ปีการศึกษา 2530

ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 2 (ระบบป้องกัน)

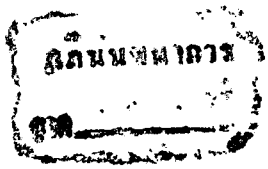
โดย

นายฉัตรมงคล บุญลอย 27.1040

นายนฤเทพ สันตะรัตติวงศ์ 27.1090

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2530

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 2 (ระบบป้องกัน)

ผู้จัดทำ

1. นาย ฉัตรมงคล บุญลอย 27.1040

2. นาย นฤเทพ สันตะรัตติวงศ์ 27.1090

อาจารย์ ดิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

(_____)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

024627

ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 2

ฉัตรมงคล บุญลอย
นฤเทพ สันตะรัตติวงศ์
อ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2530

บทคัดย่อ

ระบบไฟฟ้ากำลังที่มีอยู่ในปัจจุบัน มักจะประสบกับปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะปัญหาเรื่องการลัดวงจร , แรงดันสูงหรือต่ำเกินไป ซึ่งเหตุการณ์เหล่านี้เราไม่สามารถที่จะทราบล่วงหน้าได้ จึงต้องมีส่วนของระบบป้องกันติดตั้งอยู่ด้วย เพื่อว่าเมื่อเกิดเหตุการณ์เหล่านี้ขึ้น จะไม่ทำให้ระบบเกิดการเสียหาย หรือให้เสียหายน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะศึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง ในส่วนที่ครอบคลุมเนื้อหาเกี่ยวกับระบบป้องกันชนิดต่างๆ , การจัดโคออร์ดิเนชั่นของระบบป้องกัน ตลอดจนการจำลองการเกิดเหตุการณ์ผิดปกติต่างๆ ของระบบไฟฟ้า จัดทำเป็นชุดทดลองเพื่อใช้ประกอบการศึกษาในเรื่องระบบไฟฟ้ากำลัง ของนักศึกษาภาควิชาไฟฟ้ากำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER SYSTEM SIMULATOR II

MR. Chatmongkon Boonloy

MR. Naruethep Santarattivong

MR. Siriwat Potivejkul M.ENG Advisor

1987

Abstract

The power system available in present always face against problems which may occur, especially fault, surge, over or under voltage that we can't know when they will happen. So it must have the protective system to prevent damage of system following the occurrence of abnormal event, or getting least damage. This thesis contents the studying of simulating system which emblace detail of several kinds of protective system, coordinating of protective system and simulating the abnormal event of power system. This thesis will be further useful for engineering students in experiment of power system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
1	บทนำ	1
2	ทฤษฎีและหลักการ	4
	2.1 ฟอลต์และสาเหตุการเกิด	4
	2.2 ระบบป้องกัน	8
	2.2.1 ขั้นตอนการทำงานของสวิทเกียร์	8
	2.2.2 อินสทรูเมนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์	9
	2.2.3 รีเลย์ควบคุม	14
	2.2.4 การปิดเปิดวงจรในระบบไฟฟ้า	19
3	การคำนวณและการสร้าง	21
	3.1 การจำลองสภาวะผิดปกติ	21
	3.1.1 การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร	21
	3.1.2 การเกิดกระแสเกิน	25
	3.1.3 การเกิดแรงดันสูงเกินและต่ำเกิน	25
	3.1.4 การเกิดไฟฟ้ารั่วลงดิน	25
	3.1.5 การเรียงเฟสผิด	26
	3.2 การสร้างและออกแบบอินสทรูเมนท์ ทรานสฟอร์เมอร์	26
	3.2.1 การออกแบบ พีที	27
	3.2.2 การออกแบบ ซีที	28
	3.3 การออกแบบและการสร้างรีเลย์ป้องกัน	28
	3.3.1 การออกแบบและการสร้างโอเวอเคอเรนท์ รีเลย์	31
	3.3.2 การออกแบบและการสร้างออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์	38
	3.3.3 การออกแบบและการสร้างโอเวอร์ และ อันเดอร์-โวลเตจ รีเลย์	44
	3.3.4 การออกแบบและการสร้างเอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.3.5 การออกแบบและการสร้างเฟส ชีเควนซ์ รีเลย์	56
4	การทดสอบและการนำไปใช้งาน	62
	4.1 การใช้งานตัวเหนี่ยวนำในการจำลองการลัดวงจร	62
	4.2 การทดสอบและการใช้งานอินสทรูเมนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์	63
	4.2.1 ซีที	63
	4.2.2 พีที	66
	4.3 การทดสอบและการใช้งานโปรเทคทีฟ รีเลย์	68
	4.3.1 โอเวอเคอเรนท์ รีเลย์	68
	4.3.2 ออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์	71
	4.3.3 โอเวอร์ และ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์	72
	4.3.4 เอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์	72
	4.3.5 เฟส ชีเควนซ์ รีเลย์	73
5	บทวิจารณ์และสรุป	74
	ภาคผนวก	
	- วงจร OP-AMP ชนิดต่างๆ	ก
	- วงจร ไทม์เมอร์ ชนิดต่างๆ	ข
	- วงจร เรกติไฟเออร์	ค
	- รายละเอียดไอซี	ง
	กิตติกรรมประกาศ	
	หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

บทที่	รูปที่		หน้า
2	2.1	ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ลงดินโดยตรง	4
	2.2	ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ลงดินผ่านสายนิวทรอล	5
	2.3	ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบเดลต้า (Delta)	5
	2.4	ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบสตาร์ (Star) 3 เฟส 3 สาย	6
	2.5	ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบ 3 เฟส 4 สาย	6
	2.6	ดับเบิ้ล ไลน์-ทู-กราวน์	7
	2.7	ทรีเฟส ฟอลต์	7
	2.8	แสดงขั้นตอนการทำงานของสวิทเกียร์	8
	2.9	โครงสร้างของหม้อแปลงอย่างง่าย	10
	2.10	โพลาริตี้ของหม้อแปลง	11
	2.11	สัญญลักษณ์แทนคอนแทกของรีเลย์ในวงจร	17
3	3.1	ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบไฟฟ้าจำลอง	21
	3.2	แสดงการจำลองการเกิดกระแสลัดวงจร	22
	3.3	วงจรการต่อตัวเหนี่ยวนำเพื่อสร้างกระแสลัดวงจร	25
	3.4	การจำลองการเกิดไฟฟ้ารั่วลงดิน	26
	3.5	อินสทรูเมนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์	26
	3.6	วงจรแสดงระบบป้องกัน	30
	3.7	บล๊อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโอเวอร์เคอเรนท์ รีเลย์	32
	3.8	วงจรโอเวอร์เคอเรนท์ รีเลย์	35
	3.9	แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของโอเวอร์เคอเรนท์ รีเลย์	36
	3.10	บล๊อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของออโต รีโคลสชิ่ง รีเลย์	39
	3.11	วงจรออโต รีโคลสชิ่ง รีเลย์	41
	3.12	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ของวงจรออโต รีโคลสชิ่ง รีเลย์	42
	3.13	บล๊อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโอเวอร์ และ อันเดอร์ –	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

บทที่	รูปที่		หน้า
		โวลเตจ รีเลย์	45
	3.14	วงจรโอเวอร์ และ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์	47
	3.15	แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ของวงจรโอเวอร์ และ อันเดอร์-โวลเตจ รีเลย์	48
	3.16	บล๊อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์	52
	3.17	วงจรเอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์	53
	3.18	แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของเอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์	54
	3.19	บล๊อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเฟส ซีเควนซ์ รีเลย์	57
	3.20	วงจรเฟส ซีเควนซ์ รีเลย์	58
	3.21	แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของวงจรเฟส ซีเควนซ์ รีเลย์	59
4	4.1	แสดงโครงสร้างของตัวเหนี่ยวนำ	62
	4.2	การทดสอบ ซีที	64
	4.3	การทดสอบโพลาริตี้ ของ ซีที	66
	4.4	วงจรการทดสอบ พีที	67
	4.5	การทดสอบโพลาริตี้ ของ พีที	68
	4.6	การทำงานของ โอเวอเคอเรนท์ รีเลย์	71
5	5.1	ชุดทดลองระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

บทที่	ตารางที่		หน้า
3	3.1	แสดงรายการอุปกรณ์ของโอเวอร์เคอเรนท์ รีเลย์	37
	3.2	แสดงรายการอุปกรณ์ของออโต รีโคลสชิ่ง รีเลย์	43
	3.3	แสดงรายการอุปกรณ์ของโอเวอร์ และ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์	49
	3.4	แสดงอุปกรณ์ของเอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์	55
	3.5	แสดงอุปกรณ์ของเฟส ซีเควนซ์ รีเลย์	60
4	4.1	ผลการทดสอบ ซีที ขนาด 640/5	64
	4.2	ผลการทดสอบ ซีที ขนาด 255/4	65
	4.3	ผลการทดสอบ พีที ขนาด 127/5	67
	4.4	ผลการทดสอบ โอเวอเคอเรนท์ รีเลย์	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญลักษณ์

V	:	แรงดันไฟฟ้า
I	:	กระแสไฟฟ้า
R	:	ความต้านทาน
L	:	ความเหนี่ยวนำ
μ_o	:	เปอร์มีอะบิลิตี้ (Permeability) ของอากาศ
N	:	จำนวนรอบของขดลวด
A	:	พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก
f	:	ความถี่
B	:	ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก
g	:	ระยะแก็ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในระบบไฟฟ้ากำลังนั้น เราต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมหาศาลเพื่อทำการผลิต ส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบและจัดการให้การจ่าย กำลังไฟฟ้าไปยังจุดที่มีการใช้ไฟฟ้าเป็นไปอย่างเชื่อถือได้และประหยัด

ในสภาวะปกติ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าผ่านตัวนำทองแดงหรืออลูมิเนียมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) , หม้อแปลง (Transformer) , สายส่งไฟฟ้า (Transmission Line) และอุปกรณ์อื่นๆ ไปยังโหลด (Load) กระแสไฟฟ้าถูกจัดให้ไหลในเส้นทางนี้เพราะมีฉนวนหุ้มตัวนำอยู่ อย่างไรก็ตามอาจเกิดภาวะผิดปกติขึ้นในระบบกำลัง เช่นฉนวนบางส่วนเสียหาย หรือพัง อันอาจเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิที่ทำให้ฉนวนเสื่อมคุณภาพ หรืออาจเนื่องมาจากอุบัติเหตุทำให้ ฉนวนแตกหัก หรืออื่นๆ เมื่อฉนวนพังหรือเสียหายกระแสจะไหลผ่านส่วนอื่นๆซึ่งไม่ใช่เส้นทางปกติ เรียกว่าเกิดการลัดวงจรหรือฟอลต์ (Fault) เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นพลังงานไฟฟ้าปริมาณมหาศาลสามารถทำความเสียหายหรือกระทบกระเทือนต่อระบบไฟฟ้ากำลังได้หลายอย่าง ดังนี้

1) ฟอลต์ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปมีกระแสไหลสูงมาก เป็นผลให้เกิดความร้อนสูงเกิน (Overheating) ในส่วนต่างๆของระบบไฟฟ้ากำลังที่กระแสฟอลต์ไหลผ่าน

2) ระหว่างที่เกิดฟอลต์มักจะมีอาร์ก (Arc) เกิดขึ้นด้วย อุณหภูมิที่สูงขึ้นของอาร์กสามารถหลอมละลายหรือทำให้สารต่างๆระเหยไปได้ในพริบตา ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า และอาจเกิดไฟไหม้ได้ด้วย

3) ฟอลต์ทำให้แรงดันของระบบต่ำหรือสูงกว่าพิสัยที่ยอมรับได้

4) ฟอลต์อาจทำให้ระบบ 3 เฟสเกิดความไม่สมดุลย์ เป็นผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานไม่ถูกต้อง

5) ฟอลต์เป็นอุปสรรคต่อการส่งกำลังไฟฟ้าไปยังจุดที่ต้องการใช้ไฟฟ้า

6) ฟอลต์อาจทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังทั้งระบบสูญเสียเสถียรภาพเป็นผลทำให้เกิดไฟดับทั่วทุกแห่ง (Black Out)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังนอกจากการลัดวงจรหรือฟอลต์ ซึ่งให้ผลเสียหายร้ายแรงที่สุดแล้วยังมีความผิดปกติอื่นๆ ได้แก่ การเกิดภาระแรงดันสูงเกิน (Over Voltage) หรือต่ำเกิน (Under Voltage) อันเนื่องมาจากอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าไม่ปกติ , การเรียงลำดับเฟสผิด , การเกิดความถี่ต่ำ (Under Frequency) อันเนื่องมาจากกำลังผลิตทางไฟฟ้าไม่เพียงพอกับโหลด การใช้งานเกินกำลังของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เป็นต้น

ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังอาจเกิดจากสายตัวนำขาด หรือการเสียหายของฉนวน การขาดของสายตัวนำอาจเกิดจาก ลม หิมะ หรือสาเหตุทางกลอื่นๆ ฉนวนไฟฟ้าโดยทั่วไปจะเป็นอากาศหรือวัสดุที่มีความต้านทานจำเพาะสูง ฉนวนที่เป็นอากาศอาจเกิดการลัดวงจรได้จาก นก หนู งู หรือกิ่งไม้ ฯลฯ หรือการลัดวงจรอาจเนื่องมาจากขบวนการที่ทำให้เกิดไอออนที่มีต้นเหตุมาจากคลื่นฟ้าผ่า ฉนวนที่เป็นสารอินทรีย์อาจเสื่อมคุณภาพเนื่องจากความร้อน หรืออาจพัง (Break Down) เนื่องจากแรงดันคลื่นฟ้าผ่า (Lightning) หรือคลื่นที่เกิดจากการสวิทช์ (Switching) เป็นต้น ฉนวนลูกถ้วยอาจเกิดทางผ่านกระแสไฟฟ้าเนื่องจากฝุ่นหรือเกลือจับเกาะ ฟอลต์ที่เกิดขึ้นกับส่วนสำคัญของระบบอาจทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพได้ เช่น ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในบริเวณบัสบาร์ (Bus Bar) ของโรงจักรไฟฟ้าอาจทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกชุดในโรงจักรนี้เสียเสถียรภาพไปด้วย

ความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังอาจทำให้เกิดน้อยครั้งลงได้ด้วยมาตรการหลายประการ เช่น การออกแบบระบบควบคุมที่ดี การจัดหากำลังผลิตให้เพียงพอกับโหลดในปัจจุบันและอนาคต การออกแบบฉนวนที่เพียงพอ การที่มีระเบียบในการดำเนินงานและการบำรุงรักษาที่ถูกต้อง เป็นต้น

ในทางปฏิบัติ เนื่องจากขีดจำกัดทางเศรษฐกิจเราจึงไม่สามารถออกแบบระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อหลีกเลี่ยงความผิดปกติได้อย่างสมบูรณ์ แต่เราอาจเพิ่มมาตรการเพื่อลดผลเสียหายเนื่องจากฟอลต์และความผิดปกติได้ เช่น การออกแบบเพื่อจำกัดขนาดกระแสลัดวงจร , การออกแบบตัวนำให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทนแรงเค้นและความร้อนสูงในช่วงเวลาสั้นๆ และที่สำคัญที่สุด คือ การออกแบบระบบรีเลย์ป้องกัน (Protective Relay)

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่า ระบบป้องกันเป็นสิ่งที่จำเป็นมากและจะขาดเสียไม่ได้เลยในระบบไฟฟ้ากำลังทุกระบบ ซึ่งรวมไปถึงระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่เราได้ทำการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นมาในปริญญานิพนธ์เรื่อง " การจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง " นี้ด้วย

สำหรับหัวข้อของปริญญานิพนธ์เรื่องนี้ จะมีเนื้อหาเกี่ยวกับ การจำลองปรากฏการณ์ผิดปกติต่างๆที่จะเกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลัง ได้แก่

-การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit)

-การเกิดกระแสเกิน (Over Current)

-การเกิดแรงดันสูงเกินหรือต่ำเกิน (Over,Under Voltage)

-การเกิดไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน (Earth Leakage)

-การเรียงเฟสผิด

นอกจากนั้นจะมีการกล่าวถึงการออกแบบรีเลย์ป้องกันสำหรับปรากฏการณ์ผิดปกติต่างๆที่เกิดขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

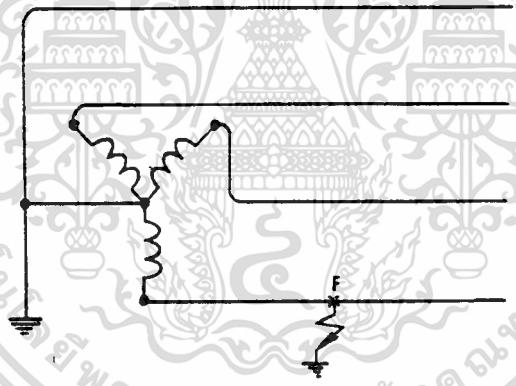
บทที่ 2
ทฤษฎี และ หลักการ

2.1 ฟอลต์และสาเหตุการเกิด

การเกิดฟอลต์หรือการเกิดลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลังโดยทั่วๆไปนั้น เราอาจจะแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

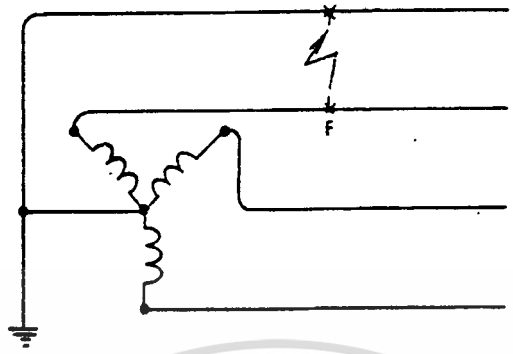
1) ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ (Line-to-ground Fault)

ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ คือ การที่สายไฟเส้นใดเส้นหนึ่งเกิด การลัดวงจรลงดิน ทั้งที่ลัดวงจรลงดินโดยตรง หรือโดยผ่านสายนิวทรอล (Neutral) หรือสายกราวน์ (Overhead Grornd Wire) ดังในรูปที่ 2.1 และ รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ ลงดินโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



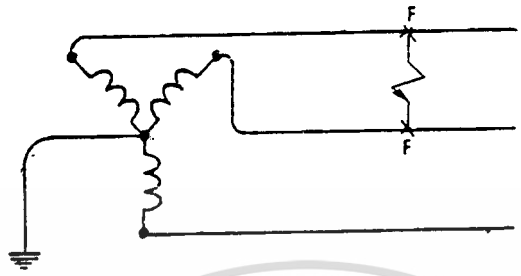
รูปที่ 2.2 ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ ลงดินผ่านสายนิวทรอล

2) <u>ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์</u> (Line-to-line Fault)

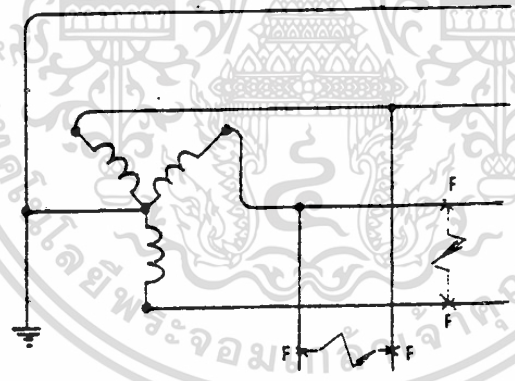
ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ คือ การที่สายเฟสจำนวน 2 เส้น เกิดการลัดวงจรถึงกัน ดังรูปที่ 2.3 , รูปที่ 2.4 , และรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.3 ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบเดลต้า (Delta)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

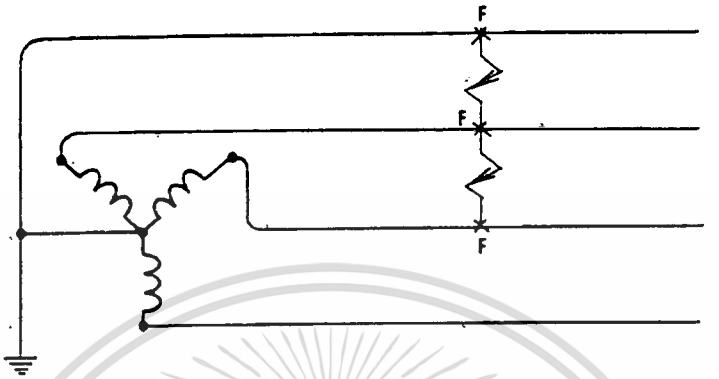


รูปที่ 2.5 ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ ในระบบ 3 เฟส 4 สาย

3) <u>ดับเบิ้ล-ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์</u> (Double-line-to-ground Fault)

ดับเบิ้ล-ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ เกิดขึ้นเมื่อสายเฟสจำนวน 2 สาย เกิดการลัดวงจรถึงกันและลงดินด้วย ดังรูปที่ 2.6

