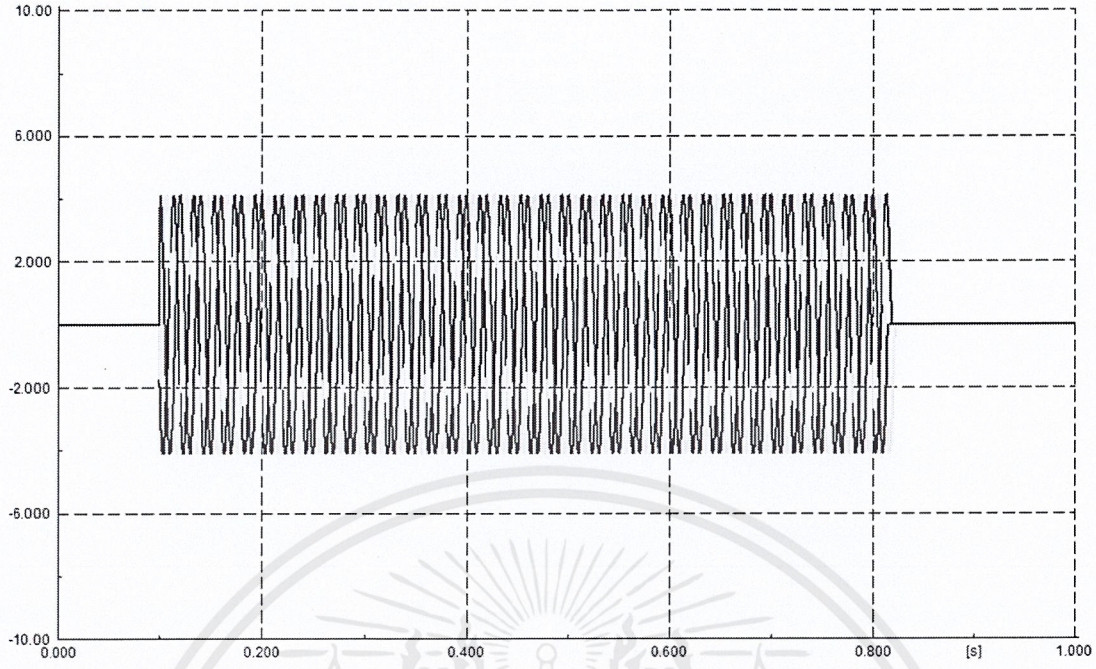
รูปที่ 4.122 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.123 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA

จะเห็นได้ว่ารีเลย์ Beckwith : M-3420 ไม่ได้ทำงานตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ เนื่องจากที่ค่ากระแส 4 kA รีเลย์จะต้องไม่ทำงานจากกราฟและตารางข้างต้น จึงสรุปได้ว่า ที่กระแส 4 kA รีเลย์จะไม่ทำงาน ซึ่งตรงกับที่ตั้งค่าไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



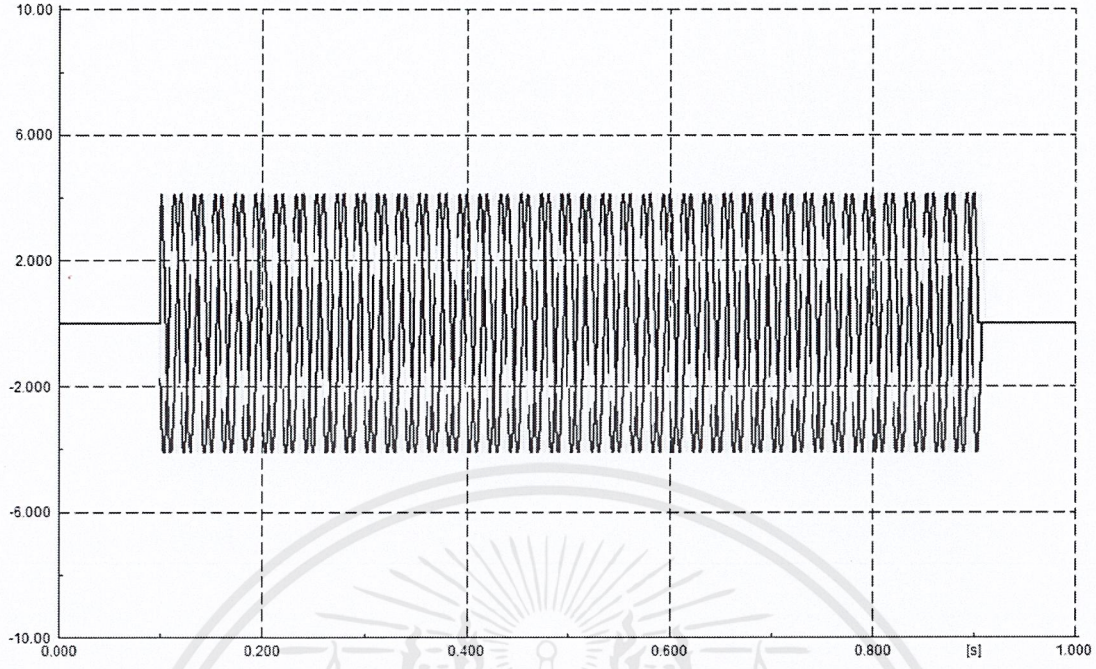
รูปที่ 4.124 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.81 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.125 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.81 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.71 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



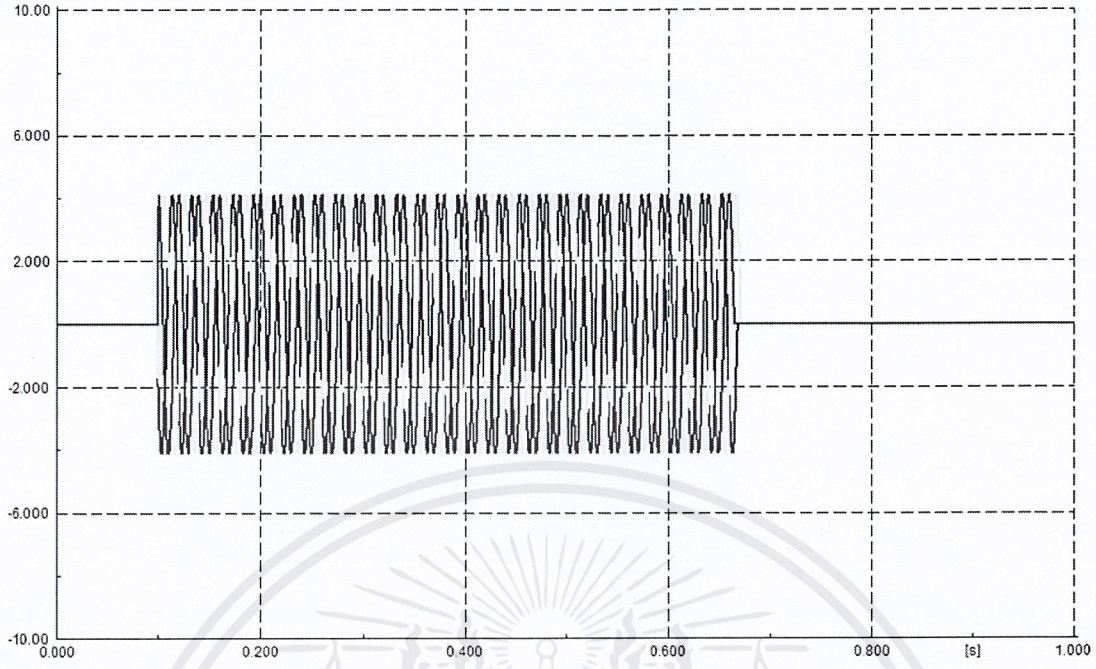
รูปที่ 4.126 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.90 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.127 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.90 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.8 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.128 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ ABB : REL 67 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA

Asynchronous Motors		Grid Identification		Short-Circuit Duration	
Always Considered		Automatic		Break Time	0.10 s
				Fault Clearing Time (Ith)	0.66 s
Decaying Aperiodic Component (idc)		Conductor Temperature		c-Voltage Factor	
Using Method	B	User Defined	No	User Defined	No

รูปที่ 4.129 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 4 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.66 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.56 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

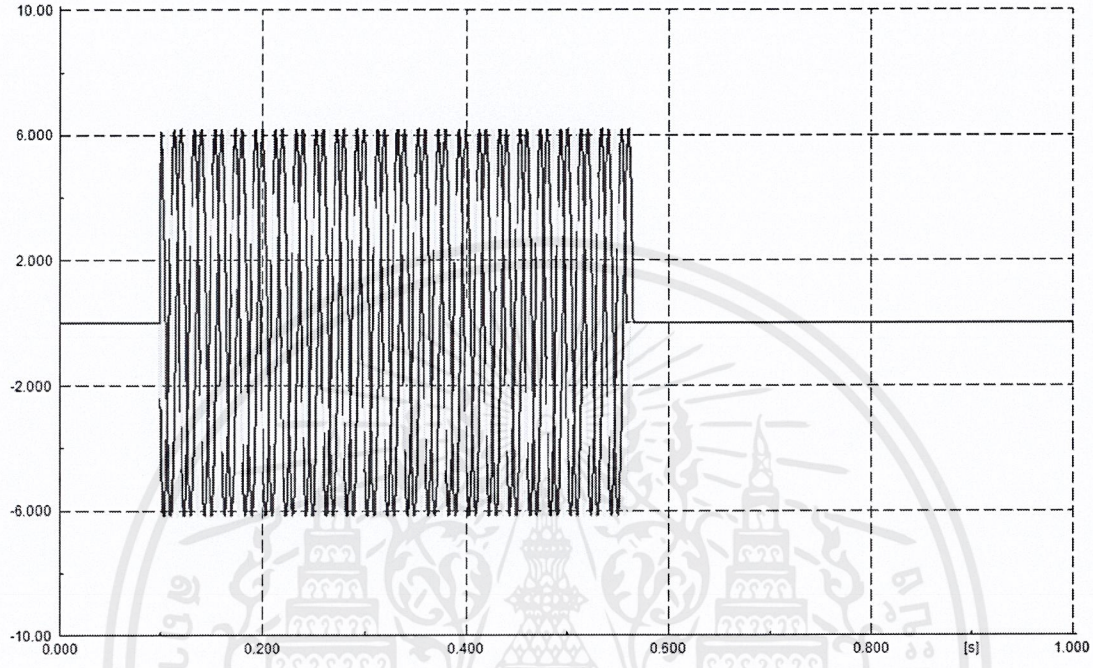
ตารางที่ 4.25 แสดงค่าลำดับการทำงานของรีเลย์ และเวลาที่รีเลย์ทำงาน ที่กระแส 4 kA

ลำดับการทำงาน	ชื่อรีเลย์	เวลาที่รีเลย์ทำงาน
1	ABB : REL 670	0.563
2	Schweitzer : SEL 751	0.714
3	GEC : KCGG142	0.804
4	Beckwith : M-3420	ไม่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าในระดับกระแส 4 kA รีเลย์ ABB : REL 670 จะทำงานก่อนเป็น Primary Relay ถ้ารีเลย์ลำดับที่ 1 ไม่ทำงาน รีเลย์ลำดับที่ 2 และ 3 จะทำหน้าที่เป็น Backup Relay

4.2.3.2 ที่กระแส 6 kA



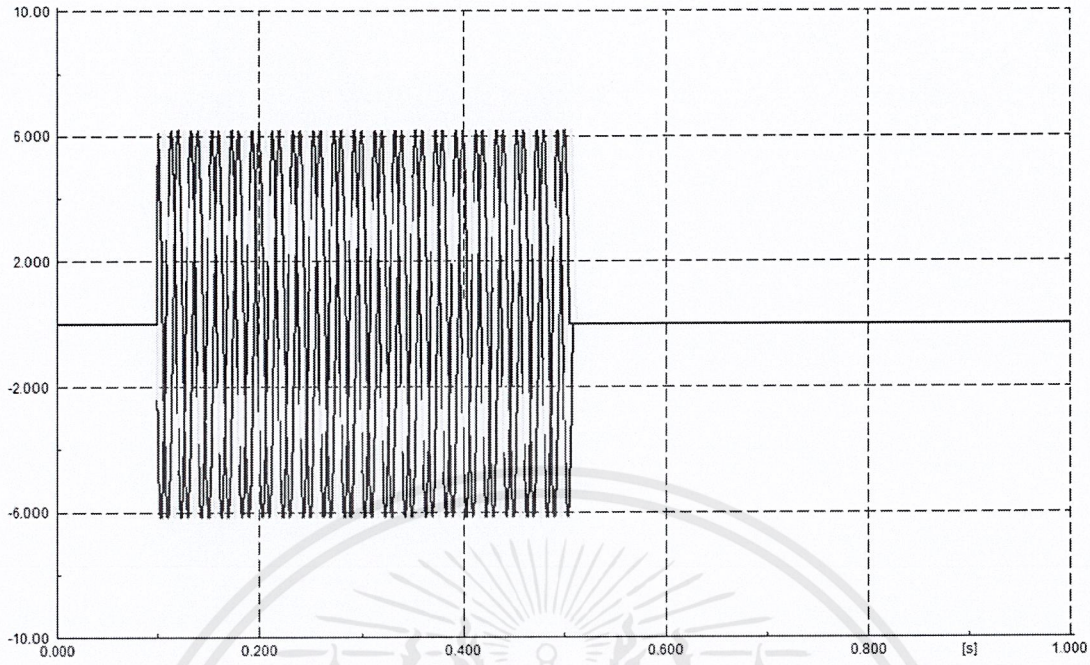
รูปที่ 4.130 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.56 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.131 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.56 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.46 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



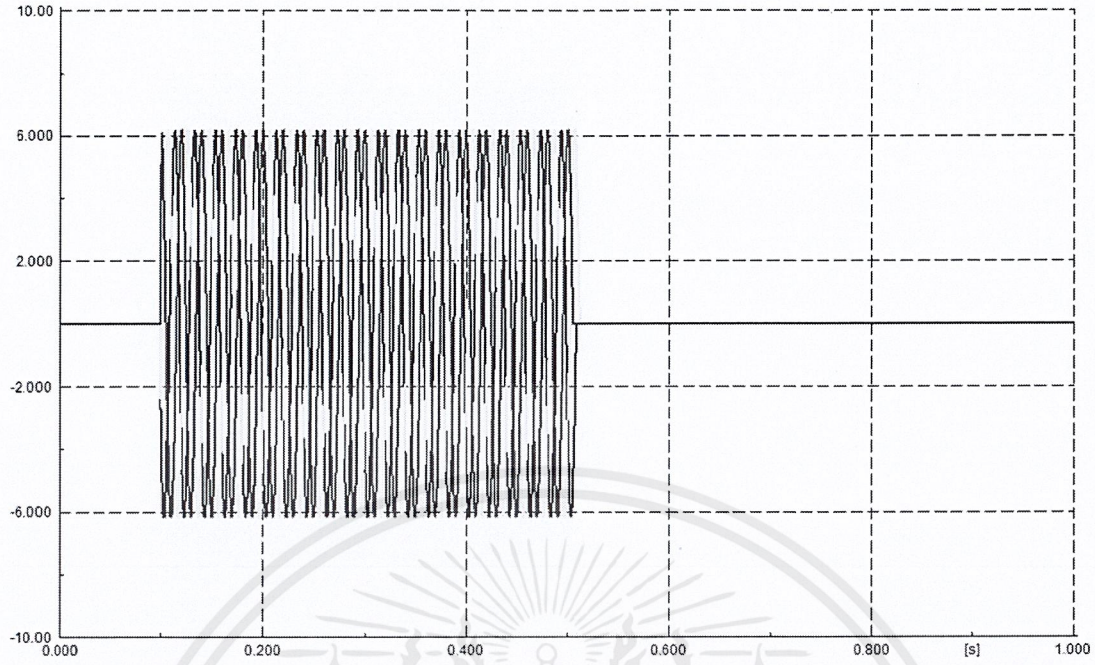
รูปที่ 4.132 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.50 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.133 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.50 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.40 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



