



ดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์
DIFFERENTIAL RELAYS



ปรินต์งานพิมพ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

- สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ปีการศึกษา 2535 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032723



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032729

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2535

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์

ผู้จัดทำ

1. นาย ไตรภพ วคินลธิธิสุข 33102910

2. นาย เศกสิทธิ์ จันทรโชติเสถียร 33102927

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิฟเฟอเรนเซียลรีเลีย

ไทรภพ วคินสิทธิสุข

เศกสิทธิ จันทรโชติเสถียร

อ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2535

บทคัดย่อ

ในการนำเอาคิฟเฟอเรนเซียลรีเลียมาทำการป้องกันระบบไฟฟ้านั้น รีเลียจะทำงานเมื่อเกิดสภาวะผิดปกติขึ้นในระบบ เราใช้หม้อแปลงกระแสวัดทั้งทางด้านอินพุตและเอาท์พุต เพื่อวัดเปรียบเทียบความแตกต่างทางด้านปริมาณไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์ในระบบที่ทำการป้องกัน อาจเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือหม้อแปลง เมื่อรีเลียทำงานแล้วก็จะส่งสัญญาณไปยังเซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อทำการเปิดวงจรของอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันออกจากระบบ ซึ่งความเร็วในการทำงานจะขึ้นอยู่กับชนิดของความผิดปกติที่เกิดขึ้น อาจแบ่งความผิดปกติในระบบเป็น 2 รูปแบบ คือ

1. เกิดการลัดวงจร รีเลียจะทำงานแบบตั้งเวลาคงที่
2. เกิดกระแสเกิน รีเลียจะทำงานในแบบแปรผันตามเวลา

DIFFERENTIAL RELAYS

Mr. Triphob Vasinsitthisuk

Mr. Seksit Janchotsatien

Mr. Siriwat Potivejkul M.Eng. Advisor

1992

ABSTRACT

THIS PROJECT PRESENTS THE PROTECTION IN POWER SYSTEM BY DIFFERENTIAL RELAYS. IT WILL BE OPERATE WHEN THE SYSTEM IS OPERATING ABNORMAL CONDITION. THE PRINCIPLE OF DIFFERENTIAL RELAY IS COMPARING THE DIFFERENTIAL CURRENT BETWEEN INPUT AND OUTPUT OF EQUIPMENTS ON SYSTEM, THEY MAY BE GENERATOR OR TRANSFORMER. WHEN A RELAY OPERATES SIGNAL IS SEND TO THE OPERATING CIRCUIT BREAKER. THE CIRCUIT BREAKER WILL BE OPEN-CIRCUIT INSTANTANEOUS FOR PROTECTION THE EQUIPMENTS ON SYSTEM. OPERATING SPEED WILL BE DEPEND ON A ABNORMAL CONDITION.

KIND OF THE ABNORMAL CONDITION

1. SHORT-CIRCUIT ON SYSTEM
2. OVER-CURRENT ON SYSTEM

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
1	บทนำ	1
2	ทฤษฎีและหลักการ	4
	2.1 หลักการทำงานของดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์	4
	2.2 การนำเอาดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ไปใช้งาน	6
	2.3 การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	7
	2.4 แนวการปฏิบัติในการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	11
	2.5 การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า	13
	2.6 หลักการป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้าแบบกระแสผลต่าง	20
3	การคำนวณและการสร้าง	24
	3.1 หลักการสร้างดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์	24
	3.2 หลักการทำงานของวงจร	28
	3.3 ขั้นตอนในการใช้ระบบ	40
4	การทดลองและผลการทดลอง	41
	4.1 การปรับตั้งค่าเวลา	41
	4.2 การทดสอบวงจร	42
	4.3 การใช้ค่าเวลาการตัดวงจร	51
5	บทวิจารณ์และสรุป	53
	ภาคผนวก	
	กิตติกรรมประกาศ	
	เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันระบบไฟฟ้ากำลังได้ขยายตัว และเพิ่มความสลับซับซ้อนมากขึ้น ทำให้มีความจำเป็นต้องใช้รีเลย์ป้องกันที่มีสมรรถนะสูงขึ้น และมีลักษณะสมบัติที่พิเศษมากขึ้น ลักษณะพิเศษดังกล่าวอาจทำได้โดยใช้รีเลย์แบบสแตติก ซึ่งได้มีการพัฒนาขึ้นมากในระยะหลังนี้ เนื่องจากการพัฒนาสารกึ่งตัวนำและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหลายได้ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ทำให้มีผลิตภัณฑ์รีเลย์แบบสแตติกออกมาจำหน่ายแทนรีเลย์แบบไฟฟ้า-กลมากขึ้นเรื่อย ๆ ปัญหาที่กระตุ้นให้มีการเร่งพัฒนารีเลย์แบบสแตติก คือ

- เพื่อให้ได้สมรรถนะ และลักษณะสมบัติที่ดีกว่ารีเลย์แบบไฟฟ้า-กล เช่น ทำงานได้รวดเร็ว โดยมีความถูกต้องสูงกว่า และมีความไวสูงกว่าในกรณีของรีเลย์วัดระยะทาง
- เพื่อให้ผลิตได้ง่ายกว่ารีเลย์แบบไฟฟ้า-กล
- เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษา
- เพื่อให้สามารถผลิตเป็นแบบมาตรฐานได้ง่ายกว่า

อาจกล่าวได้ว่าในปัจจุบัน การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังกว่า 75% ยังคงใช้รีเลย์แบบไฟฟ้า-กลอยู่ โดยไม่มีปัญหาที่รุนแรงใด ๆ เกิดขึ้น แต่หน้าที่และการทำงานทุกชนิดของรีเลย์แบบไฟฟ้า-กลอาจใช้รีเลย์แบบสแตติกทำงานแทนได้ และในหลายกรณีทำงานได้เร็วกว่า ทั้งในแง่สมรรถนะและราคาด้วย

ในการใช้งานของรีเลย์แบบง่าย ๆ หลายแบบ เช่น รีเลย์กระแสเกิน รีเลย์แบบหลายคอนแทค อาจจะใช้รีเลย์แบบไฟฟ้า-กลง่าย ๆ ต่อไปอีกนาน ยากที่จะใช้รีเลย์แบบสแตติกทดแทนได้ แต่ในการใช้งานที่ยุ่ยากซับซ้อนมากกว่า เช่น การป้องกันแบบระยะทาง รีเลย์แบบสแตติกเริ่มจะมีใช้มากขึ้นทุกที เนื่องจากมีสมรรถนะที่ดีกว่ามาก

ในการนำเอารีเลย์มาใช้ในระบบป้องกันนั้น มีรีเลย์อยู่หลายชนิดซึ่งในกรณีที่เป็นรีเลย์แบบดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์นี้ จะทำการวัดกระแสไฟฟ้าทั้งทางด้านอินพุทและเอาต์พุทของอุปกรณ์ในระบบที่จะทำการป้องกัน เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าทั้งสองด้าน ซึ่งจะทำการวัดทั้งในส่วนของขนาดและเฟสของกระแส อุปกรณ์ที่ใช้วัดกระแสนี้จะใช้หม้อแปลงกระแส (current transformer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือซีที ซึ่งอัตราส่วนของซีทีนี้จะต้องมีความเหมาะสมกับวงจรที่ปลายทั้งสองด้านของอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันด้วย

รีเลย์จะทำงานเมื่อเกิดสิ่งผิดปกติขึ้นมาในระบบ เพื่อป้องกันอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในเขตของการป้องกัน ซึ่งอุปกรณ์เหล่านั้นอาจเป็น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า , หม้อแปลงไฟฟ้า ฯ ความผิดปกติที่เกิดขึ้นรีเลย์จะทำการแบ่งการทำงานออกเป็นสองลักษณะ คือ การเกิดกระแสเกินและการลัดวงจร ในส่วนการเกิดกระแสเกินนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของโหลดในระบบ เช่น ในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อโหลดที่ทำการต่ออยู่มีขนาดเพิ่มขึ้น จนค่าของกระแสมีขนาดมากกว่าค่าที่พิกัด ซึ่งถ้าไม่มีอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันแล้ว เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนี้ก็จะเสียหายได้ ในส่วนของการเกิดลัดวงจรนั้นอาจจะเกิดจากการผิดพลาด (Fault) ขึ้นในระบบซึ่งอาจจะเกิดจากในส่วนของเขตที่ทำการป้องกันเอง หรืออาจเกิดการผิดพลาดนอกระบบที่ทำการป้องกันก็ได้

ส่วนที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ เรื่องของเวลาที่ต้องใช้ในการตัดวงจรของอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันออกจากระบบ ซึ่งต้องมีความเหมาะสมกับระบบที่ใช้อยู่, ขนาดของแรงดันที่ผิดปกติ รวมถึงค่าเวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในการจัดโคออร์ดิเนทของระบบ และจะต้องคำนึงถึงการทำงานที่รวมทั้งลักษณะสมบัติและรูปแบบการทำงานของอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันด้วย ในการเซ็ทเวลานี้จำเป็นต้องพิจารณาถึงขนาดของกระแสที่ผิดปกติ หรือขนาดที่มากกว่าค่าที่เราได้ตั้งเพื่ออ้างอิงเอาไว้ รวมถึงเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น เวลาการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เราจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าเวลาที่ใช้ในการทำงานของส่วนต่าง ๆ เหล่านี้ให้สอดคล้องกับหลักการป้องกันอุปกรณ์ เพื่อให้อุปกรณ์และระบบเสียหายน้อยที่สุดเมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้น

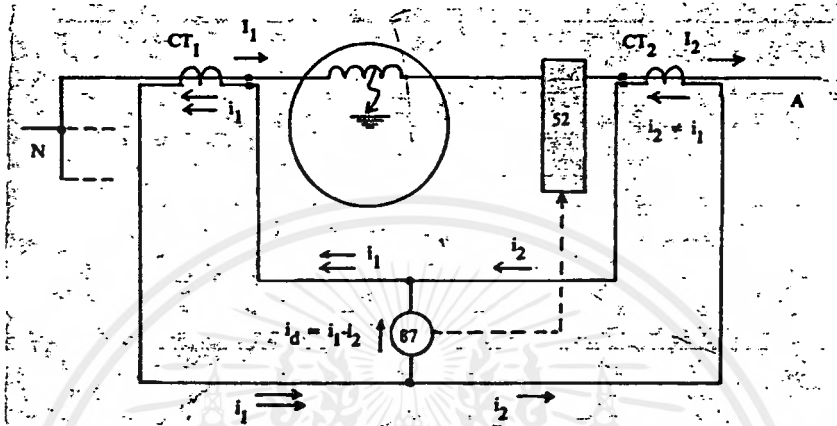
สำหรับการทดลองการเกิดผิดปกติ ที่ใช้ในการเซ็ทค่าเวลาที่ใช้ในการตัดวงจรของอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันออกจากระบบโดยใช้ดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์นี้ เราไม่สามารถที่จะสร้างการเกิดการผลิตผิดปกติจริง ๆ นี้ได้ แต่สามารถที่จะทดลองได้โดยการใช้ระบบจำลอง ซึ่งจะสมมติค่าของความผิดปกติที่เกิดขึ้นโดยจะมีค่าแรงดันที่ไม่สูงมากนัก แต่จะปรับค่าการเซ็ทเวลาของดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ ให้มีความสัมพันธ์กับขนาดของการผิดปกติที่เกิดขึ้น

เมื่อพิจารณาในส่วนของการใช้ค่าเวลา ที่ใช้ในการตัดวงจรของอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันออกจากระบบแล้ว เราก็จะมานิยามถึงการนำเอาดินเฟอเรน.ซีลรี.เลย์มาใช้ในการป้องกันอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สามารถจะนำไปใช้ในการป้องกันได้ ตามรูปแบบของการนำไปใช้ทำการป้องกัน ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในบทที่ 2 ที่จะบอกถึงลักษณะการต่อในการทำการป้องกัน ชนิดของการป้องกัน อุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกัน และลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่จะทำการป้องกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรขึ้น พิจารณารูป 2.2



รูป 2.2

จากรูป 2.2 จะเห็นว่าค่ากระแส I_1 และ I_2 มีค่าไม่เท่ากัน โดยอาจมีกระแส I_2 ไหลย้อนกลับมาที่จุดลัดวงจร หรืออาจมีแต่กระแส I_1 อย่างเดียวที่ไหลไปลงจุดลัดวงจร หรืออาจมีกระแส I_2 ไหลออกจากเครื่องไปบ้างแต่ต่ำกว่ากระแส I_1 ทำให้กระแสด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสมีค่าไม่เท่ากันและจะเกิดกระแสผลต่าง I_d (DIFFERENTIAL CURRENT) ไหลผ่านรีเลย์ เมื่อกระแสนี้มีค่ามากกว่าค่าที่ตั้งไว้รีเลย์จะทำงานโดยปิดวงจรทริปของไกต์ดวงจร ซึ่งจะตัดดวงจรแยกเอาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบ เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายลุกลามต่อไป

หลักการออกแบบสร้างคิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์นี้ ต้องคำนึงถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบนั้นเป็นลักษณะใด ถ้าเป็นการลัดวงจร รีเลย์จะทำงานแบบหน่วงเวลาคงที่ ถ้าเป็นการเกิดกระแสเกิน รีเลย์จะทำงานแบบแปรผันตามเวลา คือ ถ้ากระแสเกินมากรีเลย์จะทริปเร็ว แต่ถ้ากระแสเกินน้อยรีเลย์จะทริปช้า

2.2 การนำเอาดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ไปใช้งาน

เป็นการนำเอาดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ในปริณิธานิพนธ์ฉบับนี้ ไปใช้ในการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้ากำลัง ไม่ว่าจะเป็น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, หม้อแปลงไฟฟ้า และ อุปกรณ์อื่น ๆ อีก ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึง หลักการของการป้องกัน การทำงานเบื้องต้นของอุปกรณ์กำลังแต่ละตัว การนำเอาดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ไปต่อในระบบต่าง ๆ ซึ่งต้องคำนึงถึงอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันด้วย รวมถึงตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการทำการป้องกันอุปกรณ์ของระบบ สามารถแยกเป็นกรณี ๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.2.2 การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า

2.3 การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและขนาดกลาง อาจต่อโดยตรงกับระบบจ่ายไฟฟ้าได้ แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่มักจะต้องผ่านหม้อแปลงกำลังไฟฟ้าเข้ากับระบบสายส่ง บางครั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่และหม้อแปลงทำงานเป็นชุด หรือเป็นหน่วยเดียวกัน เรียกว่า ชุดกำเนิดหม้อแปลงไฟฟ้า (unit generator-transformer)

โรงไฟฟ้าอาจเป็นแบบที่ไม่มีคนควบคุมดูแลประจำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นขนาดเล็ก และทำงานอัตโนมัติอีกแบบหนึ่งเป็นแบบโรงไฟฟ้าที่มีคนควบคุมดูแลประจำ ซึ่งมักมีขนาดใหญ่และมีความสำคัญต่อระบบมาก การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าทั้งสองแบบนี้ย่อมต้องมีความแตกต่างกันบ้าง แล้วแต่ขนาดและความสำคัญของเครื่องที่ติดตั้งอยู่

2.3.1 การทำงานผิดปกติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

หน่วยผลิตกำลังไฟฟ้าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เป็นระบบที่ซับซ้อน ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายส่วน เช่น ขดลวดตัวนำของสเตเตอร์ ขดหม้อแปลงที่ต่อกัน โรเตอร์พร้อมด้วยขดลวดตัวนำของสนาม และ เอ็กไซเตอร์ (exciter) กังหัน (turbine) เครื่องควบแน่น (condenser) หน่วยผลิตไอน้ำ (boiler) ปัมป์ และพัดลมต่าง ๆ การทำงานผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบนี้ ที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบระบบป้องกัน มีมากกว่าส่วนอื่นใดในระบบป้องกันไฟฟ้า การทำงานผิดปกติของระบบนี้อาจแยกเป็นชนิด

ต่าง ๆ ดังนี้

- 2.3.1.1 ความผิดปกติ ที่ขดลวดฉนวนของสเตเตอร์ (stator faults)
- 2.3.1.2 การรับภาระเกินขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (overload)
- 2.3.1.3 แรงดันเกินขนาด (overvoltage)
- 2.3.1.4 การรับภาระไม่สมดุล (unbalanced loading)
- 2.3.1.5 ความผิดปกติที่โรเตอร์ (rotor faults)
- 2.3.1.6 การสูญเสียวงจรมอเตอร์ (loss of excitation)
- 2.3.1.7 การสูญเสียการเข้าจังหวะ หรือ ซิงโครนิซึม (loss of synchronism)
- 2.3.1.8 ความร้อนในเครื่องสเกินไป (overheating)
- 2.3.1.9 ความขัดข้องของเครื่องจักรต้นกำลัง (failure of prime mover)
- 2.3.1.10 ระบบสูญญากาศต่ำ (low vacuum)
- 2.3.1.11 ความขัดข้องในระบบน้ำมันหล่อลื่น (lubrication oil failure)
- 2.3.1.12 ความขัดข้องในระบบผลิตไอน้ำ (loss of boiler firing)
- 2.3.1.13 ความเร็วสเกินไป (overspeeding)
- 2.3.1.14 โรเตอร์บิดเบี้ยว (rotor distortion)
- 2.3.1.15 ความแตกต่างในการยึดตัวของส่วนที่หมุนและส่วนที่ไม่หมุน (difference in expansion between rotating and stationary parts)
- 2.3.1.16 การสั่นสะเทือนมากผิดปกติ (excessive vibration)

การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และหน่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าให้ครบถ้วนสมบูรณ์ทุกอย่างเป็นสิ่งที่ยาก ต้องพิจารณาหลายแง่หลายมุม แล้วแต่ความสำคัญของเครื่องแต่ละเครื่องที่มีต่อระบบไฟฟ้า และปัญหาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในบางครั้งที่มีระบบป้องกันซับซ้อนและมากเกินไป ระบบอัตโนมัตินี้อาจจะปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบเร็วเกินความจำเป็น ทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบได้ โดยที่การทำงานผิดปกติบางอย่าง ผู้ควบคุมดูแลอาจจะจัดการแก้ไขได้โดยไม่ต้องปลดเครื่องออกจากระบบ แต่ในบางครั้งที่มีการป้องกันน้อยเกินไปโดยหวังพึ่งผู้ควบคุมมากเกินไป เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินผู้ควบคุมจัดการไม่ทันหรือจัดการผิด ทำให้การทำงานผิดปกติคงอยู่เป็นเวลานานเกินไป และอาจลุกลามมากขึ้น การที่ไม่ปลดหรือปลดเครื่องออกช้าเกินไป ก็อาจจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างใหญ่หลวงต่อเครื่อง และต่อในระบบในการผลิตที่เครื่องที่สำคัญต้องหยุดทำงานเป็นเวลานาน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สำคัญเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก และต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การลัดวงจรในสวิตเตอร์

ฉนวนของสวิตเตอร์อาจชำรุดเสียหายได้เนื่องจาก เกิดมีแรงดันไฟฟ้าเกินขนาดในขดลวดตัวนำ หรือเนื่องจากคุณสมบัติของการฉนวน (insulation) ลดลง หรือเนื่องจากสาเหตุทั้งสองประการร่วมกัน สำหรับแรงดันไฟฟ้าสูงเกินขนาดนั้นอาจเกิดขึ้นได้ เนื่องจาก เกิดฟ้าผ่า หรือ การเปิดปิดวงจร (switching) ซึ่งมักจะพยายามป้องกันไม่ให้เข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหม้อแปลง โดยใช้อุปกรณ์ป้องกันคลื่นฟ้าผ่า (lightning arrester) หรือ อุปกรณ์เบี่ยงเบนเชิง (surge diverter) ส่วนคุณสมบัติการฉนวนลดลงนั้นมักเกิดขึ้นเนื่องจากการใช้งานมากเกินขนาด และอายุของฉนวนเอง สาเหตุทั้งสองประการนี้จะทำให้ฉนวนแห้ง และกรอบจนหมดความยืดหยุ่น (elasticity) และมีลักษณะคล้ายถ่าน (carbonized) การใช้งานมากเกินขนาดมักเกิดขึ้นเนื่องจากการใช้กระแสไฟฟ้าสูงเกินขนาด การไม่คอยดูแลและขยับขยายความร้อน หรือการปล่อยปลະละเลยเครื่องจนทำให้มีฝุ่นละอองเข้าไปจับอยู่มาก

เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นในสวิตเตอร์ จะต้องมีการรีเซ็ตเครื่องเพื่อซ่อมแซมหรือเปลี่ยนขดลวดตัวนำ ราคาค่าซ่อมแซมขดลวดตัวนำอาจไม่แตกต่างกันมากนัก เมื่อมีการลัดวงจรเกิดขึ้นในตำแหน่งเดียวหรือหลายตำแหน่ง แต่ถ้ามีการลัดวงจรเกิดขึ้นถึงแม้จะเกิดในตำแหน่งเดียว จะปล่อยทิ้งไว้รอให้เกิดขึ้นในตำแหน่งอื่นก่อนจึงค่อยซ่อมแซมไม่ได้ จะต้องทำการกำจัดเวลาที่มีการลัดวงจรให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ เนื่องจากเหตุผลสองประการ คือ เพื่อป้องกันมิให้แกนเหล็กไหม้ และเพื่อป้องกันเพลิงไหม้เมื่อฉนวนติดไฟ ซึ่งถือแม้ว่าอาร์ค (arc) จะดับแล้ว เพลิงอาจจะคงยังลุกลามต่อไปได้ ในกรณีที่แกนเหล็กไหม้คือแผ่นเหล็กของแกนเชื่อมติดกัน จะต้องรีเซ็ตขดลวดและสร้างแกนส่วนที่ชำรุดใหม่ ค่าซ่อมแซมอาจจะแพงมากและจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่ได้เป็นเวลานาน

การลัดวงจรในขดลวดตัวนำของสวิตเตอร์ มี 3 แบบ คือ

2.3.2.1 การลัดวงจรลงดิน (earth faults) ซึ่งมีโอกาสเกิดได้ง่ายกว่าอีกสองแบบที่จะกล่าวถึง เพื่อให้การป้องกันขดลวดตัวนำของสวิตเตอร์ทำได้ง่ายขึ้น มักจะต่อจุดกลาง (neutral) ของขดลวดตัวนำของสวิตเตอร์ลงดิน และโดยมากจะต่ออิมพีแดนซ์ค่าสูงพอสมควรระหว่างจุดกลางนี้กับดิน เพื่อจำกัดค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรลงดินให้มีค่าต่ำประมาณ 5 ถึง 20 แอมแปร์ เพื่อป้องกันมิให้แกนเหล็กไหม้

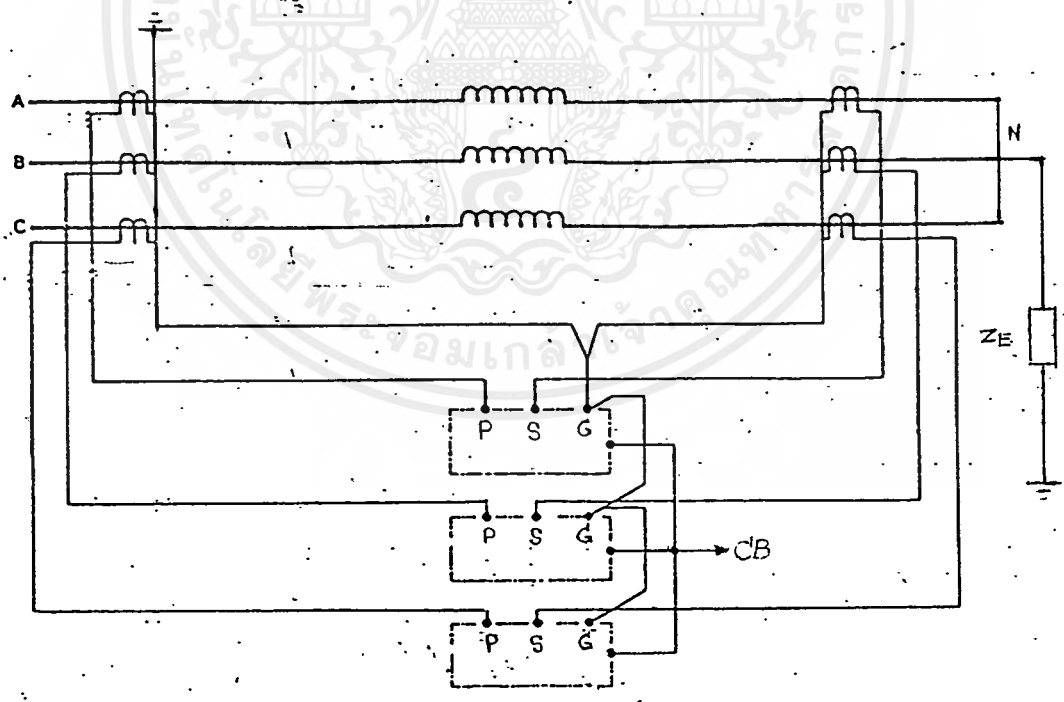
2.3.2.2 การลัดวงจรระหว่างเฟส(phase faults) มีโอกาสเกิดขึ้นได้ยากกว่าการลัดวงจรลงดิน การลัดวงจรแบบนี้เกิดขึ้นระหว่างเฟสกับเฟส และไม่เกี่ยวกับขั้วดินเลย แต่ถ้าเกิดขึ้นแล้วมักจะกลายเป็นการลัดวงจรลงดินไปในที่สุด

2.3.2.3 การลัดวงจรระหว่างขดลวด(intercorn faults) มีโอกาสเกิดขึ้นยาก และมักจะไม่มีกำบังโดยฉนวน ต้องรอให้กลายเป็นการลัดวงจรลงดินเสียก่อน ระบบป้องกันจึงจะสั่งตัดวงจร

2.3.3 การป้องกันขดลวดตัวนำของสเตเตอร์

2.3.3.1 การป้องกันแบบกระแสต่างโดยใช้ดิน.เฟอร์เรนเซียลรีเลย์

การป้องกันแบบนี้จะทำได้ก็ต่อเมื่อ ปลายของขดลวดตัวนำทั้งสองข้างของเฟสแต่ละเฟสไหลออกมาให้ต่อหม้อแปลงกระแสได้ การป้องกันแบบกระแสผลต่างจะป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟส และการลัดวงจรลงดินได้ดี รูปแบบง่าย ๆ ของการป้องกันแบบนี้ แสดงไว้ในรูป



