ปีการศึกษา 2537

ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3

POWER SYSTEM SIMULATOR 3

โดย

นาย มินเรศน์ เตชะวงศ์

นาย วสันต์ อู่ยายโสม

นาย สายัณต์ ศรีโหมด

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2537

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3

ผู้จัดทำ

1. นาย มินเรศน์ เตชะวงศ์
2. นาย วสันต์ อู่ยายโสม
3. นาย สายัณห์ ศรีโหมด

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3

นาย มินเรศน์ เตชะวงศ์
นาย วสันต์ อู่ยายโสม
นาย สายัณต์ ศรีโหมด
ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

โครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3 นี้เป็นโครงงานที่สัมพันธ์กับโครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 1 และ 2 โดยจะทำในส่วนของรีเลย์ คือ โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ และออโตรีโคลสชิ่ง รีเลย์ ในส่วนของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ จะเป็นตัวตรวจเช็คค่ากระแสว่าสูงกว่าที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าค่ากระแสสูงกว่าที่กำหนดไว้ โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ก็จะมีการสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ เพื่อไม่ให้ระบบเกิดการเสียหาย ส่วนออโตรีโคลสชิ่ง รีเลย์ นั้นจะทำงานร่วมกับโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ โดยจะทำการต่อวงจรเข้าไปใหม่โดยอัตโนมัติภายหลังการสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ เพื่อให้ระบบสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER SYSTEM SIMULATOR 3

Minaread Teachawong
Vason Ahuyaisom
Sayun Srimode
Asst. Prof. Siriwat Potivajakul. Advisor
1994

ABSTRACT

Project power system simulator 3 this is the work that go along with the power system simulator 1 and 2 by the work of relay are overcurrent relay and autoreclosing relay. In the part of overcurrent relay it is the detector of higher current value if the current is higher than determine current value the overcurrent relay will make trip current breaker that will not ruin the system. But the autoreclosing relay that with work together overcurrent relay by automatically reclosing the circuit breaker of overcurrent relay after make trip to be able to give the electric power immediatly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	V
สารบัญตาราง	
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	4
2.1 การเกิดฟอลต์ และสาเหตุการเกิด	4
2.1.1 ฟอลต์เนื่องจากสายเส้นหนึ่งต่อลงกราวด์	4
2.1.2 ฟอลต์เนื่องจากสายสัมผัสกัน	5
2.1.3 ฟอลต์เนื่องจากสายสองเส้นต่อลงกราวด์	6
2.1.4 ฟอลต์ 3 เฟส	6
2.2 ความเสียหายที่ระบบไฟฟ้ากำลังได้รับจากกระแสลัดวงจร	7
2.3 คุณสมบัติของระบบป้องกันที่ดี	8
2.4 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า	9
2.5 รีเลย์	10
2.6 คุณสมบัติที่ดีของรีเลย์	11
2.7 การป้องกันด้วยรีเลย์กระแสเกิน	13
2.8 โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	15
2.9 วิธีการเลือกเซ็ทค่าของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	19
2.9.1 การวิเคราะห์ระบบ	20
2.9.2 การแบ่งขั้นในการเซ็ทค่าการทำงานของรีเลย์	21
2.10 การเซ็ทค่าการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	23
2.10.1 การเซ็ทค่าของตัวรีเลย์จากข้อมูลที่ได้	26
2.11 ตัวอย่างของการเซ็ทค่าการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	28
2.11.1 การแบ่งขั้นเวลาที่ใช้ในการทำงานของรีเลย์โดยวิธีกราฟ	33
2.12 ออโตเมติค สวิทชิ่ง	35
2.12.1 การออกแบบ และการใช้งานออโตเมติค สวิทชิ่ง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อ

	หน้า
2.12.2 ออโตเมติครีโคลส ความเร็วสูง	35
2.12.3 ออโตเมติครีโคลส หน่วงเวลา	36
2.13 ออโตรีโคลสซิ่ง สเตติค รีเลย์	40
2.13.1 หลักการทำงานของออโตรีโคลสซิ่ง สเตติค รีเลย์	41
2.14 การเซ็ทค่าของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์	48
บทที่ 3 การคำนวณ และการสร้าง	49
3.1 รายละเอียดในโครงการระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3	49
3.2 ขั้นตอนของโครงงาน	50
3.3 ตำแหน่งอุปกรณ์โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	51
3.4 ตำแหน่งอุปกรณ์ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์	54
3.5 ส่วนประกอบกล่องของรีเลย์	56
3.5.1 หน้ากล่องโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	56
3.5.2 หลังกล่องโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	56
3.5.3 หน้ากล่องออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์	57
3.5.4 หลังกล่องออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์	58
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง	60
4.1 การทดลองโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	60
4.1.1 การทดสอบ	60
4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ	60
4.2 การทดลองออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์	63
บทที่ 5 บทวิจารณ์ และสรุป	64
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้า
รูป 1.1 ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง	2
รูป 1.2 การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังจำลองด้วยโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	2
รูป 2.1 ไลน์-ทู-กราวด์ ฟอลต์ สายตัวนำเส้นหนึ่งตกลงบนพื้น	4
รูป 2.2 ไลน์-ทู-กราวด์ ฟอลต์ สายตัวนำเส้นหนึ่งต่อลงกราวด์	5
รูป 2.3 ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบสตาร์ (3 เฟส 3 สาย)	5
รูป 2.4 ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบสตาร์ (3 เฟส 4 สาย)	5
รูป 2.5 ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบเดลต้า	6
รูป 2.6 ดับเบิ้ล-ไลน์-ทู-กราวด์ ฟอลต์	6
รูป 2.7 ทรีเฟส ฟอลต์	7
รูป 2.8 ลิเนียร์คัปเปอร์	10
รูป 2.9 ตัวอย่างการใช้รีเลย์กระแสเกินป้องกันสาย	14
รูป 2.10 โฟร์ชาร์ทแสดงการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	15
รูป 2.11 วงจรโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ 3 เฟส	16
รูป 2.12 กราฟคุณลักษณะของเวลากับกระแสของรีเลย์	19
รูป 2.13 คุณลักษณะการทำงานร่วมกันของรีเลย์ทั้งระบบ	26
รูป 2.14 ระบบ 11 Kv ข้อมูลสำหรับการเซ็ทค่าการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	28
รูป 2.15 การทำงานของเวลาที่รีเลย์ใช้ตัดสินใจกับ ปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพร์เออร์	30
รูป 2.16 กราฟคุณลักษณะการทำงานของรีเลย์	33
รูป 2.17 ระบบอัตโนมัติเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้น	36
รูป 2.18 การเกิดฟอลต์บนสายป้อนของหม้อแปลง	37
รูป 2.19 ฟอลต์บนหม้อแปลงตัวหนึ่งของการต่อหม้อแปลง 2 ตัว	37
รูป 2.20 ตำแหน่งการติดตั้งออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ในระบบ	40
รูป 2.21 ตำแหน่งการติดตั้งออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ในตู้ควบคุม	41
รูป 2.22 โฟร์ชาร์ทแสดงการทำงานของออโตรีโคลสซิ่งรีเลย์	42
รูป 2.23 วงจรออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์	44
รูป 2.24 วงจรควบคุมการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์	46
รูป 2.25 ไดอะแกรมเวลาของคอนแทคโอเวอร์เคอร์เร้นท์ และออโตรีโคลส	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อ

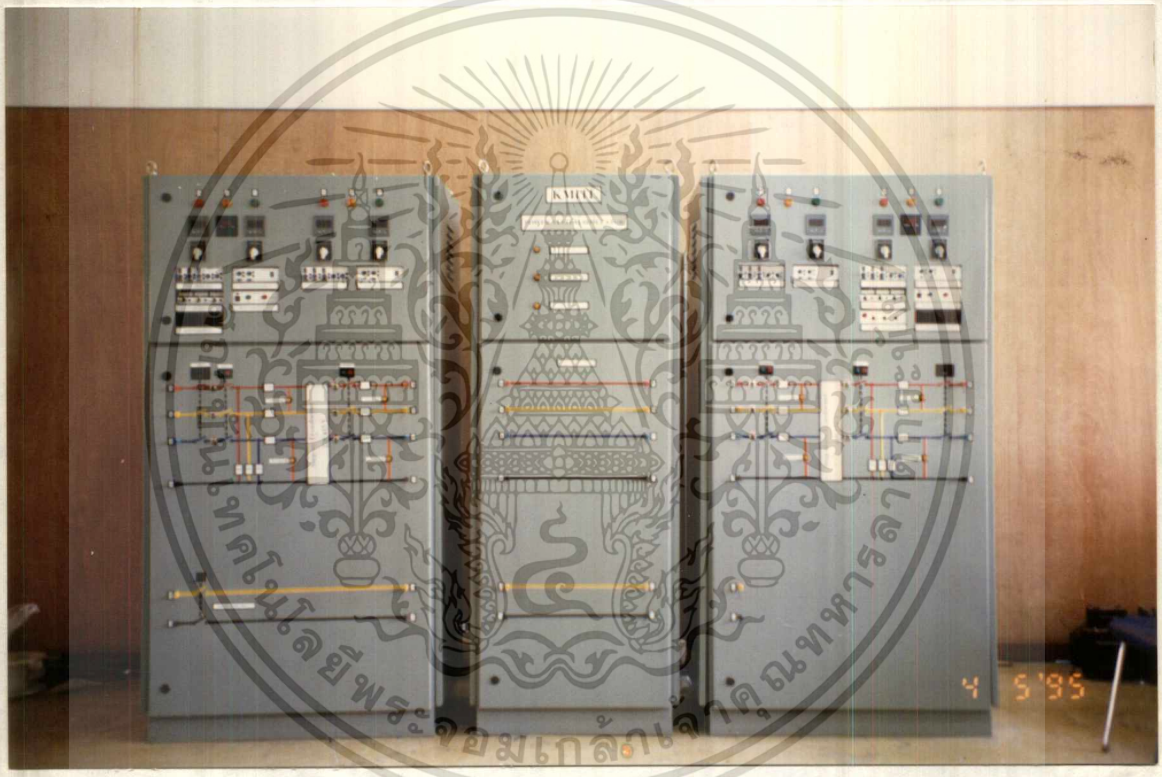
	หน้า
รูป 3.1 การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังจำลองด้วยโอเวอร์เคอร์เร้นท์ ร่วมกับออโตรีโคลส	49
รูป 3.2 ตำแหน่งอุปกรณ์บนลายปริ้นของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ 3 เฟส	51
รูป 3.3 แสดงเฉพาะอุปกรณ์ของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ 3 เฟส	52
รูป 3.4 ตำแหน่งอุปกรณ์บนลายปริ้นของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์	54
รูป 3.5 แสดงเฉพาะอุปกรณ์ของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์	54
รูป 3.6 หน้ากล่องโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	56
รูป 3.7 หลังกล่องโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	57
รูป 3.8 หน้ากล่องออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์	58
รูป 3.9 หลังกล่องออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์	58
รูป 3.10 ภายในกล่องโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	59
รูป 3.11 ภายในกล่องออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์	59
รูป 4.1 วงจรการทดสอบโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	60
รูป 4.2 กราฟแสดงค่าเวลาของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าต่างๆของระบบ π NETWORK	23
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าต่างๆของระบบ T NETWORK	23
ตารางที่ 2.3 แสดงค่ากระแสลัดวงจรที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระบบนี้ 1	24
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าของเวลาที่จุดลัดวงจร 1	25
ตารางที่ 2.5 แสดงค่ากระแสลัดวงจรที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระบบนี้ 2	29
ตารางที่ 2.6 แสดงค่าเวลาที่จุดลัดวงจร 2	32
ตารางที่ 3.1 แสดงรายการอุปกรณ์ของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ต่อเฟส	53
ตารางที่ 3.2 แสดงรายการอุปกรณ์ของออโตรีโคลสชิ่ง รีเลย์	55
ตารางที่ 4.1 ค่าของกระแส และเวลาที่โหลดในแต่ละค่า	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ระบบไฟฟ้ากำลังที่ดีไม่ได้หมายถึงระบบที่มีการผลิตและจ่ายไฟได้อย่างเดียว แต่ต้องมีการเลือกใช้อุปกรณ์ที่สามารถป้องกันหรือทนต่อเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้นได้โดยไม่ก่อความเสียหายให้แก่ระบบ การลัดวงจรขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังเป็นเรื่องปกติที่ไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงได้หมด และมีสาเหตุของการเกิดลัดวงจรขึ้นได้หลายประการ เช่น ฟ้าผ่าลงเสาส่ง และสายส่งเกิดแฟลตโอเวอร์ที่ฉนวนลูกถ้วย เกิดคลื่นสวิชชิ่ง และเกิดฟอลต์ระหว่างสายกับสาย หรือสายกับเสาส่ง กิ่งไม้พาดสายในระบบจำหน่าย เป็นต้น.

เมื่อไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงภาวะผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังได้ จึงมีความจำเป็นที่มีอุปกรณ์ป้องกันภายในระบบขึ้น การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังจึงมีความจำเป็นมาก.

ความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังนอกเหนือจากการลัดวงจรหรือฟอลต์ ซึ่งให้ผลเสียหายมากมายแล้ว ยังมีความผิดปกติอื่นๆ คือ การเกิดภาวะแรงดันสูงเกิน หรือต่ำเกินอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าไม่ปกติ, การเรียงลำดับเฟสผิด, การเกิดความถี่ต่ำอันเนื่องมาจากกำลังผลิตทางไฟฟ้าไม่เพียงพอกับโหลด การใช้งานเกินกำลังของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ การเกิดความถี่สูงอันเนื่องมาจากการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์ขณะกระแสสูงมากๆ เป็นต้น.

ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังอาจเกิดจากสายตัวนำขาด หรือ การเสียหายของฉนวน การขาดของสายตัวนำอาจเกิดจาก ลมแรง สาเหตุทางกลอื่นๆ ฉนวนไฟฟ้าโดยทั่วไป จะเป็นอากาศหรือวัสดุที่มีความต้านทานจำเพาะสูง ฉนวนที่เป็นอากาศอาจเกิดการลัดวงจรจาก กิ่งไม้ล้มพาดใส่ ฉนวนที่เป็นสารอินทรีย์อาจเสื่อมคุณภาพเนื่องจากความร้อน หรือ อาจเบรคดาวน์เนื่องจากแรงดันคลื่นฟ้าผ่า หรือคลื่นสวิทชิ่ง เป็นต้นฉนวนลูกถ้วยอาจเกิดทางผ่านกระแสไฟฟ้าเนื่องจากฝุ่น ฟอลต์ที่เกิดขึ้นกับส่วนสำคัญของระบบอาจทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพได้ เช่นฟอลต์ที่เกิดขึ้นในบริเวณบัสบาร์ของโรงจักรไฟฟ้าอาจทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกจุดในโรงจักรเสียเสถียรภาพไปด้วย. ความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังอาจทำให้เกิดน้อยครั้งลงได้ด้วยวิธีการต่างๆเช่นการออกแบบระบบควบคุมที่ดี การจัดหากำลังผลิตให้เพียงพอกับโหลดในปัจจุบัน และอนาคตการออกแบบฉนวนที่เพียงพอ การมีระเบียบในการทำงาน และการบำรุงรักษาที่ถูกต้อง เป็นต้น.

ส่วนเรื่องของรีเลย์ จุดสำคัญของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน คือเรื่องของเวลาที่ต้องเซ็ทในการตัดวงจรของรีเลย์ ซึ่งให้เกิดความเหมาะสมกับระบบที่ใช้อยู่ ในการเซ็ทนี้จำเป็นต้องพิจารณาถึงขนาดของกระแสผิดปกติ รวมถึงค่าเวลาต่างๆ ที่ใช้ในการจัดโคออดิเนทของระบบ และเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ การเซ็ทค่าเวลาที่ถูกต้องเพื่อให้อุปกรณ์และระบบเสียหายน้อยที่สุดเมื่อเกิดผิดปกติขึ้น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

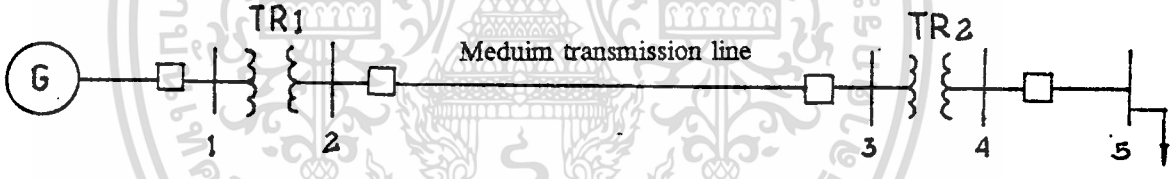
ในส่วนเนื้อหาต่อไปนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสร้างรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน และอินสทรูเมนท์ทรานฟอร์เมอร์ การเซ็ทค่ารีเลย์ การเซ็ทค่าเวลาในการตัดระบบ และการโคออดิเนทเพื่อนำไปใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังจำลองต่อไป.

<u>ขอบเขตโครงงาน</u>

โครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3 เป็นโครงงานร่วมกับโครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 1 และ 2 โดยในระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3 นั้นรับผิดชอบในส่วนของการป้องกันโดยการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ และ ออโต้รีโคลสซิ่ง รีเลย์

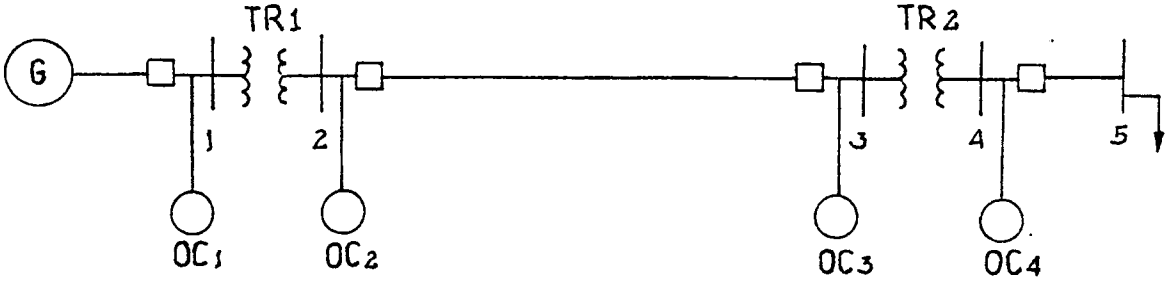
โดยในโครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลองทั้ง 3 นั้นมีจุดประสงค์เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอนของนักศึกษาภาควิศวกรรมไฟฟ้า

โครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3 นี้เป็นการป้องกันระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจำลองด้วยโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ทำงานร่วมกับ ออโต้รีโคลสซิ่ง รีเลย์ ซึ่งทั้งคู่เป็นสเตติค รีเลย์ โดยในระบบจำลองที่จะทำการป้องกันนั้นแสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

จากรูปที่ 1.1 ประกอบด้วยส่วนของการกำเนิดพลังงาน ซึ่งเป็นส่วนของโรงจักรไฟฟ้าส่งผ่านพลังงานไฟฟ้ามาที่หม้อแปลง-แปลงขึ้น และส่งต่อโดยสายส่ง และแปลงลงโดยหม้อแปลงตัวที่ 2 และส่งต่อไปโหลดที่บัส 5 ซึ่งเมื่อพิจารณาตามรูปที่ 1.1 นั้น เราจะทำการป้องกันการเกิดกระแสผิดปกติในระบบด้วยโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังจำลองด้วยโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ที่ทำการติดตั้งในแต่ละจุดของระบบจะทำงานร่วมกับออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์ เพื่อทำการต่อวงจรเข้าไปใหม่โดยอัตโนมัติภายหลังการสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ของโอ-เวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ เพื่อให้ระบบสามารถทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วภายหลังการฟอลต์แบบชั่วคราว โดยจำนวนครั้งของการต่อวงจรเข้าโดยอัตโนมัตินี้อาจจะกระทำ 2-3 ครั้ง แล้วแต่จะทำการออกแบบ

จากที่กล่าวมานั้นแสดงถึงเขตของโครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3 คือการสร้างชุดระบบป้องกัน ซึ่งจะเป็นรีเลย์แบบสเตติคทั้งหมด โดยประกอบไปด้วยชุดของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ 12 ชุด และชุดของ ออโต้รีโคลสซิ่ง รีเลย์ 4 ชุด โดยทำหน้าที่ป้องกันการผิดปกติของกระแสของระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง ตามการออกแบบของโครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และ หลักการ

ทฤษฎีทั่วไป

2.1 การเกิดฟอลต์ และ สาเหตุการเกิด

ฟอลต์ (Faults) ในความผิดปกติในระบบกำลังไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากสาเหตุต่างๆเช่นการลัดวงจร หรือการเปิดวงจรที่สายส่ง เป็นต้น

ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบกำลังไฟฟ้ามีหลายประเภท ในที่นี้จะกล่าวถึงบางประเภท ดังนี้

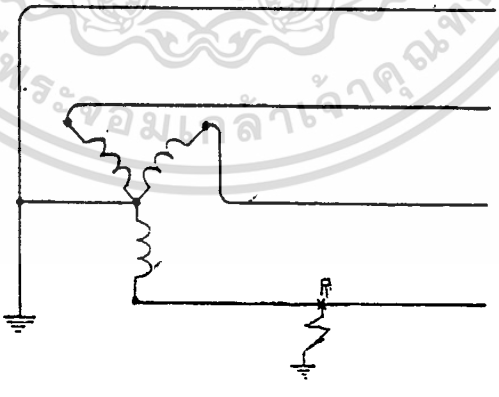
- ฟอลต์เนื่องจากสายเส้นหนึ่งต่อลงกราวด์
- ฟอลต์เนื่องจากสายสองเส้นสัมผัสถึงกัน
- ฟอลต์เนื่องจากสายสองเส้นต่อลงกราวด์
- ฟอลต์ 3 เฟส

ฟอลต์ 3 ประเภทแรกที่เป็นฟอลต์แบบไม่สมมาตร (Unsymmetrical Faults) ส่วนฟอลต์ 3 เฟสเป็นฟอลต์แบบสมมาตร (Symmetrical Faults)

2.1.1 ฟอลต์เนื่องจากสายเส้นหนึ่งต่อลงกราวด์

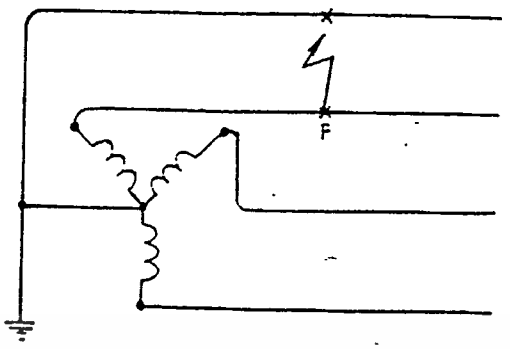
(Single Line to Ground Fault ; SLG)

ฟอลต์แบบสายเส้นหนึ่งต่อลงกราวด์ จะเกิดขึ้นเมื่อสายตัวนำเส้นหนึ่งตกลงบนพื้น หรือสายตัวนำเส้นหนึ่งต่อกับสายนิวทรัลหรือต่อลงกราวด์ ดังรูปที่ 2.1 และ รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ไลน์-ทู กราวด์ ฟอลต์ สายตัวนำเส้นหนึ่งตกลงบนพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

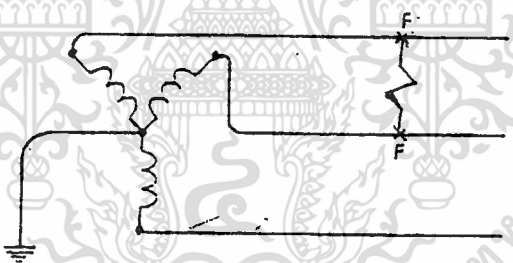


รูปที่ 2.2 ไลน์-ทู-กราวด์ ฟอลต์ สายตัวนำเส้นหนึ่งต่อลงกราวด์

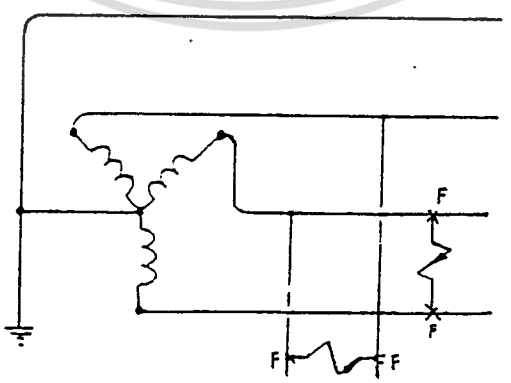
2.1.2 ฟอลต์เนื่องจากสายสัมผัสกัน

(Line to Line Fault ; L-L)

โดยทั่วไปฟอลต์แบบสายสัมผัสกัน จะเกิดขึ้นเมื่อสายส่ง 2 เส้นสัมผัสถึงกัน และเกิดการลัดวงจรขึ้น ดังรูปที่ 2.3 , รูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5

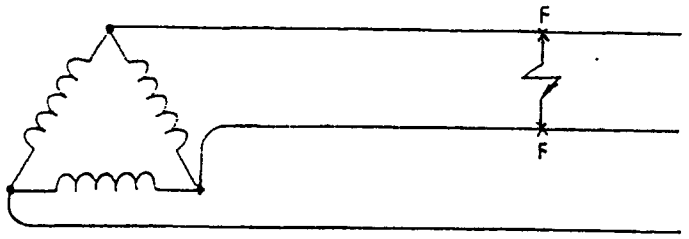


รูปที่ 2.3 ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบสตาร์ (3 เฟส 3 สาย)



รูปที่ 2.4 ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบสตาร์ (3 เฟส 4 สาย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

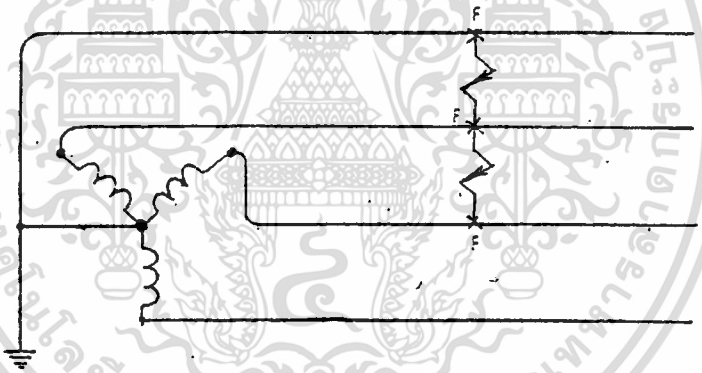


รูปที่ 2.5 ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบเคลต้า

2.1.3 ฟอลต์เนื่องจากสายสองเส้นต่อลงกราวด์

(Double Line to Ground Fault ; DLG)

ฟอลต์แบบสายสองเส้นต่อลงกราวด์ เกิดขึ้นเมื่อสายตัวนำ 2 เส้นตกลงบนพื้น หรือสายตัวนำสองเส้นต่อกับสายนิวทรัลของระบบไฟฟ้า 3 เฟสที่มีการต่อลงกราวด์

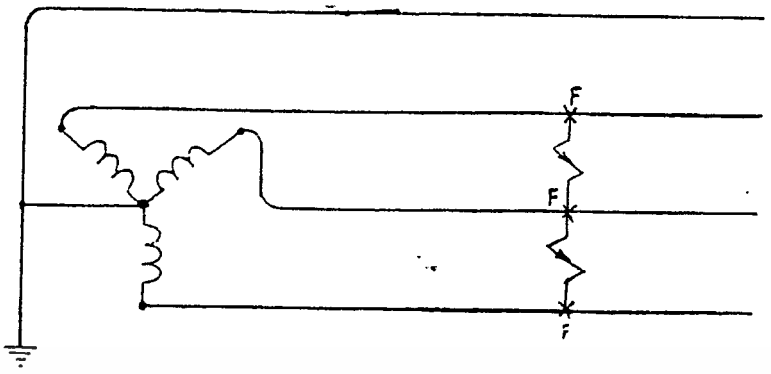


รูปที่ 2.6 ดับเบิ้ล-ไลน์-ทู-กราวด์ ฟอลต์

2.1.4 ฟอลต์ 3 เฟส

(Three-Phase Fault ; 3 $\varnothing$)

ฟอลต์แบบ 3 เฟส เกิดขึ้นเมื่อสายตัวนำทั้ง 3 เส้นตกลงพื้น หรือสายตัวนำสามเส้นต่อกับสายนิวทรัลของระบบกำลังไฟฟ้า 3 เฟส ที่มีการต่อลงกราวด์



รูปที่ 2.7 ทรี เฟส ฟอลต์

การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังมีความจำเป็นมากทั้งนี้ด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ ป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ภายในระบบ และตัดตอนส่วนของระบบที่มีปัญหาออกจากระบบใหญ่ แต่ยังสามารถจ่ายไฟให้แก่ผู้ใช้ไฟส่วนใหญ่ได้ การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังมีตั้งแต่การป้องกันแบบง่ายๆ เช่น การใช้อุปกรณ์ ฟิวส์ หรือ เบรคเกอร์ ที่สั่งงานด้วยโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ไปจนถึงการป้องกันที่ยุ่งยากที่ต้องใช้ระบบอีเลคทรอนิคส์เข้ามาช่วย

การป้องกันระบบไฟฟ้าประกอบด้วย อุปกรณ์ป้องกันภายในระบบ ตั้งแต่ เคอร์เร้นท์ทรานฟอร์เมอร์, รีเลย์, ฟิวส์, เบรคเกอร์ จนกระทั่งถึงอุปกรณ์ป้องกันแต่ละส่วนของระบบ ได้แก่การป้องกันบัส หม้อแปลง, มอเตอร์, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, สายส่ง

การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังตั้งแต่การจัดหาขนาด และชนิดของอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ระบบป้องกันได้นั้น จำเป็นต้องมีการคำนวณกระแส และศักดาไฟฟ้าของระบบ ในกรณีที่เกิดลัดวงจรแบบต่างๆกันก่อน ทั้งนี้เพื่อให้ทราบว่าอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะนำมาใช้ที่ใดในระบบนั้นมีโอกาสเกิดกระแสลัดวงจรสูงสุดในที่นั้นเท่าใด และมีศักดาไฟฟ้าขณะเกิดลัดวงจรเป็นอย่างไรการเลือกใช้ขนาดอุปกรณ์ที่ไม่ถูกต้อง และไม่สามารถรับกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบได้ก็จะทำให้อุปกรณ์นั้นๆ เสียหายได้ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์สูงมาก

2.2 ความเสียหายที่ระบบไฟฟ้ากำลังได้รับจากกระแสลัดวงจรคือ

2.2.1 กระแสลัดวงจรสูงสุด ทำให้เกิดความร้อนสูงภายในอุปกรณ์ที่กระแสไหลผ่าน

2.2.2 เมื่อมีกระแสลัดวงจรทำให้เกิดอาร์คขึ้นอุณหภูมิรอบๆอาร์คที่มีค่าสูงทำให้เกิดการระเหยของสารบางอย่าง และอาจทำให้อุปกรณ์เสียหาย เกิดไฟไหม้

2.2.3 เกิดลัดวงจรขึ้นในระบบ ทำให้ศักดาไฟฟ้าที่จุดลัดวงจรและบริเวณใกล้เคียงตกลงมามาก

2.2.4. ทำให้ระบบไฟฟ้าสามเฟสเกิดการไม่สมดุลย์ ถ้าหากอุปกรณ์ป้องกันเปิดวงจรเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใดเฟสหนึ่งออก

