สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

การศึกษาและออกแบบโปรแกรมการคำนวณค่าการเซ็ตติ้งรีเลย์ และกระแสฟอลต์ เพื่อป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าและบัสบาร์ โดยใช้การป้องกันด้วยรีเลย์แบบผลต่างและรีเลย์กระแสเกิน

ALGORITHM STUDY PROTECTIVE RELAYING PROGRAM FOR BUSBAR AND TRANSFORMER WITH DIFFERENTIAL RELAY AND OVERCURRENT RELAY

โดย

นายจักรพันธ์	นันทชัย
นายไชยเชษฐ์	อุดำ
นายสิทธิกร	พรหมถาวร
นายสุรพงษ์	บรรจงชู

ปพ.
TA225ก
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72963
วัน,เดือน,ปี 26 มิ.ย. 2550

b 11225609
i.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์

ดร.ชาย ชมภูอินไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาและออกแบบโปรแกรมการคำนวณค่าการเซ็ตติ้งรีเลย์ และกระแสฟอลต์ เพื่อป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าและบัสบาร์ โดยใช้การป้องกันด้วยรีเลย์แบบผลต่างและรีเลย์กระแสเกิน

ALGORITHM STUDY PROTECTIVE RELAYING PROGRAM FOR BUSBAR AND TRANSFORMER WITH DIFFERENTIAL RELAY AND OVERCURRENT RELAY

โดย

นายจักรพันธ์	นันทชัย
นายไชยเชษฐ์	อุคำ
นายสิทธิกร	พรหมถาวร
นายสุรพงษ์	บรรจงชู

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาและออกแบบโปรแกรมการคำนวณค่าการเซ็ตติ้งรีเลย์
และกระแสฟอลต์ เพื่อป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าและบัสบาร์
โดยใช้การป้องกันด้วยรีเลย์แบบผลต่างและรีเลย์กระแสเกิน

ผู้จัดทำ

1. นายจักรพันธ์ นันทชัย
2. นายไชยเชษฐ์ อุคำ
3. นายสิทธิกร พรหมถาวร
4. นายสุรพงษ์ บรรจงชู

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ชาย ชมภูอินไหว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาและออกแบบโปรแกรมการคำนวณค่าการเซ็ตติ้งรีเลย์และกระแสฟอลต์ เพื่อป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าและบัสบาร์ โดยใช้การป้องกันด้วยรีเลย์แบบผลต่างและรีเลย์กระแสเกิน

นายจักรพันธ์ นันทชัย
นายไชยเชษฐ์ อุคำ
นายสิทธิกร พรหมถาวร
นายสุรพงษ์ บรรจงชู
รศ.มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาหลักการป้องกันบัสบาร์และหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้า โดยใช้รีเลย์ป้องกันกระแสเกินและรีเลย์ป้องกันแบบผลต่าง พร้อมทั้งศึกษากระบวนการในการคำนวณเพื่อหาค่าในการปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกันจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องของอุปกรณ์ที่จะป้องกันนั้นๆ แล้วนำหลักการและกระบวนการที่ได้สร้างโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณค่าในการปรับตั้งให้อุปกรณ์ป้องกันหรือรีเลย์ทั้งสองชนิดให้ทำงานอย่างถูกต้อง

จากการทดสอบการทำงานของโปรแกรม พบว่าค่าที่ได้จากการการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของการไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ALGORITHM STUDY PROTECTIVE RELAYING PROGRAM FOR BUSBAR AND TRANSFORMER WITH DIFFERENTIAL RELAY AND OVERCURRENT RELAY

Juckapun	Nuntachai	
Chaiyachet	Ukham	
Sitthigorn	Promthaworn	
Surapong	Banjongchoo	
Assc.Prof. Monthon	Leelachindakaileak	Advisor
Dr. Chai	Chompoo-inwai	Advisor
2006		

Abstract

This project is study principle bus bar and power transformer protection in substation by used over current relay and differential relay together with procedure calculation for setting relay and create program for calculation setting value of relay.

Furthermore, the testing procedure program operated, the resultance of setting relay value be similar to setting relay value from electricity authority.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และความร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน อันประกอบไปด้วย

1. รศ. มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ และ ดร. ชาย ชมพูอินไหว ที่คอยให้ความเอาใจใส่ ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือเราเสมอมา
2. พี่ปริญญาโท (พี่ดัน พี่จุง พี่จุ้ย) ที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำ และอยู่เคียงข้างเราตลอดมา

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

3. คุณ ณรงค์ ดันติฉายากร ผอ.กองอุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์
4. คุณ เรืองศักดิ์ พรหมจันทร์ ห. แผนกวิศวกรรมระบบป้องกัน
5. คุณ สัตยา ใจดุ้ย กองอุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์
6. คุณ นรินทร์ พงษ์ประพันธ์ กองอุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์
7. คุณ สถิต บัวพนมมาศ ห. แผนกออกแบบสถานีไฟฟ้า
8. คุณ เผด็จ ไชยมงคล กองแผนงานระบบไฟฟ้า
9. คุณปานทอง ห. แผนก กองอุปกรณ์ควบคุม

การไฟฟ้าฝ่ายผลิต

10. คุณชัช ศรีถนอมวงศ์ ห. แผนกระบบป้องกันอุปกรณ์และเครื่องมือวัดไฟฟ้า
11. คุณพนา สุภาวกุล ห. แผนกวิชาการและพัฒนางานวิศวกรรมระบบควบคุมและป้องกัน
11. คุณ ณัฐพงษ์ วงศ์วทัญญู กอง กรร - ร
12. คุณ เมธา รักปาน กอง กรร - ร
13 คุณ โสภณ เลิศพรภักดีวงศ์ ห. แผนกระบบรีเลย์ 1-ส
14. คุณ บรรจบ ณรงค์ ห. แผนกระบบรีเลย์ 4-ส
15. คุณ พัฒนา บุญดระกูล กองระบบรีเลย์และป้องกัน
16. คุณ บรรณาธีระ อินทจาร กองระบบรีเลย์และป้องกัน
17. คุณ บรรเทิง กองแก้ว กองระบบรีเลย์และป้องกัน

ขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้เรามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูพวกเรามาเป็นอย่างดียิ่ง พร้อมทั้งให้โอกาสทางด้านการศึกษาอย่างเต็มที่ และเอาใจใส่เสมอมา พวกเราขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....I
Abstract.....II
สารบัญ III
สารบัญรูป.....IX
สารบัญตาราง.....XVII
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญและความเป็นมา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน..... 1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน..... 2
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน..... 2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย..... 2
บทที่ 2 ปรัชญาของการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังและหลักเกณฑ์ในการเลือกหม้อแปลงเครื่องมือวัดและเซอร์กิตเบรกเกอร์
2.1 อุปกรณ์ป้องกัน.....4
2.2 รีเลย์.....4
2.3 วงจรของรีเลย์และส่วนประกอบ.....5
2.3.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับรีเลย์.....7
2.4 หม้อแปลงเครื่องมือวัด.....9
2.4.1 หม้อแปลงกระแส..... 9
2.4.2 อัตราส่วนหม้อแปลงกระแส..... 11
2.4.3 วงจรสมมูลย์และเฟสเซอร์ของหม้อแปลงกระแส..... 13
2.4.4 เบอเด้นของหม้อแปลงกระแส..... 15
2.4.5 Knee-point voltage..... 21
2.4.6 ความแม่นยำของหม้อแปลงกระแส..... 23
2.4.7 การอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส..... 24
2.4.8 การเกิดแรงดันเกินทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส..... 31
2.4.9 การเลือก CT rating..... 32
2.4.10 การต่อหม้อแปลงกระแส..... 32
2.5 หม้อแปลงแรงดัน..... 35
2.5.1 Electromagnetic voltage transformer..... 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.5.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมเฟส....37
2.5.3 Coupling capacitor voltage transformer.... 38
2.5.4 Voltage ratio.... 41
2.5.5 Rated power ของหม้อแปลงแรงดัน.... 41
2.5.6 การต่อใช้งานหม้อแปลงแรงดัน.... 41
2.6 เซอร์กิตเบรกเกอร์....43
2.6.1 หน้าที่และการใช้งาน.... 43
2.6.2 การเกิดอาร์ค....43
2.6.3 การดับของ arc.... 44
2.6.4 เบรกเกอร์ชนิดดับอาร์คด้วยน้ำมัน.... 44
2.6.5 เบรกเกอร์ชนิดดับอาร์คด้วยแก๊ส.... 45
2.6.6 เบรกเกอร์แบบสุญญากาศ.... 46
2.6.7 องค์ประกอบในการเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์....48
2.6.8 การเลือก interrupting capacity rating ของ circuit breaker.... 48
2.6.9 รูปแบบของการลัดวงจร.... 48
2.6.10 การคำนวณกระแสลัดวงจร.... 49
2.6.11 เบสิกการคำนวณค่า symmetrical short circuit current....49
2.6.12 พิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์.... 49
2.6.13 หลักการเลือก circuit breaker rating.... 52

บทที่ 3 โครงสร้างและหลักการทำงานของรีเลย์

3.1 ชนิดของรีเลย์แบ่งตามลักษณะของคอยล์หรือแบ่งตามลักษณะการใช้งาน....54
3.2 รีเลย์กระแสเกิน....55
3.2.1 การปรับตั้งเวลาและกระแสของรีเลย์กระแสเกินชนิดเวลาผกผัน กับกระแสแบบไม่มีทิศ....58
3.2.2 การจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน....59
3.3 รีเลย์กระแสเกินแบบรู้ทิศทาง....61
3.3.1 การจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกินแบบรู้ทิศทาง ในการป้องกันสายส่งวงรอบปิด....62
3.4 ตัวอย่างการทำงานของรีเลย์กระแสเกินแบบต่างๆ....64
3.4.1 การแยกแยะโดยใช้กระแส....64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.4.2 การแยกแยะโดยใช้เวลา.....64
3.4.3 การแยกแยะโดยใช้กระแสและเวลา.....65
3.5 หลักการทำงานร่วมกันของรีเลย์.....65
3.5.1 การกำหนดเวลาทำงานให้รีเลย์.....69
3.5.2 การหาไทม์มัลติเพิลเซ็ทติ้ง.....70
3.5.3 เกณฑ์สำหรับการเลือก pick up หรือ tap ของรีเลย์กระแสเกิน.....71
3.5.4 เกรดดิ้งมาจิน.....71
3.6 ตัวอย่างการ Setting from EGAT.....73
3.7 รีเลย์วัดค่าผลต่าง.....75
3.7.1 ชนิดของรีเลย์วัดค่าผลต่าง.....77

บทที่ 4 การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง

4.1 การป้องกันบัสบาร์..... 80
4.1.1 การป้องกันโดยใช้แบคอัพรีเลย์ของระบบเป็นตัวป้องกันบัส..... 80
4.1.2 การป้องกันแบบใช้ค่าผลต่าง..... 81
4.1.3 การป้องกันแบบกระแสเกิน..... 85
4.1.4 การป้องกันหม้อแปลงและบัสร่วมกัน..... 87
4.1.5 รูปแบบการจัดวางบัสบาร์..... 88
4.2 การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า..... 92
4.2.1 เวกเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลง..... 92
4.2.2 การป้องกันขดลวดภายในหม้อแปลงลัดวงจรถึงกัน..... 94
4.2.3 การตั้งรีเลย์ให้ถูกต้องกับกระแสฟอลต์และผลของกระแสอินรัช..... 97
4.2.4 การป้องกันหม้อแปลงที่มีขดลวด 3 ขด..... 99
4.2.5 การป้องกันขดลวดลัดวงจรลงดินแบบจำกัดบริเวณ..... 100
4.2.6 หม้อแปลงต่อแบบสตาร์ที่มีการต่อจุดศูนย์ลงดินโดยตรง..... 101
4.2.7 การเปลี่ยนแท็ป..... 101
4.2.8 การเลื่อนเฟส..... 102
4.2.9 การลัดวงจรที่แกนเหล็กของหม้อแปลง..... 103
4.2.10 ความผิดปกติที่ถังหม้อแปลง.....103
4.2.11 การป้องกันหม้อแปลงโดยใช้รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน..... 104
4.2.12 การป้องกันหม้อแปลงทางด้านกราวดน์..... 106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.3 การป้องกันหม้อแปลงโดยใช้รีเลย์แบบผลต่าง..... 108
4.3.1 กราฟคุณลักษณะการทำงาน.....109

บทที่ 5 การคำนวณค่ากระแสฟอลต์และวิธีการในการเซ็ทติ้งรีเลย์

5.1 การคำนวณค่ากระแสฟอลต์..... 111
5.1.1การคำนวณค่ากระแสฟอลต์ที่บัสบาร์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย..... 111
5.1.2 การคำนวณกระแสฟอลต์ทางด้าน Medium volt (33 kV)..... 114
5.2 การป้องกันบัสบาร์..... 123
5.2.1 อัลกอริทึมในการเซ็ตติ้งบัสบาร์โดยใช้ดิฟเฟอเรนเทียลรีเลย์.....123
5.2.2 อัลกอริทึมในการเซ็ตติ้งบัสบาร์โดยใช้โอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์.....129
5.3 การป้องกันหม้อแปลง.....145
5.3.1 อัลกอริทึมในการเซ็ตติ้งหม้อแปลงโดยใช้ดิฟเฟอเรนเทียลรีเลย์..... 145
5.3.2 อัลกอริทึมในการเซ็ตติ้งหม้อแปลงโดยใช้โอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์.....176
5.4 การเปรียบเทียบค่าเซ็ตติ้งจากการไฟฟ้ากับโปรแกรม..... 217
5.4.1 การเปรียบเทียบการคำนวณค่ากระแสฟอลต์จากโปรแกรม
โครงงานกับค่าจริงจากการไฟฟ้าแบบ Short Calculation.....217
5.4.2 การเปรียบเทียบการคำนวณค่ากระแสฟอลต์จากโปรแกรม
โครงงานกับค่าจริงจากการไฟฟ้าแบบ Standard Calculation.....219
5.4.3 การเปรียบเทียบการคำนวณค่าเซ็ตติ้งไฮอิมพีแดนซ์
จากโปรแกรมโครงงานกับค่าจากการไฟฟ้า..... 222
5.4.4 การเปรียบเทียบการคำนวณค่าเซ็ตติ้งเคอร์เร้นท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์
แบบเปอร์เซ็นเดดท์(%D)จากโปรแกรมโครงงานกับค่าจากการไฟฟ้า.... 226
5.4.5 การเปรียบเทียบการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์
ของหม้อแปลงจากโปรแกรมโครงงานกับค่าจากการไฟฟ้า..... 228
5.4.6 การเปรียบเทียบการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์
ของบัสบาร์จากโปรแกรมโครงงานกับค่าจากการไฟฟ้า..... 232

บทที่ 6 วิธีการใช้งานและตัวอย่างการแก้ปัญหาในระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม

6.1 ขีดความสามารถและข้อจำกัดในการใช้งานของโปรแกรม..... 242
6.1.1 โหมดการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน
HV และ MV (Fault Level)..... 243

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

6.1.2 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์..... 244
6.1.3 โหมดสรุปการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ ทั้งหม้อแปลงและบัสบาร์..... 245
6.1.4 โหมดการคำนวณหาขนาดของสายลีดทางด้านทุติยภูมิของ CT..... 246
6.1.5 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโวลท์เดดท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์..... 246
6.1.6 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งเคอร์เร้นท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเดดท์..... 247
6.2 ข้อมูลอินพุตและตัวแปรที่ใช้งานในโปรแกรมที่ควรรู้จัก..... 248
6.2.1 โหมดการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV..... 248
6.2.2 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์..... 249
6.2.3 โหมด Summary Data Setting..... 250
6.2.4 โหมดการคำนวณหาขนาดของสายลีดทางด้านทุติยภูมิของ CT..... 250
6.2.5 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโวลท์เดดท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์..... 251
6.2.6 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งเคอร์เร้นท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเดดท์..... 251
6.3 วิธีการใช้งานโปรแกรม..... 252
6.3.1 โหมดการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV..... 252
6.3.2 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์..... 254
6.3.3 โหมดสรุปการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ทั้งหม้อแปลงและบัสบาร์..... 256
6.3.4 โหมดการคำนวณหาขนาดของสายลีดทางด้านทุติยภูมิของ CT..... 257
6.3.5 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโวลท์เดดท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์..... 258
6.3.6 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งเคอร์เร้นท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเดดท์..... 259
6.4 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมในการแก้ไขปัญหาในระบบไฟฟ้า..... 261
6.4.1 การแก้ปัญหาโหลดเกินพิกัดสายซับมารีนเคเบิลที่เกาะสมุย..... 261
6.4.2 ผลของค่าความด้านทานของ CT และสายเคเบิลที่มีผลต่อความว่องไวของดิฟเฟอเรนเทียลรีเลย์..... 271

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 7 บทสรุป

7.1 บทสรุปของโครงงาน.....274

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ผังการทำงานของระบบป้องกัน	6
2.2	การทำงานอย่างง่ายของรีเลย์ป้องกัน	7
2.3	ส่วนที่เกิดฟอลต์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยใช้รีเลย์ที่มีการคัดเลือกที่ดี เพื่อจำแนกความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับระบบว่าควรจะสั่งเบรกเกอร์ตัวไหนก่อนหลัง	8
2.4	หม้อแปลงกระแสแบบ bar primary	10
2.5	หม้อแปลงกระแสแบบ wound primary	10
2.6	ลักษณะของหม้อแปลงกระแสที่ใช้ในทางปฏิบัติ	11
2.7	เฟสเซอร์ที่ค่า resistive burden(power factor = 1)	14
2.8	เฟสเซอร์ค่า burden มาตรฐาน (standard burden, power factor = 0.5)	15
2.9	การต่อหม้อแปลงกระแสเพื่อทดสอบหา excitation curve	17
2.10	excitation curve ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงที่มีอัตราส่วนต่างกัน	18
2.11	หม้อแปลงกระแสช่วย	20
2.12	CT ต่อตรงกับ Z_B	21
2.13	CT ต่อตรงกับ Z_B ผ่านหม้อแปลงกระแสช่วย	21
2.14	Z_B ใหม่ที่ CT เห็น ผ่านหม้อแปลงกระแสช่วย	21
2.15	จุด knee-point ใน excitation curve	22
2.16	จุด knee-point ใน excitation curve	22
2.17	ตัวอย่างเส้นโค้งกระตุ้นสำหรับหม้อแปลงกระแสแบบ C or K class	23
2.18	เกิด external fault ที่ bus	25
2.19	วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงกระแส	25
2.20	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสด้านปฐมภูมิกับฟลักซ์และกระแสด้านปฐมภูมิ กับกระแสด้านทุติยภูมิเมื่อหม้อแปลงกระแสไม่เกิดการอิ่มตัว	27
2.21	ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสด้านปฐมภูมิกับฟลักซ์และกระแสด้านปฐมภูมิ กับกระแสด้านทุติยภูมิเมื่อหม้อแปลงกระแสเกิดการอิ่มตัว	27
2.22	รูปคลื่นกระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสที่มีค่าฟลักซ์ตกค้างต่างกัน	30
2.23	การต่อหม้อแปลงกระแสแบบวาย(wye)	34
2.24	การต่อหม้อแปลงกระแบบเดลต้า(delta)	34
2.25	zero sequence current shunt	34
2.26	จุดทำงานของหม้อแปลงแรงดันบนกราฟคุณสมบัติแม่เหล็ก	36
2.27	วงจรสมมูลหม้อแปลงแรงดันแบบ electromagnetic	36
2.28	เวกเตอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงแรงดันแบบ electromagnetic	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.29 เวกเตอร์ไดอะแกรมวงจรสมมูลทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงดัน..... 38
2.30 วงจรพื้นฐานของ CCVT..... 39
2.31 วงจรสมมูลของ CCVT..... 39
2.32 เวกเตอร์ไดอะแกรมของวงจรสมมูลของ CCVT.....40
2.33 การติดตั้งฟิวส์.....40
2.34 การต่อหม้อแปลงแรงดันแบบวาย-วาย(wye-wye connection)..... 41
2.35 การต่อหม้อแปลงแรงดันแบบวี(V connection)..... 42
2.36 การต่อหม้อแปลงแรงดันแบบ wye-open delta..... 42

3.1 รีเลย์กระแสเกินแบบกลไฟฟ้าอาศัยการทำงานของจานเหนี่ยวนำ..... 56
3.2 รีเลย์กระแสเกินแบบกลไฟฟ้าอาศัยการทำงานของแม่เหล็กดึงดูด ชนิด plunger..... 57
3.3 รีเลย์กระแสเกินแบบกลไฟฟ้าอาศัยการทำงานของแม่เหล็กดึงดูด ชนิด clapper..... 57
3.4 ลักษณะแทปของรีเลย์ที่ใช้ในการปรับตั้งค่าปลั๊กเซตติ้งกับไทม์เซตติ้ง..... 58
3.5 แผนภาพระบบไฟฟ้าแบบเรเดียลป้องกันด้วยรีเลย์กระแสเกิน.....61
3.6 แผนภาพระบบไฟฟ้าวงรอบปิดแหล่งจ่ายเดียว..... 62
3.7 แผนภาพการประยุกต์ใช้รีเลย์แบบรู้ทิศทางป้องกันระบบวงจรรอบปิด แหล่งจ่ายเดียว..... 62
3.8 การแยกแยะโดยใช้กระแส.....64
3.9 การแยกแยะโดยใช้เวลา..... 64
3.10 อินเวอร์สไทม์ชาแรคเทอร์ริสติก..... 65
3.11 IEC curve..... 66
3.12 Accuracy of characteristic curve..... 66
3.13 Time multiply(Dial) of operating time..... 67
3.14 การ plot normal inverse curve..... 67
3.15 การ plot damage curve..... 68
3.16 การเกิดฟอลท์ที่ฟีดเดอร์..... 69
3.17 การหาไทม์มัลติเพิลเซตติ้ง..... 70
3.18 เกณฑ์สำหรับการเลือก pick up..... 71
3.19 Setting from EGAT..... 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.20 การ plot curve Co-ordination..... 75
3.21 แผนภาพวงจรพื้นฐานของรีเลย์วัดค่าผลต่างของกระแส..... 76
3.22 แผนภาพลักษณะด้านการทำงานของรีเลย์วัดค่าผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์..... 76
3.23 ฟอลท์เกิดขึ้นนอกเขตป้องกันของรีเลย์กระแสต่าง 77
3.24 ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในเขตป้องกันของรีเลย์กระแสต่าง..... 77
3.25 การนำรีเลย์ชนิดอื่นมาต่อเป็นรีเลย์แบบรีเลย์กระแสต่าง..... 78
3.26 คุณลักษณะของรีเลย์กระแสต่าง..... 78
3.27 B-H curve และการไบอัส แอมแปร์-รอบ ให้กับทราสดักเตอร์..... 79
3.28 รีเลย์กระแสต่างชนิดสายนำของ Solkor-R-relay..... 79

4.1 การป้องกันบัสโดยใช้แบคอัพรีเลย์ของระบบเป็นตัวป้องกันบัสเข้าไปด้วย..... 80
4.2A การป้องกันบัสแบบใช้ค่าผลต่างของแรงดัน..... 81
4.2B รีเลย์วัดค่าผลต่างของแรงดันแบบบัสไวน์ดูเปอร์วิสชั่น ชนิด MVTP31..... 83
4.3 การป้องกันบัสบาร์แบบใช้ผลต่างทางกระแส..... 84
4.4 การใช้ลิเนียร์คัปเปลอร์โดยต่อให้ลิเนียร์คัปเปลอร์แต่ละตัวอนุกรม แล้วต่ออนุกรมกับรีเลย์แรงดัน..... 85
4.5 ลักษณะเฉพาะของรีเลย์ในการป้องกันแบบกระแสเกิน..... 86
4.6 รูปแบบการจัดวางการป้องกันแบบกระแสเกิน..... 86
4.7 การใช้รีเลย์กระแสต่างในการป้องกันหม้อแปลงและบัสรวมอยู่ในหน่วยเดียวกัน รีเลย์ที่ใช้จะมีคอยล์ทำงานหนึ่งชุดและคอลย์ด้านการทำงาน 2 ชุด..... 87
4.8 สายวงจรคู่ป้อนกันไฟเข้าบัสแล้วใช้รีเลย์กระแสต่างที่มีขดลวดคอยลย์ด้านการทำงาน 3 ชุด และคอลย์ทำงาน 1 ชุด..... 87
4.9 การป้องกันหม้อแปลงสองลูกรวมกับบัสโดยใช้รีเลย์กระแสต่างสองตัวโดยรีเลย์มีขดลวดคอลย์ด้านการทำงาน 3 ชุด และคอลย์ทำงาน 1 ชุด..... 88
4.10 การจัดเรียงแบบซิงเกิลบัส..... 88
4.11 การจัดเรียงแบบดับเบิ้ลบัสดับเบิ้ลเบรกเกอร์..... 89
4.12 การจัดเรียงแบบเมนแอนด์ทรานเฟอร์บัส..... 90
4.13 การจัดเรียงแบบริงบัส..... 90
4.14 การจัดเรียงแบบเบรกเกอร์แอนด์อะฮาฟ..... 91
4.15 การจัดเรียงแบบมัลติเพิลบัสเซ็กชั่นวิทบัสไทน์..... 91
4.16 การจัดเรียงแบบดับเบิ้ลบัสซิงเกิลเบรกเกอร์วิทบัสไทน์..... 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.17	การต่อหม้อแปลงแบบวาย-เดลต้าเมื่อเกิดฟอลท์ด้านเดลต้ากราวด์	94
4.18	การต่อกราวด์จริงให้กับระบบโดยใช้หม้อแปลงวาย-เดลต้าต่อเป็นหม้อแปลงกราวด์	95
4.19	กระแสและแรงดันของหม้อแปลงกระแสหนึ่งเฟส 1.1 kVA 220/110 V	94
4.20	การต่อซีทีแบบเดลต้า-เดลต้าเพื่อใช้ต่อกับหม้อแปลงที่ต่อแบบวาย-วาย	96
4.21	การต่อซีทีแบบวาย-วายกับหม้อแปลงที่ต่อแบบวาย-วาย	97
4.22	กระแสอินรัชของหม้อแปลงขณะเริ่มต่อไฟเข้าด้านปฐมภูมิ	98
4.23	การต่อซีทีกับหม้อแปลงที่มีขดลวดสมขด	99
4.24	การต่อรีเลย์ป้องกันขดลวดลงดินแบบไม่จำกัดบริเวณกับหม้อแปลงที่มีขดลวดแบบเดลต้า แต่ไม่มีสายนิวตรอนอยู่ในเขตที่ป้องกัน	100
4.25	การต่อรีเลย์ป้องกันขดลวดลงดินแบบจำกัดบริเวณกับหม้อแปลงที่มีขดลวดต่อเป็นแบบเดลต้าแต่สายนิวตรอนอยู่ในเขตป้องกันโดยต่อผ่านหม้อแปลงระบบกราวด์จริงลงดิน	100
4.26	กระแสลัดวงจรลงดินในหม้อแปลงที่ต่อแบบสตาร์และต่อจุดกลางลงดินโดยตรง	101
4.27	ค่ากระแสตามจุดต่าง ๆ ของหม้อแปลง 100/10 kV	102
4.28	การต่อหม้อแปลงกระแสเพื่อชดเชยการเลื่อนเฟส	103
4.29	ค่ากระแสในสายและขดลวดหม้อแปลงที่ต่อแบบเดลต้า-เดลต้าและเดลต้า-วาย	105
4.30	การป้องกันกราวนด์ฟอลท์ของหม้อแปลงแบบเดลต้า-วายโดยใช้รีเลย์กระแสเกินและ differential connected ground relay	107
4.31	การป้องกันกราวนด์ฟอลท์ของหม้อแปลงแบบเดลต้า-วายโดยใช้รีเลย์กระแสเกินและ directional relay	107
4.32	วงจรเปอร์เซ็นเตจดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์	108
4.33	กราฟคุณลักษณะการทำงานของเปอร์เซ็นเตจดิฟเฟอร์เรนเชียลโพรเทคชั่น	109
5.1	วันไลน์ไดอะแกรมในการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย	112
5.2	เนทเวิร์คการคำนวณทางด้านทรีเฟสฟอลต์ทางด้าน HV ของหม้อแปลงYydn0(d1)	113
5.3	ลักษณะและการติดตั้งของสาย115 kV Submarine cable	114
5.4	เนทเวิร์คการคำนวณทางด้านซิงเกิลไลน์ทูกราวดน์ฟอลต์ทางด้านMV ของหม้อแปลงYyn0(d1)	116
5.5	ผลการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ด้วยโปรแกรมจากโครงงาน	117

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.6 One Line Diagram ของบริเวณที่ทำการศึกษาการเซ็ตดิ้งรีเลย์จากโรงไฟฟ้าขนอมไประบบจำหน่ายบนเกาะสมุย....122

5.7 One Line Diagram แสดงรูปแบบการจัดวางบัสจากโรงจักรไฟฟ้าขนอม..... 122

5.8 อัลกอริทึมในการเซ็ตดิ้งบัสบาร์โดยใช้ดิฟเฟอเรนเทียลรีเลย์.....123

5.9 ผลการคำนวณค่าเซ็ตดิ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์ด้วยโปรแกรมจากโครงงาน 128

5.10 อัลกอริทึมในการเซ็ตดิ้งบัสบาร์โดยใช้โอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์.....129

5.11 ผลการเซ็ตดิ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุยด้วยโปรแกรมของโครงงาน..... 140

5.12 การโคออดิเนชั่นทางด้านเฟสของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย (33kV) ด้วยโปรแกรม Power plot ซึ่ง PEA ใช้งานอยู่.....141

5.13 การโคออดิเนชั่นทางด้านกราวดน์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย(33kV) ด้วยโปรแกรม Power plot ซึ่ง PEA ใช้งานอยู่.....142

5.14 ตัวอย่างการโคออดิเนชั่นทางด้านเฟสของระบบจำหน่าย 22 kV..... 143

5.15 ตัวอย่างการโคออดิเนชั่นทางด้านกราวดน์ของระบบจำหน่าย 22 kV.....144

5.16 อัลกอริทึมในการเซ็ตดิ้งหม้อแปลงโดยใช้ดิฟเฟอเรนเทียลรีเลย์..... 145

5.17 ผลการเซ็ตดิ้งเปอร์เซ็นเดดดิฟเฟอร์เรนเทียลรีเลย์ของสถานีไฟฟ้าขนอมด้วยโปรแกรมของโครงงาน..... 174

5.18 ผลของกราฟลักษณะเฉพาะของเปอร์เซ็นเดดดิฟเฟอร์เรนเทียลรีเลย์สถานีไฟฟ้าขนอมด้วยโปรแกรมของโครงงาน.....175

5.19 อัลกอริทึมในการเซ็ตดิ้งหม้อแปลงโดยใช้โอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์.....176

5.20 ผลการเซ็ตดิ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ที่ป้องกันหม้อแปลงของสถานีไฟฟ้าขนอมด้วยโปรแกรมของโครงงาน..... 216

5.21 การคำนวณค่ากระแสฟอลต์จากโปรแกรมโครงงาน..... 217

5.22 การคำนวณค่ากระแสฟอลต์จากกองแผนงานระบบไฟฟ้าของกฟภ..... 217

5.23 การคำนวณค่ากระแสฟอลต์จากโปรแกรมโครงงาน..... 218

5.24 การคำนวณค่ากระแสฟอลต์จากกองแผนงานระบบไฟฟ้าของกฟภ..... 218

5.25 การคำนวณค่ากระแสฟอลต์จากโปรแกรมโครงงาน..... 219

5.26 การคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้านแรงดัน 115 kVสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย..... 220

5.27 การคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้านแรงดัน 33 kV สถานีไฟฟ้าเกาะสมุย..... 221

5.28 การคำนวณหาขนาดของสายลีดทางด้านทุติยภูมิของ CT จากโปรแกรมโครงงาน 222

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.29	การคำนวณการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์(VD)จากโปรแกรมโครงงาน	222
5.30	ค่าเซ็ตติ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์(VD) จาก กฟผ.	223
5.31	การคำนวณหาขนาดของสายลีดทางด้านทุติยภูมิของ CT จากโปรแกรมโครงงาน	224
5.32	การคำนวณการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์(VD)จากโปรแกรมโครงงาน	224
5.33	ค่าเซ็ตติ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์(VD) จาก กฟภ.	225
5.34	ค่าเซ็ตติ้งเคอร์เร้นท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเดตท์(%D) ของสถานีไฟฟ้าคลองขลุงด้วยโปรแกรมจากโครงงาน	226
5.35	ผลของกราฟลักษณะเฉพาะของเปอร์เซ็นเดตติฟเฟอร์เรนเทียลรีเลย์สถานีไฟฟ้าคลองขลุงด้วยโปรแกรมของโครงงาน	226
5.36	ค่าเซ็ตติ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์(VD) จาก กฟภ.	227
5.37	ค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นท์รีเลย์ของหม้อแปลง KT4A ของสถานีไฟฟ้าขนอมด้วยโปรแกรมจากโครงงาน	228
5.38	ค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นท์รีเลย์ทางด้านเฟส 230 kV จากการไฟฟ้าของหม้อแปลง KT4A ในสถานีไฟฟ้าขนอม	229
5.39	ค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นท์รีเลย์ทางด้าน เฟส 115 kV จากการไฟฟ้าของหม้อแปลง KT4A ในสถานีไฟฟ้าขนอม	230
5.40	ค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นท์รีเลย์ทางด้านกราวตน์ 115 kV จากการไฟฟ้าของหม้อแปลง KT4A ในสถานีไฟฟ้าขนอม	231
5.41	ผลการเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุยด้วยโปรแกรมของโครงงาน	232
5.42	การโคออดิเนชั่นทางด้านเฟสของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย (33kV) ด้วยโปรแกรม Power plot	233
5.43	การโคออดิเนชั่นทางด้านกราวตน์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย(33kV) ด้วยโปรแกรม Power plot	234
5.44	ผลการเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์จากการไฟฟ้าของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย	235
6.1	หน้าหลักของโปรแกรม	242
6.2	เนทเวิร์คการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV	244
6.3	การพลอตกราฟการโคออดิเนชั่นด้วยโปรแกรม Power Plot	245

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.4 การส่งข้อมูลออกเป็นเท็กไฟล์ สรุปการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ทั้งหม้อแปลงและบัสบาร์ 246

6.5 โหมดการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV แบบ Short Cal..... 252

6.6 โหมดการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV แบบ Standard cal..... 253

6.7 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ของบัสบาร์..... 254

6.8 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ของหม้อแปลง..... 255

6.9 โหมดสรุปการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ทั้งหม้อแปลงและบัสบาร์..... 256

6.10 การส่งข้อมูลออกเป็นเท็กไฟล์ สรุปการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ทั้งหม้อแปลงและบัสบาร์..... 257

6.11 โหมดการคำนวณหาขนาดของสายลีดทางด้านทุติยภูมิของ CT..... 257

6.12 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโวลท์เตดท์ติฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์..... 258

6.13 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งเคอร์เร้นท์ติฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเตดท์....259

6.14 ผลของกราฟลักษณะเฉพาะของเปอร์เซ็นเตดติฟเฟอร์เรนเทียลรีเลย์ด้วยโปรแกรมของโครงงาน..... 261

6.15 One Line Relaying & Metering Diagram ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย..... 263

6.16 สภาพการจ่ายไฟระหว่างสถานีไฟฟ้าขนอม และ สถานีไฟฟ้าเกาะสมุย..... 264

6.17 ผลการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ด้วยโปรแกรมจากโครงงาน..... 265

6.18 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ของบัสบาร์ในสถานีไฟฟ้าด้วยโปรแกรมจากโครงงาน..... 268

6.19 โหมดแสดงผลการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ของบัสบาร์ในสถานีไฟฟ้าด้วยโปรแกรมจากโครงงาน..... 267

6.20 การโคออดิเนชั่นทางด้านเฟสของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย (33kV) ด้วยโปรแกรม Power plot..... 268

6.21 การโคออดิเนชั่นทางด้านกราวดน์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย (33kV) ด้วยโปรแกรม Power plot..... 269

6.22 การคำนวณค่าเซ็ตติ้งโวลท์เตดท์ติฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์ (VD).....270

6.23 วงจรของสู่ดิฟเฟอร์เรนเทียลรีเลย์แบบใช้ค่าแรงดัน (High Impedance)..... 271

6.24 โมโนแกรมที่ใช้หาขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิล..... 272

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.25 โปรแกรมโหมดการทำงานของการแนะนำการเลือกขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิล.....273

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 พิกัดหม้อแปลงกระแสแบบเลือกอัตราส่วนได้....11
2.2 พิกัดหม้อแปลงกระแสแบบเลือกอัตราส่วนได้....12
2.3 พิกัดของหม้อแปลงที่มีอัตราส่วนเดียวหรือสองอัตราส่วน....13
2.4 ค่าเบอเด้นมาตรฐานสำหรับหม้อแปลงกระแสที่มีค่ากระแสด้านทุติยภูมิ 5 A....16
2.5 พิกัดแรงดันและเบอเด้น....23
2.6 ค่าเบอเด้นที่เปลี่ยนแปลงตามการต่อหม้อแปลงกระแสและชนิดของฟอลท์ที่เกิด....35
2.7 ขีดจำกัดของความผิดพลาดของหม้อแปลงแรงดัน....38
2.8 short time current rating....51
2.9 Standard rating short circuit current ที่ EGAT เลือกใช้....52

4.1 แสดงค่าฮาร์โมนิก....98

5.1 การหาค่าฟอลต์ในระบบทั้งหมด....118
5.2 ข้อกำหนดการเซ็ตดิ้งบัสบาร์ทางด้านเฟสของกฟภ....119
5.3 ข้อกำหนดการเซ็ตดิ้งบัสบาร์ทางด้านกราวนด์ของกฟภ....119
5.4 ข้อกำหนดการเซ็ตดิ้งหม้อแปลงทางด้านเฟสของกฟภ....120
5.5 ข้อกำหนดการเซ็ตดิ้งหม้อแปลงทางด้านกราวนด์ของกฟภ....120
5.6 ข้อกำหนดการเซ็ตดิ้งหม้อแปลงทางด้านเฟสของกฟผ....121
5.7 ข้อกำหนดการเซ็ตดิ้งหม้อแปลงทางด้านกราวนด์ของกฟผ....121
5.8 ผลการเซ็ตดิ้งโอเวอร์เดอร์เร้นรีเลย์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุยด้วยการคำนวณมือ....139
5.9 สรุปการเปรียบเทียบค่าจากการไฟฟ้าเทียบกับโปรแกรมของโครงงาน....236

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

ระบบพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการสนับสนุนกิจกรรมต่าง ๆทั้งในด้านเกษตรกรรม อุสาหกรรม และพานิชยกรรม ในยุคปัจจุบันความต้องการที่จะใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นตลอดอย่างไม่หยุดยั้ง ดังนั้นหากระบบพลังงานไฟฟ้าเกิดมีปัญหาขัดข้องอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดเสียหาย หรืออุปกรณ์ป้องกันทำงานผิดปกติจนเป็นอุปสรรคในการจ่ายไฟสนองความต้องการของผู้ใช้ไฟโดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมจะมีความเสียหายที่มีมูลค่าที่สูง ดังนั้นการป้องกันหรือแก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องรู้จักวิธีใช้งานและหลักการทำงานที่ถูกต้องของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันต่าง ๆ การเลือกใช้งานที่ถูกต้องเหมาะสมทำให้อุปกรณ์ป้องกันสามารถที่จะทำงานได้อย่างถูกต้อง เพื่อที่จะทำให้ระบบพลังงานไฟฟ้ามีความน่าเชื่อถือและมีเสถียรภาพมากขึ้น การที่จะเลือกอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้าจะต้องทำการเลือกให้ถูกต้องเหมาะสมกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการป้องกัน เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ป้องกัน

รีเลย์(Protective Relay)เป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้งานเนื่องจากมีการทำงานที่ถูกต้องแม่นยำ และรวดเร็ว มีความน่าเชื่อถือสูง ใช้งานง่าย โครงงานนี้จะพิจารณาการคำนวณและเลือกอุปกรณ์ป้องกัน Transformer และ Bus Bar โดยพิจารณารูปแบบการป้องกันแบบผลต่าง (Differential Protection) และการป้องกันรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน(Overcurrent Protection) เป็นหลักในการป้องกัน และท้ายสุดของโครงงานจะเป็นการพัฒนาโปรแกรมการคำนวณและเลือกอุปกรณ์ป้องกันเพื่อให้สามารถใช้งานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.เพื่อศึกษาหลักการทำงาน, คุณสมบัติของรีเลย์, การคำนวณค่ากระแสลัดวงจรเพื่อใช้ในการเซ็ตติ้งรีเลย์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ในที่นี้คือ หม้อแปลงกระแส(CT), หม้อแปลงแรงดัน(PT) และเซอร์กิตเบรกเกอร์(CB)

2.เพื่อศึกษาการคำนวณและการเลือกใช้รีเลย์พร้อมกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องให้เหมาะสมกับพิกัดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกัน คือ Transformer, Bus Bar

3.ศึกษาการใช้งานและประยุกต์ใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิชวลเบสิคสตูดิโอ 2005 (Visual Basic Studio 2005)

4.สามารถนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิชวลเบสิคสตูดิโอ 2005 (Visual Basic Studio 2005) มาประยุกต์ใช้กับการคำนวณและเลือกใช้รีเลย์พร้อมกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า(Transformer) และบัสบาร์(Busbar)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า(Transformer), บัสบาร์(Bus Bar) มีรูปแบบและวิธีการในการป้องกันหลากหลาย แต่ในโครงงานนี้จะศึกษาทฤษฎีการป้องกันแบบผลต่าง(Differential Protection) และการป้องกันการลัดวงจรลงดิน(Earth Fault Protection)โดยพิจารณาใช้งาน Differential Relays และ Overcurrent Relay เป็นหลักในการป้องกัน สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) และบัสบาร์(Busbar)

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.ศึกษาทฤษฎีและหลักการการป้องกัน หม้อแปลงไฟฟ้า(Transformer), บัสบาร์(Bus Bar)โดยการป้องกันแบบผลต่าง(Differential Protection) และการป้องกันด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน(Overcurrent Protection)

2.ศึกษาหลักการคำนวณและการเลือกใช้รีเลย์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องคือ CT, PT , CB สำหรับการป้องกันแบบผลต่าง(Differential Protection) และการป้องกันด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน(Overcurrent Protection)

3.ประยุกต์ใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิชวลเบสิคสตูดิโอ 2005 (Visual Basic Studio 2005) ในการคำนวณและเลือกใช้รีเลย์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องคือ CT , PT , CB ให้เหมาะสมกับขนาดพิกัดและคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ต้องการป้องกันคือ Transformer, Bus Bar

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.เข้าใจทฤษฎีและหลักการการป้องกัน Transformer และBus Bar

2.เข้าใจทฤษฎีและหลักการการป้องกันแบบผลต่าง(Differential Protection) และการป้องกันด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน(Overcurrent Protection)

3.สามารถคำนวณและพิจารณาเลือกใช้รีเลย์(Protective Relay), หม้อแปลงกระแส (CT), หม้อแปลงแรงดัน(PT) และเซอร์กิตเบรกเกอร์(CB) ในการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า , บัสบาร์ ได้ถูกต้องตามขนาดพิกัดที่ต้องการป้องกัน

4.โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยในการคำนวณและตัดสินใจเลือกใช้รีเลย์(Protective Relay) , หม้อแปลงกระแส(CT) , หม้อแปลงแรงดัน(PT) และเซอร์กิตเบรกเกอร์(CB) ในการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า , บัสบาร์ ในการป้องกันแบบผลต่าง(Differential Protection) และการป้องกันด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน(Overcurrent Protection) เพื่อให้มีการใช้งานได้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ปรัชญาของการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังและหลักเกณฑ์ในการเลือกหม้อแปลงเครื่องมือวัด (Instrument Transformers) และ เซอร์กิตเบรกเกอร์(CB)

การจัดหาขนาดและชนิดของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในระบบป้องกันได้นั้นจำเป็นต้องมีการคำนวณกระแสและศักดาไฟฟ้าของระบบในกรณีที่เกิดลัดวงจรแบบต่างๆ เพื่อให้ทราบว่าอุปกรณ์ ต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในระบบนั้นมีโอกาสจะทำให้เกิดการลัดวงจรสูงสุดเท่าใด และแรงดัน ไฟฟ้าขณะเกิดลัดวงจรมีค่าเป็นอย่างไร การเลือกใช้ขนาดอุปกรณ์ที่ไม่ถูกต้องและไม่สามารถรับกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบได้ส่งผลให้อุปกรณ์นั้น ๆ เสียหายทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์สูง กระแสลัดวงจรสามารถทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังเสียหายได้หลายทางได้แก่

- กระแสลัดวงจรสูงทำให้เกิดความร้อนสูงภายในอุปกรณ์ที่กระแสไหลผ่าน
- เมื่อมีกระแสลัดวงจรทำให้เกิดอาร์ค(arc) ขึ้น อุณหภูมิรอบ ๆ อาร์คที่มีค่าสูงทำให้เกิดการระเหยของสารบางอย่างและอาจทำให้อุปกรณ์เสียหายและเกิดไฟไหม้
- การเกิดลัดวงจรขึ้นในระบบทำให้แรงดันไฟฟ้าที่จุดลัดวงจรและจุดใกล้เคียงมีค่าลดลงอย่างมาก
- ทำให้ระบบไฟฟ้าสามเฟสเกิดไม่สมดุลได้ ถ้าหากอุปกรณ์ป้องกันเปิดวงจรเฟสหนึ่งเฟสใดออก
- การเกิดกระแสลัดวงจรทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพได้ คือ อาจเกิดการสูญเสียซินโครนิสซึม(synchronism) เพราะเมื่อเกิดลัดวงจรขึ้นทำให้เกิดความไม่สมดุลย์ระหว่างกำลังกลที่ป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นนานทำให้ความไม่สมดุลดังกล่าวมากขึ้น แม้ว่าระบบจะตัดจุดลัดวงจรออกจากระบบได้แล้วก็ตามความไม่สมดุลย์ดังกล่าวอาจไม่สามารถดึงกลับมาได้

ระบบป้องกันที่ดีควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- สามารถตรวจจับและแยกส่วนที่เกิดลัดวงจรออกจากระบบให้เร็วที่สุด
- สามารถจ่ายไฟได้ในส่วนอื่น ๆ ที่ไม่เกิดลัดวงจรหลังจากที่แยกส่วนที่เกิดลัดวงจรออกจากระบบแล้ว
- กระแสลัดวงจรบางครั้งที่เกิดขึ้นอาจมีขนาดไม่สูงมาก ระบบป้องกันที่ดีต้องสามารถแยกออกได้ว่ากระแสที่ไหลขณะนั้นปกติหรือเกิดลัดงจรขึ้น
- ระบบป้องกันที่ดีนอกจากสามารถทำงานได้สมบูรณ์แล้วต้องใช้งบประมาณการลงทุนไม่มากด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนใหญ่ของการลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบมักเป็นการลัดวงจรที่อาร์คดับได้เอง(self-clearing) คือ ไม่ใช่การเกิดลัดวงจรถาวร ดังนั้นระบบป้องกันที่ดีต้องไม่ตัดส่วนของระบบที่เกิดลัดวงจรออกจากระบบนานเกินไปส่งผลให้ไม่สามารถจ่ายไฟให้ผู้ใช้ไฟได้

2.1 อุปกรณ์ป้องกัน

อุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้ากำลังประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญ คืออุปกรณ์ตรวจจับและอุปกรณ์ทำงาน อุปกรณ์ตรวจจับในที่นี้หมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับว่ามีการเกิดลัดวงจรหรือฟอลต์ขึ้นในระบบหรือไม่ อุปกรณ์ตรวจจับต้องแยกได้ว่าระบบไฟฟ้ากำลังขณะนั้นทำงานในสภาวะปกติหรือเกิดฟอลต์ขึ้น เมื่อแน่ใจว่าเกิดฟอลต์ขึ้นอุปกรณ์ตรวจจับจะส่งสัญญาณไปให้อุปกรณ์ทำงานตัดส่วนที่มีปัญหาออกจากระบบ ในระบบไฟฟ้ากำลังที่ขนาดแรงดันไฟฟ้าต่ำ เช่น ในระบบจำหน่ายหรือระบบไฟฟ้าในบ้านอยู่อาศัย อุปกรณ์ตรวจจับและอุปกรณ์ป้องกันจะอยู่ภายในตัวเดียวกัน เช่น ฟิวส์และเบรคเกอร์ขนาดเล็กที่อาศัยกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นสร้างความร้อนขึ้นภายในอุปกรณ์และเปิดวงจรออกเพื่อตัดจุดลัดวงจรออกจากระบบ แต่ในระบบไฟฟ้ากำลังที่ขนาดแรงดันไฟฟ้าสูงอุปกรณ์ตรวจจับและอุปกรณ์ทำงานจะเป็นอุปกรณ์แยกต่างหากออกจากกัน มีระบบตรวจจับและการทำงานค่อนข้างยุ่งยาก อุปกรณ์ตรวจจับในที่นี้ได้แก่ รีเลย์ซึ่งเป็นอุปกรณ์การที่ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าและ/หรือกระแสไฟฟ้าขนาดต่ำ ดังนั้นจะใช้ร่วมกับหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (PT) และหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (CT) อุปกรณ์ทำงานในระบบป้องกันที่เป็นตัวกำจัดหรือแยกจุดลัดวงจรออกจากระบบไฟฟ้าได้แก่ เบรกเกอร์ ส่วนอุปกรณ์ที่มีทั้งอุปกรณ์ตรวจจับและอุปกรณ์ทำงานอยู่ในตัวเดียวกันและใช้ในระบบจำหน่ายได้แก่ ฟิวส์ ในที่นี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ตรวจจับ ได้แก่ หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า, หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า รีเลย์ สำหรับการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง ได้แก่ หม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า และบัสบาร์

2.2 รีเลย์(relays)

รีเลย์ป้องกัน(Protective Relay) คือ อุปกรณ์ควบคุมการป้องกันโดยรีเลย์จะทำการตรวจจับความผิดปกติ(Fault)ที่เกิดกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในระดับแรงดันสูง(High Voltage) เช่น generators, buses, transformers, transmission lines, distribution lines, feeders, motors, capacitor banks และ reactors ในขณะที่ระบบไฟฟ้าเกิดฟอลท์ขึ้นจำเป็นต้องตัดวงจรไฟฟ้าที่เกิดฟอลท์ออกจากระบบด้วยความเร็วสูงเพื่อลดอันตรายและความเสียหายที่อาจเกิดกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้รีเลย์และอุปกรณ์ป้องกันในการค้นหาสภาพความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าเพื่อสั่งให้เบรกเกอร์ตัดวงจรด้วยความเร็วสูงโดยอัตโนมัติ ระบบรีเลย์เกี่ยวโยงกับอุปกรณ์อื่นเช่น power circuitbreaker , instrument transformer เป็นต้น ระบบรีเลย์ป้องกันจะต้องมีคุณสมบัติที่ดี คือ

- ความน่าเชื่อถือ(reliability) หมายถึง รีเลย์ต้องทำงานได้เมื่อต้องการหรือได้รับสัญญาณว่าระบบผิดปกติและสามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลานานเป็นปี ๆ แบ่งย่อยได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความพึ่งพาได้ (dependability) รีเลย์จะต้องทำงานอย่างถูกต้อง
- ความปลอดภัย (security) รีเลย์ต้องไม่ทำงานเมื่อไม่เกิดความผิดปกติขึ้น
- ความสามารถในการเลือกการทำงาน(selectivity) หมายถึง รีเลย์ต้องทำงานได้ถูกต้อง เช่น ไม่สมควรทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างทันทีทันใดหรือมีทรานเซี้ยนท์เกิดขึ้นในระบบ และต้องตัดระบบไฟฟ้าที่มีปัญหาให้มีพื้นที่น้อยที่สุด
- ความไว(sensitivity) หมายถึง รีเลย์ต้องไม่ทำงานผิดพลาดแม้ว่าจะอยู่ใกล้เขตสิ้นสุดของการทำงานของรีเลย์
- ความรวดเร็วในการทำงาน(speed of operation) หมายถึง รีเลย์ต้องทำงานอย่างรวดเร็วดามต้องการ ในกรณีที่มีเวลาล้าหลังรีเลย์ก็สมควรทำงานในเวลาที่กำหนดหรือตั้งไว้อย่างแม่นยำ
- ความสะดวกและง่ายในการใช้งาน(simplicity) ออกแบบให้มีอุปกรณ์ป้องกันที่น้อยที่สุดและบำรุงรักษาได้ง่าย
- ความคุ้มทุน(economics) มีการป้องกันที่มีประสิทธิภาพสูงสุดแต่ให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

รีเลย์เป็นอุปกรณ์หลักในการป้องกันเพราะเป็นอุปกรณ์ที่ตัดสินว่าจะสั่งให้เบรกเกอร์เปิดวงจรออกหรือไม่ รีเลย์สามารถรับรู้ถึงความผิดปกติของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงได้โดยอาศัย Instrument Transformer 2 ชนิด คือ Current Transformer(CT) และ Potential หรือ Voltage Transformer (PT หรือ VT) โดยสัญญาณที่เข้าสู่รีเลย์จะมีเพียง 2 ชนิด คือกระแสและ/หรือแรงดัน ส่วนสัญญาณออกคือ "เวลา" ที่รีเลย์ทำงาน "เวลา " ในที่นี้หมายถึงช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มป้อนสัญญาณเข้าในระดับที่รีเลย์จับได้ว่าเป็นเหตุขัดข้องหรือผิดปกติ รีเลย์จะเริ่มวัดค่าเพื่อคำนวณจนกระทั่งรีเลย์ทำงานโดยให้สัญญาณออกมาสั่งปลดเบรกเกอร์เพื่อปลดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เกิดปัญหาออกจากระบบไฟฟ้าโดยเร็วเพื่อไม่ให้อุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงเกิดความเสียหาย การทำงานของรีเลย์เพื่อสั่งให้เบรกเกอร์เปิดวงจรออกอาจทำงานโดยใช้รีเลย์ชุดเดียวหรือทำงานร่วมกับรีเลย์อื่นๆเพื่อให้ระบบป้องกันทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.3 วงจรของรีเลย์และส่วนประกอบ

สำหรับรีเลย์เพียงตัวเดียวนั้นไม่สามารถที่จะป้องกันระบบไฟฟ้าได้เลย ดังนั้นจะต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

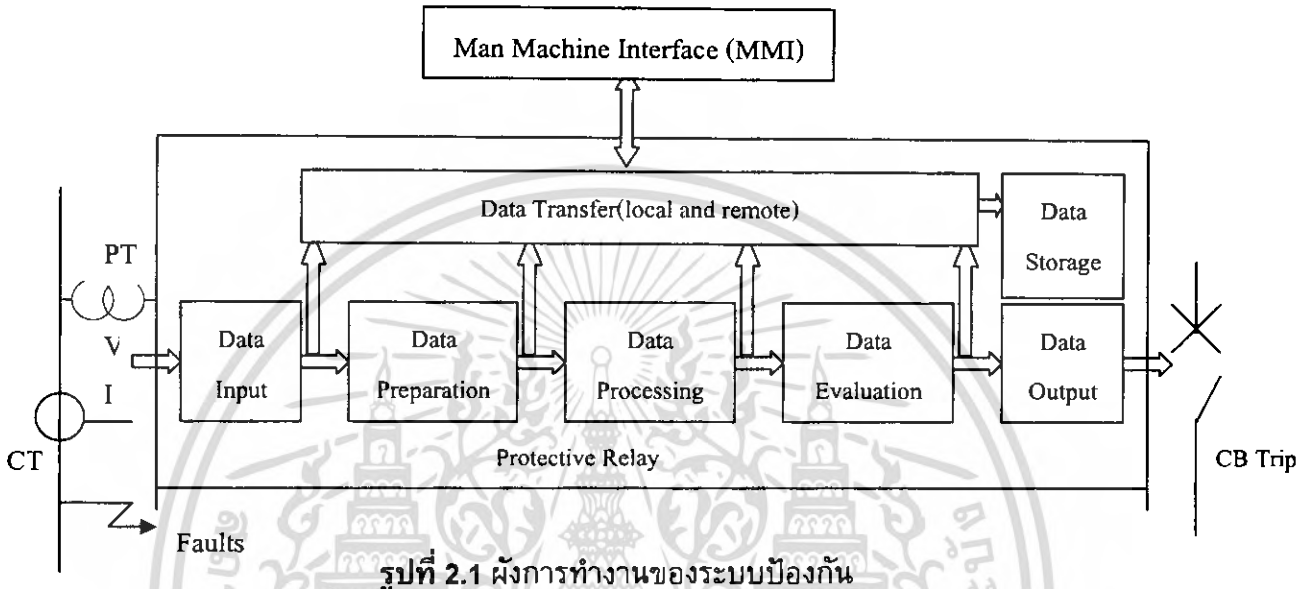
ก) หม้อแปลงเครื่องวัด (Instrument transformer) อาจจะเป็นหม้อแปลงกระแส (Current transformer) หรือ หม้อแปลงแรงดัน(Potential transformer) อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือทั้งสองอย่างก็ได้ หม้อแปลงเครื่องวัด (Instrument transformer) จะเป็นตัวส่งสัญญาณบอกเหตุมายังรีเลย์เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ

ข) รีเลย์จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากหม้อแปลงเครื่องวัด (Instrument transformer) แล้วมาพิจารณาดูว่าสัญญาณจากจุดที่เกิดฟอลต์ มีความรุนแรงเพียงใด โดยอาจจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งสัญญาณหรือถ่วงเวลาไว้ชั่วคราวหรือจะสั่งการเบรกเกอร์ให้ตัดส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบก็ได้ รีเลย์บางชนิดจะต้องมีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงอยู่ด้วย

ค) เซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตัดวงจรส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบโดยรับสัญญาณจากรีเลย์



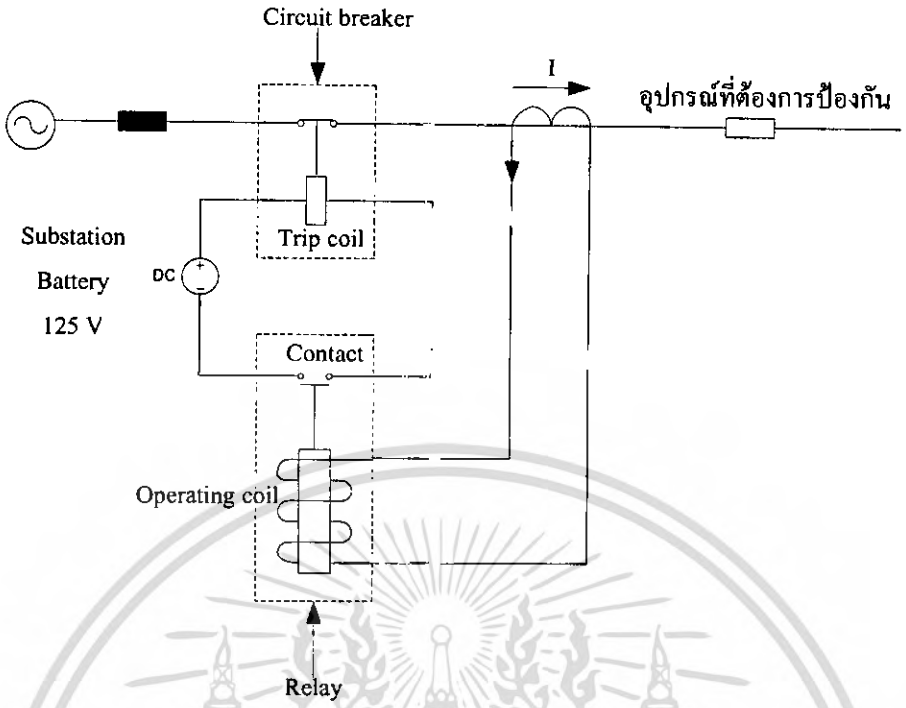
รูปที่ 2.1 ผังการทำงานของระบบป้องกัน

รีเลย์เปรียบเสมือนได้กับสมองของมนุษย์โดยหม้อแปลงกระแส(CT) และหม้อแปลงแรงดัน(VT) เปรียบเสมือนดวงตาที่คอยรับสิ่งภายนอกเข้ามา ส่วนแขนและขาเปรียบได้กับเบรกเกอร์และการทำงานของรีเลย์รวมทั้งการตั้ง(set)การทำงานของรีเลย์ด้วย [การวิเคราะห์ฟอลท์และออกแบบป้องกันโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์, ปริญญานิพนธ์คณะวิศวะกรรมไฟฟ้าปี 2542]

การทำงานของรีเลย์ป้องกันอย่างง่าย

- เมื่อทำการจ่ายไฟให้โหลดในสภาวะปกติกระแสที่ไหลเข้ารีเลย์จะไม่ทำให้รีเลย์ทำงาน เพราะค่ากระแสน้อยกว่าค่าที่ตั้งค่าให้รีเลย์เริ่มทำงานส่งผลให้ operating coil ของรีเลย์ไม่มีแรงเนื่องจากการเหนี่ยวนำมากพอที่ดึงให้ contact ของรีเลย์ต่อกัน
- เมื่อเกิดสภาวะผิดปกติ(fault) กระแสที่ไหลเข้ารีเลย์จะมีค่ามากกว่าค่ากระแสในสภาวะปกติหรือมากกว่าค่าที่ตั้งให้รีเลย์เริ่มทำงานทำให้ operating coil ของรีเลย์มีแรงเนื่องจากการเหนี่ยวนำมากพอที่จะดึงให้ contact ต่อกัน ส่งผลให้ trip coil ของ circuit breaker ทำงานเปิดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การทำงานอย่างง่ายของรีเลย์ป้องกัน

2.3.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับรีเลย์

หน้าที่ของรีเลย์ คือ เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ตรวจสอบสภาพการณ์ของทุกส่วนในระบบกำลังไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา หากระบบมีการทำงานที่ผิดปกติ รีเลย์จะเป็นตัวสั่งการให้ตัดส่วนที่ลัดวงจรหรือส่วนที่ทำงานผิดปกติออกจากระบบทันที โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะเป็นตัวที่ตัดส่วนที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบจริงๆ ซึ่งจะเห็นว่ารีเลย์เป็นเพียงตัวส่งสัญญาณสั่งการเท่านั้น และจะต้องทำงานร่วมกับเซอร์กิตเบรกเกอร์

กรณีที่มีเหตุผิดปกติเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย รีเลย์จะเป็นเพียงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเตือนภัยให้พนักงานที่ทำหน้าที่ควบคุมทราบ เพื่อให้พนักงานทำการแก้ไขให้ระบบสามารถทำงานได้ตามปกติ โดยรีเลย์จะยังไม่สั่งการให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดวงจรที่ผิดปกติออก เพียงแต่ส่งสัญญาณเตือนภัยเท่านั้น

รีเลย์ยังสามารถบอกตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ และสาเหตุของฟอลต์โดยใช้ข้อมูลจากรีเลย์ไปพิจารณาร่วมกับผลของออสซิลโลสโคป เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของฟอลต์ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว

2.3.1.1 ประโยชน์ของรีเลย์

ก) ทำให้ระบบส่งกำลังมีเสถียรภาพ (Stability) สูงโดยรีเลย์จะตัดวงจรเฉพาะส่วนที่เกิดผิดปกติออกเท่านั้น ซึ่งจะเป็นการลดความเสียหายให้แก่ระบบน้อยที่สุด

ข) ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมส่วนที่เกิดผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) ลดความเสียหายไม่เกิดลุกลามไปยังอุปกรณ์อื่นๆ

ง) ทำให้ระบบไฟฟ้าไม่ดับทั้งระบบเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ

2.3.3.2 คุณสมบัติที่ดีของรีเลย์

ก) ต้องมีความไว (Sensitivity) คือมีความสามารถในการตรวจพบสิ่งที่ผิดปกติเพียงเล็กน้อยได้

ข) มีความเร็วในการทำงาน (Speed) คือความสามารถทำงานได้รวดเร็วทันใจไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์และไม่กระทบกระเทือนต่อระบบ โดยทั่วไปแล้วเวลาที่ใช้ในการตัดวงจรจะขึ้นอยู่กับระดับของแรงดันของระบบด้วย

ระบบ 6-10 เควี จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 1.5-3.0 วินาที

ระบบ 100-220 เควี จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 0.15-0.3 วินาที

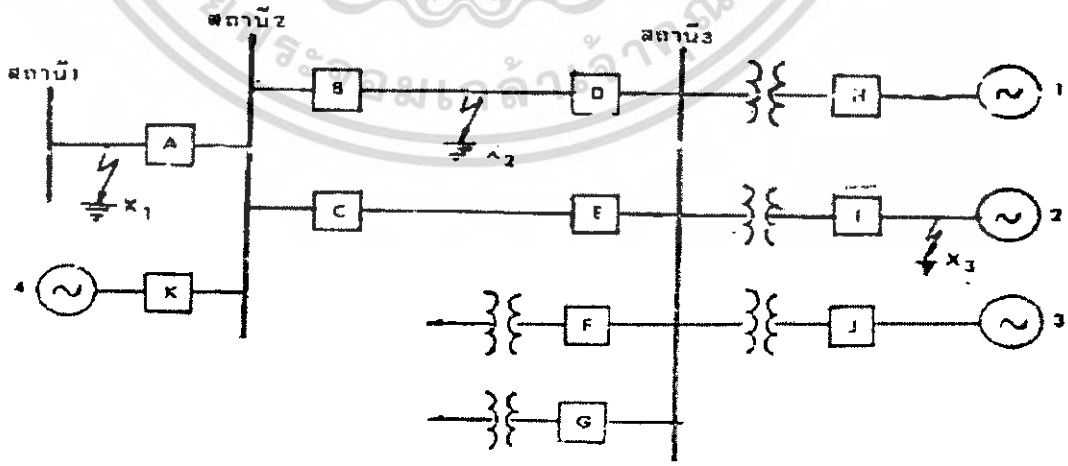
ระบบ 300-500 เควี จะต้องตัดวงจรภายในเวลา 0.1-0.12 วินาที

ค) มีการคัดเลือก (Selectivity) ที่ดี คือสามารถจำแนกได้ว่าความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นเป็นชนิดใด มีความรุนแรงแค่ไหน จะทำการตัดวงจรตัดทันทีหรือจะหน่วง (Delay) ไว้ก่อนหรือจะส่งเพียงสัญญาณเตือนเท่านั้น ทั้งนี้จะต้องตัดสินใจได้ถูกต้อง

ง) ต้องไว้ใจได้ (Reliability) เมื่อเกิดฟอลต์ก็ต้องพร้อมที่จะทำงานได้ทันทีทั้งนี้จะต้องหมั่นบำรุงรักษา เพราะว่าใน 1 ปี โอกาสที่จะเกิดการขัดข้องน้อยมากหรือไม่ได้ทำงานเลยก็ได้

จ) ใช้สะดวก (Simplification) คือง่ายต่อการนำไปใช้งานไม่สลับซับซ้อนและยุ่งยาก

ฉ) ประหยัด (Economic) สามารถทำการป้องกันได้มากแต่เสียค่าใช้จ่ายต่ำ อีกทั้งราคาก็ไม่แพงจนเกินไป



รูปที่ 2.3 แสดงถึงส่วนที่เกิดฟอลต์ในระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยใช้รีเลย์ที่มีการคัดเลือก (Selectivity)

ที่ดีเพื่อจำแนกความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับระบบว่าควรจะสั่งเบรกเกอร์ตัวไหนก่อนหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อเกิดฟอลต์ที่จุด X_1 รีเลย์ A จะเป็นตัวตัดฟอลต์ออกจากวงจร ส่วนอื่นๆที่เหลือก็ยังคงสามารถจ่ายไฟได้ตามปกติ
- เมื่อเกิดฟอลต์ที่จุด X_2 รีเลย์ B และ D จะเป็นตัวตัดฟอลต์ออกจากวงจรส่วนอื่นๆที่เหลือก็สามารถจ่ายไฟได้ตามปกติ
- เมื่อเกิดฟอลต์ที่จุด X_3 รีเลย์ I จะเป็นตัวตัดฟอลต์ออกจากวงจร ส่วนอื่นๆที่เหลือก็ยังคงจ่ายไฟได้ตามปกติ

2.3.1.3 รีเลย์แบคอัพ (Back up relay)

คือ รีเลย์แบคอัพซึ่งจะทำงานก็ต่อเมื่อรีเลย์หลักไม่ทำงาน รีเลย์แบคอัพนี้ใช้ป้องกันเฉพาะการลัดวงจรเท่านั้น สาเหตุที่รีเลย์หลักไม่ทำงาน คือ

ก) เซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่ทำงาน
ข) ตัวรีเลย์ขัดข้อง
ค) แรงดันหรือกระแสที่จ่ายให้รีเลย์หลักขัดข้อง
ง) วงจรสั่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ให้ทำงานขัดข้อง

2.4 หม้อแปลงเครื่องมือวัด (Instrument Transformer)

คือ อุปกรณ์ที่ใช้แปลงแรงดันสูงและกระแสสูงให้เป็นแรงดันต่ำและกระแสต่ำ เพื่อให้สามารถใช้กับอุปกรณ์เครื่องวัดและอุปกรณ์ป้องกันได้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.หม้อแปลงกระแส(Current Transformer,CT)

2.หม้อแปลงแรงดัน(Voltage or Potential Transformer,VT/PT)

2.4.1 หม้อแปลงกระแส (Current Transformer, CT)

หม้อแปลงกระแสเป็น อุปกรณ์ที่แปลงกระแสค่าสูงที่แรงดันสูง ให้เป็นกระแสต่ำที่แรงดัน ต่ำเพื่อถ่ายทอดกระแสจากสายส่งแรงสูงเข้าสู่รีเลย์ และแยกระบบ(Isolate)รีเลย์จากไฟฟ้าแรงสูง โดยขดลวดด้านแรงสูง (Primary winding) ต่อแบบอนุกรมกับวงจรที่ต้องการวัดกระแส ขดลวดด้านแรงต่ำ(Secondary winding) ต่อกับรีเลย์, มิเตอร์(Meter) หรืออุปกรณ์ควบคุม(Control device) กระแสที่เข้าสู่รีเลย์จะเป็นอัตราส่วนคงที่กับด้านแรงสูงโดยมีขนาดมาตรฐาน 1 A และ 5 A

หม้อแปลงกระแสแบ่งตามการใช้งานออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1.หม้อแปลงกระแสสำหรับการวัด(Measurement current transformer)

2.หม้อแปลงกระแสสำหรับการป้องกัน(Protection current transformer)

หม้อแปลงกระแสแบ่งตามลักษณะโครงสร้างเป็น 3 กลุ่ม คือ

1.แบบ Wound primary ขดลวดด้านแรงสูงพันอยู่บนแกนเหล็กมากกว่าหนึ่งรอบและแยกอิสระกับขดลวดแรงต่ำที่พันบนแกนเหล็กเดียวกันแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.แบบ Through or Bar ขดลวดด้านแรงสูงและขดลวดด้านแรงต่ำแยกกันและมีฉนวนกั้น ชุดแรงสูงประกอบด้วย bar-type conductor สอดผ่านแกนเหล็กที่มีขดลวดแรงต่ำพันอยู่แสดงในรูปที่ 2.5

3.แบบ Window หรือ Bushing มีเฉพาะขดลวดด้านแรงต่ำพันอยู่บนแกนเหล็กที่มีรูปร่างเป็นแบบหน้าต่าง ตัวนำที่สอดผ่านแกนเหล็กนี้จะเป็นขดลวดแรงสูงหรือเคเบิล

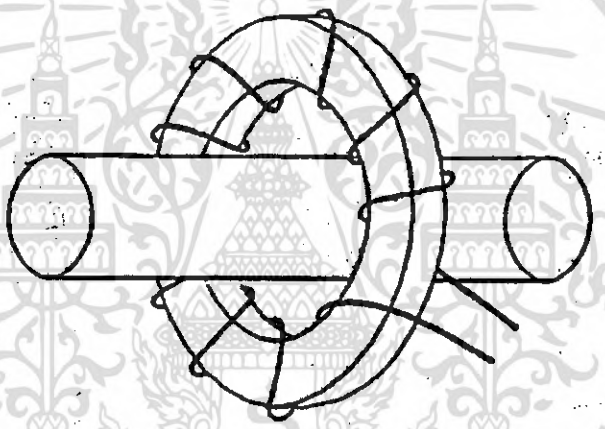
ในทางปฏิบัติหม้อแปลงกระแสแบ่งตามลักษณะโครงสร้างได้เป็น 3 แบบ คือ

1.แบบ Hair-Pin

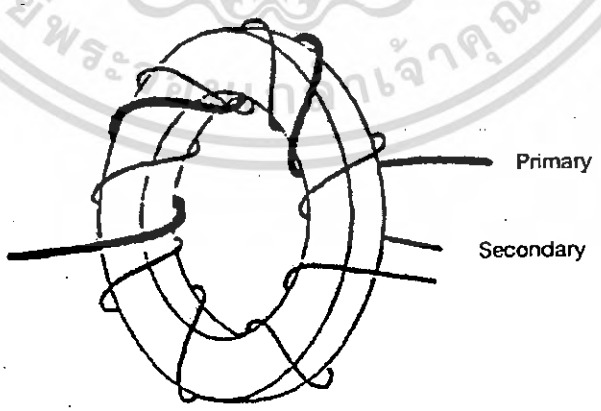
2.แบบ Eye-Bolt

3.แบบ Top-Core

ทั้งสามแบบแสดงในรูปที่ 2.6

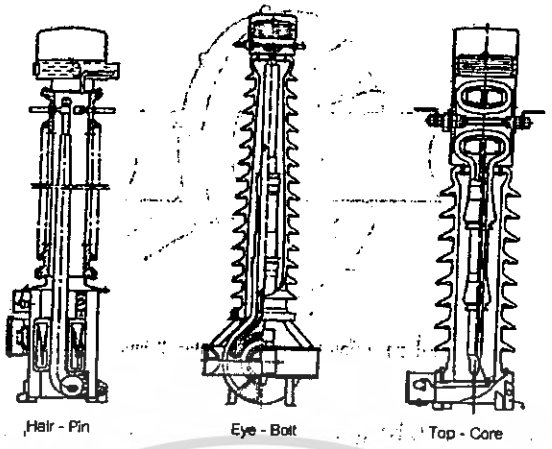


รูปที่ 2.4 หม้อแปลงกระแสแบบ bar primary



รูปที่ 2.5 หม้อแปลงกระแสแบบ wound primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ลักษณะของหม้อแปลงกระแสที่ใช้ในทางปฏิบัติ

2.4.2 อัตราส่วนหม้อแปลงกระแส(current transformer ratios)

อัตราส่วนหม้อแปลงกระแส คือ อัตราส่วนของกระแสด้านแรงสูง (Primary current) ต่อกระแสด้านแรงต่ำ (Secondary current) ตามข้อกำหนดของ IEEE Std C57.13-1993 สำหรับมาตรฐานอัตราส่วนหม้อแปลงกระแสแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 โดยมาตรฐานของกระแสด้านแรงต่ำ(Secondary)มีค่า 5 A เสมอ

Current ratings (A)		**Secondary taps**	**Current ratings (A)**		**Secondary taps**
	600:5			3000:5	
50:5		X2 -X3	300:5		X3 -X4
100:5		X1 -X2	500:5		X4 -X5
150:5		X1 -X3	800:5		X3 -X5
200:5		X4 -X5	1000:5		X1 -X2
250:5		X3 -X4	1200:5		X2 -X3
300:5		X2 -X4	1500:5		X2 -X4
400:5		X1 -X4	2000:5		X2 -X5
450:5		X3 -X5	2200:5		X1 -X3
500:5		X2 -X5	2500:5		X1 -X4
600:5		X1 -X5	3000:5		X1 -X5
	1200:5			4000:5	
100:5		X2 -X3	500:5		X1 -X2
200:5		X1 -X2	1000:5		X3 -X4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

300:5		X1 -X3	1500:5		X2 -X3
400:5		X4 -X5	2000:5		X1 -X3

ตารางที่ 2.1 พิกัดหม้อแปลงกระแสแบบเลือกอัตราส่วนได้ (Current transformer ratings, multi-ratio type)

Current ratings (A)		**Secondary taps**	**Current ratings (A)**		**Secondary taps**
500:5		X3 –X4	2500:5		X2 –X4
600:5		X2 –X4	3000:5		X1 –X4
800:5		X1 –X4	3500:5		X2 –X5
900:5		X3 –X5	4000:5		X1 –X5
1000:5		X2 –X5			
1200:5		X1 –X5			
	2000:5			5000:5	
300:5		X3 –X4	500:5		X2 –X3
400:5		X1 –X2	1000:5		X4 –X5
500:5		X4 –X5	1500:5		X1 –X2
800:5		X2 –X3	2000:5		X3 –X4
1100:5		X2 –X4	2500:5		X2 –X4
1200:5		X1 –X3	3000:5		X3 –X5
1500:5		X1 –X4	3500:5		X2 –X5
1600:5		X2 –X5	4000:5		X1 –X4
2000:5		X1 –X5	5000:5		X1 –X5

ตารางที่ 2.2 พิกัดหม้อแปลงกระแสแบบเลือกอัตราส่วนได้(Current transformer ratings, multi-ratio type)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		Current ratings (A)	
Single ratio		***Double ratio with series-parallel primary windings***	***Double ratio with taps in secondary winding***
10:5	800:5	25 ´ 50:5	25/50:5
15:5	1200:5	50 ´ 100:5	50/100:5
25:5	1500:5	100 ´ 200:5	100/200:5
40:5	2000:5	200 ´ 400:5	200/400:5
50:5	3000:5	400 ´ 800:5	300/600:5
75:5	4000:5	600 ´ 1200:5	400/800:5
100:5	5000:5	1000 ´ 2000:5	600/1200:5
200:5	6000:5	2000 ´ 4000:5	1000/2000:5
200:5	8000:5		1500/3000:5
400:5	12 000:5		2000/4000:5
600:5			

ตารางที่ 2.3 พิกัดของหม้อแปลงที่มีอัตราส่วนเดียวหรือสองอัตราส่วน (Rating for the current transformer with one or two ratios)

2.4.3 วงจรสมมูลย์และเฟสเซอร์ของหม้อแปลงกระแส(Current transformer equivalent circuit and phasor diagrams)

2.4.3.1 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงกระแส

โดยที่ V_S = แรงดันกระตุ้นด้านทุติยภูมิ(Secondary excitation voltage)

V_B = แรงดันที่ขั้วหม้อแปลงกระแส(CT terminal voltage across external burden)

I_P = กระแสด้านปฐมภูมิ(Primary current)

Z_E = Exciting impedance

I_{ST} = กระแสด้านทุติยภูมิ(Total secondary current)

R_S = ความด้านทานด้านทุติยภูมิ(Secondary resistance)

I_S = กระแสโหลดด้านทุติยภูมิ(Secondary load current)

X_L = ความต้านทานขดลวดรั่วไหล(Leakage reactance(ไม่คำนึงถึงใน Class C)

I_E = กระแสกระตุ้น(Exciting current)

$N_2:N_1$ = อัตราส่วนรอบของหม้อแปลงกระแส(CT turns ratio)

Z_B = เบอเด้นอิมพีแดนซ์(รวมทั้งอุปกรณ์ที่ต่อกับด้านทุติยภูมิและสายตัวนำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3.2 เฟสเซอร์ของหม้อแปลงกระแส

รูปที่ 2.7 และ 2.8 แสดงเฟสเซอร์ที่ค่าเบอเด้นเป็นแบบความด้านทาน (resistive burden, power factor = 1) และ ค่าเบอเด้นมาตรฐาน(standard burden, power factor = 0.5) ตามลำดับ impedance และส่วน reactive ของสายตัวนำด้านทุติยภูมิมีค่าน้อย ทำให้ตัดทิ้งไปในการคำนวณ

$$I_E = I_M + I_{Loss} \quad (2.1)$$

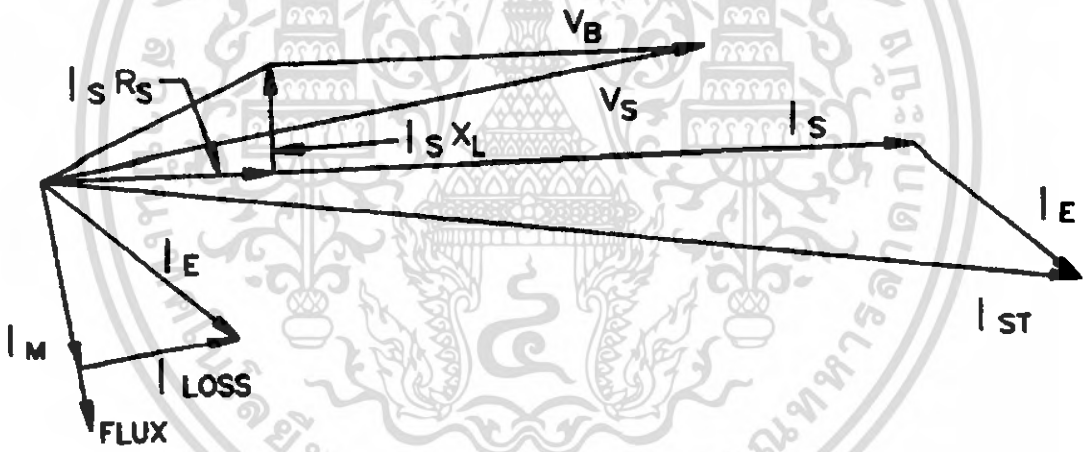
$$I_{ST} = I_S + I_E \quad (2.2)$$

และ

$$I_P = (\frac{N_2}{N_1})(I_S + I_E) \quad (2.3)$$

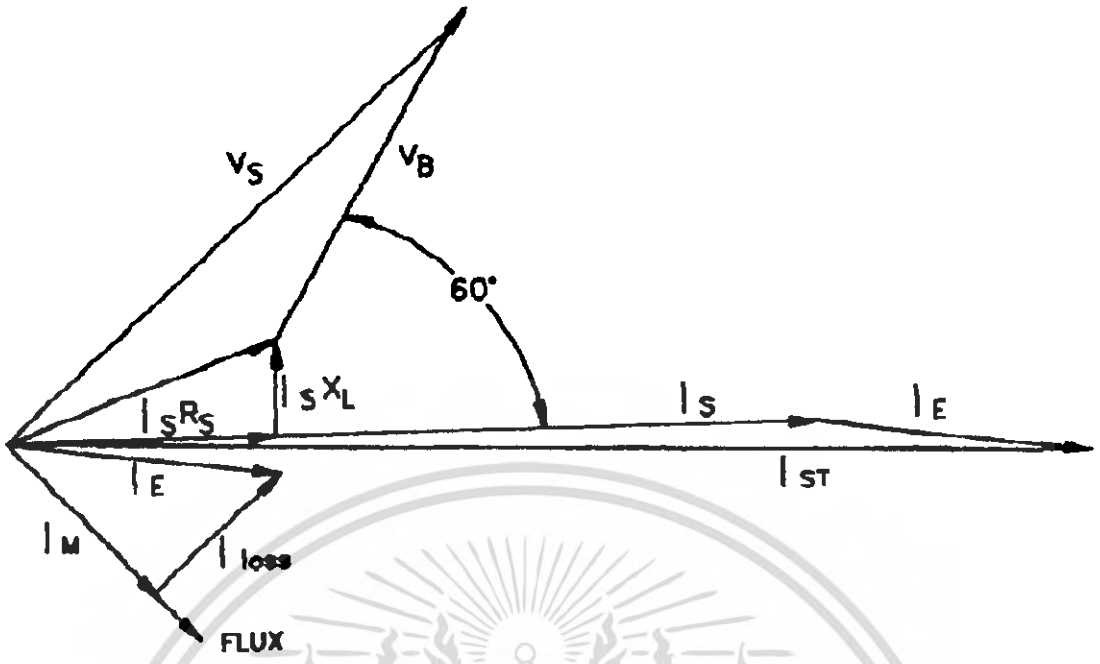
โดยที่ I_M = กระแสสร้างสนามแม่เหล็ก(Magnetizing current)

I_{Loss} = กระแสสูญเสีย(Loss current)



รูปที่ 2.7 เฟสเซอร์ที่ค่า resistive burden(power factor = 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 เฟสเซอร์ค่า burden มาตรฐาน (standard burden, power factor = 0.5)

2.4.4 เบอเด้นของหม้อแปลงกระแส(Current transformer burden)

เบอเด้น(burden) คือ วงจรที่ต่ออยู่ทางด้านขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ของหม้อแปลงกระแส มีความหมายเหมือนกับโหลด (Load) ค่าของเบอเด้นกำหนดในเทอมของโวลท์-แอมแปร์(VA) และตัวประกอบกำลัง (Power factor) ซึ่งหมายถึงค่าโวลต์-แอมแปร์ที่ถูกใช้ในเบอเด้นเมื่อมีกระแสไหลเท่ากับพิกัดกระแสทุติยภูมิโดยมีค่าเท่ากับพิกัดกระแสทุติยภูมิยกกำลังสองคูณกับอิมพีแดนซ์ของเบอเด้น เช่น หม้อแปลงกระแสที่พิกัดกระแสทุติยภูมิ 5 A มีเบอเด้น 0.5 Ω มีความหมายเหมือนกับเบอเด้น $5^2 \times 0.5 = 12.5$ VA ที่กระแส 5 A

รีเลย์ที่ต้องใช้งานร่วมกับหม้อแปลงกระแสจะมีข้อมูลเกี่ยวกับเบอเด้นซึ่งหาได้จากเอกสารบริษัทผู้ผลิต ค่าเบอเด้นนี้เมื่อรวมค่าความต้านทานของสายนั่นคือ ค่าเบอเด้นรวมของหม้อแปลงกระแส และค่าเบอเด้นรวมของหม้อแปลงกระแสมักจะมีค่าลดลง เมื่อกระแสที่ไหลในวงจรด้านทุติยภูมิมีค่าสูงขึ้น เพราะว่าวงจรแม่เหล็กของรีเลย์มักมีการอิ่มตัว บางครั้งเอกสารของผู้ผลิตอาจจะให้ ค่าเบอเด้นที่กระแสต่าง ๆ มาหลายค่า แทนที่การกำหนดในเทอมของ โวลต์ - แอมแปร์ ตามมาตรฐาน IEEE Std C57.13-1993 ได้กำหนดค่าเบอเด้นของรีเลย์และเครื่องมือวัดสำหรับหม้อแปลงกระแสที่กระแสด้านทุติยภูมิมีค่า 5 A ตามตารางที่ 2.4 เบอเด้นของหม้อแปลงกระแสมักจะเป็นแบบทำให้เกิดกระแสล้าหลังแรงดัน (Power factor lagging) เป็นมุมค่อนข้างสูง ดังนั้นค่าอัตราส่วนผิดพลาดจะมีค่าสูงและมุมเฟสผิดพลาดจะมีค่าต่ำจึงมักคำนวณค่าอัตราส่วนผิดพลาดอย่างเดียวแล้วตรวจดูว่าค่านี้สูงเกินไปหรือไม่เพื่อความสะดวกและ รวดเร็วอาจนำเอาค่าเบอเด้น ที่เป็นอิมพีแดนซ์มาบวกกันทางพีชคณิต แล้วใช้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมพีแดนซ์ที่ได้ไปคำนวณอัตราส่วนผิดพลาดซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าสูงกว่าเป็นจริงเท่ากับว่าหม้อแปลงกระแสที่เลือกจะมีความแม่นยำมากกว่าที่ต้องการ

Burdens	Burden designation	Resistance (Ω)	Inductance (mH)	Impedance (Ω)	Voltamperes (at 5 A)	Power factor
Metering burdens	B-0.1	0.09	0.116	0.1	2.5	0.9
	B-0.2	0.18	0.232	0.2	5.0	0.9
	B-0.5	0.45	0.580	0.5	12.5	0.9
	B-0.9	0.81	1.040	0.9	22.5	0.9
	B-1.8	1.62	2.080	1.8	45.0	0.9
Relaying burdens	B-1	0.50	2.300	1.0	25.0	0.5
	B-2	1.00	4.600	2.0	50.0	0.5
	B-4	2.00	9.200	4.0	100.0	0.5
	B-8	4.00	18.400	8.0	200.0	0.5

ตารางที่ 2.4 ค่าเบอเด้นมาตรฐานสำหรับหม้อแปลงกระแสที่มีค่ากระแสด้านทุติยภูมิ 5A (Standard burdens for current transformers with 5 A secondary windings)

2.4.4.1 การตรวจสอบเบอเด้น(Burden) ของหม้อแปลงกระแส

มี 3 วิธี คือ

1.) ใช้สูตรคำนวณ

2.) คิดจาก CT Excitation Curve

3.) คิดจาก ANSI Accuracy Class

โดยทั่วไป 3 วิธีนี้ ต้องคิดจาก Volt ทางด้าน Secondary ของ CT คือคิดจาก Vcd

$$V_{cd}=V_S = I_L (Z_L + Z_{Lead} + Z_B) \quad (2.4)$$

โดย V_S = Secondary Induced Voltage ของ CT

I_L = Max Secondary Current คิดจาก Max Fault / CT Ratio

เพื่อจะดูว่า CT จะอิ่มตัวหรือไม่ที่ Max Fault

Z_{Lead} = Impedance ของ Cable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การใช้สูตรคำนวณ

$$V_S = 4.44\, fAN\, B_{max} \times 10^{-8} \quad (2.5)$$

โดย f = Frequency (Hz)

A = Cross Section Area (in^2)

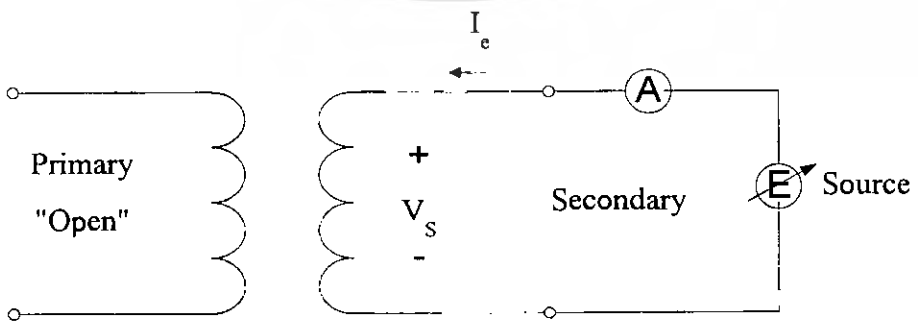
N = จำนวนรอบขดลวด

B_{max} = Flux Density (line / in^2)

การคิดวิธีนี้มีหลักการคือ ต้องหาค่า V_{cd} ให้ได้ก่อนจากสมการที่ (2.4) คือต้องรู้ Z_L, Z_{Lead}, Z_B และ I_L จากนั้นก็คำนวณ หาค่า B_{mex} โดยต้องมีค่าของแกนเหล็กอยู่ก่อนแล้ว ถ้าพบค่า B_{max} จากการคำนวณ มีค่ามากกว่าค่า B_{max} ของแกนเหล็ก CT แสดงว่าแกนเหล็กอิ่มตัวแล้ว นั้นคือ เกิดการอิ่มตัวนั้นเอง หรือ กรณีรู้ค่า B_{max} ปกติ แล้วคำนวณหาค่า V_S จาก สมการที่ (2.5) แล้วนำไปหารด้วย ค่ากระแส 20 เท่าของ Ratio Current (5 A) คือหารด้วย 100 ก็จะได้ค่าเบอเด้นเป็นโอห์มสูงสุดที่จะนำมาต่อกับ CT. ตัวนั้นได้ แล้วนำไปเทียบกับ $Z_L + Z_{Lead} + Z_B$ ถ้า $Z_L + Z_{Lead} + Z_B$ ไม่เกินค่าเบอเด้นสูงสุดก็ใช้ได้ แต่ถ้าเกินแสดงว่า CT. จะอิ่มตัวถ้ามีกระแสทุติยภูมิผ่าน 100 A ในทางปฏิบัติเรามักจะไม่ใช้วิธีนี้เพราะไม่มีข้อมูลของ CT เช่น ค่า A , N และ B_{max} เป็นต้น

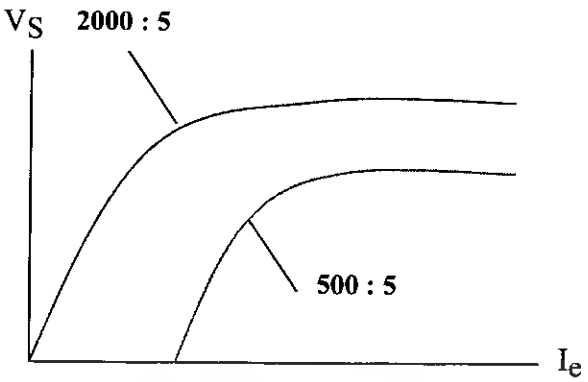
2. การคำนวณหาจาก Excitation Curve

Excitation Curve เป็น Curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส I_e กับ แรงดัน V_S ซึ่งได้มาจากการทดสอบ CT โดยต่อวงจรดังรูปที่ 2.9 Curve หาได้โดยการป้อนแรงดันทางด้าน Secondary และ Open ด้าน Primary ของ CT ไว้แล้ววัด I_e



รูปที่ 2.9 การต่อหม้อแปลงกระแสเพื่อทดสอบหา excitation curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
72963



รูปที่ 2.10 excitation curve ที่ได้จากการทดสอบหม้อแปลงที่มีอัตราส่วนต่างกัน

จากรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มค่า V_S ถึงค่าหนึ่ง จะเห็นว่าค่า I_e มีการเพิ่มขึ้นมากอย่างรวดเร็วอธิบายได้ว่าเมื่อค่า V_S ถึงจุดที่ทำให้แกนเหล็กอิ่มตัวค่า X_m ซึ่งปกติมี ค่าเป็น High Impedance จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วคล้ายกับการ Short ตัวเอง ทำให้ I_e ที่ไหลผ่าน X_m เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน ความสัมพันธ์ของ Curve จะขึ้นอยู่กับ Ratio ของ CT ที่ใช้งานด้วยคือถ้าใช้ Ratio สูงก็จะอิ่มตัวยากดังนั้น สำหรับ Bus Differential ซึ่งมักจะมีกระแสผ่าน CT สูงมาก จึงมักจะใช้ Full load ของ CT ตัวนั้นเสมอ แต่ถ้าเป็น Relay ชนิดอื่นการเลือก CT ก็จะต่างออกไป

3. การคำนวณจาก ANSI Accuracy Class

Accuracy Class เป็นการ แบ่งชนิดของ CT ตามลักษณะการใช้งานที่มีใช้อยู่ จะมี Class C , T , S และ X (Class S และ X จะไม่กล่าวถึง)

Class C หมายถึงการหา Ratio ของ CT (อัตราส่วนระหว่าง Primary / Secondary) สามารถคำนวณได้ และมีค่า Error ไม่เกิน 10% ถ้ากระแสผ่าน CT ไม่เกิน 20 เท่าของ Rated Secondary Current (1 หรือ 5 A) CT พวกนี้ส่วนใหญ่จะมีค่า Leakage Flux ต่ำ จนดัดทิ้งได้ มักจะพบพวก CT แบบ Bushing Type

Class T หมายถึงการหา Ratio ของ CT นั้นต้องหาด้วยการ Test เท่านั้น เพราะเป็น CT ชนิดที่มีค่า Leakage Flux สูงมาก จนไม่สามารถ ดัดทิ้งเพื่อคำนวณได้ จึงต้องใช้วิธี Test หา Ratio และยังมี Error ไม่เกิน 10% ที่กระแสไหลผ่าน CT ตั้งแต่ 1 – 20 เท่าของ Rated Secondary Current มักจะพบใน CT แบบ Wound Type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้ง Class C และ T จะต้องมีตัวเลขตามหลัง ซึ่งแสดงถึงค่า Voltage ทางด้าน Secondary ที่ CT จะจ่ายให้กับ Load มาตรฐานที่ค่ากระแส 20 เท่าของ I_{sec} ปกติ โดยไม่ทำให้ Error เกิน 10%