รูป 2.3

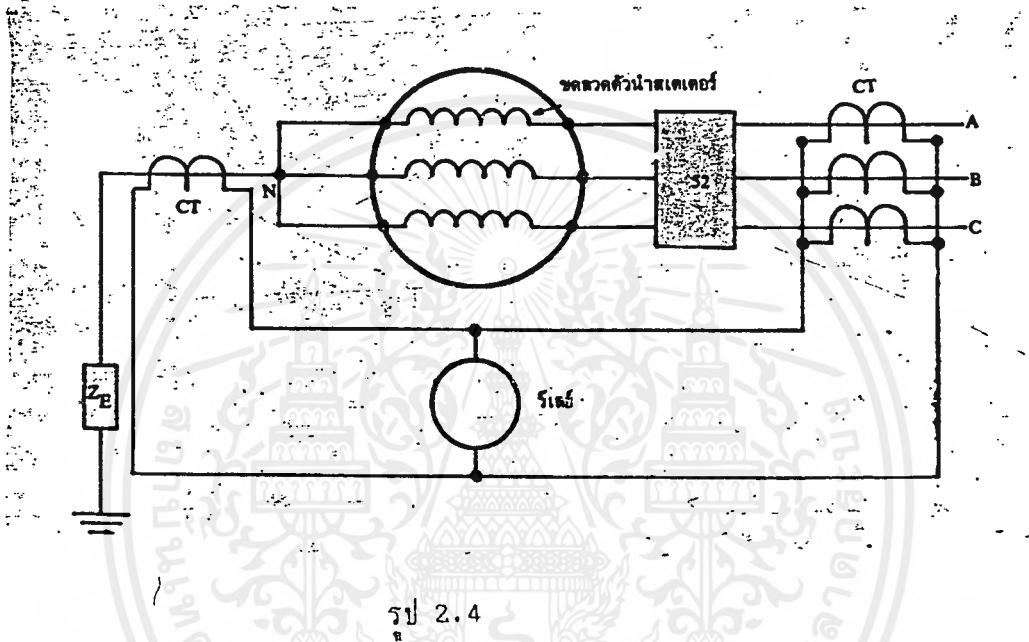
หลักการป้องกันแบบกระแสต่าง อาจพิจารณาแบบง่าย ๆ ได้ดังนี้ เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานตามปกติไม่มีการลัดวงจรเกิดขึ้น กระแสทางด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงกระแส CT₁ และ CT₂ ของกระแสแต่ละเฟสคือ I₁ และ I₂ จะมีค่าเท่ากัน ดังรูป 2.1 ถ้าหม้อแปลงกระแสทั้งสองมีขนาดและลักษณะสมบัติเหมือนกันทุกประการ และมีความผิดพลาดเท่ากัน กระแสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงทั้งสองคือ i₁ และ i₂ จะมีค่าเท่ากัน ทำให้ไม่มีกระแสผลต่างไหลผ่านรีเลย์เลย แต่ถ้ามีการลัดวงจรเกิดขึ้นในขดลวด ดังแสดงในรูป 2.2 กระแสที่ไหลที่ปลายทั้งสองข้างของขดลวดตัวนำของเฟสนั้นคือ I₁ และ I₂ จะมีค่าไม่เท่ากัน โดยอาจมีกระแส I₂ ไหลย้อนกลับเข้ามาที่การลัดวงจร หรือมีแต่กระแส I₁ อย่างเดียวที่ไหลไปลงการลัดวงจร หรืออาจมี I₂ ไหลออกจากเครื่องไปบ้าง แต่ต่ำกว่า I₁ ทำให้กระแสทางด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสมีค่าไม่เท่ากัน และจะเกิดกระแสผลต่าง i_d (differential current) ไหลผ่านรีเลย์ เมื่อกระแสนี้มีค่ามากกว่าค่าที่ตั้งไว้ รีเลย์จะทำงานโดยเปิดวงจรทริปของโกต์ลัดวงจร ซึ่งจะตัดวงจรแยกเอาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ออกจากระบบ เป็นการป้องกันความเสียหายมิให้ลุกลามต่อไป

การต่อวงจรป้องกันแบบนี้ จะสามารถป้องกันการลัดวงจรระหว่างเฟสของสเตเตอร์ได้ตลอดทั้งขดลวดตัวนำ เพราะไม่มีอิมพีแดนซ์อื่นรวมอยู่ในวงจรที่เกิดการลัดวงจรที่จะจำกัดการลัดกระแสลัดวงจรได้เลย ส่วนการลัดวงจรระหว่างขดลวดนั้น การต่อแบบนี้จะป้องกันไม่ได้เลย

ในกรณีของการลัดวงจรลงดินจะมีอิมพีแดนซ์ หรือความต้านทานที่ต่อลงดิน ซึ่งจะจำกัดค่าของกระแสลัดวงจรให้มีค่าต่ำ การที่จะป้องกันวงจรให้ครอบคลุมขดลวดตัวนำให้ได้มากที่สุด จะต้องมีการปรับตั้งค่าของรีเลย์ (relay voltage setting) ให้เหมาะสม ค่าแรงดันของรีเลย์จะตั้งราคาแรงดันตกในวงจรทุติยภูมิ กระแสปฐมภูมิต่ำสุดจะคำนวณโดยการบวกกระแสกระตุ้น (exciting losses) ของหม้อแปลงกระแสที่ต่อขนานกันที่ค่าแรงดันรีเลย์ที่ปรับตั้งไว้ และกระแสต่ำสุดที่จะทำให้รีเลย์ทำงานแล้วคุณด้วยอัตราแปลงของหม้อแปลง จะได้ค่ากระแสปฐมภูมิต่ำสุด และจะทราบว่าแรงดันลัดวงจรต่ำสุดที่จะทำให้ได้กระแสมีค่ามากเท่าไร โดยคำนึงถึงค่าความต้านทานที่ต่อลงดินด้วย แรงดันนี้จะบอกให้รู้ถึงตำแหน่งจากจุดกลาง ซึ่งเมื่อเกิดการลัดวงจรแล้วรีเลย์จะทำงาน หมายถึงรีเลย์จะป้องกันการลัดวงจรลงดินจากจุดตั้งกล่าวจนถึงขั้วของขดลวดตัวนำทางออก ส่วนการลัดวงจรซึ่งเกิดระหว่างจุดนี้กับจุดกลาง จะทำให้กระแสต่ำเกินกว่าที่รีเลย์จะทำงาน วงจรแบบนี้จะป้องกันการลัดวงจรลงดินได้เกือบตลอดขดลวด

2.3.3.2 การป้องกันเฉพาะการลัดวงจรลงดิน (Restricted Earth Fault Protection)

ในกรณีที่ไม่มีขั้วสายแต่ละเฟสทางด้านจุดกลางโผล่ออกมาให้ต่อหม้อแปลงกระแสได้ หรือ เมื่อต้องการป้องกันเฉพาะการลัดวงจรลงดินเพียงอย่างเดียวเท่านั้น อาจใช้การป้องกันเฉพาะการลัดวงจรลงดิน ดังแสดงในรูป 2.4



2.4 แนวปฏิบัติในการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เทคนิคที่ใช้ในการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับการลัดวงจร และการทำงานผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นได้นั้นมีมากมาย การป้องกันที่ได้กล่าวมาแล้วเป็นแบบที่สำคัญ ๆ เท่านั้น การที่จะออกแบบระบบป้องกันเครื่องที่สมบูรณ์นั้นเป็นไปได้ยาก และจะขึ้นอยู่กับการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นเกณฑ์ด้วย

2.4.1 การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้านขนาดใหญ่

สำหรับเครื่องขนาดใหญ่ มูลค่าของเครื่องเองและของระบบมักจะมีสูงอยู่แล้ว ดังนั้นอาจคิดป้องกันเครื่องให้มากที่สุด และดีที่สุดในที่ที่จะทำได้ แต่เรื่องนี้ก็จะไม่จริงเสมอไป จะต้องพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้องกันบางอย่างนั้นควรทำหรือไม่ในแง่การลงทุน และการเสี่ยงในการที่จะไม่ทำมีมากน้อยแค่ไหน เป็นการยากที่จะบอกว่าจะต้องถึงแค่ไหนจึงจะเพียงพอ แต่หลักการใหญ่ ๆ จะมีดังนี้

2.4.1.1 การป้องกันแบบกระแสผลต่าง ควรทำในทุกกรณีที่สามารถทำได้ สำหรับป้องกันขดลวดตัวนำของสเตเตอร์

2.4.1.2 การป้องกันกระแสซีควเอนซ์ลบ (negative sequence protection) ควรทำสำหรับเครื่องแบบที่ต่อกับกังหันไอน้ำ (turbine-generator) ส่วนเครื่องแบบอื่นอาจทำเฉพาะในบางกรณีเท่านั้น

2.4.1.3 การป้องกันการลัดวงจรลงดินในโรเตอร์ ควรทำในทุกกรณีเช่นกัน

2.4.1.4 การป้องกันการสูญเสียเชิงโครนิสซิม และการสูญเสียสนาม อาจพิจารณาทำสำหรับเครื่องขนาดใหญ่ ส่วนเครื่องที่เล็กกว่า 60 Mw อาจต้องพิจารณาเป็นกรณี ๆ ไป แล้วแต่ลักษณะสมบัติของระบบ

2.4.1.5 การป้องกันความร้อนสูงเกินไป ควรทำในรูปของตัวชี้บอก (indicator) หรือการให้สัญญาณเตือนไม่ใช่การตัดวงจร ในกรณีที่ เป็นเครื่องที่มีคนควบคุม ส่วนเครื่องที่ไม่มีคนควบคุม อาจต้องพิจารณารีเลย์ในส่วนของการทำงานแบบกระแสเกิน โดยถ่วงเวลาการทำงานนานหรือการวัดอุณหภูมิแบบอื่นด้วย

2.4.1.6 การป้องกันการทำงานเป็นมอเตอร์ เนื่องจากการสูญเสียเครื่องจักรต้นกำลัง มักไม่จำเป็นสำหรับเครื่องที่มีคนควบคุม แต่สำหรับเครื่องดีเซลหรือเครื่องอื่นที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้มาก อาจต้องพิจารณา

2.4.2 การป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก มักไม่จำเป็นต้องป้องกันมากและสมบูรณ์เท่ากับเครื่องขนาดใหญ่ เนื่องจากมูลค่าและความสำคัญของเครื่องมีน้อยกว่ามาก หลักการใหญ่ ๆ ที่นิยมใช้กัน คือ

2.4.2.1 เครื่องขนาด 5 MVA หรือต่ำกว่า อาจป้องกันโดยใช้กระแสผลต่างแบบเฉพาะการลัดวงจรลงดินเท่านั้น ความจริงราคาอาจไม่ต่างกับการป้องกันแบบกระแสผลต่างที่สมบูรณ์มากเท่าไร แต่อาจจะจำเป็นเพราะสายทางด้านจุดกลางมักมีขั้วโผล่ออกมาแค่เส้นเดียว

2.4.2.2 การป้องกันซีควเอนซ์ลบมักไม่จำเป็นต้องทำ ยกเว้นกรณีที่มีโอกาสเกิดขึ้นบ่อย

2.4.2.3 การป้องกันการลัดวงจรลงดินในโรเตอร์และการสูญเสียสนาม มักไม่จำเป็นต้องทำ ยกเว้นกรณีพิเศษจริง ๆ

2.5 การป้องกันหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นตัวเชื่อมที่สำคัญที่สุดตัวหนึ่งของระบบไฟฟ้า และเป็นเครื่องที่ลักษณะสมบัติ และลักษณะพิเศษบางอย่างที่อาจจะแตกต่างกันมากสำหรับเครื่องต่าง ๆ ทำให้การป้องกันอย่างสมบูรณ์ทำได้ยาก การจะเลือกระบบป้องกันสำหรับหม้อแปลง อาจจะต้องพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นเกณฑ์ด้วย เนื่องจากหม้อแปลงอาจจะมียี่ห้อแตกต่างกันมากในระบบส่งและจ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยอาจมีพิกัดตั้งแต่ไม่กี่ KVA จนถึงหลายร้อย MVA ดังนั้นในกรณีหม้อแปลงขนาดเล็ก อาจจะต้องป้องกันในลักษณะที่ง่ายและถูกที่สุด ส่วนหม้อแปลงขนาดใหญ่จะต้องออกแบบระบบป้องกันที่เหมาะสมสำหรับความสำคัญของหม้อแปลงตัวนั้น

2.5.1 การลัดวงจรในหม้อแปลง

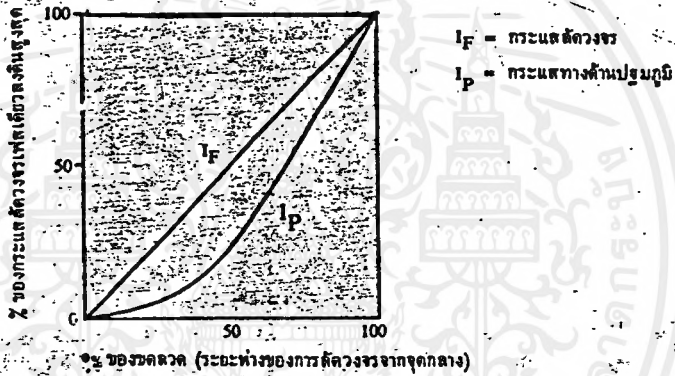
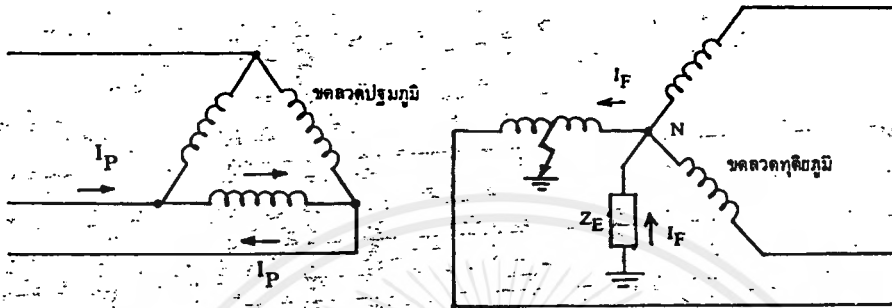
ขนาดของกระแสลัดวงจรในหม้อแปลง นอกจากจะถูกจำกัดโดยแหล่งจ่าย (source) และอิมพีแดนซ์ที่ต่อลงดินจากจุดกลาง (neutral earthing impedance) แล้ว ยังจะขึ้นอยู่กับลิกเกจรีแอคแตนซ์ (leakage reactance) ของหม้อแปลงเอง และแรงดันที่จุดลัดวงจรซึ่งต่างจากแรงดันของระบบ แล้วแต่ว่าการลัดวงจรเกิดขึ้นในตำแหน่งใดของขดลวดตัวนำ

ลักษณะดังกล่าวนี้จะแตกต่างกันไป แล้วแต่การต่อของขดลวดตัวนำของหม้อแปลงด้วย ซึ่งจะได้พิจารณาเฉพาะในแบบที่สำคัญ ๆ เท่านั้น

2.5.1.1 หม้อแปลงต่อเป็น Y และต่อจุดกลางลงดินผ่านอิมพีแดนซ์

การลัดวงจรลงดินที่เกิดขึ้นที่ขดลวดตัวนำของหม้อแปลงที่ต่อแบบนี้ จะทำให้เกิดกระแสลัดวงจรไหล ค่าของกระแสที่ไหลจะขึ้นอยู่กับค่าของอิมพีแดนซ์ที่ต่อลงดินนั้น และจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจรจากจุดกลาง เพราะแรงดันที่การลัดวงจรจะขึ้นอยู่กับระยะห่างนี้

สัดส่วนการแปลง (transformation ratio) ระหว่างขดลวดตัวนำปฐมภูมิ และขดลวดที่ลัดวงจร (short circuit turns) จะเปลี่ยนไปตามตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจรด้วย ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านขั้วของหม้อแปลงจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของขดลวดตัวนำที่ลัดวงจรยกกำลังสอง ลักษณะของกระแสลัดวงจร และกระแสในขดลวดปฐมภูมิจะเป็นดังในรูป 2.5

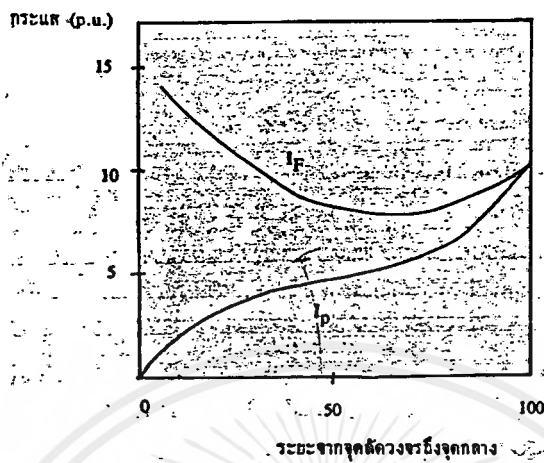


รูป 2.5

2.5.1.2 หม้อแปลงต่อเป็น Y และต่อจุดกลางลงดินโดยตรง

ในกรณีนี้กระแสลัดวงจรจะถูกจำกัดโดยลิกเกจรีแอคแทนซ์ของขดลวดตัวนำโดยตรง ซึ่งค่ารีแอคแทนซ์นี้จะแปรเปลี่ยนไปตามตำแหน่งของการลัดวงจรในลักษณะที่ค่อนข้างจะยุ่งยาก ค่าของแรงดันที่จุดลัดวงจรซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของการลัดวงจรก็จะมีค่าสำคัญเหมือนกัน แต่ค่ารีแอคแทนซ์ในกรณีนี้จะลดลงอย่างรวดเร็วมาก ถ้าการลัดวงจรเกิดขึ้นใกล้จุดกลางทำให้กระแสลัดวงจรมีค่าสูงสุดในตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจรใกล้กับจุดกลาง การเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรจะเป็นดังแสดงในรูป 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.6

กระแสลัดวงจรจะมีค่าสูงตลอดทั้งขดลวด ไม่ว่าจะการลัดวงจรจะเกิดขึ้นที่ใดและในที่นี้ก็จะสังเกตได้ว่ากระแสที่ไหลเข้าทางด้านปฐมภูมิ I_p ก็จะมีค่าสูงสำหรับการลัดวงจรส่วนใหญ่ในขดลวดดังนั้นอาจสรุปได้ว่าเมื่อไม่มีอิมพีแดนซ์ต่อระหว่างจุดกลางกับดิน กระแสจะมีค่าสูงกว่ากรณีข้อ 2.5.1.1

2.5.1.3 หม้อแปลงต่อเป็นแบบ Δ

เมื่อต่อขดลวดตัวนำของหม้อแปลงเป็นแบบ Δ จะไม่มีจุดใดเลยที่มีค่าแรงดันจากดิน ต่ำกว่า 50 % ของแรงดันของเฟส ดังนั้นความเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสลัดวงจรจึงมีไม่มากเหมือนในกรณีที่ต้องเป็น Y ค่าจริง ๆ ของกระแสลัดวงจรจะยังคงขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อลงดินของระบบอีกประการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ค่าของอิมพีแดนซ์ของ Δ สำหรับกระแสลัดวงจรของการลัดวงจรที่เกิดขึ้นแถวกลาง ๆ ขดลวดจะมีค่าสูงราว ๆ 25-50 % คิดเทียบกับพิกัดของหม้อแปลง (โดยไม่ขึ้นอยู่กับค่าอิมพีแดนซ์ในกรณีปกติ) เนื่องจากแรงดันก่อนลัดวงจรในตำแหน่งให้ล่านั้นมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของแรงดันปกติของเฟส ค่าของกระแสลัดวงจรอาจจะมีค่าไม่เกินค่ากระแสที่กำหนด (rated current) ของหม้อแปลงเอง และอาจต่ำกว่าค่านี้ด้วยซ้ำไป ถ้าตัวจ่ายหรือระบบต่อลงดินโดยผ่านอิมพีแดนซ์ค่าสูงพอสมควรกระแสจะไหลมาจากปลายทั้งสองข้างของขดลวดตัวนำมาลงที่จุดลัดวงจร และจะแบ่งไหลมาในอีกสองเฟส ดังนั้นกระแสที่ไหลในเฟสแต่เฟสอาจมีค่าต่ำ ซึ่งจำเป็นต้องจำไว้เพื่อพิจารณาระบบป้องกัน

2.5.1.4 การลัดวงจรระหว่างเฟส

การลัดวงจรระหว่างเฟสมักจะไม่ค่อยเกิดขึ้นในหม้อแปลง แต่ถ้าเกิดขึ้นจะทำให้เกิดกระแสลัดวงจร ค่าสูงเปรียบเทียบกับกระแสลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงดิน ในข้อ 2.5.1.2

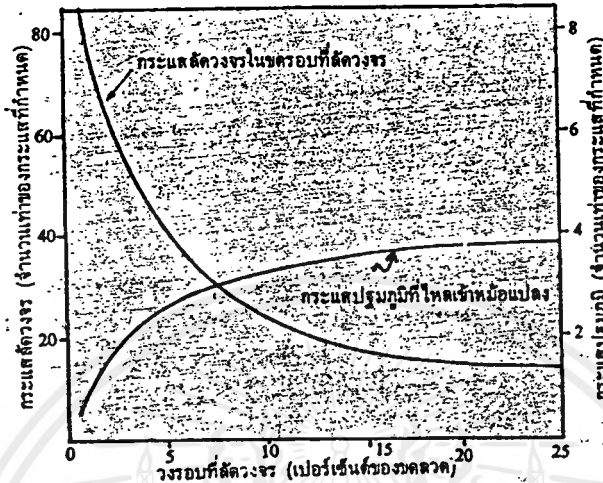
2.5.1.5 การลัดวงจรระหว่างวงรอบของขดลวด (Interturn Faults)

ในหม้อแปลงแรงดันต่ำมักไม่ค่อยเกิดการชำรุดเสียหาย ของฉนวนระหว่างรอบของขดลวด ตัวนำยักเว้นว่าจะเกิดมีความเค้นทางกล (stress) อย่างรุนแรง เนื่องจากการลัดวงจรภายนอกทำให้ฉนวนแตกหรือแยกตัว หรือถ้ามีความชื้นเข้าไปอยู่ในน้ำมันก็อาจจะทำให้การฉนวนเสื่อมลงได้

สำหรับหม้อแปลงแรงดันสูงซึ่งตั้งอยู่กับสายส่งแรงดันสูงแบบชิงในสายอากาศ จะมีโอกาสถูกแรงดันแบบอิมพัลส์ (impulse) ซึ่งสูงชัน ซึ่งมีค่าที่ยอดหลายเท่าของแรงดันที่กำหนดของระบบ แรงดันอิมพัลส์หรือเซ็จจากสายนี้ จะมีผลมากต่อรอบของขดลวดที่อยู่ตรงปลายของขดลวดตัวนำ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่แรงดันอิมพัลส์เข้ามากระทบการฉนวนของขดลวดส่วนที่อยู่ทางด้านปลายนี้ มักจะต้องมีการเสริมให้มากขึ้น แต่ก็ไม่สามารถทำให้สูงเหมือนการฉนวนกับดินซึ่งมีค่าสูงได้ ดังนั้นจึงมีโอกาสเกิดการลัดวงจรบางส่วนในขดลวดตัวนำ (winding partial flash-over) ได้มากกว่าที่จะเกิดการลัดวงจรลงดิน จากสถิติพบว่าความเสียหายของหม้อแปลงจะเกิดขึ้นจากการลัดวงจรระหว่างขดลวดเสียเป็นส่วนใหญ่ (ประมาณ 70%-80%) ถึงแม้บางครั้งจะหาสาเหตุไม่ได้แน่นอนว่าจะเป็นการลัดวงจรระหว่างรอบขดลวด เนื่องจากการลัดวงจรได้ลุกลามไปมากถ้าไม่มีการล่วงรู้ได้ทัน

การลัดวงจรระหว่างขดรอบไม่ก็รอบของขดลวดตัวนำ จะทำให้เกิดกระแสลัดวงจรค่าสูงขึ้นในวงรอบที่เกิดการลัดวงจรนั้น แต่กระแสที่เกิดจากขั้วของหม้อแปลงจะมีค่าน้อย เนื่องจากอัตราการแปลงซึ่งมีค่าสูงระหว่างขดลวดตัวนำทั้งขดและขดรอบที่ลัดวงจร

รูป 2.7 จะแสดงค่าของกระแสลัดวงจร และกระแสทางต้านปรุภูมิของหม้อแปลง ซึ่งมีค่าอิมพีแดนซ์ปกติ 3.25% โดยการลัดวงจรระหว่างขั้วรอบเกิดขึ้นตรงกลาง ๆ ของขดลวดตัวนำ



รูป 2.7

2.5.1.6 การลัดวงจรที่แกนเหล็กของหม้อแปลง (core fault)

ถ้าฉนวนระหว่างแผ่นเหล็กที่ใช้ทำแกน เกิดชำรุดจะทำให้เกิดกระแสไหลวน (eddy-current) ค่าสูงพอที่จะทำความร้อนสูงขึ้นได้ ตัวยึด (bolts) ซึ่งอัดแกนเข้าไว้ด้วยกันมักจะมีฉนวนเพื่อป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ ถ้าฉนวนของแกนส่วนใดส่วนหนึ่งเกิดชำรุด ความร้อนสูงเกินขนาดที่เกิดขึ้นอาจจะมีค่าสูงพอที่จะทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้นมากเป็นที่ ๆ (local heating) จะไม่ทำให้กระแสที่ไหลเข้า เปลี่ยนแปลงมากจนเห็นได้ชัด และไม่สามารถจะมองเห็น หรือรู้ได้ด้วยวิธีป้องกันทางไฟฟ้าแบบธรรมดา แต่ก็ควรจะรู้อย่างทันทั่วๆ ก่อนที่การลัดวงจรจะลุกลามไปมากถ้าหม้อแปลงเป็นแบบแช่อยู่ในน้ำมันจะทำได้ไม่ลำบากนัก เพราะถ้าความร้อนขึ้นสูงพอที่จะเป็นอันตรายต่อฉนวนของขดลวดตัวนำน้ำมันก็จะสูงพอที่จะให้น้ำมันแยกตัวเกิดเป็นแก๊สขึ้น และถ้าใช้รีเลย์บุคโฮลซ์ (Buchholz) จะสามารถป้องกันได้อย่างดี

2.5.1.7 ความผิดปกติที่ถึงหม้อแปลง (Tank Fault)

การรั่วของน้ำมันออกจากถังของหม้อแปลง จะทำให้เกิดสภาพที่อันตรายต่อหม้อแปลงเองมาก

นอกจาก จะทำให้การฉนวนของขดลวดตัวนำลดลงแล้ว ยังอาจทำให้เกิดความร้อนสูงเกินขนาด (overheating) เนื่องจากการระบายความร้อนจะเลวลง

ครวกัน (sludge) ของน้ำมันอาจจะอุดตันที่ระบายความร้อนทำให้หม้อแปลงร้อนขึ้นมากกว่าปกติ นอกจากนี้ถ้าระบายระบายความร้อนแบบมีเครื่องช่วย (forced cooling) ของหม้อแปลงขนาด ใหญ่ ๆ เกิดใช้การไม่ได้ก็จะทำให้เกิดผลคล้าย ๆ กัน

2.5.1.8 สาเหตุจากภายนอก

สาเหตุที่จะทำให้เกิดความเค้นอย่างรุนแรง ซึ่งเกิดจากสาเหตุภายนอก มีดังนี้

2.5.1.8.1 การรับภาระเกินขนาด

2.5.1.8.2 การลัดวงจรในระบบ

2.5.1.8.3 แรงดันสูงเกินไป

2.5.1.8.4 ความถี่ของระบบลดต่ำลง

2.5.1.9 กระแสล่อเลี้ยงสนามแม่เหล็กในระยะเริ่มเข้า (Magnetizing Inrush)