2.2.5 การเกิดกระแสลัดวงจรทำให้ระบบไม่เสถียรภาพได้ คือ อาจเกิดการสูญเสียซิงโครนิสซึม ได้เพราะเมื่อเกิดลัดวงจรขึ้น ทำให้เกิดความไม่สมดุลย์ระหว่างกำลังกลที่ป้อนเข้าเครื่องกำเนิด และกำลังไฟฟ้าที่ออกจากเครื่องกำเนิด และถ้ากระแสลัดวงจรเกิดขึ้นนานความไม่สมดุลย์ดังกล่าวก็มากขึ้นจนกระทั่งเมื่อระบบตัดจุดลัดวงจรออกจากระบบได้แล้วก็ตาม ความไม่สมดุลย์ดังกล่าว อาจไม่สามารถดึงกลับมาได้

2.3 ระบบป้องกันที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้

2.3.1 สามารถตรวจจับ และ แยกส่วนที่เกิดลัดวงจรจากระบบให้เร็วที่สุด

2.3.2 สามารถจ่ายไฟได้ในส่วนอื่น ๆ ที่ไม่เกิดการลัดวงจร หลังจากที่แยกส่วนที่ เกิดลัดวงจรจากระบบเรียบร้อยแล้ว

2.3.3 กระแสลัดวงจรบางครั้งที่เกิดขึ้นแม้มีขนาดไม่สูงมากนักระบบป้องกันที่ดี ต้องสามารถแยกออกได้ว่ากระแสที่ไหลขณะนั้นปกติหรือลัดวงจรขึ้น

2.3.4 ระบบป้องกันที่ดีนอกจากสามารถทำงานได้ดีแล้วต้องใช้เงินลงทุนไม่มาก เกินความจำเป็นด้วย

2.3.5 ส่วนใหญ่ของการลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบมักเป็นการลัดวงจรที่อาร์คดับเองได้ คือไม่ใช่เกิดลัดวงจรถาวร ดังนั้น ระบบป้องกันที่ดีต้องไม่ตัดส่วนของระบบที่เกิดลัดวงจรจากระบบนานเกินไปทำให้ผู้ใช้ไฟไม่มีไฟใช้

หลังจากทราบความเสียหายที่เกิดขึ้นจากกระแสลัดวงจร และ คุณสมบัติของระบบป้องกันแล้วจะเป็นการศึกษารายละเอียดของอุปกรณ์ป้องกันนั้นว่าประกอบด้วยอุปกรณ์อะไรบ้าง และมีการป้องกันอย่างไรบ้างในระบบไฟฟ้ากำลัง

คุณสมบัติที่ดีของระบบป้องกันมีด้วยกันหลายประการ แต่ในความเป็นจริงแล้วระบบป้องกันอาจมีคุณสมบัติไม่ครบถ้วน ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยหลาย ๆ อย่างภายในระบบเองที่ไม่สามารถได้ระบบที่สมบูรณ์ เพราะ บางครั้งการที่จะให้ได้คุณสมบัติที่ดีบางประการอาจทำให้คุณสมบัติทางด้านอื่นเลวลงด้วย ดังนั้น ในทางความเป็นจริง จึงต้องพิจารณาหลาย ๆด้านประกอบกัน แต่รวมความแล้วก็คือ ต้องให้ได้ ระบบป้องกันที่ดี และการลงทุนไม่สูงเกินความจำเป็น

อุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้ากำลัง ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ อุปกรณ์ตรวจจับ และอุปกรณ์ทำงาน อุปกรณ์ตรวจจับในที่นี้หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจว่ามีการเกิดลัดวงจร หรือ ฟอลต์ขึ้นในระบบหรือไม่ อุปกรณ์ตรวจจับดังกล่าวต้องสามารถแยกออกได้ว่าระบบไฟฟ้ากำลังนั้นทำงานในสภาวะปกติ หรือเกิดฟอลต์ขึ้น เมื่อแน่ใจว่าเกิดฟอลต์ขึ้น ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจจับก็ส่งสัญญาณไปให้อุปกรณ์ทำงานตัดส่วนที่มีปัญญาหาออกจากระบบ ในระบบจำหน่าย หรือระบบไฟฟ้าในบ้านอยู่อาศัย อุปกรณ์ตรวจจับ และอุปกรณ์ทำงานอาจอยู่ภายในตัวเดียวกัน เช่น ฟิวส์และเบรคเกอร์ขนาดเล็ก ที่อาศัยกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นสร้างความร้อนที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์ และเปิดวงจรออกเพื่อตัดจุดลัดวงจรออกจากระบบ แต่ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดแรงดันสูงอุปกรณ์ตรวจจับและอุปกรณ์ทำงาน มักเป็นอุปกรณ์แยกออกจากกัน และมีระบบการตรวจจับและการทำงานค่อนข้างยุ่งยากพอสมควร โดยอุปกรณ์ตรวจจับในที่นี้ได้แก่ รีเลย์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานที่ศักดาไฟฟ้าและ หรือ กระแสขนาดต่ำ ดังนั้นจึงมักใช้ร่วมกับ โพเทนเชียล ทรานฟอร์เมอร์ และเคอร์เร้นท์ทรานฟอร์เมอร์ อุปกรณ์ทำงานในระบบป้องกันที่เป็นตัวกำจัดหรือ แยกจุดลัดวงจรออกจากระบบไฟฟ้าได้แก่ เซอร์กิตเบรคเกอร์ ส่วนอุปกรณ์ที่มีทั้งอุปกรณ์ตรวจจับและอุปกรณ์ทำงานอยู่ภายในตัวเดียวกัน และใช้ในระบบจำหน่ายได้แก่ ฟิวส์

ในการตรวจจับว่าเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบหรือไม่นั้น จำเป็นต้องตรวจสอบที่ศักดาไฟฟ้ากระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์ บางระบบการตรวจจับอาจทำได้โดยการตรวจจับเพียงกระแสก็พอ ว่ามีกระแสลัดวงจรสูงหรือไม่ แต่บางระบบนั้นการตรวจจับกระแสอย่างเดียวไม่เพียงพอ เพราะกระแสลัดวงจรอาจมีค่าสูง แต่จุดลัดวงจรเกิดในส่วนอื่นของระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งต้องกำจัดส่วนระบบที่เกิดลัดวงจรเท่านั้นออกจากระบบใหญ่ ไม่ใช้ตัดส่วนของระบบที่ไม่มีจุดลัดวงจรออกไปด้วย ทำให้ผู้ใช้ไม่มีไฟใช้

2.4 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า(current transformer)

หม้อแปลงกระแสไฟฟ้ามีหน้าที่แปลงกระแสในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีค่าสูงให้มีค่าต่ำ ลงอยู่ในเกณฑ์ที่อุปกรณ์วัดแอมป์มิเตอร์ หรือ รีเลย์ สามารถวัดนำไปใช้งานได้ เนื่องจากหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระบบป้องกันมีไว้ใช้ตรวจจับกระแสลัดวงจรดังนั้นจึงต้องสามารถวัดกระแสลัดวงจรซึ่งมีค่าสูงด้วย โดยทั่วไปมักสามารถวัดกระแสได้สูงถึง 20 เท่าของอัตราปกติโดยยังอยู่ในย่านของความถูกต้องแม่นยำที่ยอมรับได้ แต่ทั้งนี้ก็ต้องขึ้นอยู่กับการใช้งานที่ถูกต้องด้วย นั่นคือใช้งานให้อยู่ในเบอร์เดนของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าด้วย (เบอร์เดน หมายถึง โหลดของหม้อแปลงที่มีค่าสูงสุด ซึ่งเป็นขีดจำกัดการทำงานที่แม่นยำของหม้อแปลง โดยอาจบอกอยู่ในรูปกระแส กำลังไฟฟ้า หรือ อิมพีแดนซ์)

โดยทั่วไปมาตรฐานกระแสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสคือ 5 A และอัตราส่วนของกระแสที่ใช้งานทั่วไปได้แก่ 1200, 800, 600, 400, 200, 100, 50 : 5 A

ความผิดพลาดในการวัดของ CT มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อกระแสเพิ่มมากกว่าปกติ และถ้าโหลดอิมพีแดนท์ของหม้อแปลงกระแสมีค่ามาก ความผิดพลาดในการวัดก็จะมากขึ้นปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
034831

หม้อแปลงกระแสทางด้านทุติยภูมิควรลัดวงจร หรืออิมพีแดนซ์ทางด้านทุติยภูมิควรเข้าใกล้ศูนย์ แต่แม้ทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าถูกลัดวงจรความผิดพลาดของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าก็ยังเกิดทั้งนี้เนื่องจาก ลีคเกจ รีแอคแตนท์ ภายในหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าเอง

โดยทั่วไปหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า มี 2 ระบบ คือ

คลาส H (ลีคเกจ รีแอคแตนท์สูง, หม้อแปลงแบบขดลวด)

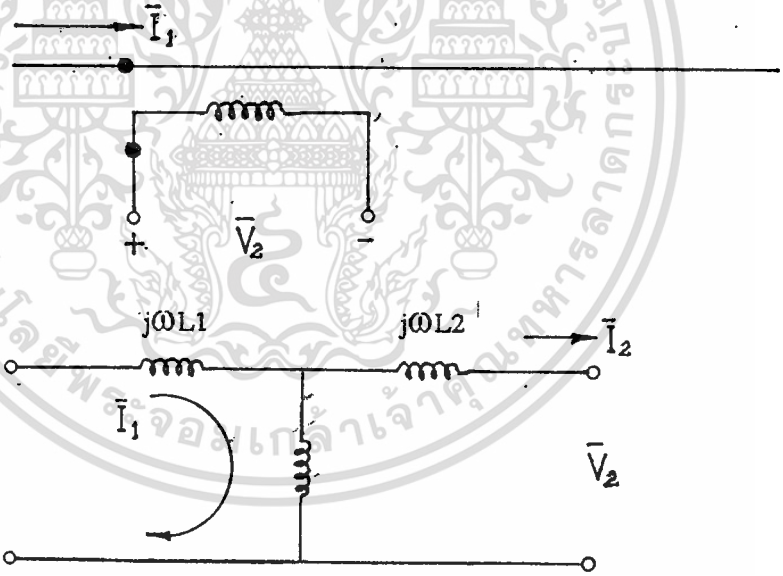
คลาส L (ลีคเกจ รีแอคแตนท์ต่ำ, หม้อแปลงแบบบุชชิ่ง)

และความแม่นยำในการวัดหม้อแปลงมี 2 แบบ คือ 2.5% และ 10% คลาส

เนื่องจาก CT ธรรมดามีความผิดพลาดในการวัดสูง เมื่อโหลดทางทุติยภูมิของหม้อแปลงมีค่าสูงดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่เรียกว่า ลิเนียร์คัปเปอร์ขึ้น ซึ่งก็คือหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า แบบแกนอากาศ ให้ค่าศักดาไฟฟ้าทุติยภูมิเป็นอัตราส่วน โดยตรงกับกระแสทางด้านปฐมภูมิ อุปกรณ์ดังกล่าวมีข้อดีคือ ไม่มีปัญหาเนื่องจากการอิ่มตัวในแกนเหล็กของหม้อแปลง อิมพีแดนซ์ที่มองเข้าไปทางทุติยภูมิของหม้อแปลงมีค่าเป็นจำนวนเท่าของ 5 โอห์ม และใช้งานกับโหลดขนาด 50 โอห์ม หรือมากกว่า

ก)

ข)



รูปที่ 2.8 ลิเนียร์คัปเปอร์ ก) สัญลักษณ์ ข) วงจรสมมูลย์

2.5 รีเลย์ (relay)

รีเลย์เป็นอุปกรณ์หลักในการป้องกันระบบ เพราะเป็นอุปกรณ์ที่ตัดสินว่าจะสั่งงานให้เบรคเกอร์เปิดวงจรออกหรือไม่ รีเลย์รับสัญญาณจากหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า หรือโพเทนเชียล ทรานฟอร์เมอร์ เพื่อมาพิจารณาว่าสัญญาณที่รับเข้ามานั้นอยู่ในเกณฑ์ปกติหรือไม่ ถ้าหากสัญญาณที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้รับมาไม่ปกติ เช่นกระแสสูงมากกว่าปกติ ก็อาจสั่งให้เบรคเกอร์เปิดวงจรออก การทำงานของรีเลย์เพื่อสั่งให้เบรคเกอร์เปิดวงจรออกจากทำงานโดยใช้รีเลย์ชุดเดียว หรือทำงานร่วมกับรีเลย์อื่น ๆ เป็นชุด รีเลย์เปรียบเหมือนสมองคน โดยหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า และโพเทนเชียลทรานฟอร์เมอร์เปรียบเหมือนตาที่คอยรับสั่งภายนอกเข้ามาและเบรคเกอร์เปรียบเหมือนแขนขา การทำงานของระบบป้องกันจะถูกต้องแม่นยำเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ชนิดและกลุ่มของรีเลย์ในการป้องกันรวมทั้งวิธีตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ด้วย

การทำงานของรีเลย์เพื่อป้องกันอุปกรณ์ใดอุปกรณ์หนึ่งในระบบต้องทำงานสัมพันธ์กับรีเลย์กลุ่มอื่นที่ป้องกันอุปกรณ์อื่นด้วยในบางครั้งเพื่อให้ระบบป้องกันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง

2.6 คุณสมบัติที่ดีของรีเลย์

2.6.1 ความเชื่อถือได้ (reliability) หมายถึง รีเลย์ต้องสามารถทำงานได้เมื่อต้องการ หรือเมื่อได้รับสัญญาณว่าระบบผิดปกติ และสามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลานานเป็นปี ๆ การทำงานผิดพลาดของรีเลย์เพียงชุดเดียวในระบบไฟฟ้ากำลังทำให้เกิดผลเสียแก่ระบบนับเป็นเงินมูลค่ามหาศาล

2.6.2 ความสามารถในการเลือกการทำงาน (selectivity) หมายถึง รีเลย์ต้องสามารถทำงานได้ถูกต้องเช่น ไม่สมควรทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนโหลดอย่างทันทีทันใด หรือมีทรานเชี้ยนเกิดขึ้นในระบบ

2.6.3 ความไว (sensitivity) หมายถึง รีเลย์ต้องไม่ทำงานผิดพลาด แม้จะอยู่ช่วงเขตสิ้นสุดการทำงานของรีเลย์

2.6.4 ความเร็ว (speed) หมายถึง รีเลย์ต้องมีความเร็วในการทำงานเมื่อต้องการในกรณีที่มีเวลาล้ำ-หลังก็สมควรทำงานในเวลาที่กำหนด หรือตั้งไว้อย่างแม่นยำ

2.6.5 ความฉับพลัน (instancy) หมายถึง การทำงานของรีเลย์ที่ไม่มีเวลาล้ำหลัง

รีเลย์อาจแยกออกได้หลายอย่างแล้วแต่ละประเภทของการแยก เช่นแยกเป็นประเภทการทำงาน โครงสร้าง หรือ การนำไปใช้งาน ถ้าหากแยกชนิดรีเลย์ตามโครงสร้างก็จะแยกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ ชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า และชนิดโซลิดสเตท รีเลย์ชนิดแม่เหล็กไฟฟ้าทำงานได้เนื่องจากแรงที่เกิดจากแม่เหล็กไฟฟ้าไปผลักดันให้คอนแทคปิดหรือ เปิดวงจรออก รีเลย์ชนิดโซลิดสเตททำงานได้ โดยไม่ต้องมีส่วนหนึ่งส่วนใดเคลื่อนไหวยกเว้นตัวเอ้าท์พุท คอนแทค เหมือนอย่างในชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า แต่เปลี่ยนสภาพของอุปกรณ์โซลิดสเตทให้อยู่ในสถานะนำไฟฟ้า หรือไม่นำไฟฟ้า ซึ่งก็คือการเปิด และปิดวงจรนั่งเอง รีเลย์ถูกพัฒนาเริ่มแรกมาจากชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า และใช้งานมาถึงปัจจุบัน การบำรุงพัฒนาออกมา และประกอบด้วยชิ้นส่วนอีเลคทรอนิคส์ซึ่งมีการทำงานที่รวดเร็ว และเชื่อถือได้มากกว่าแบบแม่เหล็กไฟฟ้า

ในโรงงานอุตสาหกรรม โอเวอร์เคอร์เรนท์ รีเลย์ที่มีใช้กันมากคือ รีเลย์อีเลคโตรแมคคานิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดดูดและชนิดเหนี่ยวนำส่วนรีเลย์ชนิดสเตติคเริ่มมีใช้กันมากขึ้นโดยทั่วๆไปโอเวอร์เคอร์เร้นท์ สเตติครีเลย์ ออกแบบให้มีคุณสมบัติมาตรฐานเดียวกับ อีเลคโตรแมคคานิค รีเลย์ ทุกอย่าง ต่างกันที่สเตติคมีรีเซทเวลาเร็วไม่มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเคลื่อนที่เหมือนการหมุนของจานที่หยุดทันทีไม่ได้ และกินไฟน้อยกว่า (เบอร์เดนต่ำกว่า) นอกจากนี้สเตติครีเลย์ มีความหลากหลายให้เลือก และพัฒนาขึ้นตามเทคโนโลยีสมัยใหม่

ความคิดที่ใช้อีเลคทรอนิคส์ในรีเลย์ได้มีมานานแล้ว แต่พึ่งจะพัฒนาอย่างจริงจังเมื่อประมาณ 15 ปี มานี้เองทั้งนี้ก็เป็นเพราะปัญหาหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัญหาทางชิ้นส่วนอีเลคทรอนิคส์ที่ทนอุณหภูมิสูง เช่นซิลิคอน และมีเสถียรภาพดีก็เพิ่งจะมีแพร่หลาย ปัญหาอีกอันหนึ่งที่สำคัญ คือ ปัญหาทางด้านทรานเซี้ยนโอเวอร์โวลท์เตจที่สามารถทำให้ส่วนประกอบของสเตติคเสียหายได้ ปัญหานี้ก็ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากทั้งจากผู้ใช้ และผู้ผลิตสเตติครีเลย์ซึ่งได้ร่วมกันศึกษาข้อมูลของโอเวอร์โวลท์เตจที่เกิดขึ้นและวิธีแก้ไข ปัจจุบันได้มีมาตรฐาน และคำแนะนำต่าง ๆ จากสถาบันนานาชาติ และ ชาติต่าง ๆ IEC, ANSI และ SEN เกี่ยวข้องกับการทดสอบสเตติครีเลย์ และการใช้งานในโรงไฟฟ้า และสถานีย่อย

ตัวอย่างมาตรฐานของ SEN ซึ่งเป็นมาตรฐานของสวีเดนมีข้อบังคับที่รัดกุมกว่ามาตรฐานอื่นๆ และมีกฎให้ทดสอบสเตติครีเลย์ดังนี้

- อิมพัลส์ เทสต์ 5kv 1.2/50 μs
- ดิสเทอร์บรานท์ เทสต์ ประกอบด้วย แรงดันออสซิลเลทแดมปิ้ 1 MHz , ขนาดคอมมอนโหมด 2.5 Kv , ขนาดทรานเวอสโหมด 1.0 Kv , ไฟฟ้าความถี่สูงที่กำเนิดโดยการตัดวงจรของขดลวดแม่เหล็กมีขนาด 4-8 Kv , 500 v 50 Hz
- การตัดวงจรไฟฟ้าช่วยชั่วคราว

ใน SEN ยังมีการอธิบายถึงที่มาของทรานเซี้ยนโอเวอร์โวลท์เตจ ซึ่งอาจสรุปได้ ดังต่อไปนี้

- การเกิดลัดวงจรลงดิน
- การเกิดฟ้าผ่าที่ หรือใกล้สถานีไฟฟ้า
- การตัดและต่อวงจรของระบบไฟฟ้าแรงสูง
- การตัดวงจรของขดลวดแม่เหล็ก

นอกจากนี้ยังมีคำแนะนำให้ใช้สายเคเบิลหุ้มทองแดง หรืออลูมิเนียมสำหรับสัญญาณไฟฟ้าเพื่อให้ลดทรานเซี้ยนโอเวอร์โวลท์เตจ การเดินสายให้ถูกต้อง การแยกสายเคเบิลสำหรับไฟฟ้ากำลัง และไฟฟ้าควบคุมเป็นต้น

สเตติครีเลย์จึงถูกออกแบบให้ทนทรานเซี้ยนโวลท์เตจเพิ่มขึ้นและจะต้องผ่านการตรวจสอบตามที่กล่าวมาแล้ว พร้อมกันนี้การเดินและใช้สายไฟก็ต้องถูกต้องดังนั้นทรานเซี้ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอเวอร์โวลท์เตจจึงไม่ทำให้เกิดปัญหาอีกต่อไป

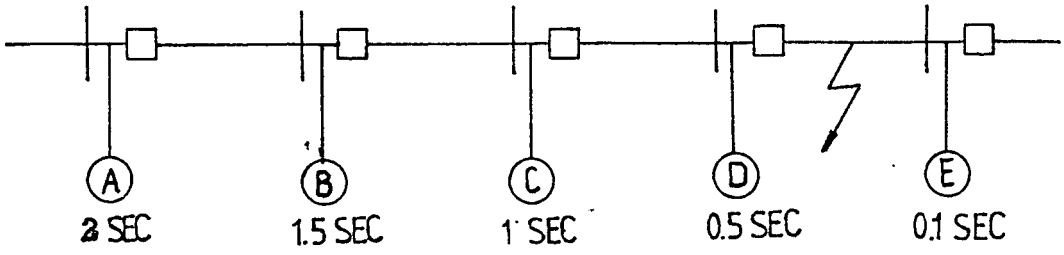
ปัญหาอีกอันหนึ่งก็คือ เมื่อเริ่มแรกผู้ผลิตพยายามทำสเตติครีเลย์ ให้มีคุณสมบัติในการทำงานเหมือนอีเลคโตรแมคานิครีเลย์ ง่าย ๆ ดังนั้น ราคาของสเตติครีเลย์ จึงแพงกว่า แต่สเตติครีเลย์ก็ให้คุณสมบัติและข้อดีมากกว่า เป็นต้นว่าความแน่นอนดีกว่า กินไฟน้อยกว่า (เบอร์เดนต่ำกว่า) ทำให้มีการประหยัดขนาดของเวลารีเซทหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าเร็วมากจึงโคออดิเนทกับรีเลย์อื่นได้ดี ดังนั้นสเตติครีเลย์แบบง่ายๆก็เริ่มแพร่หลายมากขึ้นแต่สเตติครีเลย์ที่เข้ามาแทนอีเลคโตรแมคคานิครีเลย์นั้นเป็นรีเลย์ที่มีระบบซับซ้อนเป็นต้นว่าสเตติคดิสแตนท์รีเลย์สามารถออกแบบได้ดีกว่าและสามารถทำให้มีคุณสมบัติที่ตรงกับความต้องการในการใช้งานมากกว่า

ข้อดีอย่างหนึ่งของสเตติครีเลย์ ก็คือสามารถทำให้มีขนาดเล็กได้ และสามารถประกอบขึ้นมาให้เป็นระบบใหญ่มากๆได้เป็นการทำให้ประหยัดในการติดตั้งและทดสอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความเจริญทางด้านคอมพิวเตอร์ และไมโครโปรเซสเซอร์มีมากขึ้นการใช้คอมพิวเตอร์รีเลย์จะเริ่มมีมากขึ้น เพราะข้อดีของการที่สามารถเปลี่ยนการเซท และคุณสมบัติได้ง่าย แต่การที่เอาหน้าที่ของรีเลย์หลายๆตัวเข้าไปในคอมพิวเตอร์ตัวเดียวนั้นคงจะไม่เป็นที่นิยมปฏิบัติแน่เพราะคอมพิวเตอร์จะไม่สามารถทำงานได้รวดเร็วเท่ารีเลย์เป็นตัวๆ แต่อย่างไรก็ตามเป็นที่คาดหมายว่าสเตติครีเลย์จะนำส่วนประกอบจากไมโครโปรเซสเซอร์ หรือคอมพิวเตอร์ เข้ามาใช้มากขึ้น หน้าที่อื่นๆ ของรีเลย์รวมทั้งการตรวจสอบ และออโตเมติคต่างๆ รวมทั้งหน้าที่อื่นในสถานีไฟฟ้าก็คงจะถูกนำมารวมอยู่ในระบบที่มีคอมพิวเตอร์ หรือไมโครโปรเซสเซอร์นี้เป็นอุปกรณ์สำคัญ

2.7 การป้องกันด้วยรีเลย์กระแสเกิน

รีเลย์ป้องกันกระแสเกินใช้กันมากในระบบจำหน่าย และระบบสายส่ง นอกจากนี้ยังใช้สำหรับป้องกันเครื่องกำเนิด, หม้อแปลง, สายป้อนพิจารณารูปที่ 2.9 ซึ่งเป็นระบบจำหน่าย เวลาในการทำงานของรีเลย์ได้แสดงไว้ดังในรูป และการจัดเวลาให้เหลื่อมกันก็เพื่อให้รีเลย์ตัดเฉพาะส่วนของสายที่มีปัญหาออกจากระบบเท่านั้น โดยไม่รบกวนส่วนอื่นๆ ของระบบ เวลาที่เหลื่อมล้ำกันต้องมากกว่าเวลาทำงานของเบรคเกอร์มิฉะนั้นแล้วจะทำให้รีเลย์ในส่วนอื่นของระบบทำงานผิดพลาดได้ เช่น สมมุติจุดลัดวงจรเกิดในสายระหว่าง D กับ E รีเลย์ D ใช้เวลา 0.6 วินาที ก่อนที่จะสั่งให้เบรคเกอร์เปิดวงจรออก และถ้าหากเบรคเกอร์ที่ D ใช้เวลาในการเปิดวงจรนานกว่า 0.5 วินาทีเวลาดังกล่าวเกินกว่าเวลาที่รีเลย์ C ทำงานทำให้เบรคเกอร์ที่ C ทำงานด้วย ดังนั้นความแตกต่างของเวลาของรีเลย์ที่อยู่ใกล้กันควรมีค่าควรมีค่ามากกว่าเวลาการทำงานของเบรคเกอร์ สำหรับเวลาการทำงานของรีเลย์มีค่าเปลี่ยนแปรไปตามขนาดของกระแสลัดวงจรด้วยดังนั้นการทำงานให้สัมพันธ์กันของเบรคเกอร์ A, B, C, D, E จึงต้องพิจารณาที่กระแสลัดวงจรขนาดต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการใช้รีเลย์กระแสเกินป้องกันสาย

เพราะถ้ากระแสยิ่งสูงมากขึ้นเวลาการทำงานของรีเลย์ก็ใช้น้อยลงด้วย ทำให้การจัดเวลาร่วมกันของรีเลย์ต่างๆเพื่อป้องกันสายทำให้ลำบากขึ้น และอาจทำให้เวลาทำงานของรีเลย์ที่ต้นทางต้องตั้งสูงมาก

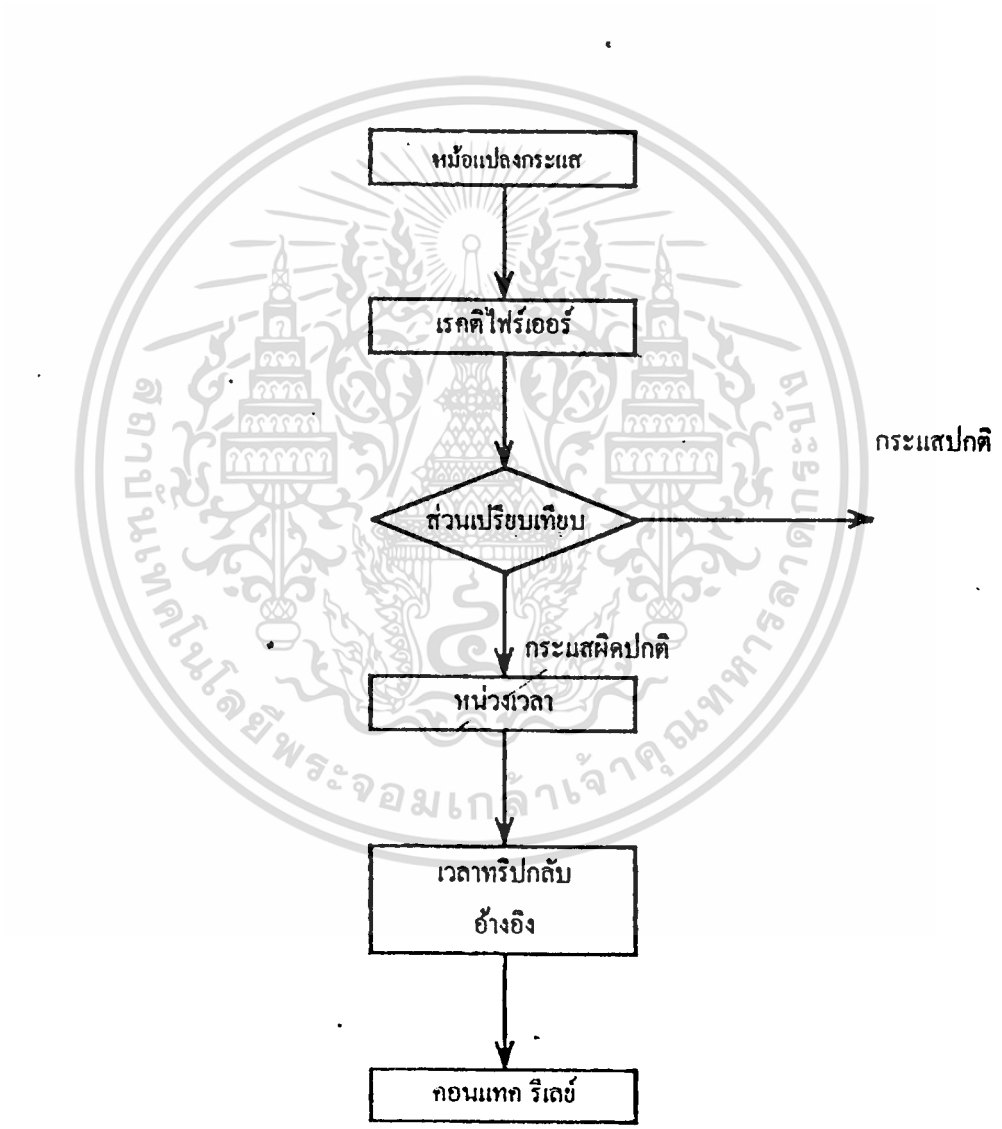
การป้องกันการลัดวงจรในกรณีที่มีเครื่องกำเนิดมากกว่าหนึ่งแห่ง ถ้าใช้รีเลย์กระแสเกินป้องกันแต่อย่างเดียวไม่เพียงพอ เช่นระบบจำหน่ายแบบลูปจะต้องมีการนำรีเลย์ทิศทางมาทำงานร่วมกันด้วย เพื่อให้การตัดส่วนที่ผิดปกติของวงจรเป็นไปอย่างถูกต้อง ตามคุณสมบัติที่ดีและเนื่องจากการใช้รีเลย์กระแสเกินมีขีดจำกัดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว คือจำเป็นต้องจัดเวลาการเปิดวงจรไปขึ้นอยู่กับรีเลย์กระแสเกินอื่นๆ ในระบบ และบางครั้งรีเลย์กระแสเกินที่อยู่ใกล้แหล่งจ่ายไฟจึงต้องตั้งเวลาการเปิดวงจรสูงมากเกินไป ดังนั้นในระบบไฟฟ้าที่มีการต่อของสายที่ยุ่งยาก รีเลย์กระแสเกินอย่างเดียวไม่เหมาะสม รีเลย์ที่นำมาใช้ในการป้องกันสายส่งได้แก่ ดิสแตนท์รีเลย์โดยรีเลย์ประเภทนี้วัดตำแหน่งที่เกิดลัดวงจรของสาย โดยวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายระหว่างเกิดลัดวงจรนั่นเอง และอิมพีแดนซ์มีค่าสูงตามระยะทางที่ห่างจากรีเลย์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีโครงงาน

2.8 โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ (overcurrent relay)

ในส่วนของการออกแบบโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ นั้นใช้ข้อมูลส่วนใหญ่จากคุณสมบัติของรีเลย์ที่ได้ทำการตกลงไว้ และจากการออกแบบไว้ของโครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลองเดิม โดยได้จำลองขึ้นตอนการทำงานต่างๆด้วยโฟร์ชาร์ทดังรูปที่ 2.10 และโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.10 โฟร์ชาร์ทแสดงการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 แสดงวงจรโอเวอร์เดอร์เร้นท์ รีเลย์ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 1 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (current transformer) เป็นส่วนของการเซ็นเซอร์รับค่าของกระแสในสายส่งเข้ามาในชุดรีเลย์

ส่วนที่ 2 i to v คอนเวอร์เตอร์ (i to v convertor) เมื่อหม้อแปลงกระแสแปลงค่ากระแสในสายส่งลงมาอยู่ในระดับจะใช้สำหรับรีเลย์แล้วก็จะถูกแปลงสัญญาณจากกระแสเป็นแรงดัน โดยวงจรในส่วนที่ 2 และผ่านส่วนกรองสัญญาณความถี่สูงซึ่งป้องกันสัญญาณสไปท์ไม่ให้ผ่านเข้าไปภายในรีเลย์

ส่วนที่ 3 เรคติไฟร์เออร์ (rectifier) สัญญาณแรงดันไฟสลับที่ได้มาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูป กระแส-ตรงที่ได้ในส่วนที่ 3 นี้ก็จะเป็นสัญญาณที่นำไปใช้วิเคราะห์ในส่วนต่อไป

ส่วนที่ 4 ส่วนเปรียบเทียบ (comparator) สัญญาณแรงดันไฟกระแสตรงที่ได้จากส่วน 3 จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟกระแสตรงอ้างอิง ซึ่งสามารถปรับตั้งได้เพื่อใช้ในการตัดสินว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่

ส่วนที่ 5 หน่วงเวลา (delay time) เมื่อส่วนเปรียบเทียบแสดงว่ามีความผิดปกติของกระแสในสายของระบบแล้วจะส่งเอ้าท์พุทออกมามีค่าประมาณ +VCC สัญญาณนี้จะถูกนำมาหน่วงการเปลี่ยน-แปลงของสัญญาณ +VCC ด้วยวงจร RC เพื่อใช้ประโยชน์ในการโคออร์ดิเนตกับรีเลย์ชุดอื่นในระบบ ซึ่งสามารถปรับตั้งเวลาได้ที่ตัวต้านทาน

ส่วนที่ 6 เวลาทริปกลับอ้างอิง (reference inverse time trip) เมื่อมีความผิดปกติของกระแสขึ้น ในระบบโดยการตัดสินใจของส่วนที่ 5 โอเวอร์เดอร์เร้นท์ รีเลย์ จะต้องมีการสั่งทริปเซอร์กิต-เบรคเกอร์โดยเวลาที่จะใช้ในการสั่งทริปจะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของกระแสที่ผิดปกติ โดยเวลาดังกล่าวจะต้องสามารถปรับตั้งได้ ซึ่งได้แสดงไว้ในส่วนที่ 6

ส่วนที่ 7 ซับแทรคติ้ง (subtracting)สัญญาณอ้างอิงที่ปรับตั้งในส่วนที่ 6 จะนำมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างกับสัญญาณแรงดันไฟกระแสตรงจากส่วนที่ 3 โดยค่าความแตกต่างที่ได้นั้นจะนำไปเป็นค่าในการกำหนดช่วงเวลาในการสั่งทริปของรีเลย์ ซึ่งกระทำโดยส่วนที่ 8

ส่วนที่ 8 ส่วนเปรียบเทียบ (comparator) สัญญาณที่ได้จากส่วนที่ 7 นั้น เราจะเห็นว่ามีขนาดเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของกระแสที่ผิดปกติด้วยระดับสัญญาณในส่วนที่ 7 สามารถปรับตั้งได้โดยส่วนที่ 6 เมื่อนำสัญญาณจากส่วนที่ 7 มาเปรียบเทียบกับสัญญาณส่วนที่ 5 โดยส่วนเปรียบเทียบจะได้สัญญาณเอ้าท์พุทของรีเลย์ที่ใช้ในการสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ โดยจะสั่งทริปเมื่อแรงดันเอ้าท์พุทส่วนที่ 5 มากกว่าส่วนที่ 7 ซึ่งเวลาที่สั่งทริปนี้จะเป็นช่วงเวลาที่ถูกต้องเหมาะสมแล้ว เพราะได้มีการพิจารณาช่วงเวลาการโคออร์ดิเนต และเวลาทริปกลับแล้วจากส่วนที่ 5 และ 7 ตามลำดับ

ส่วนที่ 9โมโนสเตเบิ้ล มัลติไวเบร์เตอร์ (monostable multivibrator) สัญญาณที่สั่งทริปจากรีเลย์ นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจจะทำให้การทำงานเปิดวงจรออกของเซอร์กิตเบรคเกอร์ผิดพลาดได้เนื่องจากช่วงสัญญาณสั่งทริปที่ส่งไปอาจจะมีช่วงเวลาที่สั้นเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ไม่มีช่วงเวลาอยู่ที่ช่วงเวลาดงที่ค่าหนึ่งเพื่อป้องกันความผิดพลาดดังกล่าว ซึ่งเรียกส่วนนี้ว่าส่วนหน่วงเวลาปิดกลับ โดยจะอาศัยการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิ้ล มัลติไวเบร์เตอร์เป็นตัวสร้างสัญญาณ

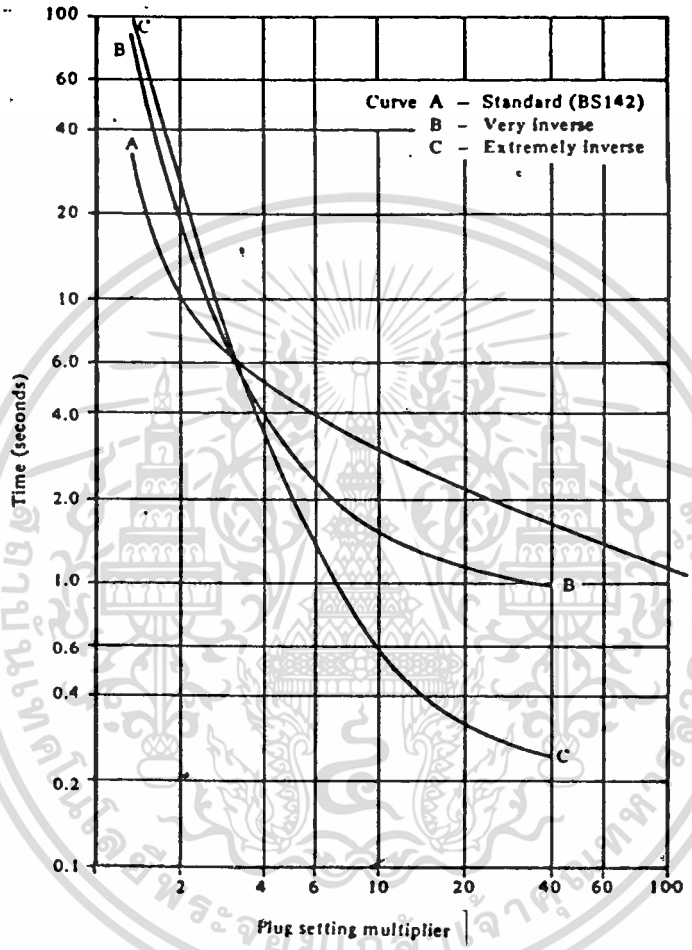
ส่วนที่ 10 คอนแทครีเลย์ (contact of relay) สัญญาณพัลส์ที่ได้จากส่วนที่ 9 จะถูกส่งมาที่ส่วนของคอนแทครีเลย์ซึ่งเป็นแมคเนติคสวิทช์เป็นส่วนที่ต่ออนุกรมอยู่กับคอยล์ของ แมคเนติค -คอนแทคเตอร์ เนื่องจากในโครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3 ได้มีข้อตกลงในการใช้แมคเนติค คอนแทคเตอร์ จำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ซึ่งเปิด-ปิดวงจรโดยใช้สัญญาณไฟฟ้าในการควบคุมการทำงาน ดังนั้นคอนแทค NC ของรีเลย์จึงถูกต่อในลักษณะอนุกรมกับคอยล์ของแมคเนติคเพื่อใช้ในการเปิดวงจรของแมคเนติค คอนแทคเตอร์ โดยสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.11 ซึ่งเป็นวงจรทางควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 วิธีการเลือกเซ็ทค่าของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์

อุปกรณ์ที่ออกแบบให้ทำงานในลักษณะ INVERSE CHARACTERISTIC โดยมีความน่าเชื่อถือสูงกว่าและมีขอบเขตของการเซ็ทค่าที่กว้างกว่าและสามารถประสานการทำงานกันในระบบได้ดีกว่าอุปกรณ์อื่นก็คือรีเลย์ ในรูปที่ 2.12 แสดงกราฟคุณลักษณะของเวลา กับ ปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพร์เออร์



รูปที่ 2.12 แสดงกราฟคุณลักษณะของเวลากับปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพร์เออร์

โดยในแนวนอนของกราฟรูปที่ค่าของปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพเออร์จะเท่ากับกระแสทางปฐมภูมิหารด้วยกระแสเซ็ททางปฐมภูมิ หลักการทั่วไปในการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ที่ทำงานในช่วงเวลาที่แน่นอนโดยพิจารณาว่าเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่จุดใดๆในระบบรีเลย์ซึ่งอยู่ใกล้กับจุดฟอลต์โดยที่ในช่วงห่างของเวลาในการทำงานของรีเลย์ที่อยู่ติดกันประมาณ 0.4 ถึง 0.5 วินาที

ในการใช้งานของรีเลย์นั้น เพื่อที่จะให้รีเลย์ได้ทำงานอย่างถูกต้องแล้วสิ่งที่สำคัญผู้ใช้ควรจะรู้ก็คือค่าของกระแสฟอลต์ที่จะไหลในส่วนที่มีการใช้รีเลย์ ถ้าในระบบขนาดใหญ่นั้นการทดสอบเพื่อหาค่าของกระแสฟอลต์ปกติจะไม่สามารถที่จะทำได้โดยกระแสฟอลต์ในทางปฏิบัติจะได้มาจากการคำนวณ ดังนั้นขั้นตอนแรกที่สำคัญก็คือการรวบรวมข้อมูลของระบบแล้วจึงทำการคำนวณค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกระแสฟอลต์สูงสุดและต่ำสุดสำหรับแต่ละช่วงของระบบที่จะใช้รีเลย์จะคำนวณได้จากค่าของกระแสฟอลต์สูงสุดเพื่อว่าเมื่อค่ากระแสต่ำลงมา , รีเลย์จะได้มีช่วงเวลาในการตัดสินใจมากขึ้น ซึ่งถ้าการตัดสินใจของรีเลย์ที่ค่ากระแสสูงสุดมีความถูกต้องแล้วการตัดสินใจที่ค่ากระแสต่ำลงมาก็จะมีความถูกต้องด้วย (ในการจัดช่วงเวลาการทำงานของรีเลย์จะต้องจัดให้รีเลย์ที่อยู่ใกล้ที่สุดมีเวลาในการทำงานน้อยที่สุดและจะมากขึ้นตามลำดับของรีเลย์ที่อยู่ถัดมาทางแหล่งจ่าย)

ค่ากระแสฟอลต์ต่ำสุด (ค่ากระแสลัดวงจรในกรณีที่มีจำนวนของโรงจักรที่จะจ่ายพลังงานน้อยที่สุด หรือมีวงจรต่อเข้ากับระบบน้อยที่สุด) จะทำการคำนวณเพื่อที่จะใช้ค่าที่ได้ตรวจสอบค่าของกระแสที่เซ็ทไว้ให้แน่ใจว่ามีค่าถูกต้องหรือไม่

2.9.1 การวิเคราะห์ระบบ

ข้อมูลที่ต้องการรู้สำหรับการวิเคราะห์ระบบอาจจะหมายถึงค่าเหล่านี้ทั้งหมดหรือบางส่วน

-ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งแสดงชนิดของอุปกรณ์ป้องกันทั้งหมดและอัตราส่วนกระแสของหม้อแปลงกระแส

-อิมพีแดนซ์ในหน่วยโอห์ม, เปอร์เซนต์หรือเปอร์ยูนิต ของหม้อแปลงในระบบทั้งหมด, เครื่องกลไฟฟ้า (มอเตอร์, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า) , และวงจรสายป้อน. โดยในทางปฏิบัติจะใช้ค่าของทรานเซี้ยนรีแอคแตนซ์ และค่ากระแสแบบสมมาตร

-ค่าของกระแสขนาดเริ่มสตาร์ทของมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ และช่วงเวลาในการเริ่มต้นเดินและหยุดของมอเตอร์ไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ

-ค่าของกระแสโหลดสูงสุดที่คาดหวังว่าจะไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกัน โดยคำว่าค่ากระแสสูงสุดนี้หมายรวมถึงช่วงเวลาสั้น ๆ ในการโอเวอร์โหลด เนื่องจากการเริ่มเดินของมอเตอร์หรือกรณีอื่นๆ โดยไม่ได้หมายถึง ค่าสูงสุดของรูปคลื่นกระแส

-Decrement Curve ซึ่งแสดงถึงอัตราการลดลงของกระแสฟอลต์ที่จ่ายโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

-Excitation Curve ของหม้อแปลงกระแสและรายละเอียดของค่าความต้านทานของขดลวดด้านทุติยภูมิและค่าอิมพีแดนซ์ที่ต่อเข้าทางทุติยภูมิ (Burden)

โดยข้อมูลดังกล่าวขั้นต้นทั้งหมดอาจจะไม่จำเป็นต้องใช้ในทุก ๆ กรณี ซึ่งขึ้นอยู่กับดุลย์พินิจว่าข้อมูลจะอยู่ในประเด็นที่จะพิจารณา ดังนั้นเมื่อได้ข้อมูลที่ต้องการแล้วจะเป็นการคำนวณค่ากระแสฟอลต์สูงสุด และฟอลต์กระแสต่ำสุดที่คาดหวังว่าจะไหลผ่านอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกัน, โดยวิธีการคำนวณแบบลัดวงจรทั้ง 3เฟส สำหรับกรณีเฟสฟอลต์ก็จะเพียงพอแล้วและสามารถจะทำได้ง่ายกว่าแบบอื่นด้วย

ส่วนในการพิจารณากรณีลัดวงจรลงดินก็จะต้องมีการพิจารณาด้วยและจะมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณา ถ้าระบบเป็นระบบที่สายดินต่อผ่านลิมิตอิมพีแดนซ์, และในกรณีถ้าอัตราส่วน

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกระแสเฟสฟอลต์ต่อโอเวอร์เดอร์เร้นท์ เซ็ทติ้ง มีค่าไม่มาก

2.9.2 .การแบ่งขั้นในการเซ็ทค่าการทำงานของรีเลย์

หลักการทำมีความแน่นอนซึ่งจะนำมาใช้ในการออกแบบ การแบ่งขั้นตอนของการเซ็ทค่าการทำงานของระบบป้องกัน คือ

-การลำดับของการแบ่งขั้นการเซ็ทค่าใดๆจะใช้รีเลย์ที่มีคุณลักษณะการทำงานที่เหมือนกันทุกๆจุด โดยในทางปฏิบัติไม่สามารถทำตามข้อความดังกล่าวได้ การเซ็ทค่าการทำงานจะต้องให้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ เพื่อให้แน่ใจว่าระบบป้องกันจะยังคงสามารถแยกและตัดสินใจในสภาวะต่างๆได้อย่างถูกต้องที่ทุกๆค่าของกระแส

-เลือกค่าของเดอร์เร้นท์-เซ็ทติ้งของรีเลย์ทุกๆตัว ซึ่งการเลือกค่านี้จะมีช่วงให้พิจารณาที่กว้างมาก โดยจะต้องคำนึงถึงค่ากระแสโหลดที่สูงสุดและการโอเวอร์โหลดในช่วงเวลาสั้น ๆ ด้วย (เช่นกระแสในการเริ่มเดินของมอเตอร์ขนาดใหญ่)

การเซ็ทค่ากระแสนั้นจะมีความสัมพันธ์กับค่าของกระแสของระบบ โดยที่รีเลย์ส่วนมากจะต่อเข้ากับระบบผ่านหม้อแปลงกระแส ซึ่งถ้ารีเลย์มีพิกัดของกระแสที่ 5 A และถ้าให้ค่าที่เซ็ทคือ 150 % เพราะฉะนั้นเดอร์เร้นท์-เซ็ทติ้งจะเท่ากับ 7.5 A , ถ้ารีเลย์ใช้หม้อแปลงกระแสที่มีอัตราส่วนเป็น 300/ 5 ดังนั้นจะมีค่าไพมารี่-เซ็ทติ้งเท่ากับ 7.5 x (300/ 5) = 450 A

ค่าของกระแสเซ็ททางปฐมภูมิควรจะมีการแบ่งชั้นเพื่อว่ารีเลย์ตัวที่ไกลจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากที่สุดจะมีค่าของการเซ็ทที่ต่ำที่สุด และมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆตามลำดับของรีเลย์ที่อยู่ถัดไปทางแหล่งจ่ายของกำลังไฟฟ้าซึ่งการแบ่งขั้นของการเซ็ทค่าดังกล่าวไม่เพียงแต่จะทำให้แน่ใจว่าความผิดพลาดของรีเลย์และหม้อแปลงกระแสจะไม่สร้างค่าของกระแสอยู่ในช่วงซึ่งยากต่อการที่รีเลย์จะตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง แต่มันจะมีการยอมให้สามารถต่อโหลดได้ระหว่างกลางของสถานีย่อย

-การคำนวณค่า grading.ของเวลาสำหรับระบบรีเลย์แบบอินเวอส-ไทม์เดอร์เร้นท์ ควรจะมีการคำนวณที่มีค่าของกระแสฟอลต์ที่สูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้สำหรับแต่ละสเตทเพื่อให้ช่วงเวลาที่ห่างกันของเวลาที่ใช้ในการทำงานของรีเลย์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่ากระแสมีค่าต่ำลง

-ค่าของช่วงเวลาที่ห่างกันของเวลาที่ใช้ในการทำงานของรีเลย์ที่ต้องการควรจะควบคุมช่วงเวลาของเหตุการณ์ดังนี้

- เซอร์กิตเบรคเกอร์. เคลียร์. เวลา
- รีเลย์โอเวอร์ชูท
- ค่าผิดพลาดของรีเลย์และหม้อแปลงกระแส
- ช่วงเวลาที่เผื่อให้สำหรับความแน่นอนของระยะคอนแทคที่ทำงานโดยการตัดสินใจของรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติค่าของช่วงเวลาทำงานที่ห่างกันสำหรับสวิทช์เกียร์ และรีเลย์ ในปัจจุบันมีค่าประมาณ 0.4 วินาที สำหรับในแบบเก่า ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์แบบที่มีความถูกต้องน้อยกว่าก็จะต้องการช่วงเวลาที่ทำงานห่างกัน ที่มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 การเซ็ทค่าการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ในการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

จากรูปที่ 1.2 ของบทที่ 1 หน้า 2 แสดงระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่จะใช้โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ในการป้องกันความเสียหายเนื่องจากความผิดปกติของกระแสในระบบ

<u>สายส่งระยะสั้น</u>

-ระบบจริง : 100 MVA 230 Kv 26.766 Km .

GMD = 924.114 cm CABLE PHEASANT

R (จริง) = 1.295474 L (จริง) = 34.689174 mH

-ระบบจำลอง : 1500 VA 415 v

R (จำลอง) = 0.281176 L (จำลอง) = 7.529103 mH

<u>สายส่งระยะปานกลาง</u>

-ระบบจริง : 100 MVA 500 Kv 207.192 Km

GMD = 1768.93 cm CABLE CONDOR

-ระบบจำลอง : 1500 VA 415 v

π NETWORK ค่าต่างๆแสดงในตารางที่ 2.1

	Real	Simulator	เปลี่ยน C Simulator
R	16.098818 Ω	0.739365 Ω	0.720878 Ω
L	305.122738 mH	14.013270 mH	13.662879 mH
C/2	0.806009 μF	17.549924 μF	18.0000 μF

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าต่างๆของระบบ π NETWORK

T NETWORK ค่าต่างๆแสดงในตารางที่ 2.2

	Real	Simulator	เปลี่ยน C Simulator
R/2	8.049409 Ω	0.369683 Ω	0.360439 Ω
L/2	152.561367 mH	7.000635 mH	6.831440 mH
C	1.612019 μF	35.099843 μF	36.00000 μF

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าต่างๆของระบบ T NETWORK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ป้องกันด้วยรีเลย์เป็นระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง ดังนั้นการหาค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดอาจหาได้จากการทดสอบเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง ซึ่งจะทำให้การเซ็ทค่าการทำงานของรีเลย์ถูกต้องยิ่งขึ้น แต่ในตัวอย่างการเซ็ทค่าการทำงานของรีเลย์นี้จะใช้การสมมติค่ากระแสลัดวงจรขึ้นมา โดยค่าดังกล่าวจะใช้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ แต่จะไม่เกินค่าที่ได้ เพื่อที่จะแสดงวิธีการเซ็ทค่าการทำงานของรีเลย์ ให้รีเลย์สามารถทำงานร่วมกันได้แต่เพียงเท่านั้น

การจัดประสานงานในการทำงานของระบบรีเลย์ที่จะใช้นั้นก็เพื่อที่จะให้โอเวอร์เคอร์เร้นท์รีเลย์ตัวที่อยู่ใกล้ฟอลต์ที่สุดสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปลดวงจรออก โดยใช้เวลาต่ำสุดเท่าที่จะเป็นได้ จากตารางที่ 2.3 ข้างล่างสังเกตุว่าค่ากระแสฟอลต์ และกระแสโหลดทางด้านเซอร์กิตเบรคเกอร์ B และ C อ้างถึงกระแสฟอลต์ และกระแสโหลดทางด้านระบบแรงดันต่ำ

Location	Fault current (A) (มองจาก Generator)	Max section load (A)	CT Ratio	Relay setting Primary amp
C.B. A	9	3.7	640/5	4
C.B. B	8.64	3.7	320/5	4
C.B. C	8.13	3.7	320/5	4
C.B. D	7.8	3.7	640/5	4

ตารางที่ 2.3 แสดงค่ากระแสลัดวงจรที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในระบบนี้

เราจะเริ่มการคำนวณการเซ็ทค่าการทำงานของรีเลย์ ซึ่งอยู่ห่างจากแหล่งจ่ายมากที่สุด ในที่นี้คือรีเลย์ตำแหน่ง D เมื่อเกิดลัดวงจรที่จุด D จากตาราง 2.3 ค่ากระแสลัดวงจรที่ตำแหน่งใกล้กับจุด D คือ 7.8 A ซึ่งจะตรงกับค่าปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพร์เออร์ (p.s.m) เท่ากับ 7.8/4 = 1.95 จากกราฟคุณลักษณะการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ แบบ B รูปที่ 4.2 หน้า 62 จะได้เวลาที่ใช้ในการเคลียร์ฟอลต์สูงสุดเท่ากับ 7 วินาที จากสภาวะที่กำหนดขณะนี้ รีเลย์ D จะต้องใช้เวลาในการทำงานน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับรีเลย์ตัวอื่นๆ ดังนั้นเราจะเลือกค่า ไทม์-มัลติไพร์เออร์-เซ็ทติ้ง (t.m.s) = 0.1 ดังนั้นเวลาที่ใช้อย่างแท้จริงเท่ากับ 7x0.1 = 0.7 วินาที

ต่อมาเราจะพิจารณารีเลย์ตัวที่อยู่ถัดมา คือรีเลย์ตำแหน่ง C ซึ่งจะรับสัญญาณเนื่องจากกระแสลัดวงจรผ่านทางหม้อแปลงกระแสด้วย และจะต้องสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่จุด C ทำงานในกรณีที่รีเลย์ที่จุด D ไม่ทำงาน โดยจะกำหนดให้เวลาที่รีเลย์ C ใช้ในการทำงานสูงกว่ารีเลย์ D เท่ากับ 1 วินาที ดังนั้นรีเลย์ที่ตำแหน่ง C จะมีเวลาในการทำงานเท่ากับ 1.7 วินาที โดยรีเลย์ C จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพร์เออร์ = 7.8/4 = 1.95 และจากกราฟค่าเวลาที่ใช้ในการทำงานสูงสุดเท่ากับ 7 วินาที ดังนั้นไทม์-มัลติไพร์เออร์-เซ็ทติ้ง = 1.7/7 = 0.2428

เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นใกล้กับจุด C จะมีกระแสลัดวงจรเท่ากับ 8.13 A ซึ่งจะได้ค่าปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพร์เออร์สำหรับรีเลย์ที่จุด C เท่ากับ 2.0325 จากกราฟคุณลักษณะจะได้เวลาที่ใช้ในการทำงานสูงสุดเท่ากับ 6.2 วินาที ดังนั้นจากการคำนวณข้างบนเรากำหนดค่า ไทม์-มัลติไพร์เออร์-เซ็ทติ้งของรีเลย์ C ไว้แล้วคือ 0.2428 เพราะฉะนั้นเวลาที่รีเลย์ C ใช้ในการทำงานที่แท้จริง = 0.2428x6.2 = 1.5 วินาที

ต่อมาเราจะพิจารณารีเลย์ B ถัดมา ซึ่งจะต้องมีการทำงานสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ตำแหน่ง D ปลดวงจรออกในกรณีรีเลย์ที่จุด C ไม่ทำงาน โดยจะกำหนดให้เวลาที่รีเลย์ B จะใช้ในการทำงานรีเลย์ C เท่ากับ 1 วินาที เพราะฉะนั้นรีเลย์ที่ตำแหน่ง B จะมีเวลาในการทำงาน 2.5 วินาที โดยรีเลย์ B จะมีปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพร์เออร์ = 8.13/4 = 2.0325 จากกราฟคุณลักษณะจะได้ค่าเวลาที่ใช้ในการทำงานสูงสุดเท่ากับ 6.2 วินาที ดังนั้น ไทม์-มัลติไพร์เออร์-เซ็ทติ้ง = 2.5/6.2 = 0.4 วินาที

โดยขั้นตอนในการเซ็ทค่าการทำงานรีเลย์ในตำแหน่ง A ก็เช่นเดียวกับอธิบายไว้ข้างต้น ซึ่งผลลัพธ์ที่สมบูรณ์แสดงในตารางที่ 2.4

Relay		จุดที่เกิดลัดวงจร											
		D				C				B			A				
Location	Current set.	psm	TC	tms	TA	psm	TC	tms	TA	psm	TC	tms	TA	psm	TC	tms	TA
D	4	1.95	7	0.1	0.7												
C	4	1.95	7	0.243	1.7	2.03	6.2	0.243	1.5								
B	4					2.03	6.2	0.4	2.5	2.16	5.2	0.4	2.08				
A	4									2.16	5.2	0.59	3.08	2.25	4.7	0.59	2.773

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าของเวลาที่จุดลัดวงจร

psm = plug setting multifier

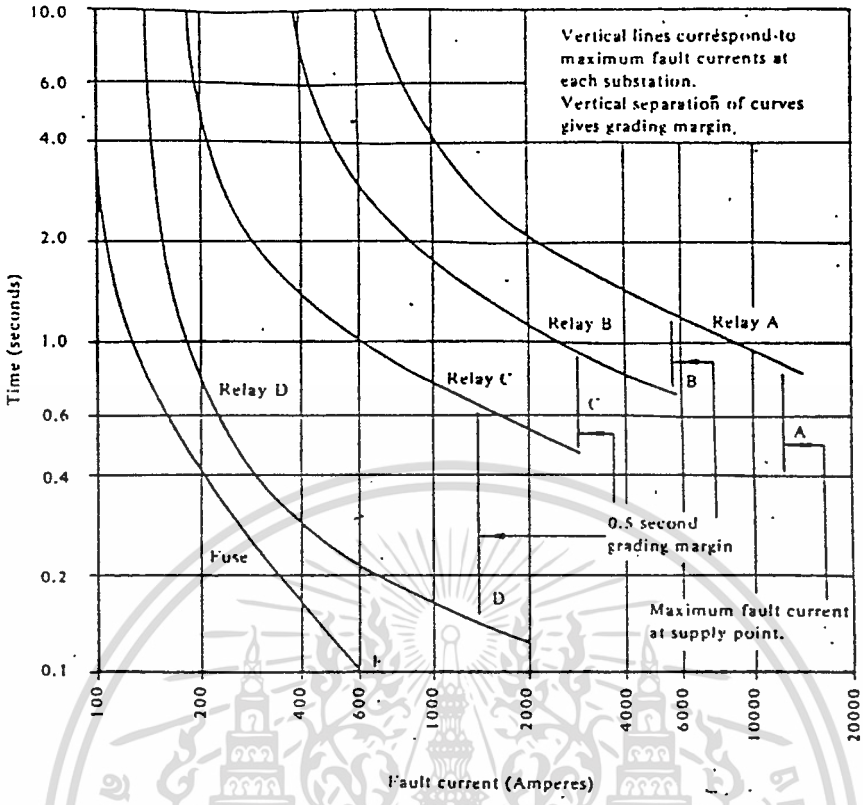
TC = เวลาที่รีเลย์ใช้ในการทำงานสูงสุดที่ค่า psm นั้นๆ หน่วย วินาที

tms = time multifier setting

TA = actual time (TCX tms) หน่วย วินาที

จากการคำนวณหาจุดทำงานของรีเลย์ดังกล่าว เราสามารถสร้างกราฟที่แสดงคุณลักษณะการทำงานร่วมกันของรีเลย์ทั้งระบบดังได้กล่าวไว้แล้วในทฤษฎีตามรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงคุณลักษณะการทำงานร่วมกันของรีเลย์ทั้งระบบ

2.10.1 การเซ็ทค่าของตัวรีเลย์จากข้อมูลที่ได้

จากตัวอย่างการคำนวณการเซ็ทค่าการทำงานของรีเลย์ดังกล่าว เราจะได้ค่าต่างๆที่จะนำมาเซ็ทค่าในการทำงานที่รีเลย์ โดยค่าที่จะต้องปรับเซ็ททีตัวรีเลย์คือ

-ไทม์ เซ็ทติ้ง (time setting) เป็นการปรับตั้งค่าเวลาในการทำงานของรีเลย์ โดยค่าที่จะเซ็ทให้กับตัวรีเลย์จะอ้างอิงอยู่ในรูปค่าความต้านทาน ซึ่งจะวัดได้ที่ขั้ววัดบริเวณปุ่มปรับ โดยก่อนที่จะทำการเซ็ทค่าจะต้องเลื่อนสวิทช์มาทางขวามือก่อน ซึ่งค่าความต้านทานที่ต้องการจะเป็นไปตามสมการ

$$Rset = tms \times (500 \times 10^{3})$$

โดยเวลาที่ใช้ในการทำงานของรีเลย์จะเป็น

$$t = -Rset\ (100 \times 10^{-6})\ \ln\left[1 - \frac{(V1+(I1/a)\sqrt{2}\times 100-(I2/a)\sqrt{2}\times 100)}{14}\right]$$

V1 : ค่าแรงดันที่เซ็ททีรีเลย์ของปุ่ม inverse time setting (V)

I1 : กระแสที่เซ็ททางปฐมภูมิ (A)