ตัวอย่าง C 800 แสดงว่า CT ตัวนี้จะจ่ายได้ตั้งแต่ 1 – 20 เท่าของ Ratio Sec (5 Amp) ได้เท่ากับ 100 Amp โดยมีค่า Error ไม่เกิน 10% ก็ต่อเมื่อ Load นั้นมีค่าไม่เกิน 4 โอห์ม (4 × 5 × 20 = 400 V)
ดังนั้นเมื่อเรารู้ Class ของ CT เราจะรู้ Load Max ได้เสมอ

การคิด Load จาก Class นี้คิดจาก Full Ratio เท่านั้น ถ้าใช้ Ratio อื่น Load ก็จะลดลงตามด้วยโดยคำนวณได้จากสูตร

$$Z_B = \frac{N_P \times V_{cl}}{100} \qquad (2.6)$$

โดย N_P = (จำนวน Turn ที่ใช้) / (จำนวน Turn ทั้งหมด)

เช่น $= \frac{800}{1200}$ (เราสามารถใช้อัตราส่วนของ Turn Ratio มาคิดแทนได้)

V_{cl} = เลขของ CT Voltage Class

Z_B = Burden (Load) ที่ยอมรับได้

จากตัวอย่างข้างต้นของ CT Class C 400 ได้ค่า V_{cl} = 400 V, N_P = 1 (คิดที่ Full Load)

$$\therefore Z_B = 1 \times (400/100) = 4\ \Omega$$

ค่า Z_B มีความสำคัญต่อการอิ่มตัวของ CT ด้วยถ้าเป็นไปได้ควรตรวจสอบทุกครั้งถ้า Burden จริงวัดได้มากกว่าค่า Z_B ที่มาจากการคำนวณ ก็อาจแก้ไขได้โดยการลดความยาว Lead หรือเปลี่ยน Ratio ให้สูงขึ้น (N_P) หรือเปลี่ยน Class ของ CT ให้สูงขึ้น (V_{cl}) แต่โดยทั่วไปเราจะไม่เจอปัญหาเรื่องนี้ โดยเฉพาะปัจจุบัน Relay รุ่นใหม่ๆ เป็นชนิด Low Burden จึงลดปัญหาเรื่องนี้ได้มาก

จากการคำนวณทั้ง 3 วิธี เราพบว่า Load, CT Ratio เป็นตัวกำหนดความยากง่ายในการอิ่มตัวของ CT คือถ้าใช้ CT Ratio ต่ำ โอกาสการอิ่มตัวจะสูงซึ่งการแก้ไขโดยการเพิ่ม CT Ratio จะช่วย ได้แต่ต้องคำนึงด้วยว่าถ้า CT Ratio สูงเกินไป กระแสที่เข้า Relay จะลดลงซึ่งจะทำให้ Sensitivity ของ Relay ลดลงได้ ส่วนเรื่องของ Load เราอาจลดไม่ได้ แต่ต้องระวังที่จะไม่

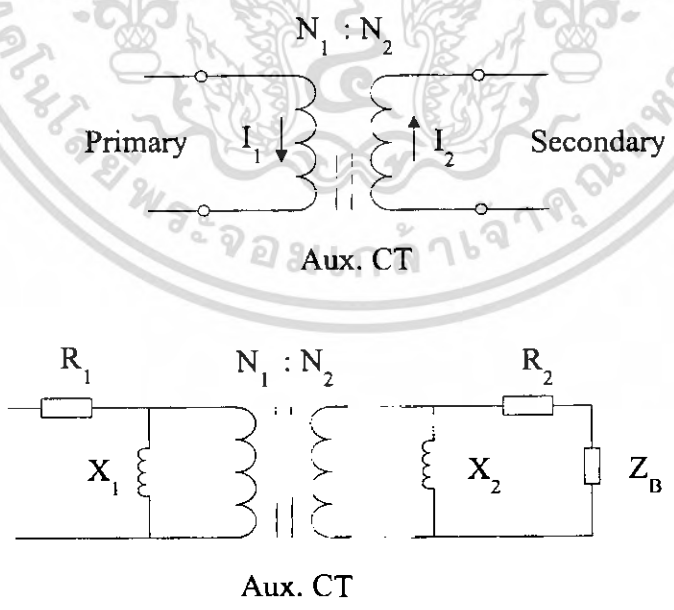
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พยายามเพิ่ม Burden ให้ CT โดยประมาท เช่น ในกรณีที่มีหม้อแปลงกระแสช่วยต้องคำนึงถึงเสมอว่าการเลือก Ratio ควรจะเป็นการ Step Down Current เท่านั้นไม่ควร Step – Up ถ้าไม่จำเป็น (การ Step – Down เช่นจาก Main CT 5 A ผ่านหม้อแปลงกระแสช่วยเข้า Relay เหลือ 3 A เป็นต้น) ดูจากความสัมพันธ์ในสมการ 2.7 และ 2.8

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad \text{และ} \quad I^2_1 R_1 = I^2_2 R_2 \tag{2.7}$$

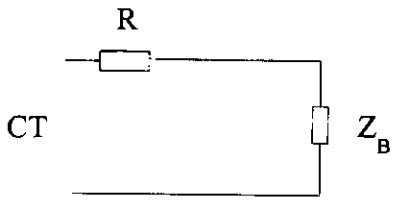
จะได้ว่า $$\frac{R_1}{R_2} = \frac{I_2^{\,2}}{I^2_1} = \frac{N_1^{\,2}}{N_2^{\,2}} \tag{2.8}$$

ถ้า $I_1 > I_2$ จะได้ว่า $N_1 < N_2$ เพราะฉะนั้น $(\frac{N_1}{N_2})^2$ จะมีค่าน้อยคือการ Step – Down Current เมื่อ Transfer Load ทั้งหมดไปทางด้าน CT จะพบว่า Z_B (Load) จะคูณด้วยค่า $(\frac{N_1}{N_2})^2$ นั่นคือ CT จะเป็น Burden Z_B ลดลง แต่ถ้า Step – Up CT จะเห็น Z_B มากขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่ม Load ให้ CT นั่นเอง

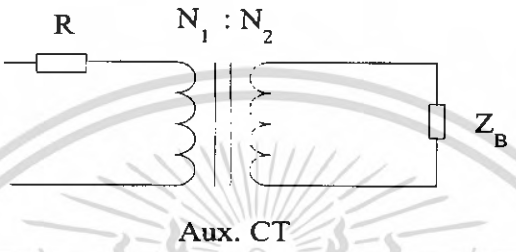


รูปที่ 2.11 หม้อแปลงกระแสช่วย

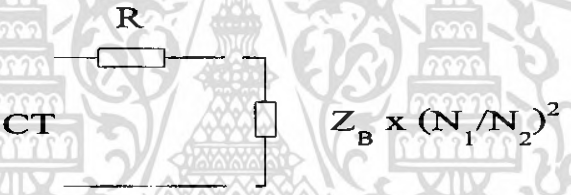
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 CT ต่อตรงกับ Z_B



รูปที่ 2.13 CT ต่อตรงกับ Z_B ผ่านหม้อแปลงกระแสช่วย



รูปที่ 2.14 Z_B ใหม่ที่ CT เห็น ผ่านหม้อแปลงกระแสช่วย

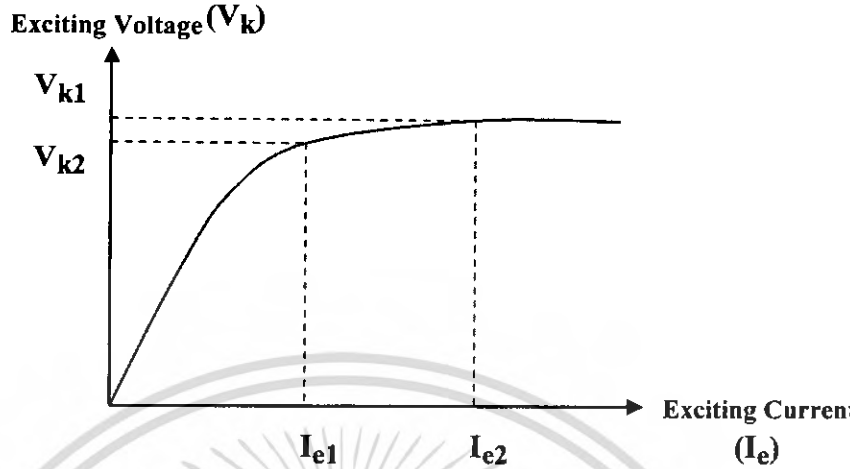
ปัญหาการ Step – Up / down ของ Aux. CT นี้เราพบกับ relay รุ่นเก่าๆซึ่งเป็นพวก Electro – Machanic ที่มี Burden ของ Relay เอง ค่อนข้างสูงอยู่แล้วการใช้ Aux. CT จึงต้องคำนึงถึงด้วย แต่ Relay รุ่นใหม่ๆเป็นแบบ Static และ Digital ซึ่งมี Burden ต่ำ การ Step – Up / down จึงไม่มีผลต่อ CT มากเท่าไรทำให้สามารถเลือก Ratio ใช้ได้ตามต้องการ

2.4.5 Knee-point voltage

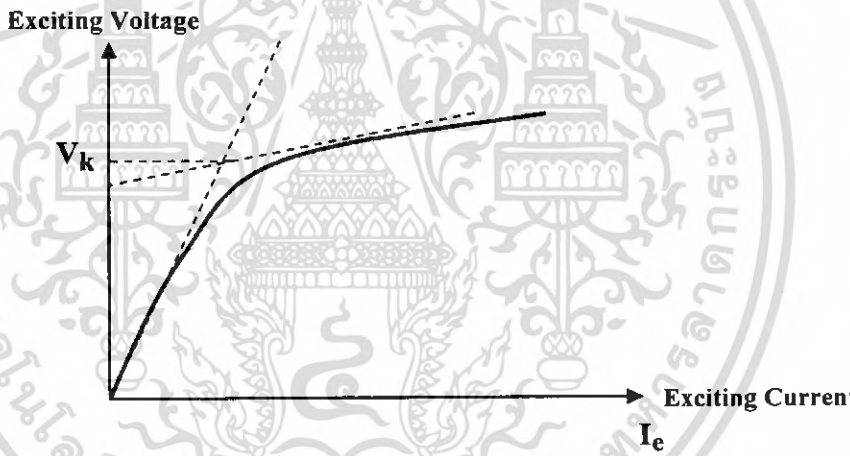
Knee-point voltage คือจุดที่ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก(permeability)มีค่าสูงสุดในเส้นโค้งการกระตุ้นถ้าหม้อแปลงกระแสไม่มีช่องอากาศในแกนเหล็ก knee-point จะเป็นจุดสัมผัสกับเส้นกราฟทำมุม 45°กับแกน x แต่หม้อแปลงที่มีช่องอากาศในแกนเหล็ก knee-point จะเป็นมุม 30°

knee-point เป็นจุดซึ่งถ้าค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก(B)ที่จุดนั้นเพิ่มขึ้น 10 % ค่าของความเข้มสนามแม่เหล็ก(H) จะเพิ่มขึ้น 50 % พอดีหม้อแปลงกระแสสำหรับการป้องกันโดยทั่วไปจะออกแบบให้เมื่อ เกิดกระแสฟอลท์สูงสุด ฟลักซ์ที่สร้างขึ้นจะไม่เลย knee - point ของลักษณะสมบัติทางแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



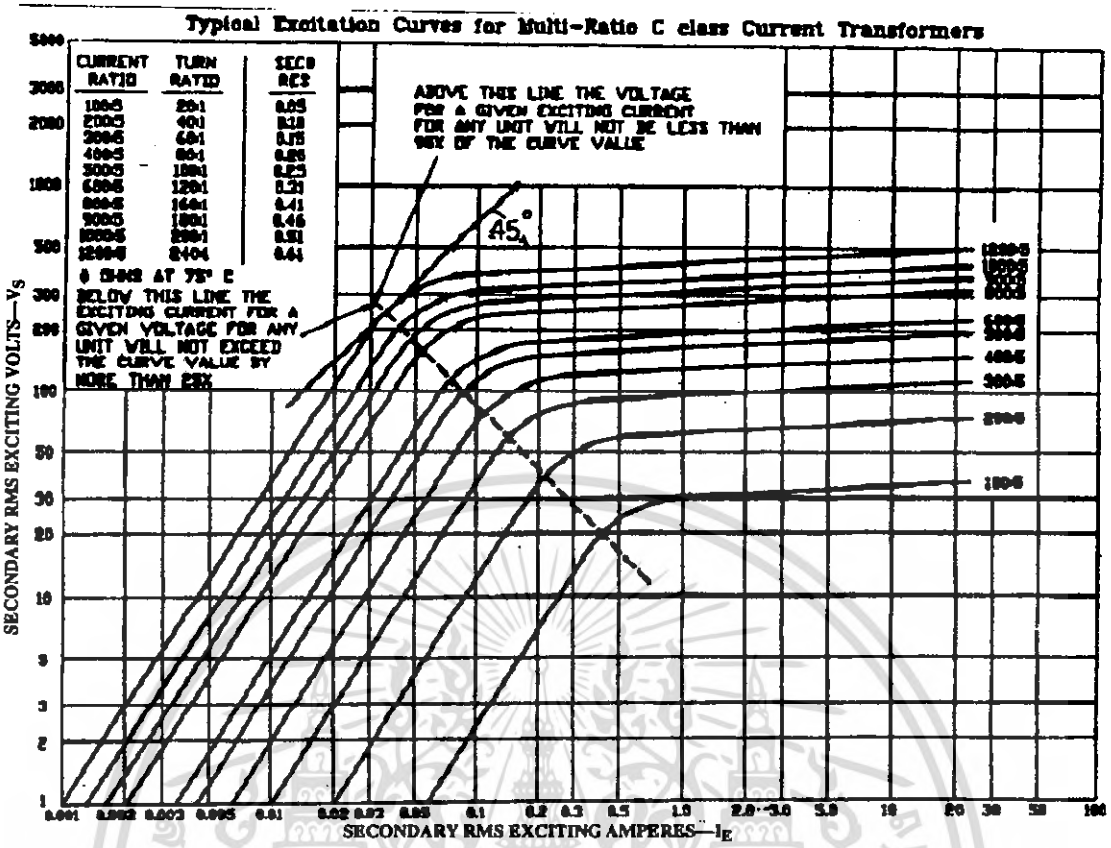
รูปที่ 2.15 จุด knee-point ใน excitation curve



รูปที่ 2.16 จุด knee-point ใน excitation curve

จุด V_{k1} คือ จุดที่เรียกว่าเป็นค่า Knee Point ของ CT แต่ในทางปฏิบัติ การหาจุด V_{k1} จาก Curve นั้นไม่ค่อยสะดวก จึงมีวิธีหาค่าโดยประมาณดังรูปที่ 2.16 จุดที่เส้นประตัดกันคือจุดที่ใช้แทน V_kได้ หรือ อีกวิธีหนึ่งคือดูจากค่าของ Class CT ค่า Knee point จะเป็นค่าที่ประมาณใกล้เคียงกับ Class CT เช่น C 400 จะมีค่า Knee point ≈ 400 Volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างเส้นโค้งกระตุ้นสำหรับหม้อแปลงกระแสแบบ C or K class

Secondary terminal voltage	Standard burden (see table 3)
10	B-0.1
20	B-0.2
50	B-0.5
100	B-1
200	B-2
400	B-4
800	B-8

ตารางที่ 2.5 พิกัดแรงดันและเบอเด้น (Voltage rating and associated burden)

2.4.6 ความแม่นยำของหม้อแปลงกระแส(Current transformer accuracy)

การทำงานของรีเลย์ขึ้นอยู่กับความแม่นยำของหม้อแปลงกระแสด้วยไม่ว่าจะขณะจ่ายโหลดปกติ (normal load) หรือเกิดความผิดพร่อง (fault) ตามมาตรฐาน IEEE Std C57.13-1993 ได้กำหนด Accuracy class ของหม้อแปลงด้วยอักษร C และ T ตามด้วยตัวเลขบอก Classification number เช่น C 400 และ T 800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C หมายถึง Percent ratio error ที่สามารถคำนวณหาได้

K หมายถึง เหมือน C แต่ค่าแรงดันที่knee-point จะน้อยกว่า 70% ของพิกัดแรงดันด้านทุติยภูมิ

T หมายถึง Percent ratio error ที่ต้องได้จากการทดสอบ

ตัวเลข Classification number เป็นค่าแรงดันที่ขั้วด้านแรงต่ำที่จ่ายให้โหลดมาตรฐาน (Standard burden) ตามตารางที่ 3 ณ ที่ 20 เท่าของค่ากระแสด้านแรงต่ำปกติโดยค่าความคลาดเคลื่อนของหม้อแปลงกระแสต้องไม่เกิน 10 % และ ตามมาตรฐาน IEEE Std C57.13 - 1993 ได้กำหนดค่ามาตรฐานของแรงดันดังตารางที่ 2.5

การกำหนดค่า Standard ของ CT โดยเขียนในรูป

VA Class A, P, B

VA = Burden ในรูปของ VA

A = Accuracy Class

P = Protection

B = Accuracy Limit Factor

15 VA Class 10 P 20 หมายถึง CT เป็นของระบบ Protection ที่ Rated 5 A จะสามารถ Supply emf ได้ 3 Volt (15 VA) มีค่า Error ไม่เกิน 10% ที่กระแสไม่เกิน 20 เท่า หรืออาจมอง Burden ในรูปของ Ω โดยคิดจาก

$$Z = \frac{VA}{I^2} = \frac{15}{5^2} = 0.6\Omega$$

ใน CT รุ่นเก่าอาจจะพบว่ามีการใช้รหัส H กับ L เช่น 10H20 , 10L20 โดยค่า H และ L แสดงว่าเป็น CT ชนิด High กับ Low Imp ตามลำดับ เช่น 10 ตัวหน้าคือ %Error และ 20 ตัวหลังคือ จำนวนเท่าของกระแสที่มากที่สุดที่ผ่าน CT แล้วทำให้ Error ไม่เกินเลขตัวหน้า

เมื่อแรงดันตกคร่อมเบอเด้นมีค่าต่ำ และค่ากระแสกระตุ้นมีค่าต่ำ จะส่งผลทำให้รูปคลื่นกระแสด้านทุติยภูมิไม่เป็น sinusoidal ทำให้แรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะว่าค่ากระแสหรือค่าเบอเด้นเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กของหม้อแปลงกระแสเพิ่มขึ้น จนในที่สุดหม้อแปลงกระแสจะทำงานในช่วงที่ค่ากระแสกระตุ้นเพิ่มขึ้นไม่เป็นสัดส่วน (non linear) ถ้าหม้อแปลงกระแสทำงานเหนือจุดนี้จะค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น สามารถหาค่าการทำงานของหม้อแปลงกระแส ได้จากเส้นโค้งการกระตุ้นซึ่งเป็น กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกระตุ้นด้านทุติยภูมิกับค่ากระแสกระตุ้น

2.4.7 การอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส(current transformer saturate)

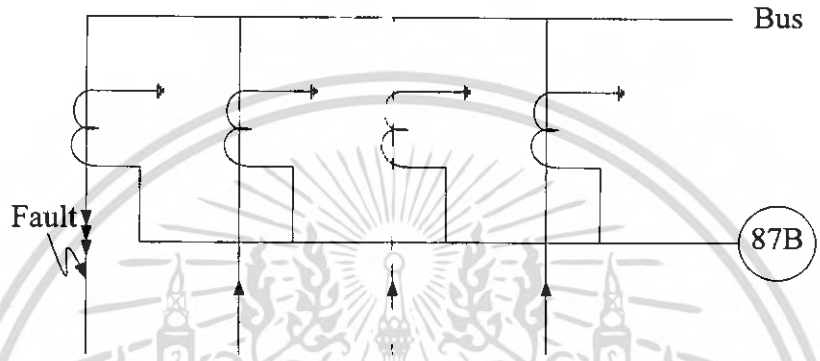
การอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส เนื่องจากไม่สามารถขับโหลดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสได้ ส่งผลให้กระแสด้านทุติยภูมิไม่เป็นไปตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ (ค่าน้อยลง) หรืออาจไม่มีกระแสออกมาเลย (Completely saturate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

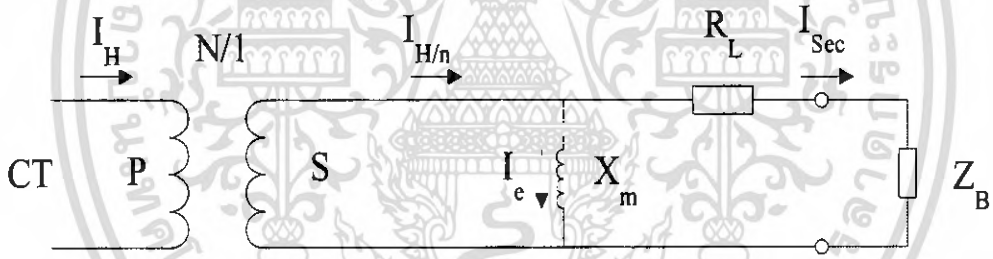
การอิ่มตัวของ CT ทำให้ไม่สามารถอ่านกระแส Sec ออกมาได้เลยหรือ ออกมาได้ไม่เต็มที่ ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุ เช่น

1. มีกระแสไหลผ่าน Primary มากๆ เช่น กรณีการเกิด External Fault ของ Bus อาจจะเกิดกับ CT ตัวที่ใกล้ตำแหน่ง Fault ที่สุดในรูป 2.18

2. เมื่อ CT ต่อกับ Circuit ที่มี Burden มากเกินไปจนไม่สามารถ Drive ได้ (เกินค่า VA ของตัว CT)



รูปที่ 2.18 เกิด external fault ที่ bus



รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงกระแส

การที่ CT ไม่มี I_{sec} ออกมาเมื่อเกิด Sat เนื่องจาก Current ทั้งหมดหรือส่วนมาก จะไหลผ่านค่า X_m แทนดูจากวงจรสมมูลย์ในรูปที่ 2.19

ค่า I_e (Magnetic Current) ซึ่งปกติจะมีค่าน้อยเพราะค่า X_m ใน CT มักจะเป็นค่า High Impedance เมื่อ CT เกิด Sat แกนเหล็กจะอิ่มตัวทำให้ค่า X_m เปลี่ยนจาก High Imp เป็น Low Imp ค่ากระแส I_e เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ตาม Excitation Curve) ทำให้ I_{sec} มีขนาดเล็กลงหรือไม่ออกมาเลย ถ้าเป็น Complete Sat

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.1 ตัวประกอบการอิ่มตัวและเวลาเข้าสู่การอิ่มตัว(Saturation factor and time-to-saturate)

ความแตกต่างของการไม่อิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส กับการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแสแสดงดังในรูปที่ 2.20 และ 2.21 ตามลำดับโดยในรูปที่ 2.20 มีฟลักซ์ตกค้างแต่ไม่ได้หักล้างกับฟลักซ์จากกระแสด้านปฐมภูมิแกนเหล็กของหม้อแปลงกระแส ไม่เข้าสู่การอิ่มตัวทำให้ รูปคลื่นกระแสทางด้านทุติยภูมิไม่เปลี่ยนรูปร่าง(Undistorted)ส่วนในรูปที่ 2.20 แสดงฟลักซ์และกระแสด้านทุติยภูมิเมื่อค่ากระแสทางด้านปฐมภูมิมีค่าสูง การเพิ่มขึ้นของฟลักซ์จะไม่เปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใดแต่จะมีช่วงเวลาก่อนเข้าสู่การอิ่มตัว คือ time-to-saturation

ในทางปฏิบัติผลกระทบจากการอิ่มตัวสามารถหลีกเลี่ยงได้โดยเลือกขนาดของหม้อแปลงกระแสให้มีค่าแรงดัน knee-point สูงกว่าค่าที่จะใช้เมื่อเกิดกระแสฟอลท์และเบอเด้น ด้านทุติยภูมิสูงสุด ค่าแรงดัน knee-point อาจจะมีค่า 50 % - 70 % ของค่า standard accuracy class voltage rating ของหม้อแปลงกระแส

2.4.7.2 แรงดันอิ่มตัว(saturation voltage)

คือ แรงดันที่ตกคร่อมด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสซึ่งทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเกินกว่าความหนาแน่นฟลักซ์ (Flux density) ที่จุดอิ่มตัว การหลีกเลี่ยง AC saturation โดย

$$V_x = I_s \times Z_s \qquad (2.9)$$

เมื่อ V_X = แรงดันอิ่มตัว (saturation voltage)

I_S = I_P/turns ratio

Z_S = $R_S + X_L + Z_B$

การหลีกเลี่ยง DC component ในรูปคลื่นด้านปฐมภูมิ และเป็นแบบ pure resistive burden โดย

$$V_x = I_s \times Z_s(1 + \frac{X}{R}) \qquad (2.10)$$

เมื่อ X = reactance ของระบบด้านปฐมภูมิ

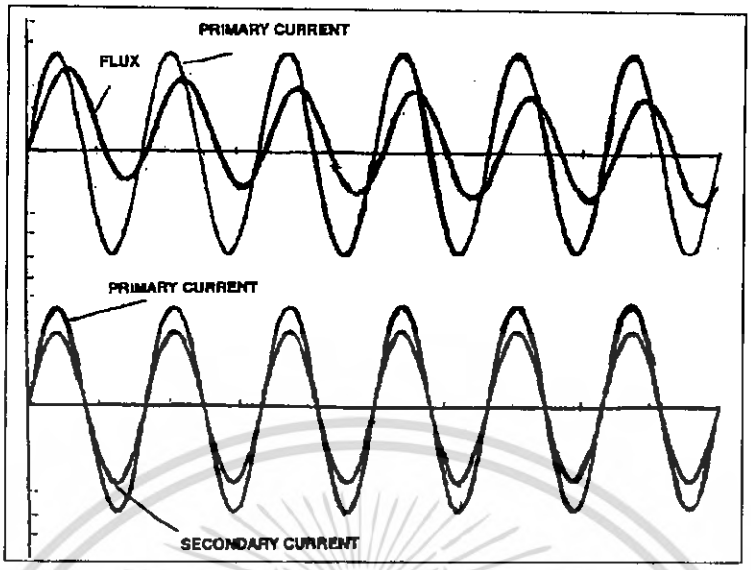
R = resistance ของระบบด้านปฐมภูมิ

โดยที่ทั้งของค่าเป็นค่าจากหม้อแปลงกระแสไปจนถึงจุดที่เกิดฟอลท์

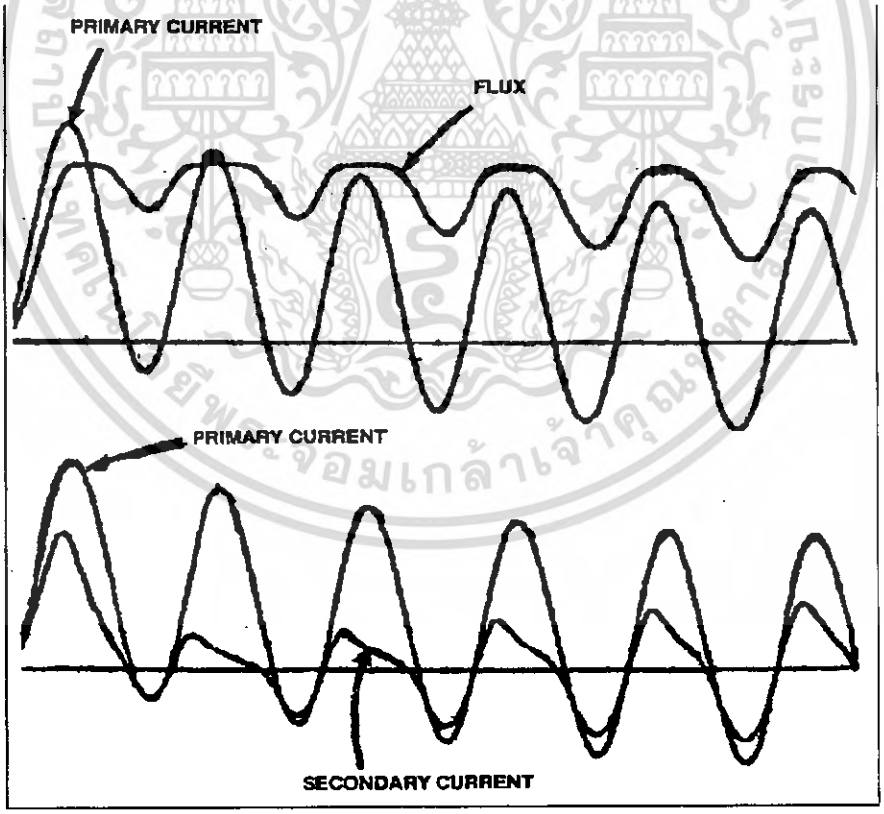
ถ้า burden ของหม้อแปลงกระแสเป็น inductive หลีกเลี่ยงได้โดย

$$V_x = I_s \times Z_s(1+\frac{X}{R})(\frac{Rs+Rb}{Zs}) \qquad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสด้านปฐมภูมิกับฟลักซ์และกระแสด้านปฐมภูมิกับกระแสด้าน ทุติยภูมิเมื่อหม้อแปลงกระแสไม่เกิดการอิ่มตัว



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสด้านปฐมภูมิกับฟลักซ์และกระแสด้านปฐมภูมิกับกระแสด้านทุติยภูมิเมื่อหม้อแปลงกระแสเกิดการอิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.3 ตัวประกอบการอิ่มตัว(Saturation factor,(K_S))

คือ อัตราส่วนของค่าแรงดันอิ่มตัวต่อแรงดันกระตุ้น

$$K_s = V_x/V_s \qquad (2.12)$$

เมื่อ $V_S = I_S(R_S + R_B)$

ค่าตัวประกอบการอิ่มตัว ใช้คำนวณหาค่าเวลาเข้าสู่การอิ่มตัว ในสภาวะชั่วขณะ (Transient conditions)

2.4.7.4 เวลาเข้าสู่การอิ่มตัว(Time-to-saturation,(T_S))

เวลาเข้าสู่การอิ่มตัวมีความสำคัญในการออกแบบและ ใช้งานของรีเลย์ป้องกัน(Protective relays) หม้อแปลงกระแสจะยังคงทำงานอย่างแม่นยำในช่วง 1-2 ไซเคิล (cycles) ของกระแสด้านปฐมภูมิก่อนที่แกนเหล็กของหม้อแปลงกระแสจะอิ่มตัว ค่าเวลาเข้าสู่การอิ่มตัวจะขึ้นอยู่กับค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- Degree of fault current offset อัตราส่วน X/R ของระบบและมุมจากการเกิดฟอลท์จะกำหนดจากมุมของรูปคลื่นกระแสด้านปฐมภูมิ และ DC component จะช่วยในการเพิ่มฟลักซ์ให้มากขึ้น ถ้ามุมมีค่ามากจะทำให้แกนเหล็กของหม้อแปลงกระแสเข้าสู่การอิ่มตัว
- ขนาดของกระแสฟอลท์ ถ้ามีขนาดใหญ่ส่งผลให้ฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเข้าสู่จุดอิ่มตัว
- ฟลักซ์ตกค้างในแกนเหล็กของหม้อแปลงกระแส ฟลักซ์ตกค้างในแกนเหล็กจะรวมหรือหักล้างกับฟลักซ์ที่สร้าง จะขึ้นอยู่การต่อขั้วของหม้อแปลงกระแส เมื่อฟลักซ์ตกค้างทำให้ฟลักซ์สร้างมีค่ามากขึ้นเวลาเข้าสู่การอิ่มตัวจะเร็วขึ้น ในรูปที่ 2.28 แสดงรูปคลื่นของกระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสที่มีฟลักซ์ตกค้างและไม่มีฟลักซ์ตกค้าง รูปคลื่นนี้พิจารณาที่หม้อแปลงกระแส C 800 , 1200/5 กระแสฟอลท์ขนาด 24000 A และค่า dc offset มีค่าคงที่เวลา (time constant) 0.05 s (X/R = 19) และมีค่าสูงสุดค่าเบอเด้น ทั้งหมดเป็น 1.6 + j0.7 ohm รูปคลื่น A , B และ C แสดงพฤติกรรมของหม้อแปลงกระแสที่ฟลักซ์แม่เหล็กดกค้างมีค่า 0 %, 50 % และ 75 % ตามลำดับ ค่าเวลาการอิ่มตัว เกิดที่ 1.5 , 0.5 และ 0.3 cycles ตามลำดับ
- Saturation voltage ค่า Z_E มีค่าเปลี่ยนแปลงตามปริมาณและคุณภาพของเหล็กในแกนเหล็กของหม้อแปลงกระแส ถ้าแกนเหล็กมีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่หน้าตัดใหญ่ ฟลักซ์ที่จะเข้าสู่การอิ่มตัวจะมีค่ามากทำให้ค่าแรงดันอิ่มตัวมีค่าสูงค่าเวลาเข้าสู่การอิ่มตัวจะมีค่ามาก

- Turns ratio การวัดการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแสจะดูที่ค่าความหนาแน่นฟลักซ์ว่ามีค่าเกินกว่าค่าความหนาแน่นฟลักซ์ที่ทำให้เกิดการอิ่มตัวหรือไม่

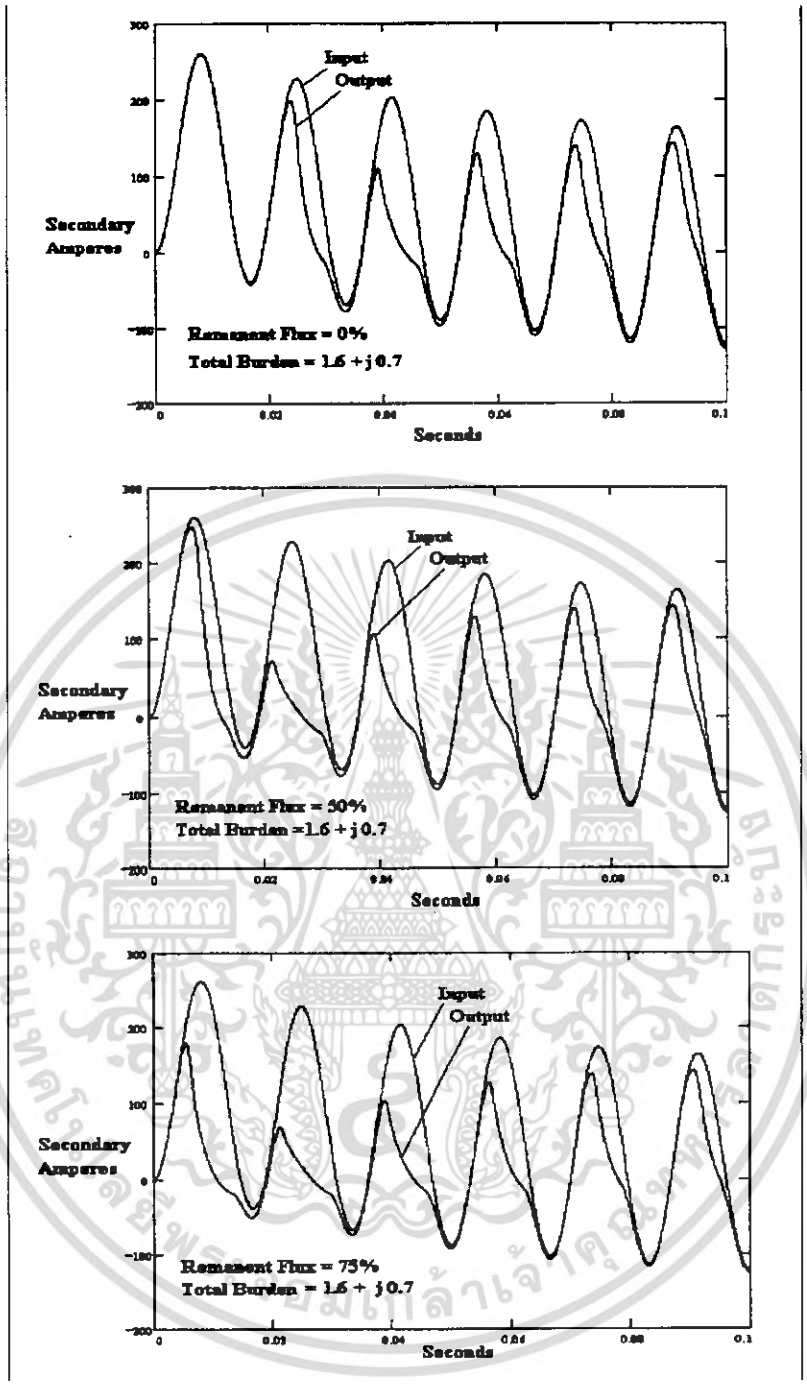
การลดลงของฟลักซ์ส่งผลให้มีผลกระทบดังนี้

1.จาก $E = n \times \frac{d\phi}{dt}$, เพิ่มจำนวนรอบส่งผลให้จำนวนฟลักซ์ที่จะสร้าง EMF ด้านทุติยภูมิลดลง เกิดการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแสที่แรงดันสูงเมื่อจำนวนรอบขดลวดด้านทุติยภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น

2.เพิ่มจำนวนรอบทำให้ค่ากระแสทางด้านทุติยภูมิลดลงที่ค่ากระแสปฐมภูมิที่คงที่โดยค่ากระแสด้านทุติยภูมิจะแปรผกผันกับอัตราส่วนของจำนวนรอบ (Turns ratio) เมื่อค่าเบอเด้น ด้านทุติยภูมิคงที่

สำหรับผลกระทบทั้งสองถ้าลดฟลักซ์ ในแกนเหล็กของหม้อแปลงกระแสเพื่อเพิ่มค่าอัตราส่วนรอบ (turn ratio) ส่งผลให้ค่าเวลาการอิ่มตัวเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 รูปคลื่นกระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสที่มีค่าฟลักซ์ตกค้างต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.5 ผลกระทบต่อรีเลย์ผลต่างเนื่องจากการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแส (Saturation effects on differential relays)

ผลกระทบต่อรีเลย์จะขึ้นกับชนิดของรีเลย์ และฟอลท์ที่เกิดนั้นเป็นแบบเกิดภายในหรือภายนอกขอบเขตการป้องกัน (protected zone) ซึ่งจะกำหนดโดยตำแหน่งของหม้อแปลงกระแสที่ต่ออยู่ในระบบ สำหรับการเกิดฟอลท์แบบภายในรีเลย์ผลต่างจะทำงานโดยไม่คำนึงว่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปคลื่นหรือไม่การทำงานที่ผิดพลาดของรีเลย์ผลต่างจะเกิดในกรณีที่เกิดฟอลท์ภายนอกเขตป้องกัน

รีเลย์ผลต่างแบบเปอร์เซ็นต์ (percentage differential reay) จะเกิดข้อผิดพลาดในการทำงานเมื่อเกิดฟอลท์ภายนอกเขตป้องกันที่มีความรุนแรงมาก เพราะว่าการทำงานของรีเลย์จะขึ้นกับอัตราส่วนของค่ากระแสทำงาน (operate) กับกระแส(restraint) โดยการเกิดฮาร์โมนิก (harmonic) ในรูปคลื่นกระแสด้านทุติยภูมิทำให้การทำงานของรีเลย์ช้าลงกว่าที่ตั้งค่าไว้กรณีที่เกิดฟอลท์ภายในอย่างรุนแรง

ถ้ามีการตั้งค่าอย่างเหมาะสมรีเลย์ผลต่างแบบ high-impedance จะไม่ได้รับผลกระทบจากการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแสเนื่องจากฟอลท์ภายนอกเขตป้องกัน

2.4.8 การเกิดแรงดันเกินทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแส(Open circuited secondary winding)

ขนาดของแรงดัน(rms)ที่เกิดทางด้านทุติยภูมิที่เกิดจากการเหนี่ยวนำจะถูกจำกัดขนาดเพราะการอิ่มตัวหม้อแปลงกระแส แต่แรงดันทางด้านทุติยภูมิอาจมีค่ายอดสูงสุดเกิดขึ้นได้ถ้าเบอเด้นของหม้อแปลงกระแสมีอิมพีแดนซ์สูงโดยเฉพาะเมื่อวงจรทุติยภูมิเปิดวงจร ขณะที่วงจรทุติยภูมิเปิดวงจรแรงเคลื่อนสนามแม่เหล็ก (mmf) ที่เกิดจากกระแสด้านปฐมภูมิที่กระทำต่อแกนเหล็กจะต้องมีแรงเคลื่อนสนามแม่เหล็กขนาดเท่ากันมาหักล้างนั่นคือกระแสที่ไหลเข้าสู่วงจรกระตุ้นเท่านั้น ถ้ากระแสด้านปฐมภูมิมีขนาดที่สูงพอ แกนเหล็กจะถูกขับทำให้เกิดการอิ่มตัว อัตราการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ในขณะที่กระแสทางด้านปฐมภูมิผ่านค่าศูนย์จะมีค่าสูง ซึ่งจะเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิมีค่ายอดสูงมาก จะเห็นได้ว่าค่ายอดของแรงดันทุติยภูมิขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสเท่านั้น และจะไม่ขึ้นกับค่าสูงสุดของความหนาแน่นฟลักซ์แต่อย่างใด ถ้ากระแสทางด้านปฐมภูมิมีขนาดเท่ากับ ค่าที่พิกัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะเป็นหลายร้อยโวลต์ในหม้อแปลงกระแสที่มีขนาดเล็กและจะมีค่าหลายพันโวลต์ สำหรับหม้อแปลงกระแสขนาดใหญ่ ในขณะที่มีกระแสฟอลท์ไหลในระบบค่ายอดของแรงเคลื่อนไฟฟ้า ก็จะยิ่งมีค่าสูงขึ้นอีกหลายเท่า และเป็นสัดส่วนกับจำนวนเท่าของกระแสทางด้านปฐมภูมิ ที่เพิ่มขึ้นอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้และอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ด้วย ดังนั้นในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิบัติงานถ้าจำเป็นต้องถอดสายทางด้านทุติยภูมิออก จะต้องทำการลัดวงจรที่ขั้วของทางด้านทุติยภูมิก่อนเสมอ

2.4.9 การเลือก CT rating

โดยทั่วไปจะเลือกให้กระแสพิกัดทางด้านปฐมภูมิ(Primary)สูงกว่ากระแสพิกัดของวงจรที่จะป้องกัน

$$I_P > I_N \tag{2.13}$$

โดยที่ I_P = กระแสพิกัดทางด้านปฐมภูมิ(Primary)ของหม้อแปลงกระแส

I_N = กระแสพิกัดของวงจรที่ป้องกัน

กระแสพิกัดทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสจะต้องเป็นแบบ 1 A หรือ 5 A และถ้าระยะทางด้านทุติยภูมิยาวเกิน 30 เมตร กระแสทางด้านทุติยภูมิแบบ 1 A จะดีกว่า เนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมต่ำกว่าแบบ 5 A

2.4.10 การต่อหม้อแปลงกระแส(current transformer connection)

2.4.10.1 หม้อแปลงกระแสช่วย (auxiliary current transformer)

เหตุผลที่ใช้หม้อแปลงกระแสมีดังนี้

- วงจรแยกกราวน์(ground)ออกเป็นอิสระ
- เปลี่ยนค่า ratio เพื่อปรับให้ค่ากระแสถูกต้องตามต้องการ
- เกิดการเลื่อนเฟส (phase shift) ในวงจรแบบสามเฟส
- สลับขั้วหม้อแปลงกระแส
- จำกัดค่าเบอเด้นหม้อแปลงกระแสหลัก (main CT) โดยเกิดการอิ่มตัวเมื่อเกิดฟอลท์
- ลดค่าเบอเด้นบนหม้อแปลงกระแสหลักโดยลดค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏ (apparent impedance)ของเบอเด้นโดยค่ากำลังสองของค่าเบอเด้นของหม้อแปลงกระแสช่วย
- Zero sequence shunt or trap

หม้อแปลงกระแสช่วยถูกใช้เป็นจำนวนมาก ในการใช้งานด้านรีเลย์เพื่อทำหน้าที่แยกวงจรไฟฟ้าระหว่างด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสหลัก (main current transformer) กับวงจรอื่น ๆ อีกทั้งยังมีหน้าที่ในการช่วยปรับอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสด้วย อัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสนั้นจะมีค่ามาตรฐาน และเมื่อต้องการค่าอัตราส่วนที่ต่างจากค่ามาตรฐานแล้วหม้อแปลงกระแสช่วยก็จะทำหน้าที่ในการปรับเพื่อให้ได้อัตราส่วนดังกล่าว แต่อย่างไรหม้อแปลงกระแสช่วยจะทำให้เกิดค่าผิดพลาด (error) ด้วยตัวของมันเองในการแปลงกระแส และโดยเฉพาะในบางครั้งหม้อแปลงกระแสช่วยอาจเกิดการอิ่มตัว ดังนั้นหม้อแปลงกระแสช่วยจึงควรได้รับการพิจารณาในการใช้งานด้วย ค่าเบอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เต้นจะถูกคิดจากขดลวดด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสช่วยซึ่งจะส่งผลเฉพาะด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสหลักเท่านั้น ถ้าต้องการให้มีหม้อแปลงกระแสช่วยสมรรถนะ ที่ดีภายใต้สภาวะการเกิดฟอลท์ ค่าแรงดัน knee-point ของหม้อแปลงกระแสช่วยจะต้องพิจารณาให้สัมพันธ์กับค่าเบอเด้นที่ต่ออยู่โดยไม่คำนึงถึงค่าแรงดัน knee-point ของหม้อแปลงกระแสหลัก อย่างไรก็ตามหม้อแปลงกระแสช่วยไม่จำเป็นต้องมีค่าแรงดัน knee-point ที่สูงเพื่อที่จะไม่ต้องการให้มีค่าเบอเด้นภายในที่สูงซึ่งจะมองเห็นผ่านหม้อแปลงกระแสหลัก

2.4.10.2 การต่อหม้อแปลงกระแสแบบวายและเดลต้า

(wye and delta connections)

ในวงจรสามเฟสมีความจำเป็นที่ต้องต่อหม้อแปลงกระแสแบบวายหรือเดลต้า เพื่อหาการเลื่อนเฟส (phase shife) ที่แน่นอนและขนาดที่เปลี่ยนไปของกระแสด้านทุติยภูมิ การต่อแบบวาย แสดงดังรูป 2.23 กระแสที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคกับกระแสเฟส (phase current) ซึ่งตรงกันกับเฟสเบอเด้น (phase burden,(Z_f)) และกระแสจะเป็นปฏิภาคกับ $3I_0$ ในนิวทรอลเบอเด้น(neutral burden,(Z_n)) การต่อแบบนี้จะไม่มีการเลื่อนเฟสเกิดขึ้นสำหรับการต่อแบบเดลต้าแสดงดังรูป 2.30 กระแสที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิภาคกับ ($I'_a - I'_b$), ($I'_a - I'_c$) และ($I'_c - I'_a$) ในเบอเด้นทั้งสามเฟส (Z_f) ถ้ากระแสปฐมภูมิสมดุลจะได้ว่า

$$(I'_a - I'_b) = \sqrt{3}\,|I'_a| \exp\left(\frac{j\pi}{6}\right) \qquad (2.14)$$

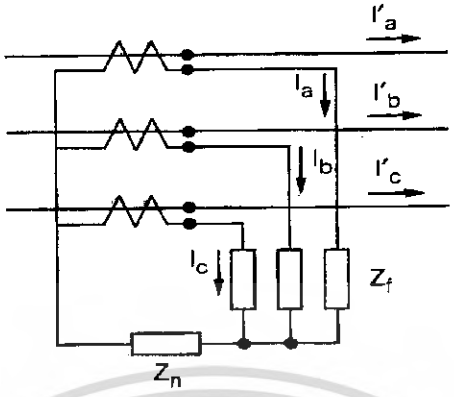
และ phase shift มีค่าเท่ากับ 30° ระหว่างกระปฐมภูมิและกระแสที่เกิดจากเบอเด้น Z_f โดยการเปลี่ยนทิศทางของขดลวดเดลต้าทำให้ค่า phase shift มีค่า -30°

2.4.10.3 Zero sequence current shunt

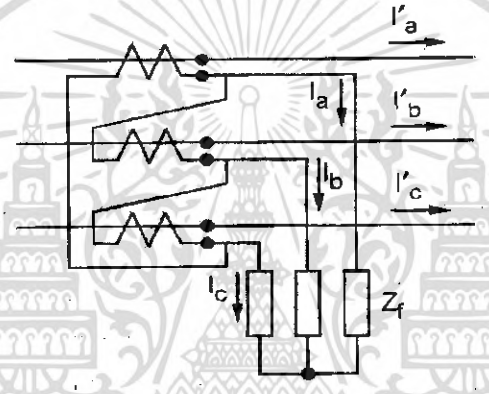
แสดงในรูปที่ การต่อหม้อแปลงกระแสแบบวายในแต่ละเบอเด้นเฟส (Z_f) จะมีการนำกระแสซึ่งรวมทั้งลำดับบวก(positive sequence) , ลำดับลบ (negative sequence) และลำดับศูนย์(zero sequence) โดยในบางครั้งต้องการให้กระแสลำดับศูนย์ไหลผ่านเบอเด้นเหล่านี้ซึ่งสามารถทำได้โดยการต่อหม้อแปลงกระแสช่วย ดังรูป 2.25 จากรูปนิวทรอลของด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสหลัก (main CT) ไม่ได้ถูกต่ออยู่กับเบอเด้นนิวทรอล(neutral burden) กลุ่มของหม้อแปลงกระแสช่วยด้านปฐมภูมิจะถูกต่ออยู่แบบวายในขณะที่ทางด้านทุติยภูมิถูกต่ออยู่แบบเดลต้าส่วน นิวทรอลของ หม้อแปลงกระแสช่วยถูกต่ออยู่กับนิวทรอลด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสหลักและเบอเด้นนิวท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

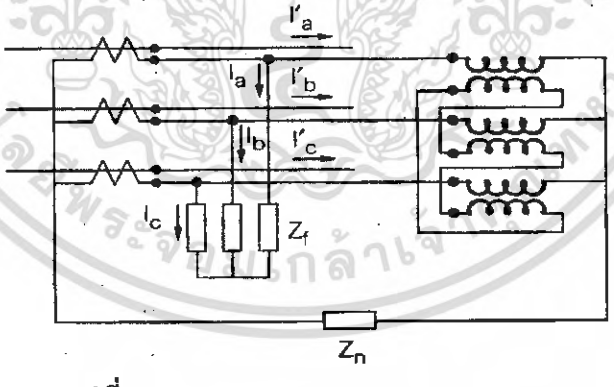
รอล(Z_n) ขดลวดด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสช่วยทำให้เกิดการไหลวนของกระแสลำดับศูนย์แต่จะไหลอยู่ในเบอเด้นเฟส(Z_f)ในระยะเวลาไม่นาน



รูปที่ 2.23 การต่อหม้อแปลงกระแสแบบวาย(wye)



รูปที่ 2.24 การต่อหม้อแปลงกระแบบเดลต้า(delta)



รูปที่ 2.25 zero sequence current shunt

2.4.10.4 การต่อแบบสามเฟส(three-phase connection)

การต่อหม้อแปลงกระแสแบบสามเฟสค่าเบอเด้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามแบบการต่อและชนิดของฟอลท์ที่เกิดขึ้นแสดงตามตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection	Type of fault	
	3 Ph or ph-to-ph	Ph-to-ground
Wye (connected at ct)	$Z = R_s + R_L + Z_R$	$Z = R_S + 2R_L + Z_R$
Wye (connected at switchhouse)	$Z = R_s + 2R_L + Z_R$	$Z = R_S + 2R_L + Z_R$
Delta (connected at switchhouse)	$Z = R_s + 2R_L + 3Z_R$	$Z = R_s + 2R_L + 2Z_R$
Delta (connected at ct)	$Z = R_s + 3R_L + 3Z_R$	$Z = R_s + 2R_L + 2Z_R$

Z	is the effective impedance seen by the ct
R_S	is the ct secondary winding resistance and ct lead resistance; also includes any relay impedance that is inside the delta connection (ohms)
R_L Z_R	is the circuit one-way lead resistance (ohms) is the relay impedance in the ct secondary current path (ohms)

ตารางที่ 2.6 ค่าเบอเด้นที่เปลี่ยนแปลงตามการต่อหม้อแปลงกระแสและชนิดของฟอลท์ที่เกิด

2.5 หม้อแปลงแรงดัน(Voltage or Potential Transformer)

หม้อแปลงแรงดันมีหน้าที่แปลงค่าแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ ให้เหลือเป็นแรงดันไฟฟ้าค่าต่ำ ๆ ให้เหมาะสมต่อการใช้งานกับมิเตอร์เพื่อการวัด หรือรีเลย์และอุปกรณ์อื่น ๆ หม้อแปลงแรงดันทำงานที่สภาวะคล้ายไม่มีโหลด ขดลวดปฐมภูมิเป็นแบบพันหลายชั้นทำด้วยลวดอาบน้ำยา ปลายขดลวดต่อเข้ากับซีลด์โลหะและทำการฉนวนเป็นชั้น ๆ ลดหลั่นลงไปเพื่อให้การกระจายของแรงดันสม่ำเสมอ ขดลวดปฐมภูมิต่อตรงกับแรงดันไฟฟ้าใช้งาน ส่วนทางด้านทุติยภูมิมีขดลวดสำหรับการวัดและขดลวดสำหรับฟอลท์ลงดินโดยจะต้องมีการแยกกันระหว่างส่วนของแรงดันสูงกับส่วนของแรงดันต่ำเพื่อความปลอดภัย โดยในการใช้งานภาระโหลด(burden)ของหม้อแปลงแรงดันจะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ หม้อแปลงแรงดันสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

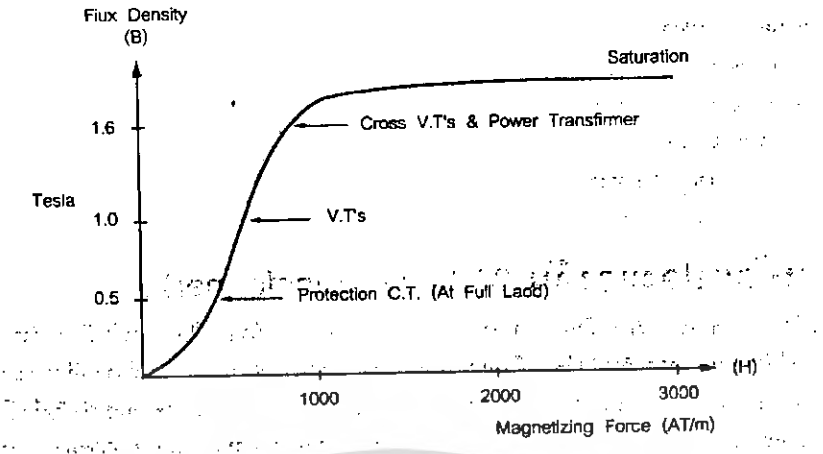
1.Electromagnetic VT

2.Coupling capacitor VT

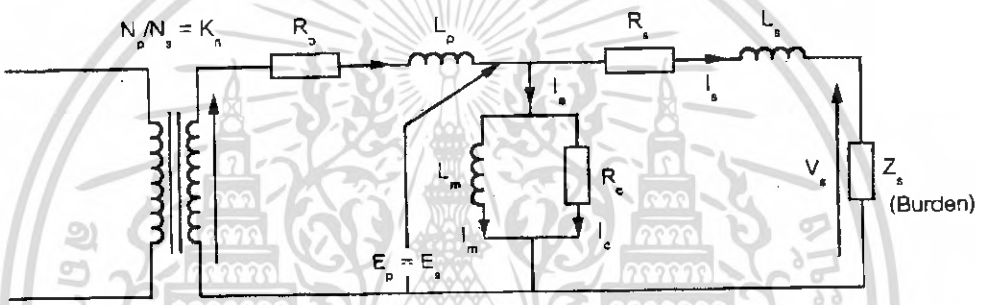
2.5.1 Electromagnetic voltage transformer

มีหลักการทำงานคือ อาศัยการเหนี่ยวนำขดลวดสนามแม่เหล็กจากขดลวดปฐมภูมิเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันที่ขดลวดทุติยภูมิโดยกราฟแสดงคุณสมบัติแม่เหล็ก(B-H curve)ของหม้อแปลงแรงดัน, วงจรสมมูล(equivalent circuit), เวกเตอร์ไดอะแกรม(vector diagram)แสดงดังรูปที่ 2.32, 2.33, 2.34 ตามลำดับ

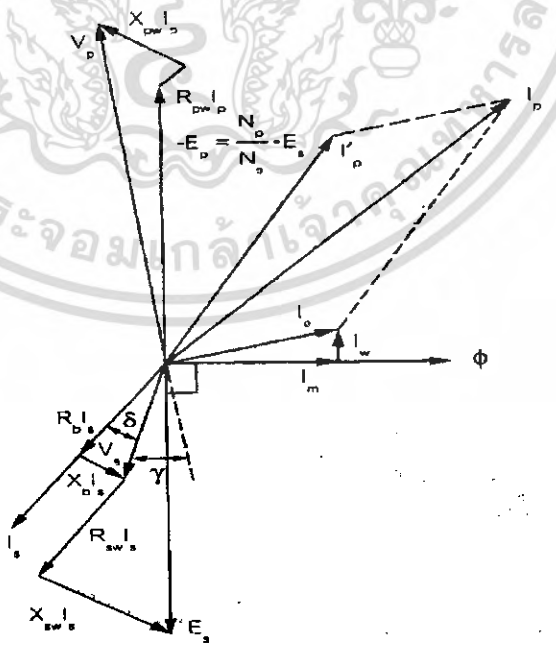
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 จุดทำงานของหม้อแปลงแรงดันบนกราฟคุณสมบัติแม่เหล็ก



รูปที่ 2.27 วงจรสมมูลหม้อแปลงแรงดันแบบ electromagnetic



รูปที่ 2.28 เวกเตอร์ไดอะแกรมของหม้อแปลงแรงดันแบบ electromagnetic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นค่าอิมพีแดนซ์รวมทางด้านทุติยภูมิ (ZS) มีค่าเป็น

$$Z_s = (R_{sw} + R_b) + j(X_{sw} + X_b) \quad (2.15)$$

เบอเด้นอิมพีแดนซ์ (ZB) กำหนดโดย

$$Z_b = R_b + jX_b \quad (2.16)$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induced E.M.F, ES) สามารถหาได้จาก

$$E_s = 4.44fB_mAN_s \quad (2.17)$$

เมื่อ R_b = ค่าความต้านทานของเบอเด้น

X_b = ค่ารีแอกแดนซ์ของเบอเด้น

R_{sw} = ค่าความต้านทานของขดลวดทุติภูมิ

X_{sw} = ค่ารีแอกแดนซ์ของขดลวดทุติยภูมิ

2.5.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมเฟส(Phase difference of phase error)

นิยามโดยค่ามุม δ ดังแสดงในรูปที่ 2.29

ความคลาดเคลื่อนของหม้อแปลงแรงดันขึ้นอยู่กับ

1.การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของขดลวดเนื่องจากความต้านทานของขดลวดที่เปลี่ยนแปลง เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงแต่ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอุณหภูมิจะมีค่าน้อยมากคือ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปประมาณ 45 ˚C ความคลาดเคลื่อนจะมีประมาณ 0.1 % ซึ่งน้อยมากและอาจจะตัดทิ้งได้

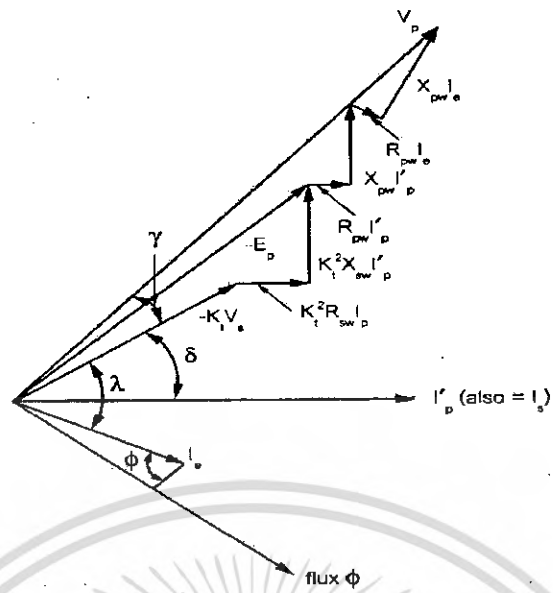
2.การเปลี่ยนรูปลักษณะคลื่นแรงดันอันเนื่องมาจากการเกิดฮาร์โดมนิกที่สาม (3^{rd} Harmonic) ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อยซึ่งในทางปฏิบัติอาจจะไม่ต้องคำนึงถึงก็ได้

3.ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดัน การที่แรงดันต่ำกว่าที่กำหนดจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย แต่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อแรงดันสูงกว่าที่กำหนด

4.ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ปกติ หม้อแปลงแรงดันออกแบบไว้ใช้กับความถี่ขนาดเดียวซึ่งอาจจะเป็น 50 หรือ 60 Hz หากใช้หม้อแปลงกระแสที่ความถี่สูงกว่ามากจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนแต่ความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมากอาจตัดทิ้งได้

การแบ่งชั้นของความถูกต้องแม่นยำของหม้อแปลงแรงดันในระบบป้องกัน และค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดที่ควรจะเป็นของแต่ละชั้น สำหรับหม้อแปลงแรงดันที่ใช้ในระบบป้องกันค่าปริมาณคลาดเคลื่อนและมุมเฟสคลาดเคลื่อนที่พิกัดความถี่จะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้แสดงในตารางที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 เวกเตอร์ไดอะแกรมวงจรสมมูลทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงดัน

Accuracy Class	Percentage Voltage (ratio) Error	Phase Displacement	
		Minutes	Centiradians
3P	± 3.0	± 120	± 3.5
6P	± 6.0	± 240	± 7.0

ตารางที่ 2.7 ขีดจำกัดของความผิดพลาดของหม้อแปลงแรงดัน

นอกจากนี้ยังมีค่า voltage factor โดย

$$voltage\ factor = V_f / V_t \tag{2.18}$$

ซึ่งจะเป็นตัวบอกถึง withstand voltage ในระหว่างที่เกิดฟอลท์ซึ่งจะได้ว่า

$V_f = 1.2V_n$ เมื่อทำงานที่สถานะต่อเนื่อง

$V_f = 1.9V_n$ เมื่อทำงานที่สถานะที่มีฟอลท์นานถึง 30 นาที

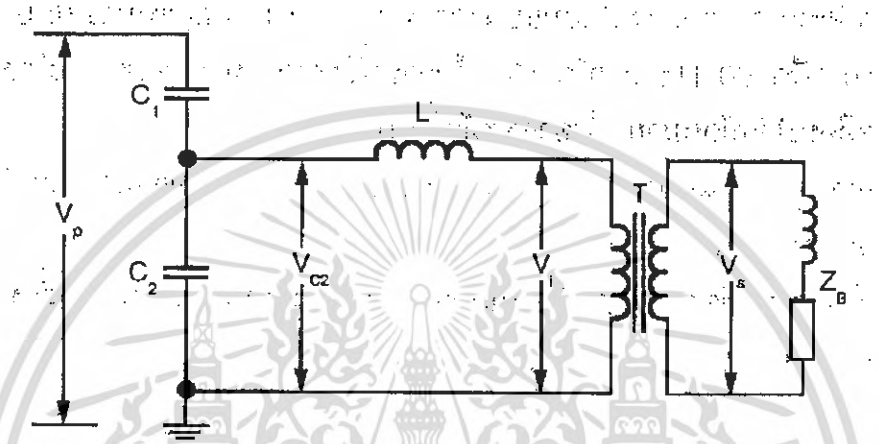
2.5.3 Coupling capacitor voltage transformer (CCVT)

ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ใช้แรงดันไฟฟ้าค่าสูง ๆ ในระบบระดับแรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป จะใช้เทคนิคในการลดทอนแรงดันสูง ๆ (voltage divider) ให้เหลือเป็นค่าต่ำ ๆ ก่อนต่อผ่านหม้อแปลงแรงดันเพื่อลดระดับแรงดันอีกครั้ง เพื่อความสะดวกและประหยัดค่าใช้จ่ายในการออกแบบและสร้างหม้อแปลงแรงดันที่มีขนาดใหญ่มาใช้เพื่อการนี้โดยเฉพาะซึ่งอาจทำให้เกิดความสูญเสียพลังงานมากและเกิดความไม่ปลอดภัยขึ้นรวมไปถึงข้อจำกัดทางเทคนิคทางการ

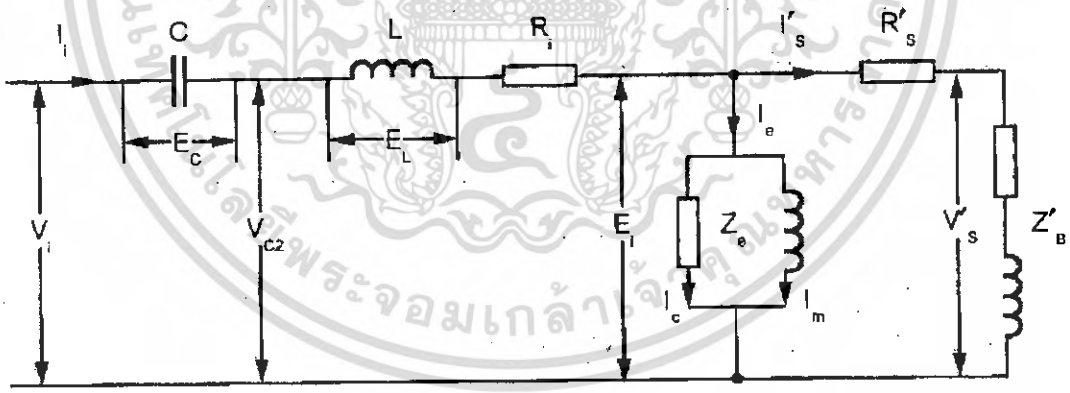
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างด้วย ลักษณะวงจรพื้นฐานที่ใช้เป็นดังรูปที่ 2.30 ซึ่งมีวงจรสมมูลและเวกเตอร์ไดอะแกรมดังรูปที่ 2.31 , 2.32 ตามลำดับ

หม้อแปลงแรงดันแบบ CCVT จะมีลักษณะวงจรเป็นแบบ series resonance circuit เมื่อมี surge voltage เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการ oscillation ของแรงดัน ซึ่งในทาง high speed protection จะต้องให้ transient oscillation นี้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

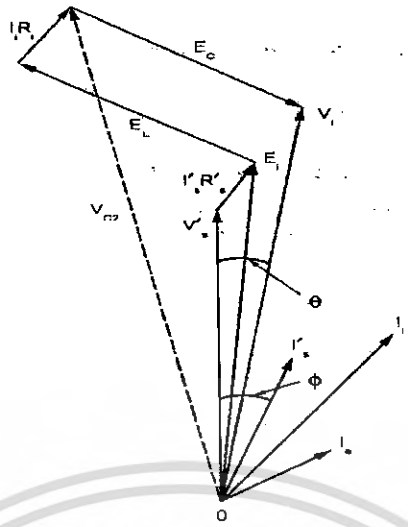


รูปที่ 2.30 วงจรพื้นฐานของ CCVT



รูปที่ 2.31 วงจรสมมูลของ CCVT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 เวกเตอร์ไดอะแกรมของวงจรสมมูลของ CCVT

ข้อเปรียบเทียบ ระหว่าง PT กับ CCPD

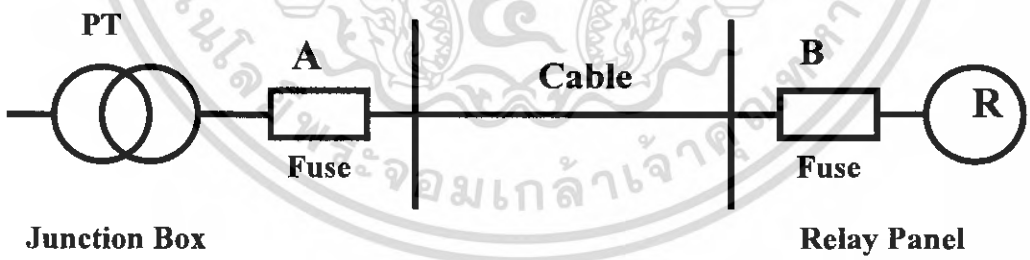
1.) CCPD ราคาถูกกว่า

2.) CCPD ใช้กับ Carrier ได้

3.) CCPD เกิด Fault Resonance ยากกว่า PT

ทางด้าน Secondary ของ PT ก่อนที่จะเข้าห้องควบคุม (Control room) มักจะมี Fuse หรือ Protection ที่ Junction ของ PT เพื่อ Clear Fault ใน Cable

การดิด Fuse ควรมีทั้ง Junction Box และใน Relay Panel ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 การติดตั้งฟิวส์

โดย Fuse B ควรมี Amp ต่ำกว่า Fuse A เพื่อว่า กรณีเกิด Short Circuit ใน Relay Panel จะได้ไม่ต้องออกไปเปลี่ยน Fuse A เพราะบางครั้ง Junction Box ของ PT บางรุ่น ไม่สะดวกกับการเปลี่ยน Fuse ในขณะที่ยังจ่ายไฟอยู่ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 Voltage ratio

อัตราส่วนของหม้อแปลงแรงดันสามารถพิจารณาได้จากพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิเทียบกับแรงดันทางด้านทุติยภูมิซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นค่ามาตรฐานคือ 100, 110 หรือ 120 V

2.5.5 Rated power ของหม้อแปลงแรงดัน

Rated power ของหม้อแปลงแรงดันคือ เบอเด้นของหม้อแปลงแรงดัน โดยทั่วไปขนาดเบอเด้นนี้จะมีค่าเป็น 10, 15, 25, 30, 50, 75, 100, 200 VA

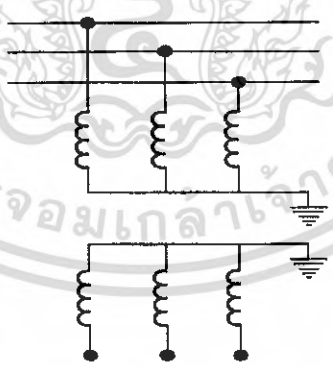
2.5.6 การต่อใช้งานหม้อแปลงแรงดัน

การต่อแบบวาย-วาย(wye-wye)ซึ่งแรงดันที่ได้จากหม้อแปลงแรงดันด้านทุติยภูมิที่ต่อแบบนี้จะเป็นแรงดันเป็นแรงดันเฟสดังรูปที่ 2.34

การต่อแบบ V connection ซึ่งแรงดันที่ได้จากหม้อแปลงแรงดันด้านทุติยภูมิจะเป็น residual voltage ดังรูปที่ 2.35

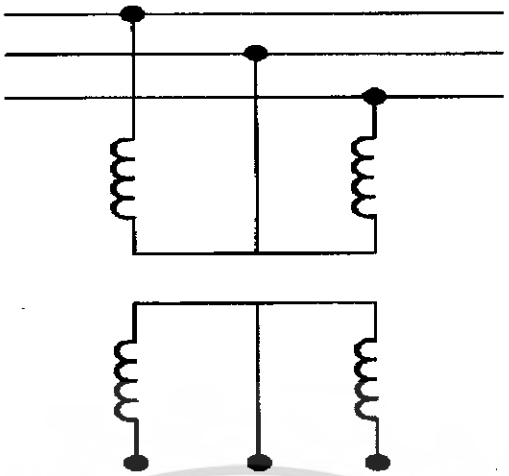
การต่อแบบ wye-open delta แสดงในรูปที่ 2.36 การต่อแบบนี้จะใช้ตรวจสอบความผิดพร่องลงดิน(ground fault)โดย

- ขณะทำงานปกติ (ไม่มี ground fault) แรงดันขาออกของแรงดันหม้อแปลงกระแส($3E_0$) = 0
- เมื่อเกิด ground fault แรงดันขาออกของหม้อแปลงกระแส = $3E_0$ ซึ่งเป็น voltage polarization สำหรับ directional ground relay(67N)

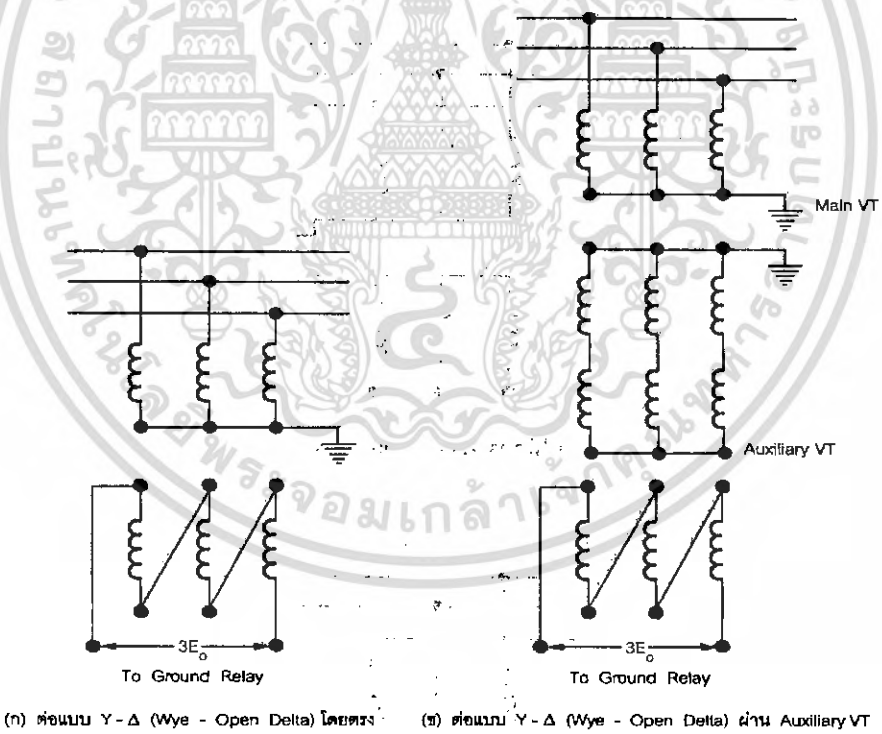


รูปที่ 2.34 การต่อหม้อแปลงแรงดันแบบวาย-วาย(wye-wye connection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 การต่อหม้อแปลงแรงดันแบบวี(V connection)



(ก) ต่อแบบ Y - Δ (Wye - Open Delta) โดยตรง (ข) ต่อแบบ Y - Δ (Wye - Open Delta) ผ่าน Auxiliary VT

รูปที่ 2.36 การต่อหม้อแปลงแรงดันแบบ wye-open delta

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เซอร์กิตเบรกเกอร์

เซอร์กิดเบรกเกอร์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้ตัดกระแสโหลด หรือกระแสที่มีค่าสูงที่เกิดจากการลัดวงจรได้ในเวลาที่เหมาะสมและทันเวลาก่อนที่จะเกิดผลเสียหายตามมาจนเป็นอันตรายกับคน หรือ อุปกรณ์อื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียง เซอร์กิดเบรกเกอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับดัดตอนเปิดวงจรออก หรือปิดวงจรเข้าไป เซอร์กิดเบรกเกอร์ที่ใช้ในพิกัดกำลังแรงดันไฟฟ้าสูงจะไม่สามารถทำงานเองโดยการดัดสินใจเองได้ แต่ต้องอาศัยสัญญาณจากรีเลย์เข้ามา อุปกรณ์นี้จึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในสถานีไฟฟ้า

2.6.1 หน้าที่และการใช้งาน

เซอร์กิดเบรกเกอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กลไกเคลื่อนที่ดัดต่อวงจรไฟฟ้า (mechanical switching device) สามารถต่อ (making) และให้กระแสไหลผ่าน (carrying) ในเวลาที่กำหนด และ ดัดกระแส (breaking) ในขณะที่เกิดสิ่งผิดปกติ เช่น เกิดลัดวงจร ฉะนั้นจึงกำหนดหน้าที่ของ circuit breaker ในสภาพที่กระแสที่ไหลผ่านทั้งในขณะที่ระบบมีสภาพปกติและเกิดผิดปกติ

การทำงานของเซอร์กิดเบรกเกอร์ในขณะระบบมีลัดวงจรเกิดขึ้น เป็นหน้าที่หลักแม้ว่าตลอดอายุการใช้งานจริงอาจจะทำหน้าที่หลักนี้น้อยครั้ง และกระแสลัดวงจรที่ดัดอาจจะไม่เท่ากับ rated breaking current แต่อย่างไรก็ตาม breaker ก็ต้องมีการทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถ

เซอร์กิดเบรกเกอร์รุ่นใหม่ๆ จะมีคุณภาพที่ดีขึ้น เมื่อทำงานจะไม่ก่อให้เกิดปัญหา หรือเกิดน้อยที่สุดกับระบบ หรือไม่ทำให้อุปกรณ์อื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียงเกิดความเสียหาย วงจรที่ใช้งานเป็นหลักในระบบต้องการ breaker ที่ทำงานเร็ว (high speed) ไม่ทำให้เกิด over voltage สูงเกินไป และสามารถทำงานได้หลายครั้งอย่างมั่นใจ

2.6.2 การเกิดอาร์ค (arcing)

อาร์ค (arc) เป็นคอนดัคเตอร์ชนิดหนึ่งซึ่งลำของอาร์คสร้างขึ้นด้วยก๊าซที่แตกตัว มีอุณหภูมิสูง (hot ionized gas) จึงมีสภาพเป็นตัวนำกระแสที่ไหลผ่าน arc มีความสัมพันธ์กับแรงดันระหว่างปลายทั้งสองของอาร์ค หน้าสัมผัสของเบรกเกอร์เป็นโลหะ และแช่อยู่ในฉนวน เช่น insulating oil , SF_6 gas, หรืออากาศ ฉนวน หรือ medium นี้จะไม่นำกระแสที่อุณหภูมิปกติ ฉะนั้นในสภาพ open จึงไม่มีกระแสไหลผ่าน ในขณะ breaker อยู่ในสภาพ close กระแสจะไหลผ่าน breaker ทางโลหะของ contact ที่ต่อกันอยู่

ถ้าพิจารณาขณะที่มีกระแสไหลผ่าน และหน้าสัมผัสเริ่มเคลื่อนที่จากกันเมื่อได้รับคำสั่งให้ เปิดออกจะมีค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น มีแรงดันตกคร่อมประมาณ 2-3 โวลต์ เมื่อเริ่มแยกออกจนมีระยะห่างเล็กน้อย (gap) แรงดันคร่อมแก็ปจะเพิ่มสูงขึ้นมาก เกิดสนามไฟฟ้า gradient ระหว่างแก็ปสูงจนอิเล็คตรอน สามารถหลุดออกจากหน้าคอนแทควิ่งผ่านแกปไปสู่อีกด้าน ช่วงนี้มีเวลาเป็นมิลลิวินาทีเป็นจุดเริ่มต้นของอาร์ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 การดับของ arc

การดับอาร์คได้ จำเป็นต้องทำลายก๊าซที่เป็นตัวนำโดยการทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างเร็ว จะทำให้กระบวนการสร้างไอออนและ conductivity ลดลงจนไอออน กระจายออก ไม่สามารถรวมกันได้ หรือถูกแทนที่ด้วยฉนวน medium ที่อยู่รอบนอกที่ไม่ร้อนมาก ในการ open เบรกเกอร์จะมีการเคลื่อนที่ของ contact แยกจากกันทำให้ arc ที่เกิดขึ้นนั้นยาวออก และจะรักษาอุณหภูมิไว้ พลังงานที่จุดนั้นจะสูงขึ้น การดับอาร์คจะใช้หลักการลดและดึงเอาพลังงานนั้นออกจากอาร์ค

กระแสประกอบขึ้นด้วยการเคลื่อนที่ของอิเล็คตรอนอิสระ จำนวนมากในตัวนำ จะพบว่าในอาร์คมีอิเล็กตรอนอิสระที่ถูกสร้างขึ้นด้วย ionization process และรักษาระดับอุณหภูมิโดยการปล่อยพลังงานออกมา ในระบบAC system กระแสจะเพิ่มและลดลงทุก 10 มิลลิวินาที และที่จังหวะเป็นศูนย์จะไม่มีอิเล็กตรอนอิสระไหล ทำให้มีพลังงานเกิดขึ้นน้อยมาก ที่ตำแหน่งกระแสมีค่าใกล้ก่อน และหลังศูนย์จึงสำคัญมาก ถ้าทำให้บริเวณนั้นเกิดการสูญเสียพลังงานมากอาร์คก็ดับได้ จึงออกแบบเบรกเกอร์ในขณะเปิดให้มีอาร์คเกิดขึ้น แล้วควบคุมอาร์คและดับอาร์ค ที่ตำแหน่งกระแสเป็นศูนย์เท่ากับกระแสหยุดไหล

วิธีการดับอาร์ค คือ ยืดอาร์คให้ยาวขึ้นอย่างรวดเร็ว ฉีดก๊าซที่นำความร้อนได้ดีและเย็นไปตามความยาวของอาร์ค เพื่อลดอุณหภูมิของอาร์คการทำให้ก๊าซที่อยู่ในห้องดับอาร์ค(arcing-chamber) มีความดันสูงจะไหลผ่านช่องแคบๆ บีบอาร์คให้แคบลง แกนของอาร์คมีอุณหภูมิสูงขึ้น temperature gradient จะเพิ่มตามแนวขวางของอาร์คสามารถระบายความร้อนออกจากอาร์ค ได้

ในปัจจุบันเบรกเกอร์ชนิดน้ำมันแบบบั้งค์ออย (bulk oil) และเบรกเกอร์ชนิดแอบลาสต์ (air blast) แทบจะไม่มีใช้งานอีกแล้วเบรกเกอร์ชนิดน้ำมันแบบ minimum oil ก็มีใช้น้อยลง breaker ชนิดก๊าซ SF_6 มีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้น

2.6.4 เบรกเกอร์ชนิดดับอาร์คด้วยน้ำมัน (Oil break circuit breaker)

เบรกเกอร์ชนิดดับอาร์คด้วยน้ำมัน ใช้น้ำมัน mineral oil เรียกว่า insulating oil เป็นฉนวน ผลิตจาก petroleum แบ่งเป็นสองแบบ คือแบบบั้งค์ออยใช้น้ำมันมากใส่ในห้องดับอาร์ค (arcing chamber) แช่ไว้ในถังเหล็กเรียกว่า dead tank type และแบบ minimum oil type ใช้น้ำมันน้อยใส่ใน arcing chamber แช่ไว้ใน porcelain ตั้งอยู่บน support insulator เรียกว่า live tank type ในปัจจุบันแทบไม่มีการผลิตเบรกเกอร์ชนิดดับอาร์คด้วยน้ำมันเพื่อใช้ในระดับแรงดันสูงกว่า 69 kV

อาร์คเกิดใน arcing chamber ที่เป็น insulated pressure chamber ในขณะที่หน้าคอนแทคเริ่มเคลื่อนที่จากกัน น้ำมันในห้องดับอาร์คยังมีอุณหภูมิและความดันปกติ เมื่อเริ่มมี gap จะเกิดอาร์ค และ ความร้อนที่ทำให้น้ำมันบริเวณนั้นแตกตัว (vaporize) เกิดความดันขึ้นในห้องดับอาร์ค เมื่อ contact ที่เคลื่อนที่จะเปิดช่องระบายด้านข้างในห้อง ช่องระบายจะวางเรียงตัวตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวที่ contact เคลื่อนที่ ช่องระบายจะทำหน้าที่ระบายความดัน ทำให้เกิด cross blast ของก๊าซและน้ำมัน มีผลคือ จะนำเอาพลังงานออกจากอาร์คและบังคับให้บางส่วนของอาร์คยาวยื่นเข้าไปในช่องระบายอาร์ค ก็จะยาวขึ้น ในกรณีที่ minimum oil breaker ดัดกระแสสูงที่แรงดันสูง จะมีการออกแบบให้มีลักษณะเป็น oil pump ในขณะที่ contact เคลื่อนที่จากกัน ฉีดน้ำมันเข้าไปใน chamber เพื่อเร่งระบายความร้อนออกจากอาร์ค

bulk oil breaker จะมีหน้าคอนแทคและ chamber หนึ่งหรือสองชุดต่อ phase และอาจจะอยู่ในถังเดียวกันโดยมี แผ่นกั้น (barrier) ระหว่าง phase หรือแยกถังออกเป็นแต่ละ phase ก็ได้

minimum oil breaker อาจใช้ interrupter unit มาต่ออนุกรมกันภายนอก เพื่อให้แต่ละ chamber แบ่งแรงดันเท่าๆ กัน

หน้าคอนแทคที่ใช้ต่อ หรือแยกวงจร จะมีส่วนที่อยู่กับที่เรียกว่า fixed หน้าคอนแทคและส่วนที่เคลื่อนที่ เรียกว่า moving contact ส่วนที่เป็น fixed หน้าคอนแทคจะมีส่วนปลายเป็นทองแดงที่เป็นชิ้นๆ ประกอบกันเป็นก้อนมีรูอยู่ที่ตรงกลางเพื่อให้ moving หน้าคอนแทคเสียบเข้าได้ และส่วนที่เป็นทองแดงชิ้นๆ นี้จะถูกรัดอยู่ที่ตรงส่วนปลายของ moving contact ปลายของชิ้นทองแดงบางชิ้นจะยาวกว่า และทำด้วย copper tungsten alloy ทำหน้าที่เป็น arcing contact เพื่อดัดอาร์ค (breaking) ตอนที่กระแสจะดับขณะ open และจะต่อกระแส (making) ก่อนชิ้นอื่นตอน close ส่วน moving contact จะมีปลายที่เป็น alloy เช่นเดียวกัน เพื่อให้สึกกร่อนจากอาร์คน้อย เวลาที่ใช้ในการดับกระแส (interrupting time) จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 30 ms opening time +25 ms arcing time = 55 ms ประมาณ 3 cycles

2.6.5 เบรกเกอร์ชนิดดับอาร์คด้วยแก๊ส (gas blast circuit breaker)

หลักการดับอาร์คของ gas blast breaker คือ การดึงเอาพลังงานออกจากอาร์ค ด้วยการใช้แก๊สไม่มีการทำให้อาร์คเปลี่ยนรูปร่าง หรือทำให้ยาวขึ้นเช่นเดียวกับ oil breaker

การ cooling จะใช้วิธีฉีดพ่นแก๊สไปตามแนวแกนของ arc ทำให้ล้อม arc ที่มีอุณหภูมิสูงไว้ด้วยแก๊สที่เย็นกว่า และวิ่งย่านผิวของอาร์ค ความเร็วของ ionized gas ที่ร้อนและประกอบเป็น arc จะเร็วกว่า cooling gas ที่ไหลผ่านผิว ทำให้ระบายความร้อนได้ดี ประกอบกับอาร์คเริ่มเกิดขึ้นในกระบอกที่ทำหน้าที่เหมือนหัวฉีดเรียกว่า nozzle ทำให้มีความเร็วของแก๊สพ่นออกไปตามลำของอาร์คส่วนที่สำคัญของ gas blast breaker คือ ฉนวนแก๊สหรือ media ที่เป็นตัวระบายความร้อนทั้งปริมาณและความดันของแก๊สที่ฉีดพ่นอาร์คและชนิดของ contact และ nozzle

gas blast แบ่งเป็นชนิด dead tank และ live tank เช่นเดียวกับ oil type และมีฉนวนที่ใช้สองชนิดคือ อากาศ (air) และ SF_6 (gas) และใช้ interrupter มาต่อกันเพื่อเพิ่ม breaking capacity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบัน air blast breaker ไม่มีการผลิตเพื่อใช้กับแรงดันสูงๆแล้ว การทำงานจะใช้อากาศเป็นฉนวนซึ่งหาได้ทั่วไป อัดให้มีความดันสูงอาจสูงถึงระดับ 30 kg/cm^2 ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนของ interrupting chamber, support column, tank ต้องออกแบบให้ทนความดันสูง หลักการทำงานคือ ระบายหรือปล่อยให้ฉนวนอากาศออกมาภายนอก ฉะนั้นระบบ valve จึงเป็นส่วนสำคัญต่อเวลาดัดกระแส มี interrupting time ต่ำกว่าหนึ่ง cycle (20 ms) และสามารถดัดกระแสสูงได้ เช่น air blast breaker สำหรับ 11-15 kV generator

SF_6 breaker เป็น breaker ที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ใช้ SF_6 แก๊สที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่ดีกว่าอากาศ สารที่เกิดขึ้นหลังการดัด/ดับอาร์ค คือ ผงของ metallic fluoride มีความเป็นฉนวนและไม่เป็นอันตรายในขณะที่แห้ง แต่เมื่อได้รับความชื้นจะสามารถกัดกร่อน metal part ได้

SF_6 แก๊สไม่มีตามธรรมชาติ เป็นก๊าซที่ต้องสังเคราะห์ขึ้น มีราคาแพง เนื่องจากมีผลต่อบรรยากาศ จึงไม่ควรปล่อยออกสู่ภายนอก การออกแบบจึงเป็นแบบปิดไม่เหมือน air breaker

SF_6 แก๊สหนักกว่าอากาศเป็นก๊าซที่สามารถ de-ionize และกลับสภาพเดิมได้เร็ว และส่วนที่เกิดขึ้น คือ ผงของ metallic fluoride ก็ไม่ฟุ้งกระจาย ไม่ทำให้ความเป็นฉนวนของก๊าซลดลง

การออกแบบโดยใช้ 'puffer' มีลักษณะเป็นกระบอก cylinder หุ้ม moving contact บางส่วนขณะที่อยู่ในตำแหน่ง close ฉะนั้นขณะที่ moving contact เคลื่อนที่ ก๊าซจะถูกอัด และจะปล่อยก๊าซที่มีความดันสูงออกไปรอบ arc ขณะที่ contact หลุดออกจาก puffer ด้วยวิธีนี้การเคลื่อนที่ของ contact จะสร้างความดันสูงขึ้นเองโดยไม่ต้องอาศัยกลไกอื่น

พัฟเฟอร์ (puffer) ทำด้วยเทฟลอน (Teflon) ที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนทนทานต่อความร้อน ทำให้สามารถออกแบบให้รูมีเส้นผ่าศูนย์กลางได้เล็กพอขนาดให้ moving contact วิ่งเข้าออก ทำให้ปิดช่องไม่ให้ก๊าซออกไปก่อนที่ moving contact จะหลุดออกจาก puffer เรียกว่า clogging effect ของ nozzle

ก๊าซที่มีความดันสูงที่เกิดขึ้นในกระบอก (cylinder) จะขับออกภายนอกได้เพราะขณะที่ arc ยืดยาวออกไปตามการเคลื่อนที่ของ contact นั้น เส้นผ่าศูนย์กลางของอาร์คจะเล็กลงจนถึงเวลาใน sine wave ที่กระแสเป็นศูนย์ ทำให้หน่วงเวลาการปล่อยก๊าซออกไปภายนอก cylinder และถูกจังหวะ ช่วงเวลาที่ถูกหน่วงไว้นี้ขึ้นกับปริมาณกระแสของอาร์ค เช่น ดอนกระแสต่ำ จะเกิดกระบวนการที่ไม่รุนแรง จะไม่เกิด current chopping

SF_6 gas breaker มี interrupting time ประมาณ 2-3 cycles

air blast breaker มี interrupting time ประมาณ 1-2 cycles

2.6.6 เบรกเกอร์แบบสุญญากาศ (vacuum breaker)

เบรกเกอร์แบบสุญญากาศ (vacuum breaker) มี insulating media ที่มี strength ที่สูงมากจนอาจพูดได้ว่ามีค่าเท่ากับ infinity arc ที่เกิดขึ้นจะแตกต่างจากเบรกเกอร์อื่นๆ ส่วนที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าสัมผัสประกอบด้วย contact สองชิ้นบรรจุอยู่ภายในส่วนที่ห่อหุ้มที่ปิดไม่ให้อากาศเข้าภายในได้ ภายใน chamber จะมีสภาพเป็นสูญญากาศ (vacuum) ขณะที่ open จะมี arc เกิดขึ้น และ arc จะรักษาสภาพอยู่ได้ด้วยไอของโลหะ (metallic vapor) ที่เกิดจากด้านที่เป็นแคโทดไอของโลหะจะกระจายใน vacuum และ condense ที่ shield ที่อยู่รอบข้าง ขณะที่กระแสเป็นศูนย์ไอโลหะจะ condense ได้มากทำให้มีสภาพกลับมาเป็น vacuum

ในช่วงแรกอาร์ค จะกระจายกันเป็นหลายจุดบน cathode คือมีอาร์ค เกิดขึ้นหลายอาร์คที่ขนานกัน จุดอาร์ค บน cathode (cathode spot) หรือจุดที่เกิด emission จะผลักกันแต่ arc column จะเข้าหากันเนื่องจาก magnetic field เมื่อกระแสเพิ่มขึ้น จะมีอาร์คเกิดขึ้นหลายอาร์ค เกิด magnetic field สูงขึ้น มีผลทำให้อาร์ค path เสียไป และเกิดการประทะกัน หรือ ชนกันของ particle อย่างรุนแรง เกิด high voltage gradient ที่หน้า anode จนเกิด ionization ของ anode และเกิด metal vapor กระแสจะหนาแน่นในบริเวณที่มีไอน้ำหนาแน่น ตรงจุดที่แอโนดเกิด vaporize นี้จะมีความร้อนสูงมาก เป็นจุดเล็กๆ ทำให้เกิดการ emission อย่างมากมาย และเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องไม่หยุดอาร์คจะพยายามเคลื่อนมารวมกันไม่เหมือนกับช่วงเริ่มแรก

อาร์คจะดับขณะที่กระแสผ่านศูนย์ ถ้าเกิด arc เล็กๆ หลาย column จะดีกว่า เกิดอาร์คใหญ่ column เดียวเพราะอาร์คใหญ่ column เดียว จะเกิดจุดที่ร้อนมากเกินไปตรงอาร์ค spot ที่บริเวณผิวหน้า หน้าสัมผัสจนเกิด emission ขึ้นสูงมากอย่างต่อเนื่อง มีผลทำให้เกิด restrike หรือ หลังจากอาร์คดับไปแล้วจะเกิดอาร์คขึ้นอีกไม่สามารถดับได้

การออกแบบให้ จุดอาร์คเคลื่อนที่บนหน้าสัมผัสโดยใช้ magnetic field เป็นการป้องกันไม่ให้อาร์คที่เกิดขึ้นหลายๆอาร์คมารวมตัวกัน หรือสามารถทำให้จุดอาร์คที่รวมตัวกันแล้วสามารถเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วบนหน้าคอนแทค ก็จะทำให้ไม่เกิดความร้อนสูงมากที่จุดเดียวและทำให้สามารถดับอาร์คได้

การออกแบบผิวหน้าของหน้าสัมผัส ให้เป็นสลอตสามารถสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้เกิดขึ้นที่ผิวหน้าของ หน้าสัมผัสได้

ปัญหาหนึ่งของ เบรกเกอร์แบบสุญญากาศคือหน้าสัมผัส ทั้งสองละลายติดกัน หรือเรียกว่า contact welding วิธีแก้ไขคือเลือกโลหะที่ใช้ทำหน้าสัมผัสให้เป็นชนิดที่มี high conductivity แต่มีความสามารถที่จะ weld ติดกันยาก เช่น copper bismuth , chromium เป็นต้น

อีกปัญหาหนึ่งคือ โลหะที่ใช้ทำหน้าสัมผัสอาจมีก๊าซผสมอยู่ด้วย จึงเกิดก๊าซขึ้นขณะโลหะละลายเนื่องจากอาร์ควิธีแก้ไข คือ ใช้ gas-free copper

หลักการออกแบบ vacuum interrupter ไม่ซับซ้อน ส่วนของ contact จะมีส่วนปลายที่ทำจากโลหะ และมีรูปร่างดังกล่าว ในตำแหน่ง close จะเคลื่อนที่มาชนอัดกันที่หน้าสัมผัส ส่วนปลายที่สัมผัสมีลักษณะใหญ่กว่าแกน (butt contact) บรรจุอยู่ใน vacuum chamber สามารถนำ interrupter มาต่ออนุกรมกันเพื่อให้เหมาะสมกับแรงดัน มี interrupting time ต่ำกว่า 15 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.7 องค์ประกอบในการเลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์

- แรงดันไฟฟ้าในการใช้งานสูงสุด (maximum operating voltage)
- ความถี่ที่กำหนด (rate frequency)
- พิกัดกระแสต่อเนื่อง (continous current rating)
- พิกัดกระแสโมเมนทารี (momentary current rating)
- พิกัดกระแสช่วงเวลาระยะสั้น (short circuit current rating)
- พิกัดกระแสอินเทอร์รัพต์ (interrupting current rating)
- พิกัดเวลา (time rating)
- รอบการทำงาน (duty cycle)