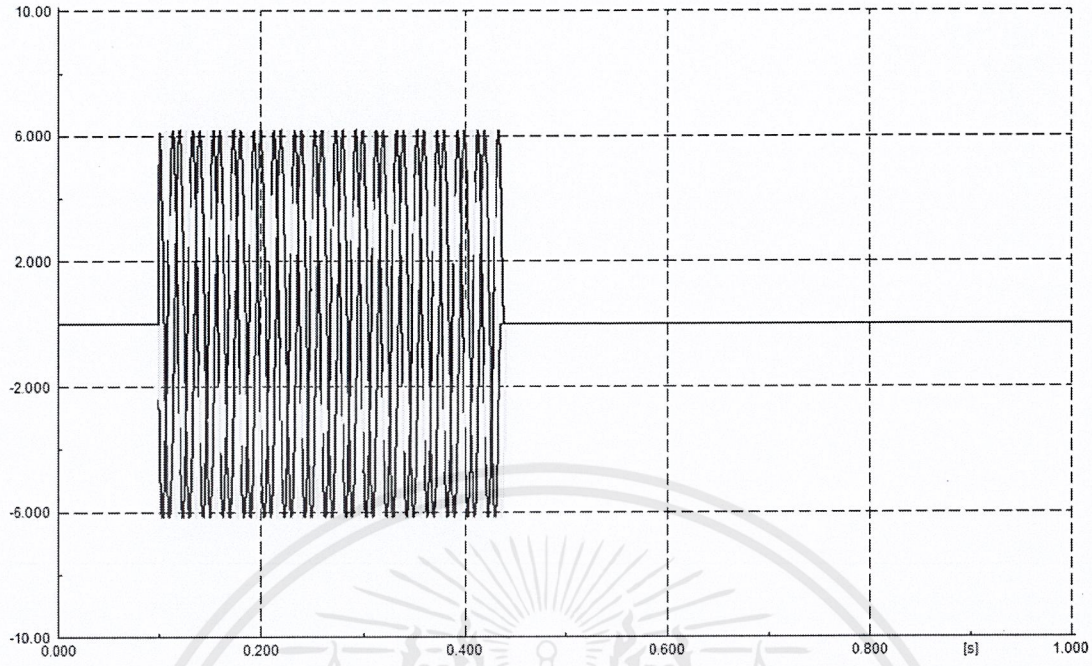
รูปที่ 4.134 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.49 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.135 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.49 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.39 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.136 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.43 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.137 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Timeของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 6 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.43 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.33 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

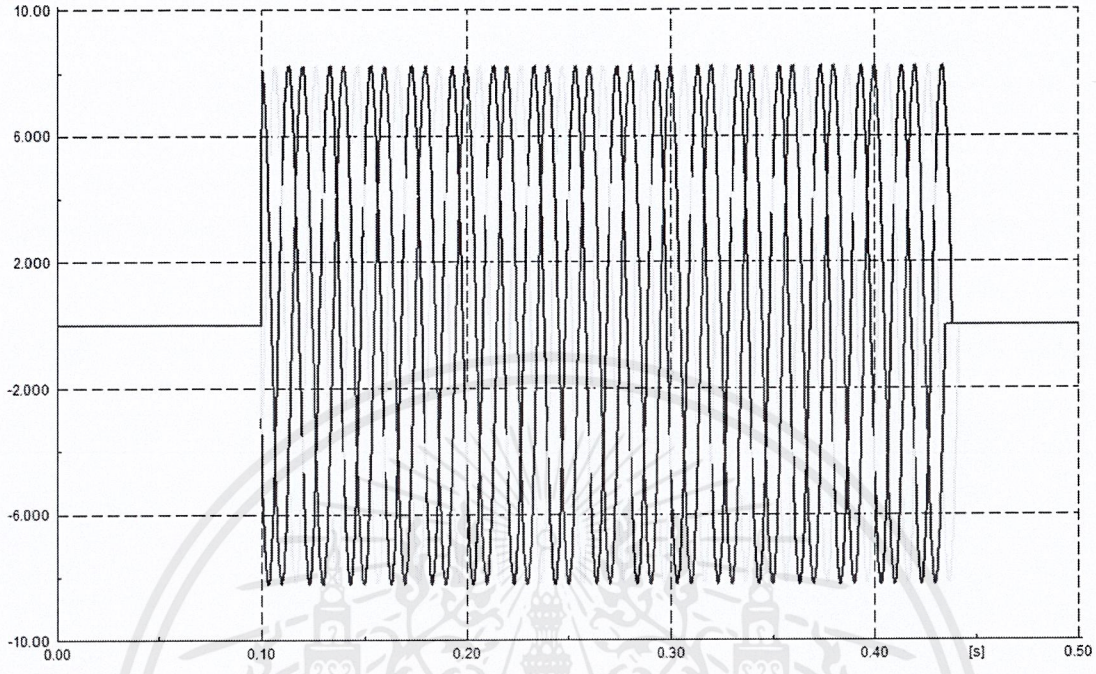
ตารางที่ 4.26 แสดงค่าลำดับการทำงานของรีเลย์ และเวลาที่รีเลย์ทำงาน ที่กระแส 6 kA

ลำดับการทำงาน	ชื่อรีเลย์	เวลาที่รีเลย์ทำงาน
1	ABB : REL 670	0.332
2	GEC : KCGG142	0.389
3	Schweitzer : SEL 751	0.404
4	Beckwith : M-3420	0.456

จะเห็นได้ว่าในระดับกระแส 6 kA รีเลย์ ABB : REL 670 จะทำงานก่อนเป็น Primary Relay ถ้ารีเลย์ลำดับที่ 1 ไม่ทำงาน รีเลย์ลำดับที่ 2 และ 3 จะทำหน้าที่เป็น Backup Relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.3 ที่กระแส 8 kA



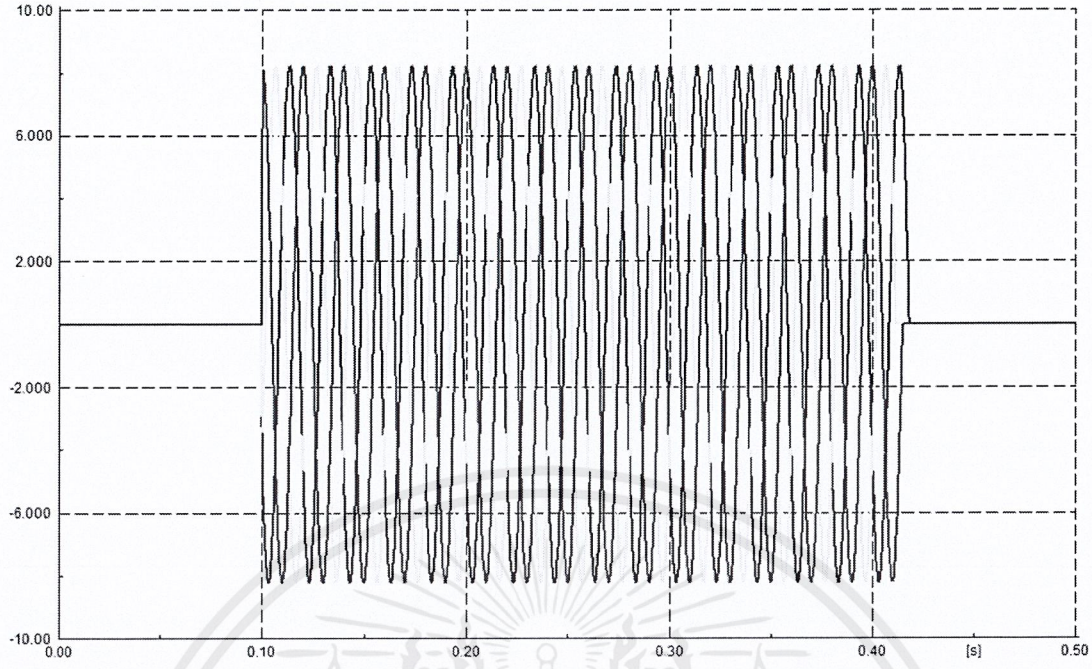
รูปที่ 4.138 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.43 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.139 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.53วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.43 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



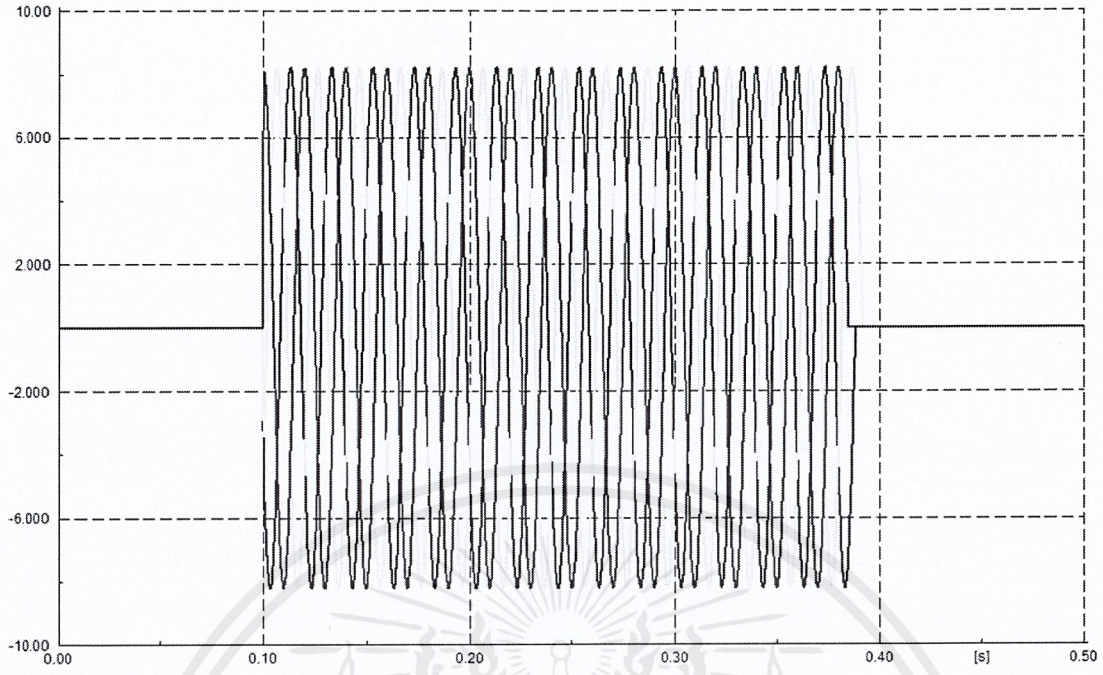
รูปที่ 4.140 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.41 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.141 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.41 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.31 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



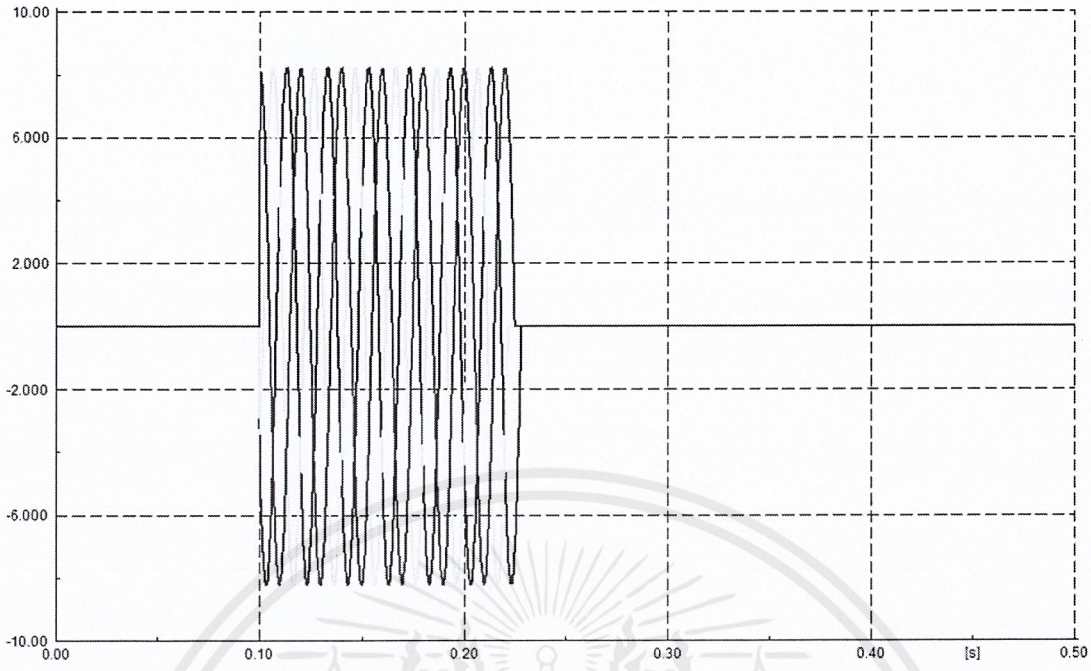
รูปที่ 4.142 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.38 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.143 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.38วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.28 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.144 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.22 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.145 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Timeของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 8 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.22 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.12 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

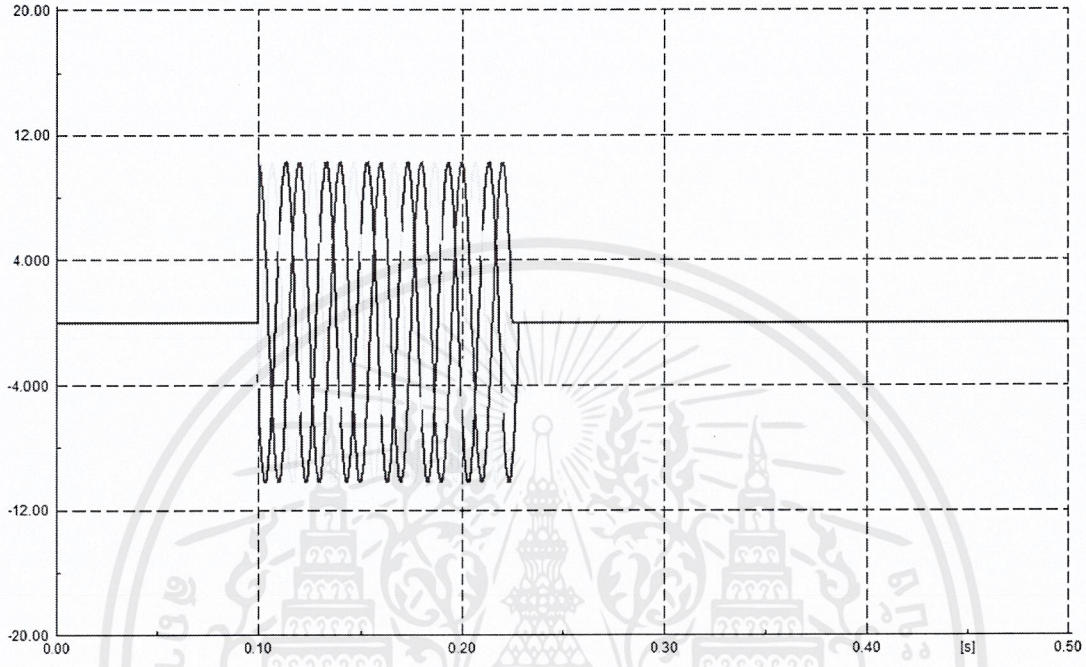
ตารางที่ 4.27 แสดงค่าลำดับการทำงานของรีเลย์ และเวลาที่รีเลย์ทำงาน ที่กระแส 8 kA

ลำดับการทำงาน	ชื่อรีเลย์	เวลาที่รีเลย์ทำงาน
1	ABB : REL 670	0.120
2	GEC : KCGG142	0.283
3	Schweitzer : SEL 751	0.310
4	Beckwith : M-3420	0.332

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าในระดับกระแส 8 kA รีเลย์ ABB : REL 670 จะทำงานก่อนเป็น Primary Relay ถ้ารีเลย์ลำดับที่ 1 ไม่ทำงาน รีเลย์ลำดับที่ 2 และ 3 จะทำหน้าที่เป็น Backup Relay

