ปีการศึกษา 2557

ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 2

POWER SYSTEM SIMULATOR 2

โดย

นาย ชาคริต คงมา

นาย นฤพนธ์ ประชานทิพย์

นาย เพชรพนม เลี่ยมทอง

วัน เดือน ปี 18 ม.ค. 2559

เลขทะเบียน 034802

เลขเรียกหนังสือ T 371 01 ช.6

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2537

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 2

ผู้จัดทำ

1. นาย ชาคริต คงมา
2. นาย นฤพนธ์ ประธานทิพย์
3. นาย เพชรพนม เลี่ยมทอง

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 2

นาย ชาคริต คงมา
นาย นฤพนธ์ ประชานทิพย์
นาย เพชรพนม เลี่ยมทอง
ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2537

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ในฉบับนี้เป็นการจำลอง การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและการป้องกันระบบไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าจริงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ซึ่งประกอบไปด้วย ระบบสายส่งระยะไกล (Long Line) จากแม่เมาะ ส่งมาท่าตะโก ระบบสายส่งระยะกลาง (Medium Line) จากท่าตะโก ส่งมาหนองจอก ระบบสายส่งระยะสั้น (Short Line) จากหนองจอก ส่งมาบางกะปิซึ่งปัญหาของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าอาจจะเกิดปัญหาขึ้นได้ เช่น เกิดการฟ้าผ่าเกิดจากลม หรือจากสัตว์ ซึ่งฟอลต์ที่เกิด ขึ้นในระบบ อาจจะทำให้ระบบ ไม่มีเสถียรภาพ ได้ ซึ่งจากที่กล่าวมาข้างต้น นั้นเป็นปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าดังนั้นเราจึงต้องการออกแบบและจัดสร้าง ระบบรีเลย์ป้องกันซึ่งระบบรีเลย์ที่สร้าง จะประกอบด้วย โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์ ซึ่งจะทำหน้าที่ตัดวงจรออกเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าสูงหรือต่ำเกินไป ซึ่งอาจจะไปทำให้อุปกรณ์เสียหายได้ เฟสซีเควนรีเลย์ทำหน้าที่ตัดวงจรออกเมื่อมีการเรียงเฟสผิดพลาดซึ่งอาจจะทำให้อุปกรณ์บางอย่างเสียหายได้ เช่น มอเตอร์ ซึ่งจะมีหลักการและทฤษฎีของวงจรว่าเป็นอย่างไร วงจรทำงานอย่างไร ปัญหาที่เกิดขึ้นกับโครงงาน ตลอดทั้งสรุปและวิจารณ์การทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER SYSTEM SIMUATOR 2

Chakrit Kongma
Naruphon Prathanthip
Phetpanom Liamthong
Siriwat Potivejkul M.ENG Advisor

1994

ABSTRACT

For this context , we will refer to the distribution and protection system of EGAT ' S electrical system that compose of : Long line system from Mae Moh to Tha Ta Ko. Medium line system from Tha Ta Ko to Nong Chok Short line system from Nong Chok to Bang Ka Pi. Lightning , wind , or animals always cause the fault of the distribution system and make it's no stability so we plan the protective relay for these problems. Protective relays in this thesis are : Over and under Voltage relay use to trip circuit when there are over and under voltage that may be caused the useless equipments. Phase sequence relay use to trip in when there are some incorrect in phase sequence, and , some equipments surh as motor are destroyed by the incorrect ' phase sequence.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	IV
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	9
2.1 ระบบรีเลย์หลัก หรือชั้นต้น	9
2.2 ระบบรีเลย์รอง หรือชั้นที่สอง	10
2.3 การแบ่งจำพวกสวิทช์รีเลย์	12
2.4 ชนิดและลักษณะของรีเลย์	14
2.5 การเลือกหน้าสัมผัส	15
2.6 การป้องกันหน้าสัมผัส	16
2.7 ชนิดของคอลย์	17
2.8 ระบบคอนแทคของรีเลย์	19
บทที่ 3 การสร้างและการออกแบบ	22
3.1 วงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์	22
3.2 วงจรเฟสซีเควน์ รีเลย์	27
3.3 วงจรเอริช รีกเกจ รีเลย์	33
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	38
4.1 การทดลองวงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์	38
4.2 การทดลองวงจรเฟสซีเควน์ รีเลย์	41
4.3 การทดลองวงจรเอริช รีกเกจ รีเลย์	44
บทที่ 5 บทวิจารณ์ และสรุป	47
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 1.1 ส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้า	2
รูป 2.1 แสดงการแบ่งเขตป้องกันสำหรับรีเลย์หลักในระบบไฟฟ้า	10
รูป 2.2 แสดงการต่อหม้อแปลงกระแส เพื่อจัดให้เขตป้องกัน คาบเกี่ยวกัน	11
รูป 2.3 แสดงระบบสายส่ง	12
รูป 2.4 แสดงการลดแรงดันเสิร์ด เมื่อมีโหลดเป็นอินดัคเตอร์	18
รูป 2.5 แสดงคอนแทคแบบต่างๆ	20
รูป 2.6 แสดงคอนแทครีเลย์	20
รูป 3.1 วงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์	23
รูป 3.2 โฟว์ชาร์ตของวงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์	24
รูป 3.3 แสดงลายทองแดงของวงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์โวลท์เตจ รีเลย์	26
รูป 3.4 แสดงลายทองแดงพร้อมอุปกรณ์ของวงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์	26
รูป 3.5 วงจรเฟสซีเควน์ รีเลย์	28
รูป 3.6 โฟว์ชาร์ตของวงจรเฟสซีเควน์ รีเลย์	29
รูป 3.7 แสดงลายทองแดงของวงจรเฟสซีเควน์ รีเลย์	31
รูป 3.8 แสดงลายทองแดงพร้อมอุปกรณ์ ของวงจรเฟสซีเควน์ รีเลย์	32
รูป 3.9 วงจรเอริธ รีกเกจ รีเลย์	33
รูป 3.10 โฟว์ชาร์ตของวงจรเอริธ รีกเกจ รีเลย์	35
รูป 3.11 แสดงลายทองแดงของวงจรเอริธ รีกเกจ รีเลย์	37
รูป 3.12 แสดงลายทองแดงพร้อมอุปกรณ์ของวงจรเอริธ รีกเกจ รีเลย์	37
รูป 4.1 แสดงการต่อวงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์	38
รูป 4.2 แสดงหน้าปัดท์ของวงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์	39
รูป 4.3 แสดงจุดต่อภายนอกวงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์	39
รูป 4.4 แสดงการต่อภายในวงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์	40
รูป 4.5 แสดงการต่อวงจรเฟสซีเควน์ รีเลย์	41
รูป 4.6 แสดงหน้าปัดท์ของวงจรเฟสซีเควน์ รีเลย์	42
รูป 4.7 แสดงจุดต่อภายนอกของวงจรเฟสซีเควน์ รีเลย์	43
รูป 4.8 แสดงการต่อภายในของวงจรเฟสซีเควน์ รีเลย์	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูป 4.9 แสดงการต่อวงจรเอริธ รีกเกจ รีเลย์ 44
รูป 4.10 แสดงหน้าปัดท์ของวงจรเอริธ รีกเกจ รีเลย์ 45
รูป 4.11 แสดงจุดต่อภายนอกของวงจรเอริธ รีกเกจ รีเลย์ 45
รูป 4.12 แสดงการต่อภายในของวงจรเอริธ รีกเกจ รีเลย์ 46

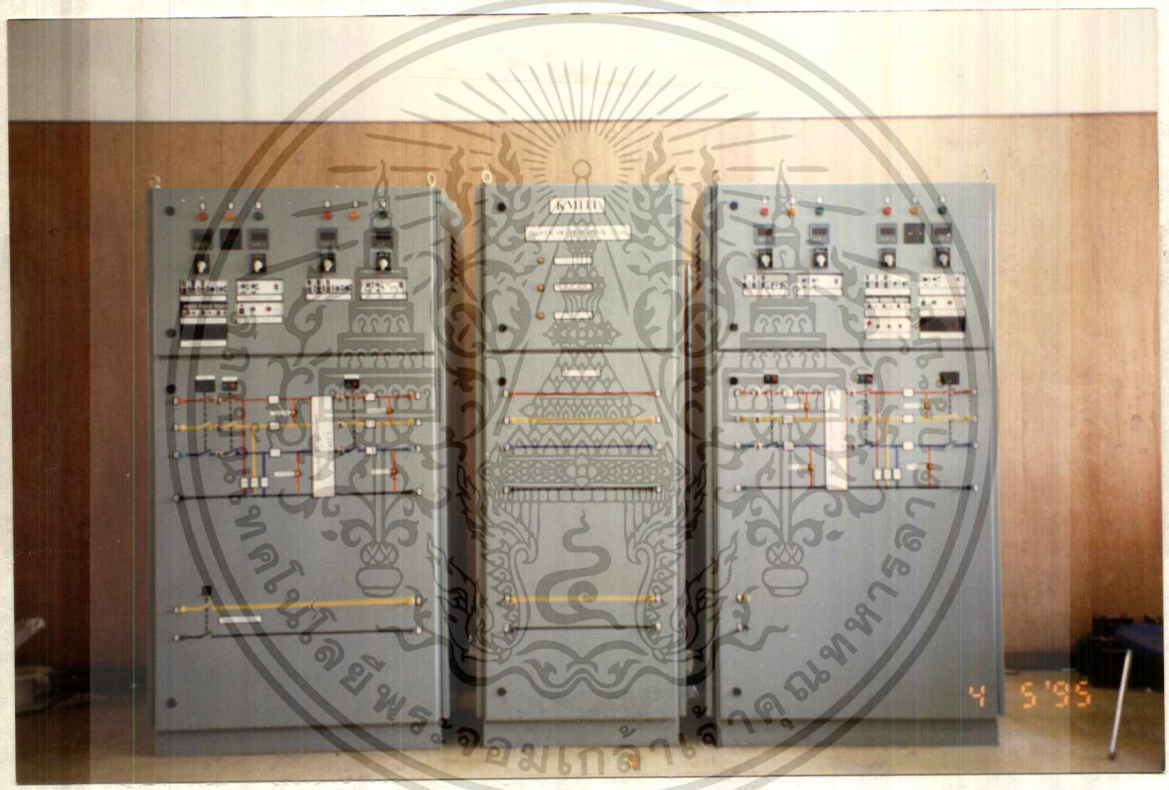
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงการแบ่งสวิทช์รีเลย์ 13
ตารางที่ 2.2 ลักษณะของรีเลย์ชนิดต่างๆ 16
ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทำหน้าสัมผัส 17
ตารางที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ต่างๆของวงจร โอเวอร์ แอนด์ โวลท์เตจ รีเลย์ 25
ตารางที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์ต่างๆของวงจร เอริธรีกเกจรีเลย์ 35
ตารางที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ต่างๆของวงจร เฟสซีเควน รีเลย์ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ระบบไฟฟ้ากำลังเราจะจำแนกออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

1. ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า (Generating System) หรือโรงจักรไฟฟ้า (Power Plant) เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่จะจ่ายเข้าสู่ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System) โรงจักรไฟฟ้า (Power Plant) ประกอบด้วย

- ส่วนที่ผลิตไฟฟ้า
- ลานไกไฟฟ้า (Switchchyard)
- ส่วนป้องกันการเดินเครื่อง
- ส่วนควบคุมเครื่อง

สำหรับระบบแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ มีทั้งที่จ่ายออกในระบบ 13.9 KV, 11 KV และ 3.5 KV แล้วเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยมี ลานไกไฟฟ้าเป็นส่วนที่เพิ่ม แรงดัน เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีแรงดันไฟฟ้า 500 KV, 230 KV, 115 KV และ 69 KV โดยเชื่อมสายส่งแรงสูงนี้ต่อถึงกันเกือบทุกแหล่งผลิตทั่วประเทศ ทำให้ ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นไปอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ

2. ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System) ประกอบด้วย

2.1 สายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission Line) เป็นชุดของสายตัวนำสำหรับส่งพลังงานไฟฟ้าจากโรงจักรไฟฟ้าไปยังสถานีเปลี่ยนแรงดันซึ่งเป็นการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้หรือแหล่งจ่ายไฟฟ้าและเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตต่างๆกันไปยังศูนย์กลางของโหลด (Load Center)ในกรณีที่มีแหล่งผลิตหลายแห่งอยู่ห่างๆกันนอกจากนี้ยังเป็นการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้า(Tie Line) จากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่ง ในกรณีที่ระบบหนึ่งที่กำลังผลิตไม่เพียงพอก็สามารถรับจากอีกระบบหนึ่งได้

<u>ประโยชน์ของการเชื่อมโยงสายส่งกำลังไฟฟ้า</u>

1. สามารถถ่ายเทพลังงานไฟฟ้าจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่งทำให้ช่วยลดกำลังผลิตไฟฟ้าในขณะที่มีการใช้ไฟฟ้าไม่มากลงซึ่งช่วยให้ประหยัดพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า

2. สามารถเชื่อมโยงแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าหลายๆ ชนิดถึงกันได้ ซึ่งช่วยให้สามารถวาง โปรแกรมการเดินเครื่องอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ช่วยให้ระบบมีความมั่นคงในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลายทาง

2.2 สถานีเปลี่ยนแรงดัน (Substation) เป็นแหล่งที่รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่ง หรือจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้า เพื่อถ่ายผ่านสู่ระบบจำหน่าย ประกอบด้วย

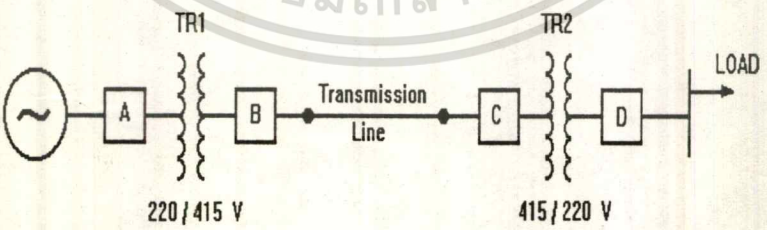
- ส่วนเปลี่ยนแรงดัน
- ส่วนตัดตอน เป็นต้น

<u>หน้าที่และจุดประสงค์ของสถานีเปลี่ยนแรงดัน</u>

1. เป็นจุดเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า
2. เป็นจุดปรับระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบให้คงที่
3. เป็นจุดเชื่อมระบบสายส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้าทำหน้าที่ในการตัดตอน ออกจากระบบและนำเข้าสู่ระบบ
4. เป็นจุดวัดปริมาณทางไฟฟ้า เช่น แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า เป็นต้น
5. เป็นจุดเชื่อมโยงระบบสื่อสาร และ การป้องกันในระบบสายส่ง
6. เป็นตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า อุปกรณ์ตัดตอน อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินพิกัดและ อุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็น

3. ระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้า (Distribution System) ได้แก่

- สายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงที่จ่ายจากสถานีเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า
- หม้อแปลงลดแรงดันไฟฟ้า
- สายจำหน่ายแรงดันต่ำที่จ่ายให้แก่โหลดหรือผู้ใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 1.1 ส่วนต่างๆของระบบไฟฟ้า

<u>ส่วนผลิตพลังงานไฟฟ้า</u>

ในระบบจริงจะเป็นโรงจักรไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดพิกัดใหญ่มากๆ แต่ในระบบจำ ลองเราจะแทนด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มาจากระบบในห้องทดลองโดยใช้ขนาด 3 KW 220 V 3 phase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเพิ่มแรงดันไฟฟ้า

เนื่องจากเราเลือกค่าแรงดันไฟฟ้าที่จะป้อนให้สายส่งไฟฟ้ามีแรงดัน ขนาด 415 V (เลือกตามความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่ใช้ทำสายส่ง) ดังนั้นหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้จึง ออกแบบให้มีขนาดพิกัดเป็น 7.5 KVA 220/415 V ต่อแบบสตาร์ - สตาร์ (Y-Y) ในระบบจริงจะมีขนาดพิกัดเป็น MVA และขนาดแรงดันใน ระดับ KV

ส่วนสายส่งกำลังไฟฟ้า

ในส่วนนี้เราไม่สามารถหาสายส่งจริงๆมาทำการทดลองได้จึงต้องสร้าง เป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน (R), ตัวเหนี่ยวนำ (L), และตัวเก็บประจุ (C) แทนสายส่งที่มีความยาวต่างๆ กัน การหาค่า RLC นี้ค่อนข้างจะยุ่งยากเพราะเมื่อหาค่า RLC ที่ระดับจริงได้แล้ว จึงใช้วิธีเปอร์ยูนิตแปลงมาที่ระบบจำลองแต่ค่า C ที่ได้อาจจะมีค่าไม่ตรง กับค่าC ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงต้องมี การเลือกค่ากระแสของระบบจำลองใหม่เพื่อให้ค่า C มีขนาดตรงกับค่า C ที่เราสามารถหาได้

ส่วนลดแรงดันไฟฟ้า

เป็นหม้อแปลงที่ทำหน้าที่ลดแรงดันจากสายส่งให้มีค่าต่ำลงมาจ่ายให้กับโหลด ซึ่งเราเลือกระดับแรงดันที่จ่ายให้กับโหลดมีขนาดเท่ากับ 220 Vดังนั้นหม้อแปลงของส่วนนี้จึงออกแบบให้มีขนาดพิกัด 7.5 KVA 415/20 V ต่อแบบ Y-Y

ส่วนของโหลด

ในระบบจริงก็คือผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งเราจะแทนด้วยโหลดที่หาได้ในห้องทดลอง

1.2 ระบบ รีเลย์

เมื่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นเรื่อยๆความ ต้องการที่จะต้อง มีระบบที่เชื่อถือได้ก็มีมากขึ้นตามไปด้วยในปัจจุบันนี้มีอุตสาหกรรมหลายอย่างทำงานโดยพึ่งพลังงานไฟฟ้าแต่ เพียงอย่างเดียวนอกจากนั้นที่อยู่อาศัยและสำนักงานก็ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวน มาก การสูญเสียพลังงานไฟฟ้าถึงแม้จะชั่วคราวก็อาจนำความเสียหายให้ได้มากเนื่องจากระบบพลังงานไฟฟ้านี้มนุษย์เป็นผู้คิดและประดิษฐ์ขึ้นมาจึงไม่สามารถ จะเชื่อถือได้อย่างสมบูรณ์การที่บริการไฟฟ้าในบางส่วนจะขาดไปชั่วคราวก็ยังคงมีอยู่เรื่อยๆแต่ผู้ให้บริการก็ได้พยายามขจัดการขาดหายของบริการนี้ให้ลดน้อยลงและพยายาม ไม่ให้กินวงกว้างมากนัก

เมื่อพูดถึงระบบพลังงานไฟฟ้า คนส่วนมากก็มักจะนึกถึงอุปกรณ์ชิ้นใหญ่ๆ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้าระบบสายส่งแรงสูง เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ก็เป็น หัวใจของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเป็นส่วนที่ต้องใช้เงินลงทุนสูงมากแต่การที่จะได้มาซึ่ง บริการที่ดีตามความต้องการดังที่กล่าวมาแล้วนั้น ก็จำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์อื่นในระบบเหมือนกันระบบรีเลย์ป้องกันก็เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อระบบพลังงานไฟฟ้าเป็นอย่างมาก

การที่จะเข้าใจถึงความจำเป็นในการออกแบบ และการใช้ระบบรีเลย์ป้องกันนั้น อาจจะต้องพิจารณาถึงลักษณะสำคัญของระบบไฟฟ้าสักเล็กน้อยลักษณะดังกล่าวนี้อาจจะจัด รวมกันเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ ได้ดังนี้ คือ

1. การทำงานตามปกติของระบบ
2. การป้องกันไม่ให้เกิดการทำงานผิดปกติ หรือความเสียหายทางไฟฟ้า
3. การจำกัดขอบเขตความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการทำงานผิดปกติทางไฟฟ้า

การทำงานตามปกติของระบบ หมายถึง การออกแบบสร้างและจัดหาอุปกรณ์ให้เพียงพอที่จะให้บริการตามความต้องการใช้ไฟฟ้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน และการจัดเตรียมไว้สำหรับ ความต้องการในอนาคต โดยที่ในการนี้จะสมมติว่าไม่มีการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ หรือ ของคนควบคุมไม่มีการชำรุดเสียหายของอุปกรณ์หรือไม่มีอุบัติเหตุทางธรรมชาติเลยในการทำงานตามปกติ ของระบบนี้จะต้องคำนึงถึงการเลือกใช้แหล่งพลังงานที่เหมาะสม การ จัดหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับโรงไฟฟ้าแบบต่างๆ การส่งพลังงานจากแหล่งผลิตไปยังแหล่งที่ใช้ การศึกษาลักษณะความ ต้องการพลังงานไฟฟ้าและวางแผนสำหรับการขยายระบบในอนาคต ระบบการวัด(metering) การปรับ และการควบคุมแรงดันไฟฟ้า และความถี่ดำเนินงาน ของระบบ และการบำรุงรักษาตามปกติ การจะให้ได้มาซึ่งการทำงานตามปกติของระบบ ใน ลักษณะดังที่ได้กล่าวมานี้ จะต้องมี การลงทุนสูง คือ จะเป็นส่วนที่ต้องลงทุนสูงที่สุดในการสร้าง ระบบพลังงานไฟฟ้าแต่ถ้าทำเพียง แค่นี้ก็ยังไม่เพียงพอที่จะให้ได้มาซึ่งระบบพลังงานไฟฟ้าที่ดีและเหมาะสมกับความต้องการในปัจจุบัน คือ เมื่อเกิดการขัดข้อง ชำรุดเสียหายขึ้น ในอุปกรณ์แล้วจะทำให้ต้องสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไป จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่จะจำกัดขอบเขตความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นต่ออุปกรณ์เหล่านี้ และตัดวงจรตรงส่วนที่ชำรุดออกจากระบบอย่างรวดเร็วทันการ

การแก้ปัญหาที่อาจทำได้ 2 วิธี คือ

1. ออกแบบระบบ และเลือกใช้อุปกรณ์ซึ่งมุ่งหวังที่จะป้องกันมิให้เกิดความเสียหายขึ้น
2. ออกแบบ และใช้อุปกรณ์ที่มุ่งหวังจะลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการทำงานผิดปกติ เช่น การลัดวงจรในระบบไฟฟ้า

ในปัจจุบันก็มีการใช้วิธีการทั้งสองนี้ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันซึ่งแล้วแต่ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมการออกแบบ และเลือกใช้อุปกรณ์เพื่อป้องกัน ความเสียหายไม่ให้เกิดขึ้นเลยนั้น จะต้องเสียค่าลงทุนสูงมาก และในบางกรณีก็อาจทำไม่ได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นวิธีที่เหมาะสมที่สุด คือ ออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์เพื่อป้องกันความเสียหายเท่าที่จะทำได้ เช่นการใช้ฉนวน ที่เหมาะสม การใช้อุปกรณ์ดักฟ้าผ่า (lightning-arrester) การออกแบบเพื่อลดโอกาส ที่จะเกิดการลัดวงจรลงให้น้อยที่สุด การดำเนินการควบคุม (operation) และการบำรุงรักษาที่ดี ฯลฯ ซึ่งทั้งนี้ ย่อมแล้วแต่ความเหมาะสมทางด้านค่าใช้จ่าย และผลตอบแทนที่จะได้รับ โดยจะยอมให้มีการทำงานผิดปกติขึ้นบ้างและเมื่อเกิดขึ้น แล้วจะต้องมีการใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม เพื่อ จำกัดผลเสียหายต่อชีวิตต่ออุปกรณ์ และบริการให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ วิธีการหลัง นี้ก็คือ การออกแบบระบบให้สามารถลดผลเสีย อันสืบเนื่องมาจากการทำงาน ผิดพลาด ให้ลดน้อยลง เช่น ออกแบบระบบให้มีค่ากระแสลัดวงจรอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ การใช้อุปกรณ์บางอย่าง เพื่อลดค่า กระแสลัดวงจร เช่น ขดลวดรีแอคแทนซ์ปีเตอร์เซน (petersen coil) การออกแบบ และใช้ระบบรีเลย์ป้องกันที่เหมาะสม และ เชื่อถือได้ ใช้ไกตัดวงจร (circuit breaker) ที่เหมาะสม ฯลฯ

ดังนั้น จะเห็นว่าระบบรีเลย์ป้องกัน คือ ระบบหนึ่งที่จะช่วยลดความเสียหายต่ออุปกรณ์ และบริการให้ลดน้อยลงเมื่อเกิดการลัดวงจร หรือการทำงานผิดปกติในระบบได้ แต่การจะลดความเสียหายหรือทำให้ระบบทำงานดีขึ้นนี้ก็มิใช่เนื่องจากระบบรีเลย์ป้องกันเพียงอย่างเดียว ระบบอื่นที่เกี่ยวข้องก็จะต้องดีด้วย ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้ระบบรีเลย์ป้องกันให้ได้ผลดีนั้น จะต้องพิจารณาลักษณะอื่นๆพร้อมกันไปด้วยมิใช่ว่าเมื่อออกแบบระบบอื่นๆ เรียบร้อยแล้วก็จะออกแบบระบบรีเลย์ป้องกัน

1.2.1 หน้าที่ของระบบรีเลย์ป้องกัน คือ จะต้องแยกส่วนใดส่วนหนึ่งออกจากระบบทันที เมื่อเกิด มีการลัดวงจรขึ้น หรือเมื่อเริ่มมีการทำงานผิดปกติเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะทำความเสียหาย หรือทำให้ การทำงานของระบบไม่เป็นไปด้วยดี ในการที่จะทำเช่นนี้จะต้องมีไกตัดวงจร ซึ่งมีขนาดที่เหมาะสมและสามารถที่จะตัดกระแสนั้นๆ ได้เข้าช่วยด้วย หรือจะพูดอีก อย่างหนึ่งก็คือ รีเลย์ป้องกันเป็นตัวที่คอยสอดส่องดูแลว่ามีการทำงานผิดปกติ หรือการลัดวงจรเกิดขึ้นหรือไม่ คือ ทำหน้าที่เหมือนเป็น ยาม ถ้าไม่มีอะไรผิดปกติก็จะอยู่เฉยๆ แต่ถ้ามีอะไรผิดปกติเกิดขึ้น เช่น การลัดวงจร ซึ่งถ้ารุนแรงพอสมควร(แล้วแต่จะกำหนด) รีเลย์ก็จะสั่งให้ไกตัดวงจรที่มันควบคุมอยู่ทำการตัดวงจรทันที (โดยปกติ คือ จะปิด คอนแทค ของวงจรปลดปล่อย หรือทริพ (trip circuit) ของไกตัดวงจร)ไกตัดวงจรก็จะจัดการ เปิดวงจร เพื่อแยกเอาส่วนที่เกิดการทำงานผิดปกตินั้นออกจากระบบทันที เพื่อไม่ให้ความเสียหาย ลุกลามออกไป หรือทำให้ระบบทำงานไม่ได้ ซึ่งในการนี้จะต้องจัดวางไกตัดวงจรไว้ในตำแหน่ง ซึ่งสามารถแยก เอา เครื่องกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้า หม้อแปลง บัส (bus bar) สายส่ง ฯลฯ ออกจากระบบได้ตามต้องการ นอกจากนั้น ไกตัดวงจรเหล่านี้ยังต้องมีขนาดใหญ่พอที่ จะทนค่ากระแสลัดวงจรสูงสุดที่อาจเกิดขึ้น และสามารถตัดกระแสนั้นๆ ได้โดยไม่ชำรุดเสียหาย

หน้าที่อีกอย่างหนึ่งของรีเลย์ป้องกัน คือ บอกตำแหน่งและชนิดของการทำงานผิดปกติที่เกิดขึ้น ข้อมูลเหล่านี้นอกจากจะช่วยให้การซ่อมแซมเร็วขึ้นแล้ว ยังจะช่วยทำให้สามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบในการวิเคราะห์ ว่าระบบป้องกันที่ออกแบบไว้นั้นมีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งก็รวมถึงระบบรีเลย์ป้องกันด้วย

ระบบพลังงานไฟฟ้าที่ดีนั้นจะต้องมีการป้องกันที่เหมาะสม ซึ่งความเหมาะสมดังกล่าวนี้ก็เป็นเรื่องที่พูดลำบาก อาจจะคิดว่าระบบการป้องกันนั้นควรจะออกแบบให้ดีที่สุด และมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อป้องกัน และลดความเสียหายให้เหลือน้อยที่สุด แต่การทำเช่นนี้ต้อง ใช้เงินลงทุนสูงเกินไปจนไม่คุ้มกับผลตอบแทนที่จะได้รับ แต่ถ้าใช้ระบบป้องกันให้น้อยที่สุดเพื่อลงทุนน้อยก็อาจจะไม่ดี คือ ความเสียหายอาจจะเกิดขึ้น หรือมีผลเสียหายอย่างร้ายแรง รายจ่ายในการซ่อมแซมก็ อาจสูงมากด้วย ถ้าเครื่องชำรุดมาก ดังนั้นวิธีที่ดีควรจะดำเนินไปในทางสายกลาง ซึ่งแล้ว แต่ความเหมาะสมของแต่ละระบบ และการพิจารณาผลดีและผลเสีย ซึ่งเนื่องจาก การ วิเคราะห์ ทางเศรษฐศาสตร์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการลงทุน และผลตอบแทนที่จะได้รับการกระทำเช่นนี้ไม่ใช่เรื่องง่าย และบางครั้งก็บอกไม่ได้แน่นอนว่าจะต้องเป็นอย่างไร ซึ่งวิธีการจริงๆแล้วจะขึ้นอยู่กับลักษณะ และความสำคัญของระบบ และการตัดสินใจของ ผู้ออกแบบ หรือพูดอีกนัยหนึ่งระบบรีเลย์ ป้องกันเหมือนกับการประกันภัย ซึ่งผู้ใช้จะต้องชั่งใจ ดูว่าจะประกันถึงขนาดไหนจึงจะเพียงพอ ถ้า ประกันมากผลอาจจะดีกว่า แต่ต้องเสียเงินมาก ถ้าประกันภัย ถึงแม้จะเสียเงินน้อยแต่ถ้าเกิด ความเสียหายก็จะได้ผลตอบแทนน้อยมากจนไม่คุ้ม ฉะนั้นการออกแบบระบบรีเลย์ป้องกันจะเป็นศาสตร์อันหนึ่งแล้วและ ถือ ได้ว่าเป็นศิลปด้วย