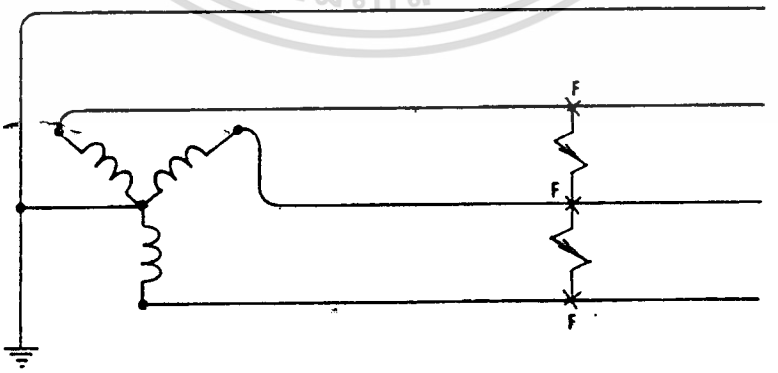
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ดับเบิ้ล-ไลน์-ทู-กราวน์

4) <u>ทรี-เฟส ฟอลต์</u> (Three-phase Fault)

ทรี-เฟส ฟอลต์ เกิดขึ้นเมื่อสายเฟสทั้งสามเกิดการลัดวงจรถึงกันทั้ง 3 เฟส ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ทรี-เฟส ฟอลต์

นอกจากฟอลต์จะแบ่งประเภทออกได้ดังกล่าวแล้ว เรายังอาจแบ่งได้ตาม ลักษณะอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างหนึ่งดังนี้ คือ

1) ฟอลต์ชั่วคราว (Temporary Fault) เช่น กิ่งไม้ กิ่งไผ่ หรือใบไม้ ถูกลมพัดไปแตะถูกสายไฟ ฟอลต์เหล่านี้เกิดขึ้นเพียงชั่วคราวแล้วอาจหลุดออกหรือถูกอาร์กไหม้ขาดหลุดออกไปจนไม่แตะสายไฟ

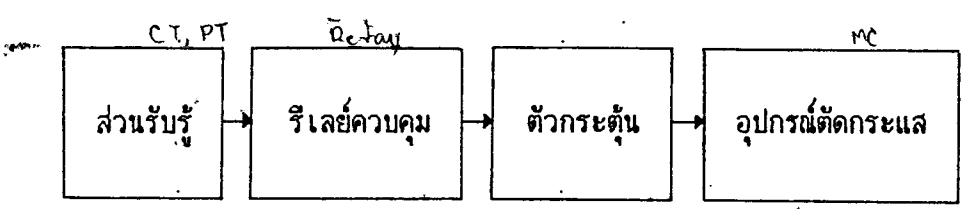
2) ฟอลต์ถาวร (Permanent Fault) เช่น สายขาดตกลงบนพื้นดิน , สายหลุดออกจากลูกถ้วยหล่นลงมาพาดไม้คอน , มีเหล็กหรือเส้นโลหะแตะพาดสาย , ต้นไม้ล้มทับสาย , เสาล้มทำให้แตะพื้นดิน

2.2 ระบบป้องกัน

เมื่อมีสาเหตุผิดปกติเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบป้องกันจะมีหน้าที่ตัดตอนวงจรไฟฟ้าส่วนนั้นออกจากระบบ โดยใช้อุปกรณ์ที่เราเรียกว่า "สวิทช์เกียร์" (Switchgear) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับปิดเปิดวงจรไฟฟ้าและสามารถตัดกระแส ขณะมีโหลดหรือฟอลต์ได้ และอุปกรณ์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวโดยตรง ซึ่งได้แก่ ชุดควบคุม (Control Device) , ชุดเครื่องวัด (Metering Device) , ชุดเรกกูเลติ้ง (Regulating Device) และยังจะรวมถึงส่วนต่างๆของอุปกรณ์ดังกล่าวที่ต่อร่วมกัน , ชิ้นส่วนประกอบอื่นๆ (Accessaries) , โครงห่อหุ้มอุปกรณ์ (Enclosure) และโครงยึดอุปกรณ์ (Supporting Structure)

2.2.1 ขั้นตอนการทำงานของสวิทช์เกียร์

ในการใช้สวิทช์เกียร์เพื่อป้องกันระบบ (System Protection) จำเป็นจะต้องอาศัยอุปกรณ์ต่างๆที่สำคัญของสวิทช์เกียร์ร่วมประสานงานกัน 4 ส่วน คือ



รูปที่ 2.8 แสดงขั้นตอนการทำงานของสวิทช์เกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ส่วนรับรู้ (Sensing Device) ได้แก่ อินสทรูเมนท์ทรานสฟอร์มเมอร์ (Instrument Transformer) หรือ ซีที (C.T.) , พีที (P.T.) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นยามระวังเหตุ เมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติเกิดขึ้นในระบบก็จะส่งสัญญานบอกเหตุมายังรีเลย์

2) รีเลย์ควบคุม (Control Relay) ได้แก่ รีเลย์ต่างๆ ซึ่งจะทำหน้าที่รับสัญญานบอกเหตุจากซีที หรือพีที โดยจะได้รับกระแสไฟฟ้าจากซีที หรือพีที หรือแหล่งจ่ายไฟอื่นๆ เพื่อให้พลังงาน (Energize) ขดลวดของตัวเอง แล้วต่อคอนแทค (Contact) ให้ทริปคอยล์ (Trip Coil) หรือโคลสชิ่งคอยล์ (Closing Coil) ของสวิชเกียร์ทำงาน

3) ตัวกระตุ้น (Actuator) ได้แก่ วงจรทริปคอยล์ , วงจรโคลสชิ่งคอยล์ และชุดกลไก (Mechanism) ที่ส่งความเคลื่อนไหวให้ชุดอินเตอร์รัพเตอร์ (Interrupter) ปิดเปิดวงจรได้ ซึ่งเมื่อทริปคอยล์หรือโคลสชิ่งคอยล์ของสวิชเกียร์ถูกให้พลังงาน จะไปกระตุ้นให้ชุดกลไก (Mechanism) ส่งความเคลื่อนไหวให้คอนแทคในชุดอินเตอร์รัพเตอร์ปิดเปิดวงจรได้

4) อุปกรณ์ตัดกระแส (Interrupter Of Circuit Breaker) คือส่วนที่ทำหน้าที่ปิดเปิดคอนแทคของวงจรและดับอาร์ค ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆดังนี้

1. คอนแทคอยู่กับที่ (Fixed Contact)
2. คอนแทคเคลื่อนที่ (Moving Contact)
3. ห้องดับอาร์ค (Arc Chamber)
4. ตัวกลางดับอาร์ค (Arc Extinction Media) เช่น น้ำมัน, อากาศ (ลมอัด), แก๊ส SF_6 และสูญญากาศ เป็นต้น

2.2.2 <u>อินสทรูเมนทรานสฟอร์มเมอร์</u> (Instrument Transformer)

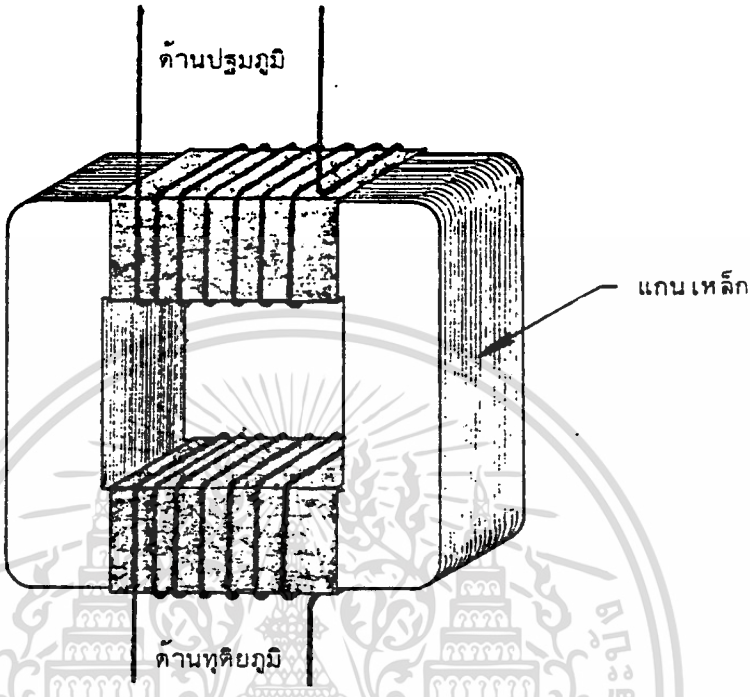
-อินสทรูเมนทรานสฟอร์มเมอร์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์รับรู้ (Sensing Devices) ส่งสัญญาณบอกเหตุมายังรีเลย์ โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ซีที หรือ เคอเร้นทรานสฟอร์มเมอร์ (Current Transformer) และ พีที หรือ โพเทนเชียลทรานสฟอร์มเมอร์ (Potential Transformer) ใช้ในการลดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมแก่การใช้งานกับมิเตอร์หรือรีเลย์หรืออุปกรณ์อื่นๆ

อินสทรูเมนทรานสฟอร์มเมอร์ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ วงจรไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ (Primary Electrical Circuit) , วงจรไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ (Secondary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

084827

Electrical Circuit) และวงจรสนามแม่เหล็ก (Core Magnetic Circuit)



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของหม้อแปลงอย่างง่ายๆ

<u>โพลาริตี้ (Polarity) ของอินสทรูเมนทรานสฟอร์มเมอร์</u>

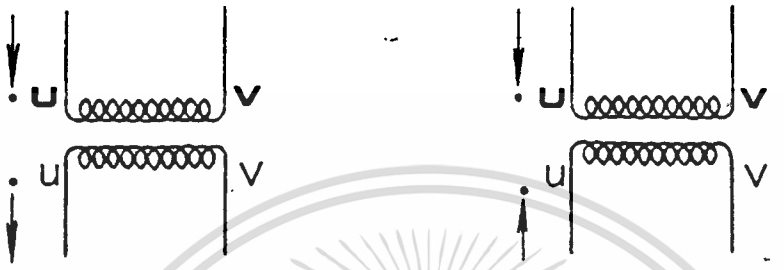
โพลาริตี้ เป็นเครื่องแสดงความสัมพันธ์ของทิศทางการไหลของกระแสทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิของหม้อแปลง ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางการพันขดลวดของหม้อแปลง

โพลาริตี้ของหม้อแปลง แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. แบบขั้วหักล้างกัน (Subtractive Polarity) หมายถึง การที่หม้อแปลงซึ่งเมื่อกำหนดให้ทางด้านปฐมภูมิมีกระแสไหลเข้าที่ขั้วใดขั้วหนึ่ง และจะมีกระแสไหลออกทางด้านทุติยภูมิที่ขั้วตรงกัน (เช่น ซีทีขั้ว K ตรงกับขั้ว k หรือพีทีขั้ว U ตรงกับขั้ว u) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ก.

2. แบบขั้วเสริมกัน (Additive Polarity) หมายถึงการที่หม้อแปลงซึ่งเมื่อกำหนดให้ทางด้านปฐมภูมิมีกระแสไหลเข้าที่ขั้วใดขั้วหนึ่ง และทางด้านทุติยภูมิจะมีกระแสไหลเข้าที่ตรงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. Subtractive polarity ข. Additive polarity

รูปที่ 2.10 โพลาริตี้ของหม้อแปลง

อินสทรูเมนทรานฟอร์มเมอร์ที่ใช้โดยทั่วไป จะมีขั้วเป็นแบบขั้วหักล้างกัน โดยจะมีเครื่องหมายหรือตัวอักษรกำกับที่ขั้วของอินสทรูเมนทรานสฟอร์มเมอร์ ทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิแสดงความสัมพันธ์ของกระแส "เข้า" และ "ออก" เช่นอาจจะใช้เครื่องหมาย "." แสดงไว้ เครื่องหมายนี้หากอยู่ทางขั้วใดของทางด้านปฐมภูมิ แสดงว่ากระแสเข้าทางขั้วนั้น และขณะเดียวกันกระแสทางด้านทุติยภูมิจะออกจากขั้วที่มีเครื่องหมายนี้

ในการใช้งานต่อซีทีร่วมกันหรือต่อพีทีร่วมกัน โดยใช้กับมิเตอร์ หรือรีเลย์ หรืออุปกรณ์อื่นๆในระบบ 3 เฟส จะต้องต่อขั้วให้ถูกต้อง (ตามแผนผังการวางสาย (Diagram Wiring) ของผลิตภัณฑ์นั้นๆ) ถ้าหากต่อผิดขั้ว จะทำให้มิเตอร์อ่านค่าได้ผิดพลาด หรือหากใช้กับรีเลย์ด้วยแล้ว ยิ่งมีความสำคัญมาก หากต่อผิดจะทำให้การทำงานของรีเลย์ไม่เป็นไปตามความต้องการ ฉะนั้นทุกครั้งที่มีการต่อซีทีหรือพีทีใช้งานร่วมกันควรตรวจสอบเสียก่อนว่าเครื่องหมายบนซีทีและพีทีถูกต้องหรือไม่ ถ้าต่อซีทีหรือพีทีใช้งานเพียงตัวเดียวแบบซิงเกิลเฟส (Single Phase) เรื่องขั้วก็ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึง แต่ในกรณีที่ต้องต่อซีทีร่วมกับพีทีในระบบซิงเกิลเฟส จำเป็นจะต้องให้ถูกขั้วด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีที (เคอเร้นทรานสฟอร์มเมอร์)

ซีที คือ หม้อแปลงกระแสที่ใช้สำหรับลดค่ากระแสจากจำนวนมาก ลงมาเหลือจำนวนน้อย เพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น รีเลย์, มิเตอร์ และอุปกรณ์อื่นๆที่ใช้ประกอบ ซีทีที่ใช้งานโดยทั่วๆไปมักจะมีอัตราส่วนเป็น ..../ 5A เช่น 600/5, 500/5, 400/5, 300/5, 200/5, 150/5, 100/5, 75/5, และ 50/5A เป็นต้น ทางด้านทุติยภูมิ อาจจะมีขดลวดเดียวหรือหลายขดก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับงานที่ต้องการจะใช้

สิ่งที่ควรทราบเกี่ยวกับคุณสมบัติของซีที

ในการพิจารณาใช้ซีทีให้เหมาะสมแก่การใช้งาน จะต้องพิจารณาถึงค่าต่างๆของซีทีดังนี้ คือ

1. ค่าพิกัดกระแสทางด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิ
2. ค่าพิกัดแรงดันทางด้านปฐมภูมิ
3. ค่าเบอร์เดน (Burden) คือ ค่าพิกัดโหลดภายนอกที่ต่อกับด้านทุติยภูมิของซีที มีหน่วยเป็นโวลท์-แอมป์ (VA)

ความคลาดเคลื่อนของซีที

ความคลาดเคลื่อนของซีทีเกิดขึ้นเนื่องจาก

1. การเปลี่ยนแปลงความถี่ ความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ต่ำลงความต้านทานและความร้อนจะสูงขึ้น เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น
2. การเปลี่ยนรูปลักษณะของคลื่นกระแส (Current Wave Form) อันเนื่องมาจากฮาร์โมนิกที่สาม (3 rd Harmonic) แต่การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่ทำให้ความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นมากนักสามารถที่จะติดตั้งได้
3. ความคลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจากซีที ตั้งอยู่ใกล้กับสายไฟที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเป็นจำนวนมาก เช่น ประมาณ 2,000 A หรือสูงกว่านั้น เส้นแรงแม่เหล็กจะเข้าไปผ่านแกนเหล็กของซีทีมาก จะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงกว่าปกติ
4. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้งาน ในการใช้งานไม่ควรใช้ซีที ให้เกินพิกัด หากเกินพิกัดแล้ว ความคลาดเคลื่อนจะมีมาก หากจำเป็นต้องใช้เกินพิกัดไม่ควรจะเกินกว่า 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปิดวงจรด้านทุติยภูมิ (Open Secondary Circuit)

ด้านทุติยภูมิของซีทีหรือด้านกระแสต่ำ จะต้องไม่เปิดวงจรไว้ ในขณะที่ด้านปฐมภูมิของซีทีหรือด้านกระแสสูงมีกระแสไหลอยู่ ในกรณีที่เปิดด้านทุติยภูมิไว้ จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กเพิ่มขึ้นซึ่งจะมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงทางด้านทุติยภูมิ หากแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมาก อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้และอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ด้วยได้โดยง่าย ฉะนั้นในการปฏิบัติงานถ้าจำเป็นต้องถอดสายทางด้านทุติยภูมิออก จะต้องลัดวงจรที่ขั้วของทางด้านทุติยภูมิไว้ก่อนเสมอ

พีที (Potential Transformer)

พีที คือ หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ลดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงๆให้เหลือค่าแรงดันต่ำๆ ให้เหมาะสมต่อการใช้งานกับมิเตอร์ หรือรีเลย์ หรืออุปกรณ์อื่นๆ

ความคลาดเคลื่อนของพีที

ความคลาดเคลื่อนของพีทีขึ้นอยู่กับ

1. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของขดลวด เนื่องจากความต้านทานของขดลวดเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง แต่ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอุณหภูมินี้จะมีค่าน้อยมาก คือ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปประมาณ 45 องศาเซลเซียส ความคลาดเคลื่อนจะมีประมาณ 0.1% ซึ่งน้อยมากและอาจตัดทิ้งได้

2. การเปลี่ยนรูปลักษณะคลื่นของแรงดัน อันเนื่องมาจากเกิดฮาร์โมนิคที่สาม (3 rd Harmonic) จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย ซึ่งในทางปฏิบัติอาจไม่ต้องคำนึงก็ได้

3. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดัน ตามปกติแรงดันต่ำกว่าที่กำหนด จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย แต่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อแรงดันสูงกว่าที่กำหนด นอกจากนี้ยังทำให้เกิดความร้อนในทางปฏิบัติ แรงดันไม่ควรเกิน 10% ของแรงดันที่กำหนด

4. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ ตามปกติพีทีออกแบบไว้ใช้กับความถี่ขนาดเดียว ซึ่งอาจจะเป็น 50 หรือ 60 เฮิรทซ์ หากใช้พีทีที่ความถี่อื่นซึ่งสูงกว่ามาก จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน แต่ความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมากซึ่งอาจจะตัดทิ้งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 <u>รีเลย์ควบคุม</u> (Control Relay)

การเปิดและปิดวงจรในขณะที่ระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาพปกตินั้น เราสามารถใช้คนเปิดและปิดวงจรเมื่อใดก็ได้ตามต้องการ แต่ในขณะที่ระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาพผิดปกติเช่น เกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ จำเป็นต้องตัดวงจรไฟฟ้าออกจากระบบด้วยความเร็วสูงมีหน่วยเป็นวินาทีหรือน้อยกว่า เพื่อป้องกันอันตรายและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบพร้อมทั้งยังทำให้ระบบสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อไปได้โดยมีความสูญเสียน้อยที่สุด ซึ่งความเร็วสูงที่ใช้ในการตัดวงจรนี้ ไม่อยู่ในวิสัยที่คนจะไปตัดวงจรได้ทัน จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันเข้ามาควบคุมและค้นหาสภาพผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบ แล้วสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดและปิดวงจรด้วยความเร็วสูงโดยอัตโนมัติ เราเรียกอุปกรณ์ป้องกันนี้ว่า " รีเลย์ " (Relay)

<u>การออกแบบโปรเทคทีฟรีเลย์</u> (Protective Relay)

โปรเทคทีฟรีเลย์ จะต้องไม่ทำงานในขณะที่ระบบอยู่ในสภาพปกติ แต่จะทำงานทันทีที่เกิดผิดปกติขึ้นในระบบ การใช้โปรเทคทีฟรีเลย์จะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดและสภาพของระบบที่จะป้องกันด้วย เพราะการมีระบบป้องกันมากเกินไปอาจทำให้ระบบเสียลงเช่นเดียวกับการมีระบบป้องกันน้อยเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบติดตั้งโปรเทคทีฟรีเลย์ให้เหมาะสมกับระบบที่จะป้องกัน ซึ่งจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้คือ

1. รีไลอะบิลิตี้ (Reliability) รีเลย์ที่จะนำมาใช้งานต้องทำงานได้ถูกต้องตามคุณสมบัติและขอบเขตที่กำหนดให้ทำงาน

2. สปีด (Speed) ความเร็วในการทำงานของรีเลย์แต่ละชนิดที่จะนำมาใช้งานต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับระบบที่จะป้องกัน ว่าต้องการใช้ความเร็วสูงเท่าใดในการสั่งปิดและเปิดเซอร์กิตเบรคเกอร์ เพื่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบน้อยที่สุด

3. ซีเล็กติวิตี้ (Selectivity) จะต้องออกแบบให้รีเลย์เลือกและสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัวที่อยู่ใกล้ส่วนที่เกิดฟอลต์มากที่สุดตัดวงจรเฉพาะส่วนนั้นออกไป โดยให้กระทบกระเทือนต่อระบบหลักน้อยที่สุด ซึ่งจะต้องจัดระบบการทำงานของรีเลย์ในแต่ละส่วนของระบบป้องกันให้ทำงานได้สัมพันธ์กัน