เมื่อมีการล่อเลี้ยงหม้อแปลง จะเกิดกระแสที่เริ่มไหลเข้าไปล่อเลี้ยงสนามแม่เหล็กในระยะเริ่มแรก ซึ่งไม่ใช้การลัดวงจร เมื่อเราใช้รีเลย์แบบป้องกันกระแสผลต่างจะเห็นเหมือนกับเป็นการลัดวงจรภายในหม้อแปลง ซึ่งในกรณีเช่นนี้ระบบรีเลย์ไม่ควรจะทำงาน ค่าสูงสุดของกระแสเริ่มเข้าในบางกรณีอาจมีค่าถึง 8 หรือ 10 เท่าของกระแสไหลดเต็มที่สุดสุด แผลเตอร์ที่จะควบคุมขนาดและช่วงเวลาของการเริ่มเข้าล่อเลี้ยงจะขึ้นอยู่กับขนาดของหม้อแปลง, ขนาดของระบบ, ความต้านทานในระบบจากแหล่งจ่ายถึงหม้อแปลง, ชนิดของเหล็กที่ใช้ในหม้อแปลง และฟลักซ์ตกค้าง (residual flux)

กระแสเริ่มเข้านี้จะมีค่าสูงสุด ถ้าเริ่มล่อเลี้ยงหม้อแปลงเมื่อคลื่นแรงดันมีค่าเท่ากับ 0 หรือใกล้ ๆ กับ 0 ที่เวลานี้กระแสและฟลักซ์ควรจะมีค่าสูงสุด ในวงจรที่เป็นแบบที่มีความเหนี่ยวนำสูง และช่วงครึ่งหนึ่งของคลื่นแรงดันจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์เป็น 2 เท่าของค่าฟลักซ์สูงสุด ถ้ามีฟลักซ์ตกค้างอยู่ในแกนเหล็ก เนื่องจากถูกล่อเลี้ยงมาก่อนแล้ว ฟลักซ์นี้อาจไปเพิ่มหรือลดฟลักซ์รวมทั้งหมด และจะไปเพิ่มหรือลดค่าของกระแสที่เริ่มต้นเข้าของหม้อแปลงโดยปกติ หม้อแปลงกำลังจะทำงานที่จุดใกล้ ๆ กับช่วงงอ (knee) ของเส้นแสดงการอิ่มตัวของแกนเหล็ก ดังนั้นฟลักซ์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อล่อเลี้ยงหม้อแปลงที่คลื่นแรงดันมีค่า 0 รวมทั้งฟลักซ์ตกค้างด้วย (ถ้ามี) จะทำให้แกนเหล็กอิ่มตัวอย่างมาก

และจะทำให้ค่ากระแสหล่อเลี้ยงวงจรแม่เหล็กเพิ่มขึ้น

รูปร่างของกระแสที่เริ่มเข้าไปหล่อเลี้ยงหม้อแปลงแสดงไว้ดังรูป 2.8

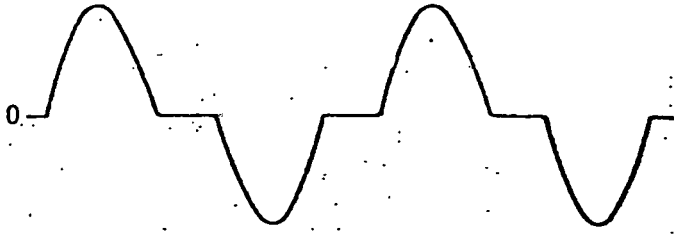


รูป 2.8

กระแสเริ่มเข้าจะลดลงอย่างรวดเร็วในรอบ (cycle) แรก ๆ และจะลดลงอย่างช้า ๆ ในช่วงรอบถัดมา บางครั้งใช้เวลา 4-5 วินาที จึงจะหมดช่วงเปลี่ยนแปลงในกรณีค่าความต้านทานต่ำ ค่าคงที่เวลา (time constant) ของวงจร (L/R) มีค่าไม่คงที่เพราะ L จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการอิ่มตัวของหม้อแปลง เส้นคลุมจุดยอด (envelope) ของกระแสที่เปลี่ยนแปลง จึงมีลักษณะไม่เป็นเอ็กโพเนนเชียลแท้ ๆ สำหรับหม้อแปลงขนาด 100 kVA ค่าคงที่เวลาอาจเป็น 0.1 วินาที ถ้าเครื่องขนาดใหญ่กว่าก็จะสูงกว่านี้

การหล่อเลี้ยงหม้อแปลงที่เวลาอื่นของคลื่นแรงดันจะให้ค่าของกระแสเริ่มเข้าต่ำกว่านี้ และถ้าเลือกหล่อเลี้ยงในจุดที่ฟลักซ์ตกค้างมีค่าที่ควรจะเป็นในขณะนั้น เมื่ออยู่ในสภาวะคงตัว (steady state) จะไม่มีกระแสเปลี่ยนแปลงซึ่งมีค่าลดลงเลย และจะมีกระแสคงตัวในสภาวะไม่มีไหลคั่นที่

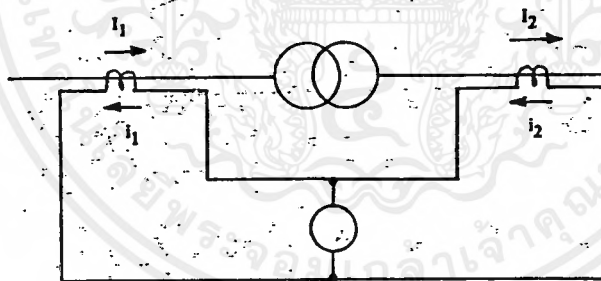
ในกรณีของหม้อแปลงแบบ 3 เฟส จุดของคลื่นแรงดันที่มีในเฟสแต่ละเฟสเมื่อหล่อเลี้ยงหม้อแปลงจะไม่ใช้จุดเดียวกัน ดังนั้นในเฟสทั้ง 3 จะมีกระแสเริ่มเข้าต่างกันด้วย จะมีรบกวนซึ่งกันและกันระหว่างเฟส เนื่องจากฟลักซ์ของเฟสจะรวมกันในโยค (yokes) ของหม้อแปลงได้ข้างเหมือนกัน ดังนั้นถึงแม้ว่าในกรณีที่จุดของคลื่นแรงดันที่หล่อเลี้ยงจะไม่ทำให้มีกระแสช่วงเปลี่ยนแปลงในตัวของมันเอง ก็จะมีกระแสเริ่มเข้าซึ่งอาจมีค่าสูงพอสมควรได้ ในกรณีนี้รูปคลื่นของกระแสจะไม่เอียงไปจากแกน 0 เหมือนในกรณีที่เห็นมาแล้ว แต่จะมีลักษณะซึ่งเบี่ยงไปข้างตั้งแสดงในรูป 2.9



รูป 2.9

2.6 หลักการป้องกันหม้อแปลงแบบกระแสผลต่าง

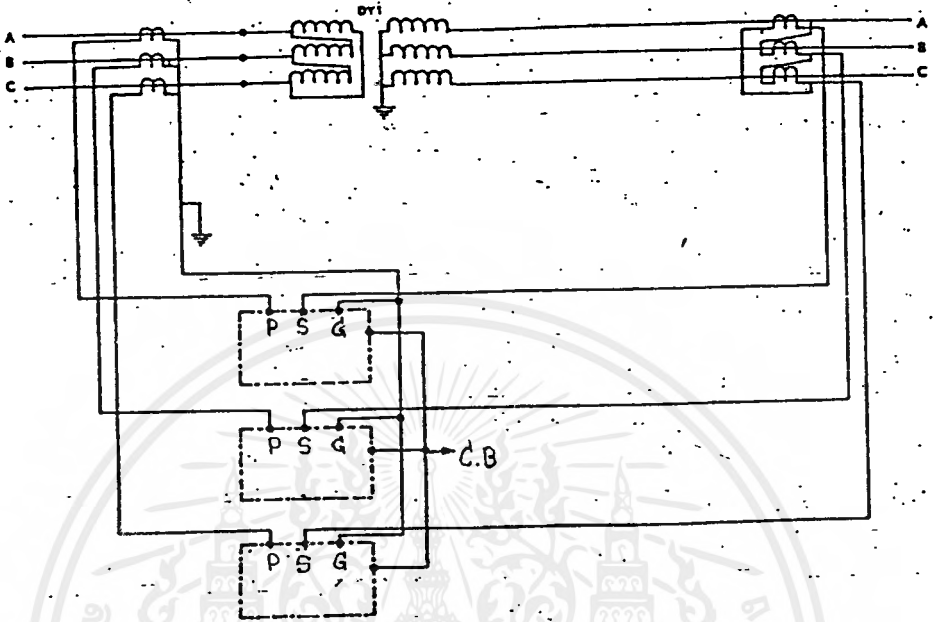
เนื่องจากหม้อแปลงมีประสิทธิภาพสูง มีความสูญเสียในแกนเหล็กและในทองแดงต่ำ จำนวนแอมแปร์-รอบ (ampere-turns) ของทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิมีค่าประมาณเท่ากัน จึงสามารถจะจัดระบบการป้องกันแบบกระแสต่างสำหรับหม้อแปลงทั้งตัวได้ ดังแสดงในรูป 2.10



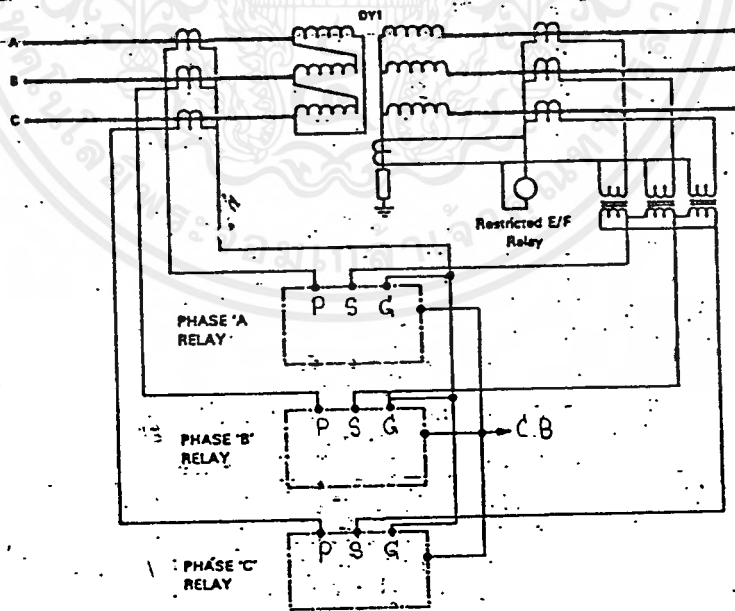
รูป 2.10

ถ้าเลือก CT ได้เหมาะสม ทางด้านทุติยภูมิจะมีกระแส $i_1 = i_2$ และไม่มีกระแสไหลผ่านรีเลย์ แต่ถ้า $i_1 \neq i_2$ จะมีกระแสผลต่าง $i_1 - i_2$ ไหลผ่านตัวรีเลย์ทำให้รีเลย์ทำงาน หลักการนี้จะป้องกันหม้อแปลงได้ดี ถึงแม้ว่าการลัดวงจรที่เกิดขึ้นจะน้อย เช่น 0.5-10% ของขดลวดเท่านั้นก็ตาม หลักการทำงานจะคล้ายกับที่กล่าวมาแล้วในการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

พิจารณาการนำเอาดีเฟอลเรนเชียลรีเลย์มาทำการป้องกันหม้อแปลง ซึ่งอยู่ในระบบสามเฟสที่มีการต่อแบบ DY₁ ดังแสดงในรูป 2.11 และ 2.12



รูป 2.11



รูป 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อที่ควรคำนึงถึงเมื่อให้การป้องกันแบบกระแสลต่างกับหม้อแปลง คือ

2.6.1 อัตราส่วนการแปลง (transformer ratio)

ควรเลือกหม้อแปลงกระแสให้มีพิกัดของขดลวดปฐมภูมิ ให้พอเหมาะกับกระแสของหม้อแปลงทางด้านที่ต่ออยู่ กระแสทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลงจะเป็นอัตราส่วนกลับกับแรงดันของหม้อแปลงเอง เช่น หม้อแปลงขนาด 20 MVA 115^Y/69^Δ อาจเลือก CT ดังนี้

ด้าน 115 kV ใช้ CT 150/5 ต่อ Y

ด้าน 69 kV ใช้ CT 250/5 ต่อ Δ

2.6.2 การต่อหม้อแปลง

ถ้าหม้อแปลงต่อเป็น Y/Δ กระแสผ่านหม้อแปลงแบบ 3 เฟสสมมูลย์ จะมีมุมเปลี่ยนไป 30 องศา ดังนั้นจึงต้องต่อ CT ให้เหมาะสมกับตัวอย่างในข้อ ก. หลักทั่ว ๆ ไปคือ ถ้า CT ต่ออยู่ทางด้าน Y ของหม้อแปลง CT จะต้องต่อเป็น Δ และจะต่อ CT เป็น Y ทางด้าน Δ ของหม้อแปลง

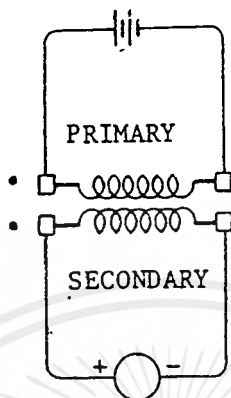
เมื่อต่อ CT เป็น Δ จะต้องลดพิกัดทางด้านทุติยภูมิลงมา 1/√3 ของพิกัด ที่ต่อแบบ Y เพื่อให้กระแสออกจาก Δ สมมูลย์กับกระแสที่ออกจาก CT ที่ต่อแบบ Y ได้

2.6.3 หม้อแปลงที่มีการเปลี่ยนแทป (tap-changing)

จะต้องมีการคำนึงถึงด้วย เพราะถึงแม้ว่าจะเลือก CT ให้สมมูลย์แล้ว เมื่อมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของหม้อแปลง เมื่อมีการเปลี่ยนแทปจะทำให้เกิดกระแสไม่สมมูลย์ทันที เพราะอัตราส่วนการแปลงจะเปลี่ยนไป ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงจุด ๆ นี้ด้วย

2.6.4 การตรวจสอบโพลาริตีของซีที

เราจะใช้วิธี ดี.ซี. เทสต์ (D.C. Test) ดังรูปที่ 2.11



รูป 2.11

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ทางด้านปฐมภูมิของซีที จะต้องต่อขั้วที่มีเครื่องหมายกำกับ (เช่น ".") เข้ากับขั้วบวกของถ่านไฟฉายที่ต่ออนุกรมกัน 2 ถ่าน
- ทางด้านทุติยภูมิของซีที จะต้องต่อขั้วที่มีเครื่องหมายกำกับ เข้ากับขั้วบวกของ ดี.ซี. แอมมิเตอร์ (D.C. Ammeter) ซึ่งมีขนาด 5 แอมป์ หรือต่ำกว่านี้ (ขึ้นอยู่กับขนาดของซีที)

หากเข็มของดี.ซี. แอมมิเตอร์กระดิกถูกทาง แสดงว่าเครื่องหมายที่ขั้วของซีทีถูกต้อง ข้อควรระวังของการใช้วิธีการทดสอบแบบนี้คือ ไม่ควรทดสอบซีทีโดยวิธีนี้เป็นเวลานานหรือหลายครั้ง เพราะการทำเช่นนั้น จะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กตกค้างอยู่ในแกนเหล็ก ซึ่งจะมีผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

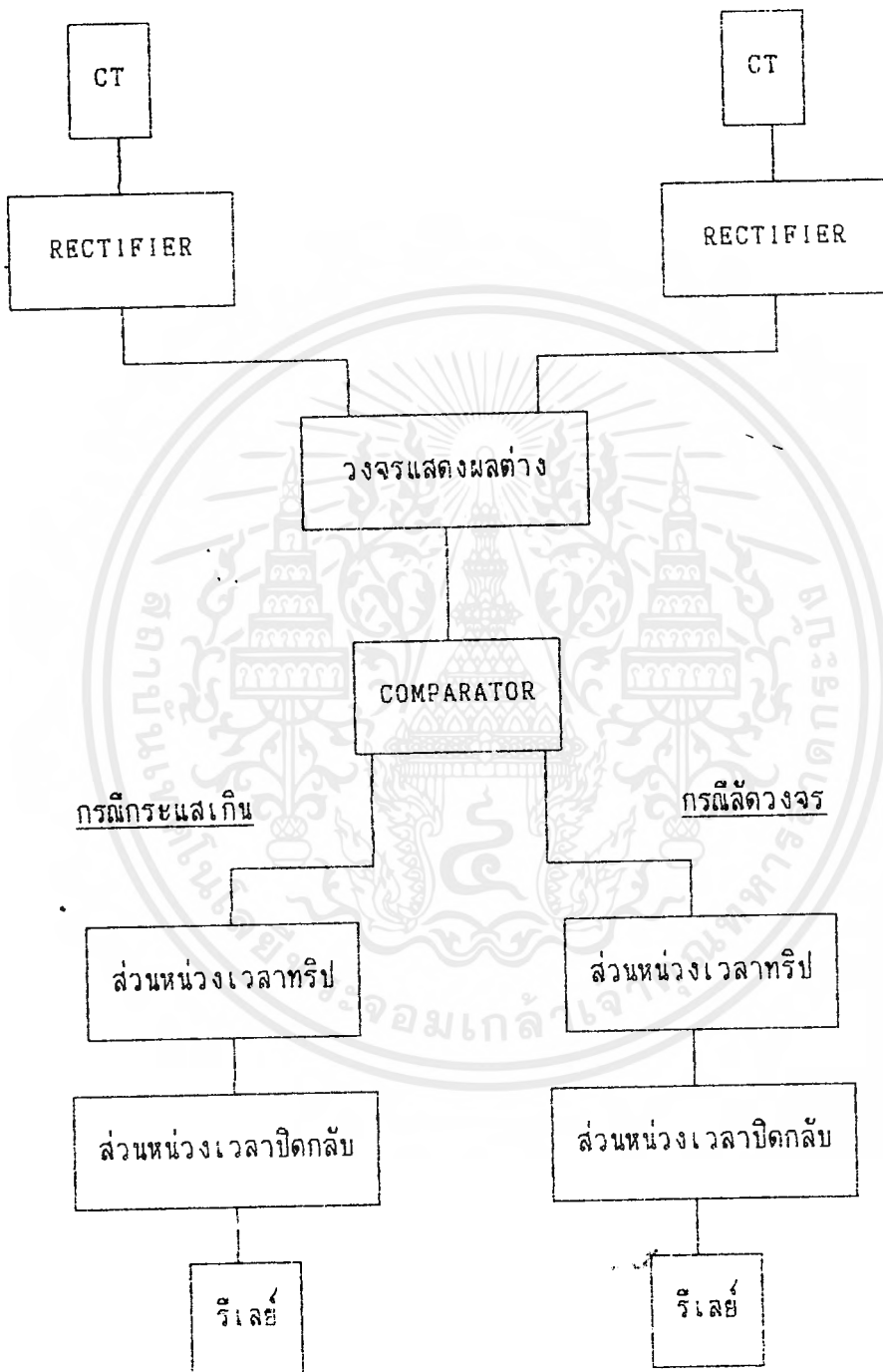
ในการที่เราจะนำเอาดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์นี้ เพื่อใช้ในการแก้ไขสภาวะผิดปกติต่าง ๆ ที่เราต้องทำการจำลองขึ้นมา โดยใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนใหญ่ และหลักการที่สำคัญก็คือ การเปรียบเทียบของขนาดสัญญาณ 2 สัญญาณ โดยสัญญาณหนึ่งจะเป็นสัญญาณอ้างอิงที่เราทำการสร้างขึ้น มา ส่วนอีกสัญญาณหนึ่งจะเป็นสัญญาณที่รับมาจากอินสทรูเมนต์ ทรานส์ฟอร์มเมอร์ ซึ่งจะแสดงถึงการดำเนินงานจริง ๆ ในระบบขณะนั้นว่าเป็นอย่างไร

3.1 หลักการสร้างดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์

ในสภาวะปกติ สัญญาณทั้งสองนี้ควรมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน แต่เมื่อใดที่สัญญาณทั้งสองนี้ต่างกันเกินกว่าค่าที่เราตั้งไว้ รีเลย์ก็จะทำงานโดยส่งสัญญาณเอาต์พุตออกไปสั่งให้แมกเนติก คอนแทคเตอร์ (magnetic contactor) ซึ่งเราจะใช้ทำงานแทนเซอร์กิตเบรกเกอร์ (เพราะค่ากระแสลัดวงจรที่เราสร้างขึ้นมานั้นมีค่าไม่มากนัก

เรากำหนดให้ดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ทำงานเป็น 2 ลักษณะ คือ กรณีเกิดการลัดวงจรขึ้น ดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์จะทำงานแบบตั้งเวลาคงที่ (definite time) และกรณีเกิดการกระแสวิกหรือกระแสสูงกว่าปกติ ดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์จะทำงานแบบแปรผันตามเวลา (inverse time) คือ ถ้ากระแสเกินมากรีเลย์ก็จะทริปเร็ว (หน่วงเวลาน้อย) แต่ถ้ากระแสเกินน้อยรีเลย์ก็จะทริปช้า (หน่วงเวลามาก) ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญดังรูป 3.1

พิจารณารูปล๊อคไคอะแกรมแสดงการทำงานของดีเฟอเรนเชียลรีเลย์



รูป 3.1

รายละเอียดของส่วนประกอบต่าง ๆ จากรูปลัดไดอะแกรม

- ซีที (Current Transformer)

CT ซึ่งต่ออนุกรมกับสายเฟส ณ ตำแหน่งที่เราต้องการป้องกัน จะวัดปริมาณของกระแสทางดำนินพุท และเอาที่พุทแล้วจะส่งสัญญาณที่อยู่ในรูปกระแสนั้นไปยังส่วนเรคตีฟลายเออร์ ซึ่งจะต้องเลือกขนาดของ CT ให้เหมาะสมกับระบบที่ทำการป้องกัน CT จะทำงานอยู่ตลอดเวลาที่ระบบทำงาน

- ส่วนเรคตีฟลายเออร์

เป็นส่วนที่นำสัญญาณในรูปกระแสที่รับมาจาก CT มาทำการแปลงให้อยู่ในรูปของคักตาไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

- ชุดแสดงผลต่าง

เป็นส่วนวัดผลต่างของสัญญาณที่วัดมาจากดำนปรุหมุมิและทุติยภูมิ ซึ่งในวงจรแสดงผลเปรียบเทียบจะทำการหาขนาดที่แตกต่างกันระหว่างอินพุททั้งสอง และเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ตั้งไว้ แล้วจึงส่งสัญญาณไปยังส่วนเปรียบเทียบต่อไป

- คอมพาราเตอร์ (Comparator)

เป็นส่วนที่ใช้เปรียบเทียบปริมาณของกระแสว่ามีค่ามากน้อยเท่าไร โดยจะตั้งแรงดันเปรียบเทียบเป็นสองระดับ คือ

1. ระดับปริมาณกระแสมาก ในกรณีเกิดการลัดวงจร
2. ระดับปริมาณกระแสเล็กน้อย ในกรณีเกิดกระแสเกิน

เมื่อสัญญาณที่ได้รับเข้าสู่การทำงานของวงจร ก็จะทำการแยกสัญญาณนั้นเมื่อเทียบกับระดับแรงดันที่ได้ตั้งไว้ ไปสู่ส่วนการทำงานขั้นต่อไปตามขนาดของสัญญาณที่ได้รับมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีเกิดลัดวงจร

- ส่วนหน่วงเวลาทริป

หลังจากได้รับสัญญาณจากส่วน COMPARATOR แล้วก็เริ่มหน่วงเวลา แต่เป็นการหน่วงเวลาแบบคงที่ และจะมีค่าน้อย ๆ (ใช้เพื่อจัดการโคออร์ดิเนชั่นของดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ทั้งหมดในระบบ) เมื่อครบกำหนดเวลาแล้วก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนหน่วงเวลาปิดกลับต่อไป

- ส่วนหน่วงเวลาปิดกลับ

ในกรณีเกิดการลัดวงจร ถ้าไม่มีการหน่วงเวลาเอาไว้ รีเลย์เมื่อทำการทริปไปแล้วก็จะปิดกลับเข้าไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งถ้าอุปกรณ์ตัดตอนกระแสยังทำการตัดวงจรจากระบบไม่เรียบร้อยก็อาจทำให้เกิดการทำงานผิดพลาดขึ้นมาได้ ดังนั้นเราจึงต้องทำการหน่วงเวลาเอาไว้เล็กน้อย เพื่อให้สัมพันธ์กับการทำงานของแมคเนติกคอนแทคเตอร์ ในระบบป้องกันหลัก

- รีเลย์

รีเลย์จะรับสัญญาณจากส่วนหน่วงเวลาปิดกลับแล้วก็ส่งให้ COIL ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำการเปิดวงจรของระบบป้องกันออก การทำงานในส่วนนี้เราใช้ไอซีไทม์เมอร์ 555 ต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิล (monostable multivibrator) เพื่อหน่วงเวลา โดยเราสามารถปรับค่าเวลาได้ว่า จะให้รีเลย์เปิดค้างนานเท่าไร แล้วจึงทำการปิดกลับเข้ามาในวงจรอีกที (auto reclose) ซึ่งถ้าในระบบยังแก้ไขการผิดปกติไม่ได้ วงจรก็จะเริ่มทำงานในลักษณะข้างต้นอีกครั้งหนึ่ง

กรณีเกิดกระแสเกิน

- ส่วนหน่วงเวลาทริป

ส่วนนี้จะทำการหน่วงเวลาตามค่ากระแสที่เกิน คือ จะแปรผันตามเวลา ถ้ากระแสเกินมาก เวลาหน่วงจะเร็ว แต่ถ้ากระแสเกินน้อย เวลาหน่วงก็จะช้า เมื่อครบเวลาหน่วงแล้วก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนหน่วงเวลาปิดกลับ

- ส่วนหนึ่งเวลาปิดกลับ

ในส่วนนี้สามารถปรับตั้งค่าเวลาได้ว่า จะให้รีเลย์เปิดค้างนานเท่าไร แล้วจึงทำการปิดกลับเข้ามาในวงจรอีกที ซึ่งถ้าในระบบยังแก้ไขการผิดปกติไม่ได้ วงจรก็จะเริ่มทำงานในลักษณะข้างต้นอีกครั้งหนึ่ง

- รีเลย์

รีเลย์จะรับสัญญาณจากส่วนหนึ่งเวลาปิดกลับ แล้วจะส่งให้ COIL ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำการเปิดวงจรของระบบออก ซึ่งการทำงานจะเหมือนกับในส่วนของกรณีเกิดการลัดวงจร

จากหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ ในตัวดีเฟนเซอร์เรียลรีเลย์ที่กล่าวมาข้างต้น เราสามารถนำมาออกแบบวงจรได้ดัง รูป 3.2

3.2 หลักการทำงานในส่วนต่าง ๆ ของวงจร

จากลักษณะการทำงานของแต่ละส่วนประกอบต่าง ๆ ดังกล่าว เมื่อพิจารณาในรูปวงจร สามารถที่จะแบ่งส่วนต่าง ๆ ของวงจรตามลักษณะของการทำงานที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้ดังนี้