2.6.8 การเลือก interrupting capacity rating ของ circuit breaker

ผู้ออกแบบจะออกแบบระบบให้มี reliability และ safety ซึ่งต้องมี criteria การออกแบบ และรวมถึงการเลือก rated ของอุปกรณ์ และอุปกรณ์ป้องกันที่เหมาะสม สิ่งสำคัญที่เกี่ยวข้องคือ การคำนวณ AC system short circuit current เพื่อใช้เลือกพิกัดของอุปกรณ์ต่างๆ

เมื่อมีการขยายระบบ generation และ transmission จะพบว่า fault level มีค่าเพิ่มสูงขึ้น การพิจารณาว่า equipment rating เก่าที่ใช้งานอยู่ หรือการเลือก equipment ใหม่เพื่อติดตั้งเพิ่มเข้าในระบบ เริ่มประสบปัญหามากขึ้น เช่น การเลือก circuit breaker rating ที่เหมาะสม

2.6.9 รูปแบบของการลัดวงจร (system short circuit current)

2.6.9.1 แหล่งจ่ายกระแสลัดวงจร(source of short circuit current) สิ่งสำคัญในการคำนวณหากระแสลัดวงจร คือ ลักษณะแหล่งจ่ายกระแสลัดวงจร (short circuit current source) และ impedance characteristic ของอุปกรณ์แต่ละชนิดที่เกี่ยวข้อง จะเห็นว่าในระบบจะมีอุปกรณ์ที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสลัดวงจรได้ คือ generator, synchronous motor, และ induction motor แหล่งจ่ายกระแสเหล่านี้จะผลิตกระแสลัดวงจรไหลสู่จุดที่เกิดลัดวงจร (fault)

1. เจนเนเรเตอร์ ในขณะที่เริ่มเกิดลัดวงจร generator จะยังคงรักษาสภาพแรงดันที่สร้างขึ้นเนื่องจากมี field excitation และ prime mover ยังคงขับตัวให้ generator หมุนด้วยรอบเท่าเดิม จากแรงดันนี้จะสร้างกระแสลัดวงจรที่มีขนาดสูง โดยมี impedance ของ generator และของวงจรที่ต่อเชื่อมระหว่าง generator ไปยังจุดที่เกิดลัดวงจร เป็น parameter ในวงจร

2. ซิงโครนัสมอเตอร์ (synchronous motor) โครงสร้างเหมือนกับ generator คือมี field ที่เกิดจาก DC current และ stator winding ที่มี AC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

current ไหล เมื่อ stator winding รับกระแสจาก AC line ที่ต่อเข้า และเปลี่ยน electrical energy เป็น mechanical energy

ในขณะที่เกิด short circuit แรงดันของ AC line ลดลง motor จะหยุดจ่าย mechanical energy ไปที่ load และรอบหมุนจะลดลง ในช่วงนี้ inertia ของ load และ rotor ของ motor จะยังคงหมุน motor ต่อไป ทำให้มีสภาพเหมือน generator และจ่ายกระแสไปที่จุด fault กระแสจะไหลอยู่หลาย cycle โดยมีปริมาณที่ขึ้นอยู่กับ impedance ของ motor และของ line ที่ต่อเชื่อมไปยังจุด fault

3. มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำ (induction motor) เนื่องจากมี inertia ของโหลดและ rotor ของ มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำเช่นเดียวกับ ซิงโครนัสมอเตอร์แต่ต่างกันที่ มอเตอร์ชนิดเหนี่ยวนำไม่มี DC field winding แต่มีสนามแม่เหล็กที่สร้างขึ้นที่ stator จากแหล่งจ่ายที่ต่อเข้าที่ motor และมี rotor flux ในขณะใช้งานปกติ เมื่อแรงดันลดลงเนื่องจาก short circuit อย่างรวดเร็ว แต่ flux ใน rotor จะลดลงอย่างรวดเร็วไม่ได้ และด้วย inertia จากการที่ rotor ยังหมุนอยู่ ทำให้เกิดแรงดันขึ้นที่ขดลวดของ stator และสร้างกระแสไหลไปยังจุด fault จนกว่า flux ใน rotor จะลดลงจนเป็นศูนย์ โดยทั่วไป induction motor จะสร้างกระแสลัดวงจรได้ประมาณ 4-5 cycle กระแสส่วนนี้จะมีผลกับ momentary current ของ circuit breaker

2.6.10 การคำนวณกระแสลัดวงจร(short circuit currents)

การคำนวณ asymmetrical current อย่างละเอียด และถูกต้องเป็นวิธีที่ยุ่งยาก จึงมักจะคำนวณอย่างง่ายเพื่อจะได้ใช้เป็นข้อมูลในการเลือก equipment rating และ protective device

2.6.11 เบสิกการคำนวณค่า symmetrical short circuit current(I)

I = E/Z

E คือ system driving point voltage

Z คือ system impedance ในวงจร short circuit

การคำนวณจะให้ generator ทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบต่อเข้าใช้งาน และกำหนดค่า generator impedance ที่เป็นส่วนหนึ่งของ system impedance ในสูตร basic equation มีค่าเท่ากับ impedance ในช่วง subtransient ค่าที่คำนวณได้กำหนดให้เป็นค่า symmetrical short circuit current ไว้เทียบกับ interrupting rating ของ breaker

2.6.12 พิกัดเซอร์กิตเบรกเกอร์ (circuit breaker rating)

ทั่วไป circuit breaker ต้องสามารถตัดกระแสลัดวงจรสูงสุดที่มีโอกาสไหลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

high voltage breaker จะมี rated interrupting time ประมาณ 3-5 cycle มี current rating กำหนดไว้ 2 ชนิดคือ

- momentary current rating
- interrupting current rating (หรือ breaking current rating)

เบรกเกอร์ต้องสามารถทน mechanical stress ที่เกิดขึ้นขณะเกิดกระแสลัดวงจรและสามารถดัดกระแสลัดวงจรที่มีขนาดค่อยๆ ต่ำลง หรือเรียกว่า decay ลงขณะดัด (interrupt)

1. โมเมนทารี่พีคเคอร์เร้นเรทติ้ง (momentary peak current rating) (closing and latching current rating หรือ short circuit making current rating) จะพิจารณาคลื่นลูกแรกของกระแส short circuit ที่เป็นค่า asymmetrical peak สูงสุดของ peak แรก ที่ breaker ต้องทน mechanical stress ที่จะเกิดขึ้นได้ขณะ close on fault ค่าทั่วไปตาม IEC std. จะใช้ factor เท่ากับ 2.5 คูณ AC component เหตุผลที่ใช้ 2.5 เพราะ peak making current มีค่าเท่ากับ initial symmetrical rms current $\times 2 \times \sqrt{2} \times 0.9$; (0.9 คือ factor ที่เกิดขึ้นเพราะ peak แรกเกิดขึ้นขณะที่มี DC component ลดลงแล้ว)

initial symmetrical rms current $\times$ 2.55 IEC จึงกำหนดให้ใช้ตัวเลข 2.5

2. อินเทอร์รัพปิ้งเคอร์เร้นเรทติ้ง (interrupting current rating)เป็นค่า symmetrical short circuit current วัดขณะที่ arcing contact แยกจากกัน(contact parting time)

3. อซิมมิตริคอลอินเทอร์รัพปิ้งเคอร์เร้นเรทติ้ง (asymmetrical interrupting current rating) เป็นค่า asymmetrical short circuit current (symmetrical + dc component) วัดขณะที่ arcing contact แยกจากกัน

ตาม IEC std. จะกำหนดค่า rms value ของค่า AC component I_{ac} คือ symmetrical interrupting rating และ percentage DC component $(I_{dc} \times 100) / I_{ac}$

ตาม ANSI std. จะกำหนดค่า rms value และ curve เพื่อหาค่า factor ไปใช้คำนวณหาค่า asymmetrical

breaker จะสามารถดัดกระแสลัดวงจรได้เท่ากับ rated short circuit interrupting / breaking current ซึ่งประกอบด้วย AC component และ percentage DC component เท่าที่กำหนดไว้

interrupting rating ทั่วไปสามารถเลือกค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ระบุเป็น AC component ใช้งาน เช่น 20, 25, 31.5, 40, 50, 63 kA ตามตารางที่ 2.9

short time current rating จะบอกเป็นค่า symmetrical ampere ที่ breaker สามารถทนความร้อนที่เกิดขึ้นในเวลาสั้นๆ ได้ในหนึ่งหรือสามวินาที จะเป็นค่าเดียวกับ interrupting current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage Rating			
Normal / Maximum	kV	22 / 25.8	33 / 38
Rate Voltage Range Factor K		1	1
Insulation Level			
Low Frequency Withstand(Dry),rms	kV	60	80
Impulse Withstand(BIL),Crest	kV	150	200
Current Ratings			
Rated Continuous	A	1600	1600
Rated Short Circuit Current at Max. kV	kA	25	25
Closing and Latching Capability,Creast	kA	68	68
Rated Interrupting Time	cycle	5	5
Rated Duty Cycle		CO + 15s + CO	
Type of Tripping		Three pole	
Creepage Distance	mm/kv	>= 15 or 25	
Surge Absorber Capacitor		PEA Line	

ตารางที่ 2.8 short time current rating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage Rating							
Normal / Maximum	kV	69/72.5	115/121		230/242		525/550
Rate Voltage Range Factor K		1	1		1		1
Insulation Level							
Low Frequency Withstand(Dry),rms	kV	160	260		425		860
Impulse Withstand(BIL),Crest	kV	350	550		900		1550
Current Ratings							
Rated Continuous	A	3000/4000	1200/2000	2000	2000	2000/3000/4000	4000
Rated Short Circuit Current at Max. kV	kA	40	31.5	40	40	50	50
Closing and Latching Capability,Creast	kA	108	85	108	108	135	135
Rated Interrupting Time	cycle	5	3	3	3	3	2
Rated Duty Cycle		O+0s+CO+15s+CO					
Type of Tripping		Single Pole and/or Three pole					
Creepage Distance	mm/kv	>=15 or 25					
Surge Absorber Capacitor		no					

ตารางที่ 2.9 Standard rating short circuit current ที่ EGAT เลือกใช้

2.6.13 หลักการเลือก circuit breaker rating

การออกแบบต้องคำนึงถึง safety ของคนที่ทำงานในสถานีหรือผู้ที่อาศัยอยู่รอบๆ สถานี และ ต้องไม่ทำให้อุปกรณ์เกิดเสียหาย จึงกำหนดให้ค่าพิกัดอุปกรณ์ป้องกัน equipment short circuit rating หรือinterrupting rating ให้มีค่าเท่ากับหรือสูงกว่า maximum short circuit current ที่ไหลผ่าน ซึ่งจะเรียกว่า ' available short circuit current ' โดยใช้ค่ากระแสของ symmetrical short circuit current ที่คำนวณจาก basic equation มาเป็นตัวกำหนดการเลือก rating การคำนวณจะใช้ subtransient reactance X'' ของ synchronous generator และ transient reactance X' ของ synchronous motor โดยไม่ต้องคำนึงถึงผลจาก induction motor

การใช้ค่า symmetrical short circuit current ที่คำนวณได้เป็นตัวกำหนดการเลือก rating ของ breaker จะให้ margin อยู่แล้ว เพราะใช้ค่าของ peak แรกที่เป็น rms มาเป็น interrupting current ซึ่งจะเกิดขึ้นห่างออกไป 1-2 cycle ในขณะที่ contact เริ่มแยกจากกัน

ส่วนค่า DC component จะมีรวมอยู่ด้วยในขณะ breaker เริ่มดัน interruption ความสามารถของ breaker ซึ่งในแต่ละมาตรฐาน จะมีการ verify ในการทดสอบ breaker แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

type test อยู่แล้ว และแต่ละมาตรฐานจะคำนึงถึง ขนาดและ ความเหมาะสมของ parameter ของระบบ ในทางปฏิบัติจะมีบางอย่างที่มีผลกับกระแสลัดวงจร

- ขณะใช้งานจริงอาจไม่ได้เดินเครื่องทุกโรง แต่จะไม่ทำให้สถานีที่มี fault level สูงจากการคำนวณตามสูตร มีค่า fault level ที่เกิดขึ้นจริงลดต่ำลงไปมาก (จะใกล้เคียงกับค่าที่เดินทุกโรง)

- breaker ที่อยู่ใกล้ power plant จะมี margin น้อยกว่า breaker ที่อยู่ไกลออกไป

- ในการคำนวณ symmetrical short circuit current ในแต่ละแห่งจะเป็นค่าของ bus fault

- breaker ของ line ที่ feed fault current น้อยที่สุดกรณีเกิด fault ในสถานี จะมีโอกาส interrupt กระแสมากที่สุดเมื่อเกิด fault ใกล้ๆ สถานีใน line นั้น กระแสที่ผ่าน line breaker ตัวนั้นจะเท่ากับ bus fault current ลบด้วยกระแสที่ไหลมาจากสถานีที่อยู่อีกด้าน

parallel clearing ของ gas circuit breaker ชนิด puffer type ต้องคำนึงถึงกระแสที่แต่ละตัว interrupt ต้องไม่ต่างกันมาก หากต่างกันมาก เช่น 10% และ 90% จำเป็นต้อง de-rating ลงและกำหนดให้ใช้เพียง 80% ของ rated interrupting current

2.6.13.1 การพิจารณากรณี short circuit current ที่คำนวณได้มีค่าเท่าหรือเกิน breaker rating

ขณะใช้งานบางสถานีอาจมี fault level สูงเกินกว่า breaker rating จำเป็นต้องพิจารณาเปลี่ยน rating ให้เหมาะสม การพิจารณาเปลี่ยนควรเลือกเฉพาะ breaker ที่ต้องตัดกระแสสูงเกิน rating ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนทุกตัว หรือพิจารณาใส่ series reactor เพื่อ limit กระแส

ข้อแนะนำเพื่อการพิจารณา

- bay ที่ไม่ได้ feed fault (ขณะเกิด bus fault) กรณีเกิด fault ใกล้ๆ สถานีใน circuit ที่ต่อออกจาก bay นี้ จะมี short circuit current ใกล้เคียงกับ bus fault current เช่น bay ของ capacitor bank , transformer ที่จ่าย load ให้ กฟน. และ กฟภ. ถ้า bus arrangement เป็น breaker and a half scheme อาจ open breaker ตัวกลางไว้และเมื่อเกิด fault ให้ trip signal สั่ง bus differential ทำงานเพื่อช่วยลด หรือ ตัดกระแสขณะ interruption ได้ หรือป้องกัน interruption failure

- bay ที่ feed fault น้อยที่สุด (ขณะเกิด bus fault) ให้สำรวจกระแสแต่ละ line (circuit) ขณะเกิด fault ใน line นั้นตำแหน่งใกล้สถานี จะพบว่า bay ที่ feed bus fault current ต่ำ จะมีกระแสผ่านสูงให้พิจารณาเฉพาะที่ใกล้ หรือเกิน 90 % breaker rating หรือพิจารณาใส่ series rector เฉพาะใน line นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
โครงสร้างและหลักการทำงานของรีเลย์

3.1 ชนิดของรีเลย์แบ่งตามลักษณะของคอยล์หรือแบ่งตามลักษณะการใช้งาน
ได้แก่รีเลย์ดังต่อไปนี้

1. รีเลย์กระแส (Current relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานโดยใช้กระแสเกิน (Over current)
2. รีเลย์แรงดัน (Voltage relay) คือ รีเลย์ ที่ทำงานโดยใช้แรงดันมีทั้งชนิดแรงดันขา (Undervoltage) และ แรงดันเกิน (Over voltage)
3. รีเลย์ช่วย (Auxiliary relay) คือ รีเลย์ที่เวลาใช้งานจะต้องประกอบเข้ากับรีเลย์ชนิดอื่น จึงจะทำงานได้
4. รีเลย์กำลัง (Power relay) คือ รีเลย์ที่รวมเอาคุณสมบัติของรีเลย์กระแส และรีเลย์แรงดันเข้าด้วยกัน
5. รีเลย์เวลา (Time relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานโดยมีเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 4 แบบ คือ
   - รีเลย์กระแสเกินชนิดเวลาผกผันกับกระแส (Inverse time over current relay) คือ รีเลย์ ที่มีเวลาทำงานเป็นส่วนกลับกับกระแส
   - รีเลย์กระแสเกินชนิดทำงานทันที (Instantaneous over current relay) คือ รีเลย์ททำงานทันทีทันใดเมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินกว่าที่กำหนดที่ตั้งไว้
   - รีเลย์แบบดิฟฟินิดไทม์เล็ก (Definite time lag relay) คือ รีเลย์ ที่มีเวลาการทำงานไม่ขึ้นอยู่กับความมากน้อยของกระแสหรือค่าไฟฟ้าอื่นๆ ที่ทำให้เกิดงานขึ้น
   - รีเลย์แบบอินเวอสดิฟฟินิดมินิมั่มไทม์เล็ก (Inverse definite time lag relay) คือ รีเลย์ ที่ทำงานโดยรวมเอาคุณสมบัติของเวลาผกผันกับกระแส (Inverse time) และ แบบดิฟฟินิดไทม์แล็ก (Definite time lag relay) เข้าด้วยกัน
6. รีเลย์กระแสต่าง (Differential relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานโดยอาศัยผลต่างของกระแส
7. รีเลย์มีทิศ (Directional relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานเมื่อมีกระแสไหลผิดทิศทาง มีแบบรีเลย์กำลังมีทิศ (Directional power relay) และรีเลย์กระแสมีทิศ (Directional current relay)
8. รีเลย์ระยะทาง (Distance relay) คือ รีเลย์ระยะทางมีแบบต่างๆ ดังนี้
   - รีแอกแดนซ์รีเลย์ (Reactance relay)
   - อิมพีแดนซ์รีเลย์ (Impedance relay)
   - โมห์รีเลย์ (Mho relay)
   - โอห์มรีเลย์ (Ohm relay)
   - โพลาไรซ์โมห์รีเลย์ (Polaized mho relay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ออฟเซทโมห์รีเลย์ (Off set mho relay)

9. รีเลย์อุณหภูมิ (Temperature relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้
10. รีเลย์ความถี่ (Frequency relay) คือ รีเลย์ที่ทำงานเมื่อความถี่ของระบบต่ำกว่าหรือมากกว่าที่ตั้งไว้
11. บูคโฮลซ์รีเลย์ (Buchholz 's relay) คือรีเลย์ที่ทำงานด้วยก๊าซ ใช้กับหม้อแปลงที่แช่อยู่ในน้ำมันเมื่อเกิด ฟอลต์ ขึ้นภายในหม้อแปลง จะทำให้น้ำมันแตกตัวและเกิดก๊าซขึ้นภายในไปดันหน้าสัมผัส ให้รีเลย์ทำงาน

3.2 รีเลย์กระแสเกิน (Over Current relay)

รีเลย์ชนิดนี้จะทำงานเมื่อมีกระแสไหลเกินพิกัด ในระบบที่ต้องการป้องกัน รีเลย์ชนิดนี้นิยมใช้กันมากในการป้องกัน เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง สายส่ง บัสบาร์ ทั้งในระบบสายส่งและระบบจำหน่าย ตลอดจนใช้ป้องกัน กระแสไหลเกินกับมอเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วๆไป รีเลย์กระแสเกินนี้ถ้าแบ่งตามลักษณะช่วงเวลาการทำงานก็จะแบ่งได้ดังนี้ คือ

ก) รีเลย์กระแสเกินชนิดทำงานทันทีทันใด (Instantaneous over current relay) เป็นรีเลย์ที่ทำงานทันทีทันใดเมื่อมีกระแสไหลเกินค่าพิกอัพ (Pick up) ของรีเลย์ โครงสร้างที่ใช้จะเป็นแบบดึงดูดอาร์เมเจอร์ (Attractive) หรือแบบโรเดอร์หมุนหรือแบบสเตติกก็ได้ โดยปกติรีเลย์ชนิดนี้มักใช้งานร่วมกับรีเลย์กระแสเกินชนิดอื่นๆ เช่นการทำงานร่วมกับรีเลย์แบบดิฟฟินิดไทม์ (Difinite time) การตั้งค่ากระแสพิกอัพสามารถทำได้โดยการปรับช่องว่างระหว่างแกนเหล็กกับอาร์เมเจอร์

ข) รีเลย์กระแสเกินแบบดิฟฟินิดไทม์ (Definite time over current relay) รีเลย์กระแสเกินแบบนี้จะมีช่วงเวลาทำงานคงที่ไม่ว่ากระแสจะไกลเกินค่าที่ตั้งไว้มากหรือน้อยเพียงใดก็ตาม ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับเวลาอาจแทนด้วยสมการ $I^0 t = k$

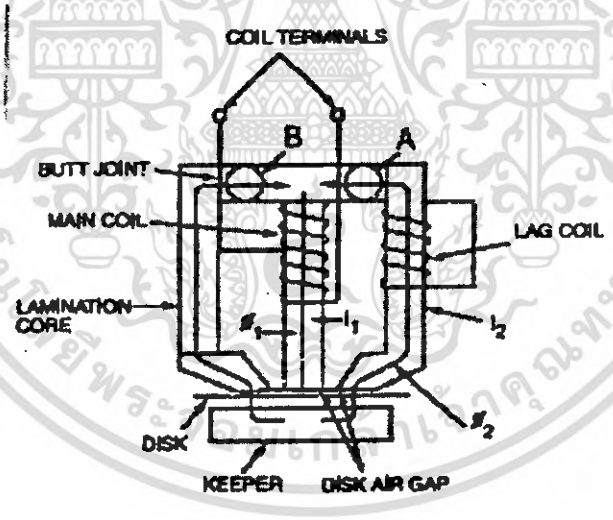
รีเลย์แบบดิฟฟินิดไทม์ (Difinite time) นี้ ส่วนใหญ่จะใช้ทำงานร่วมกับหน่วยเวลา (Timer unit) โดยใช้หน้าสัมผัสของรีเลย์ไปต่อเวลาให้วงจรหน่วงเวลา (Timer unit) ทำงาน

ค) รีเลย์กระแสเกินชนิดเวลาผกผันกับกระแส (Inverse time over current relay) รีเลย์แบบนี้ช่วงเวลาการทำงานของรีเลย์จะเป็นสัดส่วนกลับกับค่ากระแส ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับกระแสอาจแทนได้ด้วยสมการ $I^0 t = k$ รีเลย์ที่ใช้นี้อาจจะเป็นชนิดเหนี่ยวนำหรือคอลย์หมุนหรือสเตติกก็ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ รีเลย์ชนิดเหนี่ยวนำ ปัจจุบันได้มีการออกแบบรีเลย์กระแสเกินชนิดเวลาผกผันกับกระแสอย่างมาก (Very inverse time over current relay) โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับกระแสที่แทนได้ด้วยสมการ $I^2 t = k$ เพื่อให้รีเลย์ทำงานได้เร็วขึ้นและมีแบบสเตติกรีเลย์ที่มีการออกแบบให้มีลักษณะเวลากับกระแสเป็นแบบผกผันกับกระแสเป็นพิเศษ (Extremely inverse) ซึ่งแทนได้ด้วยสมการ $I^n t$ โดยที่ $n > 2$ แบบนี้เหมาะกับการใช้งานสัมพันธ์กับฟิวส์แรงสูงได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

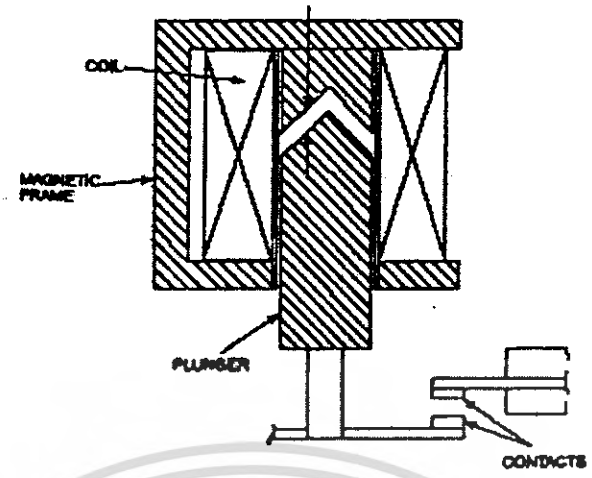
ง) รีเลย์แบบเวลาผกผันชนิดดิฟฟินิตมินิมัมไทม์ (Inverse Definite Minimum Time) รีเลย์ชนิดนี้มีชื่อย่อเป็น IDMT รีเลย์แบบนี้มีลักษณะการทำงานของเวลากับกระแสเป็นแบบผสมระหว่างรีเลย์ชนิดผกผันกับกระแส (Inverse time) กับรีเลย์ชนิดดิฟฟินิตไทม์ (Definite time) ปัจจุบันมีรีเลย์กระแสเกินอยู่ด้วยกัน 3 ชนิดคือ

1. รีเลย์กระแสเกินชนิดกลไฟฟ้า (Electromechanical Overcurrent Relay) รีเลย์ชนิดนี้จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นสนามแม่เหล็กทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัส ซึ่งมีทั้งแบบการเหนี่ยวนำและแบบแรงดึงดูด โดยปกติแล้วรีเลย์แบบหน่วงเวลาจะมีลักษณะการทำงานแบบจานเหนี่ยวนำดังรูปที่ 3.1 และรีเลย์แบบทำงานฉับพลัน จะเป็นแบบแรงดึงดูดดังรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3
2. รีเลย์ชนิดสถิด (Static Overcurrent Relay) เป็นรีเลย์ที่ใช้อุปกรณ์ประเภทโซลิดสเตด (Solid State) ออกแบบให้มีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับรีเลย์กระแสเกินชนิดกลไฟฟ้า
3. รีเลย์แบบดิจิตอล เป็นการพัฒนาไมโครโปรเซสเซอร์ให้มีลักษณะการทำงานเป็นรีเลย์ป้องกัน ซึ่งเพิ่มความสามารถทางด้านการป้องกันมากขึ้นอาทิเช่น เพิ่มส่วนแสดงผลออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ทำให้ง่ายต่อการปรับตั้งค่า และที่สำคัญสามารถรวมหลายๆ ฟังก์ชันของการป้องกันไว้ในเครื่องเดียว

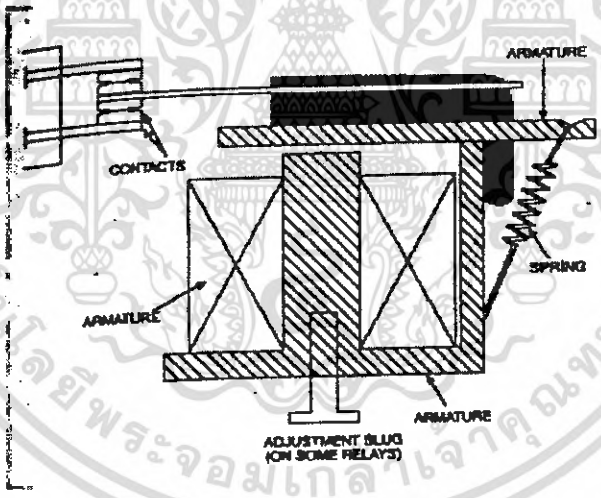


รูปที่ 3.1 รีเลย์กระแสเกินแบบกลไฟฟ้าอาศัยการทำงานของจานเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 รีเลย์กระแสเกินแบบกลไฟฟ้าอาศัยการทำงานของแม่เหล็กดึงดูดชนิด plunger

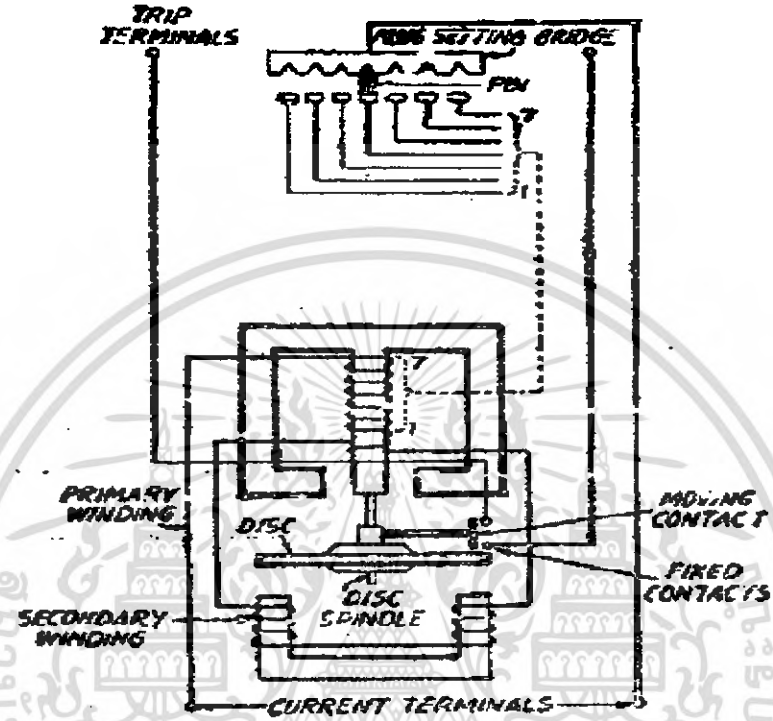


รูปที่ 3.3 รีเลย์กระแสเกินแบบกลไฟฟ้าอาศัยการทำงานของแม่เหล็กดึงดูดชนิด Clapper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การปรับตั้งเวลาและกระแสของรีเลย์กระแสเกินชนิดเวลาผกผันกับกระแส (Inverse time over cuurent relay) แบบไม่มีทิศ (Non-directional)

ซึ่งบางครั้งอาจเรียกว่าเป็นรีเลย์แบบไม่รู้ทิศทางหรือแบบไม่มีทิศ



รูปที่ 3.4 ลักษณะแท็ป (Tap) ของรีเลย์ที่ใช้ในการตั้งปรับค่าปลั๊กเซทติ้ง (Plugsetting) กับไทม์เซทติ้ง (Time setting)

ในการปรับให้รีเลย์ทำงานนั้นสามารถปรับได้ทั้งกระแสและเวลาโดยควรจะรู้คำจำกัดความต่อไปนี้ คือ

ก) การปรับกระแส นั้นเราสามารถทำได้โดยการเลือกแท็ปต่างๆ การเปลี่ยนแท็ป นี้เราจะปรับที่ตัวคูณปลั๊กเซทติ้ง (Plug Setting) ซึ่งมีแท็ป อยู่ทั้งหมด 7 แท็ป ด้วยกันสำหรับรีเลย์กระแสเกินแท็ปแต่ละชั้นจะต่างกัน 25% โดยเริ่มต้นจาก 50-200% คือ 50%, 75%, 100%, 125%, 150%, 175%, 200%

ข) ปลั๊กเซทติ้ง (Plug setting) มีค่าเป็นร้อยละของค่ากระแสเกินที่กำหนด ซึ่งจะเป็นค่าของกระแสที่ไหลในรีเลย์ที่ทำให้รีเลย์เริ่มทำงาน รีเลย์กระแสเกินที่ใช้โดยทั่วไปมีค่าพิกัดของกระแสเป็น 1 A และ 5 A ตัวอย่างสำหรับรีเลย์ที่มีพิกัดของกระแสเท่ากับ 5A มีตัวคูณปลั๊กเซทติ้ง 150% หมายความว่าเคอเร้นเซทติ้ง หรือ กระแสที่ทำให้รีเลย์เริ่มทำงานมีค่าเป็น 1.5 x 5 = 7.5A เพราะฉะนั้นรีเลย์ที่มีค่าพิกัดของกระแส 1A และ 5A จะมีแท็ปต่างๆ ดังนี้คือ 0.5A, 0.75A, 1.0A, 1.25A, 1.75A, 2.00A และ 2.5A, 3.75A, 5.0A, 6.25A, 7.5A, 8.75A, 10A ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) ตัวคูณปลั๊กเซทติ้ง(Plug Setting multiplier) ใช้ตัวย่อเป็น PSM ซึ่งหมายถึงตัวคูณของเคอรเร้นเซทติ้ง (Current setting) เช่น กำหนดว่าเคอเร้นเซทติ้งเป็น 7.5A ถ้าค่า PSM มีค่าเท่ากับ4 หมายความว่ากระแสที่ไหลผ่านรีเลย์ จะมีค่าเป็น 4 x 7.5=30A

ง) ตัวคูณไทม์เซทติ้ง (Time setting multipier) ใช้ตัวย่อเป็น TSM จากรูปที่ 3.5 การปรับตั้งเวลาสามารถปรับได้โดยปรับที่จานหมุน โดยจานหมุนจะพาหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ไปตัวหน้าสัมผัสนี้อาจจะหมุนไปสัมผัสกับหน้าสัมผัสที่อยู่กับที่ จานหมุนนี้จะหมุนไปเป็นมุมเท่ากับค่าที่ตั้งไว้ ค่ามุมนี้อาจตั้งให้มีค่าตั้งแต่ 0-360 องศา การหมุนนี้เท่ากับเป็นการตั้งระยะที่หน้าสัมผัสจะต้องเคลื่อนที่ไปพบหน้าสัมผัสที่อยู่กับที่ ดังนั้นเราจึงสามารถตั้งค่าตัวคูณไทม์เซทติ้ง (TSM) ได้ตามที่ต้องการ ค่า TSM นี้ของรีเลย์ทั่วๆไปนั้น สามารถตั้งไว้ที่ค่าระหว่าง 0 ถึง 1 (สำหรับรีเลย์ของ GEC) และตั้งค่าได้ระหว่าง 0 ถึง 10 หรือ 0-100% (สำหรับรีเลย์ของ BBC)

จากกราฟใช้สำหรับหาว่าที่กระแสมากเป็น n เท่าของค่าที่ตั้งไว้รีเลย์จะใช้เวลานานเท่าไร จึงจะต่อหน้าสัมผัสเช่นเราตั้งไทม์เซทติ้งไว้ที่ 0.4 และกระแสมากเป็น 3 เท่าของค่าปลั๊กเซทติ้ง โดยตั้งปลั๊กเซทติ้งไว้ที่ 3 รีเลย์จะใช้เวลาเพียง 2.5 วินาทีเท่านั้น

3.2.2 การจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน

การจัดเวลาทำงานของระบบป้องกันสายส่งไฟฟ้ากำลังที่ใช้รีเลย์กระแสเกินนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระบบป้องกันที่ใช้รีเลย์กระแสเกินหลายๆตัว มีความสามารถแยกแยะได้ถูกต้องว่าฟอลต์อยู่ในเขตป้องกันใด และรีเลย์ใดควรทำงานก่อนหลัง เพื่อให้ระบบไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์ถูกแยกออกจากระบบน้อยที่สุด การจัดลำดับเวลาการทำงานแบ่งได้เป็น 3 วิธีคือ วิธีแรกการจัดลำดับเวลา (Time Grading) วิธีนี้รีเลย์แต่ละชุดจัดให้มีช่วงเวลาการทำงานแตกต่างกัน เพื่อให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวที่อยู่ใกล้จุดเกิดฟอลต์ที่สุดเปิดวงจรก่อน ข้อเสียของวิธีนี้คือรีเลย์ที่อยู่ใกล้แหล่งจ่ายไฟมากที่สุด มีช่วงเวลาการตัดตอนยาวนาน วิธีที่ 2 การจัดลำดับขนาดของกระแส (Current Grading) วิธีนี้คือตั้งค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์แต่ละตัวทำงานที่ค่ากระแสต่างกันตามค่ากระแสฟอลต์ที่ลดหลั่นกันไป ข้อเสียของวิธีนี้คือไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างฟอลต์ที่เกิดปลายสายในช่วงแรก และฟอลต์ที่เกิดต้นสายช่วงถัดไปได้อย่างชัดเจนซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดในการตัดตอนแยกส่วนระบบไฟฟ้าที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ วิธีสุดท้ายการจัดลำดับเวลากับกระแส (Time and current Grading) เป็นการแก้ไขข้อเสียของสองวิธีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น วิธีนี้ใช้รีเลย์กระแสแบบอินเวอส์ไทม์ ซึ่งการเลือกค่าเซตติ้งต้องทำการเลือกเซตติ้งกระแสที่เรียกว่า Plug Setting กับเซตติ้งที่เรียกว่าตัวคูณเวลา (Time Multiplier Setting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.1 ช่วงเวลาการจัดลำดับเวลาการทำงาน (Coordination Time Interval หรือเรียกว่า CTI)

ช่วงเวลาการจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน คือ ช่วงคั่นเวลาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน จำนวน 2 ตัวที่อยู่ต้นทางกับปลายทาง ตามทิศทางการไหลของกระแสฟอลต์ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

1. ช่วงเวลาการดัดดอนของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker Operating Time)
2. ช่วงเวลาโอเวอร์ชูท (Overshoot)
3. ความคลาดเคลื่อน (Error)
4. ช่วงเวลาเผื่อ (Safety Margin)

ค่าช่วงเวลาการจัดลำดับเวลาการทำงาน (Δt) ต่ำสุดที่เหมาะสมสำหรับการจัดลำดับเวลาการทำงานระหว่างรีเลย์ สามารถคำนวนได้จากสมการ

$$\Delta t = [2E_R + E_{CT}] \times t + t_{CB} + t_0 + t_S \qquad (3.1)$$

โดยที่ E_R คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของช่วงเวลาทำงานของรีเลย์

E_{CT} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของช่วงเวลาทำงานของรีเลย์ที่เป็นผลมาจากพฤติกรรมของหม้อแปลงกระแส

t คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของช่วงเวลาทำงานของรีเลย์ตัวที่อยู่ใกล้จุดเกิดฟอลต์

t_{CB} คือ ค่าช่วงเวลาการดัดดอนวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์

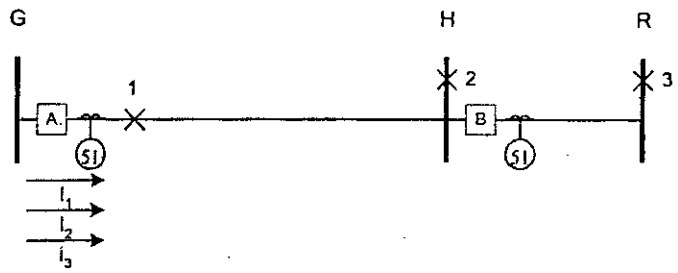
t_0 คือ ค่าช่วงโอเวอร์ชูทของรีเลย์ตัวที่อยู่ใกล้จุดเกิดฟอลต์

t_S คือ ค่าช่วงห่างความปลอดภัย

3.2.2.2 การเลือกค่ากระแสการทำงานของรีเลย์กระแสเกิน

ค่ากระแสทำงานของรีเลย์กระแสเกินควรมีค่าสูงกว่ากระแสไหลสูงสุดมาพอสมควรเพื่อเป็นการเผื่อสำหรับกระแสสูงสุดในภาวะผิดปกติชั่วครู่ เช่น กระแสในการสตาร์ทมอเตอร์กระแสในช่วงสับสวิตซ์จ่ายไฟ ให้หม้อแปลงที่เรียกว่ากระแสหล่อเลี้ยงสนามแม่เหล็กพุ่งเข้า (Magnetizing Inrush Current) และกระแสรูปคลื่นแบบ D.C. offset ขณะที่เป็นช่วงของการเปลี่ยนแปลงชั่วครู่ (Transient) เพื่อให้รีเลย์มีความสามารถในการแยกแยะได้ถูกต้อง ค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์กระแสเกินควรมีค่ามากกว่ากระแสสูงสุด คูณกับแฟกเตอร์ความมั่นคง (Security Factor) โดยค่าแฟกเตอร์ความมั่นคงนี้มีค่าอยู่ประมาณ 1.5 ถึง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แผนภาพระบบไฟฟ้าแบบเรเดียลป้องกันด้วยรีเลย์กระแสเกิน

นอกจากนั้นการเซตค่าการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินต้องมีการพิจารณา ความวางใจได้ (Dependability) ในการป้องกันด้วย ค่ากระแสฟอลต์ I_2 ต่ำสุดที่ไหลผ่านรีเลย์ A เมื่อเกิดฟอลต์ที่บัส H หารด้วย 2 (Dependability Factor) ควรมากกว่าค่าของกระแสทำงานของรีเลย์ที่ถูกเลือกไว้ ถ้าระบบป้องกันถูกเซตให้ป้องกันเฉพาะสายส่งช่วง GH เท่านั้นแต่ถ้าระบบป้องกันกำหนดให้เป็นระบบป้องกันสำรองของสายส่ง HR ด้วยนั้น ค่ากระแสฟอลต์ I_2ต่ำสุดหารด้วย 2 ต้องมากกว่าค่าของกระแสทำงานของรีเลย์ ดังนั้นเพื่อให้แน่ใจในความมั่นคง และความวางใจได้ของระบบป้องกันการเลือกค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน

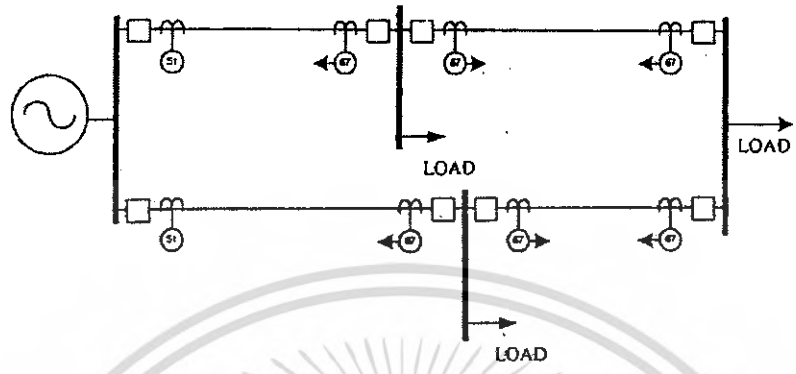
3.3 รีเลย์กระแสเกินแบบรู้ทิศทาง (Directional Overcurrent Relay)

เมื่อใดก็ตามที่รีเลย์กระแสเกินติดตั้งในตำแหน่งซึ่งกระแสฟอลต์สามารถไหลผ่านรีเลย์ได้ในสองทิศทางเช่น วงจรแบบสายป้อนแบบขนาน (Parallel Feeder) หรือวงจรแบบวงรอบ (Ring main Circuit) ในกรณีเช่นนี้จำเป็นต้องใช้รีเลย์กระแสเกินชนิดที่ตอบสนองต่อค่ากระแสฟอลต์เฉพาะในทิศทางที่เหมาะสมเท่านั้น

รีเลย์กระแสเกินแบบรู้ทิศทางประกอบด้วยตัววัด 2 หน่วย คือหน่วยรู้ทิศทาง (Directional Unit) และหน่วยกระแสเกิน (Overcurrent Unit) ทำงานต่อเมื่อทิศทางการไหลของกระแสหรือทิศทางของปริมาณกำลังไฟฟ้าตรงตามทิศทางที่กำหนดไว้ รีเลย์สั่งทริปเมื่อหน่วยรู้ทิศทางกับหน่วยกระแสทำงานทั้งคู่ ซึ่งลักษณะเวลากับกระแสเหมือนกับรีเลย์กระแสเกินแบบธรรมดา

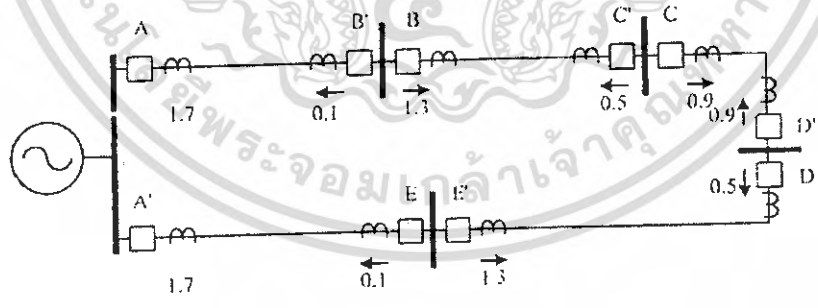
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์กระแสเกินแบบรู้ทิศทางในการป้องกันสายส่งวงรอบปิด



รูปที่ 3.6 แผนภาพระบบไฟฟ้าวงรอบปิดแหล่งจ่ายเดียว

จากรูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างของวงจรไฟฟ้าวงรอบปิดแหล่งจ่ายเดียว เพื่อให้การทำงานของระบบป้องกันเป็นไปโดยมีความสามารถแยกแยะได้ถูกต้องเมื่อเกิดฟอลต์ในช่วงตอนใด ให้รีเลย์เฉพาะในช่วงตอนนั้นของระบบวงแหวนทำงานเท่านั้น รีเลย์ที่ใช้ต้องเป็นแบบรู้ทิศทางโดยมีลูกศรกำกับชี้ทิศทางหันออกจากตัวบัส รีเลย์ตัวที่อยู่ใกล้กับบัสของแหล่งจ่ายเท่านั้นที่ไม่ต้องเป็นรีเลย์แบบรู้ทิศทาง



รูปที่ 3.7 แผนภาพการประยุกต์ใช้รีเลย์แบบรู้ทิศทางป้องกันระบบวงรอบปิดแหล่งจ่ายเดียว

การคำนวณเลือกค่าเซตติ้งกระทำโดยการจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ในทิศทางใดทิศทางหนึ่งก่อนเช่น ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา โดยเริ่มจากการเลือกค่าเซตติ้งให้กับรีเลย์ที่อยู่ไกลจากแหล่งจ่ายมากที่สุดก่อนแล้วค่อยไล่ค่าเซตติ้งของรีเลย์ตัวถัด ๆ ตามลำดับจนถึงตัวสุดท้ายที่อยู่ใกล้แหล่งจ่ายมากที่สุด ตัวอย่างเช่นระบบวงรอบปิดในรูปที่ 3.8 จะทำการเลือกค่าเซตติ้งให้กับรีเลย์ที่มองไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา โดยเริ่มจากเซตติ้งของรีเลย์ B' ก่อนเป็นตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

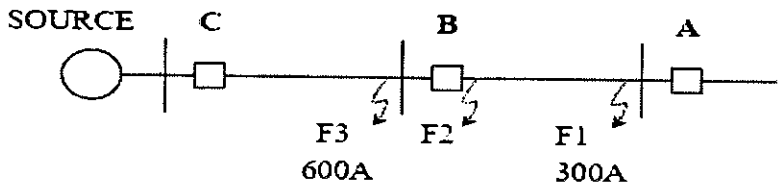
แรก รีเลย์ B'ต้องมีค่าเซตติ้งมากพอ และขนาดกระแสฟอลต์ต่ำสุด ในเขตที่รีเลย์ B' ทำการป้องกันนั้นต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่าของค่าเซตติ้งของรีเลย์ กระแสฟอลต์ต่ำสุดในเขตที่รีเลย์ B' เกิดขึ้นเมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ A' เปิดวงจร กระแสฟอลต์มาจากแหล่งจ่ายด้าน A' ภายใต้ภาวะการจ่ายกระเสต่ำสุดและฟอลต์เกิดที่จุดปลายสายของเขตของรีเลย์ B'สำหรับเซตติ้งค่าตัวคูณเวลา (TMS) ของรีเลย์ B' ตั้งค่าที่ต่ำสุดเช่น 0.1

เซตติ้งของรีเลย์ C' กระทำโดยการคำนวนหาขนาดกระแสฟอลต์ขณะที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ A' เปิดวงจร แหล่งจ่ายอยู่ในภาวะจ่ายโหลดสูงสุดและฟอลต์คิดที่จุด B' รีเลย์ C'ต้องลำดับเวลาให้ทางนหลังรีเลย์ B' เป็นเวลาเท่ากับช่วงเวลาที่กำหนดให้ ในทำนองเดียวกันสามารถคำนวนหาค่าเซตติ้งให้กับรีเลย์ D' E' และ A' ได้ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ตัวอย่าง การทำงานของรีเลย์กระแสเกินแบบต่าง ๆ

3.4.1 การแยกแยะโดยใช้กระแส



Relay B operate เมื่อ I > 300A

Relay C operate เมื่อ I > 600A

รูปที่ 3.8 การแยกแยะโดยใช้กระแส

• ใช้หลักการที่ว่าขนาดของกระแส fault จะแปรผกผันตามตำแหน่งที่เกิด fault
ตัวอย่าง กระแส fault ที่ A น้อยกว่าที่ B และ C สูงสุด

• ข้อเสีย : รีเลย์ที่ C ไม่สามารถแยกแยะ F2 และ F3 ได้ (เนื่องจากกระแส fault มีขนาดเท่ากัน)
ถ้าเกิดที่ F2 แล้วรีเลย์ C ทำงานด้วยจะเกิดไฟดับเป็นบริเวณกว้าง

3.4.2 การแยกแยะโดยใช้เวลา

เช่น เมื่อเกิด fault ที่ F1

Relay A ใช้เวลาทำงาน 0.5 s

Relay B ใช้เวลาทำงาน 1.0 s

Relay C ใช้เวลาทำงาน 1.5 s

รูปที่ 3.9 การแยกแยะโดยใช้เวลา

-ให้รีเลย์ตัวที่ไกลสุด (ปลาย radial) ทำงานก่อน ส่วนตัวถัดมาให้บวกเวลาเข้าไป

-ข้อเสีย : เมื่อเกิด fault ที่สายส่งต้นทางที่มีกระแส fault สูงกว่าที่อื่นๆรีเลย์ต้นทางจะใช้เวลานานในการ clear fault ทำให้เกิดความเสียหายได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การแยกแยะโดยใช้กระแสและเวลา

• เปลี่ยนให้รีเลย์ทำงานในลักษณะที่เวลาการทำงานของรีเลย์แปรผกผันกับกระแส โดย "กระแสยิ่งสูงเท่าใดรีเลย์ยิ่งทำงานเร็วเท่านั้น" เรียกว่าคุณลักษณะการทำงานคุณลักษณะเฉพาะ (characteristic) แบบ อินเวิร์สเดฟินิทไทม์(Inverse Definite Minimum Time (IDMT))

• ต้องกำหนดเวลาทำงานให้รีเลย์ที่fault สูงสุดที่ตำแหน่งรีเลย์อยู่

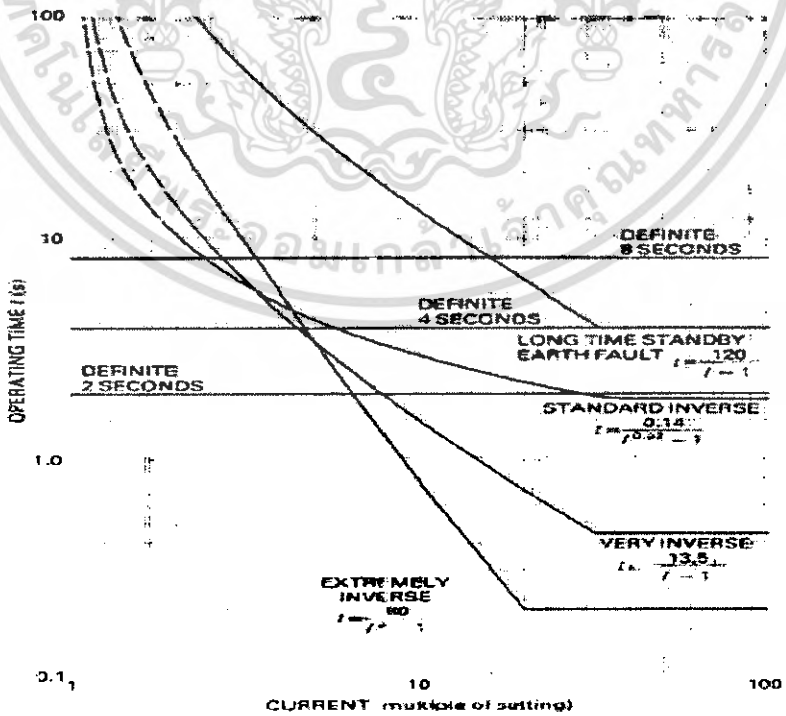
• เลือก characteristic และต้อง setting อีก 2 ค่า คือ กระแส และไทม์มัลติเพิลเซ็ทติ้ง(time multiplier setting (TMS))

• ไทม์มัลติเพิลเซ็ทติ้ง(TMS) = เวลาที่ทำงานจริง/ เวลาตามสมการคุณลักษณะเฉพาะ (characteristic)

3.5 หลักการทำงานร่วมกันของรีเลย์ (Relay Coordination)

- คือการใช้งานร่วมกันของโอเวอร์เคอร์เร้น ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป หรือใช้ร่วมกับฟิวส์ เพื่อให้มีการทำงานตามลำดับก่อนหลัง
- ต้องปรับตั้งกระแส และเวลาให้เหมาะสม
- ข้อดีของการทำงานร่วมกันคือไม่ทำให้ไฟดับเกินความจำเป็นและรีเลย์เป็นแบคอัพให้กันได้ โดยตัวที่ใกล้แหล่งจ่าย กว่าจะเป็น แบคอัพให้ตัวอยู่ไกลกว่า
- เวลาที่เผื่อเอาไว้เพื่อให้รีเลย์ทำงานตามลำดับก่อนหลังที่จุดฟอลต์แต่ละจุดเรียกว่าไทม์มาจิน(time margin) กำหนดตามความเหมาะสม (0.5 s)

อินเวอร์สไทม์ชาแรคเทอร์ริสติก (Inverse Time Characteristics)



รูปที่ 3.10 อินเวอร์สไทม์ชาแรคเทอร์ริสติก (Inverse Time Characteristics)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IEC Curves

$$T = M \times \left[\frac{K}{\left(\frac{I}{I_{pu}} \right)^{E} - 1} \right]$$

Where T = Trip Time (sec)

M = Multiple Setpoint

I = Input Current

I_{pu} = Pickup Current Setpoint

K, E = Constants

IEC CURVE CONSTANT	K
IEC CURVE A	
IEC CURVE B	
IEC CURVE C	
IEC INVERSE	

รูปที่ 3.11 IEC Curve

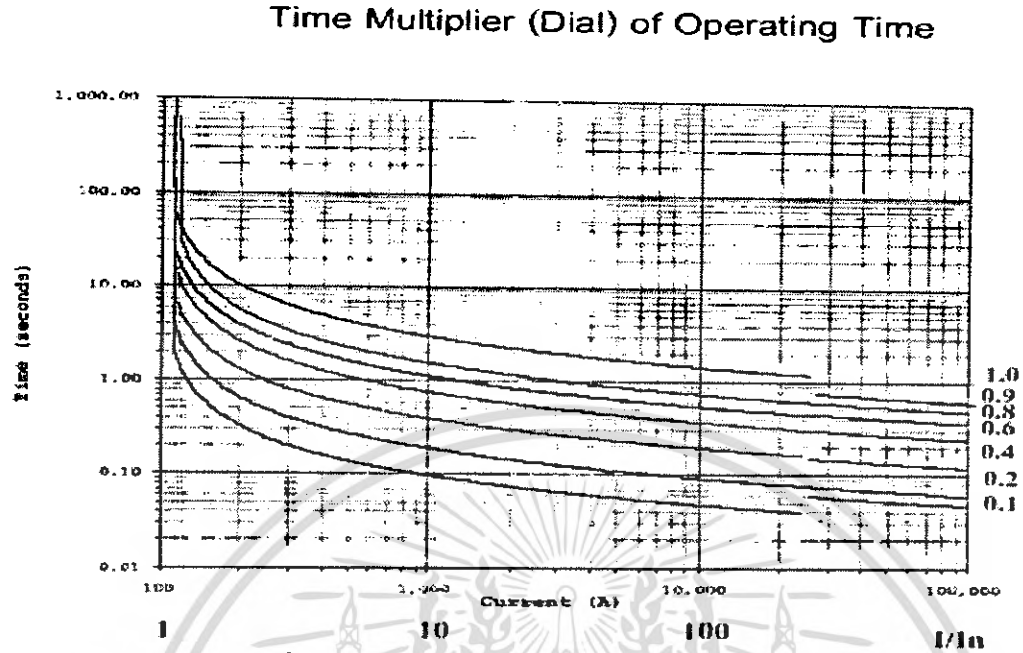
Accuracy of Characteristic curve

- Long time	= 5%	(120) / (I/Ip) - 1
- Standard (Normal) Inverse (SI.NI)	= 5%	(0.14) / (I/Ip)^0.02 - 1
- Very Inverse (VI)	= 5%	(13.5) / (I/Ip) - 1
- Extremely Inverse (EI)	= 7%	(80) / (I/Ip)^2 - 1
- Difinite time	= 1 - 3 %	
- Instantaneous	= 0.5 - 1 %	

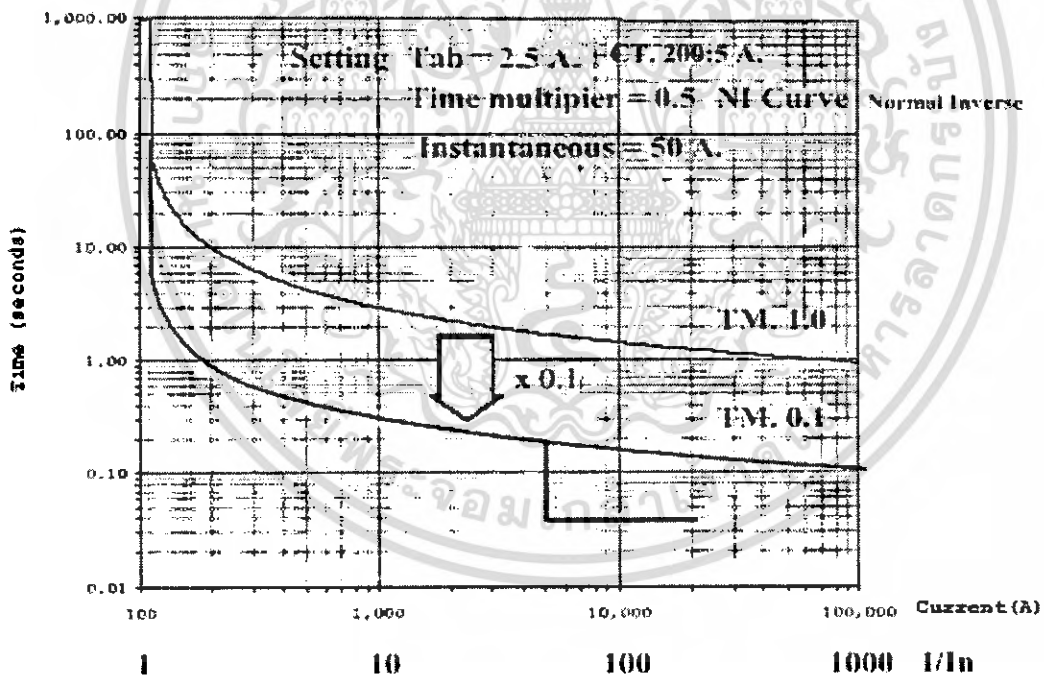
Time accuracy = 2% or 0.03 sec.

รูปที่ 3.12 Accuracy of Characteristic curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

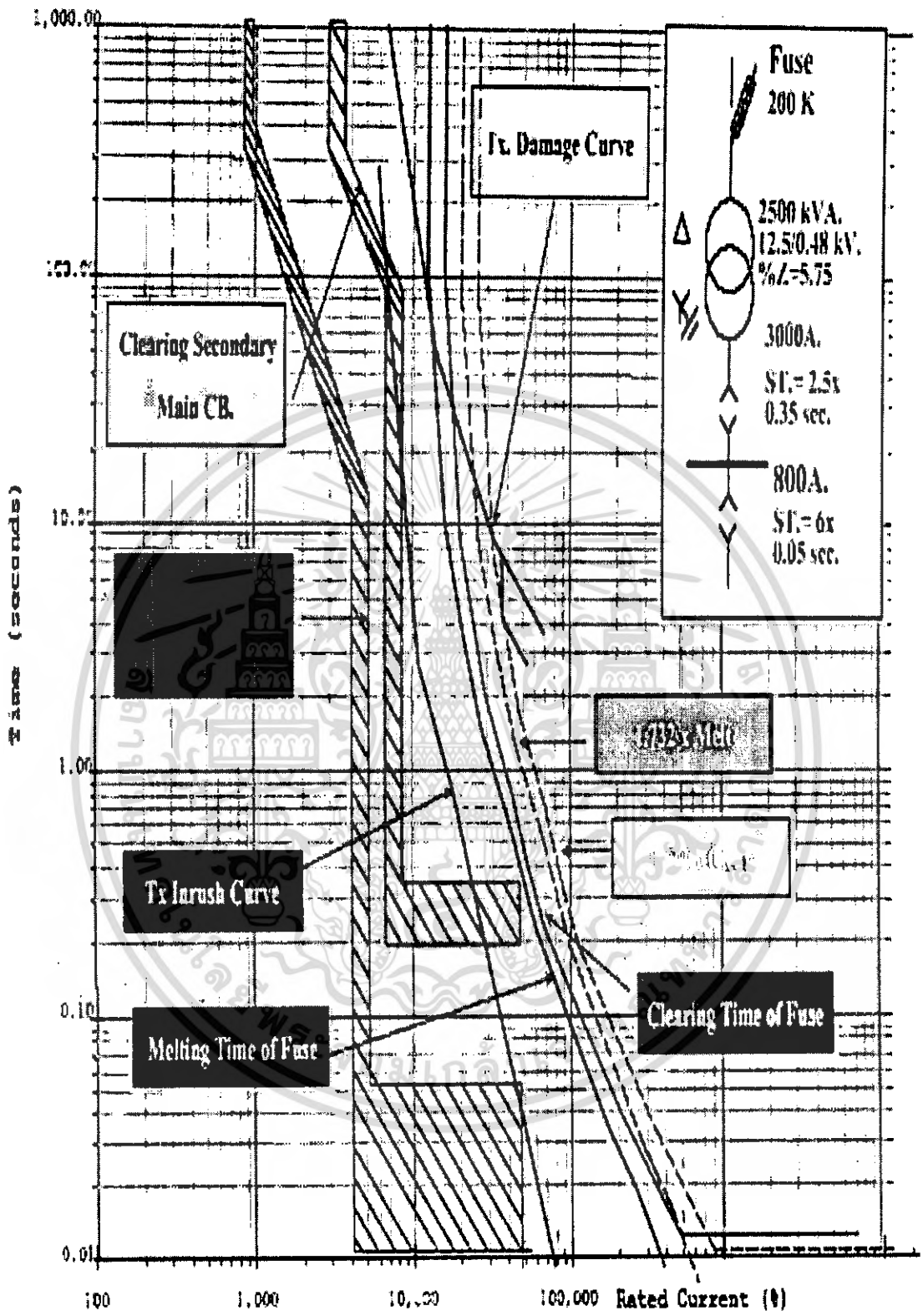


รูปที่ 3.13 Time Multiple (Dial) of Operating TIME



รูปที่ 3.14 การ Plot normal Inverse Curve

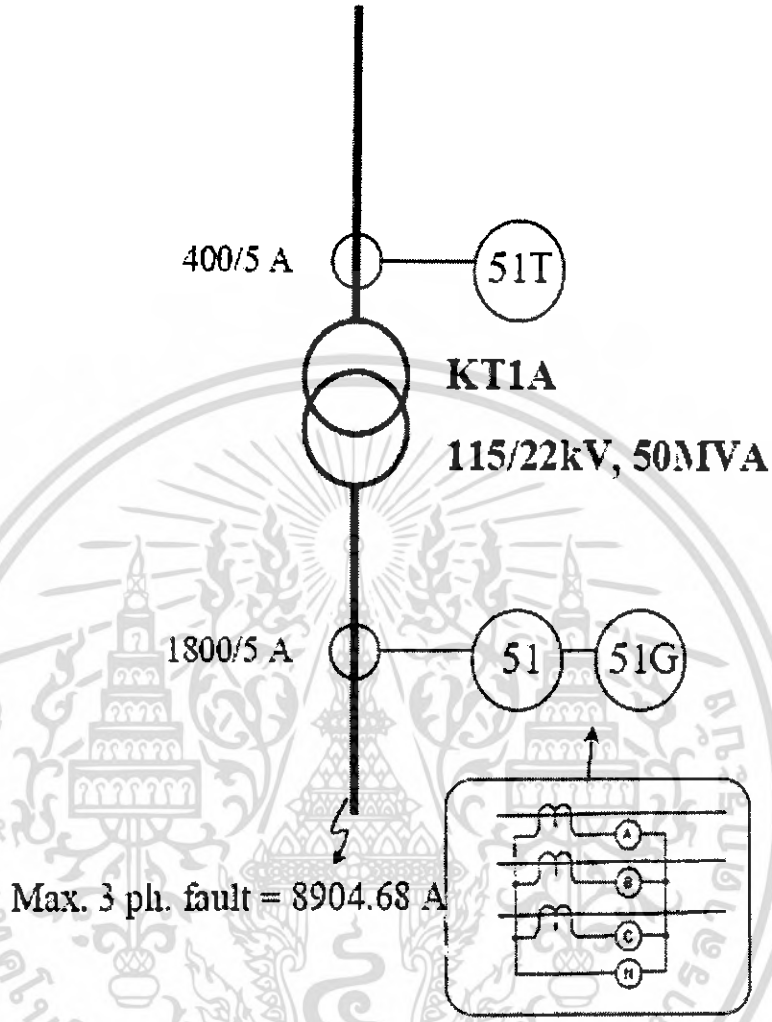
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การ Plot Damage Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 การกำหนดเวลาทำงานให้รีเลย์

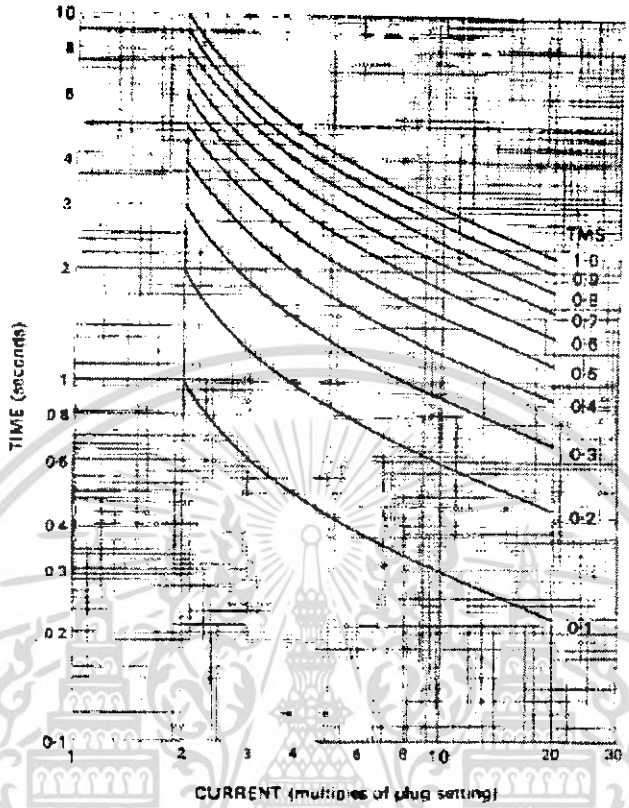


รูปที่ 3.16 การเกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์

- 51 มีกระแสปิกอัพ 1980A
- เกิดฟอลต์ที่ฟีดเดอร์ กระแสฟอลต์เป็น 8904.6/1980 = 4.497 เท่า
- ถ้าใช้ IDMT. แบบแสตนดาร์ดอินเวอร์ส (Standard Inverse)ได้t = 0.14/(4.4970.02-1) = 4.586s
- เวลาการทำงานมากเกินไป
- ถ้าต้องการให้เวลาน้อยลงต้องเพิ่ม setting อีก 1 ตัวคือไทม์มัลติเพิลเซ็ทติ้ง(Time Multiplier Setting (TMS))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การหาไทม์มัลติเพิลเซ็ทติ้ง (Time Multiplier Setting (TMS))

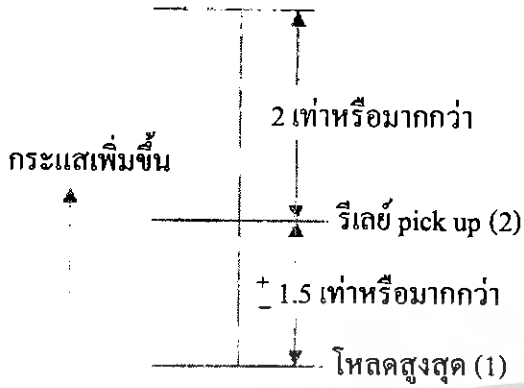


รูปที่ 3.17 การหาไทม์มัลติเพิลเซ็ทติ้ง

- IDMT แต่ละแบบมี TMS curve ต่างกัน สำหรับ SI ดูจากรูป
- เช่น ถ้าต้องการให้เวลาทำงาน 1.5s ที่กระแส 4.497 เท่าจะได้ TMS ประมาณ 0.33
- หรือใช้สูตรไทม์มัลติเพิลเซ็ทติ้ง (TMS) = เวลาที่ต้องการ/เวลาตามสมการ characteristic
- จะได้ ไทม์มัลติเพิลเซ็ทติ้ง(TMS) = 1.5/4.586 = 0.327
- จากนั้นนำไปเลือกไทม์มัลติเพิลเซ็ทติ้ง(TMS) ที่รีเลย์มี เช่น 0.325 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 เกณฑ์สำหรับการเลือก pick up หรือ tap ของรีเลย์กระแสเกิน



รูปที่ 3.18 เกณฑ์สำหรับการเลือก pick up

3.5.3.1 ค่าปิกอัพ (pick up) :

- ต้องเผื่อการคืนตัวของรีเลย์อัพสตรีมย์ (upstream) เมื่อฟอลต์ถูกเคลียร์โดยดาวสตรีม(downstream) และมีการปิดกลับ
- ถ้ารีเลย์อัพสตรีมย์ (upstream) คืนตัวไม่สมบูรณ์ , เวลาการทำงานสำหรับฟอลต์ลำดับถัดไปจะถูกลดลง และอาจสูญเสียการแยกแยะฟอลต์
- แฟคเดอร์ต่อไปนี้ต้องถูกรวมเข้าไปในการพิจารณาค่ากระแสเนื่องจากการทำงานต่ำสุด (Is)

– กระแสฟูลโหลดหม้อแปลงบวกการเผื่อสำหรับโอเวอร์โหลด (k)

– การคืนตัวของรีเลย์

IS = kIFL/R เช่น IS = IFL x 1.1/0.95

R(drop-off/pick up) = 95% สำหรับ MCGG (แบบสแตติก)

= 90% สำหรับ CDG (แบบไฟฟ้า-กล)

3.5.4 เกรดดิ้งมาจิน (Grading Margin)

คือ ค่าเวลาที่กำหนดระหว่างการทำงานของรีเลย์ 2 ชุดที่อยู่ติดกัน ซึ่งแปรคามแฟคเดอร์ต่อไปนี้

- เวลาในการตัดกระแสฟอลต์ของเซอร์กิตเบรกเกอร์
- เวลา overshoot หรือ overtravel
- ค่าปัจจัยการผิดพลาดของรีเลย์ และ CT
- ค่าเวลาเผื่อ (Safety magin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเวลาเกรดดิ้ง(Grading)ระหว่างรีเลย์กับฟิวส์

$$\Delta t = \left(E_R + E_F\right) \cdot t + t_0 + t_s \qquad (3.2)$$

E_R : Relative timing error in relay

E_{CT} : Relative timing error due to CT (10% typ.)

E_F : Error due to the fuse (30% typ.)

t : nominal operating time of relay nearer to the fault

t_{CB} : circuit breaker interruption time

t_O : relay overshoot time

t_S : safety margin

เดดไทม์ (Dead Time)

คือเวลาที่อาร์คดับจนถึงเวลาที่เบรคเกอร์ต่อวงจร ต้องพิจารณา

- โหลด
- เบรคเกอร์ = mechanism + closing time มากสุดอาจถึง 0.5 s
- รีเซ็ตไทม์ของรีเลย์ป้องกัน รีเลย์จะต้องรีเซ็ตเมื่ออยู่ช่วงนี้
- ฟอลต์ดีไอออไนซ์เซชั่นไทม์ (Fault De-ionization time)
- ระบบการซิงโครไนซ์(System Synchronism)

  230 kV และ 115kV setting ที่ 0.3 s (3 pole) , 0.35 s (1 pole)

รีเคลมไทม์(Reclaim Time)

-เป็นเวลาที่เบรกเกอร์ต่อวงจรจนถึงออโตรีโคลสรีเลย์รีเซ็ต(Auto-reclose relay reset)

-จะต้องมากพอที่จะทำให้รีเลย์ป้องกันทำงานได้ขณะรีโคลส ที่ฟอลต์ยังอยู่ นั่นคือ

reclaim time > protection time

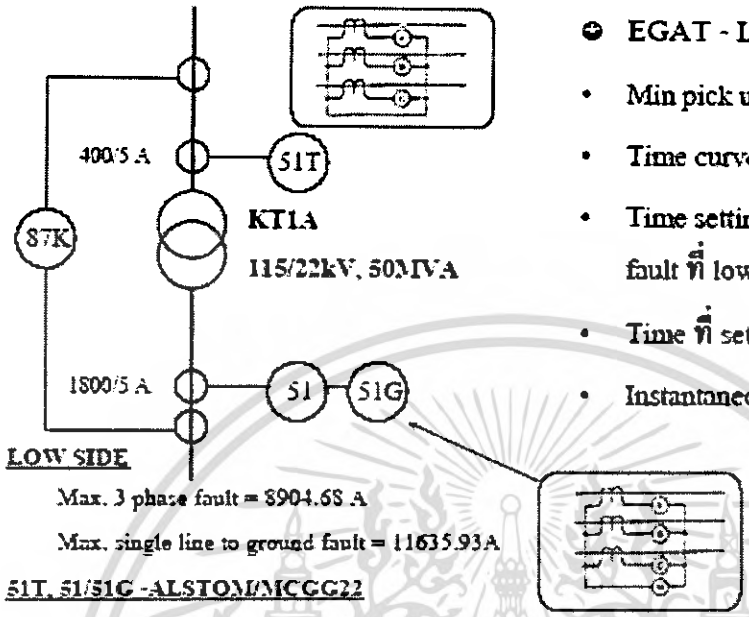
-230kV และ 115kV setting ที่ 5.0 - 15.0 s

เวลาการทำงานจริงของรีเลย์

- SI t = 0.14/(I0.02-1) * TMS
- VIt = 13.5/(I-1) * TMS
- EI t = 80/(I2-1) * TMS
- LIt = 120/(I-1) * TMS
- นำเวลาที่ได้ไป plot graph เพื่อดู Relay coordination ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ตัวอย่างการ Setting from EGAT



- EGAT - Low side (phase)
- Min pick up = 150% of max. load
- Time curve = SI
- Time setting point = max 3 phase fault ที่ low side
- Time ที่ set point = 1.5 s
- Instantaneous - set infinity

รูปที่ 3.19 Setting from EGAT

- EGAT - Low side (ground)
- Min pick up = 30% of max. load
- Time curve = SI
- Time setting point = single line to ground fault ที่ low side
- Time ที่ set point = 1.5 s
- Instantaneous = set infinity

- EGAT - High side
- Min pick up = 150% of max. load
- Time curve = SI
- Time setting point = max 3 phase fault ที่ low side
- Time ที่ set point = time ของ 51 – 0.5 s
- Instantaneous = set infinity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

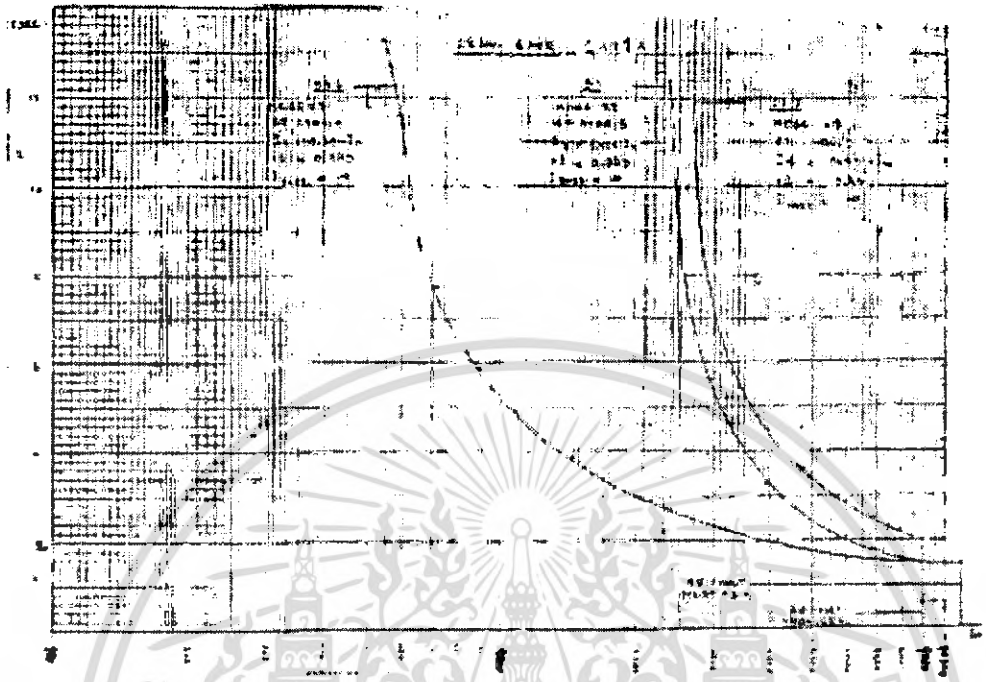
- คำนวณ Low voltage side (phase) overcurrent relay (51)
- Max. load current = 50/(1.732x22) = 1312.198 A
- Max. load current to relay = 1312.198/(1800/5) = 3.645 A
- Min. pick up = 1.5x3.645 = 5.467A=>Min. pickup/In = 5.467/5=1.093
- เลือก setting value = 1.1 (หรือ Is = 1.1xIn)
- Relay min. pick up = (1.1x5)/3.645 = 150.892% of load
- กระแสรีเลย์ที่ max. 3 phase LV fault = 8904.68/(1800/5) = 24.735 A
- Relay time set point = 24.735/(1.1x5) = 4.497 เข้าสูตร SI จะได้ t = 4.586 s
- ต้องการให้รีเลย์ทำงานที่ 1.5 s, TMS = 1.5/4.586 = 0.327
- เลือก TMS = 0.325 จะได้เวลา trip = 0.325x4.586 = 1.491 s

- คำนวณ Low voltage side (ground) overcurrent relay (51G)
- Min. pick up = 0.3x3.645 = 1.093A => Min. pickup/In = 1.093/5=0.219
- เลือก setting value = 0.200 (หรือ Is = 0.2xIn)
- Relay min. pick up = (0.2x5)/3.645 = 27.435% of load
- กระแสรีเลย์ที่ max. SLG fault LV = 11365.93/(1800/5) = 32.322 A
- Relay time set point = 32.322/(0.2x5) = 32.322 เข้าสูตร SI จะได้ t = 1.945 s
- ต้องการให้รีเลย์ทำงานที่ 1.5 s, TMS = 1.5/1.945 = 0.771
- เลือก TMS = 0.775 จะได้เวลา trip = 0.775x1.945 = 1.507 s

- คำนวณ High voltage side overcurrent relay (51T)
- Max. load current = 50/(1.732x115) = 251.029 A
- Max. load current to relay = 251.029/(400/5) = 3.138 A
- Min. pick up = 1.5x3.138 = 4.707 A => Min. pickup/In = 4.707/5 = 0.949
- เลือก setting value = 0.95 (หรือ Is = 0.95xIn)
- Relay min. pick up = (0.95x5)/3.138 = 151.37% of load
- กระแสรีเลย์ที่ max. 3 phase LV fault = (8904.68x22)/(115x400/5) = 21.294 A
- Relay time set point = 21.294/(0.95x5) = 4.483 เข้าสูตร SI จะได้ t = 4.596 s
- ต้องการให้รีเลย์ทำงานที่ 1.491 – 0.5 s, TMS = 1.991/4.596 = 0.433
- เลือก TMS = 0.45 จะได้เวลา trip = 0.45x4.596 = 2.0682 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการ plot curve Co-ordination



รูปที่ 3.20 การ plot curve Co-ordination

3.7 รีเลย์วัดค่าผลต่าง (Differential Relay)

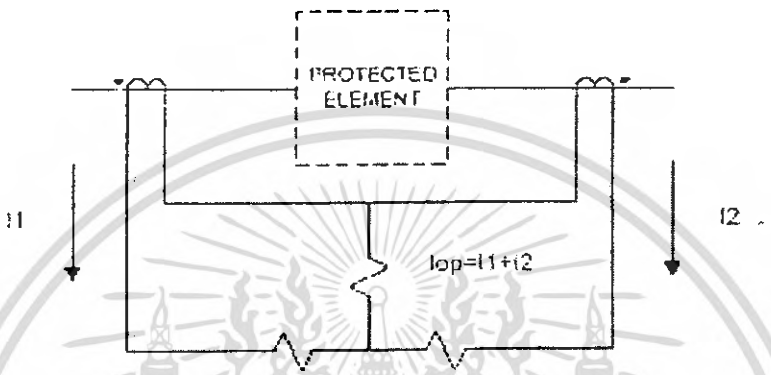
รีเลย์วัดค่าผลต่างคือรีเลย์ที่ทำงานเมื่อความแตกต่างของเวกเตอร์ของปริมาณไฟฟ้าที่คล้ายคลึงกัน 2 ปริมาณหรือมากกว่า มีค่าเกินที่ตั้งไว้ รีเลย์วัดค่าผลต่างของกระแสถูกนำไปใช้ในการป้องกันอุปกรณ์ต่าง ๆในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น สายส่งไฟฟ้ากำลัง ขดลวดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า บัสบาร์ หรืออุปกรณ์อื่นๆ หลักการทำงานเบื้องต้นของรีเลย์วัดค่าผลต่างของกระแสแสดงไว้ในรูปที่ 3.21 การทำงานโดยทั่วไปของรีเลย์วัดค่าผลต่างของกระแสอธิบายได้โดยใช้กฎกระแสของเคอร์ชอฟฟ์(Kirchhoff 's Current Law) รีเลย์ทำงานด้วยเงื่อนไขของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านหม้อแปลงทดกระแสทางด้านทุติยภูมิ คือ I_1 และ I_2 กรณีมีกระแสโหลดไหลผ่าน หรือ การเกิดฟอลต์ภายนอกเขตป้องกัน กระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงทดกระแสทั้ง 2 ตัวมีขนาดเท่ากันและมีมุมเฟสตรงข้ามกัน (โดยสมมติให้หม้อแปลงทดกระแสมีอัตราส่วนเท่ากันและขั้วของหม้อแปลงทดกระแสต่ออย่างถูกต้อง) ดังนั้นไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดของรีเลย์ ในกรณีเกิดฟอลต์ขึ้นในเขตป้องกัน ค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดทำงาน มีค่าเท่ากับ 0 และถ้าเกินค่าที่ตั้งไว้ ทำให้รีเลย์ออกคำสั่งทริป

รีเลย์วัดค่าผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ (Percentage Restraint Differential Relay)เป็นวิธีการหนึ่งที่นำมาแก้ไขปัญหา ความผิดพลาดเนื่องจาก CT mismatch ซึ่งลักษณะด้านการทำงานเป็นเปอร์เซ็นต์ทำให้รีเลย์ทำงานได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วขึ้น ลักษณะด้านการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของรีเลย์วัดค่าผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ แสดงในรูปที่ 3.22 การทำงานของรีเลย์วัดค่าผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ ทำงานด้วยผลรวมทางเวกเตอร์ของกระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงทดกระแสทั้ง 2 ตัว คือ

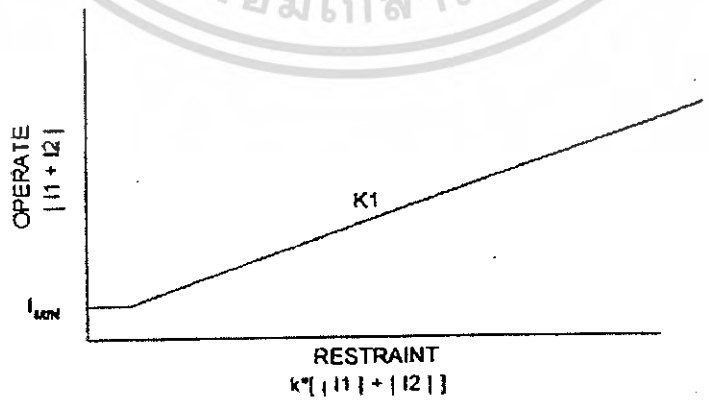
$$I_{operate} = | I_1 + I_2 | \qquad (3.3)$$



รูปที่ 3.21 แผนภาพวงวจรพื้นฐานของรีเลย์วัดค่าผลต่างของกระแส

กระแสทำงานนี้ต้องมากกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ (K1) ของกระแสด้านการทำงานซึ่งได้มาจากค่าผลรวมขนาดของกระแสที่ไหลผ่านหม้อแปลงทดกระแสแต่ละตัว โดยทั่วไปกระแสด้านการทำงาน (Restraining Current) มีค่าดังสมการนี้

$$I_{restraint} = k [| I_1 | + | I_2 |] \qquad (3.4)$$

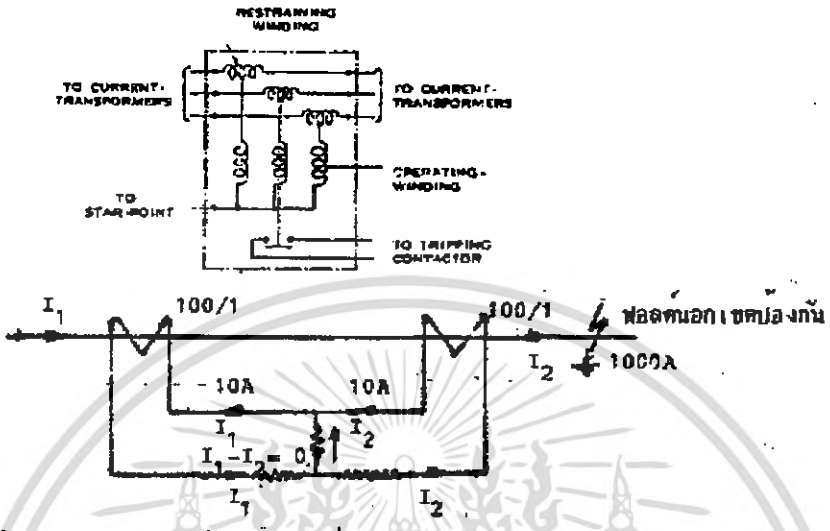


รูปที่ 3.22 แผนภาพลักษณะด้านการทำงานของรีเลย์วัดค่าผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

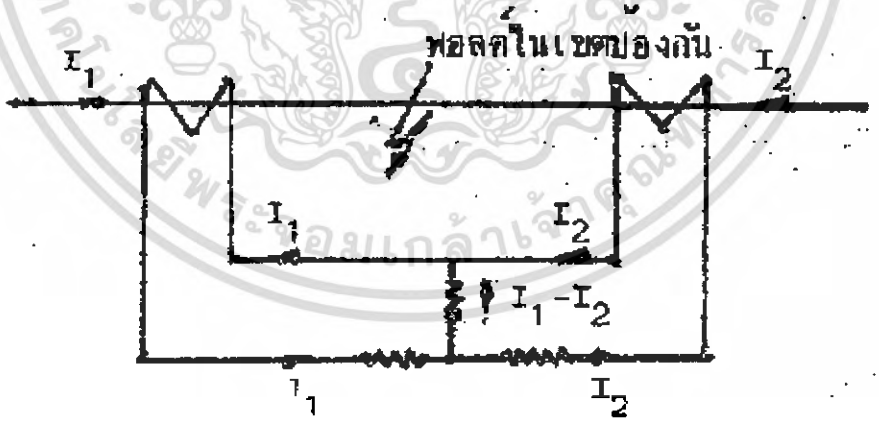
3.7.1 ชนิดของรีเลย์วัดค่าผลต่าง

ก) รีเลย์กระแสต่างแบบเปอร์เซ็นเตจไบแอส (Percentage bias Differential relay) เมื่อเกิดฟอลต์นอกเขตป้องกันรีเลย์กระแสต่าง (Differential ralay) ตามรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ฟอลต์เกิดขึ้นนอกเขตป้องกันของรีเลย์กระแสต่าง (Differential relay)

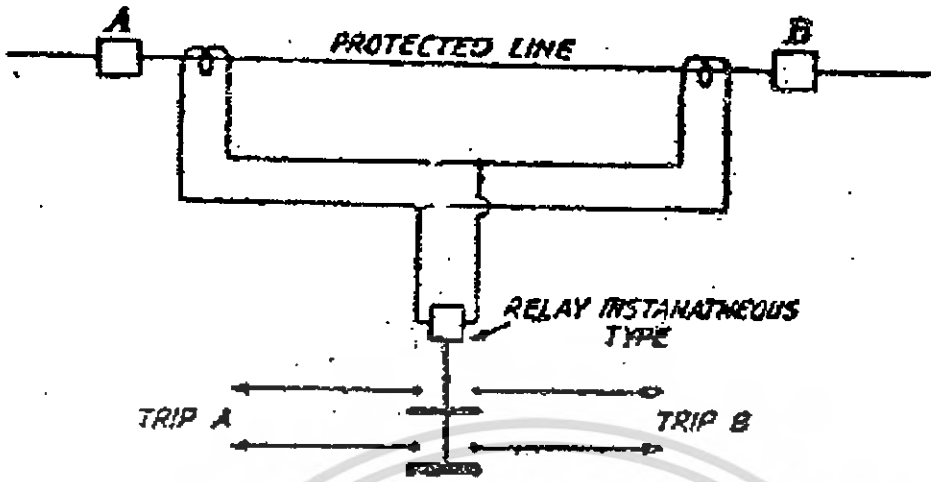
ซึ่งจุดฟอลต์นี้จะอยู่นอกรีเลย์กระแสต่าง (Differential relay) เมื่อซีที ทั้งสองมีอัตราส่วนเท่ากัน กระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิของซีที จะมีทิศทางตามลูกศรตามรูปที่ 3.23 ทำให้ผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านคอลย์ทำงาน (Operating coil) เป็นศูนย์ รีเลย์จึงไม่ทำงานแต่ถ้าเกิดฟอลต์ใน เขตป้องกันดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในเขตป้องกันของรีเลย์กระแสต่าง

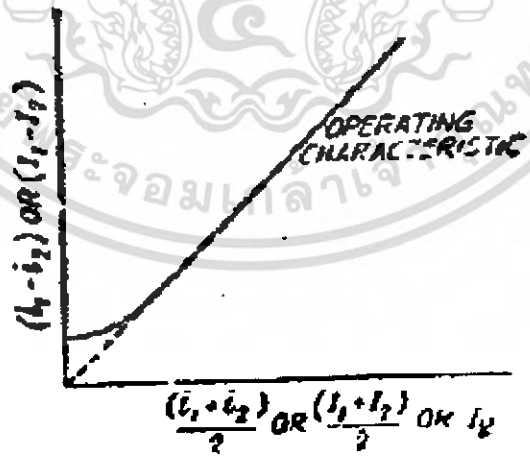
เมื่อเกิดฟอลต์ในเขตป้องกันกระแสจะไหลมายังจุดฟอลต์ทั้งสองด้านผ่านซีทีของแต่ละตัวทำให้ขนาดของกระแสที่ขดทุติยภูมิของซีทีทั้งสองตัวไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านคอลย์ทำงาน (Operating coil) ไม่เป็นศูนย์ กระแสอันนี้จะทำให้รีเลย์ทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 การนำรีเลย์ชนิดอื่นมาต่อเป็นรีเลย์แบบรีเลย์กระแสต่าง (Differential relay)

จากรูปที่ 3.25 เป็นการนำเอารีเลย์ชนิดอื่นมาต่อเป็นรีเลย์กระแสต่าง (Diffrentiel relay) ซึ่งในรูปจะไม่มีคอลย์ด้านการทำงาน (Restaining coil) มีแต่คอลย์ทำงานเท่านั้น สำหรับรีเลย์กระแสต่าง (Differential relay) จะมีกระแสที่ไหลผ่านคอลย์ทำงาน (Operating coil) เป็น $(I_1 - I_2)$ และกระแสที่ไหลผ่านคอลย์ด้านการทำงาน (Restainning coil) เป็น $(I_1 + I_2) / 2$ รีเลย์ที่มีคอลย์ด้านการทำงานนี้เรียกว่า รีเลย์กระแสต่างแบบเปอร์เซ็นเตจ (Percentage-Differential relay) หรือรีเลย์กระแสต่างแบบไบแอส (Biased Differential relay) จะมีโครงสร้างแบบคานกระดก สำหรับคุณลักษณะของรีเลย์กระแสต่าง (Differential relay) สมการของรีเลย์จะเป็น $(I_1 - I_2) = S\,(I_1 + I_2)$

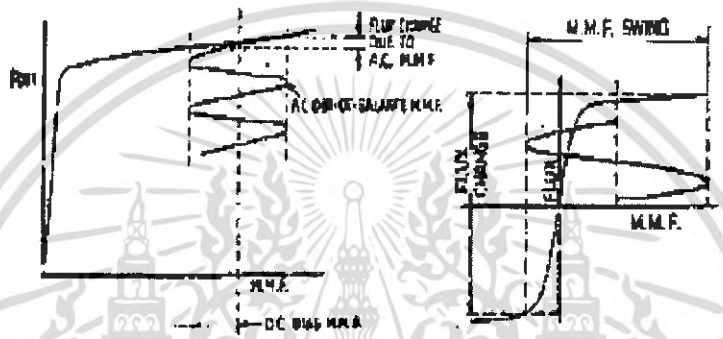


รูปที่ 3.26 คุณลักษณะของรีเลย์กระแสต่าง (Differential relay)

การทำงานของรีเลย์ในสภาวะการทำงานปกติไม่เกิดฟอลต์ที่ไบแอสของหม้อแปลงจะมีกระแสเฉพาะ (I_1+I_2) ซึ่งทำหน้าที่เป็นกระแสด้าน (Restrain current I_R) เนื่องจากว่าด้านทุติยภูมิของไบแอสของหม้อแปลงจะถูกกรองกระแส (Rectifier) แล้วเอาไปไบแอสให้กับหม้อแปลง

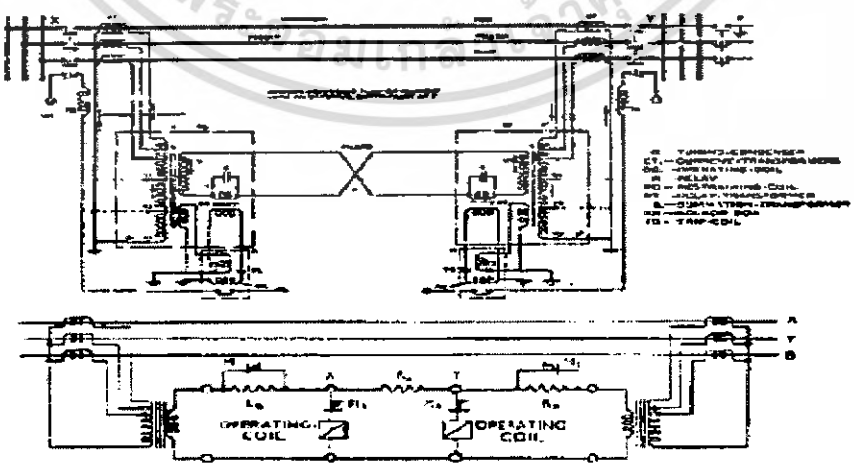
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะทำให้ B–H Curve ของทรานสดักเตอร์ (Transducer) อยู่ในช่วงอิ่มตัว (Saturation) คือ มีการเปลี่ยนแปลงเส้นแรงแม่เหล็กน้อยมาก ทำให้แรงดันที่ต่อไปยังรีเลย์มีค่าต่ำรีเลย์จึงไม่ทำงาน แต่เมื่อเกิดฟอลย์ตัวไบแอสของหม้อแปลงจะมีกระแสไหลเป็น $(I_1 - I_2) / 2$ ซึ่งเราจะเรียกกระแสทำงาน (Operating current = I) ซึ่งกระแสตัวนี้จะไปเลื่อนให้กระแส B–H Curve ลงมาอยู่ในย่านเส้นตรง (Linear) คือเกิดการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กมากขึ้น ทำให้เกิดแรงดันที่ต่อไปยังรีเลย์มีค่ามากจึงทำให้รีเลย์ทำงาน สำหรับฮาร์มอนิกส์ (Harmonics bias unit) จะทำหน้าที่เป็นตัวต้านการทำงาน (Restrain) เมื่อเกิดทรานเซียนต์เนื่องจากการเปลี่ยนแท็ปของหม้อแปลงซึ่งจะทำให้ฮาร์มอนิกส์ที่ 2 ผ่านเข้าคอลย์ด้านการทำงานไม่ให้รีเลย์ทำงาน