4. อีโคโนมิก (Economic) จะต้องออกแบบให้รีเลย์สามารถทำงานได้ตามความต้องการมากที่สุด โดยใช้เงินลงทุนน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ซิมพลิซิตี้ (Simplicity) จะต้องออกแบบระบบรีเลย์ให้ดูง่ายที่สุด หลีกเลี่ยงการใช้ระบบที่ยุ่งยากซับซ้อน

ในการป้องกันระบบไฟฟ้าด้วยโปรเทคทีฟรีเลย์ จำเป็นต้องศึกษาระบบและเข้าใจปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบเสียก่อน ดังนั้นจึงต้องมีข้อมูลที่สำคัญเพื่อใช้ในการออกแบบระบบป้องกันด้วยโปรเทคทีฟรีเลย์ ดังนี้

1. รูปแบบของระบบ หมายถึง ไดอะแกรมเส้นเดี่ยว (Single Line Diagram) ของระบบทั้งหมดที่ต้องการป้องกัน รูปแบบของระบบจะต้องแสดงรายละเอียด ตำแหน่งและขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาดและการต่อขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า ตำแหน่งของเซอร์กิตเบรคเกอร์ การจัดบัสบาร์ การจัดวงจรของสายส่งหรือสายจำหน่าย ขนาดของสายส่งหรือสายจำหน่าย ตลอดจนระบบแรงดันและขนาดของโหลด

2. ระบบป้องกันเดิมและปัญหาที่มีอยู่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการดัดแปลงแก้ไขหรือเพิ่มเติมให้ระบบป้องกันใหม่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

3. ระดับการป้องกันที่ต้องการ ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงการจัดวงจรและความลามารถในการทำงานของระบบ เช่น ระบบที่ต้องการป้องกันนั้นเหมาะสมที่จะใช้รีเลย์แบบที่ทำงานด้วยความเร็วสูง ปานกลาง หรือความเร็วต่ำ และต้องการให้มีการปิดกลับวงจรทันทีทันใดหรือไม่ (Instantaneous Reclosing) เป็นต้น

4. การศึกษาฟอลต์ชนิดต่างๆที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น ทรีเฟสฟอลต์ (Three-phase Fault) , ฟอลต์ระหว่างไลน์ (Line To Line Fault) และฟอลต์ระหว่างเฟสกับดิน (Line To Ground Fault) เป็นต้น เพื่อหาวิธีป้องกันที่ดีที่สุดสำหรับฟอลต์ทุกแบบ

5. โหลดสูงสุด ตำแหน่งและขนาดของ ซีที , พีที , ค่าอิมพิแดนซ์ของหม้อแปลงและสายส่งเป็นต้น

รีเลย์สามารถแบ่งออกตามลักษณะโครงสร้างเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ อิเลกโตรแมคคานิก รีเลย์ (Electromechanic Relay) และ สแตติก รีเลย์ (Static Relay)

- อิเลกโตรแมคคานิก รีเลย์ ที่สำคัญได้แก่

1) แอตแทรกเตด อาร์เมเจอร์ รีเลย์ (Attracted Armature Relay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) บาลานซ์ บีม รีเลย์ (Balance Beam Relay)

3) อินดักชั่น ดิส รีเลย์ (Induction Disc Relay)

4) อินดักชั่น คัพ รีเลย์ (Induction Cup Relay)

5) เปอร์มาเนนท์ แมคเนต มูพวิ่ง คอยล์ รีเลย์ (Permanent Magnet Moving Coil Relay)

6) เทอร์มอล รีเลย์ (Thermal Relay)

- สแตติก รีเลย์

รีเลย์แบบนี้ใช้สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ทำงานแทน โดยไม่มีส่วนเคลื่อนที่เหมือนในแบบอิเลคโตรแมคานิก รีเลย์ จึงทำงานได้รวดเร็วและมีความเชื่อถือสูง แต่การใช้งานของสแตติก รีเลย์ ยังไม่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง เนื่องจากอิเลกโตรแมคคานิก รีเลย์ถูกใช้งานมานาน ได้รับความเชื่อถือพอสมควร และปัจจุบันยังมีราคาถูกกว่าสแตติก รีเลย์

ข้อได้เปรียบของสแตติก รีเลย์ เมื่อเทียบกับอิเลคโตรแมคคานิก รีเลย์

1) สแตติก รีเลย์มีค่าเบอร์เดน (Burden) หรือ VA ต่ำกว่า อิเลคโตรแมคคานิก รีเลย์

2) สแตติก รีเลย์คืนตัวกลับสู่สภาพเริ่มต้น (Reset) ได้รวดเร็วและไม่มีโอเวอร์ชู้ต (Overshoot) เนื่องจากไม่มีส่วนเคลื่อนที่ จึงไม่มีแรงเฉื่อยเนื่องจากการเคลื่อนที่ทำให้เกิดโอเวอร์ชู้ต (การเกิดโอเวอร์ชู้ตของรีเลย์ หมายถึง การเคลื่อนที่ต่อไปข้างหน้าอีกเล็กน้อยของจานหรือคอนแทคเคลื่อนที่ของรีเลย์ จึงเริ่มหมุนกลับมาที่จุดเริ่มต้น)

3) ไม่มีความเสียดทานของแบริ่ง (Bearing) และปัญหาเนื่องจากคอนแทค จึงทำงานได้รวดเร็ว ถูกต้อง บำรุงรักษาน้อย มีอายุการใช้งานนานและทนต่อการสั่นสะเทือนได้ดี

4) ไม่มีการสึกหรอเมื่อทำงานมากครั้ง เหมือนในแบบอิเลคโตรแมคคานิก รีเลย์

5) มีการขยายสัญญาณทำให้มีเซนซิติวิตี้ (Sensitivity) สูง

6) ใช้พลังงานต่ำ ทำให้ใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้ว่า สแตติก รีเลย์จะมีข้อได้เปรียบดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ก็มีข้อเสียบางส่วน คือ

1) คุณสมบัติการทำงานจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

2) อาจเสียหายหรือชำรุดเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่สูงเกินกำหนด เช่น ไฮโวลเตจเสิร์จ (High Voltage Surge) และอุณหภูมิที่มีค่าสูง

3) วงจรของรีเลย์แบบนี้ใช้ส่วนประกอบชิ้นเล็กๆ และมีรอยต่อจำนวนมาก จึงมีโอกาสที่จะชำรุดเสียหายได้ง่ายกว่าแบบ อิเลคโตรแมคคานิก รีเลย์

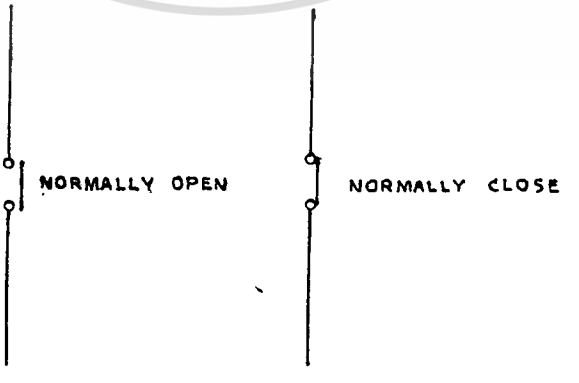
4) ทนกระแสโหลดและแรงดันไฟฟ้าที่เกินพิกัดได้ในช่วงเวลาสั้นกว่า อิเลคโตรแมคคานิก รีเลย์

<u>คอนแทค (Contact) ของรีเลย์</u>

คอนแทคที่ประกอบอยู่ในวงจรรีเลย์ สามารถแบ่งตามลักษณะการทำงานออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. แบบปกติเปิด หรือ นอร์มัลลี โอเพน คอนแทค (Normally Open Contact) เมื่อรีเลย์อยู่ในสภาพไม่ทำงาน (De-energized) คอนแทคของรีเลย์จะเปิดอยู่ บางครั้งเรียกคอนแทคชนิดนี้ว่า เมคคอนแทค (Make Contact) หรือ "a" Contact

2. แบบปกติปิด หรือ นอร์มัลลี โคลส คอนแทค (Normally Close Contact) เมื่อรีเลย์อยู่ในสภาพไม่ทำงาน (De-energized) คอนแทคของรีเลย์จะปิดอยู่ บางครั้งเรียกคอนแทกชนิดนี้ว่า เบรคคอนแทค (Break Contact) หรือ "b" Contact



รูปที่ 2.11 สัญญลักษณ์แทน คอนแทก ของรีเลย์ในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีเลย์ที่ใช้ในการสั่งงานให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำงานโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันระบบนั้น ที่ใช้กันอยู่ทั่วๆไป ได้แก่

1. โอเวอร์เคอเร้น รีเลย์ (Overcurrent Relay) คือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อเกิดกระแสเกินพิกัด เนื่องจากเกิดการลัดวงจรหรือฟอลท์ในระบบ ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้บ่อยกว่าข้อขัดข้องอื่นๆ โดยปกติโอเวอร์เคอเร้น รีเลย์ แบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้เป็น 2 แบบ ซึ่งประกอบร่วมอยู่ในชุดเดียวกันคือมี

- แบบทันทีทันใด (Instantaneous) เป็นการทำงานแบบทันทีทันใด ใช้ในกรณีมีฟอลท์หรือเกิดการลัดวงจรที่มีค่ากระแสสูงๆ (Short Circuit)

- แบบหน่วงเวลา (Time-delay) เป็นการทำงานแบบหน่วงเวลา ใช้ในกรณีเมื่อเกิดโอเวอร์โหลด หรือฟอลท์ที่มีค่ากระแสน้อยๆ หรือใช้ประสานงานร่วมกับรีเลย์ตัวอื่นๆในระบบป้องกัน ซึ่งมีทั้งแบบ เวลาคงที่ (Fixed Time) คือกระแสจะมีค่ามากน้อยเท่าใดก็ตาม ถ้าเกินกว่าพิกัดแล้ว โอเวอร์เคอเร้น รีเลย์ จะทำงานด้วยเวลาเท่ากัน แบบเวลาผกผัน (Inverse Time) คือ ถ้ากระแสเกินกว่าพิกัดมาก ก็จะทำงานเร็วขึ้น ถ้ากระแสน้อยก็ใช้เวลานานขึ้น

2. ออโต รีโคลส รีเลย์ (Auto Reclose Relay) คือ รีเลย์ที่ใช้ในการสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์บิดกลับ (Reclose) วงจรเข้าไปโดยอัตโนมัติตามจำนวนครั้งและเวลาที่ตั้งไว้

3. เอิร์ทฟอลต์ รีเลย์ (Earth Fault Relay) หรือ (Ground Fault Relay) คือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อสายเฟสเกิดกราวด์ขึ้นในระบบ ลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับโอเวอร์เคอเร้นรีเลย์

4. อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ (Under Voltage Relay) คือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อมีระดับแรงดันลดต่ำกว่าพิกัด

5. โอเวอร์ โวลเตจ รีเลย์ (Over Voltage Relay) คือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อมีระดับสูงกว่าพิกัด

6. เฟส-ซีเควนซ์ รีเลย์ (Phase Sequence Relay) คือ รีเลย์ที่ใช้ตรวจสอบการเรียงลำดับเฟสว่าถูกต้องหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. รีเลย์วัดระยะทาง (Distance Relay) คือ รีเลย์ที่ทำหน้าที่หาตำแหน่งของฟอลต์ โดยการตอบสนองต่อค่าอิมพิแดนซ์ (Impedance) ที่รีเลย์วัดได้ นิยมใช้ในการป้องกันสายส่งไฟฟ้า

8. ดิฟเฟอเรนเชียลรีเลย์ (Differential Relay) คือ รีเลย์ที่วัดเปรียบเทียบความผิดแผกแตกต่างของปริมาณไฟฟ้า ทางด้านอินพุท (Input) และทางเอาท์พุท (Output) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ หม้อแปลง

2.2.4 <u>การปิดเปิดวงจรในระบบไฟฟ้า</u>

อุปกรณ์หลักของสวิชเกียร์ คือ ชุดอุปกรณ์ตัดตอนกระแส หรือที่เรียกว่า "เซอร์กิตเบรคเกอร์" (Circuit Breaker : C.B) ซึ่งเซอร์กิตเบรคเกอร์โดยทั่วไปจะแบ่งส่วนที่สำคัญได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. อินเตอร์รัพเตอร์ (Interrupter) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ปิดเปิดวงจรและดับอาร์ก

2. โอเปอเรตติ้ง แมคคานิซึ่ม (Operating Mechanism) คือ ส่วนที่เป็นกลไกกำกับการทำงานของอินเตอร์รัพเตอร์

นอกจากการใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับปิดเปิดวงจรในสภาวะปกติแล้ว ประโยชน์อันสำคัญยิ่งในประการอื่นก็คือ ใช้ทริปวงจรเมื่อเกิดฟอลต์หรือเกิดลัดวงจร ซึ่งกระแสฟอลต์อาจมีค่าสูงเป็นหลาย ๆ เท่า ของกระแสใช้งานปกติ (Normal Current) และอาร์กก็จะรุนแรงขึ้นไปตามส่วนด้วย การทริปวงจรในกรณีนี้จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์อื่นประกอบ เพื่อช่วยให้เซอร์กิตเบรคูเกอร์สามารถทำงานตัดวงจรได้โดยอัตโนมัติ และสามารถสับวงจรเข้าไปใหม่ (Reclose) ได้โดยอัตโนมัติตามจำนวนครั้งที่ตั้งไว้ และเมื่อฟอลต์ได้ผ่านพ้นไปแล้ว (Clear) ก็จะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านเซอร์กิตเบรคเกอร์ต่อไปตามปกติ การใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์ในลักษณะดังกล่าวนี้ จึงเป็นทั้งอำนวยความสะดวก ให้ความปลอดภัยแก่ระบบ และเพิ่มพูนความมั่นคงให้แก่ระบบอีกด้วย ซึ่งพอจะสรุปหน้าที่การทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ได้ดังนี้

1. นอร์มอล สวิชชิ่ง (Normal Switching) คือการปิดเปิดวงจรในสภาวะที่มีกระแสโหลดไหลตามปกติ

2. ฟอลต์ อินเตอร์รัพชั่น (Fault Interruption) คือ การทริปวงจรเมื่อเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอลต์ หรือข้อขัดข้องต่างๆ ในระบบไฟฟ้า โดยอาศัยรีเลย์เป็นตัวสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำงานตัดวงจรโดยอัตโนมัติ

3. เซอร์กิต รีโคลสซิ่ง (Circuit Reclosing) คือ การปิดกลับวงจรเข้าไปใหม่หลังจากที่เซอร์กิตเบรคเกอร์ได้ทริปวงจร เพื่อให้เซอร์กิตเบรคเกอร์สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าตามปกติได้ เมื่อฟอลต์หรือข้อขัดข้องในวงจรได้ผ่านพ้นไปแล้ว โดยอาศัยรีเลย์เป็นคำสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดวงจรกลับได้โดยอัตโนมัติตามจำนวนครั้งที่ตั้งไว้

เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ใช้งานกันอยู่ทั่วๆ ไปในปัจจุบันมีอยู่หลายประเภท แต่ที่สำคัญๆ ได้แก่

1. แอร์เบรค เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Air-break Circuit Breaker)
2. แอร์บลาสต์ เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Air-blast Circuit Breaker)
3. ออยล์ เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Oil Circuit Breaker)
4. แก๊ส เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Gas Circuit Breaker : SF_6)
5. แวคคิวอัม เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Vacuum Circuit Breaker)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

3.1 การจำลองสภาวะผิดปกติ

ในปริญญานิพนธ์นี้ เราจะทำการจำลองสภาวะผิดปกติทั้งหมด 6 ประเภท ซึ่งได้แก่

1) การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร

2) การเกิดกระแสเกิน

3) การเกิดแรงดันสูงเกิน และ การเกิดแรงดันต่ำเกิน

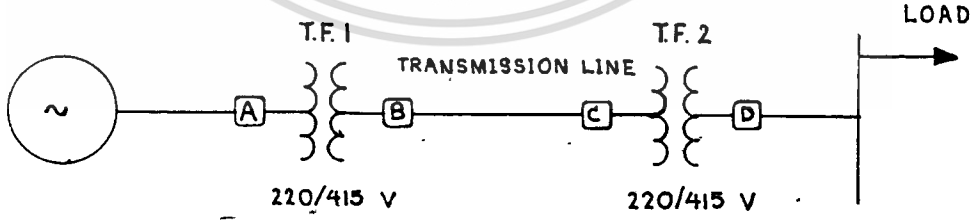
4) การเกิดไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน

5) การเรียงเฟสผิด

โดยจะมีรายละเอียดของการจำลองสภาวะผิดปกติแต่ละประเภท ดังนี้

3.1.1 การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร

ก่อนอื่นขอให้พิจารณาไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบไฟฟ้าจำลองที่สร้างขึ้นมา ดังรูปที่ 3.1

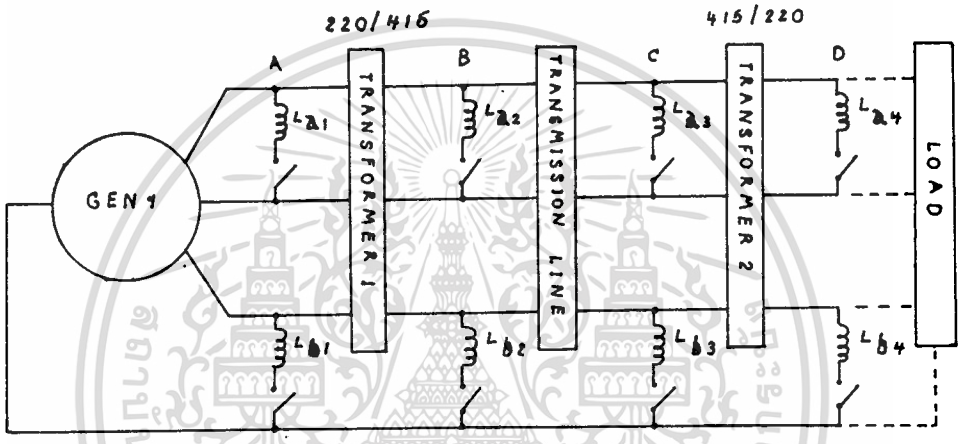


รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบไฟฟ้าจำลอง

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นตำแหน่ง A , B , C และ D เป็นตำแหน่งที่เราจะทำการจำลองการเกิดไฟฟ้าลัดวงจรขึ้นมา ในการจำลองนี้เนื่องจากมีข้อจำกัดจากเครื่องกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งมีกระแสเต็มพิกัด (Rated Current) เพียง 8.5 แอมป์ ทำให้เราไม่สามารถทำการลัดวงจรจริงๆ ขึ้นมาได้ ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) มาทำการจำกัดกระแสลัดวงจรที่สร้างขึ้นมาให้ได้ตามที่ต้องการ สำหรับสาเหตุที่เราใช้ตัวเหนี่ยวนำในกรณีนี้ แทนที่จะใช้ตัวต้านทานก็เพราะ ตัวเหนี่ยวนำมีการสูญเสีย (Loss) น้อย และสามารถสร้างให้ได้ค่าต่างๆ ตามที่เราต้องการได้ง่ายกว่าค่าอิมพิแดนซ์ชนิดอื่นๆ



รูปที่ 3.2 แสดงการจำลองการเกิดกระแสลัดวงจร

สำหรับในที่นี้ เราจะกำหนดให้เกิดกระแสลัดวงจรเฉพาะในกรณีไร้ภาระ (No Load) ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการจำกัดค่าระแสลัดวงจรให้ได้ตามต้องการ ซึ่งเราจะพิจารณาจากที่ตำแหน่ง A ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีกระแสลัดวงจรที่มีค่ามากที่สุด เราจะกำหนดให้เป็น 9 แอมป์ (พิจารณาจากกระแสเต็มพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งมีค่า 8.5 แอมป์) ส่วนที่ตำแหน่ง B เนื่องจากต้องผ่านหม้อแปลงตัวที่ 1 ทำให้กระแส 9 แอมป์ จะลดเหลือเพียง 4.77 แอมป์ (จาก $V_1/V_2 = I_2/I_1$; $220/415 = I_2$; $I_2 = 4.77$) จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า แต่ละตำแหน่งของ A , B , C และ D นั้น เราต้องการค่าความเหนี่ยวนำ 2 ค่า คือ เพื่อสร้าง ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ (L_a) และสร้าง ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ (L_b)

ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำของที่ตำแหน่ง A เราจะหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณี ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์

V_L = 220 โวลท์ (V) ; ไลน์-ทู-ไลน์ โวลเตจ

I_{sc} = 9 แอมป์ (A) ; กระแสลัดวงจรที่เราต้องการ

จาก $V_L = I_{sc} * X_{Lm1}$

$220 = 9 * X_{Lm1}$

X_{Lm1} = 24.44 โอห์ม (Ω)