- ส่วนที่ 1 เป็นส่วนของการปรับตั้งแรงดันที่ใช้ในการอ้างอิง ว่าแรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อมีความผิดปกติจะอยู่ในลักษณะใด คือ เกิดกระแสเกิน หรือ เกิดการลัดวงจร

- ส่วนที่ 2 เป็นการทำงานปรับตั้งค่าต่าง ๆ เมื่อเกิดกระแสเกิน ซึ่งวงจรในส่วนนี้จะทำงานในย่านการผิดปกติที่เป็นลักษณะการเกิดกระแสเกินเท่านั้น เมื่อการผิดปกติอยู่ในรูปของการเกิดลัดวงจรวงจรในส่วนนี้จะไม่ทำงาน

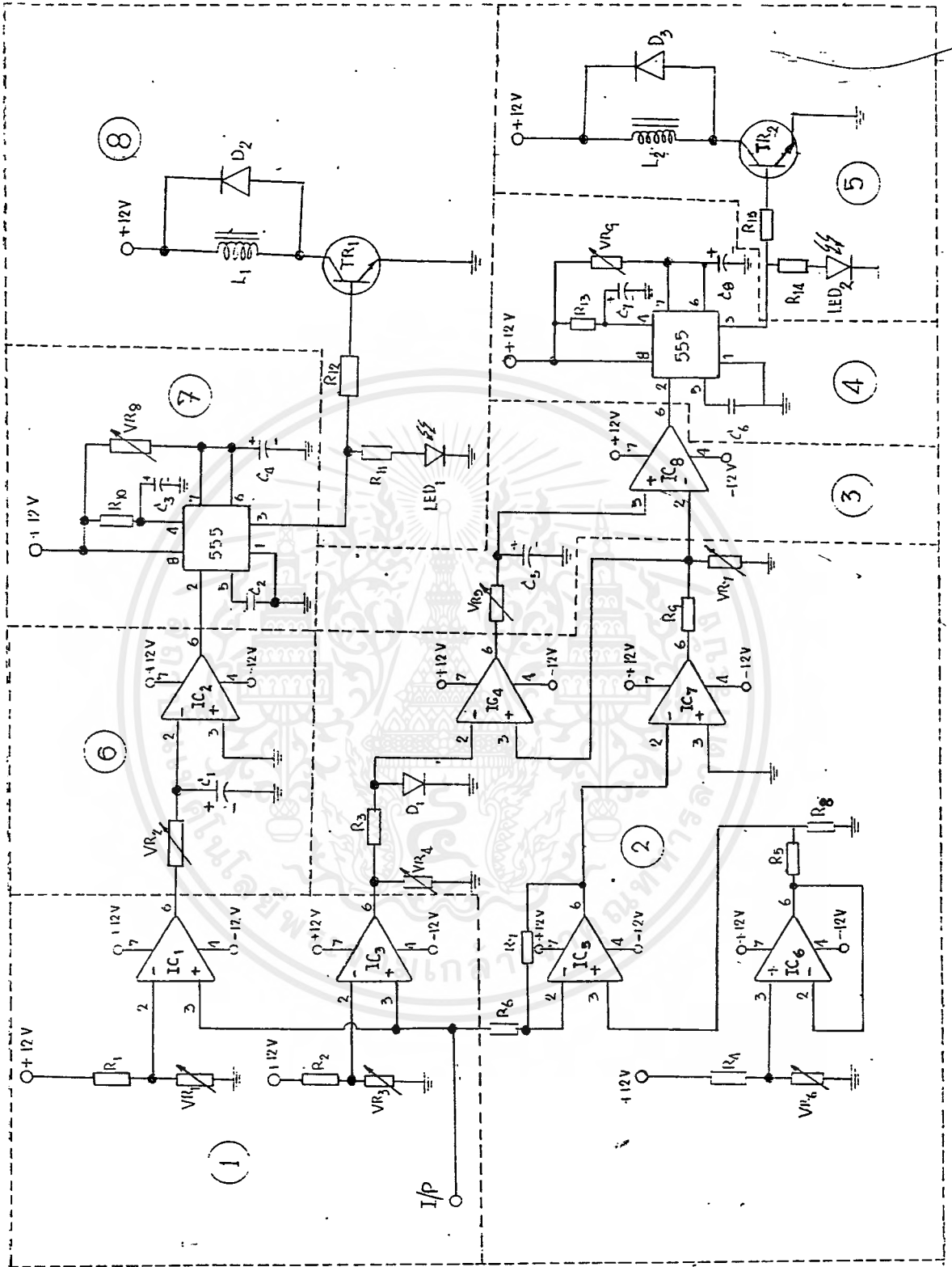
- ส่วนที่ 3 เป็นวงจรส่วนที่ใช้ในการปรับตั้งค่าเวลาที่ใช้ในการหน่วง เพื่อให้สัมพันธ์กับขนาดของการเกิดกระแสเกิน ซึ่งทำงานเป็นลักษณะอินเวอร์สไทม์

- ส่วนที่ 4 เป็นวงจรที่ใช้ในการหน่วงเวลาปิดกลับ ซึ่งเมื่อถึงเวลาที่ได้ออกมาแล้ว วงจรส่วนนี้จะทำให้ดีเฟนเซอร์เรียลรีเลย์ทำงานตามปกติอีกครั้งหนึ่ง แต่ถ้ายังอยู่ในสภาวะของกระแสเกินอยู่ วงจรส่วนนี้จะทำงานตามลักษณะเดียวกันกับในตอนแรกต่อไป

- ส่วนที่ 5 เป็นวงจรที่ใช้ในการสั่งให้อุปกรณ์รีเซ็ตของระบบ คือ เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำงานเมื่อเกิดสภาวะกระแสเกินเกิดขึ้น
- ส่วนที่ 6 เป็นวงจรที่ใช้ในการหน่วงเวลา สำหรับเมื่อเกิดสภาวะลัดวงจร ซึ่งจะปรับตั้งค่าไว้ที่เวลาน้อย ๆ
- ส่วนที่ 7 เป็นวงจรที่ใช้ในการหน่วงเวลาปิดกลับ มีการทำงานลักษณะเดียวกับกรณีเกิดกระแสเกิน
- ส่วนที่ 8 เป็นส่วนที่ใช้ในการสั่งให้อุปกรณ์ตัดคอนของระบบทำงาน

ดังนั้นจะเห็นได้ว่า เราสามารถที่จะแบ่งส่วนต่าง ๆ ของวงจรที่ทำงานตามลักษณะการเกิดผิดปกติได้คือ จากวงจร เมื่อระบบอยู่ในสภาวะการเกิดกระแสเกิน วงจรในส่วนที่ 1, 2, 3, 4, 5 จะทำงาน แต่เมื่อระบบอยู่ในสภาวะเกิดการลัดวงจรขึ้น วงจรในส่วนที่ 1, 6, 7, 8 จะทำงาน

พิจารณารูปที่ 3.2 ในส่วนของบล็อกไดอะแกรมตั้งแต่ส่วนหน่วงเวลาไปจนถึงส่วนหน่วงเวลาปิดกลับและรีเซ็ต ซึ่งเป็นวงจรหลักแสดงเป็นรูปวงจรดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงรายการอุปกรณ์ของ วงจรหลักของดีพีเฟอเรนเชียลรีเลย์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR ₁ , VR ₂ , VR ₃	Variable Resistor 0.25 w	10 K	3
VR ₄ , VR ₆ , VR ₇	Variable Resistor 0.25 w	10 K	3
VR ₅	Variable Resistor 0.25 w	500 K	1
VR ₈ , VR ₉	Variable Resistor 0.25 w	50 K	2
R1	Carbon Resistor 0.25 w	2 K	1
R2, R4, R11, R12	Carbon Resistor 0.25 w	1 K	4
R13, R14, R15	Carbon Resistor 0.25 w	1 K	3
R3, R5, R6, R7	Carbon Resistor 0.25 w	10 K	3
R8, R9	Carbon Resistor 0.25 w	10 K	4
R10, R13	Carbon Resistor 0.25 w	47 K	2
C1, C3, C4	Electrolytic Capacitor 16 v	1000 μ F	3
C5, C7, C8	Electrolytic Capacitor 15 v	1000 μ F	3
C2, C6	Dipmica 50 v	0.01 μ F	2
D1, D2, D3	Signal Diode	1N 4148	3
LED1, LED2	LED (Color Red)		2
Tr1, Tr2	Transistor ; NPN	BC 337	2
IC1, IC2, IC3, IC4	IC ; OP-AMP	μ A 741	4
IC5, IC6, IC7, IC8	IC ; OP-AMP	μ A 741	4
RL1, RL2	Relay 12 v , 3 A		2

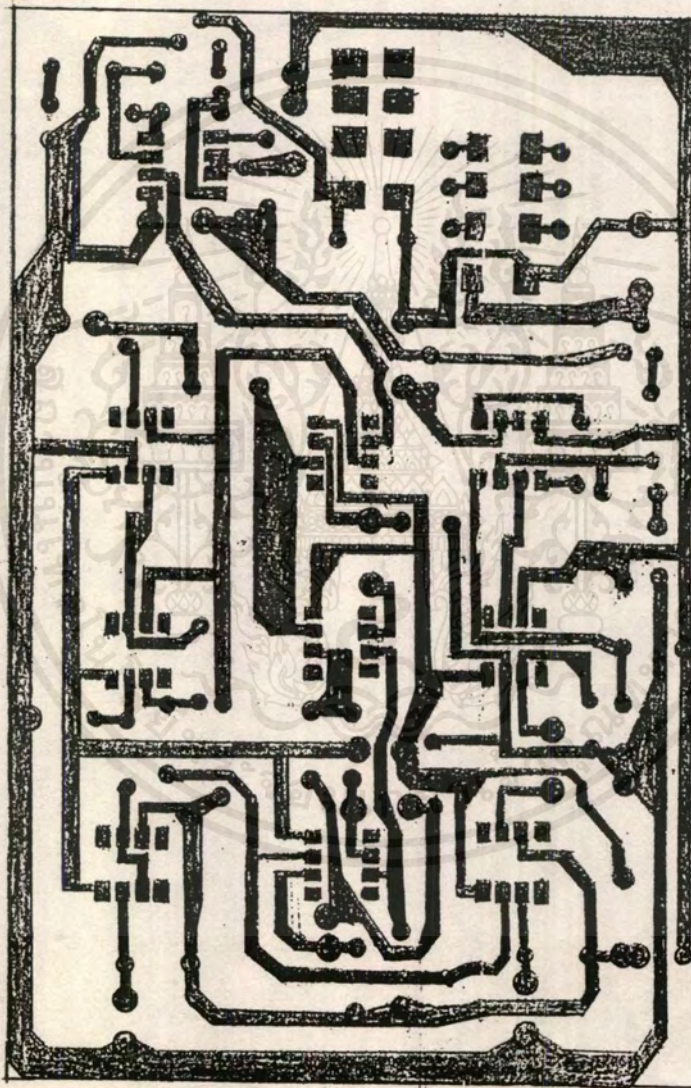
หมายเหตุ

+Vcc : +12 v

-Vcc : -12 v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

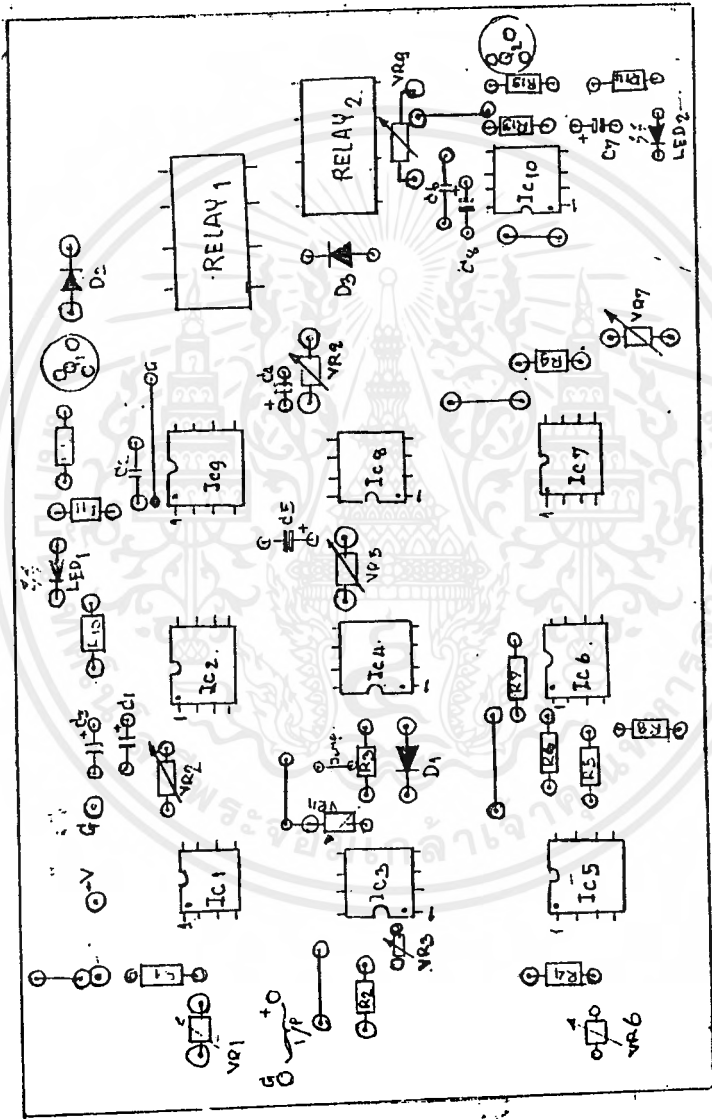
รูป 3.3 แสดงลายวงจรบนแผ่นปริ้นท์ของดีฟเฟอเรนเชียลซีลีย์ ในส่วนของวงจรหลัก



รูป 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

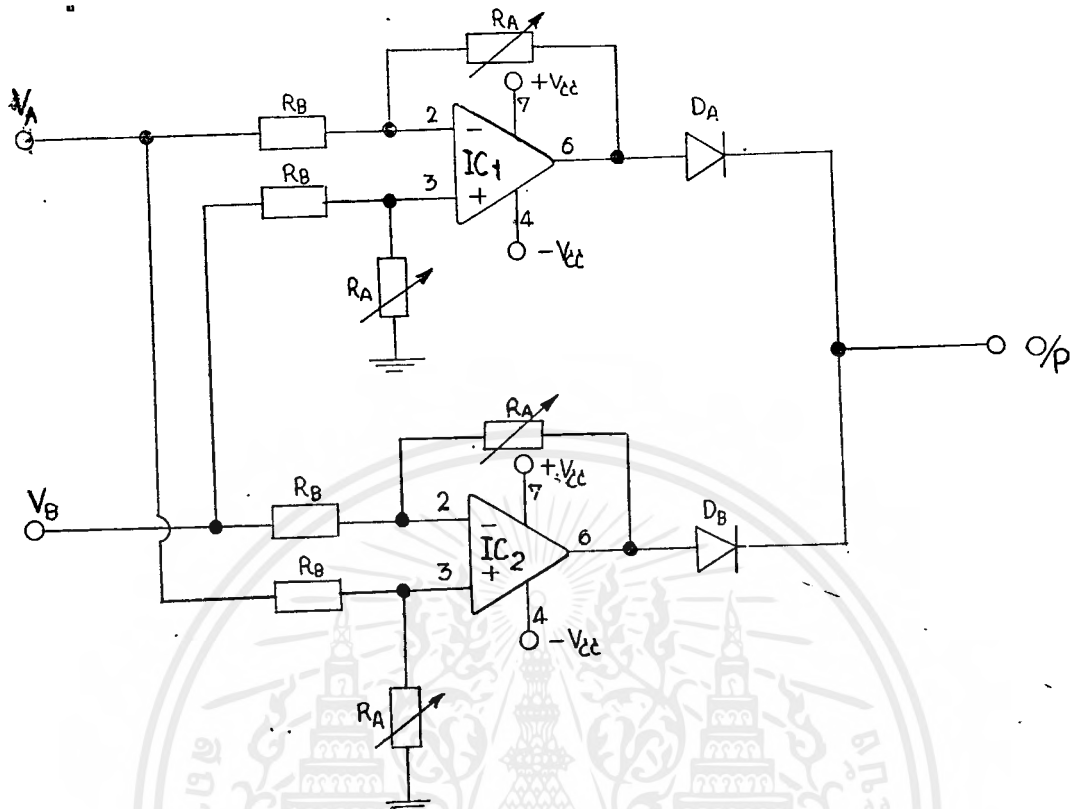
รูป 3.4 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ในส่วนของวงจรหลัก



รูป 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.5 แสดงวงจรของส่วน Comparator จากบล็อกไดอะแกรม



รูป 3.5

แสดงรายการอุปกรณ์ของส่วน Comparator

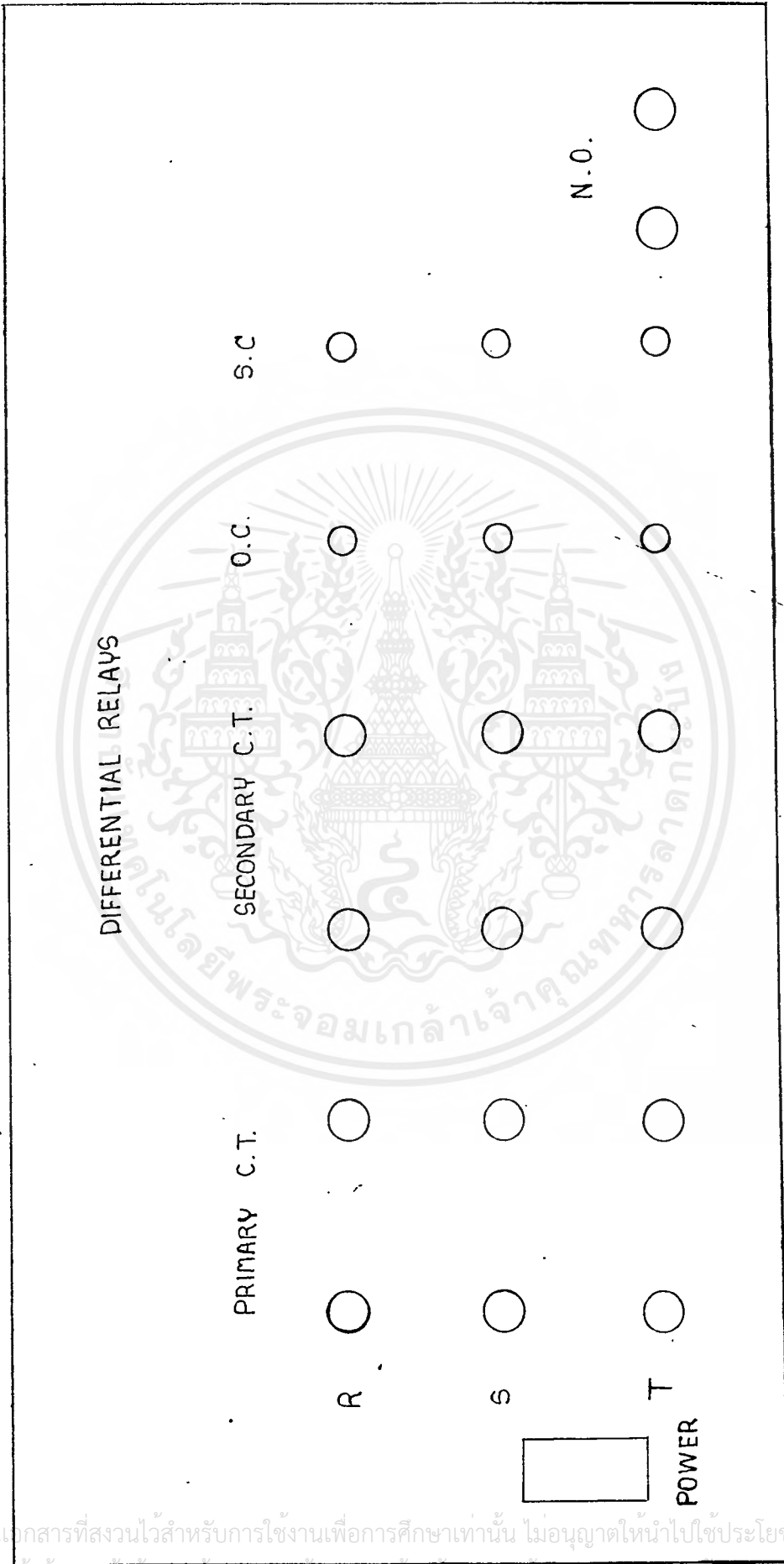
หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
R_B	Carbon Resistor 0.25 w	1 K	4
VR_A	Variable Resistor 0.25 w	50 K	4
IC1, IC2	IC Op-Amp	μA 741	2
D_A	Signal Diode	1N 4148	2

หมายเหตุ

+Vcc : +12 v

-Vcc : -12 v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.8 แสดงรายละเอียดของส่วนต่าง ๆ บนหน้าปัทม์ของดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ ซึ่งสามารถแยกออกเป็นส่วน ๆ ตามลักษณะของการทำงาน ดังนี้

- ส่วนอินพุท

เป็นส่วนที่รับสัญญาณอินพุทซึ่งเป็นสัญญาณของแรงดันกระแสสลับ เมื่อเราต่อความต้านทานค่า ๆ หนึ่งเข้ากับซีที เพื่อที่จะแปลงสัญญาณกระแสที่ได้รับมาจากการต่อซีที มาอยู่ในรูปของแรงดันกระแสสลับ ซึ่งแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนปฐมภูมิและส่วนทุติยภูมิของอุปกรณ์ที่ทำการป้องกัน จะเห็นได้ว่าแยกออกเป็น 3 เฟส คือ R,S,T

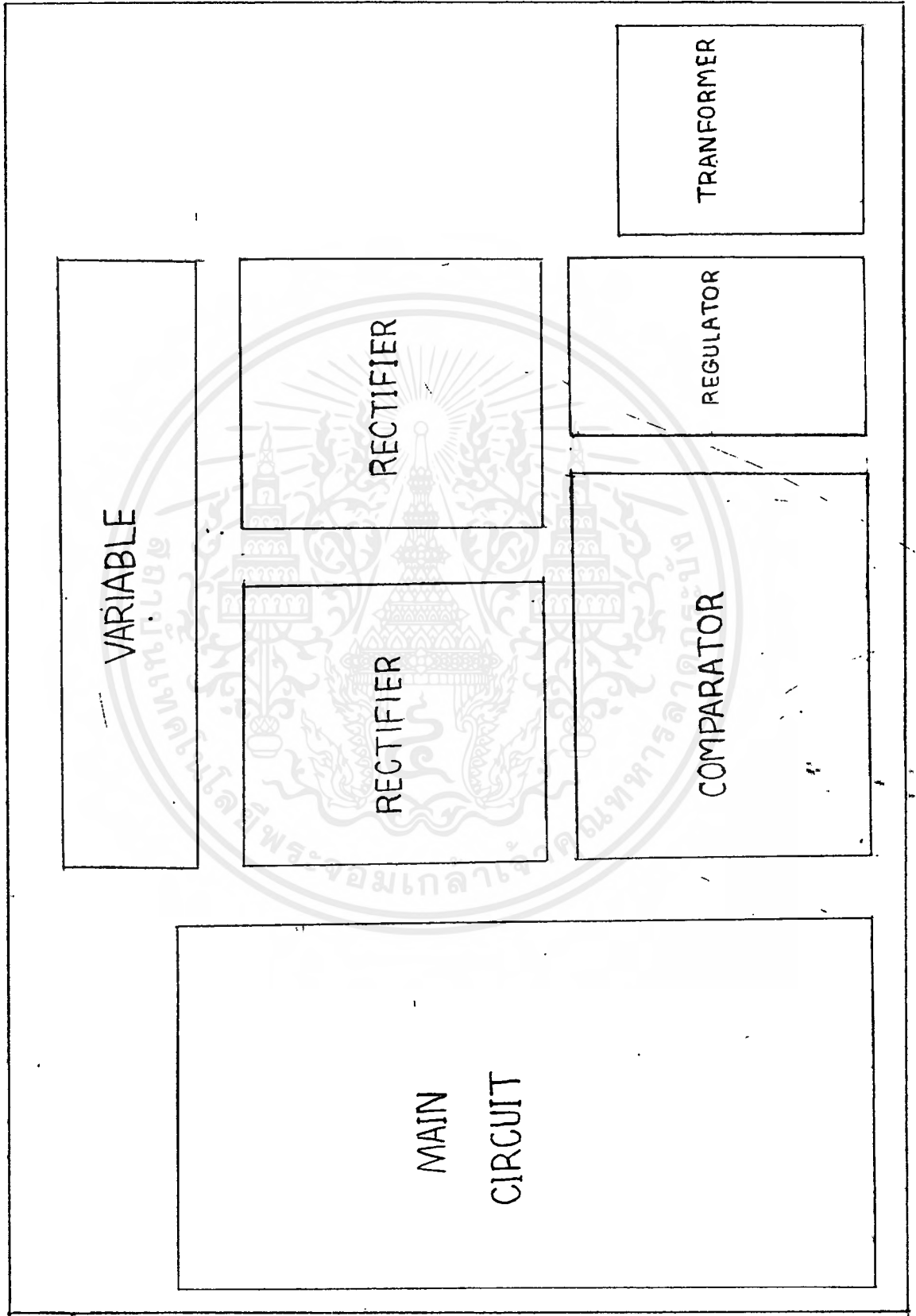
- ส่วนเอาต์พุท

เป็นส่วนแสดงสัญญาณเอาต์พุทของวงจรถูก ซึ่งอยู่ในส่วนของวงจรถูกหลักในส่วนที่ 5 และ 8 จากรูปจะเห็นว่าคือ ขั้ว N.O. (normal open) ซึ่งจะส่งสัญญาณเอาต์พุทนี้ไปสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำการตัดตอนเอาอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันออกจากระบบอีกทีหนึ่ง

- ส่วนแสดงผลการทำงาน

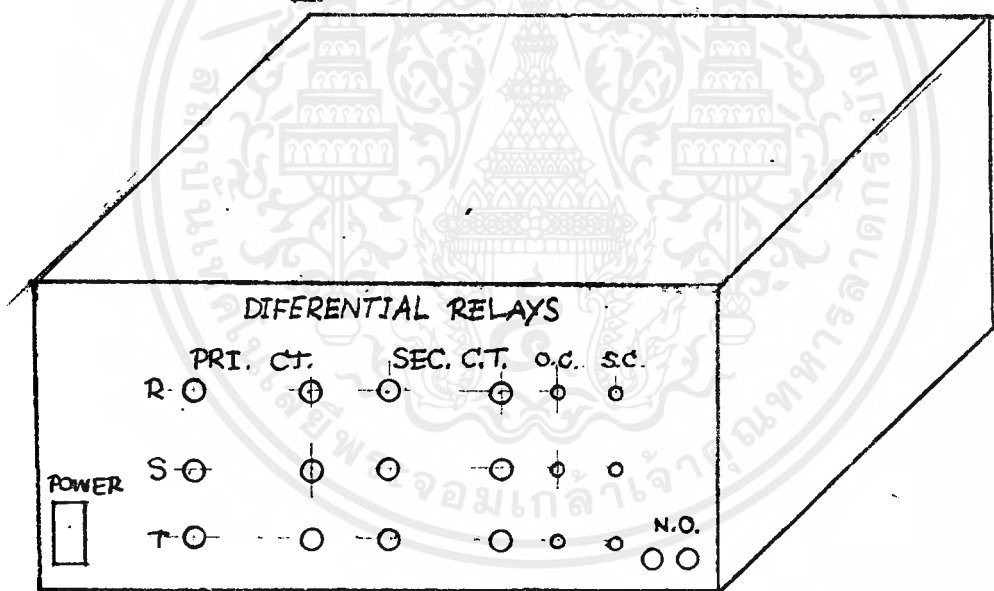
จากรูปคือหลอดไฟ ซึ่งจะแสดงผลก็ต่อเมื่อมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในระบบ จะแสดงผลตามขนาดของแรงดันผิดปกติที่เกิดขึ้น คือ O.C. (over current) เมื่อเกิดกระแสเกิน และ S.C. (short circuit) เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นในระบบ และสามารถที่จะรู้ได้ว่าการผิดปกติที่เฟสใดด้วย โดยดูจากการส่องสว่างของหลอดไฟ