4.2.3.4 ที่กระแส 10 kA



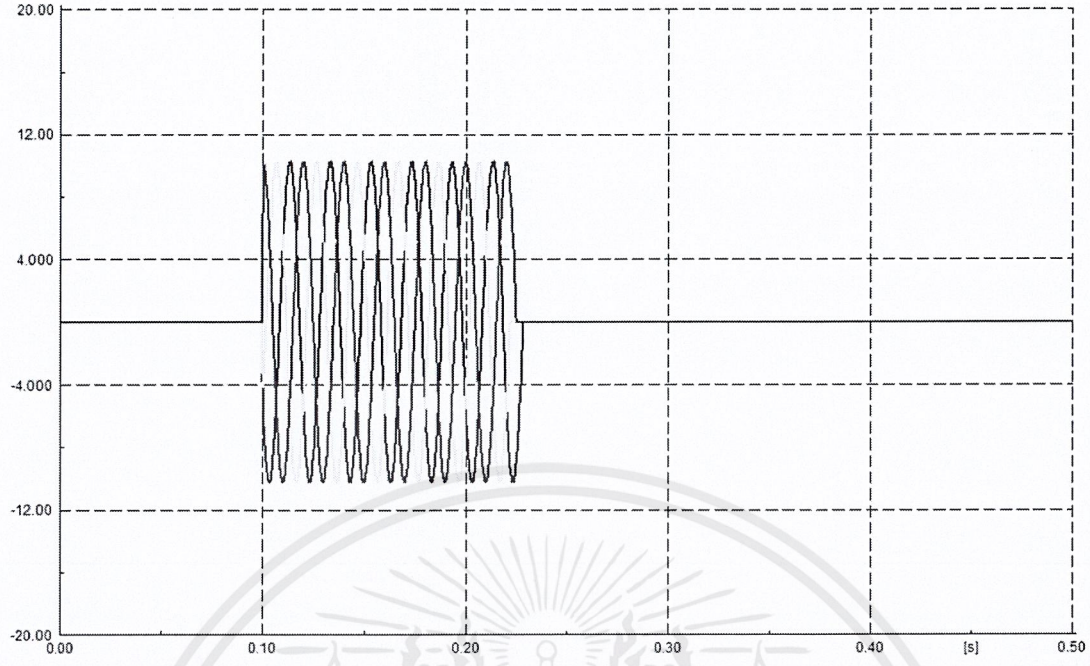
รูปที่ 4.146 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.22 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.147 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Beckwith : M-3420 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.22 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.12 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



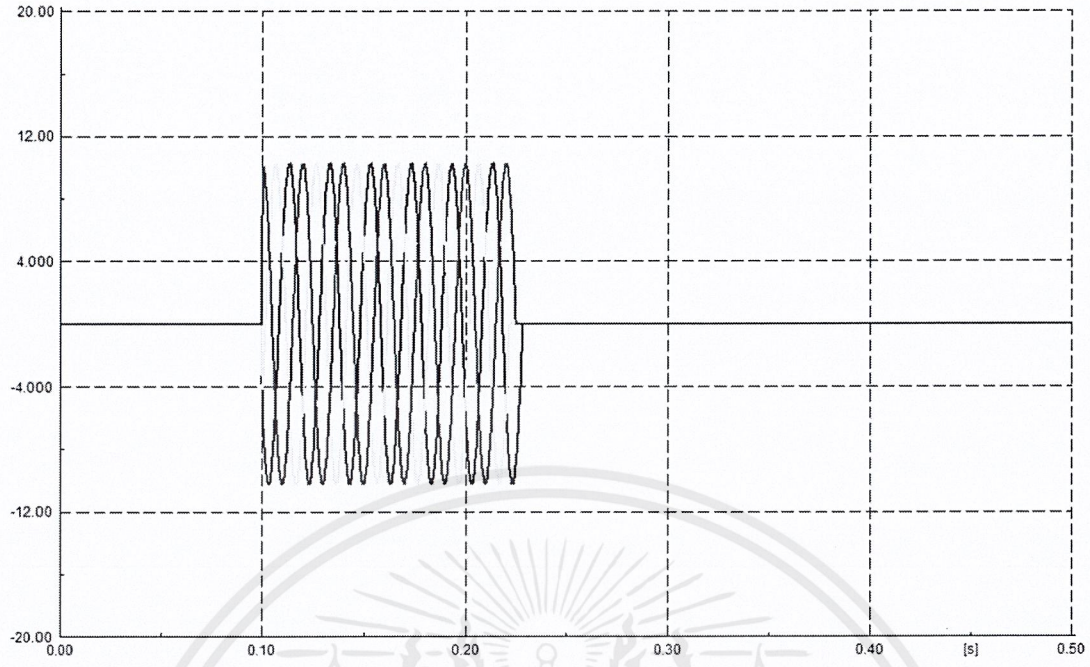
รูปที่ 4.148 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA

Fault Locations with Feeders Short-Circuit Calculation / Method : IEC 60909		3-Phase Short-Circuit / Max. Short-Circuit Currents
Asynchronous Motors Always Considered	Grid Identification Automatic	Short-Circuit Duration Break Time 0.10 s Fault Clearing Time (Ith) 0.36 s
Decaying Aperiodic Component (idc) Using Method B	Conductor Temperature User Defined No	c-Voltage Factor User Defined No

รูปที่ 4.149 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ Schweitzer : SEL 751 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.36วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.26 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



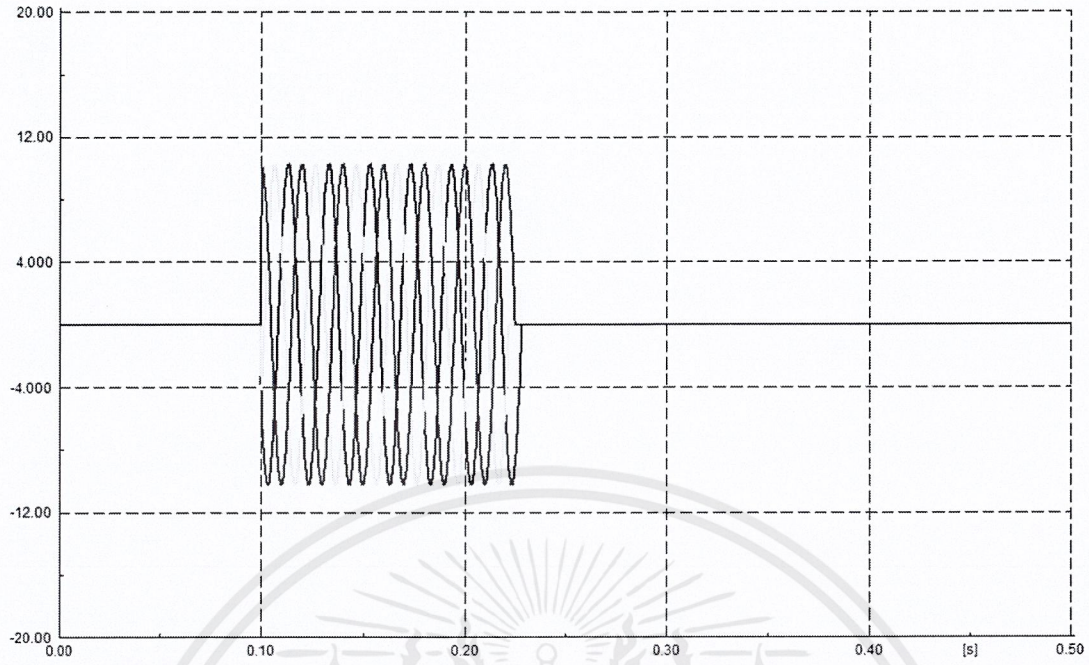
รูปที่ 4.150 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.22 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.151 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Time ของ GEC : KCGG142 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.22 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.12 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.152 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA

Asynchronous Motors	Grid Identification	Short-Circuit Duration
Always Considered	Automatic	Break Time 0.10 s
		Fault Clearing Time (Ith) 0.22 s
Decaying Aperiodic Component (idc)	Conductor Temperature	c-Voltage Factor
Using Method B	User Defined No	User Defined No

รูปที่ 4.153 แสดงค่า Break Time และ Fault Clearing Timeของ ABB : REL 670 เมื่อจ่ายกระแส 10 kA

จากกราฟและข้อมูลที่ออกมา แสดงให้เห็นว่ามีกระแส Short Circuit เกิดขึ้นที่ 0.1 วินาที และกำจัดได้ที่ 0.22 วินาที นับเป็นเวลาที่ Short Circuit ทั้งหมด 0.12 วินาที ซึ่งตรงกับค่าที่ตั้งไว้

ตารางที่ 4.28 แสดงค่าลำดับการทำงานของรีเลย์ และเวลาที่รีเลย์ทำงาน ที่กระแส 10 kA

ลำดับการทำงาน	ชื่อรีเลย์	เวลาที่รีเลย์ทำงาน
1	ABB : REL 670	0.12
	GEC : KCGG142	
	Beckwith : M-3420	
2	Schweitzer : SEL 751	0.263

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าในระดับกระแส 10 kA รีเลย์ ABB : REL 670 , GEC : KCGG142 และ Beckwith : M-3420 จะทำงานก่อนเป็น Primary Relay ถ้ารีเลย์ลำดับที่ 1 ไม่ทำงาน รีเลย์ลำดับที่ 2 Schweitzer : SEL 751 จะทำหน้าที่เป็น Backup Relay

สรุป การการจำลองการ Coordinate ในฟังก์ชั่น Over Currentระหว่าง Generator Protection Relay เป็นแสดงว่าเมื่อกระแสถึงจุดๆต่างๆ รีเลย์จะทำการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบตามเวลาที่ตั้งไว้ โดยที่เวลาที่น้อยกว่ารีเลย์นั้นจะเป็นรีเลย์ Primary Relay และถัดจากไปจะเป็น Back Up Relay เผื่อเวลา Primary Relay เกิดปัญหาไม่ทำงาน จะมี Back up Relay เข้ามาช่วยทำงานแทน โดยการเลือกรีเลย์ควรเลือกรีเลย์ที่ต่างยี่ห้อ หรือต่างรุ่นกันเนื่องจากจะมีโอกาสน้อยกว่ามีรีเลย์จะขัดข้องพร้อมๆกัน ทั้งนี้ผู้ใช้งานรีเลย์ควรหมั่นเช็คสภาพและการทำงานของฟังก์ชั่นการทำงานของรีเลย์บ่อยๆ เพื่อลดโอกาสที่รีเลย์จะขัดข้อง และเพื่อเพิ่มความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า

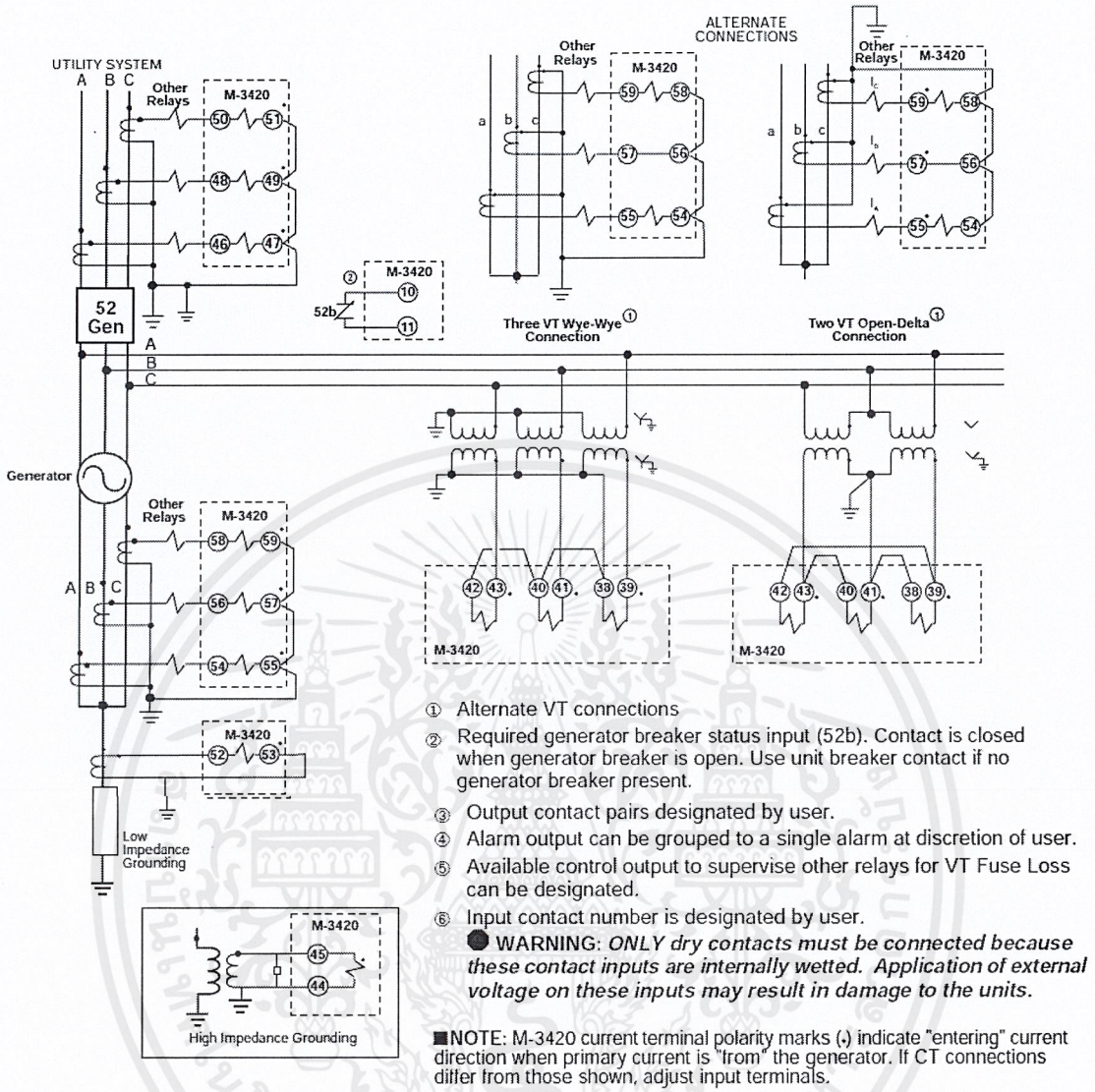
4.3 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.3.1 การต่อวงจรที่ใช้สำหรับการทดสอบ

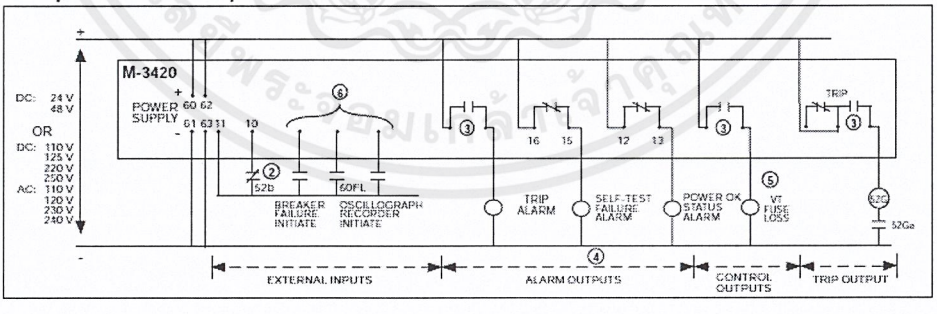
รูปที่ 4.154 รีเลย์ป้องกันที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1. Power Supply 2. รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Protection M-3420) 3. CMC 356 (OMICRON) 4. คอมพิวเตอร์สำหรับทดสอบโปรแกรม Test Universe software

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Example of Control / Output Connections



รูปที่ 4.155 การต่อวงจรสำหรับรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการต่อวงจรทดสอบตามรูปที่ 4.155

2. ตรวจสอบข้อมูล Instruction Book (M-3420 Generator Protection) ซึ่งเป็นพื้นฐานของการทดสอบรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในรีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3. ทำการทดสอบฟังก์ชันต่างๆ ในรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น Volt/Hz, Under voltage, Under Frequency และ Over Current เป็นต้น

4. หลังจากนั้นดูค่าจากคอมพิวเตอร์ และจดบันทึกค่าลงในฟังก์ชันที่ทำการทดสอบลงในตาราง

4.3.3 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.29 ข้อมูลของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ผู้ผลิต : BECKWITH ELECTRIC
หมายเลขสินค้า : M3420#2745
รหัสสินค้า : 1244
ความถี่ : 50Hz
ระดับกระแสไฟฟ้า : 5A
ระดับแรงดันไฟฟ้า : 60-140V
แรงดันไฟฟ้า : 85-265V_{ac} และ 80-288V_{dc}