1.2.2 การป้องกันการทำงานผิดปกติอย่างอื่นของระบบไฟฟ้า

ในการป้องกันสภาวะหรือการทำงานผิดปกติอย่างอื่นของระบบนอกเหนือไปจากการลัดวงจรนั้นอาจจัดอยู่ในจำพวกระบบรีเลย์หลักได้ การป้องกันภาวะผิดปกติดังกล่าวอาจจะแตกต่าง กัน สำหรับส่วนของระบบที่ต่างกัน ดังนั้นการจัดเขตป้องกันให้คาบ เกี่ยวกันเหมือนในกรณีการลัดวงจรนั้นก็อาจจะทำไม่ได้การป้องกันอาจจะต้องทำแยกกัน สำหรับ ส่วนต่างๆ โดยที่การป้องกันแต่ละ ส่วนอาจจะไม่ขึ้นอยู่ซึ่งกันและกันเลย รีเลย์ที่ใช้ในการนี้อาจจะเป็นตัวส่งสัญญาณ หรือสั่งทริพไกตัดวงจรตัวเดียวกันกับรีเลย์ป้องกันการลัดวงจร หรือสั่งทริพไก ตัดวงจรคนละตัวก็ได้แล้วแต่กรณี สำหรับกรณีนี้มักจะไม่ทำระบบ รีเลย์รอง

เอกสารนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังได้กล่าวมาแล้วแต่ในบางโอกาสรีเลย์ที่ป้องกันการลัดวงจรอาจจะทำหน้าที่ป้องกันชั้นสองไปด้วยก็ได้ถ้าสภาวะผิดปกตินี้ทำให้เกิดค่ากระแส หรือแรงดัน ผิดปกติมากพอจะทำให้มันทำงานได้

1.2.3 ลักษณะความต้องการของระบบรีเลย์ป้องกัน

ในการออกแบบใช้ระบบรีเลย์ในระบบพลังงานไฟฟ้านั้น มีการแบ่งระบบทั้งหมดออกเป็นส่วนๆ เพื่อแยกเขตป้องกันในแต่ละส่วนออก ตามความเหมาะสมดังได้กล่าวแล้ว และในแต่ละส่วนก็ จะมีวิธีการเฉพาะ ซึ่งอาจจะแตกต่างจากส่วนอื่นก็ได้ แต่หลักการใช้ระบบรีเลย์ก็มีส่วนที่เป็นข้อกำหนด หรือเป็นลักษณะความต้องการที่รีเลย์ หรือระบบรีเลย์จะต้อง มี ดังนี้ คือ

ก. ความไว (sensitivity) รีเลย์จะต้องไวพอที่รู้ถึงความผิดปกติที่อาจจะเกิดขึ้นในระบบ ไม่ว่าจะอยู่ในภาวะใดก็ตามเพื่อที่จะสามารถทำงานได้อย่างแน่นอนเมื่อถึงคราว จำเป็นต้องทำ

ข. ความสามารแยกแยะ รีเลย์จะต้องสามารถแยกแยะได้ว่า ในภาวะใดจะต้องทำงานทันที และใน ภาวะใดไม่ต้องทำงาน หรือทำงานตามเวลาที่ถ่วงไว้ตามต้องการ

ค. ความเร็ว (speed) รีเลย์จะต้องมีความเร็วสูงตามที่ต้องการ ความเร็วนี้อาจเป็นตัวที่จะช่วยลดความเสียหายได้มากในกรณีที่เกิดการลัดวงจรอย่างรุนแรงหรืออาจจะช่วยรักษาเสถียรภาพของระบบไว้ก็ได้

ง. ความแน่นอน หรือความเชื่อถือได้ รีเลย์จะต้องเป็นที่เชื่อถือได้ในการทำงาน คือ ถ้าเกิดผิดปกติขึ้นในระบบรีเลย์จะต้องทำงาน เพราะถ้ารีเลย์ไม่ทำงานแล้วส่วนอื่นๆ ในระบบที่ใช้ในการป้องกัน ก็จะไม่มีความหมายอะไร

จ. ความง่าย (simplicity) รีเลย์ควรจะมีโครงสร้างที่ไม่ยุ่งยาก มีความแข็งแรง และใช้วงจรที่ง่ายที่สุดเท่าที่จะทำได้

ฉ. ประหยัด (economy) รีเลย์จะต้องเป็นแบบที่ให้การป้องกันที่เหมาะสม และราคาถูกที่สุดเท่าที่จะทำได้

ที่กล่าวมาแล้วนี้ คือ ข้อกำหนด หรือลักษณะความต้องกวรที่รีเลย์ และระบบรีเลย์ควรจะมี แต่ในทางปฏิบัติก็อาจจะเป็นการยากที่จะทำได้ตรงตามข้อกำหนดเหล่านี้ทุกข้อ จึงอาจต้องพิจารณาตามความเหมาะสมของระบบแต่ละระบบ

การเลือกใช้ระบบรีเลย์นี้มิใช่ว่าจะเลือกเฉพาะตัวรีเลย์เองเท่านั้นยังจะต้องเลือก อุปกรณ์อื่น เช่น แหล่งจ่ายกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าที่จะใช้ร่วมกับรีเลย์ให้เหมาะสมด้วย ถ้าเลือกรีเลย์แต่อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ร่วมไม่เหมาะสมก็อาจจะไม่ได้การทำงานที่ดีของรีเลย์ก็ได้

เอกสารนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ส่วนใหญ่ที่ใช้มักจะทำงานอยู่อย่างสม่ำเสมอ แต่สำหรับรีเลย์ไม่เป็นเช่นนั้น คือ รีเลย์อาจจะติดตั้งอยู่กับระบบ เป็นเวลานานโดย ไม่ได้ทำงานเลยก็ได้ ถ้าไม่เกิดภาวะผิดปกติขึ้นในเขตป้องกันของมัน ถึงแม้ในส่วนที่เกิดการลัดวงจรบ่อยๆ เช่น ในสายส่งรีเลย์บางตัวก็อาจจะทำงานปีหนึ่งไม่กี่ครั้งในส่วนอื่นอาจจะมีรีเลย์บางตัว ซึ่งอยู่เป็นปีโดยไม่ได้ทำงานเลย การที่รีเลย์อยู่เฉยๆ เป็นเวลานานเช่นนี้ก็อาจจะทำ ให้เกิดการฝืด เนื่องจากฝุ่นละออง ความชื้นหรือสาเหตุอื่นก็ได้ถ้าไม่มีการบำรุงรักษาที่ถูกต้อง รีเลย์ก็อาจไม่ทำงานได้ เมื่อถึงคราวจำเป็นต้องทำ ดังนั้น การบำรุงรักษาเป็นประจำ และถูกต้อง จึง มีส่วนสำคัญในความแน่นอนในการทำงาน ของ รีเลย์อยู่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทษฎีและหลักการ

หลักการทั่วไปของระบบรีเลย์ป้องกัน

ระบบรีเลย์ที่ใช้ในการป้องกันการทำงานผิดปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลัดวงจรนั้น แบ่งออกเป็น 2 ชั้น ดังนี้คือ

2.1.ระบบรีเลย์หลัก หรือ ชั้นต้น (primary relaying) ซึ่งเป็นระบบที่จะทำงานเป็นอันดับแรกเมื่อมีการลัดวงจรเกิดขึ้น

2.2.ระบบรีเลย์รอง หรือชั้นที่สอง (secondary or back-up relaying) ซึ่งจะทำงานก็ต่อเมื่อระบบรีเลย์ชั้นต้นไม่ทำงาน

2.1 ระบบรีเลย์หลัก หรือ ชั้นต้น

ในการป้องกันระบบไฟฟ้านั้นจะต้องออกแบบจัดระบบรีเลย์ให้สามารถป้องกันได้ทั้งระบบ ไม่ว่าลัดวงจรจะเกิดขึ้นที่ใด รีเลย์จะต้องสามารถรู้ และสั่งให้มีการตัดวงจรส่วนที่เสียออกจากระบบได้ โดยพยายามแยกส่วนที่เสียออกให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ได้มาซึ่งการป้องกันนี้ โดยมากจะแบ่งเขตป้องกันออกเป็นเขตๆ แล้วจัดรีเลย์ให้ป้องกันในแต่ละเขตของตน เขตที่จัดแบ่งโดยมากจะจัด ดังนี้

1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า-หม้อแปลง ที่ทำงานเป็นหน่วยเดียวกัน (generator or generator transformer unit)

2. หม้อแปลง (transformer)

3. บัส (bus-bar)

4. สายส่ง หรือสายจ่าย (transmission line or distribution line)

5. มอเตอร์ (motor)

ในการแบ่งเขตป้องกันนี้จะต้องติดตั้งไกตัดวงจรในแต่ละส่วนเพื่อให้สามารถแยกแต่ละส่วนนั้นออกได้ นอกจากนั้นเขตป้องกันที่แบ่งนั้นจะต้องให้คาบเกี่ยวกัน (overlap) อยู่ด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้มีจุดบอดขึ้นในระบบป้องกัน ถ้าไม่คาบเกี่ยวกันอยู่อาจจะเกิดการลัดวงจรขึ้นในจุที่อยู่ระหว่างเขตสองเขต แล้วจะไม่มีรีเลย์ตัวใดล่วงรู้ได้เลย ซึ่งจะเกิดผลเสียหายร้ายแรง เขตป้องกันนี้แสดงไว้ในรูป 2.1

การทำให้เขตป้องกันคาบเกี่ยวกันนี้มีผลเสียอยู่บ้างคือ เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้น ในส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

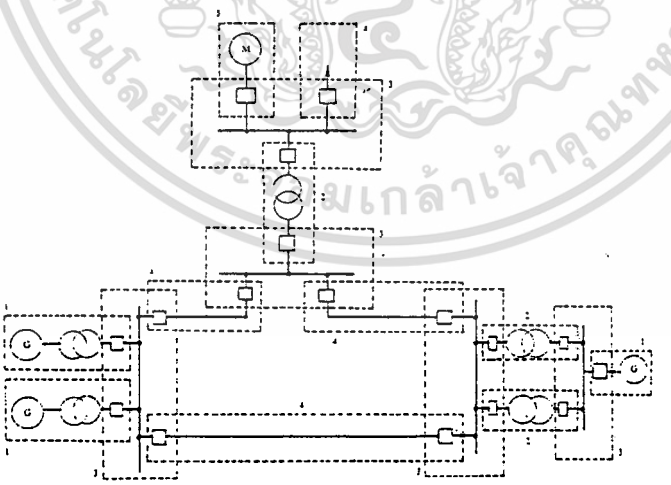
034802

ที่คาบกันอยู่ รีเลย์ในทั้งสองเขตจะสั่งตัดวงจรของทั้ง 2 เขต ทำให้เกิดการตัดวงจรออกมากเกินความจำเป็น แต่ก็ยังดีกว่าที่จะปล่อยให้มีจุดบอด ซึ่งไม่ได้ป้องกันไว้ และอีกอย่างหนึ่ง โอกาสที่การลัดวงจรจะเกิดขึ้นในจุดดังกล่าวมีน้อยฉะนั้นการตัดวงจรเกินความจำเป็นนั้นจะเกิดขึ้นไม่บ่อยครั้งนัก

จากรูป 2.1 จะเห็นว่าเมื่อเกิดมีการลัดวงจรขึ้นที่ใดก็ตาม (ยกเว้นในช่วงที่เกี่ยวคาบกันอยู่) ด้วยการแบ่งเขตป้องกันดังกล่าวนี้ จะทำให้มีการตัดวงจรในบริเวณที่น้อยที่สุด ดังนั้นวิธีการอันนี้จึงเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป

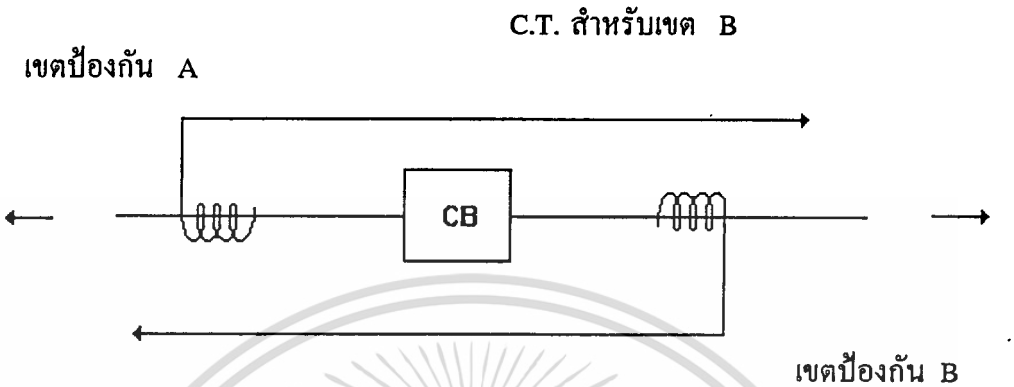
2.2 ระบบรีเลย์รอง หรือชั้นที่สอง

ระบบรีเลย์รองเป็นระบบที่ติดตั้งไว้ให้ทำงานในกรณีที่ระบบรีเลย์หลักไม่ทำงานอันอาจจะเนื่องจากเสียหรือเหตุอันใดก็ตามซึ่งโดยมาจะใช้ระบบรีเลย์ชั้นที่สอง เฉพาะในกรณีที่ต้องการป้องกันการลัดวงจรเท่านั้น เนื่องจากการลัดวงจรเป็นการทำงานผิดปกติที่เกิดขึ้นบ่อย และรุนแรงที่สุดดังนั้นโอกาสที่ระบบรีเลย์หลักจะไม่ทำงานจึงมีมาก สำหรับรีเลย์ที่ใช้ในหน้าที่อื่นที่ไม่ใช่เพื่อป้องกันการลัดวงจร โดยมากมักไม่ใช้ระบบรีเลย์ชั้นที่สองเพราะจะทำให้ราคาแพงขึ้นมาก



รูป 2.1 แสดงการแบ่งเขตป้องกันสำหรับรีเลย์หลักใน ระบบไฟฟ้า การทำเขตป้องกันให้คาบเกี่ยวกันนี้จะทำได้โดยให้แต่ละเขตอ้อมรอบไกตัดวงจรแต่ละตัวโดยต่อหม้อแปลงดังในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.2 แสดงการต่อหม้อแปลงกระแสเพื่อจัดให้เขตป้องกันคาบเกี่ยวกัน

สาเหตุที่จะทำให้ระบบรีเลย์หลักไม่ทำงานนั้นมีหลายประการด้วยกัน เช่น เนื่องจากแหล่งจ่ายกระแส หรือ แรงดันไฟฟ้าที่ให้กับรีเลย์ขัดข้องหรือขาดหายไปแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับปลดปล่อย หรือ ทริพ (trip) ขาดหายไป ตัวรีเลย์เองเสีย วงจรปลดปล่อย หรือทริพ หรือกลไกของไกตัดวงจรชำรุด หรือไกตัดวงจรเองชำรุด หรือขัดข้องไม่ทำงาน ฯลฯ ดังนั้น ในการจัดระบบรีเลย์รองจึงควรพยายามหลีกเลี่ยงการใช้อุปกรณ์ หรือวิธีการที่ซ้ำกับระบบรีเลย์หลัก ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้สาเหตุที่ทำให้รีเลย์หลักไม่ทำงานมาทำให้ระบบรีเลย์รองไม่ทำงานไปด้วย ซึ่งการจะทำเช่นนี้ได้ก็ต่อเมื่อระบบรีเลย์รองไม่ใช้อุปกรณ์ หรือควบคุมอุปกรณ์ตัวเดียวกันกับรีเลย์หลักเลยและถ้าเป็นไปได้ก็มักจะให้รีเลย์รองนี้อยู่คนละตำแหน่งกันกับรีเลย์หลัก คืออยู่คนละสถานีกัน

สมมติว่า มีระบบสายส่งดังแสดงไว้ในรูป 2.3

ในการป้องกันนั้นสำหรับระบบรีเลย์หลักจะป้องกันตามลักษณะนี้ คือ ในช่วงสาย 1-2 จะใช้รีเลย์และไกตัดวงจร ในตำแหน่ง 1 และ 2 เป็นรีเลย์หลัก ช่วง 3-4 ก็จะใช้รีเลย์ 3 และ 4 ฯลฯ สำหรับระบบรีเลย์รอง นั้นตามปกติจะจัดไว้ในที่ที่ต่างกัน เช่น การป้องกันช่วงสายระหว่าง 3-4 จะมีรีเลย์รองอยู่ที่ 1, 6 และ 8 คือ รีเลย์ในตำแหน่งเหล่านี้จะสั่งการปลดปล่อยหรือทริพ ไกตัดวงจรในตำแหน่ง 1, 6 และ 8 ในกรณีที่รีเลย์หลัก 3-4 ไม่ทำงานตามที่กำหนด เช่น ถ้าเกิดการลัดวงจรขึ้นในช่วงระหว่าง 3-4 ถ้าไกตัดวงจรที่ 3 ไม่ตัดวงจรในช่วงเวลาที่กำหนดรีเลย์รองซึ่งอยู่ที่

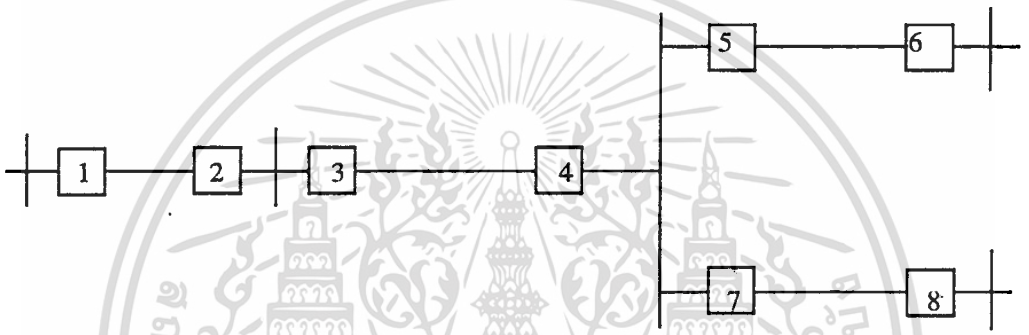
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 จะสั่งไกตัด วงจรที่ 1 ให้ตัดวงจรออก หรือถ้าไกตัดวงจรที่ 4 ไม่ตัดวงจรออกไกตัดวงจรที่ 6 และ8ก็จะทำงานแทนเนื่องจากรีเลย์และไกตัดวงจร ซึ่งใช้เป็นรีเลย์รองอยู่คนละตำแหน่ง กับรีเลย์หลักโอกาสที่รีเลย์เหล่านี้จะไม่ทำงานเนื่องด้วยสาเหตุเดียวกันกับรีเลย์หลักก็จะมีน้อย

ระบบรีเลย์รองที่ 3, 6 และ 8 จะป้องกันการเกิดลัดวงจรที่บัส A ด้วย ในกรณีที่ไกตัดวงจรที่บัสไม่ทำงาน

รีเลย์ที่ 3 และ 6 ก็จะเป็นรีเลย์ชั้นรอง สำหรับช่วงสายระหว่าง 7 กับ 8 ด้วย

แต่ก็มีบางกรณีที่การจัดระบบรีเลย์รองจะทำตามหลักการที่ว่านี้ไม่ได้ และอาจจะต้องอยู่



รูป 2.3 แสดงระบบสายส่ง

ที่บัสเดียวกัน หรือในบางกรณีก็อาจจะทำระบบรีเลย์รองไม่ได้เลย

หน้าที่อีกอย่างหนึ่งของระบบรีเลย์รอง คือ ใช้เป็นระบบป้องกันหลักเมื่อมีการซ่อมแซม หรือบำรุงรักษารีเลย์ที่ใช้เป็นรีเลย์หลัก

จะเห็นว่าเมื่อระบบรีเลย์รองทำงานการทำงานของระบบรีเลย์รองก็จำเป็นจะต้องถ่วงเวลาไว้เพื่อให้โอกาสรีเลย์หลักทำงานก่อนคือเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นระบบรีเลย์หลักจะใช้เวลาในการสั่งทริพและ เมื่อรีเลย์หลักสั่งทริพแล้ว รีเลย์รองก็ควรจะคืน สู่สภาวะ เดิม (reset)

2.3 การแบ่งจำพวกสวิตช์รีเลย์

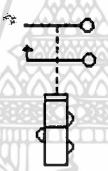
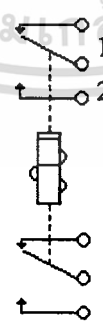
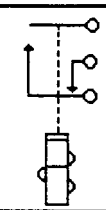
รูปแบบของสวิตช์จะถูกแทนโดยจำนวนของโพล (P) และโทรน (T) หรืออาจจะเป็นตัวอักษร เช่น S (Single) หรือ D (Double) เช่น SPST, SPDT, DPDT หรือเป็นแบบหลายขั้ว (3PST, 4SPT) คอยล์รีเลย์จะเป็นตัวบังคับหน้าสัมผัส อาจจะเป็นหน้าสัมผัสเดียว หรือหลายหน้าสัมผัสก็ได้

จากตารางที่ 2.1 แสดงลักษณะของรีเลย์พื้นฐานทั้ง 4 แบบ ในรูป a เป็นแบบปกติเปิด (NO, Normally open) คือ ปกติหน้าสัมผัสจะไม่ถึงกันเมื่อคอยล์โดนกระตุ้นจะมาบังคับให้หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมผัสต่อถึงกัน รูป b เป็นแบบปกติปิด (NC, Normally close) จะตรงกันข้ามกับแบบแรก ส่วนรูป c และ d จะใช้หน้าสัมผัสแบบ 2 ทาง (Double-Throw) และยังแบ่งเป็นแบบจากก่อนแตะ (Break before-Make) และแบบแตะก่อนจาก (Make-before-break) โดยรุ่นแบ่งเป็นรูปแบบ A-D (ซึ่งเป็นมาตรฐาน) โดยจะมีจำนวนของโพล (P) แสดงไว้หน้าอักษร เช่น 1A,1B, AC,2C และ 1D รีเลย์หนึ่งตัวสามารถที่จะใช้หน้าสัมผัสหลายแบบก็ได้ เช่น 1A1B, 2A2C เป็นต้น

แบบ C จะเป็นแบบหน้าสัมผัสคู่ ซึ่งหน้าสัมผัสกลาง (Pole) จะเคลื่อนจากด้านหนึ่งมายังอีกด้านหนึ่ง (Throws) ส่วนแบบ D เป็นแบบที่ประยุกต์ขึ้นมา เพื่อที่จะทำการหลีกเลี่ยงการรบกวนขณะทำการสวิตช์และแรงดันกระชากขณะทำการสวิตช์กับโหลดที่เป็นอินดักเตอร์ขณะกำลังใช้งานอยู่ด้วย

DESIGN	FORM	SYMBOL	SEQUENCE
SPST N.O.	1A		MAKE
SPST N.C	1B		BREAK.
DPDT	2C		BREAK (1,3) MAKE (2,4)
SPDT	1D		MAKE (1) BEFORE BREAK (2)

ตารางที่ 2.1 แสดงการแบ่งสวิตช์ของรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ชนิดและลักษณะของรีเลย์

รีเลย์ทำการสวิตช์สัญญาณในย่านจากไมโครวัตต์ของภาค RF ถึงเมกกะวัตต์ของภาคเพาเวอร์ขนาดของรีเลย์จะเปลี่ยนแปลงตามเทคนิคการออกแบบโครงสร้างตามการประยุกต์ใช้งาน รีเลย์ส่วนมากที่คุ้นเคยจะเป็นแบบ รีเลย์ที่ใช้ในจุดประสงค์ทั่วไป (geeral-Purpose relays) และแบบรีดรีเลย์ (Reed Relay)

1. รีเลย์ชนิดจุดประสงค์ทั่วไป แบบเป็นขาเสียบซึ่งรีเลย์ชนิดนี้จะทำการสวิตช์กำลังปานกลาง คือ 10-30 แอมแปร์ ที่แรงดันสลับ 120/240 โวลต์ ขาเสียบจะมีลักษณะเหมือนของหลอดสุญญากาศแบบ 8 ขา ขนาดของรีเลย์ชนิดนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่สุดประมาณ 2 นิ้ว และจะมีฝาครองเพื่อป้องกันฝุ่นละออง แต่ถ้าหากเป็นขนาดเล็กลงจะถูกเคลือบด้วยพลาสติกทึบ และจะมีขาที่ใช้เสียบกับแผ่นปริ้นท์ได้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว ซึ่งในการทำการสวิตช์จะใช้กระแสประมาณ 1-5 แอมแปร์

2. รีดรีเลย์ (Reed Relay) จะมีขาเสียบแบบดิฟ (DIP) เป็นรีดรีเลย์แบบ แม่เหล็ก (Single magnetic reed switch) ซึ่งจะใช้สนามแม่เหล็กเป็นตัวควบคุมให้หน้าสัมผัสเข้าหากัน โดยจะถูกผนึกหุ้มโดยแก้วเพื่อป้องกันฝุ่นละอองช่วงเวลาต่ำสุดที่รีดรีเลย์จะทำการสวิตช์ได้มีค่าประมาณ 500 us เมื่อเปรียบเทียบกับรีเลย์ชนิดจุดประสงค์ทั่วไป ซึ่งมีเวลาในการสวิตช์ได้ประมาณ 5-30 ms จะเห็นได้ว่ารีดรีเลย์สามารถทำงานได้เร็วกว่ารีเลย์แบบจุดประสงค์ทั่วไปรีดรีเลย์ทำขึ้นมาเพื่อใช้ในกรณีที่หน้าสัมผัสแห้ง กำลังต่ำๆ และกระแส 0.5-2 แอมแปร์ รีดรีเลย์ที่พบอยู่จะมี 6 ขั้ว ขณะที่รีดรีเลย์ชนิดปรอท เป็นรุ่นที่ใช้แรงดันสูงถึง 1KV โดยหน้าสัมผัสสามารถรับกำลังได้ถึง 100 วัตต์ และแรงดันสำหรับคอยล์จะใช้ประมาณ 1-24V และขณะเริ่มทำงานต้องการกำลังเพียงเศษส่วนล้านของวัตต์เท่านั้น

3. รีเลย์ที่มีขนาดเล็กที่สุดที่หาได้ คือ รุ่น TO-5 ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนทรานซิสเตอร์ โดยจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง หรือกว้างประมาณ 0.3 นิ้ว และจะต่อสายออกมา หน้าสัมผัสแบบนี้จะมีขีดความสามารถมากกว่าแบบรีดรีเลย์ คือ จะใช้แรงดัน 28 โวลต์ดีซี หรือ 120 โวลต์เอซี ที่กระแส 1 แอมแปร์ กำลังของคอยล์จะมีเพียงเล็กน้อยที่แรงดัน 32 โวลต์ดีซี และบางครั้งอาจจะสูงกว่านี้เล็กน้อย โดยจะทำงานในช่วงอุณหภูมิ -40-125 องศาเซลเซียส เท่าที่เห็นจะใช้รีเลย์รุ่นนี้ร่วมกันหรือใช้คู่กับไดโอด เพื่อลดแรงดันเสิร์ค (Surge)

4. RF รีเลย์เป็นรีเลย์ขนาดใหญ่ที่ทำการสวิตช์กระแสได้ถึง 5 แอมแปร์ จะมีส่วนประกอบภายในจะเป็นผลึก และมีขาเสียบออกมาโดยจะต่อสายโคแอ็คเชียล (Coaxial) ออกมา ซึ่งสายที่ต่อจะมีอิมพีแดนซ์ 50 โอห์มที่ความถี่ 500 MHz-2 GHz อัตราการสวิตช์เหมือนกับแบบก่อนๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เพาเวอร์สวิตช์รีเลย์จะเป็นรุ่นที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถทำการสวิตช์ระดับกำลังได้ หลายๆ เมกกะวัตต์ แสดงรีเลย์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-4 นิ้ว และทำการสวิตช์ได้ถึง 30 แอมแปร์ กำลังของคอยล์ประมาณ 2 วัตต์ หรือ 5-10 โวลต์แอมป์ เมื่อมาทำการสวิตช์กับมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ จะทำหน้าที่เหมือนแบบธรรมดา แต่จะมีโครงสร้างที่พิเศษกว่า

2.5 การเลือกหน้าสัมผัส

หลักการเลือกหน้าสัมผัส แสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งหากมีหน้าสัมผัสที่ดีจะทำให้การทำงานได้ง่าย ซึ่งปกติหน้าสัมผัสจะต้องทนกับการอาร์กและการอ๊อกซิเดชั่น (Oxidation) หรือการทำให้เกิดคราบสกปรก ซึ่งจะมีผลกับสัญญาณระดับต่ำ

หน้าสัมผัสของวงจรที่อยู่ในสภาวะที่แห้ง จะใช้วัสดุที่ไม่ทำให้เกิดการอ๊อกซิเดชั่น (NON-Oxidalying) หรือเป็นแผ่นโลหะธรรมดา การทำงานจะลบล้างพฤติกรรมของหน้าสัมผัสที่เคลื่อนที่ผ่านไปยังหน้าสัมผัสอีกข้างหนึ่ง และเป็นการแบ่งเป็น 2 ส่วน (Bifurcated) หมายถึง ช่องว่างระหว่างหน้าสัมผัส ซึ่งหน้าสัมผัสจะใช้เป็นแผ่นทอง หรือโลหะอื่นที่เหมาะสม ดังนั้นส่วนหน้า สัมผัสของรีดรีเลย์จะต้องทำจากโลหะโรเดียม (rhodium) หรือรูเทพเนียม (ruthenium)

เพาเวอร์รีเลย์ ต้องการการกระตุ้นหน้าสัมผัสที่พอเพียงเพื่อควบคุมกระแสและแรงดันสูง การอาร์กจะต้องน้อย และต้องมีความต้านทานความร้อนสูง เพื่อให้มีความร้อนต่ำ เพราะฉะนั้น หน้าสัมผัสจะใช้เป็นเงินผสมกับออกไซด์ของแคดเมียม ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุดังกล่าวจะลดการอาร์กของหน้าสัมผัสได้ แต่เพาเวอร์รีเลย์ไม่สามารถสวิตช์ที่แรงดันต่ำกว่า 12V ได้ หากหน้าสัมผัสทำจากเงินอย่างเดียว จะใช้กรณีโหลดที่มีกำลังปานกลาง หรือระบบการสื่อสาร และแรงดันจะต้องไม่ต่ำกว่า .6 โวลต์ แต่เงินจะเกิดออกไซด์ได้ง่าย ดังนั้นคอนเทคที่ดีควรเป็นทองและจะต้องเป็นเงา