รูป 3.9 แสดงตำแหน่งของการวางวงจรในส่วนต่าง ๆ ของ ดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อรูป 3.9 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 3.10 แสดงรูปกล่องของคิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์



รูป 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนในการเซ็กระบบ

จากลักษณะการทำงานของดีพีเฟอเรนเชียลรีเลย์ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดนั้น เมื่อเรามาพิจารณาในส่วนของวงจร สามารถที่จะกำหนดเงื่อนไขสำหรับการติดตั้งระบบครั้งแรกได้ โดยใช้หลักการดังนี้ คือ

เมื่ออินพุตที่เข้ามา มีขนาดของแรงดันอยู่ในย่านของการลัดวงจร จากรูปวงจรจะให้ในส่วนที่หนึ่งทำงาน หากแรงดันอินพุตที่เข้ามาอยู่ในย่านของการเกิดกระแสเกิน ก็จะให้ในส่วนที่สองทำงาน เพราะฉะนั้น จากหลักการนี้เราทำการกำหนดเงื่อนไขในการเซ็กระบบ โดยขั้นแรกต้องทำการสมมติค่าแรงดันที่จะทำการอ้างอิงก่อน ในการจัดระบบครั้งนี้กำหนดให้ขนาดของแรงดันที่มากกว่า 5 โวลต์ แต่ไม่ถึง 9 โวลต์ เป็นระดับของแรงดันที่อยู่ในข่ายการเกิดกระแสเกิน ส่วนแรงดันที่มากกว่า 9 โวลต์ขึ้นไปนั้นจัดอยู่ในข่ายของการเกิดกระแสลัดวงจร จะได้เงื่อนไขดังต่อไปนี้

- เมื่อแรงดันอินพุต น้อยกว่า 5 โวลต์ ส่วนที่ 1 และ ส่วนที่ 2 ไม่ทำงาน
- เมื่อแรงดันอินพุต มากกว่า 5 โวลต์ แต่ไม่ถึง 9 โวลต์ ส่วนที่ 1 ไม่ทำงาน และ ส่วนที่ 2 ทำงาน
- เมื่อแรงดันอินพุต มากกว่า 9 โวลต์ ส่วนที่ 1 ทำงาน และ ส่วนที่ 2 ไม่ทำงาน

เมื่อกำหนดเงื่อนไขได้แล้ว ต่อไปก็ทำการปรับค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในวงจร โดยในตอนแรกให้ทำการป้อนแรงดันอินพุตขนาด 4.5 โวลต์ ซึ่งเราจะให้เป็นค่าของแรงดันในขณะที่อุปกรณ์ที่เราทำการป้องกันทำงานอยู่ในสภาวะปกติ จะเห็นว่าเราทำการตั้งระดับแรงดันอ้างอิงที่ค่าความต้านทานในส่วนที่หนึ่ง และในส่วนที่สอง คือให้แรงดันตกคร่อม $VR1 = 9 \text{ v}$, $VR6 = 9 \text{ v}$ และ $VR3 = 5 \text{ v}$ จากนั้นทำการปรับแรงดันตกคร่อม $VR4 = (-3 \text{ v})$ และ $VR7 = (-2 \text{ v})$

เมื่อปรับค่าต่าง ๆ ในระบบเสร็จแล้ว ก็ทำการจ่ายแรงดันอินพุตซึ่งอยู่ในย่านกระแสเกิน ซึ่งจะเห็นได้ว่ารีเลย์ในส่วนของการเกิดการผิดปกติเมื่อเกิดกระแสเกินจะทำงาน ส่วนเวลาที่ใช้ในการหน่วงของการทำงานลักษณะนี้ ก็ทำได้โดยการปรับค่า $VR5$ ในส่วนที่ 3 ซึ่งสามารถดูขั้นตอนของการปรับค่าความต้านทานนี้ได้ในส่วนของการทดลองวงจรในลำดับต่อไป ต่อมาก็ทำการจ่ายแรงดันอินพุตที่อยู่ในย่านกระแสลัดวงจร จะเห็นได้ว่าวงจรในส่วนที่ 1 จะทำงาน ส่วนวงจรในส่วนที่ 2 จะไม่ทำงาน สำหรับการตั้งค่าการทำงานในขนาดของแรงดันอินพุตระดับนี้ ควรตั้งค่าให้มีเวลาหน่วงน้อย ๆ ไว้สำหรับใช้ในการจัดโคออร์ดิเนชันของระบบเท่านั้น ทำได้โดยการปรับ $VR2$ ในส่วนที่ 6 ส่วนการทำงานในลักษณะต่าง ๆ นั้น ให้พิจารณาในส่วนของการทดลองวงจรในขั้นต่อไป

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การปรับตั้งค่าเวลา

ในการใช้งานดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์นั้น เราต้องทำการปรับตั้งค่าต่าง ๆ ที่สำคัญทั้งหมด 5 ค่า ด้วยกัน ได้แก่

4.1.1 ค่ากระแสเกิน

คือการกำหนดไว้ว่า ถ้ากระแสที่ไหลอยู่ในระบบมีค่ามากกว่านี้แล้ว ดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์จะทำงานในลักษณะอินเวอร์สไทม์ทริป ซึ่งเราสามารถทำได้โดยการปรับที่ VR.3 (ในส่วนของ 1) ซึ่งเป็นตัวตั้งระดับโวลเตจที่จะไปเปรียบเทียบกับสัญญาณจากซีที

4.1.2 ค่ากระแสลัดวงจร

จะเหมือนกันกับในกรณีที่กระแสเกิน แต่จะทำการปรับที่ VR.1 (ในส่วนของ 1)

4.1.3 ค่าการหน่วงเวลาและทริปในกรณีกระแสเกิน

การเกิดกระแสเกินจะมีอันตรายน้อยกว่ากระแสลัดวงจร และในบางครั้งอาจหายไปตัวเอง (เช่น โหลดเกินชั่วคราว) ในการปรับเวลาหน่วงของเวลานี้เราจะทำได้ 2 วิธี คือ อาจปรับที่ VR.6 (ในส่วนของ 2) หรือ VR.5 (ในส่วนของ 3) ก็ได้ แต่เรามักจะปรับ VR.6 ในตอนเช็คระบบครั้งแรกเท่านั้น ในกรณีปกติ เราจะทำการปรับที่ VR.5 ซึ่งเป็นวงจร RC โดยตรง (VR.5 เป็นส่วนช่วยทำให้เกิดลักษณะเป็นอินเวอร์ส ไทม์)

4.1.4 ค่าห้วงเวลาทริปในกรณีกระแสลัดวงจร

เวลาห้วงในส่วนนี้จะน้อยมาก เพราะใช้ในการจัดโคออร์ดิเนชันของระบบเท่านั้น เราทำการปรับได้ที่ VR.2 (ในส่วนที่ 6)

4.1.5 ค่าห้วงเวลาปิดกลับ

โดยปกติในระบบไฟฟ้าจริง ค่าเวลาอันนี้จะมีค่าไม่เท่ากันทุกครั้ง โดยครั้งแรกจะมีค่าน้อยที่สุด และค่อย ๆ เพิ่มมากขึ้นตามจำนวนครั้งที่ทำการทริป แต่ในวงจรนี้เราจะให้เวลาเท่ากันทุกครั้ง โดยใช้การปรับที่ VR.8 (ในส่วนที่ 7) ในกรณีของการเกิดกระแสลัดวงจร และปรับที่ VR.9 (ในส่วนที่ 4) ในกรณีของการเกิดกระแสเกิน

4.2 การทดสอบวงจร

กำหนดให้เกิดกระแสลัดวงจรที่ 9.00 โวลต์ และ กระแสเกินที่ 5.00 โวลต์ เมื่อแรงดันที่ใช้อ้างอิงระดับนี้ ใช้เทียบกับแรงดันที่วัดได้จากรีติ และผ่านการแปลงสัญญาณอินพุตที่อยู่ในรูปของกระแส ให้มาอยู่ในรูปของแรงดันเรียบร้อยแล้ว

การปรับวงจรจึงเป็นดังนี้

ให้คักดาตกร่อม $VR_1 = 9.00 \text{ V}$

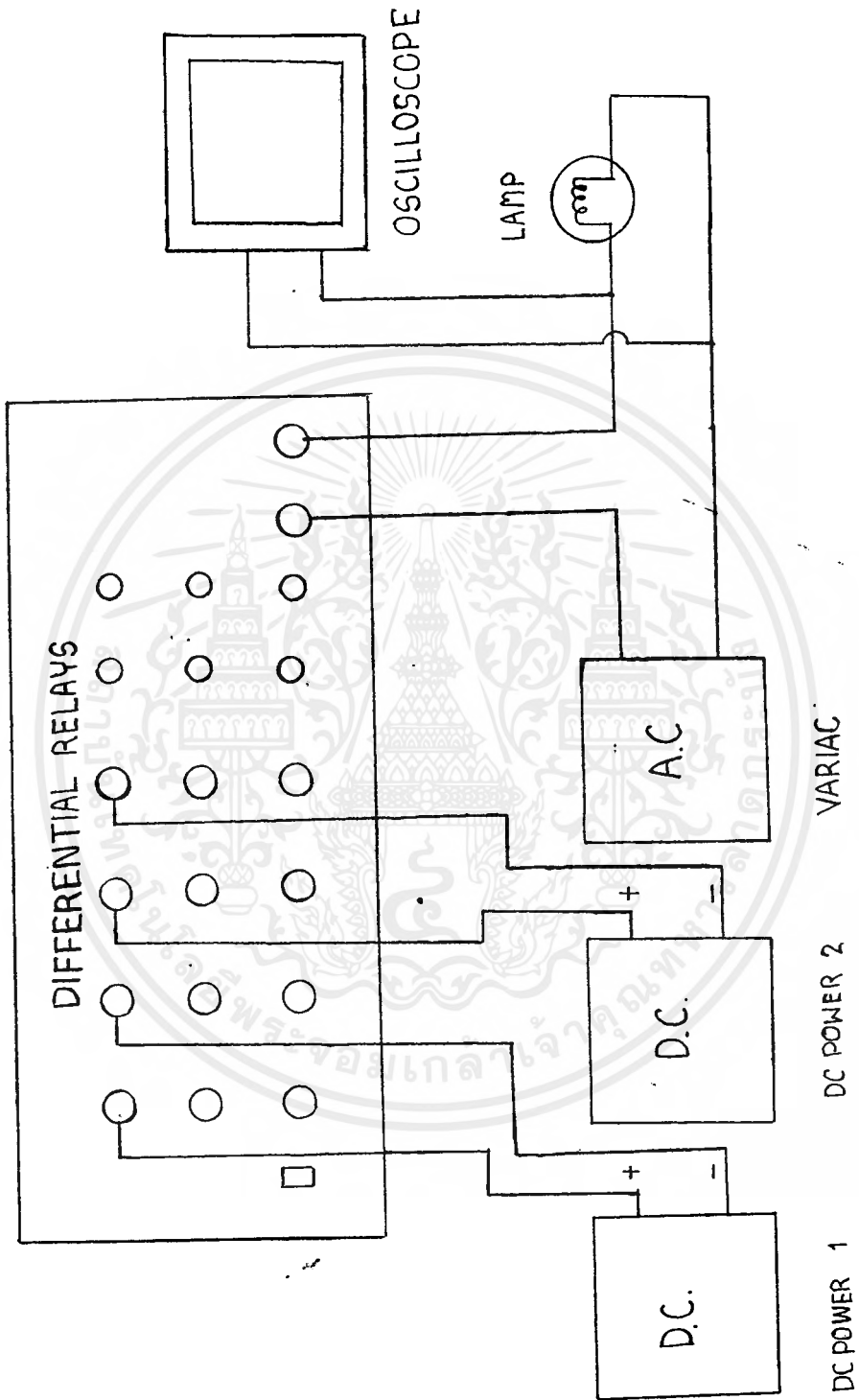
ให้คักดาตกร่อม $VR_9 = 5.00 \text{ V}$

ให้คักดาตกร่อม $VR_6 = 9.00 \text{ V}$

สำหรับ VR.5 จะทำการเปลี่ยนค่าไปเรื่อย ๆ สำหรับ VR.7 จะตั้งที่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง
(เวลาห้วงของไอซี 555 = $1.1 * R * C$)

4.2.1 การทดสอบวงจรในลักษณะการผิดปกติแบบกระแสเกิน

เมื่อทำการปรับตั้งค่าความต้านทานค่าต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจึงทำการทดสอบวงจรว่ามีความสามารถในการทำงานอย่างไร เมื่อมีแรงดันเกินกว่าค่าแรงดันเปรียบเทียบที่ได้ตั้งไว้ ซึ่งการทำงานของภาระหนึ่งเวลาจะเป็นลักษณะอินเวอร์สไทม์ คือ เมื่อมีแรงดันเกินที่มีขนาดมากวงจรก็จะทำการหนึ่งเวลาเร็ว แต่ถ้ามีแรงดันเกินน้อยวงจรก็จะหนึ่งเวลาช้า ในการทดสอบวงจรในลักษณะนี้เราจะใช้ออสซิลโลสโคปเป็นตัวจับเวลา การทดลองก็ทำได้โดย บ้อนแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเข้ากับขั้วอินพุททั้งสอง คือ ด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิ เราทำการตัดแปลงวงจรภายใน โดยการนำแรงดันอินพุทจากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงสองชุด ผ่านเข้าสู่วงจรคอมพิวเตอร์โดยตรงเลย ไม่ต้องผ่านวงจรเรกติฟายเออร์ภายในอีก จากนั้นทำการปรับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงทั้งสอง ให้มีค่าต่าง ๆ กันแล้ววัดค่าแรงดันที่ต่างกันในตรงเอาท์พุทของวงจรในส่วนคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะนำค่าของแรงดันที่ต่างกันนี้มาหาค่าเวลาการตัดวงจรอีกทีหนึ่ง ซึ่งจำเป็นที่จะต้องวัดค่าความต่างของแรงดันนี้ออกมาก่อน จากนั้นในส่วนของออสซิลโลสโคป เราจะใช้ออสซิลโลสโคปชนิดที่มีย่านสตอเรจ (storage) เพื่อที่จะทำการจับเวลาการตัดวงจรโดยจะจับสัญญาณแรงดันกระแสสลับเมื่อเราทำการต่อแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ผ่านเอาท์พุทของวงจรในส่วนของวงจรหลัก ในช่วงของรีเลย์ภายในในลักษณะปกติปิด เข้ากับโหนดตัวหนึ่งในการทดลองนี้ใช้หลอดไฟ เราจะจับสัญญาณแรงดันกระแสสลับที่ขั้วของหลอดไฟนี้เข้ากับอินพุทของออสซิลโลสโคป เมื่อทำการปรับตั้งค่าต่าง ๆ เสร็จแล้วก็จะทำการจับเวลาต่อไป โดยทำการปิดแหล่งจ่ายแรงดันทั้งหมดเสียก่อน จากนั้นทำการเปิดแหล่งจ่ายแรงดันทั้งสองในเวลาพร้อม ๆ กันกับการเปิดเครื่องดีเพอเรนเชียลรีเลย์ ในเวลานี้เราจะให้ออสซิลโลสโคปทำงานในย่านสตอเรจ เพื่อทำการจับเวลาตั้งแต่มีสัญญาณกระแสสลับในระดับปกติ จนถึงระดับของสัญญาณที่ขาดหายไป ในเวลานี้จะเป็นเวลาที่วงจรหลักทำการตัดวงจร ทำให้ขั้วของรีเลย์ภายในทำการเปลี่ยนหน้าสัมผัสจากปกติปิดเป็นปกติเปิด คือ การตัดวงจรของหลอดไฟออกจากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับนั่นเอง จากนั้นก็ทำการปรับค่าแรงดันกระแสตรงจากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงทั้งสองใหม่ โดยทำการปรับให้มีค่าแรงดันต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 5 โวลต์ ถึง 9 โวลต์ เป็นขั้น ๆ ซึ่งสามารถแสดงวงจรการทดลองได้ดังรูป 4.1



รูป 4.1

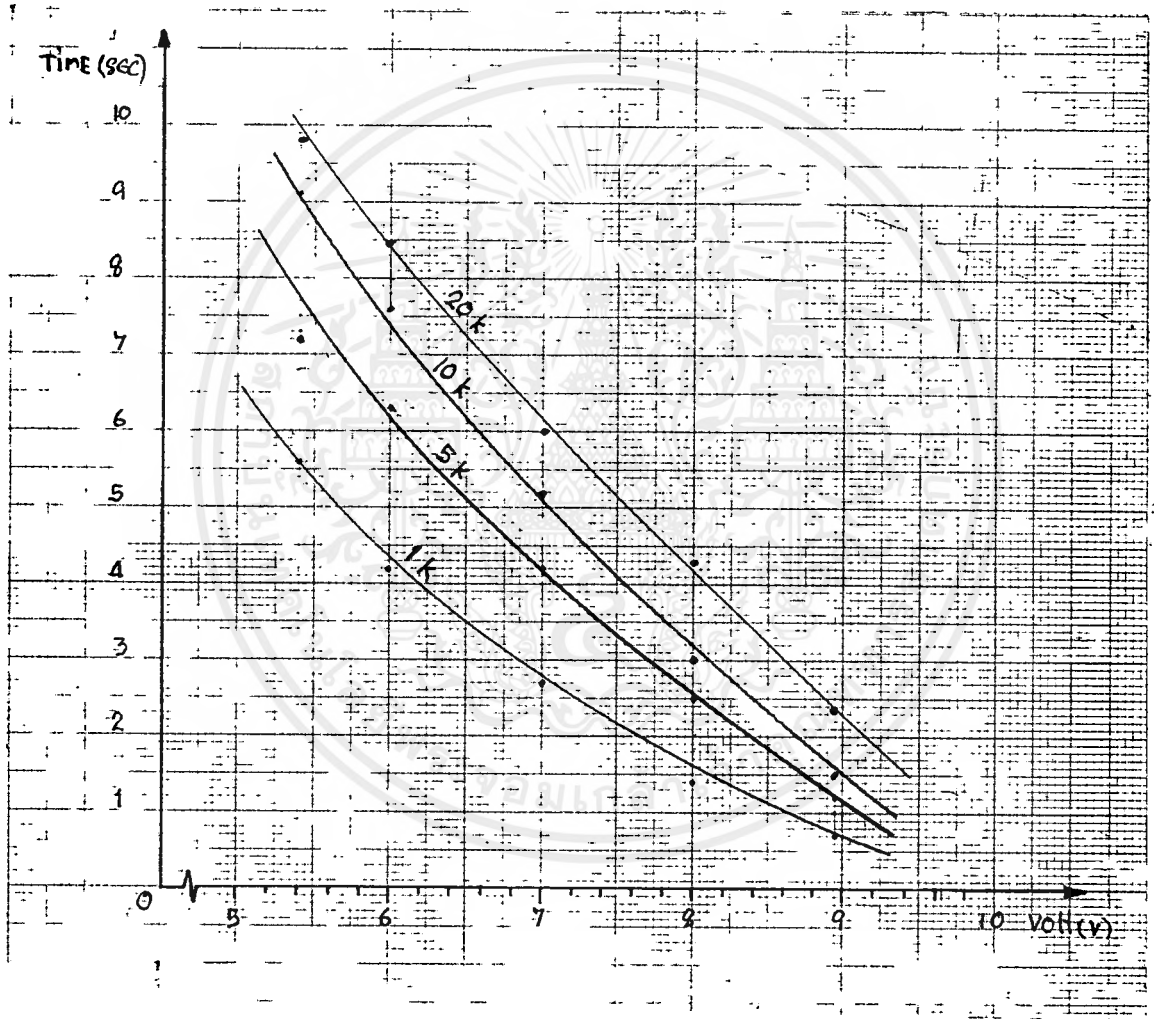
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองค่าเวลาการตัดวงจรตามขนาดของแรงดันเกิน สามารถแสดงผลการทดลอง
ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบดีพีเพื่อเรนเซียลรีเลย์

$V_{r/p}$ (V)	เวลาหน่วง t (sec) ; ปรับค่า VR_{Σ}			
	20 K	10 K	5 K	1 K
5.4	9.8	9.1	7.2	5.6
6.0	8.5	7.6	6.3	4.2
7.0	6.0	5.2	4.2	2.7
8.0	4.3	3.0	2.5	1.4
8.9	2.4	1.5	1.2	0.7

จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับค่าแรงดันเกินขนาดไว้ที่ระดับต่าง ๆ กัน
จากการปรับค่าความต้านทานขนาด 20 กิโลโอห์ม เวลาในการตัดวงจรจะทำงานในลักษณะอินเวอร์ส
ไทม์ คือ เมื่อแรงดันเกินมีขนาดมากวงจรจะใช้เวลาในการตัดตอนเร็ว และที่แรงดันเกินน้อยวงจร
จะใช้เวลาในการตัดตอนที่เร็วกว่า จากนั้นทำการปรับค่าความต้านทาน VR_{Σ} ไว้ที่ค่าต่าง ๆ กัน แล้ว
ทำการทดลองขึ้นต้นอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าเวลาที่ใช้ในการตัดตอนจะเป็นลักษณะ
เดียวกัน คือทำงานในลักษณะอินเวอร์สไทม์ และจะสังเกตได้อีกว่าที่ค่าความต้านทานค่าน้อยกว่า วง
จรจะทำการตัดตอนได้เร็วกว่า เมื่ออยู่ในระดับแรงดันเกินเดียวกัน ตามค่าสมการของวงจรหน่วงเวลา
คือ $t = -\ln \left[\frac{V_{cr} - V_{en}}{V_r - V_{en}} \right] * R * C$ จากลักษณะของผลการทดลอง
เราสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟได้ดังรูป 4.2

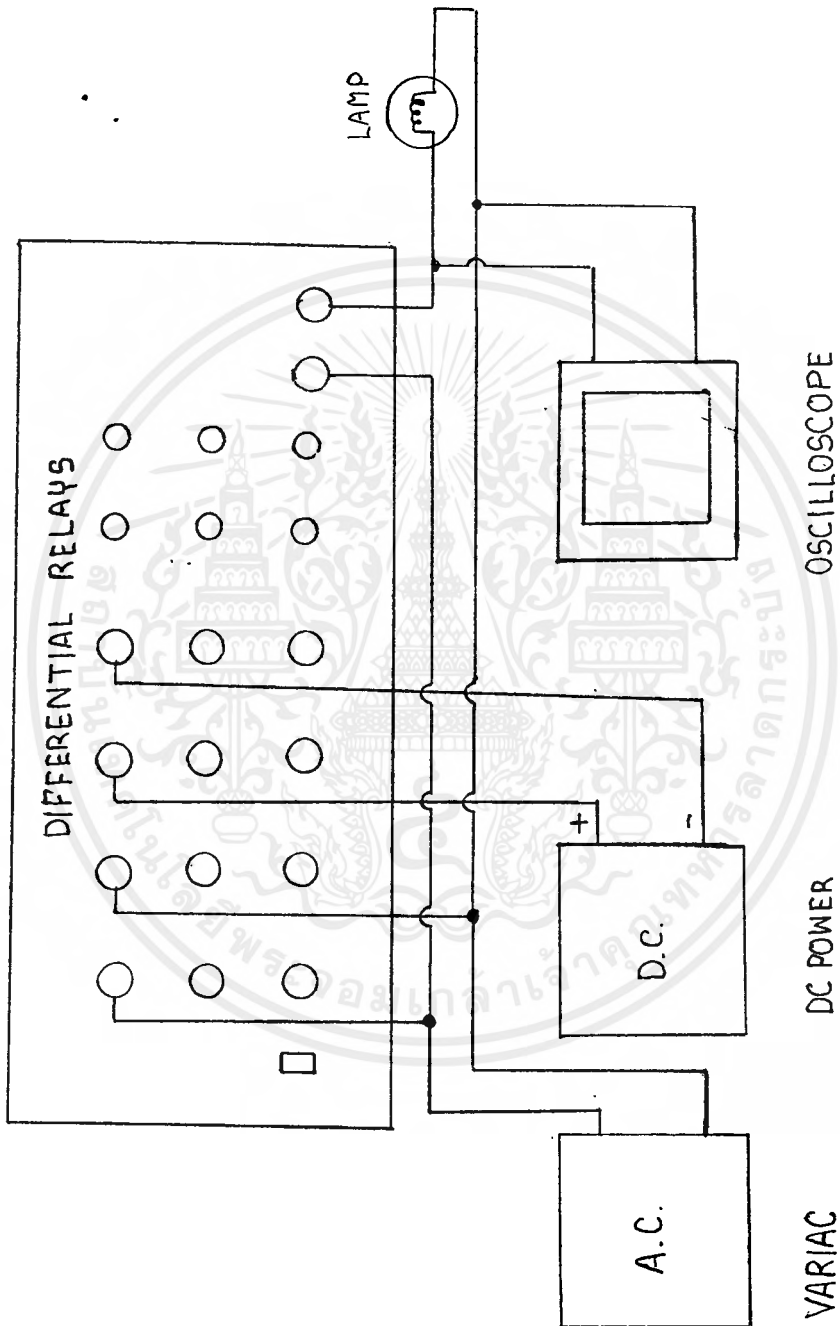


รูป 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การทดลองวงจรในลักษณะการผิดปกติแบบกระแสลัดวงจร