จาก $X_L = 2 * \pi * f * L$

$24.44 = 2 * \pi * 50 * L_{m1}$

L_{m1} = 77.81 มิลลิเฮนรี่ (mH)

กรณี ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์

V_{PN} = 127 V ; ไลน์-ทู-กราวน์ โวลเตจ

I_{sc} = 9 A

ในทำนองเดียวกัน จะได้ว่า

X_{Lb1} = 14.11 โอห์ม

L_{b1} = 44.92 มิลลิเฮนรี่

ที่ตำแหน่ง B

กรณี ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์

X_{Lm2} = 87.00 โอห์ม

L_{m2} = 276.94 มิลลิเฮนรี่

กรณี ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์

X_{Lb2} = 50.31 โอห์ม

L_{b2} = 160.14 มิลลิเฮนรี่

ส่วนตำแหน่ง C นั้น จะเห็นได้ว่า มีโวลเตจและกระแสเท่ากับตำแหน่ง B

ดังนั้น เราจะให้ค่า $L_{m3} = L_{m2}$ = 276.94 มิลลิเฮนรี่

และ $L_{b3} = L_{b2}$ = 160.14 มิลลิเฮนรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกัน ที่ตำแหน่ง D ก็จะเหมือนกับตำแหน่ง A คือ

$$L_{a4} = L_{a1} = 77.81 \quad \text{มิลลิเฮนรี่}$$

$$L_{b4} = L_{b1} = 44.92 \quad \text{มิลลิเฮนรี่}$$

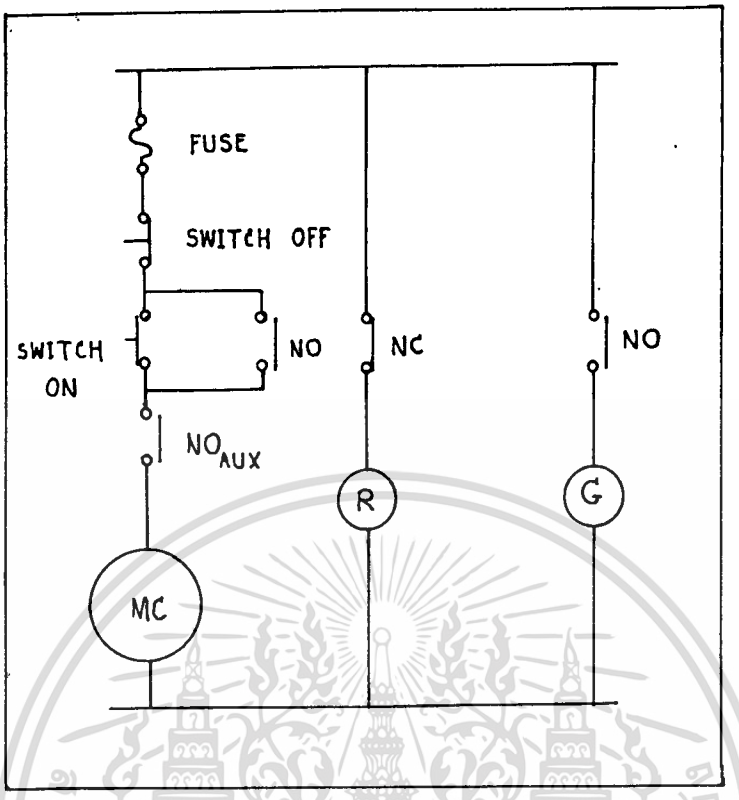
จากที่กล่าวมาอาจมีข้อขัดแย้งที่ว่า เมื่อเราคิดค่ากระแสลัดวงจรเท่ากันหมดทั้ง 4 ตำแหน่งแล้ว รีเลย์ที่ใช้ตัดกระแสลัดวงจร อาจเกิดการทำงานที่ผิดพลาด โดยตัดกระแสพร้อมกันหมดไม่ว่าเราจะทำการทดลองกระแสลัดวงจรที่จุดใดก็ตาม ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว จะไม่เป็นเช่นนั้น ทั้งนี้เป็นเพราะสาเหตุ 2 ประการคือ

ประการแรก เนื่องจาก ค่าอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงและสายส่งในระบบทำให้เกิดค่าโวลเตจดรอป (Voltage Drop) ขึ้น ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้ลดลงไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีการเกิดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่ง B เอาท์พุทโวลเตจ (Output Voltage) ของหม้อแปลงอาจจะเหลือเพียง 410 โวลท์ แทนที่จะเป็น 415 โวลท์ ซึ่งจะทำให้ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้ มีค่าไม่ถึง (4.77) แอมป์ตามที่ได้คำนวณไว้ และจะมีผลให้กระแสทางด้านอินพุทของหม้อแปลงมีค่าไม่ถึง 9 แอมป์ด้วย ดังนั้นรีเลย์ที่ตำแหน่ง A ก็จะไม่ทำงาน ส่วนที่ตำแหน่งอื่นๆ ก็เช่นเดียวกัน

ประการที่สอง ในการใช้งานของโอเวอร์เคอเรนท์รีเลย์นั้น เราจะต้องมีการโคออร์ดิเนชั่น (Coordination) ของรีเลย์ทั้งระบบก่อน ซึ่งจะทำให้เราสามารถเซ็ท (Set) ค่าของเวลาในการทริปของรีเลย์แต่ละตำแหน่งให้สัมพันธ์กันได้ด้วย ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในเรื่องของ โอเวอร์เคอเรนท์รีเลย์ต่อไป

สำหรับวงจรการต่อตัวเหนี่ยวนำเพื่อจำลองกระแสลัดวงจรที่ใช้ เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจรการต่อตัวเหนี่ยวนำเพื่อสร้างกระแสลัดวงจร

สำหรับ NO_{Aux} ในวงจรนี้ คือ คอนแทคของอ๊อกซิลลารี่ แมกเนติก คอนแทกเตอร์ในวงจรของระบบป้องกัน ซึ่งจะกล่าวถึงการทำงานของมันโดยระเอียดต่อไป

3.1.2 <u>การเกิดกระแสเกิน</u>

ในการจำลองสภาวะการเกิดกระแสเกินนั้น เราจะใช้การต่อโหลดขนานเพิ่มเข้าไปกับโหลดในสภาวะปกติ ซึ่งจะทำให้กระแสไหลในระบบเพิ่มมากขึ้น

3.1.3 <u>การเกิดแรงดันสูงเกินและต่ำเกิน</u>

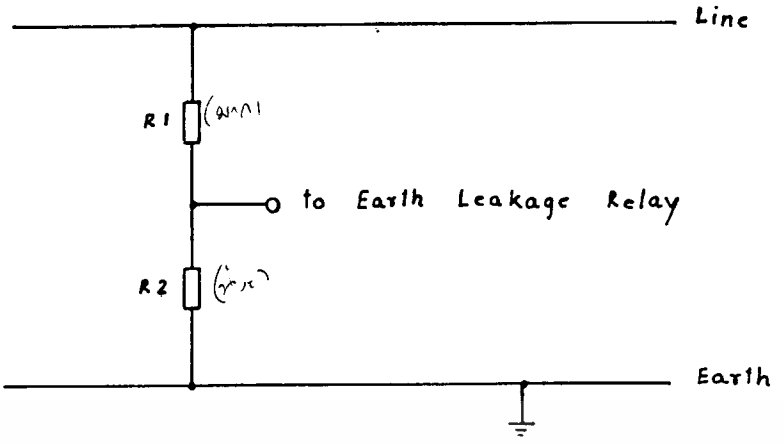
การเกิดสภาวะผิดปกติเช่นนี้ เราสามารถจำลองได้โดยการปรับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ปรับที่กระแสฟิลด์) โดยตรงให้ได้ค่าตามที่ต้องการ

3.1.4 <u>การเกิดไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน</u>

การเกิดสภาวะรั่วไหลลงดิน คือ การที่เกิดกระแสบางส่วน ซึ่งมักจะมีค่าน้อยๆรั่วไหลลงเอิร์ธ (Earth) ของระบบ

ซึ่งในการจำลอง เราจะใช้ค่าความต้านทาน (R1 และ R2) ไปต่อระหว่างสายเฟสใดเฟสหนึ่งกับเอิร์ธของระบบ (ดูรูปที่ 3.4) โดย R1 จะมีความต้านทานมากๆ เพื่อจำกัดกระแส

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การจำลองการเกิดไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน

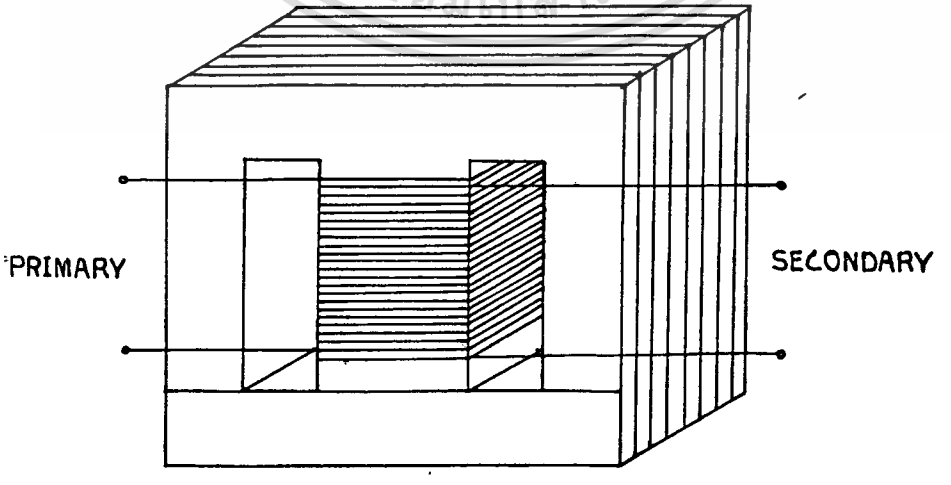
ให้ไหลน้อยๆตามต้องการ ส่วน R2 จะมีค่าน้อยๆทำหน้าที่เป็นตัวดิไวเดอร์ (Divider) นำสัญญาณเข้าสู่วงจรอิเลกทรอนิกส์ของเอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์ ต่อไป

3.1.5 <u>การเรียงเฟสผิด</u>

การเรียงเฟสผิดนี้ เราสามารถจำลองได้ง่ายมาก คือ เพียงแต่ต่อสายเฟส 3 สายให้สลับกัน [ไม่เรียงตามเฟสซีเควนซ์ (Phase Sequence)] เท่านั้น

3.2 <u>**การสร้างและออกแบบอินสทรูเมนต์ ทรานสฟอร์มเมอร์**</u>

อินสทรูเมนต์ ทรานสฟอร์มเมอร์ ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ทั้ง พีที และ ซีที จะใช้การออกแบบโดยหลักการของหม้อแปลงธรรมดาทั้งหมด มีรูปร่างและลักษณะดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 อินสทรูเมนต์ ทรานสฟอร์มเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแกนเหล็กที่ใช้จะเป็นแกนเหล็กขนาด 1 นิ้ว ซึ่งเป็นแกนเหล็กสำเร็จรูป ประกอบด้วยแกน E และ แกน I นำมาเรียงสลับกัน

สูตรที่ใช้ในการออกแบบอินสทรูเมนต์ ทรานสฟอร์มเมอร์ที่สำคัญๆ มี 2 สูตรคือ

สูตรที่ 1

$$E = 4.44fNAB$$

โดย E = อินดิวซ์ โวลเตจ (Induce Voltage) ที่ต้องการ (โวลท์)

f = ความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ใช้

= 50 เฮิร์ทซ (Hz)

N = จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

A = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

= $6.4516*10^{-4}$ ตารางเมตร (m^2)

B = ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก

= 1 เทสลา (Tesla)

และสูตรที่ 2

$$a = N_1/N_2 = V_1/V_2 = I_2/I_1$$

โดยที่ a = เทอร์นเรโช (Turn Ratio) ของหม้อแปลง

N_1 = จำนวนขดลวดด้านปฐมภูมิ (รอบ)

N_2 = จำนวนขดลวดด้านทุติยภูมิ (รอบ)

V_1 = โวลเตจด้านปฐมภูมิ (โวลท์)

V_2 = โวลเตจด้านทุติยภูมิ (โวลท์)

I_1 = กระแสด้านปฐมภูมิ (แอมป์)

I_2 = กระแสด้านทุติยภูมิ (แอมป์)

3.2.1 <u>การออกแบบพีที</u>

ก่อนอื่น เราต้องกำหนดโวลเตจด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ (V_1,V_2) เสียก่อน โดย V_1 จะดูได้จากตำแหน่งของพีทีที่จะนำไปติดตั้งในระบบและลักษณะการติดตั้ง เช่น ติดตั้งที่ตำแหน่ง A (จากรูปที่ 3.1) ในลักษณะไลน์-ทู-ไลน์ แสดงว่า V_1 จะมีค่าเท่ากับ 220 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นต้น จากนั้นก็มาพิจารณาค่าของ V_2 โดยดูจากโหลดของพีทีตัวนั้นว่าเป็นอะไร (มิเตอร์, รีเลย์ ฯลฯ) และต้องการโวลเตจเท่าไร เมื่อทราบค่าของทั้ง V_1 และ V_2 แล้ว ก็นำก็ไปคำนวณหาจำนวนขดลวดทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ (N_1, N_2) จากสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ต่อมาก็มาหาขนาดของขดลวดที่จะนำมาใช้พัน โดยพิจารณาจากโหลดของพีทีว่าต้องการกระแสประมาณเท่าใด กระแสที่ได้นี้จะเป็นกระแสด้านทุติยภูมิ (I_2) ส่วนกระแสด้านปฐมภูมิ (I_1) เราก็จะหาได้จากสูตรที่ 2 เมื่อได้ขนาดของกระแสทั้ง 2 ด้านแล้ว เราก็นำกระแสที่ได้นั้นมาเลือกลวดได้ตามต้องการ โดยในการเลือกควรจะเผื่อขนาดให้ใหญ่ไว้บ้างเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะในกรณีที่เราทำการจำลองสภาวะการเกิดแรงดันสูงเกินนั้น อาจทำให้เกิดกระแสสูงกว่าปกติได้ สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ โหลดของพีทีจะเป็นอุปกรณ์ทางอิเลคโทรนิกส์เป็นส่วนใหญ่ จึงใช้ลวดเบอร์ 30 SWG (ทนกระแสได้ประมาณ 1 แอมป์) ก็เป็นการเพียงพอ

3.2.2 <u>การออกแบบซีที</u>

หลักการก็จะคล้ายกันกับกรณีของพีที แต่จะกลับกันที่ว่า ในกรณีนี้เราจะต้องกำหนดกระแสทั้งด้านปฐมภูมิ และ ทุติยภูมิ เสียก่อน โดย I_1 เราก็จะดูจากตำแหน่งของซีทีที่จะนำไปติดตั้งและขนาดของกระแสลัดวงจรที่เราจะทำการจำลอง ณ ตำแหน่งนั้นๆ ส่วน I_2 เราก็จะพิจารณาจากโหลดของซีทีว่าเป็นอะไร ต้องการกระแสเท่าไร จากนั้นเราก็จะได้ขนาดของขดลวดทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิ ต่อมาก็ทำการหาโวลเตจทางด้านทุติยภูมิ (V_2) จากโหลดแล้วจึงนำไปคำนวณหาจำนวนขดลวดทั้งทางด้านปฐมภูมิและทุติยภูมิจากสูตรที่ 1 และ สูตรที่ 2

ในการใช้งานอินสทรูเมนท์ทรานสฟอร์มเมอร์นี้มีข้อที่ควรระวังไว้ประการหนึ่งคือ การต่อซีทีเข้ากับระบบต้องต่อแบบอนุกรมเท่านั้น และในทางตรงกันข้ามการต่อพีทีเข้ากับระบบก็ต้องต่อแบบขนานเท่านั้นเช่นเดียวกัน

3.3 <u>การออกแบบและการสร้างรีเลย์ป้องกัน</u>

รีเลย์ป้องกันในปริญญานิพนธ์นี้ เราจะทำการสร้างขึ้นมาเพื่อทำการแก้ไขสภาวะผิดปกติต่างๆ ที่เราทำการจำลองขึ้นมา ดังที่กล่าวมาแล้ว โดยจะใช้อุปกรณ์ทางอิเลคโทรนิกส์เป็นส่วนใหญ่ และหลักการสำคัญก็คือ การเปรียบเทียบขนาดของสัญญาณ 2 สัญญาณ โดยสัญญาณหนึ่งจะเป็นสัญญาณอ้างอิงที่เราทำการสร้างขึ้นมา (Reference Signal Level) ส่วนอีกสัญญาณ

เอกสารนี้ได้รับการคุ้มครองลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งจะเป็นสัญญาณที่เรารับมาจากอินสทรูเมนท์ ทรานสฟอร์มเมอร์ ซึ่งจะแสดงถึงการทำงานจริงๆ ของระบบในขณะนั้นว่าเป็นอย่างไร

ในสภาวะปกติ สัญญาณทั้งสองนี้ควรมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน แต่เมื่อใดที่สัญญาณทั้งสองนี้ต่างกันเกินกว่าค่าที่เราตั้งไว้ รีเลย์ก็จะทำงานโดยส่งสัญญาณเอาท์พุทออกไปสั่งให้แมกเนติก คอนแทกเตอร์ (Magnetic Contactor) ซึ่งเราจะใช้ทำงานแทน เซอร์กิตเบรคเกอร์ (เพราะค่ากระแสลัดวงจรที่เราสร้างขึ้นมานั้นมีค่าไม่สูงนัก)

รีเลย์ที่เราทำการออกแบบและสร้างขึ้นมามี 5 ประเภท คือ

1) โอเวอร์เคอเรนท์ รีเลย์
2) ออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์
3) โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์
4) เอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์
5) เฟส ซีเควนซ์ รีเลย์

โดยเราจะนำรีเลย์เหล่านี้มาใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น สวิทช์กดติด ปล่อยดับ (Push button switch) , หลอดไฟ (Pilot lamp) , แมกเนติก คอนแทกเตอร์ , ฟิวส์ (Fuse) เป็นต้น เพื่อประกอบกันขึ้นมาเป็นระบบป้องกันที่สมบูรณ์ ดังมีวงจรการต่อแสดงไว้ ดูรูปที่ 3.6

โดย

MC1 : Main Magnetic Contactor

MC2 : Auxiliary Magnetic Contactor

PL1 : Pilot Lamp Color Red

PL2 : Pilot lamp Color Green

RL1 : Over Current Relay

RL2 : Short Circuit Relay

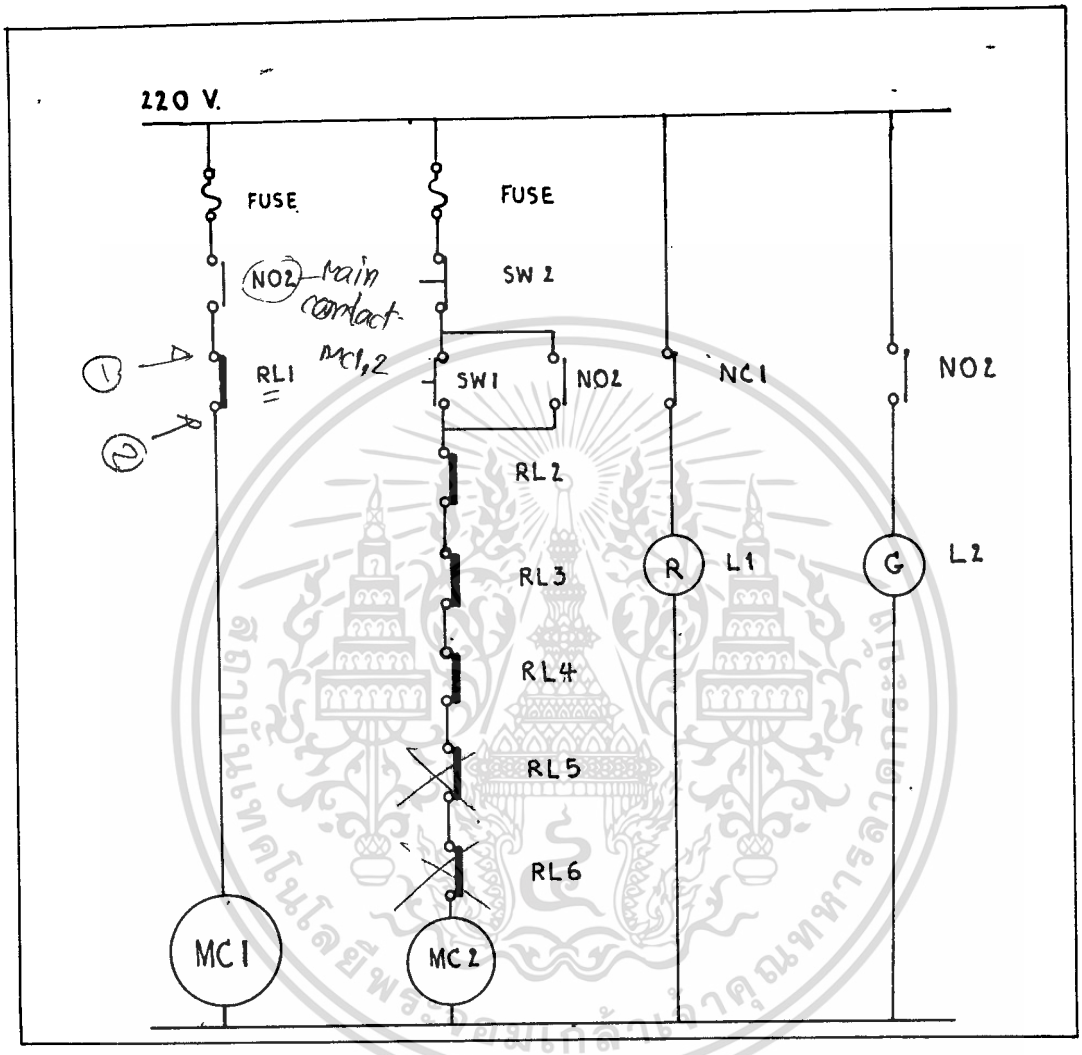
RL3 : Auto ReClosing Relay

RL4 : Under And Over Voltage Relay

RL5 : Phase Sequence Relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RL6 : Earth Leakage Relay