I2 : กระแสโหลดทางปฐมภูมิ (A)

a : อัตราส่วนหม้อแปลงกระแส

-เคอร์เร้นท์ เซ็ทติ้ง (current setting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการปรับตั้งค่าของกระแสปฐมภูมิอ้างอิง ซึ่งหมายถึงว่าถ้าค่ากระแสโหลดทางด้านปฐมภูมิมากกว่าค่าของกระแสที่เซ็ทไว้ทางปฐมภูมิก็จะทำให้โอเวอร์เดอร์เร้นท์เริ่มต้นทำงาน โดยค่าอ้างอิงที่จะเซ็ทที่ตัวรีเลย์จะอยู่ในรูปของค่าแรงดัน ซึ่งจะวัดได้ที่ขั้ววัดที่ปุ่มปรับ โดยค่าแรงดันที่ต้องการจะเป็นไปตามสมการ

$$V = (I1/a)x\sqrt{2}x100 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (0<V<13.6)\ \text{Volt}$$

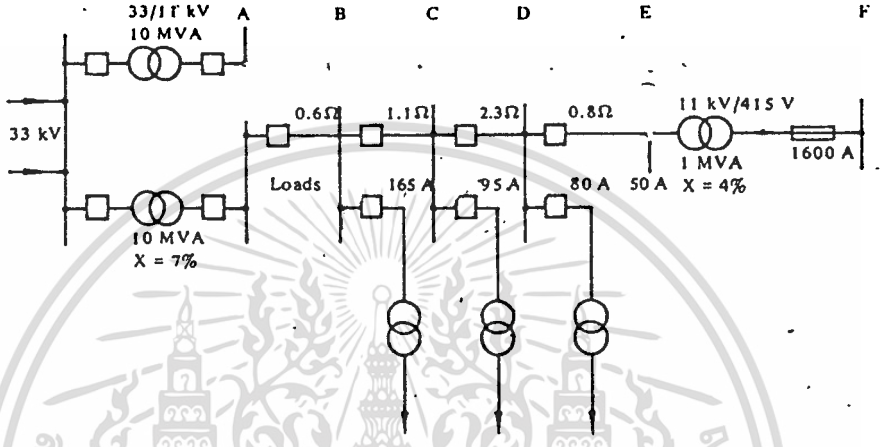
-อินเวอส ไทม์ เซ็ทติ้ง(inverse time setting)

เป็นการปรับตั้งเพื่อให้ได้คุณลักษณะของกราฟตามที่ต้องการ ซึ่งค่าอ้างอิงที่จะเซ็ทตัวรีเลย์จะอยู่ในรูปของค่าแรงดัน ซึ่งสามารถปรับตั้งค่าได้ในช่วง $0<V<10$ โวลท์ โดยผลที่ได้จากการเซ็ทค่าดังกล่าวได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 ตัวอย่างของการเซ็ทค่าการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ให้ทำงานร่วมกันในระบบไฟฟ้ากำลัง

ระบบไฟฟ้ากำลังที่จะใช้อธิบายวิธีการเซ็ทค่าการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ แสดงดังรูปที่ 2.14 โดยจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากจุด A ไปยังสถานีไฟฟ้าย่อย B, C, D, E ซึ่งโหลดของแต่ละสถานีจะถูกป้อนผ่านหม้อแปลง-แปลงลง



รูปที่ 2.14 แสดงระบบ 11 Kv ,ข้อมูลสำหรับการเซ็ทค่าการทำงานโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์

ข้อมูลสำคัญที่เราจะต้องหานั้นก็คือช่วงของกระแสฟอลต์ โดยค่าของกระแสฟอลต์สูงสุดสำหรับสามเฟสช็อตเซอร์กิตที่แต่ละสถานีย่อยขณะที่ระบบนั้นมีการต่ออย่างเต็มที่จะได้มาจากการคำนวณ โดยในตัวอย่างนี้ค่ากระแสฟอลต์ที่สถานี A จะสามารถหาได้จากค่าเปอร์เซนต์อิมพีแดนซ์ของระบบ 33 Kv และของหม้อแปลง 33/11 Kv ส่วนค่ากระแสฟอลต์ที่แต่ละสถานีถัดมาก็จะได้จากการเพิ่มค่าอิมพีแดนซ์ของสายป้อนแต่ละส่วนเข้าไป และในแต่ละส่วนของการหากระแสฟอลต์สูงสุดจะคำนวณได้จากกรณีของหม้อแปลง 10 MVA 1 ใน 2 ของระบบนั้นไม่ได้ต่อเข้าที่ระบบ

ในกรณีของความสามารถในการจ่าย MVA ฟอลต์ลดลงในส่วนของระบบ 33 Kv อาจจะต้องมีการพิจารณาด้วย ซึ่งการตัดสินใจค่าควรจะนำส่วนนี้มาคิดหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับความต้องการของความน่าเชื่อถือของระบบ และการที่จะยอมเสียคุณสมบัติบางส่วนลง และจากรูปที่ 2.14 นั้นถ้าในสายป้อนของระบบ 33 Kv หนึ่งเส้นเปิดออกนั้น ไม่ได้หมายถึงว่า MVA ฟอลต์ที่บัส A จะลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง ซึ่งหมายถึงว่าสายทั้งสองเส้นนั้นมาจากแหล่งจ่ายที่เดียวกัน ดังนั้นผลของการเปิดออกของสายในระบบ 33 Kv หนึ่งเส้น อาจทำให้มีการลดลงของฟอลต์นั้นประมาณ 5 เปอร์เซนต์เท่านั้น

โดยค่าของกระแสลัดวงจรที่คิดว่าจะเกิดขึ้นในระบบนี้นั้นจะแสดงอยู่ในตารางที่ 2.5 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกระแสที่แสดงอยู่ที่ระบบนั้นคือค่าของกระแสโหลดสูงสุดที่ต่อออกไปใช้สำหรับแต่ละสถานีย่อย โดยคิดจากข้อสมมติฐานที่ว่า ให้ค่าของกระแสโหลดสูงสุดที่เกิดขึ้นในสายป้อนโหลดของแต่ละสถานีนั้นเกิดขึ้นพร้อมกัน และมีเพาเวอร์แฟคเตอร์เหมือนกันในตารางที่ 2.5 ได้แสดงค่าของอัตราส่วนกระแสของหม้อแปลงกระแสที่เลือกใช้ และค่าการทำงานของรีเลย์ที่เซ็ทไว้ โดยคำนึงถึงว่าให้มีค่าของกระแสที่เกินจากค่ากระแสสูงสุดปกติที่เพียงพอ เพื่อยอมให้มีการเปลี่ยนแปลงของโหลดชั่วขณะได้ โดยไม่มีการทำงานของรีเลย์

Location	Totel impedance from source Percent on 100 MVA base				Fault current A		Max. section load	CT ratio	Relay setting	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Max.	Min.	A		%	Primary set.
33Kv bus	6.67	6.67								
11Kv bus										
C.B. A	41.67	76.67	0.5042	0.9277	12596	6846	390	400/5	125	500
C.B. B			1.104	1.528	5753	4156	225	300/5	100	300
C.B. C			2.204	2.628	2882	2417	130	200/5	75	150
C.B. D			4.504	4.928	1410	1289	50	100/5	125	125
Meduim V										
Bus F(1)			10.144	10.568	626	601	50			

ตารางที่ 2.5 แสดงค่ากระแสลัดวงจรที่คิดว่าจะเกิดในระบบนี้

การเซ็ทค่าการทำงานของรีเลย์เริ่มจากสถานีที่อยู่ไกลสุด โดยทำการเลือกเวลาทำงานของรีเลย์ที่เหมาะสม จากรูปที่ 2.14 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบทางด้าน 415 V ไม่ได้ให้มานอกเหนือจากการใช้ฟิวส์ในการป้องกันกระแสผิดปกติของระบบ โดยฟิวส์มีพิกัด 60 A (ทางด้าน 11 Kv) และ 1600 A (ทางด้าน 415 V)

โดยถ้าเกิดการลัดวงจรขึ้นอย่างทันทีทันใดที่บัส F ฟิวส์จะใช้เวลาในการหลอมละลายประมาณ 0.05 วินาที และเวลาที่ใช้ในการอาร์คอีกประมาณ 0.05 วินาที ดังนั้นฟอลต์จะถูกเคลียร์ในเวลาประมาณ 0.1 วินาที ถ้าเราคิดเผื่อช่วงเวลาสำหรับรีเลย์โอเวอร์ชูทแล้ว ดังนั้นค่าของเวลาการทำงานของรีเลย์ที่ใช้ถัดมาจากฟิวส์ทางด้านแหล่งจ่ายอาจเท่ากับ 0.15 วินาทีก็คงเพียงพอ โดยช่วงห่างของเวลาดังกล่าวจะทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบไม่มากในกรณีที่ฟิวส์ไม่สามารถที่จะทำงานได้อย่างถูกต้อง

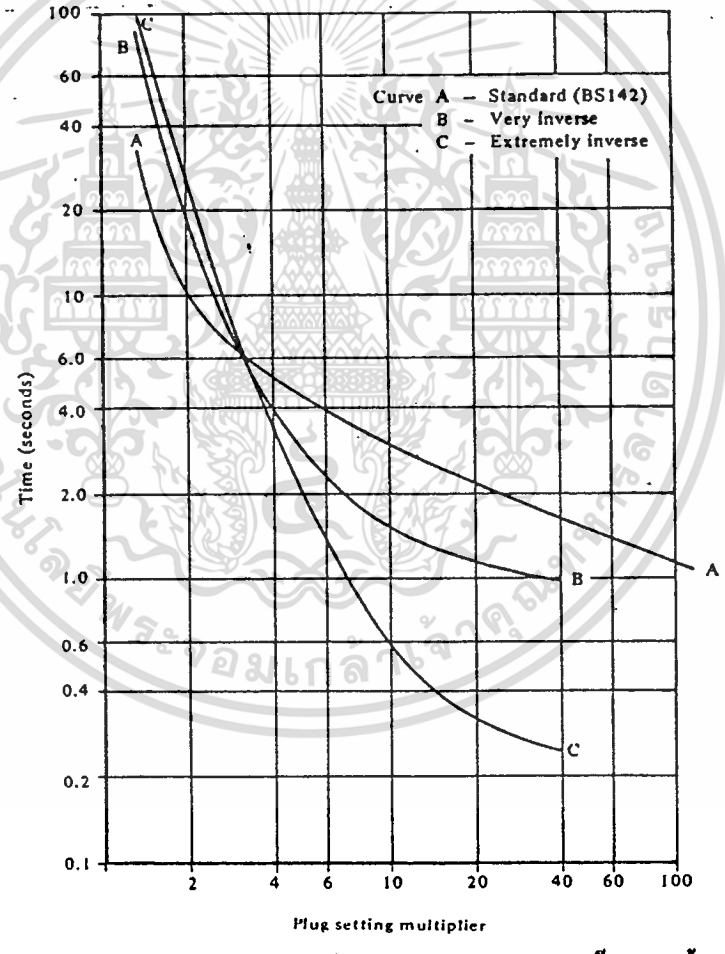
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดเมื่อเกิดฟอลต์ที่หลังหม้อแปลง 1 MVA เมื่อคิดกระแสทางด้าน 11 Kv คือ 626 A ซึ่งเท่ากับ ปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพร์เออร์ (p.s.m) = ค่ากระแสทางด้านปฐมภูมิ / ค่ากระแสที่เซ็ทไว้ = 626 / 125 = 5.01

-ค่าของอิมพีแดนซ์ กระแสลัดวงจร และกระแสโหลดที่จุด F อ้างถึงค่าสภาวะบนระบบ 415 V ซึ่งมองจากระบบ 11 Kv

-ค่าต่างๆที่คำนวณได้ในตารางเป็นการใช้ค่าที่มีความถูกต้องสูงกว่า เพื่อหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนไปของตัวเลขเนื่องจากใช้หลักการประมาณค่า

อ้างถึงรูปที่ 2.15 แสดงถึงคุณลักษณะในการทำงานของเวลาที่รีเลย์ใช้ในการตัดสินใจกับค่าปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพร์เออร์ โดยเวลาที่รีเลย์ใช้ในกราฟนั้นเป็นเวลาที่มากที่สุดที่รีเลย์จะสามารถทำได้



รูปที่ 2.15 แสดงการทำงานของเวลาที่รีเลย์ใช้ตัดสินใจกับ ปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพร์เออร์

ซึ่งถ้าเราปรับตั้งค่าเวลาในการทำงานให้น้อยลงมาจากที่แสดงในกราฟโดยปรับที่ตัวรีเลย์ ค่าการทำงานของรีเลย์จะลดลงจากเดิมในลักษณะที่เหมือนว่ามีค่าคงที่ค่าหนึ่งคูณค่าเวลาการทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

รีเลย์ที่ใช้ในกราฟ ซึ่งค่าคงที่ดังกล่าวเรียกว่า ไทม์-มัลติไพเออร์-เซ็ทติ้ง (t.m.s) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของเวลาที่รีเลย์ใช้ในการทำงานที่แท้จริงต่อค่าของเวลาที่มากที่สุดที่รีเลย์สามารถทำงานได้

ดังนั้นกรณีการฟอลต์ที่จุด F ซึ่งมีค่า ปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพร์เออร์ = 5.01จะทำให้ค่าเวลาการทำงานของรีเลย์มากที่สุดจากรูปที่ 2.15 เท่ากับ 4.3 วินาที โดยค่าของ ไทม์-มัลติไพเออร์-เซ็ทติ้งต่ำสุดที่จะเลือกใช้ในกรณีปกติคือ 0.05 ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการทำงานของรีเลย์ที่แท้จริงเท่ากับ 4.3*0.05 = 0.215 วินาที ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในตอนต้นว่ารีเลย์ควรจะใช้เวลาในการทำงานร่วมกับฟิวส์อย่างน้อย 0.15 วินาทีแล้วจะเห็นว่าค่าที่ 0.215 วินาทีก็เป็นค่าที่นำมาใช้ได้

ในกรณีเกิดการลัดวงจรที่ส่วนของสายป้อน DE ชิดมาทาง D จะเป็นผลให้เกิดกระแสลัดวงจรสูงสุดเท่ากับ 1410 A ซึ่งตรงกับค่า ปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพเออร์ เท่ากับ 11.3 ดังนั้นจากกราฟรูปที่2.12จะได้เวลาที่ใช้ในการทำงานสูงสุด 2.82 วินาที โดยค่าของไทม์-มัลติไพเออร์-เซ็ทติ้งก็จะใช้เท่ากับ 0.05 ดังข้างต้น ดังนั้นเวลาที่ใช้ในงานจริงเท่ากับ (TA) = 2.82x0.05 = 0.14 วินาที

ในกรณีนี้ถ้าเกิดว่ารีเลย์ที่จุด D เกิดขัดข้องไม่ทำงาน ดังนั้นรีเลย์ที่ตำแหน่งถัดไปทางแหล่งจ่ายจะต้องทำงานแทนได้โดยจะใช้เวลาในการทำงานมากกว่ารีเลย์ที่จุด D โดยกำหนดให้ในช่วงเวลาที่ห่างกันของการทำงานของรีเลย์ที่จุด C ห่างจากรีเลย์ที่จุด D เท่ากับ 0.5 วินาที ดังนั้นคาดว่ารีเลย์ที่จุด C ใช้เวลาในการทำงาน 0.641 วินาที โดยรีเลย์ที่จุด C จะมีค่า ปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพเออร์ในกรณีฟอลต์ที่จุด D เท่ากับ 1410/150 = 9.4 ดังนั้นจากรูปที่ 2.15 เราจะได้เวลาสูงสุดที่รีเลย์ใช้ในการทำงานเท่ากับ 3.1 วินาที เพราะฉะนั้นรีเลย์ที่จุด C จะมีค่า ไทม์-มัลติไพร์เออร์-เซ็ทติ้ง = 0.641/3.1 = 0.207

เมื่อเกิดการลัดวงจรที่ส่วน CD ใกล้เข้ามาทางจุด C จะเกิดกระแสลัดวงจรสูงสุดขึ้นเท่ากับ 2882 A ซึ่งตรงกับค่าปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพเออร์ = 19.2 จากรูปที่ 2.15 จะได้เวลาสูงสุดที่รีเลย์ใช้ในการทำงานเท่ากับ 2.23 วินาที โดยค่าของ ไทม์-มัลติไพเออร์-เซ็ทติ้ง สำหรับรีเลย์ที่จุด C ได้กำหนดไว้แล้วจากข้างบนคือ 0.207 ดังนั้นเวลาที่แท้จริงที่รีเลย์ C ใช้ในการทำงานกรณีที่เกิดฟอลต์ใกล้กับจุด C จะเท่ากับ 2.23x0.207 = 0.462 วินาที

โดยขั้นตอนการเซ็ทค่าเวลาการทำงานของรีเลย์ที่จุด B และ A จะคล้ายกับที่อธิบายมาแล้ว โดยผลของการคำนวณที่ได้โดยสมบูรณ์จะแสดงดังตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay		จุดที่เกิดลัดวงจร											
		D				C				B			A				
Location	Current set.	psm	TC	tms	TA	psm	TC	tms	TA	psm	TC	tms	TA	psm	TC	tms	TA
D	125	11.3	2.82	0.05	0.141												
C	150	9.4	3.1	0.207	0.641	19.2	2.23	0.207	0.462								
B	300					9.61	3.05	0.315	0.962	19.2	2.23	0.315	0.702				
A	500									11.5	2.8	0.43	1.202	25.2	2.0	0.43	0.86

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าของเวลาที่จุดลัดวงจร

เมื่อพิจารณาผลจากตารางที่ 2.6 จะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการทำงานของรีเลย์ที่จุด A จะไม่ใช่ผลบวกของช่วงห่างของเวลาที่ใช้ในการทำงานของรีเลย์ที่ใกล้กัน ซึ่งในตัวอย่างนี้กำหนดให้ใช้เท่ากับ 0.5 วินาที ซึ่งจะเห็นว่าจะมีการใช้ค่า 0.5 วินาทีถึง 3 ครั้ง และค่า 0.215 สำหรับช่วงห่างของเวลาระหว่างรีเลย์กับฟิวส์ ซึ่งถ้าเป็นการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังในตัวอย่าง โดยใช้ระบบรีเลย์แบบมีเวลาในการทำงานที่แน่นอน เมื่อเกิดฟอลต์ที่ใกล้กับจุด A รีเลย์ที่ใกล้จุด A จะใช้เวลาในการทำงานเท่ากับ (0.15x3)+0.5 =1.65 วินาที แต่ในตัวอย่างนี้เราจะใช้รีเลย์แบบเวลาในการทำงานแปรผกผันกับค่าของกระแส ดังนั้นจากการทดลองที่ 2 เมื่อเกิดค่าฟอลต์ใกล้กับจุด A นั้น รีเลย์ที่จุด A จะใช้เวลาในการทำงานเท่ากับ 0.86 วินาที

ดังนั้นประโยชน์ที่เราจะได้รับจากการใช้รีเลย์ป้องกันระบบแบบค่าเวลาที่ใช้ในการทำงานแปรผกผันกับค่าของกระแส คือเวลาที่ใช้ในการทำงานของรีเลย์แต่ละตัวจะลดลงเมื่อฟอลต์เลื่อนจากจุดที่มีการคำนวณไทม์-มัลติไพร์เออร์-เซ็ทติ้ง ไปยังสถานีย่อยถัดไปทางด้านของแหล่งจ่ายไฟ เช่นในกรณีฟอลต์ที่จุด D รีเลย์ C จะใช้เวลาในการทำงานลดลงเหลือ 0.462 วินาที

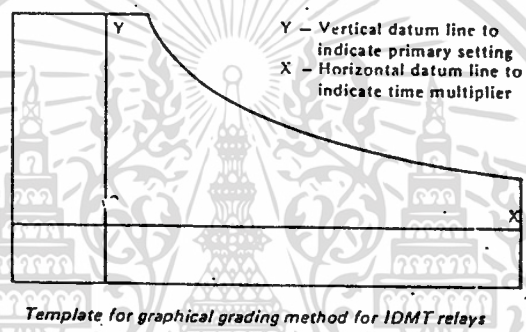
การคำนวณค่าของเวลาที่ใช้ในการทำงานของรีเลย์ดังกล่าวจะใช้ค่ากระแสที่นำมาคำนวณเป็นค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด โดยมีการแบ่งชั้นของเวลาการทำงานเช่น กรณีฟอลต์ใกล้กับจุด D รีเลย์ที่จุด C จะมีการแบ่งชั้นเวลาการทำงานกับรีเลย์ตำแหน่ง D แต่จะไม่มีการพิจารณาต่อไป ในส่วนของการป้องกันที่จุด E หรือ F ดังนั้นถ้ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นไม่ใช่ค่าสูงสุด ค่าของความห่างของช่วงเวลาที่ใช้ในการทำงานของรีเลย์จะมากขึ้น โดยสามารถแสดงได้ด้วยการคำนวณคุณสมบัติการทำงานของรีเลย์ ภายใต้สภาวะกระแสลัดวงจรต่ำสุด ซึ่งผลที่ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.1 การแบ่งชั้นเวลาที่ใช้ในการทำงานของรีเลย์โดยวิธีใช้กราฟ

ในรูปที่ 2.15 แสดงถึงการนำค่าเวลาที่รีเลย์ใช้ในการทำงานที่คำนวณได้มาสร้างกราฟโดยให้ค่าแกนนอนเป็นกระแสลัดวงจร และแกนตั้งเป็นค่าของเวลาที่รีเลย์ใช้ในการทำงาน โดยใช้สเกลเป็นค่าลอการิทึม

ผลจากการที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของการเซ็ทค่ากระแสของกระแสที่รีเลย์จะเริ่มทำงาน คือการให้กราฟเลื่อนไปตามแนวแกนนอน และผลของการเปลี่ยนแปลงการเซ็ทค่าเวลาที่รีเลย์ใช้ในการทำงานจะเป็นผลให้กราฟเลื่อนไปตามแนวแกนตั้ง ส่วนในการเปลี่ยนแปลงค่าอื่นๆจะทำให้รูปร่างของกราฟเปลี่ยนไป ดังนั้นจะเห็นว่ามีความเป็นไปได้ในการใช้เทมเพลสตัดเป็นรูปกราฟคุณลักษณะการทำงานของรีเลย์ เพื่อใช้กำหนดการเซ็ทค่าการทำงานของรีเลย์ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงกราฟคุณลักษณะการทำงานของรีเลย์

จากรูปที่ ถ้าเราจะเลือกใช้กราฟคุณลักษณะแบบที่เป็นมาตรฐาน ดังนั้นการเซ็ทค่าโดยวิธีนี้ก็จะเริ่มจากการทำเพลส โดยให้มีขนาดเช่นเดียวกับที่แสดงในรูปที่ โดยเพิ่มส่วนของเส้นในแนวแกน X ที่ระดับของเวลาเท่ากับ 1.0 เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับค่าไทม์-มัลติไพร์เออร์-เซ็ทติ้ง ที่ต้องการ และเส้นในแนวแกน Y ซึ่งลากผ่านจุดที่ค่าปลั๊ก-เซ็ทติ้ง-มัลติไพร์เออร์ เท่ากับหนึ่งเพื่อใช้อ้างอิงค่าของกระแสที่จะกำหนดให้รีเลย์เริ่มทำงาน

การแบ่งชั้นค่าการทำงานของรีเลย์ก็จะเริ่มกระทำบนกระดาษกราฟด้วยเทมเพลสที่สร้างขึ้นซึ่งมีขนาดเช่นเดียวกับเดอฟดังรูปที่ โดยกราฟที่ใช้ ใช้แกน X เป็นแกนของเวลาที่รีเลย์จะใช้ในการทำงาน ส่วนในแนวแกน Y เป็นค่าของกระแสในระบบไฟฟ้ากำลัง ซ่งจะใช้ค่าของกระแสที่สูงพอเพื่อแสดงค่ากระแสลัดวงจรของระบบ

ข้อมูลที่สำคัญในการสร้างกราฟของรีเลย์ ณ.จุดต่างๆของระบบนั้น คือค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดของในแต่ละตำแหน่งของรีเลย์ซึ่งได้มาจากการคำนวณ

การเขียนกราฟจะเริ่มต้นจากรีเลย์ที่ต้องการเวลาที่ใช้ในการทำงานสั้นที่สุด และที่ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของกระแสต่ำที่สุด ซึ่งตรงกับรีเลย์ D ในตัวอย่างนี้ โดยเริ่มจากการวางเพลสลงบนกระดาษกราฟให้เส้นในแนวแกน Y ตรงกับค่าของกระแสในแนวแกน X ที่เท่ากับค่าของกระแสทำงานที่เซ็ทไว้สำหรับรีเลย์ D เมื่อเสร็จแล้วให้ปรับระยะในแนวแกนตั้งจนกระทั่งได้ค่าของเวลาที่จะใช้ในการทำงานของรีเลย์ เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นที่ตำแหน่ง F ที่ค่าซึ่งเหมาะสมที่จะใช้งานร่วมกับฟิวส์ นั่นคือที่ค่ากระแส 626 A รีเลย์ D ควรจะใช้เวลาในการทำงานไม่น้อยกว่า 0.15 วินาที เพราะฉะนั้นเส้นในแนวแกน X จะแสดงค่าของไทม์-มัลติไพร์เออร์-เซ็ทติ้ง บนสเกลเวลา โดยในตัวอย่างนี้จะได้ค่าไทม์-มัลติไพร์เออร์-เซ็ทติ้ง เท่ากับ 0.035 ซึ่งจะต่ำกว่าที่จะเป็น ดังนั้นก็ต้องเลื่อนเพลสขึ้นไปอีกจนกระทั่งได้ค่าไทม์-มัลติไพร์เออร์-เซ็ทติ้ง เท่ากับ 0.05 หรือเวลาที่รีเลย์ใช้ในการทำงานเท่ากับ 0.21 วินาที จากนั้นจึงลากเส้นตามส่วนโค้งของเพลสเพื่อแสดงกราฟคุณลักษณะการทำงานของรีเลย์ D จากด้านบนจนถึงระยะเส้นแนวตั้งจากแกน X สำหรับรีเลย์ D มีค่าเท่ากับ 0.14 วินาที

ลำดับต่อมาสำหรับกราฟของรีเลย์ C ซึ่งกำหนดให้มีช่วงห่างของระยะเวลาในการทำงานในขณะที่ฟอลต์ที่จุด F มีค่าเทากับ 0.5 วินาที ดังนั้นจึงต้องเลื่อนเพลสจากตำแหน่งเดิมให้ระยะห่างของเคอฟจากแกนนอนเท่ากับ 0.64 วินาที ที่ค่ากระแสลัดวงจรเท่ากับ 626 A และในขณะเดียวกันก็เลื่อนเส้น Y ให้ตรงกับค่ากระแสที่เซ็ทไว้สำหรับรีเลย์ C ดังนั้นเส้น X จะแสดงค่าไทม์-มัลติไพร์เออร์-เซ็ทติ้ง สำหรับรีเลย์ C เท่ากับ 0.21 จากนั้นจึงลากเส้นกราฟคุณลักษณะการทำงานของรีเลย์ C จากด้านบนจนถึงเวลาที่รีเลย์ C จะใช้ในการทำงานต่ำที่สุดเท่ากับ 0.46 วินาที

ในส่วนของรีเลย์ถัดไปจนถึงแหล่งจ่ายก็มีขั้นตอนการเขียนกราฟเช่นเดียวกัน โดยวิธีแบบใช้กราฟนี้จะมีความสะดวกเมื่อใช้กับระบบป้องกันที่มีรีเลย์จำนวนมาก และยังช่วยแสดงให้เห็นถึงการล่วงล้ำกันของเคอฟในกรณีที่มีการใช้รูปแบบคุณลักษณะของเคอฟในแบบอื่นที่ไม่ใช่แบบมาตรฐานด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 ออโตเมติค สวิทชิ่ง (automatic switching)

2.12.1 การออกแบบ และการใช้งานของออโตเมติค สวิทชิ่ง อีควิปเม้นท์

เทอมของออโตเมติค สวิทชิ่ง อีควิปเม้นท์ หมายถึง ลักษณะการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์อัตโนมัติเมื่อเริ่มเกิดฟอลต์ และการแยกออกเมื่อมีผลตามมา

อีควิปเม้นท์นำไปสู่

-การแยกจากระบบอย่างถาวรของฟอลต์ที่โรงจักร ซึ่งจะไม่มีการ รี-อีเนอร์จิส (re energised) เช่นฟอลต์หม้อแปลง

-รี อีเนอร์จิส ของสายส่ง และ โรงจักร ซึ่งอาจเป็นทรานเชี้ยนฟอลต์ และอาจเป็น รี-อีเนอร์จิส ที่ปลอดภัย (โดยสวัสดิภาพ)

ถ้าจากการ รี-อีเนอร์จิส พบว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นเป็นแบบถาวร สายส่ง หรือ โรงจักร อาจถูกแยกโดยอัตโนมัติ เพื่อให้ต่อเข้า หรือ (tee connected healthy plant) ต่อเข้าทำงานอย่างอัตโนมัติ

-ออโตเมติค รีโคลส ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ทั้งหมดซึ่งจะมีการจัดลำดับของการโคลส และอาจเป็นการรีโคลสที่ปลอดภัย

- switching into service of stant by plant (เช่น หม้อแปลง) ซึ่งจะไม่มีการสวิทชิ่งก่อนการเกิดฟอลต์ (พิกัดกระแสฟอลต์จะสูงกว่ากระแสใช้งานปกติ เพราะฉะนั้นสวิทช์จะไม่ทำงาน) ถ้าเราใช้แบบทริปโพลเดียว และรีโคลสเซอร์ ก็จะเป็นผลดีขึ้น แต่ราคา และความยุ่งยากซับซ้อนในการจัดเตรียมการใช้งานลักษณะนี้ จะทำให้ไม่มีความจำเป็นที่เพียงพอที่จะใช้แบบทริปโพลเดียว และรีโคลสเซอร์

2.12.2 ออโตเมติครีโคลสความเร็วสูง (high speed automatic reclosing)

ความเร็วสูง หมายถึง การรีโคลสของเซอร์กิตเบรคเกอร์ภายใน 1 วินาทีเมื่อตัวมันเกิดการทริปแล้ว ปกติจะประมาณ 0.4 วินาที ถ้าการรีโคลสนั้นเป็นการรีโคลสไปบนฟอลต์แบบถาวรจะทำให้การรีโคลส ครั้งต่อไปไม่เกิดขึ้น

ในอันดับออโตเมติครีโคลสความเร็วสูง เมื่อเกิดทริปของเซอร์กิตเบรคเกอร์ขึ้นเวลาที่จะใช้ในการเช็คสภาวะแรงดันของระบบจะไม่สามารถหาได้

ในความเป็นจริง เนื่องจากแรงเฉลี่ยของเซอร์กิตเบรคเกอร์นิวแมติค หรือ น้ำมัน และระบบแมคคานิค ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องเริ่มการรีโคลสก่อนที่ขั้นตอนของการทริปจะสมบูรณ์

ในระหว่างปี 1960 นั้นเราพบว่าการใช้ออโตเมติครีโคลสเซอร์ความเร็วสูง ไปบนฟอลท์ที่ถาวรจะทำให้เกิดการกระทบกระเทือนต่อระบบจนไม่สามารถยอมรับได้ ซึ่งด้วยเหตุผลนี้และเหตุผลอื่น เช่น การทำให้ง่ายลงในการออกแบบเซอร์กิตเบรคเกอร์การใช้งานออโตเมติค รีโคลสเซอร์ความเร็วสูงจึงถูกแทนที่โดยออโตเมติครีโคลสเซอร์หน่วงเวลา