ตามลักษณะของการผิดปกติแบบนี้ เราจำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการตัดตอนวงจรที่มีค่าเวลาน้อย ๆ ไว้สำหรับการจัดโคออร์ดิเนทของระบบ ซึ่งในการใช้งานจริงนั้นการตัดวงจรเอาอุปกรณ์ที่ทำกรป้องกันออกจากระบบเมื่อมีการลัดวงจรเกิดขึ้น เวลาที่ใช้คือเวลาในการตัดวงจรในส่วนของวงจรหลักของดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ รวมทั้งเวลาในการตัดตอนของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เวลาที่ใช้ในการตัดตอนนี้จะมีค่าอยู่ในย่านมิลิเสก สำหรับการทดลองนั้นการที่เราจะนำเอาออสซิลโลสโคปมาทำการจับค่าเวลาที่ใช้ในการตัดตอนวงจร เราจะใช้แหล่งจ่ายอินพุตอยู่สองลักษณะ คือ ให้แหล่งจ่ายอินพุตทางด้านปฐมภูมิเป็นแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับ และแหล่งจ่ายทางด้านทุติยภูมิเป็นแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง เช่นเดียวกับกรณีกระแสเกินคือ เราใส่แรงดันอินพุตทั้งสองนี้เข้าสู่ส่วนคอมพาราเตอร์ของวงจรโดยตรงซึ่งไม่ต้องผ่านวงจรเรกติไฟลายเออร์ จากนั้นก็ทำการต่อแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับเข้ากับหลอดไฟฟ้า ซึ่งผ่านขั้วของรีเลย์ภายในในหน้าสัมผัสที่มีลักษณะปกติ - แล้วจึงต่อสัญญาณแรงดันกระแสสลับจากขั้วของหลอดไฟฟ้า เป็นแรงดันอินพุตเข้าสู่ออสซิลโลสโคป จะเห็นได้ว่าเราใช้แหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับชุดเดียวกันกับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับที่อินพุตทางด้านปฐมภูมิ เมื่อทำการใช้ระบบในส่วนต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการเปิดสัญญาณแรงดันจากแหล่งจ่ายแรงดันทั้งสองพร้อมกัน ขนาดของแรงดันกระแสสลับเราปรับไว้ที่ค่า ๆ หนึ่งซึ่งมีขนาดมากกว่า 9 โวลต์ ในส่วนของออสซิลโลสโคปจะทำการปรับตั้งการทำงานให้อยู่ในย่านสโตเรจ เพื่อให้พร้อมในการทำการจับค่าเวลาในการตัดตอน สาเหตุที่ต้องใช้แหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับชุดเดียวกันก็เพราะว่า เราต้องการที่จะให้สัญญาณทั้งสองซึ่งอยู่ในลักษณะสัญญาณช่ายัน เริ่มตั้งแต่จุดเดียวกันเพราะฉะนั้นเราจะได้เวลาในการตัดตอนที่แท้จริงคือตั้งแต่ที่สัญญาณกระแสสลับมีค่ายอดมากกว่า ค่าของแรงดันกระแสตรงที่ได้ตั้งไว้ ซึ่งผลต่างของแรงดันทั้งสองเมื่อผ่านวงจรคอมพาราเตอร์ ต้องมีค่ามากกว่าแรงดันขนาด 9 โวลต์ ที่เราได้ทำการปรับตั้งค่าเพื่อเป็นระดับแรงดันอ้างอิงไว้ จากเวลา ณ. จุดนี้ดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์จะทำงาน โดยทำการเปลี่ยนสถานะทางเอาต์พุทของรีเลย์ จากปกติเปิดเป็นปกติปิดจะทำให้หลอดไฟดับ ซึ่งสัญญาณที่ออสซิลโลสโคปจับอยู่ก็จะขาดหายไป เราก็ทำการวัดค่าเวลาตั้งแต่เมื่อขนาดของระดับแรงดันกระแสสลับที่เป็นผลต่างกับแรงดันกระแสตรงมีค่ามากกว่า 9 โวลต์ จนถึงเวลาที่สัญญาณช่ายันขาดหายไป ลักษณะการต่อวงจรการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูป 4.3

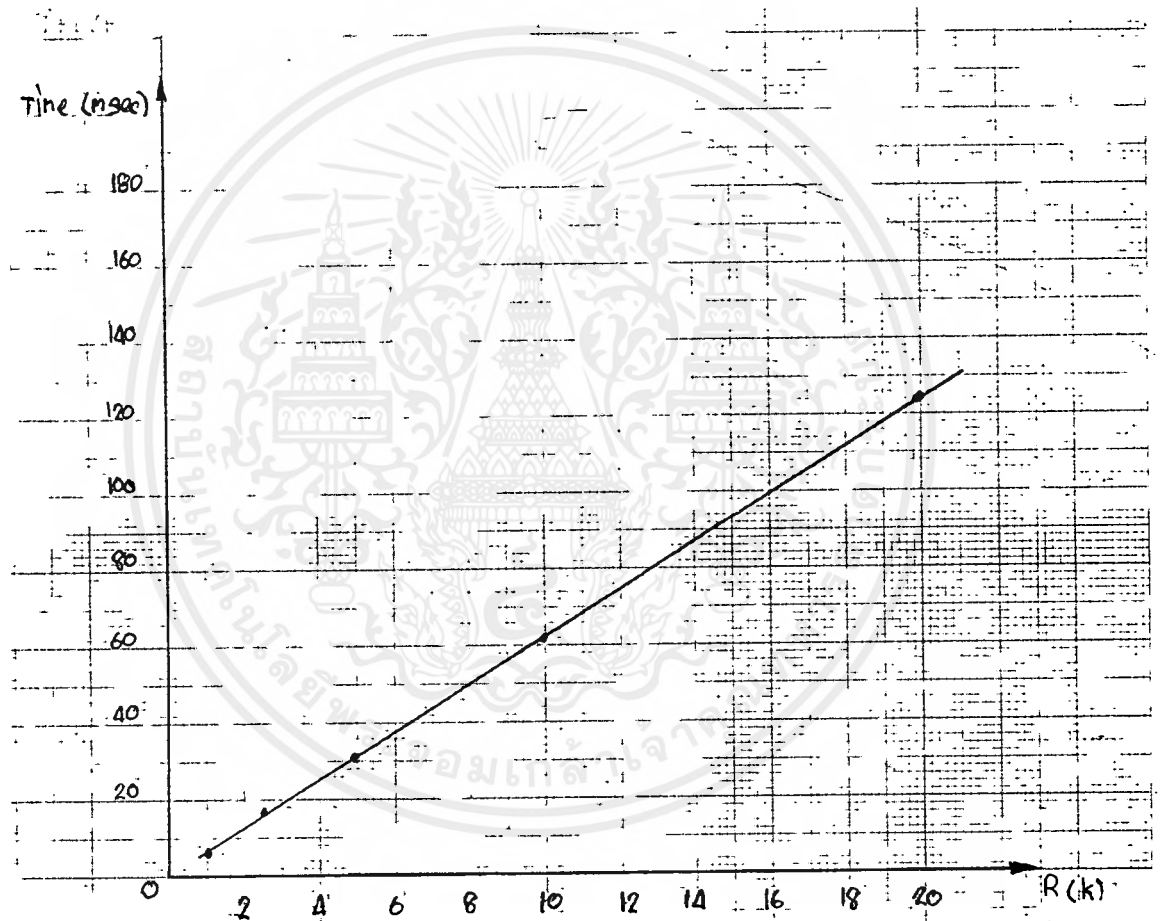
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลอง สามารถแสดงผลการทดลองได้ดังตารางที่ 4.2 .เมื่อทำการทดลองโดยการปรับค่าความต้านทาน VR_2 ไว้ที่ระดับต่าง ๆ กัน ซึ่งจากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อค่าความต้านทานมีค่ามากขึ้น วงจรจะใช้เวลาในการตัดตอนช้าลง เป็นไปตามสมการเวลาที่ใช้ในการหน่วงของวงจรหน่วงเวลาในส่วนของวงจรหลัก คือ $t = -\ln e (V_{in} - V_{out}) / (V_{in} - V_{out}) 1/R_2 C$

VR_2	เวลาในการตัดตอนวงจร (mSEC)
1 K	6.21
2.5 K	15.53
5 K	31.05
10 K	62.13
20 K	124.21

ตาราง 4.2

ในส่วนของการทำงานเมื่อมีการลัดวงจรนั้น จะเห็นได้ว่าค่าเวลาในการตัดตอนของวงจรจะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน VR_2 คือ ถ้าปรับค่าความต้านทานมากก็จะใช้เวลาในการตัดตอนช้า ซึ่งการทำงานในลักษณะการหน่วงเวลานี้เมื่อเทียบกับกรณีเมื่อเกิดกระแสเกิน จากการพิจารณาในส่วนของวงจรหลักแล้ว เราจะทำการเปรียบเทียบแรงดันอยู่สองระดับ คือ ค่าแรงดันที่ออกมาจากส่วนคอมพาราเตอร์ที่มีขนาดเกิน 5 โวลต์ แต่มีขนาดไม่ถึง 9 โวลต์ จะเห็นว่าค่าเวลาที่ใช้ในการตัดตอนนี้จะขึ้นอยู่กับ ขนาดของแรงดันที่เกินและขนาดของค่าความต้านทาน VR_2 แต่ในส่วนของการเกิดการลัดวงจรนั้นเราสามารถตั้งระดับแรงดันอ้างอิงไว้ที่ค่า ๆ หนึ่งเท่านั้น จากการทดลองคือมีขนาดของแรงดันจากส่วนคอมพาราเตอร์ที่เกิน 9 โวลต์ขึ้นไปเท่านั้น เพราะฉะนั้นจะเห็นได้ว่าเมื่อแรงดันอินพุตที่เข้ามาในวงจรหลักมีค่าคงที่ ดังนั้นค่าเวลาที่ใช้ในการตัดตอนจึงขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน VR_2 เพียงจุดเดียวเท่านั้น จากผลการทดลองสามารถเขียนแสดงเป็นกราฟได้ดังรูป 4.4

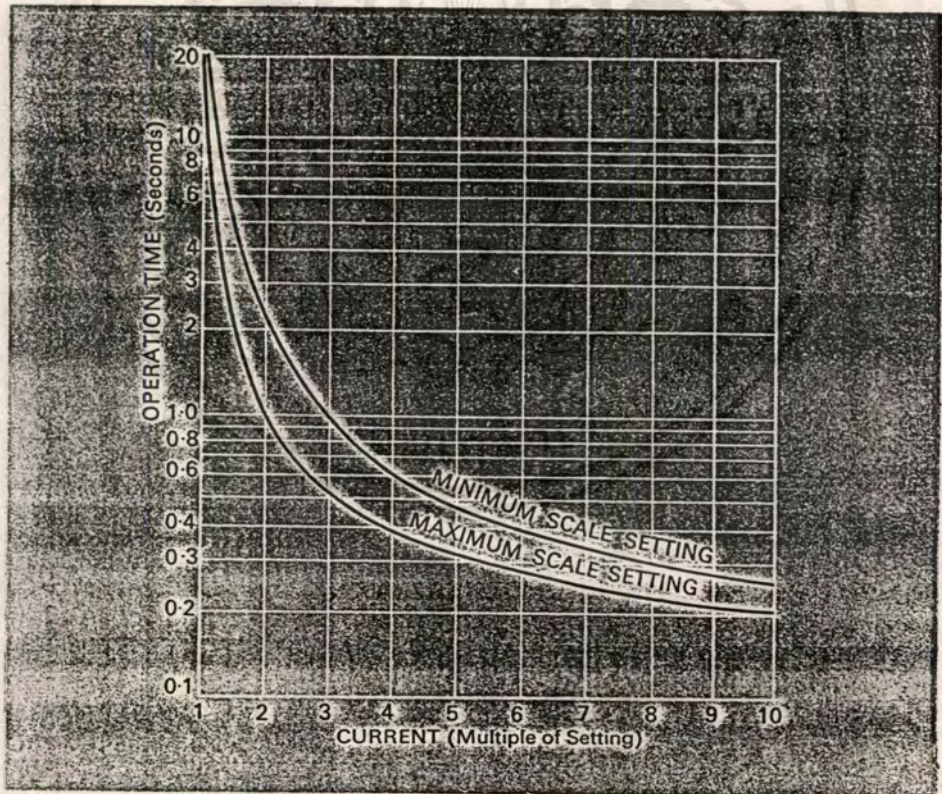


รูป 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การเซ็ทค่าเวลาการลัดวงจร

การเซ็ทค่าเวลาในการตัดตอนเอาอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันออกจากระบบ เมื่อเกิดการผิดปกติเกิดขึ้นนั้น อาจเกิดปัญหาคือว่าเราควรตั้งเวลาที่ใช้ในการหน่วงเท่าไรดี เมื่อการผิดปกติที่เกิดขึ้นนั้น อยู่ในสภาวะลัดวงจร หรือสภาวะการเกิดกระแสเกิน ในตอนแรกจะกล่าวถึงกรณีการเกิดการลัดวงจรก่อน ซึ่งเราจำเป็นต้องนำเอาดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ที่มีจำหน่าย หรือมีการใช้งานจริง ในระบบการป้องกันทั่วไปมาทำเป็นตัวอ้างอิงก่อน สำหรับการทำงานในส่วนของการเกิดการลัดวงจรนี้ จากการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าเราตั้งระดับแรงดันอ้างอิงไว้ที่ 9 โวลท์ คือถ้าแรงดันที่วัดได้จากอินสตรูเมนต์ เข้ามาสู่การทำงานของวงจรแล้วไม่ว่าจะมีขนาดใดก็ตามถ้ามากกว่า 9 โวลท์แล้ว ดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์จะทำการตัดตอนเอาอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันออกจากระบบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเราสามารถเซ็ทไว้ที่ระดับแรงดันเดียวเมื่อมีการลัดวงจรเกิดขึ้น ผู้จัดทำจึงได้นำเอาตัวอย่างของดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ที่มีขายอยู่ในท้องตลาดยี่ห้อหนึ่งมาทำการอ้างอิงกับการเซ็ทเวลาในส่วนนี้ ดังแสดงในรูป 4.5



รูป 4.5 Typical Operation Time Characteristic For HTB4 Relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.2 เป็นกราฟแสดงการเซ็ค่าเวลาสำหรับ การนำเอาดีฟ.เฟอเรนเชียลเสิร์มาป้องกันสายป้อน (Simple Feeders) สำหรับ Earth Fault และ Phase Fault ของดีฟ.เฟอเรนเชียลเสิร์ที่ผลิตโดย GEC Measurements Type HT จะเห็นได้ว่า ถ้าเราตั้งระดับแรงดันอ้างอิงของการเกิดการลัดวงจรไว้ที่ กระแสตรงระดับของการป้องกันไว้ที่ 9 แอมป์ สมมติว่าค่ากระแส 9 แอมป์นี้เมื่อผ่านวงจรเรกเรเตอร์ และได้ทำการปรับอัตราขยายตามที่ได้อธิบายไว้แล้วในส่วนของการทำงานของวงจรในส่วนต่าง ๆ ออกมาที่ระดับแรงดันที่ 9 โวลต์ จากรูป 4.2 เมื่อดูจากรูปเราพิจารณาในกรณีของ Maximum scale Setting ที่ระดับความต่างของกระแสขนาด 9 แอมป์ จะตั้งเวลาในการตัดตอนเอาอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันออกจากระบบ ไว้ที่ 215 mSec

ที่นี่เราจะมาพิจารณาในวงจรส่วนที่ 6 ซึ่งเป็นส่วนของวงจรที่ทำการหน่วงเวลาในกรณีเกิดการลัดวงจร เมื่อพิจารณาของการทำการคำนวณเวลาที่ใช้ในการหน่วง จากภาคผนวกของปฏิญานันท์ฉบับนี้ จะได้สูตรการคำนวณหาค่าเวลาดังนี้

$$t = -\ln [(v_{(t)} - v_r) / (v_r - v_i)] * R * C$$

จากวงจรในส่วนที่ 6 จากการทดลองจะเห็นได้ว่า

$$v_r = 0 \quad v$$

$$v_i = 11.5 \quad v$$

$$v_{(t)} = 0.0712 \quad v$$

เมื่อ

$$t = 215 \quad \text{mSec}$$

$$C = 1000 \quad \mu\text{F}$$

จะได้

$$R = 35 \quad \text{กิโลโอห์ม}$$

ดังนั้นเราจึงทำการปรับค่า VR2 ในส่วนที่ 6 ไว้ที่ค่า 35 กิโลโอห์ม

สำหรับการปรับค่าการหน่วงเวลาปิดกลับนั้น เราจะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลาย ๆ อย่างของการนำเอาดีฟ.เฟอเรนเชียลเสิร์มาทำการป้องกันอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบนั้น ๆ เช่น ความยากง่ายของการแก้ไขอุปกรณ์ที่ทำการป้องกัน เมื่อเกิดการผิดปกติเกิดขึ้น , ลักษณะของไหลลที่ต่อกับอุปกรณ์ตัวนั้นอยู่ ฯ

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

ปริณยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้กล่าวถึงการนำเอาดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ มาทำการป้องกันอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีใช้ทั่วไปในระบบกำลังไฟฟ้าที่มีใช้ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นการใช้งานในระบบไฟฟ้าขนาด 3 เฟส แต่สามารถดัดแปลงไปใช้ในขนาด 1 เฟสได้ สำหรับอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันก็จะกล่าวถึงในส่วนที่มีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบัน เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, หม้อแปลงไฟฟ้า ส่วนการทำงานของดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์นี้จะแบ่งตามลักษณะการเกิดผิดปกติที่เกิดขึ้น คือ สภาวะเกิดกระแสเกิน และสภาวะการเกิดการลัดวงจร เพื่อทำการตัดตอนเอาอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันออกจากระบบ ตามความเหมาะสมกับขนาดของแรงดันผิดปกติที่เกิดขึ้น เพื่อให้ระบบมีความเสียหายน้อยที่สุดเมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้น สำหรับในการทดลองเนื่องจากเราไม่สามารถที่จะทดลองโน้มนำของการเกิดการลัดวงจรที่เกิดขึ้นจริง ๆ ได้ เพื่อให้การทดลองในส่วนนี้สามารถนำไปใช้ในการป้องกันในระบบจริง ๆ ได้ ก็ทำการจำลองขนาดของการเกิดกระแสลัดวงจรขึ้นมา ซึ่งต้องเทียบกับระดับแรงดันที่เราอ้างอิงไว้ในส่วนของการทำงานของวงจร เมื่อทดลองหาค่าการหน่วงเวลาต่าง ๆ ได้แล้ว ก็นำเอาหลักการอันนี้ไปใช้ในการป้องกันจริง ๆ ส่วนลักษณะของการต่อดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ในการป้องกันอุปกรณ์ต่าง ๆ นั้น ได้แสดงรายละเอียดไว้แล้วในบทที่ 2 ซึ่งอาจจะไม่ครอบคลุมทั้งหมด แต่ก็อาจนำเอาหลักการที่มีอยู่ไปใช้ในการป้องกันกรณีอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง ซึ่งในบางครั้งต้องมีอุปกรณ์อื่น ๆ มาช่วยในการป้องกันด้วย เพื่อให้การป้องกันอุปกรณ์ตามลักษณะการป้องกันนั้นผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ในการนำเอาดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ไปใช้งานจริง ๆ นั้น ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลาย ๆ อย่างที่มีผลต่อการทำงานของระบบ ดังนั้นจำเป็นต้องทำการศึกษาถึงลักษณะสมบัติของอุปกรณ์ที่ทำการป้องกันความยากง่ายในการแก้ไขเมื่อมีการผิดปกติเกิดขึ้น ลักษณะของการป้องกันในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงขนาดของโหลดที่ต่ออยู่กับอุปกรณ์ที่ทำการป้องกัน เพื่อให้สามารถปรับตั้งค่าเวลาต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับการทำงานของอุปกรณ์ในระบบได้ ข้อสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงคือ การที่เราจะนำเอาดีฟเฟอเรนเชียลรีเลย์มาทำการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบนั้น จะต้องมีความเร็วที่แน่นอนในการทำงาน ความมีเสถียรภาพในการทำงาน ต้องมีความเชื่อถือสูง มีความผิดพลาดน้อยมาก ซึ่งในการใช้งานจริงนั้นจำเป็นต้องคัดเลือกอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในวงจรให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง ความผิดพลาดน้อย ซึ่งจะทำให้การทำงานของวงจรมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ภาคผนวก

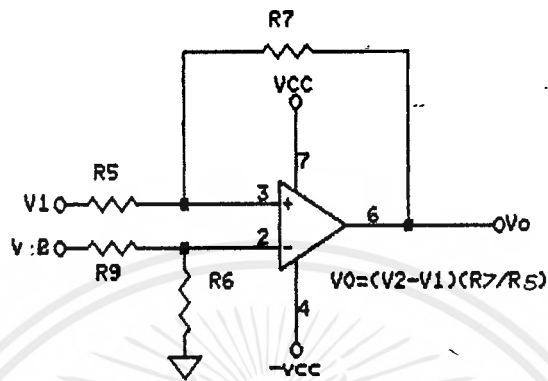
ในบทนี้จะประกอบด้วย การนำเอาวงจรต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบในตัวดิฟเฟอเรนเชียล รีเลย์มาอธิบายโดยสังเขป และข้อมูลของไอซีที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้



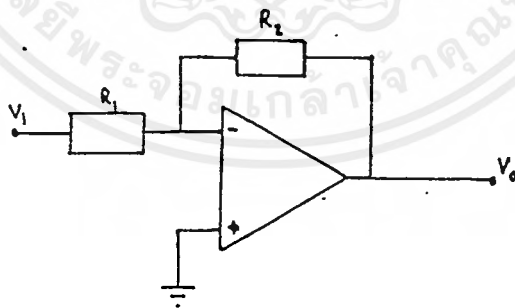
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร ออป-แอมป์ชนิดต่าง ๆ

- วงจรลบ



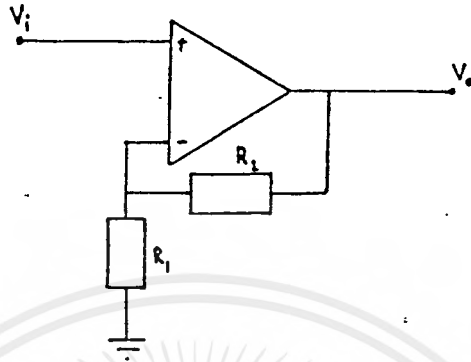
- วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Feedback Amplifier)



$$V_o = -(R_2/R_1) * V_1$$

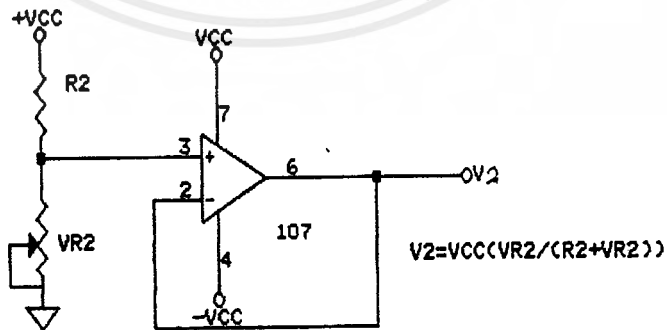
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรขยายแบบไม่มีกลับเฟส (Noninverting Feedback Amplifier)



$$V_o = \left[\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right] * V_i$$

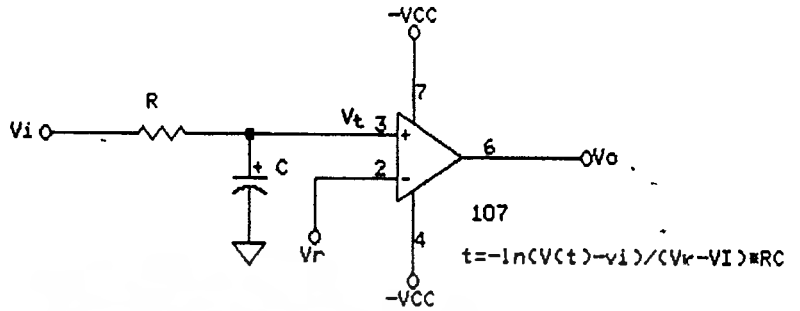
- วงจรตามแรงดัน (Voltage Follower Or Buffer)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

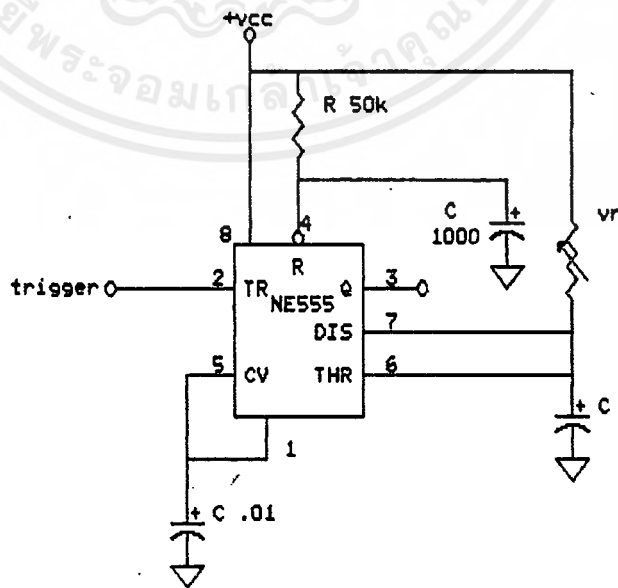
วงจรมอนิเตอร์ชนิดต่าง ๆ

- วงจรหน่วงเวลา (RC)

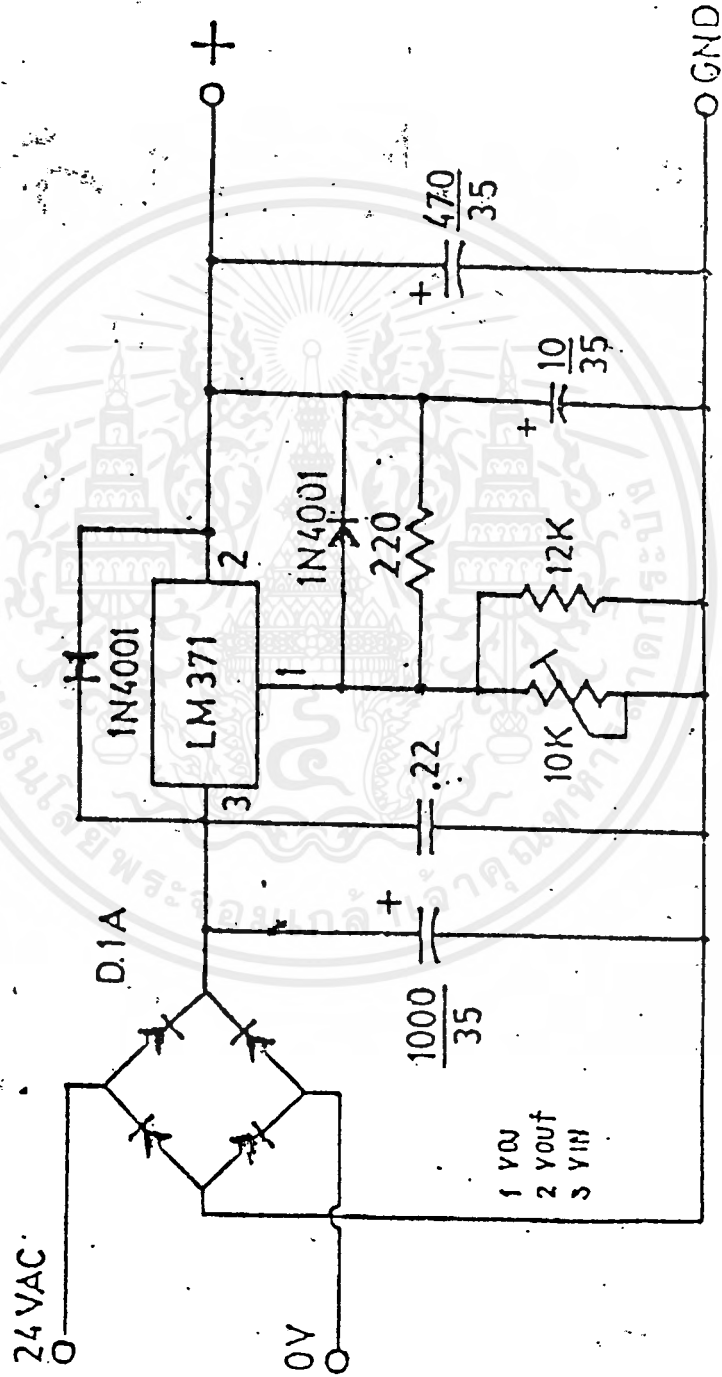


- วงจรมิงนสเคเบิล มัลติไวเบรเคเตอร์

คือวงจรชนิดหนึ่งซึ่งจะให้ภาวะคงที่แน่นอนภาวะหนึ่ง และภาวะที่เปลี่ยนแปลงได้ภาวะหนึ่ง (Transitory Or Quasi-Stable State) มันจะคงภาวะคงที่ (Stable) จนกว่าจะมีสัญญาณทรigger (Trigger) เข้ามาเปลี่ยนให้เข้ามาอยู่อีกภาวะหนึ่ง ระยะเวลาของภาวะนี้ถูกควบคุมโดยการประจุที่คาปาซิเตอร์ พอสิ้นสุดที่ระยะเวลานี้ เอาท์พุทจะกลับเข้าสู่ภาวะคงที่เอง านกรณีนี้ใช้ไอซี 555 เป็นตัวสร้างวงจรนี้ดังรูป