เงินพาลาเดียม (Silver Palladium) จะมีความไวต่อการเกิดออกไซด์ต่ำ แต่การป้องกันการลุกไหม้ และการเป็นตัวทำด้อยกว่าเงิน ซึ่งจะใช้กับกำลังต่ำ คือ จะต่ำกว่า 60 โวลต์ ในรีดรีเลย์ชนิดปรอทจะมีแผ่นฟิลม์ทางๆ จากปรอทซึ่งจะทำให้หน้าสัมผัสต่อถึงกัน ซึ่งแผ่นฟิลม์ปรอทจะเพิ่มความจุของการสวิตช์กำลัง และลดการป้องกันหน้าสัมผัส เช่น จะมีอัตราที่ 0.5 แอมแปร์, 10 วัตต์ และ 0.1 โอห์ม เมื่อใช้หน้าสัมผัสแห้ง หากเป็นหน้าสัมผัสปรอทจะมีอัตราที่ 2 แอมแปร์, 50 วัตต์ และ 0.05 โอห์ม ดังนั้นหน้าสัมผัสแบบปรอทจะดีกว่า แต่ต้องมีการบำรุงรักษาอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การป้องกันหน้าสัมผัส

เมื่อมีโหลดเป็นอินดัคทีฟจะทำให้เกิดปัญหาขึ้นมาคือกระแสที่ไหลผ่านอินดัคเตอร์ไม่สามารถที่จะทำให้หยุดได้ในทันที ถ้าคอยล์เปิดอยู่ขณะกระแสไหลผ่านตัวอินดัคเตอร์อยู่ จะทำให้สนามแม่เหล็กยุบลงทันทีทันใด ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันมากขึ้นซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในระบบไฟรถยนต์ หรือหม้อแปลงปลายแฟ็กของทีวี ซึ่งมีแรงดันเป็นกิโลโวลต์ หากเกิดการอาร์ก จะทำให้หน้าสัมผัสเสียหายได้

เมื่อโหลดที่เป็นอินดัคเตอร์ถูกสวิตช์ แรงดันเสิร์ดจะเกิดขึ้น เรามีวิธีลดโดยทำให้มีทางเดินของกระแสทางหนึ่ง เมื่อหน้าสัมผัสเปิด สำหรับกรณีเป็นดีซีเราจะต่อไดโอด ดังรูป 2.5a โดยต่อในลักษณะถูกรีเวิร์สไบอัสจะทำให้กระแสโหลดไหลผ่านไดโอดจนกระทั่งเป็นศูนย์ ค่า PIV (Peak Invose Voltage) ของไดโอดควรจะมากกว่าแรงดันของแหล่งจ่าย และควรมีอัตราทนกระแสเสิร์ดได้มากกว่าปกติ ความต้านทานที่ต่ออนุกรมอยู่กับไดโอด จะเป็นตัวลดให้กระแสลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะฉะนั้นค่าความต้านทานควรจะมีค่ามาก และต้องมีคาพาซิเตอร์มาต่อ

STYLE	DIMENSIONS (incheh)	CONTACT RATINGS	COIL voltage , power	SWITCH TIME(ms)
General Purpose plugin	1.2 to 2 H 0.9 to 1.5 W 0.9 to 0.4 D	3 to 10 A 28 VDC 240 VAC	6, 12, 24, 120 V 1.2 W DC 2 VA AC	15 to 30
General Purpose Miniature	0.4 to 0.7 H 0.6 to 1.2 W 0.4 to 0.75 D	1 to 5 A 28 VDC 240 VAC	6, 12, 24, 48 V 24, 48 VDC 0.5 to 1 W	5 to 10
REED	0.3 to 0.5 H 0.9 to 1.2 W 0.3 to 0.8 D Also available in a DIP format	0.5 to 2 A 5 to 50 W 28 to 250 VDC& AC	6, 12, 24 VDC 5 to 400 mW (Coil to 1V available)	0.2 to 1
Hermatic TO-5	0.3 to 0.9 H 0.6 to 1 W 0.3 to 0.5 D	0.5 to 5 A 28 VDC 115 VAC	4 to 32 VDC 120 mW	5
RF	0.4 to 1 H 0.8 to 1 W	10 to 25 W	5 to 50 VDC 250 mW	5 to 10

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของรีเลย์ชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTACT	APPLICATIONS	TYPICAL RATINGS	COMMENT
Bifurcated , goldplated , or goldoverlay	"Dry" and low current Measurement and signal switch	0 to 0.2 A. RATE to 120 best for 24 V or less	Low,steady contact resistance
Silver	communications	2 to 5 A	Oxidizes easily. be gold-flashed for storage protection.
Silver cadmium oxide	Porwer, inductive and capactive loads. High in-rush current	5 A and up	Resistance welding. arc-extinguishing characteristics. Less suited below 12 V

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทำหน้าสัมผัส

อนุกรมด้วย ซึ่งจะทำให้เกิดค่าไทม์คอนสแตนซ์ขึ้น หาได้โดย T = RC หากเป็น R-L ก็หาได้โดย T = L/R และขนาดของทรานเซียลจะสามารถหาได้ง่ายโดยใช้กฎของโอห์ม

V peak = I eoad * R series

จากรูป 2.4b และ 2.4c เป็นแรงดันเสิร์คกรณีใช้ไฟเอซี รูป b เราใช้เมทัลออกไซด์วาริสเตอร์ (Metal-Oxicle Varistor) (MOV) และคาปาซิเตอร์ ซึ่งแรงดัน Break down ของ MOV จะต้องมากกว่าแรงดันพีคของแหล่งจ่ายเอซีที่ความถี่ 60 Hz พีคโวลต์เตจจะเป็น 1.414 ของระดับ RMS จะเป็นดังรูป 2.4c

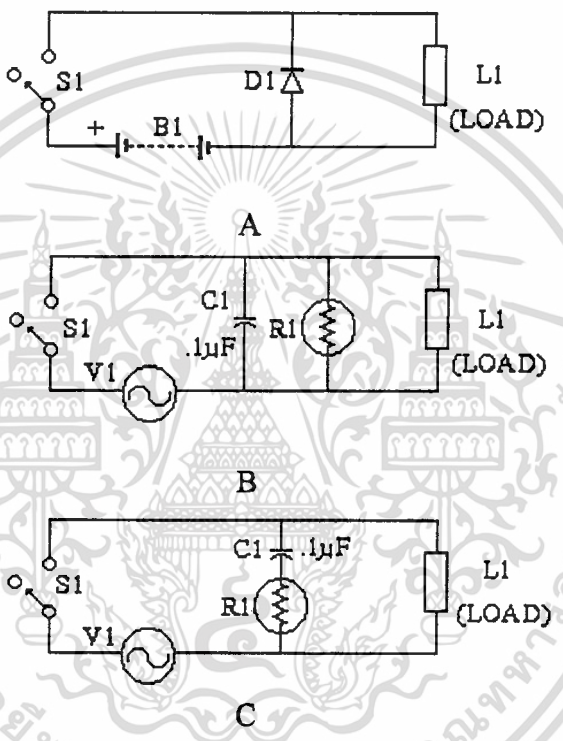
เมื่อปราศจากโหลดที่เป็นอินดัคเตอร์ แรงดันสูงจะทำให้เกิดการอาร์กระหว่างหน้าสัมผัสขณะเปิด การอาร์กจะเกิดต่อเนื่องโดยการทำปฏิกิริยากับอากาศจนกระทั่งแรงดันหยุดไหล จึงเป็นสาเหตุว่าทำไมจะต้องมีการจำกัดแรงดันใช้งาน ซึ่งการแก้นั้นรีเลย์ส่วนมากจะมี "blowouf magnet" ติดไว้ที่คอนแท็ค ซึ่งแม่เหล็กที่จะเป็นตัวหักเหการอาร์ก เหมือนกับในหลอดภาพของทีวีลำอิเล็กตรอนจะถูกหักเหโดยขดลวดแม่เหล็ก ดังนั้นเส้นทางการอาร์กก็ไม่สามารถไปหาหน้าสัมผัสอีกข้างหนึ่งได้ เพราะฉะนั้นการอาร์กาก็ถูกทำให้หมดไป

2.7 ชนิดของคอยล์

รีเลย์ทั่วๆ ไปจะใช้กับไฟดีซี ส่วนรีเลย์แบบจุดประสงค์ทั่วไป และแบบเพาเวอร์รีเลย์จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้กับไฟเอซี ดังนั้นจึงต้องมีไดโอดเร็คติฟายภายใน เวลาในการสวิตช์ของรีเลย์จะยาวนานพอที่รีเลย์ไม่เกิด “buzz” ซึ่งรีเลย์ทั้ง 2 แบบมีการสวิตช์ที่ช้า ดังนั้นเพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหา ก็ขึ้นอยู่กับคอยล์ของรีเลย์ ซึ่งสั่งที่ใช้ทำคอยล์คืออินดัคเตอร์ ดังนั้นจึงทำให้แรงดันจะไม่อินเฟสกับกระแสดังตารางที่ 2.2 ซึ่งชนิดที่ใช้ไฟเอซี จะมีกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบดีซี



รูปที่ 2.4 แสดงการลดแรงดันเสิร์ดเมื่อมีโหลดเป็นอินดัคเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ระบบคอนแทคของรีเลย์ (Relay Contact Systems)

ในรีเลย์แบบไฟฟ้า-กลกลไกที่ใช้ทำงานจะเป็นตัวไปทำให้คอนแทคของรีเลย์ปิดหรือเปิด และเมื่อพูดว่ารีเลย์ทำงานจะหมายความว่า รีเลย์ปิดหรือเปิดคอนแทคแล้วแต่กรณี รีเลย์ส่วนใหญ่จะมีสปริงดึงไว้ หรือใช้น้ำหนักตัวเองถ่วงไว้ เพื่อจะได้กลับเข้าสู่ที่เดิม เมื่อค่าเปลี่ยนแปลงที่ทำให้มันทำงานนั้นหมดไป

คอนแทคในรีเลย์มี 2 ชนิด คือ คอนแทคชนิดที่โดยปกติเปิดอยู่ (เรียกว่า normally open or make contact หรือคอนแทคแบบ a) และคอนแทคชนิดที่โดยปกติปิดอยู่ (เรียกว่า normally closed or break contact หรือ คอนแทคแบบ b)

เมื่อรีเลย์ทำงานโดยปิดคอนแทคแบบ a หรือ เปิดคอนแทคแบบ b จะเรียกว่า รีเลย์ทำงาน หรือ พิคอัพ (picks up) และค่าต่ำสุดที่จะทำให้รีเลย์ทำงาน (เมื่อค่อยๆ เพิ่มค่าจากศูนย์ ขึ้นไป) เรียกว่า "ค่าทำงาน" หรือ "ค่าพิคอัพ" ของรีเลย์

เมื่อรีเลย์ทำงานโดยคอนแทคแบบ a เปิดกลับไปยังตำแหน่งหยุดหรือรีเซท (reset) หรือคอนแทคแบบ b ปิด จะเรียกว่ารีเลย์ "คืนสู่ตำแหน่งเดิม" และค่าสูงสุดที่จะทำให้รีเลย์ทำเช่นนี้ (เมื่อค่อยๆ ลดจากค่าพิคอัพลงมา) จะเรียกว่าค่าสู่ตำแหน่งเดิมของรีเลย์

เมื่อรีเลย์เปิดคอนแทค a แต่ไม่คืนสู่ตำแหน่งเดิม เราจะเรียกว่ารีเลย์หลุด (drop- out) และค่าสูงสุดที่ทำให้เกิดเช่นนี้จะเรียกว่า ค่าหลุด หรือ ค่าดรอพเอาท์

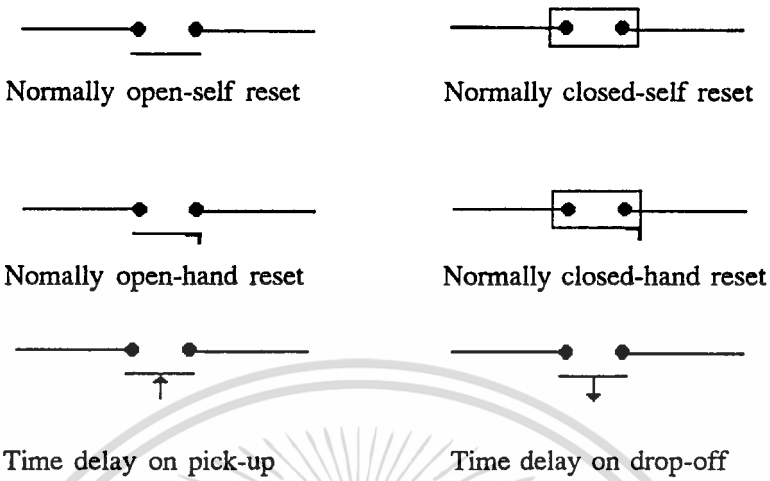
คอนแทคของรีเลย์อาจจะเป็นแบบคืนสู่ตำแหน่งเดิมเอง เรียกว่าคืนตัวเอง (self reset) หมายความว่า คอนแทคจะอยู่ในตำแหน่งที่ทำงาน (เปิด หรือ ปิด) เฉพาะเมื่อมีค่า ควบคุม (controlling quantity) เช่น กระแสหมดไป คอนแทคก็จะกลับคืนสู่ที่เดิมเอง

คอนแทคอีกแบบหนึ่งเป็นแบบที่ต้องใช้มือ หรือ ไฟฟ้าทำให้กลับสู่ตำแหน่งเดิม คอนแทคแบบนี้จะอยู่ในตำแหน่งที่ทำงานเมื่อค่าที่ควบคุมมีค่าถึงค่าๆ หนึ่งแล้ว ถึงแม้ว่าค่านั้นจะหายไป คอนแทคก็ยังอยู่ในตำแหน่งนั้น จะต้องใช้มือหรือระบบแม่เหล็กไฟฟ้าดึงมันกลับมาสู่ตำแหน่งเดิม

รีเลย์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในการป้องกันวงจร จะเป็นแบบที่คืนสู่ตำแหน่งเดิมเอง แต่ถ้าต้องการก็อาจจะทำให้เป็นแบบที่ต้องใช้มือดึงกลับได้ โดยใช้อุปกรณ์ช่วยบางอย่าง

สำหรับรีเลย์แบบที่ต้องใช้มือ หรือระบบแม่เหล็กไฟฟ้าดึงกลับนั้นมักจะใช้เมื่อจำเป็นต้องมีสัญญาณต่อเนื่อง หรือต้องการให้อยู่ในสภาวะล็อคไว้ (lock-out)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงคอนแทคแบบต่างๆ ซึ่งตามปกติจะเขียนไว้ในตำแหน่ง ที่มันยังไม่ทำงาน (un-operated หรือ de-energized) ไม่ว่าในการทำงานตามปกตินั้นจะอยู่เช่นไร เช่น รีเลย์ที่ใช้ควบคุมแรงดันไฟฟ้าซึ่งตามปกติเวลาทำงานจะอยู่ในตำแหน่งพิคอัพแต่ในแผนภูมิ (Diagram) จะเขียนคอนแทคอยู่ในตำแหน่งเดิม คือในตำแหน่งไม่พิคอัพ

ในบางกรณีคอนแทคอาจเขียนดังในรูป

รูป 2.6 คอนแทคของรีเลย์

รีเลย์ที่ใช้ในการป้องกันวงจร โดยมากมักจะมีหน้าที่ปลดปล่อย หรือ ทริพ ไกตัดวงจร โดยที่กลไกในการปลดปล่อย หรือ ทริพ อาจจะเป็นแบบขดลวดโซลีนอยด์ (solenoid) และมีแกนเหล็ก ซึ่งจะไปปลดสลัก (latch) โดยตรง หรือในกรณีที่กลไกได้ตัดวงจรเป็นแบบลมอัดแรง (energize) วงจรทริพ หรือ ขดลวดทริพ (tripping coil) โดยตรง หรือ อาจจะบังคับรี เลย์ช่วย หรือ ออกซิเลียรี่ (auxiliary relay) แล้วแต่ค่ากำหนด (rating) ของขดลวด และจำนวนวงจรที่บังคับ

โดยหลักการแล้ววงจรทริพจะไม่ยุ่งยาก คือ จะประกอบด้วยสวิทช์ควบคุม สำหรับทริพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยมือ (hand-trip) และคอนแทคของรีเลย์ต่อขนานกัน เพื่อจะบังคับวงจรทริพซึ่งใช้แบคเตอรี่และมีสวิทช์ช่วย (auxiliary switch) (แบบ a ซึ่งถูกบังคับโดยไกตัดวงจร สวิทช์นี้จะต้องมีไว้เพื่อเปิดวงจรทริพเมื่อไกตัดวงจรเปิด เนื่องจากคอนแทคของรีเลย์ปกติจะไม่สามารถตัดวงจรได้เอง ซึ่งตามปกติจะปรับให้สวิทช์นี้ปิดวงจรทันที ที่ไกตัดวงจรปิด เพื่อให้การป้องกันทำได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีที่ไกตัดวงจรปิดขณะที่มีการลัดวงจรอยู่แล้ว

รีเลย์เป็นเครื่องวัดที่เที่ยงตรง ดังนั้นคอนแทคของมันจึงไม่ควรต้องทำหน้าที่ตัด หรือ ต่อวงจรในค่ากระแสสูงๆ รีเลย์แบบดูดแกนเหล็ก (attracted armature) ซึ่งจะรวมลักษณะของ เครื่องวัดและคอนแทคเตอร์ (contactors) เข้าไว้ด้วยกัน จึงมีลักษณะอยู่ระหว่างกลางของ เครื่องสองแบบนี้ ดังนั้นอาจจะเป็นไปได้ว่า ถ้าออกแบบให้ค่อนไปทางคอนแทคเตอร์ รีเลย์ก็อาจจะตัดต่อวงจรแบบคอนแทคเตอร์ได้พอสมควร

รีเลย์แบบอื่น ส่วนใหญ่จะมีแรงกระทำที่ไม่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของส่วนที่เคลื่อนที่ได้ เมื่อรีเลย์อยู่ในตำแหน่งที่ปรับไว้ (set) แรงไฟฟ้า-กล (electromechanical) จะถูกต้านไว้โดย แรงยึด ซึ่งกรณีนี้ก็จะจำกัดความสามารถในการปิดวงจรของคอนแทคไปมาก ถ้ามีคอนแทคหลายๆตัว ในเครื่องเดียวกันก็จะยิ่งยากที่จะปิดคอนแทคพร้อมกันหลายๆ ตัว โดยเฉพาะถ้าปรับแนว (alignment) ไม่ดี ดังนั้นจึงมักจะไม่ค่อยใช้คอนแทคหลายๆ คู่ และโดยปกติมักจะใช้คอนแทคเตอร์เข้าช่วยเพื่อจะตัด หรือต่อวงจร ถึงแม้ว่าในบางกรณีจะใช้รีเลย์ปิด-เปิดวงจรที่ทริพไกตัดวงจรขนาดเล็กโดยตรง (โดยมากจะใช้เป็นแบบดูดแกนเหล็ก) ซึ่งติดตั้งในกล่องเดียวกับรีเลย์ที่วัด

โดยทั่วไปรีเลย์แบบสแตติค (static relays) มักจะมีวงจรสำหรับ การวัดแยก จากวงจรทริพ หรือ แบ่งเป็นโมดูล (modules) การทำงานของโมดูล ที่ใช้วัดจะไม่มีผลต่อโม ดูลที่ใช้ทริพ รีเลย์แบบนี้จะเปรียบได้กับรีเลย์แบบไฟฟ้า-กล และคอนแทคเตอร์

สำหรับลานไกตัดวงจรขนาดใหญ่ กำลังไฟฟ้าที่ต้องการสำหรับทริพไกตัดวงจรแต่ละตัวค่อนข้างสูง และนอกจากนั้นระบบป้องกันระบบเดียวอาจจะต้องสั่งทริพไกตัดวงจรหลายตัว นอกจากนั้นยังอาจจะต้องการสัญญาณเตือนไปยังห้องควบคุม หรือต้องการมีอินเตอร์ล็อค(interlocking) กับการ ทำงานแบบอื่น เช่น การปิดวงจรใหม่เอง(autoreclosing) การทำงานแบบนี้อาจจะใช้รีเลย์ที่เรียกว่า รีเลย์ปลดปล่อยชนิดหลายคอนแทค (multicontact tripping relay) ซึ่งจะถูกบังคับโดยรีเลย์ป้องกัน (protective relay) และจะมีคอนแทคทางออก (output contact) ซึ่งมีค่ากำหนดแตกต่างกันตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การสร้างและออกแบบ

3.1 วงจรโอเวอร์แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์ (over and under voltage relay) จะทำงานเมื่อระบบไฟฟ้ามีกำลังไฟฟ้าสูงหรือต่ำกว่าที่เรากำหนด ตามค่ากำหนดของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) กำหนดค่าแรงดันสูง หรือต่ำเกินไป ที่ค่า +15%, -15% ของระบบไฟฟ้าปกติ ซึ่งในวงจรที่จำลองระบบลงมา วงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์ จะทำงานปกติที่ 127 โวลท์ ซึ่งถ้าระบบแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า 146.05 โวลท์ ซึ่งเป็น 15% ของ 127 โวลท์ รีเลย์จะทำงานโดยเตือนให้ทราบว่าระบบแรงดันไฟฟ้า เกินกว่าพิกัดที่ตั้งไว้ แต่ถ้าระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 107.95 โวลท์ ซึ่งเป็น 15% ของ 127 โวลท์ รีเลย์ก็จะทำงานโดยเตือนให้ทราบว่าระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าพิกัดที่ตั้งไว้ ซึ่งพิกัดเปอร์เซ็นต์ของระบบแรงดันสามารถปรับแต่งได้ โดยปรับโวลลุ่มตั้งพิกัดของระบบ

3.11 การทำงานของวงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์

ขั้นตอนการทำงานของวงจร และส่วนประกอบที่สำคัญของ โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์ มีดังนี้

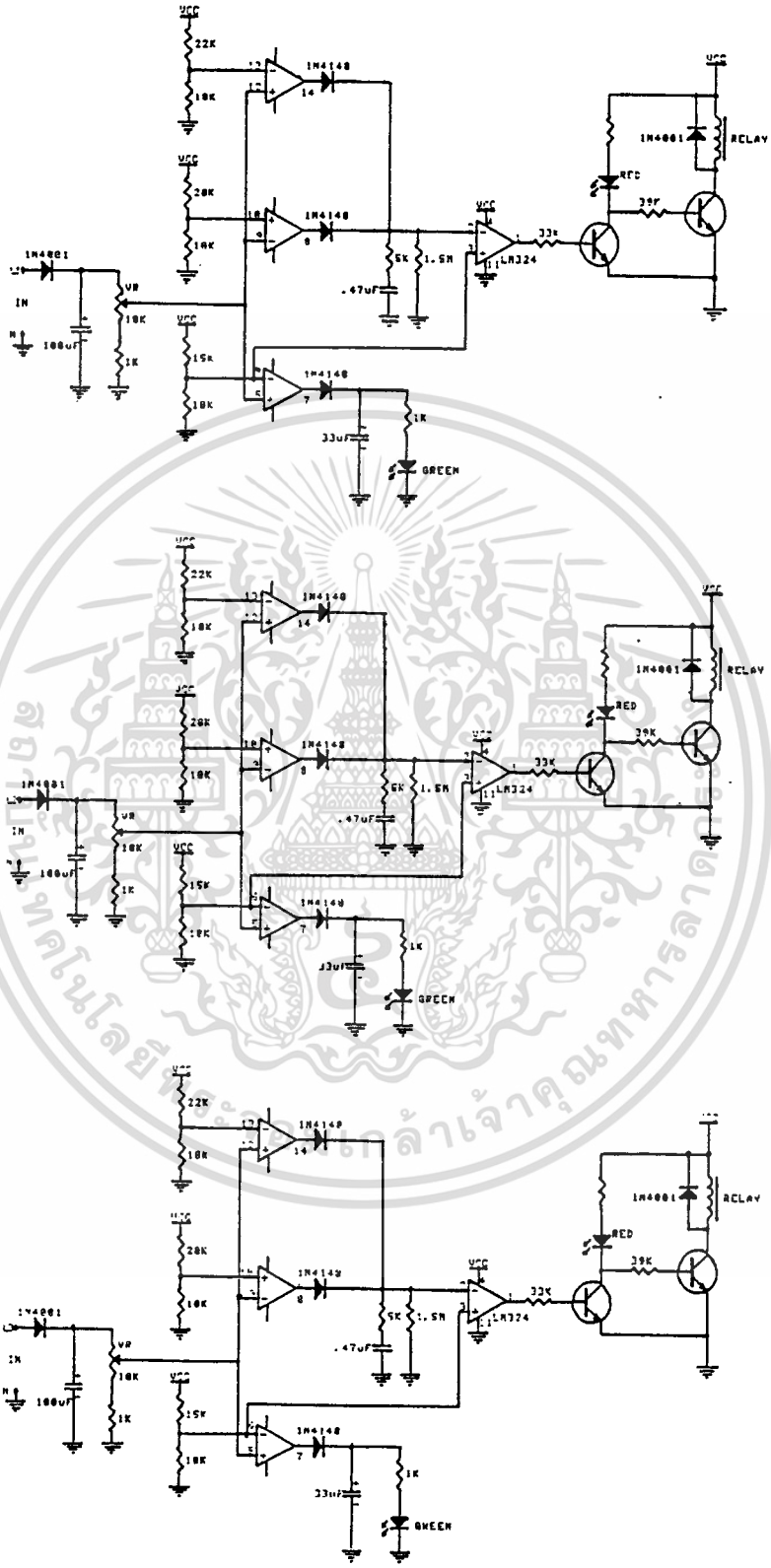
ส่วนที่ 1 พีที จะทำหน้าที่รับสัญญาณโวลท์เตจ จากระบบไฟฟ้ากำลัง มาทำการลดขนาดลงให้เหมาะสมกับการใช้งาน

ส่วนที่ 2 จะนำสัญญาณกระแสสลับที่ได้จาก พีที มาทำการแปลงให้เป็น กระแสตรง เพื่อใช้งานกับวงจรอิเลคทรอนิคส์ของรีเลย์ต่อไป

ส่วนที่ 3 จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณ ที่ได้จากส่วนที่ 2 กับสัญญาณอ้างอิงว่าเป็น อย่างไร โดยถ้าอยู่ในช่วงที่เรากำหนด ระบบไฟฟ้าก็จะทำงานต่อไปได้ตามปกติ แต่ถ้าสูงหรือต่ำกว่าค่าที่เรากำหนด ก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนที่ 4 ต่อไป

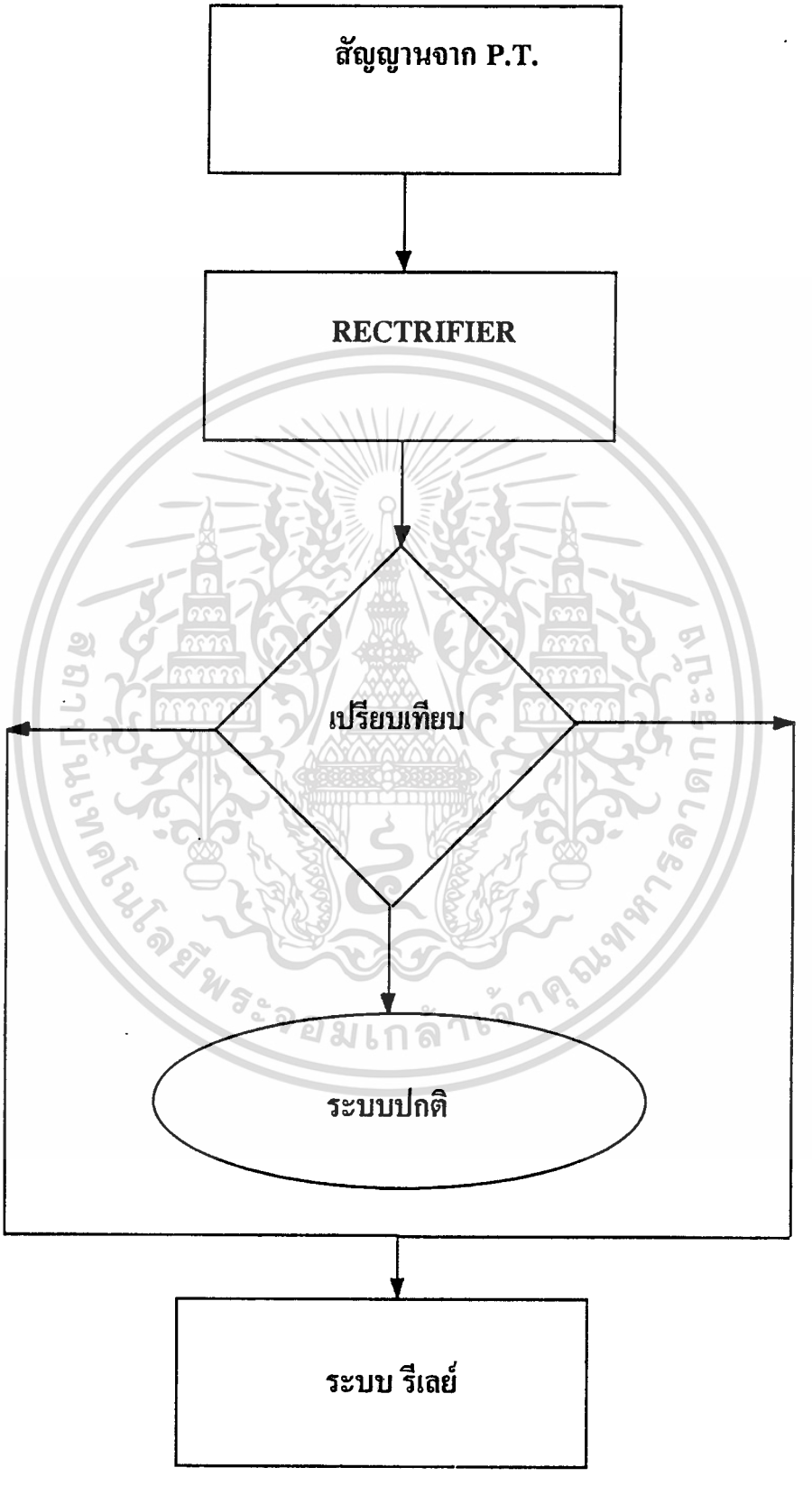
ส่วนที่ 4 เมื่อมีการเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบแล้ว ส่วนที่ 4 จะรับสัญญาณเป็นระดับแรงดันไฟฟ้า ส่งมาให้กับรีเลย์ทำงาน ซึ่งรีเลย์จะต่อกับสัญญาณเสียง เตือนว่าระดับแรงดันไฟฟ้าอาจจะสูงหรือต่ำกว่าระดับพิกัดที่ตั้งไว้ ให้แก้ไขระดับแรงดันไฟฟ้าให้เป็นปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 โอเวอร์ แอนด์ โวลท์เตจ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงการทำงาน ของวงจร โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์