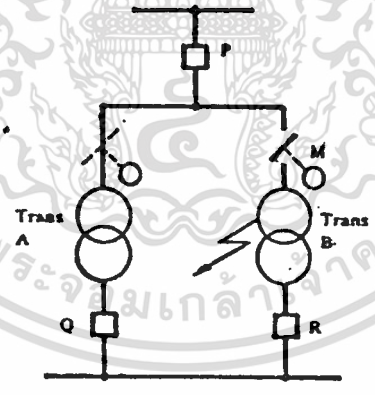
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.3 ออโตเมติครีโคลสเซอร์หน่วงเวลา (delayed automatic reclosing)

ออโตเมติครีโคลสเซอร์หน่วงเวลา หรือ ออโตเมติครีโคลสเซอร์ความเร็วต่ำหมายถึงการรีโคลสซึ่งจะถูกอินเตอร์ล็อค เพื่อให้แน่ใจว่าสเปคสวิทชิ่ง และ สภาวะของระบบอยู่ในสภาวะที่น่าพอใจ ก่อนที่จะเกิดการรีโคลสซึ่งจะใช้เวลามากกว่า 2 วินาทีหลังจากการทริปของเซอร์กิตเบรคเกอร์ เวลาการรีโคลสที่ต่ำ จะถูกควบคุมโดยระบบอินเตอร์ล็อค และการออกแบบของเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ใช้ ตัวอย่างเช่นเซอร์กิตเบรคเกอร์แบบน้ำมันบางชนิดไม่ควรจะให้มีการรีโคลสภายใน 10 วินาทีของการทริปเพื่อให้ระบบการควบคุมการอาร์คสามารถเติมน้ำมันเข้าไปใหม่ และเพื่อการกระจายตัวของแก๊ส และน้ำมันคาร์บอนไนท์ (carbonised oil)

คุณลักษณะการทำงานของออโตเมติครีโคลสเซอร์หน่วงเวลาจะใช้เวลามากกว่าออโตเมติครีโคลสเซอร์ความเร็วสูงเพื่อใช้ในการเช็คภายหลังที่เซอร์กิตเบรคเกอร์เกิดการทริป เช่นการเช็ควงจรว่ามีสัญญาณไฟฟ้าอยู่หรือไม่ หรือถูก รี-อีเนอร์จิส จากจุดที่ห่างออกไป หรือเช็คว่าค่าแรงดันบนแต่ละด้านของเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่จะทำการรีโคลสนั้นซิงโครไนท์กันหรือไม่ หรือว่าค่าของมุมขนาดของแรงดันมีค่าใกล้เคียงกันพอเพียงแล้ว

ในทางปฏิบัติการใช้งานออโตเมติครีโคลสเซอร์หน่วงเวลา จะมีข้อดีที่เหนือกว่าออโตเมติครีโคลสเซอร์ความเร็วสูงตรงที่ว่าสามารถแยกฟอลต์ของโรงจักร ออกจากระบบอย่างอัตโนมัติก่อนที่จะเกิดการรีโคลสขึ้น โดยแสดงได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.17



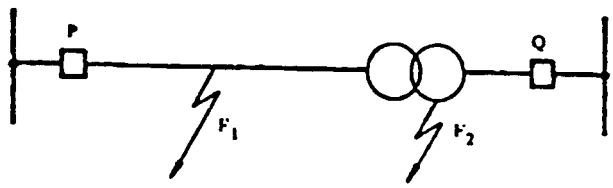
รูปที่ 2.17 แสดงระบบการตัดอัตโนมัติเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้น

ในรูปที่ 2.17 ได้แสดงระบบที่มีการจ่ายร่วมกันของหม้อแปลง 2 ตัว โดยกำหนดให้เกิดฟอลต์ที่หม้อแปลง B ดังนั้นหม้อแปลง B จะถูกแยกออกจากระบบโดยอัตโนมัติด้วยการทำงานของ การต่อด้วยการขับของมอเตอร์ M และจะอนุญาตให้หม้อแปลงตัวใหม่ถูกต่อเข้าทำงานแทนที่หม้อแปลง B ภายใน 2-3 วินาที

ออโตเมติครีโคลสเซอร์หน่วงเวลา สามารถนำมาใช้กับสายป้อนของหม้อแปลง ได้ด้วย มัน

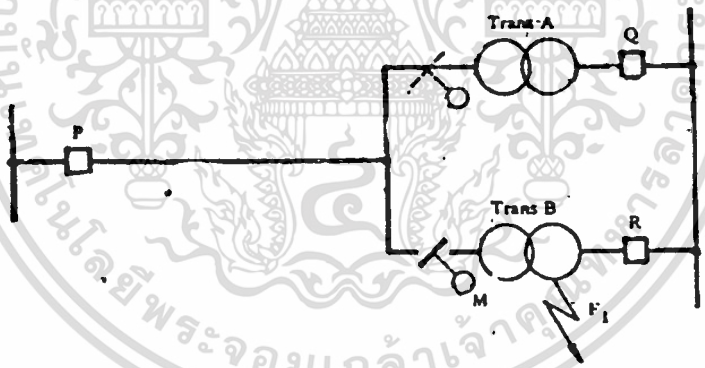
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีช่วงเวลาที่เพียงพอในการตัดสินใจ และเวลาเพื่อที่จะใช้ในการส่งสัญญาณซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับการฟอลต์ไปยังแต่ละปลายของสายป้อน เพื่อให้ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นมีความถูกต้อง ดังแสดงตามรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงการเกิดฟอลต์บนสายป้อนของหม้อแปลง

จากรูปที่ 2.18 ถ้าฟอลท์ที่เกิดขึ้นเป็นฟอลท์ที่ F1ที่เดียว CB ที่ P และ Q จะสามารถรีโคลสอย่างอัตโนมัติได้ถ้าฟอลท์ที่เกิดขึ้นเป็นฟอลท์ที่ F1 และ F2 พร้อมกันการรีโคลสจะต้องไม่เกิดขึ้น ตัวอย่างต่อมาแสดงดังรูปที่ 2.19 เป็นระบบที่ใช้หม้อแปลง 2 ตัวร่วมกันจ่ายให้กับสายป้อน ถ้าฟอลต์ F1 เกิดขึ้นที่หม้อแปลงตัวใดตัวหนึ่งการรีโคลสจะสามารถทำได้เมื่อทำการแยกหม้อแปลงที่ฟอลต์ออกจากระบบเสียก่อน



รูปที่ 2.19 แสดงฟอลต์บนหม้อแปลงตัวหนึ่งของการต่อหม้อแปลง 2 ตัว

ตัวอย่างของการทำงานของออโตเมติครีโคลสเซอร์หน่วงเวลาของเซอร์กิตเบรคเกอร์ สามารถอธิบายดังนี้

-จากรูปที่ 2.17 ระบบการตัดอัตโนมัติเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้น

เวลา(วินาที)	การทำงาน
0	เกิดฟอลต์ F1 ที่หม้อแปลง B
0.2	ระบบป้องกันหม้อแปลง B ตรวจจับฟอลต์ได้ และสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ PQR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา(วินาที)	การทำงาน
4.0	ระบบการตัด M ของหม้อแปลง B จะเริ่มเปิดวงจรออกโดยอัตโนมัติ
12+	ระบบการตัด M ของหม้อแปลง B จะเปิดออกอย่างสมบูรณ์
17+	เซอร์กิตเบรคเกอร์ P จะถูกรีโคลสเมื่อให้หม้อแปลง A
19+	ถ้าแรงดันตกคร่อมเซอร์กิตเบรคเกอร์ Q ซิงโครไนท์กันหรือถ้าบัสบาร์ไม่มีสัญญาณก็ให้รีโคลสเซอร์กิตเบรคเกอร์ Q

-จากรูปที่ 2.18 การเกิดฟอลต์บนสายป้อนของหม้อแปลง

เวลา(วินาที)	การทำงาน
0	เกิดฟอลต์ F1 ที่สายส่ง
0.2	ระบบป้องกันตรวจจับฟอลต์ได้และสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ P,Q
15	เซอร์กิตเบรคเกอร์ P จะรีโคลสเมื่อให้กับสายส่ง
15.2	ถ้าพบว่าฟอลต์ที่เกิดเป็นฟอลต์ถาวร เซอร์กิตเบรคเกอร์ P จะทริปอีกครั้งและจะไม่มีการรีโคลสอีกต่อไป
17+	ถ้าสายส่งสามารถจ่ายพลังงานได้ถึง 2 วินาที ∴ ฟอลต์ที่เกิดน่าจะเป็นทรานเซี้ยนฟอลต์ถ้าแรงดันที่ตกคร่อมเซอร์กิตเบรคเกอร์ Q ซิงโครไนท์ กันหรือบัสบาร์ไม่มีสัญญาณเซอร์กิตเบรคเกอร์ Q จะทำการรีโคลส

-จากรูปที่ 2.18 ฟอลต์บนสายป้อนของหม้อแปลง และตัวหม้อแปลง

เวลา(วินาที)	การทำงาน
0	เกิดฟอลต์ F1,F2 ที่สายป้อน และหม้อแปลงพร้อมกัน
0.2	ระบบป้องกันสายป้อนและหม้อแปลงตรวจจับฟอลต์ได้และสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ P,Q ออโตเมติครีโคลสและจะถูกขัดขวางการทำงานโดยการทำงานของระบบป้องกันของหม้อแปลง

-จากรูปที่ 2.19 การเกิดฟอลต์บนหม้อแปลงตัวหนึ่งของการต่อหม้อแปลง 2 ตัว

เวลา(วินาที)	การทำงาน
0	เกิดฟอลต์ F1 บนหม้อแปลง B
0.2	ระบบป้องกันของหม้อแปลง B จะตรวจจับฟอลต์ได้และสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ Q และ Pและเซอร์กิตเบรคเกอร์จะถูกสั่งทริปโดยสัญญาณอินเตอร์ทริปจากระบบป้องกันของหม้อแปลง B
4.0	ระบบการตัด M ของหม้อแปลง B จะเริ่มเปิดออกโดยอัตโนมัติ
15+	ระบบการตัดของหม้อแปลง B จะเปิดออกอย่างสมบูรณ์,ต่อจากนั้นสัญญาณอินเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา(วินาที)	การทำงาน
	ทริปจากหม้อแปลง B จะหายไปดังนั้นสัญญาณจะหายไป.ดังนั้นจะยอมให้มีการดำเนินการของออโตเมติครีโคลสของเซอร์กิตเบรคเกอร์ P
17+	เซอร์กิตเบรคเกอร์ P จะทำการรีโคลสเพื่อ รี-อีเนอร์จิสให้กับสยป้อน
19+	ถ้าแรงดันตกคร่อมกันเซอร์กิตเบรคเกอร์ Q ซิงโครไนท์กันหรือถ้าบัสบาร์ไม่มีสัญญาณ เซอร์กิตเบรคเกอร์ Q จะถูกสั่งให้รีโคลส

ก่อนสิ้นปี 1970 อุปกรณ์ของออโตเมติคสวิทชิ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยอีเลคโตรแมคคานิคอล รีเลย์และไทม์เมอร์ติดตั้งอยู่ในกล่องรีเลย์ซึ่งอาจมีถึง 15 ตัวในแต่ละกล่อง

แต่ละกล่องของรีเลย์จะใช้งานภายใน panel wiring เพื่อใช้ในเฉพาะสถานีย่อยหนึ่งๆโดยรีเลย์บางชนิดจะออกแบบเป็นมาตรฐานเพื่อให้มีการใช้งานของออโตเมติครีโคลสเซอร์หน่วงเวลาสำหรับการออกแบบสถานีย่อย

ในปี 1970 เป็นช่วงที่สวิทช์เกียร์มีราคาเพิ่มขึ้นสูงเราพบว่าในการใช้งานที่ผิดไปจากมาตรฐานและให้มีการต่อจากไพมารี่ เซอร์กิตจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายลงมากซึ่งจะนำมาซึ่งการออกแบบระบบป้องกันและออโตเมติคสวิทช์ตามที่ต้องการสำหรับแต่ละวงจรเป็นจำนวนมากโดยมีวงจรไดอะแกรมมาตรฐานสำหรับแบบแผนของออโตเมติคสวิทช์และอุปกรณ์ที่ใช้ที่ยึดแบบมาตรฐานนั้นจะต้องมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งในการปรับปรุงแบบแผนที่จะใช้ออโตเมติครีโคลสซึ่ง อีควิปเม้นท์ในส่วนของการต่อไพมารี่ เซอร์กิตจะมีความยุ่งยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายรวมทั้งเวลา

ในระบบขนาดใหญ่ซึ่งมีลำดับการทำงานและรูปแบบการทำงานตามสภาวะต่างๆของในรีเลย์ระบบค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนนั้นจะมีการนำเอาเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการควบคุมการทำงานซึ่งจะทำให้เกิดความสะดวกในการทำงานการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของการควบคุมตามการเปลี่ยนแปลงของระบบซึ่งจะไม่ได้กล่าวไว้อย่างละเอียดในบทความนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

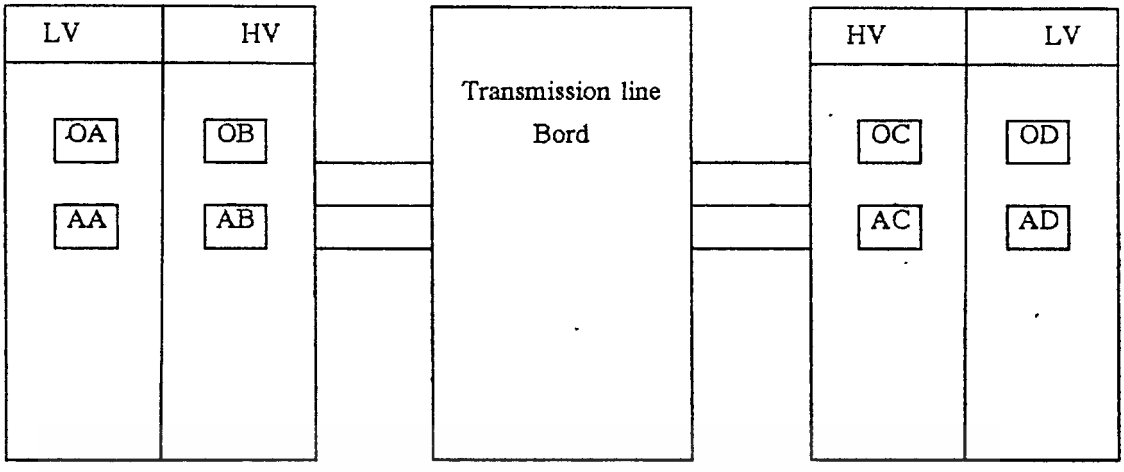
2.18 ออโตรีโคลสซิ่ง สเตติค รีเลย์ (autoreclosing static relay)

ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ หรือออโตเมติค สวิทชิ่ง ที่นำมาเสนอในโครงงานนี้จะเป็นส่วนของรีเลย์ที่นำมาต่อทำงานร่วมกับโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ โดยมีหน้าที่หลักในการสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำการปิดกลับระบบเข้าไปอีกครั้งหนึ่งภายหลังจากที่โอเวอร์เคอร์เร้นท์ได้สั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดระบบออกเนื่องจากมีการฟอลต์ภายในระบบ ณ ตำแหน่งที่อยู่ในขอบเขตของการป้องกันของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ เพื่อให้ระบบนั้นสามารถปิดกลับได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีที่ฟอลต์ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นแบบที่สามารถเคลียร์ตัวเองได้ หรือฟอลต์แบบชั่วขณะ โดยในโครงงานนี้ได้กำหนดให้ออโตรีโคลสซิ่งที่ออกแบบนั้นมีจำนวนครั้งของการปิดกลับไม่เกิน 2 ครั้ง โดยพิจารณาว่าถ้าเซอร์กิตเบรคเกอร์ถูกสั่งให้มีการปิดกลับครั้งที่ 2 และเป็นการปิดกลับที่ทำให้ระบบนั้นเกิดการผิดปกติเช่นเดิมอีก แสดงว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นแบบถาวร ซึ่งไม่สามารถเคลียร์ออกไปได้เอง

โดยตำแหน่งของการติดตั้งออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ในระบบไฟฟ้ากำลัง และตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่บนตู้ควบคุม แสดงได้ดังรูปที่ 2.20 และรูปที่ 2.21

รูปที่ 2.20 แสดงตำแหน่งของการติดตั้ง ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 แสดงตำแหน่งของการติดตั้ง ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ในตู้ควบคุม

2.13.1 หลักการทำงานของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

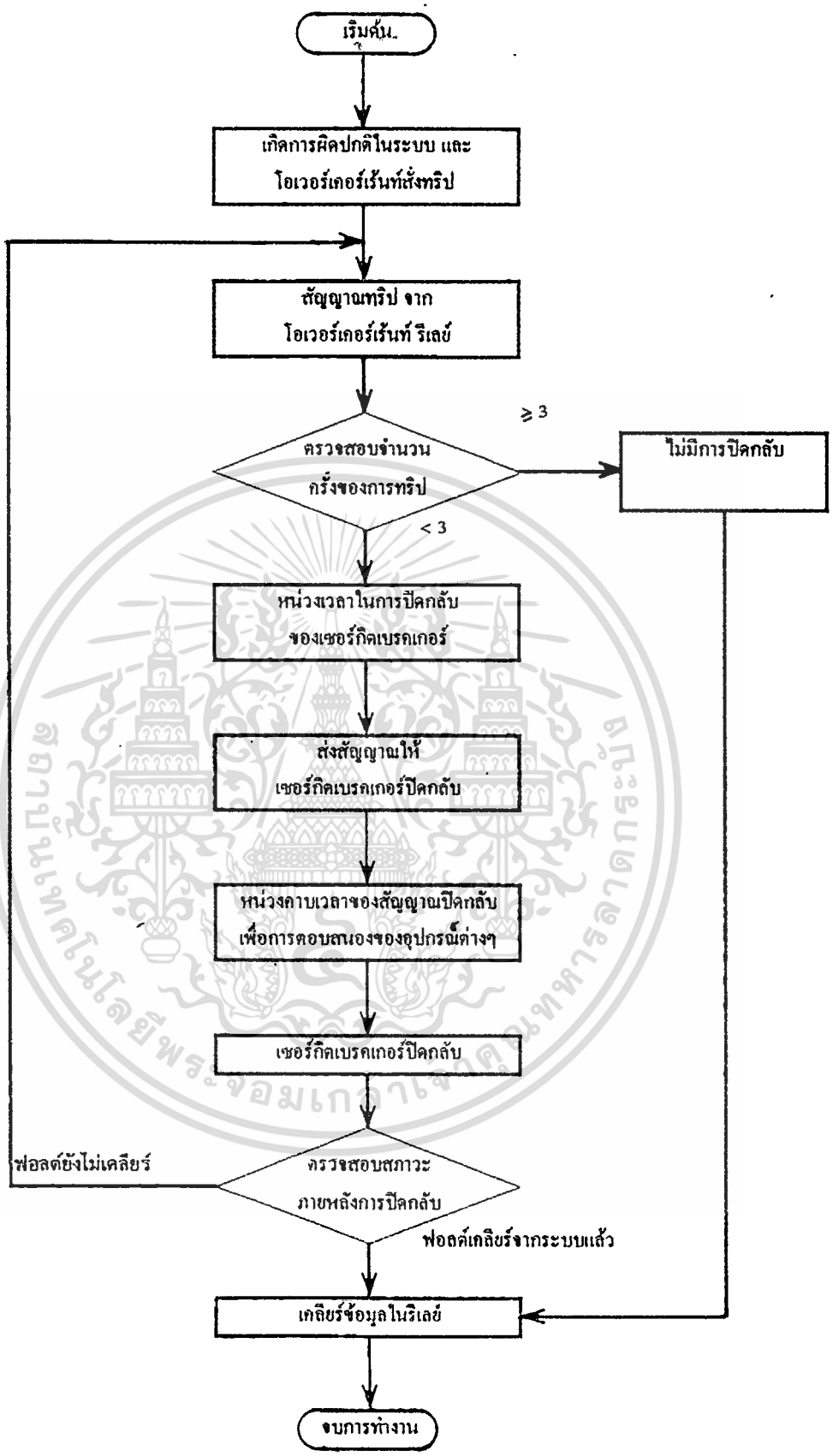
ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ที่นำมาเสนอในโครงงานนี้ได้ออกแบบให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะทำงานร่วมกันกับโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนในการทำงานได้จากแผนภาพดังรูปที่ 2.22

จากแผนภาพจะสามารถอธิบายลำดับขั้นตอนในการทำงานของ ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ดังนี้ เมื่อเริ่มต้นทำงานของรีเลย์ ข้อมูลต่างๆในรีเลย์จะถูกรีเซทอยู่ในสภาวะเริ่มต้น เพื่อพร้อมที่จะทำงานเมื่อเกิดการผิดปกติของกระแสในระบบ โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ จะเป็นตัวตัดสินใจในการที่จะสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ ถ้าโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ มีสัญญาณส่งออกสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ ออโตรีโคลสซิ่งจะได้รับสัญญาณดังกล่าวด้วย โดยสัญญาณดังกล่าวจะถูกตรวจสอบว่าโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ สั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ในครั้งที่เท่าไร ถ้าจำนวนครั้งในการสั่งทริปน้อยกว่า 3 ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ จะต้องตัดสินใจให้มีการปิดกลับของเซอร์กิตเบรคเกอร์ โดยเริ่มต้นจากการหน่วงเวลาในการปิดกลับให้มากกว่า 1 วินาที เพื่อให้แน่ใจว่าฟอลต์น่าจะถูกเคลียร์ไปแล้ว

เมื่อขั้นตอนของการหน่วงเวลาในการปิดกลับผ่านไปแล้ว ออโตรีโคลสซิ่งจะส่งสัญญาณให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับ โดยสัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งเข้าไปในส่วนของการหน่วงคาบของสัญญาณ เพื่อให้คาบเวลาของสัญญาณที่จะสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับมีค่าเวลาที่มีค่าระดับหนึ่ง เพื่อให้อุปกรณ์ที่จะตอบสนองกับสัญญาณดังกล่าวสามารถตอบสนองกับสัญญาณได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นสัญญาณนี้จะถูกส่งออกไปสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์มีการปิดกลับ

ภายหลังจากการปิดกลับของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ จะตรวจสอบสภาวะหลังการปิดกลับว่ามีการปิดกลับเข้าไป ทำให้ระบบนั้นผิดปกติอีกหรือไม่ โดยจะทำงานลักษณะของการจับเวลาช่วงระยะเวลาหนึ่ง (โดยสามารถปรับตั้งได้) เมื่อครบเวลาที่กำหนดไว้แล้วไม่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แสดงโฟร์ชาร์ทการทำงานของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณการทริปของเซอร์กิตเบรคเกอร์จากโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ข้อมูลต่างๆที่อยู่ใน ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ จะถูกรีเซ็ทไปอยู่ในสภาวะเริ่มต้นอีกครั้ง

ถ้าในส่วนของการตรวจสอบจำนวนครั้งของการทริปพบว่าเป็นการทริปครั้งที่ 3 หรือมากกว่า ออโตรีโคลสซิ่ง จะตัดสินใจไม่ให้มีการปิดกลับของเซอร์กิตเบรคเกอร์เกิดขึ้น โดยเมื่อระยะเวลาผ่านไปในช่วงเวลาหนึ่งก็จะมีสัญญาณเคลียร์ข้อมูลใน ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ให้อยู่ในสภาวะเริ่มต้นอีกครั้ง

หลักการทำงานที่กล่าวมาข้างต้นเป็นแนวความคิดในการนำมาออกแบบวงจรของ ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ในโครงงานนี้ ซึ่งจะแสดงวงจรที่ได้ออกแบบขึ้นมานั้นดังรูปที่ 2.23

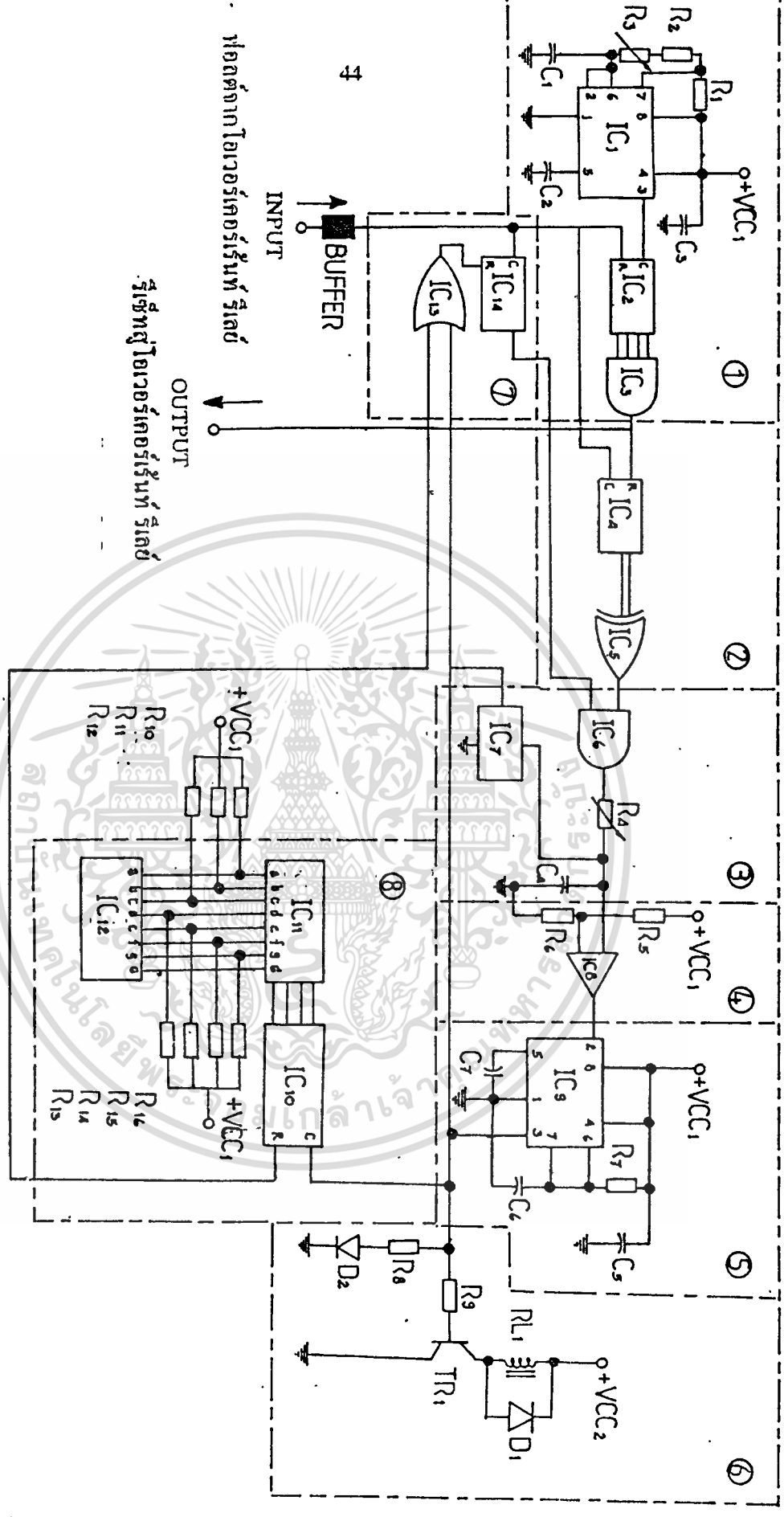
จากรูปที่ 2.23 เราจะสามารถแบ่งวงจรของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ออกเป็น 8 ส่วน ซึ่งจะสามารถอธิบายส่วนต่าง ๆ ของวงจรได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนของการสร้างรีเซ็ทข้อมูลในเคาน์เตอร์ของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ และโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ โดยประกอบด้วยไอซี 555 ต่อเป็นวงจรอะสเตเบิ้ลซึ่งจะสร้างสัญญาณ สแควร์เวฟ ซึ่งสามารถปรับตั้งคาบเวลาได้ที่ R2 วงจรอะสเตเบิ้ลจะส่งสัญญาณเข้าขานับของไอซี 74393 (4 บิท-ไบนารี่เคาน์เตอร์) เมื่อเคาน์เตอร์นับถึงค่า 1111 (เลขฐาน 2) จะทำให้ AND GATE มีสัญญาณออกเป็น 1 ซึ่งเป็นสัญญาณรีเซ็ท โดยการนับของไอซีเคาน์เตอร์ จะถูกรีเซ็ททุกครั้งที่มีสัญญาณทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์จากโอเวอร์เคอร์เร้นท์เข้ามา เพราะฉะนั้นช่วงเวลาของการรีเซ็ทจะต้องนานกว่าช่วงเวลาตั้งแต่ ออโตรีโคลสซิ่งได้รับสัญญาณทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ จนถึงช่วงเวลาของการสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับบวกด้วยช่วงเวลาที่แน่ใจว่าระบบมีสภาวะปกติภายหลัง เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับ

ส่วนที่ 2 เป็นส่วนของการตัดสินใจว่าจะมีการสั่งให้ปิดกลับหรือไม่ โดยประกอบไปด้วยไอซีเคาน์เตอร์ทำการนับจำนวนครั้งของการทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ และส่งสัญญาณการนับไปให้ XOR GATE โดยถ้าจำนวนที่นับได้เป็น 0001 (เลขฐาน2) เป็นการนับครั้งที่ 1 รีเลย์ก็จะยอมให้มีการปิดกลับ ถ้าจำนวนที่นับได้เป็น 0010 (เลขฐาน 2) เป็นการนับครั้งที่ 2 รีเลย์ก็จะยอมให้ปิดกลับอีกครั้ง และถ้าจำนวนที่นับได้เป็น 0011 (เลขฐาน 2) เป็นการนับครั้งที่ 3 รีเลย์ก็จะไม่ยอมให้มีการปิดกลับ ซึ่งหมายถึงว่าจะไม่ยอมให้มีการปิดกลับไม่เกิน 2 ครั้ง

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนของการหน่วงเวลาในการปิดกลับของเซอร์กิตเบรคเกอร์ โดยรับสัญญาณจาก AND GATE ซึ่งจะมีเอ้าท์พุทออกเป็น 1 เมื่อมีสัญญาณจากเอ้าท์พุทของส่วนที่ 2 กับส่วนที่ 7 เป็น1โดยวงจรจะประกอบด้วยส่วนของ RC หน่วงเวลาซึ่งจะใช้ R3 แบบปรับค่าได้ซึ่งจะใช้ปรับค่าเวลาที่จะปิดกลับของเซอร์กิตเบรคเกอร์ โดยแรงดันของคาปาซิเตอร์จะเป็นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แสดงวงจรออโตรีโคลสชิ่ง รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามสมการ Vc = E[1-e^(-t/RC)]

โดยคาปาซิเตอร์ในวงจรจะต่อขนานด้วยไอซีเบอร์ MOC 3032 ซึ่งเป็นไตรแอกซึ่งทริกให้ทำงานด้วยแสง โดยจะทำการดิสชาร์จประจุที่อยู่ใน C4 ลงกราวด์ เมื่อได้รับสัญญาณเอาท์พุทจากส่วนที่ 5

ส่วนที่ 4 เป็นส่วนที่จะสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับภายหลังการหน่วงเวลา โดยจะใช้ออปแอมป์ต่อเป็นวงจรคอมพิวเตอร์ โดยขนาดที่ยังไม่สั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับจะมีเอ้าท์พุท ออกมาประมาณ +VCC 2 เมื่อมีการสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับสัญญาณจะเปลี่ยนจากค่า +VCC เป็น 0 โวลท์