วงจรเรกตีไฟเออร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

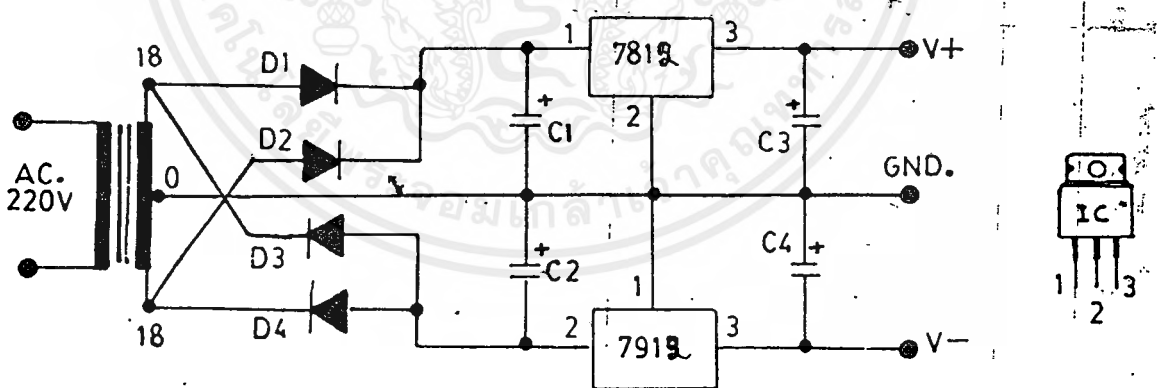
วงจร Power Supply

- วงจรเร็กกูเลเตอร์ +, - 12 V

เป็นวงจรที่จัดสร้างได้ง่าย และยังมีคุณภาพมากด้วย เนื่องจากใช้ ไอซีเร็กกูเลเตอร์ที่สามารถ

1. จ่ายกระแสได้สูงถึง 1.5 A
2. มีวงจรป้องกันกันตัว
3. อินพุตจลเตจ 18-235 V

ซึ่งวงจรจะแสดงดังรูป ซึ่งจะเห็นว่าหัวจการทางานของวงจก็คือ ไอซี ซึ่งไอซีเบอร์ 7812 จะทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟด้านบวก ส่วนไอซีเบอร์ 7912 จะทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันไฟด้านลบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของไอซีที่ใช้ในบริบทนี้

signetics

HIGH PERFORMANCE OPERATIONAL AMPLIFIER μ A741

LINEAR INTEGRATED CIRCUITS

DESCRIPTION

The μ A741 is a high performance operational amplifier with high open loop gain, internal compensation, high common mode range and exceptional temperature stability. The μ A741 is short-circuit protected and allows for nulling of offset voltage.

FEATURES

- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- SHORT CIRCUIT PROTECTION
- OFFSET VOLTAGE NULL CAPABILITY
- EXCELLENT TEMPERATURE STABILITY
- HIGH INPUT VOLTAGE RANGE
- NO LATCH-UP

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

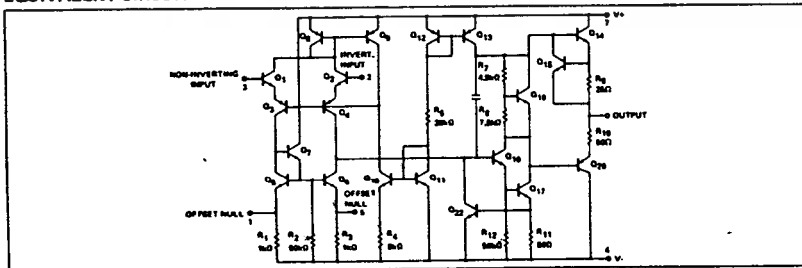
	μ A741C	μ A741
Supply Voltage	$\pm 18V$	$\pm 22V$
Internal Power		
Dissipation (Note 1)	500mW	500mW
Differential Input Voltage	$\pm 30V$	$\pm 30V$
Input Voltage (Note 2)	$\pm 15V$	$\pm 15V$
Voltage between Offset Null and V^-	$\pm 0.5V$	$\pm 0.5V$
Operating Temperature Range	$0^\circ C$ to $+70^\circ C$	$-55^\circ C$ to $+125^\circ C$
Storage Temperature Range	$-65^\circ C$ to $+150^\circ C$	$-65^\circ C$ to $+150^\circ C$

Lead Temperature (Solder, 60 sec)	$300^\circ C$	$300^\circ C$
Output Short Circuit Duration (Note 3)	Indefinite	Indefinite

Notes

1. Rating applies for case temperatures to $125^\circ C$; gate linearity at $0.5mV/^\circ C$ for ambient temperatures above $+75^\circ C$.
2. For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
3. Short circuit may be to ground or either supply. Rating applies to $+125^\circ C$ case temperature or $+75^\circ C$ ambient temperature.

EQUIVALENT CIRCUIT



PIN CONFIGURATIONS

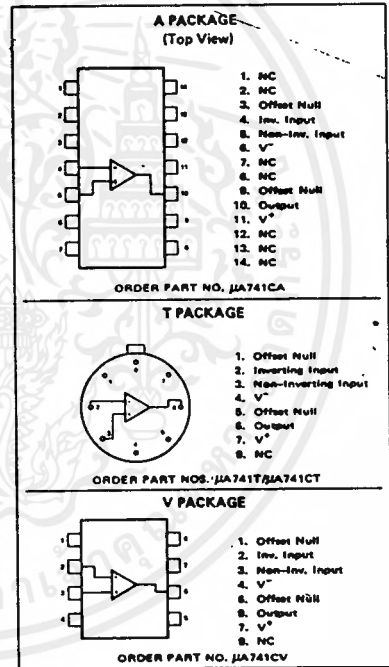


Fig. 1-2. μ A741 high-performance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LINEAR INTEGRATED CIRCUITS - $\mu A741$

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_S = \pm 15V$, $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise specified)

PARAMETER	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	TEST CONDITIONS
$\mu A741C$					
Input Offset Voltage		2.0	6.0	mV	$R_S < 10k\Omega$
Input Offset Current		20	200	nA	
Input Bias Current		80	600	nA	
Input Resistance	0.3	2.0		M Ω	
Input Capacitance		1.4		pF	
Offset Voltage Adjustment Range		± 15		mV	
Input Voltage Range	± 12	± 13		V	
Common Mode Rejection Ratio	70	80		dB	$R_S < 10k\Omega$
Supply Voltage Rejection Ratio		10	150	$\mu V/V$	$R_S < 10k\Omega$
Large-Signal Voltage Gain	20,000	200,000		V	$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Voltage Swing	± 12	± 14		V	$R_L > 10k\Omega$
	± 10	± 13		V	$R_L > 2k\Omega$
Output Resistance		75		Ω	
Output Short-Circuit Current		25		mA	
Supply Current		1.4	2.8	mA	
Power Consumption		50	85	mW	
Transient Response (unity gain)					$V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L < 100pF$
Risettime		0.3		μs	
Overshoot		5.0		%	
Slew Rate		0.5		V/ μs	$R_L > 2k\Omega$
The following specifications apply for $0^\circ C < T_A < +70^\circ C$					
Input Offset Voltage			7.5	mV	
Input Offset Current			300	nA	
Input Bias Current			800	nA	
Large-Signal Voltage Gain	15,000			V	$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Voltage Swing	± 10	± 13		V	$R_L > 2k\Omega$
$\mu A741$					
Input Offset Voltage		1.0	5.0	mV	$R_S < 10k\Omega$
Input Offset Current		10	200	nA	
Input Bias Current		80	600	nA	
Input Resistance	0.3	2.0		M Ω	
Input Capacitance		1.4		pF	
Offset Voltage Adjustment Range		± 15		mV	
Large-Signal Voltage Gain	50,000	200,000		V	$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Resistance		75		Ω	
Output Short Circuit Current		25		mA	
Supply Current		1.4	2.8	mA	
Power Consumption		50	85	mW	
Transient Response (unity gain)					$V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L < 100pF$
Risettime		0.3		μs	
Overshoot		5.0		%	
Slew Rate		0.5		V/ μs	$R_L > 2k\Omega$
The following specifications apply for $-55^\circ C < T_A < +125^\circ C$					
Input Offset Voltage		1.0	6.0	mV	$R_S < 10k\Omega$
Input Offset Current		7.0	200	nA	$T_A = +125^\circ C$
Input Bias Current		20	600	nA	$T_A = -55^\circ C$
Input Bias Current		0.03	0.5	μA	$T_A = +125^\circ C$
Input Bias Current		0.3	1.5	μA	$T_A = -55^\circ C$
Input Voltage Range	± 12	± 13		V	
Common Mode Rejection Ratio	70	80		dB	$R_S < 10k\Omega$
Supply Voltage Rejection Ratio		10	150	$\mu V/V$	$R_S < 10k\Omega$
Large-Signal Voltage Gain	25,000			V	$R_L > 2k\Omega$, $V_{out} = \pm 10V$
Output Voltage Swing	± 12	± 14		V	$R_L > 10k\Omega$
	± 10	± 13		V	$R_L > 2k\Omega$
Supply Current		1.5	2.5	mA	$T_A = +125^\circ C$
		2.0	3.3	mA	$T_A = -55^\circ C$
Power Consumption		45	75	mW	$T_A = +125^\circ C$
		45	100	mW	$T_A = -55^\circ C$

Courtesy Signetics Corp.

operational amplifier.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD

A Schlumberger Company

μA7800 Series 3-Terminal Positive Voltage Regulators

Linear Division Voltage Regulators

Description

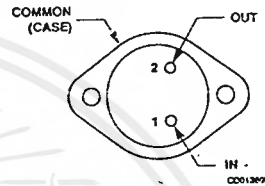
The μA7800 series of monolithic 3-terminal positive voltage regulators is constructed using the Fairchild Planar Epitaxial process. These regulators employ internal current-limiting, thermal shutdown and safe-area compensation, making them essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1.0 A output current. They are intended as fixed voltage regulators in a wide range of applications including local (on-card) regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single point regulation. In addition to use as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents.

- Output Current In Excess Of 1.0 A
- No External Components
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current-Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Available In JEDEC TO-220 And TO-3 Packages
- Output Voltages Of 5 V, 6 V, 8 V, 8.5 V, 12 V, 15 V, 18 V, And 24 V
- Available In Extended Temperature Range

Absolute Maximum Ratings

Storage Temperature Range	Operating Junction Temperature Range	Lead Temperature	Output Voltage
TO-3 Metal Can	-55°C to +150°C	TO-3 Metal Can (soldering, 60 s)	35 V
TO-220 Package		TO-220 Package (soldering, 10 s)	
Operating Junction Temperature Range	0°C to +150°C	Power Dissipation	40 V
Industrial (μA7800M)		Commercial (μA7800C)	
Lead Temperature	Internally Limited		
Output Voltage			
5.0 V to 18 V			
24 V			

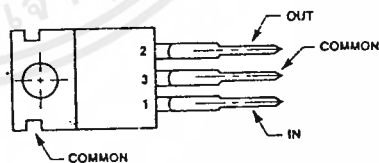
Connection Diagram TO-3 Package (Top View)



Order Information

Device Code	Package Code	Package Description
μA7805KM	HJ	Metal
μA7806KM	HJ	Metal
μA7808KM	HJ	Metal
μA7812KM	HJ	Metal
μA7815KM	HJ	Metal
μA7818KM	HJ	Metal
μA7824KM	HJ	Metal
μA7805KC	HJ	Metal
μA7806KC	HJ	Metal
μA7808KC	HJ	Metal
μA7812KC	HJ	Metal
μA7815KC	HJ	Metal
μA7818KC	HJ	Metal
μA7824KC	HJ	Metal

Connection Diagram TO-220 Package (Top View)



Lead 3 connected to case.

Order Information

Device Code	Package Code	Package Description
μA7805UC	GH	Molded Power Pack
μA7806UC	GH	Molded Power Pack
μA7808UC	GH	Molded Power Pack
μA7812UC	GH	Molded Power Pack
μA7815UC	GH	Molded Power Pack
μA7818UC	GH	Molded Power Pack
μA7824UC	GH	Molded Power Pack
μA7885UC	GH	Molded Power Pack
μA7805UC2	GH	Molded Power Pack
μA7812UC2	GH	Molded Power Pack

μA7800 Series

μA7885C

Electrical Characteristics $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 125^{\circ}\text{C}$, $V_I = 15\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Characteristic	Condition ¹	Min	Typ	Max	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	8.15	8.5	8.85	V	
$V_{R\text{ LINE}}$	Line Regulation	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	$10.5\text{ V} \leq V_I \leq 25\text{ V}$		6.0	170	mV
			$11\text{ V} \leq V_I \leq 17\text{ V}$		2.0	85	mV
$V_{R\text{ LOAD}}$	Load Regulation	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	$5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$		12	170	mV
			$250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$		4.0	85	mV
V_O	Output Voltage	$11\text{ V} \leq V_I \leq 23.5\text{ V}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $P \leq 15\text{ W}$	8.1		8.9	V	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		4.3	8.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	with line	$10.5\text{ V} \leq V_I \leq 25\text{ V}$		1.0	mA	
		with load	$5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$		0.5	mA	
N_O	Noise	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$		55		μV	
$\Delta V_I / \Delta V_O$	Ripple Rejection	$f = 2400\text{ Hz}$, $I_O = 350\text{ mA}$, $T_J = 25^{\circ}\text{C}$	56	70		dB	
V_{DO}	Dropout Voltage	$I_O = 1.0\text{ A}$, $T_J = 25^{\circ}\text{C}$		2.0		V	
R_O	Output Resistance	$f = 1.0\text{ kHz}$		16		$\text{m}\Omega$	
I_{OS}	Output Short Circuit Current	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $V_I = 35\text{ V}$		450		mA	
I_{pk}	Peak Output Current	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		2.2		A	
$\Delta V_O / \Delta T$	Average Temperature Coefficient of Output Voltage	$I_O = 5.0\text{ mA}$		0.8		$\text{mV}/^{\circ}\text{C}$	

μA7812

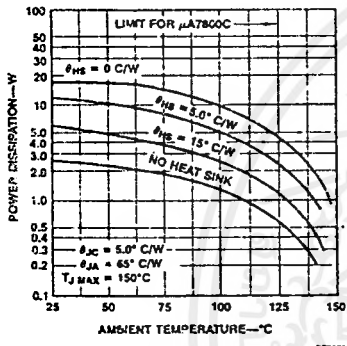
Electrical Characteristics $-55^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 125^{\circ}\text{C}$, $V_I = 19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$, $C_I = 0.33\ \mu\text{F}$, $C_O = 0.1\ \mu\text{F}$, unless otherwise specified.

Symbol	Characteristic	Condition ¹	Min	Typ	Max	Unit	
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	11.5	12.0	12.5	V	
$V_{R\text{ LINE}}$	Line Regulation	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	$14.5\text{ V} \leq V_I \leq 30\text{ V}$		10	120	mV
			$16\text{ V} \leq V_I \leq 22\text{ V}$		3.0	60	
$V_{R\text{ LOAD}}$	Load Regulation	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	$5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.5\text{ A}$		12	120	mV
			$250\text{ mA} \leq I_O \leq 750\text{ mA}$		4.0	60	
V_O	Output Voltage	$15.5\text{ V} \leq V_I \leq 27\text{ V}$ $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$ $P \leq 15\text{ W}$	11.4		12.6	V	
I_Q	Quiescent Current	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		4.3	6.0	mA	
ΔI_Q	Quiescent Current Change	with line	$15\text{ V} \leq V_I \leq 30\text{ V}$		0.8	mA	
		with load	$5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 1.0\text{ A}$		0.5		

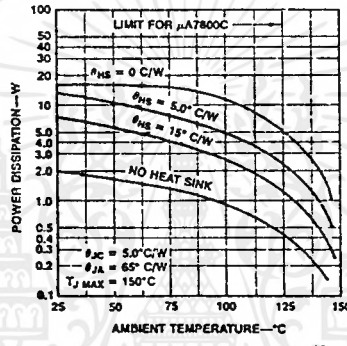
μA7800 Series

Typical Performance Curves

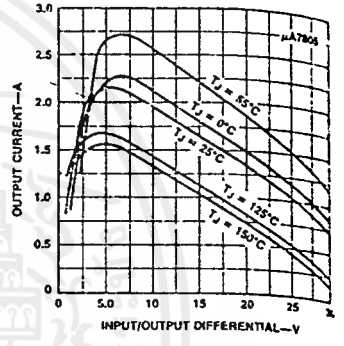
Worst Case Power Dissipation vs Ambient Temperature (TO-3)



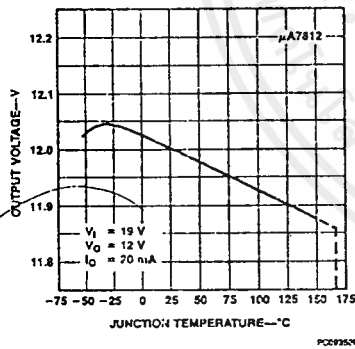
Worst Case Power Dissipation vs Ambient Temperature (TO-220)



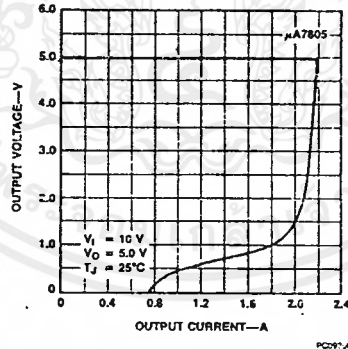
Peak Output Current vs Input/Output Voltage Differential



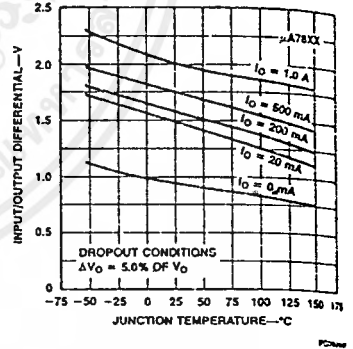
Output Voltage vs Junction Temperature



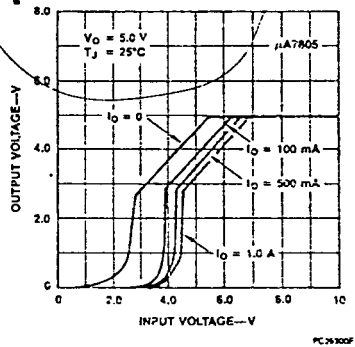
Current-Limiting Characteristics



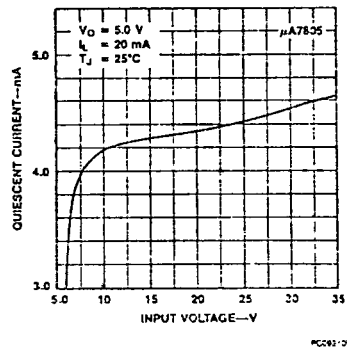
Dropout Voltage vs Junction Temperature



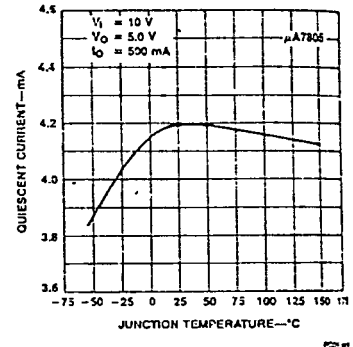
Dropout Characteristics



Quiescent Current vs Input Voltage



Quiescent Current vs Junction Temperature



FAIRCHILD

A Schlumberger Company

μ A79M00 Series 3-Terminal Negative Voltage Regulators

Linear Division Voltage Regulators

Description

The μ A79M00 series of 3-Terminal Medium Current Negative Voltage Regulators are constructed using the Fairchild Planar Epitaxial process. These regulators employ internal current-limiting, thermal shutdown, and safe-area compensation making them essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver up to 0.5 A output current. They are intended as fixed voltage regulators in a wide range of applications including local (on-card) regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. In addition to use as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents.

- Output Current In Excess Of 0.5 A
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current-Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Available In JEDEC TO-220 And TO-39 Packages
- Output Voltages Of -5 V, -8 V, -12 V, and -15 V

Absolute Maximum Ratings

Storage Temperature Range

TO-39 Metal Can	-65°C to +175°C
TO-220 Package	-65°C to +150°C

Operating Junction Temperature Range

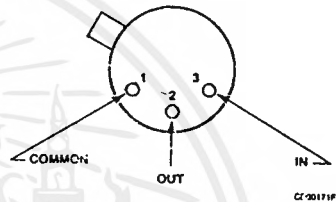
Extended (μ A79M00M)	-55°C to +150°C
Commercial (μ A79M00AC)	0°C to +150°C

Lead Temperature

TO-39 Metal Can (soldering, 60 s)	300°C
TO-220 Package (soldering, 60 s)	265°C
Power Dissipation	Internally Limited

Input Voltage
-5.0 V to -15 V

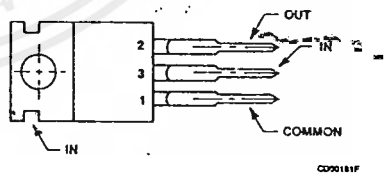
-35 V

**Connection Diagram
TO-39 Package
(Top View)**


Lead 3 connected to case.

Order Information

Device Code	Package Code	Package Description
μ A79M05HM	FC	Metal
μ A79M08HM	FC	Metal
μ A79M12HM	FC	Metal
μ A79M15HM	FC	Metal
μ A79M05AHC	FC	Metal
μ A79M08AHC	FC	Metal
μ A79M12AHC	FC	Metal
μ A79M15AHC	FC	Metal

**Connection Diagram
TO-220 Package
(Top View)**


Lead 3 connected to case.

Order Information

Device Code	Package Code	Package Description
μ A79M05AUC	GH	Molded Power Pack
μ A79M08AUC	GH	Molded Power Pack
μ A79M12AUC	GH	Molded Power Pack
μ A79M15AUC	GH	Molded Power Pack

μA79M00 Series

μA79M08AC (Cont.)

Electrical Characteristics $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 125^{\circ}\text{C}$, $V_I = -14\text{ V}$, $I_O = 350\text{ mA}$, $C_I = 2\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 1\text{ }\mu\text{F}$, unless otherwise specified.^{1,2}

Symbol	Characteristic	Condition ³	Min	Typ	Max	Unit
V_{DO}	Dropout Voltage	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		1.1		V
I_{OS}	Output Short Circuit Current	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $V_I = -30\text{ V}$		140		mA
I_{PK}	Peak Output Current	$V_I - V_O = 10\text{ V}$, $T_J = 25^{\circ}\text{C}$		650		mA
$\Delta V_O / \Delta T$	Average Temperature Coefficient of Output Voltage	$I_O = 5.0\text{ mA}$, $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 125^{\circ}\text{C}$		0.6		mV/ $^{\circ}\text{C}$

μA79M12H.