รูปที่ 3.27 B-H curve และการไบอัส แอมแปร์-รอบ ให้กับทราสดักเตอร์

ข) รีเลย์ชนิดที่มีสายนำ (Pilot wire) รีเลย์ของ Solker-R-relay แบบนี้ก็เป็นรีเลย์กระแสต่าง (Differential relay) อย่างหนึ่งใช้ป้องกันในเขตที่ต้องการป้องกันมีระยะทางยาว เช่น อาจจะใช้ป้องกันสายส่งซึ่งมีระยะทางไกลก็ได้โดยใช้สายนำ (Pilot wire) เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างรีเลย์ทั้งสองจุด รีเลย์แบบนี้ที่ใช้ก็มีชื่อว่า Solker-R-relay ซึ่งเป็นรีเลย์กระแสต่าง (Differential relay) รีเลย์สองตัวต่อถึงกันโดยสายนำ (Pilot wire) ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 รีเลย์กระแสต่างชนิดสายนำของ Solkor-R-relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง

4.1 การป้องกันบัสบาร์ (Bus Bar Protection)

เนื่องจากบัสบาร์ เป็นที่รวมของสายส่งแรงสูงในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งอาจรวมถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์สวิตช์แยกวงจร (Disconecting switch) หม้อแปลงกระแส, หม้อแปลงแรงดัน ส่วนเชื่อมต่อวงจร พร้อมโครงสร้างต่าง ๆ ที่รองรับอุปกรณ์เหล่านี้ ดังนั้นถ้าเกิดฟอลต์ในเขตของบัส (Bus zone) มักจะมีกระแสไหลสูงมาก หากไม่สามารถเคลียร์ได้ทันทีความเสียหายที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดขึ้นทั้งในบัสและนอกเขตบัสด้วย ควรจะต้องมีการป้องกันที่ถูกต้องสำหรับระบบรีเลย์ที่ใช้ในการป้องกันบัสบาร์นั้นมีดังนี้

- การป้องกันแบบเปรียบเทียบทิศ (Directional locking protection)
- การป้องกันแบบเปรียบเทียบมุมเฟส (Phase shift comparison protection)
- การป้องกันแบบสร้างโครงสร้างรองรับกับดิน (Frame - leakage protection)
- การป้องกันโดยใช้รีเลย์กองหลังของระบบเป็นตัวป้องกันบัสเข้าไปด้วย (System - back up protection)
- การป้องกันแบบใช้ค่าผลต่าง (Differential protection)
- การป้องกันกองหลังของบัส (System - back up protection)
- การป้องกันแบบกระแสเกิน(Time Overcurrent Protection)
- การป้องกันหม้อแปลงและบัสร่วมกัน(Busbar & Transformer Protection)

จากระบบป้องกันที่กล่าวมาแล้วนี้ จะขอกล่าวเฉพาะการป้องกันบัสบาร์ที่มีใช้กันมากในประเทศไทย

4.1.1 การป้องกันโดยใช้แบคอัพรีเลย์ของระบบเป็นตัวป้องกันบัส (System – back up protection)

รูปที่ 4.1 การป้องกันบัสโดยใช้แบคอัพรีเลย์ของระบบเป็นตัวป้องกันบัสเข้าไปด้วย

การป้องกันแบบนี้เป็นการป้องกันแบบไม่จำกัดบริเวณ รีเลย์จะมองเห็นออกไป จากเขตควบคุมของตัวได้ระบบป้องกันแบบนี้จึงสามารถป้องกันรวมเข้าไปถึงบัสได้การป้องกันแบบนี้นิยมใช้ในระบบบัสบาร์ของสถานีจ่ายไฟย่อยขนาดเล็ก ดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้องกันบัสโดยใช้รีเลย์กองหลังของระบบเป็นตัวป้องกันบัสเข้าไปด้วยนั้นไม่นำมาใช้กับระยะบัสบาร์ของสถานีจ่ายไฟขนาดใหญ่เพราะระบบนี้มีข้อเสียคือ

1. การทำงานของรีเลย์ ค่อนข้างช้า
2. ผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งต่อไฟจากสายส่งจะถูกตัดไฟออกไปโดยไม่จำเป็น

4.1.2 การป้องกันแบบใช้ค่าผลต่าง (Differential protection)

การป้องกันแบบใช้ค่าผลต่าง (Differential protection) นี้มีอยู่สองชนิด คือ

- การป้องกันแบบใช้ค่าผลต่างของแรงดัน (Voltage different protection)
- การป้องกันแบบใช้ค่าผลต่างของกระแส (Current different protection)
- การป้องกันแบบใช้ค่าผลต่างของกระแสจากลีเนียร์คัปเปลอร์ (Linear coupler)

4.1.2.1 การป้องกันบัสบาร์แบบใช้ค่าผลต่างของแรงดัน (Voltage different protection)

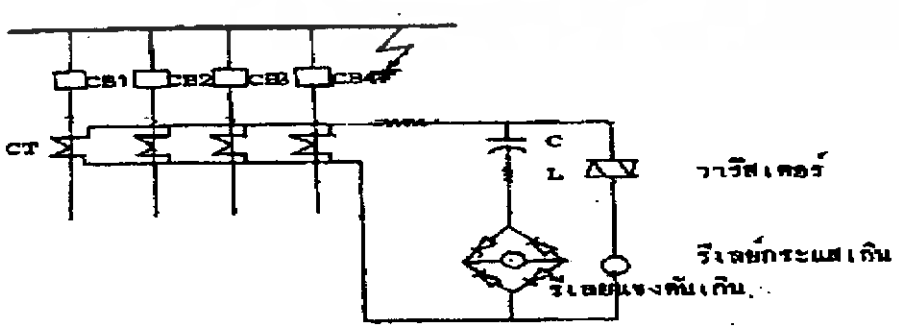
การป้องกันแบบใช้ค่าผลต่างของแรงดันนี้รีเลย์จะทำงานโดยใช้หลักการของผลรวมของแรงดันที่คร่อมขั้วหม้อแปลงกระแสซีที ซึ่งจะทำให้ปัญหาที่เกิดจากการอิ่มตัว
(Saturation) ของหม้อแปลงกระแส หมดไปเนื่องจากแรงดันที่คร่อมขั้วของหม้อแปลงกระแส ถูกจำกัด โดยผลคูณของค่า IR ซึ่งค่า R นี้จะเป็นค่าความต้านทานของสายบวกกับค่าความต้านทานของหม้อแปลงกระแส แรงดัน IR จะทำตัวดังนี้

IR มีค่าต่ำถ้าหม้อแปลงกระแสอิ่มตัว

IR มีค่าเป็นศูนย์ถ้าหม้อแปลงกระแสไม่อิ่มตัวเมื่อเกิดฟอลต์นอกเขตบัส

IR คือ แรงดันคร่อมตัวรีเลย์

ปกติแล้วเมื่อเกิดฟอลต์ภายในเขตบัส แรงดันมีค่าต่ำสุดจะมีค่าสูงกว่าแรงดัน[2] ที่เกิดจากฟอลต์ขนาดสูงสุดนอกเขตบัส จึงทำให้การตั้งค่าให้รีเลย์ทำงานนั้นได้ง่าย และถูกต้องมากขึ้นการป้องกันแบบใช้ค่าผลต่างของแรงดัน (Voltage different protection) แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 A แสดงการป้องกันบัสแบบใช้ค่าผลต่างของแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bus Bar เป็นจุดเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า ดังนั้น เมื่อเกิด Fault ขึ้นที่ Bus จึงเป็นจุดที่มีกระแส Fault สูงสุด Relay ที่ใช้ป้องกัน Bus จึงต้องเป็น Relay ที่มี Reliability สูงมากเพื่อให้แยกแยะระหว่าง Fault ภายใน Bus และนอก Bus ได้ ลักษณะ Bus Differential Relay (87B) แบ่งได้ 2 แบบคือ

1. High Impedance

เป็น Relay ที่มีโครงสร้างภายในเป็น High Impedance โดย Detect Current จากทุก Bay มา Sum กันที่ตัว Relay ในลักษณะขนาน CT ของแต่ละเฟส ดังนี้ในแต่ละ Bayในภาวะปกติกระแสจะ Sum กันเป็น0 แต่เมื่อเกิด Fault ที่ Bus ผลการ Sum จะไม่เป็น 0 เพราะมีแต่ Current ไหลเข้า Bus อย่างเดียวไม่มีกระแสออกจาก Bus จึงต้องใช้ CT Ratio เท่ากัน Class เดียวกัน และควรเป็น Max Ratio ของ CT แต่ละBay ด้วยการ Set Relay จะสมมุติให้ CT ตัวหนึ่งเกิด Saturate และคำนวณ Voltage Drop คร่อมตัว Relayจนถึง CT ตัวนั้น ดังนั้น ข้อมูลที่ต้องรู้เพื่อนำมาคำนวณ คือ

- CT Internal Resistance
- ความยาวและความต้านทานของสาย Cable ทาง Secondary ของ CT มายัง Relay
- Fault Current (ค่า Fault ต่ำสุดที่ Relay จะทำงานได้ ขึ้นกับจำนวน CT ที่นำมาขนานกัน)

เมื่อคำนวณได้แล้วก็สามารถ Set ค่า Voltage Pick Up ให้สูงกว่าค่าที่คำนวณได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานผิดของ Relay กรณีเกิด External Fault แล้วมี CT Saturate เกิดขึ้น แต่ถ้าเป็น Internal Fault,Voltage ที่เกิดขึ้นคร่อมตัว Relay จะมีค่าสูงกว่าค่าที่ Set มาก ทำให้ Relay Trip ได้ โดยทั่วไปมักจะมี Varister ต่อขนานกับตัว 87B ไว้เพื่อจำกัดแรงดันไม่ให้ตัว Relay เสียหาย

2. Low Impedance

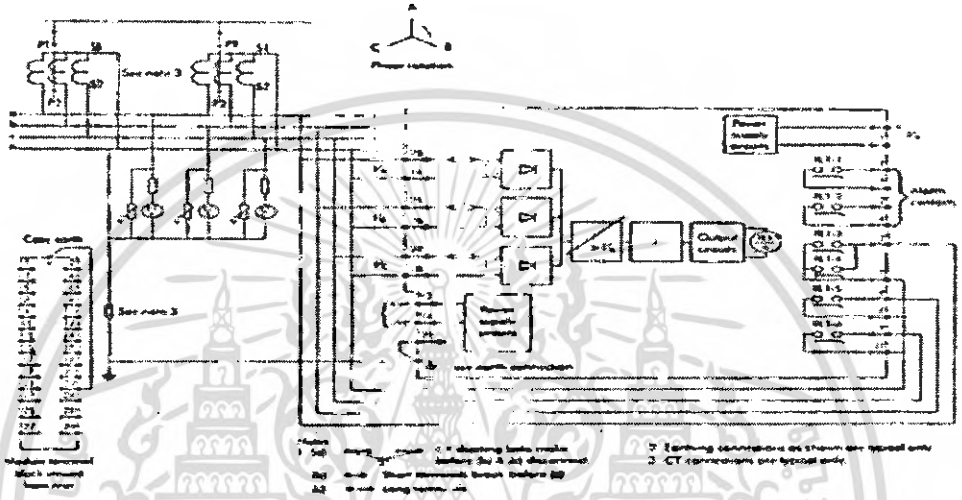
Check ผลรวมของกระแสที่เข้า-ออก Bus ที่ป้องกันอยู่โดยอาศัยการนำ Secondary Current ของ CTแต่ละ Bay เข้ามา Sum กันภายในตัว Relay(แต่ไม่มีการขนาน CT เหมือน High impedance) ลักษณะเหมือนการทำงานของ 87K (Transfer Diff.) ดังนั้น CT Ratio ของแต่ละ Bay ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน เนื่องจากจะมี Matching Transformer (คล้าย Aux. CT) อยู่ภายในเพื่อปรับขนาดอยู่แล้ว มักจะพบ Relayประเภทนี้กับการจัด Bus แบบ Double Bus Single Breaker ซึ่งต้องมีการทำ Switching ย้าย Bus อยู่บ่อยๆการทำงานของ Bus Diff. ทั้ง 2 ประเภทจะให้ Output ออกมาลง Lockout Relay ชื่อ 86B เพื่อนำมา Trip/Interlock CB ทุกตัวที่ติดกับ Bus ที่ Fault แต่จะมีการจัด Bus ในรูป Ring Bus แบบเดียวที่ไม่จำเป็นต้องใช้ 87B

เพื่อหลีกเลี่ยงการอิ่มตัวของหม้อแปลงกระแสซีทีจึงใช้รีเลย์ที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูง (Hight impedance relay) ดังรูปที่ 4.2 A ซึ่งเป็นการป้องกัน แบบใช้ค่าผลต่างของแรงดัน ของบริษัท Westing house ประเทศสหรัฐอเมริกา นอกจากนี้แล้วยังมีการป้องกันสำรองของการป้องกันบัสบาร์อีกแบบหนึ่งคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 การป้องกันด้วยรีเลย์วัดค่าผลต่างของแรงดันแบบบัสไวนด์ซูเปอร์วิสชั่น

รีเลย์ชนิดนี้จะใช้ทำงานร่วมกับการป้องกันบัสบาร์แบบวัดค่าผลต่างของแรงดัน ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นแบคอัพ คอยจับแรงดันที่บัสและในแต่ละเฟส เพื่ออลามน์ว่าเกิดไลน์ขาด แล้วจึงสั่งให้เกิดการช็อตซีทีลงกราวดน์เพื่อป้องกันการเกิดแรงดันสูงขึ้นทางด้านทุติยภูมิของซีที เนื่องจากการเปิดวงจรของซีที ซึ่งถือว่าเป็นระบบป้องกันของบัสบาร์ที่มีความสำคัญอีกชนิดหนึ่ง สามารถแสดงวงจรการทำงานได้ดังรูปที่ 4.2 B



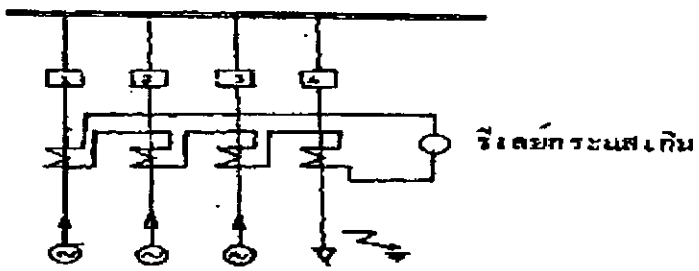
รูปที่ 4.2 B รีเลย์วัดค่าผลต่างของแรงดันแบบบัสไวนด์ซูเปอร์วิสชั่น ไทป์ MVTP 31

4.1.2.3 การป้องกันบัสบาร์ แบบใช้ผลต่างทางกระแส (Current different protection)

การป้องกันวิธีนี้ อาศัยกฎของเคอร์ซอฟฟ์ (Kirchoff 's) ซึ่งกล่าวว่ากระแสทั้งหมดที่ไหลเข้าและไหลออกจากวงจรเขตของบัสที่ต้องการป้องกันจะมีผลรวมทางเวกเตอร์เป็นศูนย์ถ้าไม่มีฟอลต์เกิดขึ้นภายในเขตของบัส การป้องกันด้วยการใช้ค่าผลต่างกระแสยังมีข้อเสีย จะเกิดการอิ่มตัวโดยสมบูรณ์สำหรับการเกิด External Fault ใกล้ๆ กับ Zone ดูรูปที่ 4.3

จากรูปที่ 4.3 แสดงการป้องกันบัสบาร์ แบบใช้ผลต่างทางกระแส (Current differential protection) ในรูปที่ 4.3 จะมีวงจรต่อเข้ากับบัสบาร์ทั้งหมดสี่วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



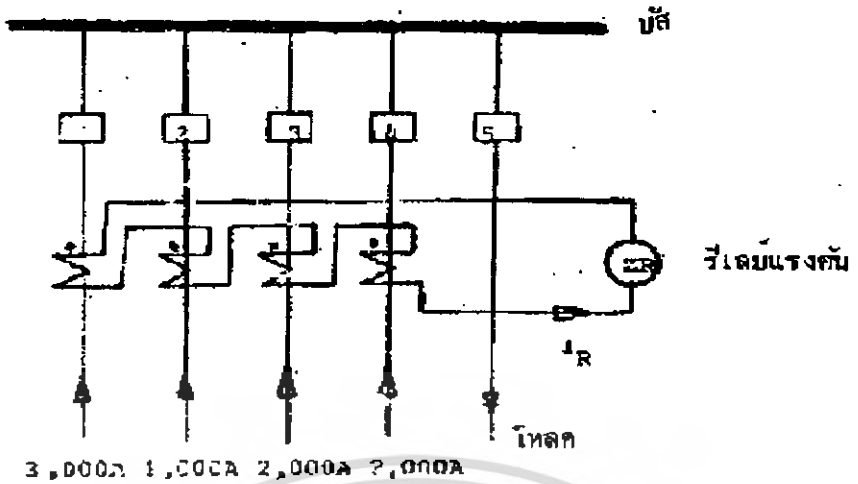
รูปที่ 4.3 การป้องกันบัสบาร์แบบใช้ผลต่างทางกระแส (Current differential protection)

ระบบนี้ประกอบด้วยรีเลย์อิมพีแดนซ์สูงหนึ่งตัวต่อขนานกับหม้อแปลงกระแสซีทีโดยหม้อแปลงกระแสซีทีจะต้องมีอัตราส่วนเท่ากัน เมื่อมีการจ่ายโหลดตามปกติหรือเกิดฟอลต์นอกเขตป้องกัน ถ้าไม่คิดการแปลงกระแสที่ผิดพลาดแล้ว ผลรวมทางเวกเตอร์ของกระแสที่ไหลเข้าไปยังรีเลย์จะมีค่าเป็นศูนย์

4.1.2.4 การป้องกันแบบใช้ค่าผลต่างทางกระแสจากลิเนียรคัปเปลอร์ (Linear coupler)

เนื่องจากหม้อแปลงกระแสทั่วๆไปใช้แกนเหล็กทำมักจะมีปัญกาเกี่ยวกับการอิ่มตัวของแกนเหล็กนอกจากนี้ค่าคงที่เวลาของกระแสทรานเซียนที่เกิดขึ้นนอกเขตป้องกันมักมีค่าสูง ทำให้ระบบป้องกันแบบวัดผลต่างมีค่าไม่ถูกต้อง เมื่อเกิดฟอลต์ขนาดรุนแรงนอกเขตป้องกัน ถ้าเราใช้แกนของหม้อแปลงกระแสที่ไม่ใช่แกนเหล็ก แต่ใช้แกนอากาศแทน จำนวนรอบขอลวดทางด้านทุติยภูมิจะเพิ่มขึ้นอีกหลายเท่า เราจะได้หม้อแปลงกระแสชนิดใหม่ขึ้นเรียกว่า ลิเนียรคัปเปลอร์ (Linear coupler) ปัญหาที่เกิดจากกระแสทรานเซียนต์ก็จะหมดไป เนื่องจากหม้อแปลงกระแสชนิดนี้ไม่มีกระแสแมกนิไดซิ่งจึงไม่เกิดการอิ่มตัว จึงทำให้หม้อแปลงกระแสลิเนียรคัปเปลอร์กลายเป็นอุปกรณ์ชนิด Differential device ที่แท้จริง เมื่อเกิดการพันจำนวนรอบแกนวงแหวนจำนวนรอบที่พันจะปรากฏว่ามีแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นมาในด้านทุติยภูมิ 5 โวลต์ต่อกระแสด้านปฐมภูมิ 1000 แอมแปร์ หรืออาจจะพูดว่าค่าอิมพิแดนซ์ร่วม (Mutual impedance M) ของลิเนียรคัปเปลอร์มีค่าเท่ากับ 0.005 โอห์มที่ความถี่ 50 ไซเกิลต่อวินาที นั่นเอง เพราะว่า $E_S = I_P M$ (ผลของทรานเซียนของลิเนียรคัปเปลอร์เกือบไม่มีจึงคิดเฉพาะเมื่อเป็นค่าอยู่ตัว (Steady) ก็พอ สำหรับการป้องกันบัสโดยใช้ลิเนียรคัปเปลอร์ดดยใช้ผลต่างของแรงดันต่ออนุกรมกันมากระตุ้นรีเลย์ ให้ทำงานนั้นสามารถแสดงได้ในรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 การใช้ลิเนียรคัปเปลอร์โดยต่อให้ลิเนียรคัปเปลอร์แต่ละตัวอนุกรมกันแล้วต่ออนุกรมกับรีเลย์แรงดัน

จากรูปที่ 4.4

$$I_R = (\sum E_s) / (Z_R + \sum Z_C) = (\sum I_P M) / (Z_R + \sum Z_C) \qquad (5.1)$$

เมื่อ I_R = กระแสที่ไหลในลิเนียรคัปเปลอร์

E_S = แรงดันเหนี่วนำขึ้นทางด้านทุติยภูมิของลิเนียรคัปเปลอร์

I_P = กระแสทางด้านปฐมภูมิของลิเนียรคัปเปลอร์

M = อิมพีแดนซ์ร่วม (Mutual impedance) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.005 โอห์มที่ 50 ไซเกิล/ วินาที

Z_C = ค่าอิมพีแดนซ์ขดทุติยภูมิของลิเนียรคัปเปลอร์

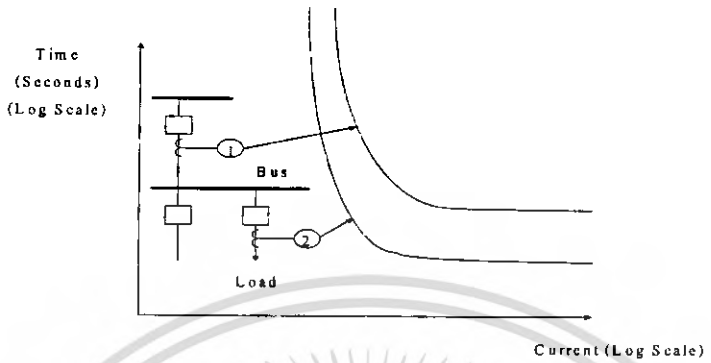
Z_R = ค่าอิมพีแดนซ์ของรีเลย์

4.1.3 การป้องกันแบบกระแสเกิน (Time Overcurrent Protection)

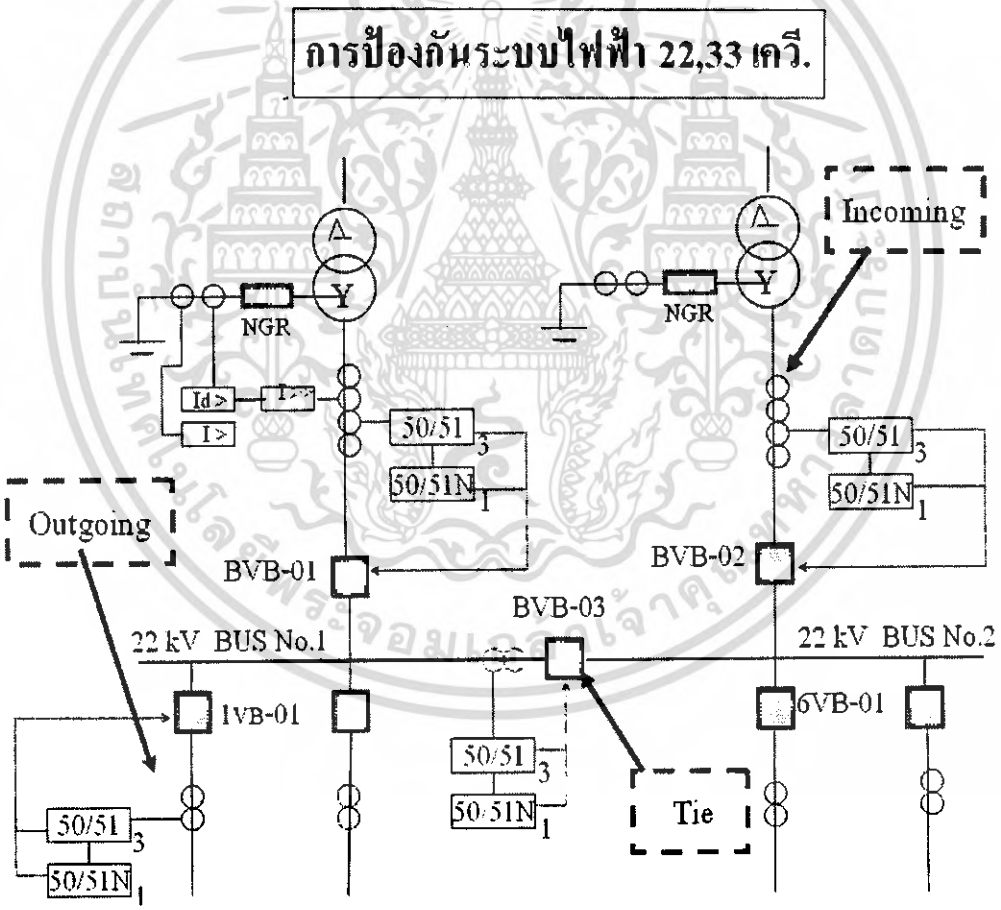
จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าที่ค่ากระแสผิดพร่องค่าเดียวกัน รีเลย์ตัวที่ 1 จะตั้งค่าเวลาให้มากกว่ารีเลย์ตัวที่ 2 ซึ่งเสมือนเป็นการป้องกันสำรองของสายป้อนที่ทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังโหลด พิจารณาจากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเมื่อเกิดความผิดพร่องที่ F1 รีเลย์ตัวที่ 1 ที่ต่ออยู่กับสายป้อนจากแหล่งกำเนิดพลังงานจะมองเห็นความผิดพร่องก่อน และทำงานตามค่าที่กำหนดไว้ แต่เมื่อความผิดพร่องที่ F2 รีเลย์ตัวที่ 2 จะทำงานก่อน ในขณะเดียวกันจะส่งสัญญาณไปบล็อก การทำงานของรีเลย์ตัวที่ 1 โดยที่รีเลย์ตัวที่ 1 จะทำงานก็ต่อเมื่อรีเลย์ตัวที่ 2 ไม่ทำงานเท่านั้น การป้องกันกระแสเกินนี้มีข้อดีคือ ทำการป้องกันได้ง่าย และใช้อุปกรณ์ป้องกันน้อย แต่มีข้อเสียคือ กระแสที่เกิดขึ้นที่บัสจะมีค่าสูง ดังนั้นรีเลย์ควรจะทำงานได้ทันทีทันใดเพื่อป้องกันความเสียหายได้รวดเร็วที่สุด แต่การป้องกันแบบนี้จะใช้แบบหน่วงเวลา และยังต้องทำงานเหมือนกับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันสำรองอีก ทำให้การทำงานช้าลง นิยมใช้กับระบบจำหน่ายแรงดันปานกลางเท่านั้น ไม่นิยมใช้กับสายส่งที่มีแรงดันสูง



รูปที่ 4.5 ลักษณะเฉพาะของรีเลย์ในการป้องกันแบบกระแสเกิน

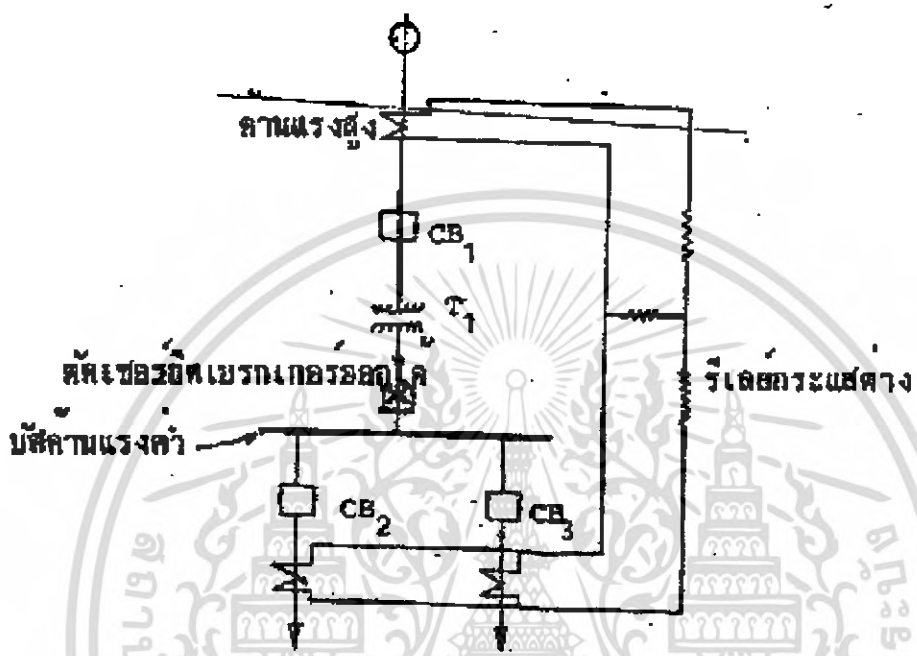


รูปที่ 4.6 รูปแบบการจัดวางการป้องกันแบบกระแสเกิน

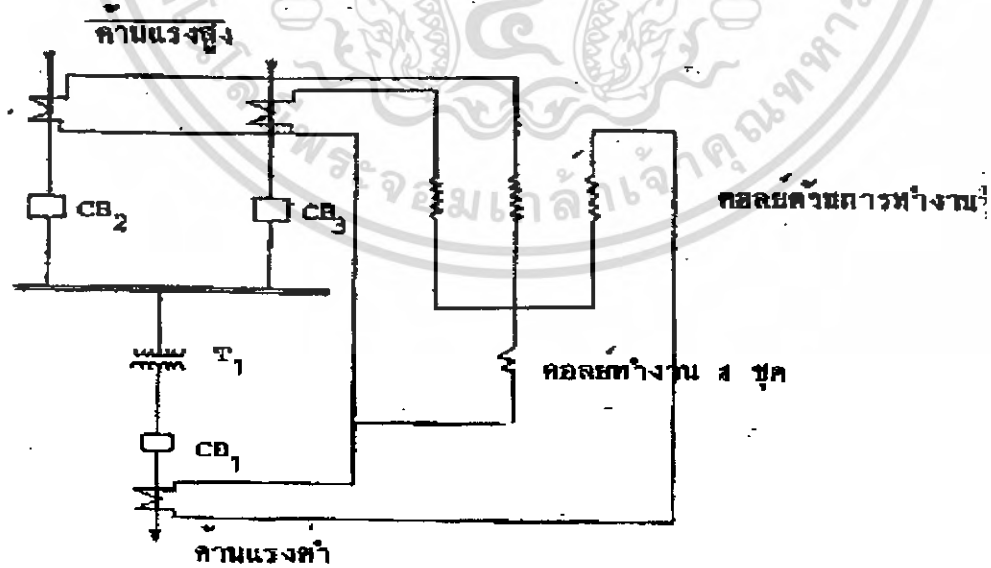
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การป้องกันหม้อแปลงและบัสร่วมกัน (Busbar & Transformer Protection)

เป็นการป้องกันบัสบาร์โดยรวมเอาหม้อแปลงเข้าไปด้วยดังรูปที่ 4.7 เป็นการป้องกันหม้อแปลงและบัสรวมอยู่ในชุดเดียวกันดดยใช้รีเลย์กระแสต่าง (Differential relay) ที่มีคอลย์ทำงานหนึ่งชุดและคอลย์ด้านการทำงาน 2 ชุด ซึ่งเราพบว่าในรูปที่ 4.7 เราสามารถตัดเซอร์กิดเบรกเกอร์ระหว่างหม้อแปลงกับบัสด้านแรงต่ำออกไปได้หนึ่งตัวเพื่อความประหยัด

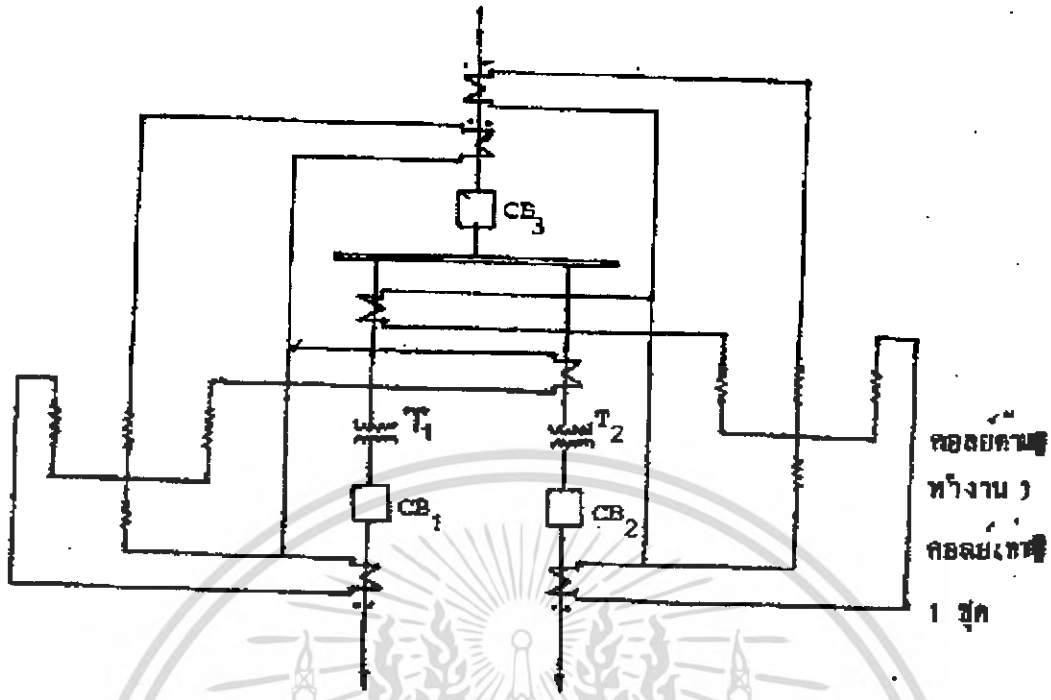


รูปที่ 4.7 การใช้รีเลย์กระแสต่างในการป้องกันหม้อแปลงและบัสรวมอยู่ในหน่วยเดียวกัน รีเลย์ที่ใช้จะมีคอลย์ทำงานหนึ่งชุดและคอลย์ด้านการทำงาน 2 ชุด



รูปที่ 4.8 สายส่งวงจรคู่ ป้อนกันไฟเข้าบัสแล้วใช้รีเลย์กระแสต่างที่มีขดลวดคอลย์ ด้านการทำงาน 3 ชุด และคอลย์ทำงาน 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

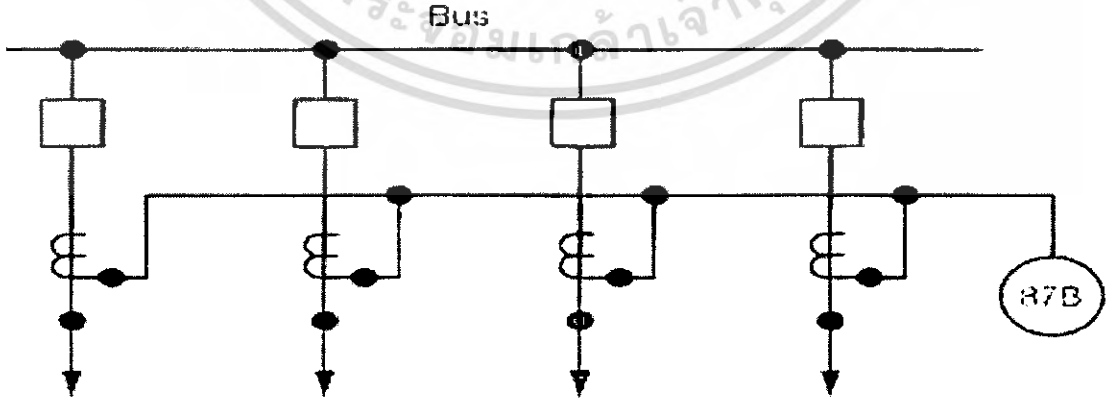


รูปที่ 4.9 การป้องกันหม้อแปลงสองลูกรวมกับบัสโดยใช้รีเลย์กระแสต่างสองตัวโดยรีเลย์ขดลวดคอลย์ด้านการทำงาน 3 ชุด และคอลย์ทำงาน 1 ชุด

4.1.5 รูปแบบการจัดวางบัสบาร์

1. การจัดเรียงแบบซิงเกิลบัส(Single Bus Arrangement)

- การจัดเรียงบัสด้วยวิธีนี้เป็นการจัดเรียงบัสที่ง่ายที่สุด
- เป็นการจัดเรียงแบบประหยัด แต่มีความยืดหยุ่นต่ำ
- ไม่สะดวกในการซ่อมบำรุง เนื่องจากต้องเปิดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์ และสวิตช์ใบมีดเพื่อไม่ให้สายส่งมีไฟฟ้า จึงจะทำการซ่อมบำรุงได้

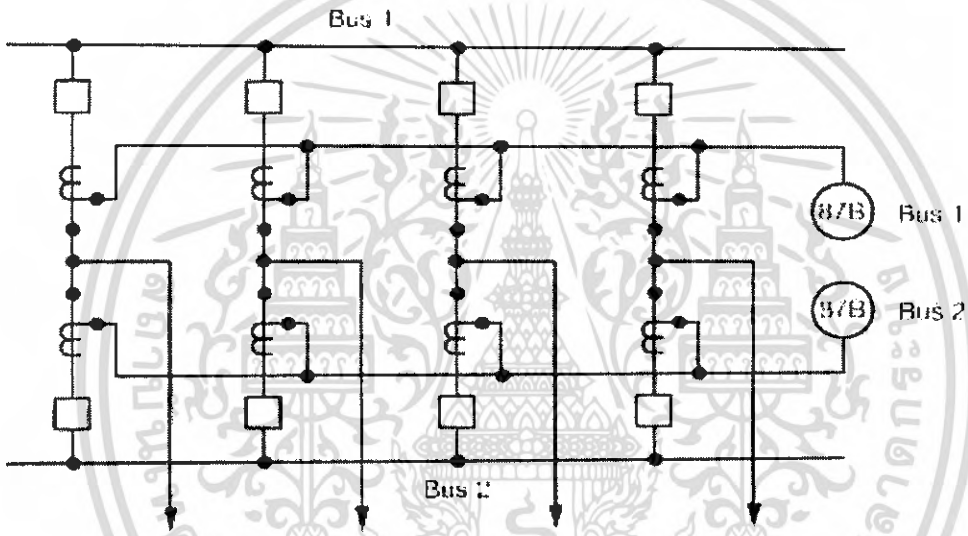


รูปที่ 4.10 การจัดเรียงแบบซิงเกิลบัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจัดเรียงแบบดับเบิ้ลบัสดับเบิ้ลเบรกเกอร์(Double Bus Double Breaker Arrangement)

- ทุกๆบัสและทุกๆ เซอร์กิตเบรกเกอร์ สามารถปลดออกจากการส่งจ่ายไฟฟ้าได้
- ถ้าหากเกิดฟอลต์ที่สายส่ง ก็จะต้องการต้องการเคลียร์ฟอลต์โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์ 2 ตัว
- ถ้าหากเกิดฟอลต์ที่บัสจะทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้งหมดที่ต่อกับบัสที่ ฟอลต์ทริป แต จะไม่ส่งผลถึงบัสหรือสายส่งเส้นอื่นๆ ที่ไม่ได้ต่อกับบัสที่เกิดฟอลต์
- เป็นการจัดเรียงบัสที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานที่สูงสุด
- จำนวนของเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะเท่ากับ 2 เท่าของจำนวนสายส่ง

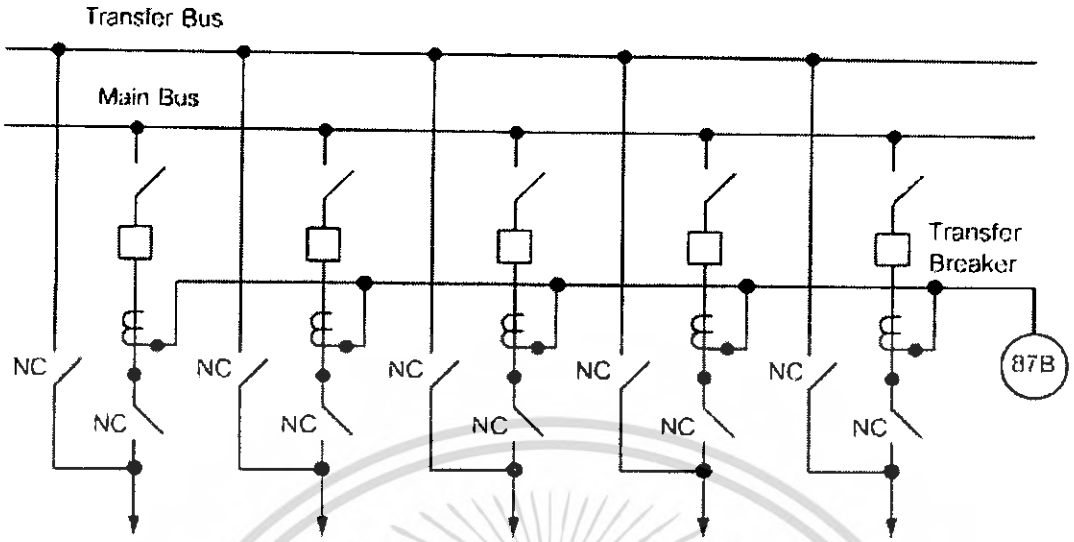


รูปที่ 4.11 การจัดเรียงแบบดับเบิ้ลบัสดับเบิ้ลเบรกเกอร์

3. การจัดเรียงแบบเมนแอนด์ทรานเฟอร์บัส(Main and Transfer Bus Arrangement)

- การซ่อมบำรุงสามารถทำได้โดยไม่ต้องตัดการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า
- เมื่อต้องการซ่อมบำรุงเซอกิตเบรกเกอร์ที่ต่อกับบัสที่ 2 ก็สามารถทำได้ โดยการถ่ายโอนสายส่ง ที่ต่ออยู่กับบัสที่ 2 ไปยังบัสที่ 1
- สามารถซ่อมบำรุงเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้เพียงครั้งละ 1 ตัวเท่านั้น

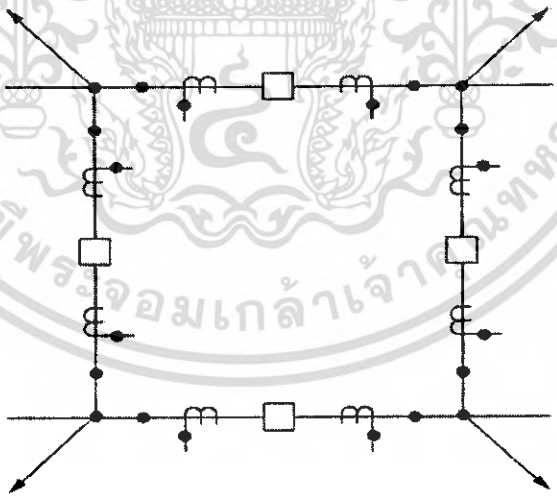
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 การจัดเรียงแบบเมนแอนด์ทรานเฟอร์บัส

4. การจัดเรียงแบบริงบัส (Ring Bus Arrangement)

- วงแหวนจะแยกออกจากกันเมื่อเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวใดตัวหนึ่งถูกตัดออกเพื่อทำการซ่อมแซม ทำให้ระบบนี้มีความยืดหยุ่นน้อย



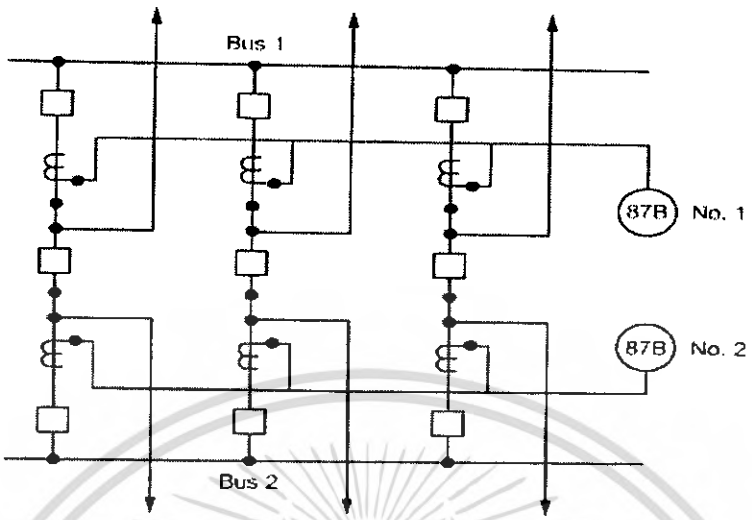
รูปที่ 4.13 การจัดเรียงแบบริงบัส

5. การจัดเรียงแบบเบรกเกอร์แอนด์อะฮาฟ (Breaker and a Half Arrangement)

- เป็นการจัดเรียงบัสที่ใช้กันมากที่สุด ในระบบแรงดันสูงและแรงดันสูงพิเศษ (Extra Hight Voltage)
- เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นเท่ากับระบบ Two bus , Two breaker แต่ใช้จำนวนเซอกิดเบรกเกอร์น้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

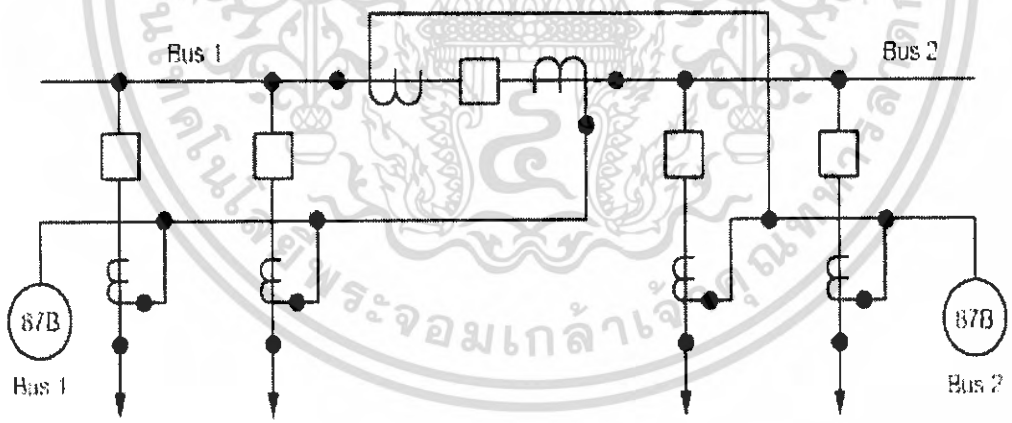
- เป็นการจัดเรียงบัสที่สามารถขยายการจ่ายไฟในอนาคตได้ง่าย



รูปที่ 4.14 การจัดเรียงแบบเบรกเกอร์แอนด์อะฮาฟ

นอกจากนี้แล้วยังมีการจัดเรียงบัสในแบบพิเศษโดยใช้บัสไทน์มาผสมอีกด้วย ได้แก่

- การจัดเรียงแบบมัลติเพิลบัสเซ็กชั่นวิทบัสไทน์(Multiple Bus Section with Bus Tie Arrangement)

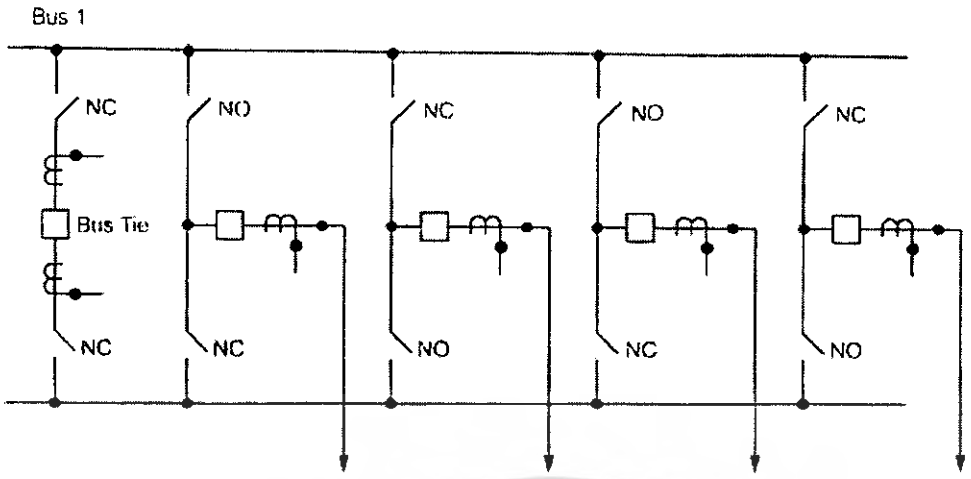


รูปที่ 4.15 การจัดเรียงแบบมัลติเพิลบัสเซ็กชั่นวิทบัสไทน์

- การจัดเรียงบัสแบบนี้นิยมใช้ในบัสระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

- การจัดเรียงแบบดับเบิ้ลบัสซิงเกิลเบรกเกอร์วิทบัสไทน์ (Double Bus Single Breaker with Bus Tie Arrangement)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 การจัดเรียงแบบดับเบิ้ลบัสซิงเกิลเบรกเกอร์วิทบัสไทน์

4.2 การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Protection)

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นตัวเชื่อมที่สำคัญที่สุดตัวหนึ่งของระบบส่งไฟฟ้า และเป็นอุปกรณ์ที่มีลักษณะสมบัติพิเศษบางอย่างที่อาจจะแตกต่างกันมากสำหรับแต่ละตัว ซึ่งจะทำให้การป้องกันหม้อแปลงแต่ละตัวให้สมบูรณ์นั้นทำได้ยาก ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นไปยังหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีพิกัดกำลังสูงซึ่งมีผลต่อระบบอย่างมาก นั่นคือหากเกิดการชำรุดของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังนี้ ซึ่งเกิดจากการเกิดความผิดพร่องในหม้อแปลงไฟฟ้า จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องขาดพลังงานไฟฟ้าไปเป็นจำนวนมากและหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังถือเป็นอุปกรณ์อีกอย่างหนึ่งที่มีราคาสูงมาก ดังนั้นการป้องกันหม้องแปลงไฟฟ้ากำลังจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง และจะต้องมีการเลือกชนิดของการป้องกันและการเลือกวิธีการป้องกันที่เหมาะสมและสมบูรณ์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในแต่ละตัว

4.2.1 เวกเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลง

เนื่องจากในปัจจุบันอุปกรณ์ป้องกันหรือรีเลย์ได้มีการพัฒนาให้มีความสามารถและใช้งานได้สะดวกขึ้นอย่างมาก โดยประเดนหนึ่งของการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าแบบวัดค่าผลต่างนั้น การปรับตั้งค่ารีเลย์จะต้องทำการกำหนดเวกเดอร์กรุ๊ปของหม้อแปลงที่จะทำการป้องกัน ซึ่งรีเลย์จะทำการเลื่อนเฟสของสัญญาณกระแสที่ได้รับจากหม้อแปลงกระแสที่ต่ออยู่ทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิให้ถูกต้องตามเวกเดอร์กรุ๊ปที่กำหนด ซึ่งในสภาวะปกตินั้นกระแสทั้งสามเฟสจะต้องอินเฟสกันทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งถ้าหากเรากำหนดเวกเดอร์กรุ๊ปให้กับรีเลย์ไม่ถูกต้องก็จะทำให้รีเลย์ทำงานผิดพลาดได้ดังนั้นเราจึงต้องเข้าใจถึงทฤษฎีเกี่ยวกับเวกเดอร์กรุ๊ปของหม้อแปลงเพื่อที่ จะสามารถปรับตั้งค่าของรีเลย์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ในการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสนั้น สามารถเลือกการต่อขดลวดภายในของหม้อแปลงด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิได้หลายแบบ ทำให้เกิดความต่างเฟสระหว่างด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิได้ ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์เป็น เวกเตอร์ไดอะแกรมได้โดยใช้หลักการดังนี้

1) ขดลวดชุดปฐมภูมิและขดลวดชุดทุติยภูมิที่สวมอยู่ในแกนเดียวกัน มีแรงดันที่อินเฟสกันและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำของขดลวดทั้งสองขด มีทิศทางเดียวกัน

2) แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นทั้งสามเฟสจะสมมาตรมีขนาดเท่ากันและจะมีความ ต่างเฟส 120 องศาซึ่งกันและกัน

เวกเตอร์กรุ๊ปนั้นเป็นการบอกข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของแรงดันของขดลวดทั้งสองด้าน ของหม้อแปลงสามเฟสด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิเป็นแบบเดลต้า (delta: D) , สตาร์(star: Y) หรือ แบบซิ๊กแซก(zigzag: Z) การบอกความต่างเฟสจะเขียนด้วยตัวเลขนาฬิกาโดยการเทียบแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำระหว่าง ขั้วทางด้านปฐมภูมิกับศูนย์ (ซึ่งบางกรณีอาจเป็น จุดเสมือนศูนย์) กับ ขั้วทางด้านทุติยภูมิกับศูนย์ โดยพิจารณาการหมุนของเฟสเวกเตอร์ว่าด้านทุติยภูมิตามด้านปฐมภูมิอยู่กี่นาฬิกา การหมุนอาจจะเป็นตามเข็ม หรือ ทวนเข็มก็ได้ แต่จะเป็นไปตามลำดับเฟส(phase sequence) ของแรงดันที่ต่อเข้า ฉะนั้นการหมุนของแรงดันอีกด้านจะตามไปด้วย ตัวเลข 1, 2, 3, 4, 5, 6 ... แสดงถึงมุมต่างกัน 30° 60° 90° 120° 150° 180° เป็นต้น ทั่วไปที่ใช้งานแบ่งได้เป็น 4 กรุ๊ป คือ

กรุ๊ป 1: ไม่มีความต่างเฟส ได้แก่ Yy0, Dd0, Dz0

กรุ๊ป 2: มีความต่างเฟส 180 องศา ได้แก่ Yy6, Dd6, Dz6

กรุ๊ป 3: มีความต่างเฟสล้าหลัง 30 องศา ได้แก่ Dy1, Yd1, Yz1

กรุ๊ป 4: มีความต่างเฟสนำหน้า 30 องศา ได้แก่ Dy11, Yd11, Yz11

อย่างไรก็ดีการต่อขดลวดของหม้อแปลงสามเฟส ยังสามารถทำการต่อได้อีกหลายรูปแบบ เวกเตอร์กรุ๊ปจึงมีความหลากหลาย แต่ลักษณะของเวกเตอร์กรุ๊ปที่มีใช้งานอยู่จริงในประเทศไทยคือ Dy1, Yd1 และ Dy11, Yd1 ซึ่งอ้างอิงจาก 2 แหล่งคือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยซึ่งจะใช้หม้อแปลงที่ต่อแบบ Dy1, Yd1 และจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งจะใช้หม้อแปลงที่มีการต่อแบบ Dy11, Yd1 ซึ่งเราจะอ้างอิงจากทั้งสองแหล่งดังที่ได้กล่าวในข้างต้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ฟอลต์ที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงนั้นมี 4 ชนิดคือ

ก) ฉนวนภายในของขดลวดหม้อแปลงเสื่อม ฟอลต์ประเภทนี้จะทำให้เกิดอาร์กขึ้นภายในถังน้ำมันจำเป็นที่จะต้องป้องกัน

ข) อุณหภูมิภายในหม้อแปลงสูงเกินไป ส่วนใหญ่จะทำให้สัญญาณเตือนภัยแล้วทำการสั่งให้ระบบระบายความร้อนทำงาน เช่น สั่งให้ปั๊มน้ำมันระบายความร้อนของถังหม้อแปลงทำงานหรืออาจจะสั่งให้ระบบพัดลมระบายความร้อนทำงานเพิ่มอีก โดยไม่จำเป็นที่จะต้องสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ตัดหม้อแปลงออกจากระบบเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค) ขดลวดภายในหม้อแปลงลัดวงจรถึงกัน ฟอลต์ประเภทนี้อันตรายมากจำเป็นที่จะต้องป้องกัน

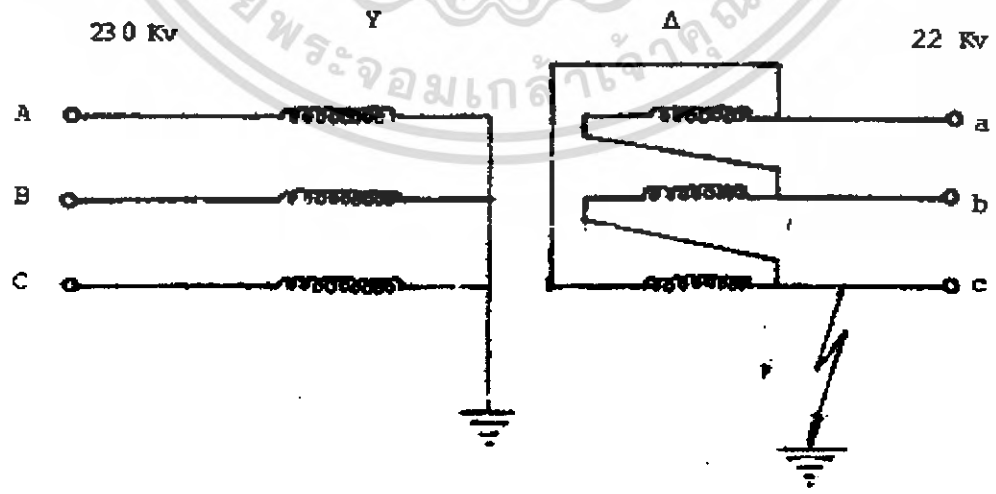
ง) ขดลวดหม้อแปลงเปิดวงจร คือการที่ขดลวดภายในหม้อแปลงด้านใดด้านหนึ่งเปิดวงจร(Open circuit) ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในลักษณะนี้จะไม่มีผลเสียใดๆ ทั้งสิ้นต่อหม้อแปลงเลย ซึ่งไม่เกิดอันตรายไม่จำเป็นต้องป้องกันก็ได้แต่จะมีผลเสียต่อระบบคือทำให้ระบบไม่มีไฟฟ้าใช้

วิธีที่จะป้องกันฟอลต์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงนั้นสามารถทำได้ดังนี้

4.2.2 การป้องกันขดลวดภายในหม้อแปลงลัดวงจรถึงกัน

ในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่มีแรงดันสูงซึ่งต่ออยู่กับสายส่งแรงดันสูงแบบพาดสายในอากาศจะมีโอกาสถูกแรงดันแบบอิมพัลส์ซึ่งสูงชัน แรงดันนี้มีขนาดค่ายอดเป็นหลายเท่าของแรงดัน กำหนดของระบบ แรงดันอิมพัลส์ที่เกิดกับสายส่งจะมีผลมากต่อขดลวดที่อยู่ตรงปลายของชุดขดลวดตัวนำซึ่งเป็นตำแหน่งแรกที่แรงดันอิมพัลส์เข้ามากระทบ การฉนวนของขดลวดส่วนที่อยู่ทางด้านปลายนี้จะมีการเสริมให้มากขึ้นแต่ก็ไม่สามารถทำให้สูงเหมือนการฉนวนกับดิน ซึ่งมีค่าสูงได้ ดังนั้นจึงมีโอกาสเกิดลัดวงจรบางส่วนในขดลวดตัวนำได้มากกว่าที่จะเกิดการลัดวงจรลงดินจากสถิติพบว่า ความเสียหายของหม้อแปลงจะเกิดขึ้นจากการลัดวงจรระหว่างรอบของขดลวดเสียเป็นส่วนใหญ่ประมาณ 70-80% การลัดวงจรระหว่างวงรอบของขดลวดเพียงไม่กี่รอบจะทำให้เกิดกระแสสูงขึ้นในวงรอบที่เกิดการลัดวงจรนั้น แต่เนื่องจากอัตราการแปลงซึ่งมีค่าสูงระหว่างขดลวดตัวนำทั้งขดและขดที่เกิดการลัดวงจรระหว่างรอบขึ้นทำให้กระแสที่ออกจากขั้วหม้อแปลงจะมีค่าน้อย

- การสร้างกราวด์จริงให้หม้อแปลงที่ไม่สามารถมีระบบกราวด์จริง ทำไมถึงต้องสร้างระบบกราวด์จริง พิจารณาหม้อแปลงที่ต่อแบบ Y-Δ ในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 การต่อหม้อแปลงแบบ Y-Δ เมื่อเกิดฟอลต์ทางด้านเดลต้ากราวด์

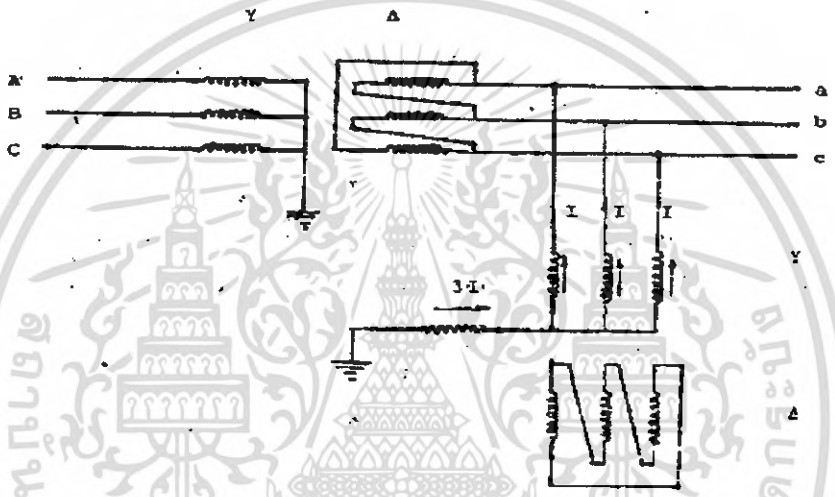
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 เมื่อเกิดฟอลต์แบบสามเฟสลงกราวด์ทางด้าน 22 เควี (KV) ซึ่งต่อเป็นรีเลย์แบบเดลต้าจะพบว่าในระบบไม่มีทางเดิน (Path) ของกระแสที่ครบวงจรได้เลย จะมีก็เพียงแต่ค่าคาปาซิแดนซ์ที่เกิดขึ้นกับสายที่เกิดลัดวงจรซึ่งเท่านั้น การที่จะตรวจสอบว่าเกิดฟอลต์ขึ้นนั้น สามารถทำได้ 3 วิธี คือ

- ตรวจสอบซีโรซีเควนซ์ของแรงดัน (Detect zero sequence voltage)
- ตรวจสอบซีโรซีเควนซ์ของกระแส (Detect zero sequence current)
- การต่อให้ระบบมีกราวด์จริง (Grounding transformer)

ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการทำให้ระบบมีกราวด์จริง (Grounding transformer) คือ

ก. แบบที่ใช้หม้อแปลงต่อแบบ Y-Δ ดังรูป4.18

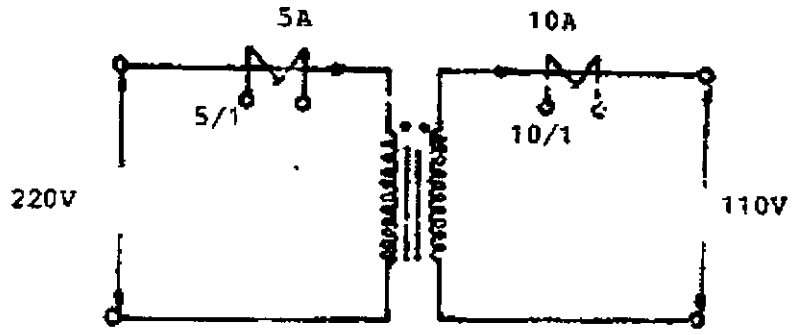


รูป 4.18 การต่อกราวด์จริงให้กับระบบโดยใช้หม้อแปลง Y-Δ ต่อเป็นหม้อแปลงกราวด์ (Grounding transformer)

- การต่อหม้อแปลงกระแส (ซีที) ให้ถูกต้อง จะต่อหม้อแปลงกระแส (ซีที) เพื่อใช้กับหม้อแปลงกำลังสามเฟสจะต่ออย่างไรจึงจะถูกต้อง ถ้าต่อหม้อแปลงกระแสผิดรีเลย์จะทำงานผิดพลาด ดังนั้นในการต่อหม้อแปลง (ซีที) เพื่อให้กับหม้อแปลงสามเฟสเพื่อใช้กับรีเลย์กระแสต่าง (Differential relay) ควรจะมีข้อกำหนดดังนี้

- หม้อแปลงกระแส (ซีที) ที่ใช้จะต้องมีอัตราการทดกระแสเป็นสัดส่วนกันในด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิ เพราะกระแสที่ไหลในด้านทั้งสองของหม้อแปลงไม่เท่ากัน เนื่องจากแรงดันในแต่ละด้าน เช่น หม้อแปลงหนึ่งเฟสขนาด 1.1 เควีเอ 220 / 110 โวลต์ ด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิจะมีกระแสไหลเป็นสัดส่วนกันคือ 5 และ 10 แอมแปร์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 กระแสและแรงดันของหม้อแปลงหนึ่งเฟส 1.1 kVA 220 / 110 V

ดังนั้นการเลือกขนาดของหม้อแปลงสำหรับด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิจะต้องเลือกให้มีขนาดเป็น 5 / 1 และ 10 / 1 จึงจะเหมาะสม

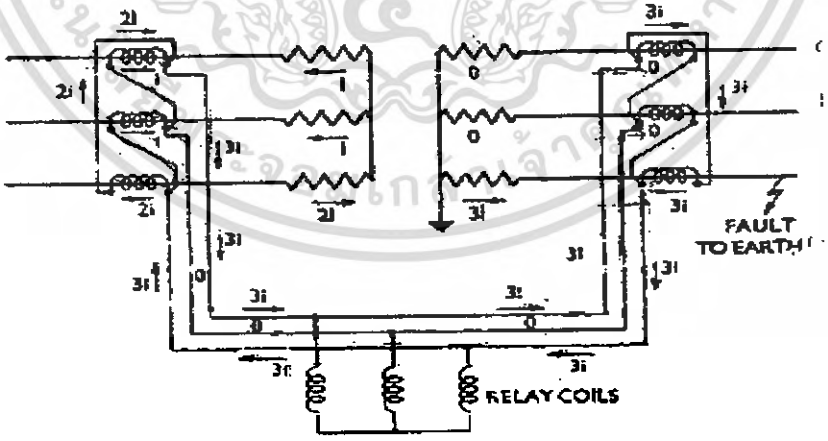
- การต่อซีทีกับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง สำหรับหม้อแปลงกำลังสามเฟส (3 – phase power tranformer) ขดลวดด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิต่อเป็นแบบเดียวกัน หรือคนละแบบกันการต่อซีทีจะต้องให้ถูกต้อง ซึ่งมีอยู่ 3 แบบ คือ

ก. หม้อแปลงแบบวาย – วาย จะต่อซีทีแบบเดลต้า – เดลต้า

ข. หม้อแปลงแบบเดลต้า – เดลต้า จะต่อซีทีแบบวาย – วาย

ค. หม้อแปลงแบบวาย – เดลต้า จะต่อซีทีแบบเดลต้า – วาย

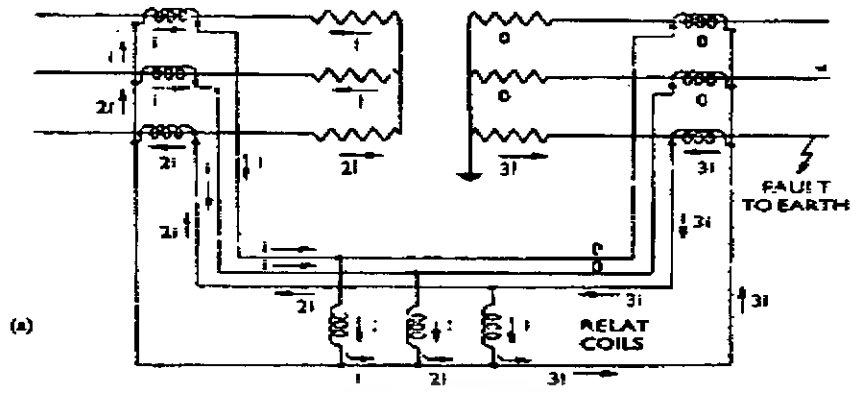
ก) หม้อแปลงที่ต่อเป็นแบบวาย – วาย (Y – Y) จะต้องต่อซีทีให้เป็นแบบเดลต้า – เดลต้าดังรูปที่ 4.20 รีเลย์จึงจะทำงานได้ถูกต้อง เช่นเมื่อเกิดฟอลต์นอกเขตป้องกันเฟสใดเฟสหนึ่งลงกราวด์ รีเลย์จะไม่ทำงานเพราะไม่มีกระแสไหลในคอลย์ทำงานของรีเลย์เนื่องจากกระแสต่างในคอลย์รีเลย์แต่ละเฟสเป็นศูนย์



รูปที่ 4.20 การต่อซีทีแบบเดลต้า – เดลต้าเพื่อใช้กับหม้อแปลงที่ต่อเป็นแบบวาย – วาย

แต่ถ้าต่อซีทีแบบวาย – วาย กับหม้อแปลงที่ต่อแบบวาย – วายแล้ว เมื่อเกิดฟอลต์นอกเขตป้องกันรีเลย์จะทำงานดังรูปที่ 4.21 ซึ่งผิดกับวัตถุประสงค์ของเรา ที่เราไม่ต้องการให้รีเลย์ทำงานเมื่อเกิดฟอลต์นอกเขตป้องกัน

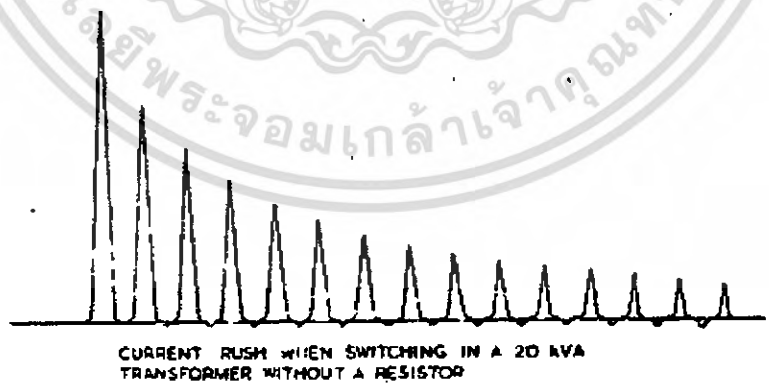
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 การต่อซีทีแบบวาย – วาย กับหม้อแปลงที่ต่อแบบวาย –วาย

4.2.3 การตั้งรีเลย์ให้ถูกต้องกับกระแสฟอลต์และผลของกระแสอินรัช (Inrush – current)

ในการตั้งรีเลย์ให้ถูกต้องกับกระแสฟอลต์นั้นในสภาวะโหลดหม้อแปลงเต็มที่ (Full load) รีเลย์จะต้องไม่ทำงานขณะเดียวกันเมื่อหม้อแปลงไม่ต่อโหลดหรือขณะต่อเบรกเกอร์ รีเลย์จะต้องไม่ทำงาน เนื่องจากว่าในตอนเริ่มต้นต่อไฟเข้ากับหม้อแปลงนั้นจะมีกระแสแมกเนติกอินรัช (Magnetizing current inrush) ที่มีค่าสูงมากและกระแสนี้จะไหลเฉพาะในขดปฐมภูมิของหม้อแปลงเท่านั้น ด้านทุติยภูมิจะไม่มีกระแสนี้ไหล ทำให้รีเลย์ตรวจพบคล้ายกับว่ามีกระแสรั่วลงดินด้านปฐมภูมิ ดังนั้นมันจึงสั่งการให้เบรกเกอร์ตัดวงจรออก ดังนั้นเราจึงต้องตั้งค่าทำงานของรีเลย์ให้สูงไว้ไม่ให้มีรีเลย์เริ่มทำงาน เมื่อต่อไฟฟ้าครั้งแรกหรืออาจต่อวงจรของคอลย์ทำงานลีเรย์ไว้ก่อนตอนต่อไฟเข้าหม้อแปลงก็ได้ สำหรับกระแสอินรัช (Inrush current) จะมีรูปร่างดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 กระแสอินรัช (Inrush – current) ของหม้อแปลงขณะเริ่มต่อไฟเข้าด้านปฐมภูมิ

ในขณะที่สับสวิตช์จ่ายไฟให้กับหม้อแปลงจะมีกระแสพุ่งเข้าซึ่งอาจจะมีขนาดค่ายอดสูงถึง 8เท่าของกระแสพิกัดของหม้อแปลง กระแสพุ่งเข้าถูกเห็นโดยหม้อแปลงกระแสที่ต่อด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงเท่านั้น ดังนั้นขณะที่สวิตช์จ่ายไฟให้กับหม้อแปลงระบบป้องกันแบบวัตค่าผลต่างจะเข้าใจว่าเกิดการลัดวงจรขึ้นและรีเลย์จะทำงานทั้งๆที่เป็นสภาวะปกติ วิธีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้ปัญหาเกี่ยวกับกระแสพุ่งเข้านี้ทำได้โดยการใช้วิธีลดขนาดของกระแสพุ่งเข้าเช่นต่อความด้านทานอนุกรมกับวงจรหรือใช้วิธีการสับสวิตช์จ่ายไฟให้กับหม้อแปลง โดยขั้นแรกจ่ายแรงดันเพียงครึ่งหนึ่งก่อนแล้วค่อยจ่ายแรงดันเต็มพิกัดในขั้นที่สอง หรืออาจจะต่อตัวเก็บประจุขนานกับขดลวดของหม้อแปลงทำให้เมื่อสับสวิตช์ปลดหม้อแปลงออก วงจรนี้จะจำกัดอำนาจแม่เหล็กค้างในหม้อแปลงออกไปหรือไม่ก็ใช้วงจรด้านผลฮาร์โมนิค (Harmonic Restraint) ซึ่งมีการทำงานโดยนำฮาร์โมนิคต่าง ๆของกระแสพุ่งเข้ามาใช้เป็นสัญญาณในการยับยั้งการทำงานของรีเลย์ให้เหลือแต่ส่วนที่เป็นความถี่หลักมูลฐานเท่านั้นที่ผ่านไปได้ทำให้รีเลย์แบบวัดค่าผลต่างนี้ไม่ทำงานผิดพลาดขณะเกิดกระแสพุ่งเข้า

วิธีแก้ไขผลของกระแสอินรัชอีกวิธีคือ ใช้รีเลย์กระแสต่าง (Differential relay) แบบที่ถ่วงเวลาไว้ประมาณ 0.2 วินาที หรือมากกว่าซึ่งในช่วงเวลานี้ผลของกระแสอินรัชจะหมดไป รีเลย์จึงไม่ตัดในช่วงเวลาดังกล่าว แต่ถ้าเกิดฟอลต์จริง ๆ ขณะต่อไฟเข้าหม้อแปลงครั้งแรก การถ่วงเวลา 0.2 วินาที นี้อาจทำความเสียหายได้ ดังนั้นการถ่วงรีเลย์หรือต่อลัดวงจรคอลย์ของรีเลย์จึงไม่ใช้การแก้ผลของกระแสอินรัชอย่างถูกต้อง วิธีที่ถูกต้องและเหมาะสมคือ ใช้ผลของกระแสฮาร์มอนิกไปด้านการทำงานของรีเลย์ (Harmonic restraint current) ดังรูปที่ 4.35 ซึ่งรีเลย์ของหลายบริษัทก็มีชุดกระแสฮาร์มอนิกด้านการทำงานของรีเลย์เช่นกันอย่างรีเลย์ชนิด (Duo – bias hing speed differential relay)

ซึ่งเมื่อมีกระแสอินรัชเกิดขึ้น ขดลวดทำงานของรีเลย์ (Operaing coil) จะรับกระแสจากชุดกรอง (Filter) ให้เฉพาะฮาร์มอนิกที่ 1 และ 3 ผ่านเท่านั้น ส่วนฮาร์มอนิกที่ 2 และฮาร์มอนิกอื่น ๆ จะไหลเข้าไปยังขดด้านการทำงาน (Restraining coil) จึงทำให้รีเลย์ไม่ทำงานขณะมีกระแสอินรัช จะพบว่ากระแสอินรัชมีฮาร์มอนิกต่าง ๆ ดังนี้

ฮาร์มอนิก	ขนาดของฮาร์มอนิก (ที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ %)
1	100
2	63
3	26.8
4	5.1
5	4.1
6	3.7
7	2.4

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าฮาร์โมนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การป้องกันหม้อแปลงที่มีขดลวด 3 ขด

หม้อแปลง 3 ขดลวดจะสามารถป้องกันได้อย่างดีด้วย โดยการใช้ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์ (Differential Relay (D.R)) การป้องกันหม้อแปลง 3 ขดลวดด้วยดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์สามารถทำได้โดยมีข้อกำหนดของ เรื่องแหล่งจ่ายไฟ

-หม้อแปลง 3 ขดลวด ที่มีแหล่งจ่ายไฟเพียงแหล่งเดียว

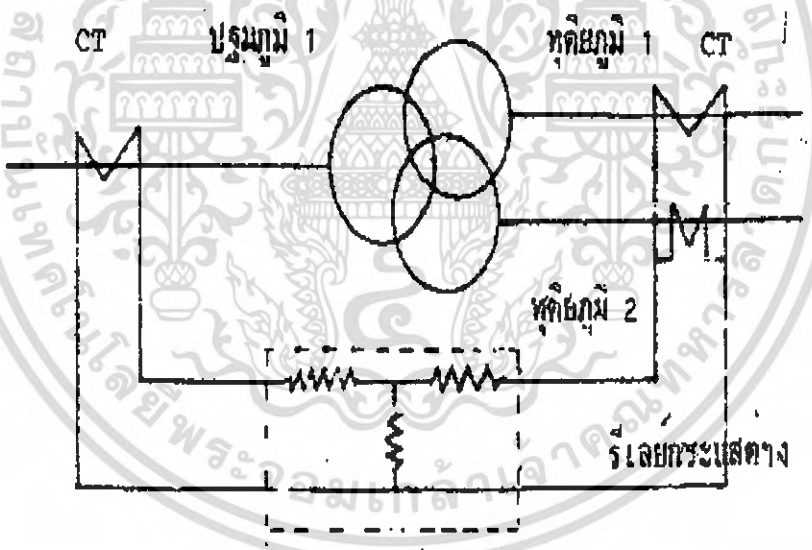
-หม้อแปลง 3 ขดลวด ที่มีแหล่งจ่ายไฟหลายแหล่ง

1) หม้อแปลง 3 ขดลวด ที่มีแหล่งจ่ายไฟเพียงแหล่งเดียว

หม้อแปลงแบบนี้มีแหล่งจ่ายไฟที่มีขดลวด 1 ขดลวด และอีก 2 ขดลวดจะทำการจ่ายไฟให้กับโหลดของดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์ ที่ใช้งานจะมีเพียง 2 Set of CT Input

2) หม้อแปลง 3 ขดลวด ที่มีแหล่งจ่ายไฟหลายแหล่ง

หม้อแปลงแบบนี้จะทำให้เกิดกระแสลัดวงจรมีหลายอินฟีด (In feed) ดังนั้นใช้ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์ที่ใช้จะต้องมีอินพุทเข้ามากกว่า 2 ชุด โดยพิจารณาการต่อซีทีระหว่างขดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิก่อน แล้วจึงทำการต่อซีทีระหว่างขดปฐมภูมิกับทุติยภูมิขดที่ 2 (Tertiary) ซึ่งการต่อขดทุติยภูมิขดที่ 2 (Tertiary) นี้สามารถต่อเข้ากับขดปฐมภูมิประสานเข้ากันได้เองโดยอัตโนมัติดังรูปที่ 4.23



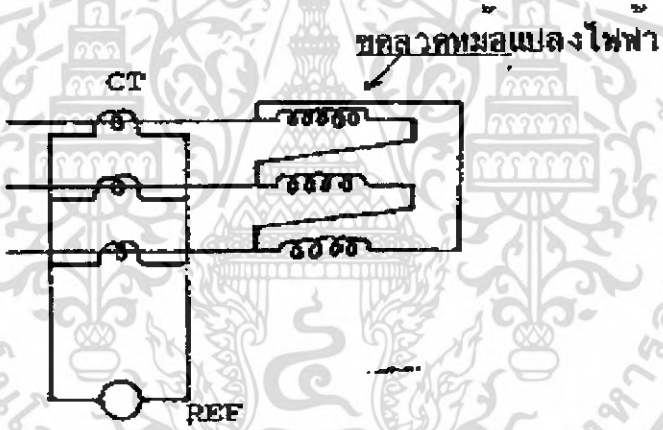
รูปที่ 4.23 การต่อซีทีกับหม้อแปลงที่มีขดลวดสามขด

จากรูปที่ 4.23 แสดงการป้องกันหม้อแปลง 3 ขด โดยต่อเพียงเฟสเดียว ซึ่งซีทีด้านขวามือสองตัวจะรวมกระแสทั้งสองสายเข้าด้วยกันเพื่อเปรียบเทียบกับกระแสจากซีทีด้านขวามือในสภาวะปกติผลรวมของกระแสในซีทีด้านขวามือจะเท่ากับด้านซ้ายมือ แต่ถ้าเมื่อใดเกิดฟอลต์ขึ้นผลรวมของกระแสด้านขวามือจะไม่เท่ากับด้านซ้ายมือรีเลย์ก็จะทำงาน

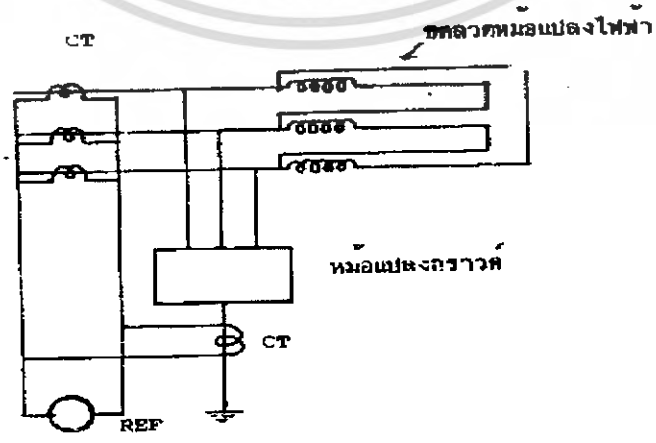
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การป้องกันขดลวดลัดวงจรลงดินแบบจำกัดบริเวณ (Restricted – earth – fault protection)

เนื่องจากการป้องกันหม้อแปลงแบบใช้รีเลย์กระแสต่าง (Differental relay) นั้นไม่สามารถที่จะป้องกันการลัดวงจรของหม้อแปลงลงดินได้หมด เนื่องจากหม้อแปลงต่อลงดินผ่านความด้านทาน ทำให้กระแสฟอลต์ลงดินภายในขดลวดมีค่าน้อยเกินไป รีเลย์กระแสต่าง ๆ (Differental relay) ไม่สามารถป้องกันได้หมด ป้องกันได้เฉพาะบางส่วนเท่านั้น ซึ่งการป้องกันจะไม่สมบูรณ์ ถ้าหากต้องการให้ระบบป้องกันสมบูรณ์แบบขึ้นจะต้องมีระบบการป้องกันขดลวดลัดวงจรลงดินแบบจำกัดบริเวณ (Restricted – earth – fault protection) เพิ่มอีกชุดหนึ่ง คือจะต้องใส่รีเลย์แบบจำกัดบริเวณ (Restricted earth fault) ต่อจากหม้อแปลงกระแสซึ่งต่ออยู่กับสายกราวด์ของหม้อแปลงที่ต่อผ่านความด้านทานลงดิน สำหรับรีเลย์ที่ใช้จะเป็นแบบรีเลย์ที่มีค่าอิมพีแดนซ์สูง (High impedance relay) การป้องกันลงดินแบบจำกัดบริเวณนี้สามารถทำได้หลายแบบดังตัวอย่างต่อไปนี้



รูปที่ 4.24 การต่อรีเลย์ป้องกันขดลวดลงดินแบบไม่จำกัดบริเวณกับหม้อแปลงที่มีขดลวดแบบเดลต้าแต่ไม่มีสายนิวตรอนอยู่ในเขตที่ป้องกัน



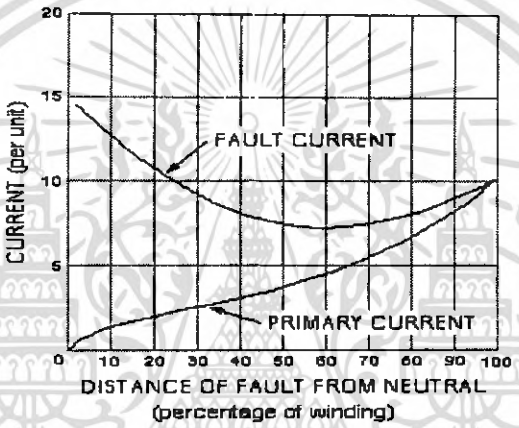
รูปที่ 4.25 การต่อรีเลย์แองกันขดลวดลงดินแบบจำกัดบริเวณกับหม้อแปลงที่มีขดลวดต่อเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบเดลต้าแต่สายนิวตรอนอยู่ในเขตป้องกันโดยต่อผ่านหม้อแปลงระบบกราวด์จริง (Earthing transformer) ลงดิน

4.2.6 หม้อแปลงต่อแบบสตาร์ที่มีการต่อจุดศูนย์ลงดินโดยตรง

ในกรณีที่มีการต่อแบบนี้ กระแสลัดวงจรจะถูกจำกัดโดยรีแอคแตนซ์รั่วไหลของขดลวดตัวนำโดยตรงและค่ารีแอคแตนซ์นี้จะแปรตามตำแหน่งของการลัดวงจร โดยค่ารีแอคแตนซ์ในกรณี นี้จะลดลงอย่างรวดเร็วมากถ้าการลัดวงจรเกิดขึ้นใกล้จุดศูนย์ ทำให้กระแสลัดวงจรมีค่าสูงสุดในตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจรใกล้กับจุดศูนย์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรของกรณีนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 กระแสลัดวงจรลงดินในหม้อแปลงที่ต่อเป็นแบบสตาร์และต่อจุดกลางลงดินโดยตรง

จากรูปพิจารณาได้ว่ากระแสลัดวงจรจะมีค่าสูงตลอดทั้งขดลวดไม่ว่าการลัดวงจรจะเกิดขึ้น ที่ใดและจะสังเกตุได้ว่ากระแสไหลเข้าทางด้านปฐมภูมิ ก็จะมีค่าสูงสำหรับการลัดวงจรในขดลวดส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า เมื่อไม่มีอิมพิแดนซ์ต่อระหว่างจุดกลางกับดินกระแสลัดวงจรจะมีค่าสูงกว่ากรณีที่มีการต่ออิมพิแดนซ์ต่ออยู่ระหว่างจุดกลางกับดิน

4.2.7 การเปลี่ยนแท็ป

ระบบป้องกันแบบวัดค่าผลต่างของหม้อแปลงที่มีการเปลี่ยนแท็ปจะต้องใช้รีเลย์แบบวัดค่าผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ วิธีการคำนวณค่าปรับตั้ง(Setting) ของรีเลย์แสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

<u>ตัวอย่าง</u> หม้อแปลงต่อแบบ Star - Delta มีอัตราส่วนการแปลง 100 kV /10 kV ด้านแรงสูงมีการเปลี่ยนแท็บได้ 15% จงคำนวณหาค่า Setting ของรีเลย์วัดค่าผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยสมมติว่า CT ด้านแรงต่ำมีอัตราส่วนการแปลง 1000/1

<u>วิธีทำ</u>

CT ด้านแรงสูงมีอัตราการแปลง = (1000/1) x (10/100) = (100/1)

เมื่อหม้อแปลงมีอัตราส่วน 100 kV/10 kV ตามทที่ระบุ IO/IR = 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อหม้อแปลงมีแท็ปที่ + 15 % IO = 0.13 A

IR เฉลี่ย = 0.935 A

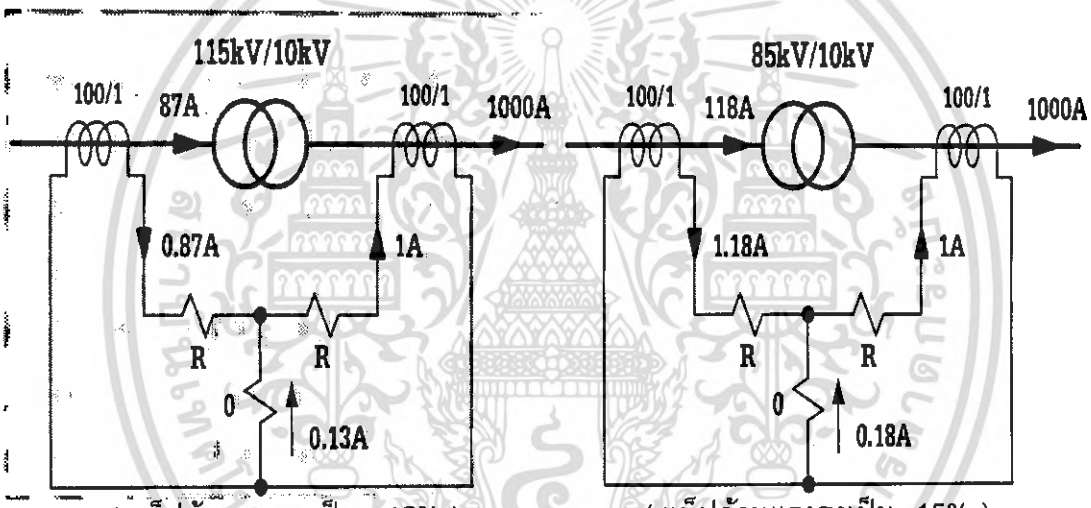
IO/IR = 14%

เมื่อหม้อแปลงมีแท็ปที่ -15 % IO = 0.18 A

IR เฉลี่ย = 1.09 A

IO/IR = 16.5%

การปรับตั้งของรีเลย์วัดค่าผลต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ในที่นี้ควรจะสูงกว่า 16.5% แต่ในการใช้งานจริงควรเผื่อไว้พอสมควรในกรณีนี้เลือกการปรับตั้ง 30% ส่วนในกรณีหม้อแปลงที่มีการเปลี่ยนแท็ปได้เป็น 10% จะใช้การปรับตั้ง 20% และในกรณีหม้อแปลงที่มีการเปลี่ยนแท็ปได้ 20% จะใช้การปรับตั้ง 40% และเวลาทำงานรีเลย์ประมาณ 0.020 วินาที ถึง 0.060 วินาที



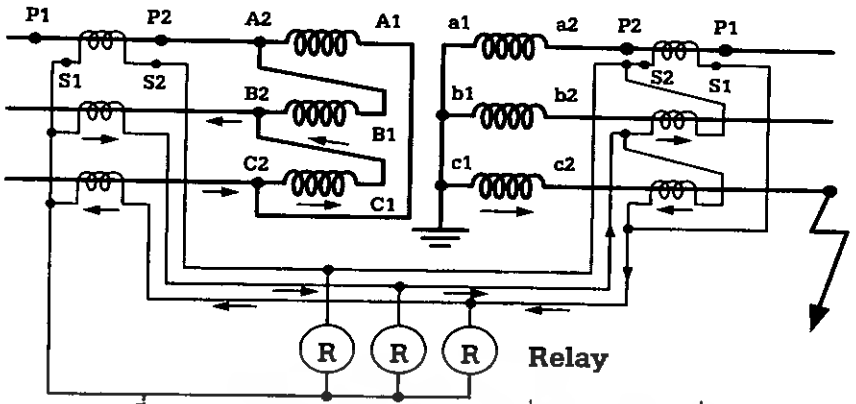
(แท็ปด้านแรงสูงเป็น +15%) (แท็ปด้านแรงสูงเป็น -15%)

รูปที่ 4.27 ค่ากระแสตามจุดต่างๆของหม้อแปลง 100 kV / 10 kV

4.2.8 การเลื่อนเฟส

หม้อแปลงที่มีการต่อขดลวดปฐมภูมิกับขดลวดทุติยภูมิแตกต่างกันเช่น สตาร์เดลต้า หรือ เดลต้าสตาร์ จะมีเฟสของกระแสต่างกันเป็นมุม 30 องศา การป้องกันระบบกระแสไหลวนจะทำงานได้ถูกต้องก็ต่อเมื่อมีการชดเชยการเลื่อนเฟสนี้ กฎทั่วไปที่ยึดถือคือ สำหรับด้านของหม้อแปลงที่มีขดลวดต่อแบบสตาร์ หม้อแปลงกระแสควรจะต่อแบบเดลต้า และด้านที่ขอลวดต่อแบบเดลต้า และด้านที่ขอลวดต่อแบบเดลต้า หม้อแปลงกระแสจะต้องต่อแบบสตาร์ การต่อหม้อแปลงกระแสตามกฎนี้ยังเป็นการชดเชยเพื่อป้องกันไม่ให้รีเลย์ทำงานเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินนอกโซนเขตป้องกันด้วยเพราะขดลวดเดลต้าของหม้อแปลงเป็นแหล่งกำเนิดกระแส Zero-Sequence ในขณะที่ขดลวดสตาร์ กระแส Zero-Sequence ในขณะที่ขดลวดสตาร์ กระแส Zero-Sequence จะมาจากที่จุดต่อลงดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 การต่อหม้อแปลงกระแสเพื่อชดเชยการเลื่อนเฟส

อย่างไรก็ดีในปัจจุบันนั้นมีการพัฒนาการผลิตรีเลย์ให้มีความสามารถในการเลื่อนเฟสในตัวซึ่งทำให้ง่ายในการใช้งานในปัจจุบันมากยิ่งขึ้น ซึ่งการใช้งานรีเลย์นี้มีความสะดวกแต่จะต้องทราบถึงความต่างเฟสระหว่างกระแสทางด้านปฐมภูมิกับกระแสทุติยภูมิว่ามีมุมเฟสต่างกันเท่าไร ซึ่งมุมต่างเฟสนี้เราสามารถรู้ได้จากการต่อขดลวดภายในหม้อแปลงซึ่งสามารถบอกได้ในลักษณะของ เวกเตอร์กรุ๊ป (Vector Group) ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป ซึ่งจะมีประโยชน์ในการปรับค่าค่าให้กับอุปกรณ์ป้องกัน(รีเลย์)

4.2.9 การลัดวงจรที่แกนเหล็กของหม้อแปลง

ถ้าการฉนวนระหว่างแผ่นเหล็กที่ใช้ทำแกนเหล็กเกิดการชำรุด จะทำให้เกิดกระแสไหลวนที่มีค่าสูงพอที่จะทำให้เกิดความร้อนสูงได้ ด้วยึดซึ่งอัดแกนเข้าไว้ด้วยกันมักจะมีฉนวนเพื่อป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ ถ้าฉนวนของแกนส่วนใดส่วนหนึ่งเกิการชำรุดผลของความร้อนที่เกิดขึ้นอาจจะพอที่จะทำให้ขดลวดตัวนำเสียหายได้ แม้ว่าความสูญเสียในแกนเหล็กที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้เกิด ความร้อนสูงที่ตำแหน่งต่างๆไม่สม่ำเสมอ แต่จะไม่ทำให้กระแสที่ไหลเข้าเปลี่ยนแปลงมากอย่างชัดเจนและไม่สามารถจะมองเห็นหรือทราบได้ด้วยวิธีป้องกันทางไฟฟ้าแบบธรรมดาแต่ก็ควรจะหาวิธีการตรวจสอบอย่างทันท่วงทีก่อนที่การลัดวงจรจะลุกลามไปมาก ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่เราพิจารณานั้นเป็นแบบแช่อยู่ในน้ำมันสามารถทำได้ไม่ยากนัก เพราะถ้าความร้อนขึ้นสูงเพียงพอที่จะเป็นอันตรายต่อฉนวนของขดลวดตัวนำ แล้วผลของความร้อนนั้นก็จะสูงพอที่จะทำให้น้ำมันแยก ตัวเกิดเป็นก๊าซขึ้นได้ ก๊าซที่เกิดขึ้นสามารถใช้รีเลย์บุคโฮลซ์ตรวจจับและป้องกันได้เป็นอย่างดี