รูปที่ 3.6 วงจรแสดงระบบป้องกัน

วงจรระบบป้องกันวงจรนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ เมน แมกเนติก คอนแทกเตอร์ (Main Magnetic Contactor) ซึ่งจะทำหน้าที่แทนเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยเราจะแบ่งการต่อตามลักษณะการทำงานเป็น 2 ลักษณะ คือ

1) แมกเนติกเมื่อทริปแล้วสามารถปิดกลับเองได้ ซึ่งการทำงานลักษณะนี้เราจะใช้ในกรณีการทริปเนื่องจากโอเวอร์โหลดรีเลย์เพียงอย่างเดียว

2) แมกเนติกเมื่อทริปแล้วจะเปิดวงจรค้างเลย ถ้าต้องการให้วงจรปิดกลับจะต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้คนเป็นผู้กระทำ ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้เราจะใช้ในกรณีการทริปเนื่องจาก ชอร์ท เซอร์กิต รีเลย์ , ออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์ , อันเดอร์ แอนด์ โอเวอร์ โวลเตจ รีเลย์ , เฟส ซีเควนซ์ รีเลย์ และ เอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์

สำหรับขั้นตอนการทำงานของวงจร จะเป็นดังนี้ คือ

-การเปิดระบบ (หลอดไฟสีเขียวจะติด)

โดยกดสวิทช์ SW1 ซึ่งจะทำให้มีไฟมาเลี้ยงคอยล์ของ MC2 และ NO2 จะปิดวงจรลง ทำให้มีไฟไหลผ่านคอยล์ของ MC1 ซึ่งคอนแทคของ MC1 นี้จะมีวงจรทางไฟฟ้ากำลังของระบบต่ออยู่

-การปิดระบบ (หลอดไฟสีแดงจะติด)

จะเกิดขึ้นได้ใน 2 กรณี คือ

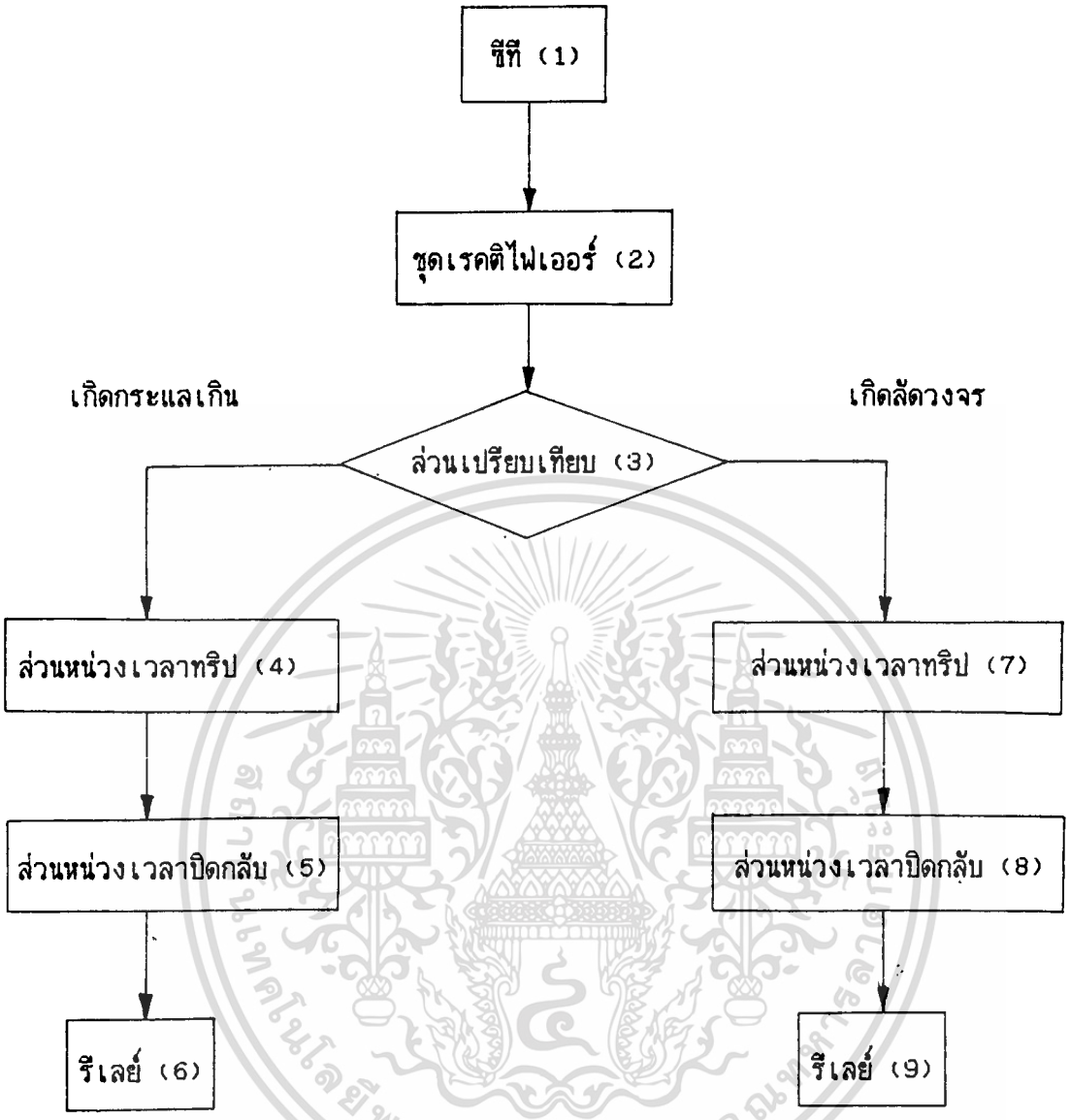
กรณีแรก เมื่อเราต้องการปิดระบบเอง สามารถทำได้โดยการกดสวิทช์ SW2 ซึ่งจะทำให้ไฟที่จะมาเลี้ยงคอยล์ของ MC2 หายไป NO2 ก็จะกลับมาเปิดวงจรออกตามเดิม ทำให้ไม่มีไฟมาเลี้ยงคอยล์ของ MC1 จึงเกิดการทริปวงจรไฟฟ้ากำลังของระบบออก

กรณีที่สอง เมื่อเกิดการผิดปกติขึ้นในระบบ รีเลย์ต่างๆก็จะทำงาน ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าเป็นการผิดปกติชนิดใด เมื่อรีเลย์ทำงานคอนแทคของรีเลย์เหล่านี้ซึ่งเป็นแบบนอร์มอลลี่ โคลส ก็จะทำการเปิดวงจรออก ทำให้ไม่มีไฟมาเลี้ยงคอยล์ของ MC2 เช่นเดียวกันกับในกรณีแรก

3.3.1 <u>การออกแบบและการสร้างโอเวอร์ เคอเร้นท์ รีเลย์</u>

เรากำหนดให้โอเวอร์เคอเรนท์รีเลย์ทำงานเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ กรณีที่เกิดการลัดวงจรขึ้น โอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์จะทำงานในแบบตั้งเวลาคงที่ (Definite Time) และกรณีที่เกิดกระแสเกินหรือกระแสสูงกว่าปกติ โอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์จะทำงานในแบบแปรผันตามเวลา (Inverse Time) คือ ถ้ากระแสเกินมาก รีเลย์ก็จะทริปเร็ว (หน่วงเวลาน้อย) แต่ถ้ากระแสเกินน้อย รีเลย์ก็จะทริปช้า (หน่วงเวลามาก) ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 บล๊อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์

จากรูปที่ 3.7 สามารถอธิบายการทำงานของส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

<u>ส่วนที่ (1)</u> ซีทีซึ่งต่ออนุกรมกับสายเฟส ณ ตำแหน่งที่เราต้องการป้องกัน จะทำการส่งสัญญาณในรูปของกระแสมายังวงจรอยู่ตลอดเวลาที่ระบบทำงาน

<u>ส่วนที่ (2)</u> ชุด เรคติไฟเออร์ จะนำสัญญาณในรูปกระแสที่รับมาจากซีทีมาทำการแปลงให้อยู่ในรูปของคักดาไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อใช้กับวงจรอิเลกทรอนิกส์ต่อไป

<u>ส่วนที่ (3)</u> ส่วนเปรียบเทียบ ซึ่งเป็นไอซีโวลเตจ คอมพาราเตอร์ จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณจากส่วนที่ (2) กับ สัญญาณอ้างอิงที่เราได้ตั้งเอาไว้ เมื่อใดก็ตามที่เกิดการผิดปกติขึ้นในระบบ ส่วนนี้ก็จะส่งสัญญาณออกไปยังส่วนที่ (4) หรือ (5) ต่อไป ซึ่งขึ้นอยู่

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับชนิดของการผิดปกติว่าเป็นแบบใด

- กรณีที่เกิดกระแสเกินในระบบ

ส่วนที่ (4) จะทำการหน่วงเวลาเอาไว้ตามค่าของกระแสที่เกิน (แปรผันตามเวลา ซึ่งในที่นี้ใช้วงจรหน่วงเวลาแบบ RC) ซึ่งเมื่อครบกำหนดเวลาแล้ว ก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนที่ (5) ต่อไป

ส่วนที่ (5) เมื่อได้รับสัญญาณจากส่วนที่ (4) แล้ว ก็จะทำการส่งสัญญาณออกไปยัง

ส่วนที่ (6) เพื่อทริปรีเลย์ ในส่วนที่ (5) นี้ เราใช้ไอซีไทม์เมอร์ 555 ต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิล (Monostable Maltivibrator) เพื่อหน่วงเวลา โดยเราสามารถปรับค่าเวลาได้ว่า จะให้รีเลย์เปิดค้างนานเท่าไร แล้วจึงจะทำการปิดกลับเข้ามาในวงจรอีกที (Auto Reclose) ซึ่งถ้าในระบบยังแก้ไขการผิดปกติไม่ได้ วงจรก็จะเริ่มทำงานในลักษณะข้างต้นอีกครั้งหนึ่ง สำหรับจำนวนครั้งที่จะให้รีเลย์ปิดกลับนี้ เราจะทำการตั้งได้โดยใช้ออโต้รีโคลลซิ่ง รีเลย์มาช่วย ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

- กรณีที่เกิดการลัดวงจรในระบบ

ส่วนที่ (7) หลังจากได้รับสัญญาณจากส่วนที่ (3) แล้ว ก็จะเริ่มหน่วงเวลา แต่เป็นการหน่วงเวลาแบบคงที่ และ จะมีค่าน้อยๆ (ใช้เพื่อจัดการโคออร์ดิเนชั่นของโอเวอร์เคอเรนท์รีเลย์ทั้งหมดในระบบ) ซึ่งเมื่อครบกำหนดเวลาแล้ว ก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนที่ (8) ต่อไป

ส่วนที่ (8) ในกรณีกระแสลัดวงจรนี้ ถ้าไม่มีการหน่วงเวลาเอาไว้ รีเลย์เมื่อทำการทริปไปแล้วก็จะปิดกลับเข้าไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งถ้าอุปกรณ์ตัดตอนกระแสของเรายังทำการตัดวงจรจากระบบไม่เรียบร้อย ก็อาจทำให้เกิดการทำงานผิดพลาดขึ้นมาได้ ดังนั้นเราจึงต้องทำการหน่วงเวลาเอาไว้สักเล็กน้อย เพื่อให้สัมพันธ์กับการทำงานของแมกเนติก คอนแทคเตอร์ ในระบบป้องกันหลัก

ส่วนที่ (7), (8) และ (9) นี้ เราจะใช้หลักการสร้างแบบเดียวกันกับ ส่วนที่ (4), (5) และ (6)

(สำหรับผู้ที่สนใจจะศึกษาถึงการทำงานของวงจรในแต่ละส่วนโดยละเอียดนั้น ขอให้ดูได้ที่ภาคผนวกของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้)

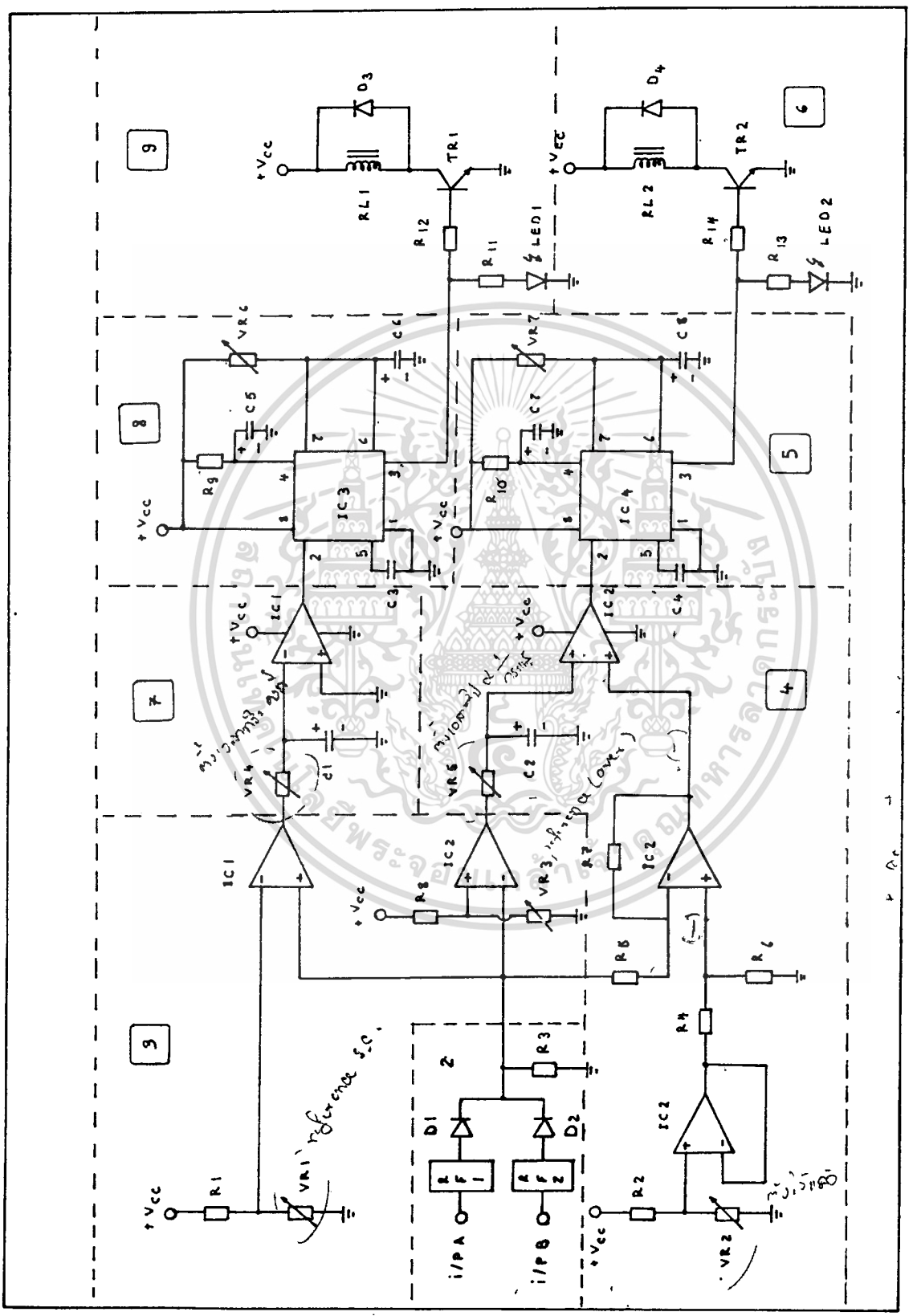
เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหน้าที่ของส่วนต่างๆในตัวโอเวอร์เดอเรนท์ รีเลย์ที่กล่าวมาข้างต้น เราสามารถนำมาออกแบบวงจรได้ดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 3.8 , 3.9 และตารางที่ 3.1)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

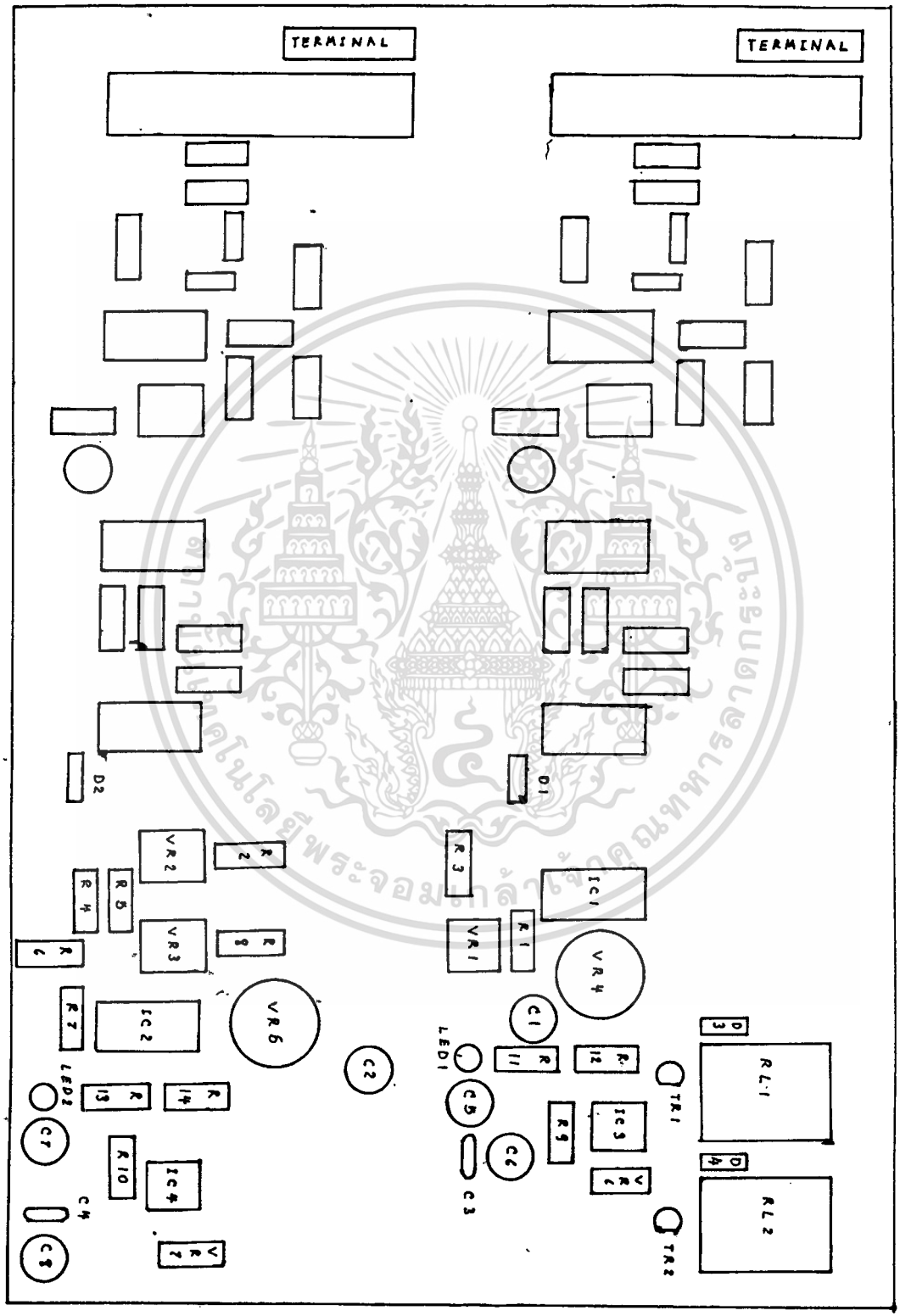
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 วงจรโอเวอร์ เคอร์เรนท์ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงรายการอุปกรณ์ของ โอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR1, VR2, VR3	Variable Resistor 0.25 W	10 KΩ	3
VR4, VR5	Variable Resistor Ø.25 W	47Ø KΩ	2
VR6, VR7	Variable Resistor Ø.25 W	5Ø KΩ	2
R1	carbon Resistor Ø.25 W	2 KΩ	1
R2, R8, R11, R13	Carbon Resistor Ø.25 W	1 KΩ	4
R3, R4, R5, R6, R7	Carbon Resistor Ø.25 W	1Ø KΩ	7
R9, R1Ø	Carbon Resistor Ø.25 W	5Ø KΩ	2
C1, C2, C5, C6, C7, C8	Electrolytic Capacitor 16 V	1ØØØ µF	6
C3, C4	Dipmica 5Ø V	Ø.Ø1 µF	2
D1, D2	Signal Diode	1N 4148	2
D3, D4	Rectifier Diode	1N 4ØØ1	2
LED1, LED2	LED Color Red	-	2
TR1, TR2	Transistor ; NPN	BC 337	2
IC1, IC2	IC	LM 324N	2
IC3, IC4	IC	555	2
RL1, RL2	Relay 12 V, 3 A	-	2
RF1, RF2	Rectrifier Circuit		2