หัวข้อการทดสอบ	รายละเอียด	รูปแบบการทดสอบตามหน้าของเอกสาร	ผลการทดสอบ	เพิ่มเติม
0	ข้อมูลทางเทคนิค / เช็ค / เครื่องทดสอบ	1		
1	การออกแบบและการตรวจสอบภาพ	2-6		
	-ทดสอบด้วยสายตา		ผ่าน	-
	-การตั้งค่าพารามิเตอร์		ผ่าน	-
2	การดำเนินงานฟังก์ชั่น	7-15		
	- เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่แตกต่างกันการป้องกัน (87)		ผ่าน	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	-Negative Phase Sequence Thermal Protection(46)		ผ่าน	-
	-Overcurrent with Voltage Restraint(51V)		ผ่าน	-
	-Breaker Failure(50BF)		ผ่าน	-
	-Reverse Power(32)		ผ่าน	-
	-Loss of Excitation(40)		ผ่าน	-
	-Volt/Hz (24)		ผ่าน	-
	-Under Voltage(27)		ผ่าน	-
	-Over Voltage(59)		ผ่าน	-
	-Frequency(81)		ผ่าน	-
	-Neutral Over Voltage(59N)		ผ่าน	-
	-Inadvertent Energization(50/27)		ผ่าน	-
	-Voltage Fuse Failure(60FL)		ผ่าน	-
	-Operation indicators Check		ผ่าน	-
3	ตรวจสอบ	15	ผ่าน	-

ตารางที่ 4.42 การทดสอบรีเลย์ป้องกัน

ผู้ผลิต : OMICRON

หมายเลขสินค้า : CMC 156

รหัสสินค้า : KB054L

ยี่ห้อสินค้า : FLUKE

หมายเลขสินค้า : 189

รหัสสินค้า : 89550208

หมายเลข	รายละเอียดการทดสอบ	ผลการทดสอบ
1.1.1	ตรวจสอบชื่อข้อมูลอุปกรณ์และคุณสมบัติ	ผ่าน
1.1.2	ตรวจสอบรีเลย์และการทำลายเชิงกายภาพ	ผ่าน
1.1.3	ตรวจสอบองค์ประกอบพร้อมทำความสะอาด	ผ่าน
1.1.4	ตรวจสอบความหนาแน่นในองค์ประกอบ	ผ่าน
1.1.5	ตรวจสอบ โครงสร้าง/องค์ประกอบ ที่ทำการลงดินกับทางข้อมูลผู้ติดต่อ	ผ่าน
1.1.6	ตรวจสอบการทำงานของแสงที่เปล่งออกมาและ electromechanical	ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.43 การตั้งค่า

ตั้งค่าทั่วไป	
ระดับแรงดันไฟฟ้า	69V
ระดับกระแสไฟฟ้า	3.88A
ค่าการตั้งค่า VT	Line - Ground
59/27 Magnitude Select	RMS
ชนิดแบบ เดลต้า วาย	ทำได้
Relay Seal-In Time	30
Active Input Open/Close	All active close
อัตราส่วนของ VT.	131.3:1
อัตราส่วนของนิวทรอล VT.	57.5:1
อัตราส่วนของ CT	2000:1
อัตราส่วนของนิวทรอล CT.	1:1
การตั้งค่ารีเลย์หมายเลข 24 VOLTZ PER HERTZ	
24DT #1 Enable/Disable	ทำได้
24DT #1 Relay Output	1
24DT #1 Block Input	ไม่มี
24DT #1 Pick up	120%
24DT #1 Delay	100 Cycle
24DT #2 Enable/Disable	ทำได้
24DT #2 Relay Output	8
24DT #2 Block Input	ไม่มี
24DT #2 Pick up	110%
24DT #2 Delay	100 Cycle
24IT Enable/Disable	ทำได้
24IT Relay Output	1
24IT Block Input	ไม่มี
24IT Pick up	112%
24IT Curve	CRV1
24IT Time Dial	5
24IT Reset Rate	999
27 PHASE UNDERVOLTAGE	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

27 #1 Enable/Disable	ไม่สามารถทำได้
27 #1 Relay Output	-
27 #1 Block Input	-
27 #1 Pick up	-
27 #1 Delay	-
27 #2 Enable/Disable	ทำได้
27 #2 Relay Output	8 (Alarm)
27 #2 Block Input	FL.1
27 #2 Pick up	66 โวลต์
27 #2 Delay	50 Cycle
32 DIRECTIONAL POWER	
32 #1 Enable/Disable	ทำได้
32#1 Relay Output	1
32 #1 Block Input	FL
32 #1 Pick up	-0.007 pu
32 #1 Delay	250 Cycle
32 #2 Enable/Disable	ทำได้
32 #2 Relay Output	5
32 #2 Block Input	ไม่มี
32 #2 Pick up	-0.007 pu
32 #2 Delay	100 Cycle
40 LOSS OF FIELD	
40 #1 Enable/Disable	ทำได้
40 #1 Relay Output	1
40 #1 Block Input	FL
40 #1 Diameter	17.9 Ohm
40 #1 Offset	-1.9 Ohm
40 #1 Voltage Control	ไม่สามารถทำได้
40 #1 Delay	10 Cycle
40 #2 Enable/Disable	ทำได้
40 #2 Relay Output	1
40 #2 Block Input	FL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40 #2 Diameter	32.4 Ohm
40 #2 Offset	-1.9 Ohm
40 #2 Voltage Control	ไม่สามารถทำได้
40 #2 Delay	25 Cycle
40 Voltage Control	-
46 NEGATIVE SEQUENCE OVERCURRENT	
46DT Enable/Disable	ทำได้
46DT Relay Output	8 (Alarm)
46DT Block Input	ไม่สามารถทำได้
46DT Pick up	5%
46DT Delay	250 Cycle
46IT Enable/Disable	ทำได้
46IT Relay Output	1
46IT Block Input	ไม่สามารถทำได้
46IT Pick up	7%
46IT Time Dial	9
46IT Max Time Delay	65500 Cycle

50BF BREAKER FAILURE	
50BF Enable/Disable	ทำได้
50BF Relay Output	4
50BF Block Input	ไม่สามารถทำได้
50BF Neutral Element	ทำได้
50BF Neutral Pick up	1.0A
50BF Phase Element	ทำได้
50BF Phase Pick up	0.1A
50BF Input Initiate	2
50BF Output Initiate	ไม่สามารถทำได้
50BF Delay	5 Cycle
50 INSTANTANEOUS PHASE OVERCURRENT	
50 Enable/Disable	ไม่สามารถทำได้
50 Relay Output	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50 Block Input	-
50 Pick up	-
50 INSTANTANEOUS NEUTRAL OVERCURRENT	
50N Enable/Disable	ไม่สามารถทำได้
50N Relay Output	-
50N Block Input	-
50N Tap Setting	-
51 INVERSE TIME NEUTRAL OVERCURRENT	
51N Enable/Disable	ทำได้
51N Relay Output	-
51N Block Input	-
51N Pick up	-
51N Tap Setting	-
51N Curve Selection	-
51N Time Dial	-
51V INVERSE TIME PHASE OVERCURRENT	
51V Enable/Disable	ทำได้
51V Relay Output	1
51V Block Input	FL
51V Tap	1.60A
51V Curve	Definite time
51V Time Dial	1.0
51V Voltage Control	ทำได้
51V Voltage Control Pick up	59
50/27 INADVERTENT ENERGIZATION	
50/27 Enable/Disable	ทำได้
50/27 Relay Output	4
50/27 Block Input	FL
50/27 Pick up	0.5A
50/27 Voltage Control	48V
50/27 Pick up Delay	100 Cycle
50/27 Drop Out Delay	50 Cycle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

59 PHASE OVERVOLTAGE	
59 #1 Enable/Disable	ทำได้
59 #1 Relay Output	1
59 #1 Block Input	ไม่สามารถทำได้
59 #1 Pick up	76 Volt
59 #1 Delay	100 Cycle
59 #2 Enable/Disable	ทำได้
59 #2 Relay Output	-
59 #2 Block Input	-
59 #2 Pick up	-
59 #2 Delay	-
59N NEUTRAL OVERVOLTAGE	
59N #1 Enable/Disable	ทำได้
59N #1 Relay Output	1
59N #1 Block Input	ไม่สามารถทำได้
59N #1 Pick up	5.0V
59N #1 Delay	150 Cycle
59N #2 Enable/Disable	ไม่สามารถทำได้
59N #2 Relay Output	-
59N #2 Block Input	-
59N #2 Pick up	-
59N #2 Delay	-
60FL VT FUSE LOSS	
60FL Enable/Disable	ทำได้
60FL Relay Output	2,3
60FL Block Input	ไม่สามารถทำได้
60FL Input Initiate	FL
60FL Delay	25 Cycle
81 FREQUENCY FUNCTION	
81 #1 Enable/Disable	ทำได้
81 #1 Relay Output	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

81 #1 Block Input	FL,1
81 #1 Pick up	48.0HZ
81 #1 Delay	15 Cycle
81 #2 Enable/Disable	ทำได้
81 #2 Relay Output	1
81 #2 Block Input	FL,1
81 #2 Pick up	43.5Hz
81 #2 Delay	15 Cycle
81 #3 Enable/Disable	ทำได้
81 #3 Relay Output	8
81 #3 Block Input	FL,1
81 #3 Pick up	51.5HZ
81 #3 Delay	15 Cycle
81 #4 Enable/Disable	ทำได้
81 #4 Relay Output	1
81 #4 Block Input	FL,1
81 #4 Pick up	55Hz
81 #4 Delay	15 Cycle
87 DIFFERENTIAL CURRENT	
87 Enable/Disable	ทำได้
87 Relay Output	1
87 Block Input	ไม่สามารถทำได้
87 Pick up	0.2A
87 Slope	10%
87 Delay	1 Cycle
87GD DIFFERENTIAL CURRENT	
87GD Enable/Disable	ไม่สามารถทำได้
87GD Relay Output	-
87GD Block Input	-
87GD Pick up	-
87GD Delay	-
87GD CT Ratio Correction	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXTERNAL RELAY	
EXT #1 Enable/Disable	ไม่สามารถทำได้
EXT #1 Relay Output	-
EXT #1 Block Input	-
EXT #1 Pick up	-
EXT #1 Delay	-
EXT #2 Enable/Disable	ไม่สามารถทำได้
EXT #2 Relay Output	-
EXT #2 Block Input	-
EXT #2 Pick up	-
EXT #2 Delay	-
OSCILLOGRAPH RECORDED	
50 Enable/Disable	4
50 Trigger Input	1,2
50 Trigger Output	1,2,3,4,5,8
50 Post Trigger	50%

ตารางที่ 4.44 Generator Differential (87)

เฟส	ฝั่งนิวทรอล (แอมแปร์)		ฝั่ง line (แอมแปร์)		ค่าความถูกต้อง
	ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	
A	0.20	0.188	0.2	0.187	± 0.1 แอมแปร์ หรือ ± 5%
B	0.20	0.182	0.2	0.181	
C	0.20	0.184	0.20	0.193	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.45 การทดสอบการจ่ายไฟ

เฟส	การตั้งค่าความชัน (%)	ฝั่งนิวทรอล (แอมแปร์)	ฝั่ง line (แอมแปร์)	การตั้งค่าความชัน (%)	ค่าความถูกต้อง
A	10.0	3.000	3.312	9.86	± 2%
		5.000	5.507	9.65	
B	10.0	3.000	3.305	9.67	
		5.000	5.503	9.58	
C	10.0	3.000	3.306	9.71	
		5.000	5.506	9.63	

ตารางที่ 4.46 การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

เฟส	ค่าที่ยอมรับ (มิลลิวินาที)	ฝั่งนิวทรอล (มิลลิวินาที)	ฝั่ง line (มิลลิวินาที)	ค่าความถูกต้อง
A	20	23	21	-1 to +3 cycle หรือ ± 1%
B	20	20	20	
C	20	23	23	

การป้องกัน Negative Phase Sequence Thermal (46)

ตารางที่ 4.47 I_2 >1 Alarm

- การทดสอบหาค่าเริ่มต้น

การตั้งค่ากระแส (แอมแปร์)	ค่าที่ยอมรับ (แอมแปร์)	ค่าที่วัดได้ (แอมแปร์)	ค่าความถูกต้อง
0.194	1.194	0.193	±0.5%

- การตั้งค่า Operating line

การตั้งค่ากระแส (แอมแปร์)	ค่าที่ยอมรับ (แอมแปร์)	ค่าที่วัดได้ (แอมแปร์)	ค่าความถูกต้อง
2 x ค่าที่ตั้งไว้	5.000	5.027	-1 to +3 cycle หรือ ± 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.48 I_2 >1 Trip

- การทดสอบหาค่าเริ่มต้น

การตั้งค่ากระแส (แอมแปร์)	ค่าที่ยอมรับ (แอมแปร์)	ค่าที่วัดได้ (แอมแปร์)	ค่าความถูกต้อง
0.271	0.271	0.273	±0.5%

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

การตั้งค่ากระแส (แอมแปร์)	ค่าที่ยอมรับ (แอมแปร์)	ค่าที่วัดได้ (แอมแปร์)	ค่าความถูกต้อง
4 x ค่าที่ตั้งไว้	114.504	115.810	± 3%
6 x ค่าที่ตั้งไว้	52.011	51.650	

Overcurrent with Voltage Restraint (51V)

ตารางที่ 4.49 การทดสอบค่าเริ่มต้น

เฟส	ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ค่าเริ่มต้น (แอมแปร์)		ค่าความถูกต้อง
		ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	
A	69.28	1.60	1.600	± 0.1แอมแปร์ หรือ ± 5%
B	69.28	1.60	1.610	
C	69.28	1.60	1.600	

ตารางที่ 4.50 การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

- การตั้งค่ากระแสเริ่มต้น = 3 A

ระดับแรงดัน (โวลต์ ไลน์-ไลน์)	ระดับกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ค่าที่ยอมรับได้ (วินาที)	ค่าที่วัดได้ (วินาที)			ค่าความถูกต้อง
			เฟส A	เฟส B	เฟส C	
120.0	2 x ค่าที่ตั้งไว้	0.400	0.441	0.438	0.435	± 3 cycle หรือ ± 3%
120.0	3 x ค่าที่ตั้งไว้	0.280	0.312	0.315	0.318	
120.0	4 x ค่าที่ตั้งไว้	0.260	0.276	0.273	0.278	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.51 Breaker Failure (50BF)

- การตั้งค่าเริ่มต้น

การตั้งค่า	ค่าเริ่มต้น (แอมแปร์)		ค่าความถูกต้อง
	ค่าที่ยอมรับได้	ค่าที่วัดได้	
0.1	0.10	0.066	± 0.1 แอมแปร์ หรือ ±2%

- การตั้งค่าเริ่มต้น

การตั้งค่า	ระดับกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ค่าที่ยอมรับ (แอมแปร์)	ค่าที่วัดได้ (แอมแปร์)	ค่าความถูกต้อง
0.1	2 x ค่าที่ตั้งไว้	0.100	0.113	-1 to +3 cycle หรือ ± 1%

ตารางที่ 4.52 Reverse Power (32)

- การทดสอบค่าเริ่มต้น

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ระดับกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)		ระดับกำลังไฟฟ้า (วัตต์)		ค่าความถูกต้อง
	ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	
120	0.010	0.010	2.078	2.078	±0.015 pu หรือ 2%

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ระดับกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ค่าที่ยอมรับ (วินาที)	ค่าที่วัดได้ (วินาที)	ค่าความถูกต้อง
120	2 x ค่าที่ตั้งไว้	2.400	2.590	+ 16 cycle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.53 Reverse Power 2

- การทดสอบค่าเริ่มต้น

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ระดับกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)		ระดับกำลังไฟฟ้า (วัตต์)		ค่าความถูกต้อง
	ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	
-	-	-	-	-	±0.015pu หรือ 2%

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ระดับกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่ยอมรับ	ค่าความถูกต้อง
-	-	-	-	+ 16 cycle

Loss of Excitation (40)

ตารางที่ 4.54 Loss of Excitation (40-1)