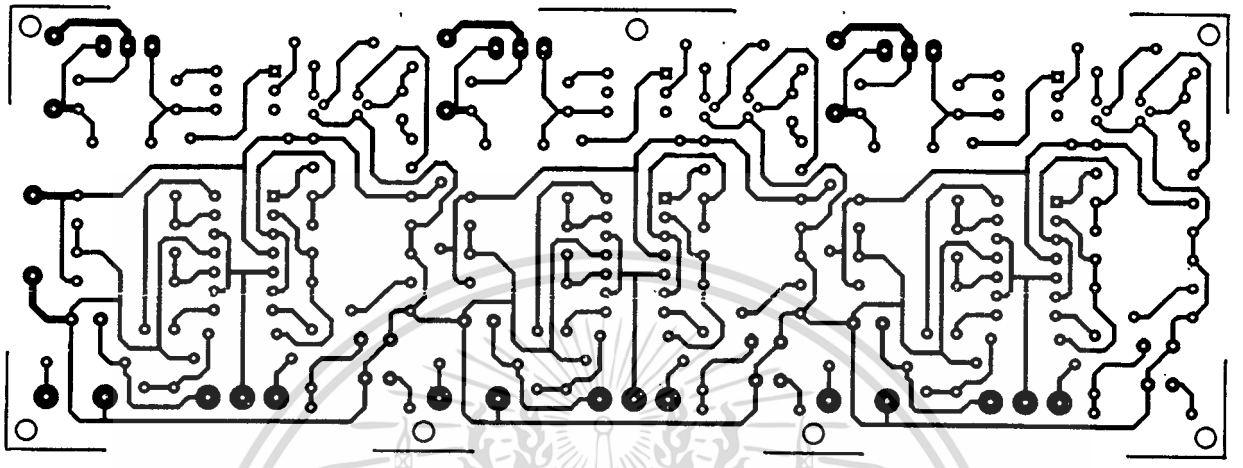
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ของ วงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์

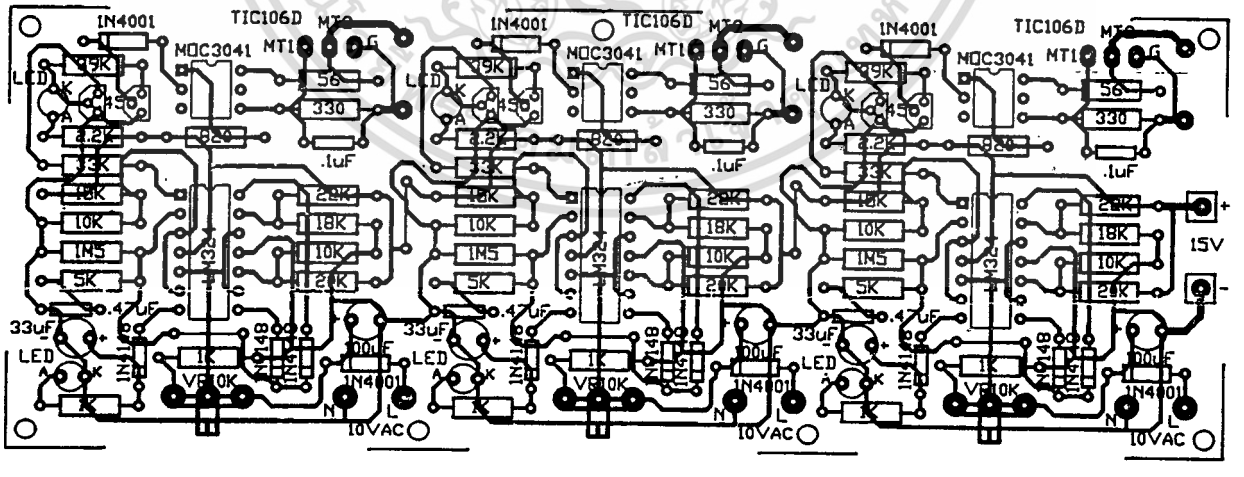
รายการ	ค่า, เบอร์	จำนวน
1.คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	56 Ω	3 ตัว
2. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	330 Ω	3 ตัว
3. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	820 Ω	3 ตัว
4. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	1 kΩ	6 ตัว
5. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	2.2 kΩ	3 ตัว
6. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	5 kΩ	3 ตัว
7. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	10 kΩ	6 ตัว
8. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	15 kΩ	3 ตัว
9. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	18 kΩ	3 ตัว
10. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	20 kΩ	3 ตัว
11. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	22 kΩ	3 ตัว
12. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	33 kΩ	3 ตัว
13. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	1.5 MΩ	3 ตัว
14. อาร์ริเอเบิล รีซิสเตอร์	10 kΩ	3 ตัว
15. ไดโอด	1N4001	6 ตัว
16. ไดโอด	1N4148	9 ตัว
17. ไดโอด	LED	6 ตัว
18. ทรานซีสเตอร์	BC 458	6 ตัว
19. คาร์ปาซิเต้อร์ อิเลคโตรไลติค	33 μF	3 ตัว
20. คาร์ปาซิเตอร์ อิเลคโตรไลติค	100 μF	3 ตัว
21. คาร์ปาซิเตอร์ ไมลาร์	.1 μF	3 ตัว
22. คาร์ปาซิเตอร์ ไมลาร์	.47 μF	3 ตัว
23. ไอซี	LM324	3 ตัว

ตารางที่ 3.1 แสดงอุปกรณ์ต่างๆ ของวงจร โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงลายทองแดงวงจร โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์



รูปที่ 3.4 แสดงลายทองแดงพร้อมอุปกรณ์วงจร โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจร เฟสซีเควน รีเลย์ (phase sequence relay)

เฟสซีเควนรีเลย์ ทำหน้าที่ตรวจสอบการเรียงเฟสของระบบไฟ 3 เฟส ซึ่งจะมีการตรวจสอบ 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งAและ D (หลังหม้อแปลง Step down transformer) ถ้าเกิดการเรียงเฟสผิดจะมีผลต่อการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟ 3 เฟส เช่น มอเตอร์ จะทำให้มอเตอร์เกิดการหมุนกลับทิศทาง

หลักการทำงานของ Phase Sequence

สามารถแบ่งการทำงานออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

ส่วนที่1 ทำการลดขนาดแรงดันไฟฟ้า 220 Volt (L-L) โดยการต่อขนานกับ Potential Transformer และทำการปรับขนาดแรงดันลงมาโดยการใช้ R devider โดยมีอัตราส่วน R2/(R1+R2) เพื่อให้มีขนาดเหมาะสมกับการทำงาน กับอุปกรณ์ I.C.

ส่วนที่2 เป็นส่วนของวงจร Zero Detector จะทำการให้ สัญญาณ คล้ายสัญญาณ Pulse เมื่อแรงดันที่ Input มีค่าเป็นศูนย์ และ Diodel จะทำการ Rectify ให้ผ่านเฉพาะ Pulse ที่เป็นบวก และจะมี IC1 ทำหน้าที่เป็น Buffer

ส่วนที่ 3 เป็นวงจรตรวจสอบลำดับเฟส โดยมีหลักการดังนี้

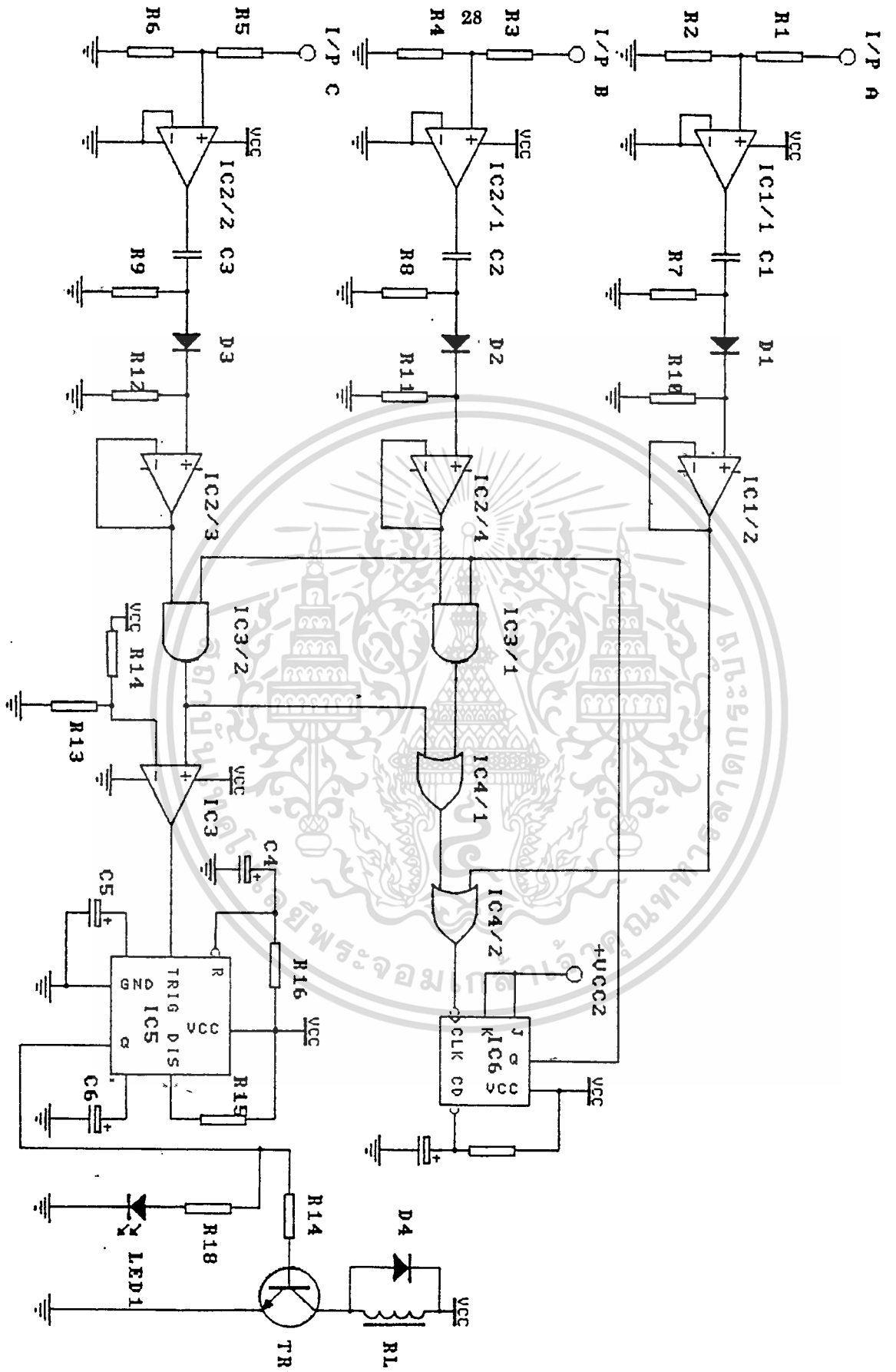
- เมื่อสัญญาณจากเฟส A เข้ามา จะทำให้เกิดสัญญาณ pulse เข้าที่ขา clock ของ IC6 ทำให้ IC6 ปล่อยสัญญาณ Output ระดับ High

- เมื่อสัญญาณจากเฟส B เข้ามา จะเกิดการ AND ระหว่างสัญญาณ Phase B กับสัญญาณ Output Q ที่ IC3 จะมีผลทำให้เกิดสัญญาณ Input เข้าที่ ขา Clock ของ IC6 จะทำให้ Output Q ของ IC6 เกิดการเปลี่ยนระดับจาก High เป็ฯ Low แทน

- เมื่อสัญญาณจากเฟส C เข้ามา จะเกิดการ AND กับสัญญาณ Q Output ของ IC6 ซึ่งมีระดับ Low จะได้ Output ของ IC3 เป็น Low Level และจะมีผลทำให้ Output ของ IC5 เป็น Low Level ซึ่งจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนระดับสัญญาณ Output ของ IC 555 นั่นคือสัญญาณที่ออกจากขา 3 ของ IC 555 มีค่าเป็น 0

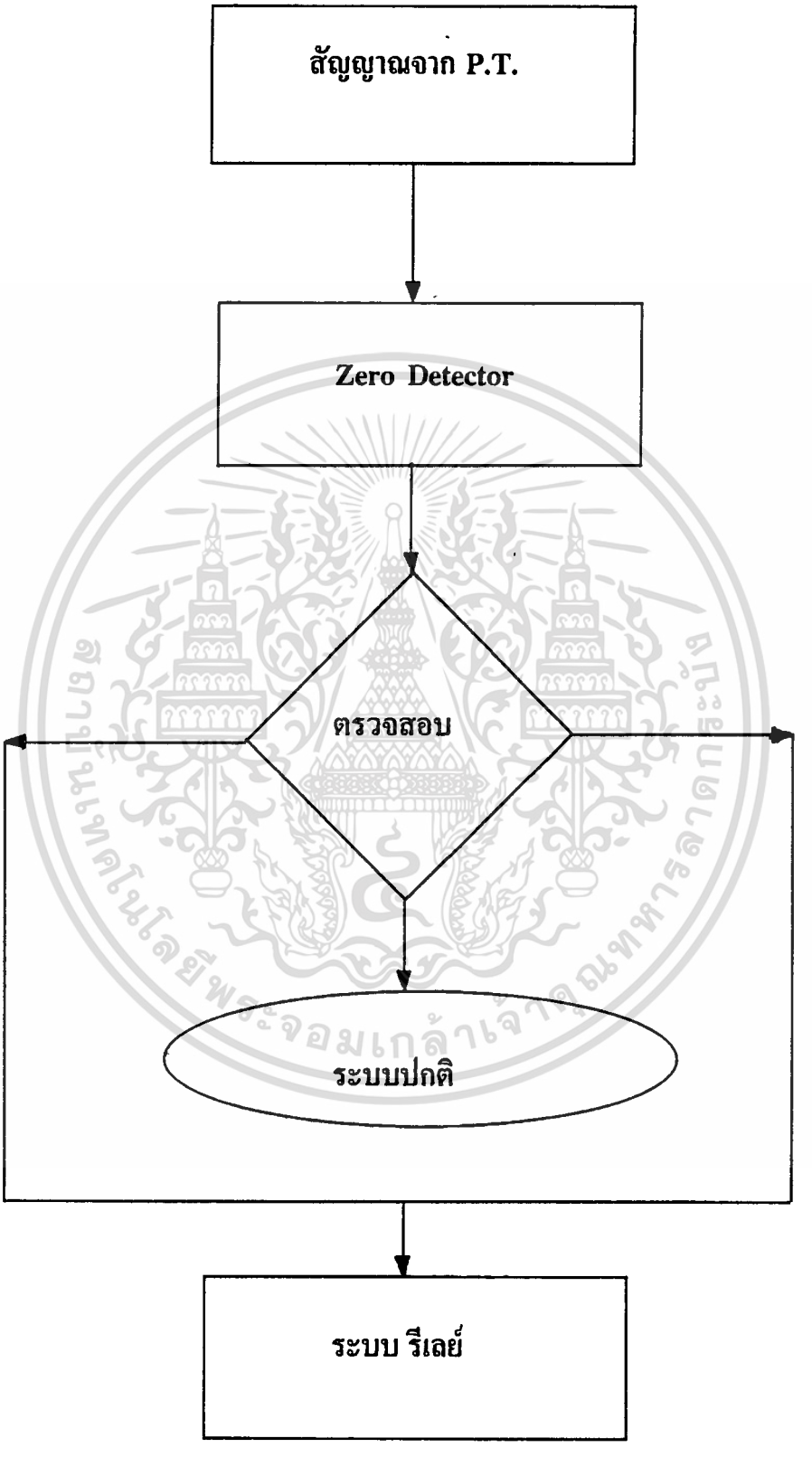
ส่วนที่ 4 เมื่อเกิดการเรียงเฟสผิด จะมีสัญญาณ High Level ออกมาที่ขา 3 ของ IC 555 ซึ่งระดับสัญญาณนี้จะทำให้เกิดการ Bias Tr1 ให้ทำหน้าที่เป็น Switch ทำให้ Relay เกิดการ Trip

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงวงจร เฟสซีเควน รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงการทำงานของ วงจร เฟสซีเควน รีเลย์

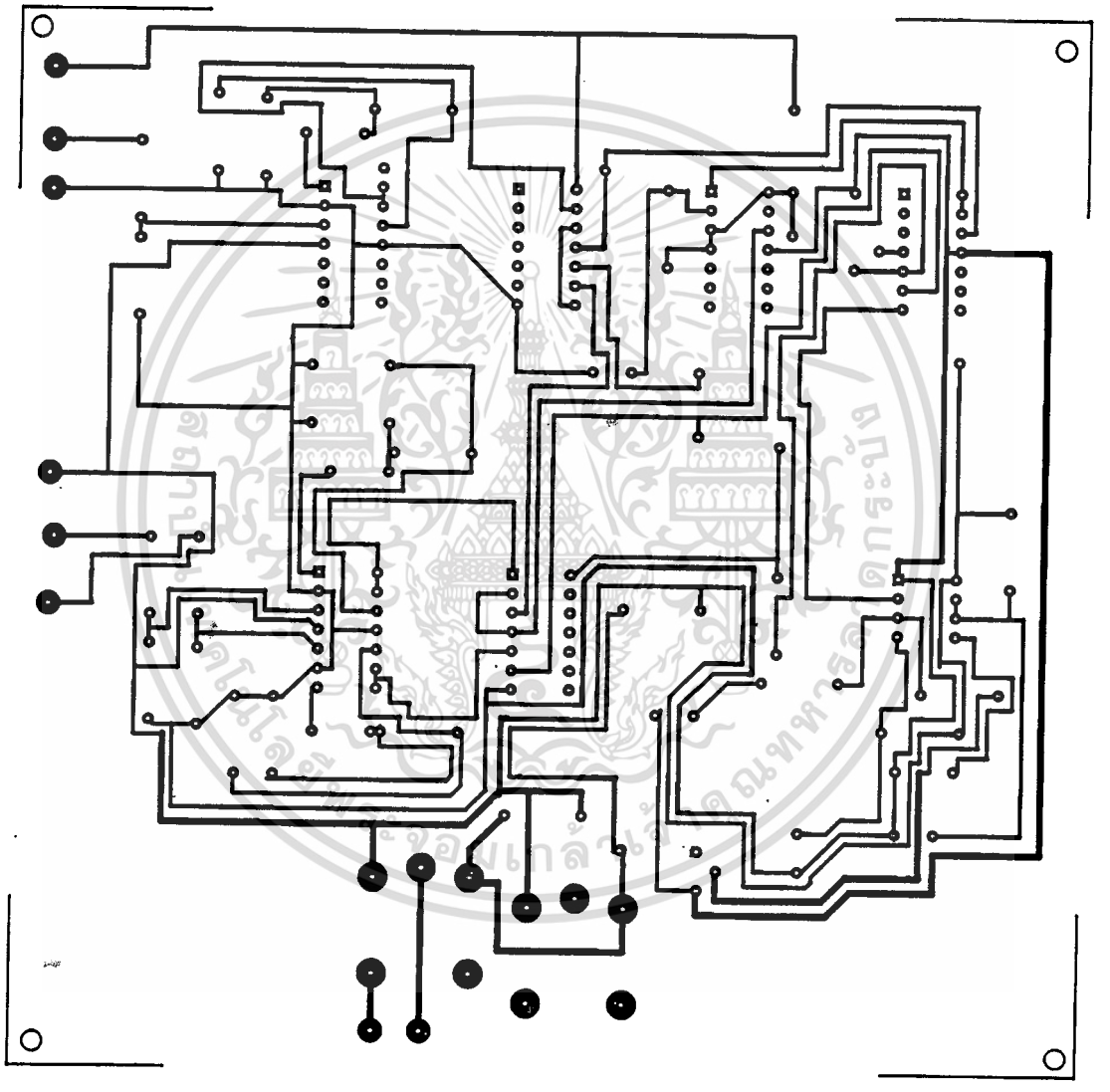
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ต่างๆ ของวงจร เฟสซีเควน รีเลย์

รายการอุปกรณ์	ค่า , หมายเลข	จำนวน
คาร์บอนรีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	50 kΩ	6 ตัว
คาร์บอนรีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	560 Ω	3 ตัว
คาร์บอนรีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	10 kΩ	4 ตัว
คาร์บอนรีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	20 kΩ	3 ตัว
คาร์บอนรีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	1 kΩ	1 ตัว
คาร์บอนรีซีสเตอร์ 0.25 วัตต์	5 kΩ	1 ตัว
Dipmica 50 V	0.01 μF	4 ตัว
Electrolytic 16 Volt	100 μF	2 ตัว
Electrolytic 16 Volt	4.7 μF	1 ตัว
Rectifier Diode	1N 4001	4 ตัว
LED Color Red	-	1 ตัว
Transister NPN	BC : 337	1 ตัว
IC	LM 324N	3 ตัว
IC	7408	1 ตัว
IC	7432	1 ตัว
IC	7473	1 ตัว
IC	555	1 ตัว

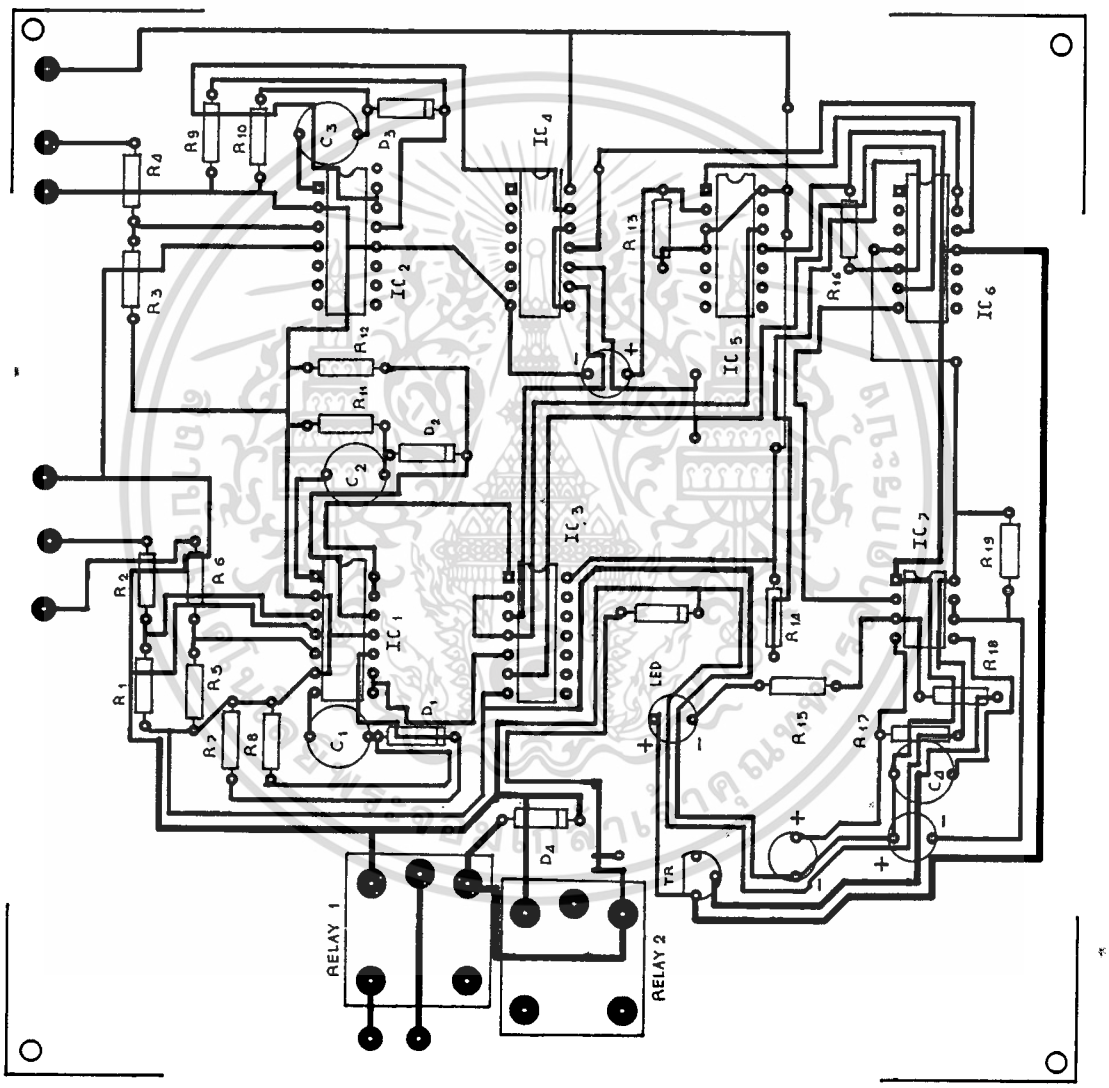
ตารางที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์ต่างๆของวงจร เฟสซีเควน รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงลายทองแดงของวงจร เฟสซีเควน รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



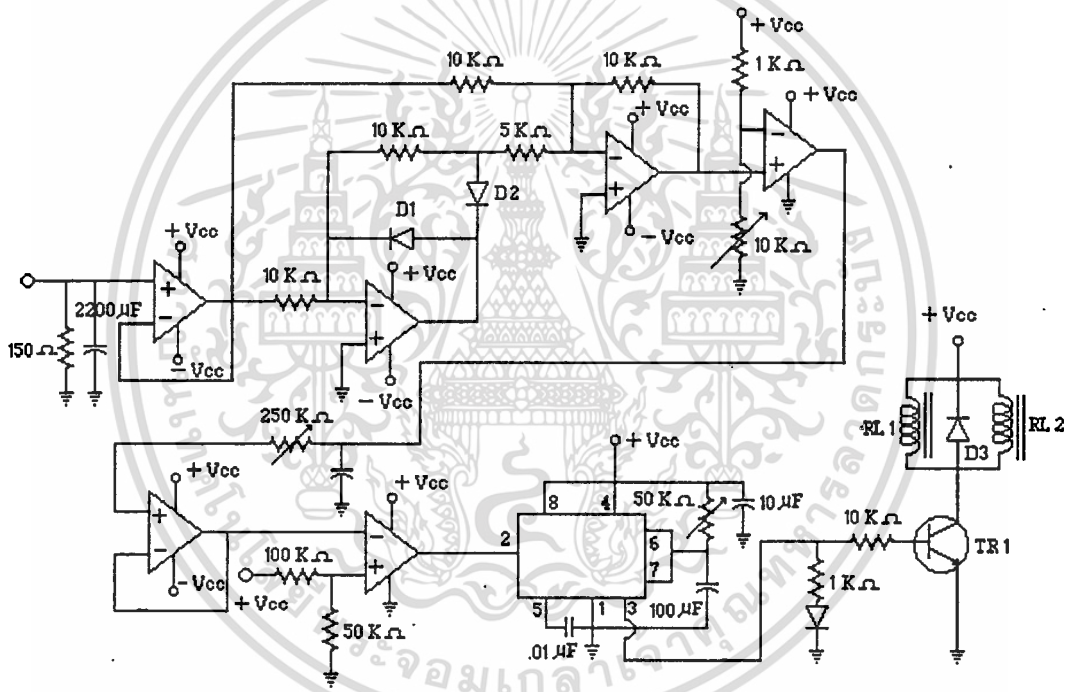
รูปที่ 3.8 แสดงลายทองแดงพร้อมอุปกรณ์ของวงจร เฟสซีเควน รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เอริธรีกเกจ รีเลย์ (earth leakage relay)

เป็นรีเลย์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับกระแสรั่วไหลลงดินหากมีปริมาณที่มากจนเป็นอันตรายต่อมนุษย์ รีเลย์จะทำหน้าที่ตัดวงจรออกจากระบบโดยปกติเราจะตั้งไว้ให้ relay ทำงานที่กระแส 5 mA

ในการนำเอา เอริธรีกเกจ รีเลย์ ไปใช้ในงานในระบบไฟฟ้ากำลังจริงๆ เมื่อเกิดกระแสรั่วลงดินเกินกว่าที่กำหนดเอาไว้ มันก็จะทำการตัดกระแสไลน์ออกจากโหลดทันที สำหรับตำแหน่งที่จะติดตั้ง เอริธรีกเกจ รีเลย์ นั้นเราจะทำการติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่ง D เท่านั้น เนื่องจากเป็นส่วนที่อยู่ใกล้ชิดกับผู้ใช้ไฟฟ้า จะได้ป้องกันอันตรายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า



รูปที่ 3.9 แสดงวงจร เอิรธรีกเกจ รีเลย์

จากรูปที่ 3.9

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนของการรับสัญญาณมาจากกระแสสายส่ง โดยผ่านความต้านทาน 150

ส่วนที่2 i to v converter เมื่อ CT แปลงค่ากระแสในสายส่งลงมาอยู่ในระดับที่จะใช้สำหรับรีเลย์แล้ว ก็จะถูกแปลงสัญญาณจาก current เป็น voltage โดยวงจรในส่วนที่ 2 และผ่านส่วนกรองสัญญาณความถี่สูง ซึ่งป้องกันสัญญาณ spite ไม่ให้ผ่านเข้าไปภายในรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3 rectifier สัญญาณ AC voltage ที่ได้มานั้นจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของ DC voltage โดยชุด precision full wave rectifier ในส่วนที่ 3 ซึ่งสัญญาณ DC voltage ที่ได้ในส่วนที่ 3 นี้ก็จะเป็นสัญญาณที่นำไปใช้วิเคราะห์ในส่วนต่อไป

ส่วนที่ 4 comparator สัญญาณ DC voltage ที่ได้จากส่วนที่ 3 จะถูกนำมาเปรียบ เทียบกับค่า DC reference voltage ซึ่งสามารถปรับตั้งได้ เพื่อใช้ในการตัดสินว่ามีความ ผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่