ส่วนที่ 5 เป็นส่วนที่หน่วงคาบหรือเพิ่มคาบของสัญญาณที่จะสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับ เพื่อให้อุปกรณ์ต่างๆสามารถตอบสนองสัญญาณนี้ได้อย่างถูกต้องในส่วนที่ 5 นี้ จะใช้ต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิ้ล มัลติไวเบรเตอร์ โดยจะสร้างเอ้าท์พุทออกมาเป็นสแควร์เวฟที่คาบเวลาคงที่ออกมา 1 ลูกคลื่นเมื่อได้รับสัญญาณทริกขอบลบจากขาอินพุท (ขาที่2) โดยช่วงของคาบเวลาของเอ้าท์พุทสามารถปรับตั้งได้ที่ R6 โดยคาบเวลาที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามสมการคาบเวลา (T) = RC ln 3 วินาที

ส่วนที่ 6 เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการปิดกลับของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ประกอบไปด้วยทรานซิสเตอร์ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสวิทช์ต่อให้คอนแทคของ RL1 ทำงาน (คอนแทค RL1ที่ใช้เป็น NO) เมื่อได้รับสัญญาณจากเอ้าท์พุทของส่วนที่ 5 โดย D2 จะเป็น LED ไว้แสดงการทำงานในส่วนที่ 6 ส่วน D1 จะทำหน้าที่เป็นทางของการคายพลังงานของคอยล์ RL1 ซึ่งจะลดอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่าน RL1 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแรงดันสไปท์ขณะเทินออฟ ตามสมการ Vl = L (dil / dt)

ส่วนที่ 7 เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เก็บสภาวะของสัญญาณทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ได้จาก โอเวอร์เดอร์เร้นท์ รีเลย์ เพื่อสั่งให้ออโตรีโคลสทำงาน โดยจะถูกรีเซ็ทค่าทุกครั้งเมื่อมีการสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับ โดยในส่วนที่ 5 จากวงจรจะใช้เคาน์เตอร์ทำหน้าที่ดังกล่าว โดยต่อเอ้าท์พุทออกจากเคาน์เตอร์ที่บิท A บิทเดียว

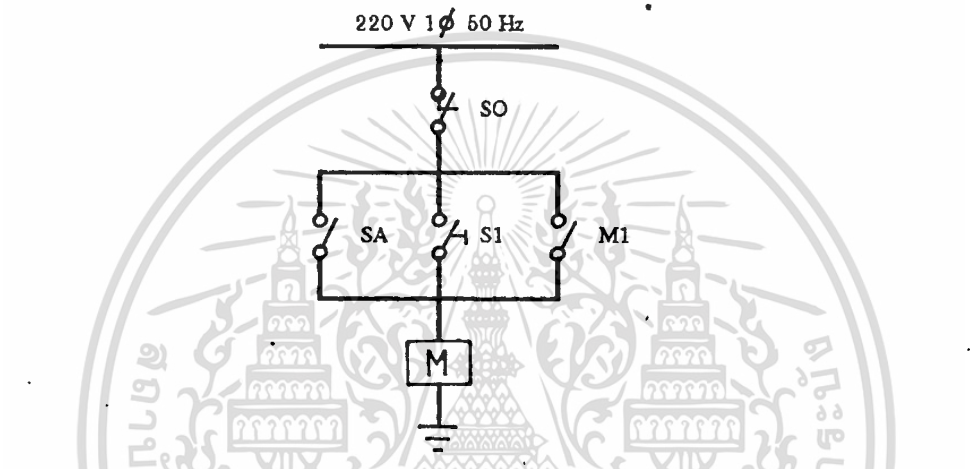
ในกรณีของการสั่งให้มีการทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์โดยโอเวอร์เดอร์เร้นท์ รีเลย์ครั้งที่ 3 นั้น ส่วนที่ 2 ของวงจรออโตรีโคลสซึ่ง รีเลย์ จะไม่มีการสั่งให้มีการปิดกลับของเซอร์กิตเบรคเกอร์เป็นผลให้ไม่มีสัญญาณมารีเซ็ทข้อมูลในส่วนที่ 7 นี้ ดังนั้นจึงกำหนดให้ในส่วนที่ 7 มีการรีเซ็ทพร้อมกับการรีเซ็ทโดยเอ้าท์พุทจากส่วนที่ 1 ด้วย

ส่วนที่ 8 เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แสดงผล โดยจะแสดงจำนวนครั้งของการปิดกลับของเซอร์กิตเบรคเกอร์ในสภาวะของการผิดปกติในวาระนั้นๆ ว่ามีการปิดกลับของเซอร์กิตเบรคเกอร์กี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้ง โดยจะใช้เคาน์เตอร์เป็นตัวนับจำนวนครั้งของการสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับ และ ส่งสัญญาณให้กับตัวแปลงรหัสเพื่อส่งต่อไปให้ส่วนแสดงผล LED 7 ส่วน และจะมีการรีเซ็ทข้อมูลในส่วนนี้โดยสัญญาณเอ้าท์พุทจากส่วนที่ 1

เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพการทำงานในระบบกำลังของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ในการสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับจะสามารถอธิบายได้ดังนี้ โดยใช้รูปที่2.23และรูปที่ 2.24 ประกอบการอธิบาย



รูปที่ 2.24 วงจรควบคุมการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์

รูปที่ 2.25 ไดอะแกรมเวลาของคอนแทคโอเวอร์เคอร์เร้นท์ และออโตรีโคลส

จากรูปที่ 2.25 เป็นการยกตัวอย่างการทำงานของคอนแทคของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ และออโตรีโคลส ในกรณีของการเกิดฟอลต์แบบถาวรซึ่งไม่สามารถเคลียร์ตัวเองได้

จากรูปที่ 2.24 หมายถึงคอนแทคของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ ซึ่งจะเป็นแบบ NC ต่ออนุกรมกับคอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แมคเนติคคอนแทคเตอร์ ซึ่งในโครงการนี้จะใช้การจำลองเซอร์กิตเบรคเกอร์ด้วยแมคเนติค

SA หมายถึง คอนแทคของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

S1 หมายถึง สวิทช์ที่ทำหน้าที่ต่อวงจรให้แมคเนติค M ทำงาน และ เป็นคอนแทคช่วยของแมคเนติค ซึ่งเป็นแบบ NO

เมื่อเรากดสวิทช์ S1 แมคเนติคจะทำงาน ดังนั้น M1จะทำการล็อคการทำงานของแมคเนติค ดังนั้นเมื่อเราปล่อยมือจาก S1 ก็จะทำให้แมคเนติคสามารถทำงานอยู่ได้ เมื่อแมคเนติคทำงานก็จะต่อระบบเพื่อจ่ายพลังงานให้กับโหลดทั้ง 3 เฟส (A, B และ C) ซึ่งจะตรงกับ To ในรูปที่ เมื่อเกิดการผิดปกติของกระแสในระบบ โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ จะทำงาน ซึ่งจะทำให้มีการเปิดคอนแทค So ในเวลาต่อมา ซึ่งตรงกับ T1 ดังนั้นในช่วงเวลานี้เมื่อ So เปิดวงจรแมคเนติคจะหยุดทำงานและจะเปิดระบบทั้ง 3 เฟสออกไม่ให้มีการจ่ายโหลด ซึ่ง M1 ก็จะเปิดวงจรออกด้วย

เมื่อถึงช่วงเวลา T2 คอนแทค So ก็จะปิดกลับอยู่ในสภาวะเดิม (NC) ในขณะเดียวกันออโตรีโคลสซิ่งก็จะได้รับสัญญาณทริปแมคเนติคจากโอเวอร์เคอร์เร้นท์ ซึ่งเป็นการทริปครั้งที่ 1 ดังนั้นออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ก็จะทำการหน่วงเวลาในการสั่งให้แมคเนติคปิดกลับจนถึงเวลา T3 ก็จะสั่งให้แมคเนติคปิดกลับ โดยคอนแทค SA จะปิดวงจรทำให้แมคเนติค และ M1 ทำงานอีกครั้ง

เมื่อถึงเวลา T4 คอนแทค SA ก็จะเปิดวงจรออกตามเดิม ตามที่กล่าวข้างต้นว่ากำหนดให้ความผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้นไม่สามารถเคลียร์ได้ด้วยตัวเอง ดังนั้นในช่วงเวลา T5 โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ก็จะทำการสั่งทริปอีกเป็นครั้งที่ 2 โดยคอนแทค So ก็จะเปิดวงจรออกอีกครั้ง และจะปิดกลับในช่วงเวลา T6 ซึ่งในขณะเดียวกันออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ก็จะได้รับสัญญาณทริปแมคเนติคอีกเป็นครั้งที่ 2 ดังนั้น มันก็จะทำการหน่วงเวลาในการสั่งให้แมคเนติคปิดกลับ จนถึงช่วงเวลา T7 คอนแทค SA ก็จะปิดวงจร เพื่อสั่งให้แมคเนติคนั้น กลับมาทำงานอีกครั้งหนึ่ง จนถึงช่วงเวลา T8 ,SA ก็จะเปิดวงจรออก

และในการปิดกลับของแมคเนติคในครั้งนี้ก็จะทำให้โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ทำงานอีกครั้งโดย So จะเปิดวงจรออกเพื่อทริปแมคเนติคเป็นครั้งที่ 3 ในช่วงเวลา T9, ดังนั้นแมคเนติคก็จะเปิดวงจรของระบบออกอีกครั้งจนถึงช่วงเวลา T10, So ก็จะปิดกลับมาอยู่ในสภาวะเดิม ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันที่ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ จะได้รับสัญญาณการทริปแมคเนติคอีกเป็นครั้งที่ 3 ซึ่งในครั้งนี้ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ จะไม่มีการสั่งให้มีการปิดกลับของแมคเนติคเข้าไปอีกครั้ง เนื่องจากตรวจสอบแน่ชัดแล้วว่า จะต้องมีการเคลียร์ที่เกิดขึ้นออกไปเสียก่อน เพราะว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นเป็นแบบที่ไม่สามารถเคลียร์ตัวเองได้ เมื่อผู้ควบคุมระบบสามารถเคลียร์ฟอลต์ออกไปแล้ว ก็จะทำการต่อระบบให้จ่ายโหลดอีกครั้ง โดยกดที่สวิทช์ S1 แมคเนติคก็จะทำงานอีกครั้ง ซึ่งข้อมูลที่เก็บไว้ในรีเลย์ จาก เหตุการณ์ที่กล่าวมาข้างต้นก็จะถูกรีเซ็ทให้อยู่สภาวะเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 การเซ็ทค่าการทำงานของออโตรีโคลสชิ่ง รีเลย์

ในการใช้งานออโตรีโคลสชิ่ง รีเลย์ ทำงานร่วมกับโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ที่นำเสนอในโครงงานนี้ได้กำหนดให้มีการเซ็ทค่าของการปิดกลับไม่เกิน 2 ครั้ง โดยในการใช้งานนั้นจะต้องมีการปรับเซ็ทค่าที่ใช้ในการทำงานคือ

2.14.1 รีเซ็ท ไทม์ (resetting time) เป็นการปรับตั้งค่าของช่วงเวลาในการรีเซ็ทข้อมูลที่แสดงสภาวะการทำงานของออโตรีโคลสชิ่ง กับโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ซึ่งจะเป็นผลให้ตัวเลขแสดงผลบนรีเลย์ทั้งสองเปลี่ยนเป็นเลข 0 ด้วย ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวมีข้อกำหนดที่ว่าควรจะมีเวลามากกว่าเวลาที่ออโตรีโคลสชิ่ง ใช้ในการทำงาน (ตั้งแต่ได้รับสัญญาณจากโอเวอร์เคอร์เร้นท์ จนถึงเวลาที่สั่งให้มีการปิดกลับ) บวกกับช่วงเวลาหนึ่งซึ่งเป็นค่าที่แน่ใจว่าระบบได้กลับคืนสู่สภาวะปกติแล้ว

โดยค่าอ้างอิงที่จะเซ็ทที่ตัวรีเลย์จะอยู่ในรูปของค่าความต้านทาน โดยก่อนที่จะเซ็ทค่าต้องเลื่อนสวิทช์ไปทางขวาก่อน ซึ่งค่าความต้านทานที่จะเซ็ทเป็นไปตามสมการ

$$R = [T/(138x10^{-6})] - 12500 \quad \text{.....(1)}$$

$$T = Treset > 27.6 \text{ วินาที} \quad \text{.....(2)}$$

2.14.2 รีโคลส เทม (reclosing time) เป็นการปรับตั้งค่าช่วงเวลาในการสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับ โดยนับจากเวลาที่ได้รับสัญญาณจากโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ จนถึงเวลาที่สั่งให้มีการปิดกลับ ซึ่งสัญญาณอ้างอิงที่จะเซ็ทที่ตัวรีเลย์จะอยู่ในรูปค่าความต้านทาน โดยก่อนที่จะเซ็ทค่าต้องเลื่อนสวิทช์มาทางขวาก่อน โดยค่าความต้านทานเป็นไปตามสมการ

$$R = T(10.195x10^{3}) \quad \text{.....(1)}$$

$$0<R<500 \text{ K} \quad \text{.....(2)}$$

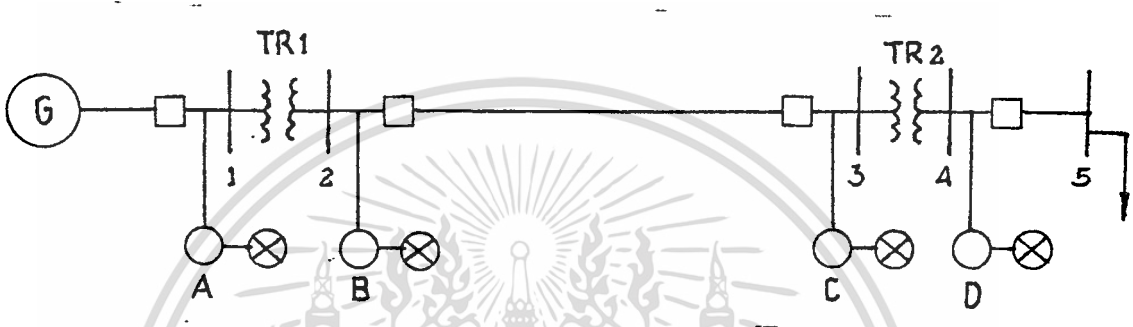
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณ และการสร้าง

3.1 รายละเอียดในโครงการระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3

การที่กล่าวมาแล้วในข้างต้นว่า ในโครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3 นั้นเป็นส่วนของการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่กำหนดไว้แล้วด้วยโอเวอร์เคอร์เรนท์ รีเลย์ ร่วมกับ ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังจำลองด้วยโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ร่วมกับออโตรีโคลสซิ่ง
○ : โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ , ⊗ : ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

พิจารณาระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่แสดงดังรูปที่ 3.1 ประกอบด้วย

1. ส่วนของการกำเนิดพลังงาน หรือเป็นโรงจักรไฟฟ้า
2. ส่วนของหม้อแปลง-แปลงขึ้น
3. ส่วนของสายส่ง
4. ส่วนของหม้อแปลง-แปลงลง
5. เป็นส่วนของโหลดที่จะต่อออกไปจากระบบ

พารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบไฟฟ้ากำลังจำลองนี้ได้จำลองมาจากระบบไฟฟ้ากำลังของจริง โดยการลดขนาดลงมาโดยการใช้ค่าเปอร์ยูนิตเราจะใช้โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ทำการตรวจจับค่ากระแส ณ จุดต่างๆ ของระบบไฟฟ้ากำลังที่จุด A, B, C, D ดังรูป

โดยโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ที่ใช้ทั้งหมดจะใช้ป้องกันกระแสผิดปกติที่จะเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังจำลองตั้งแต่ บัส 1, หม้อแปลง 1, บัส 2, สายส่ง, บัส 3, หม้อแปลง 2, บัส 4 ไปจนถึงโหลด โดยค่าการทำงานของรีเลย์ในแต่ละจุดจะแตกต่างกันไป เช่น รีเลย์ในจุด A จะมีการเซ็ทค่าเวลาที่จะทำให้มันเริ่มทำงานสูงกว่ารีเลย์ที่จุด B, C, D ตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อให้รีเลย์ทั้ง 4 จุดนั้นทำงานประสานกันได้ด้วยดี และถูกต้องตามคุณสมบัติของรีเลย์ โดยค่ากระแส และเวลาที่เริ่มทำงานที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท้จริงของรีเลย์นั้นจะกำหนดจากค่ากระแสปกติที่จุดต่างๆ และค่ากระแสผิดปกติที่จุดต่างๆ

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าจะมีการทำงานของรีเลย์ ในลักษณะรีเลย์หลัก และรีเลย์สำรอง เช่น เกิดฟอลต์ที่บัส 3 รีเลย์ C จะทำงานเป็นรีเลย์หลัก โดยจะมีรีเลย์สำรองเป็น A และ B ตามลำดับ โดยจะทำงานเป็นรีเลย์สำรองในการเปิดวงจรเมื่อรีเลย์ C เกิดขัดข้อง หรือไม่ทำงาน

3.2 ขั้นตอนของโครงงาน

3.1 การค้นคว้าข้อมูล เป็นการหาข้อมูลพื้นฐานต่างๆ ที่ใช้ในการจัดทำโครงงาน ซึ่งเกี่ยวข้องกับเนื้อหาวิชาของระบบไฟฟ้ากำลังและการป้องกัน ด้วยโอเวอร์เดอร์เร้นท์ รีเลย์ กับ ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ จะเน้นหนักไปทางรีเลย์แบบสเตติค และเนื้อหาวิชาที่เกี่ยวข้องกับอีเลคทรอนิคส์

3.2 สร้างโอเวอร์เดอร์เร้นท์ รีเลย์ ต้นแบบ เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการสร้างโอเวอร์เดอร์เร้นท์ รีเลย์ตัวอื่นที่เหลือ โดยการเริ่มจากกำหนดรูปแบบการทำงานและคุณสมบัติที่ต้องการ ซึ่งอาศัยข้อมูลที่สำคัญจากโครงงานที่เกี่ยวกับการป้องกันตัวเดิมหรือโครงงานตัวเก่าโดยนำมาพัฒนาจุดต่างๆ ให้มีความเหมาะสมตามรูปแบบและคุณสมบัติที่ต้องการ

3.3 สร้างออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ต้นแบบ เช่นเดียวกับในข้อ 2 เป็นการสร้างขึ้นมาเพื่อเป็นตัวอย่างในการสร้างออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ ตัวอื่นที่เหลือ ซึ่งข้อมูลสำคัญที่ได้ก็จะได้จากการศึกษาจากโครงงานเกี่ยวกับป้องกันตัวเดิม เช่นกัน โดยจุดต่างๆที่ทำการแก้ไขปรับปรุงก็เพื่อให้มีความเหมาะสมตามรูปแบบและคุณสมบัติที่ต้องการ

3.4 การทดสอบของคุณสมบัติรีเลย์ต้นแบบ เป็นการทดสอบเก็บข้อมูลรีเลย์ต้นแบบทั้งสอง ว่าเป็นไปตามคุณสมบัติที่ต้องการหรือไม่ ถ้ามีความถูกต้องตามที่ต้องการก็จะดำเนินการสร้างต้นแบบให้เสร็จสมบูรณ์ในทุกๆ ส่วน

3.5 สร้างชุดรีเลย์ที่เหลือทั้งหมด โดยอาศัยรูปแบบในการสร้างเช่นเดียวกับในชุดต้นแบบ เพื่อใช้ในการติดตั้งเข้าทำงานร่วมกับระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่สร้างขึ้นโดยกลุ่มที่ 1

3.6 การเซ็ทค่าและการทดสอบการทำงาน เมื่อประกอบชุดป้องกัน2ทั้งหมดที่ได้สร้างขึ้นมากับระบบแล้วก็จะต้องทำการเซ็ทค่าในการทำงาน เช่น เวลาและขนาดของกระแสที่รีเลย์ในแต่ละชุด เพื่อให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลังการเซ็ทค่าแล้วก็จะทดสอบการทำงานของชุดป้องกันตามสภาวะต่างๆ ที่จำลองขึ้น

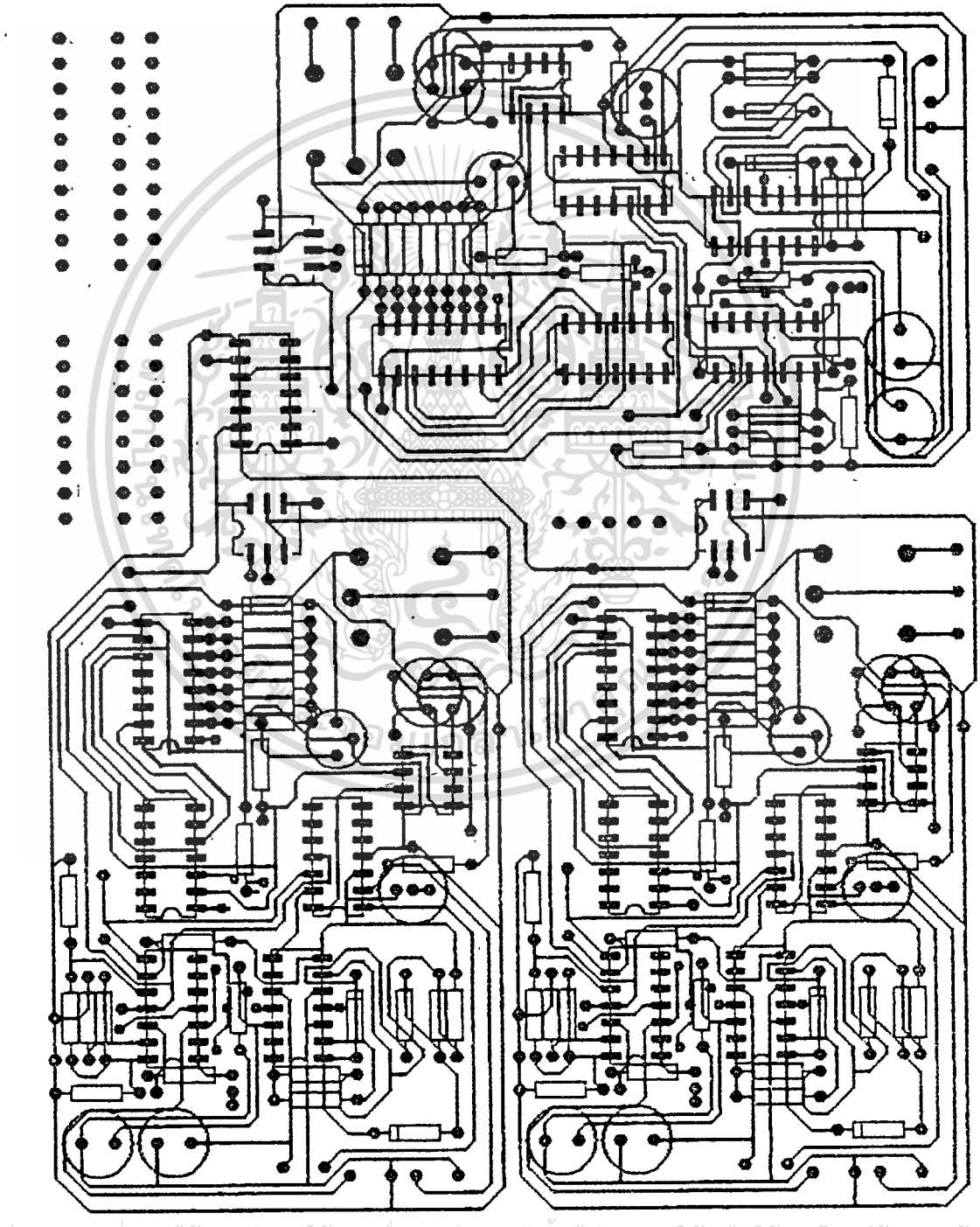
3.7 ปรับปรุง แก้ไขและสรุปผลของโครงงาน

จากการทดสอบนั้นถ้ามีการทำงานผิดพลาดของชุดรีเลย์ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้อง เมื่อทุกอย่างเสร็จสมบูรณ์แล้วก็จะเป็นการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ในโครงงานเพื่อนำมาเขียนบันทึกลงในปริญญานิพนธ์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

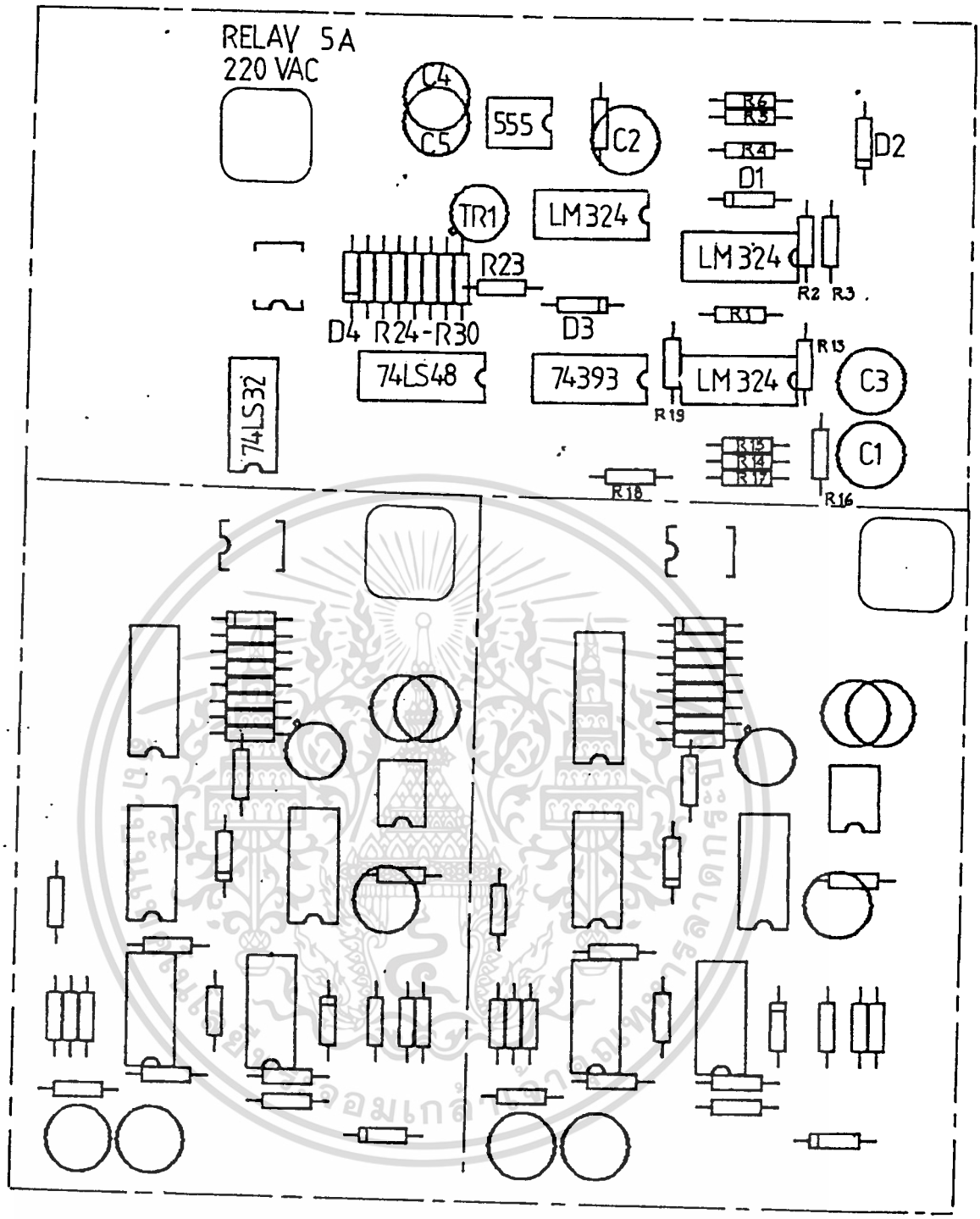
3.3 ตำแหน่งอุปกรณ์โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์

จากวงจรการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ รูปที่ 2.11 หน้า 16 จะถูกนำไปออกแบบลายปริ้นเพื่อนำมาใช้งานจริง โดยอาศัยซอฟท์แวร์โปรแกรม protel เป็นส่วนช่วยในการออกแบบ ซึ่งลายวงจรที่ได้ และตำแหน่งอุปกรณ์บนลายปริ้นจะแสดงดังรูปที่ 3.2 ตำแหน่งเฉพาะอุปกรณ์แสดงดังรูป 3.3 ซึ่งเป็นวงจรทั้ง 3 เฟสของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ และตารางการแสดงค่าของอุปกรณ์ต่างๆแสดงในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งอุปกรณ์บนลายปริ้นของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงเฉพาะอุปกรณ์ของโอเวอร์เดอร์เร้นท์ รีเลย์ 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

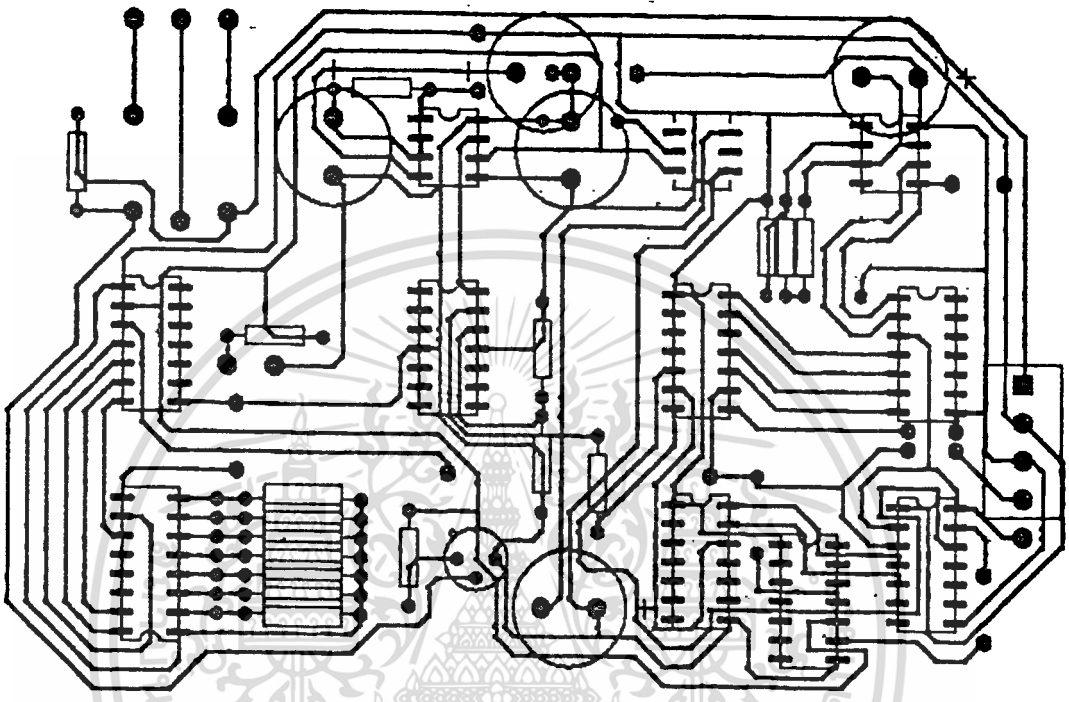
สัญลักษณ์	รายละเอียด	ค่าที่ใช้ / เบอร์
R1	CABON RESISTOR 0.25 W	100 Ω
R2,R3,R4,R6,R12-R20,R23	CABON RESISTOR 0.25 W	10 KΩ
R5,R10	CABON RESISTOR 0.25 W	5 KΩ
R7,R22	CABON RESISTOR 0.25 W	1 KΩ
R8,R11	VARIABLE RESISTOR 0.25 W	10 KΩ
R9	VARIABLE RESISTOR 0.25 W	500 KΩ
R21	VARIABLE RESISTOR 0.25 W	8.2 KΩ
C1	ELECTROLITE CAP. 50 V	100 μF
C2	ELECTROLITE CAP. 16 V	2200 μF
C3,C5	ELECTROLITE CAP. 16 V	100 μF
C4	ELECTROLITE CAP. 16 V	0.01 μF
C6	ELECTROLITE CAP. 16 V	100 μF
D1,D2	GEMANIUM DIODE	BAW 62
D3	LED	
D4	RECTIFIER DIODE	IN 4001
IC1,IC2,IC3,IC4	IC	LM 324 N
IC5,IC6,IC7,IC8,IC9	IC	LM 324 N
555	IC	NE 555 P
TR1	NPN TRANSISTOR	BC 337
RELAY	RELAY 5 A 220 VAC	