- การทดสอบค่าเริ่มต้น

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์ ไลน์-นิวทรอล)	มุม (องศา)	ระดับกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)		ค่าความต้านทาน (โอห์ม)		ค่าความถูกต้อง
		ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	เส้นผ่านศูนย์กลาง	การเลื่อน	
35	90	1.020	1.030	19.841	1.897	±0.1Ω หรือ ±5%
10	90	5.263	5.272			

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์ ไลน์-นิวทรอล)	มุม (องศา)	ระดับกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)		ค่าความถูกต้อง
			ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	
35	90	2.5	0.200	0.225	-1 to +3 cycle หรือ ±1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.55 Loss of Excitation (40-2)

- การทดสอบค่าเริ่มต้น

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์ ไลน์-นิวทรอล)	มุม (องศา)	ระดับกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)		ค่าความต้านทาน (โอห์ม)		ค่าความถูกต้อง
		ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	เส้นผ่านศูนย์กลาง	การเลื่อน	
35	90	1.020	1.030	33.981	1.905	±0.1Ω หรือ ±5%
10	90	5.263	5.248			

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์ ไลน์-นิวทรอล)	มุม (องศา)	ระดับกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)		ค่าความถูกต้อง
			ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	
35	90	2.0	0.500	0.518	-1 ถึง +3 cycle หรือ ±1%

Volt/Hz (24)

ตารางที่ 4.56 Volt/Hz (24DT-1)

- การทดสอบค่าเริ่มต้น

การตั้งค่า (โวลต์)	ความถี่ (เฮิร์ตซ์)	ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)		ค่าความถูกต้อง
		ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	
120%	50.00	83.14	83.20	± 1%

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ความถี่ (เฮิร์ตซ์)	ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)		ค่าความถูกต้อง
		ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	
120%	50.00	2.000	2.098	+25 Cycle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.57 Volt/Hz (24DT-2)

- การทดสอบค่าเริ่มต้น

การตั้งค่า (โวลต์)	ความถี่ (เฮิร์ตซ์)	ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)		ค่าความถูกต้อง
		ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	
110%	50.00	76.21	76.20	± 1%

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ความถี่ (เฮิร์ตซ์)	ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)		ค่าความถูกต้อง
		ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	
110%	50.00	2.000	2.172	+25 Cycle

ตารางที่ 4.58 Volt/Hz (24IT)

- การทดสอบค่าเริ่มต้น

การตั้งค่า (โวลต์)	ความถี่ (เฮิร์ตซ์)	ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)		ค่าความถูกต้อง
		ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	
112%	50.00	77.59	77.70	± 1%

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ความถี่ (เฮิร์ตซ์)	ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)		ค่าความถูกต้อง
		ค่าที่ยอมรับ	ค่าที่วัดได้	
112%	50.00	60.000	60.150	-
115%	50.00	37.200	37.790	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.59 Under Voltage (27)

- การทดสอบค่าเริ่มต้น

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ค่าที่ยอมรับ (โวลต์)	ค่าที่วัดได้ (โวลต์)		ค่าความถูกต้อง
		ค่าเริ่มต้น	Drop off	
66	66.00	65.92	66.32	± 0.5 โวลต์ หรือ ± 0.5%

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ค่าที่ยอมรับ (วินาที)	ค่าที่วัดได้ (วินาที)	ค่าความถูกต้อง
0.8 x ค่าที่ตั้งไว้	1.000	1.130	+ 20 cycle หรือ ± 1%

ตารางที่ 4.60 Over Voltage (59)

- การทดสอบค่าเริ่มต้น

การตั้งค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ค่าที่ยอมรับ (โวลต์)	ค่าที่วัดได้ (โวลต์)		ค่าความถูกต้อง
		ค่าเริ่มต้น	Drop off	
76	76.00	76.20	75.70	± 0.5 โวลต์ หรือ ± 0.5%

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ค่าที่ยอมรับ (วินาที)	ค่าที่วัดได้ (วินาที)	ค่าความถูกต้อง
1.2 x ค่าที่ตั้งค่าไว้	2.000	2.145	+ 20 cycle หรือ ± 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Frequency (81)

ตารางที่ 4.61 Under Frequency

- การทดสอบค่าเริ่มต้น

ฟังก์ชัน	ความถี่ (เฮิร์ตซ์)	ค่าที่ยอมรับ (เฮิร์ตซ์)	ค่าที่วัดได้ (เฮิร์ตซ์)		ค่าความถูกต้อง
			ค่าเริ่มต้น	Drop off	
81-1	48.00	48.00	47.99	48.03	±0.02 เฮิร์ตซ์
81-2	47.10	47.10	47.08	47.14	

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

ฟังก์ชัน	การตั้งค่า (วินาที)	ค่าที่ยอมรับ (วินาที)	ค่าที่วัดได้ (วินาที)	ค่าความถูกต้อง
81-1	0.30	0.300	0.293	- 2 to + 3 cycle หรือ ± 1%
81-2	0.50	0.500	0.481	

ตารางที่ 4.62 Over Frequency

- การทดสอบค่าเริ่มต้น

ฟังก์ชัน	ความถี่ (เฮิร์ตซ์)	ค่าที่ยอมรับ (เฮิร์ตซ์)	ค่าที่วัดได้ (เฮิร์ตซ์)		ค่าความถูกต้อง
			ค่าเริ่มต้น	ค่าเริ่มต้น	
81-3	51.50	51.50	51.52	51.48	± 0.02 เฮิร์ตซ์
81-4	52.40	52.40	52.41	52.39	

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

ฟังก์ชัน	การตั้งค่า (วินาที)	ค่าที่ยอมรับ (วินาที)	ค่าที่วัดได้ (วินาที)	ค่าความถูกต้อง
81-3	0.30	0.300	0.321	- 2 ถึง + 3 cycle หรือ ± 1%
81-4	0.50	0.500	0.547	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.63 Neutral Over Voltage (59N)

- การทดสอบค่าเริ่มต้น

การตั้งค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ค่าที่ยอมรับ (โวลต์)	ค่าที่วัดได้ (โวลต์)		ค่าความถูกต้อง
		ค่าเริ่มต้น	Drop off	
5%	5.00	5.10	4.85	± 0.5 โวลต์ หรือ ± 0.5%

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

ระดับแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ค่าที่ยอมรับ (วินาที)	ค่าที่วัดได้ (วินาที)	ค่าความถูกต้อง
1.2 x ค่าที่ตั้งไว้	3.000	3.023	-1 ถึง+3 cycle ± 1%

ตารางที่ 4.64 Inadvertent Energization (50/27)

- การทดสอบค่าเริ่มต้น

การตั้งค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ค่าที่ยอมรับ (แอมแปร์)	ค่าที่วัดได้ (แอมแปร์)	ค่าความถูกต้อง
0.5	0.50	0.500	± 0.1 แอมแปร์ หรือ ± 2%

การตั้งค่าแรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	ค่าที่ยอมรับ (โวลต์)	ค่าที่วัดได้ (โวลต์)		ค่าความถูกต้อง
		ค่าเริ่มต้น	Drop off	
48.0	48.00	47.82	48.21	± 0.5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบเวลาในการดำเนินการ

ตั้งค่าเวลา (วินาที)	ค่าที่ยอมรับ (วินาที)	ค่าที่วัดได้ (วินาที)	ค่าความถูกต้อง
2.0	2.000	2.012	-1 ถึง +3 cycle ± 1%

ตารางที่ 4.65 Voltage Fuse Failure (60FL)

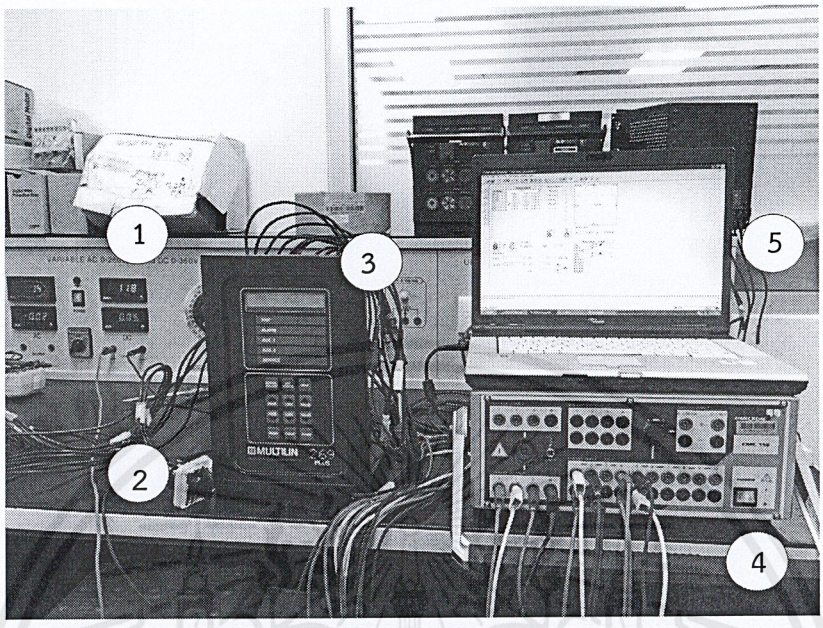
- การทดสอบค่าเริ่มต้น

ตั้งค่าเวลา (วินาที)	ค่าที่ยอมรับ (วินาที)	ค่าที่วัดได้ (วินาที)	ค่าความถูกต้อง
0.5	0.5	0.518	-1 ถึง +3 cycle ± 1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับมอเตอร์

4.4.1 การต่อวงจรที่ใช้สำหรับการทดสอบ



รูปที่ 4.156 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับมอเตอร์

1. Power Supply 2. ตัวปรับการ Reset เวลาที่เกี่ยวข้องกับค่า Temperature

3. รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับมอเตอร์ 4. CMC 156 (OMICRON)

5. คอมพิวเตอร์สำหรับทดสอบโปรแกรม Test Universe software

4.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการต่อวงจรทดสอบตามรูปที่ 4.156

2. ตรวจสอบข้อมูล Standard Motor Protection ซึ่งเป็นพื้นฐานของการทดสอบรีเลย์ป้องกันมอเตอร์ ในรีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับมอเตอร์

3. ทำการทดสอบฟังก์ชันต่างๆ ในรีเลย์ป้องกันมอเตอร์ เช่น Metering Phase, Unbalance Test, Overload Test และMetering Ground Check เป็นต้น

4. หลังจากนั้นดูค่าจากคอมพิวเตอร์ และจดบันทึกค่าลงในฟังก์ชันที่ทำการทดสอบลงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลการทดสอบ

ตารางที่ 4.66 ตารางการตั้งค่า (Setting) ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับมอเตอร์

Set Item	Should be
Phase CT Secondary (A)	5
Phase CT Primary (A)	400
Motor Full Load Current (A)	311
O/L Pick Up (xFLC.)	1.15
Accel. Time (sec.)	58.5
Starts/Hour	2
Unbalanced alarm Level (%)	Off
Unbalanced alarm TD. (sec)	5
Unbalanced Trip Level (%)	20
Unbalanced Trip TD. (sec.)	5
Ground Fault CT Secondary (A)	5
Ground Fault CT Primary (A)	50
Ground Fault alarm Level (x CT)	0.1
Ground Fault alarm TD. (sec.)	10
Ground Fault Trip Level (x CT)	0.5
Ground Fault Trip TD. (sec.)	5
Under Current alarm Level (x CT)	80
Under Current alarm TD. (sec.)	10
Under Current Trip Level. (A)	40
Under Current Trip TD. (sec.)	20
Mech. Jam Alarm Level (x CT)	Off
Mech. Jam Alarm TD. (x CT)	9.5
Rapid/Mech. Trip Level (xFLC)	1.5
Rapid Trip TD. (sec.)	10
S/C Trip Level (xFLC)	12
S/C TD. (sec.)	Instantaneous
Immediate O/L (xFLC)	1.01
Selected Curve No.	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RTD Bias Curve Min.	40
RTD Bias Center T.C. (%)	12
RTD Bias Center Temp.	125
RTD Bias Curve Max.	150

ตารางที่ 4.67 Meterring Phase Check CT Ratio : 400 / 5 A

Inject Current (A)	Relay Metering Value (A.)		
	A	B	C
0.00	0.0	0.0	0.0
1.25	100	100	100
2.50	200	200	200
3.75	300	300	300
5.00	400	400	400

ตารางที่ 4.68 ACC Time Test Trip

Current	Injection	Operating Time (sec.)	
(x FLC)	Current (A)	Should be	As found
2	7.775	262	268.3
3	11.66	98	96.57

ตารางที่ 4.69 Unbalanced Test

Setting : Alarm : 10% Time : 5 sec.

Trip : 15% Time : 5 sec.

Function	Operating Time (sec.)	Operating Current (A.)	Remark
Trip	A – B – C	Should be	Relay at 20%
		5.812	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.70 Over Load Test

Setting : 1.05 xFLC

Inject Current (2 x FLC)	Operating Time (sec.)
	Should be
7.775 A	58.52 sec

ตารางที่ 4.71 Single Phase Test

Phase	Operating Current (Amp.)	Operating Time (sec.)
	Should be	Should be
A - N	2.9	4

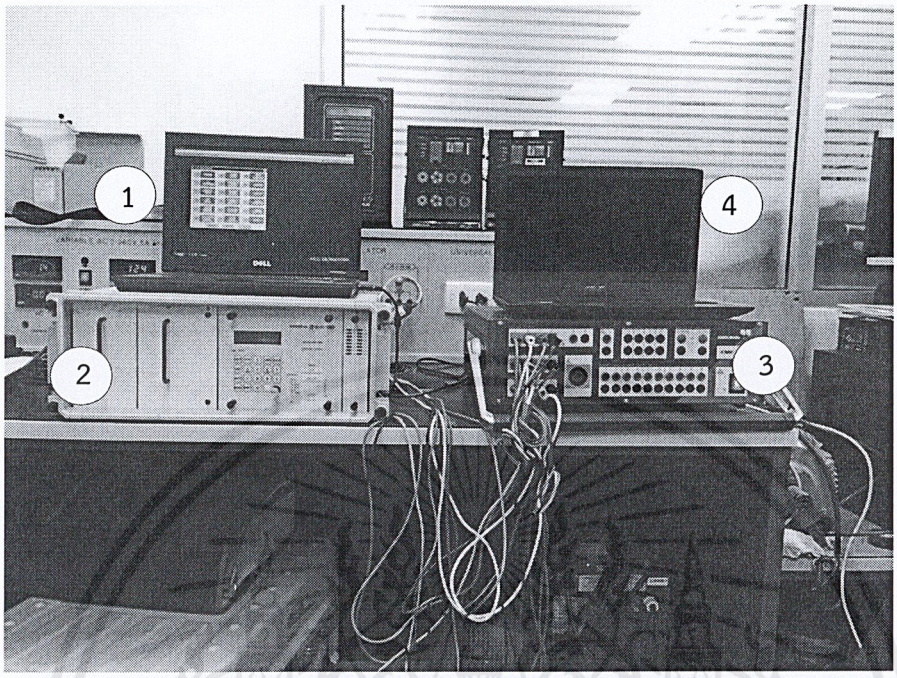
ตารางที่ 4.72 Metering Ground Check CT Ratio : 50/5 A

Inject Current (A)	Relay Metering Value (A.)
	Should be
0.00	0.0
1.25	12.5
2.50	25.0
3.75	37.5
5.00	50.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้า

4.5.1 การต่อวงจรที่ใช้สำหรับการทดสอบ



รูปที่ 4.157 รีเลย์ป้องกันที่ใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้า

1. Power Supply 2. รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Protection) 3. CMC 356 (OMICRON) 4. คอมพิวเตอร์สำหรับทดสอบโปรแกรม Test Universe software

4.5.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการต่อวงจรทดสอบตามรูปที่ 4.50

2. ตรวจสอบข้อมูล Instruction Book (Transformer Protection) ซึ่งเป็นพื้นฐานของการทดสอบรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในรีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

3. ทำการทดสอบฟังก์ชันต่างๆ ในรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น Volt/Hz, Under voltage, Under Frequency และ Over Current เป็นต้น

4. หลังจากนั้นดูค่าจากคอมพิวเตอร์ และจดบันทึกค่าลงในฟังก์ชันที่ทำการทดสอบลงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 ผลการทดสอบ