4.2.10 ความผิดปกติที่ถังหม้อแปลง

การรั่วของน้ำมันออกจากถังของหม้อแปลงจะทำให้เกิดสภาพที่อันตรายต่อตัวหม้อแปลงเพราะจะทำให้การฉนวนของขดลวดตัวนำลดลงจากเดิม นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดความร้อนสูง เกินขนาดเพราะว่าการระบายความร้อนจะแย่ลงและตะกอนของน้ำมันอาจเป็นสาเหตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการอุดตันของท่อระบายความร้อนทำให้หม้อแปลงร้อนขึ้นมากกว่าปกติ นอกจากนั้นถ้าระบบระบายความร้อนแบบมีระบบเครื่องช่วยระบายความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังพิกัดสูงๆเกิดใช้การไม่ได้ก็จะทำให้เกิดความร้อนสูงมากเช่นกัน ซึ่งจะนำไปสู่การเกิดความผิดพร่องภายในตัวของหม้อแปลง

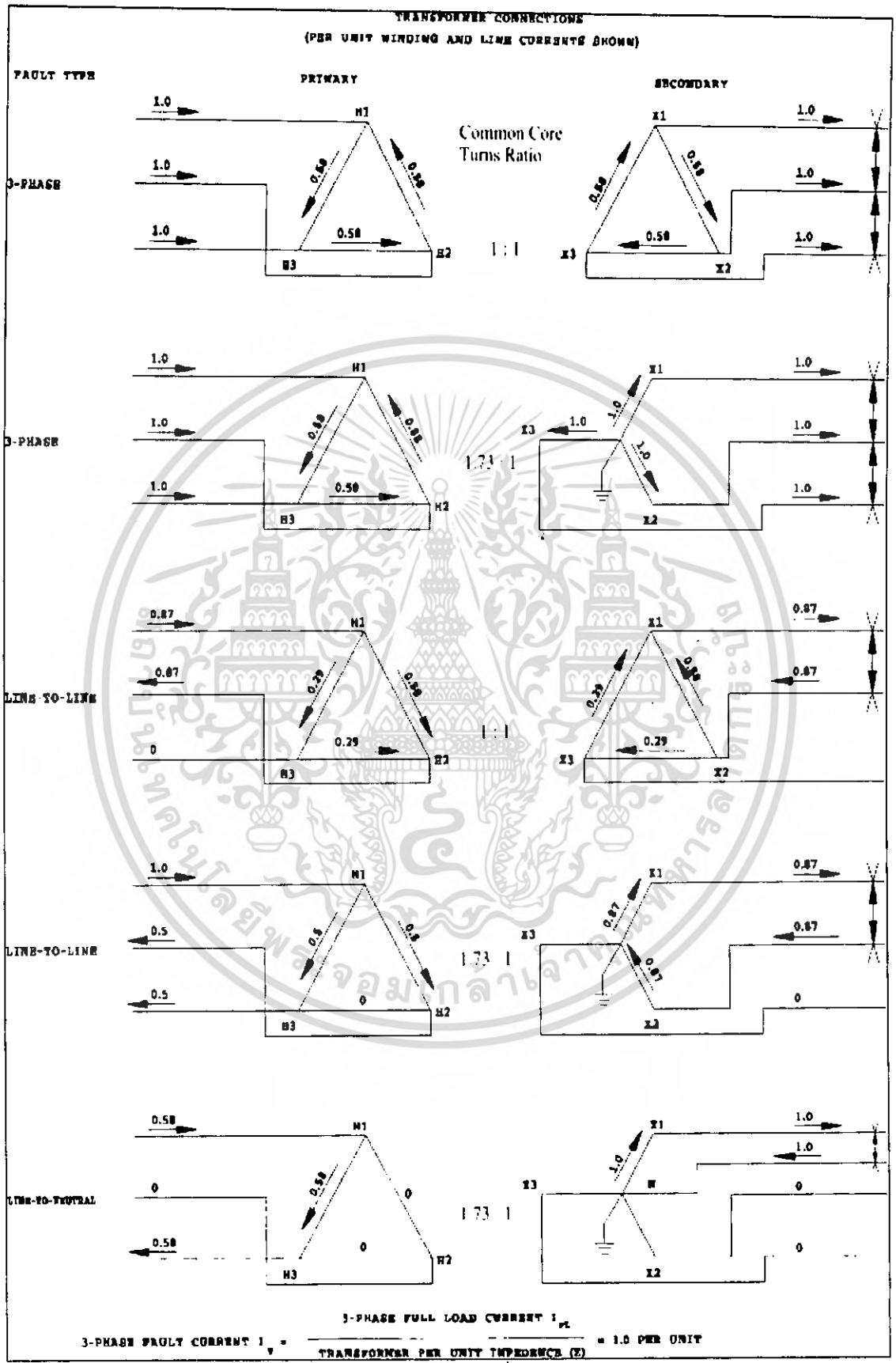
4.2.11 การป้องกันหม้อแปลงโดยใช้รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent relay protection)

ฟอลท์ภายนอกที่เกิดขึ้นสามารถทำให้หม้อแปลงเสียหายได้ ถ้าไม่สามารถกำจัดฟอลท์ได้จะนำไปสู่การเกิด overload ขึ้นทำให้เกิดความร้อนเกินและหม้อแปลงเสียหาย รีเลย์กระแสเกินใช้ป้องกันหม้อแปลงจากฟอลท์ที่บัสหรือสายส่งก่อนที่หม้อแปลงจะเสียหาย สำหรับหม้อแปลงขนาดเล็กรีเลย์กระแสเกินจะใช้ป้องกันฟอลท์ภายในหม้อแปลง ส่วนหม้อแปลงขนาดใหญ่รีเลย์กระแสเกินจะใช้เป็นรีเลย์สำรอง (relay backup) จากรีเลย์ผลต่างหรือรีเลย์แรงดัน (pressure relay)

Phase time overcurrent ค่า pickup ของเฟสรีเลย์กระแสเกินจะต้องสูงมากกว่าค่ากระแสเกิน(overload)ที่หม้อแปลงสามารถรับได้ และค่ากระแสพุ่งเข้า ถ้า time over current relay ใช้ป้องกันทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงเพื่อป้องกันหม้อแปลงจากฟอลท์ภายในที่เกิดขึ้น การตั้งค่า pickup จะตั้งค่าให้สูงกว่าค่า overload ของหม้อแปลงที่รับได้ แต่ต่ำน้อยกว่าค่ากระแสเกินที่จะทำการป้องกันหม้อแปลง โดยจะตั้งค่าที่ 125-150%ของพิกัดหม้อแปลงสูงสุด (maximum kVA) ถ้ารีเลย์กระแสเกินใช้ป้องกันทางด้านแรงสูง (Δ) ของหม้อแปลง $\Delta - Y$ ground จะมีปัญหาในการป้องกันฟอลท์ที่หม้อแปลงและการ coordinate กับการป้องกันด้านแรงต่ำ สำหรับด้านแรงต่ำ (Y) ที่phase to phase ฟอลท์ ค่ากระแสไลน์ด้านแรงสูงจะมีค่า 115% ของกระแสเปอร์ยูนิดด้านแรงต่ำ สำหรับด้านแรงต่ำ(Y) phase to ground ฟอลท์กระแสไลน์ด้านแรงสูงมีค่า 58% องกระแสเปอร์ยูนิดด้านแรงต่ำ พิจารณาได้ในรูปที่ 4.35 เมื่อด้าน Y ต่อกับกราวด์ที่ต่อผ่านตัวต้านทาน ค่ากระแสฟอลท์ด้านแรงสูงจะมีค่าน้อยกว่าค่ากระแสโหลดสูงสุดของหม้อแปลง

Phase instantaneous overcurrent Instantaneous overcurrent ใช้สำหรับกำจัดฟอลท์ภายในได้อย่างรวดเร็ว เมื่อใช้ Instantaneous overcurrent จะต้องตั้งค่า pick up ให้มีค่าสูงกว่าค่ากระแสฟอลท์สูงสุดแบบไม่สมมาตรหรือค่ากระแสฟอลท์แบบ 3 เฟสด้านแรงต่ำ ค่า pick up จะใช้ที่ 175% (จะเปลี่ยนแปลงในช่วง 125-200%) ของค่ากระแสฟอลท์สูงสุดแบบ 3 เฟสด้านแรงต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 ค่ากระแสในสายและขดลวดหม้อแปลงที่ต่อแบบเดลต้า-เดลต้าและเดลต้า-วาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tertiary-winding overcurrent วิธีการป้องกัน tertiary winding จะขึ้นกับโหลดที่ต่ออยู่ ถ้าขดลวด tertiary ไม่ได้ต่อกับโหลด การป้องการสามารถทำได้โดยใช้รีเลย์กระแสเกินหนึ่งตัวต่ออนุกรมกับ CT ต่อหนึ่งขดลวดที่ต่อแบบเดลต้า รีเลย์นี้จะสามารถตรวจสอบระบบกราวด์ดีเท่ากับการเกิดฟอลท์ในขดลวด tertiary หรือในสาย (leads) ถ้าขดลวด tertiary ต่อกับโหลดการป้องกันทำได้โดยใช้รีเลย์กระแสเกินหนึ่งตัวต่อขนานกับ CT สามตัวเพื่อป้องกันขดลวดที่ต่อแบบเดลต้า การต่อแบบนี้จะป้องกันการเกิดเฉพาะกระแสเกิน zero sequence ไม่สามารถป้องกันกระแสเกิน positive และ negative sequence ในกรณีนี้รีเลย์จะทำงานเฉพาะการป้องกันระบบกราวด์ แต่ไม่ป้องกันเฟสฟอลท์ในขดลวด tertiary หรือสาย (leads)

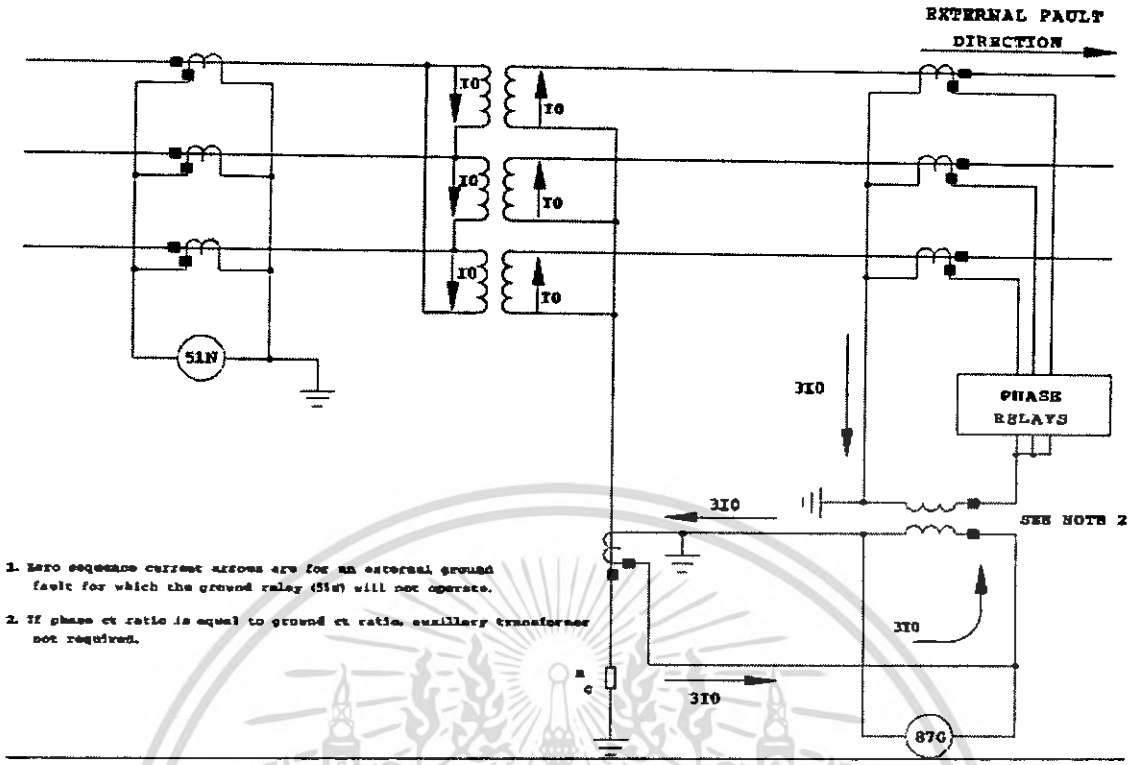
4.2.12 การป้องกันหม้อแปลงทางด้านกราวดน์ (Ground fault protection)

การตรวจจับกราวนด์ฟอลท์สามารถใช้รีเลย์ผลต่างหรือรีเลย์กระแสเกินในการป้องกันได้ แต่การใช้งานจะขึ้นกับรูปแบบการต่อขดลวดของหม้อแปลง , ความเหมาะสมของ CT , แหล่งเกิดกระแส zero sequence , การออกระบบและการทำงานจริง

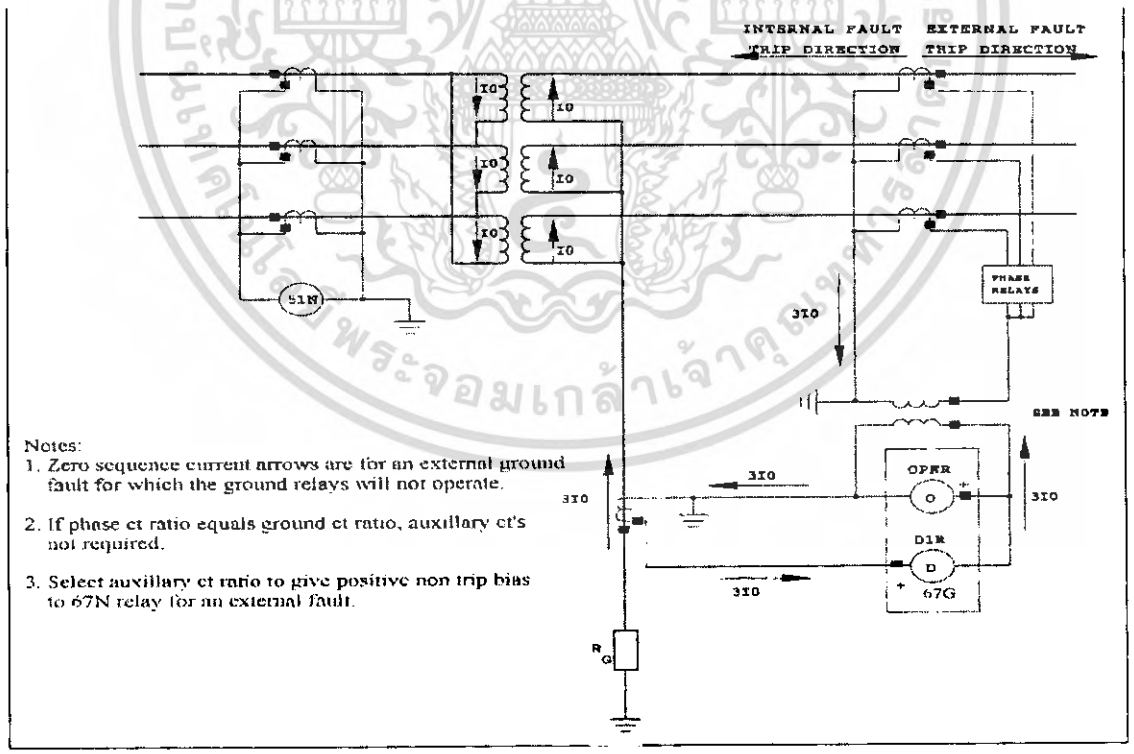
Faults in delta connected transformer windings รีเลย์กระแสเกิน(51N)ที่แสดงในรูปที่ 4.50 และ 4.51 จะตรวจจับกราวนด์ฟอลท์ที่เกิดขึ้นในขดลวดแบบเดลต้าของหม้อแปลงไฟฟ้าและแต่ละเฟสของสายตัวนำที่ต่อระหว่าง CT แต่ละตัว และขดลวดหม้อแปลงเมื่อเกิดกระแส zero sequence จากแหล่งจ่ายภายนอก รีเลย์กระแสเกินแบบทันทีทันใด(instantaneous overcurrent relays) จะใช้งานมาก แต่การตรวจจับจะผิดพลาดเมื่อเกิดการอิ่มตัวของ CT และผลจากกระแสพุ่งเข้า(magnetizing inrush current) สามารถหลีกเลี่ยงปัยหานี้ได้โดยการตั้งค่ารีเลย์กระแสเกินให้ทำงานที่เวลาสั้น ๆ (short-time overcurrent with a sensitive setting)

Faults in grounded wye-connected transformer windings การที่จะตรวจจับกราวนด์ฟอลท์ด้านขดลวดที่ต่อแบบวายของหม้อแปลงระบบรีเลย์จะต้องแยกแยะระหว่างฟอลท์ภายในและฟอลท์ภายนอกในเขตการป้องกันได้ ground differential relay (87G) ในรูปที่ 4.30 เป็นต้นแบบให้รีเลย์กระแสเกินและ directional ground relay(67G) ที่ต่อในรูปที่ 4.31 ทั้งสองแบบจะทำงานถูกต้องที่กราวนด์ฟอลท์ภายในร่วมกับ circuit breaker ในวงจรของกราวนด์ของขดลวดวายเปิดหรือปิดวงจร รีเลย์ทั้งสองจะทำงานถูกต้องเมื่อเกิดกระแส zero sequence จากแหล่งจ่ายภายนอก และทั้งสองจะไม่ทำงานที่กราวนด์ฟอลท์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 การป้องกันกราวนด์ฟอลท์ของหม้อแปลงแบบเดลต้า-วายโดยใช้รีเลย์กระแสเกินและdifferentially connected ground relay

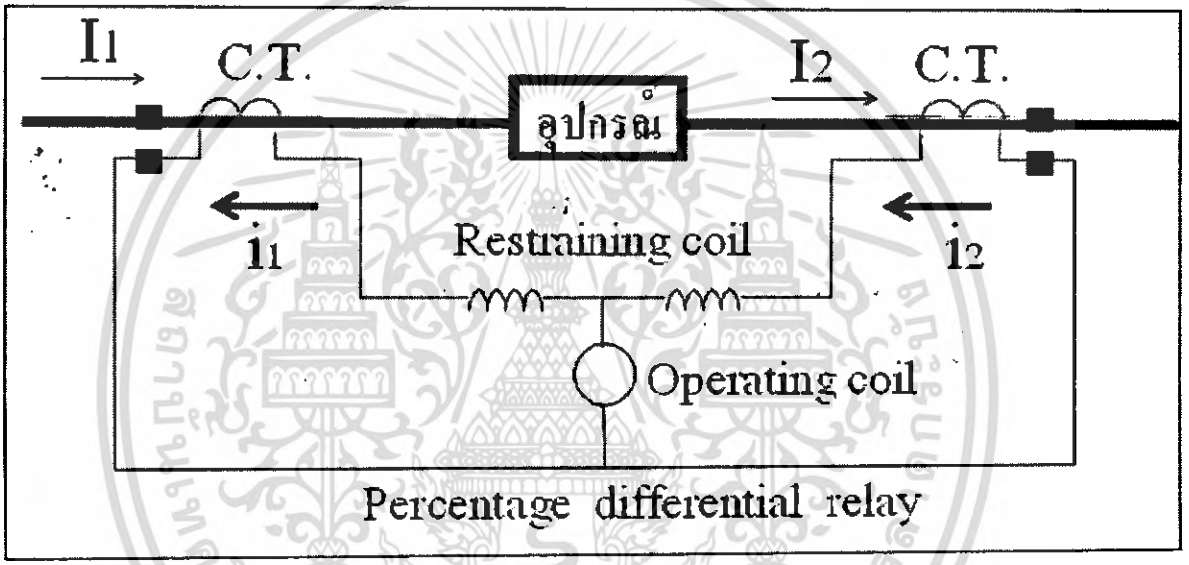


รูปที่ 4.31 การป้องกันกราวนด์ฟอลท์ของหม้อแปลงแบบเดลต้า-วายโดยใช้รีเลย์กระแสเกินและ directional relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การป้องกันหม้อแปลงโดยใช้รีเลย์แบบผลต่าง (Differential relay protection)

ในการป้องกันการลัดวงจรภายในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (5 MVA ขึ้นไป) จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการป้องกันโดยใช้รีเลย์แบบผลต่างเพื่อป้องกันหม้อแปลงจากการเกิดการลัดวงจรเฉพาะบริเวณภายในหม้อแปลงเท่านั้น เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดจากผลของกระแสฟอลท์ ที่มีปริมาณสูงไหลเข้ามายังหม้อแปลง ซึ่งอาจส่งผลต่ออายุการใช้งานของฉนวนขดลวดหม้อแปลง หรืออาจทำลายฉนวนของหม้อแปลงและอุปกรณ์ภายในหม้อแปลงให้เสียหายเลยก็เป็นได้ ซึ่งในการป้องกันหม้อแปลงโดยใช้รีเลย์แบบผลต่างนี้ มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดซึ่งแล้วแต่วิธีการ แต่ชนิดที่นิยมใช้งานอย่างมากนั้นก็คือ รีเลย์แบบผลต่างชนิด เปอร์เซ็นต์เดจดิฟเฟอร์เรนเชี่ยลรีเลย์ (Percentage differential relay)



รูปที่ 4.32 วงจรเปอร์เซ็นต์เดจดิฟเฟอร์เรนเชี่ยลรีเลย์ (Percentage differential relay)

เปอร์เซ็นต์เดจดิฟเฟอร์เรนเชี่ยลรีเลย์ (Percentage differential relay) เป็นรีเลย์ที่ใช้หลักการความต่างของกระแสทั้ง 2 ด้านของหม้อแปลง(ปฐมภูมิและทุติยภูมิ) ที่วัดผ่านหม้อแปลงกระแสและแปลงขนาดให้มีค่าเท่ากันจากรูปคือ I1 และ I2 ภายใต้เงื่อนไขการใช้จ่ายโหลดในสภาวะปกติจะมีกระแสที่เข้าสู่รีเลย์ในปริมาณที่น้อยมากจากรูปคือ Id แต่หากมีการเกิดฟอลท์ภายในหม้อแปลงขึ้นกระแส I1 จะเพิ่มปริมาณสูงขึ้นมากและปริมาณของกระแส I2 จะมีปริมาณที่น้อยลงหรืออาจไม่มีเลย ทำให้กระแส Id มีปริมาณมากขึ้นไหลไปยังรีเลย์ หากปริมาณกระแส Id เกินค่าที่ได้ทำการปรับตั้งไว้รีเลย์ รีเลย์ก็จะทำการสั่งให้เบรกเกอร์หรืออุปกรณ์ตัดตอนทางต้นทางทำการตัดวงจรออกเพื่อตัดกระแสฟอลท์ที่เกิดกับหม้อแปลงออกไป

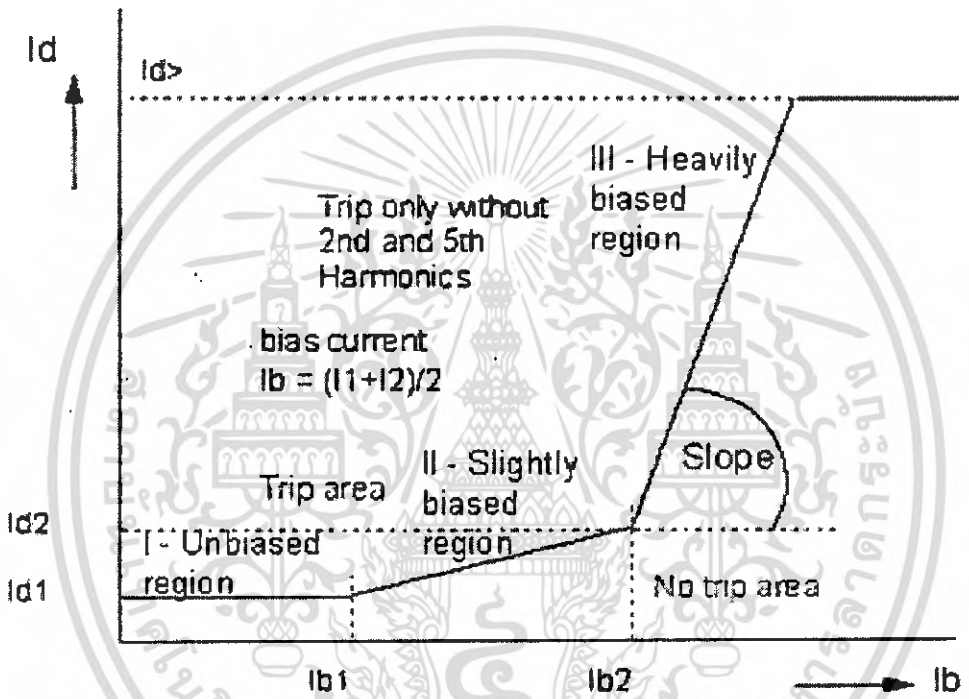
ในการปรับตั้งค่าการทำงานให้กับ เปอร์เซ็นต์เดจดิฟเฟอร์เรนเชี่ยลรีเลย์ (Percentage differential relay) ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เราได้พิจารณาเฉพาะ รีเลย์แบบดิจิตอล (digital relay) ซึ่งค่าที่ทำการปรับตั้งนั้นมีอยู่ด้วยกันหลากหลายตามแต่ผู้ผลิต แต่จะคุณสมบัติของการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักๆของเปอร์เซ็นต์เดจดิฟเฟอร์เรนเชี่ยลรีเลย์ (Percentage differential relay) ที่เหมือนกัน ซึ่งสามารถอธิบายโดย กราฟคุณลักษณะการทำงานของเปอร์เซ็นต์เดจดิฟเฟอร์เรนเชี่ยลโพรเทคชันท์ (Tripping characteristics of percentage differential protection) ได้ดังนี้

4.3.1 กราฟคุณลักษณะการทำงาน (Tripping characteristics)

กราฟคุณลักษณะการทำงานของเปอร์เซ็นต์เดจดิฟเฟอร์เรนเชี่ยลของการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้านั้น จะแบ่งช่วงในการพิจารณาอยู่ด้วยกัน 3 ช่วงคุณลักษณะ ซึ่งมีลักษณะเป็นไปตามกราฟด้านล่างดังนี้



รูปที่ 4.33 กราฟคุณลักษณะการทำงานของเปอร์เซ็นต์เดจดิฟเฟอร์เรนเชี่ยลโพรเทคชันท์ (Tripping characteristics of percentage differential protection)

กราฟคุณลักษณะการทำงานในที่นี้จะใช้หน่วยของเปอร์ยูนิต ซึ่ง Id และ Ib จะเป็นจำนวนเท่าของกระแสพิกัดของหม้อแปลงที่แปลงผ่านหม้อแปลงกระแส(CT) ซึ่ง

I1 คือ กระแสทางด้านปฐมภูมิที่แปลงผ่านหม้อแปลงกระแส

I2 คือ กรแสทางด้านทุติยภูมิที่แปลงผ่านหม้อแปลงกระแส

Ib คือ กระแสเฉลี่ยระหว่างกระแส I1 และกระแส I2

Id คือ กระแสผลต่างระหว่างกระแส I1 และกระแส I2

พิจารณากราฟในช่วงแรก(Unbiased region) ค่าเริ่มต้นของกระแสผลต่าง(Id1) จะได้มาจากการคำนวณในการปรับตั้งค่ารีเลย์ ซึ่งค่าความต่างนี้เป็นค่าที่เกิดจาก ความคลาดเคลื่อนของหม้อแปลงกระแส เปอร์เซ็นต์มิซเมท(percent mismatch) และ ออนโหลดแท็ปเชง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจอร์ ซึ่งค่าที่ได้นี้จะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากกระแสพิกัด ซึ่งโดยปกติจะเริ่มต้นที่ 20 เปอร์เซ็นต์ และหากความคลาดเคลื่อนที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นเพิ่มขึ้นก็จะเพิ่มขึ้นที่ละ 10 เปอร์เซ็นต์ไปเรื่อยๆ นั่นก็คือ หากมีการใช้งานหม้อแปลงในสภาวะปกติซึ่งกระแสไม่เกินกระแสพิกัด กระแสผลต่างที่ไหลผ่านรีเลย์ก็จะไม่เกินค่า Id1 ที่ตั้งไว้ ซึ่งในการปรับตั้งค่า Ib1 โดยปกติจะถูกตั้งไว้ที่ 1.0 นั่นก็คือที่กระแสพิกัดหม้อแปลง

พิจารณากราฟในช่วงที่สอง (Slightly biased region) จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะเฉียงมีความชันเกิดขึ้นทั้งนี้เนื่องจากเป็นช่วงที่หม้อแปลงจ่ายโหลดที่มากกว่าพิกัดกำลัง นั้นก็คือกระแสไหลเกิดกระแสพิกัด ดังนั้นค่ากระแสผลต่างที่เกิดขึ้นอาจมีค่ามากกว่ากระแสผลต่างที่ถูกตั้งค่าไว้ นั่นก็คือในช่วงที่หนึ่ง ดังนั้นจึงต้องมีค่าความชันของกราฟเพื่อไม่ให้รีเลย์ทำงานเมื่อหม้อแปลงต้องจ่ายโหลดเกินพิกัดกำลัง ซึ่งความชันของกราฟในช่วงที่สอง นี้ผู้ทำการปรับตั้งจะต้องทราบว่าหม้อแปลงจะมีโอกาสในการจ่ายโหลดเกินพิกัดกำลังมากหรือไม่ ก็จะต้องทำการปรับความชันให้เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปความชันของกราฟช่วงที่สอง นี้จะมีให้เลือกได้ระหว่าง 20 ถึง 150 เปอร์เซ็นต์

พิจารณากราฟในช่วงที่สาม (Heavily biased region) เป็นสภาวะที่มีการเกิดฟอลท์ภายนอกหม้อแปลงเกิดขึ้น กระแส I1 และกระแส I2 จะมีปริมาณกระแสไหลผ่านอย่างมาก ซึ่งก็จะทำให้ปริมาณของกระแสผลต่าง(Id) มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นอย่างฉับพลันด้วย ดังนั้นจึงต้องมีความชั้นของกราฟที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้รีเลย์ทำงานในขณะที่เกิดฟอลท์ภายนอกหม้อแปลง ซึ่งค่าความชันของกราฟช่วงที่สามนี้จะมีให้เลือกอยู่ระหว่าง 30 ถึง 150 เปอร์เซ็นต์

ในการปรับตั้งค่าของกราฟคุณสมบัติการทำงานของ เปอร์เซ็นต์เดจติฟเฟอร์เรนเชี่ยลรีเลย์ (Percentage differential relay) นั้นจะต้องปรับตั้งให้สอดคล้องกับคุณสมบัติเฉพาะของรีเลย์แต่ละยี่ห้อและแต่ละรุ่นด้วยเนื่องจากรีเลย์แต่ละรุ่นมีความเหมาะสมกับการป้องกันหม้อแปลงที่แตกต่างกัน และผู้ที่ทำการปรับตั้งจะต้องพิจารณาลักษณะการใช้งานของหม้อแปลงที่จะทำการป้องกันด้วยว่ามีลักษณะการใช้งานอย่างไร เพื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมในการปรับตั้งรีเลย์ที่ได้เลือกใช้แล้วได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การคำนวณค่ากระแสฟอลต์และวิธีการในการเซ็ทติ้งรีเลย์

เมื่อถามว่าเมื่อใดที่เราจะทำการปรับเปลี่ยนค่าเซ็ตติ้งรีเลย์นั้น สามารถอธิบายได้ดังนี้ คือเกิดเนื่องมาจากค่ากระแสฟอลต์สูงสุดเปลี่ยนแปลงนั่นเอง ส่วนสาเหตุที่ทำให้ค่ากระแสฟอลต์เลเวลเปลี่ยนแปลงเนื่องมาจากสาเหตุดังต่อไปนี้

- มีการเปลี่ยนแปลงเนตเวิร์กทางสายส่งของ EGAT
- มีการต่อ SPP/IPP เชื่อมเข้ากับระบบของการไฟฟ้า
- มีการเปลี่ยนอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า
- มีการเปลี่ยนแปลงการจ่ายโหลดของหม้อแปลง
- ค่าเซ็ตติ้งเดิมไม่เหมาะสมทางด้านการโคออดิเนชั่นกับระบบ
- การเพิ่มเบย์ในสถานีไฟฟ้าเข้าไป
- มีการทำสวิตชิ่งเพื่อเปลี่ยนแปลงการจ่ายโหลด
- สาเหตุอื่นๆ ที่นอกเหนือจากดังที่กล่าวมา

5.1 การคำนวณค่ากระแสฟอลต์

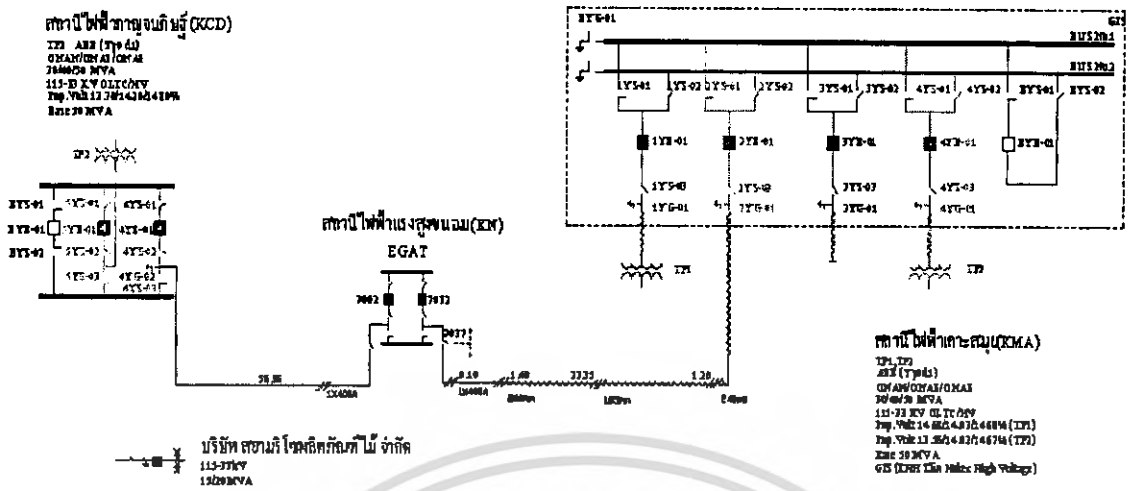
- **กรณีสายส่งเป็นเนทเวิร์ค** คำนวณได้จากโปรแกรม PSS/E , CAPE
- **กรณีสายส่งเป็นแบบเรเดียล** คำนวณได้จากวงจรเทวินินท์ โดยการยุบวงจรทางด้านแหล่งจ่ายของ EGATE ซึ่งจะเรียกว่าค่า Driving point ทางด้านไลน์ ก็คำนวณจากไลน์อิมพีแดนซ์ตามขนาด, ความยาวของสายส่ง และเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง

5.1.1 การคำนวณค่ากระแสฟอลต์ที่บัสบาร์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย

ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องทราบ

- ค่าอิมพีแดนซ์ของโพสิทีฟและซีโร (Z_1,Z_0) ต่อความยาว , ขนาดของสายแต่ละชนิด ซึ่งหาได้จากกองวิจัย กฟภ.
- ค่าเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ของโพสิทีฟ,ซีโร (Z_1,Z_0) และเบสของหม้อแปลง ซึ่งหาได้จากข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลง
- ความยาวของสายในแต่ละขนาดตัวนำ
- แรงดันไฟฟ้าทางด้านแรงสูงและแรงต่ำ
- ค่าเบสของพิกัดกำลังไฟฟ้าโดยคิดจากเบสของหม้อแปลง (ปกติจะคิดที่เบส 100 MVA)
- ค่าที่ทำการยุบวงจรเป็นวงจรเทวินินท์จากเนทเวิร์คของ EGAT ซึ่งเรียกว่าค่า Driving point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 วันไลน์ไดอะแกรมในการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย

การหาค่าไลน์อิมพีแดนซ์

สาย 400A ยาว 0.1 km ; $Z_1 = Z_2 = 0.008581 + j0.036204$ ohm

$Z_0 = 0.025485 + j0.14223$ ohm

สาย SMC 3*240 ยาว 2.6 km ; $Z_1 = Z_2 = 0.26499668 + j0.28007434$ ohm

$Z_0 = 0.8285238 + j0.2553603$ ohm

สาย SMC 3*185 ยาว 23.35 km ; $Z_1 = Z_2 = 3.04941193 + j2.640135465$ ohm

$Z_0 = 8.755945049 + j2.56777615$ ohm

$Z_{L1} = \text{SUM } Z_1 = 3.32298971 + j2.956413805$ ohm

$Z_{L0} = \text{SUM } Z_0 = 9.609953849 + j2.96536645$ ohm

ค่าเบสอิมพีแดนซ์ = $(kV)^2 / MVA = 115^2/100 = 132.25$ ohm

จากค่า pu = actual / base ;

$Z_{L1} = Z_{L2} = \text{SUM } Z_1 = 0.025126576 + j0.022354736$ pu

$Z_{L0} = 0.072665057 + j0.022422431$ pu

ทำการยุบวงจรเป็นวงจรเทวินินท์จากเนทเวิร์คของ EGAT ซึ่งเรียกว่าค่า Driving point

$Z_{s1} = Z_{s2} = \text{SUM } Z_1 = 0.00046 + j0.06853$ pu

$Z_{S0} = \text{SUM } Z_0 = 0.00008 + j0.0048$ pu

กรณีคิดกระแสฟอลต์ทางด้าน HV (115 kV)

$Z_{SC3HV} = Zs_1 + Z_{L1} = 0.025586576 + j0.090884736$ pu

$Z_{SC1HV} = (Zs_1 + Zs_2 + Zs_0) + (Z_{L1} + Z_{L2} + Z_{L0})$

$= 0.1239182 + j0.2089991$ pu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดค่าแรงดัน Vpu = 1.0 pu

หาค่าเบสเคอร์เร้น

I_B = MVA*10^3/$\sqrt{3}$ kV = 100*10^3/$\sqrt{3}$ *115 = 502.04 A

จากสมการการคำนวณฟอลต์ I = V/Z ;

$|I_{SC3HV}|$ = 1 / Z_{SC3HV} = 10.591231 pu = 5317.26 A

$|I_{SC1HV}|$ = 3(1/ Z_{SC1HV}) = 12.347002 pu = 6198.69 A

ดังนั้นจะได้ ค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน 115 kV ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย

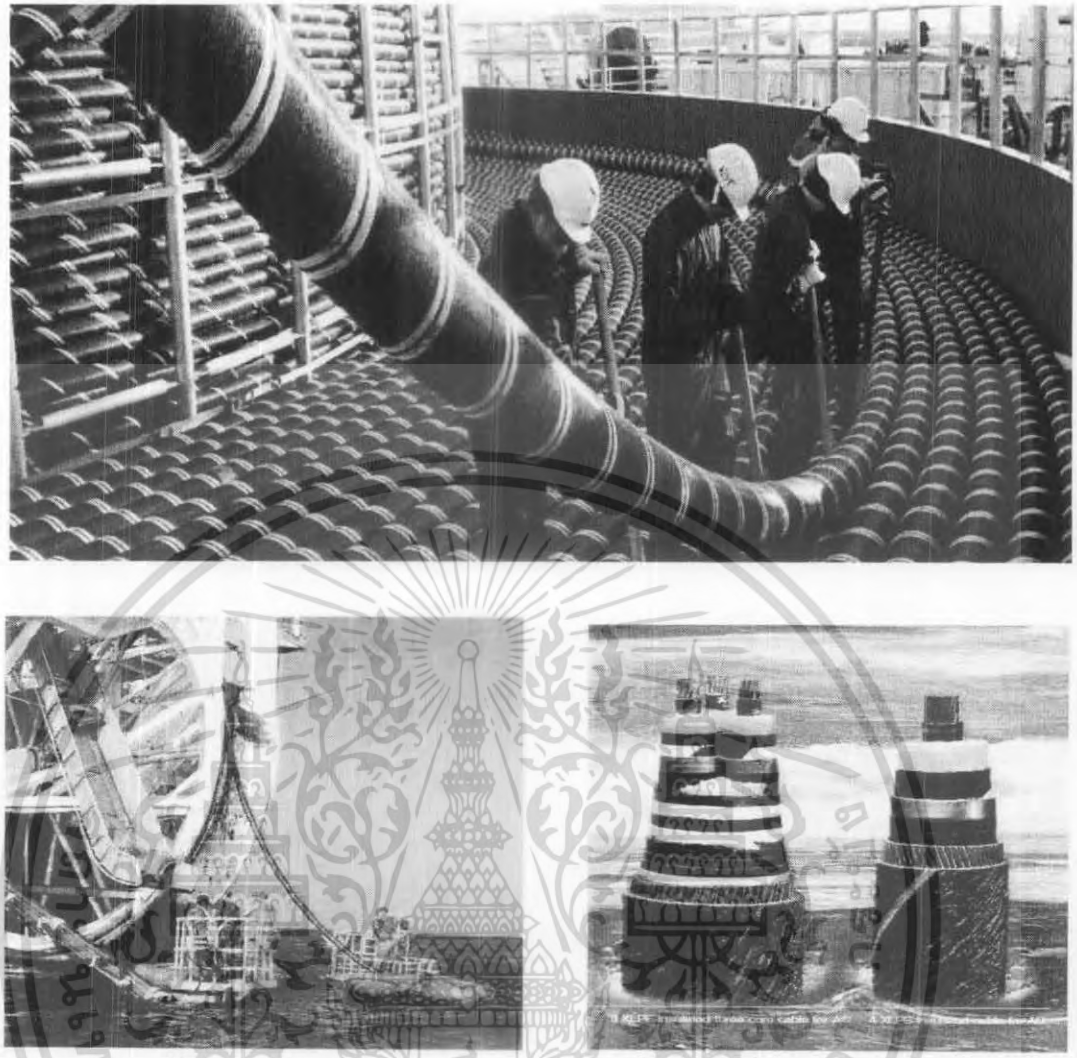
$|I_{SC3HV}|$ = 5318 A

$|I_{SC1HV}|$ = 6199 A

ซึ่งสามารถดูเนทเวิร์คการคำนวณหากระแสฟอลต์ทางด้าน 115 kV ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุยได้ดังรูป

รูปที่ 5.2 เนทเวิร์คการคำนวณทางด้านทรีเฟสฟอลต์ทางด้าน HV ของหม้อแปลงYyn0(d1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 ลักษณะและการติดตั้งของสาย115 kV Submarine cable

5.1.2 การคำนวณกระแสฟอลต์ทางด้าน Medium volt (33 kV)

เนื่องจากหม้อแปลงในระบบไฟฟ้าเป็นแบบ 3 ขด (Ydn0(d1)) จึงมีลักษณะการคำนวณที่แตกต่างไปจากแบบ 2 ขด (Dyn1, Dyn11) ดังนั้นจึงพิจารณาได้จากข้อมูลอิมพีแดนซ์หม้อแปลงของบริษัทผู้ผลิต จึงทำการแปลงอิมพีแดนซ์จาก 30 MVA ไปเป็น 100 MVA จากสมการ

$$Z_{newpu} = Z_{oldpu}(kV_{old} / kV_{new})^2 (MVA_{new} / MVA_{old}) \quad (5.1)$$

ดังนั้นจะได้ค่าอิมพีแดนซ์หม้อแปลงในเบส 100 MVA

ทางด้านโพสิทิฟ

$$Ztr_{H\text{-}L1} = 0.00533 + j0.2840 \quad pu$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ztr_{H-T1}= 0.0020 + j0.4500 pu

Ztr_{L-T1} = 0.0017 + j0.1010 pu

ทางด้านซีโร

Ztr_{H-L0} = 0.0280 + j0.2490 pu

Ztr_{H-T0} = 0.0450 + j0.3650 pu

Ztr_{L-T0} = 0.0017 + j0.0970 pu

ทำการหาค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงในด่ละขดลวด

ทางด้านโพสิทิฟ

$Z_{HV1} = 1/2(Ztr_{H-L1} + Ztr_{H-T1} - Ztr_{L-T1})$ = 0.002833 + j0.317 pu

$Z_{LV1} = 1/2 (Ztr_{H-L1} + Ztr_{L-T1} - Ztr_{H-T1})$ = 0.002500 - j0.033 pu

$Z_{TV1} = 1/2 (Ztr_{H-T1} + Ztr_{L-T1} - Ztr_{H-L1})$ = - 0.0008333 + j0.134 pu

$Z_1 = Zs_1 + Z_{L1} + Z_{HV1} + Z_{LV1}$ = 0.03092 + j0.37488 pu

ทางด้านซีโร

$Z_{HV0} = 1/2(Ztr_{H-L0} + Ztr_{H-T0} - Ztr_{L-T0})$ = 0.036000 + j0.257 pu

$Z_{LV0} = 1/2(Ztr_{H-L0} + Ztr_{L-T0} - Ztr_{H-T0})$ = - 0.007333 – j0.0095 pu

$Z_{TV0} = 1/2(Ztr_{H-T0} + Ztr_{L-T0} - Ztr_{H-L0})$ = 0.00900 + j0.108 pu

$Zo = Z_{LV0} + [(Z_{s0} + Z_{L0} + Z_{HV0}) // (Z_{TV0})]$ = 0.0009791+ j0.068762 pu

จากการอนุโลมจากกองวิจัย กฟภ. กำหนดให้ค่าโพสิทิฟเท่ากับค่าเนกกาทีฟ

$Z_{SC3MV} = Z_1$ = 0.03092 + j0.37488 pu

$Z_{SC1MV} = Z_1 + Z_2 + Z_0$ = 0.062891 + j0.818522 pu

หาค่าเบสเคอร์เร้น

$I_B = MVA*10^3/\sqrt{3}\ kV = 100*10^3/\sqrt{3}*33 = 1749.55\ A$

จากสมการการคำนวณฟอลต์ I = V / Z ;

$|I_{SC3MV}| = 1 / Z_{SC3MV}$ = 2.6584 pu = 4652 A

$|I_{SC1MV}| = 3(1/ Z_{SC1MV})$ = 3.655 pu = 6395 A

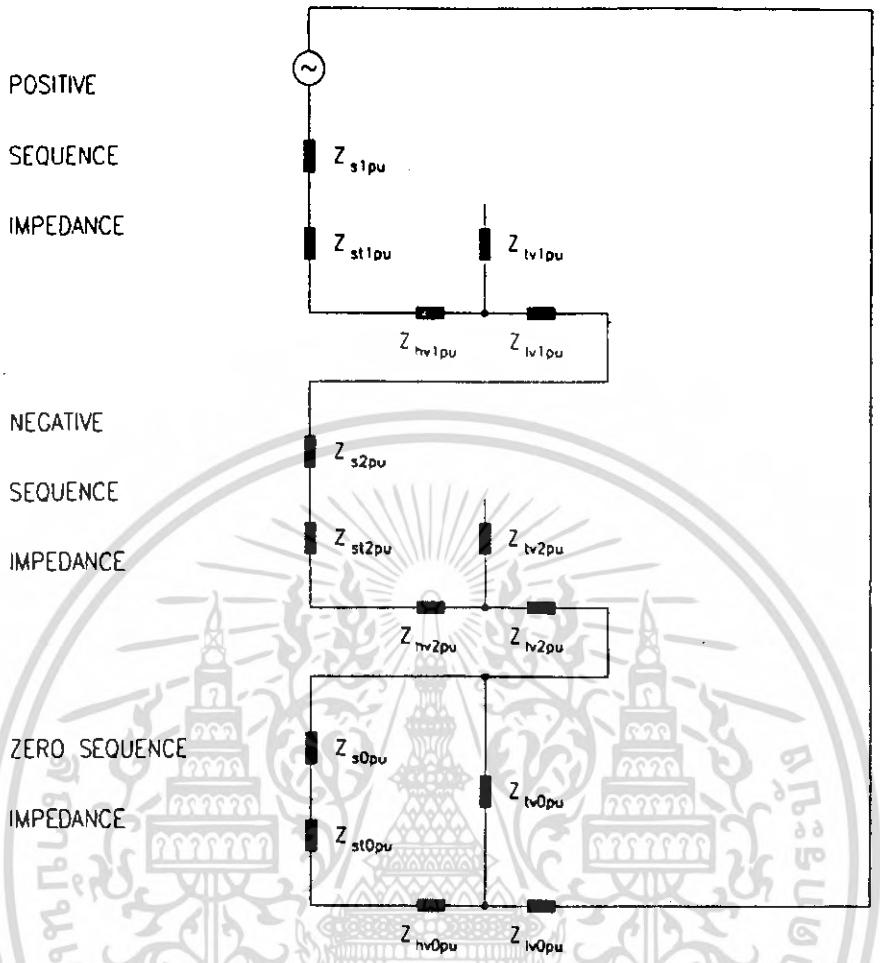
ดังนั้นจะได้ ค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน 33 kV ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย

$|I_{SC3MV}|$ = 4652 A

$|I_{SC1MV}|$ = 6395 A

ซึ่งสามารถดูเนทเวิร์คทางการคำนวณหากระแสฟอลต์ที่ชิงเกิลไลน์ทูกราวดน์ได้ดังรูปที่ 5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 เนทเวิร์คการคำนวณทางด้านซิงเกิลไลน์ทูกราวดน์ฟอลต์ทางด้านMV ของหม้อแปลงYyn0(d1)

จากการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ที่เกาะสมุยสามารถสรุปได้ดังนี้

- ค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน 115 kV ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย

$| I_{SC3HV} |$ = 5318 A

$| I_{SC1HV} |$ = 6199 A

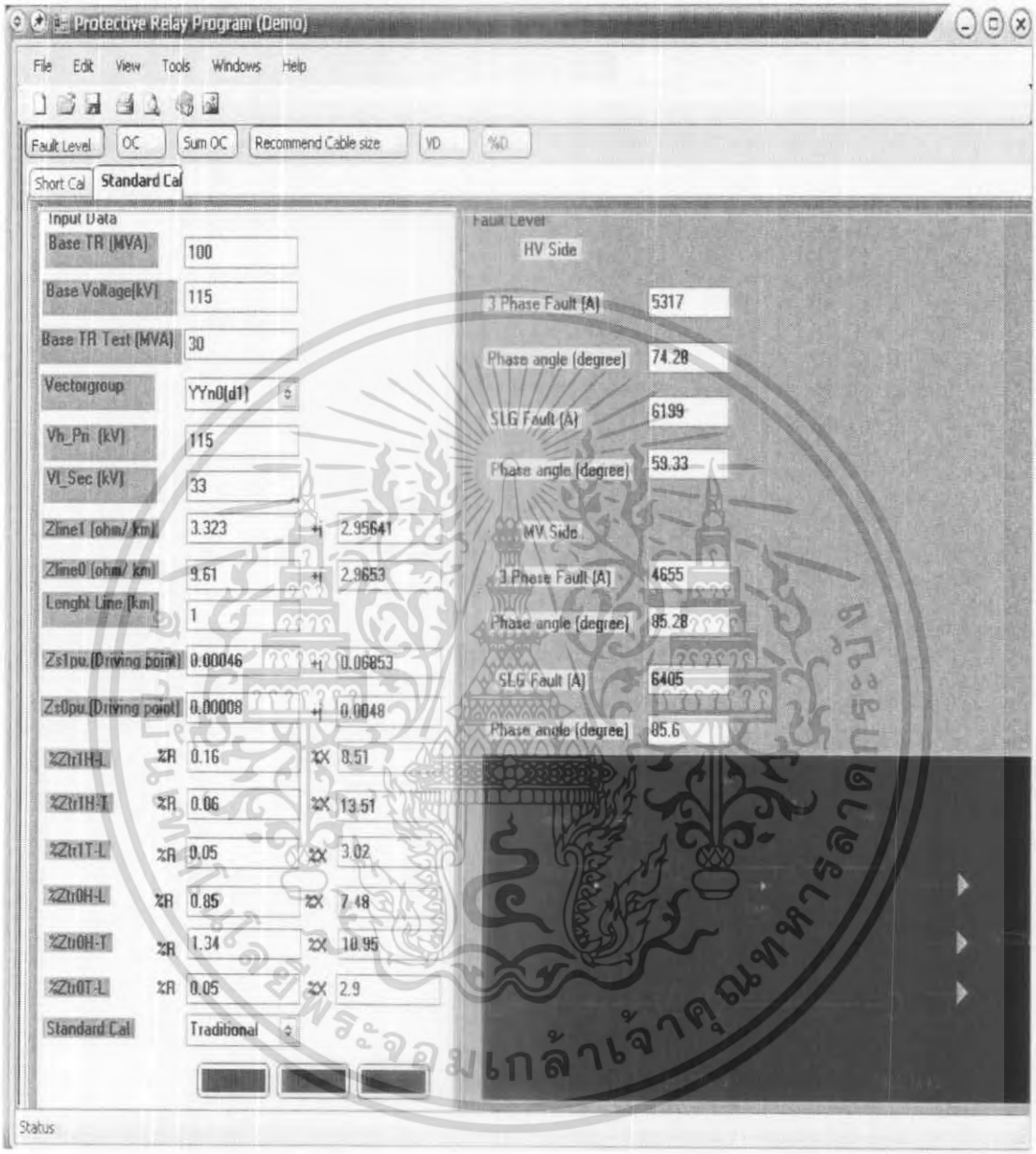
- ค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน 33 kV ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย

$| I_{SC3MV} |$ = 4652 A

$| I_{SC1MV} |$ = 6395 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลองนำค่าที่คำนวณด้วยมือไปเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยโปรแกรมดังรูปพบว่า มีค่าใกล้เคียงกันกับการคำนวณด้วยมือ ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยมากคิดเป็น 0.16%



รูปที่ 5.5 ผลการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ด้วยโปรแกรมจากโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการหาค่าฟอลต์ทั้งหมด

NAME	BASE	I_{SC3HV}	I_{SC0HV}
	kV	(A)	(A)
	EGATE		
BUS			
KN -230		11,670	13032
KN -115		7,321	8958
TR			
KG1A	13.8	36254	37127
KG2A	13.8	60000	48496
KG(3,4,5)A	11.5	72039	68386
KG6A	11.5	72182	68483
KG7A	15	103010	88403
KT(2,4)A	115	5448	6706
	PEA		
BUS			
KMA-115	115	5318	6199
KMA- 33	33	4652	6395

ตารางที่ 5.1 การหาค่าฟอลต์ในระบบทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อกำหนดต่าง ๆของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สามารถสรุปได้ดังตาราง

Bus 33 KV (Phase)	Phase Time (51)			Phase Instantaneous (50)
Type Bus	I_s (% I_{rate})	Characteristic curve	$T_{operate}$ (s)	I_s (% I_{rate})
Incoming	140%	NI	1.0	120%
Bus Tie (Bus selection)	125%	NI	0.9	110%
Outgoing	100% Capacity line Or 200% of Load 8 MVA	NI,EI	0.3	100%

ตารางที่ 5.2 ข้อกำหนดการเซ็ตดิ้งบัสบาร์ทางด้านเฟสของกฟภ.

Bus 33 KV (GND)	GND Time (51G)			GND Instantaneous (50G)
Type Bus	I_s (% I_{rate})	Characteristic curve	$T_{operate}$ (s)	I_s (% I_{rate})
Incoming	30%	NI	1.0	120%
Bus Tie (Bus selection)	25%	NI	0.9	110%
Outgoing	30% Capacity line Or 25% of I_{pick_phase}	VI,EI	0.1	100%

ตารางที่ 5.3 ข้อกำหนดการเซ็ตดิ้งบัสบาร์ทางด้านกราวนด์ของกฟภ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vector group	Phase Time (51T)			Phase Instantaneous (50)
	I_s (% I_{rate})	Characteristic curve	$T_{operate}$ (s)	I_s (% I_{rate})
Yyn0(d1)	150%	NI	1.5	Block
Non Yyn0(d1)	150%	NI	1.5	Block

ตารางที่ 5.4 ข้อกำหนดการเซ็ตดิ้งหม้อแปลงทางด้านเฟสของกฟภ.

Vector group	GND Time (51G)			Phase Instantaneous (50G)
	I_s (% of I_{pick_phase})	Characteristic curve	$T_{operate}$ (s)	I_s (% I_{rate})
Yyn0(d1)	30%	NI	2.0	Block
Non Yyn0(d1)	10%	NI	0.12	Block

ตารางที่ 5.5 ข้อกำหนดการเซ็ตดิ้งหม้อแปลงทางด้านกราวนด์ของกฟภ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อกำหนดต่าง ๆของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ สามารถสรุปได้ดังตาราง

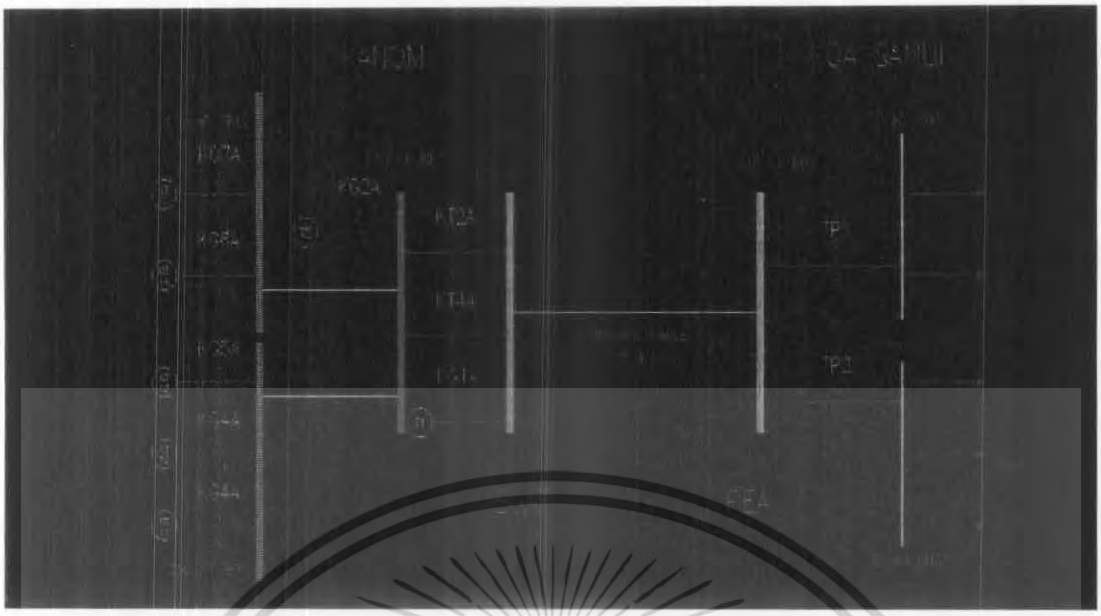
Rate Voltage (kV)	Phase Time (51T)			Phase Instantaneous (50)
	I_s (% I_{rate})	Characteristic curve	$T_{operate}$ (s)	I_s (% I_{rate})
230	150%	NI	2.0	Block
115	150%	NI	1.5	Block

ตารางที่ 5.6 ข้อกำหนดการเซ็ตติ้งหม้อแปลงทางด้านเฟสของกฟผ.

Vector group	GND Time (51G)			Phase Instantaneous (50G)
	I_s (% of I_{pick_phase})	Characteristic curve	$T_{operate}$ (s)	I_s (% I_{rate})
Yyn0(d1)	30%	NI	2.0	Block
Non Yyn0(d1)	10%	NI	0.12	Block

ตารางที่ 5.7 ข้อกำหนดการเซ็ตติ้งหม้อแปลงทางด้านกราวนด์ของกฟผ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



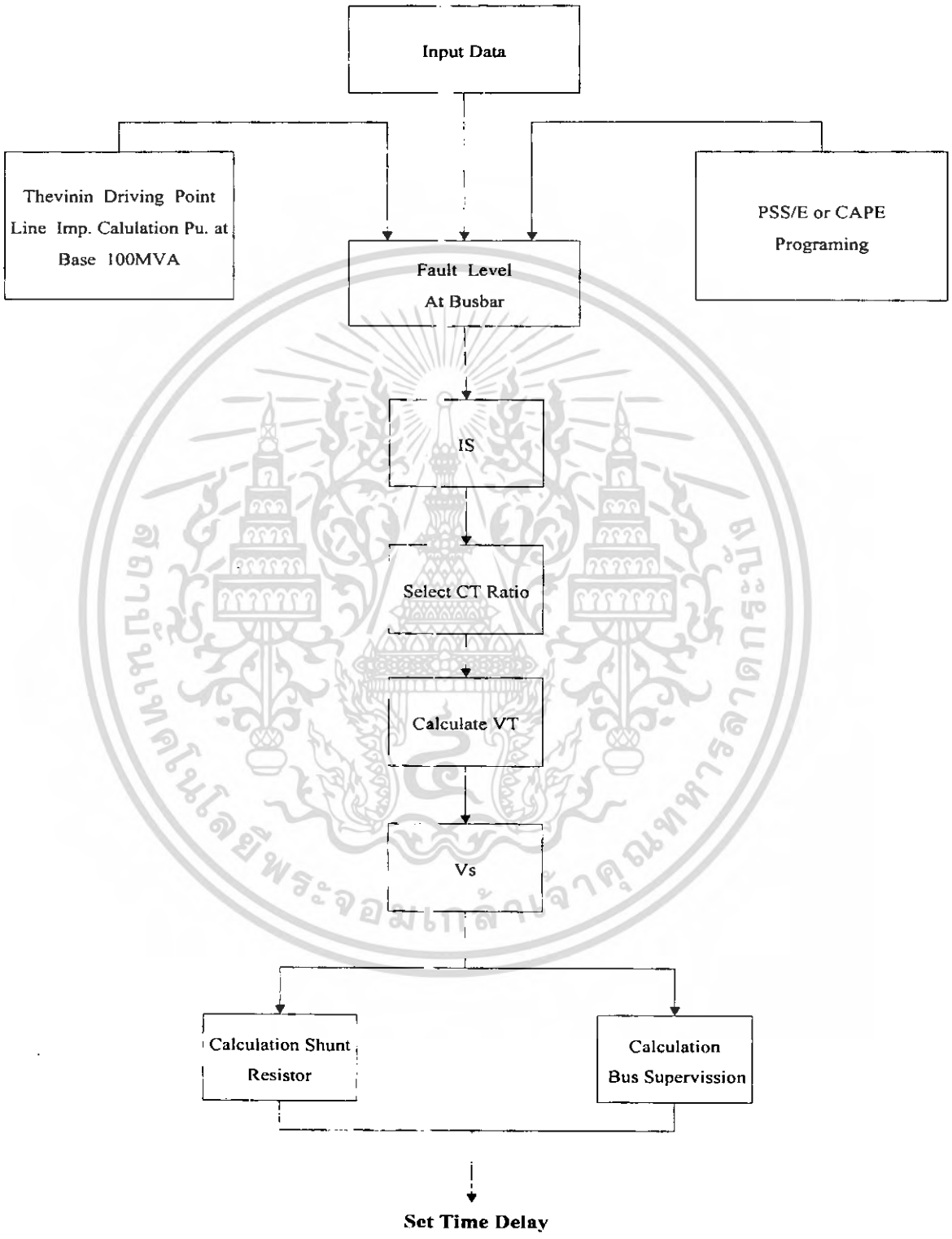
รูปที่ 5.6 One Line Diagram ของบริเวณที่ทำการศึกษาการเซ็ตติ้งรีเลย์จากโรงไฟฟ้าขนอมไประบบจำหน่ายบนเกาะสมุย

รูปที่ 5.7 One Line Diagram แสดงรูปแบบการจัดวางบัสจากโรงจักรไฟฟ้าขนอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การป้องกันบัสบาร์ (Bus Bar Protection)

5.2.1 อัลกอริทึมในการเซ็ตติ้งบัสบาร์โดยใช้ดิฟเฟอเรนเทียลรีเลย์



รูปที่ 5.8 อัลกอริทึมในการเซ็ตติ้งบัสบาร์โดยใช้ดิฟเฟอเรนเทียลรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1.1 การคำนวณปรับตั้งค่าเซ็ตติ้งรีเลย์ สำหรับ บัสบาร์ 230 kV ของสถานีไฟฟ้าขนอมด้วยรีเลย์ป้องกันผลต่างแบบใช้ค่าแรงดัน (87B1-1, 87B1-2,87B2-1, 87B2-2)

ข้อมูลพื้นฐาน

พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังสูงสุดที่จ่ายให้บัสบาร์ S = 327 MVA

ความด้านทานของซีที R_{CT} = 0.72 ohm

ความด้านทานของสายเคเบิล R_L = 0.69 ohm

จำนวนของหม้อแปลงกระแส n = 5

กระแสทรีเฟสฟอลต์ $I_{3Phasefault}$ = 11670 A

กระแสเฟสทูกราวนด์ฟอลต์ $I_{PhasetoGNDfault}$ = 13032 A

การคำนวณแรงดันเซ็ตติ้ง

$I_{fullload} = S/\sqrt{3} * V_L = 327000 / \sqrt{3} * 230 = 820.84$ A

$I_S = 150\% * I_{Fullload} = 1.5 * 820.84 = 1231$ A

เลือกอัตราส่วนหม้อแปลงกระแส = 1200 / 5

คำนวณแรงดันที่ฟอลต์สูงสุดในบัส คือ กระแสเฟสทูกราวนด์ฟอลต์ $I_{PhasetoGNDfault}$ = 13032 A

จาก $V_T = 1.5 * (I_{PhasetoGNDfault} / CTR)*(R_{CT} +2*R_L)$

$= 1.5 *(13032 / (1200/5) *(0.72 + 2*0.69)$

จะได้ V_T = 171.05 V

เลือกค่า VS ตามค่าเรนจ์ของรีเลย์ ได้ V_S = 175 V

$V_k = 2V_s = 2*175 = 350$ V ; (Rage Relay 100-400V)

จะต้องเลือก $V_k > 2V_S > 350$ V

ดังนั้น V_k > 350 V

การคำนวณหาค่าของชั้นท์รีซิสเตอร์

จากกราฟ ดารางข้อมูลผู้ผลิต หรือ จากการทดสอบ ที่ V_S = 175 V

กระแสเมโทรซิลและกระแสการทำงานของรีเลย์ I_R = 0.053A

จากกราฟ การอิ่มตัวของ CT ที่ V_S = 350 V I_{mag}= 0.0069A

จะได้กระแสที่ชั้นท์รีซิสเตอร์

$I_{shunt} = 10\%\ RateCT / CTR_{HV} - (I_R + n*I_{mag})$

$= 0.1*1200/ (1200/5) - (0.053 + 5*0.069)$

$= 0.309$ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_{shunt} = V_S / I_{shunt} = 175 / 0.309 = 556.34 ohm

P_{loss} = I^2_{shunt} R_{shunt} = 0.309^2*556.34 = 54.01 W

จะได้ R_{shunt} = 557 ohm , 100W

การคำนวณบัสไวด์ชูเปอร์ไวชั่น

คิดที่ 10% ของ V_S ;

V_B = 0.1 * V_S = 0.1*175 = 35 V ;(Range 2-16 V)

ดังนั้น เซ็ตที่ V_B = 16 V (max) ;(กรณีรีเลย์มีไม่ถึงค่าที่เซ็ตให้ใช้ค่าสูงสุดของรีเลย์)

เซ็ตไทม์ดีเลย์การทำงานของรีเลย์ตามข้อกำหนดของ EGAT ที่บัส 230 kV

ดังนั้นเซ็ต T_B = 1.75 s

5.2.1.2 การคำนวณปรับตั้งค่าเซ็ตติ้งรีเลย์ สำหรับ บัสบาร์ 115 kV ของสถานีไฟฟ้า

ขนอมด้วยรีเลย์ป้องกันผลต่างแบบใช้ค่าแรงดัน (87B)

ข้อมูลพื้นฐาน

พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังสูงสุดที่จ่ายให้บัสบาร์ S = 100 MVA

ความต้านทานของซีที R_{CT} = 0.478 ohm

ความต้านทานของสายเคเบิล R_L = 0.3031 ohm

จำนวนของหม้อแปลงกระแส n = 7 (มี8 ตัวใช้จริงแค่ 7 อีก 1ตัวสำรองไว้สำหรับเบย์ในอนาคต)

กระแสทรีเฟสฟอลต์ $I_{3Phasefault}$ = 7321 A

กระแสเฟสทูกราวนด์ฟอลต์ $I_{PhasetoGNDfault}$ = 8958 A

การคำนวณแรงดันเซ็ตติ้ง

$I_{fullload}$ = S/$\sqrt{3}$ *V_L = 100000 / $\sqrt{3}$ *115 = 502.04 A

I_S = 150%*$I_{Fullload}$ =1.5*502.04 = 753.06 A

เลือกอัตราส่วนหม้อแปลงกระแส = 800 / 5

คำนวณแรงดันที่ฟอลต์สูงสุดในบัส คือ กระแสเฟสทูกราวนด์ฟอลต์ $I_{PhasetoGNDfault}$ = 8958 A

จาก V_T = 1.25* ($I_{PhasetoGNDfault}$ / CTR)*(R_{CT} +2*R_L)

= 1.25 *(8958 /(800/5)) *(0.478 + 2*0.3031)

จะได้ V_T = 75.88 V

เลือกค่า VS ตามค่าเรนจ์ของรีเลย์ ได้ V_S = 100 V

V_k = $2V_s$ = 2*100 = 200 V ; (Rage Relay 100-400V)

จะต้องเลือก V_k > $2V_S$ > 200 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $V_k > 200$ V

การคำนวณหาค่าของชั้นท์รีซิสเตอร์

จากกราฟ ตารางข้อมูลผู้ผลิต หรือ จากการทดสอบ ที่ $V_S = 100$ V

กระแสเมโทรซิลและกระแสการทำงานของรีเลย์ $I_R = 0.023$ A

จากกราฟ การอิ่มตัวของ CT ที่ $V_S = 100$ V $I_{mag} = 0.046$ A

จะได้กระแสที่ชั้นท์รีซิสเตอร์ (ตามคำแนะนำของ EGAT 10% ของพิกัด CT)

$$I_{shunt} = 10\% \text{ RateCT } / CTR_{HV} - (I_R + n*I_{mag})$$

$$= 0.1*800 /(800/5) - (0.023 + 7*0.046)$$

$$= 0.155 \text{ A}$$

$$R_{shunt} = V_S / I_{shunt} = 100 / 0.155 = 654.16 \text{ ohm}$$

$$P_{loss} = I^2_{shunt} R_{shunt} = 0.155^2*654.16 = 15.5 \text{ W}$$

จะได้ $R_{shunt} = 655$ ohm , 100 W

การคำนวณบัสไวด์ซูเปอร์ไวชั่น

คิดที่ 10% ของ V_S ;

$V_B = 0.1 * V_S = 0.1*100 = 10$ V ;(Range 2-16 V)

ดังนั้น เซ็ตที่ $V_B = 10$ V (max) ;(กรณีรีเลย์มีไม่ถึงค่าที่เซ็ตให้ใช้ค่าสูงสุดของรีเลย์)

เซ็ตไทม์ดีเลย์การทำงานของรีเลย์ตามข้อกำหนดของ EGAT ที่บัส 115 kV

ดังนั้นเซ็ต $T_B = 1.5$ s

5.2.1.3 การคำนวณปรับตั้งค่าเซ็ตติ้งรีเลย์ สำหรับบัสบาร์ 115 kV ของสถานีไฟฟ้า

เกาะสมุยด้วยรีเลย์ป้องกันผลต่างแบบใช้ค่าแรงดัน (87B)

ข้อมูลพื้นฐาน

พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังสูงสุดที่จ่ายให้บัสบาร์ S = 100 MVA

ความต้านทานของซีที $R_{CT} = 7.5$ ohm

ความต้านทานของสายเคเบิล $R_L = 0.475$ ohm

จำนวนของหม้อแปลงกระแส n = 4 (มี 5ตัวใช้จริงแค่ 4 อีก 1ตัวสำรองไว้สำหรับเบย์ในอนาคต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสทรีเฟสฟอลต์ $I_{3Phasefault} = 5318$ A

กระแสเฟสทูกราวนด์ฟอลต์ $I_{PhasetoGNDfault} = 6395$ A

การคำนวณแรงดันเซ็ตติ้ง

$I_{fullload} = S/\sqrt{3} * V_L = 100000 / \sqrt{3} * 115 = 502.04$ A

$I_S = 150\% * I_{Fullload} = 1.5 * 502.04 = 753.06$ A

เลือกอัตราส่วนหม้อแปลงกระแส = 1200 / 1 (เผื่ออนาคต ตามคำแนะนำของ PEA)

คำนวณแรงดันที่ฟอลต์สูงสุดในบัส คือ กระแสเฟสทูกราวนด์ฟอลต์ $I_{PhasetoGNDfault} = 6395$ A

จาก $V_T = 1.5 \ (I_{PhasetoGNDfault} / CTR) * (R_{CT} + 2 * R_L)$

$= (1.5)(6395 / (1200/1)) * (7.5 + 2 * 0.475)$

จะได้ $V_T = 67.545$ V

เลือกค่า VS ตามค่าเรนจ์ของรีเลย์ ได้ $V_S = 75$ V

$V_k = 2V_s = 2 * 75 = 150$ V ; (Rage Relay 100-400V)

จะต้องเลือก $V_k > 2V_S > 150$ V

ดังนั้น $V_k > 150$ V

การคำนวณหาค่าของชั้นท์รีซิสเตอร์

จากกราฟ ตารางข้อมูลผู้ผลิต หรือ จากการทดสอบ ที่ $V_S = 75$ V

กระแสเมโทรซิลและกระแสการทำงานของรีเลย์ $I_R = 0.019$ A

จากกราฟ การอิ่มตัวของ CT ที่ $V_S = 75$ V $I_{mag} = 0.0026$ A

คิดกระแสเต็มพิกัดที่หม้อแปลง 50 MVA $I_{fullload} = 251$ A

จะได้กระแสที่ชั้นท์รีซิสเตอร์ (ตามคำแนะนำของ PEA)

$I_{shunt} = I_{fullload}/CTR - (I_R + n * I_{mag})$

$= 251 / (1200/1) - (0.019 + 4 * 0.026)$

$= 0.086$ A

$R_{shunt} = V_S / I_{shunt} = 75 / 0.086 = 870$ ohm

$P_{loss} = I^2_{shunt} R_{shunt} = 0.086^2 * 870 = 6.44$ W

จะได้ $R_{shunt} = 870$ ohm , 100 W

การคำนวณบัสไวด์ชูเปอร์ไวชั่น

คิดที่ 10% ของ V_S ; $V_B = 0.1 * V_S = 0.1 * 75 = 7.5$ V (Range 2-16 V)

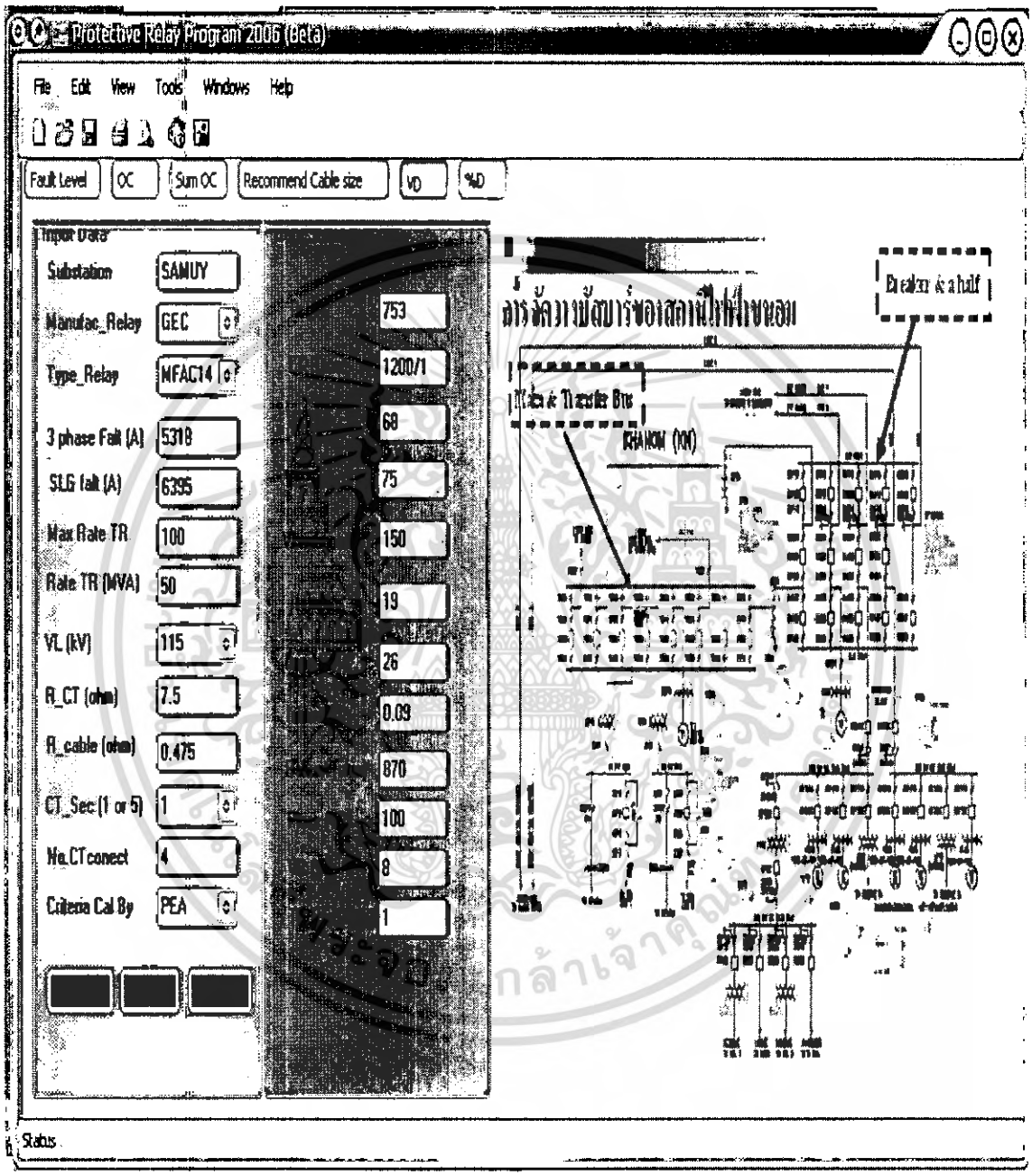
ดังนั้น เซ็ตที่ $V_B = 8$ V (กรณีรีเลย์มีไม่ถึงค่าที่เซ็ตให้ใช้ค่าสูงสุดของรีเลย์)

เซ็ตไทม์ดีเลย์การทำงานของรีเลย์ตามข้อกำหนดของ PEA ที่บัส 115 kV

ดังนั้นเซ็ต $T_B = 3.0$ s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

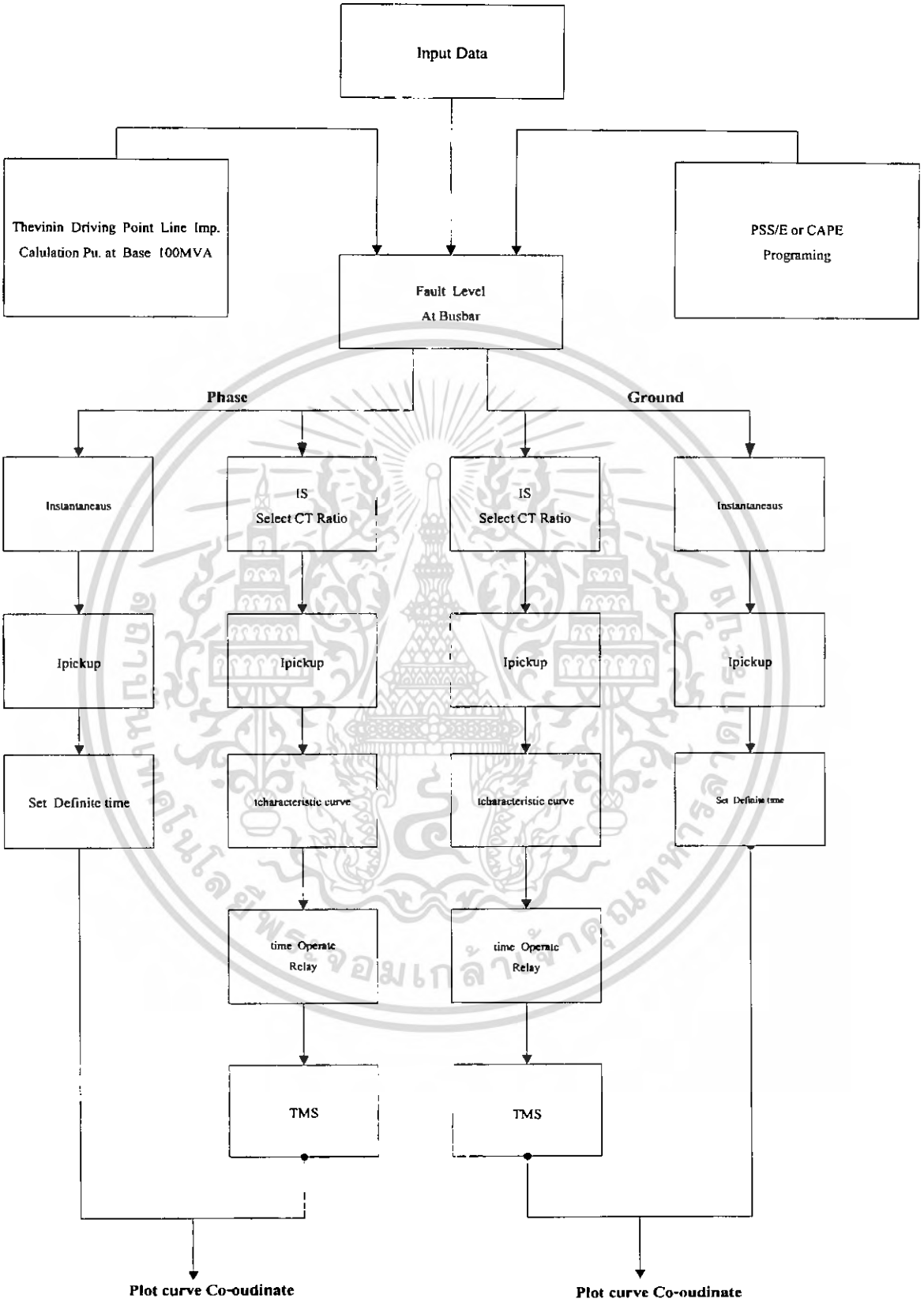
จากผลการเซ็ตดิ้งรีเลย์ สำหรับบัสบาร์ 115 kV ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุยด้วยรีเลย์ป้องกันผลต่างแบบใช้ค่าแรงดัน (87B) เมื่อลองนำค่าที่คำนวณด้วยมือไปเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยโปรแกรม พบว่ามีผลในการเซ็ตดิ้งตรงกันกับการคำนวณด้วยมือจริง ดังรูป



รูปที่ 5.9 ผลการคำนวณค่าเซ็ตดิ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์ด้วยโปรแกรมจากโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 อัลกอริทึมในการเซ็ตติ้งบัสบาร์โดยใช้โอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์



รูปที่ 5.10 อัลกอริทึมในการเซ็ตติ้งบัสบาร์โดยใช้โอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.1 การคำนวณปรับตั้งค่าเซ็ตติ้งรีเลย์ สำหรับบัสอินคัมมิ่ง 115 kV ของสถานี

ไฟฟ้าเกาะสมุยด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (50/51T,51/51G)

ข้อมูลพื้นฐาน

พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง S = 50 MVA

พิกัดแรงดันด้านแรงดันปฐมภูมิ V_L = 115 kV

กระแสทรีเฟสฟอลต์ด้านแรงดันสูงต่ำ $I_{3Phasefault}$ = 4652 A

กระแสเฟสทูกราวนด์ฟอลต์ด้านแรงดันต่ำ $I_{PhasetoGNDfault}$ = 6395 A

กระแสทรีเฟสฟอลต์ด้านแรงดันสูง $I_{3Phasefault}$ = 1335 A

กระแสเฟสทูกราวนด์ฟอลต์ด้านแรงดันสูง $I_{PhasetoGNDfault}$ = 1835 A

การคำนวณด้านเฟส

$I_{fullload} = S/\sqrt{3} * V_L = 50000 / \sqrt{3} * 115 = 251.02$ A

$I_S = 150\% * I_{Fullload} = 1.5 * 251.02 = 376.53$ A

เลือกอัตราส่วนหม้อแปลงกระแส = 400/1

จะได้ $I_{pickup} = I_S/CTR = 376.53 / 400 = 0.941$ A

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 0.94 A

เลือกการทำงานของกราฟคุณลักษณะเฉพาะแบบ นอร์มอลอินเวิร์ส (NI)

จะได้ $t_{NI} = 0.14 / [I_{3Phasefault} / I_n * I_{pick} * CTR]^{0.02} - 1$

$= 0.14 / [4652 / [1 * 0.94 * 400]^{0.02} - 1$

$= 2.713$ s

กำหนดเวลาการทำงานของรีเลย์ขณะเกิดกระแสทรีเฟสฟอลต์ ที่ 1.5 วินาที

ค่าไทม์มัลติเพิลเซ็ตติ้ง $TMS = t / t_{NI} = 1.5 / 2.713 = 0.553$

ดังนั้นเซ็ตค่า TMS = 0.55

จะได้เวลาการทริป $= TMS * t_{NI} = 0.55 * 2.713 = 1.5$ s

การคำนวณค่าอินสแตนทาเนียส

ทำการบล็อกไว้ เนื่องจากเหตุผลทางด้านการโคออดิเนชั่น ไม่ให้แย่งการทำงานของรีเลย์แบบเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณด้านกราวนด์

เนื่องจากข้อกำหนดของ PEAในการตั้งค่าปิกอัพหม้อแปลงแบบYyn0(d1)ให้ใช้ 30%of I_{pickup_HV}

จะได้ I_{pickup} = 30% * I_{pickup_HV} = 0.3 * 0.941 = 0.282 A

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 0.28 A

เลือกการทำงานของกราฟคุณลักษณะเฉพาะแบบ นอร์มอลอินเวิร์ส (NI)

จะได้ $t_{NI} = 0.14 / [I_{PhasetoGNDfault} / I_n * I_{pick} * CTR]^{0.02} - 1$

$= 0.14 / [6395 / 1*0.28*400]^{0.02} - 1$

$= 1.661$ s

เนื่องจากเป็นหม้อแปลงแบบYyn0(d1) กำหนดเวลาการทำงานของรีเลย์ขณะเกิดเฟสทูกราวดน์ฟอลด์ ที่ 2 วินาที

ค่าไทม์มัลติเพิลเซ็ตติ้ง(TMS) TMS = t / t_{NI} = 2 / 1.661 = 1.203 s

ดังนั้นเซ็ตค่า TMS = 1.20

จะได้เวลาการทริป = TMS * t_{NI} = 1.2 *1.661 = 1.999 s

การคำนวณค่าอินสแตนทาเนียส

ทำการบล็อกไว้ เนื่องจากเหตุผลทางด้านการโคออดิเนชั่น ไม่ให้แย่งการทำงานของรีเลย์แบบเวลา

5.2.2.2 การคำนวณปรับตั้งค่าเซ็ตติ้งรีเลย์สำหรับอินคัมมิ่งฟีดเดอร์ 33 kV ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุยด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (50/51,50G/51G)

ข้อมูลพื้นฐาน

พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง S = 50 MVA

พิกัดแรงดันด้านแรงดันทุติยภูมิ V_L = 33 kV

กระแสทรีเฟสฟอลด์ $I_{3Phasefault}$ = 4652 A

กระแสเฟสทูกราวนด์ฟอลด์ $I_{PhasetoGNDfault}$ = 6395 A

การคำนวณด้านเฟส

$I_{fullload} = S/\sqrt{3} * V_L = 50000 / \sqrt{3} * 33 = 874.77$ A

I_S = 140%*$I_{Fullload}$ = 1.4*874.77 = 1224 A

เลือกอัตราส่วนหม้อแปลงกระแส = 1200/1

จะได้ $I_{pickup} = I_S/CTR$ = 1224/1200 = 1.02 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 1.02 A

เลือกการทำงานของกราฟคุณลักษณะเฉพาะแบบ นอร์มอลอินเวิร์ส (NI)

จะได้ $t_{NI} = 0.14 / [I_{3Phasefaul} / I_{pick} * CTR]^{0.02} - 1$

$= 0.14 / [4652/1.02*1200]^{0.02} - 1$

$= 5.173$ s

กำหนดเวลาการทำงานของรีเลย์ขณะเกิดกระแสทรีเฟสฟอลต์ ที่ 1 วินาที

ค่าไทม์มัลติเพิลเซ็ตติ้ง $TMS = t / t_{NI} = 1 / 5.173 = 0.193$

ดังนั้นเซ็ตค่า TMS = 0.20

จะได้เวลาการทริป = $TMS * t_{NI} = 0.20 * 5.173 = 1.035$ s

การคำนวณค่าอินสแตนทาเนียส

ทำการเซ็ตทางด้านปฐมภูมิ ที่ 120 % จะได้ $I_h = 1.2 \ I_{3Phasefault} / CTR = 1.2*4652/1200 = 4.652$

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 5 In

การคำนวณค่าเดฟฟินิทไทม์

สำหรับอินดัมมิ่งฟีตเดอร์ ให้ทริปที่กระแส 120 %ของ $I_{3Phasefault}$

ตามมาตรฐานของ IEC กำหนดการหาค่าเกรดดิ้งมาจินดังสมการ

$\Delta t = 0.25t + 0.25$

โดยที่ t = เวลาของรีเลย์ตัวที่ทำงานก่อน

เวลาดิฟฟินิทไทม์ ของรีเลย์บัสซีเล็กชั่น t = 0.26 s

จะได้ $\Delta t = 0.25 (0.26) + 0.25$

$= 0.315$ s

$t = t + \Delta t$

$= 0.26 + 0.315$

$= 0.575$ sec

เนื่องจากตามข้อกำหนดของ PEA upsteam ในระบบ 22,33 kV ต้องไม่เกิน 0.5 sec

ดังนั้นเซ็ตเดฟฟินิทไทม์ = 0.50

การคำนวณด้านกราวนด์

$I_{fullload} = S/\sqrt{3} * V_L = 50000/\sqrt{3} * 33 = 874.77$ A

$I_S = 30\% * I_{Fullload} = 0.3*874.77 = 262.43$A

จะได้ $I_{pickup} = I_S/CTR = 262.43 / 1200 = 0.219$ A

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 0.22 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกการทำงานของกราฟคุณลักษณะเฉพาะแบบ นอร์มอลอินเวิร์ส (NI)

จะได้ $t_{NI} = 0.14 / [I_{PhasetoGNDfault} / I_{pick} * CTR]^{0.02} - 1$

$= 0.14 / [6395 / 0.22*1200]^{0.02} - 1$

$= 2.16$ s

กำหนดเวลาการทำงานของรีเลย์ขณะเกิดกระแสเฟสทูกราวดน์ฟอลต์ ที่ 1 วินาที

ค่าไทม์มัลติเพิลเซ็ตติ้ง(TMS) $TMS = t / t_{NI} = 1 / 2.16 = 0.462$ s

ดังนั้นเซ็ตค่า TMS = 0.46

จะได้เวลาการทริป $= TMS * t_{NI} = 0.46*2.16 = 0.994$ s

การคำนวณค่าอินสแตนทาเนียส

เซ็ตทางด้านปฐมภูมิที่ 120 % จะได้ $I_h = 1.2 I_{PhasetoGNDfault} / CTR = 1.2*6395 / 1200 = 6.395$

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 6.5 In

การคำนวณค่าเดฟฟินิทไทม์

สำหรับอินดัมมิ่งฟีดเดอร์ ให้ทริปที่กระแส 120 %ของ $I_{PhasetoGNDfault}$

ตามมาตรฐานของ IEC กำหนดการหาค่าเกรดดิ้งมาจินตังสมการ

$$\Delta t = 0.25t + 0.25$$

โดยที่ t = เวลาของรีเลย์ตัวที่ทำงานก่อน

เวลาดิฟฟินิทไทม์ ของรีเลย์บัสซีเล็กชั่น t = 0.26 s

จะได้ $\Delta t = 0.25 (0.26) + 0.25$

$= 0.315$ s

$t = t + \Delta t$

$= 0.26 + 0.315$

$= 0.575$ s

เนื่องจากตามข้อกำหนดของ PEA upsteam ในระบบ 22,33 kV ต้องไม่เกิน 0.5 sec

ดังนั้นเซ็ตเดฟฟินิทไทม์ = 0.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.3 การคำนวณปรับตั้งค่าเซ็ตติ้งรีเลย์ สำหรับบัสไทน์หรือบัสซีเล็กชั่น 33 kV ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุยด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (50/51,50G/51G)

ข้อมูลพื้นฐาน

พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง S = 50 MVA

พิกัดแรงดันด้านแรงดันทุติยภูมิ V_L = 33 kV

กระแสทรีเฟสฟอลต์ $I_{3Phasefault}$ = 4652 A

กระแสเฟสทูกราวนด์ฟอลต์ $I_{PhasetoGNDfault}$ = 6395 A

การคำนวณด้านเฟส

$I_{fullload} = S/\sqrt{3} * V_L = 50000 / \sqrt{3} * 33 = 874.77$ A

$I_S = 125\% * I_{Fullload} = 1..25 * 874.77 = 1093.47$ A

เลือกอัตราส่วนหม้อแปลงกระแส = 1200/1

จะได้ $I_{pickup} = I_S/CTR = 1093.47 / 1200 = 0.91$ A

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 0.91 A

เลือกการทำงานของกราฟคุณลักษณะเฉพาะแบบ นอร์มอลอินเวิร์ส (NI)

จะได้ $t_{NI} = 0.14 / [I_{3Phasefault} t / I_{pick} * CTR]^{0.02} - 1$

$= 0.14 / [4652 / 0.91 * 1200]^{0.02} - 1$

$= 4.72$ s

กำหนดเวลาการทำงานของรีเลย์ขณะเกิดกระแสทรีเฟสฟอลต์ ที่ 0.9 วินาที

ค่าไทม์มัลติเพิลเซ็ตติ้ง $TMS = t / t_{NI} = 0.9 / 4.72 = 0.192$

ดังนั้นเซ็ตค่า TMS = 0.20

จะได้เวลาการทริป $= TMS * t_{NI} = 0.20 * 4.72 = 0.95$ s

การคำนวณค่าอินสแตนทาเนียส

ทำการเซ็ตทางด้านปฐมภูมิ ที่ 110 % จะได้ $I_h = 1.1\ I_{3Phasefault} / CTR = 1.1 * 4652 / 1200 = 4.264$

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 4.5 In

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าเดฟฟีนิทไทม์

สำหรับบัสไทน์หรือบัสซีเล็กชั่นให้ทริปที่กระแส 110 %ของ $I_{3Phasefault}$

ตามมาตรฐานของ IEC กำหนดการหาค่าเกรดดิ้งมาจินดังสมการ

$$\Delta t = 0.25t + 0.25$$

โดยที่ t = เวลาของรีเลย์ตัวที่ทำงานก่อน

สำหรับเอาซ์โกอิ้งฟีดเดอร์ ให้ทริปที่เวลาต่ำสุด คือ เวลา 50 ms ณ ทริปที่ที่ 100 % ของ $I_{3Phasefaul}$ และเวลาดิฟฟีนิทไทม์ ของรีเลย์เอาซ์โกอิ้งฟีดเดอร์ t = 0.05 s

จะได้ $\Delta t = 0.25\ (0.05) + 0.25$

$= 0.2625$ s

$t = t + \Delta t$

$= 0.05 + 0.2625$

$= 0.315$ s

เนื่องจากตามคำแนะนำของ PEA upsteam ในระบบ 22,33 kV ต้องไม่เกิน 0.25 sec

ดังนั้นเซ็ตเดฟฟีนิทไทม์ = 0.25

การคำนวณด้านกราวนด์

$I_{fullload} = S/\sqrt{3} * V_L = 50000/\sqrt{3} * 33 = 874.77$ A

$I_S = 25\% * I_{Fullload} = 0.25 * 874.77 = 218.69$ A

จะได้ $I_{pickup} = I_S/CTR = 218.69 / 1200 = 0.182$ A

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 0.19 A

เลือกการทำงานของกราฟคุณลักษณะเฉพาะแบบ นอร์มอลอินเวิร์ส (NI)

จะได้ $t_{NI} = 0.14 / [I_{PhasetoGNDfault} / I_{pick} * CTR]^{0.02} - 1$

$= 0.14 / [6395 / 0.19 * 1200]^{0.02} - 1$

$= 2.03$ s

กำหนดเวลาการทำงานของรีเลย์ขณะเกิดกระแสเฟสทูกราวดน์ฟอลด์ ที่ 0.9 วินาที

ค่าไทม์มัลติเพิลเซ็ตดิ้ง(TMS) $TMS = t / t_{NI} = 0.9 / 2.03 = 0.443$ s

ดังนั้นเซ็ตค่า TMS = 0.45

จะได้เวลาการทริป = $TMS * t_{NI} = 0.45 * 2.03 = 0.913$ s

การคำนวณค่าอินสแตนทาเนียส

เซ็ตทางด้านปฐมภูมิที่ 110 % จะได้ $I_h = 1.1\ I_{PhasetoGNDfault} / CTR = 1.1 * 6395 / 1200 = 5.862$