ตารางที่ 3.1 แสดงรายการอุปกรณ์ของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ต่อเฟส

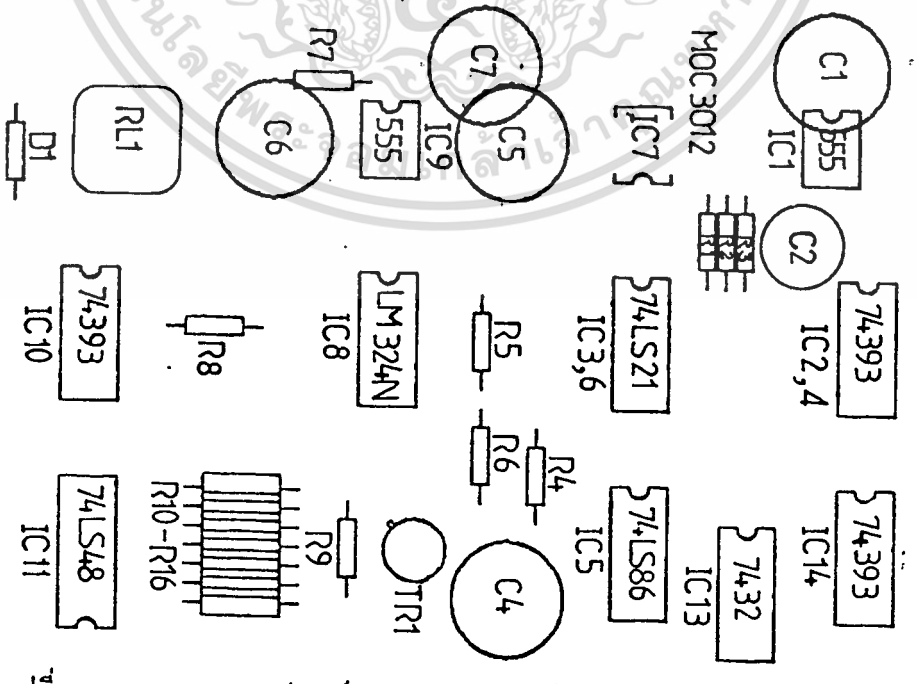
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ตำแหน่งอุปกรณ์ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

จากวงจรการทำงานของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ รูปที่2.23หน้า 44 ซึ่งถูกออกแบบโดยใช้วิธีเดียวกับโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ และลายวงจรที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.4 ตำแหน่งเฉพาะอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.5 และตารางแสดงค่าของอุปกรณ์ต่างๆแสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งอุปกรณ์บนลายปริ้นของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์



รูปที่ 3.5 แสดงเฉพาะอุปกรณ์ของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์	รายละเอียด	ค่าที่ใช้ / เบอร์
R1	CABON RESISTOR 0.25 W	5 KΩ
R2	CABON RESISTOR 0.25 W	10 KΩ
R3	VARIABLE RESISTOR 0.25 W	50 KΩ
R4	VARIABLE RESISTOR 0.25 W	500 KΩ
R5	CABON RESISTOR 0.25 W	10 KΩ
R6	CABON RESISTOR 0.25 W	5 KΩ
R7	CABON RESISTOR 0.25 W	8.2 KΩ
R8	CABON RESISTOR 0.25 W	1 KΩ
R9	CABON RESISTOR 0.25 W	10 KΩ
R10-R16	CABON RESISTOR 0.25 W	500 KΩ
C1,C4,C6	ELECTROLITE CAP. 16 V	100 µF
C2,C7	MICA CAP. 50 V	0.01 µF
C3,C5	ELECTROLITE CAP 16 V	10 µF
D1	RECTIFIER DIODE	IN 4001
D2	LED	
IC1,IC9	IC	555
IC2,IC4,IC10,IC14	IC	74393
IC3,IC6	IC	7421
IC5	IC	7486
IC7	IC	MOC 3020
IC8	IC	LM 324 N
IC11	IC	7448
IC12	IC	7 SEGMENT
IC13	IC	7432
TR1	NPN TRANSISTOR	
RL1	RELAY 12 V 3 A	

ตารางที่ 3.2 แสดงรายการอุปกรณ์ของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ส่วนประกอบกล่องของรีเลย์

3.5.1 หน้ากล่องโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์

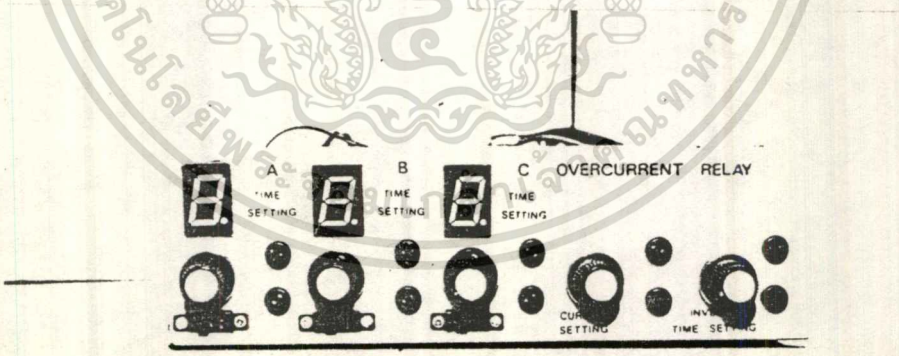
- ปุ่มปรับเวลา (time setting) คือปุ่มปรับการหน่วงเวลาในการตัดเซอร์กิตเบรคเกอร์ ในกรณีเกิดการลัดวงจรขึ้น โดยปุ่มนี้จะใช้ตัวปรับที่เป็นค่าความต้านทาน 500 KΩ ต่อกับคาปาซิเตอร์ ค่าเวลาในการหน่วงจะเป็นไปตามวงจร RC หน่วงเวลา โดยจะปรับได้ทั้ง 3 เฟส ในการใช้งานทั้ง 3 เฟส ควรปรับตั้งเท่าๆกัน ปุ่มปรับนี้สามารถปรับตั้งโดยการเลื่อนสวิทช์เพื่อตัดความต้านทานออกจากวงจรแล้วใช้โอห์มมิเตอร์วัดค่าความต้านทาน

- ปุ่มปรับกระแส (current setting) คือปุ่มปรับระดับค่ากระแสในการเกิดกระแสเกิน โดยจะใช้ตัวปรับเป็นความต้านทาน 10 KΩ ต่ออนุกรมกับความต้านทาน 1 KΩ ในวงจรคอมพาราเตอร์ โดยที่เมื่อมีสัญญาณกระแสเกินขึ้นมาจากระดับค่ากระแสที่ตั้งเอาไว้ ก็จะมีการส่งไปยังส่วนต่อไป

- ปุ่มปรับเวลาปิดกลับ (inverse time setting) คือปุ่มปรับระดับสัญญาณที่เป็นฐานให้กับการหน่วงเวลา RC หน่วงเวลา โดยจะใชตัวปรับเป็นความต้านทาน 10 KΩ ต่ออนุกรมกับ 5 KΩ การปรับระดับสัญญาณนี้จะต้องมีการปรับระดับสัญญาณสูง ก็จะทำให้ฐานใหกับการหน่วงเวลา RC หน่วงเวลามากขึ้น ปุ่มนี้สามารถปรับระดับสัญญาณได้สูงสุด 10 V

- ตัวเลข 7 เซ็กเมนท์ จะแสดงจำนวนครั้งในการตัดเซอร์กิตเบรคเกอร์ในกรณีเกิดกระแสเกินหรือกระแสลัดวงจรขึ้น

ซึ่งส่วนต่างๆที่อธิบายมาสามารถแสดงในรูปที่ 3.6



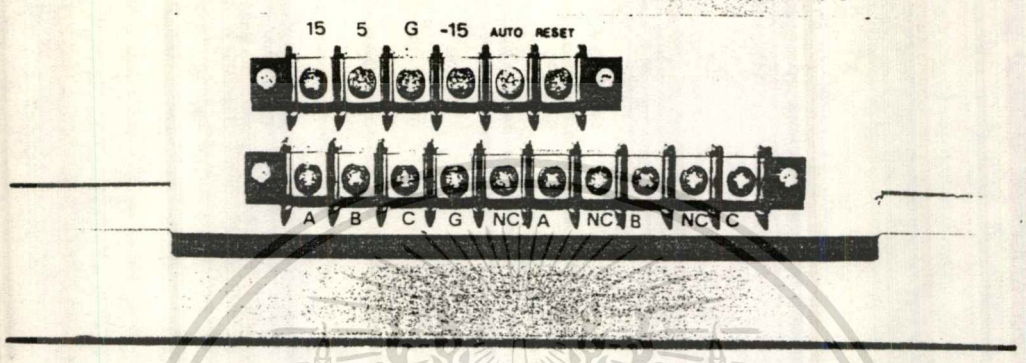
รูปที่ 3.6 แสดงหน้ากล่องโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์

3.5.2 หลังกล่องโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์

ด้านหลังกล่องจะมีขั้วต่อสายสำหรับไฟเลี้ยงออปแอมป์ และรีเลย์ คือ +15 , +5 , G , -15 , Vdc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และขั้วต่อสายเพื่อส่งสัญญาณไปยังออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ และสัญญาณรีเซ็ท และขั้วต่อสายสำหรับหม้อแปลงกระแสในเฟส A, B, C และ G หน้าสัมผัสคอนแทคปกติปิดของรีเลย์ในเฟส A, B, C เพื่อนำไปใช้ในทางคอนโทรลของแมคเนติค โดยภาพได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงด้านหลังกล่องโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์

3.5.3 หน้ากล่องออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

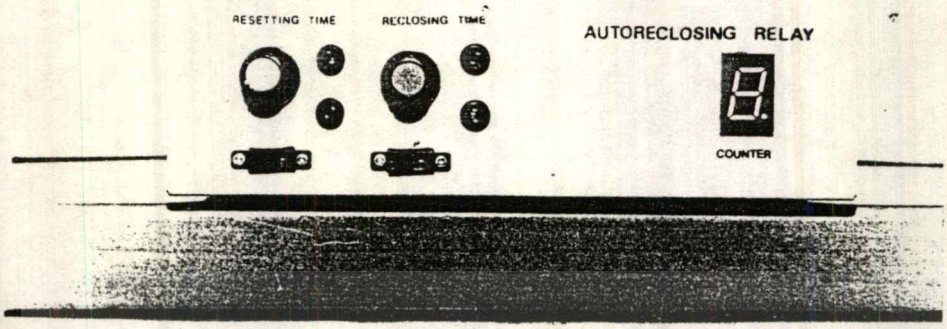
- ปุ่มปรับรีเซ็ทเวลา (resetting time) คือปุ่มปรับช่วงเวลาให้ยอมมีการเกิดสัญญาณฟอลต์ติดต่อกัน โดยจะใชตัวปรับเป็นความต้านทาน 50 KΩ ปรับที่วงจรอะสเตเบิ้ล ที่ขับโดยไอซี 555 ซึ่งช่วงเวลาในการรีเซ็ทจะมากขึ้นเมื่อปรับค่าความต้านทานมากขึ้น

- ปุ่มปรับรีโคลสเวลา (reclosing time) คือปุ่มปรับการหน่วงเวลาในการปิดกลับของเซอร์กิตเบรคเกอร์ เมื่อมีสัญญาณจากโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ไปสั่งตัดเซอร์กิตเบรคเกอร์ออกแล้ว โดยปุ่มปรับนี้จะใช้ตัวปรับเป็นความต้านทาน 500 KΩ ต่ออยู่กับคาปาซิเตอร์ ทำการหน่วงเวลาแบบวงจร RC หน่วงเวลา

- ตัวเลข 7 เซ็กเม้นท์ จะแสดงจำนวนครั้งการปิดกลับของเซอร์กิตเบรคเกอร์ โดยการสั่งของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

โดยด้านหน้ากล่องทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงหน้าก่องของออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

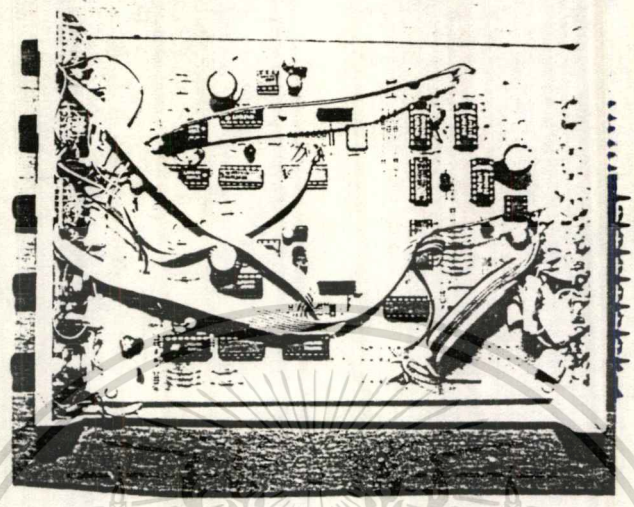
3.5.4 หลังกล่องออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

ด้านหลังกล่องจะมีขั้วต่อสายสำหรับไฟเลี้ยงออปแอมป์ และรีเลย์ คือ +15 , +5 และ G ขั้วต่อสายอินพุท ซึ่งจะต่อสัญญาณที่ส่งมาจากโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ขั้วต่อสายรีเซ็ท ซึ่งจะต่อสายสัญญาณรีเซ็ทในการเซ็ทเวลากับโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ขั้วต่อสายสำหรับหน้าสัมผัสของรีเลย์ ซึ่งมีทั้งปกติเปิด และปกติปิดโดยจะมีจุดร่วมกัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในวงจรคอนโทรล ไฟเลี้ยงแมคเนติค ซึ่งรูปหลังกล่องแสดงในรูปที่ 3.9

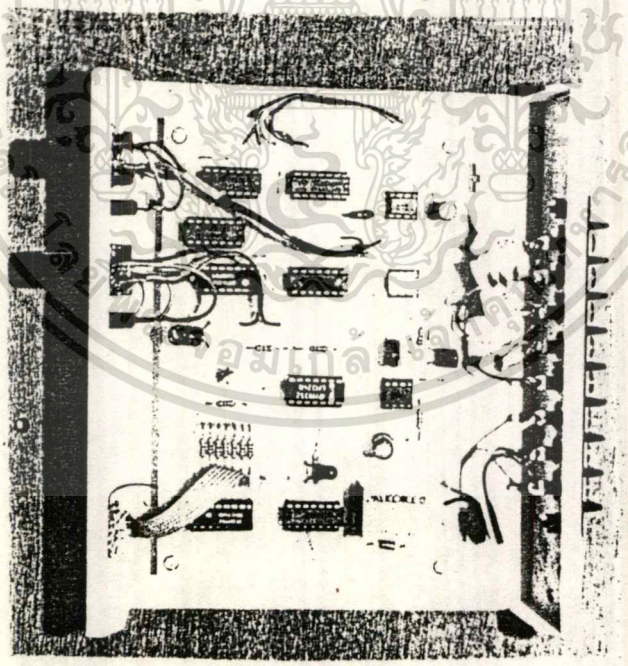
รูปที่ 3.9 แสดงหลังกล่องออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

และรูปภายในกล่องของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ กับออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ แสดงในรูปที่ 3.10 , 3.11 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงภายในกล่องโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์



รูปที่ 3.11 แสดงภายในกล่องออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

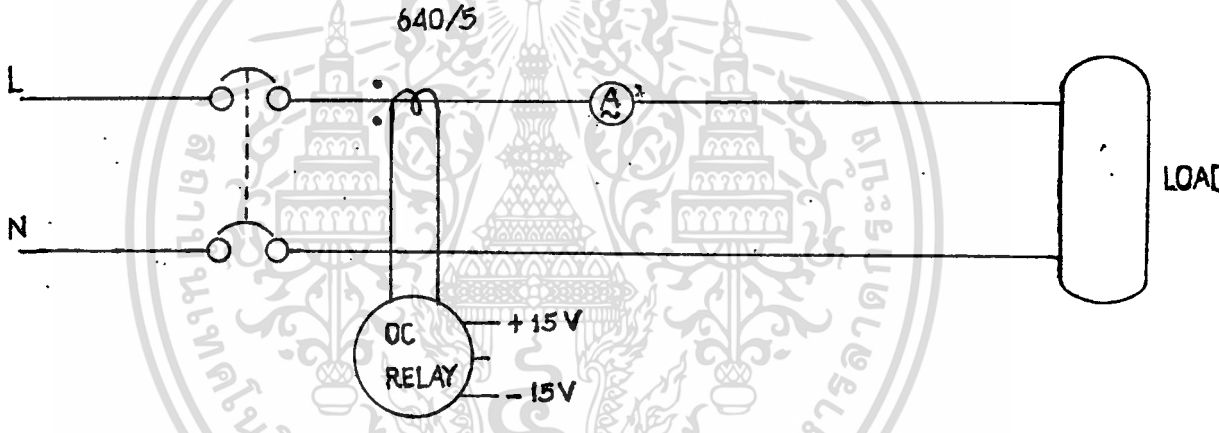
การทดลอง และผลการทดลอง

4.1 การทดลองโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์

เมื่อทำการสร้างโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ต้นแบบแล้วจะต้องทำการทดสอบหาคุณลักษณะการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ที่สภาวะต่างๆแล้วทำการเก็บข้อมูลที่ได้เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ว่าสามารถนำไปใช้งานได้หรือไม่ และข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนี้จะช่วยในการปรับตั้งค่าต่างๆ ในโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ที่จะใช้ในการทำงานร่วมกันในระบบป้องกันทั้งหมด

4.1.1การทดสอบ

เป็นการทดสอบคุณลักษณะของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ซึ่งจะวงจรที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรการทดสอบโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์

การทดสอบการทำงานนั้นจะใช้ระบบไฟ 220 V 1 เฟสเป็นแหล่งจ่าย จ่ายให้แก่โหลดหลอดไฟซึ่งปรับค่าได้โดยอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่ใช้เป็นขนาด 640/5A โดยขั้นตอนการทดสอบอธิบายดังนี้

4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการทดสอบขั้วของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าหรือโพราริตี้ เทสต์ และทำเครื่องหมายดอทไว้ที่ปลายสายทางด้านปฐมภูมิ และ ทุติยภูมิ

2. ทำการต่อวงจรตามรูปที่ 4.1

3. ทำการเซ็ตค่าต่างๆ ที่โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ดังนี้

- ที่จุดเคอร์เร้นท์ เซ็ทติ้ง ให้ปรับแรงดันไว้ที่ประมาณ 3 V ซึ่งเป็นค่ากำหนดว่ากระแสเริ่มผิดปกติ (4 A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ที่จุดไทม์ เซ็ทติ้ง เราจะเซ็ทค่าความต้านทานปรับค่าที่จุดนี้ ที่ 500 KΩ
- ที่จุดอินเวอสไทม์ เซ็ทติ้ง ซึ่งเป็นกรณีที่โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ใช้เวลาในการทำงานสูงสุดในสภาวะที่กำหนด เป็นการปรับรูปกราฟคุณลักษณะการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ในการทดสอบครั้งนี้จะพิจารณาผลของเวลาที่ใช้ในการสั่งทริปกับค่ากระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นเป็นหลัก โดยค่ากระแสนั้นสามารถปรับได้ที่จุดเซ็ทเป็นหลัก.โดยเราจะเริ่มปรับไว้ที่ 3 V

4.ทำการจ่ายโหลดไว้ที่ค่าระดับปกติซึ่งต่ำกว่า 4 A ให้สังเกตุการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ จะต้องไม่มีการทำงานเพราะว่ายังไม่มีค่าความผิดปกติของกระแส

5. เนื่องจากโหลดที่ใช้ในการเลือกปรับนั้นเป็นโหลดที่มีลักษณะเป็นสเตปโดยกำหนดค่ากระแสก่อนที่จะเกิดฟอลต์ ในข้อที่ 4 สเตป ที่ 0

6.ทำการปรับโหลดไปที่สเตป 1 โดยทำการจับเวลาขณะเริ่มจ่ายโหลดในสเตปที่ 1 จนกระทั่งรีเลย์ทำงาน ทำการบันทึกค่าเวลา และค่าของกระแสที่ได้ลงในตารางการทดลองที่ 4.1 และลดโหลดให้อยู่ในสเตป ที่ 0

7. ทำซ้ำแบบเดียวกันกับข้อ 6 โดยการปรับโหลดจากสเตป ที่ 0 ไปสเตป ที่ 2

8.ทำซ้ำแบบเดียวกันกับข้อ 6 ดังกล่าว โดยการปรับโหลดจากสเตป ที่ 0 ไปสเตป ที่ 3

9. ทำการปรับค่าอินเวอสไทม์ เซ็ทติ้งขึ้นทีละ 3 V และทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 4-8 จนกระทั่ง ค่าแรงดันที่อินเวอสไทม์ เซ็ทติ้ง มีค่า 9 V

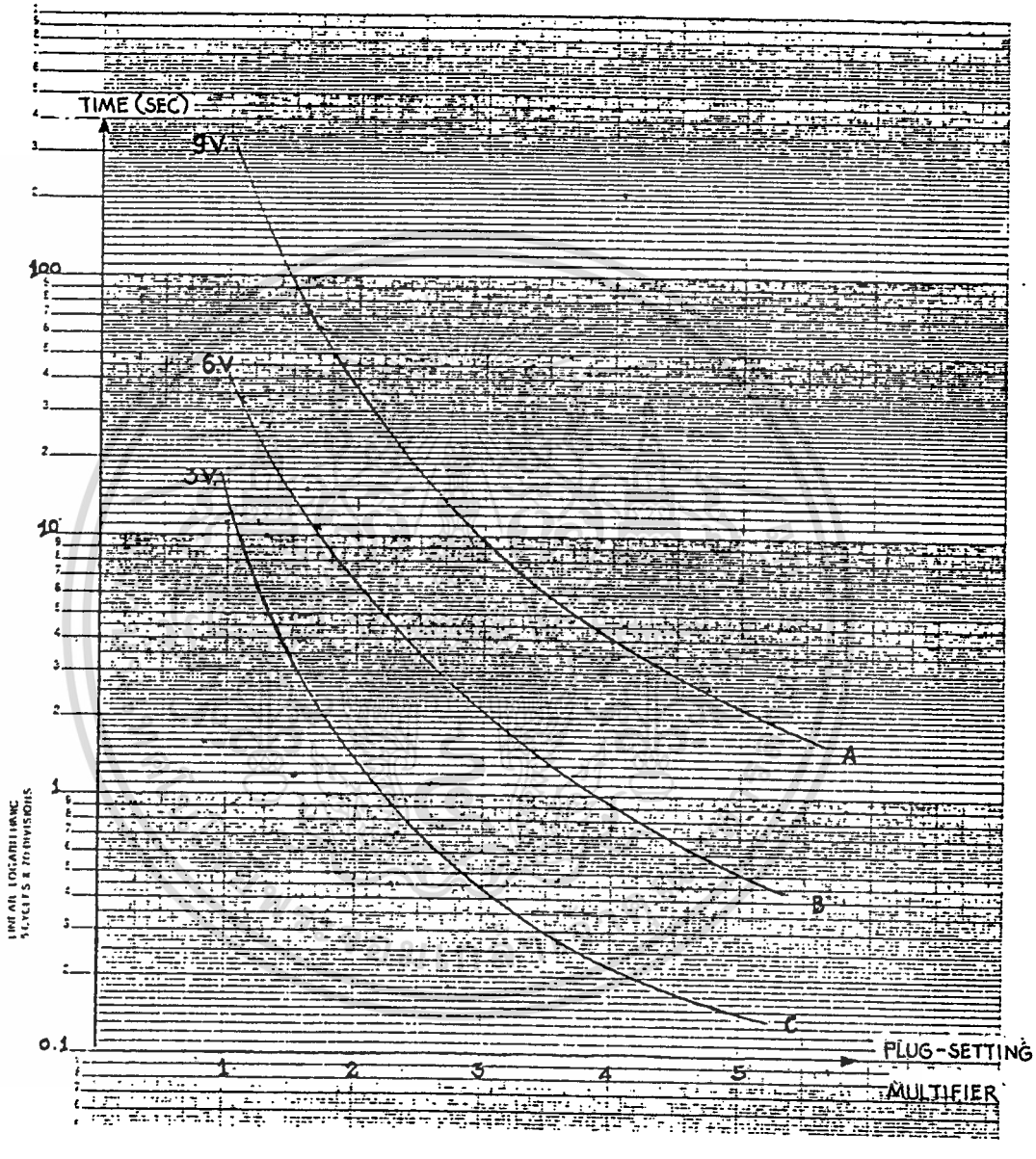
10.นำผลที่ได้ไปพล็อทกราฟเซมิลอค โดยให้ค่ากระแสอยู่ในแกนนอน และเวลาอยู่ในแนวตั้ง โดยข้อควรระวังคือ ในช่วงที่เพิ่มโหลดในข้อ 6, 7, 8 นั้นควรจะทิ้งช่วงเวลาการทดลองสักครู่ เพื่อให้คาปาซิเตอร์ที่ทำการหน่วงเวลาได้คายประจุออกจนหมดเสียก่อนจึงทำการทดลองเพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ได้มีความถูกต้อง

STEP LOAD	CURRENT (A)	INVERSE TIME SETTING		
		3 V	6 V	9 V
		TIME		
1	4.3	12 SEC	33 SEC	
2	5.2	10 SEC	26 SEC	2.40 MIN
3	6.2	4 SEC	15 SEC	1.15 MIN
4	7.1	1 SEC	11 SEC	1.30 MIN

ตารางที่ 4.1 ค่ากระแส และเวลาที่โหลดในแต่ละค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากข้อมูลที่ได้นำไปพล็อทกราฟเซมิลอคคังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าเวลาของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบคุณลักษณะนั้น ผลการทดลองอาจจะมีข้อผิดพลาดเนื่องจาก
- สัญญาณที่ตกคร่อมในแต่ละสเตททำให้การปรับตั้งค่าผิดพลาดได้มากขึ้น
-โหลดที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีการปรับแบบสเตป ซึ่งทำให้เราไม่สามารถได้ผลการทดลองละเอียดเท่าที่ควรและสเตปของโหลดที่ใช้ปรับมีไม่มากนัก ดังนั้นการจะตั้งเวลาในการทำงานของโฮเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ นั้นจะใช้การคำนาณโดยตรงจากวงจรไม่ได้จากเหตุผลดังกล่าว

เพราะฉะนั้น กราฟคุณลักษณะการทำงานของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ใช้ในการอธิบายคุณลักษณะการทำงานได้อย่างไม่ละเอียดนัก ซึ่งยังไม่เหมาะสมที่จะนำข้อมูลนี้ไปอ้างอิงในการปรับค่าต่างๆ ในการทำงานจริงได้ โดยข้อมูลที่ถูกต้องกว่านี้ต้องทำการทดสอบโดยแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเสียก่อนจึงจะเป็นข้อมูลที่เหมาะสมในการใช้งานอย่างแท้จริง

4.2 การทดลองออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

จากการทดลองของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ เมื่อมีการตัดวงจรออกเนื่องจากฟอลต์ ออโตรีโคลสจะสั่งงานให้กับเซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดวงจรเข้าไปอีกครั้ง การปิดกลับไปนั้นก็เพื่อให้ระบบสามารถจ่ายไฟได้อย่างรวดเร็วในกรณีเกิดฟอลต์ ที่ฟอลต์นั้นสามารถเคลียร์ได้ด้วยตัวเองในช่วงเวลาสั้นๆ หรือเรียกว่าฟอลต์ไม่ถาวร การปิดวงจรกลับไปนี้อาจกำหนดให้มีการปิดกลับเป็นจำนวน 2 - 3 ครั้งแล้วแต่การออกแบบ ซึ่งการทดลองออโตรีโคลสนั้นตัวมันก็จะถูกต่อสัมพันธ์กับโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ โดยจะเป็นลักษณะที่ว่าโอเวอร์เคอร์เร้นท์ทำการทดลองอยู่ ออโตรีโคลสก็จะถูกทดลองด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

จากการทดลองและสร้างโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ และออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ เพื่อให้ทำงานร่วมกันในการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดจากการผิดปกติของกระแสในระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง เพื่อใช้ในการศึกษาและทดลองของนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าจะสามารถสรุปผลงานที่ได้จากโครงการดังกล่าวได้ดังนี้

รีเลย์ที่ได้สร้างขึ้นนั้นยังมีข้อที่จะปรับปรุงต่อไปอีกเพื่อให้มีประสิทธิภาพของการทำงานที่สูงขึ้น คือ

5.1 ความกว้างของช่วงในการเซ็ทค่าต่างๆคือ เคอร์เร้นท์-เซ็ทติ้ง,ไทม์-เซ็ทติ้งรวมทั้งอินเวอสไทม์-เซ็ทติ้งควรจะให้มีความกว้างขึ้นเพื่อสะดวกในการใช้งาน โดยจะทำให้สามารถปรับตั้งเคอฟคุณลักษณะการทำงานของรีเลย์ได้ตามต้องการ

5.2 ปัญหาในเรื่องความร้อนของไอซีในการออกแบบวงจรเมื่อใช้งานโดยมีส่วนของไอซีร่วมทำงานอยู่นั้นควรจะพิจารณาเกี่ยวกับค่าของกระแสที่จะใช้ไอซีในแต่ละตัว โดยในไอซีตัวหนึ่งๆไม่ควรใช้จ่ายกระแสให้ไอซีหรืออุปกรณ์ตัวอื่นๆเกินค่าปกติหรือใกล้เคียงมากนักตามพิกัดของตัวมัน

5.3 ปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนเนื่องจากการ ON และOFF ของเซอร์กิตเบรคเกอร์ หรือการกระชากของโหลด ซึ่งจะทำให้การตัดสินใจในการทำงานของรีเลย์ผิดพลาดจากความเป็นจริง ซึ่งจะต้องหาวิธีจัดการป้องกันสัญญาณดังกล่าวไม่ให้สามารถรบกวนการทำงานของรีเลย์

5.4 ปัญหาเกี่ยวกับความผิดพลาดของหม้อแปลงกระแสที่ใช้ เนื่องจากในโครงงานนี้เลือกใช้หม้อแปลงกระแสที่มีขายตามท้องตลาด และระบบที่ใช้ป้องกันนั้นก็มีระดับที่ใช้กระแสอยู่ต่ำ ดังนั้นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากหม้อแปลงกระแสจึงทำให้การทำงานของรีเลย์นั้นผิดพลาดตามไปด้วย

5.5 คุณภาพของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ การเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพดีมีความแน่นอนสูง มีค่าความผิดพลาดต่ำก็จะทำให้การทำงานของรีเลย์มีความน่าเชื่อถือ และถูกต้องยิ่งขึ้น