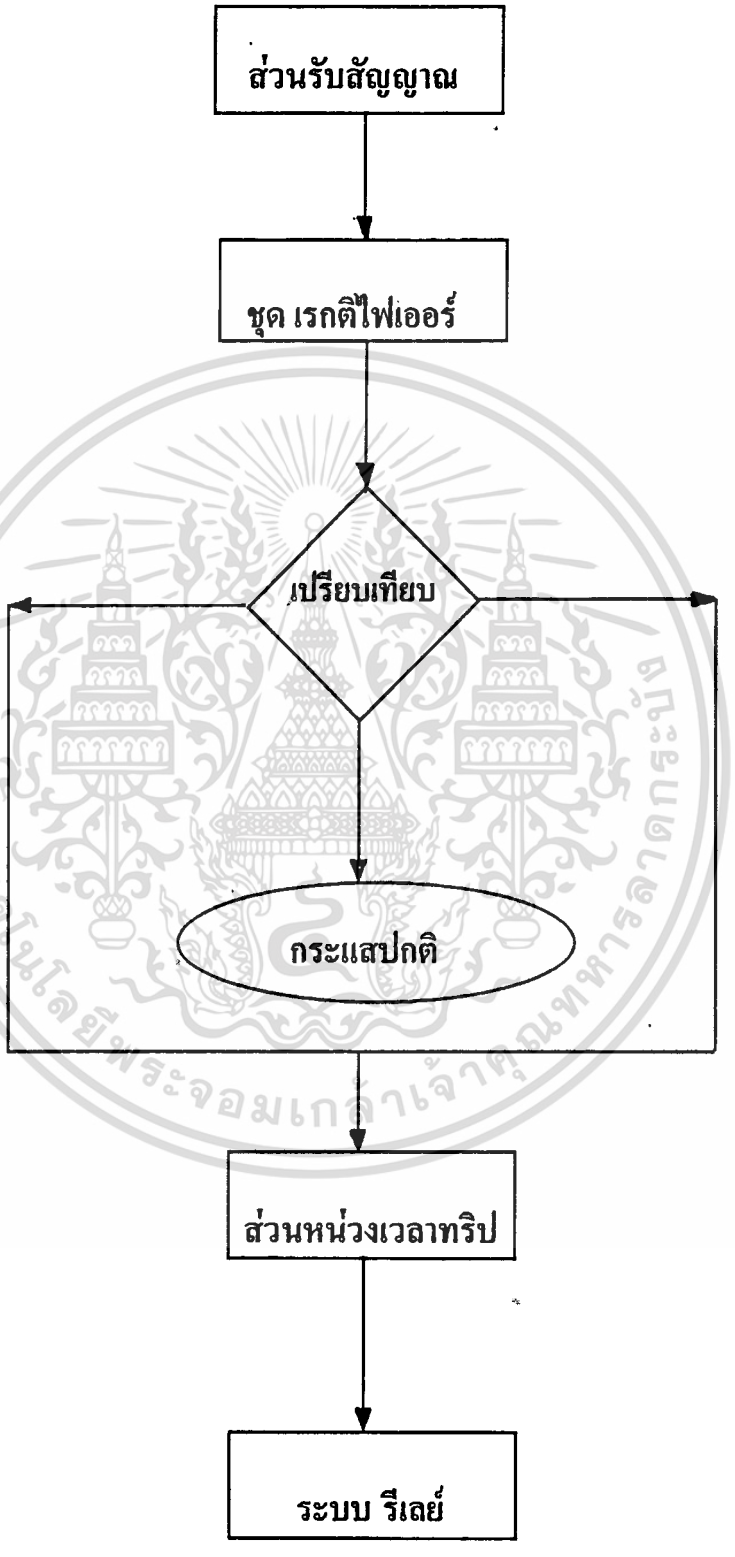
ส่วนที่ 5 delay time เมื่อส่วนเปรียบเทียบแสดงว่ามีความผิดปกติของกระแสในไลน์ของระบบแล้ว จะส่งเอ้าท์พุทออกมามีค่าประมาณ +VCC สัญญาณนี้จะถูกนำมาหน่วงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ +VCC ด้วย RC network เพื่อใช้ประโยชน์ในการ coordinate กับรีเลย์ ชุดอื่นๆ ในระบบ ซึ่งสามารถปรับตั้งเวลาในการหน่วงเวลาได้ที่ตัวต้านทาน

ส่วนที่ 6 คอมพาราเตอร์ (comparator) โดยมีความต้านทานตั้งค่าเพื่อเปรียบเทียบกับระบบของส่วนที่ 5 โดยคอมพาราเตอร์ จะได้สัญญาณเอ้าท์พุทของรีเลย์ที่ใช้ในการทริพเซอร์กิต เบรคเกอร์ โดยจะสั่งทริพเมื่อสัญญาณส่วนที่ 5 มากกว่าสัญญาณส่วนที่ตั้งค่าไว้

ส่วนที่ 7 monostable multivibrator สัญญาณที่สั่งทริพ จากรีเลย์นั้นอาจทำให้การทำงานเปิดวงจรออกของเซอร์กิต เบรคเกอร์ผิดพลาดได้เนื่องจากช่วงสัญญาณสั่งทริพที่ส่งไปอาจจะมีช่วงเวลาที่สั้นเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้เซอร์กิต เบรคเกอร์ ไม่มีความแน่นอนในการเปิดวงจรออก เพราะฉะนั้นต้องมีส่วนที่สร้างสัญญาณที่สั่งทริพ ให้มีช่วงเวลาอยู่ที่ช่วงเวลาคงที่ค่าหนึ่ง เพื่อป้องกันความผิดพลาดดังกล่าว ซึ่งเรียกส่วนนี้ว่า ส่วนหน่วงเวลาปิดกลับ โดยจะอาศัยการทำงานของวงจร monostable multivibrator เป็นตัวสร้างสัญญาณ

ส่วนที่ 8 contect of relay สัญญาณ pulse ที่ได้จากส่วนที่ 7 จะถูกส่งมาที่ส่วน ของ contect of relay ซึ่งเป็น magnetic switch เป็นส่วนที่ต่ออนุกรมอยู่กับ coil ของ magnetic contector เนื่องจากในโครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 3 ได้มีข้อตกลงในการใช้ magnetic contector จำลองการทำงานของเซอร์กิต เบรคเกอร์ ซึ่งเปิด-ปิดวงจร โดยใช้สัญญาณไฟฟ้าในการควบคุมการทำงาน ดังนั้น contect NC ของรีเลย์จึงถูกต่อในลักษณะ อนุกรมกับ coil ของ magnetic เพื่อใช้ในการเปิดวงจรของ magnetic contector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดงการทำงานของวงจร เอริธรีกเกจ รีเลย์

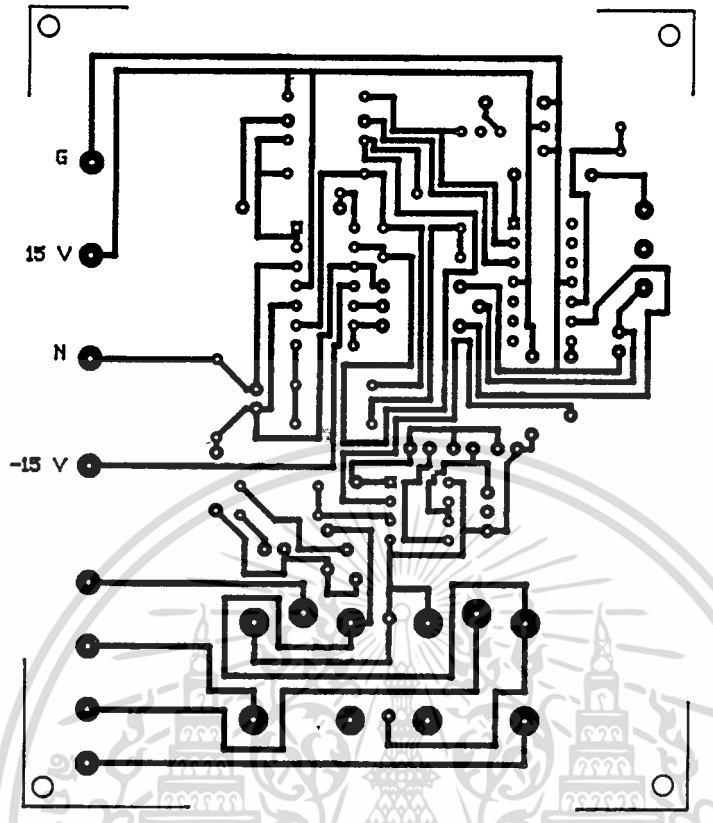
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ของ วงจรเอริธรีกเกจ รีเลย์

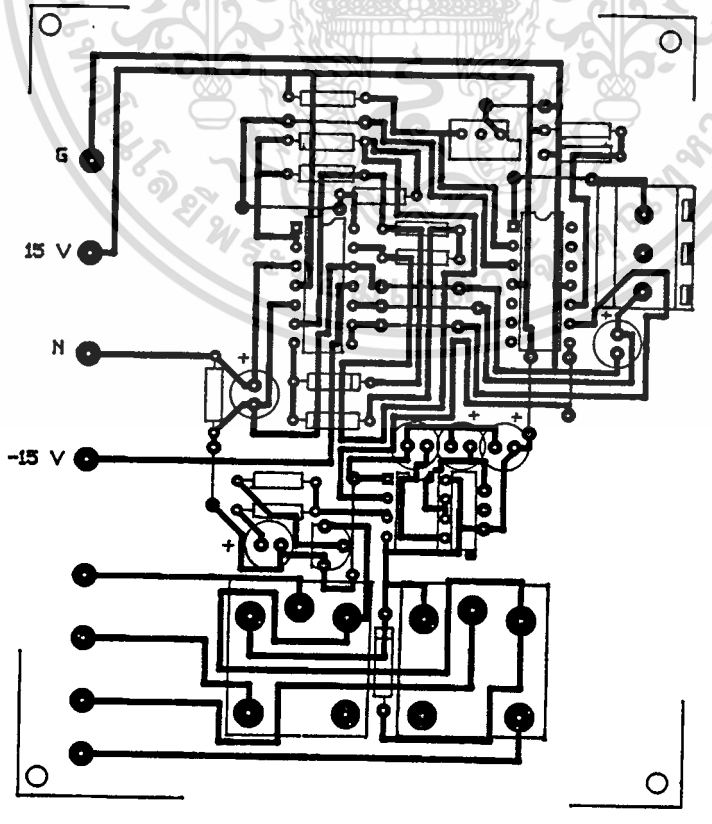
รายการ	ค่า, เบอร์	จำนวน
1. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 w	150 Ω	1 ตัว
2. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 w	1 kΩ	1 ตัว
3. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 w	5 kΩ	1 ตัว
4. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 w	10 kΩ	5 ตัว
5. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 w	50 kΩ	1 ตัว
6. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 w	100 kΩ	1 ตัว
7. คาร์บอน รีซีสเตอร์ 0.25 w	250 kΩ	1 ตัว
8. วาร์ริเอเบิล รีซีสเตอร์	10 kΩ	1 ตัว
9. วาร์ริเอเบิล รีซีสเตอร์	50 kΩ	1 ตัว
10. วาร์ริเอเบิล รีซีสเตอร์	250 kΩ	1 ตัว
11.คาร์ปาซิเตอร์ชนิดอิเลคโตรไลติค	10 μF	1 ตัว
12. คาร์ปาซิเตอร์ ชนิด อิเลคโตรไลติค	100 μF	2 ตัว
13. คาร์ปาซิเตอร์ ชนิด อิเลคโตรไลติค	2200 μF	1 ตัว
14. คาร์ปาซิเตอร์ ชนิด ไมลาร์	.01 μF	1 ตัว
15. ไดโอด	1N4001	2 ตัว
16. ไดโอด	1N4148	2 ตัว
17. ไดโอด	LED	1 ตัว
18. ไอซี	LM324	2 ตัว
19. ไอซี	555	2 ตัว
20. ทรานซิสเตอร์	BC337	1 ตัว
21. รีเลย์	15 V, 3A	2 ตัว

ตารางที่ 3.3 อุปกรณ์ต่างๆของวงจร เอริธรีกเกจ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ลายทองแดงวงจร เอริธรีกเกจ รีเลย์

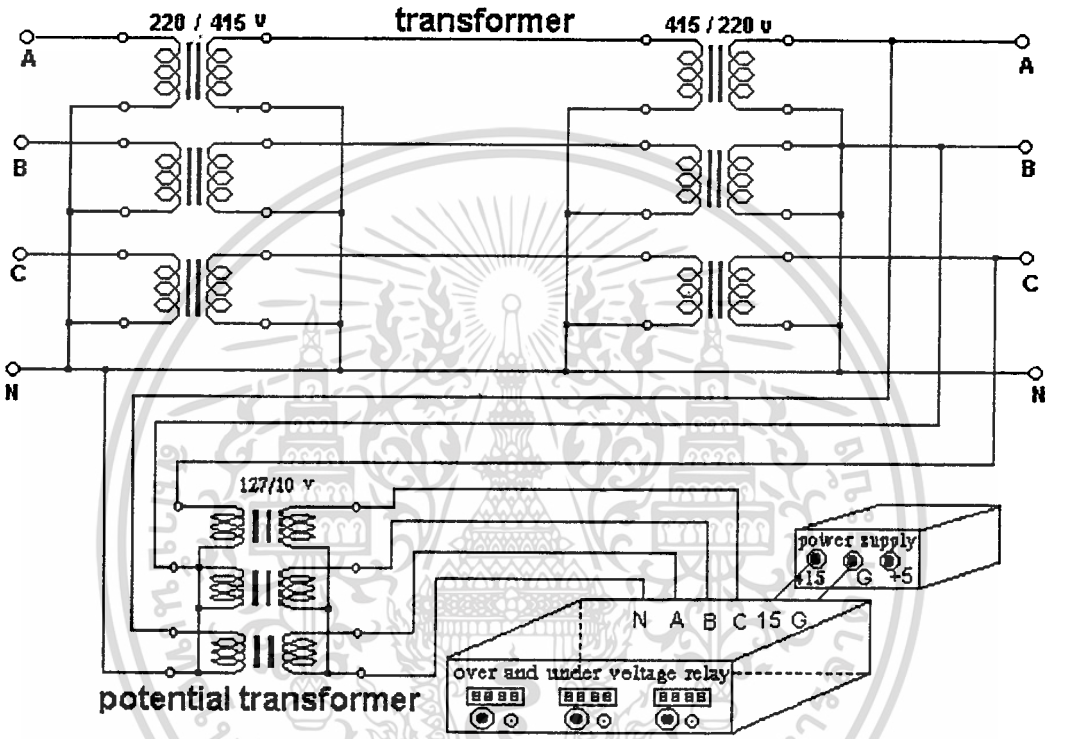


รูปที่3.12 ลายทองแดงพร้อมอุปกรณ์ของวงจร เอริธรีกเกจ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลอง และ ผลการทดลอง

4.1 การทดลองวงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์

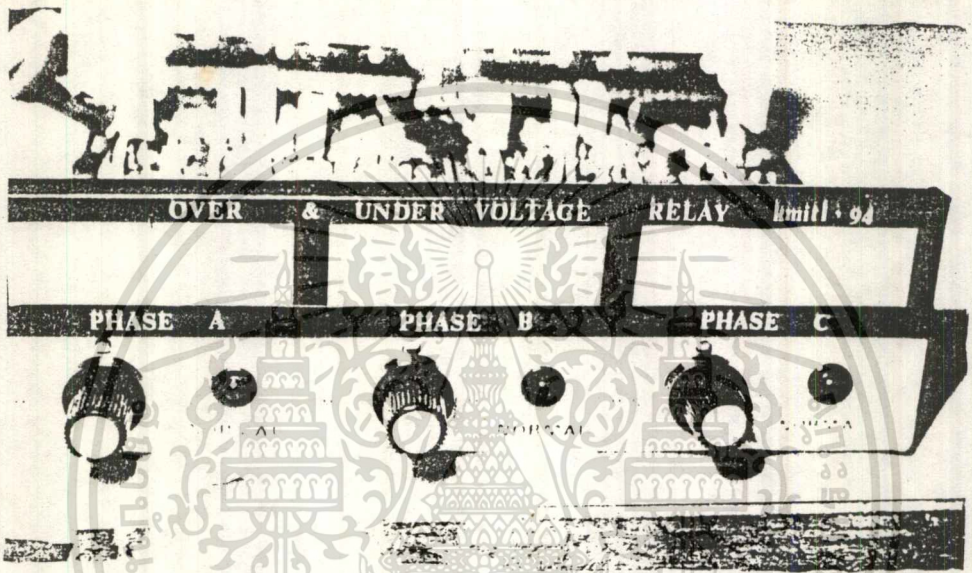


รูปที่ 4.1 แสดงการต่อวงจร โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์

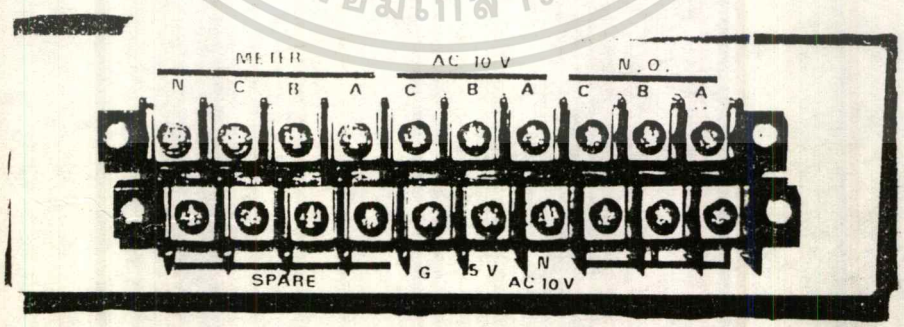
จากรูปที่ 4.1ต่ออุปกรณ์ต่างๆ ตามรูป โดยวงจร โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์ จะมีดิจิตอล มิเตอร์ ติดอยู่ในกล่องรีเลย์ด้วย โดยต่อข้างหลังกล่องรีเลย์ตามพอร์ตที่ออกมา โดยต่อสายไลน์ที่ออกจาก หม้อแปลง 220 VL-L เข้ากับขั้วของหลังกล่องรีเลย์ตามจุดต่อ A B C N แล้วนำสัญญาณที่ได้จาก PT 10VL-N เข้าต่อกับกล่องรีเลย์ตามจุดต่อ A BC N แล้วจ่ายเพาเวอร์ ซัพพลาย เข้ากับหลังกล่องรีเลย์ +15 ,G หลังจากต่อเรียบร้อยแล้ว เมื่อสับเบรคเกอร์แล้ว ให้สังเกตดูที่หลอด LED หน้ากล่อง ถ้าหลอดไฟติดแสดงว่าระบบแรงดันไฟฟ้าของเฟสนั่นเป็นปกติ แต่ถ้าเฟสใดหลอดไฟ LED สีแดงดับ เราต้องดูที่ มิเตอร์ที่เฟสนั่นด้วยว่ามากกว่า 127 โวลท์ หรือน้อยกว่า 127 โวลท์ ถ้ามากกว่า 127 โวลท์ เกินถึง 15% คือ 146.05 โวลท์ขึ้นไป แสดงว่าระบบแรงดันไฟฟ้าเกินกว่าพิกัด แต่ถ้าหลอดไฟ LED สีแดงดับ โดยมิเตอร์แสดงค่าแรงดันในเฟสนั้นน้อยกว่า 127 โวลท์ ต่ำถึง 15% คือ 107.95 โวลท์ ลงมา แสดงว่าระบบแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำกว่าพิกัด นั่นคือหมายความว่า ระบบแรงดันปกติจะอยู่ในช่วง (107.95-146.05 โวลท์) รีเลย์จะไม่ทำงาน ระบบแรงดันเป็นปกติ ไม่มีสัญญาณเสียงออกมาจากคอนแทครีเลย์ที่กำลังต่ออยู่ ถ้าแรงดันไม่อยู่ในช่วง (107.95-146.05 โวลท์) แล้วหลอด LED สีแดง ไฟติด แสดงระบบปกติซึ่งไม่ตรงในช่วงที่กำหนด +15%, -15% ให้ทำการปรับโวลลุ่มให้ระดับแรงดันแต่ละเฟสอยู่ในช่วง (107.95-146.05 โวลท์) ให้ได้ ก็สามารถนำไปติดตั้งในระบบไฟฟ้ากำลังจำลองได้

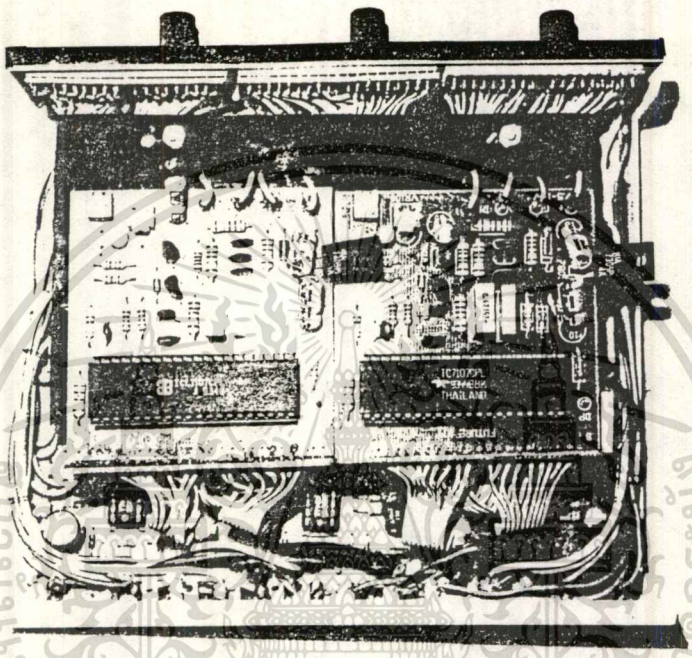


รูปที่ 4.2 แสดงหน้าปัดท์ของวงจร โอเวอร์ แอนด์ โวลท์เตจ รีเลย์



รูปที่ 4.3 แสดงจุดต่อภายนอกวงจร โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์โวลท์เตจ รีเลย์

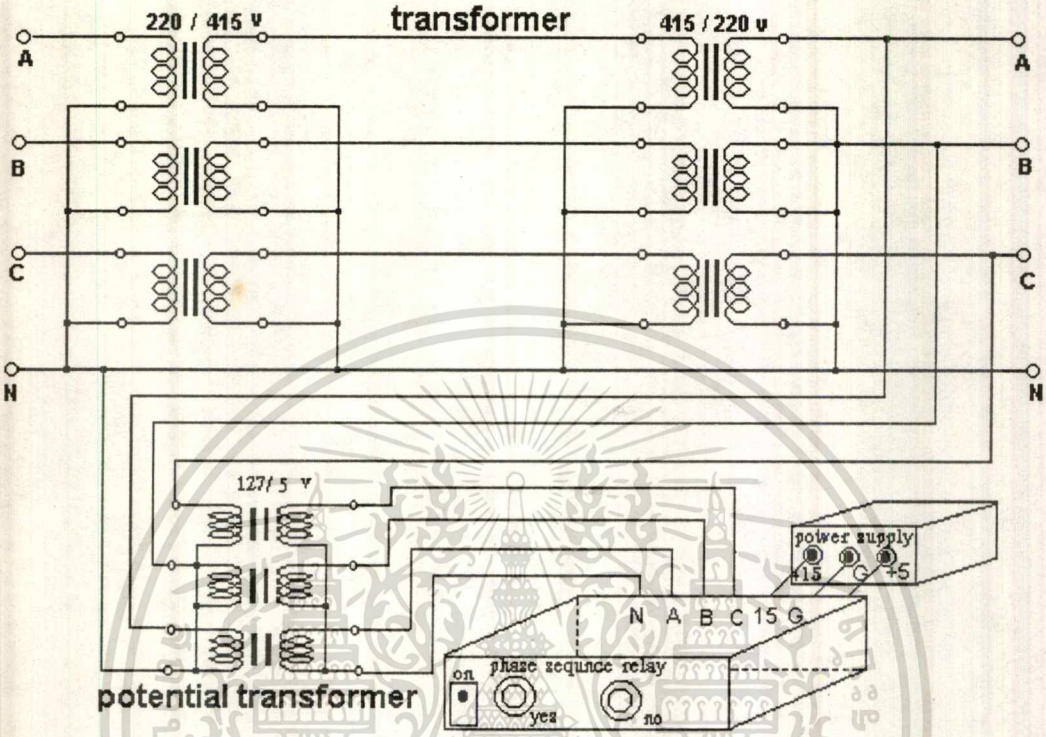
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงการต่อภายในวงจร โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

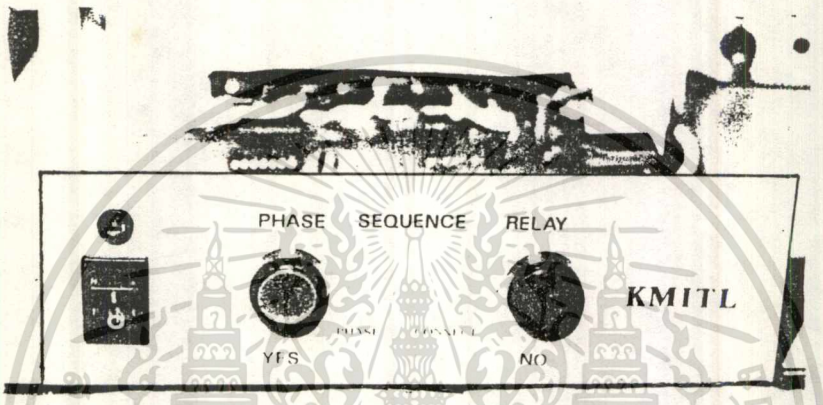
4.2 เฟสซีเควนรีเลย์



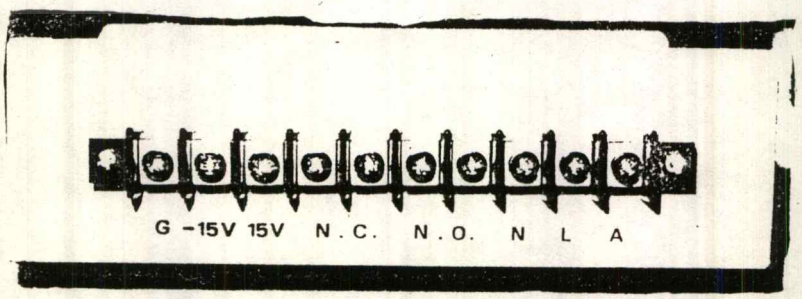
รูปที่ 4.5 แสดงการต่อวงจร เฟสซีเควนรีเลย์

ทำการต่อวงจรตามรูป โดยต่อสายจากพีที 127/5 โดยทำการแต่งเป็นแบบ สตาร์ คอนเนค เข้าระบบกล่องของรีเลย์ตามขั้วต่อสายที่กำหนดไว้ แล้วต่อเพาเวอร์ ซัพพลาย +15 โวลท์, -15 โวลท์ เข้ากับกล่องของรีเลย์ แล้วมีพอร์ตของ 220 โวลท์ เข้ากับกล่องของรีเลย์ด้วย เมื่อต่อวงจรเสร็จแล้วทำการออนเซอร์กิต เบรคเกอร์ แล้วจะพบว่าหลอดไฟสีแดงจะติด ที่หน้ากล่องรีเลย์ ประมาณ 3 วินาที แล้วดูผลที่ได้ คือถ้าหลังจาก 3 วินาทีแล้ว หลอดไฟสีแดงดับ หลอดไฟสีเขียนติด แสดงว่าระบบการต่อเฟสถูกต้อง แต่ถ้าหลังจาก 3 วินาทีแล้ว หลอดไฟสีแดงยังติดอยู่ แสดงว่าระบบการต่อเฟสไม่ถูกต้อง ต้องทำการสลับสายคู่ใดคู่หนึ่งให้ระบบของเฟสถูกต้อง เพื่อที่จะทำให้การต่อโหลดถูกต้อง เพราะการต่อเฟสผิดบางครั้งโหลดบางชนิด เช่น พวกมอเตอร์ จะทำให้ทิศทางการหมุนกลับกันได้ อาจทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นความสำคัญของ เฟสซิเควนรีเลย์ จึงมีความสำคัญมากในระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

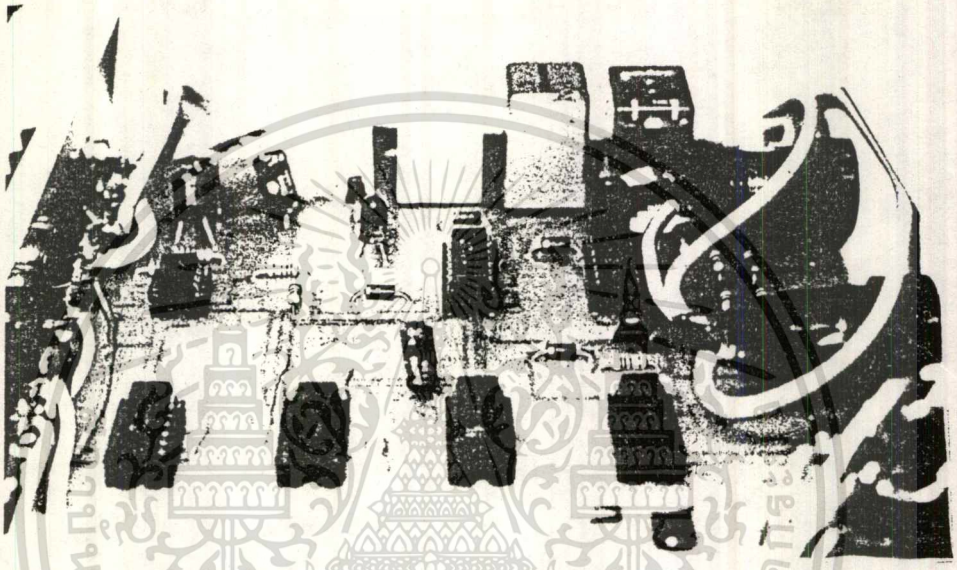


รูปที่ 4.6 แสดงหน้าปัดท์ของวงจร เฟสซีเควน รีเลย์



รูปที่ 4.7 แสดงการจุดต่อภายนอกของวงจร เฟสซีเควน รีเลย์

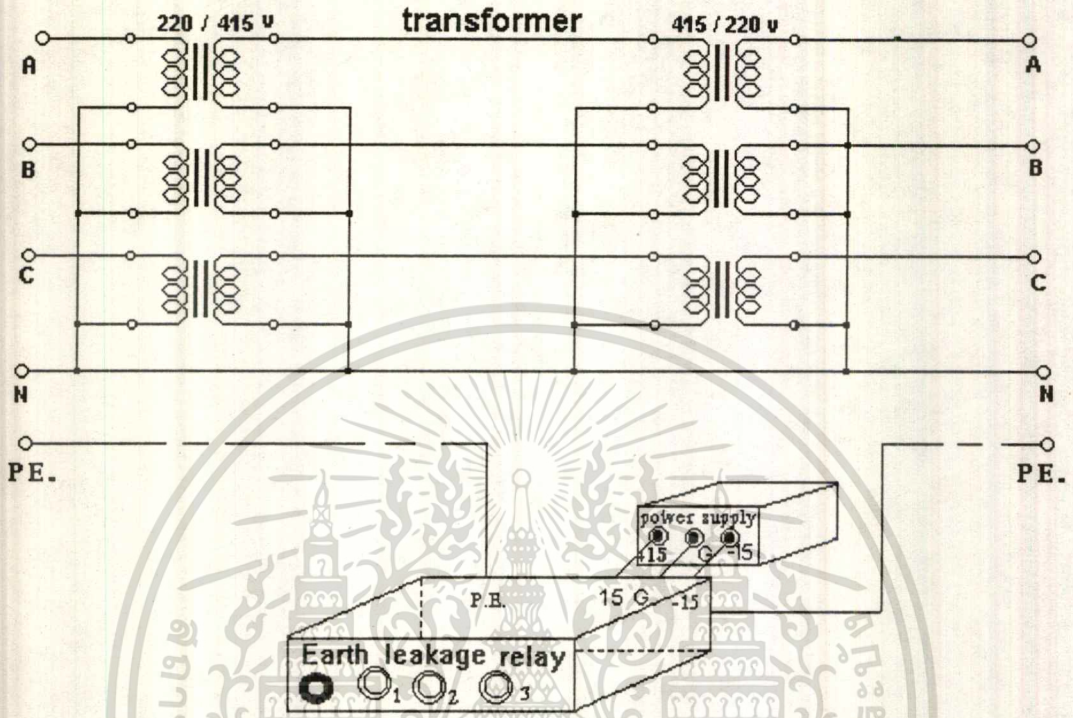
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงการต่อภายในวงจร เฟสซีเควน รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 เอริธ รีกเกจ รีเลย์