ข้อมูลของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้า

ผู้ผลิต : GE

หมายเลขสินค้า : T60-G00-HCH-F8L-H6N-M8N-P6T-UXXWXX

รหัสสินค้า : ABHC080000934

ความถี่ : 50/60Hz

ระดับกระแสไฟฟ้า : 1/5A

ระดับแรงดันไฟฟ้า : 100-240 V_{ac}

แรงดันไฟฟ้า : 100-240V_{ac} และ 125-250V_{dc}

1.การตรวจสอบด้วยสายตา

1.1 ตรวจสอบอัตราแหล่งจ่ายไฟ : ผ่าน

1.2 ตรวจสอบเลขที่รุ่น : ผ่าน

1.3 ตรวจสอบแป้นพิมพ์ : ผ่าน

1.4 ตรวจสอบหน้าจอแสดงผล : ผ่าน

1.5 ตรวจสอบความเสียหาย : ผ่าน

1.6 ตรวจสอบไฟLED : ผ่าน

2.ทดสอบการวัด

ตารางที่ 4.73 การตั้งค่า

ตัวแปร	CT F1	CT F5	CT M1	CT M5
เฟสCT ปฐมภูมิ	2000 A	3000 A	2000 A	3000 A
เฟส CT ทุติยภูมิ	1 A	5 A	5 A	5 A
กราวด์ CT ปฐมภูมิ	2000 A	3000 A	2000 A	3000 A
กราวด์ CT ทุติยภูมิ	1 A	5 A	5 A	5 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.74 ทดสอบกระแสแอมแปร์ 118kV

การตั้งค่า: อัตรา CT: 2000/1

การจ่ายกระแส (A)	ค่าที่น่าจะอ่านได้ (A)	ค่าที่อ่านได้จริง (A)			%ความผิดพลาด		
		เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส A	เฟส B	เฟส C
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.25	500	497.162	497.971	497.299	-0.232	-0.198	-0.100
0.50	1000	995.850	996.918	995.255	-0.117	-0.090	-0.225
0.75	1500	1495	1496	1494	-0.067	-0.067	-0.200
1.00	2000	1994	1996	1992	-0.050	0.000	-0.200

ตารางที่ 4.75 ทดสอบกระแสแอมแปร์ CT G_1

การตั้งค่า: อัตรา CT: 3000/5

การจ่ายกระแส (A)	ค่าที่น่าจะอ่านได้ (A)	ค่าที่อ่านได้จริง (A)			%ความผิดพลาด		
		เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส A	เฟส B	เฟส C
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.25	750	744.061	745.617	746.8101	-0.199	-0.176	-0.236
2.50	1500	1490	1493	1495	-0.133	-0.133	-0.200
3.75	2250	2238	2241	2243	-0.089	-0.089	-0.133
5.00	3000	2986	2990	2992	-0.167	-0.067	-0.100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.76 ทดสอบกระแสแอมแปร์ AUX.TR

การตั้งค่า: อัตรา CT: 2000/5

การจ่ายกระแส (A)	ค่าที่น่าจะอ่านได้ (A)	ค่าที่อ่านได้จริง (A)			%ความผิดพลาด		
		เฟส A	เฟส B	เฟส C	เฟส A	เฟส B	เฟส C
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.25	500	497.505	497.901	497.154	-0.050	-0.006	-0.016
2.50	1000	995.804	995.285	995.079	-0.220	-0.139	-0.070
3.75	1500	1494	1494	1494	-0.133	-0.133	-0.067
5.00	2000	1993	1993	1993	-0.100	-0.100	-0.050

ตารางที่ 4.77 ทดสอบกระแสแอมแปร์ CT G_2

การตั้งค่า: อัตรา CT: 3000/5

การจ่ายกระแส (A)	**ค่าที่น่าจะอ่านได้ (A)**	**ค่าที่อ่านได้จริง (A)**			**%ความผิดพลาด**		
		เฟส A	**เฟส B**	**เฟส C**	**เฟส A**	**เฟส B**	**เฟส C**
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.25	750	743.866	746.189	794.387	-0.195	-0.144	-0.159
2.50	1500	1489	1494	1491	-0.133	-0.200	-0.200
3.75	2250	2237	2242	2258	-0.178	-0.133	-0.133
5.00	3000	2984	2990	2986	-0.233	-0.133	-0.133

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เปอร์เซ็นต์ความต่าง (87GT)

ตารางที่ 4.78 การตั้งค่า

ตัวแปร	การตั้งค่า
กราฟคุณลักษณะการทำงาน	ดู
ฟังก์ชั่น	สามารถ
พิคอัพ	0.30 pu
สโลป 1	25%
เบรก 1	2.00 pu
เบรก 2	8.00 pu
สโลป 2	100%
ฟังก์ชั่นการห้ามกระแสอินรัช	อแดป 2
โหมดการห้ามกระแสอินรัช	ต่อเฟส
ระดับการห้ามกระแสอินรัช	20.0% f0
ฟังก์ชั่นการยับยั้งกระแสกระตุ้นเกิน	ไม่สมารถ
ระดับการยับยั้งกระแสกระตุ้นเกิน	-
บล็อก	ไม่มี
เป้าหมาย	แลช
เหตุการณ์	สามารถ

ตารางที่ 4.79 การจับคู่กับ CT

	118kV SWYD 90MVA	CTG1 45MVA	AUX TR.	CTG2 45MVA
100% IFLC,A	440.35A	2259.26A	2259.26A	2259.26A
อัตราส่วน CT	2000/1 A	3000/5 A	2000/5A	3000/5A
ส่วนต่าง CT	4.54	1.33	0.89	1.33
MCF	10.26	1.5	1	1.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.80 การทดสอบ pick up

เฟส	ค่าทฤษฎี(A)	ค่ารีเลย์(A)			
		ด้าน 118 kV	CTG1 45MVA	AUX TR.	CTG2 45MVA
A	0.051	0.051			
	1.000		1.000		
	1.000			1.501	
	1.500				1.002
B	0.051	0.051			
	1.000		1.004		
	1.000			1.500	
	1.500				1.001
C	0.051	0.051			
	1.000		1.004		
	1.000			1.501	
	1.500				1.001

ตารางที่ 4.81 การทดสอบไบแอส

กระแสของ 118 kV และ กระแสของ Generator CTG1

กระแสไบแอส (pu)	ผลต่างกระแสไบแอส (pu)	กระแส CT1 (A)	กระแสที่ควรจะเป็นที่118kV (A)	กระแสที่อ่านได้ที่ 118kv (A)		
				เฟส A	เฟส B	เฟส C
1.400	0.350	4.67	0.167-0.187	0.178	0.178	0.178
1.500	0.375	5.00	0.180-0.200	0.190	0.190	0.192
1.600	0.400	5.33	0.193-0.213	0.203	0.203	0.203

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสของ 118 kV และ กระแสเจนเนอร์เรเตอร์ CTG2

กระแสไบแอส (pu)	ผลต่างกระแสไบแอส(pu)	กระแส CT1 (A)	กระแสที่ควรจะเป็นที่118kV (A)	กระแสที่อ่านได้ที่ 118kv (A)		
				เฟสA	เฟสB	เฟสC
1.400	0.350	4.67	0.167-0.187	0.178	0.178	0.178
1.500	0.375	5.00	0.180-0.200	0.190	0.190	0.192
1.600	0.400	5.33	0.193-0.213	0.203	0.203	0.203

กระแสของ 118 kV และ กระแสAUX TR.

กระแสไบแอส (pu)	ผลต่างกระแสไบแอส(pu)	กระแส CT1 (A)	กระแสที่ควรจะเป็นที่118kV (A)	กระแสที่อ่านได้ที่ 118kv (A)		
				เฟสA	เฟสB	เฟสC
1.400	0.350	7.00	0.167-0.187	0.178	0.178	0.178
1.500	0.375	7.50	0.180-0.200	0.191	0.190	0.190
1.600	0.400	8.00	0.193-0.213	0.204	0.203	0.202

ตารางที่ 4.82 เวลาการทำงาน

ด้านกระแส	**ค่าทฤษฎี**	**เวลาการทำงาน (msec)**					
		เฟส A		**เฟส B**		**เฟส C**	
		$2xI_d$	$4xI_d$	$2xI_d$	$4xI_d$	$2xI_d$	$4xI_d$
ด้าน 118kV	<50 msec	26.4	30.6	32.3	32.4	29.2	35.6
Generator CTG1	<50 msec	25.8	34.1	25.9	30.8	26.4	31.2
Generator CTG2	<50 msec	27.787	34.6	27.2	30.7	26.9	27.731
ด้าน AUX Tr.	<50 msec	27.3	34.9	26.0	34.6	26.4	30.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.83 การบล็อกฮามอนิคส์ที่ 2

ด้านกระแส	ค่าทฤษฎี	ค่ารีเลย์ (%)		
		เฟส A	เฟส B	เฟส C
ด้าน 118 kV	20 %	20	20	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ผลการศึกษาจากการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งพิจารณาคุณสมบัติของรีเลย์ป้องกันที่นำมาใช้ในการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และมอเตอร์ รวมทั้งการทดลอง จำลองด้วยโปรแกรม MATLAB และ DigSILENT ที่สามารถช่วยในการวิเคราะห์ โดยสามารถสรุปออกมาได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. ทำให้เข้าใจถึงหลักการทำงานและคุณสมบัติของอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าแรงสูง ได้แก่ รีเลย์ เซอร์กิตเบรกเกอร์ หม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดัน และแบตเตอรี่ รวมถึงอุปกรณ์อื่นๆ ในระบบไฟฟ้าทั้งในสภาวะปกติและขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ในสภาวะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยฉับพลันในระบบไฟฟ้า มีสิ่งรบกวนการทำงานของระบบไฟฟ้า เกิดความผิดพลาดในการควบคุมระบบไฟฟ้า เรายังต้องเข้าใจพฤติกรรมและคุณสมบัติของเครื่องจักรกลไฟฟ้า และ ฉนวนไฟฟ้า เพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบและกำหนดค่าต่างๆ ให้กับอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง

2. การใช้งานสำหรับรีเลย์ป้องกันที่ได้ทำการทดลอง

2.1 เขตการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สำหรับฟังก์ชันที่ใช้ในการทดลอง เช่น Over Current Relay (50) Differential Relay (87) เป็นต้น เพื่อวิเคราะห์กราฟการทำงาน และทำการตั้งค่าก่อนที่จะนำ Relay ไปใช้งานจริง

2.2 เขตการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า

เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบการตั้งค่าขนาดกระแส (Visual Check) เช่น ตรวจสอบ Power Supply เป็นต้น ซึ่งจะเน้นไปที่กระแสที่หม้อแปลงกระแสเป็นหลัก และทำการตั้งค่าหมายเลขรีเลย์ เช่น Percent Differential (87GT) เพื่อวิเคราะห์ Operating Time และ Bias Test

2.3 เขตการป้องกันมอเตอร์

เป็นการทดสอบเพื่อตั้งค่ากระแสและแรงดันของรีเลย์ป้องกัน เช่น Phase CT Primary และ Secondary และตั้งค่าตามหมายเลขของรีเลย์ Over Current Relay (50) โดยทำการวิเคราะห์ขนาดกระแสและ Operating Time

3. การจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB

3.1 การเกิดความผิดพร่องรูปแบบต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง

เป็นการจำลองกระแสละแรงดันเพื่อศึกษาการเกิดความผิดพร่องทุกรูปแบบ ได้แก่ ชนิดเส้นเดียวลงกราวน์ ชนิดเส้นเดียวลงกราวน์ ชนิดสามเฟสสมมาตร เป็นต้น โดยจะพบว่าขนาดกระแสจะสูงขึ้นมากกว่าปกติและก็ทำการตัดวงจรของระบบออกไปในที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเกิด Magnetizing – Inrush Current เมื่อจ่ายไฟฟ้าเข้าหม้อแปลงไฟฟ้า

เป็นการศึกษาเพื่อดูกระแสที่พุ่งเข้าหม้อแปลงขณะเริ่มทำงาน จะพบว่ากระแสขณะเริ่มต้นจะมีขนาดสูงเป็น 2-3 เท่าของช่วงหลังจากเริ่มต้น

3.3 การทำงานของ Differential Relay ร่วมกับเซอร์กิตเบรคเกอร์

เป็นการศึกษาการทำงานของ Differential Relay (87) เพื่อวิเคราะห์ค่าขนาดกระแสทั้งก่อนและหลังเกิดความผิดพร่องและ นำเซอร์กิตเบรคเกอร์มาตัดวงจรออกไปในท้ายสุด

4. การศึกษาการทำงานของ Generator Protection Relay ด้วยโปรแกรม DigSILENT เป็นการศึกษา 2 กรณี คือ การศึกษาการตั้งค่าและการทำงานของ BECKWITH : Generator Protection M-3420 การจำลองการ Coordinate ในฟังก์ชั่น Overcurrent ระหว่าง Generator Protection Relay

4.1 การศึกษาการตั้งค่าและการทำงานของ BECKWITH : Generator Protection M-3420 เป็นการตั้งค่าโปรแกรมในฟังก์ชั่นต่างๆ ทีรีเลย์มีโดยอ้างอิงจากการตั้งค่าจริงที่โรงไฟฟ้าใช้ และเปรียบเทียบเวลาในการตัดวงจรในฟังก์ชั่น Overcurrent (50) (51) ในกระแส 4 kA , 6 kA , 8 kA 10 kA และ 12 kA โดยเปรียบเทียบเวลาที่คาดว่ารีเลย์จะทำงาน กับเวลาทำงานจริงเพื่อทดสอบความแม่นยำของโปรแกรม และความถูกต้องในการตั้งค่า

4.2 การการจำลองการ Coordinate ในฟังก์ชั่น Overcurrentระหว่าง Generator Protection Relay เป็นแสดงว่าเมื่อกระแสถึงจุดๆต่างๆ รีเลย์จะทำการตัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบตามเวลาที่ตั้งไว้ โดยที่เวลาที่น้อยกว่ารีเลย์นั้นจะเป็นรีเลย์ Primary Relay และถัดจากไปจะเป็น Back Up Relay เผื่อเวลา Primary Relay เกิดปัญหาไม่ทำงาน จะมี Back up Relay เข้ามาช่วยทำงานแทน โดยการเลือกรีเลย์ควรเลือกรีเลย์ที่ต่างยี่ห้อ หรือต่างรุ่นกันเนื่องจากจะมีโอกาสน้อยกว่ามีรีเลย์จะขัดข้องพร้อมๆกัน ทั้งนี้ผู้ใช้งานรีเลย์ควรหมั่นเช็คสภาพและการทำงานของฟังก์ชั่นการทำงานของรีเลย์บ่อยๆ เพื่อลดโอกาสที่รีเลย์จะขัดข้องและเพื่อเพิ่มความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. โปรแกรม DigSILENT ค่อนข้างมีความซับซ้อนและในบางส่วนอาจจะต้องประยุกต์ความรู้ที่เกินหลักสูตรเข้าไปด้วย จึงทำให้การทดลองติดขัดและใช้ระยะเวลามากขึ้น

2. อุปกรณ์ในห้องทำการทดลองที่มหาวิทยาลัยยังไม่รองรับกับกลุ่ม จึงต้องไปขอความอนุเคราะห์จากบริษัทภายนอกเป็นส่วนใหญ่ ในบางทีอาจจะมีการเดินทางที่ไกล

3. ควรจะมีการพานักศึกษาไปดูงานในสถานที่จริงเพื่อจะได้ทราบถึงการทำงานของวิศวกรและเห็นภาพในสิ่งที่ได้ศึกษาไปในบทเรียนด้วย

4. ควรจะมีรีเลย์ให้นักศึกษาภายในมหาวิทยาลัยในการทดลองและศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] **วิศวกรรมระบบไฟฟ้ากำลัง.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://ir.rmuti.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/237/chapter2.pdf?sequence=3. 23 สิงหาคม 2559

[2] **บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการของหม้อแปลงกระแส.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.researchsystem.siam.edu/images/coop/INSTALLATION_AND_MAINTENANCE TRANSFORMERS_OF_THE_PROVINCIAL/ch2.pdf. 24 สิงหาคม 2559

[3] IEEE Guide for the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes , IEEE Std C37.110-1996. 24 สิงหาคม 2559

[4] **รูปหม้อแปลงกระแส.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://nongcom-electrical.blogspot.com/2015/08/current-transformer-ct.html

[5] **ch5-Instrument transformer**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.aida-engineering.co.th/download/subs/ch05.pdf. 24 สิงหาคม 2559

[6] **Power System Protection Lecture 3 1 CT**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://www.youtube.com/watch?v=jzTPBqmcD94. 25 สิงหาคม 2559

[7] **รูปหม้อแปลงแรงดัน.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/dataenergy/DocEnergy/energy%20saving%20technogy6.htm

[8] ชำนิ ใจประดิษฐ์ธรรม, " **การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในงานวิศวกรรม (Power System Analysis in Engineering)** ", พิมพ์ครั้งที่ 1

[9] **บทที่ 3 power circuit breaker**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.aida-engineering.co.th/download/subs/ch03.pdf. 28 สิงหาคม 2559

[10] **รูป Air Circuit Breaker.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.schneider-electric.com/en/product-subcategory/4220-high-current-air-circuit-breakers.