5.6 ความผิดพลาดในการเซ็ทค่า การเซ็ทค่าการทำงานของรีเลย์อาจทำได้จากการคำนวณ ว่าค่าต่างๆควรจะเซ็ทไว้ที่ค่าใด ซึ่งน่าจะมีความถูกต้องมาก แต่ในความเป็นจริงแล้วการเซ็ทค่าจากการคำนวณนั้นจะทำให้การทำงานของรีเลย์อาจผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็น อันเนื่องมาจากการที่สัญญาณที่ออกมาแต่ละส่วนของวงจรไม่เป็นไปตามทฤษฎี ซึ่งเกิดจากการตกคร่อมของสัญญาณเนื่องจากคุณสมบัติของวงจรเอง หรือการตกคร่อมเนื่องจากมีการต่อโหลดต่างๆเข้าทางเอ้าท์พุทวงจรแต่ละส่วน ดังนั้นการเซ็ทค่าที่ถูกต้องนั้น เมื่อเซ็ทค่าแล้วควรจะมีการทดสอบการทำงานเพื่อหาคุณลักษณะของรีเลย์เสียก่อนว่าเหมาะสมที่จะใช้งานหรือไม่

5.7 ระบบของรีเลย์ที่ใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังจำลองนี้อาจยังไม่สมบูรณ์นัก ดังนั้นการป้องกันความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียหายเนื่องจากการผิดปกติของกระแส อาจจะยังไม่มีความน่าเชื่อถือพอ โดยอาจจะมีการเพิ่มการป้องกันหม้อแปลงด้วยดิฟเฟอร์เร็นท์เชียล รีเลย์ และการป้องกันการลัดวงจรลงกราวด์ด้วยเอิร์ทฟอลต์ รีเลย์ เพื่อให้ใกล้เคียงกับระบบที่ใช้ในทางปฏิบัติ

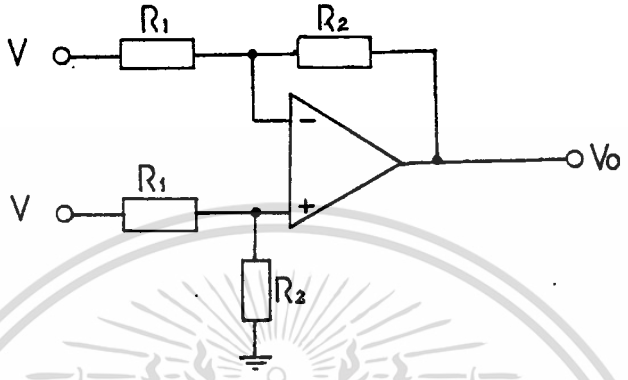
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

วงจร และอุปกรณ์ไอซีชนิดต่างๆที่ใช้

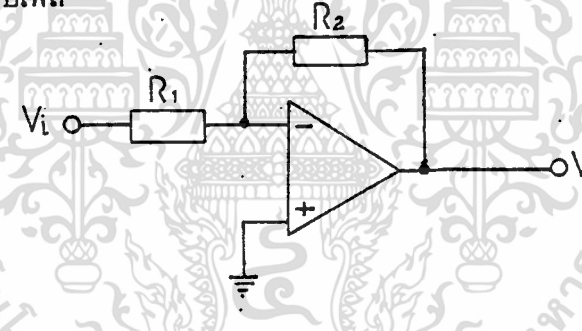
วงจรออปแอมป์

1. วงจรลบ



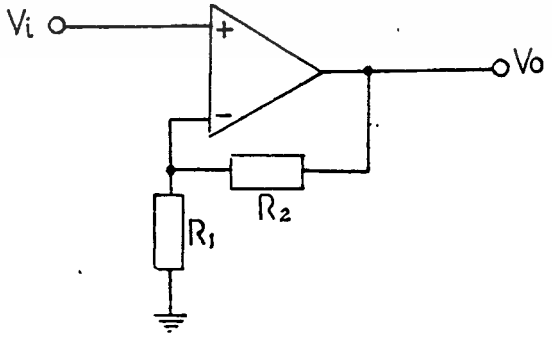
$$Vo = (R_2 / R_1)*(V - V)$$

2. วงจรขยายแบบกลับเฟส



$$Vo = -(R_2 / R_1)*V_i$$

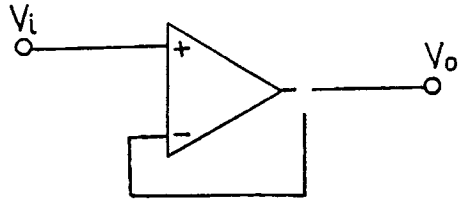
3. วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส



$$Vo = [(R_1 + R_2)/ R_2]*R_1$$

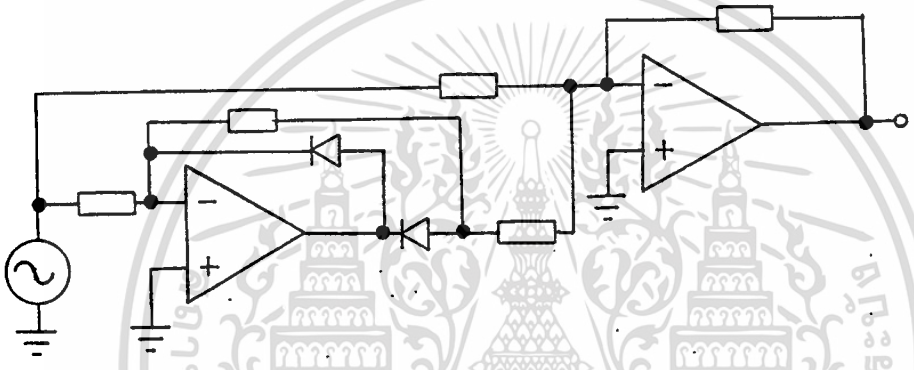
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วงจรตามแรงดัน



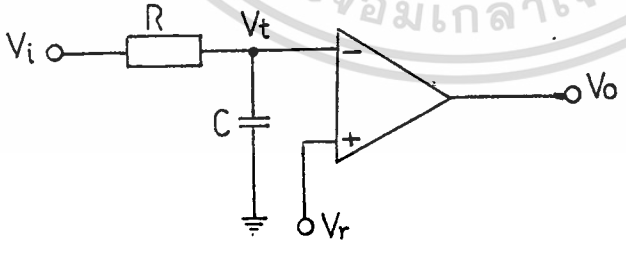
$V_o = V_i$

5. วงจรเรีดติไฟเออร์เต็มลูกคลื่น



<u>วงจรไทม์เมอร์</u>

1. วงจรหน่วงเวลา

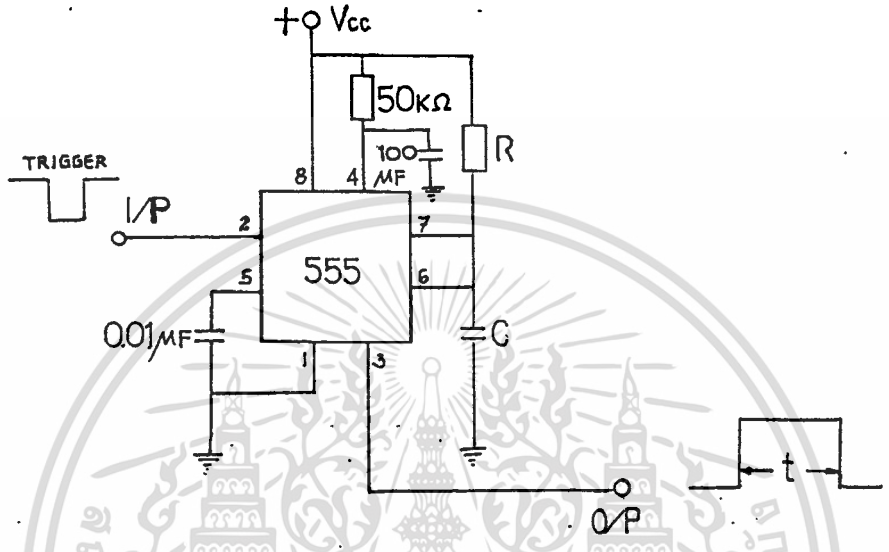


$t = - \ln [(Vt - Vi)/(Vr - Vi)] * R * C$ sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

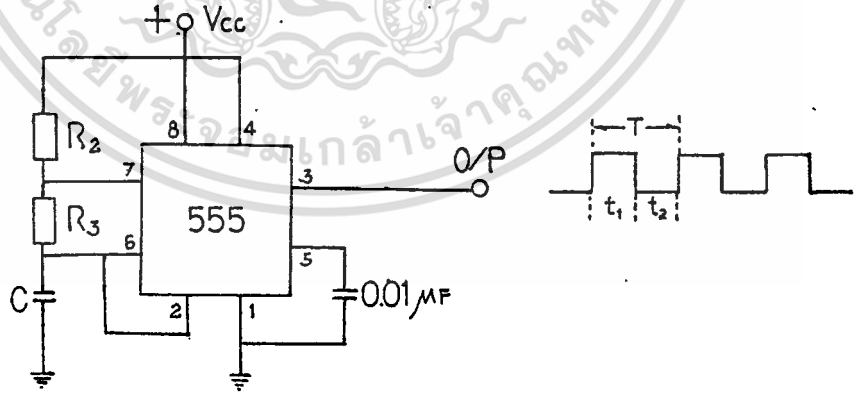
2. วงจรโมโนสเตเบิ้ล มัลติไวเบรเตอร์

คือวงจรชนิดหนึ่ง ซึ่งจะให้ภาวะคงที่แน่นอนอันหนึ่ง และภาวะที่เปลี่ยนแปลงได้ภาวะหนึ่ง มันจะคงภาวะคงที่จนกว่าจะมีสัญญาณทริกเกอร์เข้ามาให้อยู่ในอีกภาวะหนึ่ง ระยะเวลาของภาวะนี้ถูกควบคุมโดยการประจุที่คาปาซิเตอร์ พอสิ้นสุดระยะเวลานี้เอ้าท์พุทจะกลับไปสู่สภาวะคงที่เอง ในกรณีนี้เราจะใช้ไอซีไทม์เมอร์ 555 เป็นตัวสร้างวงจรนี้ดังรูป



3. วงจรอะสเตเบิ้ล มัลติไวเบรเตอร์

คือวงจรซึ่งไม่มีสภาวะคงที่แน่นอน แต่มีอยู่สองสภาวะที่จะเปลี่ยนกลับไปกลับมาดังรูป



$$T = t_1 + t_2 = 0.693\ (R + 2R)*C \quad \text{sec}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5421/7421 Dual 4-Input Positive-AND Gate

	Schottky TTL					High-Speed TTL					Low-Power Schottky TTL					Standard TTL					Low-Power TTL				
	Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package			
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF
.I.						SN54H21	J			W	SN54LS21	J			W										
						SN74H21	J	N			SN74LS21	J	N												
AIRCHILD						MF54H21 FMS-2	D			F	MF54LS21 FMSL21	D			F										
						FC74H21 FCS-2	D	P			FC74LS21 FCSL21	D	P		F										
IOTOROLA						MC3111	L			F															
						MC3011	L	D		F	SN74LS21		P												
.S.C.						DM54H21	J	N			DM54LS21														
						DM74H21	J	N			DM74LS21														
HILIPS						N74H21		T			N74LS21		F			N7421		T							
IGNETICS						S54H21	F	A		W															
						S74H21	F	A			N74LS21		A			N7421		A							
IEMENS																									
UJITSU						MB614	J	MA			74LS21		MA												
ITACHI											HD74LS21		P												
IITSUBISHI											M53L S21		P												
EC						μPB216	D	C	J																
OSHIBA																TD3421A		P							

Electrical Characteristics SN54LS21 SN74LS21

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54H'	−55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74H'	0°C to 70°C
Interemitter voltage	5.5V	Storage temperature range		−65°C to 150°C

recommended operating conditions

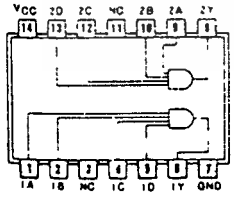
	SN54LS21			SN74LS21			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			−400			−400	μA
Low-level output current, I_{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T_A	−55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

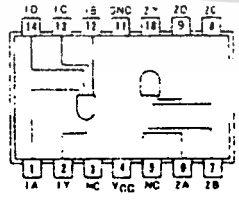
	PARAMETER	TEST CONDITIONS*		MIN	TYP†	MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage					0.8	V
V_I	Input clamp voltage	V_{CC} = MIN, I_I = −18mA				−1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, I_{OH} = MAX		2.7	3.4		V
V_{OL}	Low-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IL} = MAX, I_{OL} = 4mA			0.25	0.4	V
I_I	Input current at maximum input voltage	V_{CC} = MAX, V_I = 7V				0.1	mA
I_{IH}	High-level input current	V_{CC} = MAX, V_{IH} = 2.7V				20	μA
I_{IL}	Low-level input current	V_{CC} = MAX, V_{IL} = 0.4V				−0.4	mA
I_{OS}	Short-circuit output current*	V_{CC} = MAX		−20		−100	mA
I_{CCH}	Supply current	V_{CC} = MAX	Total, outputs high		1.2	2.4	mA
I_{CCL}	Supply current		Total, outputs low		2.2	4.4	mA
I_{CC}	Supply current	V_{CC} = 5V	Average per gate (50% duty cycle)		0.85		mA
t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V_{CC} = 5V, C_L = 15pF,	T_A = 25°C, R_L = 2kΩ		8	15	ns
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output				10	20	ns

Pin Assignments (Top View)

①



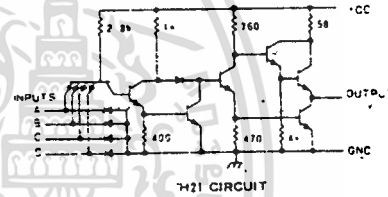
②



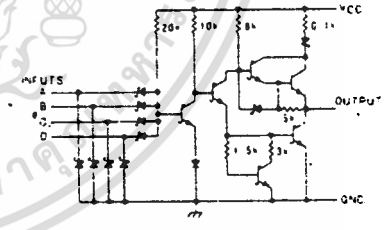
positive logic:
Y = ABCD

NC = No internal connection

Schematics (each gate)



H21 CIRCUIT



LS21 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

*For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate values specified under recommended operating conditions.
†All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
*Not more than one output should be shorted at a time, and for SN54H' and SN74H' duration of output short circuit should not exceed one second.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5432/7432 Quadruple 2-Input Positive-OR Gate

	Schottky TTL					High-Speed TTL					Low-Power Schottky TTL					Standard TTL					Low-Power TTL				
	Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package			
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF
T.I.	SN54S32	J			W						SN54LS32				W	SN5432	J			W					
	SN74S32	J	N								SN74LS32		N			SN7432	J	N							
FAIRCHILD	FM54S32/FM85S32				F						FM54LS32/FM85LS32				F	FM5432/FM9N32				F					
	FC74S32/FC85S32				F						FC74LS32/FC85LS32				F	FC7432 FC9N32									
MOTOROLA											SN74LS32														
N.S.C.											DM74LS32					DM5432				W	DM54L32				
											DM54LS32					DM7432		N			DM74L32				
PHILIPS	N74S32										N74LS32					N7432									
SIGNETICS											N74LS32					S5432				W					
																8432									
SIEMENS																FLH431									
FUJITSU											74LS32														
HITACHI											HD74LS32					HD7432									
MITSUBISHI											M53LS32														
NEC											74LS32														
TOSHIBA																									

Electrical Characteristics SN54LS32 SN74LS32

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage V_{CC}	7 V	Operating free-air temperature range	SN54LS32	−55°C to 125°C
Input voltage	7 V		SN74LS32	0°C to 70°C
		Storage temperature range		−65°C to 150°C

recommended operating conditions

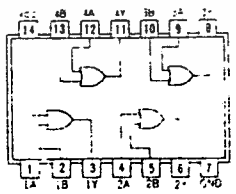
	SN54LS32			SN74LS32			Unit
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current I_{OH}			−400			−400	μA
Low-level output current I_{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature T_A	−55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER		TEST CONDITIONS†		MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage					0.8	V
V_I	Input clamp voltage	V_{CC} = MIN, I_I = −18 mA				−1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage	V_{CC} = MIN, I_{OH} = MAX	V_{IH} = 2 V	2.7	3.4		V
V_{OL}	Low-level output voltage	V_{CC} = MIN, I_{OL} = 8 mA	V_{IL} = Max		0.25	0.4	V
I_I	Input current at maximum input voltage	V_{CC} = MAX, V_I = 7 V				0.1	mA
I_{IH}	High-level input current	V_{CC} = MAX, V_I = 2.7 V				20	μA
I_{IL}	Low-level input current	V_{CC} = MAX, V_I = 0.4 V				−0.4	mA
I_{OS}	Short-circuit output current*	V_{CC} = MAX	SN54LS32	−20		−100	mA
			SN74LS32	−20		−100	
I_{CCH}	Supply current	V_{CC} = MAX	Total, outputs high		3	6.2	mA
I_{CCL}	Supply current		Total, outputs low		4.9	9.8	mA
I_{CC}	Supply current	V_{CC} = 5 V	Average per gate (50% duty cycle)		2		mA
t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V_{CC} = 5 V, C_L = 15 pF	T_A = 25°C, R_L = 2 kΩ		4	22	ns
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output				4	22	ns

Pin Assignment (Top View)

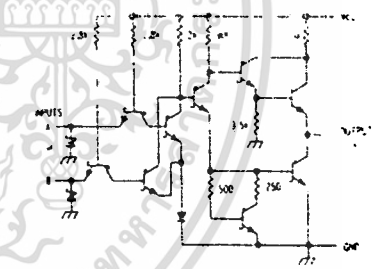
①



positive logic
Y = A + B

Schematics (each gate)

'32 CIRCUIT



LS32 CIRCUIT

Resistor values shown are nominal and in ohms.

†For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
‡All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.
*Not more than one output should be shorted at a time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5486 / 7486 Quadruple 2-Input Exclusive-OR Gate

	Schottky TTL					High-Speed TTL					Low-Power Schottky TTL					Standard TTL					Low-Power TTL				
	Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package				Device Type	Package			
		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF		C	P	M	CF
T.I.	SN54S86	J①			W①						SN54LS86	J①			W①	SN5486	J①			W①	SN54L86	J②	N②	T①	
	SN74S86	J①	N①								SN74LS86	J①	N①			SN7486	J①	N①			SN74L86	J②	N②	T①	
FAIRCHILD	FM54S86/FM74S86	D①			F①						FM54LS86/FM74LS86	D①			F①	FM5486/FM9N86	D①			F①					
	FC74S86/FC9S86	D①	P①								FC74LS86/FC9LS86	D①	P①		F①	FC7486/FC9N86	D①	P①							
MOTOROLA											SN74LS86		P①			MC7486		P①							
N.S.C											DM54LS86		P①			DM5486	J①	N①		W①	DM54L86	J②	N②		F①
	DM74S86		N①								DM74LS86		P①			DM7486	J①	N①			DM74L86	J②	N②		F①
PHILIPS	N74S86										N74LS86					FJH271/7486		①							
																S5486	F①	A①		W①					
SIGNETICS	S54S86																								
	N74S86										N74LS86		A①			N7486	F①	A①							
SIEMENS																FLH341		①							
FUJITSU											74LS86		M①			MB449		①	M①						
HITACHI	HD74S86	①	P①								HD74LS86		P①			HD7486/HD2526	①	P①							
MISUBISHI											M74LS86		P①			M53286		P①							
NEC											74LS86		C①			PB2086	D①								
TOSHIBA																TD7486									

Electrical Characteristics SN54LS86, SN74LS86

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	−55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
		Storage temperature range		−65°C to 150°C

recommended operating conditions

	SN54LS86			SN74LS86			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			−400			−800	μA
Low-level output current, I_{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T_A	−55	125		0		70	°C

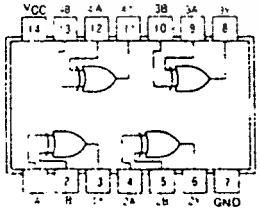
electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER		TEST CONDITIONS	SN74LS86 MIN	SN74LS86 TYP‡	SN74LS86 MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage		2			V
V_{IL}	Low-level input voltage				0.8	V
V_I	Input clamp voltage	V_{CC} = MIN, I_I = −18mA			−1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = V_{IL} max, I_{OH} = −400μA	2.7	3.4		V
V_{OL}	Low-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = V_{IL} max	I_{OL} = 4mA		0.25	0.4	V
			I_{OL} = 8mA		0.35	0.5	
I_I	Input current at maximum input voltage	V_{CC} = MAX, V_I = 7V				0.2	mA
I_{IH}	High-level input current	V_{CC} = MAX, V_I = 2.7V				40	μA
I_{IL}	Low-level input current	V_{CC} = MAX, V_I = 0.4V				−0.8	mA
I_{OS}	Short-circuit output current *	V_{CC} = MAX		−5		−42	mA
I_{CC}	Supply current	V_{CC} = MAX, See note 2		6.1	9	mA

t_{PLH}	from A or B input	Other input low	V_{CC} = 5V, T_A = 25°C, C_L = 15pF, R_L = 2kΩ	12	23	ns
t_{PHL}				10	17	ns
t_{PLH}	from A or B input	Other input high		20	30	ns
t_{PHL}				13	22	ns

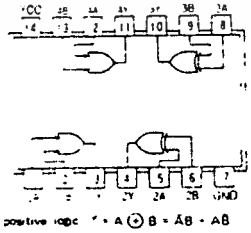
Pin Assignments (Top View)

①



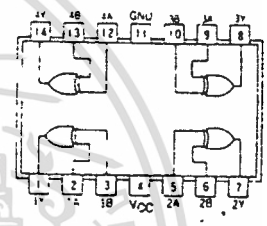
positive logic: $Y = A \oplus B = \bar{A}B + A\bar{B}$

②



positive logic: $Y = A \oplus B = \bar{A}B + A\bar{B}$

③



positive logic: $Y = A \oplus B = \bar{A}B + A\bar{B}$

Function Table

INPUTS		OUTPUT
A	B	Y
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	L

H = High-level, L = Low-level

NOTE: I_{CC} is measured with the inputs grounded and the outputs open.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable type.
‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
* Not more than one output should be shorted at a time.
• t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output
t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOTOROLA
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

6-Pin DIP Optoisolators
Triac Driver Output

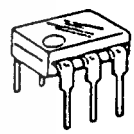
MOC3020
MOC3021
MOC3022
MOC3023

6-PIN DIP OPTOISOLATORS TRIAC DRIVER OUTPUT

These devices consist of gallium-arsenide infrared emitting diodes, optically coupled to a silicon bilateral switch.

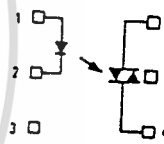
They are designed for applications requiring isolated triac triggering.

- UL Recognized File Number E54915
- Output Driver Designed for 240 Vac Line
- V_{ISO} Isolation Voltage of 7500 V Peak
- Similar to MOC3010 and MOC3011
- Standard 6-PIN Plastic DIP
- VDE approved per standard 0883/6.80 (Certificate number 41853), with additional approval to DIN IEC380/VDE0806, IEC435/VDE0805, IEC65/VDE0860, VDE110b, covering all other standards with equal or less stringent requirements, including IEC204/VDE0113, VDE0160, VDE0832, VDE0833, etc.
- Special lead form available (add suffix "T" to part number) which satisfies VDE0883/6.80 requirement for 8 mm minimum creepage distance between input and output solder pads.
- Various lead form options available. Consult "Optoisolator Lead Form Options" data sheet for details.



CASE 730A-02
PLASTIC

COUPLER SCHEMATIC



1 ANODE
2 CATHODE
3 NC
4 MAIN TERMINAL
5 SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
6 MAIN TERMINAL

MAXIMUM RATINGS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
INFRARED EMITTING DIODE			
Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Total Power Dissipation @ T_A = 25°C Negligible Power in Triac Driver Derate above 25°C	P_D	100 1.33	mW mW/°C
OUTPUT DRIVER			
Off-State Output Terminal Voltage	V_{DRM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 1 ms, 120 pps)	I_{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	300 4	mW mW/°C
TOTAL DEVICE			
Isolation Surge Voltage (1) (Peak ac Voltage, 60 Hz, 5 Second Duration)	V_{ISO}	7500 —	Vac
Total Power Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	330 4.4	mW mW/°C
Junction Temperature Range	T_J	−40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range	T_A	−40 to +85	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	−40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	—	260	°C

(1) Isolation surge voltage, V_{ISO}, is an internal device dielectric breakdown rating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
INPUT LED						
Reverse Leakage Current (V_R = 3 V)		I_R	—	0.05	100	μA
Forward Voltage (I_F = 10 mA)		V_F	—	1.15	1.5	Volts
OUTPUT DETECTOR (I_F = 0 unless otherwise noted)						
Peak Blocking Current, Either Direction (Rated V_{DRM}, Note 1)		I_{DRM}	—	10	100	nA
Peak On-State Voltage, Either Direction (I_{TM} = 100 mA Peak)		V_{TM}	—	1.8	3	Volts
Critical Rate of Rise of Off State Voltage (Figure 7, Note 2)		dv/dt	—	10	—	V/μs
COUPLED						
LED Trigger Current, Current Required to Latch Output (Main Terminal Voltage = 3 V, Note 3)	MOC3020	I_{FT}	—	15	30	mA
	MOC3021		—	8	15	
	MOC3022		—	—	10	
	MOC3023		—	—	5	
Holding Current, Either Direction		I_H	—	100	—	μA

Notes 1 Test voltage must be applied within dv/dt rating
2 This is static dv/dt. See Figure 7 for test circuit. Commutating dv/dt is a function of the load-driving thyristor(s) only.
3 All devices are guaranteed to trigger at an I_F value less than or equal to max I_{FT}. Therefore, recommended operating I_F lies between max I_{FT} (30 mA for MOC3020, 15 mA for MOC3021, 10 mA for MOC3022, 5 mA for MOC3023) and absolute max I_F (60 mA).

TYPICAL ELECTRICAL CHARACTERISTICS

T_A = 25°C

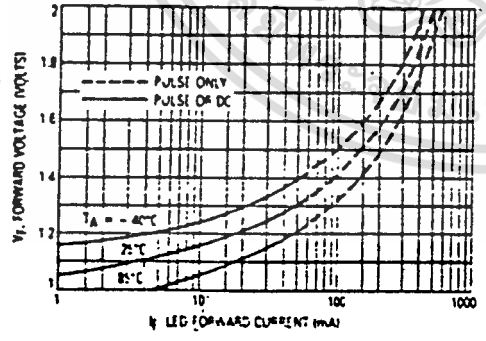


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

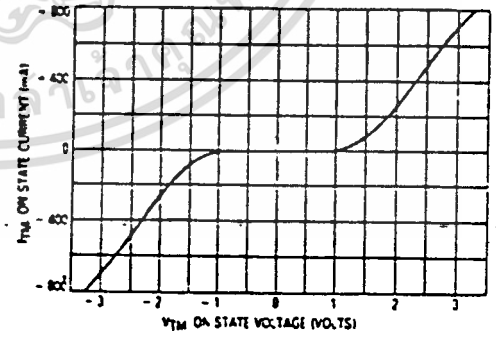


Figure 2. On-State Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

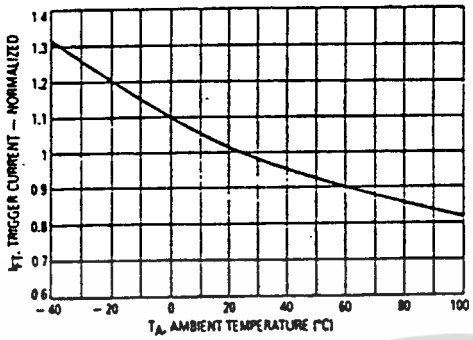


Figure 3. Trigger Current versus Temperature

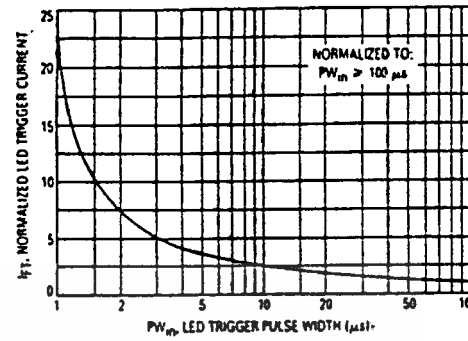


Figure 4. LED Current Required to Trigger versus LED Pulse Width

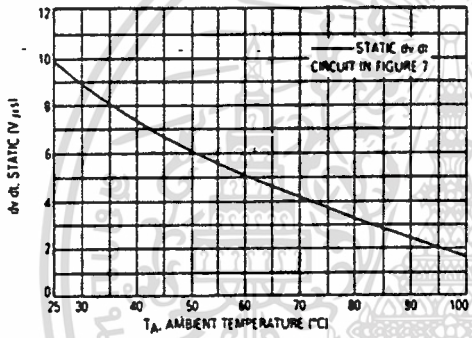


Figure 5. dv/dt versus Temperature

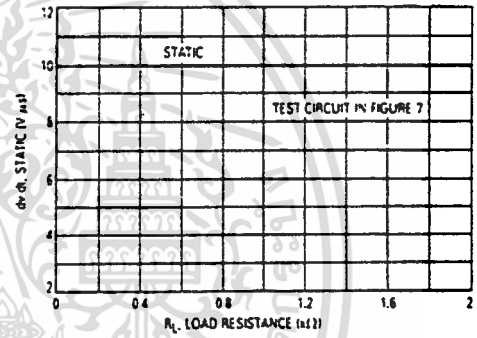
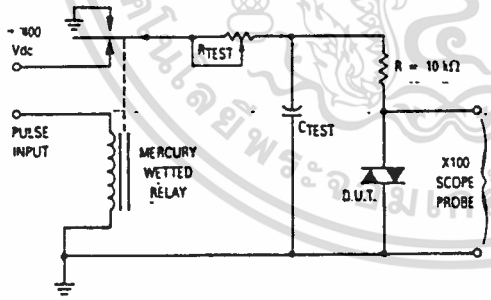


Figure 6. dv/dt versus Load Resistance



1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable R_{TEST} allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering. T_{RC} is measured at this point and recorded.

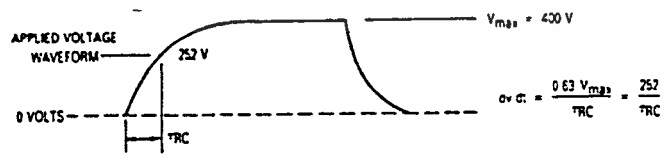


Figure 7. Static dv/dt Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

กิตติกรรมประกาศ

ในโอกาสนี้กลุ่มของกระผมขอขอบคุณผู้มีรายนามข้างล่างนี้ไว้เป็นอย่างสูง เพราะท่านผู้ที่กล่าวนามนี้เป็นผู้ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ และเป็นแนวทางในการทำโครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3 นี้มาโดยตลอด

1. ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล
2. อาจารย์ พิชิต ลำยอง
3. อาจารย์ ศุภกิจ จูตะวิริยะ

ท้ายนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆและเจ้าหน้าที่สโตร์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในโครงงานครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] William D. Stevenson Jr. , " Elements of power system analysis " , McGRAW-HILL , 337 P 1982

[2] CNS , ออปแอมป์ , หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิคส์เซ็นเตอร์ , หน้า 17

[3] มงคล ทองสงคราม , การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า , บริษัท รามาการพิมพ์ จำกัด , หน้า 193 , 2535

[4] ชนิดา รอดอินทร์. เนตรทราย สุสัมฤทธิ์ & Advanced Engineering Group , ระบบไฟฟ้ากำลัง , หจก. สำนักพิมพ์ฟิสิคส์เซ็นเตอร์ , หน้า 319

[5] ชำนาญ ห่อเกียรติ , Power system analysis , มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ , หน้า 198

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้