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 6 In

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าเดฟฟีนิทไทม์

สำหรับบัสไทน์หรือบัสซีเล็กชั่นให้ทริปที่กระแส 110 %ของ $I_{3Phasefault}$

ตามมาตรฐานของ IEC กำหนดการหาค่าเกรดดิ้งมาจินดังสมการ

$$\Delta t = 0.25t + 0.25$$

โดยที่ t = เวลาของรีเลย์ตัวที่ทำงานก่อน

สำหรับเอาซ์โกอิ้งฟีดเดอร์ ให้ทริปที่เวลาต่ำสุด คือ เวลา 50 ms ณ ทริปที่ที่ 100 % ของ $I_{3Phasefaul}$ และเวลาดิฟฟีนิทไทม์ ของรีเลย์เอาซ์โกอิ้งฟีดเดอร์ t = 0.05 s

จะได้ $\Delta t = 0.25\ (0.05) + 0.25$

$= 0.2625$ s

$t = t + \Delta t$

$= 0.05 + 0.2625$

$= 0.315$ s

เนื่องจากตามคำแนะนำของ PEA upsteam ในระบบ 22,33 kV ต้องไม่เกิน 0.25 sec

ดังนั้นเซ็ตเดฟฟีนิทไทม์ = 0.25

5.2.2.4 การคำนวณปรับตั้งค่าเซ็ตติ้งรีเลย์ สำหรับเอาซ์โกอิ้งฟีดเดอร์ 33 kV ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุยด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (50/51, 50G/51G)

ข้อมูลพื้นฐาน

พิกัดหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง S = 50 MVA

พิกัดแรงดันด้านแรงดันทุติยภูมิ V_L = 33 kV

ขนาดกระแสเต็มพิกัดของสาย XLPE 400 mm^2 I_{cable}= 600 A

กระแสทรีเฟสฟอลต์ $I_{3Phasefault}$ = 4652 A

กระแสเฟสทูกราวนด์ฟอลต์ $I_{PhasetoGNDfault}$ = 6395 A

การคำนวณด้านเฟส

$I_{fullload} = I_{cable} = 600$ A

$I_S = 100\% * I_{Fullload} = 1.0 * 600 = 600$ A

เลือกอัตราส่วนหม้อแปลงกระแส = 600/1

จะได้ $I_{pickup} = I_S/CTR = 600/600 = 1.0$ A

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 1.0 A

เลือกการทำงานของกราฟคุณลักษณะเฉพาะแบบ นอร์มอลอินเวิร์ส (NI)

จะได้ $t_{NI} = 0.14 / [I_{3Phasefaul} / I_{pick} * CTR]^{0.02} - 1$

$= 0.14 / [4652/1*600]^{0.02} - 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

= 3.348 s

กำหนดเวลาการทำงานของรีเลย์ขณะเกิดกระแสทรีเฟสฟอลต์ ที่ 0.3 วินาที

ค่าไทม์มัลติเพิลเซ็ตติ้ง TMS = t / t_{NI} = 0.3 / 3.348 = 0.0895

ดังนั้นเซ็ตค่า TMS = 0.1

จะได้เวลาการทริป = TMS*t_{NI} = 0.10*3.348= 0.335 s

การคำนวณค่าอินสแตนทาเนียส

ทำการเซ็ตทางด้านปฐมภูมิ ที่ 100 % จะได้ I_h = 1.0 $I_{3Phasefault}$ / CTR = 1.0*4652/600 = 7.75

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 8 In

การคำนวณค่าเดฟฟินิทไทม์

สำหรับเอาซ์โกอิ้งฟีดเดอร์ ให้ทริปที่เวลาต่ำสุด คือ เวลา 10 ms ณ ทริปที่ที่ 100 %ของ $I_{3Phasefaul}$ เนื่องจากบางครั้งอาจจะต้องทำการโคออดิเนชั่นกับรีโคลสเซอร์ จึงต้องทำการเผื่อค่าการทำงานของเบรกเกอร์ที่ 50 ms

ดังนั้นเซ็ตเดฟฟินิทไทม์ = 0.05

การคำนวณด้านกราวนด์

$I_{fullload} = I_{cable}$= 600 A

I_S = 30%*$I_{Fullload}$ = 0.3*600 = 180 A

จะได้ $I_{pickup} = I_S/CTR$ = 180 /600 = 0.3 A

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 0.30 A

เลือกการทำงานของกราฟคุณลักษณะเฉพาะแบบเวรี่อินเวิร์ส (VI)

จะได้ $t_{VI} = 13.5 / [I_{PhasetoGNDfault} / I_{pick} * CTR]^{0.02} - 1$

$= 13.5 / [6395 / 0.3*600]^{1} - 1$

$= 0.391$ s

กำหนดเวลาการทำงานของรีเลย์ขณะเกิดกระแสทรีเฟสฟอลต์ ที่ 0.1 วินาที

ค่าไทม์มัลติเพิลเซ็ตติ้ง(TMS) TMS = t / t_{VI} = 0.1 / 0.391 = 0.256 s

ดังนั้นเซ็ตค่า TMS = 0.26

จะได้เวลาการทริป = TMS*t_{NI} = 0.26*0.391= 0.102 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าอินสแตนทาเนียส

เซ็ตทางด้านปฐมภูมิที่ 100 % จะได้ I_h = 1.0 $I_{PhasetoGNDfault}$ / CTR = 1.0*6395 /600 = 10.658

ดังนั้นเซ็ตกระแสปิคอัพ = 11

การคำนวณค่าเดฟฟีนิทไทม์

สำหรับเอาซ์โกอิ้งฟีดเดอร์ ให้ทริปที่เวลาต่ำสุด คือ เวลา 10 ms ณ ทริปที่ที่ 100 %ของ $I_{3Phasefaul}$ เนื่องจากบางครั้งอาจจะต้องทำการโคออดิเนชั่นกับรีโคลสเซอร์ จึงต้องทำการเผื่อค่าการทำงานของเบรกเกอร์ที่ 50 ms

ดังนั้นเซ็ตเดฟฟีนิทไทม์ = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลการเซ็ตติ้งสามารถสรุปผลได้ดังตาราง

RELAY - RELAY COORDINATION

SUBSTATION : KOA SAMUY	PHASE & GROUND OVERCURRENT					3 PHASE FAULT = 4652 A					
PROVINCE : SUAT THANI						SLG FAULT = 6395 A					
DATA SETTING	115 kV Phase(1YB,2YB)	115 kV GROUND (1YB,2YB)	33 kV Phase Incoming (1BVB,2VBV)	33 kV Ground Incoming (1BVB,2VBV)	33 kVPhase Bus-selection (BVB)	33 kV Ground Bus-selection (BVB)	33 kV Phase Outgoing(1VB-10BV)	33 kV Ground Outgoing(1VB-10BV)	33 kV Nutral Grounding		UNIT
RELAY TYPE	7UT612	7UT612	7SJ62	7SJ62	7SJ62	7SJ62	7SJ62	7SJ62			-
KV. SIDE	115.00	115.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00	33.00			kV.
CT. PRIMARY	400	400	1,200	1,200	1,200	1,200	600	600			A.
CT. SECONDARY	1.00	1.00	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			A.
CHARACTERISTIC CURVE	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	VI			-
Plug Setting (In)	0.940	0.280	1.02	0.220	0.910	0.190	1.00	0.300			I_N
TMS (Time Multiplier Setting)	0.550	1.200	0.200	0.460	0.200	0.450	0.100	0.260			-
Setting Instantaneous - I>> (In)	BLOCK	BLOCK	5.00	6.50	4.50	6.00	8.00	11.00			I_N
Instantaneous I (A)	BLOCK	BLOCK	5583	7674	5118	7.035	4652	6395			A
Definite time	BLOCK	BLOCK	0.500	0.500	0.250	0.25	0.050	0.050			s

Characteristic Curve (According to IEC 255-4 or BS 142)

Normal Inverse (NI) $t = Tp*K / ((I/Ip)^{0.02} - 1)$ K = 0.14

Very Inverse (VI) $t = Tp*K / ((I/Ip) - 1)$ K = 13.5

ENGINEER :

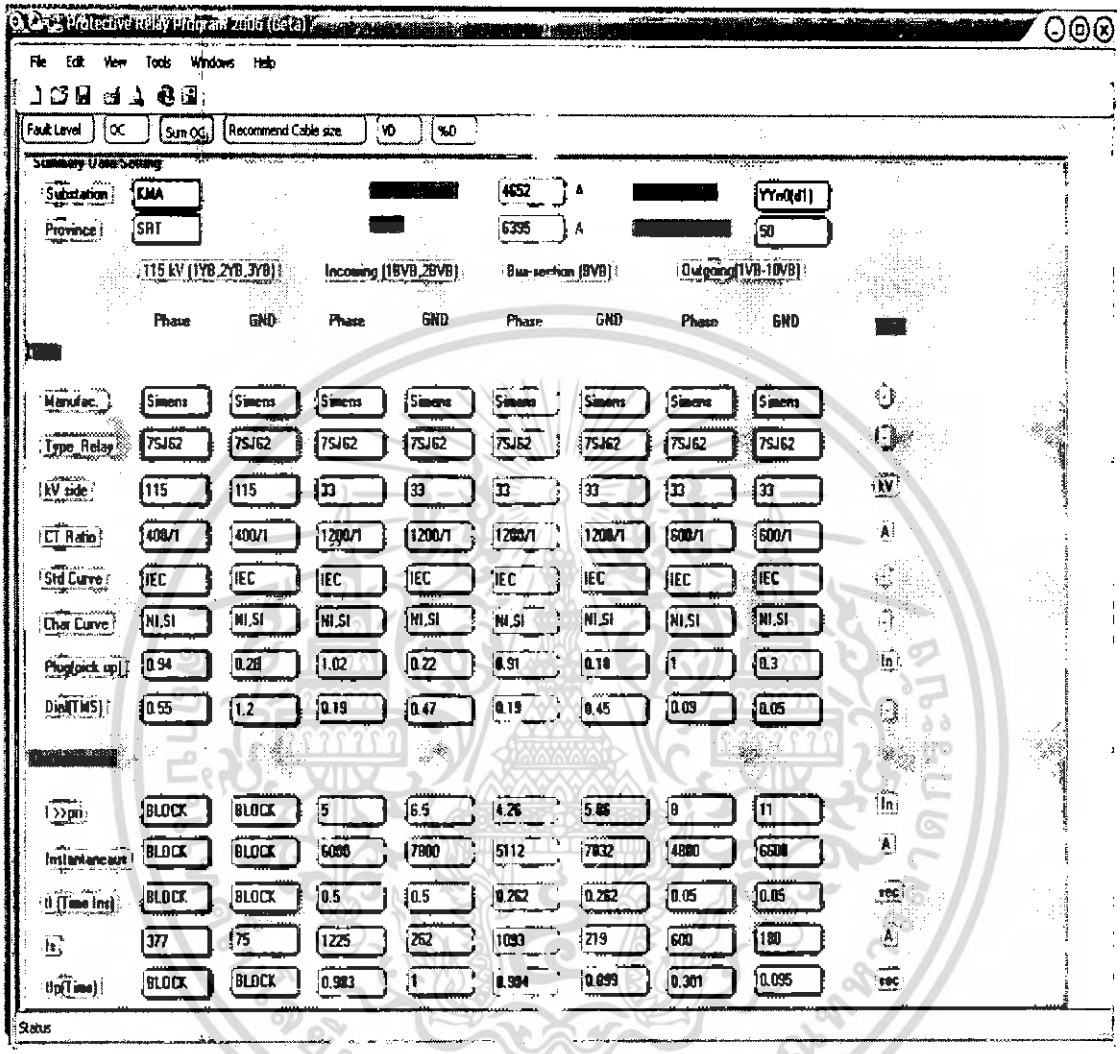
FAULT AT 33 kV BUS (Driving point 2006)

TP. : (50 MVA) APPROVE 23/01/07

ตารางที่ 5.8 ผลการเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย ด้วยการคำนวณมือ

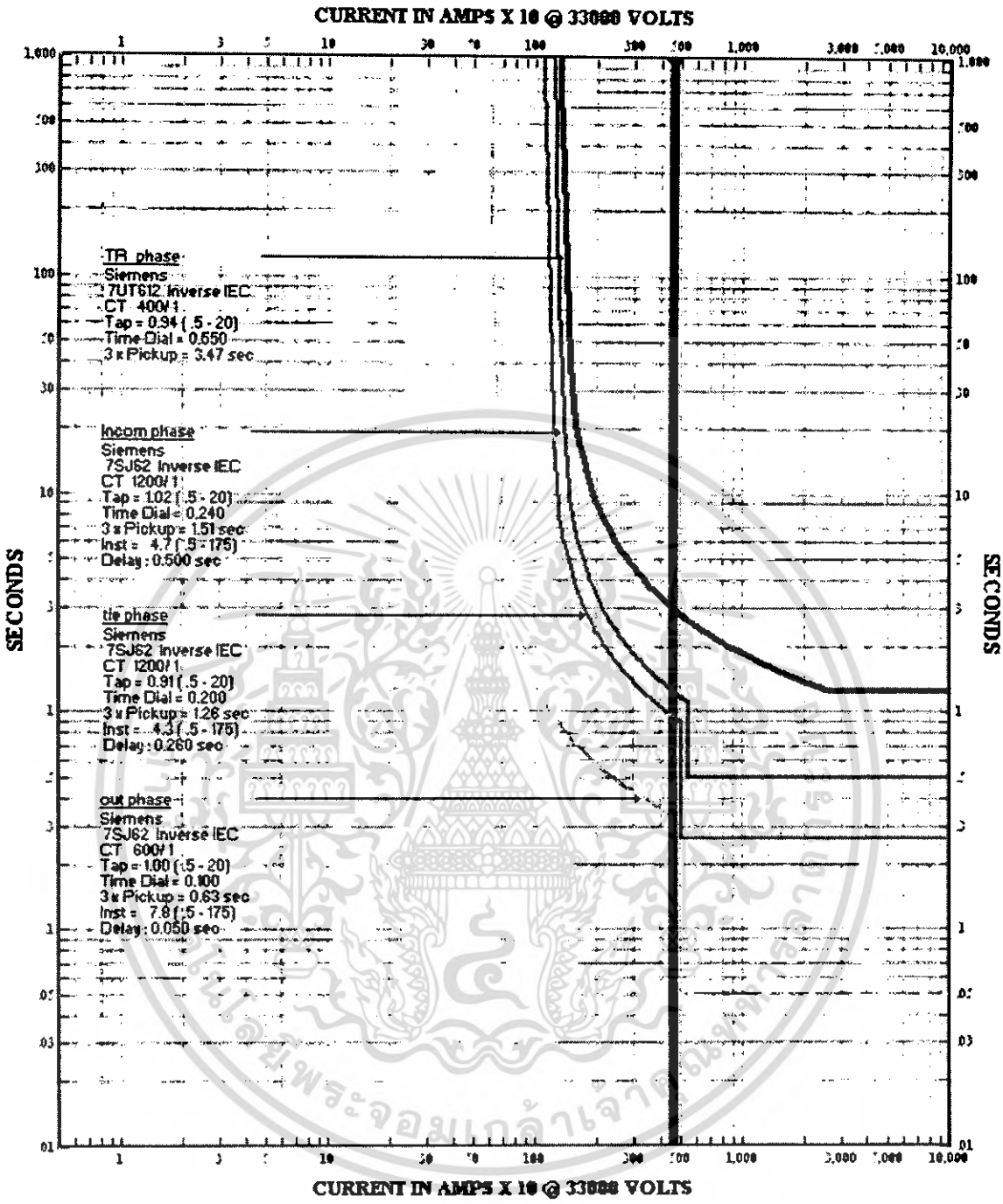
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย ด้วยโปรแกรมของโครงงาน



รูปที่ 5.11 ผลการเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย ด้วยโปรแกรมของโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

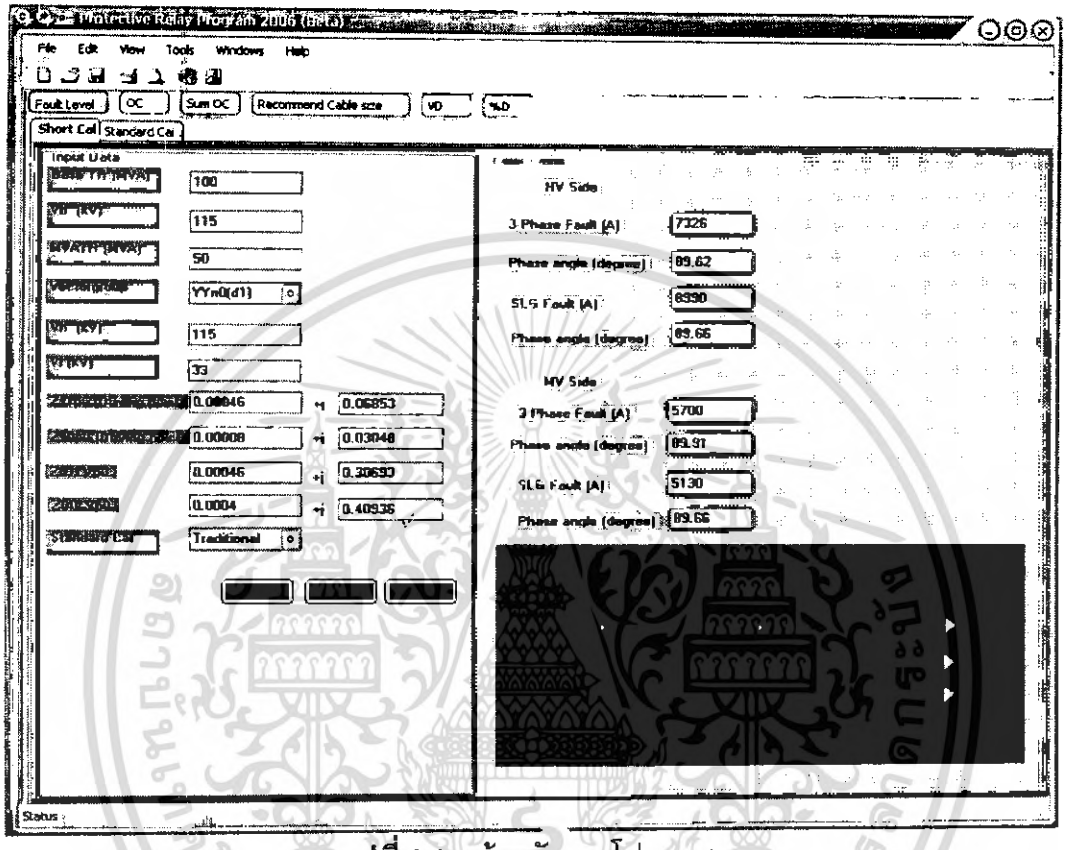


รูปที่ 5.12 การโคออดิเนชั่นทางด้านเฟสของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย (33kV) ด้วยโปรแกรม Power plot ซึ่ง PEA ใช้งานอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
วิธีการใช้งานและตัวอย่างการแก้ปัญหาในระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม

6.1 ขีดความสามารถและข้อจำกัดในการใช้งานของโปรแกรม



รูปที่ 6.1 หน้าหลักของโปรแกรม

การทำงานของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยโหมดหลักดังต่อไปนี้

1.โหมดการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV (Fault Level) ซึ่งแบ่งเป็น

- Short Cal
- Standard cal

2. โหมดการคำนวณค่าเซ็ตดิ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ (OC) ซึ่งแบ่งเป็น

- Bus
- TR

3. โหมดสรุปการคำนวณค่าเซ็ตดิ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ทั้งหม้อแปลงและบัสบาร์(Sum OC)

4.โหมดการคำนวณหาขนาดของสายลีดทางด้านทุติยภูมิของ CT (Recommend Cable Size)

5. โหมดการคำนวณค่าเซ็ตดิ้งโวลท์เดดท์ติฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์ (VD)

6. โหมดการคำนวณค่าเซ็ตดิ้งเคอร์เร้นท์ติฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเตดท์ (%D)

- Calculation
- Chareccteristic curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.1 โหมดการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV (Fault Level)

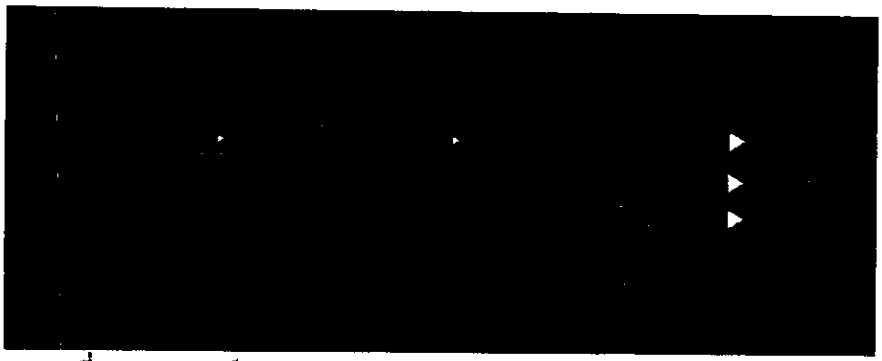
ความสามารถของโปรแกรมจะเป็นการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV ในระบบสายส่งและระบบจำหน่ายที่เป็นแบบเรเดียล หรือมีแหล่งจ่ายมาจากทิศทางด้านเดียวใช้หลักการโดยยุบวงจรเป็นแบบเทวินินท์ทางด้านแหล่งจ่าย หรือในที่นี้คือระบบสายส่งของ EGAT ยุบเป็นอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายของระบบ ซึ่งจะต้องมีทั้งค่าโพสิทีฟและซีโร อิมพีแดนซ์อิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายของระบบ นิยมเรียกว่าค่า Driving point ซึ่งจะต้องต่ออนุกรมเข้ากับระบบสายส่งของ PEA ซึ่งสามารถดูเนทเวิร์คการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV ได้ดังรูปที่ 6.2 ซึ่งวิธีการในการคำนวณหาค่ากระแสฟอลต์จะใช้มาตรฐาน ANSI/IEEE 141-1986 เป็นหลัก

ในบางกรณีอาจมี 2 อินคัมมิ่ง จาก EGAT เข้ามาขนานกับระบบของ PEA หรือ กรณีที่เป็นสาย 2 ชนิดหรือ 2 ขนาดต่ออนุกรมกัน โปรแกรมก็สามารถคำนวณได้ในโหมดการคำนวณกระแสฟอลต์แบบ Standard Calculation ซึ่งการคำนวณจะใช้สมการการคำนวณของซิมเมตริคอลคอมโพเน้นท์ คำนวณค่ากระแสฟอลต์แบบทรีเฟสฟอลต์ และซิงเกิลไลน์ทูกราวดน์ฟอลต์ในระบบ HV และ MV ของกฟภ. ซึ่งค่ากระแสฟอลต์ที่คำนวณได้ทางด้าน HV จะเรียกว่าเป็นค่ากระแสฟอลต์ที่บัสบาร์ 69,115 kV ส่วนค่ากระแสฟอลต์ที่คำนวณได้ทางด้านMV จะเรียกว่าเป็นค่ากระแสฟอลต์ที่บัสบาร์ 22,33 kV หรือสามารถเรียกได้อีกแบบว่าเป็นฟอลต์ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง ก็ได้

ส่วนการคำนวณในระบบสายส่งของ EGAT นั้นสามารถทำได้เช่นกัน แต่จะสามารถคำนวณได้เฉพาะ ในกรณีที่เป็นฟอลต์ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงเท่านั้น เพียงแต่ต้องทราบค่าการยุบวงจรแบบเทวินินท์หรือเรียกว่าค่า Driving point ก็จะสามารถคำนวณได้จากโปรแกรมในโหมดการคำนวณกระแสฟอลต์แบบ Short Calculation แต่ในลักษณะที่เป็นฟอลต์ที่บัสบาร์ของ EGAT
จะไม่สามารถคำนวณได้ เนื่องจากมีแหล่งจ่ายจากหลายทิศทาง ดังนั้นในการหาค่ากระแสฟอลต์ในระบบที่เป็นแบบเนทเวิร์คของ EGAT จึงนิยมใช้โปรแกรม PSS/E ในการคำนวณมากกว่า

ค่ากระแสฟอลต์ที่คำนวณได้ทางด้าน HV จะนำไปใช้ในการคำนวณในการเซ็ตดิ้งรีเลย์เพื่อป้องกันบัสบาร์ระบบ HV ด้วยโวลท์เดดท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์ ส่วนค่ากระแสฟอลต์ที่คำนวณได้ทางด้าน MV จะไปใช้ในการคำนวณในการเซ็ตดิ้งรีเลย์เพื่อป้องกันหม้อแปลงและบัสบาร์ระบบ MV ด้วยโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 เนทเวิร์คการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV

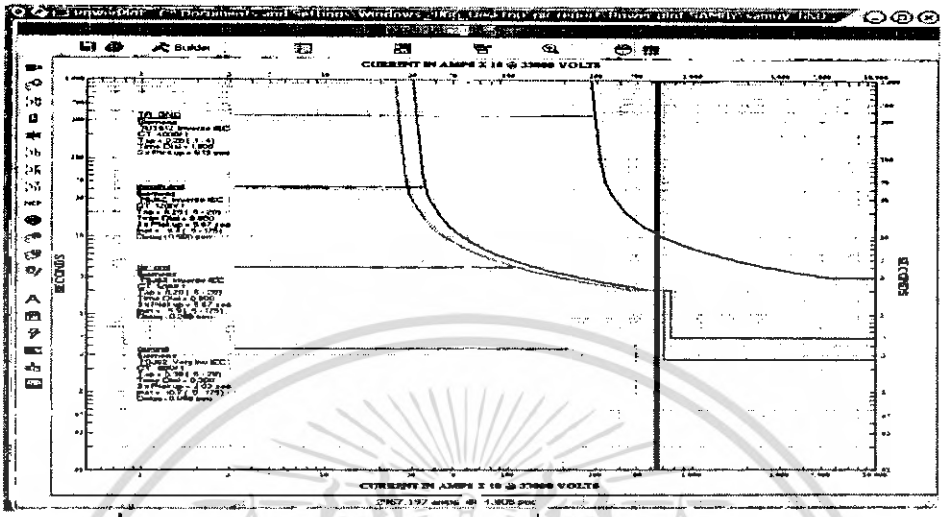
6.1.2 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ (OC)

ข้อจำกัดของโหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ จะอยู่ที่การปัดจุดทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ปัญหามีอยู่ว่า รีเลย์แต่ละรุ่นจะมีค่าความละเอียดในการปรับตั้งไม่เท่ากัน ซึ่งการที่เราจะเอาฐานข้อมูลด้านความละเอียดในการเซ็ตติ้งของรีเลย์ทุกรุ่นมาใส่ไว้ในโปรแกรมนั้นเป็นเรื่องยาก ซึ่งบางบริษัทอาจจะถือว่าเป็นข้อมูลทางเทคนิคไม่สามารถเปิดเผยกับบุคคลทั่วไปได้ ดังนั้นโปรแกรมของเราจำเป็นต้องทำการคำนวณเป็นค่าทศนิยม 2 ตำแหน่งไว้ จากนั้นผู้ใช้งานจำเป็นต้องทราบความละเอียดในการปรับตั้งของรีเลย์รุ่นที่เลือกใช้งานเอง และทำการเลือกค่าการเซ็ตติ้งจากทศนิยม 2 ตำแหน่ง เป็นตำแหน่งตามความละเอียดของรีเลย์รุ่นที่เราเลือกใช้งานจริง (ข้อแนะนำ: ผู้ใช้งานควรมีมาตรฐานของในการเซ็ตติ้งรีเลย์บ้าง เช่น การป้องกันอุปกรณ์แต่ละชนิดและแต่ละแรงดันอาจจะต้องใช้ กราฟคุณลักษณะเฉพาะของรีเลย์ ที่แตกต่างกันไปแต่ละมาตรฐานหรือข้อแนะนำจากการไฟฟ้า) ส่วนข้อจำกัดของโปรแกรมในโหมดการป้องกันหม้อแปลงจะทำการคำนวณการเซ็ตติ้งของหม้อแปลงเฉพาะด้าน HV และ LV เท่านั้น เนื่องจากทางด้าน TV ไม่ค่อยได้ใช้งานในการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อาจจะมีให้เห็นบ้างในหม้อแปลงของ EGAT ซึ่งใช้ด้าน TV จ่ายโหลดในสถานีหรือในระบบมิเดอร์ ซึ่งปกติขดลวดทางด้าน TV หรือขดเดลต้า จะคอยช่วยเป็นตัวกรองฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบเท่านั้น ไม่ค่อยนิยมนำมาจ่ายโหลดของระบบ

นอกจากนี้แล้ว ในเรื่องของการคำนวณค่า Definite time จำเป็นต้องทราบค่าเวลาทางด้านดาวสตรีม เพื่อที่จะคำนวณหาค่าเวลาอัพสตรีม เพื่อไปใช้ในการพลอตกราฟการโคออดิเนชั่นต่อไปด้วยโปรแกรม Power Plot ซึ่งจะมีฐานข้อมูลของรีเลย์ทุกรุ่นทุกยี่ห้อให้เลือกใช้งานในการโคออดิเนชั่นได้ดีกว่า ดังนั้นวิธีการในการโคออดิเนชั่น เริ่มจากการคำนวณค่าการเซ็ตติ้งต่างๆ จากโปรแกรมการเซ็ตติ้ง ซึ่งค่าที่ได้จากโปรแกรมยังไม่สามารถใช้งานได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากยังไม่ได้ทำการโคออดิเนชั่น จากนั้นก็นำเอาค่าการเซ็ตติ้งต่างๆ เช่น รุ่นของรีเลย์ ค่าปิกอัพค่า CT Ratio ค่า TMS ค่าเดฟฟินิทไทม์ เป็นต้น มาใส่ลงในโปรแกรม Powe Plot ซึ่งโปรแกรม Powwer Plot ก็จะทำการพลอตกราฟการโคออดิเนชั่น ของระบบให้เห็น ซึ่งอาจจะต้องมีการปรับค่า TMS ให้กราฟสามารถโคออดิเนตรกันได้ โดยยึดหลักว่ากราฟแต่ละเส้นต้องไม่ทับกัน และต้องห่างพอที่จะโคออดิเนตกันได้ ซึ่งมักตั้งไห้มาจินห่างกันอย่างน้อยที่ 25 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.3 ซึ่งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเองก็ได้ใช้โปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมหลักในการพลอตกราฟแสดงการโคออดิเนชั่นของระบบหน่ายของการไฟฟ้าเอง



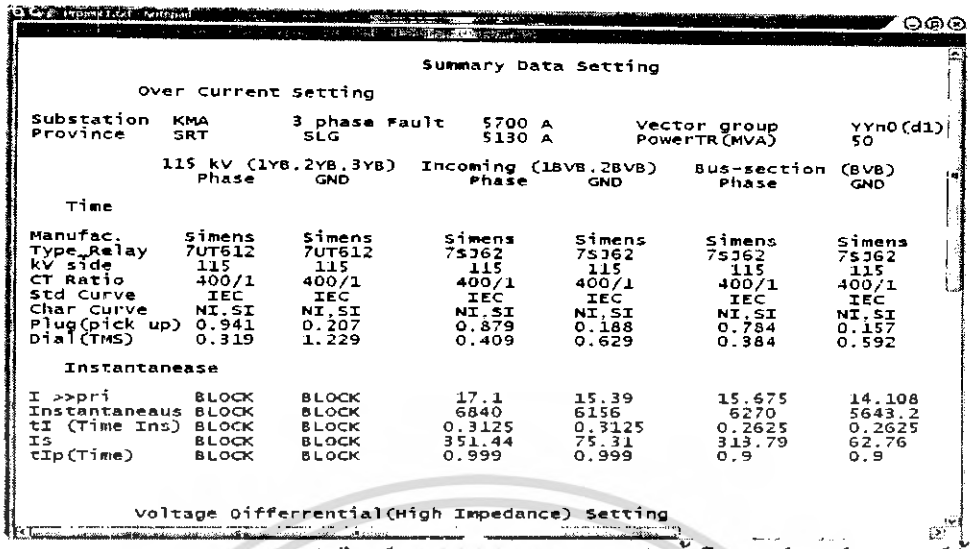
รูปที่ 6.3 การพลอตกราฟการโคออดิเนชั่นด้วยโปรแกรม Power Plot

6.1.3 โหมดสรุปการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ทั้งหม้อแปลงและบัสบาร์(Sum OC)

โหมดนี้เป็นการแสดงผลสรุปค่าการเซ็ตติ้งของการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ทั้งหม้อแปลงและบัสบาร์ ซึ่งจะแสดงค่าเซ็ตติ้งการป้องกันบัสบาร์ทั้งแบบ Incoming,Tie และ Outgoing ค่าแสดงผลสรุปค่าการเซ็ตติ้งของการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ทั้งหม้อแปลงและบัสบาร์ จะแสดงค่าการเซ็ตติ้งรีเลย์ต่างๆ ทั้งทางด้านเวลาและอินแสตนทาเนียส ซึ่งมีทั้งค่าการเซ็ตติ้งทั้งทางด้านเฟสและกราวดน์ รวมอยู่ในหน้าโปรแกรมนี้ทั้งหมด ซึ่งโปรแกรมสามารถทำการส่งข้อมูลออกเป็นเท็กไฟล์ เพื่อนำไปปริ้นเอ้าซ์ออกมา เพื่อดูผลและนำไปใช้งานได้ ซึ่งสามารถแสดงการส่งข้อมูลออกเป็นทุกไฟล์ได้ดังรูปที่ 6.4

การแสดงผลของโปรแกรมจะเป็นรูปแบบการแสดงผลซึ่งเป็นการแสดงผลในรูปแบบเดียวกันกับรูปแบบการแสดงผลของ กฟภ. เพื่อที่พนักงานจะได้นำค่าที่เซ็ตติ้งจากโปรแกรมไปทำการเซ็ตติ้งที่หน้างานหรือบริเวณหน้าดูรีเลย์รีเลย์ของการไฟฟ้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Summary Data Setting

Over Current Setting

Substation	KMA	3 phase Fault	5700 A	Vector group		YYn0(d1)
Province	SRT	SLG	5130 A	PowerTR(MVA)		50
	115 kV (1YB,2YB,3YB) Phase	GND	Incoming (1BVB,2BVB) Phase	GND	Bus-section (BVB) Phase	GND
Time						
Manufac.	Simens	Simens	Simens	Simens	Simens	Simens
Type_Relay	7UT612	7UT612	7SJ62	7SJ62	7SJ62	7SJ62
kV side	115	115	115	115	115	115
CT Ratio	400/1	400/1	400/1	400/1	400/1	400/1
Std Curve	IEC	IEC	IEC	IEC	IEC	IEC
Char Curve	NI,SI	NI,SI	NI,SI	NI,SI	NI,SI	NI,SI
Plug(pick up)	0.941	0.207	0.879	0.188	0.784	0.157
Dial(TMS)	0.319	1.229	0.409	0.629	0.384	0.592
Instantanease						
I >>pri	BLOCK	BLOCK	17.1	15.39	15.675	14.108
Instantaneaus	BLOCK	BLOCK	6840	6156	6270	5643.2
tI (Time Ins)	BLOCK	BLOCK	0.3125	0.3125	0.2625	0.2625
Is	BLOCK	BLOCK	351.44	75.31	313.79	62.76
tIp(Time)	BLOCK	BLOCK	0.999	0.999	0.9	0.9

Voltage Differrential(High Impedance) Setting

รูปที่ 6.4 การส่งข้อมูลออกเป็นเท็กไฟล์ สรุปการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ทั้งหม้อแปลงและบัสบาร์

6.1.4 โหมดการคำนวณหาขนาดของสายลีดทางด้านทุติยภูมิของ CT (Recommend Cable Size)

ข้อจำกัดในโหมดนี้ก็คือ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องทราบค่าพารามิเตอร์ ต่างๆ เช่น ค่าเบอร์เดนของและความต้านทานของ CT ความต้านทานของรีเลย์ ความยาวของสายลีด และอุณหภูมิในการใช้งานของ CT (ถ้าไม่กำหนดจะใช้งานที่ 40 องศาเซลเซียส) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะนำไปคำนวณและเปรียบเทียบในโปรแกรมเพื่อที่จะทำการเลือกขนาดของสายลีดที่ต่อเข้าทางด้านทุติยภูมิของ CT และคำนวณความต้านทานของสายลีด เพื่อส่งค่าไปในโหมดของการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์ (VD) ต่อไป

6.1.5 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์ (VD)

ข้อจำกัดในการใช้งานของโหมดนี้คือ ผู้ใช้งานจำเป็นต้องทราบแคดตาลอกของรีเลย์รุ่นที่เลือกใช้งาน ว่ามีเรนก์ในการเลือกค่าแรงดันเซ็ตติ้งและกระแสที่ไหลเข้ารีเลย์ เป็นเท่าใด รวมทั้งต้องมีกราฟกระแสกระตุ้นของ CT (Exciting Current Curve) ณ แรงดันที่ทำการเซ็ตติ้ง เพื่อที่จะนำไปคำนวณในโปรแกรมเพื่อหาค่าความต้านทานที่ต่อขนานกับวงจร(R_{shunt}) เพื่อช่วยในการลดค่าความว่องไวในการทำงานของโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์

ซึ่งในโปรแกรมจะมีภาพตัวอย่างของแคดตาลอกการใช้งานของรีเลย์รุ่น MVTP-31 เพื่อบอกเรนก์ของแรงดันเซ็ตติ้ง และค่ากระแสที่เข้าสู่รีเลย์ (Ir) และได้โชว์รูปตัวอย่างของกราฟกระแสกระตุ้น ในหลายๆอัตราส่วนของ CT มาให้ดู เพื่อผู้ใช้งานจะได้เข้าใจในการกรอกค่าข้อมูลอินพุตของโปรแกรม เพื่อที่จะคำนวณค่าการเซ็ตติ้งได้อย่างถูกต้อง และเหมาะสมกับรีเลย์รุ่นนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการที่โปรแกรมสามารถแก้ไขค่าที่คำนวณได้จากผู้ใช้งานได้นั้น มีข้อดีคือ ในกรณีที่เราคำนวณแล้ว ไม่มีขนาดของอุปกรณ์ที่คำนวณให้ใช้งาน เราก็สามารถเลือกใช้งานตามอุปกรณ์ที่เรามี หรือบางกรณีเราจำเป็นต้องการเผื่อค่าการใช้งานไว้สำหรับในอนาคต ซึ่งจากตัวอย่างการเซ็ตดิ้งก็อาจจะมีให้เห็นได้ เช่น คำนวณเลือกค่า CT ไว้ที่ 800/1 A แต่เราต้องการเผื่อการใช้งานในอนาคตจึงทำการเลือกใช้งานเป็น 1200/1 แทน หรือในกรณีที่โปรแกรมคำนวณค่าแรงดันเซ็ตดิ้งแล้วไม่มีพิกัดแรงดันให้ใช้งาน จำเป็นเลือกค่าแรงดันการเซ็ตดิ้งใช้งานตามที่รีเลย์รุ่นนั้นๆมี เป็นต้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะทำให้โปรแกรมสามารถใช้งานกับรีเลย์ทุกรุ่นที่เรามีแคตตาลอกที่บอกพิกัดการใช้งาน

6.1.6 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งเคอร์เร้นท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเดตท์ (%D)

ข้อจำกัดในการใช้งาน คือ ผู้ใช้งานต้องทราบ % ต่ำสุดและสูงสุดของออนโหลดแทปเชนก์ด้านแทปแรงสูงว่าเป็นเท่าไหร่(กรณีหม้อแปลงไม่มี OLTC ให้ใส่ 0 ทั้ง 2 ช่อง) ซึ่งหาได้จากข้อมูลของบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลง ซึ่งโปรแกรมจะคำนวณและเลือกการใช้งานของอุปกรณ์ เช่น การต่อเวกเตอร์กรุ๊ป , การเลือก CT Ratio , Ratio Correction ของ CT ทั้งทางด้าน HV,LV และ TV

ในโปรแกรมนี้จะขอยกเว้นการใช้หม้อแปลงกระแสช่วย (Auxiliary CT) ซึ่งอาจจะมีผลกับค่า % mismatch บ้าง แต่เนื่องจากรีเลย์ในปัจจุบันสามารถปรับตั้งค่ากระแสที่เข้าสู่รีเลย์ได้ใกล้เคียง 1.0 I_N แล้วจึงทำให้ค่า %mismatch มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับ % ความผิดพลาดของ CTและ OLTC

นอกจากนี้แล้วโปรแกรมยังคำนวณค่าเปอร์เซ็นมิสแมทต์ และคำนวณการตั้งค่าการทำงานเริ่มต้นของรีเลย์ เพื่อที่จะทำการปรับตั้งความชันของกราฟ ซึ่งค่าการปรับตั้งความชันที่ 1 และ 2 นั้นจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการปรับตั้งค่าของรีเลย์รุ่นนั้นๆ แต่ในที่นี้จะยึดตามแบบที่กฟภ.เซ็ตติ้งและเป็นรีเลย์แบบดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเดตต์ รุ่น MICOM P63x ก็คือ ความชันที่ 1 เป็น 0.3 ส่วนความชันที่ 2 เป็น 0.7 โดยจะแสดงเป็นกราฟเพื่อบอกค่าการทำงานแสดงเป็นกราฟคุณลักษณะเฉพาะ(Charracteristic Curve) ของเคอร์เร้นท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเดตท์ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานได้มองเห็นภาพการทำงานของรีเลย์ในช่วงค่าพิกัดกระแสต่างๆ ในการใช้เคอร์เร้นท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเดตท์เพื่อป้องกันหม้อแปลง ได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ข้อมูลอินพุตและตัวแปรที่ใช้งานในโปรแกรมที่ควรรู้จัก

6.2.1 โหมดการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV

Input Data

Base TR(MVA) = พิกัดกำลังไฟฟ้าฐาน หน่วย MVA

Vb(kV) = แรงดันไฟฟ้าฐาน หน่วย kV

MVATR(MVA) = พิกัดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลง หน่วย MVA

Vectorgroup = เวกเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลง

Vh(kV) = แรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูงของหม้อแปลง หน่วย kV

Vl(kV) = แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำของหม้อแปลง หน่วย kV

Zs1pu(Drivingpoint) = ค่าโพสิทีฟอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย(ยุบวงจรของ EGAT) หน่วยohm

Zs0pu(Drivingpoint) = ค่าซีโรอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่าย(ยุบวงจรของ EGAT) หน่วยohm

Ztr1LVpu. = ค่าโพสิทีฟอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงหน่วย ohm

Ztr0LVpu. = ค่าซีโรอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงหน่วย ohm

Standard Cal = มาตรฐานในการคำนวณ

Base Voltage(kV) = แรงดันไฟฟ้าฐาน หน่วย kV

Base TR Test(MVA) = พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ทำการทดสอบของหม้อแปลง หน่วย MVA

Vh_Pri(kV) = แรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูงหรือด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง หน่วย kV

Vh_Sec(kV) = แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำหรือทุติยภูมิของหม้อแปลง หน่วย kV

Z1line1(ohm/km) = ค่าโพสิทีฟอิมพีแดนซ์ของสายส่งในไลน์ที่ 1 หน่วย ohm

Z0line0(ohm/km) = ค่าซีโรอิมพีแดนซ์ของสายส่งในไลน์ที่ 1 หน่วย ohm

Z1line2(ohm/km) = ค่าโพสิทีฟอิมพีแดนซ์ของสายส่งในไลน์ที่ 2 หน่วย ohm

Z0line2(ohm/km) = ค่าซีโรอิมพีแดนซ์ขของสายส่งในไลน์ที่ 2 หน่วย ohm

Lenght Line No.1(km) = ความยาวของสายส่งในไลน์ที่ 1 หน่วย กิโลเมตร

Lenght Line No.2(km) = ความยาวของสายส่งในไลน์ที่ 2 หน่วย กิโลเมตร

%Z_TR1H_L = ค่า%โพสิทีฟอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงด้านแรงสูงกับแรงต่ำ หน่วย %

%Z_TR1H_T = ค่า%โพสิทีฟอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงด้านแรงสูงกับด้านเทอร์ทอรี่ หน่วย %

%Z_TR1T_L = ค่า%โพสิทีฟอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงด้านเทอร์ทอรี่กับแรงต่ำ หน่วย %

%Z_TR0H_L = ค่า%ซีโรอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงด้านแรงสูงกับแรงต่ำ หน่วย %

%Z_TR0H_T = ค่า%ซีโรอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงด้านแรงสูงกับด้านเทอร์ทอรี่ หน่วย %

%Z_TR0T_L = ค่า%ซีโรอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงด้านเทอร์ทอรี่กับแรงต่ำ หน่วย %

Fault Level

3 phase fault(A) = ค่ากระแสทรีเฟสฟอลต์ หน่วย A

SLG Fault(A) = ค่ากระแสเฟสทูกราวดน์ฟอลต์ หน่วย A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phase angle(degree) = ค่ามุมของกระแสฟอลต์ (degree)

6.2.2 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์

Input Data

Bus Type = ชนิดโซนการป้องกันของบัสบาร์

Manufac_Relay = บริษัทผู้ผลิตรีเลย์

Type_Relay = รุ่นของรีเลย์ที่ใช้งาน

Standard = มาตรฐานกราฟการโคออดิเนชั่น

Curve Type(phase) = ชนิดของกราฟคุณสมบัติจำเพาะตามมาตรฐานที่เลือกใช้ ด้านเฟส

Curve Type(GND) = ชนิดของกราฟคุณสมบัติจำเพาะตามมาตรฐานที่เลือกใช้ ด้านกราวดน์

Rate TR(MVA) = พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของหม้อแปลงที่จ่ายให้บัสบาร์ หน่วย MVA

VBus(kV) = แรงดันไฟฟ้าที่บัส หน่วย kV

Sec_CTR_HV (A) = อัตราส่วนของกระแสที่ไหลผ่านด้านทุติยภูมิของ CT ทางด้าน HV

Sec_CTR_LV (A) = อัตราส่วนของกระแสที่ไหลผ่านด้านทุติยภูมิของ CT ทางด้าน HV

t_downsteam(ms) = เวลาที่ดาวน์สตีมของกราฟตามชนิดของบัส หน่วยมิลลิวินาที

Vecter group = เวกเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลง

VL_Pri(kV) = แรงดันไฟฟ้าไลน์ที่ขดแรงสูงหรือปฐมภูมิของหม้อแปลง หน่วย kV

VL_Sec(kV) = แรงดันไฟฟ้าไลน์ที่ขดแรงต่ำหรือทุติยภูมิของหม้อแปลง หน่วย kV

Load Feeder By = โหลดของสายที่จะทำการเซ็ตติ้งทางด้านฟีดเดอร์หรือเอ้าโกอิ้ง ตาม ของ PEA
คำแนะนำ
ว่าจะเลือกใช้ตามโหลดที่แนะนำ หรือ ตามพิกัดสูงสุดของสายที่ทนได้

3 phase fault(A) = ค่ากระแสทรีเฟสฟอลต์ทางด้าน หน่วย A

SLG Fault(A) = ค่ากระแสเฟสทูกราวดน์ฟอลต์ หน่วย A

Criteria Cal By = มาตรฐานการคำนวณของการไฟฟ้า

Data Setting

Is(A) = ค่ากระแสในการเลือก CT

CT Ratio = ค่าอัตราส่วนหม้อแปลงกระแสที่เลือกใช้งาน

Ipick = ค่ากระแสปิคอัพ

t_IEC(sec) = เวลาตามมาตรฐานสมการ IEC

TMS = ค่าไทม์มัลติเพิลเซ็ตติ้ง

t_trip = เวลาในการทริปของเบรกเกอร์จากการเซ็ตติ้ง

t_operate = เวลาที่การไฟฟ้ากำหนดให้เบรกเกอร์ทริป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ih_pick = ค่าปิกอัพของอินสแตนทาเนียสหรือแบบทันทีทันใด

t_Definite(s) = เดฟฟินิทไทม์ของกราฟตามชนิดของบัส หน่วยวินาที

6.2.3 โหมด Summary Data Setting

Substation = ชื่อตัวย่อของสถานีไฟฟ้าที่ทำการเซ็ตติ้ง

Province = ชื่อตัวย่อจังหวัดของสถานีไฟฟ้าที่ทำการเซ็ตติ้ง

Manufac = บริษัทผู้ผลิตรีเลย์

kV side = แรงดันบัสที่เซ็ตติ้ง หน่วย kV

Std Curve = มาตรฐานกราฟการโคออดิเนชั่น

Char Curve = ชนิดของกราฟคุณสมบัติจำเพาะตามมาตรฐานที่เลือกใช้

Plug(Pick up) = ค่ากระแสปลักหรือปิคอัพ

Dial(TMS) = ค่าไดอัลหรือไทม์มัลติเพิลเซ็ตติ้ง

I>>pri = ค่าปิคอัพของอินแสตนทาเนียส

Instantaneaus I = ค่ากระแสฟอลต์ที่อินแสตนทาเนียสเริ่มทำงาน

tI(Time Ins) = เวลาอัพสตีมของกราฟตามชนิดของบัส

Is = กระแสที่ใช้เลือก CT Ratio

tIp(Time) = เวลาอินเทอร์รัปปิ้งของเบรกเกอร์

6.2.4 โหมดการคำนวณหาขนาดของสายลีดทางด้านทุติยภูมิของ CT

Recommend Size Cable

Input Data

Burden CT(VA) = เบอร์เด้นของ CT หน่วย (VA)

Lenght Cable Sec_CT(m) = ความยาวของสายลีดที่เข้าด้านทุติยภูมิของรีเลย์ หน่วยเมตร

Temperature used(C°) = อุณหภูมิการใช้งานของ CT หน่วย องศาเซลเซียส

R_CT(ohm) = ความต้านทานของ CT หน่วยโอห์ม

R_Relay(ohm) = ความต้านทานของรีเลย์ หน่วยโอห์ม

Data Recommend

Size_cable(sq.min) = ขนาดของสายลีดที่คำนวณได้จากโปรแกรม หน่วยตารางมิลลิเมตร

R_cable (ohm) = ความต้านทานของสายเคเบิล หน่วยโอห์ม

Comparision with Load of CT = การเปรียบเทียบว่า CTสามารถจ่ายโหลดเป็นสายลีดและรีเลย์ได้เพียงพอรึป่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.5 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์

Data Input

3 phase fault(A) = ค่ากระแสทรีเฟสฟอลต์ หน่วย A

SLG Fault(A) = ค่ากระแสเฟสทูกราวดน์ฟอลต์ หน่วย A

Max Rate TR(MVA) = พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของหม้อแปลงที่จ่ายให้บัสบาร์ หน่วย MVA

Rate TR(MVA) = พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานของหม้อแปลง หน่วย MVA

VL(kV) = แรงดันที่บัสบาร์ หน่วย kV

R_CT (ohm) = ความต้านทานของ CT หน่วยโอห์ม

R_Cable(ohm) = ความต้านทานของสายเคเบิล หน่วยโอห์ม

CT_Sec(1 or 5) = ค่าอัตราส่วนหม้อแปลงกระแสด้านทุติยภูมิที่เลือกใช้งาน

No.CT conect = จำนวน CT ทั้งหมดที่ของโวลท์เดดท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์ต่ออยู่ในบัสบาร์

Criteria Cal By = มาตรฐานการคำนวณจากการไฟฟ้า

Data Setting

Is(A) = Is(A) = ค่ากระแสในการเลือก CT หน่วย แอมป์

CT Ratio = ค่าอัตราส่วนหม้อแปลงกระแสที่เลือกใช้งาน

VT(V) = ค่าแรงดันของโวลท์เดดท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์ที่คำนวณได้ หน่วยโวลต์

Vs Select (V) = ค่าแรงดันของโวลท์เดดท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์ที่เลือกใช้งาน หน่วยโวลต์

Vkneepoint(V) = ค่าแรงดันจุดอิ่มตัวของ CT หน่วยโวลต์

Ir(mA) = ค่ากระแสที่เข้าสู่รีเลย์จากค่าแรงดันเซ็ตติ้ง หน่วย มิลลิแอมป์

Imag(mA) = กระแสกระตุ้นจาก CT หน่วย มิลลิแอมป์

Ishunt(A) = กระแสในชั้นรีซิสเตอร์ หน่วย แอมป์

Rshunt(ohm) = ค่าความต้านทานที่ขนานกับวาลิสเตอร์และโวลต์มิเตอร์ หน่วยโอห์ม

Ploss(W) = ค่าความสูญเสียจากด้านทานที่ขนานกับวาลิสเตอร์และโวลต์มิเตอร์ หน่วยวัตต์

VB(V) = ค่าแรงดันเซ็ตติ้งของบัสไวต์ซูเปอร์ไวซั่นรีเลย์ หน่วย โวลต์

TB(sec) = ไทม์ดีเลย์ของบัสไวต์ซูเปอร์ไวซั่นรีเลย์ หน่วย วินาที

6.2.6 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งเคอร์เร้นท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเตดท์

Data Input

Rate TR(MVA) = พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของหม้อแปลง หน่วย MVA

HV side Voltage(kV) = แรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูงหรือด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง หน่วย kV

LV side Voltage(kV) = แรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำหรือด้านทุติยภูมิของหม้อแปลง หน่วย kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TV side Voltage(kV) = แรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูงหรือด้านดติยภูมิของหม้อแปลง หน่วย kV

Vector Group = เวกเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลง

HV OLTC lowest tap (%) = % ต่ำสุดของออนโหลดแทปเซนก์ด้านแทปแรงสูง

HV OLTC highest tap (%) = % สูงสุดของออนโหลดแทปเซนก์ด้านแทปแรงสูง

HV side Sec_CTR = อัตราส่วน CT ด้านทุติยภูมิ ทางด้านแรงสูงของหม้อแปลง

LV side Sec_CTR = อัตราส่วน CT ด้านทุติยภูมิ ทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง

TV side Sec_CTR = อัตราส่วน CT ด้านทุติยภูมิ ทางด้านเทอร์ทอรี่ของหม้อแปลง

Data Setting

Is(150%) = ค่ากระแสที่ใช้ในการเลือก CT

CT Ratio = อัตราส่วน CT ด้านทุติยภูมิ

Ratio correction = ค่าอัตราส่วนการปรับตั้งกระแสที่เข้าสู่รีเลย์

Vector correction = เวกเตอร์กรุ๊ปการต่อ CT ในวงจรป้องกัน

Full load current lowest tap(A) = ค่ากระแสโหลดเต็มพิกัดทางด้านแทปต่ำสุด

Full load current highest tap(A) = ค่ากระแสโหลดเต็มพิกัดทางด้านแทปสูงสุด

%Missmatch(%) = %มิสแมช

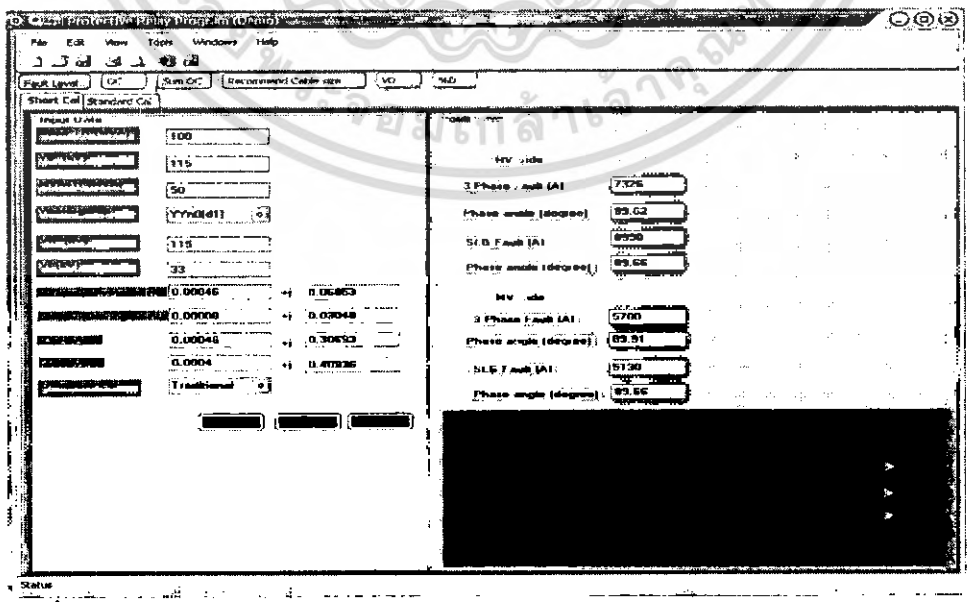
Total error = ผลรวมค่าผิดพลาดทั้งหมด

Id = ค่ากระแสเริ่มต้นในการเซ็ตติ้ง % diferrential relay

6.3 วิธีการใช้งานโปรแกรม

6.3.1 โหมดการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV

- Short Cal



รูปที่ 6.5 โหมดการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV แบบ Short Cal

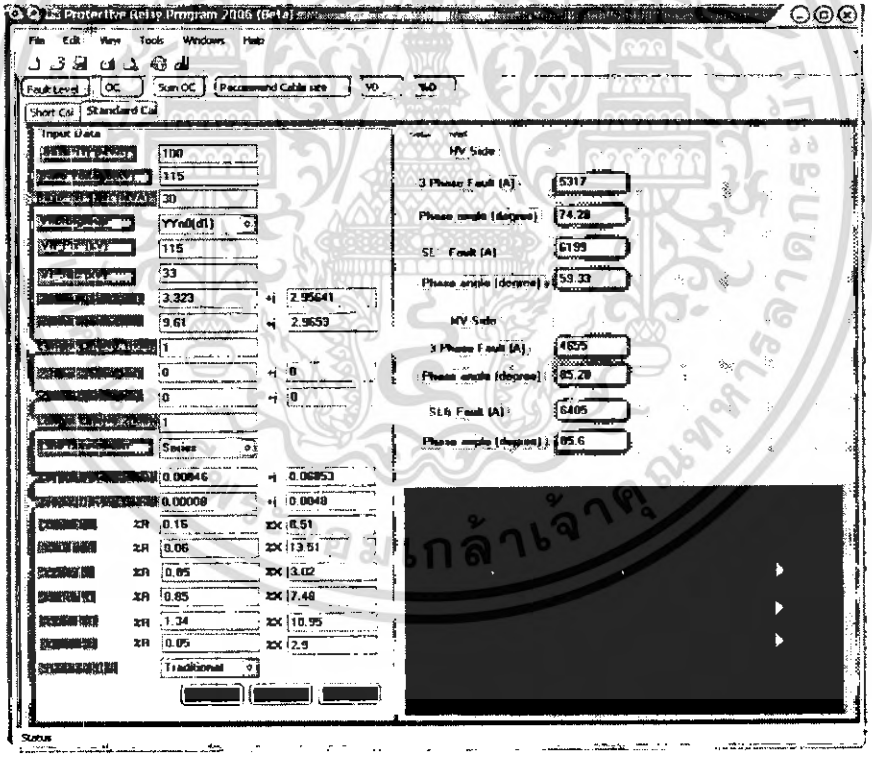
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นจากการใส่ข้อมูลอินพุต เช่น พิกัดกำลังไฟฟ้าฐาน แรงดันไฟฟ้าฐาน แรงดันทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ค่าไดร์วิ่งพ้อยที่ได้จากการยุบเป็นวงจรเทวินินท์จาก EGAT ทั้งทางด้านโพสิทีฟและซีโร และมาตรฐานในการคำนวณ ชนิดเวกเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลง เป็นต้น ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากรูปที่เห็นในหน้าโปรแกรม แล้วทำการกดปุ่ม OK โปรแกรมก็จะคำนวณค่าฟอลต์เลเวลต์ทั้งทางด้าน HV และ MV ออกมาซึ่งจะบอกทั้งขนาดและมุม ของกระแสฟอลต์ ซึ่งเป็นการเกิดฟอลต์แบบ 3 phase และ SLG

ซึ่งถ้าสังเกตแล้วจะเห็นว่าค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงได้ทำการยุบและรวมค่าไดร์วิ่งพ้อยท์ที่ได้จากการยุบเป็นวงจรเทวินินท์จาก EGAT ทั้งทางด้านโพสิทีฟและซีโร มาแล้ว ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถหาได้จากกองแผนงานระบบไฟฟ้า ของกฟภ.

จากการคำนวณพบว่าการทำงานของโหมดนี้จะสะดวกในการใช้งานมากกว่าแบบ Standard cal เพราะไม่ต้องกรอกค่า %อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลง และ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่ง ทำให้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน นอกจากนี้เมื่อทำการรันค่ากระแสฟอลต์เสร็จแล้วยังส่งค่าไปยังโหมดอื่นๆที่ต้องใช้กระแสฟอลต์ในการคำนวณการเซ็ตดิ้งรีเลย์ต่อไป

- Standard cal



รูปที่ 6.6 โหมดการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ทางด้าน HV และ MV แบบ Standard cal

เริ่มต้นจากการใส่ข้อมูลอินพุต เช่น พิกัดกำลังไฟฟ้าฐาน แรงดันไฟฟ้าฐาน เวกเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลง พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ทำกาเทสหม้อแปลง แรงดันทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ค่าไดร์วิ่งพ้อยที่ได้จากการยุบเป็นวงจรเทวินินท์จาก EGAT %อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงทางด้าน HV,LVและ TV (กรณีหม้อแปลง 2 ขด ให้ใส่ 0) และ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่ง ทั้งทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

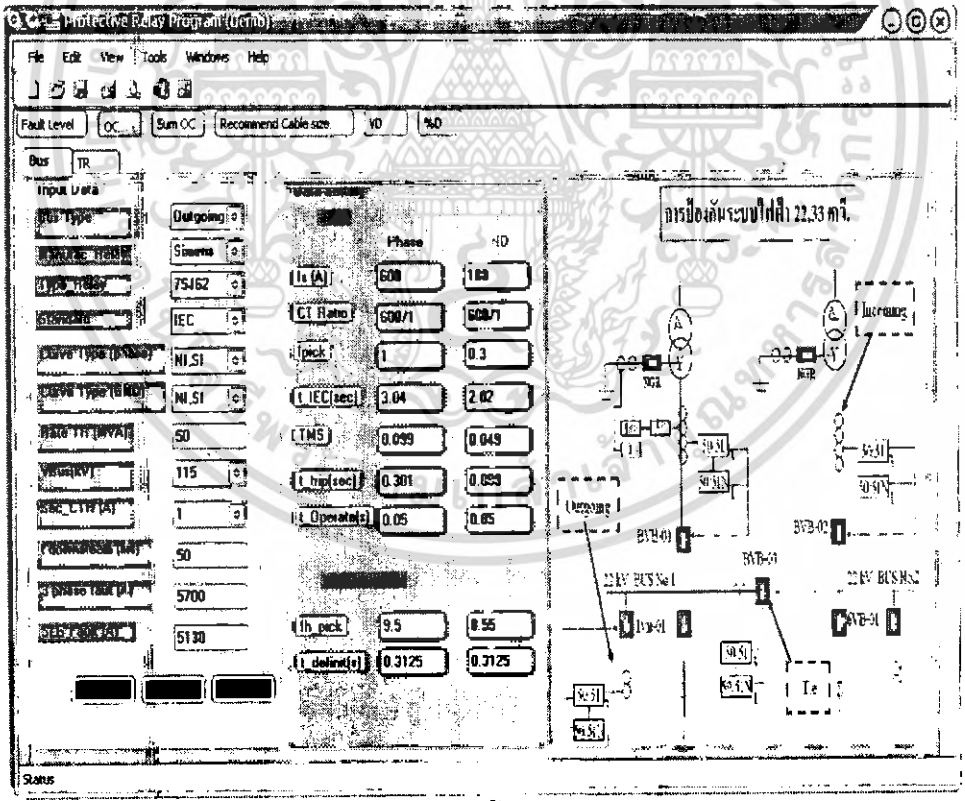
โพสิทีฟและซีโร ความยาวของสายส่ง มาตรฐานในการคำนวณ เป็นต้น ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากรูปที่เห็นในหน้าโปรแกรม แล้วทำการกดปุ่ม OK โปรแกรมก็จะคำนวณค่าฟอลต์เลเวลต์ทั้งทางด้าน HV และ MV ออกมาซึ่งจะบอกทั้งขนาดและมุม ของกระแสฟอลต์ ซึ่งเป็นการเกิดฟอลต์แบบ 3 phase และ SLG

ซึ่งถ้าสังเกตแล้วจะเห็นว่าเราจะต้องทราบค่าพารามิเตอร์หลายตัวมาก แต่วิธีนี้ก็เป็นวิธีที่ละเอียดในการคำนวณจากค่าพารามิเตอร์พื้นฐานหลาย ๆตัว ซึ่งจะคำนวณได้ในกรณีที่ไม่ทราบอิมพีแดนซ์ของสายส่ง ทราบแต่เพียงความยาวและชนิดของสายส่งก็สามารถคำนวณได้จากโปรแกรมแล้ว ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของสายแต่ละชนิด รูปแบบการจัดวาง ขนาดของสายส่ง มีให้เปิดใช้งานได้ในภาคผนวก ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวสามารถหาได้จากกองแผนงานระบบไฟฟ้าของกฟภ.

นอกจากนี้แล้วในมาตรฐานของ IEC-60909-0 จะมีการคำนวณต่างไปจากมาตรฐานการคำนวณแบบดั้งเดิม คือถ้าระบบมีแรงดันไฟฟ้าเกินกว่า 31.5 kV แล้วจะต้องมีแฟคเตอร์การคูณของการเกิดกระแสฟอลต์ ซึ่งจะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.1 เท่าจากการคำนวณแบบดั้งเดิม

6.3.2 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์

- Bus



รูปที่ 6.7 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ของบัสบาร์

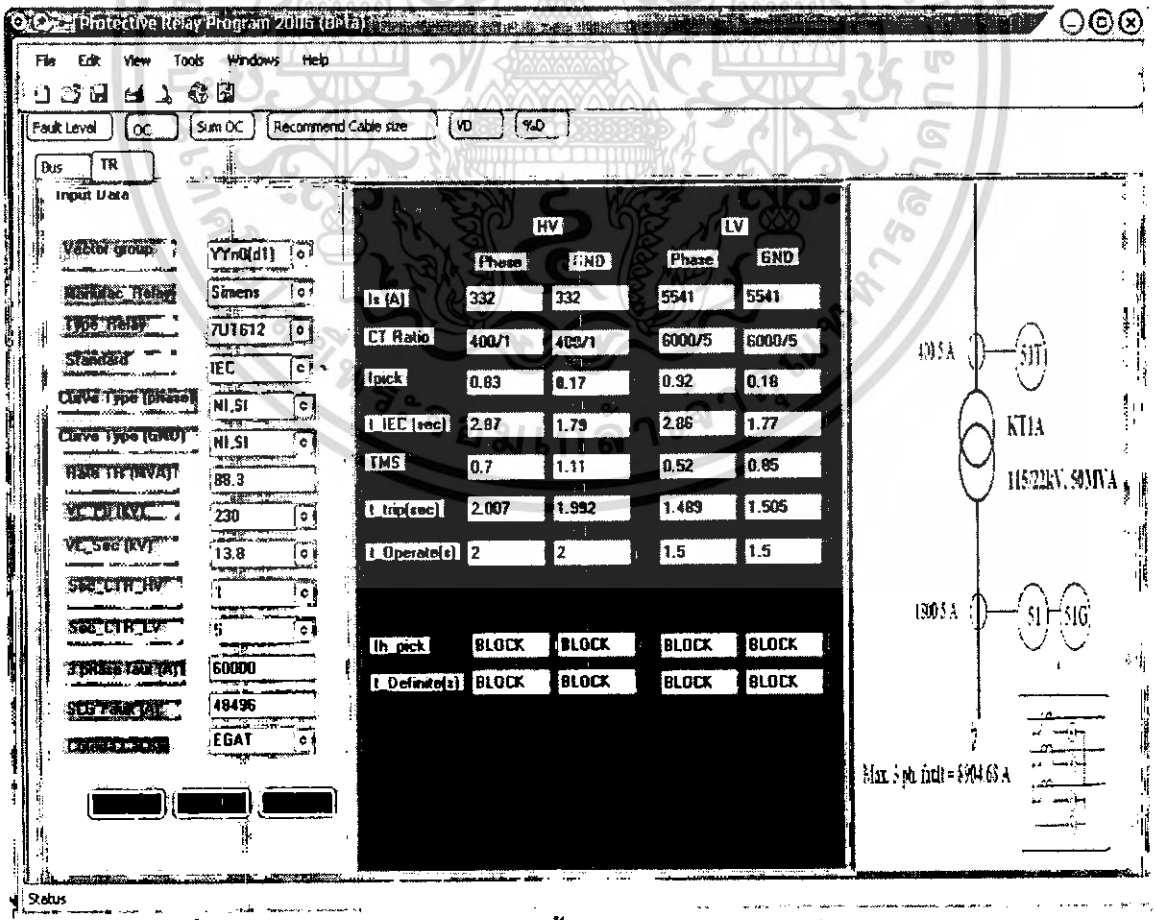
เริ่มต้นจากการใส่ข้อมูลอินพุต เช่น พิกัดแรงดันที่บัส ชนิดและรุ่นของรีเลย์ ชนิดของกราฟคุณสมบัติจำเพาะตามมาตรฐานที่เลือกใช้ทางด้านเฟสและกราวด์น์ มาตรฐานในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณ ชนิดเวกเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลง ชนิดของบัสบาร์ เป็นต้น ซึ่งชนิดของบัสบาร์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากรูปที่เห็นในหน้าโปรแกรม ซึ่งในโปรแกรมจะเป็นแทปให้เลือกเป็น Incoming,Tie,Outgoing เป็นต้น แล้วทำการกดปุ่ม OK โปรแกรมก็จะคำนวณค่าเซ็ตติ้งออกมา

เมื่อทำการกดปุ่มแล้ว จะมีการรับคำสั่งคอนเฟิร์มกับผู้ใช้งาน โดยจะมีหน้าต่างขึ้นมาพร้อมระบุค่าที่ได้จากการคำนวณ แต่ปัญหามีอยู่ว่ารีเลย์แต่ละรุ่นมีการตั้งค่าความละเอียดในการปรับตั้งไม่เท่ากัน ซึ่งโปรแกรมจะทำการคำนวณออกมาเป็นทศนิยม 2 ตำหน่ง โดยที่จะให้ผู้ใช้งานเป็นผู้เลือกใช้เองว่าจะใช้ความละเอียดของรีเลย์เป็นเท่าใด แล้วกด Enter เพื่อยืนยันการเลือกค่าการเซ็ตติ้ง ซึ่งการที่โปรแกรมสามารถแก้ไขค่าที่คำนวณได้จากผู้ใช้งานนั้น มีข้อดีคือ กรณีที่เราคำนวณแล้ว ไม่มีขนาดของอุปกรณ์ที่คำนวณให้ใช้งาน เราก็สามารถเลือกใช้งานตามอุปกรณ์ที่เรามี หรือบางกรณีเราจำเป็นต้องการเผื่อค่าการใช้งานไว้สำหรับในอนาคต ซึ่งจากตัวอย่างการเซ็ตติ้งก็อาจจะมีให้เห็นได้ เช่น คำนวณเลือกค่า CT ไว้ที่ 800/1 A แต่เราต้องการเผื่อการใช้งานในอนาคต จึงทำการเลือกใช้งานเป็น 1200/1 แทน เป็นต้น แต่สำหรับข้อเสียก็คือ บางครั้งผู้ใช้งานไม่ทราบว่าความละเอียดของรีเลย์รุ่นนั้นเป็นเท่าใด หรืออาจจะปัดทศนิยมผิด ก็อาจจะส่งผลให้โปรแกรมคำนวณค่าตามที่ผู้ใช้งานได้เลือกใช้นั่นเอง

- TR



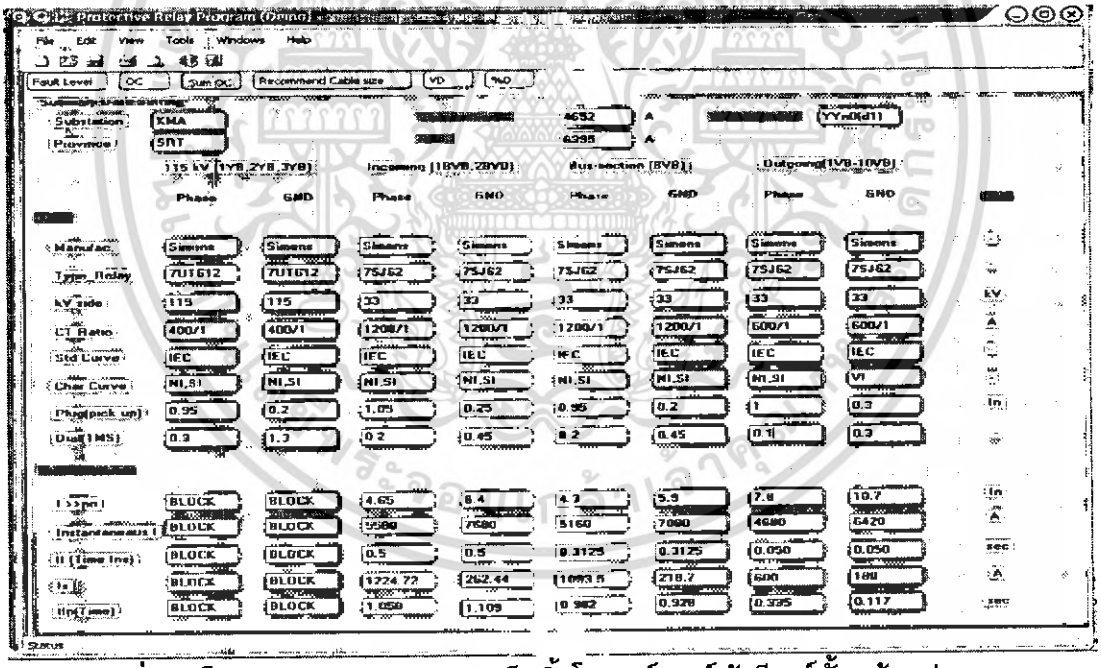
รูปที่ 6.8 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ของหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นจากการใส่ข้อมูลอินพุต เช่น พิกัดแรงดันที่หม้อแปลงทั้งด้าน HV และ LV ชนิดและรุ่นของรีเลย์ ชนิดของกราฟคุณสมบัติจำเพาะตามมาตรฐานที่เลือกใช้ทางด้านเฟสและกราวดน์ มาตรฐานในการคำนวณ ชนิดเวกเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลง เป็นต้น ซึ่งรูปแบบในการต่อรีเลย์และ CT ในการป้องกันหม้อแปลงด้วยโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์นั้น สามารถอธิบายได้จากรูปที่เห็นในหน้าโปรแกรม แล้วทำการกดปุ่ม OK โปรแกรมก็จะคำนวณค่าเซ็ตติ้งออกมา

เมื่อทำการกดปุ่มแล้ว จะมีการรับคำสั่งคอนเฟิร์มกับผู้ใช้งาน โดยจะมีหน้าต่างขึ้นมาพร้อมระบุค่าที่ได้จากการคำนวณ แต่ปัญหามีอยู่ว่ารีเลย์แต่ละรุ่นมีการตั้งค่าความละเอียดในการปรับตั้งไม่เท่ากัน ซึ่งโปรแกรมจะทำการคำนวณออกมาเป็นทศนิยม 2 ตำหน่ง โดยที่จะให้ผู้ใช้งานเป็นผู้เลือกใช้เองว่าจะใช้ความละเอียดของรีเลย์เป็นเท่าใด แล้วกด Enter เพื่อยืนยันการเลือกค่าการเซ็ตติ้งตามผู้ใช้งานโปรแกรม ซึ่งในโปรแกรมนี้จะทำการบล็อกการทำงานของอินแสตนทาเนียสรีเลย์ ตามคำแนะนำของการไฟฟ้าเพื่อไม่ให้ไปแย่งการทำงานของรีเลย์แบบเวลา ตามหลักการของการโคออดิเนชั่นระหว่างหม้อแปลงและบัสบาร์

6.3.3 โหมดสรุปการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ทั้งหม้อแปลงและบัสบาร์

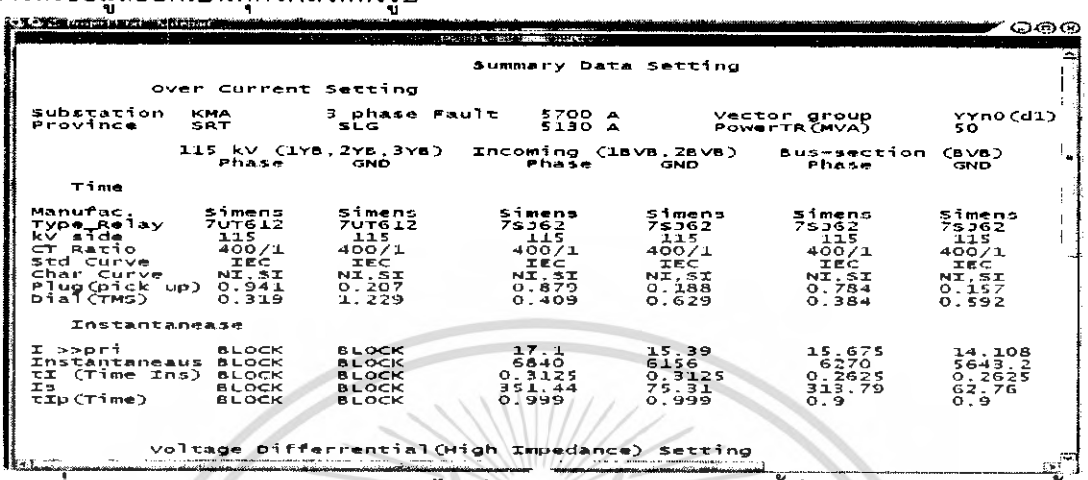


รูปที่ 6.9 โหมดสรุปการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ทั้งหม้อแปลงและบัสบาร์

ค่าในหน้าโปรแกรมนี้จะเป็นการส่งค่าที่คำนวณมาจากโหมดการคำนวณด้วยโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ ทั้งหม้อบัสบาร์และหม้อแปลของสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มาเพื่อทำเป็นตารางสรุปทั้งหมด ซึ่งจะเป็นฟอร์ม ที่คล้ายๆกับที่การไฟฟ้าใช้งานจริง ซึ่งจะบอกทั้งค่าการเซ็ตติ้งรีเลย์ต่างๆ ทั้งทางด้านเวลาและอินแสตนทาเนียส ซึ่งมีทั้งค่าการเซ็ตติ้งทั้งทางด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟสและกราวดน์ รวมอยู่ในหน้าโปรแกรมนี้ทั้งหมด ซึ่งโปรแกรมสามารถทำการส่งข้อมูลออกเป็นเท็กไฟล์ เพื่อนำไปปริ้นเอ้าซ์ออกมา เพื่อดูผลและนำไปใช้งานได้ ซึ่งสามารถแสดงการส่งข้อมูลออกเป็นทุกไฟล์ได้ดังรูป



Summary Data Setting

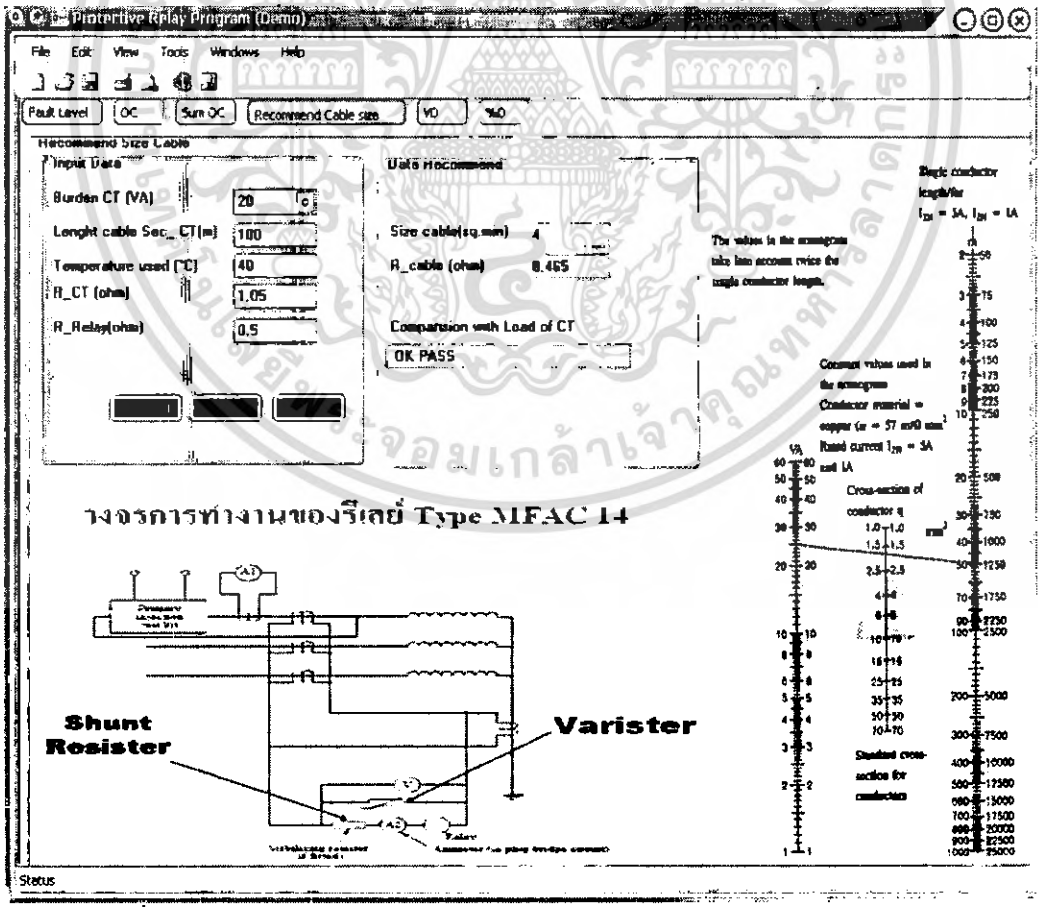
over Current Setting

Substation	KMA	3 phase Fault	5700 A	Vector group		YYnO(d1)
Province	SRT	SLG	5130 A	PowerTR(MVA)		50
	115 kV (1YB,2YB,3YB) Phase	GND	Incoming (1BVB,2BVB) Phase	GND	Bus-section (BVB) Phase	GND
Time						
Manufac.	Simens	Simens	Simens	Simens	Simens	Simens
Type_Relay	7UT612	7UT612	7SJ62	7SJ62	7SJ62	7SJ62
kV side	115	115	115	115	115	115
CT Ratio	400/1	400/1	400/1	400/1	400/1	400/1
Std Curve	IEC	IEC	IEC	IEC	IEC	IEC
Char Curve	NI,SI	NI,SI	NI,SI	NI,SI	NI,SI	NI,SI
Plug(pick up)	0.941	0.207	0.879	0.188	0.784	0.157
Dial(TMS)	0.319	1.229	0.409	0.629	0.384	0.592
Instantanease						
I >>pri	BLOCK	BLOCK	17.1	15.39	15.675	14.108
Instantaneaus	BLOCK	BLOCK	6840	6156	6270	5643.2
tI (Time Ins)	BLOCK	BLOCK	0.3125	0.3125	0.2625	0.2625
Ip	BLOCK	BLOCK	351.44	75.31	313.79	62.76
tIp(Time)	BLOCK	BLOCK	0.999	0.999	0.9	0.9

Voltage Differential(High Impedance) Setting

รูปที่ 6.10 การส่งข้อมูลออกเป็นเท็กไฟล์ สรุปการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโอเวอร์เคอร์เรันรีเลย์ทั้งหม้อแปลงและบัสบาร์

6.3.4 โหมดการคำนวณหาขนาดของสายลีดทางด้านทุติยภูมิของ CT



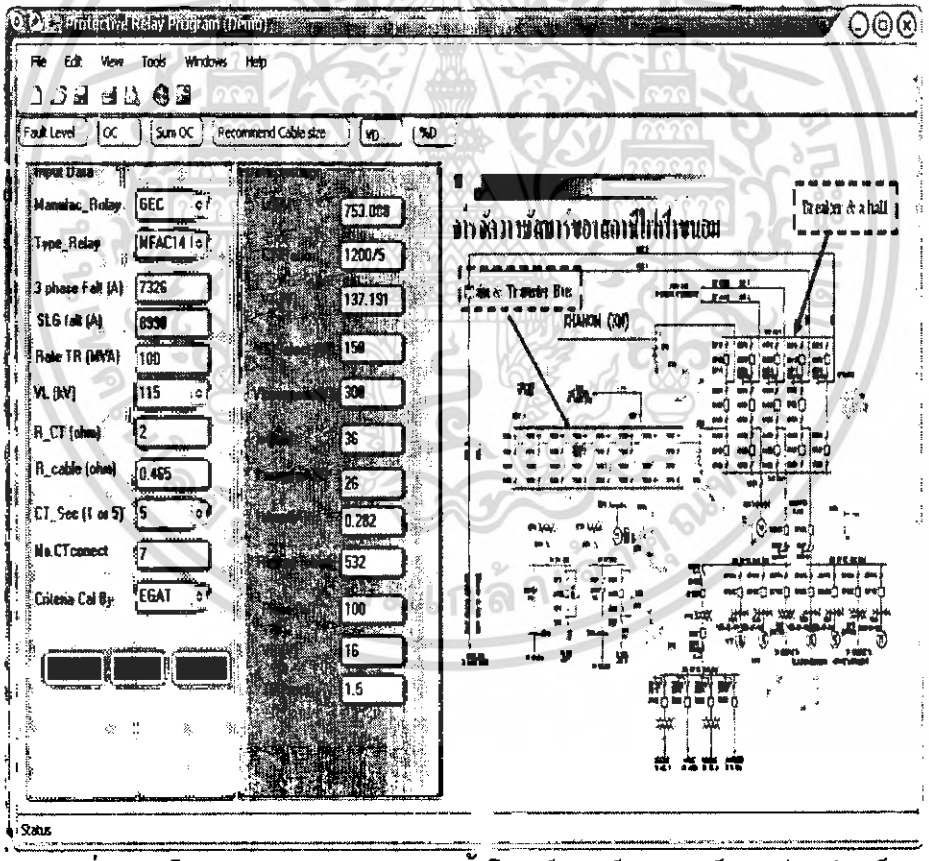
รูปที่ 6.11 โหมดการคำนวณหาขนาดของสายลีดทางด้านทุติยภูมิของ CT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นจากการใส่ข้อมูลอินพุต ค่าเบอร์เดนของ และความด้านทานของ CT ความยาวของสายลีดที่ต่อเข้าทางด้านทุติยภูมิ ความด้านทานของรีเลย์ และอุณหภูมิการใช้งานของ CT เป็นต้น ซึ่งรูปแบบในการต่อสายลีดเข้าสู่ CT และรีเลย์ ในรูปแบบการป้องกันหม้อแปลงหรือบัสบาร์นั้น สามารถอธิบายได้จากรูปที่เห็นในหน้าโปรแกรม แล้วทำการกดปุ่ม OK โปรแกรมก็จะคำนวณขนาดของสายและความด้านทานของสายออกมา และทำการส่งข้อมูลไปยังการป้องกันบัสบาร์ด้วยโวลต์เดตดิฟเฟอร์เรนเทียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์ต่อไป

นอกจากนี้แล้วโปรแกรมได้คำนวณถึงความสามารถในการจ่ายโหลดให้กับรีเลย์และสายลีดที่ต่อเข้ากับ CT ได้อีกด้วย ถ้า CT มีขนาดเบอร์เดนที่จะจ่ายให้กับโหลดได้ แต่ถ้าคำนวณแล้ว CT จ่ายโหลดให้กับรีเลย์และสายไม่พอ ก็จะโชว์ข้อความว่า Not Right ,Please Insert New CT Burden หมายความว่าให้ใช้ CT ที่มีเบอร์เด้นหรือความด้านทานสูงกว่านี้

6.3.5 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์



รูปที่ 6.12 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์

เริ่มต้นจากการใส่ข้อมูลอินพุต เช่น พิกัดแรงดันที่บัส ชนิดและรุ่นของรีเลย์ที่ใช้งาน พิกัดหม้อแปลงสูงสุดที่จ่ายให้กับบัส พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานของหม้อแปลง ค่ากระแสฟอลต์ ความด้านทานของสายลีดและ CT จำนวนทั้งหมด CT ที่ต่อกับดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์

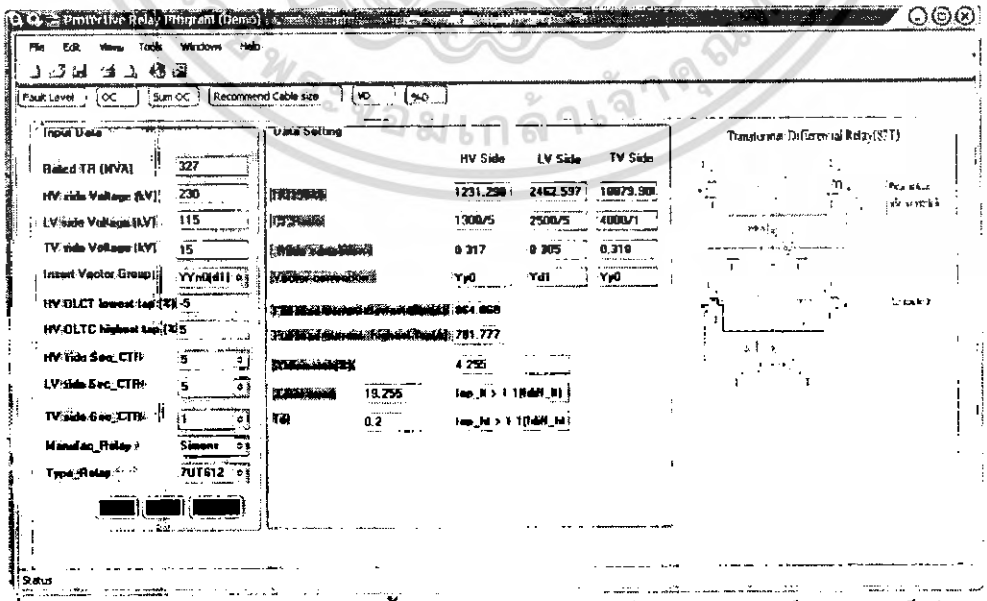
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานในการคำนวณของแต่ละการไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งรูปแบบการจัดวางบัสบาร์สามารถอธิบายได้จากรูปที่เห็นในหน้าโปรแกรม ซึ่งในระบบ HV ในประเทศไทยส่วนใหญ่ก็จะมีให้เห็นอยู่สองแบบ ก็คือ แบบ Main and transfer Bus และแบบ Breaker & a half เมื่อทำการกดปุ่ม OK โปรแกรมก็จะคำนวณค่าเซ็ตติ้ง ออกมา

เมื่อทำการกดปุ่มแล้ว จะมีการรับคำสั่งคอนเฟิร์มกับผู้ใช้งาน โดยจะมีหน้าต่างขึ้นมาพร้อมระบุค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยที่จะให้ผู้ใช้งานเป็นผู้เลือกใช้เองว่าจะใช้งานค่าพิกัดอุปกรณ์และค่าเซ็ตติ้งของรีเลย์เป็นเท่าใด ซึ่งจะมีหน้าต่างขึ้นมาให้ดูว่ารีเลย์รุ่นที่ใช้งานอยู่นี้มีเรนก์ในการปรับตั้งเป็นเท่าใด ผู้ใช้งานก็จำเป็นต้องเลือกเองจากแคตตาลอกของบริษัทผู้ผลิตรีเลย์และ CT แล้วกด Enter เพื่อคอนเฟิร์มไป

ซึ่งการที่โปรแกรมสามารถแก้ไขค่าที่คำนวณได้จากผู้ใช้งานนั้น มีข้อดีคือ กรณีที่เราคำนวณแล้ว ไม่มีขนาดของอุปกรณ์ที่คำนวณให้ใช้งาน เราก็สามารถเลือกใช้งานตามอุปกรณ์ที่เรามี หรือบางกรณีเราจำเป็นต้องการเผื่อค่าการใช้งานไว้สำหรับในอนาคต ซึ่งจากตัวอย่างการเซ็ตติ้งก็อาจจะมีให้เห็นได้ เช่น คำนวณเลือกค่า CT ไว้ที่ 800/1 A แต่เราต้องการเผื่อการใช้งานในอนาคต จึงทำการเลือกใช้งานเป็น 1200/1 แทน เป็นต้น แต่สำหรับข้อเสียก็คือ บางครั้งผู้ใช้งานไม่ทราบหรือไม่มีแคตตาลอกของรีเลย์รุ่นนั้น หรืออาจจะไม่มีกราฟค่ากระแสกระตุ้นของ CT ทำให้ไม่ทราบค่ากระแสกระตุ้นของ CT ณ แรงดันที่เซ็ตติ้ง และอาจจะไม่ทราบเรนก์การปรับตั้งแรงดันของรีเลย์รุ่นนั้นๆ ได้ ก็อาจจะส่งผลให้โปรแกรมคำนวณค่าตามที่ผู้ใช้งานได้เลือกใช้นั่นเอง ซึ่งบางครั้งอาจทำให้ค่าการคำนวณผิดพลาดอันเนื่องมาจากการไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ในการเซ็ตติ้งทั้งหมดได้

6.3.6 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งเคอร์เร้นท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเตดท์



รูปที่ 6.13 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตติ้งเคอร์เร้นท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเตดท์

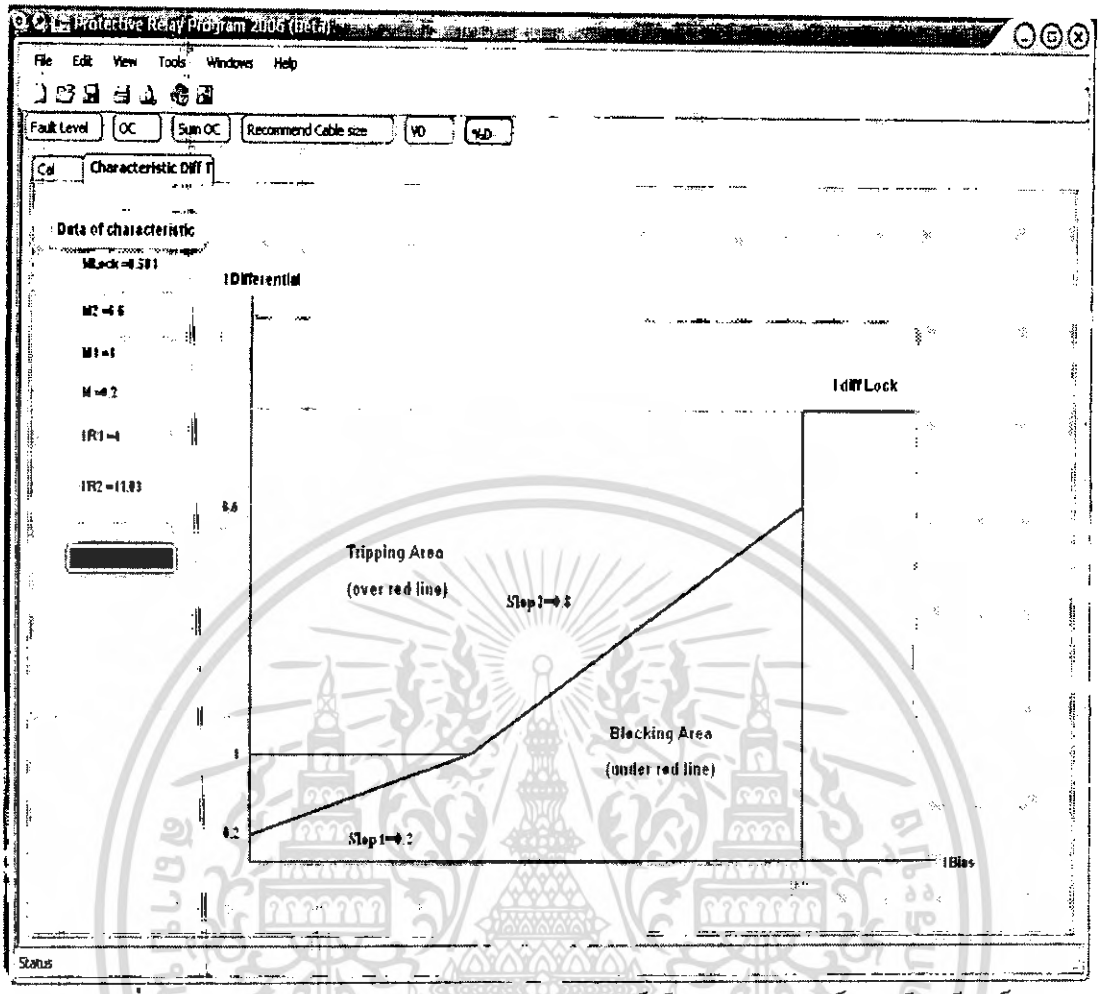
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มต้นจากการใส่ข้อมูลอินพุต เช่น พิกัดแรงดันที่หม้อแปลงทั้งด้าน HV,LV และ TV ชนิดและรุ่นของรีเลย์ เวกเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลง อัตราส่วนทางด้นทุติยภูมิของCT m ทางด้าน HV, LV และ TV ค่า % ต่ำสุดและ % สูงสุดของออนโหลดแทปเชนก์ด้านแทปแรงสูง เป็นดัน ซึ่งรูปแบบในการด่อรีเลย์และ CT ในการป้องกันหม้อแปลงด้วยเคอร์เร้นท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเตดท์นั้น สามารถอธิบายได้จากรูปวงจรที่เห็นในหน้าโปรแกรม แล้วทำการกดปุ่ม OK โปรแกรมก็จะคำนวณค่าเซ็ตดิ้งออกมา