รูปที่ 4.9 แสดงการต่อวงจร เอริธ์รีกเกจ รีเลย์

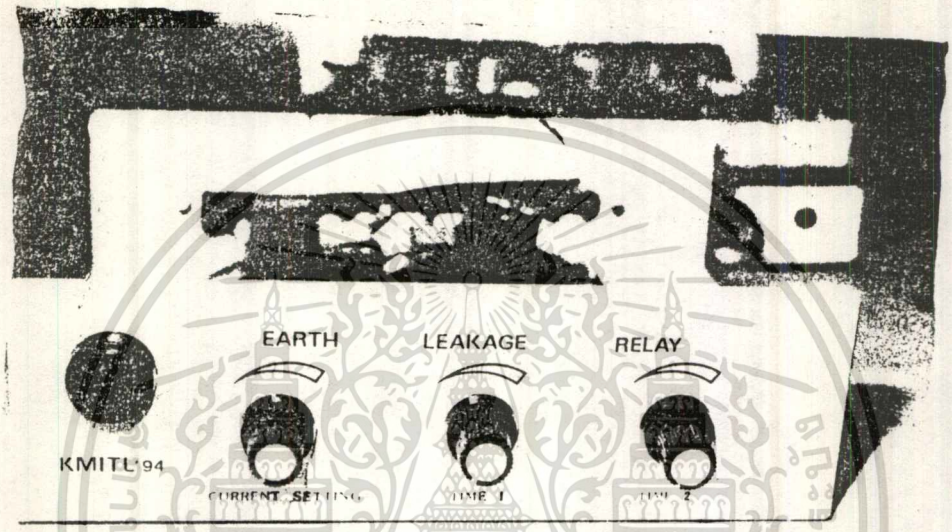
ทำการต่อวงจรตามรูป โดยทำการต่อระบบไฟฟ้าขึ้นมาเพื่อทดสอบรีเลย์ไปใช้ในงานจริง โดยมีแหล่งจ่ายไฟต่อจ่ายโหลด โดยผ่านเอริธ รีกเกจ รีเลย์ ต่อแอมมิเตอร์ โดยทำการเซตค่าของกระแสที่ไหลผ่าน เอริธ รีกเกจ รีเลย์ โดยมีปุ่มปรับค่าต่างๆ ตามรูป โดยปุ่ม 1 กระแสจะเป็นการปรับค่ากระแสให้รีเลย์ติดในการทำงาน ว่าต้องการกระแสกี่แอมป์ วงจรจึงจะทำงานได้

ส่วนปุ่มที่ 2 TIME1 จะทำการตั้งเวลาในการทำงานของรีเลย์ หมายความว่า เมื่อตั้งค่ากระแสไว้แล้ว เมื่อมีกระแสไหลถึงค่าพิกัดต้องตัดวงจรออก แต่ไม่ตัดทันทีทันใด จะมี TIME1เป็นตัวหน่วงเวลาในการตัดวงจร

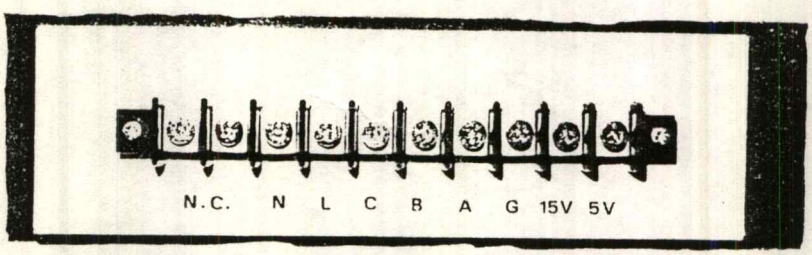
ส่วนปุ่มที่ 3 TIME2 จะทำการตั้งเวลาในการทำงานของรีเลย์ ซึ่งหมายความว่า เมื่อมีกระแสไหลเกินพิกัดแล้ว ทำให้รีเลย์ทำงานแล้ว ซึ่งตัดวงจรออก ซึ่งหลังจากนั้นแล้วค่ากระแสรั่วไหลหายไป จะมีตัวหน่วงเวลาให้รีเลย์เป็นสภาวะปกติ คือถ้ารีเลย์ตัดระบบออกแล้ว เมื่อวงจรจะกลับสู่สภาวะปกติจะมีตัวหน่วงเวลาโดยการปรับที่โวลลุ่ม

ดังนั้นเมื่อทำการเซตค่าแล้ว จึงนำไปประกอบในวงจรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

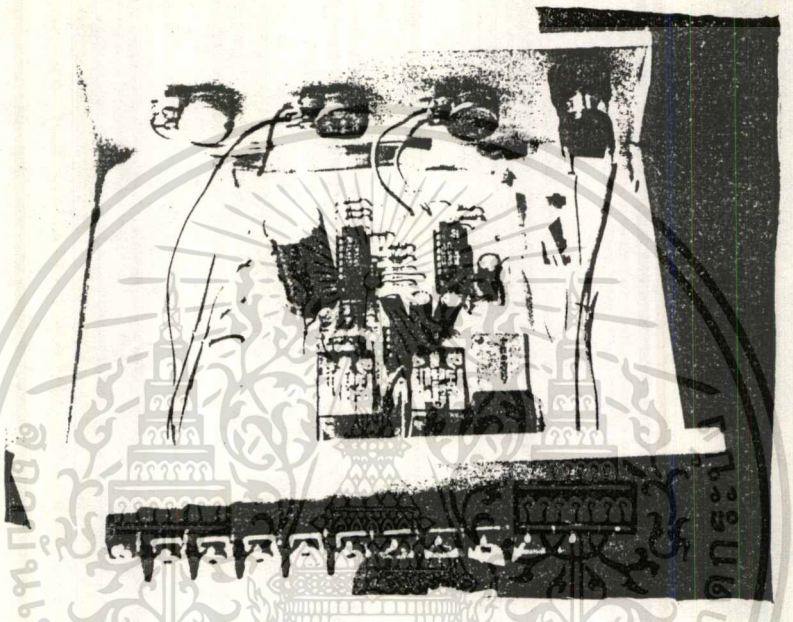


รูปที่4.10 แสดงหน้าปัดท์ของวงจร เอริธ์รีกเกจ รีเลย์



รูปที่4.11 แสดงจุดต่อภายนอกของวงจร เอริธ์รีกเกจ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.12 แสดงการต่อภายในของวงจร เอริธ์รีกเกจ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

5.1 วงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์

จากวงจรนี้เป็นวงจรประยุกต์ที่ใช้มาจากวงจรเก่าที่มีลักษณะใหญ่มาก แล้วนำมาออกแบบวงจรให้เล็กลง ลักษณะการใช้งาน สามารถใช้งานได้ดี ไม่มีปุ่มปรับให้มีความยุ่งยาก มีเพียงปุ่มเดียวหน้าปิดที่รีเลย์มีโวลท์มิเตอร์ AC แสดงผลของระบบแรงดันไฟฟ้าได้ดีดังนั้นเราจึงกำหนดว่า ระดับแรงดันปกติที่ 127 โวลท์ +15%, -15% ดังนั้นจึงอยู่ในช่วง 146.5 - 107.95

แนวทางในการค้นคว้าทดลองต่อไป : วงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์

1. การปรับวงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์ ต้องปรับด้วยความละเอียด ค่อยๆ ปรับช้าๆ ไม่เช่นนั้นจะหาตำแหน่งค่อนข้างลำบาก
2. ควรจะมีพัดลมคอยเป่าวงจรตลอดเวลาที่ทำงาน เพราะไอซีแต่ละตัวทำงานหนักมาก
3. ถ้ามีนักศึกษารุ่นต่อไปรับช่วงต่อ ควรจะขยายกล่องวงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์ให้ใหญ่ขึ้น

5.2 วงจรเฟสซีเควน รีเลย์

ทำงานได้ดีในระดับหนึ่ง แต่มีปัญหาอยู่ที่ว่า บางครั้งเราใช้ไอซีชนิดธรรมดา กับไอซีชนิดโลวสปีด จะแตกต่างกันมาก ซึ่งไอซีชนิดโลว์สปีดจะทำงานช้ามาก บางครั้งอาจจะใช้งานไม่ได้เลย ดังนั้นจึงควรใช้ไอซีชนิดธรรมดาในการทำงานจะได้ผลดีกว่าไอซีชนิดโลว์สปีด และวงจรเฟสซีเควน รีเลย์ จะทำงานโดยการสับเฟสเพียงคู่ใดคู่หนึ่งเท่านั้น แต่ถ้าสับเฟส 2 คู่ จะได้ผลออกมาสภาวะเดิม

แนวทางในการค้นคว้าทดลองต่อไป : วงจรเฟสซีเควน รีเลย์

1. ควรหาไอซีที่มีความแน่นอนในการทำงาน ดังนั้นถ้าไม่จำเป็นไม่ควรใช้ไอซีชนิดโลว์สปีด
2. เวลาต่อวงจรควรที่จะต่อกราวด์ของดีซี ซัพพลาย กับกราวด์ของ พีที ที่ต่อเป็นสตาร์ คอนเนคชั่นด้านเซคกันดารี
3. ขีดความสามารถของวงจรนี้ ควรจะตรวจสอบเป็นคู่ใดคู่หนึ่ง ถ้าสับเฟสผิดทั้ง 3 วงจรนี้ จะไม่สามารถทำการตรวจสอบต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ควรจะออกแบบทรานซิสเตอร์ 1 ที่ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ เดิมทำการออกแบบให้มี รีโคเวอร์รี ไทม์ (recovery time) มากเกินไป ทำให้การทำหน้าที่เป็นสวิทช์ด้วยความเร็วสูงผิดพลาด ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการทริพของรีเลย์ขณะทำการจ่ายไฟให้กับวงจร หลังจากเกิดการทริพไปแล้วครั้งหนึ่ง

5.3 วงจรเอริธ รีกเกจ รีเลย์

วงจรการใช้งานสามารถใช้งานได้ดี ไม่มีปัญหาในการทำงาน แต่ควรจะต้องปรับแต่งวงจรให้ดี เพราะที่หน้าปัทค์รีเลย์มีปุ่มปรับ 3 ปุ่ม จึงควรจะต้องปรับด้วยความระมัดระวัง เพราะแต่ละปุ่มจะมีหน้าที่การทำงานไม่เหมือนกัน ถ้าปรับได้ไม่ดีแล้ว บางครั้งจะหาพิกัดการตัดกระแสรั่วไหลได้ยากมากต่อไป

แนวทางในการค้นคว้าทดลองต่อไป : วงจรเอริธ รีกเกจ รีเลย์

1. วงจรเอริธ รีกเกจ รีเลย์ ควรที่จะต่อกราวด์ลงดินให้ดี เพราะถ้าเกิดกระแสรั่วไฟลมา ถ้าต่อกราวด์ไม่ดีอาจทำให้วงจรไม่ทำงาน เป็นอันตรายต่อคนได้

2. นักศึกษารุ่นต่อไปในการทำวงจรนี้ ควรจะศึกษาเกี่ยวกับกระแสที่ทำอัตรายต่อมนุษย์ให้ดี เพราะจะได้นำค่าพิกัดของกระแสมาใช้ในการทำงานของวงจรต่อไป

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น วงจรรีเลย์ทั้ง 3 ชนิด ใช้เพื่อเป็นชุดทดลองในการศึกษาทางด้านระบบไฟฟ้ากำลัง โดยเฉพาะในส่วนของระบบป้องกันต่างๆ ซึ่งจำเป็นมากในระบบไฟฟ้ากำลังทุกๆ ระบบ โดยนำเอาหลักการของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจริงๆ มาจำลองการทำงานให้มีขนาดเล็กลง แต่อุปกรณ์ที่นำมาจำลองนี้ มี 5 ประเภท

1. โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์
2. เฟส ซีเควน รีเลย์
3. เอริธรีกเกจ รีเลย์
4. โอเวอร์
5. ออโตรี โคลสซิ่ง รีเลย์

ยังขาดรีเลย์อยู่บางตัว ดังนั้นในภาคผนวกท้ายเล่ม จะมีชนิดของรีเลย์อื่นๆ ที่ไม่ได้จำลองระบบลงมา เช่น วงจรดิสแตนท์ รีเลย์, ดิฟเฟอเรลชีเลรีเลย์, ไพล็อตรีเลย์ เป็นต้น เป็นลักษณะการทำงานเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา ค้นคว้าและทดลองของนักศึกษารุ่นต่อไป

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ หรือหาประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

1. ชนิดการป้องกันสายโดยใช้รีเลย์วัดระยะทาง (Line Protection with Distance Relays)

การขยายตัวอย่างรวดเร็วของระบบกำลังไฟฟ้า และการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าหลายๆ ส่วนเข้าด้วยกันเพื่อช่วยให้มีกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับโหลดอย่างสม่ำเสมอ และช่วยให้มีการปรับระดับแรงดันที่ดีทำให้ต้องใช้ระบบป้องกันที่ดีขึ้นเรื่อยๆ เพื่อสามารถปลดเอาส่วนที่มีการทำงานผิดปกติ เช่นการลัดวงจรออกจากระบบให้เร็วที่สุด ระบบรีเลย์ที่ใช้ต้องทำงานด้วยความเร็วสูง และต้องสามารถปิดวงจรไกตัดวงจรใหม่โดยอัตโนมัติ(automatic reclosure of circuit breakers)ได้

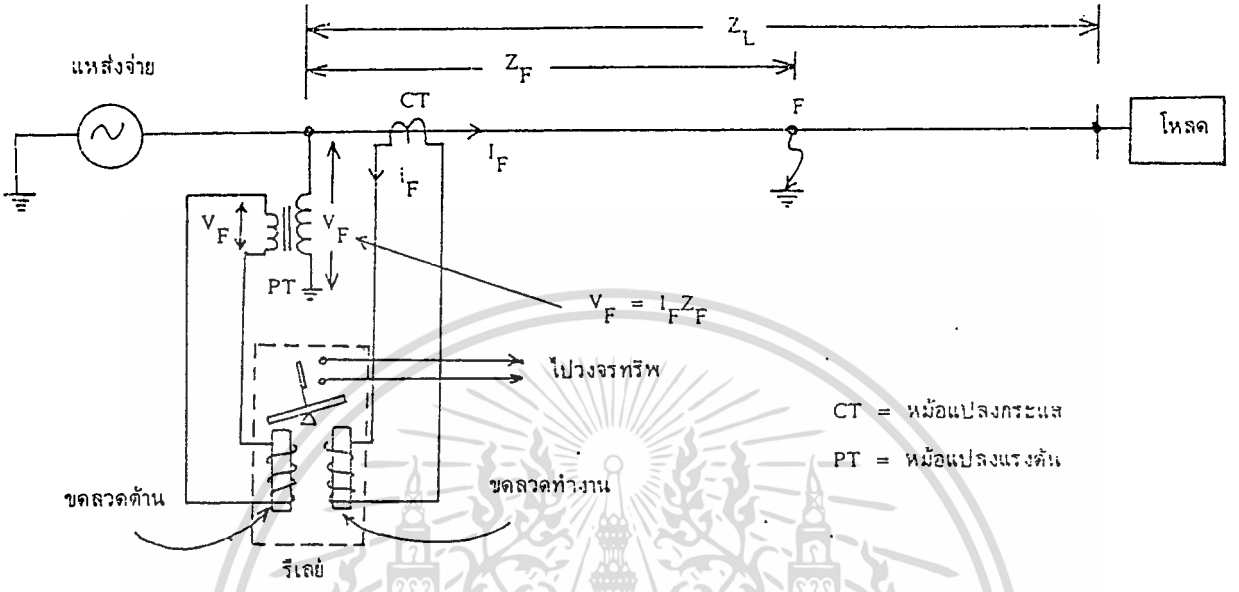
รีเลย์ที่น่าสนใจ และใช้งานได้กว้างขวางมากที่สุดกลุ่มหนึ่ง คือ รีเลย์วัดระยะทาง (distance relays) ซึ่งเป็นระบบป้องกัน ซึ่งไม่มีเขตจำกัดแน่นอนเหมือนกรณีของระบบผลต่าง แต่เป็นแบบที่มีข้อดีทั้งในแง่การประหยัดและในแง่เทคนิค เมื่อการป้องกันสายโดยใช้รีเลย์กระแสเกินมีปัญหาเรื่องความเร็วในการทำงานต่ำมากไป หรือความสามารถในการแยกแยะไม่ดีพอจะต้องพิจารณาใช้รีเลย์วัดระยะทาง ซึ่งเป็นแบบที่ใช้ง่ายพอสมควร เป็นแบบที่อยู่ในประเภททำงานด้วยความเร็วสูง และจะเป็นทั้งรีเลย์หลัก และรีเลย์รองในระบบเดียวกันได้ นอกจากนั้น ยังอาจดัดแปลงให้ใช้เป็นระบบป้องกันแบบมีเขตจำกัดแน่นอนโดยใช้ร่วมกับการส่งสัญญาณไพล็อตในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งในแบบนี้จะเหมาะสำหรับใช้ร่วม กับระบบปิดวงจร ใหม่โดยอัตโนมัติด้วยความเร็วสูง (high speed auto-reclosing) สำหรับป้องกันสายส่งที่มีความสำคัญ

หลักการของรีเลย์วัดระยะทาง

เนื่องจากอิมพิแดนซ์ของสายส่งเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความยาวของสาย ดังนั้นการวัดระยะทางสายส่งจนถึงจุดๆ หนึ่ง จึงอาจทำได้โดยการวัดค่าอิมพิแดนซ์ของสาย รีเลย์เช่นนี้เรียกว่ารีเลย์วัดระยะทางซึ่งออกแบบไว้ให้ทำงานป้องกันการลัดวงจร ซึ่งอาจเกิดได้ตั้งแต่จุดที่ติดตั้งรีเลย์จนถึงจุดๆหนึ่งที่กำหนดสำหรับสายส่ง ดังนั้นจะสามารถแยกแยะการลัดวงจรในช่วงต่างๆ ของสายได้

หลักการทำงานของรีเลย์แบบนี้ คือ รีเลย์จะเปรียบเทียบ ค่ากระแสลัดวงจรที่รีเลย์ "มองเห็น" กับค่าของแรงดันที่มีที่ตำแหน่งที่ติดตั้งรีเลย์ไว้ โดยการเปรียบเทียบแบบนี้ จะทำให้สามารถวัดค่าอิมพิแดนซ์ของสายได้จนถึงตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจร (โดยประมาณ) ตัวอย่างง่ายๆ ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันและกระแสลัดวงจร คือ เมื่อใช้รีเลย์แบบคานสมดุลย์ (balance beam relay) ซึ่งแสดงในรูป 1

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



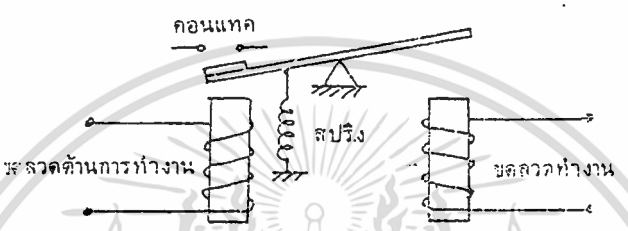
รูปที่ 1 รีเลย์วัดระยะทางแบบคานสมดุลย์

รีเลย์กระแสจะได้จากหม้อแปลงกระแสซึ่งเป็นปฏิภาคโดยตรงกับกระแสลัดวงจร IF และแรงดันเป็นปฏิภาคโดยตรงกับ VF = IFZF โดยที่ ZF เป็นค่าอิมพิแดนซ์ของสายจากจุดที่ติดตั้งรีเลย์จนถึงจุดลัดวงจร F ถ้าต่อขดลวดกระแสเป็นขดลวดทำงาน และขดลวดแรงดันเป็นขดลวดด้านการทำงาน รีเลย์จะวัดค่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันและกระแส ดังนั้นเมื่ออัตราส่วน V/I มีค่าต่ำกว่าค่าหนึ่งแล้ว แรงฉุดทำงานจะมีค่ามากกว่า แรงฉุดด้าน และจะทำให้รีเลย์ทำงาน (ในกรณีนี้จำนวนแอมแปร์-รอบของขดลวดกระแส มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการเพิ่มของจำนวนแอมแปร์-รอบของขดลวดแรงดัน ทำให้รีเลย์ไม่สมดุลย์) แต่ถ้าอัตราส่วน V/I มีค่าสูงกว่าค่าหนึ่งแล้ว แรงด้านจะมากกว่าแรงฉุดทำงาน รีเลย์จะไม่ทำงาน รีเลย์จึงจะทำงานสำหรับการลัดวงจรที่เกิดขึ้นในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งระหว่างจุดที่ติดตั้งรีเลย์และจุดซึ่งมีอิมพิแดนซ์เท่ากับอัตรส่วนV/I ที่ตั้งไว้ ถ้าการลัดวงจรเกิดขึ้นเลยจุดนี้ไปรีเลย์จะมองไม่เห็นหมายถึงไม่ทำงาน

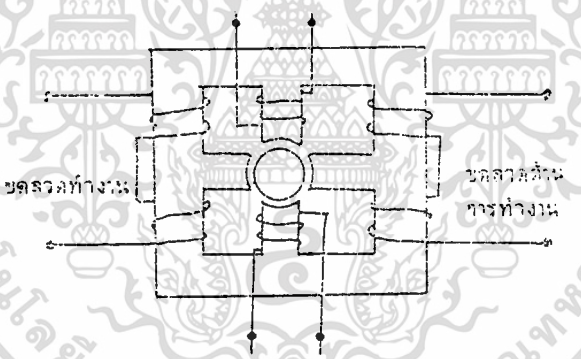
รีเลย์วัดระยะทางอาจแบ่งออกได้เป็นหลายแบบ แล้วแต่ลักษณะสมบัติการทำงาน ซึ่งเขียนในกราฟแบบโพลาร์ (polar diagram) หรือจำนวนค่าที่นำไปเปรียบเทียบ หรือตามวิธีที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่า รีเลย์วัดระยะทางที่ใช้กันทั่วๆ ไปมักเปรียบเทียบขนาดค่า(magnitude) หรือเปรียบเทียบมุมเฟส ซึ่งจะให้ลักษณะการทำงานเป็นเส้นตรง หรือวงกลมเมื่อเขียนในกราฟแกน R-X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

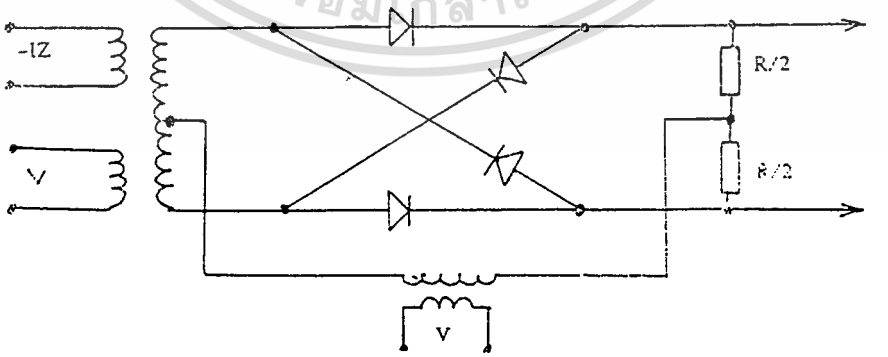
การเคลื่อนไหวและวงจรของรีเลย์ที่เปรียบเทียบค่าสองจำนวน จะเป็นอุปกรณ์เปรียบเทียบขนาดค่า (magnitude comparator) หรืออุปกรณ์เปรียบเทียบมุมเฟส (phase comparator) เช่น รีเลย์แบบคานสมดุลย์เป็นแบบเปรียบเทียบค่าทำงานได้ ก็ต่อเมื่อมุมระหว่างค่าที่เปรียบเทียบอยู่ในช่วงระหว่าง +90 องศา, - 90 องศา เท่านั้น อุปกรณ์เปรียบเทียบอาจเป็นแบบไฟฟ้า-กล หรือแบบสแตติคก็ได้ ดังตัวอย่างในรูป 2



(ก) รีเลย์แบบคานสมดุลย์ (อุปกรณ์เปรียบเทียบขนาดค่าแบบไฟฟ้ากล)



(ข) รีเลย์แบบถ้วยเหนี่ยวนำ (อุปกรณ์เปรียบเทียบมุมเฟสแบบไฟฟ้ากล)



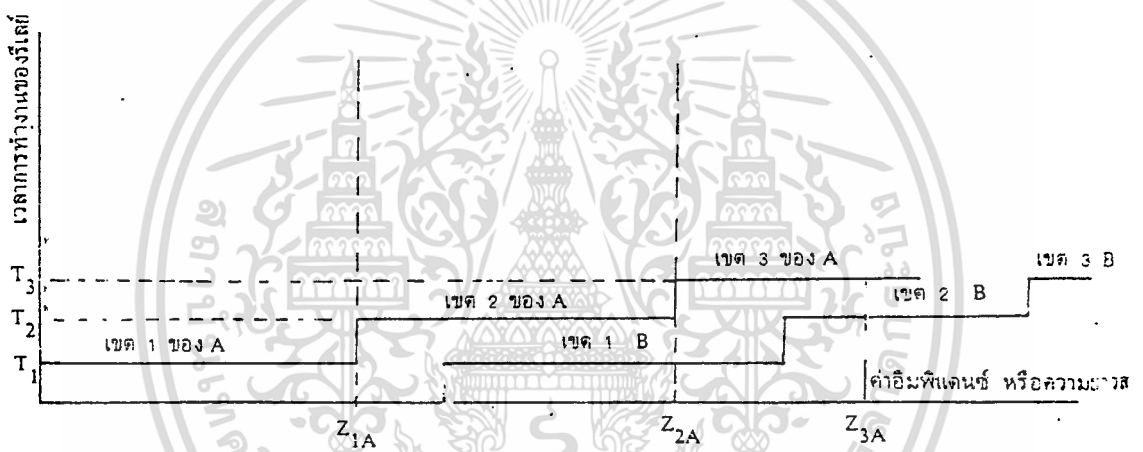
(ค) สะพานแปลงไฟ (recifier bridge) (อุปกรณ์เปรียบเทียบมุมเฟสแบบสแตติค)

รูปที่ 2 ตัวอย่างอุปกรณ์เปรียบเทียบที่ใช้ในการออกแบบรีเลย์วัดระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีเลย์วัดระยะทางที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป คือ รีเลย์แบบอิมพิแดนซ์ (impednce-type distance relay) รีเลย์แบบอิมพิแดนซ์ดัดแปลง (modified impedance-type) รีเลย์แบบรีแอคแทนซ์(reactance-type) รีเลย์แบบโม (mho-type) รีเลย์แบบโอห์ม (ohm-type) เป็นต้น

ข้อกำหนดที่ต้องการสำหรับรีเลย์วัดระยะทาง มี 2 ประการที่สำคัญ คือ ระยะที่รีเลย์มองเห็น (reach) และความถูกต้องแม่นยำในการวัด (accuracy) การจะเลือกใช้รีเลย์แบบใดแบบหนึ่ง จะต้องแล้วแต่ความเหมาะสม ขึ้นอยู่กับลักษณะของสายและระบบ รวมทั้งลักษณะการเกิดการลัดวงจร โดยทั่วๆ ไปแล้วมักใช้รีเลย์ 3 หน่วย ติดอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน เพื่อให้รีเลย์มองเห็นการลัดวงจรถึงตำแหน่งต่างกัน ดังแสดงในรูป 3



รูป 3 ลักษณะการใช้รีเลย์แบบวัดระยะทาง

รีเลย์วัดระยะทางตัวที่ 1 Z1 จะตั้งให้ป้องกันสายจนถึงตำแหน่ง D (AD อาจจะประมาณ 80% ของ AB) และจะตั้งให้ทำงานด้วยความเร็วสูง เกือบจะเรียกได้ว่าทำงานทันที เวลา T1 สั้น จะตั้งให้มองเห็นการลัดวงจร เลยช่วงสาย AB เข้าไปในเขตของ BC ถึงตำแหน่ง E Z2 จะป้องกันการลัดวงจรได้ตั้งแต่ A จนถึง B จึงต้องถ่วงเวลาทำงาน T2 ให้ช้ากว่า T1 ส่วน Z3 จะป้องกันเลยไปจนถึงบัส C (หรือเลยไป) และต้องถ่วงเวลาการทำงาน T3 ให้ช้ากว่า T2

ในลักษณะนี้รีเลย์ Z1 จะเป็นรีเลย์หลักสำหรับป้องกันสายในช่วง AD ส่วนแรก ส่วนรีเลย์ Z2 และ Z3 จะเป็นรีเลย์รอง ซึ่งจะทำงานต่อเมื่อรีเลย์ Z1 ไม่ทำงาน เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นในช่วงนี้ ในช่วง DB รีเลย์ Z1 จะมองเห็นไปไม่ถึง รีเลย์ Z2 จึงทำหน้าที่เป็นรีเลย์หลักในช่วง DB และมี Z3 เป็นรีเลย์รอง นอกจากนั้น รีเลย์ Z2 และ Z3 ยังทำหน้าที่เป็นรีเลย์รองของช่วงสายBC ซึ่งจะมีรีเลย์ติดอยู่ที่ตำแหน่ง B อีก 3 หน่วย รีเลย์วัดระยะทางจึงเป็นทั้งรีเลย์หลักและรีเลย์รองได้ในการจัดการตามแบบที่กล่าวแล้ว

เอกสารนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

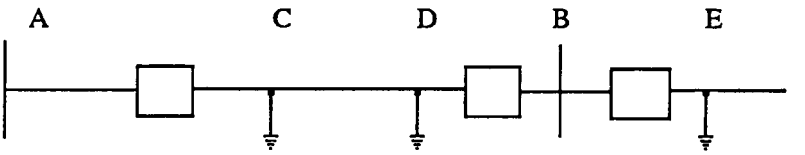
2. การป้องกันสายโดยใช้ไพล็อต (Pilot Relaying)

หลักการทั่วไป

การป้องกันสายโดยใช้ไพล็อต ถือกันว่าเป็นวิธีการป้องกันสายที่ดีที่สุด เพราะสามารถป้องกันสายตลอดช่วงที่ต้องการได้ ไม่ว่าความผิดปกติ หรือการลัดวงจรที่เกิดขึ้นจะเป็นชนิด หรือเกิดขึ้นในตำแหน่งใดก็ตามระบบรีเลย์นี้สามารถแยกแยะได้ และทำงานได้ด้วยความเร็วสูง การป้องกันชนิดนี้ความจริงใช้หลักการเดียวกันกับระบบรีเลย์กระแสผลต่าง ซึ่งใช้ได้ผลดีกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง ฯลฯ แต่ต้องมีการดัดแปลงการส่งสัญญาณระหว่างจุดที่ต่อหม้อแปลงกระแสทั้งสองข้างของสายส่ง หรือสายจ่ายที่ต้องการป้องกัน เพราะระยะทางที่ติดตั้งหม้อแปลงกระแสทั้งสองนั้นจะห่างกันมากแล้วแต่ความยาวของสายส่ง

หลักการและข้อได้เปรียบของการป้องกันแบบนี้อาจพิจารณาได้จากรูป 4 ซึ่งแสดงช่วงหนึ่งของสายส่งระหว่างสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย A และ B สมมติว่าเราอยู่ที่สถานี A และมีเครื่องวัดที่สามารถวัดค่าแรงดัน กระแส และมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแส ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ถ้ารู้ค่าอิมพิแดนซ์ต่อหนึ่งหน่วยความยาวของสาย และระยะทางจาก A ถึง B เราก็จะสามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างการลัดวงจรที่ตำแหน่ง C และตำแหน่ง D ได้โดยไม่ยาก หลักการนี้นำไปใช้แล้วอย่างได้ผลในกรณีของรีเลย์วัดระยะทาง แต่โดยหลักการนี้ เราจะไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างการลัดวงจรที่ D และ E ได้เลย เพราะระยะทางระหว่างตำแหน่งทั้งสองนี้น้อยมากเมื่อเทียบกันความยาวของสาย ทำให้ค่าที่วัดได้ที่สถานี A สำหรับการลัดวงจรที่ D และ E มีค่าใกล้เคียงกันมากจนแยกไม่ออกว่าอยู่ในสายช่วงไหน การใช้รีเลย์วัดระยะทางจึงต้องจัดเขตป้องกันไว้ 3 เขตด้วย โดยให้ป้องกันเลยสายช่วง A-B ออกไปดังได้กล่าวมาแล้ว แต่ถ้าเราอยู่ที่สถานี B เราจะสามารถแยกออกอย่างแน่นอนว่า การลัดวงจรอยู่ที่ตำแหน่ง D หรือ E เพราะถึงแม้จะมีความผิดพลาดของเครื่องวัดอย่างไร กระแสลัดวงจรที่ไหลไปยังตำแหน่งลัดวงจร D และ E จะมีความแตกต่างกัน โดยค่าของมุมเฟสจะต่างกันเกือบ 180 องศา ดังนั้นถ้าเราติดตั้งรีเลย์ไว้ที่สถานี A และในขณะเดียวกันมีสัญญาณจากสถานี B ส่งมาที่สถานี A เพื่อบอกว่ามุมเฟสของกระแสที่ผ่าน B เมื่อเทียบกับ A แล้วเป็นอย่างไร รีเลย์ที่ A ก็สามารถจะแยกแยะได้แน่นอนว่าการลัดวงจรอยู่ในช่วงของสาย A-B ที่ต้องการป้องกันหรือไม่ ในทำนองเดียวกันรีเลย์ที่ B ก็ต้องมีสัญญาณจาก A ไปเปรียบเทียบด้วย ถ้าจัดให้มีระบบเช่นนี้ได้ การป้องกันสายในช่วง A และ B ก็จะทำได้อย่างแน่นอน และอาจจะใช้รีเลย์ที่ทำงานด้วยความเร็วสูงได้โดยไม่ต้องกลัวผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 ช่วงของสายส่งซึ่งต้องการป้องกันโดยใช้ไพล็อต

การส่งสัญญาณจาก A ไป B หรือจาก B ไป A จะทำโดยวิธีกระแสไหลวนเวียนของรีเลย์กระแสผลต่างแบบธรรมดาไม่ได้ เพราะจะทำให้เกิดปัญหาหลายประการ เช่น การทำงานผิดพลาดเนื่องจากความไม่เที่ยงตรงของหม้อแปลงกระแสเมื่อมีโหลดสูงๆ กระแสหล่อเลี้ยงสายไพล็อต (charging current) แรงดันตกในสายไพล็อต ซึ่งมีค่าสูงเนื่องจากระยะทางไกล ทำให้ต้องเพิ่มฉนวนให้ดีขึ้น เป็นต้น ระบบรีเลย์แบบที่นิยมใช้ถ้ามี 3 แบบใหญ่ๆ คือ ใช้สายนำ หรือสายไพล็อต (wire-pilot relaying) ใช้ส่งสัญญาณผ่านสายส่งเอง (carrier-current pilot relaying) และส่งสัญญาณโดยใช้คลื่นสั้นมาก (microwave pilot)

การใช้สัญญาณที่ได้มาจากสถานีไกล มี 2 อย่างด้วยกัน คือ ถ้ารีเลย์ที่ปลายสายข้างหนึ่งต้องรับสัญญาณ หรือตัวอย่างของกระแสจากอีกปลายหนึ่งเพื่อป้องกันไม่ให้ทริพวงจรที่ปลายสายข้างนี้ ระบบรีเลย์แบบนี้เรียกว่า กันการทริพ (blocking pilot) แต่ถ้ารีเลย์ที่ปลายสายข้างหนึ่งจะทริพได้ต่อเมื่อได้รับสัญญาณจากปลายสายอีกข้างหนึ่งระบบนี้เรียกว่าทริพไพล็อต (tripping pilot) โดยทั่วไป ถ้าอุปกรณ์ของระบบรีเลย์แบบไพล็อตที่ปลายสายข้างหนึ่งสามารถทริพเมื่อเกิดการลัด วงจรในสาย ในขณะที่ไกตัดวงจรที่ปลายอีกข้างหนึ่งยังคงปิดอยู่ แต่ไม่มีกระแสไหลที่ปลายสายข้างนั้น จะเรียกว่าเป็นไพล็อตกันการทริพ ในกรณีอื่นจะเรียกว่าเป็นทริพ ไพล็อต

ระบบป้องกันแบบไพล็อตกันการทริพ เป็นแบบที่ทำงานได้ดีกว่า ทริพไพล็อตมาก ดังนั้นระบบที่ใช้เกือบทั้งหมดมักจะเป็นระบบแบบไพล็อตกันการทริพ

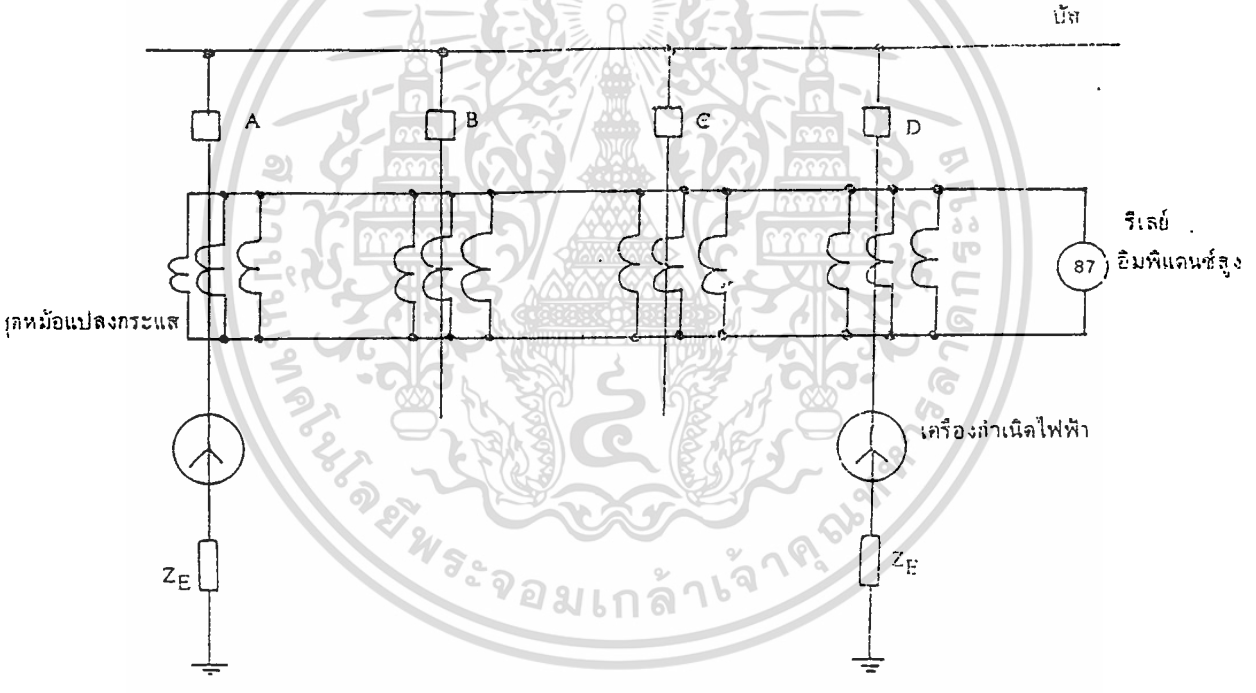
3. การป้องกันโดยใช้ระบบรีเลย์แบบกระแสผลต่าง (Differential Protection)

การป้องกันบัสอาจทำได้ดีโดยใช้หลักการป้องกันแบบใช้กระแสผลต่าง (circulating current differential) และรีเลย์แบบมีอิมพิแดนซ์สูง หม้อแปลงกระแสจะต่อตามความเหมาะสมตามการต่อของบัสและวงจร รีเลย์จะต่อคร่อมหม้อแปลงกระแสในลักษณะที่จะให้มีกระแสไหลผ่าน เมื่อเกิดการลัดวงจร และมีค่าตามกระแสปฐมภูมิ แต่จะไม่มีกระแสไหลผ่านในกรณีที่มีการทำงานตามปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 รีเลย์กระแสผลต่างสำหรับการลัดวงจรลงดิน

การป้องกันจะทำได้โดยต่อหม้อแปลงกระแสขนานกันในแต่ละเฟสของวงจรหนึ่งๆ เป็นชุดสำหรับแต่ละสายที่ออกไปจากบัส แล้วต่อหม้อแปลงกระแสแต่ละชุดขนานเข้ารีเลย์ ดังแสดงในรูป 5 รีเลย์ที่ใช้ในกรณีนี้มักเป็นรีเลย์อิมพิแดนซ์สูง การต่อวงจรป้องกันแบบนี้จะป้องกันได้เฉพาะการลัดวงจรลงดินเท่านั้น

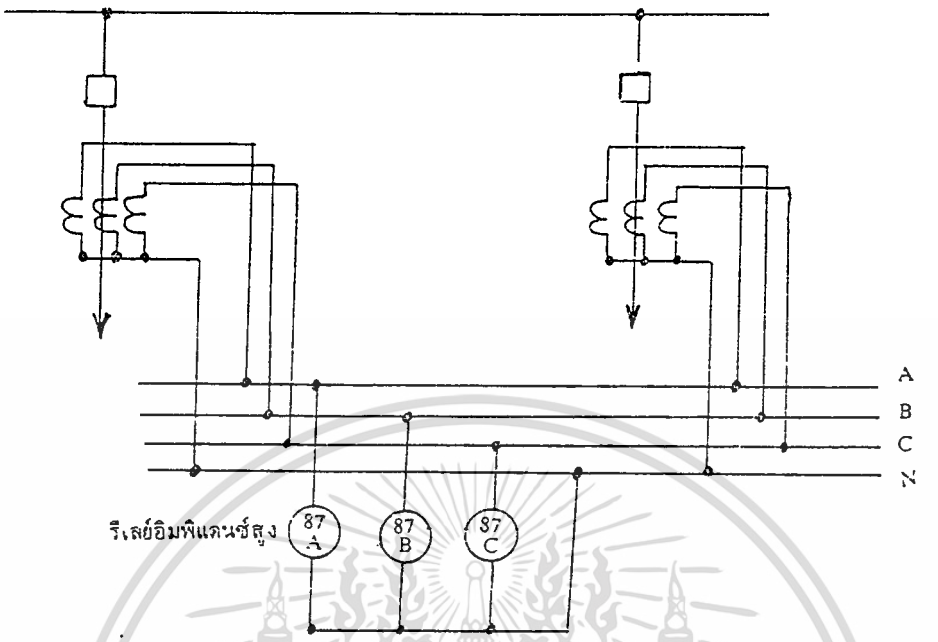


รูปที่ 5 การป้องกันการลัดวงจรลงดินที่บัส

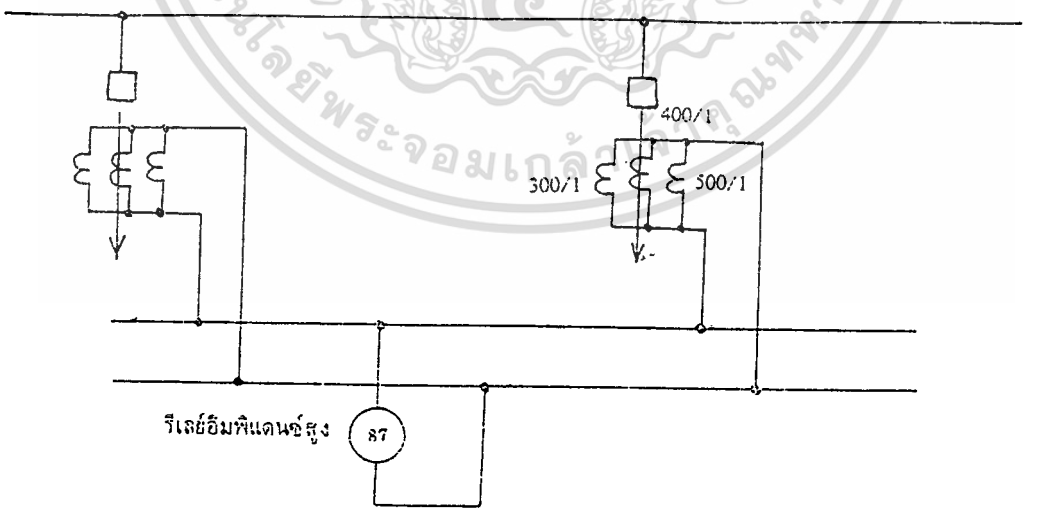
3.2 รีเลย์กระแสผลต่างสำหรับการลัดวงจรระหว่างเฟสและการลัดวงจรลงดิน

การป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟสอาจทำได้โดยการต่อวงจรดังในรูป 6 โดยมีรีเลย์ 3 ตัว การปรับตั้งรีเลย์สำหรับการลัดวงจรระหว่างเฟส และการลัดวงจรลงดินจะตั้งค่าไว้เท่ากัน การต่อวงจรแบบนี้นิยมใช้กันพอสมควรเพราะง่าย และทำงานได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 การป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟสและลงดินที่บัส



รูปที่ 7 การลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

โครงการก่อสร้างระบบส่งไฟฟ้า 500 เควี

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้พัฒนาระบบการผลิตและระบบส่งไฟฟ้ามาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้บริการด้านไฟฟ้าอย่างเพียงพอกับความต้องการของประชาชนทั้งประเทศ

จากการพัฒนาแหล่งถ่านหินลิกไนต์อันเป็นทรัพยากรธรรมชาติตามนโยบายของรัฐบาล กฟผ.ได้สำรวจพบถ่านหินลิกไนต์ปริมาณมหาศาลบริเวณเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปางซึ่งจะสามารถนำไปพัฒนาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้าที่มีอยู่และที่กำลังจะก่อสร้างเพิ่มเติมตามแผนได้เป็นอย่างดีโดยปัจจุบัน กฟผ. ได้ดำเนินการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังความร้อนแม่เมาะเสร็จเรียบร้อยแล้ว จำนวน 11 เครื่อง รวมกำลังผลิต 2,025,000 กิโลวัตต์ รวมทั้งมีแผนการที่จะก่อสร้างเพิ่มเติมในอนาคตอีกด้วย

สำหรับการส่งกระแสไฟฟ้าจากภาคเหนือมายังกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นศูนย์กลางการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของภาคกลางนั้น เดิม กฟผ. มีระบบส่งไฟฟ้าขนาดแรงดัน 230,000 โวลต์ หรือ 230 เควีใช้งานอยู่ ต่อมาการขยายตัวของจำนวนประชากรตลอดจนที่ อยู่อาศัย แหล่งธุรกิจและแหล่งอุตสาหกรรมในเขตนครหลวงได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ปริมาณการ ใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย กฟผ. จึงจำเป็นต้องก่อสร้างระบบส่งไฟฟ้าเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถส่งกระแส ไฟฟ้ามาให้บริการได้ทันกับสถานการณ์ในปัจจุบันรวมทั้งวางแผนเพื่อรองรับสถานการณ์ในอนาคตอีกด้วย จึงได้พิจารณานำระบบส่งไฟฟ้า 500,000 โวลต์ หรือ 500 เควี ซึ่งเป็นระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงแบบพิเศษมาใช้งานทั้งนี้เนื่องจากมีความเหมาะสมกล่าวคือ เมื่อพิจารณาถึงเรื่องระยะทางจากแม่เมาะมา ยังกรุงเทพมหานคร มีระยะทางประมาณ 534 กิโลเมตร อีกทั้งยังมีสภาพภูมิประเทศเป็นป่าและเขา การที่จะก่อสร้างระบบส่งไฟฟ้าเพื่อให้สามารถ รับกระแสไฟฟ้า ที่จะส่งมายังกรุงเทพมหานคร ได้เพียงพอ นั้น ถ้าก่อสร้างระบบส่งไฟฟ้า 230 เควีแล้วจะต้องสร้างถึง 5 วงจร ในขณะที่ระบบส่งไฟฟ้า500 เควี มีความเหมาะสมกว่า เพราะนอกจากจะ สามารถลดการสูญเสียในระบบลงได้อีก 3 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับสายส่ง 230 เควี แล้วยังมีราคาในการลงทุนถูกที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบำรุงรักษาสายส่งโดยไม่ดับไฟ (Bare Hand)

การบำรุงรักษาสายส่งโดยไม่ดับไฟ (Bare Hand) เป็นวิธีการที่ทันสมัย ที่ปฏิบัติในการบำรุงรักษาสายส่งไฟฟ้าแรงสูงขนาดแรงดัน 500,000 โวลต์ หรือ 500 เควี โดยไม่ดับไฟฟ้าเพื่อให้ประชาชนได้มีกระแสไฟฟ้าใช้อย่างต่อเนื่องแม้ในขณะที่มีการซ่อมบำรุงรักษาสายเป็นการสร้างความมั่นคงและความเชื่อถือได้ให้กับระบบไฟฟ้าของประเทศ

การบำรุงรักษาสายส่ง 500 เควี โดยไม่ดับไฟ (500 KV. Bare Hand)

การบำรุงรักษาสายส่ง 500 เควี โดยไม่ดับไฟ เป็นวิธีการปฏิบัติงานบำรุงรักษาสายส่งขนาดแรงดันสูงพิเศษ 500 กิโลโวลต์ ซึ่งจะมีการซ่อมบำรุงเปลี่ยนอุปกรณ์ต่างๆของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงโดยเจ้าหน้าที่บำรุงรักษาสายส่ง (Hot Line) จะขึ้นไปปฏิบัติงานซ่อมบำรุงอุปกรณ์ต่างๆ ของสายส่ง ณ ตำแหน่งที่อุปกรณ์สายส่งนั้นๆ ติดตั้งอยู่ การปฏิบัติงานดังกล่าวจำเป็นต้องสวมใส่ชุดปฏิบัติงานซึ่งเป็นตัวนำไฟฟ้า (Conductive Suit) เป็นชุดที่ผลิตขึ้นจากวัสดุพิเศษ ทุกครั้งที่นำออกใช้งานจะต้องผ่านการทดสอบค่าความเป็นตัวนำก่อนทุกครั้งจากนั้นเจ้าหน้าที่จึงเข้าปฏิบัติงานบนสายส่งไฟฟ้าแรงสูงพิเศษได้อย่างปลอดภัย เปรียบเสมือนนกที่บินขึ้นไปเกาะสายไฟฟ้าแรงสูงโดยไม่ได้รับอันตราย

งานบำรุงรักษาสายส่งแรงสูงโดยไม่ดับไฟ เป็นงานที่นับว่าเสี่ยงอันตราย งานหนึ่งและ เป็นภาระหน้า ที่ที่หน่วยบำรุงรักษาสายส่ง กฟผ. (Hot Line) มีต่อประเทศชาติในด้านการดูแลรักษาระบบไฟฟ้าให้มีความมั่นคงเชื่อถือได้และมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับการดับไฟเพื่อซ่อมบำรุง ระบบ ส่งไฟฟ้าแล้วนอกจากจะส่งผลกระทบต่อ ประชาชนในด้านการดำรงชีวิตด้านการแพทย์และความ สะดวกสบายที่ได้รับจากไฟฟ้า ยังเกิดความเสียหายอย่างยิ่งแก่ประเทศชาติทั้งในด้านเศรษฐกิจ ด้านอุตสาหกรรมและอื่นๆ อีกนานับประการ

การซ่อมบำรุงรักษาสายส่งขนาดแรงดันสูงพิเศษ 500 เควี อาจก่อให้เกิดอันตราถึงชีวิตได้ทุกขณะ ดังนั้นการปฏิบัติงานทุกครั้งจำเป็นต้องดำเนินการด้วยความรอบคอบมีการวางแผนงานที่ดี ทั้งนี้ด้วยความสำนึกในหน้าที่และความเสียสละของผู้ปฏิบัติงาน กฟผ. ที่มีต่อประเทศชาติ และเพื่อความผาสุขของประชาชนคนไทยทั้งประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันตรายจากสายส่งไฟฟ้า (แรงสูง)

พลังงานไฟฟ้าเมื่อผลิตจากโรงไฟฟ้าแล้วไม่สามารถเก็บสำรองไว้ใช้ในช่วงเวลาอื่นๆที่ต้องการ ได้ เมื่อมีความต้องการใช้ไฟฟ้าเกิดขึ้นในเวลาใดๆ ก็ตาม จะต้องมีพลังงานไฟฟ้าสนอง ความต้องการในช่วงเวลานั้นๆได้ทันที ดังนั้นโรงไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องเดินเครื่องเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าส่งให้ผู้ใช้งานมากบ้างน้อยบ้างตลอดเวลา โดยอาศัยสายส่งไฟฟ้า (แรงสูง) ส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้าพาดผ่านไปในท้องที่ต่างๆ ทั่วประเทศ

สายส่งไฟฟ้าหากมองอย่างผิวเผินอาจคิดว่าสายส่งไฟฟ้ามีหน้าที่ส่งพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว จะมีอันตรายแก่ตัวเราได้อย่างไร แต่อย่าลืมว่าไฟฟ้าเป็นสิ่งที่มองไม่เห็น หากกระทำการใดๆ ที่ไม่ถูกต้อง อาจจะเกิดอันตรายและทำให้เกิดการสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินได้

ทำไมจึงต้องใช้สายส่งไฟฟ้าแรงสูง

แหล่งผลิตไฟฟ้ามักจะตั้งอยู่ห่างไกลจากแหล่งใช้งานเพื่อลดการสูญเสียภายในสายส่งไฟฟ้าที่มีระยะทางไกลให้น้อยลง จึงทำการเพิ่มแรงดันโดยหม้อแปลงไฟฟ้าให้เป็น 6 9, 115, 230 และ 500 กิโลโวลต์ ตามลำดับ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สายส่งไฟฟ้าแรงสูง แรงดันที่สูงขนาดนี้แตกต่างจากที่ใช้งานตามบ้านเรือน ซึ่งมีแรงดัน 220 โวลต์ และ แรงดัน 380 โวลต์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหลายร้อยเท่า

สาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุจากสายส่งไฟฟ้า

เกิดจากความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ หรือความประมาทและความอยากลองจากสถิติที่ผ่านมาพบว่าอุบัติเหตุที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าจนทำให้ต้องเสียชีวิตและทรัพย์สินของส่วนรวมไปเป็นจำนวนมาก พอสรุปเป็นข้อควรระวังได้ดังนี้

อย่านำลวดทองแดงเกี่ยวสายไฟฟ้าเพื่อต่อไฟฟ้ามาใช้

การกระทำดังกล่าวเท่ากับเป็นการทำลายตัวเองเพราะแรงดันไฟฟ้าในสายส่งไฟฟ้าแรงสูงมีระดับสูงกว่าไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านหลายร้อยหลายพันเท่า จึงไม่สามารถนำมาใช้กับอุปกรณ์ต่างๆภายใน บ้านอย่างสิ้นเชิง ดังนั้นอย่าทำเช่นนั้นโดยเด็ดขาด

อย่าถอดป้ายแสดงแนวเขตปลอดภัยออก

ป้ายแสดงแนวเขตปลอดภัยของเสาส่งไฟฟ้าแรงสูงควรจะมีอยู่ตลอดเวลาถ้าถูกทำลาย หรือสูญหายไปอาจจะทำให้ผู้ที่ไม่ทราบแนวเขตปลอดภัยของสายส่งและรุกล้ำเข้าไปทำให้ได้รับอันตรายได้

อย่าปีนเสาโครงเหล็กสายส่งไฟฟ้า

สายส่งไฟฟ้าที่พาดบนเสาโครงเหล็กซึ่งมีลูกถ้วยเป็นฉนวนสำหรับยึดนั้น ในบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาอากาศอาจมีความชื้นสูง หรือลูกถ้วยร้าว ไฟจะรั่วผ่านเสาโครงเหล็กลงดิน หากสายดินที่ต่ออยู่กับเสาโครงเหล็กเกิดชำรุด และเราไปสัมผัสอาจถูกไฟดูดเสียชีวิตได้

อย่าเล่นว่าวใกล้สายส่งไฟฟ้า

เส้นด้ายสายป่านจะเป็นฉนวนไฟฟ้าเฉพาะแรงดันต่ำเท่านั้นแต่จะกลายเป็น ตัวนำสำหรับไฟฟ้าที่มีแรงดันสูงดังนั้นถ้าสายป่านไปถูกกับสายไฟเข้ากระแสไฟฟ้าจะไหล ผ่านสายป่านว่าวเข้าหาตัวของผู้เล่นจนถึงขั้นเสียชีวิต

อย่าก่อไฟใต้สายส่งไฟฟ้า

การเผาหญ้าฟาง หรือก่อกองไฟ จะมีความชื้นและควันไฟอันเกิดจากการ ระเหยของน้ำในหญ้าหรือฟืนจะเป็นสื่อนำไฟฟ้าพุ่งลงดิน อันอาจเป็นอันตรายต่อชีวิต

อย่าขว้างปาวัสดุขึ้นพาดสายส่งไฟฟ้า

การนำวัสดุใดๆ เช่น กิ่งไม้ หรือเชือก ขว้างหรือพาดสายส่ง จะทำให้เกิดการลัดวงจรอย่างรุนแรงจนถึงขึ้นสายขาดได้ ก่อให้เกิดอันตรายแก่ชีวิตและทรัพย์สิน

อย่านำวัตถุสูงๆ ลอดสายส่งไฟฟ้า

การเคลื่อนวัตถุยาวๆ เช่น ลำไม้ไผ่ บันไดรถยกที่มีคันยกยาว หรือบรรทุกของสูงๆ ผ่านใต้สายส่งไฟฟ้าจำเป็นต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ เพราะหากแตะเข้ากับสายไฟฟ้าจะทำให้เกิดการลัดวงจรลงดิน จะเกิดอันตรายต่อผู้ยกของหรือคนขับได้

อย่าตัดต้นไม้ใหญ่ใกล้สายส่งไฟฟ้า

ต้นไม้ใหญ่ใกล้แนวสายส่งไฟฟ้า ถ้าเห็นว่ากิ่งก้านมันสูง มีโอกาสโค่นล้มพาดสายไฟฟ้าได้ ไม่ควรตัดเองควรแจ้งเจ้าหน้าที่ให้ไปจัดการ

อย่ายิงนกที่เกาะสายไฟฟ้าหรือใช้ลูกถ้วยเป็นเป้าซ้อมยิง

การยิงนกเกาะสายไฟฟ้าหรือยิงซ้อมมือนั้นอาจทำให้สายไฟฟ้าเส้นใดเส้นหนึ่งขาด จะเป็นผลให้เสาไฟฟ้าขาดความสมดุล เกิดการบิดตัวและฉุดกันล้มเป็นระยะทางยาว ซึ่งนอกจากจะเป็นอันตรายต่อชีวิตแล้ว ยังทำให้ระบบการส่งกระแสไฟฟ้าขัดข้อง ซึ่งก่อความเดือดร้อนแก่ประชาชนโดยทั่วไป

อย่าหลบฝนใต้ต้นไม้ที่อยู่ใกล้สายไฟฟ้า

ในขณะฝนตกหรือมีพายุมักจะมีฟ้าผ่าหรือไฟฟ้ารั่วเข้าหาต้นไม้ที่อยู่ใกล้ๆ นั้นเพื่อความปลอดภัยในชีวิตจึงควรหลีกเลี่ยงให้ห่างไกลเป็นดีที่สุด

อย่าปลูกสร้างอาคารใกล้แนวสายไฟฟ้า

ในการออกแบบสายส่งไฟฟ้านั้น ได้กำหนดให้สายส่งสูงจากพื้นดินไว้ตามมาตรฐานกำหนด

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างสูงชิดแนวเขตสายไฟฟ้าทำให้ระยะความปลอดภัยของสายส่งไฟฟ้าลดลง ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อทรัพย์สินและชีวิต ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการปฏิบัติเช่นนั้นโดยเด็ดขาด