Electrical Characteristics $-55^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 125^{\circ}\text{C}$, $V_I = -19\text{ V}$, $I_O = 350\text{ mA}$, $C_I = 2.0\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 1.0\text{ }\mu\text{F}$, unless otherwise specified.^{1,2}

Symbol	Characteristic	Condition ³	Min	Typ	Max	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	-12.5	-12	-11.5	V
$V_{R\text{ LINE}}$	Line Regulation	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		9.0	80	mV
		$-30\text{ V} \leq V_I \leq -14.5\text{ V}$		5.0	50	
$V_{R\text{ LOAD}}$	Load Regulation	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 500\text{ mA}$		65	240	mV
		$T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 350\text{ mA}$		45		
V_O	Output Voltage	$-30\text{ V} \leq V_I \leq -14.5\text{ V}$, $5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 350\text{ mA}$, $P_D \leq 4.0\text{ W}$	-12.6		-11.4	V
I_Q	Quiescent Current	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		1.5	3.0	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	with line			0.4	mA
		with load	$5.0\text{ mA} \leq I_O \leq 350\text{ mA}$		0.4	
N_O	Noise	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $10\text{ Hz} \leq f \leq 100\text{ kHz}$		25	80	$\mu\text{V}/V_O$
$\Delta V_I - \Delta V_O$	Ripple Rejection	$V_I \leq -17\text{ V}$, $f = 2400\text{ Hz}$, $I_O = 125\text{ mA}$, $T_J = 25^{\circ}\text{C}$	50			dB
V_{DO}	Dropout Voltage	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		1.1	2.3	V
I_{OS}	Output Short Circuit Current	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$, $V_I = -35\text{ V}$			0.6	A
I_{PK}	Peak Output Current	$V_I - V_O = 10\text{ V}$, $T_J = 25^{\circ}\text{C}$	0.5	0.65	1.4	A
$\Delta V_O / \Delta T$	Average Temperature Coefficient of Output Voltage	$I_O = 5.0\text{ mA}$, $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 125^{\circ}\text{C}$			0.3	mV/ $^{\circ}\text{C}$ V_O

μA79M12AC

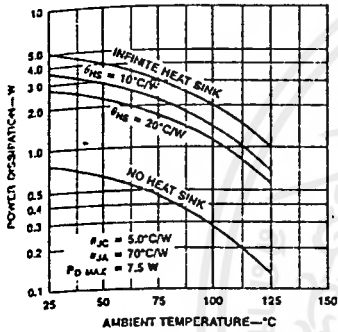
Electrical Characteristics $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 125^{\circ}\text{C}$, $V_I = -19\text{ V}$, $I_O = 350\text{ mA}$, $C_I = 2.0\text{ }\mu\text{F}$, $C_O = 1.0\text{ }\mu\text{F}$, unless otherwise specified.^{1,2}

Symbol	Characteristic	Condition ³	Min	Typ	Max	Unit
V_O	Output Voltage	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$	-12.5	-12	-11.5	V
$V_{R\text{ LINE}}$	Line Regulation	$T_J = 25^{\circ}\text{C}$		9.0	80	mV
			$-30\text{ V} \leq V_I \leq -14.5\text{ V}$		5.0	

μA79M00 Series

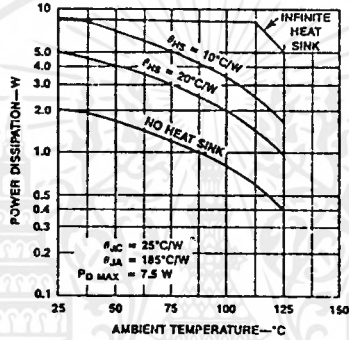
Typical Performance Curves

Worst Case Power Dissipation vs Ambient Temperature (TO-39)



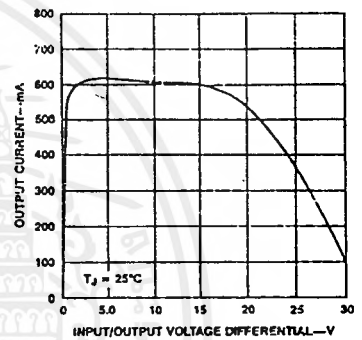
PC01291F

Worst Case Power Dissipation vs Ambient Temperature (TO-220)



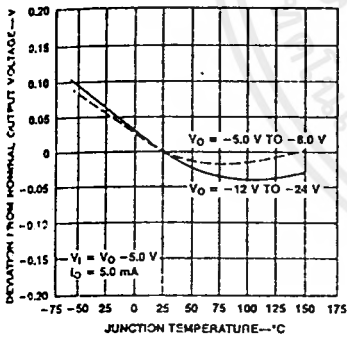
PC01821F

Peak Output Current vs Input/Output Voltage Differential



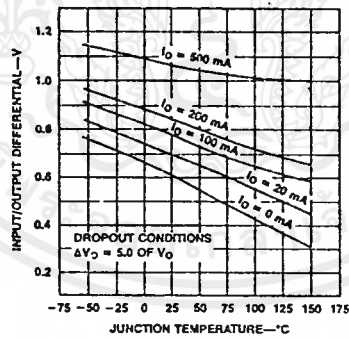
PC01231F

Output Voltage vs Junction Temperature



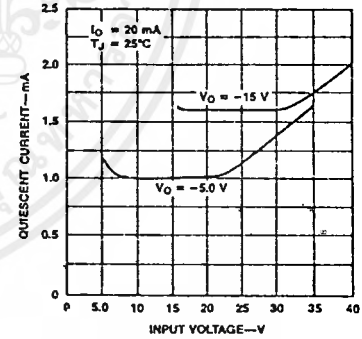
PC01121F

Dropout Voltage vs Junction Temperature



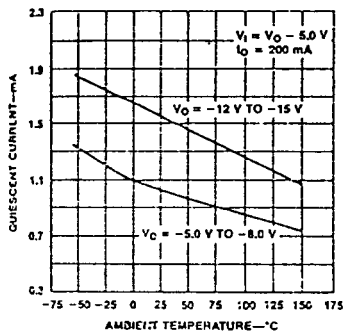
PC01081F

Quiescent Current vs Input Voltage



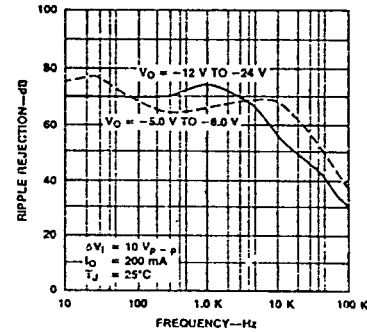
PC01771F

Quiescent Current vs Ambient Temperature



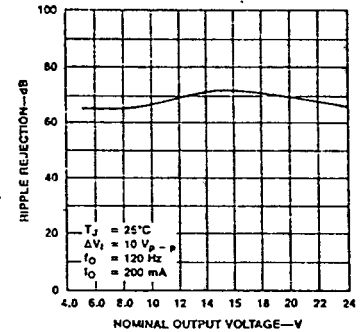
PC01791F

Ripple Rejection vs Frequency



PC01751F

Ripple Rejection vs Output Voltages



PC01741F

FAIRCHILD

A Schlumberger Company

μ A117 • μ A217 • μ A317 3-Terminal Positive Adjustable Regulators

Linear Division Voltage Regulators

Description

The μ A117/ μ A217/ μ A317 are adjustable 3-terminal positive voltage regulators capable of supplying in excess of 1.5 A over an output voltage range of 1.2 V to 37 V. They are exceptionally easy to use and require only two external resistors to set the output voltage. Further, they employ internal current-limiting, thermal shutdown and safe-area compensation, making them essentially blow out proof.

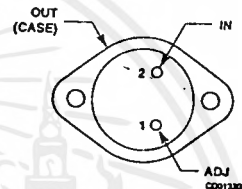
The μ A117 series serves a wide variety of applications including local, on-card regulation. They also make an especially simple adjustable switching regulator, and a programmable output regulator; or by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the μ A117 series can be used as a precision current regulator.

- Output Current In Excess Of 1.5 A In TO-3 And TO-220 Packages
- Output Adjustable Between 1.2 V And 37 V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current-Limiting Constant Temperature
- Output Transistor Safe-Area Compensation
- Floating Operation For High Voltage Applications
- Standard 3-Terminal Transistor Packages
- Available In Extended Temperature Range

Absolute Maximum Ratings

Storage Temperature Range	
TO-3 Metal Can	-65°C to +175°C
TO-220 Package	-65°C to +150°C
Operating Junction Temperature Range	
Extended (μ A117)	-55°C to +150°C
Industrial (μ A217)	-40°C to +150°C
Commercial (μ A317)	0°C to +150°C
Lead Temperature	
TO-3 Metal Can (soldering, 60 s)	300°C
TO-220 Package (soldering, 10 s)	265°C
Power Dissipation	Internally Limited
Input/Output Voltage Differential	40 V

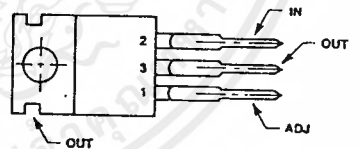
Connection Diagram TO-3 Package (Top View)



Order Information

Device Code	Package Code	Package Description
μ A117KM	HJ	Metal
μ A217KV	HJ	Metal
μ A317KC	HJ	Metal

Connection Diagram TO-220 Package (Top View)

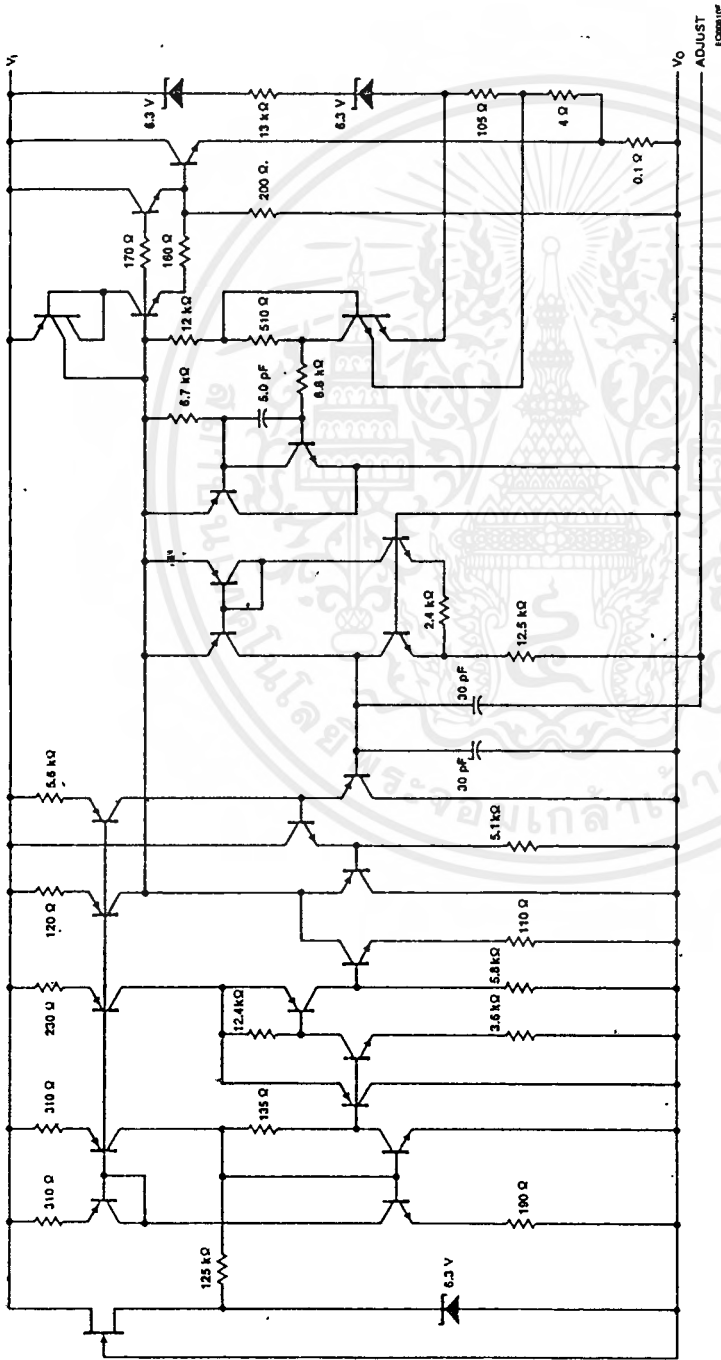


Lead 3 connected to case.

Order Information

Device Code	Package Code	Package Description
μ A217UV	GH	Molded Power Pack
μ A317UC	GH	Molded Power Pack

Equivalent Circuit



μA117 • μA217 • μA317

Electrical Characteristics $T_J = -55^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$ for the μA117 , -40°C to $+125^\circ\text{C}$ for the μA217 , and 0°C to $+125^\circ\text{C}$ for the μA317 ; $V_I - V_O = 5.0\text{ V}$; $I_O = 0.5\text{ A}$; $I_{\text{Max}} = 1.5\text{ A}$; $P_{\text{Max}} = 20\text{ W}$; unless otherwise specified.

Symbol	Characteristic	Condition ¹	μA117/217			μA317			Unit
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
$V_{R\text{ LINE}}$	Line Regulation ^{1,5}	$T_A = 25^\circ\text{C}$; $3.0\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$		0.01	0.02		0.01	0.04	%V
		$3.0\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$		0.02	0.05		0.02	0.07	
$V_{R\text{ LOAD}}$	Load Regulation ¹	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{\text{Max}}$	$V_O \leq 5.0\text{ V}$	5.0	15		5.0	25	mV
			$V_O \geq 5.0\text{ V}$	0.1	0.3		0.1	0.5	% V_O
		$10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{\text{Max}}$	$V_O \leq 5.0\text{ V}$	20	50		20	70	mV
			$V_O \geq 5.0\text{ V}$	0.3	1.0		0.3	1.5	% V_O
I_{adj}	Adjustment Lead Current		50	100		50	100	μA	
ΔI_{adj}	Adjustment Lead Current Change	$2.5\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$; $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{\text{Max}}$; $P_D \leq P_{\text{Max}}$		0.2	5.0		0.2	5.0	μA
V_{REF}	Reference Voltage ²	$3.0\text{ V} \leq V_I - V_O \leq 40\text{ V}$; $10\text{ mA} \leq I_O \leq I_{\text{Max}}$; $P_D \leq P_{\text{Max}}$	1.20	1.25	1.30	1.20	1.25	1.30	V
T_S	Temperature Stability			0.7			0.7		% V_O
$I_{O\text{ Min}}$	Minimum Load Current to Maintain Regulation	$V_I - V_O = 40\text{ V}$		3.5	5.0		3.5	10	mA
$I_{O\text{ Max}}$	Maximum Output Current	$V_I - V_O \leq 15\text{ V}$, $P_D \leq P_{\text{Max}}$	1.5	2.2		1.5	2.2		A
		$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_I - V_O = 40\text{ V}$, $P_D \leq P_{\text{Max}}$	0.25	0.4		0.15	0.4		
N_O	Noise	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $10\text{ Hz} \leq f \leq 10\text{ kHz}$		0.003			0.003		% V_O
$\Delta V_I / \Delta V_O$	Ripple Rejection ³	$V_O = 10\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	Without C_{adj}		65		65		dB
			$C_{\text{adj}} = 10\text{ }\mu\text{F}$	66	80		66	80	
S	Long-Term Stability, ⁴ $T_J = T_{J\text{ Max}}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$ for Endpoint Measurements		0.3	1.0		0.3	1.0	%/1000 hrs

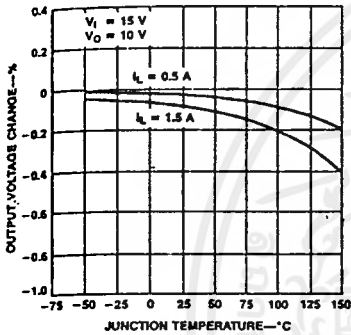
Notes

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.
2. Selected devices with tightened tolerance reference voltage available.
3. C_{adj} , when used, is connected between the adjustment lead and ground.
4. Since Long Term Stability cannot be measured on each device before shipment, this specification is an engineering estimate of average stability from lot to lot.
5. $I_O = 0.5\text{ A}$ for $V_I - V_O \leq 25\text{ V}$ and I_{Max} for $V_I - V_O \geq 25\text{ V}$.

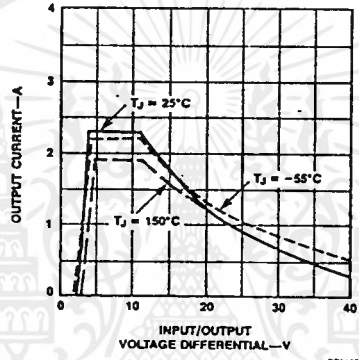
$\mu A117 \cdot \mu A217 \cdot \mu A317$

Typical Performance Curves

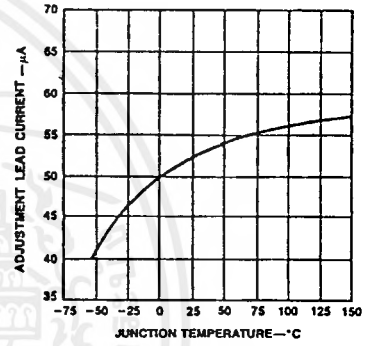
Load Regulation



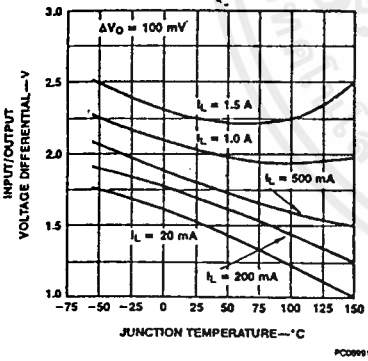
Current Limit



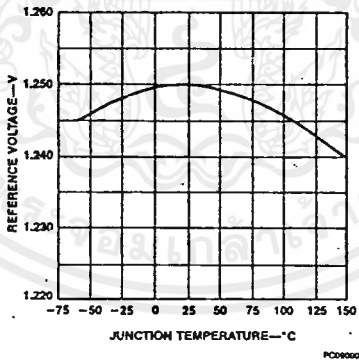
Adjustment Lead Current



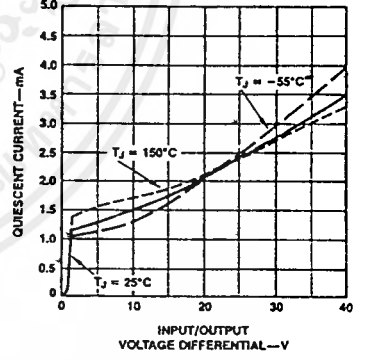
Dropout Voltage



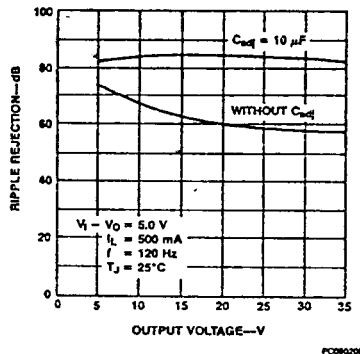
Temperature Stability



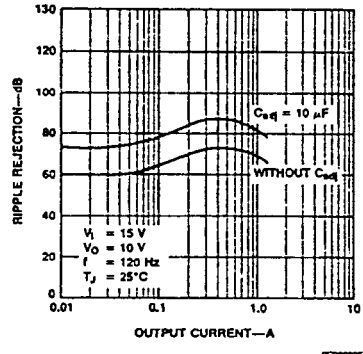
Minimum Operating Current



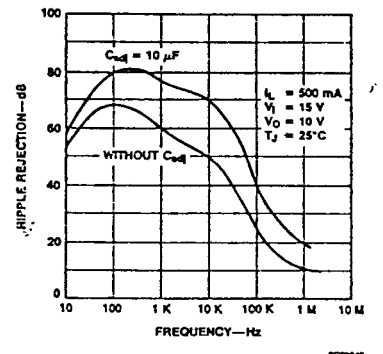
Ripple Rejection vs Output Voltage



Ripple Rejection vs Output Current



Ripple Rejection vs Frequency



เอกสารอ้างอิง

1. สันติ อัครวิงศ์ธร , "รีเลย์ป้องกันกับการป้องกันระบบกำลัง" , สมาคมศูนย์วิชาการไทย-ออสเตรเลีย , 189 หน้า , 2526
2. T.S. Madhava Rao , "Power System Protection ; Static Relay" , McGRAW-HILL , 705 p. , 1979
3. William D. Stevenson, Jr. ; "Element of Power System Analysis" , 4th Edition , McGRAW-HILL , 436 p. , 1982



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณในความกรุณาของ อาจารย์ ศิริวัฒน์ โฟติเวชกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา) ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำตลอดจนแนวทางปฏิบัติ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อคณะผู้จัดทำ ซึ่งส่งผลให้ปริิญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

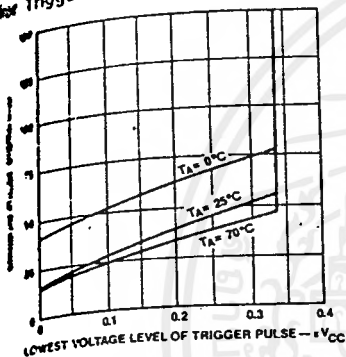


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

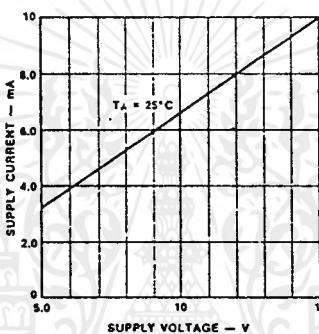
μA555

Typical Performance Curves

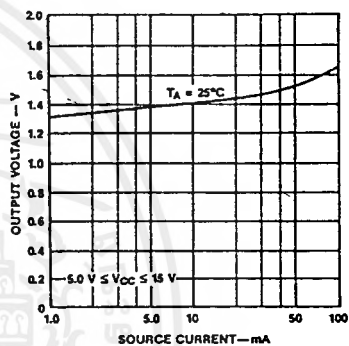
Minimum Pulse Width Required for Triggering



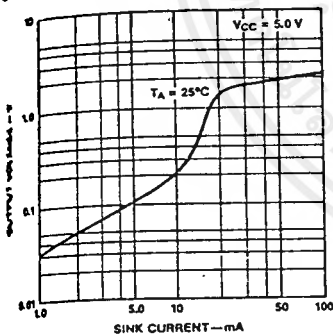
Total Supply Current vs Supply Voltage



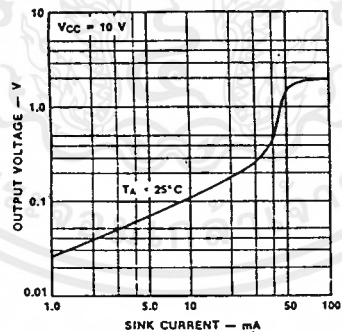
Output Voltage HIGH vs Output Source Current



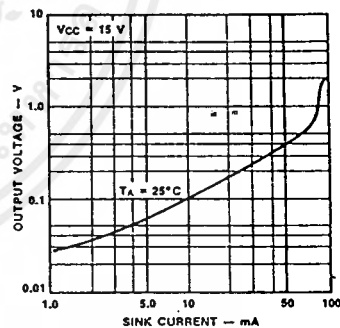
Output Voltage LOW vs Output Sink Current



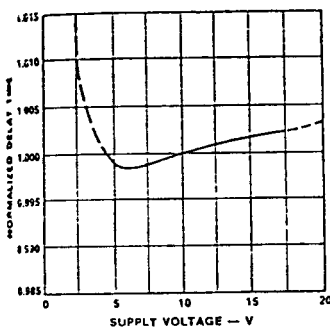
Output Voltage LOW vs Output Sink Current



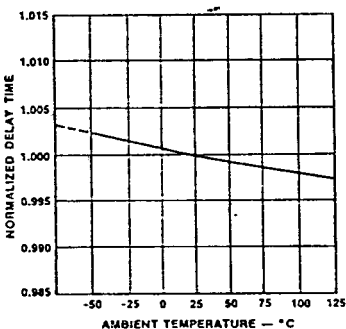
Output Voltage LOW vs Output Sink Current



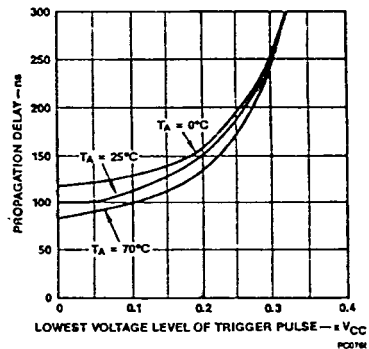
Delay Time vs Supply Voltage



Delay Time vs Ambient Temperature



Propagation Delay vs Voltage Level of Trigger Pulse



μA555

Typical Applications

Monostable Operation

In the monostable mode, the timer functions as a one shot. Referring to Figure 1 the external capacitor is initially held discharged by a transistor inside the timer.

When a negative trigger pulse is applied to lead 2, the flip-flop is set, releasing the short circuit across the external capacitor and driving the output HIGH. The voltage across the capacitor increases exponentially with the time constant $\tau = R1C1$. When the voltage across the capacitor equals $\frac{2}{3} V_{CC}$, the comparator resets the flip-flop which then discharges the capacitor rapidly and drives the output to its LOW state. Figure 2 shows the actual waveforms generated in this mode of operation.

The circuit triggers on a negative going input signal when the level reaches $\frac{1}{3} V_{CC}$. Once triggered, the circuit remains in this state until the set time elapsed, even if it is triggered again during this interval. The duration of the output HIGH state is given by $t = 1.1 R1C1$ and is easily determined by Figure 3. Notice that since the charge rate and the threshold level of the comparator are both directly proportional to supply voltage, the timing interval is independent of supply. Applying a negative pulse simultaneously to the Reset terminal (lead 4) and the trigger terminal (lead 2) during the timing cycle discharges the external capacitor and causes the cycle to start over. The timing cycle now starts on the positive edge of the reset pulse. During the time the reset pulse is applied, the output is driven to its LOW state.

When Reset is not used, it should be tied HIGH to avoid any possibility of false triggering.

Figure 1 Monostable Mode

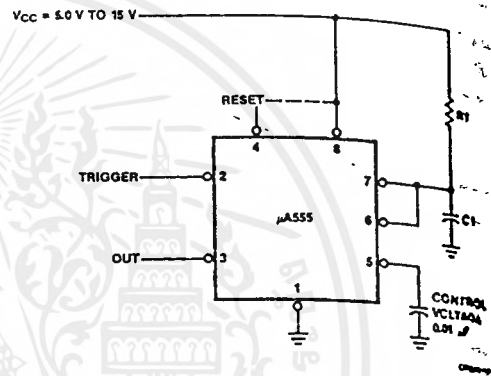


Figure 2 Monostable Waveform

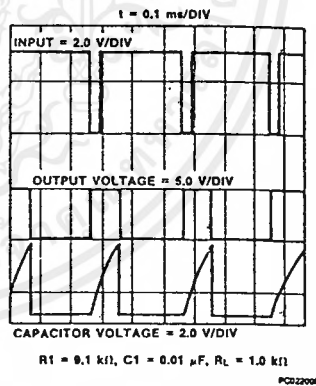
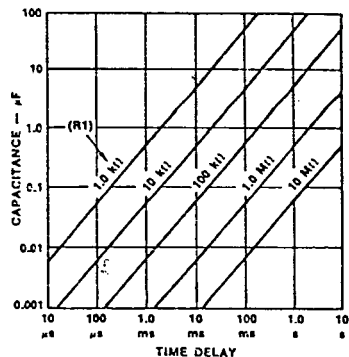


Figure 3 Time Delay vs R1 and C1



μA555

μA555
Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_+ = +5.0\text{ V}$ to $+15\text{ V}$, unless otherwise specified.

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typ	Max	Unit
V_{CC}	Supply Voltage		4.5		16	V
I_{CC}	Supply Current ¹	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $R_L = \infty$		3.0	6.0	mA
		$V_{CC} = 15\text{ V}$, $R_L = \infty$ LOW State		10	15	mA
t_D	Timing Error	$R_1 = 2.0\text{ k}\Omega$ to $100\text{ k}\Omega$ $C = 0.1\text{ }\mu\text{F}$		1.0		%
			Initial Accuracy		50	%
			Drift with Temperature		0.1	%
V_{TH}	Threshold Voltage	$V_{CC} = 5.0\text{ V}$	2.6	3.33	4.0	V
		$V_{CC} = 15\text{ V}$	9.0	10	11	V
V_{TR}	Trigger Voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$	4.0	5.0	6.0	V
		$V_{CC} = 5.0\text{ V}$	1.1	1.67	2.2	V
I_{TR}	Trigger Current			0.5	5.0	mA
V_R	Reset Voltage		0.4	0.7	1.0	V
I_R	Reset Current			0.1	1.5	mA
I_{TH}	Threshold Current ²			0.1	0.25	mA
V_{CV}	Control Voltage Level	$V_{CC} = 15\text{ V}$	9.0	10	11	V
		$V_{CC} = 5.0\text{ V}$	2.6	3.33	4.0	V
V_{OL}	Output Voltage LOW	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{O-} = 10\text{ mA}$		0.1	0.25	V
		$I_{O-} = 50\text{ mA}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$		0.4	0.75	V
		$I_{O-} = 100\text{ mA}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$		2.0	2.5	V
		$I_{O-} = 200\text{ mA}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$		2.5	3.5	V
		$V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $I_{O-} = 8.0\text{ mA}$		0.3		V
		$I_{O-} = 5.0\text{ mA}$, $V_{CC} = 5.0\text{ V}$		0.25	0.35	V
V_{OH}	Output Voltage HIGH	$I_{O+} = 200\text{ mA}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	11.0	12.5		V
		$I_{O+} = 100\text{ mA}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	12.75	13.3		V
		$V_{CC} = 5.0\text{ V}$, $I_{O+} = 100\text{ mA}$	2.75	3.3		V
t_r	Rise Time of Output			100		ns
t_f	Fall Time of Output			100		ns
I_{DIS}	Discharge Leakage Current			20	100	nA

Notes

- Supply Current is typically 1.0 mA less when output is HIGH.
- This will determine the maximum value of $R_1 + R_2$. For 15 V operation, the maximum total $R = 10\text{ M}\Omega$.