สังเกตได้ว่าค่าที่โปรแกรมคำนวณได้ จะมีค่าที่คำนวณได้ทั้งสามขดลวดของหม้อแปลง ในกรณีที่หม้อแปลงมีเพียงสองขด ก็จะมีข้อความขึ้นว่า " No Output" จะมีทั้งค่าที่ใช้งานเซ็ตดิ้งรีเลย์ และแนะนำการด่อเวกเตอร์กรุ๊ปของหม้อแปลงทั้งสามด้าน มีการบอกค่าผิดพลาดในรีเลย์ และ

%มิสแมทด์ด้วย ด่อจากนั้นจะทำการนำค่าการเซ็ตดิ้งดังกล่าวไปพลอตเป็นกราฟ ซึ่งจะสามารถแสดงการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้ รุ่นนี้ ว่ามีช่วงการทำงานเป็นอย่างไร จะสังเกตได้ว่าการทำงานของรีเลย์รุ่นนี้จะทำงานเฉพาะการเกิดฟอลต์ภายในหม้อแปลงเท่านั้น ส่วนการเกิดฟอลต์ภายนอกรีเลย์ชนิดนี้จะไม่สั่งเซอร์กิดเบรกเกอร์ทำ ซึ่งการเซ็ตดิ้งต้องเซ็ตดิ้งให้สูงกว่าค่าผิดพลาดในช่วงการจ่ายโหลดของหม้อแปลงตามปกติ ซึ่งในที่นี้จะขอยกตัวอย่างเฉพาะการพลอตกราฟแสดงการทำงานของการป้องกันหม้อแปลงด้วยเคอร์เร้นท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบเปอร์เซ็นเตดท์แบบสองความชันของรีเลย์รุ่น MiCOM P63X เท่านั้น ส่วนรีเลย์รุ่นอื่นๆ ต้องทำการเปิดคู่มือการใช้งานของการใช้งานคุณสมบัติของกราฟเฉพาะของรีเลย์รุ่น นั้นๆเพื่อทำการกำหนดความชันและค่าเริ่มต้นการทำงานในความชันแรก และความชันที่ 2 ต่อไป ซึ่งสามารถแสดงคุณสมบัติของกราฟเฉพาะของรีเลย์รุ่น MICOM P63X ได้ดังรูปที่ 6.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.14 ผลของกราฟลักษณะเฉพาะของเปอร์เซ็นเดดติฟเฟอร์เรนเทียลรีเลย์ด้วยโปรแกรมของโครงงาน

6.4 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมในการแก้ไขปัญหาในระบบไฟฟ้า

6.4.1 การแก้ปัญหาโหลดเกินพิกัดสายซับมารีนเคเบิลที่เกาะสมุย

เนื่องจากในปัจจุบันเกาะสมุยได้เป็นสถานที่ท่องเที่ยวที่ได้รับความนิยมจากนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติเป็นจำนวนมาก จึงส่งผลให้เกิดการลงทุนทางด้านอุตสาหกรรมการท่องเที่ยว ซึ่งส่งผลถึงความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าบนเกาะสมุย ทำให้เกิดสภาวะโหลดเกินพิกัดในช่วงพีคโหลดที่สายซับมารีน 115 kV จากเดิมมีเพียงไลน์อินคัมมิ่ง 115 kV มีแค่เพียงเบย์เดียวซึ่งรับมาจากสถานีไฟฟ้าขนอม

วิธีการแก้ไขปัญหาทำได้โดยการรับไฟจากสถานีไฟฟ้าขนอม ในฟีดเดอร์ 7 ผ่านสายซับมารีนเคเบิล 33 kV เดิม เข้าสู่ฟีดเดอร์1 ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย โดยใช้รีโคลสเซอร์บนเกาะคอยสวิตชิ่งในช่วงพีคโหลด แต่ก็ยังมีปัญหาในเรื่องการรั่วของน้ำมันในสายซับมารีนเคเบิล แต่เนื่องจากปัจจุบันนี้ กฟภ.ได้ทำการก่อสร้างสายซับมารีนเคเบิลในไลน์อินคัมมิ่ง 2 เสร็จแล้ว ซึ่งเมื่อทำการจ่ายไฟแล้วจะสามารถช่วยแก้ไขปัญหาโหลดเกินพิกัดสายซับ

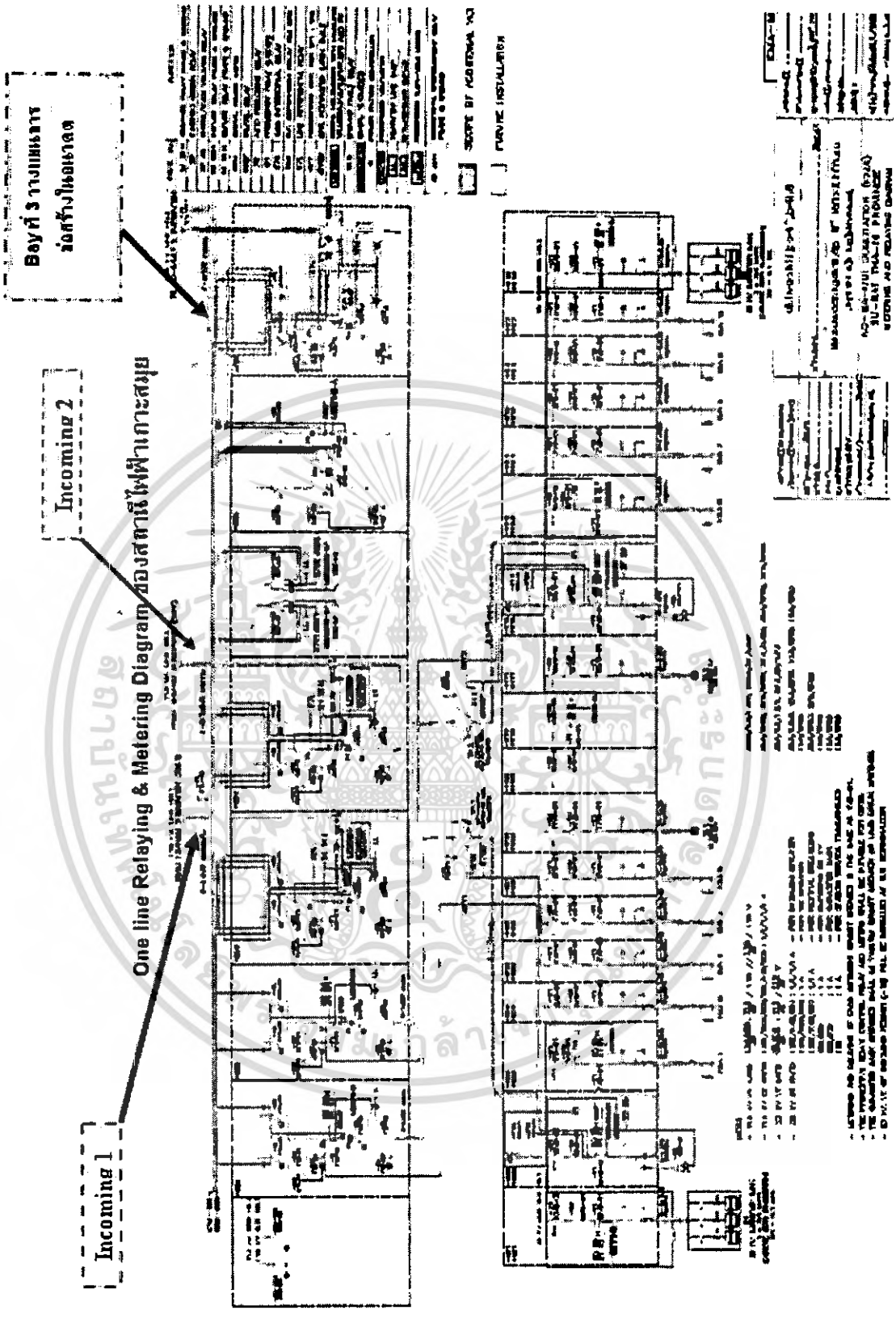
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มารีนเคเบิลที่เกาะสมุยได้ และในอนาคต กฟภ. ได้ทำการวางแผน ก่อสร้างเพิ่มเบย์อินคัมมิ่ง 3 เพื่อช่วยจ่ายไฟเข้าสู่เกาะพงัน ต่อไป

ซึ่งโปรแกรมที่ได้ทำขึ้นจากโครงงานนี้ ก็สามารถช่วยคำนวณกระแสฟอลต์ ที่เกิดจากการเพิ่มเบย์เข้าไปในระบบ ซึ่งส่งผลให้ค่ากระแสฟอลต์ มีการเปลี่ยนไปจากเดิม ซึ่งจะทำให้รีเลย์ทำงานผิดไปจากความต้องการของระบบ จึงทำให้ต้องมีการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ที่สถานีไฟฟ้าเกาะสมุยใหม่ และต้องทำการเซ็ตดิ้งค่ารีเลย์ใหม่ด้วย ซึ่งรีเลย์แบบโอเวอร์เคอร์เร้นและแบบดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์ชนิดไฮอิมพีแดนซ์ ซึ่งต้องอาศัยการคำนวณค่าเซ็ตดิ้งจากค่าฟอลต์เลเวลต์เป็นหลัก ดังนั้นโปรแกรมที่ทำขึ้นมานี้จึงมีประโยชน์ในการช่วยการวางแผนการ การพิจารณาค่ากระแสฟอลต์ ในการรับไฟจาก IPP , SPP เพื่อทำการเลือกพิกัดอุปกรณ์ป้องกัน เลือกขนาดสายเคเบิลทางด้านทุติยภูมิของ CT และช่วยในการเซ็ตดิ้งรีเลย์แบบโอเวอร์เคอร์เร้นและแบบดิฟเฟอร์เรนเชียล

ซึ่งก่อนที่เราจะไปทำการแก้ไขปัญหาโหลดเกินพิกัดของสายซับมารีนเราจำเป็นต้องรู้จักวันไลน์ไดอะแกรมในสถานีไฟฟ้าเกาะสมุยก่อน ซึ่งสามารถแสดงให้ดูได้ดังรูปที่ 6.15

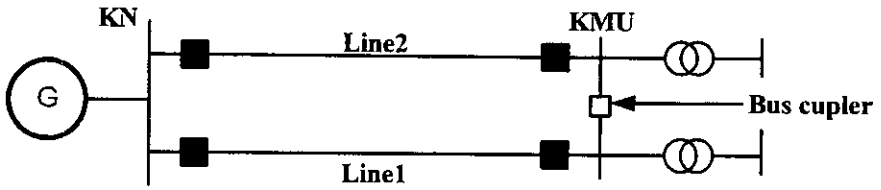
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.15 One Line Relaying and Metering diagram ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิธีการคำนวณหาค่ากระแสฟอลต์เมื่อมีไลน์อินคัมมิ่ง 2 เพิ่มเข้ามาในสายส่งของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุยของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



รูปที่ 6.16 สภาพการจ่ายไฟระหว่างสถานีไฟฟ้าขนอม และ สถานีไฟฟ้าเกาะสมุย

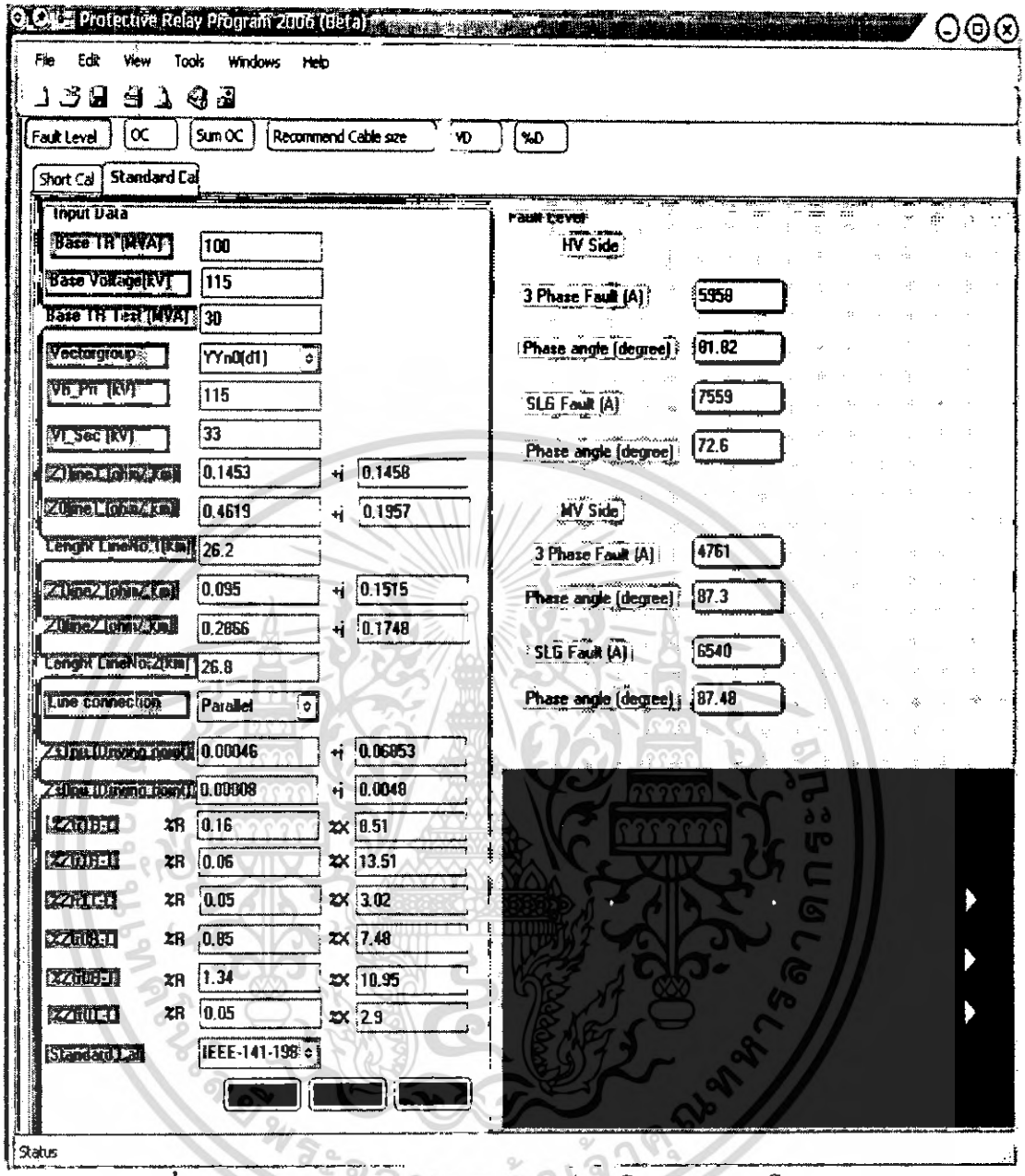
ตามที่เคเบิ้ลใต้น้ำวงจรที่ 2 ช่วง สถานีไฟฟ้าขนอม – สถานีไฟฟ้าสมุย ได้ดำเนินการก่อสร้างเสร็จ และจ่ายไฟแล้ว โดยมีลักษณะการจ่ายไฟแบบ Radial System โดยเปิดวงจร Bus Coupler Circuit Breaker ที่ สถานีไฟฟ้าสมุยไว้ ดังแสดงในรูปที่ 6.16 และในอนาคตคาดว่า สายส่งช่วง สถานีไฟฟ้าขนอม – สถานีไฟฟ้าสมุย จะมีการจ่ายไฟในรูปแบบ Parallel Line ของ Submarine Cable 115 kV.ในลักษณะของ Single Source Loop เพื่อลด Loss ที่เกิดจากค่าความต้านทานของ Submarine Cable โดยการปิดวงจรของ Bus Coupler Circuit Breaker ที่ สถานีไฟฟ้าสมุย

เพื่อเป็นการรองรับ การจ่ายไฟในลักษณะ Parallel Line ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต กอร. จึงพิจารณาตรวจสอบการทำงานของ รีเลย์ระยะทาง ที่ใช้ป้องกัน Submarine Cable 115 kV. Line1 และ line2 ของ กฟผ. และ ของ กฟภ.เพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กัน เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้าง ขึ้นที่ เกาะสมุย

- Submarine Cable Line1 ยาว 26.2 km. และมีค่าParameter ของสายส่งดังนี้
  - Positive Sequence Impedance = 0.1453+j0.1458 Ohm/km.
  - Zero Sequence Impedance = 0.4619+j0.1957 Ohm/km.
- Submarine Cable Line2 ยาว 26.8 km.มีค่าParameter ของสายส่งดังนี้
  - Positive Sequence Impedance = 0.095+j0.1515 Ohm/km.
  - Zero Sequence Impedance = 0.2866+j0.1748 Ohm/km.

ส่วนค่าพารามิเตอร์อื่นๆยังคงใช้ค่าเดิมตามการคำนวณค่ากระแสฟอลที่เกาะสมุยในบทที่ 5 จึงทำการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ โดยใช้โปรแกรมของโครงงานได้ผลดังรูปที่ 6.17

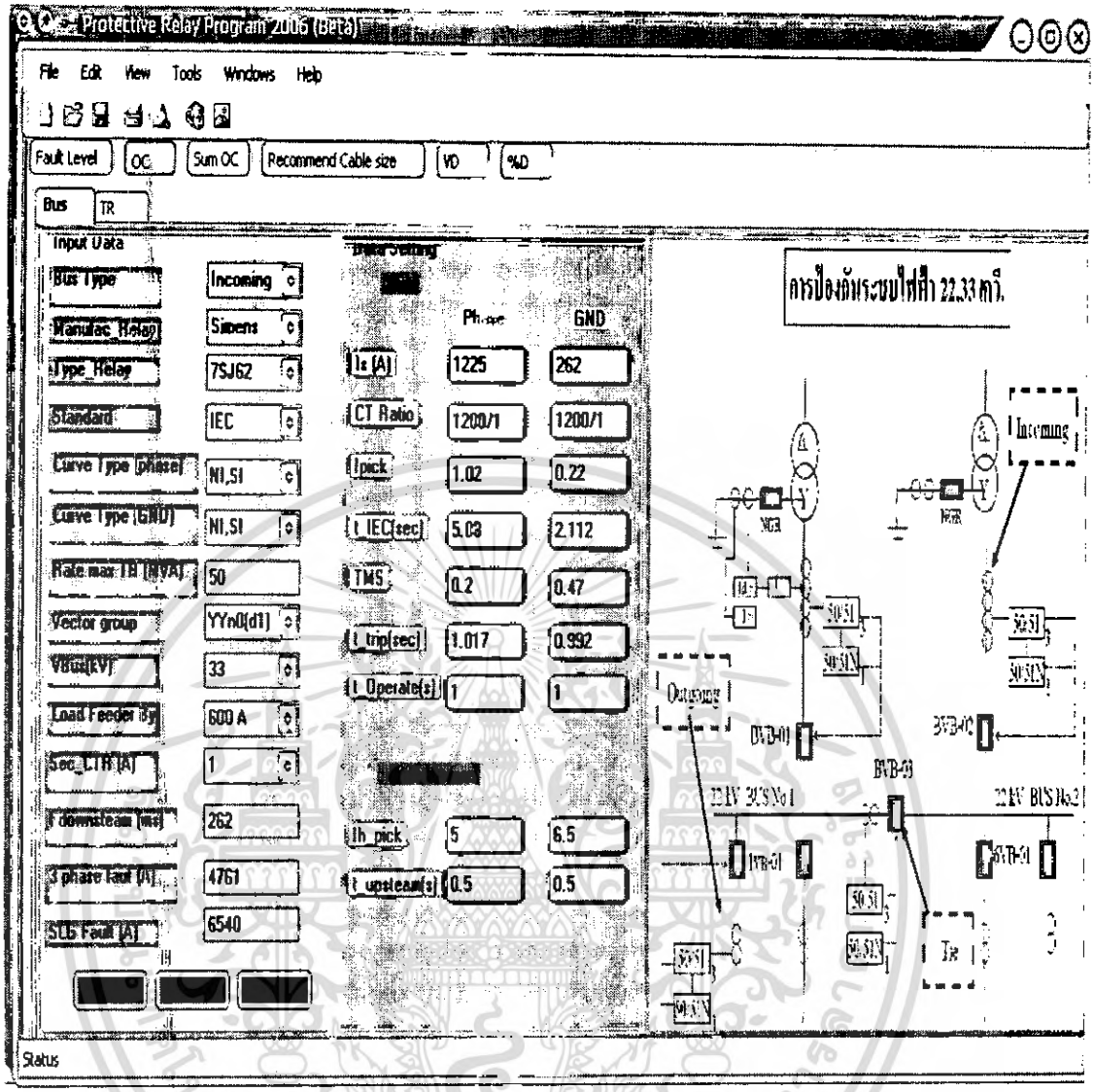
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.17 ผลการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ด้วยโปรแกรมจากโครงงาน

จากโปรแกรมที่คำนวณได้จากโปรแกรมโครงงานจะเห็นได้ว่าค่ากระแสฟอลต์จะมีค่าสูงกว่าเดิม คือ เพราะว่าเสมือนเป็นการขนานไลน์เข้ามา ทำให้ค่าไลน์อิมพีแดนซ์ลดลง ส่งผลให้ค่ากระแสฟอลต์มีค่าสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับตั้งค่าเซ็ตติ้งรีเลย์ใหม่ ซึ่งได้ทำการเซ็ตติ้งโดยใช้โปรแกรมจากโครงงานดังรูปที่ 6.18

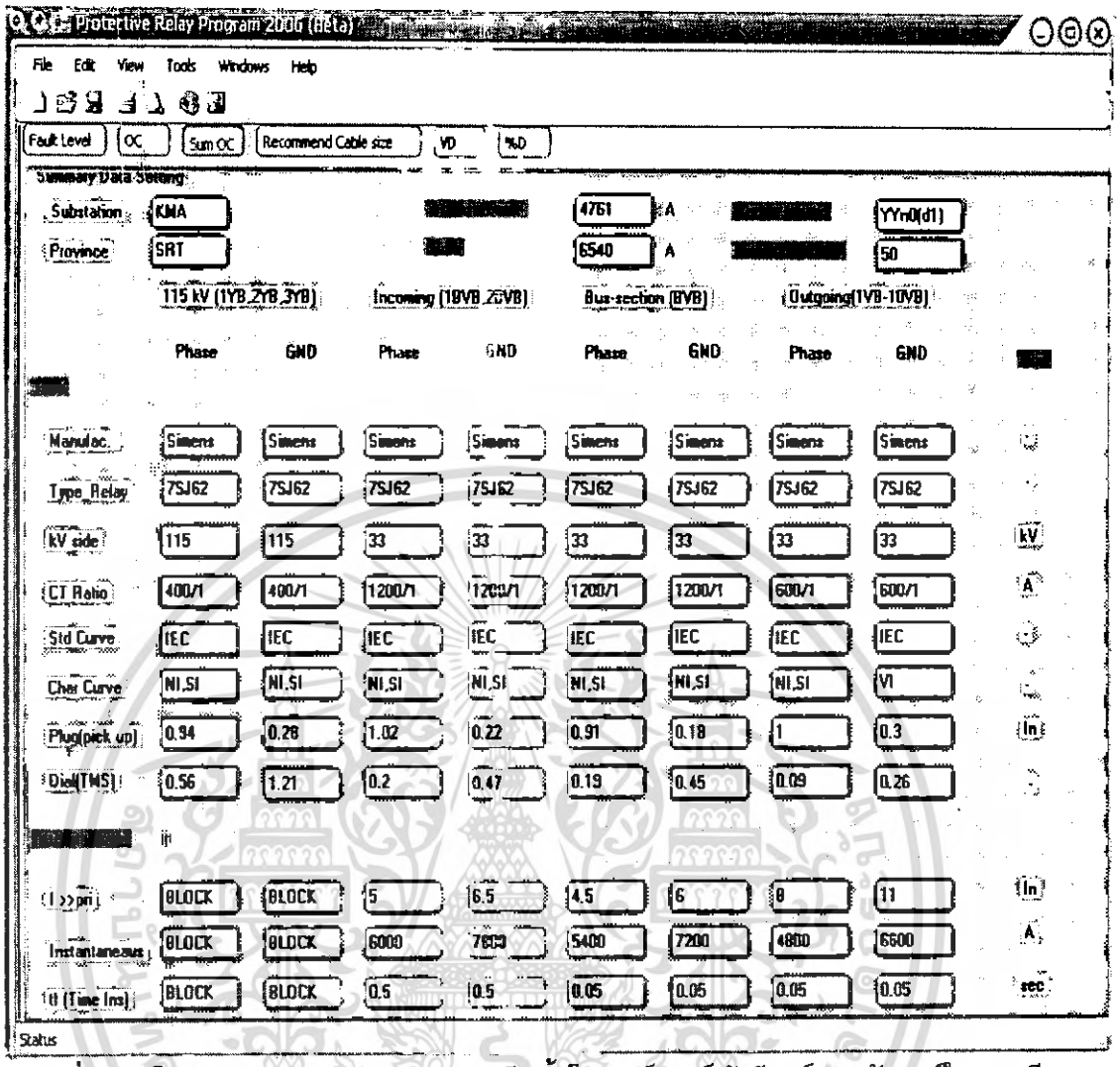
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.18 โหมดการคำนวณค่าเซ็ตดิ้งโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ของบัสบาร์ในสถานีไฟฟ้าด้วยโปรแกรมจากโครงงาน

โปรแกรมจากโครงงานในโหมดนี้จะทำการคำนวณค่าเซ็ตดิ้งของโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ที่ป้องกันบัสบาร์ในระบบ 22,33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งแบ่งเป็นการป้องกันบัส Outgoing , Tie , Incoming ,High set TR เป็นต้น ซึ่งจากที่โปรแกรมทำการคำนวณค่าเซ็ตดิ้งแล้วนั้น จะทำการส่งค่าไปยังโหมดการแสดงผล ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

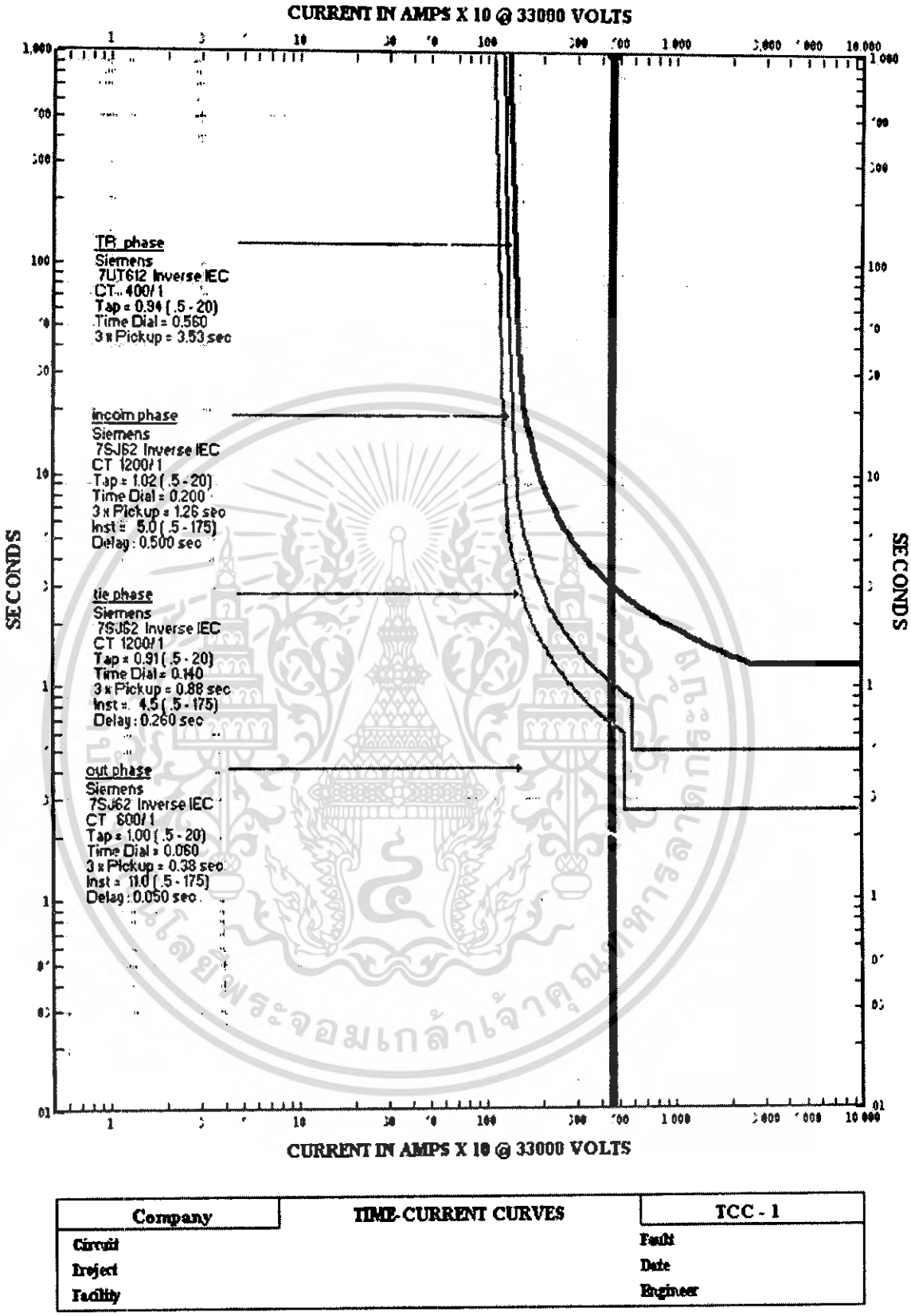


รูปที่ 6.19 โหมดแสดงผลการคำนวณค่าเซ็ตดิ้งโอเวอร์เคอร์เรันรีเลย์ของบัสบาร์ในสถานีไฟฟ้าด้วยโปรแกรมจากโครงงาน

เมื่อทำการแสดงผลเสร็จแล้วขั้นตอนต่อไปคือการนำค่าการเซ็ตดิ้งที่ได้จากโปรแกรมของโครงงาน จึงนำค่าต่าง ๆที่เซ็ตได้ไปรีเซ็ตหรือทำการโคออดิเนชั่น ว่าสามารถทำการโคออดิเนตกันได้หรือไม่ ในกรณีที่โคออดิเนชั่นไม่ได้ หรือ เส้นกราฟมีลักษณะที่ทับกัน หรือ มีระยะมาจินห่างกันน้อยกว่าค่าที่การไฟฟ้ากำหนด (ต้องมีระยะมาจินที่ปลอดภัยประมาณ 25 ms เป็นอย่างน้อย) ต้องทำการปรับการค่าเซ็ตดิ้ง(TMS) ในโปรแกรม Power Plot ดังสามารถแสดงดังรูปที่ 6.20 และ 6.21 แล้วทำการแก้ไขกราฟทั้งทางด้านเฟสและกราวดน์ จนสามารถใช้ได้หรือปรับทีละตัวจนเริ่มสามารถโคออดิชั่นกันได้ (ข้อแนะนำคือควรจะปรับจากตัวอัพสตรีมสูงสุดลงมาหาตัวดาวสตรีมต่ำสุด)

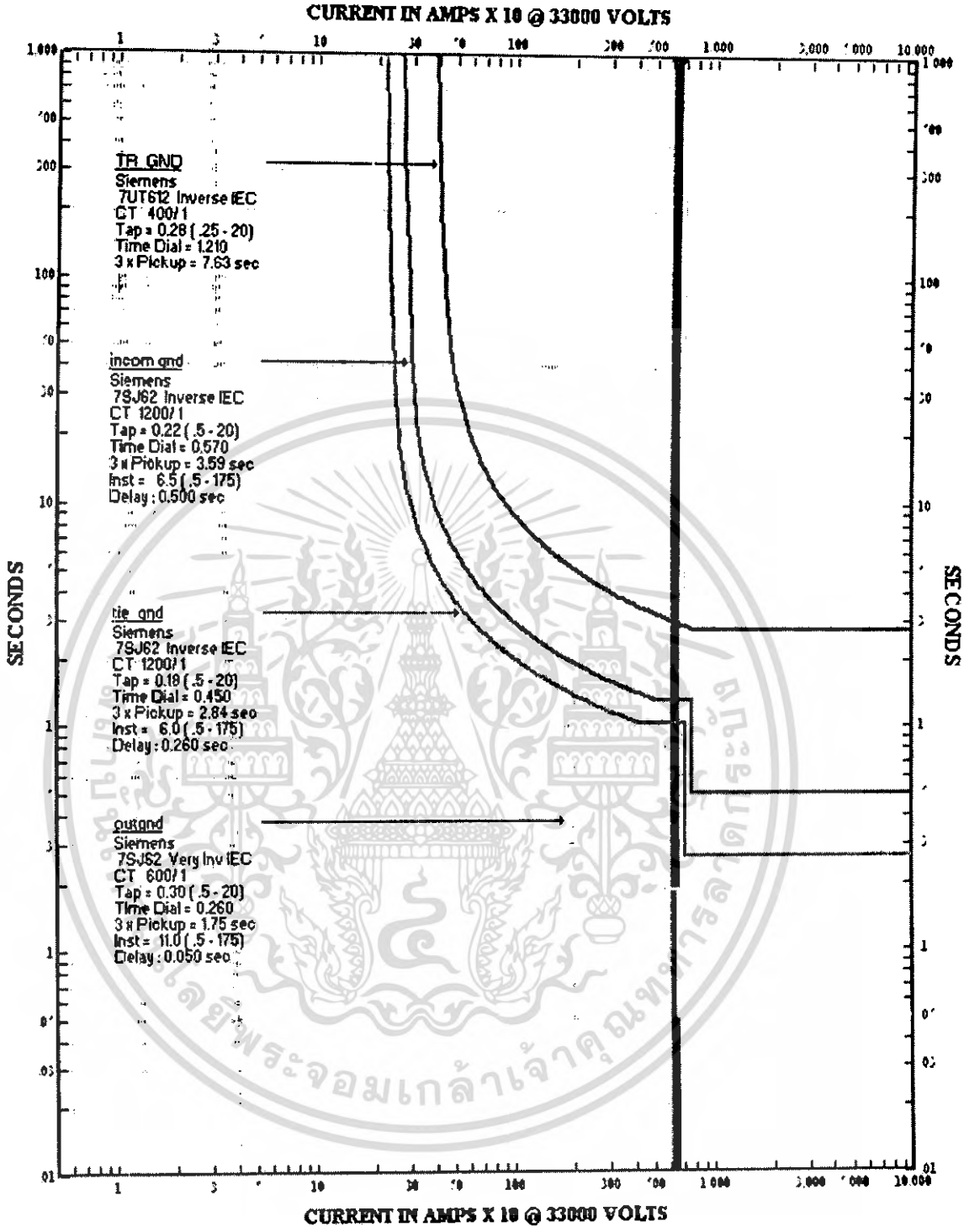
เมื่อทำการปรับตั้งค่าการเซ็ตดิ้งจนสามารถโคออดิเนชั่นกันได้อย่างสมบูรณ์แล้วจึงนำค่าที่ทำการแก้ไขแล้วไปทำการอนุมัติเพื่อทำการเซ็ตดิ้งเข้าสู่ตัวรีเลย์ในสถานีไฟฟ้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.20 การโคออดิเนชั่นทางด้านเฟสของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย (33kV) ด้วยโปรแกรม Power plot

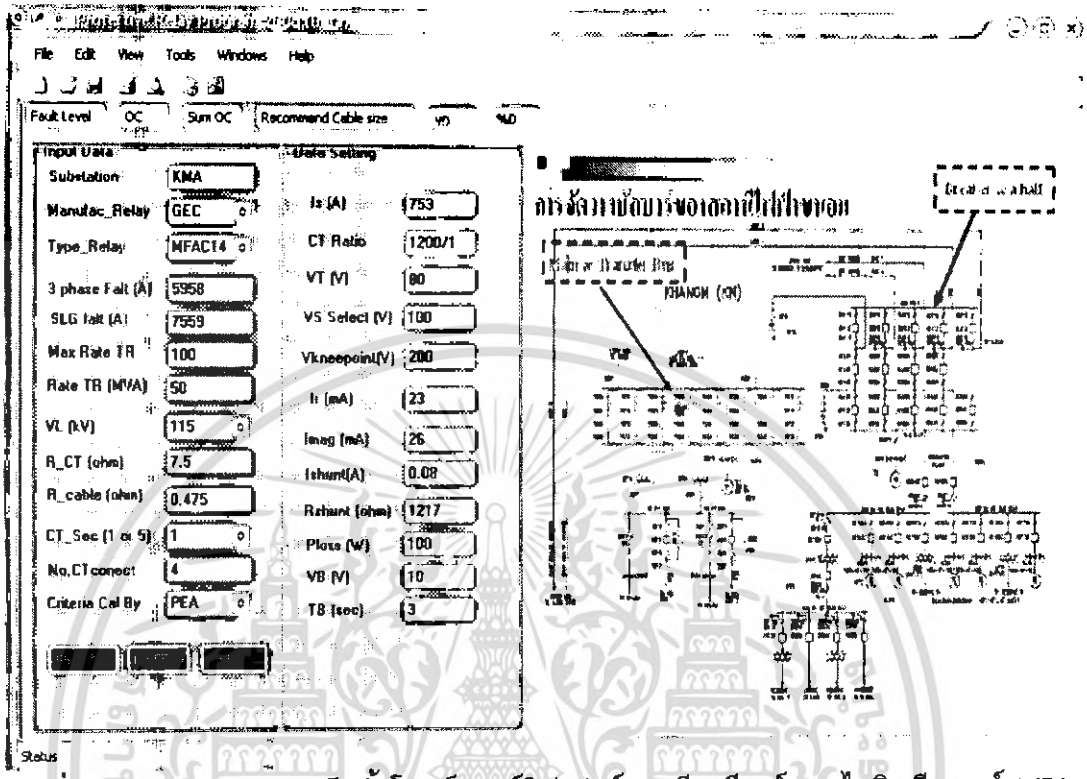
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.21 การโคออดิเนชั่นทางด้านกราวดน์ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย (33kV) ด้วยโปรแกรม Power plot

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปเป็นการทำการคำนวณค่าเซ็ตดิ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์ (VD) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.22



รูปที่ 6.22 การคำนวณค่าเซ็ตดิ้งโวลท์เดตท์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์ (VD)

จากวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจะพบว่าเมื่อใดก็ตามที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสฟอลต์สูงสุด เนื่องจากสาเหตุใดๆก็ตาม เช่น

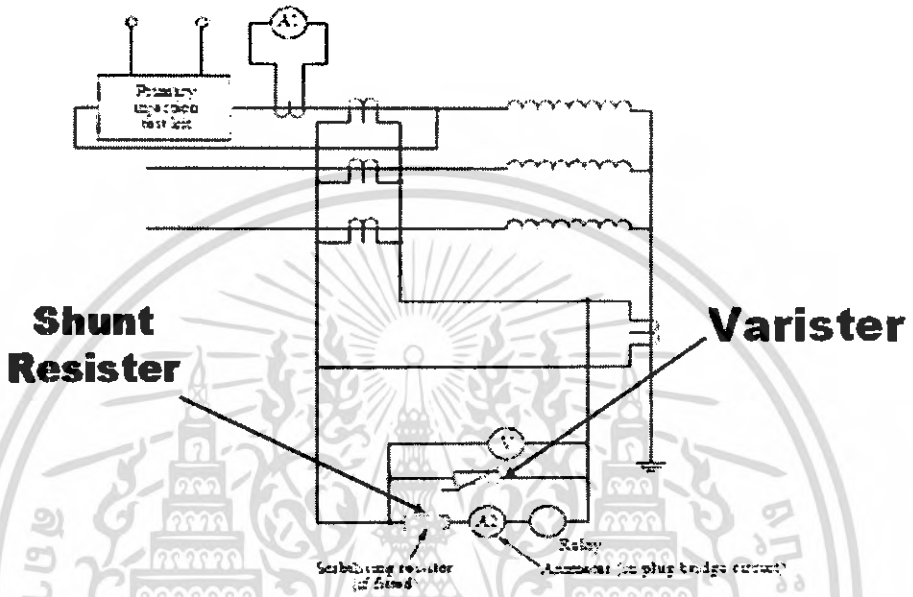
- มีการเปลี่ยนแปลงเนตเวิร์กทางสายส่งของ EGAT
- มีการต่อ SPP/IPP เชื่อมเข้ากับระบบของการไฟฟ้า
- มีการเปลี่ยนอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้า
- มีการเปลี่ยนแปลงการจ่ายโหลดของหม้อแปลง
- ค่าเซ็ตดิ้งเดิมไม่เหมาะสมทางด้านการโคออดิเนชั่นกับระบบ
- การเพิ่มเบย์ในสถานีไฟฟ้าเข้าไป
- มีการทำสวิตชิ่งเพื่อเปลี่ยนแปลงการจ่ายโหลด
- สาเหตุอื่นๆ ที่นอกเหนือจากดังที่กล่าวมา

จำเป็นต้องมีการปรับตั้งค่าโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์และดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์ใหม่ เพื่อให้รีเลย์สามารถมีการป้องกันที่เหมาะสมกับค่ากระแสฟอลต์ที่เปลี่ยนไป โปรแกรมนี้จึงได้ถูกออกแบบและพัฒนามาเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาการปรับตั้งค่ารีเลย์เซ็ตดิ้งเพื่อใช้ในการป้องกันหม้อแปลงและบัสบาร์ในสถานีไฟฟ้า ซึ่งทำให้ง่ายต่อการใช้งานของผู้ที่เริ่มจะทำการศึกษาและพัฒนาองค์ความรู้ทางด้านการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4.2 ผลของค่าความต้านทานของ CT และ สายเคเบิล ที่มีผลต่อความว่องไว (Sensitivity) ของดิฟเฟอเรนเทียลรีเลย์

วงจรการทำงานของรีเลย์ Type MFAC 14



รูปที่ 6.23 วงจรของสู่ดิฟเฟอร์เรนเทียลรีเลย์แบบใช้ค่าแรงดัน (High Impedance)

VT = 1.50* (I PhasetoGNDfault / CTR)*(RCT +2*RL) (7.1)

Ishunt = Ifullload/CTR - (IR+ n*Imag) (7.2)

Rshunt = VS / Ishunt (7.3)

จากวงจรแสดงการต่อของชั้นรีซิสเตอร์ เพื่อลดความว่องไว(Sensitivity) ของรีเลย์ และการขนานของวาริสเตอร์เพื่อลิมิตแรงดันที่เข้าสู่ดิฟเฟอร์เรนเทียลรีเลย์แบบใช้ค่าแรงดัน (High Impedance) ซึ่งจะเห็นได้ว่า RL หรือความด้านทานของสายลีดที่ต่อเข้าทางด้านทุติยภูมิของซีที มีผลต่อค่าการเซ็ตดิ้งค่าแรงดันดิฟเฟอร์เรนเทียลรีเลย์ ซึ่งจะส่งผลถึงค่ากระแสที่เข้าสู่รีเลย์จากค่าแรงดันเซ็ตดิ้ง(Ir) และกระแสในชั้นรีซิสเตอร์(Ishunt) ทำให้ค่าความด้านทานที่จะนำมาต่ออนุกรมกับรีเลย์(Rshunt) เพื่อลดความว่องไวในการทำงานนั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากแฟคเดอร์ดังที่กล่าวมาข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราจึงต้องมีหลักการในการเลือกขนาดสายของสายลีดที่ต่อเข้าทางด้านทุติยภูมิของซีทีซึ่งในที่นี้จะใช้โมโนแกรมที่ใช้หาขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิลมาเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อความสะดวกในการใช้งานในเลือกขนาดสายลีดที่ต่อเข้าทางด้านทุติยภูมิของซีที ซึ่งโมโนแกรมและโปรแกรมดังกล่าวอาศัยที่มาจากสมการดังต่อไปนี้ คือ

$$R_{cable} = \rho_{cu} * (L_{HV}/A) \quad (7.4)$$

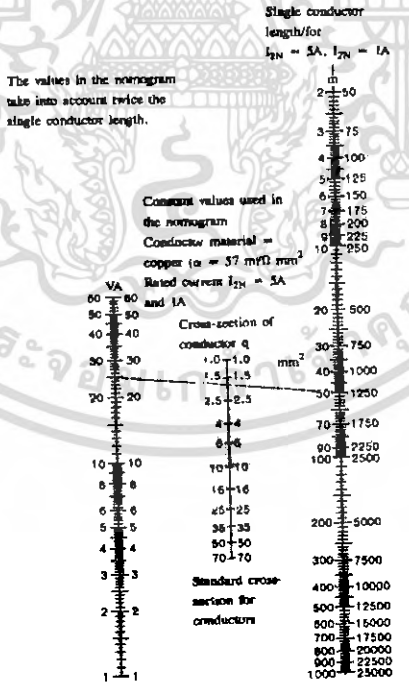
$$\text{CT Burrent} >= I^2_{sec} R_{CT} \quad (7.5)$$

$$\text{CT Burrent} >= I^2_{sec} R_{cable} + \text{Relay Burrent} \quad (7.6)$$

จากสมการดังกำหนดให้ $\rho_{cu} = 0.017241 + (6.8*10^{-5} * (40-20)) = 0.019$ (ohm*mm^2/m)
ซึ่งเราคิดที่อุณหภูมิการใช้งานของสายทองแดงที่ 40 Celcieus degree

ข้อมูลพื้นฐานของอุปกรณ์ที่ต้องทราบ

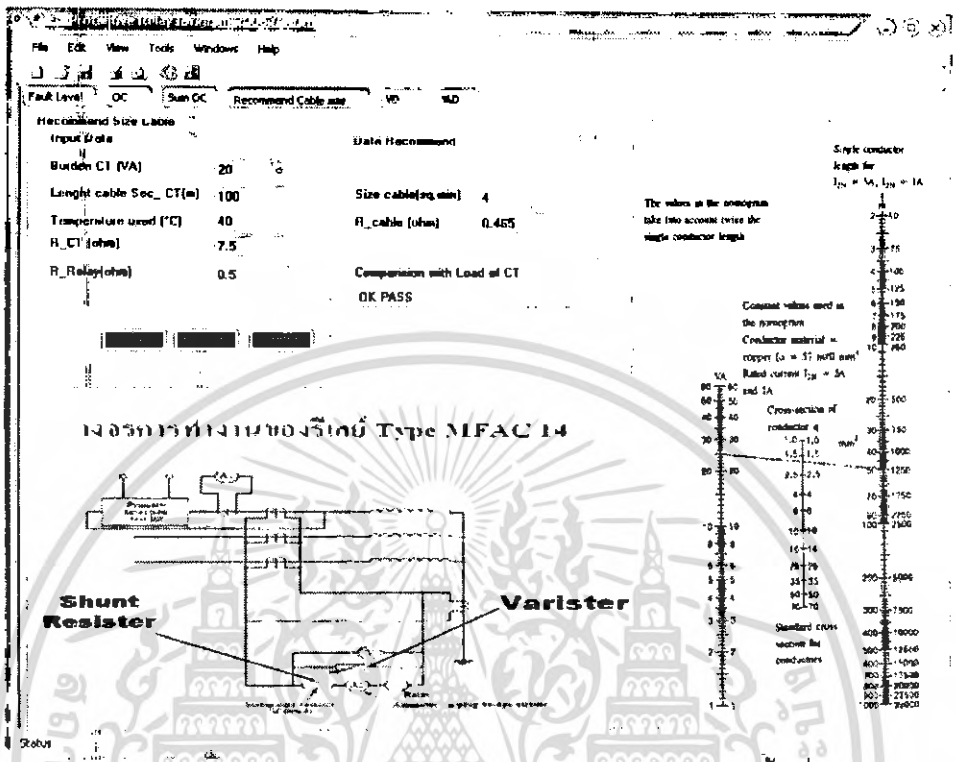
- ความยาวของสายลีดที่ต่อเข้าทางด้านทุติยภูมิของซีที (m)
- เบอร์เดนของซีที (VA,ohm)
- เบอร์เดนของรีเลย์ (VA,ohm)



รูปที่ 6.24 โมโนแกรมที่ใช้หาขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น เมื่อเราทราบเพียงข้อมูลพื้นฐานของอุปกรณ์ เราก็สามารถคำนวณจากโปรแกรมได้ดังรูป



รูปที่ 6.25 โปรแกรมโหมดการทำงานของการแนะนำการเลือกขนาดพื้นที่หน้าตัดของสายเคเบิล

นอกจากโปรแกรมจะทำการเลือกขนาดสายลีดที่ต่อเข้าทางด้านทุติยภูมิของซีทีแล้ว ยังได้ทำการคำนวณค่าความด้านทานของสายลีด (R_{cable}) เพื่อไปรวมกับความด้านทานของรีเลย์เพื่อวิเคราะว่า Burden CT ที่ใช้งานสามารถจ่ายโหลดได้เพียงพอหรือไม่ และทำการส่งค่าไปสู่โหมดการคำนวณค่าเซ็ตดิ้งโวลเดตดิฟเฟอร์เชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีแดนซ์ เพื่อคำนวณค่าเซ็ตดิ้งรีเลย์เพื่อป้องกันบัสบาร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
บทสรุป

7.1 บทสรุปของโครงงาน

การศึกษาและออกแบบโปรแกรมการคำนวณค่าการเซ็ตติ้งรีเลย์และกระแสฟอลต์เพื่อป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า,บัสบาร์โดยใช้การป้องกันด้วยรีเลย์แบบผลต่างและรีเลย์กรแสเกิน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ที่มาของแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย เนื่องจากการป้องกันบัสบาร์และหม้อแปลงในสถานีไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในปัจจุบัน ซึ่งในการออกแบบสถานีไฟฟ้าแต่ละแห่งจะต้องมีการออกแบบระบบป้องกันของบัสบาร์และหม้อแปลงไฟฟ้าควบคู่กันไปด้วยซึ่งบริษัทที่รับผิดชอบจะเป็นฝ่ายที่ทำการปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องทางการไฟฟ้าเป็นผู้ให้ข้อมูลกับผู้ออกแบบ ซึ่งค่าในการปรับตั้งนั้นบริษัทเป็นผู้ปรับตั้งให้ แต่เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของวงจรไฟฟ้าอันเนื่องจากการความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นซึ่งส่งผลทำให้ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นหากไม่มีการปรับตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันให้สอดคล้องกับค่าตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงไป อุปกรณ์ป้องกันก็จะไม่สามารถทำการป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่มีเสถียรภาพในการป้องกันบัสบาร์และหม้อแปลงไฟฟ้า

ดังนั้นจึงได้พัฒนาโปรแกรมมาใช้ในการคำนวณเพื่อหาปรับตั้งให้กับอุปกรณ์ป้องกันซึ่งหากเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรของระบบไฟฟ้า และในกรณีที่ออกแบบระบบป้องกันใหม่ด้วย เพื่อให้สะดวกและรวดเร็วในการหาค่าปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งค่าการปรับตั้งที่ได้จากโปรแกรมมีความเชื่อถือได้สูง

2. การเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยเป็นขอมูลของระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยได้นำข้อมูลทั้งหลักการในการคำนวณค่าการปรับตั้งและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องรวมถึงข้อมูลของการปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในการป้องกันบัสบาร์และหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบัน ซึ่งตัวอย่างที่อ้างอิงเป็นระบบการส่งจ่ายกำลังจากโรงไฟฟ้าขนอมการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจนไปถึงสถานีไฟฟ้าเกาะสมุยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยข้อมูลต่างๆทั้งหมดมีจำนวนมากซึ่งจะต้องทำการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลที่มีการใช้อยู่จริง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นปัจจุบันมากที่สุด ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องในการคำนวณค่าการปรับตั้งที่สามารถใช้งานได้จริงกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีอยู่ในระบบปัจจุบันได้

3. วิธีดำเนินการศึกษาและการสร้างโปรแกรม

1. ศึกษาหลักการป้องกันบัสบาร์และหม้อแปลงโดยใช้รีเลย์ป้องกันกระแสเกินและการป้องกันโดยใช้รีเลย์แบบผลต่าง โดยจะต้องทราบสาเหตุและลักษณะของการเกิดความผิดพร่องที่เกิดขึ้นกับบัสบาร์และหม้อแปลงไฟฟ้ารวมถึงผลที่เกิดขึ้น แล้วจึงทำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการป้องกันของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินและการป้องกันโดยใช้รีเลย์แบบผลต่างที่จะนำมาใช้ในการป้องกันบัสบาร์และหม้อแปลงในปัจจุบัน

2. ศึกษาหลักการคำนวณเพื่อหาค่าในการปรับตั้งของอุปกรณ์ป้องกันคือรีเลย์ป้องกันกระแสเกินและรีเลย์แบบผลต่าง ซึ่งจะแยกตามอุปกรณ์ที่จะป้องกันคือ การป้องกันบัสบาร์และการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งได้ทำการศึกษาจากการคำนวณค่าการปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกันจริงทั้งจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการในการคำนวณและค่าตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง

3. ทำการสร้างโปรแกรมที่ช่วยในการคำนวณเพื่อหาค่าในการปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกัน(รีเลย์กระแสเกินและรีเลย์แบบผลต่าง)ของทั้งการป้องกันบัสบาร์และหม้อแปลงไฟฟ้า รวมถึงการคำนวณเพื่อหาค่ากระแสลัดวงจร ณ จุดที่จะทำการป้องกันด้วย โดยโปรแกรมที่สร้างขึ้นนี้ถูกพัฒนามาจากโปรแกรมวิชวลเบสิคสตูดิโอ 2005 ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการออกแบบสูงและสามารถที่จะพัฒนาความสามารถของโปรแกรมต่อไปได้อีก

4. ผลการวิเคราะห์การใช้งานโปรแกรม จากการทดลองใช้งานโปรแกรมเพื่อหาค่าในการปรับตั้งอุปกรณ์ป้องกัน โดยภาพรวมของโปรแกรมสามารถคำนวณหาค่าที่เหมาะสมให้กับอุปกรณ์ป้องกันได้อย่างถูกต้องตามกระบวนการในการคำนวณที่ถูกออกแบบไว้ โดยทดลองจากการที่ผู้ออกแบบทำการคำนวณด้วยตนเองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากโปรแกรมซึ่งมีค่าที่สัมพันธ์กันในทุกๆกรณี ทั้งในส่วนของค่าปรับตั้งรีเลย์กระแสเกินและค่าปรับตั้งรีเลย์แบบผลต่าง รวมทั้งการคำนวณค่ากระแสฟอลต์ด้วย แต่อย่างไรก็ดี รีเลย์ที่ใช้งานจริงจะมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะแล้วแต่ผู้ผลิตซึ่งจะมีค่าปรับตั้งเฉพาะที่จะต้องปรับตั้งเพิ่มเติมจากค่าที่ได้จากโปรแกรมนี้ ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ทำการปรับตั้งจะต้องศึกษาถึงคุณสมบัติพิเศษของอุปกรณ์ป้องกันนั้นๆด้วย และในการคำนวณค่ากระแสฟอลต์นั้นมีความสามารถในการหาค่าภายในส่วนของระบบที่เป็นแบบเรเดียลเท่านั้น หากอุปกรณ์ที่จะทำการป้องกันอยู่ในส่วนของระบบที่เป็นแบบลูปไลน์ ก็จะต้องใช้โปรแกรมอื่นเพื่อช่วยในการหาค่ากระแสฟอลต์เพื่อประกอบกับการหาค่าในการปรับตั้งของอุปกรณ์ป้องกันจากโปรแกรมต่อไป

5. สิ่งที่ควรได้รับการพัฒนาต่อไป เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการป้องกันบัสบาร์และหม้อแปลงไฟฟ้าที่อยู่ภายในสถานีไฟฟ้า ซึ่งแยกพิจารณาการป้องกันแต่ละอุปกรณ์ จึงควรมีการศึกษาและพัฒนาในส่วนของการป้องกันที่มีความสัมพันธ์ของการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันหรือการทำโคออดิเนชันระหว่างอุปกรณ์ป้องกันของทั้งบัสบาร์และหม้อแปลงในสถานีไฟฟ้า เพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันของแต่ละอุปกรณ์สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างเหมาะสมกับลักษณะและตำแหน่งของการเกิดความผิดพร่องที่เกิดขึ้นภายในสถานีไฟฟ้า

ในส่วนของโปรแกรมควรได้รับการพัฒนาในด้านของการแสดงผลในรูปแบบของโมดูลวงจรการป้องกันที่ได้ทำการเซ็ตติ้งของทั้งบัสบาร์และหม้อแปลงซึ่งจะทำให้ผู้ที่ทำการปรับตั้งมีความเข้าใจในส่วนที่ทำการป้องกันมากยิ่งขึ้น และควรพัฒนาให้มีความสามารถในการทำโคออดิ

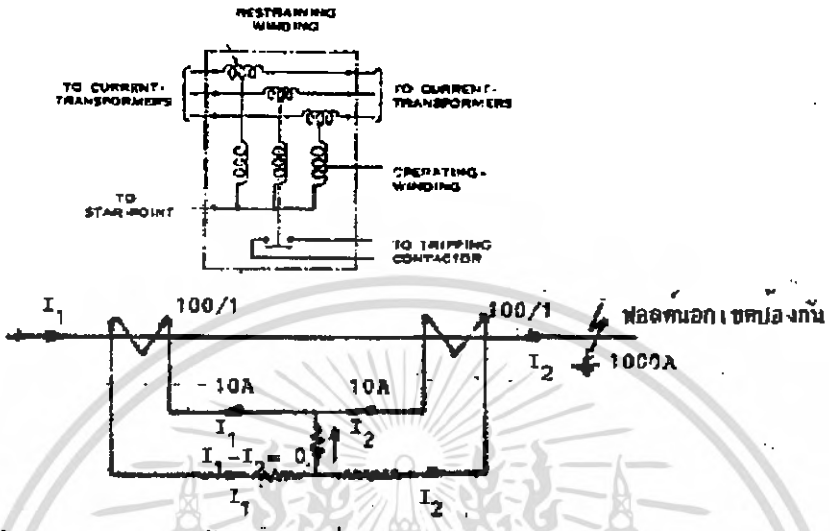
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนชันระหว่างอุปกรณ์ป้องกันพร้อมทั้งสามารถปรับตั้งค่าการทำงานให้กับอุปกรณ์ให้ทำงานได้สัมพันธ์กัน ซึ่งทั้งหมดนี้จำเป็นที่จะต้องมีการพัฒนาต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

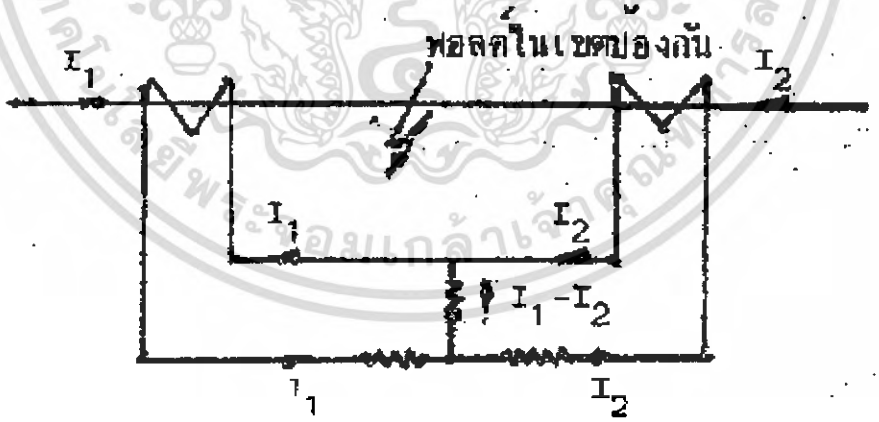
3.7.1 ชนิดของรีเลย์วัดค่าผลต่าง

ก) รีเลย์กระแสต่างแบบเปอร์เซ็นเตจไบแอส (Percentage bias Differential relay) เมื่อเกิดฟอลต์นอกเขตป้องกันรีเลย์กระแสต่าง (Differential ralay) ตามรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ฟอลต์เกิดขึ้นนอกเขตป้องกันของรีเลย์กระแสต่าง (Differential relay)

ซึ่งจุดฟอลต์นี้จะอยู่นอกรีเลย์กระแสต่าง (Differential relay) เมื่อซีที ทั้งสองมีอัตราส่วนเท่ากัน กระแสที่ไหลทางด้านทุติยภูมิของซีที จะมีทิศทางตามลูกศรตามรูปที่ 3.23 ทำให้ผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านคอลย์ทำงาน (Operating coil) เป็นศูนย์ รีเลย์จึงไม่ทำงานแต่ถ้าเกิดฟอลต์ใน เขตป้องกันดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในเขตป้องกันของรีเลย์กระแสต่าง

เมื่อเกิดฟอลต์ในเขตป้องกันกระแสจะไหลมายังจุดฟอลต์ทั้งสองด้านผ่านซีทีของแต่ละตัวทำให้ขนาดของกระแสที่ขดทุติยภูมิของซีทีทั้งสองตัวไม่เท่ากันจึงทำให้เกิดผลรวมของกระแสที่ไหลผ่านคอลย์ทำงาน (Operating coil) ไม่เป็นศูนย์ กระแสอันนี้จะทำให้รีเลย์ทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

หลักเกณฑ์ทั่วไปในการปรับตั้งรีเลย์ของ กฟภ.

หลักเกณฑ์ทั่วไป

- การปรับตั้งรีเลย์ทุกชนิด จะต้องแสดงตำแหน่งและการทำงานของรีเลย์นั้นๆ ลงบนไดอะแกรมของรีเลย์และการวัด (Metering & Relaying Diagram) และลำดับการทำงานของรีเลย์ (Protective Device Function) ตามลำดับ ซึ่งได้ผ่านการตรวจสอบจาก กฟภ.
- แสดงข้อมูลและรายละเอียดข้อมูลของผู้ผลิตหม้อแปลง (Final Design Data of Power Transformer)
- การปรับตั้งรีเลย์และการเลือก CT ratio จะต้องแสดงการคำนวณอย่างละเอียดทุกขั้นตอน และต้องเป็นไปตาม Recommendation ของบริษัท ผู้ผลิต
- รวบรวมรายละเอียดและข้อมูลการปรับตั้งรีเลย์ให้เป็นรูปเล่มของสถานีไฟฟ้า ทำคู่มือการใช้งาน , การวางสายของดูรีเลย์ให้ กฟภ.ตรวจสอบก่อนการดำเนินการทดสอบรีเลย์ อย่างน้อย 45 วัน

การปรับตั้งรีเลย์แต่ละชนิด

การป้องกันบัสบาร์ (**Busbar protection**)

การป้องกันบัสบาร์ด้วยดิฟเฟอร์เรนเทียลรีเลย์ (Bus Differential Relay)

- เลือกอัตราส่วนของซีทีโดยใช้ฟูลแทป(Full tap) และเป็นอัตราส่วน(Ratio) เดียวกัน
- แสดงการปรับตั้งตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต
- ในการคำนวณค่า Setting ต้องแสดงค่าความต้านทานทุติยภูมิ (CT. secondary resistance)และ ความต้านทานของสายลีดของทุกชุดด้วย เพื่อใช้ในการตรวจสอบว่ารีเลย์ไม่ทำงานในกรณีเกิดกระแสฟอลต์ภายนอกสูงสุด(Maximum External Fault)
- ค่าการปรับตั้งแรงดันของรีเลย์ (Voltage setting) ที่ได้จากการคำนวณ ให้ใช้ค่าที่เหมาะสมและสอดคล้องกับค่าแทปปรับตั้ง(Tap setting)ของรีเลย์และค่าแรงดันที่ Knee point voltage ที่ต่ำสุดซีทีใช้งาน จะต้องมากกว่า หรือเท่ากับ 2 เท่าของแรงดันปรับตั้งของรีเลย์
- ต้องแนบกราฟคุณสมบัติการอิ่มตัว(CT excitation curve) ด้วย

บัสบาร์ซุเปอร์ไวเซอร์รีเลย์ (Busbar Supervisory Relay)

- การปรับตั้งค่าแรงดันปิ๊กอัพ(Voltage pick up) ประมาณ 10 % ของค่าแรงดันปรับตั้ง (Voltage setting) ของบัสดิฟเฟอร์เรนเทียลรีเลย์
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) ประมาณ 3-5 sec.

รีเลย์ป้องกันแรงดันเกินและแรงดันตก (Under / Over Voltage Relay)

- แรงดันดก (Under voltage) ประมาณ 20 %Un และมีการหน่วงเวลา(Time delay) 2 sec.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงดันเกิน(Over voltage) ประมาณ 10 %Un และมี การหน่วงเวลา(Time delay) 2 sec.
- แสดงเฉพาะการอลามน์เท่านั้น (Alarm only)

การป้องกันเฟสและกราวดน์ด้วยไดเร็คชั่นแนลโอเวอร์เคอเร้นรีเลย์ (Phase & ground Directional Overcurrent Relay)

การป้องกันเฟส (Phase Directional Overcurrent Relay)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพ (pick up current setting) ประมาณ 120 % ของ Thermal limit Transmission line
- กำหนดค่าการทำงานให้เหมาะสม และสามารถทำงานได้สัมพันธ์กับอุปกรณ์ของ กฟภ.
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) ประมาณ 300-400 ms ที่กระแส 3 เฟสฟอล สูงสุด
  (Maximum 3 phase fault)
- คุณลักษณะเฉพาะในการทำมุมของรีเลย์ (Relay Characteristic angle) +30 องศา

การป้องกันกราวดน์ (Ground Directional Overcurrent Relay)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพ (pick up current setting)ประมาณ +30 % ของ Thermal limit Transmission line
- กำหนดค่าการทำงานให้เหมาะสม และสามารถทำงานได้สัมพันธ์กับอุปกรณ์ของ กฟภ.
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) ประมาณ 300-400 ms ที่ Maximum SLG fault
- คุณลักษณะเฉพาะในการทำมุมของรีเลย์ (Relay Characteristic angle) -60 degree

ออโตรีโคลสรีเลย์ (Auto Reclosing Relay)

- จำนวนครั้งการรีโคลส เท่ากับ 1 ครั้ง (Zone 1 only)
- เดดไทม์ (Dead time) เท่ากับ 1 s (3 point trip)
- รีเคลมไทม์ (Reclaim time) เท่ากับ 5 s

การป้องกันหม้อแปลงด้วยดิฟเฟอร์เรนเทียล (Transformer Differential Protection)

- เลือกค่า CT ratio ที่เหมาะสม ทั้งCTหลัก และ Auxilary CT เพื่อไม่ให้กระแสทุติยภูมิ (secondary current)เกินค่าพิกัดของรีเลย์
- ในกรณีที่ใช้ Auxilary CT จะต้องใช้ทุกๆด้านของรีเลย์ ที่ต่อกับเมน CT และให้แสดง connection ของแทป Aux.CT ที่ใช้งานด้วย
- การวางรูปแบบเวคเตอร์กรุ๊ป(Form vector group) ให้ต่อ CT หลักเป็นแบบวายแล้วแก้ไขเวคเตอร์กรุ๊ป ที่ Aux CT เพื่อป้องกันไม่ให้ รีเลย์ทำงานผิดพลาด
- ตรวจสอบสมรรถภาพ CT (CT performance)สำหรับกรณีเกิดกระแสฟอลต์ภายนอกสูงสุด (Maximum external fault) จะต้องไม่ทำให้ CT อิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าเปอร์เซ็นมิสแมช(percent mismatch)ที่เกิดจากการคำนวณจะต้องไม่เกิน 5% ที่แทปปกติ(normal tap) ของหม้อแปลง
- เลือก Instantaneous unit โดยรีเลย์จะต้องไม่ทำงานที่กระแสพุ่งเข้าสูงสุด(Maximum inrush current)
- แสดงการปรับตั้งค่าการทำงานตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

เรสซิตริกเอิรทฟอลรีเลย์ (Restricted Earth Faulth Relay)

- เลือกค่าอัตราส่วนนิวตรอลCT (Nutral CT ratio) ที่เหมาะสมกับการใช้งาน
- ทำการปรับตั้งและเลือกค่าชั้นรีซิสเตอร์ (Relay setting & Shunt resistor selection) ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต

โอเวอร์เคอเรนรีเลย์ด้านแรงสูง(Overcurrent Relay High side)

- การปรับตั้งโอเวอร์เคอเรนรีเลย์จะต้องแสดงกราฟความสำพันธ์ของเวลา(Time co-ordination curve) และแสดงกระแสพุ่งเข้าหม้อแปลงและกราฟแสดงค่าความเสียหาย (Transformer magnetizing inrush current & Damage curve) ลงในกราฟ log-log scale
- เลือก CT.ratio ประมาณ 150% ของพิกัดหม้อแปลงโดยที่กระแสฟอลต์สูงสุดที่บัสต้องน้อยกว่า 20 เท่าของ CT ที่เลือกใช้

การปรับตั้งเฟส (Phase setting)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพ (pick up current setting) ประมาณ 150 % ของกระแสพิกัดหม้อแปลง
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic curve) ให้เป็นแบบ Normal inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time)ประมาณ 1.5 s ที่กระแสทรีเฟสฟอลต์ ที่บัสด้านแรงต่ำ
- บล๊อกการทำงานของ Instantaneous unit

การปรับตั้งกราวดน์ (Ground setting)

กรณีหม้อแปลงเป็นแบบ Dyn

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพ (pick up current setting) ประมาณ 10 % ของค่าปรับตั้งกระแสเฟสปิคอัพ (Phase pick up current setting)
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic curve) ให้เป็นแบบ Normal inverse
- ไทม์มัลติเพิลเซ็ทติ้ง (Time multiple setting) = 0.1
- อินสแตนทาเนียสเคอร์เร้นเซทติ้ง (Instantaneous current setting)ประมาณ Maximum SLG fault at low side bus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีหม้อแปลงเป็นแบบ Ynyn

ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพ (pick up current setting) ประมาณ 30 % ของค่าเฟสปิคอัพเคอร์เร้นเซ็ทติ้ง (Phase pick up current setting)

- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic curve) ให้เป็นแบบ Normal inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) ประมาณ 2 s ที่ Maximum SLG fault current at low side bus
- บล๊อกการทำงานของ Instantaneous unit

แบคอัพกราวดน์โอเวอร์เคอเร้นรีเลย์ (Back up Ground Overcurrent Relay)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพ (pick up current setting) ประมาณ 35 % ของกระแสพิกัดหม้อแปลง
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic curve) ให้เป็นแบบ Normal inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) ประมาณ 1.5 s ที่กระแสฟอลเฟสทูกราวดน์สูงสุดที่บัสด้านแรงต่ำ
- บล๊อกการทำงานของ Instantaneous unit

ออนโหลดแทปเชนโอเวอเคอเร้นรีเลย์ (On load tap change Overcurrent Relay)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพ(pick up current setting)ประมาณ150% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง

การป้องกันฟีดเดอร์ในระบบ 22 kV และ 33 kV

- การปรับตั้งโอเวอร์เคอเร้นรีเรย์ จะต้องแสดงกราฟแสดงลำดับการทำงาน(Time Co-ordination Curve) โดยPlot ลงบนกราฟ log-log scale
- การจัดลำดับการทำงานระหว่างอัพสตีมโอเวอร์เคอเร้นรีเรย์ (Upsteam OC relay) กับดาวสตีมโอเวอร์เคอเร้นรีเรย์ (Downsteam OC Relay) ทั้งด้านเฟสและกราวดน์ให้พิจารณาใช้ไทม์มาจิน (Time margin) อยู่ระหว่าง 0.3 – 0.5 s และให้แสดงรายละเอียดที่มาของ
  ไทม์มาจิน(Time margin) ที่ใช้ด้วย

อินคัมมิ่งฟีดเดอร์ (Incoming Feeder)

- เลือก CT ratio ประมาณ 150 % ของกระแสเฟสพิกัดหม้อแปลง

การปรับตั้งเฟส (Phase setting)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพ (pick up current setting) ประมาณ 140 % ของกระแสพิกัดหม้อแปลง
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic curve) ให้เป็นแบบ Normal inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) ประมาณ 1 s ที่กระแสทรีเฟสฟอลสูงสุด ที่บัสด้านแรงต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การปรับตั้งกระแสอินสเตทาเนียส(Instantaneous current setting) ประมาณ 120% ของกระแสฟอลต์สูงสุดและ เวลาการทำงาน (Operating time) = 0.5 s

การปรับตั้งกราวดน์ (Ground setting)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพ(pick up current setting)ประมาณ 30 %ของกระแสพิกัดหม้อแปลง
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic curve) ให้เป็นแบบ Normal inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) ประมาณ 1 s ที่ Maximum SLG at low side bus
- การปรับตั้งกระแสอินสเตทาเนียส (Instantaneous current setting) ประมาณ 120% กระแสฟอลต์สูงสุดและ เวลาการทำงาน (Operating time) = 0.5 s

Bus section or bus tie

- - เลือก CT ratio ประมาณ 150 % ของกระแสพิกัดหม้อแปลง

การปรับตั้งเฟส (Phase setting)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพ (pick up current setting) ประมาณ 125 % กระแสพิกัดหม้อแปลง
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic curve) ให้เป็นแบบ Normal inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) ให้สามารถทำงานร่วมกันได้กับอัพสตีมเฟสโอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ (Upsteam phase OC relay)
- การปรับตั้งกระแสอินสเตทาเนียส (Instantaneous current setting) ประมาณ 110% Maximum fault current และ เวลาการทำงาน (Operating time) = 0.25 s

การปรับตั้งกราวดน์ (Ground setting)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพ (pick up current setting) ประมาณ 25% of transformer rating current
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic curve) ให้เป็นแบบ Normal inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) สามารถ Co-ordinate ได้กับ Upsteam phase OC relay
- Instantaneous current setting ประมาณ 110% ของกระแสฟอลต์สูงสุด และ เวลาการทำงาน (Operating time) = 0.25 s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์โกอิ้งฟีดเดอร์ (Outgoing Feeder)

- เลือก CT ratio ให้เหมาะสมกับสภาพการจ่ายไฟ และกระแสโหลดสูงสุด

การปรับตั้งเฟส (Phase setting)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพ (pick up current setting) ประมาณ 100%In
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic curve) ให้เป็นแบบ Normal inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) ให้สามารถ Co-ordinate ได้กับ Upsteam phase

  OC relay
- Instantaneous current setting ประมาณค่ากระแสฟอลสูงสุดและ ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) = 0.05 s

การปรับตั้งกราวดน์ (Ground setting)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพ (pick up current setting) ประมาณ 30% In
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic curve) ให้เป็นแบบ Normal inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) ให้สามารถ Co-ordinate ได้กับ Upsteam phase OC relay
- ทั้งนี้ต้องตรวจสอบให้สามารถ Co-ordinate ได้กับ Totel clearing time curve ของ Fuse ขนาด 65K ในระบบ 22kV และ 40K ในระบบ 33 kV

ออโตรีโคลสรีเลย์ (Auto – Reclose Relay)

- จำนวนครั้งการรีโคลส = 2 ครั้ง
- ค่าเดดไทม์ (Dead time) ครั้งที่ 1 = 0.5 – 5 s โดยพิจารณาตามสภาพการจ่ายไฟ

  ครั้งที่ 2 =15 s
- รีเคลมไทม์ (Reclaim time) ไม่น้อยกว่า 45 s

Breaker Failure Protection

For Tranformer Protection

- ค่าปิ๊กอัพเฟสเคอร์เร้น(pick up phase current)ประมาณ 100% ของพิกัดCT
- ค่าปิ๊กอัพกราวดน์เคอร์เร้น (pick up ground current)ประมาณ 30% ของพิกัดCT
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) = 250 ms (115 kV)
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) = 300 ms (22,33 kV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานและข้อกำหนดในการคำนวณค่ารีเลย์เซ็ทติ้งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

(Standard Criteria of EGATE for relay setting)

การป้องกันหม้อแปลง (Transformer Protection)

การเซ็ทรีเลย์กระแสเกิน จะต้องแสดงตำแหน่งและการทำงานของรีเลย์นั้นๆ ลงบนไดอะแกรมของกราฟลอกสเกล (time co-ordination curve shall be shown on semilog scale paper)

การป้องกันหม้อแปลงทางด้านแรงดันสูงโดยใช้โอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ในระบบ 230/115 kV

การป้องกันเฟส (Phase overcurrent relay)

- อัตราส่วนของCT = 150% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง (FOA Transformer rating) ทำการตรวจสอบโดยที่ค่า 20 เท่าของกระแสทางด้านปฐมภูมิ ต้องมากกว่าแรงดันฟอลต์สูงสุด(Check 20*primary current > max.fault current)
- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพต่ำสุด (Minimum pickup current) = 150% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง (maximum transformer capacity (FOA rating))
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic) = Normal Inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) < 2 sec. ที่กระแสสามเฟสฟอลต์สูงสุดทางด้านบัสแรงต่ำ(maximum 3 phase fault current contributed to low side bus)
- บล็อกการทำงานของอินสแตนทาเนียสรีเลย์ (Block instantaneous unit)

การป้องกันกราวดน์ (Ground overcurrent relay)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพต่ำสุด (Minimum pickup current) = 30% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง

(maximum transformer capacity (FOA rating))

- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic) = Normal Inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) < 2 sec. . ที่กระแสไลน์ทูกราวดน์ฟอลต์สูงสุดทางด้านบัสแรงต่ำ (at maximum SLG fault current contributed to low side bus)
- บล็อกการทำงานของอินสแตนทาเนียสรีเลย์ (Block instantaneous unit)

การป้องกันหม้อแปลงทางด้านแรงดันต่ำโดยใช้โอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ในระบบ 230/115 kV

การป้องกันเฟส (Phase overcurrent relay)

- อัตราส่วนของCT = 150% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง (FOA Transformer rating) ทำการตรวจสอบโดยที่ค่า 20 เท่าของกระแสทางด้านปฐมภูมิ ต้องมากกว่าแรงดันฟอลต์สูงสุด(Check 20*primary current > max.fault current)
- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพต่ำสุด (Minimum pickup current) = 150% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง (maximum transformer capacity (FOA rating))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic) = Normal Inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) < 1.5 sec. ที่กระแสสามเฟสฟอลต์สูงสุดทางด้านบัสแรงต่ำ(maximum 3 phase fault current contributed to low side bus)
- บล็อกการทำงานของอินสแตนทาเนียสรีเลย์ (Block instantaneous unit)

การป้องกันเกราวดน์ (Ground overcurrent relay)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพต่ำสุด (Minimum pickup current) = 30% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง (maximum transformer capacity (FOA rating))
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic) = Normal Inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) < 1.5 sec. . ที่กระแสไลน์ทูกราวดน์ฟอลต์สูงสุดทางด้านบัสแรงต่ำ (at maximum SLG fault current contributed to low side bus)
- บล็อกการทำงานของอินสแตนทาเนียสรีเลย์ (Block instantaneous unit)

การป้องกันหม้อแปลงทางด้านแรงดันสูงโดยใช้โอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ในระบบ 500/230 kV

การป้องกันเฟส (Phase overcurrent relay)

- อัตราส่วนของCT = 150% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง (FOA Transformer rating)

ทำการตรวจสอบโดยที่ค่า 20 เท่าของกระแสทางด้านปฐมภูมิ ต้องมากกว่าแรงดันฟอลต์สูงสุด(Check 20*primary current > max.fault current)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพต่ำสุด (Minimum pickup current) = 150% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง (maximum transformer capacity (FOA rating))
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic) = Very Inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) < 1.5 sec. ที่กระแสสามเฟสฟอลต์สูงสุดทางด้านบัสแรงต่ำ(maximum 3 phase fault current contributed to low side bus)
- บล็อกการทำงานของอินสแตนทาเนียสรีเลย์ (Block instantaneous unit)

การป้องกันกราวดน์ (Ground overcurrent relay)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพต่ำสุด (Minimum pickup current) = 30% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง

(maximum transformer capacity (FOA rating))

- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic) = Very Inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) < 1.5 sec. . ที่กระแสไลน์ทูกราวดน์ฟอลต์สูงสุดทางด้านบัสแรงต่ำ (at maximum SLG fault current contributed to low side bus)
- บล็อกการทำงานของอินสแตนทาเนียสรีเลย์ (Block instantaneous unit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้องกันหม้อแปลงทางด้านแรงดันต่ำโดยใช้โอเวอร์เคอร์เร้นรีเลย์ในระบบ 500/230kV

การป้องกันเฟส (Phase overcurrent relay)

- อัตราส่วนของCT = 150% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง (FOA Transformer rating) ทำการตรวจสอบโดยที่ค่า 20 เท่าของกระแสทางด้านปฐมภูมิ ต้องมากกว่าแรงดันฟอลต์สูงสุด(Check 20*primary current > max.fault current)
- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพต่ำสุด (Minimum pickup current) = 150% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง (maximum transformer capacity (FOA rating))
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic) = Very Inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) < 1 sec. ที่กระแสสามเฟสฟอลต์สูงสุดทางด้านบัสแรงต่ำ(maximum 3 phase fault current contributed to low side bus)
- บล็อกการทำงานของอินสแตนทาเนียสรีเลย์ (Block instantaneous unit)

การป้องกันเกราวดน์ (Ground overcurrent relay)

- ค่าปรับตั้งกระแสปิคอัพต่ำสุด (Minimum pickup current) = 30% ของกระแสพิกัดหม้อแปลง (maximum transformer capacity (FOA rating))
- ค่าเวลาคุณสมบัติเฉพาะ (Time characteristic) = Very Inverse
- ค่าเวลาการทำงาน (Operating time) < 1 sec. . ที่กระแสไลน์ทูกราวดน์ฟอลต์สูงสุดทางด้านบัสแรงต่ำ (at maximum SLG fault current contributed to low side bus)
- บล็อกการทำงานของอินสแตนทาเนียสรีเลย์ (Block instantaneous unit)

รีโคลสซิ่งรีเลย์ (Reclosing Relay)

การทำงานแบบรีโคลสเพียงครั้งเดียว (Single short reclosing)

- ช่วงเวลาเดดไทม์ (Dead time) 1 หรือ3 โพล 230 kV รีโคลสที่ 1 sec
- Reclaim time = 5 – 15 sec

การเชื่อมต่อไลน์กับโรงจักรไฟฟ้า (Line connect to power plant)

- ช่วงเวลาเดดไทม์ (Dead time) 1 หรือ 3 โพล = 10 sec
- ช่วงรีเคลมไทม์ (Reclaim time) = 30 sec

การเช็คซิงโครไนซ์รีเลย์ (Synchro check relay)

- แรงดันต่ำสุดสำหรับการเช็คซิงโครไนซ์ (Minimum voltage for synchro check) เท่ากับ 80% ของแรงดันไลน์ทูกราวน์ด์อ้างอิง (Un phase-ground)
- แรงดันต่ำสุดสำหรับการเช็ค (Undervoltage check) เท่ากับ 30% Un
- แรงดันอ้างอิง (Voltage difference) = 20%
- มุมที่แดกต่างเฟสแองเกิล (Phaseangle difference) = 25 degree
- ค่าความถี่สลิป (Slip frequency) < 200 mHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อกำหนดต่าง ๆของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ สามารถสรุปได้ดังตาราง

Rate Voltage (kV)	Phase Time (51T)			Phase Instantaneous (50)
	I_s (% I_{rate})	Characteristic curve	$T_{operate}$ (s)	I_s (% I_{rate})
230	150%	NI	2.0	Block
115	150%	NI	1.5	Block

ตารางที่ 1 แสดงข้อกำหนดการเซ็ตติ้งบัสบาร์ทางด้านเฟสของกฟผ.

Rate Voltage (kV)	GND Time (51G)			Phase Instantaneous (50G)
	I_s (% I_{rate})	Characteristic curve	$T_{operate}$ (s)	I_s (% I_{rate})
230	30%	NI	2.0	Block
115	30%	NI	1.5	Block

ตารางที่ 2 แสดงข้อกำหนดการเซ็ตติ้งบัสบาร์ทางด้านกราวนด์ของกฟผ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อกำหนดต่าง ๆของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สามารถสรุปได้ดังตาราง

Bus 33 KV (Phase)	Phase Time (51)			Phase Instantaneous (50)
Type Bus	I_s (% I_{rate})	Characteristic curve	$T_{operate}$ (s)	I_s (% I_{rate})
Incoming	140%	NI	1.0	120%
Bus Tie (Bus selection)	125%	NI	0.9	110%
Outgoing	100% Capacity line Or 200% of Load 8 MVA	NI,EI	0.3	100%

ตารางที่ 3 แสดงข้อกำหนดการเซ็ตติ้งบัสบาร์ทางด้านเฟสของกฟภ.

Bus 33 KV (GND)	GND Time (51G)			GND Instantaneous (50G)
Type Bus	I_s (% I_{rate})	Characteristic curve	$T_{operate}$ (s)	I_s (% I_{rate})
Incoming	30%	NI	1.0	120%
Bus Tie (Bus selection)	25%	NI	0.9	110%
Outgoing	30% Capacity line Or 25% of I_{pick_phase}	VI,EI	0.1	100%

ตารางที่ 4 แสดงข้อกำหนดการเซ็ตติ้งบัสบาร์ทางด้านกราวนด์ของกฟภ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vector group	Phase Time (51T)			Phase Instantaneous (50)
	I_s (% I_{rate})	Characteristic curve	$T_{operate}$ (s)	I_s (% I_{rate})
Yyn0(d1)	150%	NI	1.5	Block
Non Yyn0(d1)	150%	NI	1.5	Block

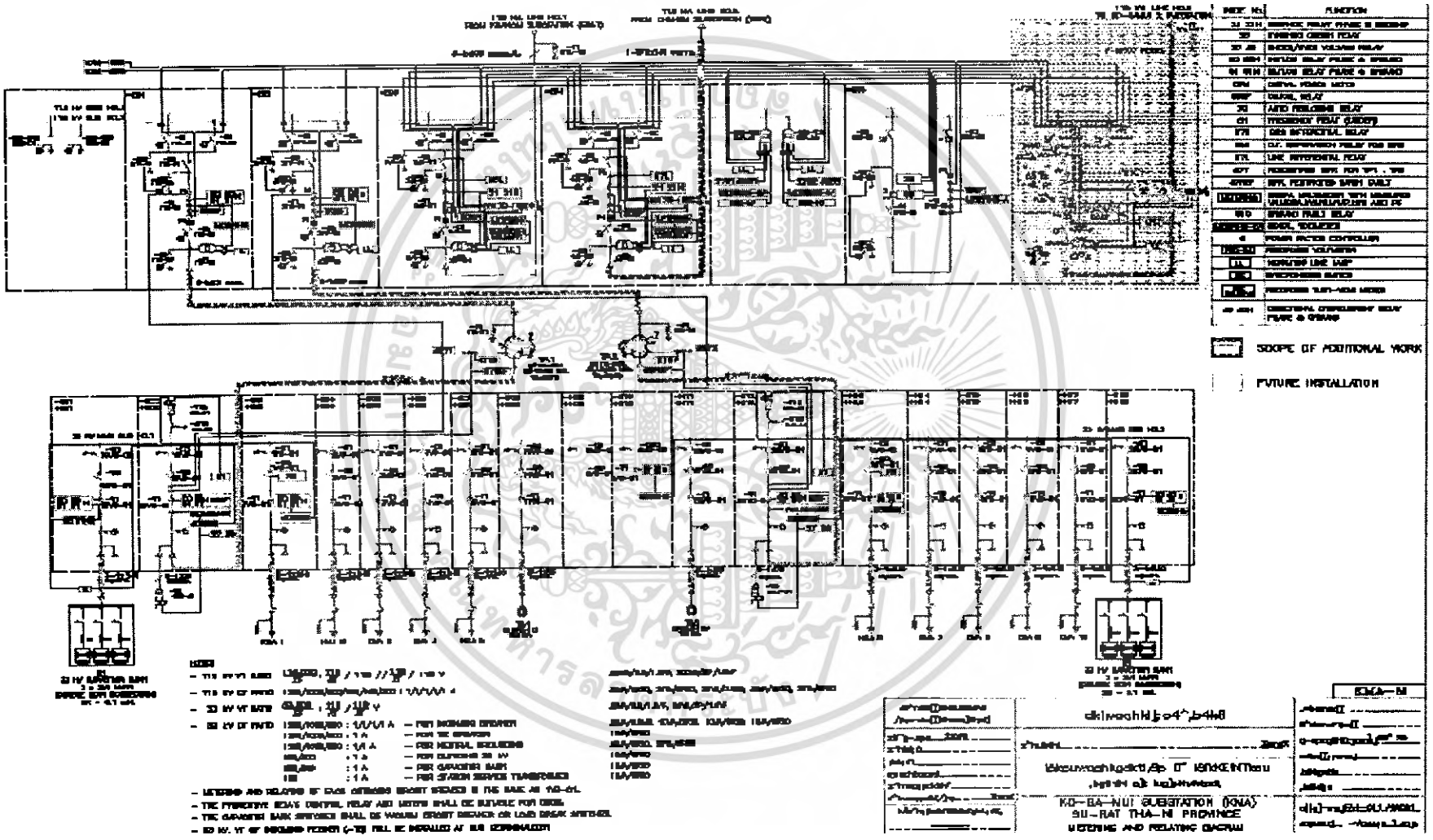
ตารางที่ 5 แสดงข้อกำหนดการเซ็ตติ้งหม้อแปลงทางด้านเฟสของกฟภ.