[11] **รูป Oil Circuit Breaker.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://dir.indiamart.com/impcat/oil-circuit-breaker.html

[12] **รูป Vacuum Circuit Breaker.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.directindustry.com/industrial/vacuum-circuit-breaker-139395.html

[13] **รูป SF6 Circuit Breaker.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://industrialtests.com/sf6-circuit-breaker-testing-maintenance/

[14] **รูปฟิวส์กำลังแรงสูง.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://taroangtoang.blogspot.com/2015/03/blog-post_10.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] **รูปแบตเตอรี่แบบ Vented.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://avatecpower.com/products-vented-lead-acid-ogi.php

[16] **รูปแบตเตอรี่แบบ Sealed maintenance free.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.elec-intro.com/cms/plus/view.php?aid=13826

[17] สันติ อัศวศรีพงศ์ธร, " **รีเลย์ป้องกันกับการป้องกันระบบกำลัง** ", 2526, สมาคมศูนย์วิชาการไทย-ออสเตรเลีย

[18] **รูปรีเลย์.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.electroschematics.com/8648relay-circuit/

[19] **รูปรีเลย์แบบดิจิตอล**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://th.aliexpress.com/w/wholesale-relay-station.html

[20] สันติ อัศวศรีพงศ์ธร, " **รีเลย์ป้องกันกับการป้องกันระบบกำลัง** ", 2526, สมาคมศูนย์วิชาการไทย-ออสเตรเลีย

[21] กีรติ ชยะกุลคีรี, "**การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังและรีเลย์ (Electrical Power System Protection and Relays)**" มหาวิทยาลัยศรีปทุม

[22] สุชาติ ปรีชาธร, " **วิศวกรรมการป้องกันระบบไฟฟ้าแรงสูง 2** "

[23] IEEE Std C37.102-2006, IEEE Guide for AC Generator Protection

[24] **รูปเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://www.gegridsolutions.com/multilin/catalog/Generation.htm.

[25] Power System Protection Lecture 11 Transformer Protection (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://www.youtube.com/watch?v=M8M702xnGZ4&list=PLdVAjcdbjiwtp2T7kCKDPHLBNaPoj9fE&index=18. 30 สิงหาคม 2559

[26] **รูปหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://nongcom-electrical.blogspot.com/2014/10/blog-post_6.html.

[27] **รูปBuchholz Relay.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://www.tradeindia.com/manufacturers/buchholz-relay.html.

[28] J. Lewis Blackburn, " **Protective Relaying Principles and Applications** ", Third Edition, 2006

[29] **Power System Protection Lecture 10 Motor protection**. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : https://www.youtube.com/watch?v=sBAlej1MMOg&index=17&list=PLdVAj - cdbjiwtp2T7kCKDPHLBNaPoj9fE. 1 กันยายน 2559

[30] **รูปมอเตอร์เหนี่ยวนำ.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.dandbshopping.com/SCL-KR-4.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

บทความวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาระบบป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง

THE STUDY OF PROTECTION SYSTEM FOR HIGH VOLTAGE EQUIPMENT

กิตติชัย ตวนกูเปีย, คมสัน พรมศรี, ณัชพล ตัณยะกุล, ณัฐดนัย แก้วมณี

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: boom_boom2537@hotmail.com

บทคัดย่อ

โครงงานนี้นำเสนอการศึกษาการใช้งานรีเลย์ในการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า และ มอเตอร์ ตามมาตรฐาน IEEE Std C37.91-2008 IEEE Std C37.110-1996 เป็นต้น โดยทำการทดลองกำหนดฟังก์ชั่นการทำงานของรีเลย์แต่ละประเภทเพื่อตรวจสอบว่ารีเลย์สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการหรือไม่ โดยรีเลย์ที่ใช้ในการศึกษาทดลองคือ Differential Relay (87) Over Current Relay (50) รวมทั้งได้จำลองโปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์การทำงานของ Over Current Relay กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในการตัดวงจรขณะเกิดความผิดพร่อง และจำลองการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ เพื่อวิเคราะห์ลำดับและเวลาในการตัดวงจรทั้งก่อนและหลังเกิดความผิดพร่อง อีกทั้งยังใช้โปรแกรม DIgSILENT จำลองเพื่อทำการทดสอบการทำงานของ BECKWITH : Generator Protection M-3420 ในโหมดของ Over Current (50) ที่ขนาดกระแส 4 kA , 6 kA , 8 kA 10 kA และ 12 kA รวมถึงจำลองการ Coordinate อีกด้วย

Abstract

This project presents the study of protective relays for Generator, Transformer and Motor Protection according to IEEE Std C37.91-2008 and IEEE Std C37.11-1996. The operation function of Differential Relay (87), Over Current Relay (50) were simulated to verify the relay performance. Besides, MATLAB program was used to analyze the operation of the over-current relay with the circuit breaker to find out the operation parameters of circuit breaker during fault occurring Moreover, the simulation of primary and secondary protection of the electrical power system was studied to analyze the sequence and timing operation of the circuit breaker before and after fault existence. Furthermore, DIgSILENT program was utilized to verify the operation performance of BECKWITH: Generator Protection M-3420 in the function of the Over Current (50) with the current of 4 kA, 6 kA, 8 kA 10 kA and 12 kA including the simulating of coordinated relays applying for electrical power system.

Keywords Generator protection zone, Transformer protection zone, Differential Relay , Over Current Relay

1. บทนำ

ปัจจุบันได้มีการขยายตัวทางอุตสาหกรรมมากขึ้นทำให้พลังงานไฟฟ้าได้กลายเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งของการดำรงชีวิตและการพัฒนาประเทศ เมื่อการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากำลังของแต่ละอุตสาหกรรมมีมากขึ้นทำให้ระบบโครงข่ายไฟฟ้า (Electrical network system) มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ป้องกันที่จำกัดขอบเขตความเสียหายซึ่งอาจจะเกิดขึ้นต่อระบบไฟฟ้าแรงสูงและทำการตัดวงจรส่วนที่เสียหายออกจากระบบอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงได้มีการทดลองอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เช่น กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หน้าที่ของรีเลย์ป้องกัน [1]

ทำหน้าที่ตรวจสอบความผิดพร่องรวมทั้งสภาวะการทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในระบบไฟฟ้า และให้สัญญาณเพื่อปลดวงจรไฟฟ้าเมื่อเกิดความผิดพร่อง หรือส่งสัญญาณแจ้งเตือนความผิดปกติแก่ผู้ควบคุมระบบไฟฟ้า ซึ่งต้องมีคุณสมบัติ ได้แก่ ความไว ความเชื่อถือ ความง่าย ความสามารถแยกแยะ ความเร็ว และ ความประหยัด

2.2 ประเภทของรีเลย์ป้องกัน [2]

ปกติรีเลย์ป้องกันแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. รีเลย์แบบไฟฟ้า – กล (Electromechanical Relay)

อาศัยกระแสไฟฟ้าสร้างแรงดึงดูด หรือแรงบิดทางแม่เหล็กทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสรีเลย์แบบไฟฟ้า – กล แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะการทำงาน คือ

1.1) รีเลย์แบบอาศัยแรงดึงดูดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Attraction)

1.2) รีเลย์แบบอาศัยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สแตติกรีเลย์ (Static Relay)

เป็นรีเลย์ที่ใช้ส่วนประกอบของโซลิดสเตท หรือสารกึ่งตัวนำสามารถทำงานได้รวดเร็ว มีความเชื่อถือสูงมีการทำงานและลักษณะสมบัติทุกอย่างเหมือนรีเลย์ไฟฟ้า – กล

3. ดิจิตอลรีเลย์ (Digital / Numerical Relay)

เทคโนโลยี Microprocessor มีการพัฒนาก้าวหน้ามากขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กันในด้าน Digital Computer สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นรีเลย์ป้องกันได้เรียกว่า Computer Relays หรือ Digital Relay ปัจจุบันนิยมใช้งานกันมากเนื่องจากมีความหลากหลายของฟังก์ชันการใช้งาน (Multi-Functional)

รูปที่ 1 โครงสร้างของดิจิตอลรีเลย์

3.หมายเลขการทำงานของรีเลย์ [3]

3.1 รีเลย์กระแสเกิน (Over Current Relay)

ทำงานเมื่อมีกระแสเกินพิกัดไหลในระบบที่ต้องการป้องกัน เป็นรีเลย์ที่มีการใช้งานมากที่สุดใช้ในการป้องกันเครื่องกำเนิดหม้อแปลง สายส่ง บัสบาร์ ทั้งในระบบสายส่ง และระบบจำหน่าย

ชนิดของรีเลย์กระแสเกิน

1) Inverse Time Over Current Relay

2) Instantaneous Over Current Relay

3) Definite Time Lag Relay

4) Inverse Definite Time Lag Relay

3.2 รีเลย์ผลต่าง (Differential Relay)

รีเลย์จะทำงานเมื่อความแตกต่างของเวกเตอร์ของปริมาณไฟฟ้าที่คล้ายคลึงกัน 2 ปริมาณ หรือ มากกว่ามีค่าเกินค่าที่ตั้งไว้ ซึ่งหลักการทำงานของ Differential Relay จะใช้ทั้งแรงดัน และกระแสชนิดของรีเลย์ผลต่างมี 2 แบบ ได้แก่

1) Percentage Differential Relay

2) High Impedance Differential Relay

3.3 รีเลย์ระยะทาง (Distance Relay)

ใช้ในการตรวจสอบสายส่ง พิจารณาค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะความยาวของสายไฟฟ้า โดยรีเลย์ระยะทางสามารถตรวจวัดตำแหน่งที่เกิดความผิดพร่องบนวงจรสายส่งไฟฟ้าได้

ชนิดของรีเลย์ระยะทาง (Type of Distance Relay)

1) Mho Relay

2) Impedance Relay

3) Reactance Relay

3. การออกแบบการทดสอบ

3.1 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ซึ่งจะทำการวิเคราะห์หมายเลขการทำงานได้แก่ Over Current, Over / Under Voltage, Reverse Power, Over / Under Frequency, Over Fluxing เป็นต้น

3.2 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้า

ซึ่งทำการวิเคราะห์ขนาดกระแส และแรงดันที่เข้าหม้อแปลงทั้งก่อนและหลังการเกิดความผิดพร่อง ได้แก่ Magnetizing Inrush Current, Differential Protection, Over Fluxing เป็นต้น

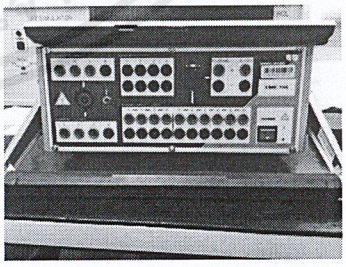
3.3 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับมอเตอร์

ทำการวิเคราะห์ขนาดกระแสและ แรงดันของหม้อแปลงกระแสและรีเลย์เพื่อดูค่า pick up และ Operating Time ซึ่งทดสอบในด้านต่อไปนี้ Unbalance Test, Over Load, Single Phase Test เป็นต้น

3.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องทดสอบ CMC 156 (OMICRON)

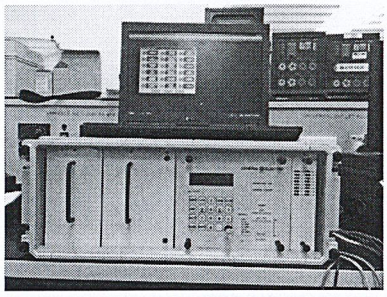
- Input Voltage 110 – 240 V
- Input Rated Power 600 VA
- Output Voltage 125 V
- Output Current 12 A
- Output Rated Power 40 / 50 VA
- Frequency 50 / 60 Hz



รูปที่ 2 เครื่อง CMC 156 (OMICRON)

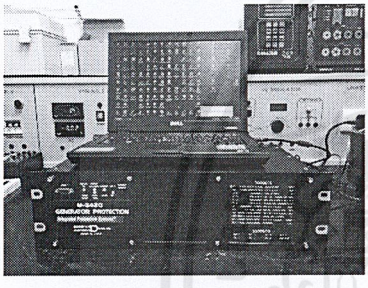
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า (General Electric)



รูปที่ 3 รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับเครื่องหม้อแปลงไฟฟ้า

3. รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Protection M-3420)



รูปที่ 4 รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

5. รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับมอเตอร์ (MULTILIN)

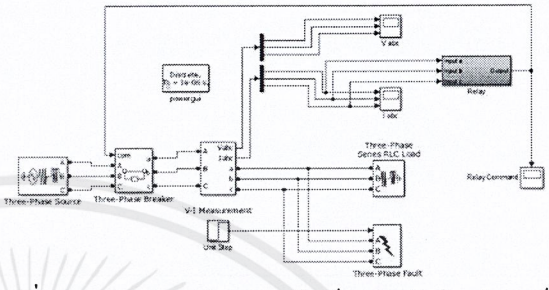
- Input Voltage 120 Vac, 125 Vdc
- Frequency 50 / 60 Hz
- Input Rated Power 20 VA

รูปที่ 5 รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับมอเตอร์

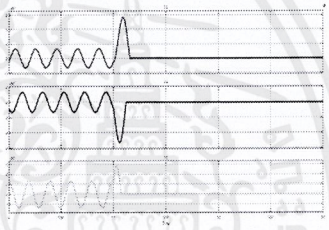
4. การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 จำลองการทำงานของ Over Current Relay ร่วมกันกับเซอร์กิตเบรกเกอร์

การทดลองนี้เป็นการหาค่าความสัมพันธ์ของการทำงานระหว่างเซอร์กิตเบรกเกอร์ และรีเลย์กระแสเกิน เช่น เวลาการตัดต่อวงจรหลังจากเกิดความผิดพร่องแบบต่างๆ



รูปที่ 6 แบบจำลองการทำงานของรีเลย์กระแสเกินร่วมกับเซอร์กิตเบรกเกอร์



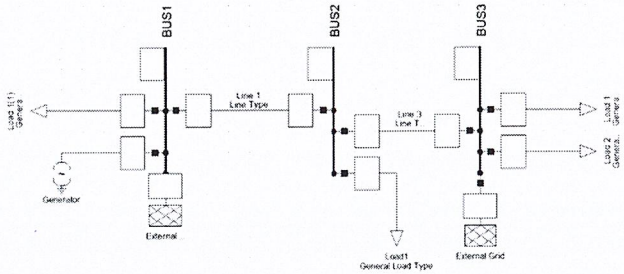
รูปที่ 7 รูปคลื่นกระแสก่อนและหลังการเกิด 3 Phase Fault ที่เวลา 0.1 sec

ในสภาวะปกติ(I < 30 kA) สัญญาณ Logic ของรีเลย์จะเป็น 1 แต่เมื่อมีความผิดปกติ (I > 30 kA) สัญญาณ Logic ของรีเลย์จะเป็น 0 เพื่อไปสั่ง Trip เซอร์กิตเบรกเกอร์

เวลารีเลย์ประมวลผล : 0.1 – 0.105 s , เวลาในการกำจัด Fault : 0.1 - 0.116 s

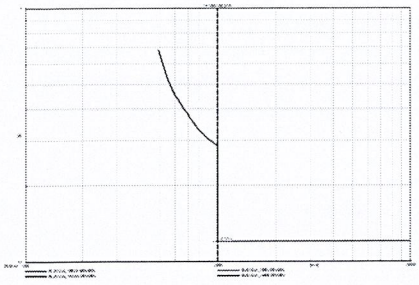
4.2 การศึกษาการตั้งค่าและการทำงานของ BECKWITH : Generator Protection M-3420 ด้วยโปรแกรม DigSILENT