หมายเหตุ $+V_{cc}$: +12 V

I/P A : จากซีที ของ ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์

I/P B : จากซีที ของ ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งการติดตั้ง

สำหรับการติดตั้งโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์นี้ เราจะทำการติดตั้งทั้งหมด 4 ตำแหน่ง ด้วยกัน คือ A , B , C และ D (ดูรูปที่ 3.1) โดยจะต้องมีการจัดลำดับเวลาการทำงานของรีเลย์ให้สัมพันธ์กัน ได้แก่ รีเลย์ที่ตำแหน่ง D จะทำงานเร็วที่สุด ส่วนที่ตำแหน่ง C , B และ A ก็จะมีความเร็วลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เพื่อให้รีเลย์เหล่านี้มีการทำงานทั้งในลักษณะของรีเลย์หลักและรีเลย์สำรอง (Back up) ยกตัวอย่าง เช่น ในกรณีที่เกิดการลัดวงจรที่ตำแหน่ง D แต่โอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์ที่ตำแหน่ง D นั้นเกิดขัดข้อง รีเลย์ที่ตำแหน่งก่อนหน้านั้น คือ C ก็จะสามารถทำงานแทนกันได้ ส่วนในตำแหน่งอื่นๆก็เช่นเดียวกัน แต่ในกรณีที่รีเลย์ที่ตำแหน่ง D ทำงานได้ตามปกติ ก็จะไม่เกิดการทำงานซ้ำซ้อนกันกับรีเลย์ตัวอื่นๆ

ในด้านขนาดของกระแสลัดวงจรที่รีเลย์จะเริ่มทำงาน (Pick up value) นั้น เราก็จะต้องทำการตั้งค่าของมันให้แตกต่างกันด้วย โดยที่ให้ค่ากระแสลัดวงจรที่ตำแหน่ง A มีค่าสูงที่สุด และที่ตำแหน่ง B , C และ D จะมีค่าลดลงมาตามลำดับ เพื่อให้สัมพันธ์กับการจำลองกระแสลัดวงจรดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว

การตั้งค่าเวลาและกระแสลัดวงจรของรีเลย์นี้ เราสามารถปรับได้จากตัวต้านทานปรับค่าได้ในวงจร ซึ่งเราจะกล่าวถึงรายละเอียดในบทที่ 4 ต่อไป

3.3.2 การออกแบบและการสร้างออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์

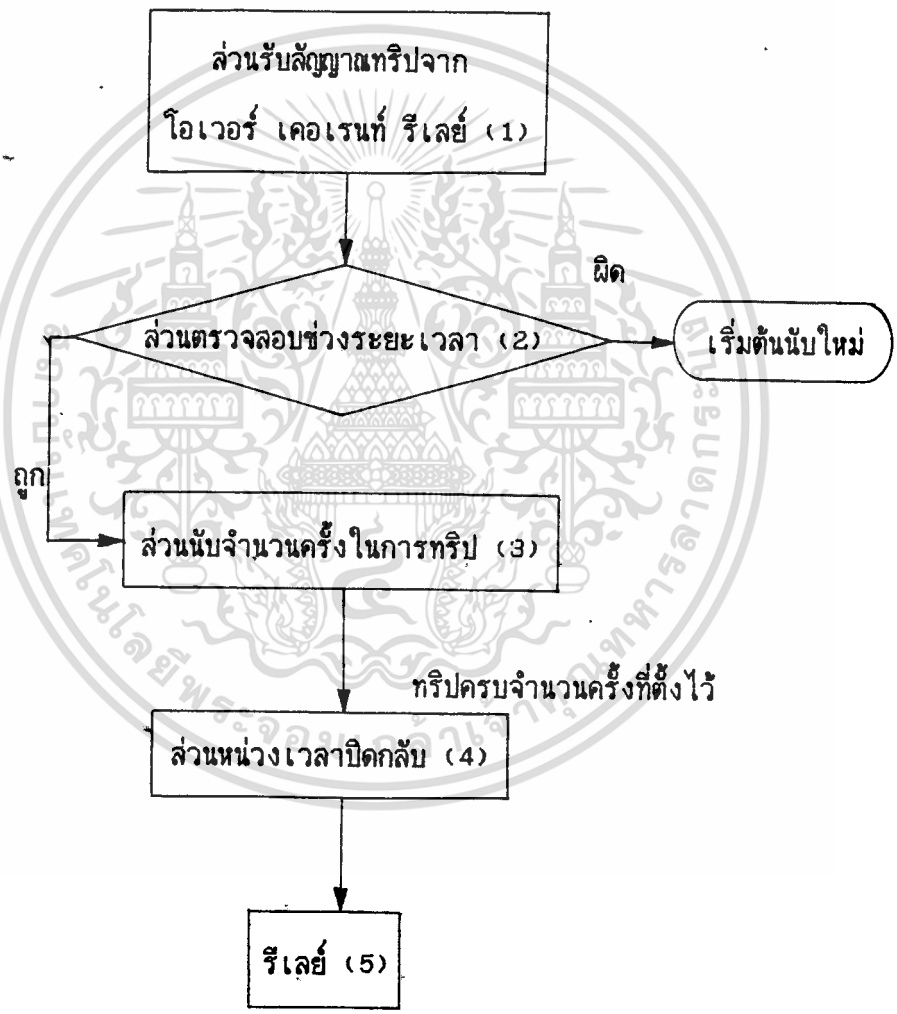
ออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์ จะทำงานสัมพันธ์กับโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์ที่ทำงานในกรณีของการเกิดกระแสเกิน คือ เมื่อโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์ทริปเนื่องจากเกิดกระแสเกินขึ้นในระบบแล้ว มันจะหน่วงเวลาเอาไว้ชั่วขณะหนึ่งแล้วจะทำการปิดกลับวงจรเข้าไปใหม่ ซึ่งถ้าในระบบยังเกิดลภาวะผิดปกติอยู่ มันก็จะทำการทริปอีก ในการทริปแต่ละครั้งนี้ ออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์จะทำการนับจำนวนครั้งเอาไว้ และเมื่อครบจำนวนที่เราได้กำหนดแล้ว มันก็จะทริปวงจรออกโดยถาวร เพื่อป้องกันไม่ให้ระบบเกิดการเสียหายมากเกินไป และให้เราได้มีเวลาแก้ไขระบบอีกต่อไป

ในการนับจำนวนครั้งการทริปของโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์นี้ เราต้องกำหนดระยะเวลาของการทริปแต่ละครั้งเอาไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดในกรณีที่โอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์ทริปไปแล้วแต่ยังไม่ครบจำนวนครั้งตามที่เราตั้งไว้ระบบก็กลับสู่สภาวะปกติไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียก่อน ในกรณีนี้ถ้าเราไม่มีการกำหนดระยะเวลาของการทริปแต่ละครั้งเอาไว้ ออโต รีโคลลซิ่ง รีเลย์ก็จะนับจำนวนครั้งของการทริปค้างอยู่ และเมื่อเกิดการทริปครั้งใหม่ขึ้นมาในช่วงเวลาที่นานออกไปมากแล้วมันก็จะนับต่อไปเลย ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้เป็นกรณีที่เราไม่ต้องการ

สำหรับขั้นตอนการทำงานและส่วนประกอบที่สำคัญของออโต รีโคลลซิ่ง รีเลย์ เราสามารถอธิบายด้วยบล๊อก ไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 3.10 บล็อก ไดอะแกรมแสดงการทำงานของออโต รีโคลล รีเลย์

จากรูปที่ 3.10 เราสามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของส่วนต่างๆได้ดังนี้

<u>ส่วนที่ (1)</u> จะทำหน้าที่รับสัญญาณในการทริปของโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์ในกรณีกระแสเกิน แล้วนำมาแปลงเป็นระดับสัญญาณที่เหมาะสมเพื่อป้อนให้กับวงจรออโต รีโคลลซิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีเลย์ต่อไป

ส่วนที่ (2) จะทำหน้าที่ตรวจสอบระยะห่างของเวลาในการทริปแต่ละครั้งว่าเป็นเท่าไร โดยถ้าระยะเวลาเกินกว่าที่เรากำหนดไว้ ก็จะส่งสัญญาณไปทำการรีเซทวงจรนับในส่วนที่ (3) ต่อไป แต่ถ้าระยะเวลาไม่เกินกว่าค่าที่เรากำหนด ก็จะส่งสัญญาณไปเข้าวงจรนับให้ทำการนับได้ สำหรับในส่วนนี้เราจะใช้วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator) จากไอซีไทเมอร์ 555 และวงจรนับ 16 จากไอซี 7493 (4 Bit Binary Counter) เป็นตัวสร้างระยะห่างของเวลาที่เรากำหนด

ส่วนที่ (3) จะทำหน้าที่นับจำนวนครั้งในการทริป ใช้ไอซี 7493 เช่นเดียวกัน โดยเลือกจำนวนครั้งที่จะใช้ได้ตั้งแต่ 1 ถึง 15

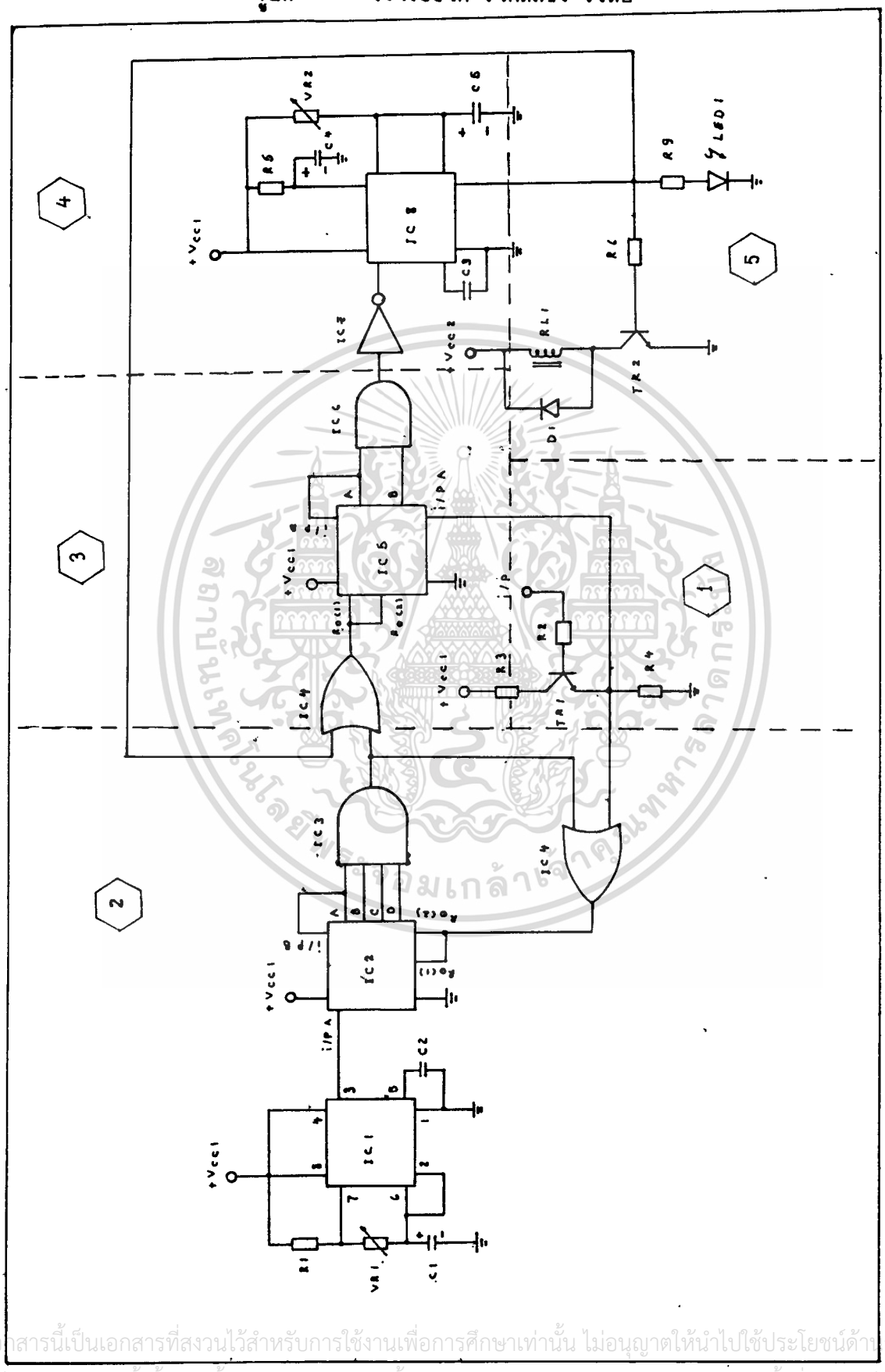
ส่วนที่ (4) และ (5) ก็จะมีหลักการทำงานและการสร้าง เช่นเดียวกับโอเวอร์เคอเรนท์ รีเลย์ในส่วนที่ (8) และ (9)

(สำหรับการทำงานโดยละเอียดของวงจรในแต่ละส่วนนั้น สามารถดูได้จากในภาคผนวกของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้)

จากการทำงานของส่วนต่างๆในออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์ที่กล่าวมาแล้ว เราสามารถนำมาทำการออกแบบวงจรได้ดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 3.11 , 3.12 และตารางที่ 3.2)

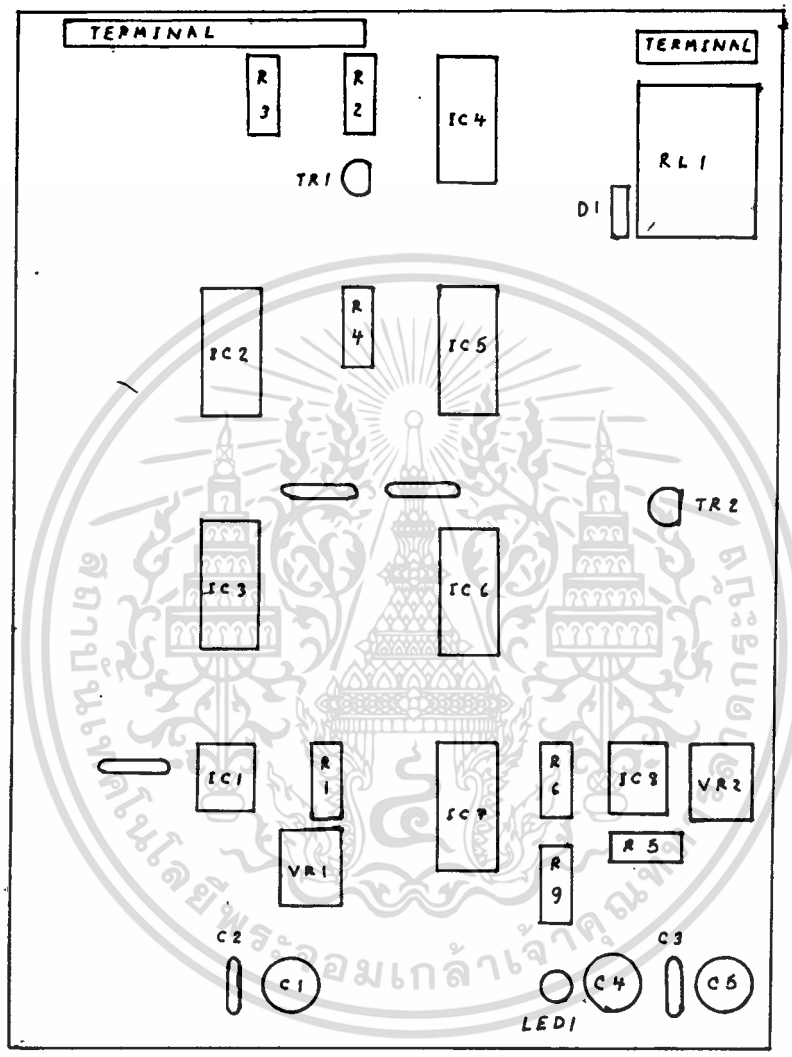
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 วงจรออโต รีโคลลซิ่ง รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ของวงจรออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงรายการอุปกรณ์ของ ออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR1	Variable Resistor 0.25 W	50 KΩ	1
VR2	Variable Resistor 0.25 W	470 KΩ	1
R1, R5	Carbon Resistor 0.25 W	50 KΩ	2
R2	Carbon Resistor 0.25 W	5 KΩ	1
R3	Carbon Resistor 0.25 W	1 KΩ	1
R4, R7	Carbon Resistor 0.25 W	270 Ω	2
R6	Carbon Resistor 0.25 W	2 KΩ	1
C1, C4, C5	Electrolytic Capacitor 16 V	100 µF	3
C2, C3	Dipmica 50 V	0.01 µF	2
D1	Rectifier Diode	1N 4001	1
LED1	LED Color Red	-	1
TR1, TR2	Transistor ; NPN	BC 337	2
IC1, IC8	IC	555	2
IC2, IC5	IC	7493	2
IC3	IC	7421	1
IC4	IC	7432	1
IC6	IC	7408	1
IC7	IC	7414	1
RL1	Relay 12 V, 3 A	-	1

หมายเหตุ $+V_{cc1}$: + 5 V $+V_{cc2}$: + 12 V

I/P : จากขา 3 ของ IC 555 ของ Over Current Relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งการติดตั้ง

จากที่กล่าวมาข้างต้นที่ว่า ออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์จะต้องทำงานสัมพันธ์กันกับโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์ ดังนั้นจึงต้องติดตั้ง ณ ตำแหน่ง A , B , C และ D

สำหรับวงจรออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์อันนี้ เราสามารถกำหนดระยะห่างของเวลาในการทริปแต่ละครั้งของโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์ได้จากการปรับที่ค่าความต้านทานของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ในวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ของส่วนที่ (2) ส่วนการตั้งจำนวนครั้งในการทริปนั้น เราสามารถกำหนดได้จากการต่อเอาสัญญาณมาใช้จากไอซีนับ 7493 ในส่วนที่ (4)

3.3.3 การออกแบบและการสร้างโอเวอร์แอนอันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์

โอเวอร์แอนอันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ จะทำงานเมื่อค่าศักดาไฟฟ้าในระบบสูงหรือต่ำกว่าที่เราได้ทำการกำหนดไว้ โดยจะมีลักษณะการทริปวงจรแบบทันทีทันใด

ขั้นตอนการทำงานและส่วนประกอบที่สำคัญของโอเวอร์แอนอันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์มีดังนี้ (ดูรูปที่ 3.13)

ส่วนที่ (1) พีทีจะทำหน้าที่รับสัญญาณโวลเตจจากระบบไฟฟ้ากำลังมาทำการลดขนาดลงให้เหมาะสมกับการใช้งาน

ส่วนที่ (2) จะนำสัญญาณกระแสลลับที่ได้จากพีทีมาทำการแปลงให้เป็นกระแสตรงเพื่อใช้งานกับวงจรอิเลอทรอนิกส์ต่อไป