อย่าขโมยถอดชิ้นส่วนของโครงเสาไฟฟ้า

การถอดชิ้นส่วนของโครงเสาไฟฟ้าจะทำให้เสาขาดความแข็งแรง เมื่อมีพายุหรือลมแรงจะทำให้เสาโค่นล้ม ทำให้ต้องงดการจ่ายกระแสไฟฟ้า สร้างความเสียหายให้แก่บ้านเรือนทั่วไป ธุรกิจและอุตสาหกรรมอย่างมาก ดังนั้นถ้าพบเห็นผู้กระทำผิดดังกล่าว ควรแจ้งให้เจ้าหน้าที่ตำรวจท้องที่หรือเจ้าหน้าที่ของ กฟผ. ณ สถานีไฟฟ้าแรงสูงทุก แห่งเพื่อดำเนินการตามกฎหมายต่อไป

สรุป

พลังงานไฟฟ้าที่ส่งไปตามสายส่งไฟฟ้า (แรงสูง) นั้นเป็นสิ่งจำเป็นทั้งในด้านการดำรงชีวิตประจำวัน การดำเนินธุรกิจและอุตสาหกรรม ตลอดจนเป็นปัจจัยพื้นฐานในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ การเกิดไฟฟ้าดับ แม้แต่เพียงช่วงเวลาสั้นๆ ก็จะทำให้เกิดความเสียหายทั้งโดยตรงและเกิดผลกระทบทางอ้อมอย่างกว้างขวางในทุกๆ ด้าน

ถึงแม้ว่าไฟฟ้าจะมีคุณอนันต์แต่ก็มีโทษมหันต์เช่นกัน สำหรับโทษนั้นสามารถป้องกันได้หากไม่ประมาท ความอยากรู้อยากลองไม่ใช่เป็นสิ่งที่ดีเสมอไป บางครั้งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อตนเอง แล้วยังส่งผลไปถึงผู้อื่นจำนวนมากอีกด้วย

นอกจากนี้เสาโครงเหล็ก และสายส่งไฟฟ้า ยังเป็นสมบัติของชาติ ซึ่งต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมากเพื่อให้ได้มา ดังนั้นประชาชนทุกคนจึงควรต้องช่วยกันดูแลรักษาเพื่อให้เป็นสมบัติของลูกหลานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันตรายจากสายส่งไฟฟ้า (แรงสูง)

พลังงานไฟฟ้าเมื่อผลิตจากโรงไฟฟ้าแล้วไม่สามารถเก็บสำรองไว้ใช้ในช่วงเวลาอื่นๆที่ต้องการ ได้ เมื่อมีความต้องการใช้ไฟฟ้าเกิดขึ้นในเวลาใดๆ ก็ตาม จะต้องมีพลังงานไฟฟ้าสนอง ความต้องการในช่วงเวลานั้นๆได้ทันที ดังนั้นโรงไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องเดินเครื่องเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าส่งให้ผู้ใช้งานมากบ้างน้อยบ้างตลอดเวลา โดยอาศัยสายส่งไฟฟ้า (แรงสูง) ส่งถ่ายพลังงานไฟฟ้าพาดผ่านไปในท้องที่ต่างๆ ทั่วประเทศ

สายส่งไฟฟ้าหากมองอย่างผิวเผินอาจคิดว่าสายส่งไฟฟ้ามีหน้าที่ส่งพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว จะมีอันตรายแก่ตัวเราได้อย่างไร แต่อย่าลืมว่าไฟฟ้าเป็นสิ่งที่มองไม่เห็น หากกระทำการใดๆ ที่ไม่ถูกต้อง อาจจะเกิดอันตรายและทำให้เกิดการสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินได้

ทำไมจึงต้องใช้สายส่งไฟฟ้าแรงสูง

แหล่งผลิตไฟฟ้ามักจะตั้งอยู่ห่างไกลจากแหล่งใช้งานเพื่อลดการสูญเสียภายในสายส่งไฟฟ้าที่มีระยะทางไกลให้น้อยลง จึงทำการเพิ่มแรงดันโดยหม้อแปลงไฟฟ้าให้เป็น 6 9, 115, 230 และ 500 กิโลโวลต์ ตามลำดับ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สายส่งไฟฟ้าแรงสูง แรงดันที่สูงขนาดนี้แตกต่างจากที่ใช้งานตามบ้านเรือน ซึ่งมีแรงดัน 220 โวลต์ และ แรงดัน 380 โวลต์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมหลายร้อยเท่า

สาเหตุที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุจากสายส่งไฟฟ้า

เกิดจากความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ หรือความประมาทและความอยากลองจากสถิติที่ผ่านมาพบว่าอุบัติเหตุที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าจนทำให้ต้องเสียชีวิตและทรัพย์สินของส่วนรวมไปเป็นจำนวนมาก พอสรุปเป็นข้อควรระวังได้ดังนี้

อย่านำลวดทองแดงเกี่ยวสายไฟฟ้าเพื่อต่อไฟฟ้ามาใช้

การกระทำดังกล่าวเท่ากับเป็นการทำลายตัวเองเพราะแรงดันไฟฟ้าในสายส่งไฟฟ้าแรงสูงมีระดับสูงกว่าไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านหลายร้อยหลายพันเท่า จึงไม่สามารถนำมาใช้กับอุปกรณ์ต่างๆภายใน บ้านอย่างสิ้นเชิง ดังนั้นอย่าทำเช่นนั้นโดยเด็ดขาด

อย่าถอดป้ายแสดงแนวเขตปลอดภัยออก

ป้ายแสดงแนวเขตปลอดภัยของเสาส่งไฟฟ้าแรงสูงควรจะมีอยู่ตลอดเวลาถ้าถูกทำลาย หรือสูญหายไปอาจจะทำให้ผู้ที่ไม่ทราบแนวเขตปลอดภัยของสายส่งและรุกล้ำเข้าไปทำให้ได้รับอันตรายได้

อย่าปีนเสาโครงเหล็กสายส่งไฟฟ้า

สายส่งไฟฟ้าที่พาดบนเสาโครงเหล็กซึ่งมีลูกถ้วยเป็นฉนวนสำหรับยึดนั้น ในบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาอากาศอาจมีความชื้นสูง หรือลูกถ้วยร้าว ไฟจะรั่วผ่านเสาโครงเหล็กลงดิน หากสายดินที่ต่ออยู่กับเสาโครงเหล็กเกิดชำรุด และเราไปสัมผัสอาจถูกไฟดูดเสียชีวิตได้

อย่าเล่นว่าวใกล้สายส่งไฟฟ้า

เส้นด้ายสายป่านจะเป็นฉนวนไฟฟ้าเฉพาะแรงดันต่ำเท่านั้นแต่จะกลายเป็น ตัวนำสำหรับไฟฟ้าที่มีแรงดันสูงดังนั้นถ้าสายป่านไปถูกกับสายไฟเข้ากระแสไฟฟ้าจะไหล ผ่านสายป่านว่าวเข้าหาตัวของผู้เล่นจนถึงขั้นเสียชีวิต

อย่าก่อไฟใต้สายส่งไฟฟ้า

การเผาหญ้าฟาง หรือก่อกองไฟ จะมีความชื้นและควันไฟอันเกิดจากการ ระเหยของน้ำในหญ้าหรือฟืนจะเป็นสื่อนำไฟฟ้าพุ่งลงดิน อันอาจเป็นอันตรายต่อชีวิต

อย่าขว้างปาวัสดุขึ้นพาดสายส่งไฟฟ้า

การนำวัสดุใดๆ เช่น กิ่งไม้ หรือเชือก ขว้างหรือพาดสายส่ง จะทำให้เกิดการลัดวงจรอย่างรุนแรงจนถึงขึ้นสายขาดได้ ก่อให้เกิดอันตรายแก่ชีวิตและทรัพย์สิน

อย่านำวัตถุสูงๆ ลอดสายส่งไฟฟ้า

การเคลื่อนวัตถุยาวๆ เช่น ลำไม้ไผ่ บันไดรถยกที่มีคันยกยาว หรือบรรทุกของสูงๆ ผ่านใต้สายส่งไฟฟ้าจำเป็นต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ เพราะหากแตะเข้ากับสายไฟฟ้าจะทำให้เกิดการลัดวงจรลงดิน จะเกิดอันตรายต่อผู้ยกของหรือคนขับได้

อย่าตัดต้นไม้ใหญ่ใกล้สายส่งไฟฟ้า

ต้นไม้ใหญ่ใกล้แนวสายส่งไฟฟ้า ถ้าเห็นว่ากิ่งก้านมันสูง มีโอกาสโค่นล้มพาดสายไฟฟ้าได้ ไม่ควรตัดเองควรแจ้งเจ้าหน้าที่ให้ไปจัดการ

อย่ายิงนกที่เกาะสายไฟฟ้าหรือใช้ลูกถ้วยเป็นเป้าซ้อมยิง

การยิงนกเกาะสายไฟฟ้าหรือยิงซ้อมมือนั้นอาจทำให้สายไฟฟ้าเส้นใดเส้นหนึ่งขาด จะเป็นผลให้เสาไฟฟ้าขาดความสมดุล เกิดการบิดตัวและฉุดกันล้มเป็นระยะทางยาว ซึ่งนอกจากจะเป็นอันตรายต่อชีวิตแล้ว ยังทำให้ระบบการส่งกระแสไฟฟ้าขัดข้อง ซึ่งก่อความเดือดร้อนแก่ประชาชนโดยทั่วไป

อย่าหลบฝนใต้ต้นไม้ที่อยู่ใกล้สายไฟฟ้า

ในขณะฝนตกหรือมีพายุมักจะมีฟ้าผ่าหรือไฟฟ้ารั่วเข้าหาต้นไม้ที่อยู่ใกล้ๆ นั้นเพื่อความปลอดภัยในชีวิตจึงควรหลีกเลี่ยงให้ห่างไกลเป็นดีที่สุด

อย่าปลูกสร้างอาคารใกล้แนวสายไฟฟ้า

ในการออกแบบสายส่งไฟฟ้านั้น ได้กำหนดให้สายส่งสูงจากพื้นดินไว้ตามมาตรฐานกำหนด

เอกสารนี้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่ก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างสูงชิดแนวเขตสายไฟฟ้าทำให้ระยะความปลอดภัยของสายส่งไฟฟ้าลดลง ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อทรัพย์สินและชีวิต ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการปฏิบัติเช่นนั้นโดยเด็ดขาด

อย่าขโมยถอดชิ้นส่วนของโครงเสาไฟฟ้า

การถอดชิ้นส่วนของโครงเสาไฟฟ้าจะทำให้เสาขาดความแข็งแรง เมื่อมีพายุหรือลมแรงจะทำให้เสาโค่นล้ม ทำให้ต้องงดการจ่ายกระแสไฟฟ้า สร้างความเสียหายให้แก่บ้านเรือนทั่วไป ธุรกิจและอุตสาหกรรมอย่างมาก ดังนั้นถ้าพบเห็นผู้กระทำผิดดังกล่าว ควรแจ้งให้เจ้าหน้าที่ตำรวจท้องที่หรือเจ้าหน้าที่ของ กฟผ. ณ สถานีไฟฟ้าแรงสูงทุก แห่งเพื่อดำเนินการตามกฎหมายต่อไป

สรุป

พลังงานไฟฟ้าที่ส่งไปตามสายส่งไฟฟ้า (แรงสูง) นั้นเป็นสิ่งจำเป็นทั้งในด้านการดำรงชีวิตประจำวัน การดำเนินธุรกิจและอุตสาหกรรม ตลอดจนเป็นปัจจัยพื้นฐานในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ การเกิดไฟฟ้าดับ แม้แต่เพียงช่วงเวลาสั้นๆ ก็จะทำให้เกิดความเสียหายทั้งโดยตรงและเกิดผลกระทบทางอ้อมอย่างกว้างขวางในทุกๆ ด้าน

ถึงแม้ว่าไฟฟ้าจะมีคุณอนันต์แต่ก็มีโทษมหันต์เช่นกัน สำหรับโทษนั้นสามารถป้องกันได้หากไม่ประมาท ความอยากรู้อยากลองไม่ใช่เป็นสิ่งที่ดีเสมอไป บางครั้งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อตนเอง แล้วยังส่งผลไปถึงผู้อื่นจำนวนมากอีกด้วย

นอกจากนี้เสาโครงเหล็ก และสายส่งไฟฟ้า ยังเป็นสมบัติของชาติ ซึ่งต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมากเพื่อให้ได้มา ดังนั้นประชาชนทุกคนจึงควรต้องช่วยกันดูแลรักษาเพื่อให้เป็นสมบัติของลูกหลานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.
(Note 9)

	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902
Supply Voltage, V^+	32 V_{DC} or ±16 V_{DC}	26 V_{DC} or ±13 V_{DC}
Differential Input Voltage	32 V_{DC}	26 V_{DC}
Input Voltage	−0.3 V_{DC} to +32 V_{DC}	−0.3 V_{DC} to +26 V_{DC}
Input Current (V_{IN} < −0.3 V_{DC}) (Note 3)	50 mA	50 mA
Power Dissipation (Note 1)		
Molded DIP	1130 mW	1130 mW
Cavity DIP	1260 mW	1260 mW
Small Outline Package	800 mW	800 mW
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2) $V^+ \leq 15\ V_{DC}$ and $T_A = 25°C$	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range		−40°C to +85°C
LM324/LM324A	0°C to +70°C	
LM224/LM224A	−25°C to +85°C	
LM124/LM124A	−55°C to +125°C	

	LM124/LM224/LM324 LM124A/LM224A/LM324A	LM2902
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C	−65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	260°C
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

ESD Tolerance (Note 10)	250V	250V

Electrical Characteristics $V^+ = +5.0\ V_{DC}$, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5) $T_A = 25°C$		±1	±2		±1	±3		±2	±3		±2	±5		±2	±7		±2	±7	mV_{DC}
Input Bias Current (Note 6)	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25°C$		20	50		40	80		45	100		45	150		45	250		45	250	nA_{DC}
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$, $T_A = 25°C$		±2	±10		±2	±15		±5	±30		±3	±30		±5	±50		±5	±50	nA_{DC}
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)	$V^+ = 30\ V_{DC}$ (LM2902, $V^+ = 26\ V_{DC}$), $T_A = 25°C$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	V_{DC}
Supply Current	Over Full Temperature Range, $R_L = \infty$ On All Op Amps																			
	$V^+ = 30V$ (LM2902 $V^+ = 26V$)		1.5	3		1.5	3		1.5	3		1.5	3		1.5	3		1.5	3	mA_{DC}
	$V^+ = 5V$		0.7	1.2		0.7	1.2		0.7	1.2		0.7	1.2		0.7	1.2		0.7	1.2	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15\ V_{DC}$, $R_L \geq 2\ k\Omega$, ($V_O = 1\ V_{DC}$ to $11\ V_{DC}$), $T_A = 25°C$	50	100		50	100		25	100		50	100		25	100		25	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	DC, $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5\ V_{DC}$, $T_A = 25°C$	70	85		70	85		65	85		70	85		65	85		50	70		dB
Power Supply Rejection Ratio	DC, $V^+ = 5\ V_{DC}$ to $30\ V_{DC}$ (LM2902, $V^+ = 5\ V_{DC}$ to $26\ V_{DC}$), $T_A = 25°C$	65	100		65	100		65	100		65	100		65	100		50	100		dB

Electrical Characteristics $V^+ = +5.0\ V_{DC}$ (Note 4) unless otherwise stated (Continued)

Parameter		Conditions		LM124A			LM224A			LM324A			LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
				Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Current	Source	$V_O = 2\ V_{DC}$	$V_{IN}^+ = +1\ V_{DC}$, $V_{IN}^- = 0\ V_{DC}$, $V^+ = 15\ V_{DC}$	10	20		10	20		10	20		10	20		10	20		10	20		mA_{DC}
	Sink		$V_{IN}^- = +1\ V_{DC}$, $V_{IN}^+ = 0\ V_{DC}$, $V^+ = 15\ V_{DC}$	10	15		5	8		5	8		5	8		5	8		5	8		

Note 1: For operating at high temperatures, the LM324/LM324A, LM2902 must be derated based on a +125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 88°C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM224/LM224A and LM124/LM124A can be derated based on a +150°C maximum junction temperature. The dissipation is the total of all four amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

Note 2: Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+. At values of supply voltage in excess of +15 V_{DC}, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than −0.3 V_{DC} (at 25°C).

Note 4: These specifications are limited to −55°C ≤ T_A ≤ +125°C for the LM124/LM124A. With the LM224/LM224A, all temperature specifications are limited to −25°C ≤ T_A ≤ +85°C, the LM324/LM324A temperature specifications are limited to 0°C ≤ T_A ≤ +70°C, and the LM2902 specifications are limited to −40°C ≤ T_A ≤ +85°C.

Note 5: $V_O = 1.4\ V_{DC}$, $R_S = 0\Omega$ with V^+ from 5 V_{DC} to 30 V_{DC}; and over the full input common-mode range (0 V_{DC} to $V^+ - 1.5\ V_{DC}$) at 25°C; for LM2902, V^+ from 5 V_{DC} to 26 V_{DC}.

Note 6: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

Note 7: The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5V$ (at 25°C), but either or both inputs can go to +32 V_{DC} without damage (+26 V_{DC} for LM2902), independent of the magnitude of V^+.

Note 8: Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

Note 9: Refer to RETS124AX for LM124A military specifications and refer to RETS124X for LM124 military specifications.

Note 10: Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

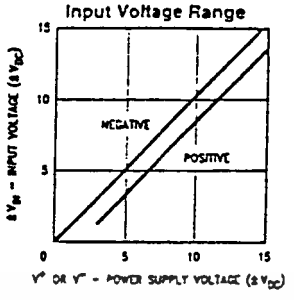
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Electrical Characteristics $V^+ = +5.0\ V_{DC}$ (Note 4) unless otherwise stated (Continued)

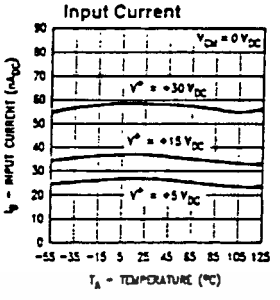
Parameter		Conditions	LM124A			LM224A			LM324A			LM124/LM224			LM324			LM2902			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Amplifier-to-Amplifier Coupling (Note 8)		f = 1 kHz to 20 kHz, T_A = 25°C (Input Referred)		−120			−120			−120			−120			−120			−120		dB
Output Current	Source	$V_{IN}^+ = 1\ V_{DC}$, $V_{IN}^- = 0\ V_{DC}$, $V^+ = 15\ V_{DC}$, $V_O = 2\ V_{DC}$, T_A = 25°C	20	40		20	40		20	40		20	40		20	40		20	40		mA_{DC}
	Sink	$V_{IN}^- = 1\ V_{DC}$, $V_{IN}^+ = 0\ V_{DC}$, $V^+ = 15\ V_{DC}$, $V_O = 2\ V_{DC}$, T_A = 25°C	10	20		10	20		10	20		10	20		10	20		10	20		mA_{DC}
		$V_{IN}^- = 1\ V_{DC}$, $V_{IN}^+ = 0\ V_{DC}$, $V^+ = 15\ V_{DC}$, $V_O = 200\ mV_{DC}$, T_A = 25°C	12	50		12	50		12	50		12	50		12	50		12	50		μA_{DC}
Short Circuit to Ground		(Note 2) $V^+ = 15\ V_{DC}$, T_A = 25°C		40	60		40	60		40	60		40	60		40	60		40	60	mA_{DC}
Input Offset Voltage		(Note 5)			±4			±4			±5			±7			±9			±10	mV_{DC}
Input Offset Voltage Drift		R_S = 0Ω		±7	±20		±7	±20		±7	±30		±7			±7			±7		$\mu V/°C$
Input Offset Current		$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, V_{CM} = 0V			±30			±30			±75			±100			±150		±45	±200	nA_{DC}
Input Offset Current Drift		R_S = 0Ω		±10	±200		±10	±200		±10	±200		±10			±10			±10		$pA_{DC}/°C$
Input Bias Current		$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		40	100		40	100		40	200		40	300		40	500		40	500	nA_{DC}
Input Common-Mode Voltage Range (Note 7)		$V^+ = +30\ V_{DC}$ (LM2902, $V^+ = 26\ V_{DC}$)	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V_{DC}
Large Signal Voltage Gain		$V^+ = +15\ V_{DC}$ (V_O Swing = 1 V_{DC} to 11 V_{DC}) $R_L \geq 2\ k\Omega$	25			25			15			25			15			15			V/mV
Output Voltage Swing	V_{OH}	$V^+ = +30\ V_{DC}$, R_L = 2 kΩ	26			26			26			26			26			22			V_{DC}
		$R_L \geq 10\ k\Omega$ (LM2902, $V^+ = 26\ V_{DC}$)	27	28		27	28		27	28		27	28		27	28		23	24		V_{DC}
	V_{OL}	$V^+ = 5\ V_{DC}$, $R_L \geq 10\ k\Omega$		5	20		5	20		5	20		5	20		5	20		5	100	mV_{DC}

Typical Performance Characteristics

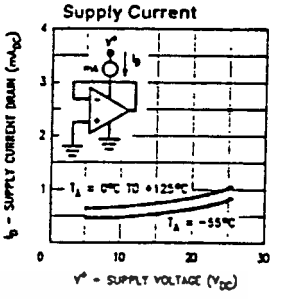
Input Voltage Range



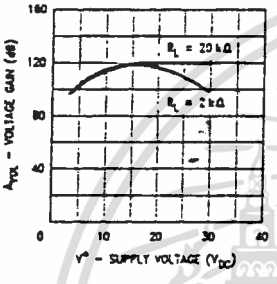
Input Current



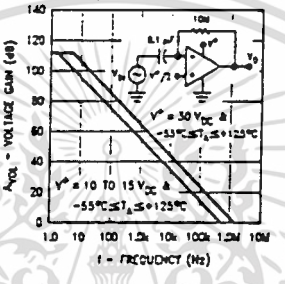
Supply Current



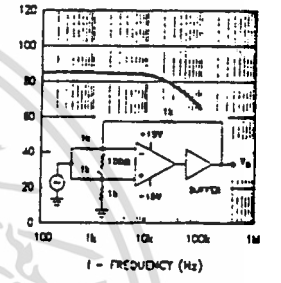
Voltage Gain



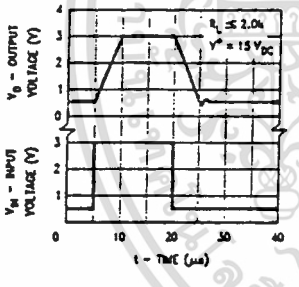
Open Loop Frequency Response



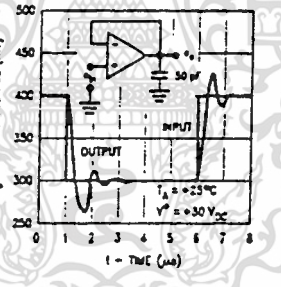
Common Mode Rejection Ratio



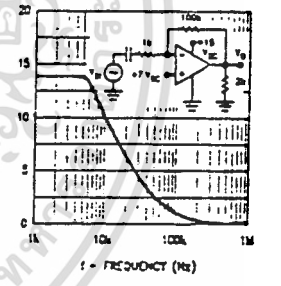
Voltage Follower Pulse Response



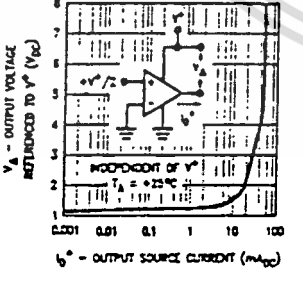
Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)



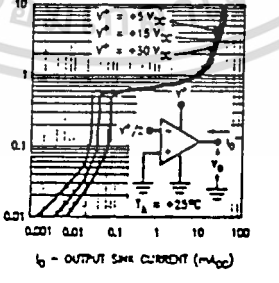
Large Signal Frequency Response



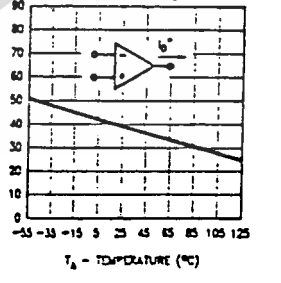
Output Characteristics Current Sourcing



Output Characteristics Current Sinking

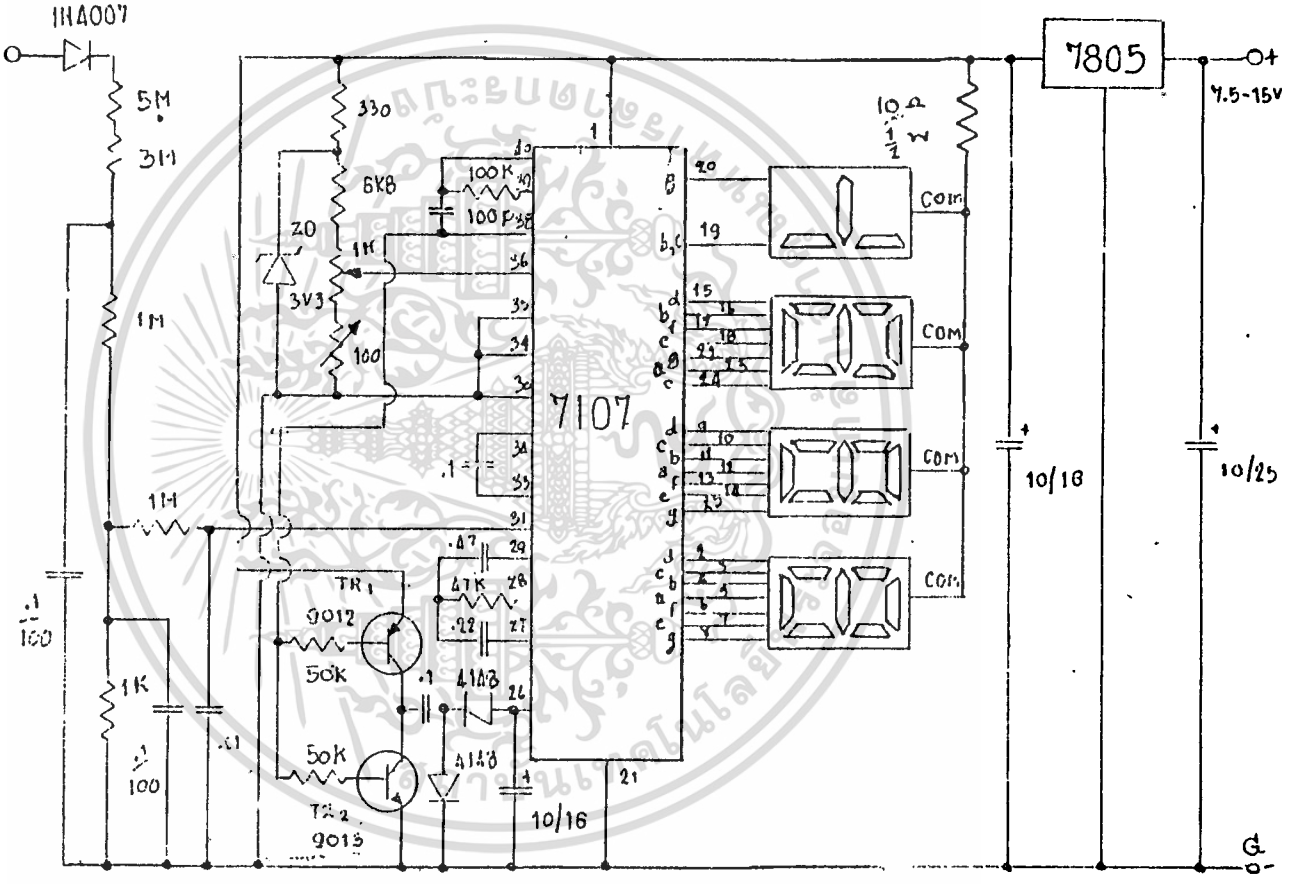


Current Limiting



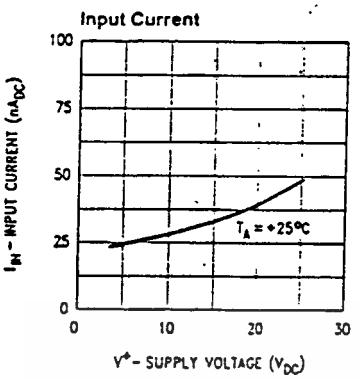
TL/H/9299-3

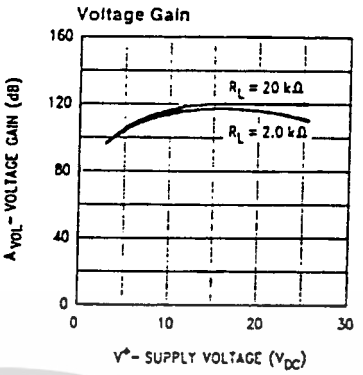
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (LM2902 only)





TL/H/9299–4

Application Hints

The LM124 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of 0 V_{DC}. These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At 25°C amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of 2.3 V_{DC}.

The pinouts of the package have been designed to simplify PC board layouts. Inverting inputs are adjacent to outputs for all of the amplifiers and the outputs have also been placed at the corners of the package (pins 1, 7, 8, and 14).

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than V^+ without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than −0.3 V_{DC} (at 25°C). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion.

Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

The bias network of the LM124 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from 3 V_{DC} to 30 V_{DC}.

Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at 25°C provides a larger output current capability at elevated temperatures (see typical performance characteristics) than a standard IC op amp.

The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of $V^-/2$) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้จัดทำขอขอบคุณในความกรุณาของ อาจารย์ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล และอาจารย์ทุกๆ ท่าน ที่ให้ความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่ผู้จัดทำ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการไมโครคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ พระจอมเกล้าลาดกระบัง ที่ได้ให้ความสะดวกในการใช้บริการเครื่องคอมพิวเตอร์ และปริ้นเตอร์

ขอขอบคุณห้องสโตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า พระจอมเกล้าลาดกระบัง ที่ได้ให้ความสะดวกในเรื่องเครื่องมืออุปกรณ์ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] William D.Stevenson, Jr., "Element of power system analysis", Mcgraw-Hill, 433 P, 1985

[2] ปริญญานิพนธ์, "ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง" คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2530-2533

[3] ชำนาญ ห่อเกียรติ "ระบบไฟฟ้ากำลัง"

[4] ธัชชัย สุมิตร "รีเลย์ป้องกันระบบพลังไฟฟ้า"

[5] มานิต ผลเกลี้ยง "รีเลย์เรื่องที่ต้องรู้จัก" คอมพิวเตอร์ อิเลคทรอนิคส์ เวิลด์, ฉบับที่ 131

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้