วงจรที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 8 ผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 9 และ 10

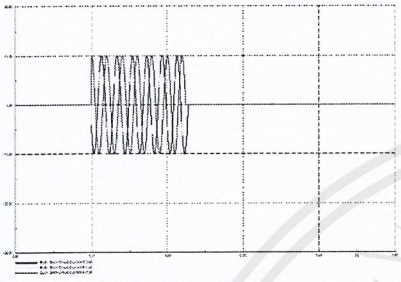


รูปที่ 8 วงจร Protection Relay ในโปรแกรม DigSILENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



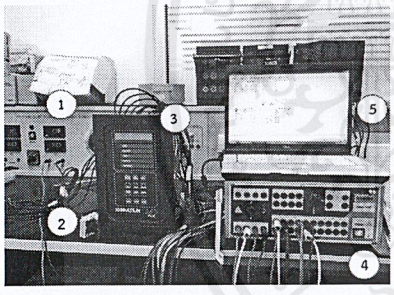
รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าเวลาที่รีเลย์จะทำงาน ที่ค่ากระแส 10 kA



รูปที่ 10 กราฟกระแส Short Circuit กับเวลา ที่กระแส 10 kA

4.3 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับมอเตอร์

การต่ออุปกรณ์ทดลอง แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของรีเลย์ป้องกันที่ใช้กับมอเตอร์

1. Power Supply 2. ตัวปรับการ Reset เวลาที่เกี่ยวข้องกับค่า Temperature 3. รีเลย์แบบ Multi – Function สำหรับมอเตอร์ 4. CMC 156 (OMICRON) 5. คอมพิวเตอร์สำหรับทดสอบโปรแกรม Test Universe software

1) Over Load Test

- Setting : 1.05 xFLC
- Inject Current (2 x FLC) : 7.775 A
- Operating Time (sec.) : 58.52 sec

2) Single Phase Test

- Phase : A - N
- Operating Current (Amp.) : 2.9
- Operating Time (sec.) : 4

5. สรุปผลการทดสอบ

เป็นการทดสอบเพื่อตั้งค่ากระแสและแรงดันของรีเลย์ป้องกัน เช่น Phase CT Primary และSecondary และตั้งค่าตามหมายเลขของรีเลย์ Over Current Relay (50) โดยทำการวิเคราะห์ขนาดกระแสและ Operating Time ก่อนที่จะนำ Relay ไปใช้งานจริง

จากนั้นนำมาจำลองโปรแกรม DIgSILENT เพื่อศึกษาการตั้งค่าและการทำงานของ BECKWITH : Generator Protection M-3420 เป็นการตั้งค่าโปรแกรมในฟังก์ชั่นต่างๆ ทีรีเลย์มีโดยอ้างอิงจากการตั้งค่าจริงที่โรงไฟฟ้าใช้ และเปรียบเทียบเวลาในการตัดวงจรในฟังก์ชั่น Overcurrent (50) (51)ในกระแส 4 kA 6 kA 8 kA 10 kA และ 12 kA โดยเปรียบเทียบเวลาที่คาดว่ารีเลย์จะทำงาน กับเวลาทำงานจริงเพื่อทดสอบความแม่นยำของโปรแกรม และความถูกต้องในการตั้งค่า

6. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก รศ.ดร.นรเศรษฐ พัฒนเดช ที่ให้คำปรึกษาความรู้ รวมทั้งให้ความช่วยเหลือพร้อมกับแก้ข้อบกพร่องในด้านต่าง ๆ ตั้งแต่การอธิบายทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง แนวทางการปฏิบัติงาน และคอยสอบถามความคืบหน้าและปัญหาต่าง ๆ ตลอดการทำงาน โดยท่านคอยจะให้คำปรึกษารวมถึงการลงมือปฏิบัติงานจริงด้วยตนเองในบางครั้งเพื่อช่วยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น และยังคอยตรวจสอบความถูกต้องของปริญญานิพนธ์ ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงและมีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณโรงไฟฟ้าโกลว์ จังหวัดระยอง และพี่ที่ทำงานในบริษัท สำหรับการช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ เช่น สถานที่และอุปกรณ์ในการทดสอบ

ขอขอบคุณบริษัท Meidensha สำหรับการช่วยเหลือในด้านทุนการศึกษาในการทำปริญญานิพนธ์

7. เอกสารอ้างอิง

[1] วิศวกรรมระบบไฟฟ้ากำลัง. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://ir.rmuti.ac.th/xmlui/bitstream/handle/123456789/237/chapter2.pdf?sequence=3. [ที่เข้าถึง23 สิงหาคม 2559].

[2] หลักการของรีเลย์ป้องกัน. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.dockyard.navy.mi.th/doc2/kpd_1/web/A5.pdf. [ที่เข้าถึง 23 สิงหาคม 2559].

[3] สุชาติ ปรีชาธร, **" วิศวกรรมการป้องกันระบบไฟฟ้าแรงสูง 2 "**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Circuit Breaker

Circuit breakers interrupt electrical current to stop power flow both for switching operations and during fault conditions. The maintenance schedule for molded case circuit breakers only pertains to breakers associated with critical equipment as defined in this document.

Medium voltage circuit breakers generally are located in station-service metal clad switchgear or in separate enclosures as unit breakers. Examples are 4,160-Vac station service and 11.95- and 13.8-kV unit breakers. These breakers may be air, air blast, vacuum, or SF_6.

High voltage circuit breakers are located in separate breaker enclosures, either indoors or outdoors. These are oil, air-blast, or SF6 breakers. Examples are 115- and 230-kV breakers located in the switchyard.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Medium Voltage (601–15 kV Rated) Air and Air Blast Breaker

Maintenance Schedule

Maintenance or Test	Recommended Interval	Note
Inspection	Annually	See that bolts, nuts, washers, cot-ter pins, and all terminal connections are in place and tight.
Preventive maintenance	3 years	Check, after servicing, circuit breaker to verify that contacts move to the fully opened and fully closed positions
Overcurrent trip settings and testing (test all trips)	3 years	
Contact resistance measurement	3 years	
Motion analyzer	3 years	
Insulation test (hipot or Doble test – power frequency dielectric loss, dc insulation resistance, power factor)	3 years	Condition of the vacuum can be checked by hi-pot test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Medium Voltage (601–15,000 Vac) Vacuum Breaker

Maintenance Schedule

Maintenance or Test	Recommended Interval	Note
Record operations counter	Monthly	Medium-voltage circuit breakers which operate in the range of 600 to 15,000 volts
Inspection	Annually	Measuring the change in external shaft position after a period of use can indicate extent of contact erosion
Preventive maintenance	3 years	
[Insulation test] (alternating current (ac) hipot or Double test – power frequency dielectric loss, dc insulation resistance, power factor)	3 years	
Contact resistance measurement	3 years	
Motion analyzer	6 years	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Medium and High Voltage SF_6 Breaker Maintenance Schedule

Maintenance or Test	Recommended Interval	Note
Record gas pressure and temperature	Monthly	
Record operations counter	Monthly	
Visual inspection	Monthly	
Preventive maintenance (external inspection)	Annually	
Check external screws, bolts, electrical terminals tight	Annually	
Check contact wear	6 years	
Check foundation, grounds, paint	6 years	
Contact resistance test	6 years	
Insulation test	6 years	
Motion analysis	6 years	
Moisture test on gas	6 years	
Verify operation and calibration of temperature and pressure switches and gauges	6 years	
Check lube points, heater operation, tightness of terminals, linkages, screws, bolts, latch,	6 years	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maintenance or Test	Recommended Interval	Note
Overhaul breaker with new seals, contacts, nozzles	6 years	

Table I - Maximum Contact Resistance

Air circuit breakers			Oil circuit breakers		
kV	Amperes	Microhms	kV	Amperes	Microhms
5-15	600	100	7.2-15	600	300
	1200	50		1200	150
	2000	50		2000	75
				4000	40
			23-24	All	500
			46	All	700
			69	600	500
				1200	500
				2000	100
			115-230	All	800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RELAY

Protective relays provide critical protection functions for all types of plant equipment associated with power generation and power delivery. The protective devices must operate during abnormal plant operating conditions

Maintenance Schedule for Microprocessor Relays

Maintenance or Test	Recommended Interval	Note
Check for relay trouble light	Weekly	
Relay functional test Unmonitored	4 years	Relay analog and digital inputs and outputs should be checked upon commissioning
Relay functional test Monitored	6 years	Relays also must be functional tested after setting changes, repairs, or firmware updates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CT/VT

Instrument transformers convert power system level voltages and currents to levels safe to feed meters and other low voltage and current devices. Voltage or potential transformers generally have output in the 240/120-Vac range, while current transformers have output in the 1- to 5-ampere range

Maintenance Schedule for Instrument Transformers

Maintenance or Test	Recommended Interval	Note
Visual inspection	Annually	CTs normally operate at currents that typically range from 0–5 amperes (amps, A)
Burden measurements	6 years	**
Insulation test if oil-filled	6 years	Doble test – power frequency dielectric loss, dc insulation resistance, power factor
Current transformer excitation test	6 years	The input current should not exceed twice rated secondary current. never exceed 1,500 V. The excitation current should not exceed the curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		tolerance as stated by the manufacturer or, if not stated, 125% of the original curve value
Verify that acceptable instrument transformer output signals are received at the protective relay	6 years	
Instrument transformer secondary grounding and insulation resistance tests	6 years	the PT or CT primary is de-energized and secondary must be grounded at only one point and much greater than 1 megaohm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**

Table D-2. Standard burdens for current transformers with 5A secondary windings[1]

Burdens (B-X.X)	Burden Designation[2] (Ω)			Resistance (Ω)	Inductance (mH)	Impedance (Ω)	Volt-amperes	Power Factor	Secondary Terminal Voltage[3]
Metering Burdens	B-0.1			0.09	0.116	0.1	2.5	0.9	10
	B-0.2			0.18	0.232	0.2	5.0	0.9	20
	B-0.5			0.45	0.580	0.5	12.5	0.9	50
	B-0.9			0.81	1.040	0.9	22.5	0.9	90
	B-1.8			1.62	2.080	1.8	45.0	0.9	180
Relaying Burdens	B-1	or	C100	0.50	2.300	1.0	25.0	0.5	100
	B-2	or	C200	1.00	4.600	2.0	50.0	0.5	200
	B-4	or	C400	2.00	9.200	4.0	100.0	0.5	400
	B-8	or	C800	4.00	18.400	8.0	200.0	0.5	800

[1] If a current transformer secondary winding is rated at other than 5A, ohmic burdens for specification and rating shall be derived by multiplying the resistance and inductance of the table by (5/[ampere rating]) ^2, the VA at rated current, the power factor, and the burden designation remaining the same.

[2] These standard burdens have no significance at frequencies other than 60 hertz.

[3] The secondary terminal voltage is measured at 20 times nominal current without exceeding 10% ratio correction.

Table D-3. Standard burdens for voltage transformers

Characteristics on standard burdens[1]			Characteristics on 120-V Basis			Characteristics on 69.3 V Basis		
Desig-nation	VA	Power factor	Resistance (Ω)	Inductance (mH)	Impedance (Ω)	Resistance (Ω)	Inductance (Ω)	Impedance (Ω)
W	12.5	0.1	115.2	3.0400	1152	38.4	1.0100	384
X	25.0	0.7	403.2	1.0900	576	134.4	0.3640	192
M	35.0	0.2	82.3	1.0700	411	27.4	0.3560	137
Y	75.0	0.85	163.2	0.2680	192	54.4	0.0894	64
Z	200.0	0.85	61.2	1.0100	72	20.4	0.0335	24
ZZ	400.0	0.85	30.6	0.0503	36	10.2	0.0168	12

[1] These standard burdens have no significance at frequencies other than 60 hertz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Batteries

Battery systems provide "last resort" power for performing communication, alarm, control, and protective functions (relaying and breaker tripping) when other sources of power fail. Battery system maintenance should have highest priority.

Maintenance Schedule – Flooded, Wet Cell, Lead Acid Batteries

Maintenance or Test	Recommended Interval	Note
Battery float voltage (Cell float voltage all cells)	Weekly- Monthly	Value : Between 2.20 and 2.25 Volt per Cell (<0.04 V_{DC})
Visual inspection	Monthly	Check the physical condition of the equipment located within the battery room. (This includes battery racks, cabinets, spill containment, neutralizing pillows, grounding straps, and other equipment located inside the battery room.)
Check accuracy of charger meter	Monthly	
Specific gravity pilot cells	Monthly	Normal Expected value : 1.215 + 0.010
Temperature (pilot cell)	Monthly	All cells should be within 5 degrees F
Safety equipment inspection	Monthly	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection resistance (this may be checked by IR scan while loaded)	Annually	Expected Value: <100 μΩ
Capacity testing	5 years	Annually if capacity less than 90%.]

Maintenance Schedule – Valve Regulated, Lead Acid (Gel Cell) Batteries

Maintenance or Test	Recommended Interval	Note
Battery float voltage (Cell float voltage all cells)	Weekly- Monthly	Value : Between 2.20 and 2.25 Volt per Cell (<0.04 V_{DC})
Visual inspection	Monthly	Check for general cleanliness and condition of battery, battery rack, and battery room
Check accuracy of charger meter	Monthly	
Safety equipment inspection	Monthly	
Temperature (all cells)	Quarterly	All cells should be within 5 degrees F
Internal resistance of all cells	Quarterly	
Cell float voltage all cells	Semi-annually	Value : Between 2.20 and 2.25 Volt per Cell
Connection resistance (all connections)	Annually	Expected Value: <100 μΩ
Capacity testing	Annually	capacity less than 90%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

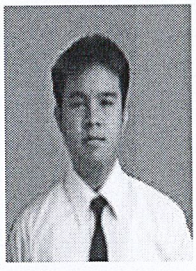
Maintenance Schedule – Vented Nickel Cadmium Batteries

Maintenance or Test	Recommended Interval	Note
Battery float voltage (Cell float voltage all cells)	Weekly- Monthly	Value : Between 2.20 and 2.25 Volt per Cell (<0.04 V_{DC})
Visual inspection	Monthly	Verify the dry chemical fire extinguisher has been inspected and tested according to schedule.
Check accuracy of charger meter	Monthly	1% with a digital voltmeter
Safety equipment inspection	Monthly	
Temperature (pilot cell)	Quarterly	All cells should be within 5 degrees F
Retorque intercell connections	Annually	
Specific gravity all cells	5 years	Normal Expected value : 1.215 + 0.010
Capacity testing	5 years	capacity less than 90%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

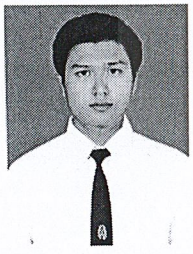
ประวัติผู้เขียน

นาย กิตติชัย ตวนกูเปีย เกิดเมื่อวันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2538 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร
สำเร็จการศึกษามัธยมจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า เข้าศึกษา
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใน
ปีการศึกษา 2556
ฝึกงานที่ : Tokyo Development Consultants(Thailand) Co.,Ltd.



นาย คมสัน พรมศรี เกิดเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2537 ที่จังหวัด อุบลราชธานี
สำเร็จการศึกษามัธยมจากโรงเรียนมัธยมวัดหนองแขม เข้าศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใน
ปีการศึกษา 2556
ฝึกงานที่ : การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

นาย ณัชพล ตัณยะกุล เกิดเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม พ.ศ. 2537 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร
สำเร็จการศึกษามัธยมจากโรงเรียนเบญจมราชรังสฤษฎ์ เข้าศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใน
ปีการศึกษา 2556
ฝึกงานที่ : บริษัท ไทยออยล์ จำกัด(มหาชน)



นาย ณัฐดนัย แก้วมณี เกิดเมื่อวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2538 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร
การศึกษามัธยมจากโรงเรียนวัดสุทธิวราราม เข้าศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ใน
ปีการศึกษา 2556
ฝึกงานที่ : บริษัท เดนโซ่(ประเทศไทย) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้