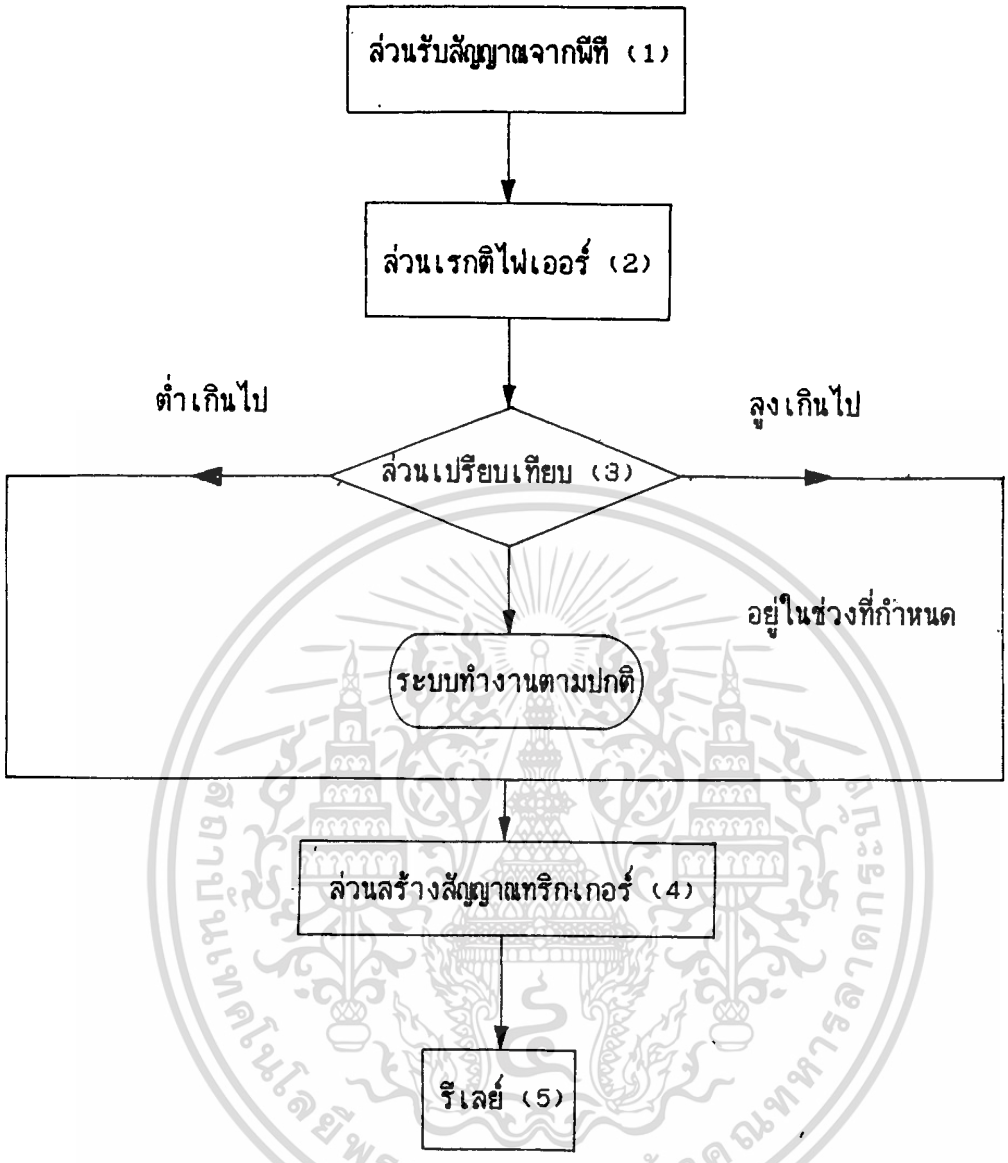
ส่วนที่ (3) จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากส่วนที่ (2) กับสัญญาณอ้างอิงว่าเป็นอย่างไร โดยถ้าอยู่ในช่วงที่เรากำหนดไว้ ระบบไฟฟ้าก็จะทำงานต่อไปได้ตามปกติ แต่ถ้าสูงหรือต่ำกว่าค่าที่เรากำหนด ก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนที่ (4) ต่อไป

ส่วนที่ (4) เนื่องจากการทำงานของส่วนเปรียบเทียบในวงจรนี้ มีเอาพุทที่ได้ไม่ตรงกับสัญญาณทริกเกอร์ที่ไอซี ไทเมอร์ 555 [ในส่วนที่ (6)] ต้องการ เราจึงต้องนำวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ มาช่วยในการสร้างสัญญาณทริกเกอร์ด้วย

ส่วนที่ (5) และ (6) จะมีหลักการเดียวกับในกรณีโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์

(สำหรับรายละเอียดการทำงานของวงจรในแต่ละส่วนนี้ สามารถหาดูได้จากภาคผนวกในตอนท้ายของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 บล็อก ไดอะแกรมแสดงการทำงานของโอเวอร์แอนอันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์

จากรูปที่ 3.13 เราสามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของส่วนต่างๆได้ดังนี้

ส่วนที่ (1) พีทีจะทำหน้าที่รับสัญญาณโวลเตจจากระบบไฟฟ้ากำลังมาทำการลดขนาดลงให้เหมาะสมกับการใช้งาน

ส่วนที่ (2) จะนำสัญญาณกระแสสลับที่ได้จากพีทีมาทำการแปลงให้เป็นกระแสตรง

ส่วนที่ (3) จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้จากส่วนที่ (2) ว่าเป็นอย่างไร โดยถ้าอยู่ในช่วงที่เรากำหนดไว้ ระบบไฟฟ้าก็จะทำงานต่อไปได้ตามปกติ แต่ถ้าสูงหรือต่ำกว่าค่าที่เรากำหนด ก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนที่ (4) ต่อไป

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ (4) เนื่องจากการทำงานของส่วนเปรียบเทียบในวงจรนี้ได้เอาพุทไม่ตรงกับสัญญาณทริกเกอร์ที่ไอซี ไทเมอร์ 555 [ในส่วนที่ (5)] ต้องการ เราจึงต้องนำเอาวงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์มาช่วยในการสร้างสัญญาณทริกเกอร์

ส่วนที่ (5) และ (6) จะมีหลักการเดียวกันกับในวงจรโอเวอร์ เดอเรนท์ รีเลย์ส่วนที่ (8) และ (9)

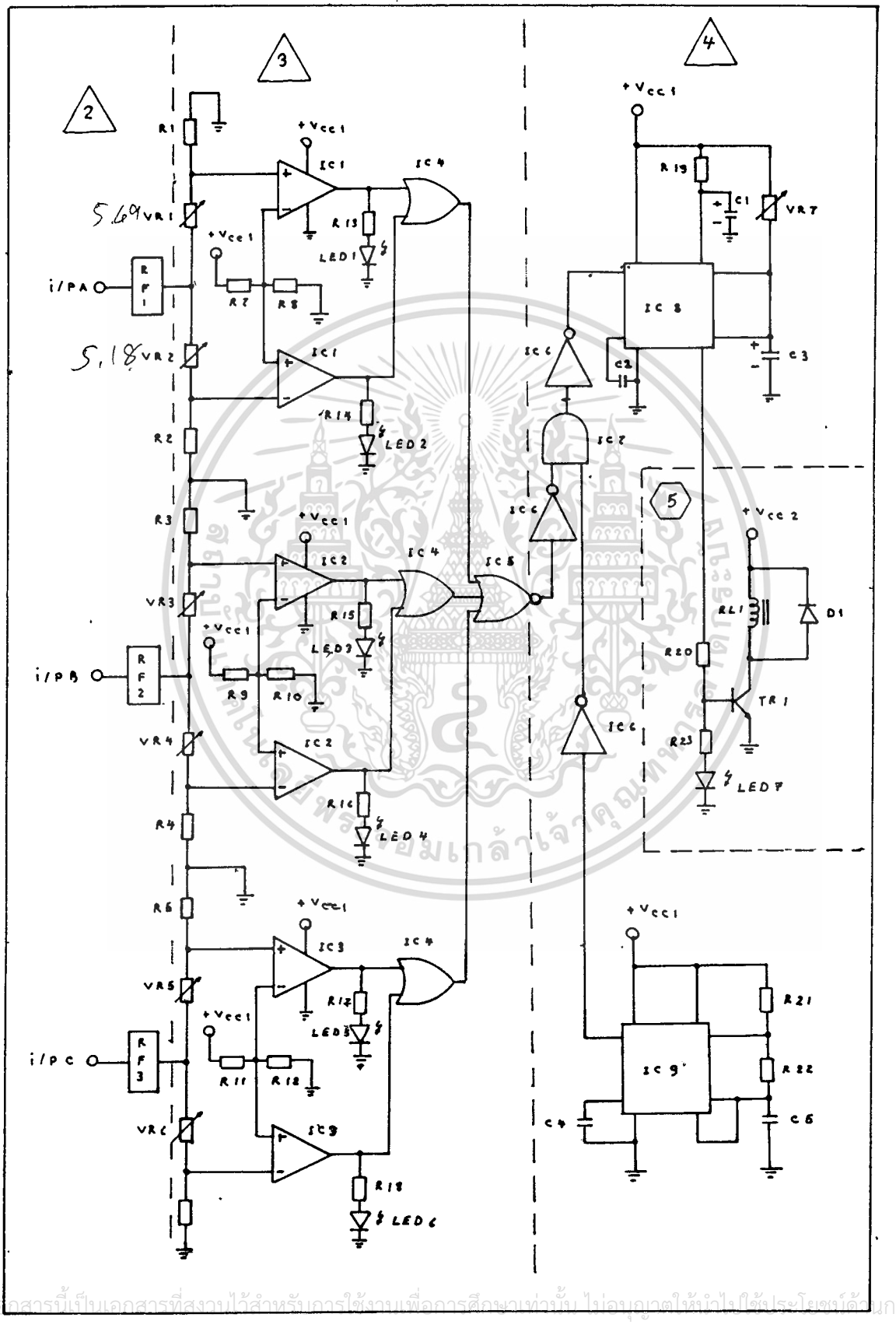
(สำหรับรายละเอียดการทำงานของวงจรในแต่ละส่วนนี้ สามารถดูได้จากภาคผนวกของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้)

จากการทำงานของส่วนต่างๆในโอเวอร์แอนด์อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์นี้ เราสามารถนำมาออกแบบวงจรได้ดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 3.14 , 3.15 และ ตารางที่ 3.3)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

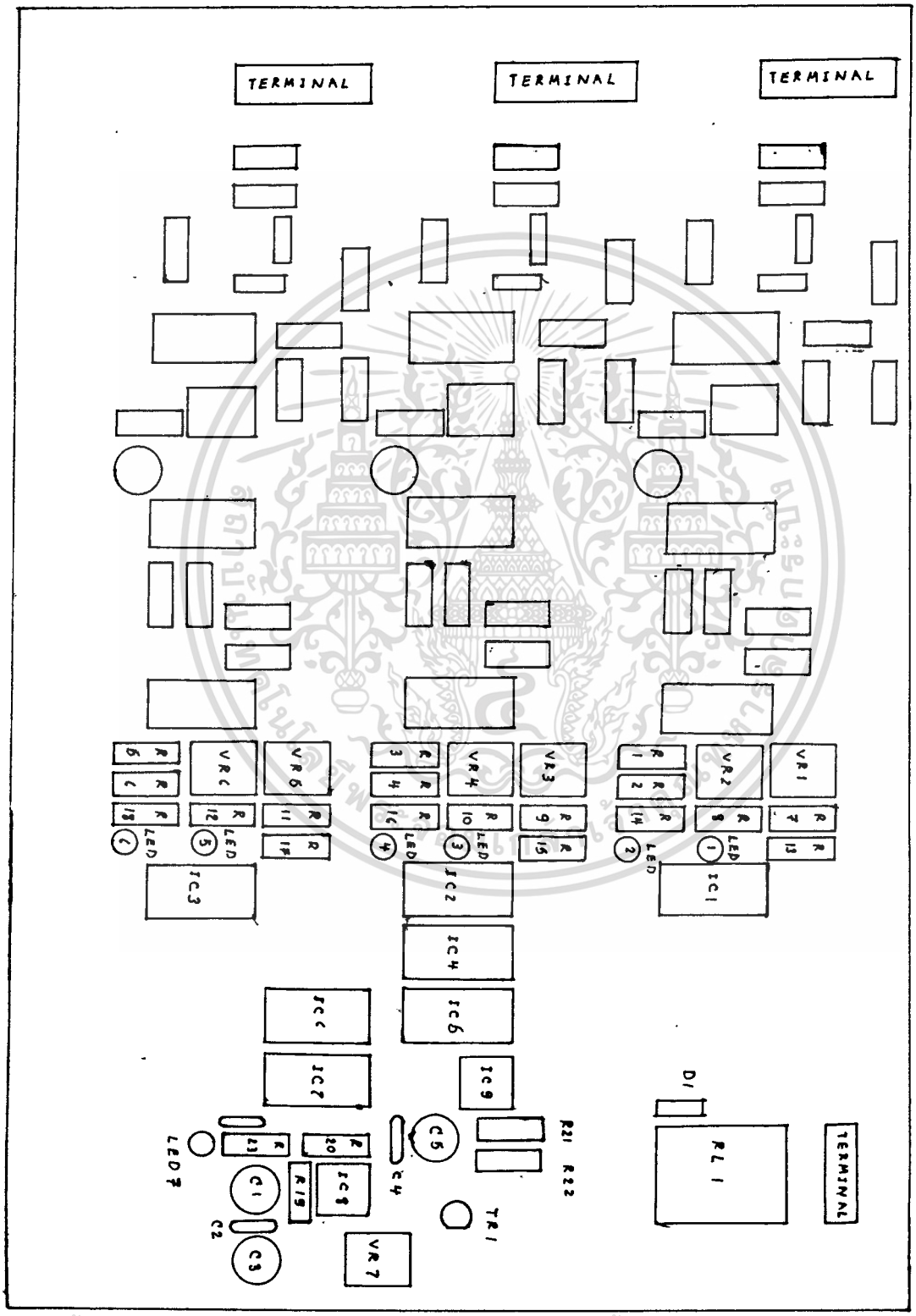
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 วงจรโอเวอร์แอนด์อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ของวงจรโอเวอร์แอนด์อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงอุปกรณ์ของวงจรโอเวอร์และอันเดอร์โวลเตจ รีเลย์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR1-VR6	Variable Resistor 0.25 W	10 KΩ	6
VR7	Variable Resistor 0.25 W	100 KΩ	1
R1-R6	Carbon Resistor 0.25 W	5 KΩ	6
R7, R9, R11	Carbon Resistor 0.25 W	3 KΩ	3
R8, R10, R12	Carbon Resistor 0.25 W	2 KΩ	3
R13-R18	Carbon Resistor 0.25 W	560 Ω	6
R19	Carbon Resistor 0.25 W	50 KΩ	1
R20	Carbon Resistor 0.25 W	4 KΩ	1
R21	Carbon Resistor 0.25 W	6.8 MΩ	1
R22	Carbon Resistor 0.25 W	20 Ω	1
R23	carbon Resistor 0.25 W	1 KΩ	1
C1	Electrolytic Capacitor 16 V	100 µF	1
C2, C4	Dipmica 50 V	0.01 µF	2
C3	Electrolytic Capacitor 16 V	470 µF	1
C5	Dipmica 50 V	0.1 µF	1
D1	REctifier Diode	1N 4001	1
LED1, LED3, LED5	LED Color Green	-	3
LED2, LED4, LED6,LED7	LED Color Red	-	4
TR1	Transistor ; NPN	BC 337	1
IC1-IC3	IC	LM 324 N	3
IC4	IC	7432	1
IC5	IC	7427	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
IC6	IC	7414	1
IC7	IC	7408	1
IC8, IC9	IC	555	2
RL1	Relay 12 V, 3 A	-	1
RF1, RF2, RF3	Rectifier Circuit	-	3

หมายเหตุ

$+V_{cc1}$: + 5 V

$+V_{cc2}$: + 12 V

I/P A : จากพีที เฟส A

I/P B : จากพีที เฟส B

I/P C : จากพีที เฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งการติดตั้ง

เราจะทำการตรวจสอบค่าโวลเตจในระบบอยู่ 2 จุด คือ ที่ตำแหน่ง A และ D (ดูรูปที่ 3.1) ทั้งนี้เพราะ ที่จุด B และ C จะเป็นช่วงของการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าซึ่งไม่มีการนำเอาพลังงานไปใช้จริงๆ จึงไม่มีความจำเป็นต้องตรวจสอบ

ในการกำหนดค่าของโวลเตจที่ระบบจะยอมรับได้นั้น เราจะกำหนดเป็นช่วง เช่น ±5 หรือ ±10 (ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้ไฟฟ้าของโหลดเป็นสำคัญ) โดยเราสามารถกำหนดได้จากการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้ในวงจรเปรียบเทียบของส่วนที่ (3)

สำหรับลักษณะการทริปของรีเลย์ชนิดนี้จะเป็นแบบอินแสตนเตเนียสทริป

3.3.4 การออกแบบและการสร้างเอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์

เอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์ จะทำงานเมื่อเกิดมีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลลงกราวน์ ซึ่งโดยปกติกระแสไฟฟ้าที่รั่วไหลนี้จะมีค่าน้อยมาก แต่ในบางครั้งก็อาจจะมีผลกระทบกระเทือนต่อระบบได้ ลักษณะการทริปวงจรของรีเลย์แบบนี้จะเป็นแบบอินแสตนเตเนียสทริป และจะมีขั้นตอนการทำงานและมีส่วนประกอบดังนี้ (ดูรูปที่ 3.16)

ส่วนที่ (1) จะรับสัญญาณตรวจสอบการรั่วไหลของไฟฟ้ามาจากค่าความต้านทานดิไวเดอร์ (ดูรูปที่ 3.4)

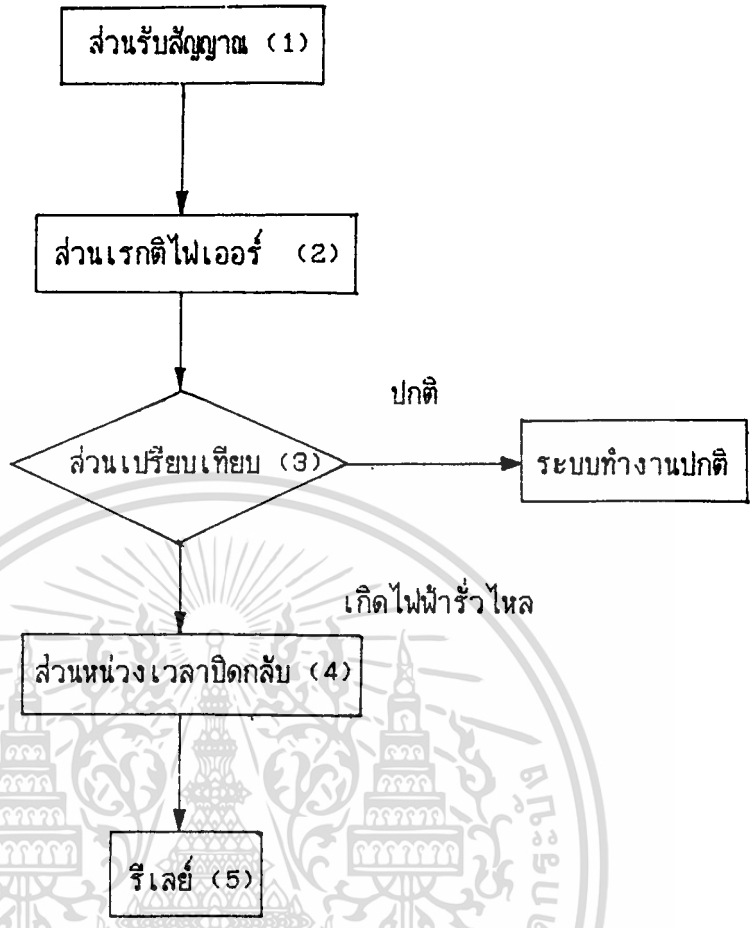
ส่วนที่ (2) จะนำสัญญาณกระแสสลับที่ได้มาแปลงให้เป็นกระแสตรง

ส่วนที่ (3) จะนำสัญญาณกระแสตรงจากส่วนที่ (2) มาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง โดยถ้ามีการรั่วไหลของกระแสมากเกินกว่าที่ระบบจะยอมรับได้ก็จะมีสัญญาณออกไปยังส่วนที่ (4) ต่อไป

ส่วนที่ (4) และ (5) จะมีหลักการเดียวกับโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์ในส่วนที่ (8) และ (9)

(สำหรับรายละเอียดการทำงานของวงจรแต่ละส่วนนี้ สามารถดูได้จากภาคผนวกของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

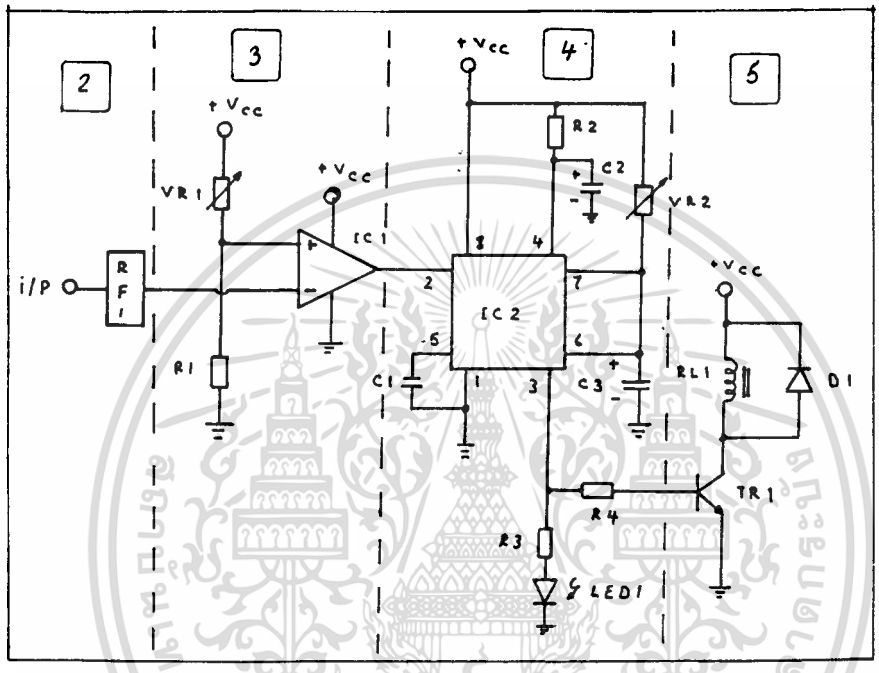


รูปที่ 3.16 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของเอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์