Vector group	GND Time (51G)			Phase Instantaneous (50G)
	I_s (% of I_{pick_phase})	Characteristic curve	$T_{operate}$ (s)	I_s (% I_{rate})
Yyn0(d1)	30%	NI	2.0	Block
Non Yyn0(d1)	10%	NI	0.12	Block

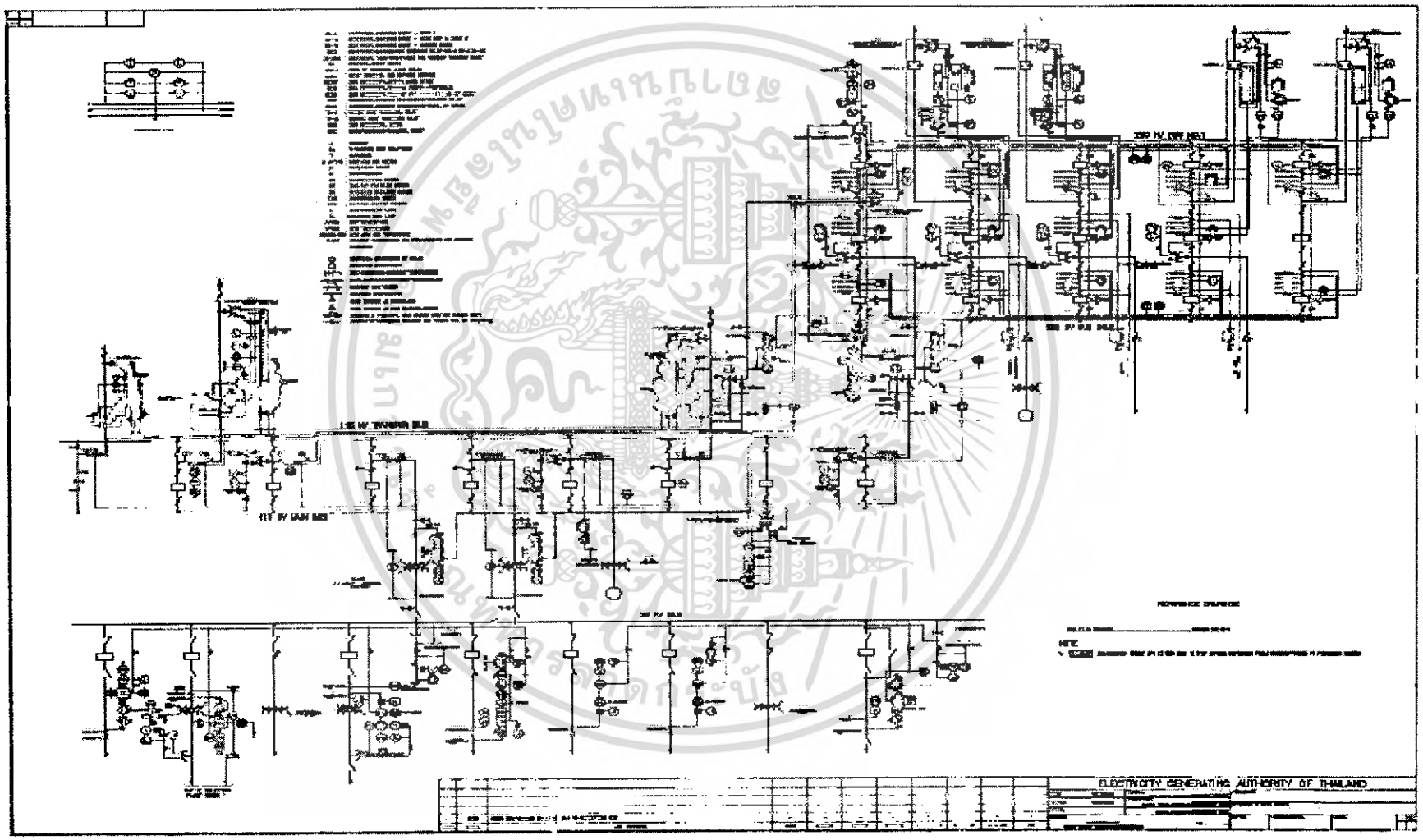
ตารางที่ 6 แสดงข้อกำหนดการเซ็ตติ้งหม้อแปลงทางด้านกราวนด์ของกฟภ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

One line Relaying & Metering Diagram ของสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย



One line Relaying & Metering Diagram ของสถานีไฟฟ้าขนอม

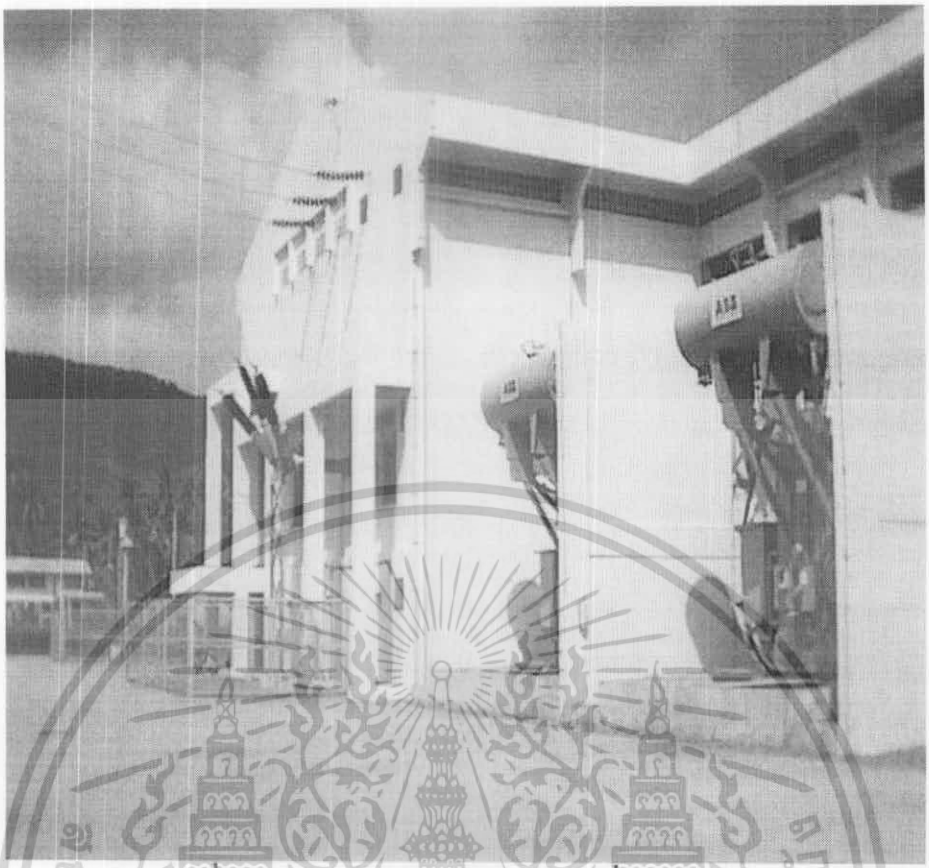


รูปอุปกรณ์ไฟฟ้าที่สถานีไฟฟ้าเกาะสมุย

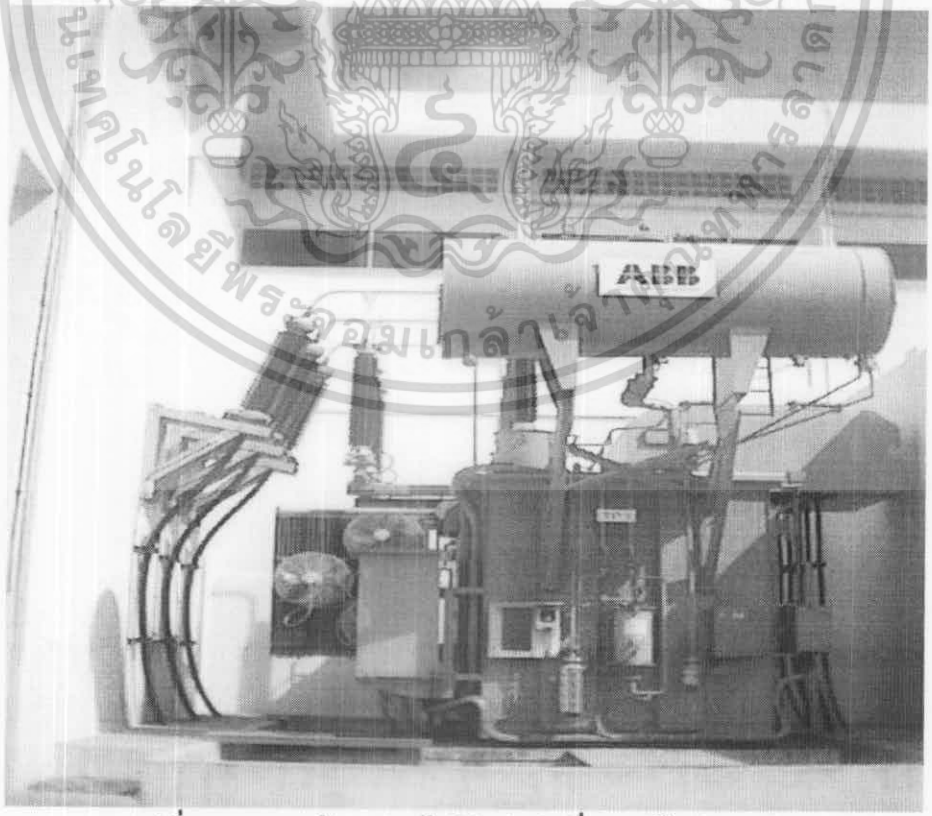
รูปที่ 1 สถานีไฟฟ้าเกาะสมุย

รูปที่2 แสดงIncoming 115 kV จากสถานีไฟฟ้าขนอมผ่านสายซับมารีนเคเบิลขึ้นบนเกาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

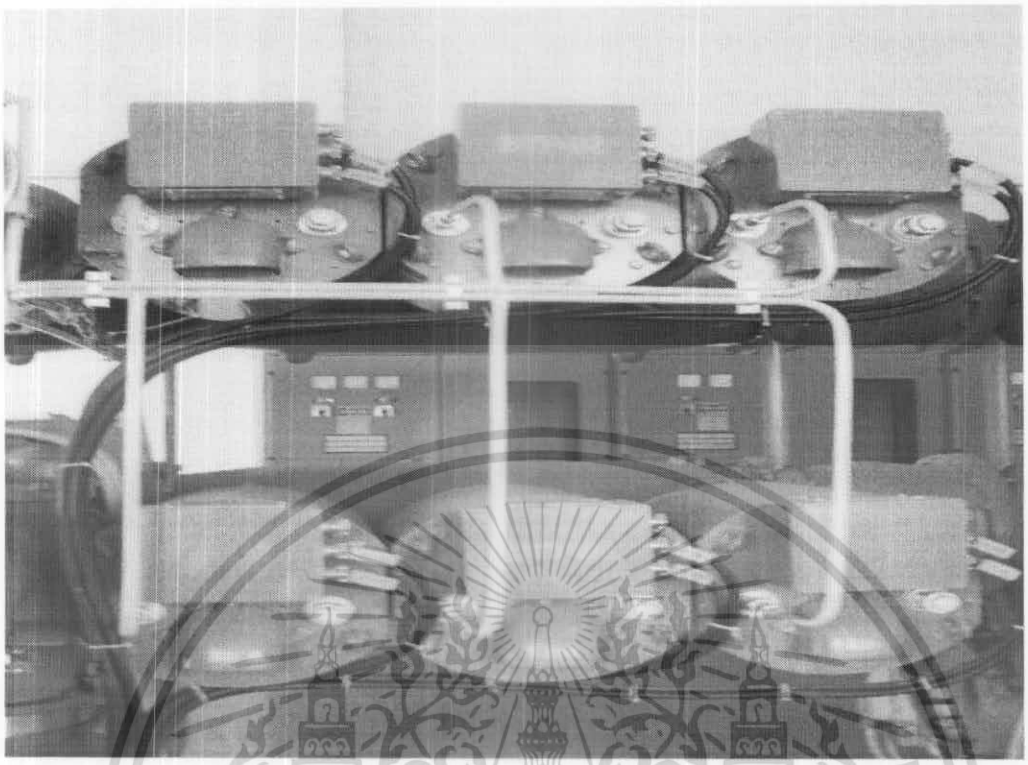


รูปที่ 3 แสดงหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่สถานีไฟฟ้า

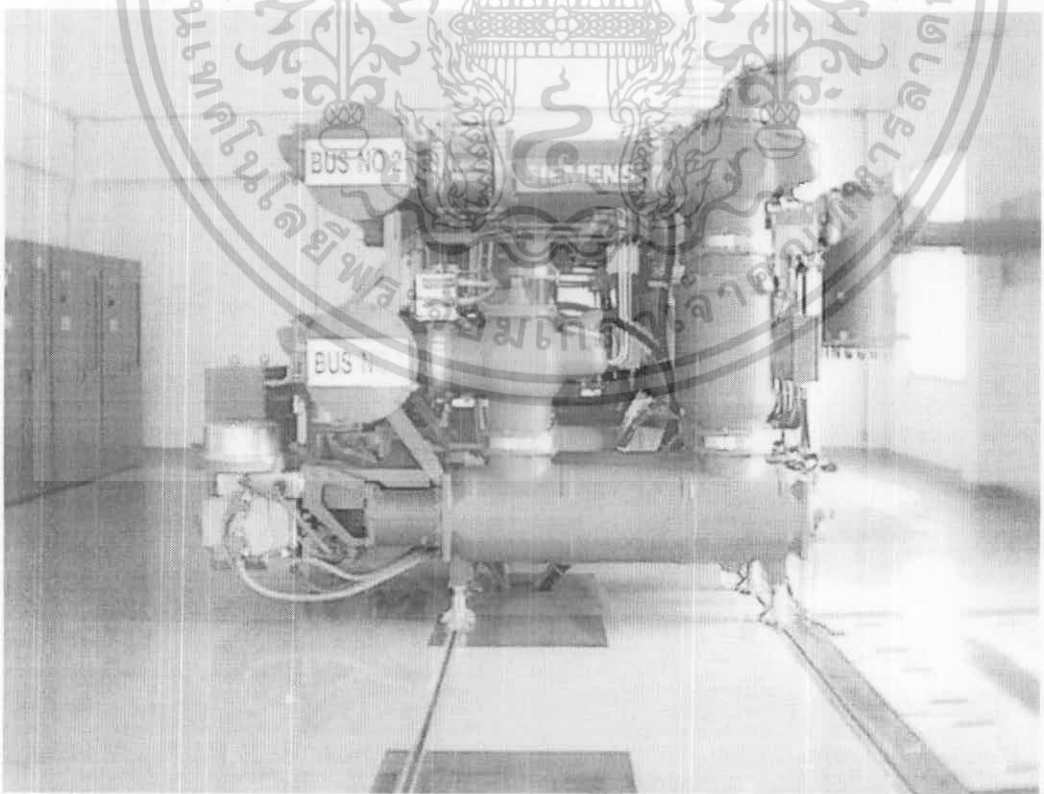


รูปที่ 4 แสดงหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังที่สถานีไฟฟ้า (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

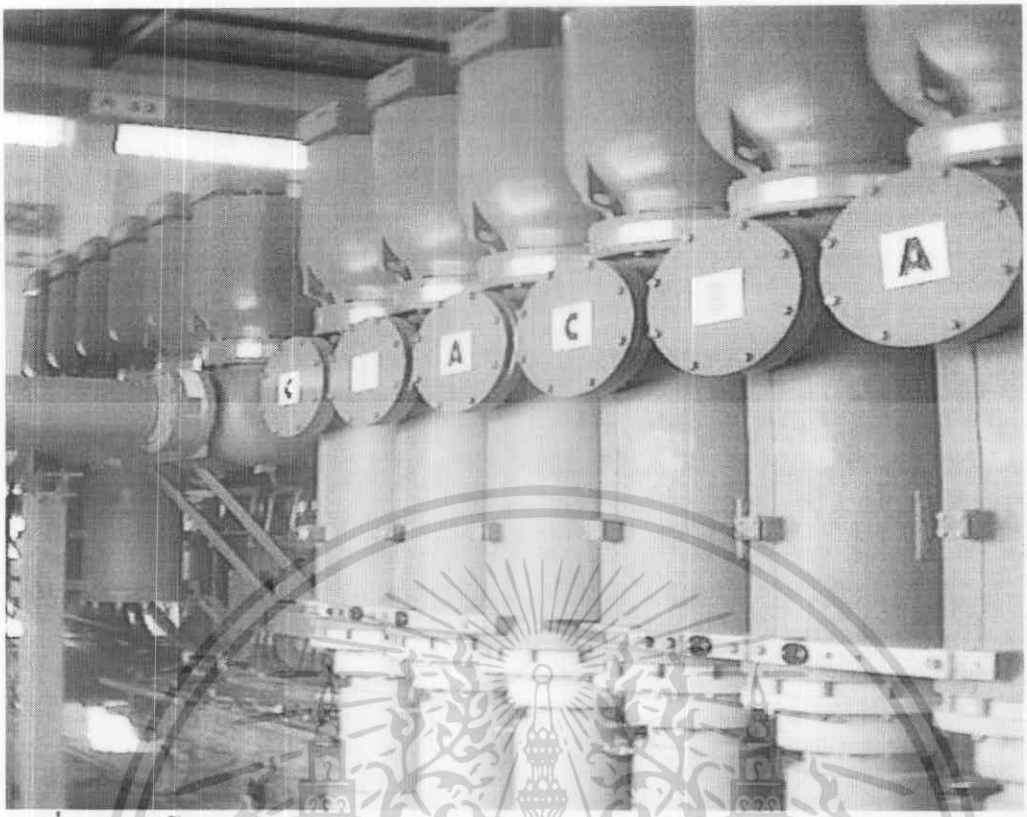


รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างตัวถังของสวิตเกียร์แบบอินดอร์ หรือ GIS 115 / 33 kV



รูปที่ 6 แสดงโครงสร้างตัวถังของสวิตเกียร์แบบอินดอร์ หรือ GIS 115 / 33 kV (ต่อ)

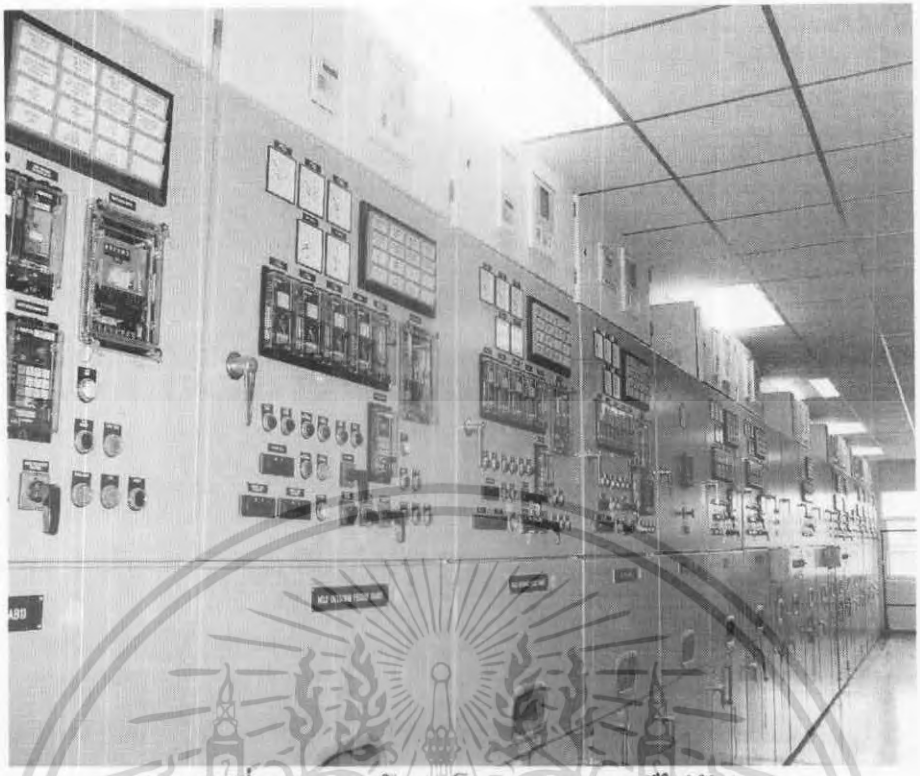
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



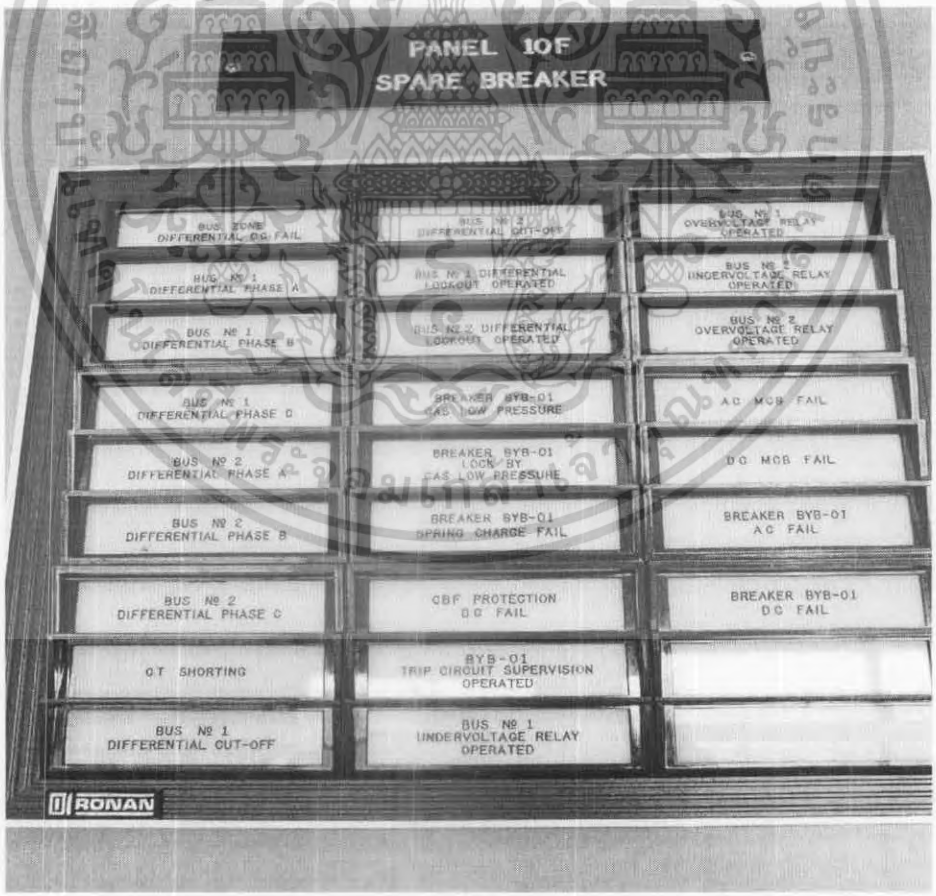
รูปที่ 7 แสดงโครงสร้างตัวถังของสวิตเกียร์แบบอินดอร์ หรือ GIS 115 / 33 kV (ต่อ)

รูปที่ 8 แสดงโครงสร้างตัวถังของสวิตเกียร์แบบอินดอร์ หรือ GIS 115 / 33 kV (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

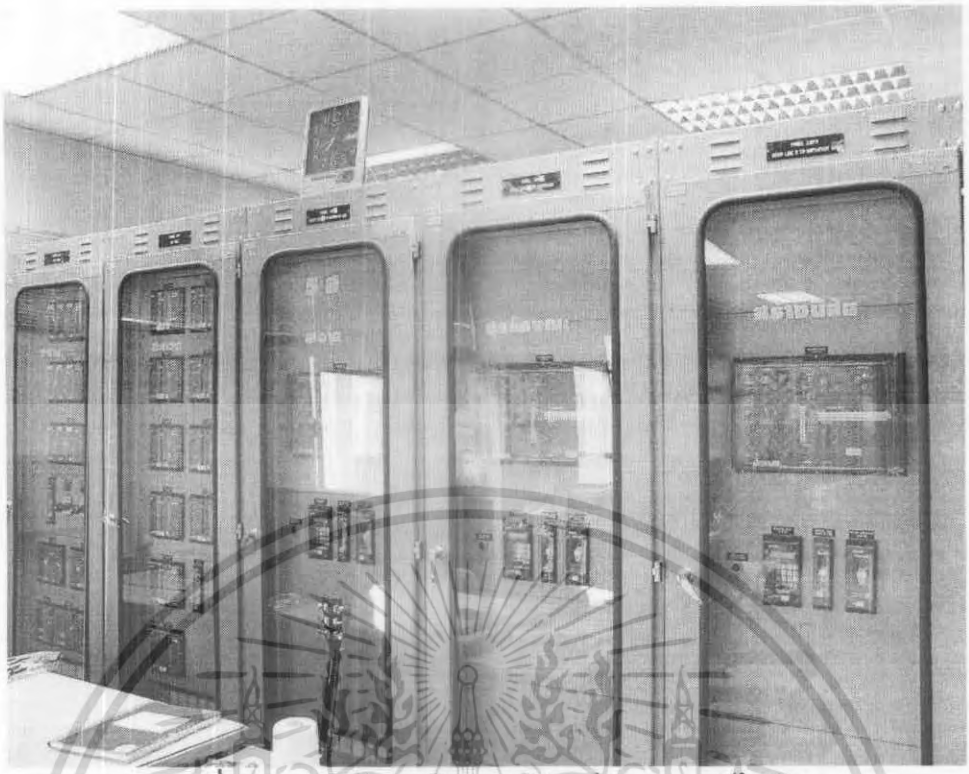


รูปที่ 11 แสดงตู้คอนโทรล ของสถานีไฟฟ้า

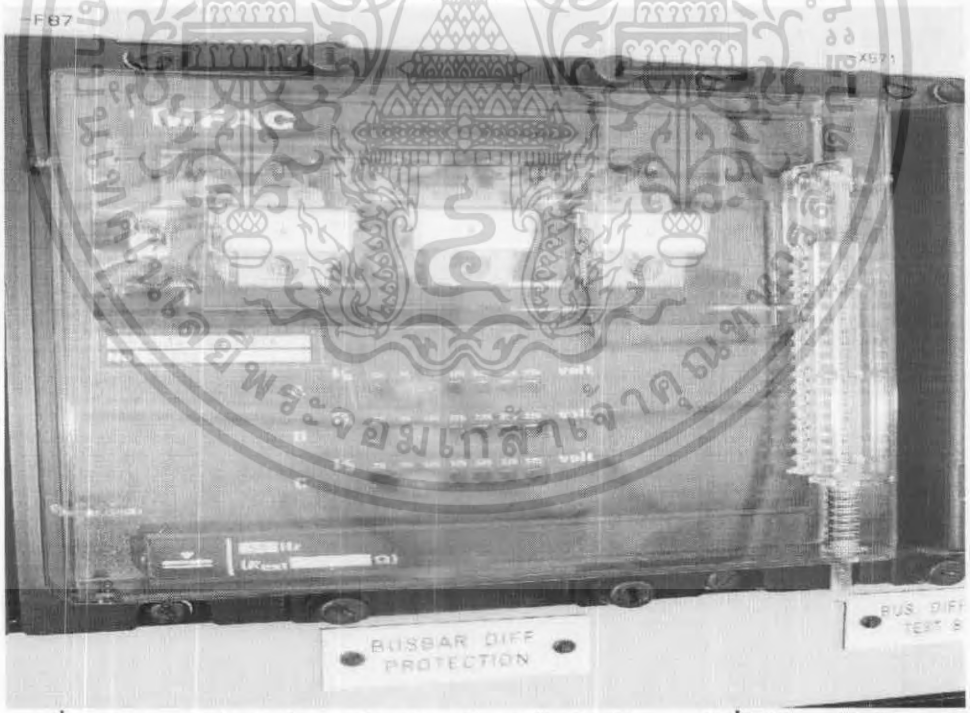


รูปที่ 12 ดิสเพลย์แสดงการรับรู้ของตู้คอนโทรล ของสถานีไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

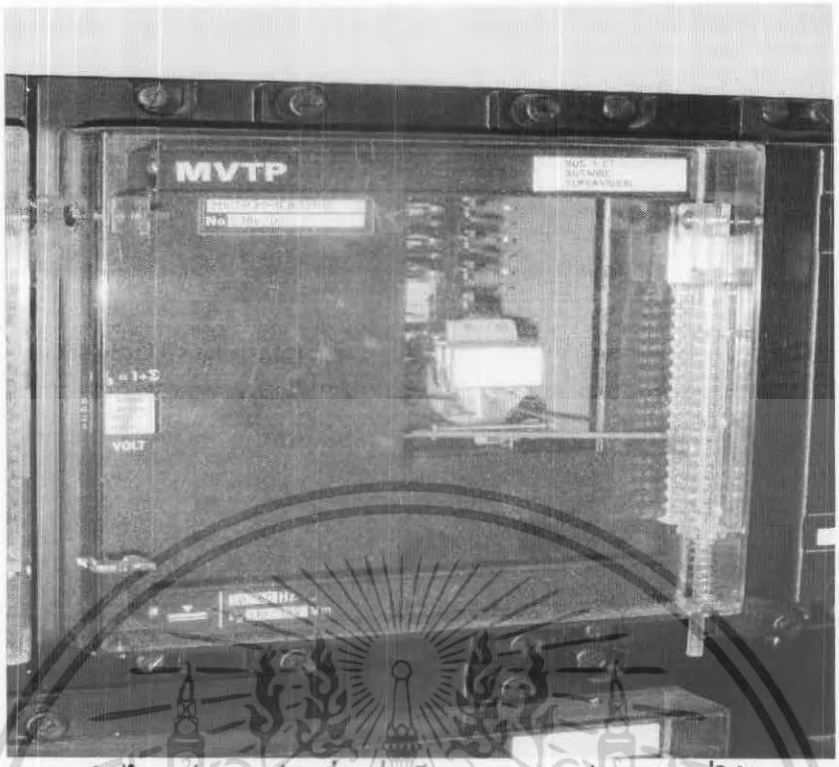


รูปที่ 12 แสดงด้านหน้าของตู้รีเลย์ ของสถานีไฟฟ้า

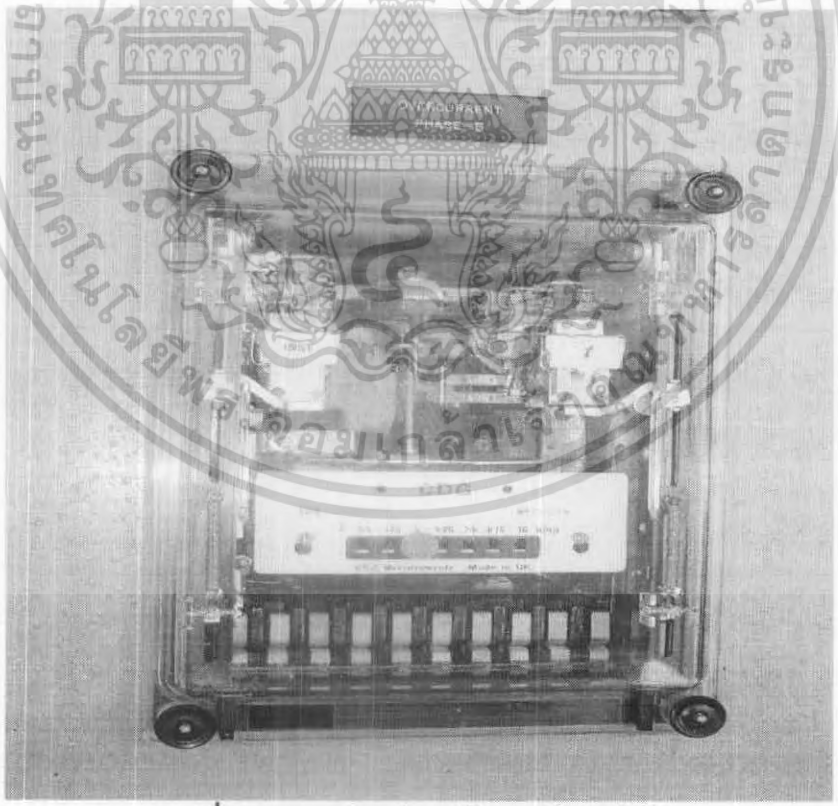


รูปที่ 12 แสดงดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์แบบไฮอิมพีอดนซ์ ที่ใช้ป้องกันบัสบาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

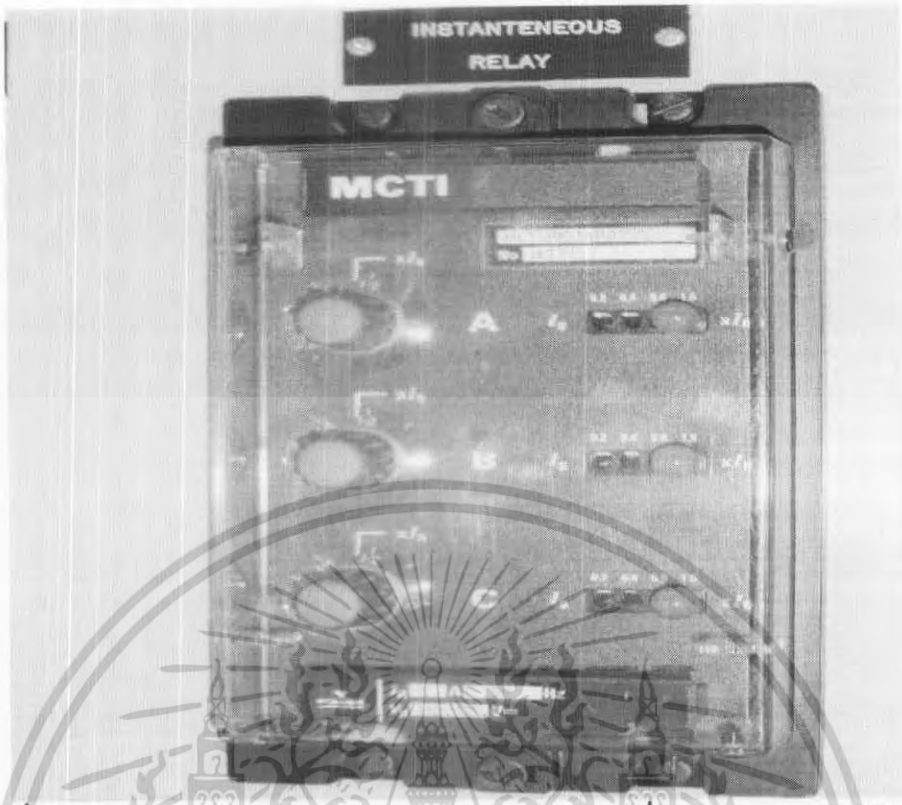


รูปที่ 12 แสดงบัสไวดน์ซูเปอร์วิสชั่น ซึ่งเป็นระบบรีเลย์แบบคอัพที่ใช้ป้องกันบัสบาร์



รูปที่ 12 แสดงรีเลย์แบบโอเวอร์เคอร์เร้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

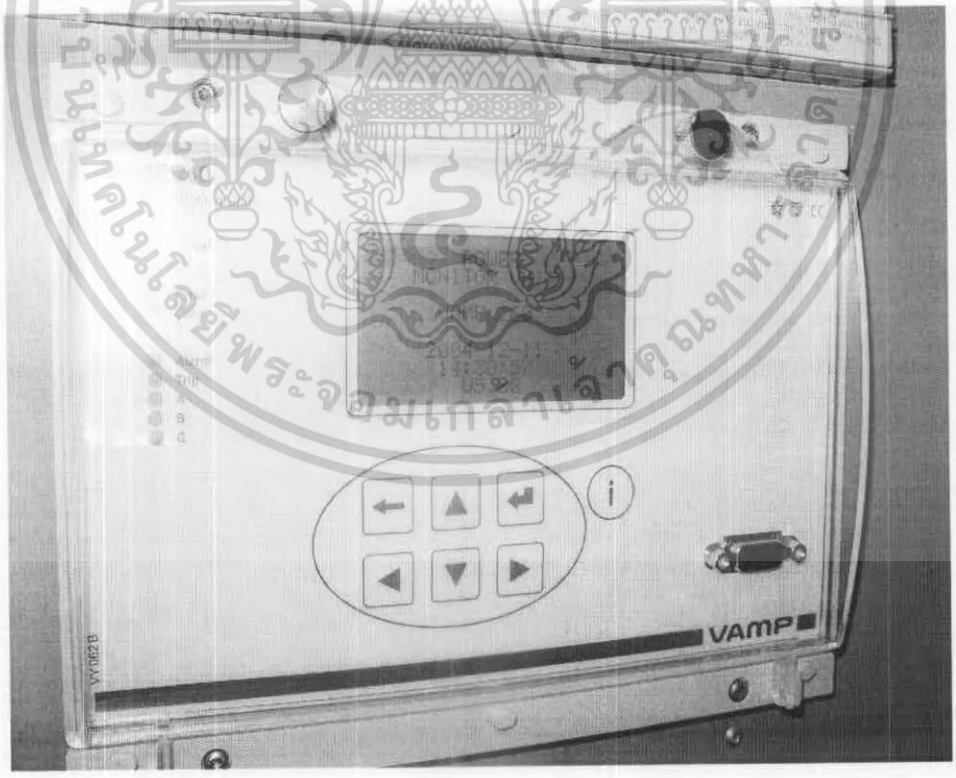


รูปที่ 12 แสดงรีเลย์แบบอินแสตนทาเนียส หรือรีเลย์ที่ทำงานแบบทันทีทันใด

รูปที่ 12 แสดงรีเลย์แบบโอเวอร์เคอร์เร้นและแบบอินแสตนทาเนียสในตัวเดียวกัน

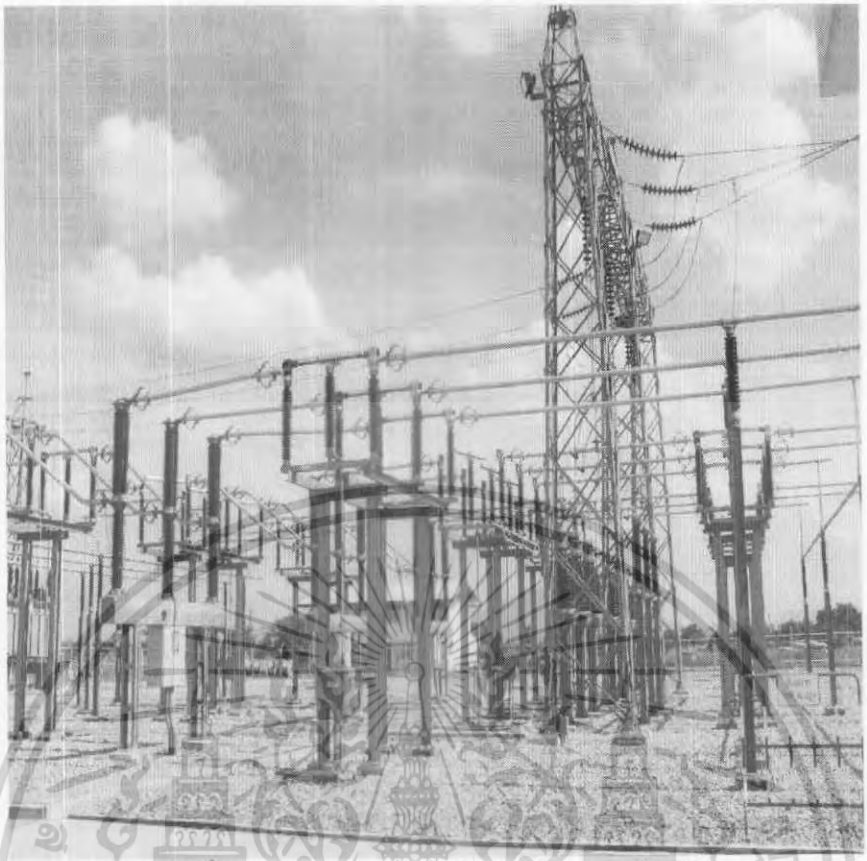
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 12 แสดงทรานฟอเมอร์ดิฟเฟอร์เรนเชียลรีเลย์ ซึ่งเป็นรีเลย์ที่ใช้ป้องกันหม้อแปลง

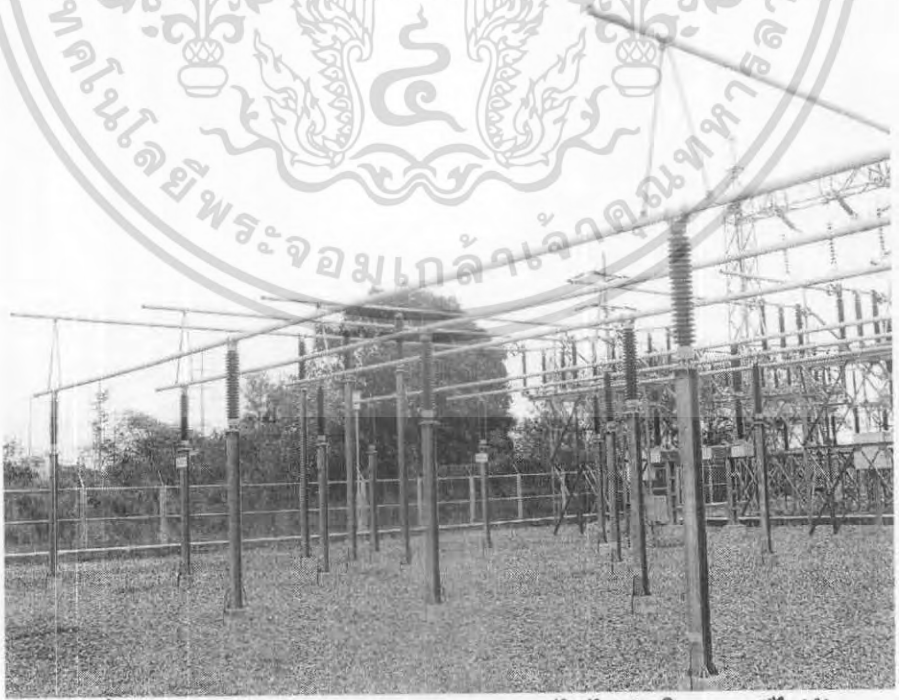


รูปที่ 12 แสดงรีเลย์แบบโอเวอร์เคอร์เร้นแบบมัลติฟังชั่นรีเลย์ในตัวเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

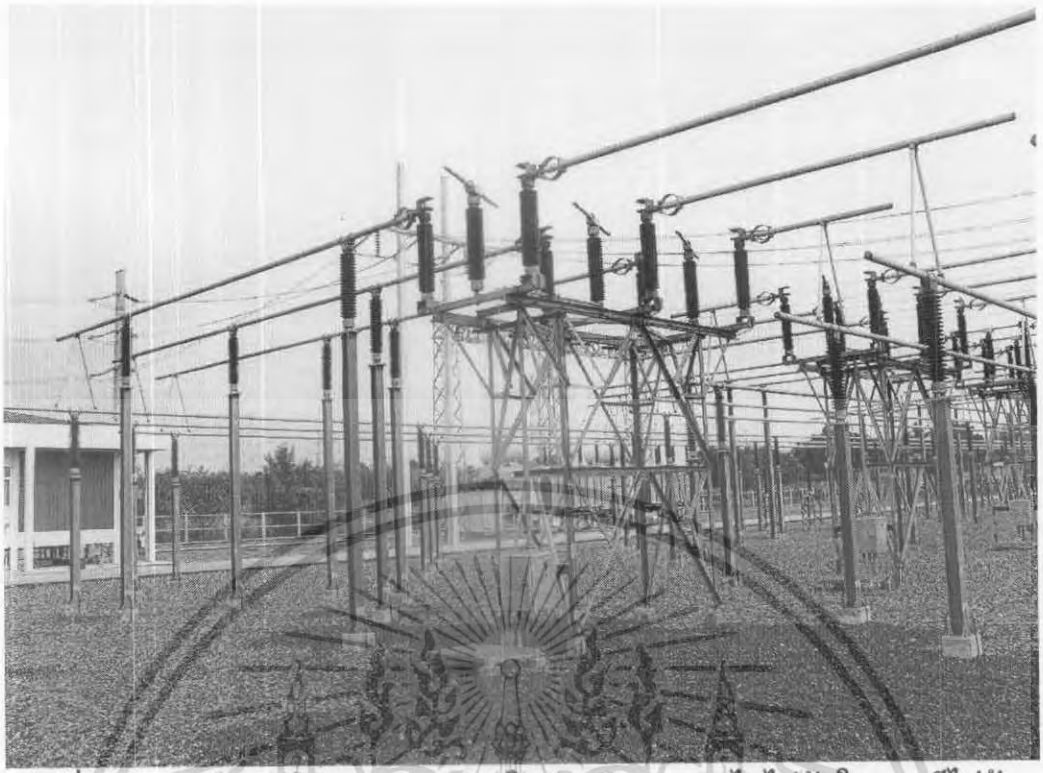


รูปที่ 12 แสดงในลานไกไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้า



รูปที่ 12 แสดงบัสบาร์แรงสูงบริเวณลานไกไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้า

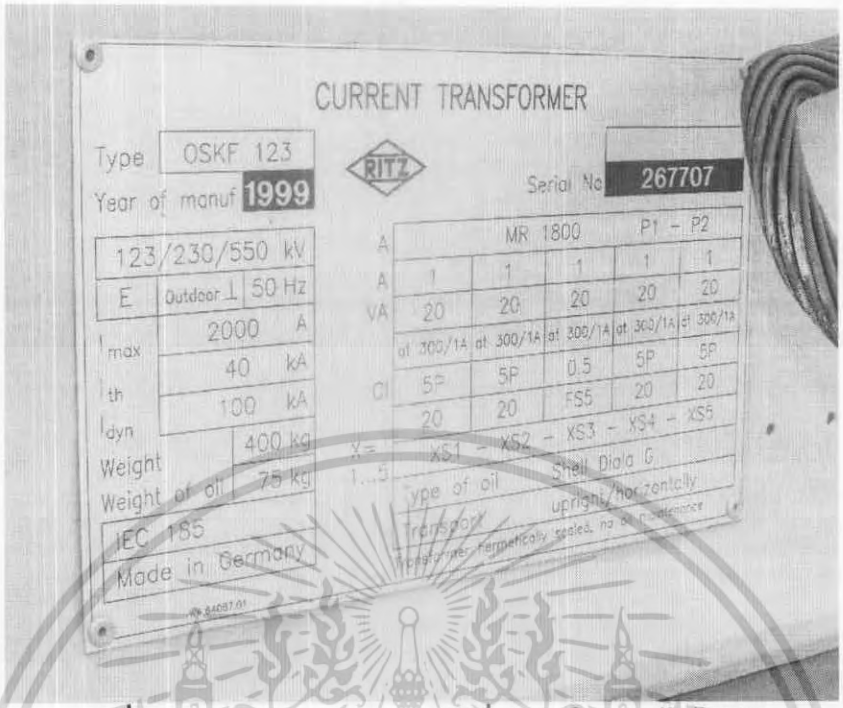
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 แสดงบัสบาร์แรงสูงและสวิตช์ใบมีดบริเวณลานไกไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้า

รูปที่ 12 แสดงซีทีที่ต่ออยู่ในลานไกไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

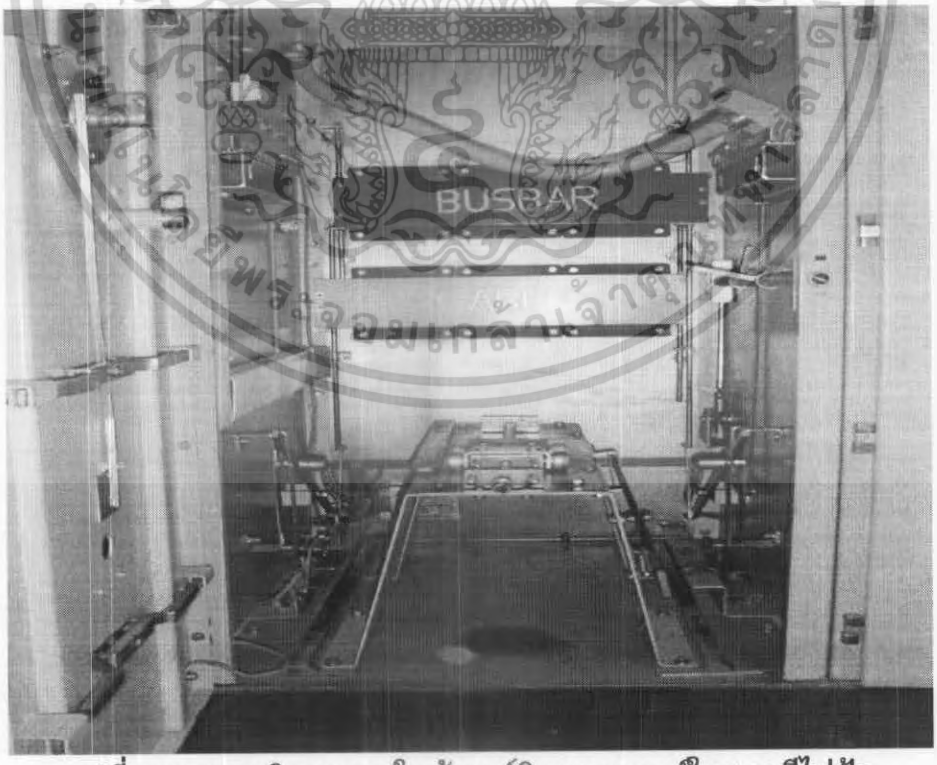


รูปที่ 12 แสดงเนมเพลทของซีทีที่ต่ออยู่ในลานไกไฟฟ้า

รูปที่ 12 แสดงซีทีที่ต่ออยู่กับบัสบาร์ในสถานีไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

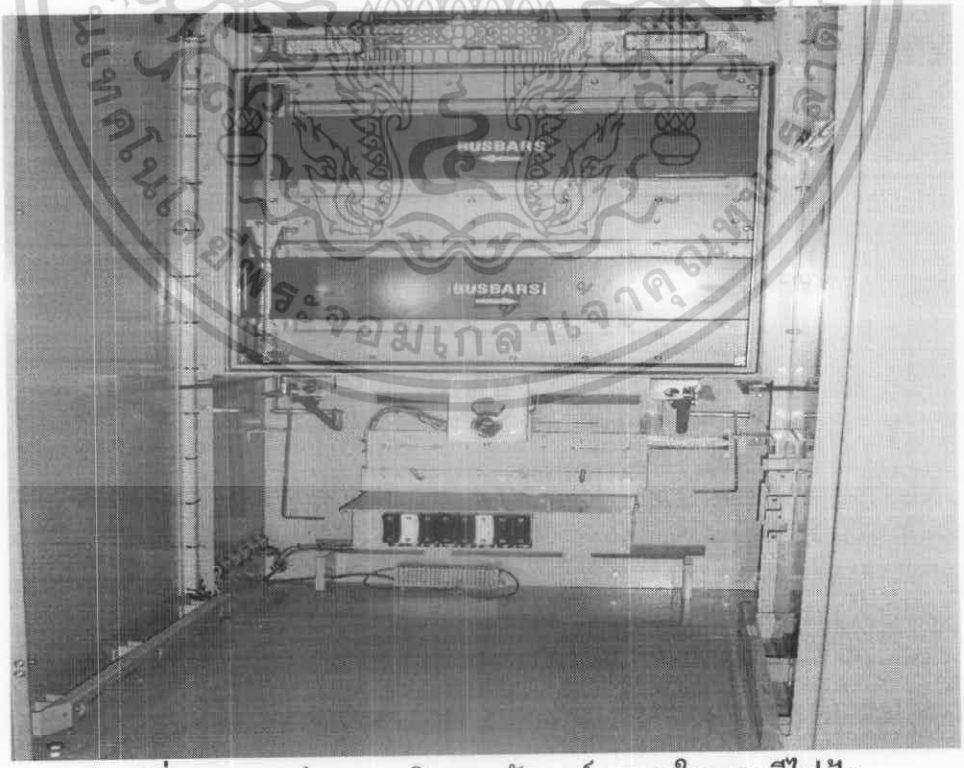
รูปที่ 12 แสดงซีทีที่ต่ออยู่ในแคปแบงค์ของในสถานีไฟฟ้า



รูปที่ 12 แสดงบริเวณภายในตู้เซอร์กิตเบรกเกอร์ในสถานีไฟฟ้า

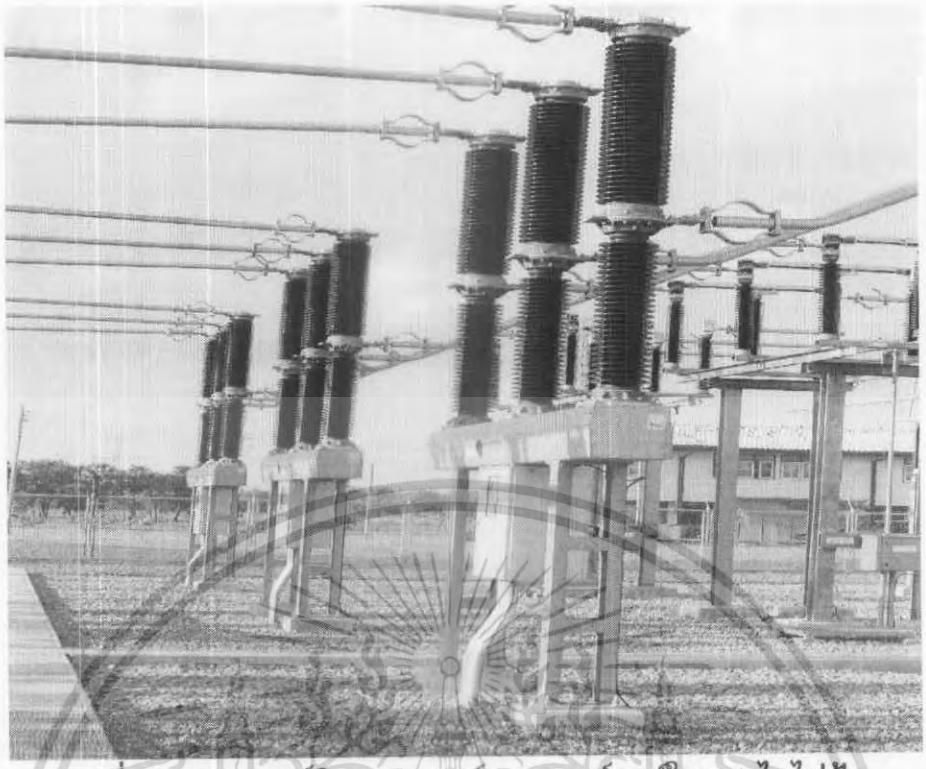
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 12 แสดงหน้าสัมผัสของบัสบาร์ภายในตู้เซอร์กิตเบรกเกอร์ในสถานีไฟฟ้า

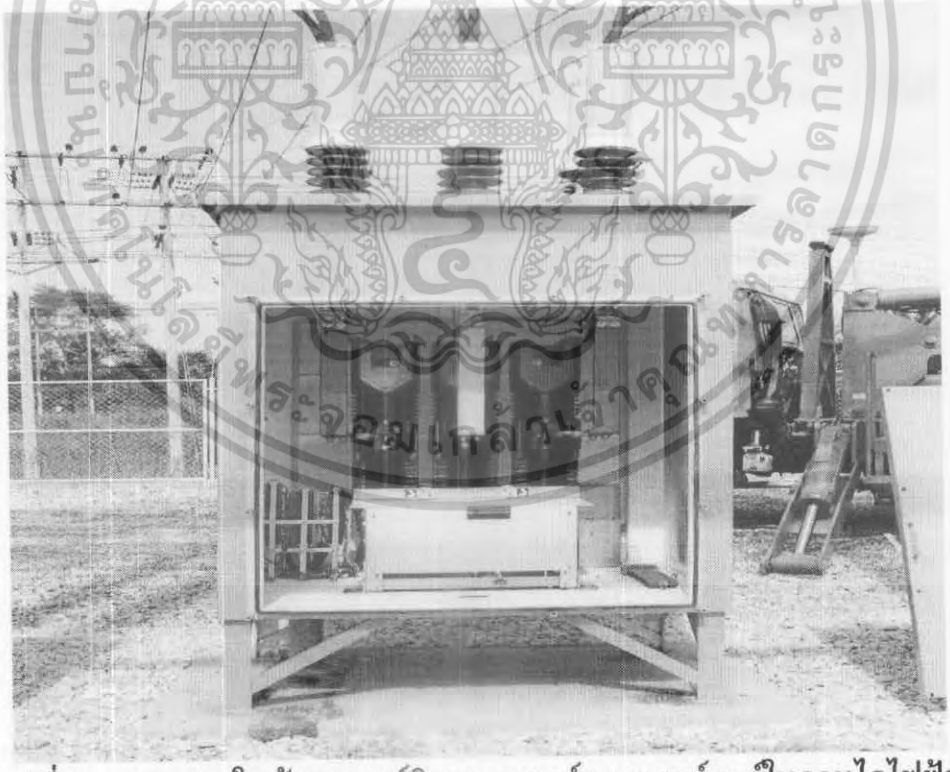


รูปที่ 12 แสดงช่องการเดินของบัสบาร์แรงสูงในสถานีไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

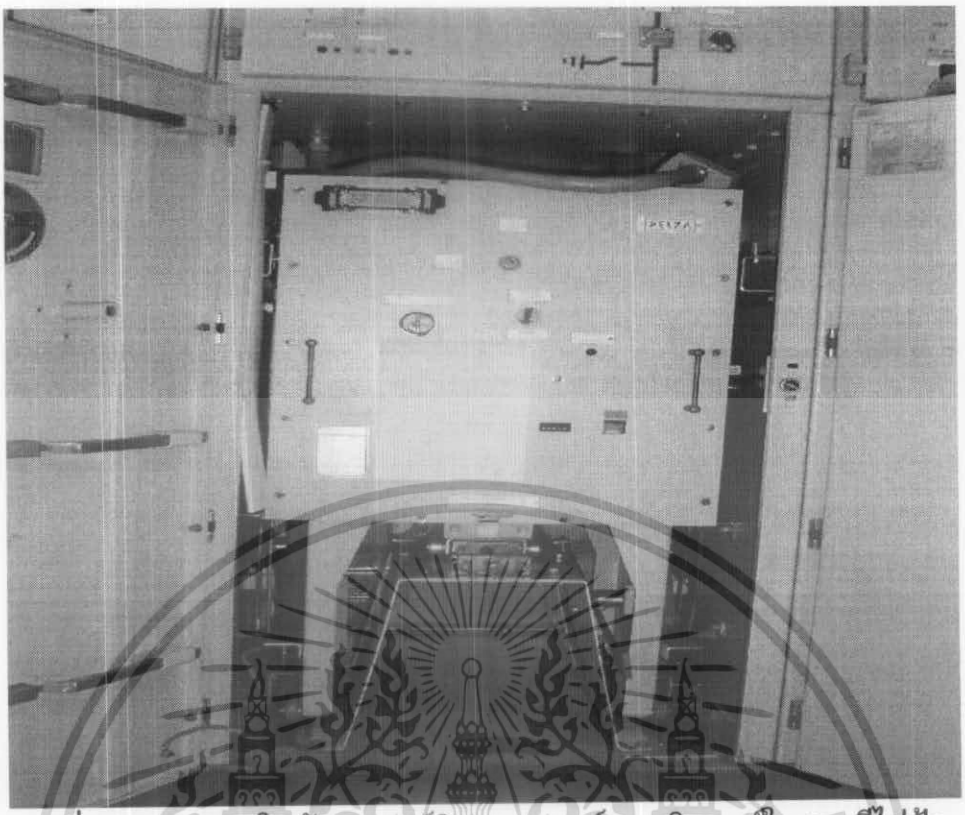


รูปที่ 12 แสดงเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเอาท์ดอร์ในลานไกไฟฟ้า



รูปที่ 12 แสดงภายในตู้ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเอาท์ดอร์ในลานไกไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 แสดงภายในตู้ของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบอินดอร์ในสถานีไฟฟ้า

รูปที่ 12 แสดงหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบอินดอร์ในสถานีไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ารหัสของรีเลย์ที่นิยมใช้งานในระบบของการไฟฟ้าตามมาตรฐานของ ANSI CODE

Protective Device Number

21 Distance Relay

24 Volt per hertz relay

25 Synchronism check Relay

27 Undervoltage Relay

43 Manual transfer or selector device

50 Instantaneous O.C Relay

51 Time O.C Relay

52 Circuit Breaker

59 Overvoltage Relay

60 Voltage or current unbalance relay

62 Time Delay Relay

79 Reclosing Relay

85 Carrier or pilot-wire receiver relay

86 Lockout Relay

87 Differential Relay

89 Line Switch

94 Auxiliary Tripping Relay

95 Supervision relay

รูปที่ 34 แสดงค่ารหัสของรีเลย์ที่นิยมใช้งานในระบบของการไฟฟ้าตามมาตรฐานของ ANSI CODE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อแนะนำการเลือกใช้ Power CB ในระบบ115 kV ของ PEA

APPENDIX 1

115 KV CIRCUIT BREAKERS RATINGS AND FEATURES

Type	SF_6 gas, outdoor, live-tank, single pressure
1. Nominal voltage (kV)	115
2. Maximum voltage rating (kV)	123
3. Power frequency (Hz)	50
4. Number of phases	3
5. Power frequency withstand voltage in 1 minute (kV r.m.s.) - Phase to earth and between phases - Across open switching device and isolate distance	 230 265
6. Lightning impulse withstand voltage (kV peak) - Phase to earth and between phases - Across open switching devices and isolated distance	 550 630
7. Number of interrupter per pole	1
8. Rated normal current (A) - Line bays - Coupler bays - Transformer bays	 2000 2000 2000
9. Rated short circuit breaking current in 1second at 115 kV: (kA r.m.s.) - Switching station - Substation	 Not less than 40 Not less than 31.5
10. Rated total time (closing or breaking)	Not more than 60 ms
11. Operating mechanism for closing and opening	Spring
12. Operating sequence	O-0.3s-CO-15s-CO
13. Type of tripping	Three-pole
14. Creepage distance (mm/kV) based on max voltage	25 or 31
15. Rated control circuit voltage (V - DC) - Tripping circuit, min-max (%) - Closing circuit, min-max (%)	125 70-110 85-110
16. Closing resistors	Not required
17. Terminal connectors (NEMA Pad)	4-hole
18. Applicable standard	IEC62271-100, IEC60694 and IEC61233

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 17 ข้อแนะนำการเลือกใช้ Power CB ในระบบ115 kV ของ PEA

ข้อแนะนำการเลือกใช้ Power CB ในระบบ 22,33 kV ของ PEA

APPENDIX 1

22 KV AND 33 KV GAS INSULATED SWITCHGEAR

The switchgears shall have the following design and performance criteria, or better:

No	Description		22 kV System	33 kV System
1	Rated normal current, at special site and service conditions:			
	- for main bus bar	A	2000	1250
	- for incoming feeder	A	2000	1250
	- for bus section	A	2000	1250
	- for outgoing feeder	A	600-300	400/200
	- for capacitor bank	A	300	200
	- for station service transformer	A	10	10
2	Rated short time withstand current in 1 second	kA	25	25
3	Rated peak withstand current	kA	63	63
4	Rated duration of short circuit	sec	1	1
5	Degree of protection for control unit and auxiliary equipment		IP4X	IP4X
6	Degree of protection for SF_6 gas compartment		IP65	IP65
7	Power supply voltage for Closing and tripping coils	V DC	125	125
8	Nominal voltage	kV	22	33
9	Maximum voltage rating	kV	24	36
10	Power frequency	Hz	50	50
11	Number of phases		3	3
12	Power frequency withstand voltage	kV		
	- Phase to earth and between phases		50	70
	- Across isolate distance		60	80
13	Lightning impulse withstand voltage	kV		
	- Phase to earth and between phases		125	170
	- Across open switching devices and isolated distance		145	195
14	Applicable standard		IEC 60298	IEC 60298

รูปที่ 18 ข้อแนะนำการเลือกใช้ Power CB ในระบบ 22,33 kV ของ PEA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Fault Level จากการคำนวณด้วยโปรแกรม PSS/E จาก EGAT (2006)

5/10/2006

southnew.DAT

```
                    PSS/E  SHORT  CIRCUIT  OUTPUT                    WED, MAY 10 2006  14:09

               "##### BASE CASE CREATED ON 10/06/2004  #####"
               "##### TRANSMISSION DATE = 890610 #####"

                    ---  FAILED  BUS  ID :  [KV          115.00] 917191  ***

                                 OUTPUT FOR AREA 3 [REGION-3     ]

AT BUS [KV          115.00] 917191 AREA    3  [KV L-G  V+: /  0.000/    0.00    [KV L-G  VA: /  0.000/    0.00    V0: / 10.084/ -179.79
                                                                                 V+: / 99.816/    0.01    V-: / 27.362/  179.93

THEV. R, X, X/R: POSITIVE  0.000046  0.006888  149.925        NEGATIVE  0.000080  0.006909  182.905        ZERO  0.000008  0.008148  971.169

                                                 T H R E E   P H A S E   F A U L T                                  O N E   P H A S E   F A U L T
X--------- FROM ----------X AREA CKT  I I      /I+/    AN(I+)    /Z+/    AN(Z+)  ABS X/R          /2A/    AN(2A)     /2A/    AN(2A)  ABS X/R
                                                                                                  /3I0/    AN(3I0)    /3I0/    AN(3I0)  ABS X/R
[KN-T1       18.800] 810186    3 1  AME/OHM   1278.1   -80.00     0.82    90.00 9999.999      1871.7   -89.84     0.38    90.11  528.794
                                                                                               2402.2   -89.79     0.00     0.00    0.000
[KT1A        ] KNI 1 3WNDCR     1  AME/          0.0     0.00                                     86.9   -89.79
                                                                                                170.6   -89.79
[KT2A        ] KNI 2 3WNDCR     2  AME/       3089.9   -89.54                                 3869.4   -89.86
                                                                                               3178.5   -89.87
[KT3A        ] KNI 1 3WNDCR     3  AME/          0.0     0.00                                     86.9   -89.79
                                                                                                170.6   -89.79
[KT4A        ] KNI 2 3WNDCR     4  AME/       2953.7   -89.54                                 3408.4   -89.86
                                                                                               3039.4   -89.87
                                                                                               3987.1   -89.84
          TOTAL  FAULT  CURRENT  [AMPS]      7320.8   -89.62
```

รูปที่ 19 แสดงค่า Fault Level ของบัสบาร์ 115 ของสถานีไฟฟ้าขนอม

ecushmen.DAT

```
                    PSS/E  SHORT  CIRCUIT  OUTPUT                                  WED, MAY 10 2006  14:09

                "###### BASE CASE CREATED ON 10/05/2006  ######"
                "###### TRANSMISSION DATE = 490610 ######"

                    ***  FAULTED  BUS  IS :  [KN          230.00] 318191  ***

                                OUTPUT FOR AREA 8 [REGION-8      ]

        HOME  BUS  IS  :
 [KN          230.00] 318191
  AREA    8 [REGION-8      ]
        0  LEVEL3  AWAY

AT BUS [KN          230.00] 318191 AREA    8 [KV L-G] V+: /  0.000/    0.00     [KV L-G] VA: /  0.000/    0.00     V0: / 80.717/ -179.99
                                                                                 V+: / 53.668/   -0.02     V-: / 52.648/  179.90

THEV. R, X, X/R: POSITIVE  1.00081  0.02180   85.236          NEGATIVE  1.00079  0.02090   92.668          ZERO  0.00082  0.01886   87.107

                                                 T H R E E   P H A S E   F A U L T                    O N E   P H A S E   F A U L T
X---------- FROM ----------X AREA CKT  I/E        /I+/    AN(I+)    /Z+/    AN(Z+)   APP X/R      /IA/     AN(IA)     /ZA/     AN(ZA)    APP X/R
                                                                                                  /3I0/    AN(3I0)    /Z0/     AN Z0:    APP X/R
 [KN-C10      16.000] 310195    8 1  AMP/OHM     2012.7   -90.00     0.18     90.00 9999.999    2977.7    -89.97     0.22     90.06   969.357
                                                                                                 3086.6    -89.89     0.00      0.00     0.000
 [KN-C11      11.500] 310191    8 1  AMP/OHM     977.2    -90.00     0.17     90.00 9999.999    1389.0    -89.97     0.28     90.06  1038.527
                                                                                                 1381.1    -89.89     0.00      0.00     0.000
 [KN-C12      11.500] 310192    8 1  AMP/OHM     974.2    -90.00     0.17     90.00 9999.999    1154.2    -89.97     0.28     90.06  1035.493
                                                                                                 1340.8    -89.89     0.00      0.00     0.000
 [KN-C13      11.500] 310193    8 1  AMP/OHM     972.1    -90.00     0.17     90.00 9999.999    1150.9    -89.97     0.28     90.06  1036.225
                                                                                                 1337.2    -89.89     0.00      0.00     0.000
 [KN-C14      11.500] 310194    8 1  AMP/OHM     974.7    -90.00     0.17     90.00 9999.999    1156.0    -89.97     0.28     90.06  1035.179
                                                                                                 1344.1    -89.89     0.00      0.00     0.000
 [KN-T2       18.000] 310187    8 1  AMP/OHM     901.9    -90.00     0.32     90.00 9999.999    1153.7    -89.97     0.39     90.06   912.196
                                                                                                 1541.7    -89.89     0.00      0.00     0.000
 [KT          230.00] 318001    8 2  AMP/OHM     762.7    -98.71    89.29     82.35    7.441     703.2    -84.38    65.68     81.91    6.944
                                                                                                 845.8     -77.48    61.99    -96.03    9.459
 [KT          230.00] 318001    8 2  AMP/OHM     762.7    -98.71    89.29     82.35    7.441     703.2    -84.38    65.68     81.91    6.944
                                                                                                 845.8     -77.48    61.99    -96.03    9.459
 [KRT         230.00] 318341    8 2  AMP/OHM     1396.4   -98.55    89.86     82.38    7.470     1229.9    -84.63    46.27     81.99    7.094
                                                                                                 860.0     -77.17    40.29    -98.43   10.531
 [KRT         230.00] 318341    8 2  AMP/OHM     1396.4   -98.55    89.86     82.38    7.470     1229.9    -84.63    46.27     81.99    7.094
                                                                                                 860.0     -77.17    40.29    -98.43   10.531
 [KT2A        ] KNC 1 3WNDTR      2  AMP/        286.2    -90.00                                 467.9     -89.96
                                                                                                 737.6     -89.89
 [KT4A        ] KNE 1 3WNDTR      4  AMP/        270.6    -90.00                                 449.1     -89.96
                                                                                                 710.5     -89.89
                TOTAL  FAULT  CURRENT  (AMPS):  11669.7   -98.95                               13031.1    -99.34
```

รูปที่ 20 แสดงค่า Fault Level ของบัสบาร์ 230 ของสถานีไฟฟ้าขนอม

scushnew.DAT

```
                        PSS/E  SHORT  CIRCUIT  OUTPUT                                  WED, MAY 10 2006  14:59

                "##### BASE CASE CREATED ON 10/05/2006  #####"
                "##### TRANSMISSION DATE = 490610 #####"

                     ... FAULTED BUS  IS :  [KN-1        33.000] 313191  ...

                                    OUTPUT FOR AREA 3 [REGION-3     ]

                        HOME  BUS  IS  :
                      [KN-1          33.000] 313191
                        AREA     3 [REGION-3     ]

                             0  LEVELS  AWAY

AT BUS [KN-1         33.000] 313191 AREA     3   (KV L-G) V+: /  0.000/     0.00      (KV L-G) VA: /  0.000/     0.00     V0: /  7.615/ -179.95
                                                                                                 V+: / 18.040/     0.01     V-: /  5.722/  179.96

THEV. R, X, X/R: POSITIVE  0.00046  0.80689  671.125          NEGATIVE  0.00052  0.80748  591.802          ZERO  0.00004  0.40934 9495.259

                                    T H R E E   P H A S E   F A U L T                                O N E   P H A S E   F A U L T
X---------- FROM ----------X AREA CKT  I/S      /I+/     AN(I+)     /Z+/     AN(Z+)  APP R/R      /IA/     AN(IA)     /IB/     AN(IB)  APP R/R
                                                                                                  /3I0/     AN(3I0)     /I0/     AN(I0)
[KT1A        ] KNC 2 SWNDTR      1  AMP/      5699.2    -89.91                                    6126.5    -89.94
                                                                                                  6126.5    -89.94
                                                                                                  6126.5    -89.94
              TOTAL  FAULT  CURRENT  AMPS      5699.2    -89.91
```

รูปที่ 21 แสดงค่า Fault Level ของหม้อแปลง KT1A ของสถานีไฟฟ้าขนอม

scushnew.DAT

```
                        PSS/E  SHORT  CIRCUIT  OUTPUT                                  WED, MAY 10 2006  14:59

                "##### BASE CASE CREATED ON 10/05/2006  #####"
                "##### TRANSMISSION DATE = 490610 #####"

                     ... FAULTED BUS  IS :  [KN-C14      11.500] 310194  ...

                                    OUTPUT FOR AREA 3 [REGION-3     ]

                        HOME  BUS  IS  :
                      [KN-C14        11.500] 310194
                        AREA     3 [REGION-3     ]

                             1  LEVELS  AWAY

AT BUS [KN-C14       11.500] 310194 AREA     3   (KV L-G) V+: /  0.000/     0.00      (KV L-G) VA: /  0.000/     0.00     V0: /  3.172/ -179.91
                                                                                                 V+: /  6.529/     0.01     V-: /  2.386/  179.94

THEV. R, X, X/R: POSITIVE  0.00015  0.06969  466.593          NEGATIVE  0.00001  0.07020  967.668          ZERO  0.00000  0.07008 9999.999

                                    T H R E E   P H A S E   F A U L T                                O N E   P H A S E   F A U L T
X---------- FROM ----------X AREA CKT  I/S      /I+/     AN(I+)     /Z+/     AN(Z+)  APP R/R      /IA/     AN(IA)     /IB/     AN(IB)  APP R/R
                                                                                                  /3I0/     AN(3I0)     /I0/     AN(I0)
MACHINE 14                            AMP/      9298.7    -90.00                                   46429.2    -89.98
                                                                                                  69856.8    -89.91
[TN          230.00] 313191    3 1  AMP COM   92800.1    -89.7     68.56     90.01 9999.999     21252.7    -89.74    105.12     89.98 1047.590
                                                                                                      0.0      0.00      0.00      0.00    0.000
              TOTAL  FAULT  CURRENT  AMPS     70088.8    -89.85                                   69856.8    -89.91
```

รูปที่ 22 แสดงค่า Fault Level ของ Machine14(11.5/230kV) ของโรงจักรไฟฟ้าขนอม

ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบจำหน่ายแรงสูง (33 เควี.) หรือระบบสายส่ง(115 เควี.)

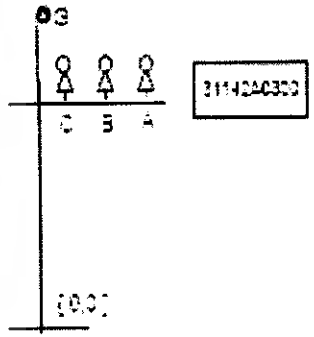
Parameter

Structure Name : 31ER00000000

No	CircuitName	ConsType	Code Cond	SAG	R1	X1	R0	X0	B1	B0
				m	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	uS / km	uS / km
1	31142A0300	120A	3F3120A__0	0.95	0.256860	0.410336	0.445832	1.661243	3.453000	1.459000
2	31142A0300	185A	3F3185A__0	0.66	0.176373	0.398094	0.354632	1.647113	3.622000	1.461000
3	31142A0300	240A	3F3240A__0	0.60	0.135162	0.388073	0.313041	1.638174	3.730000	1.466000
4	31142A0300	185AA	3F3185AA_0	0.66	0.210099	0.398092	0.391239	1.648914	3.618000	1.459000
5	31142A0300	185/30ACSR	3F3185ACR0	0.62	0.177304	0.411403	0.358362	1.660268	3.682000	1.468000
6	31142A0300	120PI035	3F3120PIC0	0.68	0.324648	0.416918	0.502628	1.666680	3.615000	1.478000
7	31142A0300	185PI035	3F3185PIC0	0.62	0.210578	0.403408	0.358778	1.652446	3.743000	1.500000
8	31142A0300	120SA035	3F3120SA00	0.84	0.324644	0.416618	0.501990	1.658805	3.668000	1.486000
9	31142A0300	185SA035	3F3185SA00	0.99	0.210572	0.403408	0.357730	1.652653	3.680000	1.514000

X - Y Coord nate

No	Circu tName	XA	YA	XB	YB	XC	YC	XG	YG	Sec	Ang	Cond
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm	deg	
1	31142A0300	2750	10342	1900	10342	800	10342	480	11330	0	0	1



Reference Assembly No. 8244

รูปที่ 23 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบ 33 kV

ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบจำหน่ายแรงสูง (33 เควี) หรือระบบสายส่ง(115 เควี)

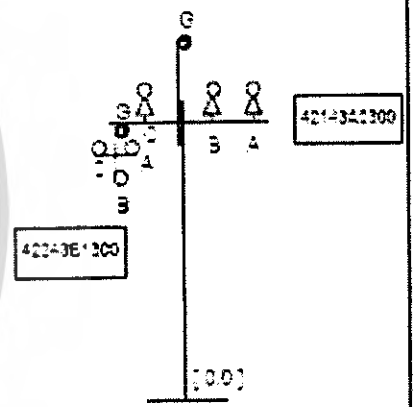
Parameter

Structure Name : 42SRSL000000

No.	CircuitName	CondType	Code Cond	SAG	R1	X1	R0	X0	B1	B0
				m	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	uS / km	uS / km
1	42143A0300	185A	4K3185A__0	0.58	0.176446	0.398082	0.394222	1.628449	3.649000	1.955000
2	42243B1300	120PIC35	4N3120PIC0	0.84	0.324523	0.311960	0.550079	1.953985	3.423000	1.574000
1	42143A0300	185A	4K3185A__0	0.58	0.176446	0.398082	0.394222	1.628449	3.647000	1.933000
2	42243B1300	185PIC35	4N3185PIC0	0.62	0.210664	0.298730	0.537106	1.840393	5.744000	1.516000
1	42143A0300	185A	4K3185A__0	0.58	0.176446	0.398082	0.394222	1.628449	3.649000	1.957000
2	42243B1300	95SAC35	4N3095SAC0	0.76	0.410478	0.316995	0.639572	1.950259	3.599000	1.542000
1	42143A0300	185A	4K3185A__0	0.58	0.176446	0.398082	0.394222	1.628449	3.651000	1.959000
2	42243B1300	120PIC35	4N3120PIC0	0.69	0.324523	0.311960	0.550079	1.953985	3.423000	1.574000
1	42143A0300	185A	4K3185A__0	0.58	0.176446	0.398082	0.394222	1.628449	3.651000	1.960000
2	42243B1300	185PIC35	4N3185PIC0	0.62	0.210664	0.298730	0.537106	1.840393	5.744000	1.516000

X - Y Coordinate

No	CircuitName	XA	YA	XB	YB	XC	YC	XG	YG	Sag	Ang	Cond
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm	deg	
1	42143A0300	-1430	10940	-450	10940	-450	10940	-940	11650	0	0	1
2	42243B1300	-1260	9480	-1400	9239	-1510	9490	-1400	9715	0	0	1



Reference Assembly No. 8246

รูปที่ 24 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบ 33 kV (ต่อ)

ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบจำหน่ายแรงสูง (33 เควี.) หรือระบบสายส่ง(115 เควี.)

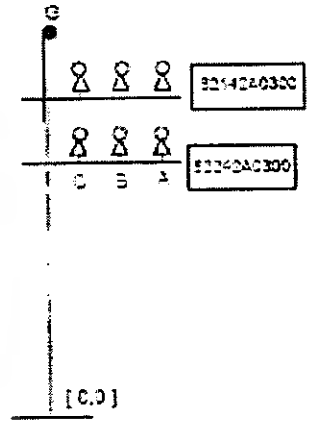
Parameter

No	CircuitName	CondType	Code Cond	SAG	R1	X1	R0	X0	B1	B0
				m	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	uS / km	uS / km
1	52142A0300	185A	5D3185A__0	0.38	0.176397	0.398088	0.384720	1.629376	3.629000	1.815000
2	52242A0300	185A	5H3185A__0	0.38	0.176355	0.398096	0.374342	1.633178	3.629000	1.770000
1	52142A0300	185A	5D3185A__0	0.38	0.176397	0.398088	0.384720	1.629976	3.629000	1.815000
2	52242A0300	240A	5H3240A__0	0.63	0.135145	0.389075	0.353022	1.624191	3.739000	1.790000
1	52142A0300	185A	5D3185A__0	0.38	0.176397	0.398088	0.384720	1.629976	3.631000	1.817000
2	52242A0300	185AA	5H3185AA_0	0.38	0.212031	0.398098	0.411452	1.632740	3.629000	1.841000
1	52142A0300	185A	5D3185A__0	0.38	0.176397	0.398088	0.384720	1.629976	3.631000	1.817000
2	52242A0300	185/30ACSR	5H3185ACR0	0.42	0.177278	0.411626	0.376502	1.646125	3.683000	1.847000
1	52142A0300	185A	5D3185A__0	0.38	0.176397	0.398088	0.384720	1.629976	3.629000	1.817000
2	52242A0300	185PI035	5H3185PI00	0.62	0.210662	0.408410	0.402366	1.638548	3.749000	1.879000

X - Y Coordinate

No	CircuitName	XA	YA	XB	YB	XC	YC	XG	YG	Sec	Ang	Cond
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm	deg	
1	52142A0300	2750	10340	1900	10340	800	10340	-950	13660	0	0	1
2	52242A0300	2750	10340	1900	10340	800	10340	-950	13660	0	0	1

Structure Name 522RCR000000



Reference Assembly No. 8345

รูปที่ 25 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบ 33 kV (ต่อ)

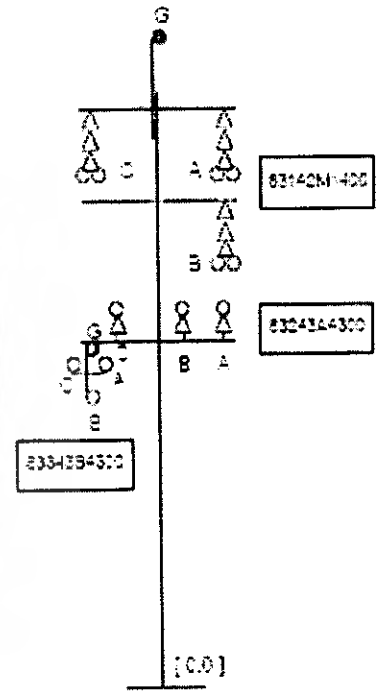
Parameter

No	CircuitName	ConcType	Code Cond	SAG	R1	X1	R0	X0	B1	B0
				m	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	uS / km	uS / km
1	83142V1400	400A	6R4400A__0	0.78	0.042989	0.313577	0.262916	1.319899	4.157000	2.030000
2	83243A4300	185A	6631185A__0	0.56	0.176795	0.421901	0.401435	1.562670	3.515000	2.170000
3	83343B4300	95SAC35	6a3095SAC0	0.78	0.410478	0.319695	0.939764	1.850422	3.600000	1.587000
1	83142V1400	400A	6R4400A__0	0.78	0.042989	0.313577	0.262916	1.319899	4.157000	2.031000
2	83243A4300	185A	6631185A__0	0.56	0.176795	0.421901	0.401435	1.562670	3.517000	2.164000
3	83343B4300	120SAC35	6a3120SAC0	0.84	0.324630	0.311960	0.551900	1.840261	3.767000	1.639000
1	83142V1400	400A	6R4400A__0	0.78	0.042989	0.313577	0.262916	1.319899	4.157000	2.031000
2	83243A4300	185A	6631185A__0	0.56	0.176795	0.421901	0.401435	1.562670	3.515000	2.170000
3	83343B4300	150SAC35	6a3150SAC0	0.99	0.210669	0.298751	0.468405	1.830538	6.036000	1.526000

X - Y Coord nate

No	CircuitName	XA	YA	XB	YB	XC	YC	XG	YG	Sec	Ang	Cond
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm	deg	
1	83142V1400	2000	18000	2000	15900	-2000	18500	-1256	21900	20	0	2
2	83343B4300	-1250	9400	-1400	9239	-1510	9480	-1400	9716	0	0	1
3	83243A4300	-400	10242	-450	10342	-1400	10342	-1256	21900	0	0	1

Structure Name 83203RBL0000



Reference Assembly No. 5160

รูปที่ 26 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบ 115 kV

ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบจำหน่ายแรงสูง (33 เควี.) หรือระบบสายส่ง(115 เควี.)

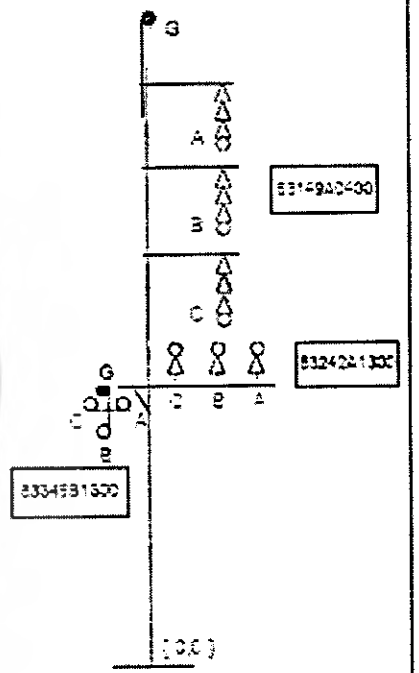
Parameter

No	CircuitName	ConeType	Code Cond	SAG	R1	X1	R0	X0	B1	B0
				m	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	uS / km	uS / km
1	83149A0400	400A	6X4400A__0	0.78	0.085894	0.436684	0.333008	1.468859	3.246000	1.818000
2	83242A1300	185A	6Y3185A__0	0.58	0.178401	0.399090	0.392390	1.818545	3.637000	1.936000
3	83345B1300	1559A035	6b31559A00	0.76	0.110478	0.318695	0.640520	1.850185	5.599000	1.553000
1	83149A0400	400A	6X4400A__0	0.78	0.085894	0.436684	0.333008	1.468859	3.246000	1.818000
2	83242A1300	185A	6Y3185A__0	0.58	0.178401	0.399090	0.392390	1.818545	3.637000	1.936000
3	83345B1300	1209A035	6b31209A00	0.84	0.324530	0.311960	0.552560	1.948071	5.767000	1.536000
1	83149A0400	400A	6X4400A__0	0.78	0.085894	0.436684	0.333008	1.468859	3.246000	1.818000
2	83242A1300	185A	6Y3185A__0	0.58	0.178401	0.399090	0.392390	1.818545	3.637000	1.936000
3	83345B1300	1559A035	6b31559A00	0.98	0.210639	0.298751	0.438999	1.930342	6.035000	1.500000

X - Y Coord nate

No	CircuitName	XA	YA	XB	YB	XC	YC	XG	YG	Sec	Ang	Cond
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm	deg	
1	83149A0400	2050	18300	2050	18300	2050	18300	-1025.5	21300	0	0	1
2	83242A1300	3750	10342	1950	10342	950	10342	-1025.5	21300	0	0	1
3	83345B1300	-462	9515	-592	9324	-702	9515	-592	9715	0	0	1

Structure Name 329RCP5L0000



Reference Assembly No. 6284

รูปที่ 27 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบ 115 kV (ต่อ)

ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบจำหน่ายแรงสูง (33 เควี.) หรือระบบสายส่ง(115 เควี.)

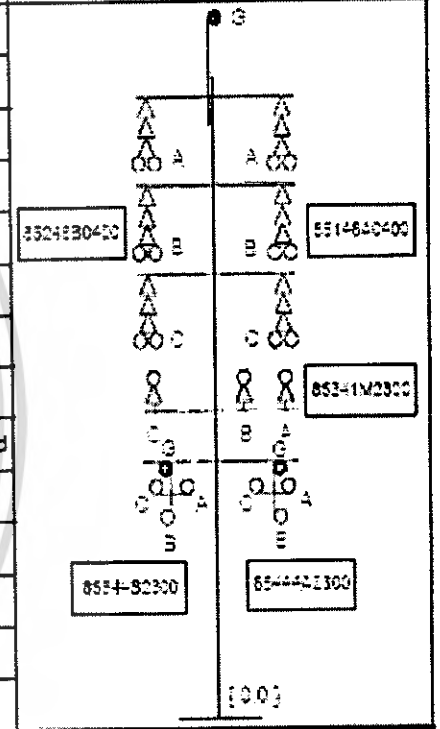
Parameter

No.	CircuitName	ConsType	Code Cond	SAG	R1	X1	R0	X0	B1	B0
				m	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	Ohm / km	uS / km	uS / km
1	88148A0400	400A	844003A__0	0.78	0.038033	0.310654	0.258033	0.810654	2.586000	2.586000
2	88248B0400	400A	Bg4400A__0	0.78	0.042875	0.305045	0.262502	1.351331	4.656000	2.051000
3	88341M2300	1SSA	8M3193A__0	0.56	0.238021	0.810647	0.238021	0.810647	2.500000	2.500000
4	88444A2300	1SSA233	8M21883A20	0.99	0.210669	0.298751	0.474472	1.797847	6.035000	1.539000
5	88544B2300	1SSA233	8M21883A20	0.99	0.210669	0.298751	0.474472	1.797765	6.035000	1.557000

X - Y Coordinate

No	CircuitName	XA	YA	XB	YB	XC	YC	XG	YG	Sec	Ang	Cond
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm	deg	
1	88148A0400	2000	18300	2000	15800	2000	13300	-125.5	21800	00	0	2
2	88248B0400	-2000	18300	-2000	15800	-2000	13300	-125.5	21800	00	0	2
3	88341M2300	1400	10342	450	10342	-1400	10342	-125.5	21800	0	0	1
4	88444A2300	1510	8280	1400	8089	1290	8280	1400	8515	0	0	1
5	88544B2300	-1290	8280	-1400	8089	-1510	8280	-1400	8515	0	0	1

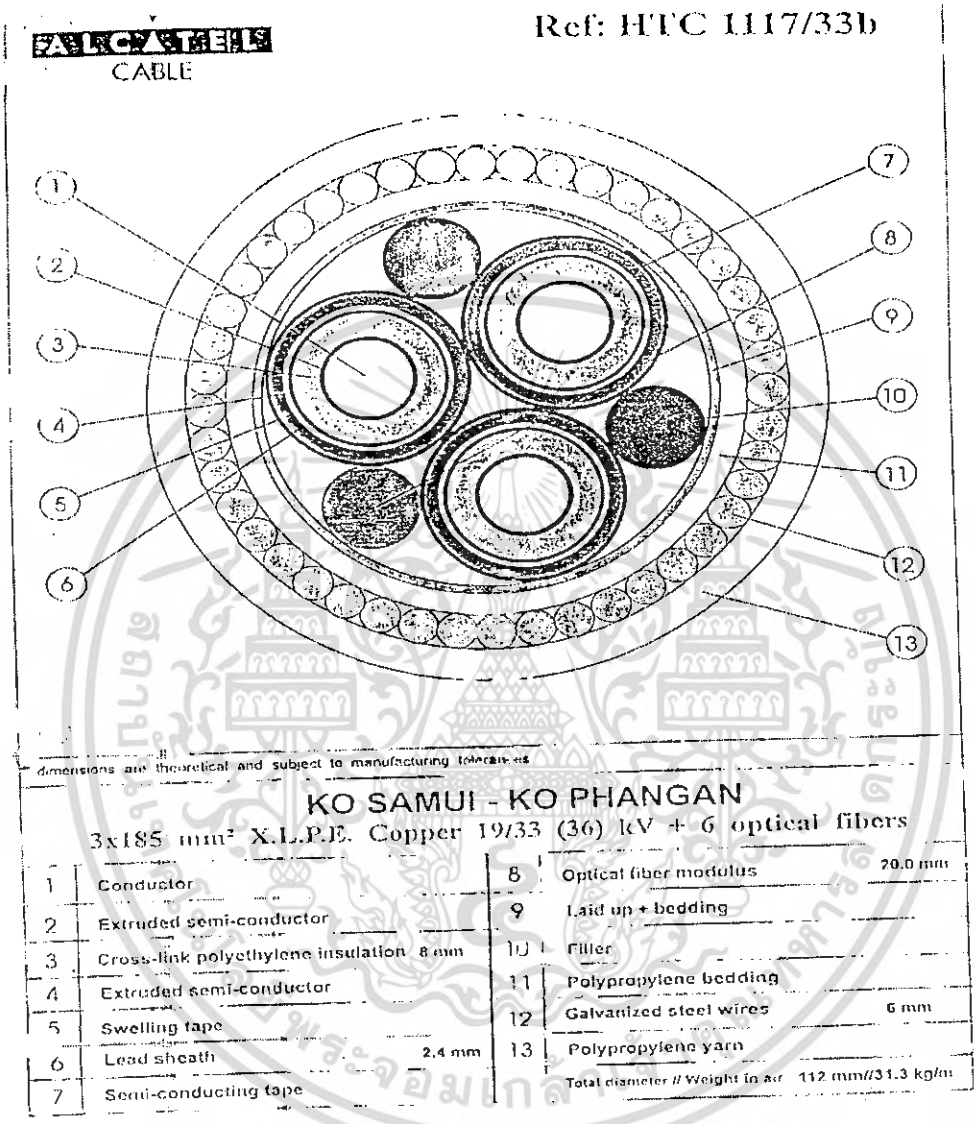
Structure Name : 88SR8_1DA-R4L



Reference Assembly No. 3169

รูปที่ 28 แสดงค่าพารามิเตอร์ของสายระบบ 115 kV (ต่อ)

รายละเอียดของสาย Submarean Cable ในระบบ 33 kV และ 115 kV



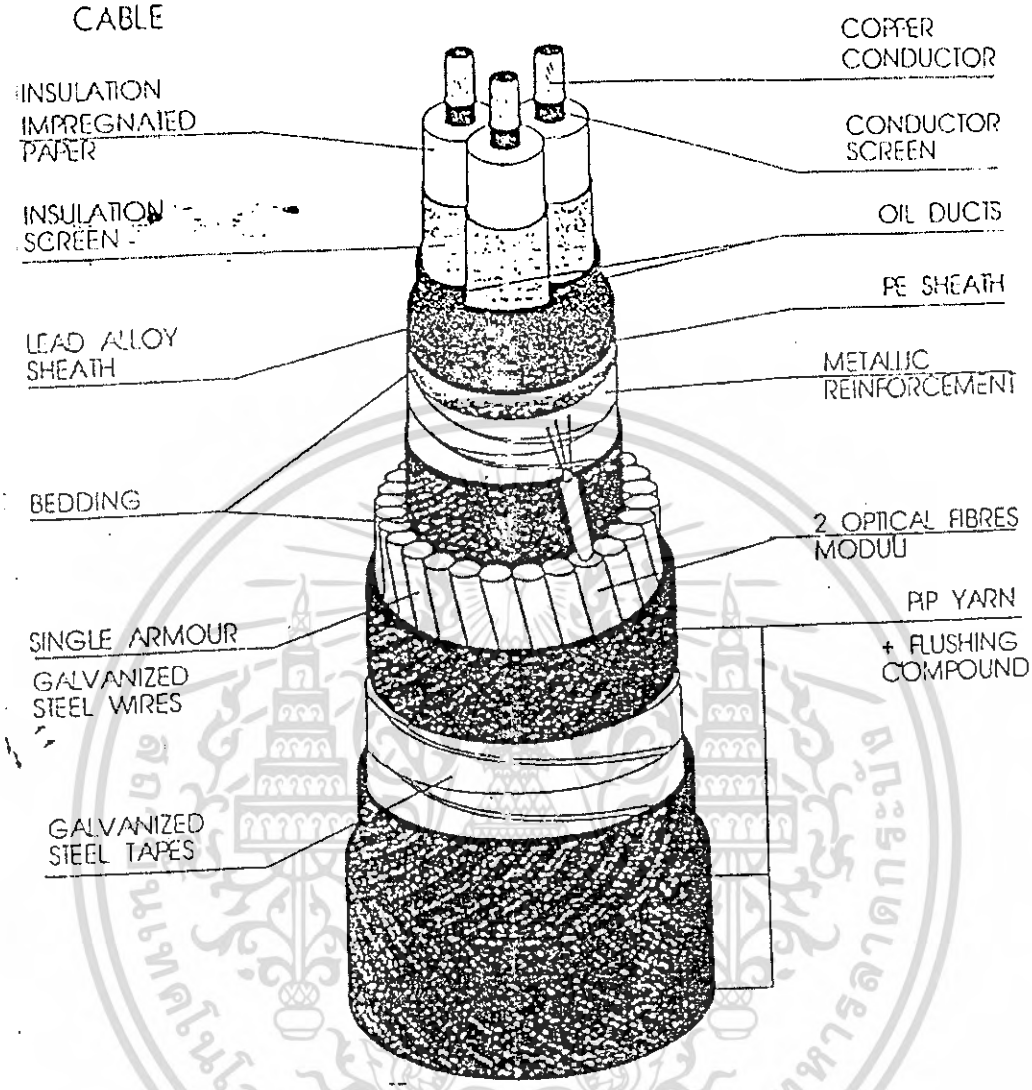
รูปที่ 29 แสดงพื้นที่หน้าตัดของสายซับมารีนเคเบิลระบบ 33 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ref : H00267 KSM 02
Appendix 1

ALCATEL

CABLE



Dimensions are subject to manufacturing tolerances

	Nominal thickness mm	Diameter approx. mm
Conductor		15.9
Insulation	10.5	
Lead alloy sheath	3.5	
PE sheath	3.6	
Metallic reinforcement	2 x 0.25	
Armour	7.0	
Bedding	3.0	
Galvanized steel tapes	2 x 0.38	
Outer covering	3.0	135
Weight in water / air	30.6 / 45.3 kg/m	

ALCATEL CABLE FRANCE
USINE DE CALAIS

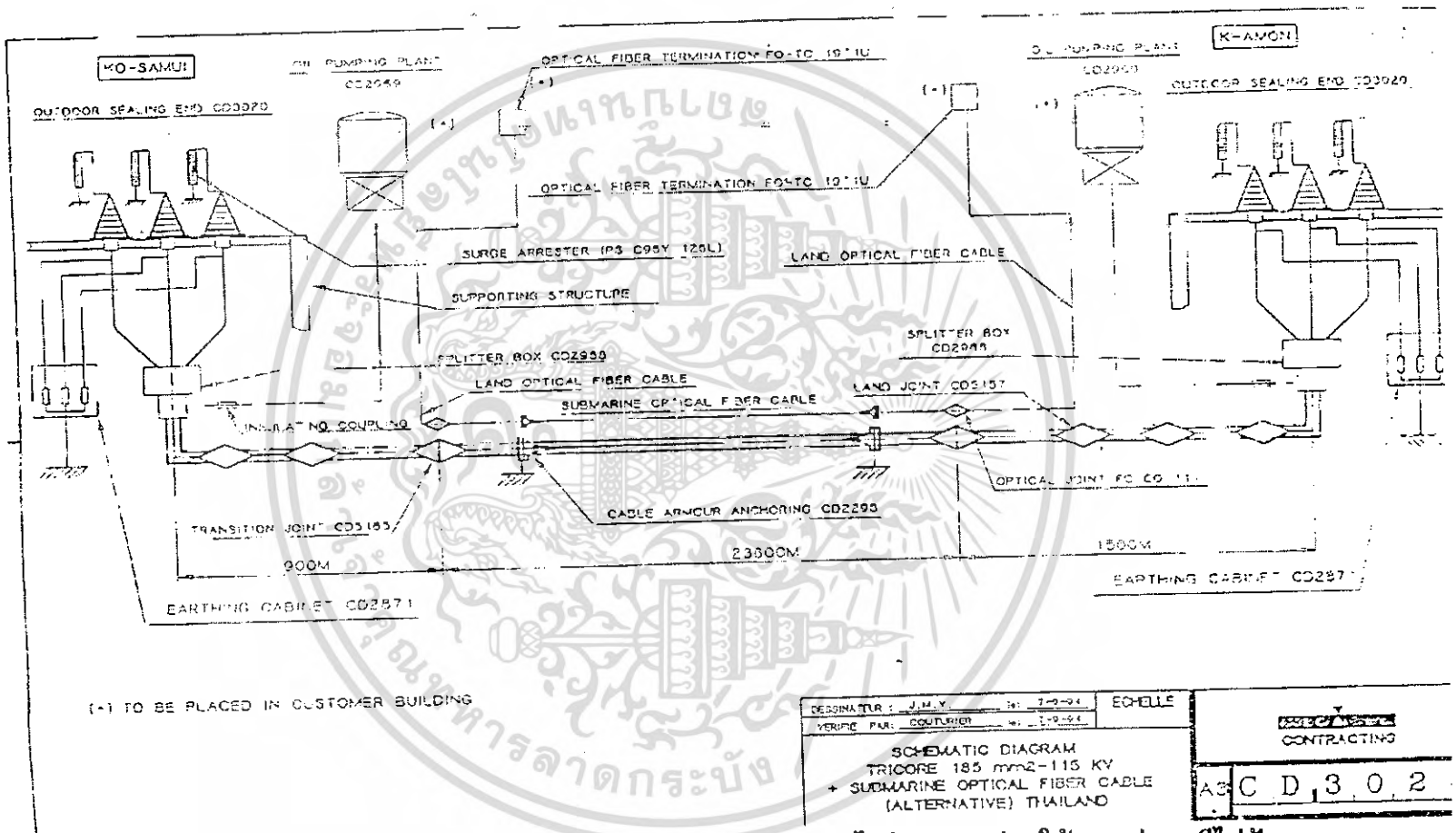
KHANOM-KO SAMUI

3x185 mm² Cu O.F.
Submarine cable
66/115 (123) kV

Date: 15/09/95

รูปที่ 30 แสดงพื้นที่หน้าตัดของสายซับมารีนเคเบิลระบบ 115 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 31 แสดงการวางแผนการวางสายซับมารีนเคเบิลระบบ 115 kV จากสถานีไฟฟ้าขนอมผ่านใต้ทะเลสู่สถานีไฟฟ้าเกาะสมุย