จากการทำงานของส่วนต่างๆในเอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์นี้ เราสามารถนำมาออกแบบวงจรได้ดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 3.17 , 3.18 และตารางที่ 3.4)

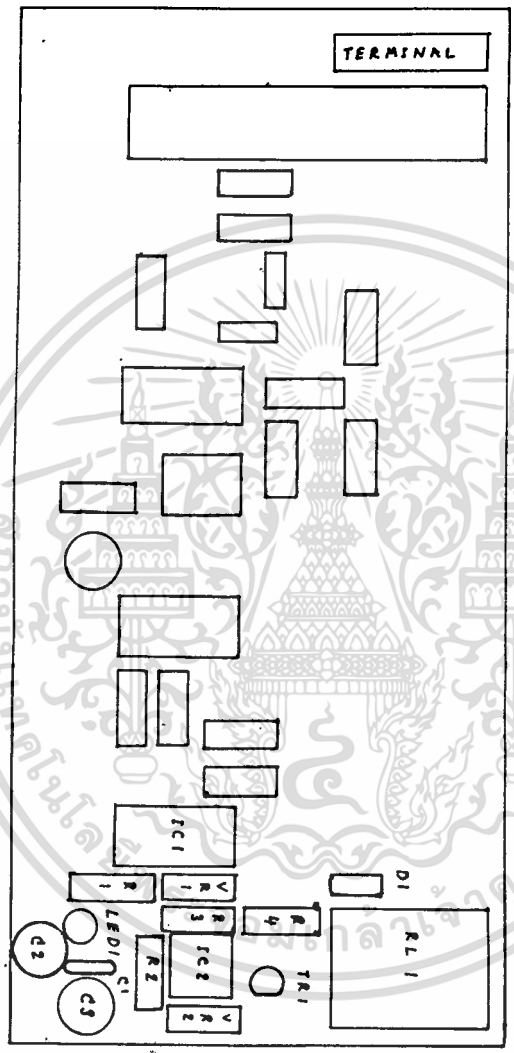
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 วงจรเอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.18 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของเอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงอุปกรณ์ของเอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR1	Variable Resistor 0.25 W	10 KΩ	1
VR2	variable Resistor 0.25 W	50 KΩ	1
R1	Carbon Resistor 0.25 W	4 KΩ	1
R2	Carbon Resistor 0.25 W	50 KΩ	1
R3	Carbon Resistor 0.25 W	1 KΩ	1
R4	Carbon Resistor 0.25 W	10 KΩ	1
C1	Dipmica 50 V	0.01 µF	1
C2, C3	Electrolytic 16 V	100 µF	2
D1	Rectifier Diode	1N 4001	1
LED1	LED Color Red	-	1
TR1	Transistor ; NPN	BC 337	1
IC1	IC	LM 324 N	1
IC2	IC	555	1
RL1	Relay 12 V, 3 A	-	1
RF1	Rectifier Circuit	-	1

หมายเหตุ $+V_{cc}$: +12 V

I/P : จากเอิร์ธ ลีกเกจ ฟอลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งการติดตั้ง

เราจะทำการตรวจสอบเพียงตำแหน่งเดียว คือ ที่ตำแหน่ง D (ดูรูปที่ 3.1) เพราะโดยปกติกระแสไฟฟ้าที่เกิดการรั่วไหลนี้จะมีค่าน้อยมาก จึงไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อระบบมากนัก แต่ในบางครั้งอาจจะมีอันตรายกับโหลดหรือผู้ใช้ไฟฟ้าได้บ้าง จึงมีความจำเป็นต้องมีการตรวจสอบการรั่วไหลนี้ด้วย

ในการกำหนดค่ากระแสรั่วไหลว่ามากน้อยเท่าใด วงจรจึงจะทำงานนั้น เราสามารถทำได้โดยการปรับค่าความต้านทานในวงจรเปรียบเทียบ

3.3.5 การออกแบบและการสร้างเฟส ซีเควนซ์ รีเลย์

เฟส ซีเควนซ์ รีเลย์ ทำหน้าที่ตรวจสอบการเรียงลำดับเฟสของไฟฟ้าในระบบว่าเรียงเฟสถูกต้องว่าถูกต้องหรือไม่ ทั้งนี้เพราะในระบบไฟฟ้า 3 เฟสนั้นการเรียงลำดับเฟสมีความสำคัญเป็นอย่างมาก อุปกรณ์ไฟฟ้า 3 เฟสที่ได้รับไฟที่เรียงลำดับเฟสไม่ถูกต้องจะทำงานผิดพลาดและก่อให้เกิดความเสียหายได้ เช่น กรณีมอเตอร์ 3 เฟส ถ้าเราต่อไฟโดยเรียงลำดับเฟสผิดจะมีผลให้มอเตอร์หมุนผิดทิศทาง เป็นต้น

ขั้นตอนการทำงานและส่วนประกอบที่สำคัญของเฟส ซีเควนซ์ รีเลย์ มีดังนี้ (ดูรูปที่ 3.19)

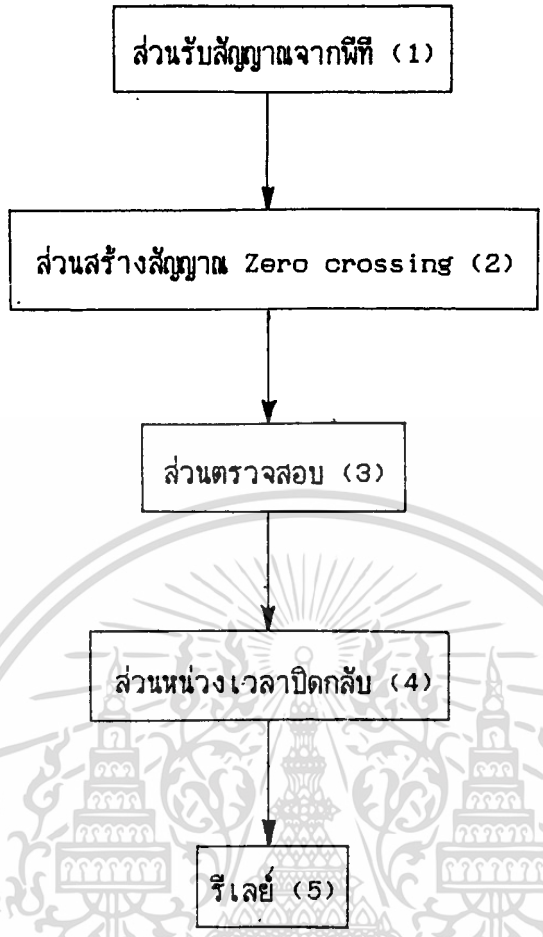
ส่วนที่ (1) พีทีจะทำหน้าที่รับสัญญาณโวลเตจจากระบบไฟฟ้ากำลังมาทำการลดขนาดลงให้เหมาะสมกับการใช้งาน

ส่วนที่ (2) วงจร Zero crossing detector จะแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับรูปซายน์ (Sine wave) ให้เป็นสัญญาณพัลท์ (Pulse) เพื่อนำไปใช้กับวงจรลอจิก ในส่วนที่ (3)

ส่วนที่ (3) เป็นวงจรทางลอจิกที่ใช้ตรวจสอบการเรียงลำดับเฟส ซึ่งจะมี T-Flip Flop ทำการเปลี่ยนสถานะทุกๆสัญญาณพัลท์ที่เข้ามาในแต่ละเฟส

ส่วนที่ (4) และ (5) จะมีหลักการทำงานและการสร้างเช่นเดียวกับในส่วนที่ (8) และ (9) ของโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



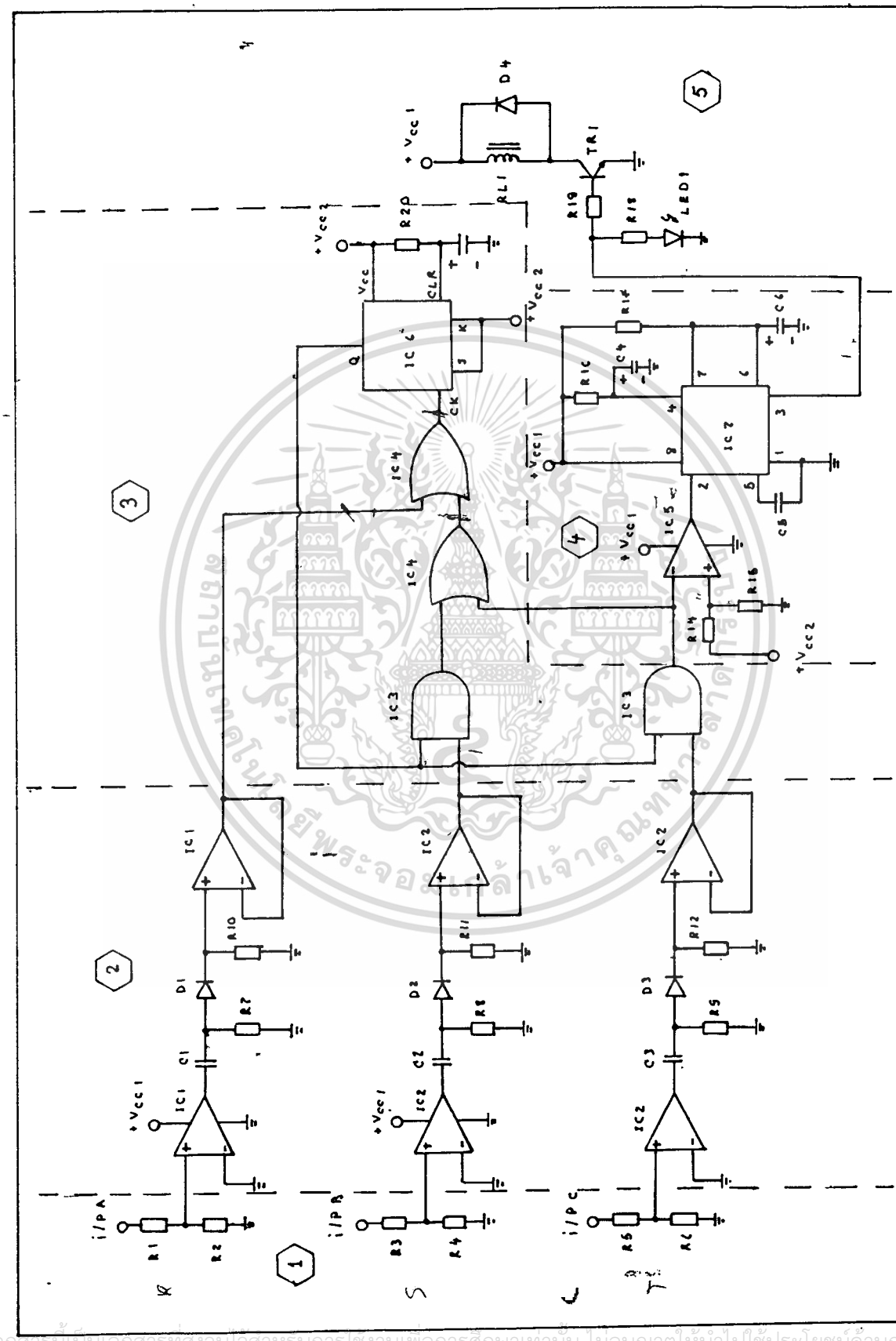
รูปที่ 3.19 บล็อก ไดอะแกรมแสดงการทำงานของเฟส ซีเควนซ์ รีเลย์

(สำหรับรายละเอียดการทำงานของวงจรในแต่ละส่วนนี้ สามารถดูได้จากภาคผนวกของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้)

จากการทำงานในส่วนต่างๆในเฟส ซีเควนซ์ รีเลย์นี้ เราสามารถนำมาออกแบบวงจรได้ดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 3.20 , 3.21 และ ตารางที่ 3.5)

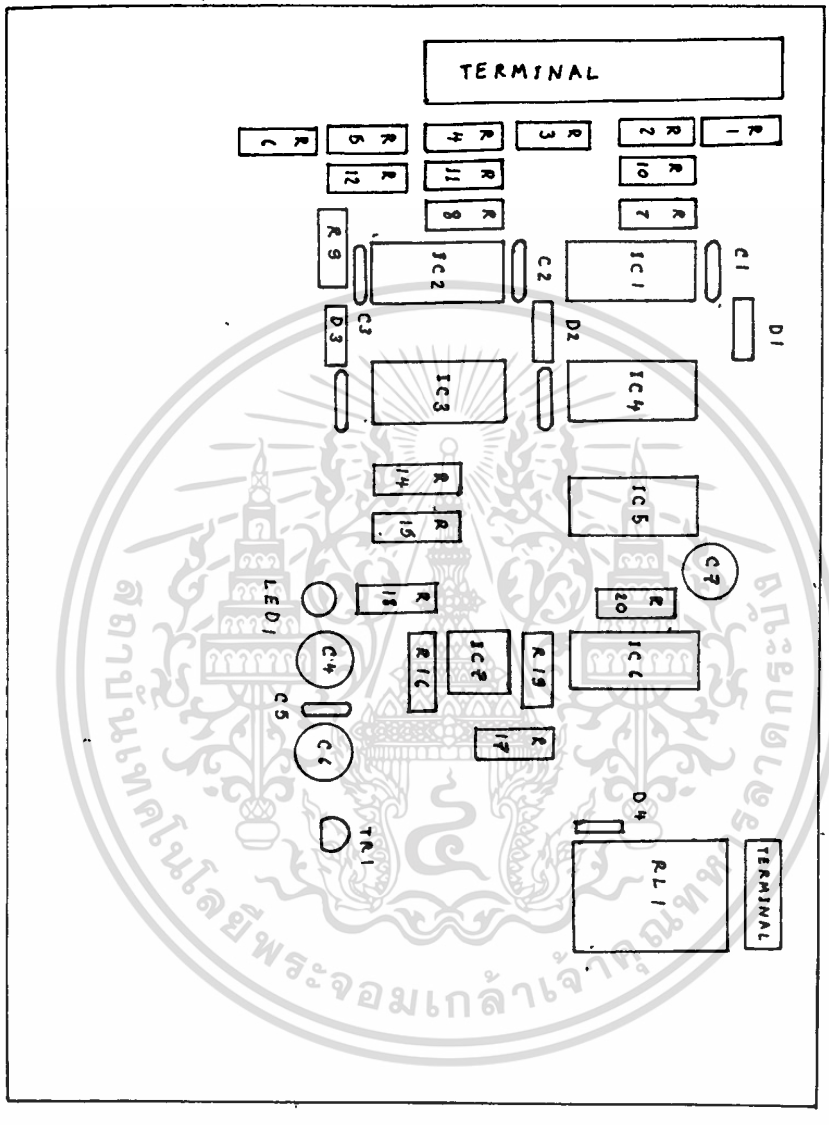
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.20 วงจรเฟส ซีเควนซ์ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.21 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ของวงจรเฟส ซีเควนซ์ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงอุปกรณ์ของเฟส ซีเควนซ์ รีเลย์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
R1, R3, R5, R14, R16	Carbon Resistor 0.25 W	50 KΩ	6
R17			
R2, R4, R6	Carbon Resistor 0.25 W	560 Ω	3
R7, R8, R9, R19	Carbon Resistor 0.25 W	10 KΩ	4
R10, R11, R12	Carbon Resistor 0.25 W	20 KΩ	3
R18	Carbon Resistor 0.25 W	1 KΩ	1
R15	Carbon Resistor 0.25 W	5 KΩ	1
C1, C2, C3, C5	Dipmica 50 V	0.01 μF	4
C4, C6	Electrolytic 16 V	100 μF	2
C7	Electrolytic 16 V	4.7 μF	1
D1, D2, D3, D4	Rectifier Diode	1N 4001	4
LED2	LED Color Red	-	1
TR1	Transistor ; NPN	BC 337	1
IC1, IC2, IC5	IC	LM 324 N	3
IC3	IC	7408	1
IC4	IC	7432	1
IC6	IC	7473	1
IC7	IC	555	1
RL1	Relay 12 V, 3 A	-	1

หมายเหตุ $+V_{cc1}$: + 12 V

$+V_{cc2}$: + 5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ (ต่อ)

I/P A : จากพีที เฟส A

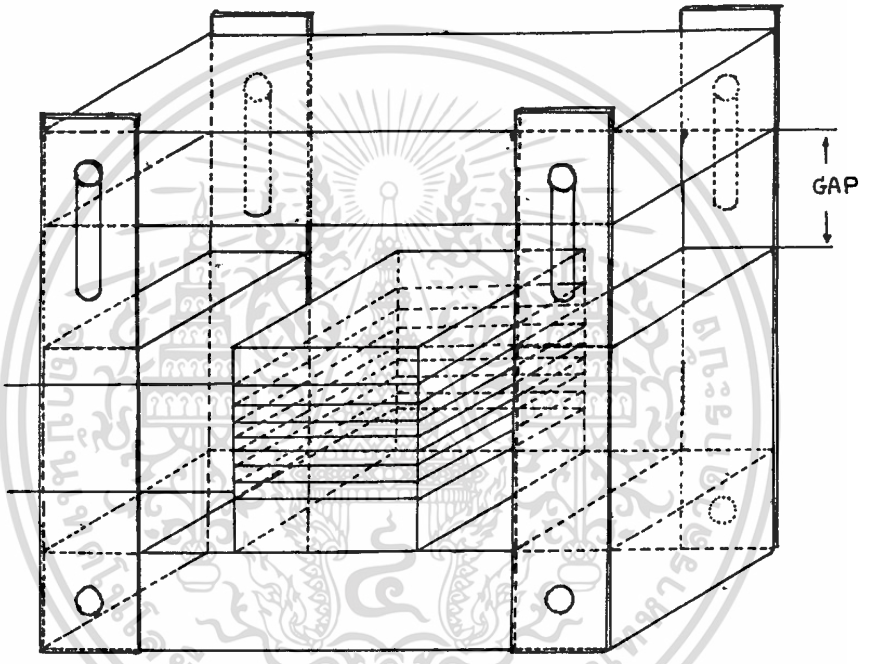
I/P B : จากพีที เฟส B. I/P C : จากพีที เฟส C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดสอบและการนำไปใช้งาน

4.1 การใช้งานตัวเหนี่ยวนำในการจำลองการลัดวงจร

จากในบทที่ 3 เราได้ทำการคำนวณค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้ทั้ง 4 ค่าไว้แล้ว ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 4.1 ประกอบ)



รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของตัวเหนี่ยวนำ

โดยแกนเหล็กมีขนาด	2.5	นิ้ว
บ๊อบบิ้นขนาด	2.5 * 3	นิ้ว^2
ขดลวดเบอร์	14	SWG

ซึ่งเราสามารถคำนวณค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการได้จากสูตร

$$L = N^2 * \mu_o * A / 2g$$

โดยที่ L : ค่าความเหนี่ยวนำ ; mH

N : จำนวนรอบของขดลวด ; รอบ

μ_o : ค่าเปอร์มีอะบิลิตี้ (Permeability) ของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$= 4 * \pi * 10^{-7}$; H/m

A : พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

$= 4.8387 * 10^{-3}$; m^2

g : ช่องว่าง (gap) ของแกนเหล็ก

ในที่นี้เราจะกำหนดค่าแกปประมาณ 2 มิลลิเมตร เพราะจะทำให้ตัวเหนี่ยวนำไม่สั่นในขณะใช้งานและสามารถทำการปรับแกปได้ง่าย

จากสูตรเราสามารถคำนวณหาจำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 3.2)

-กรณี $L_{a1} = L_{a4} = 77.81$ mH

ได้ N = 226 รอบ

-กรณี $L_{b1} = L_{b4} = 44.92$ mH

ได้ N = 172 รอบ

-กรณี $L_{a2} = L_{a3} = 276.94$ mH

ได้ N = 427 รอบ

-กรณี $L_{b2} = L_{b3} = 160.14$ mH

ได้ N = 325 รอบ

ซึ่งจำนวนรอบที่ได้นี้ เมื่อเราทำการพันขึ้นมาจริงเราจะต้องนำมาตรวจสอบกับค่าโวลเตจและกระแส ณ จุดที่จะใช้งานจริงๆด้วย (ในกรณีนี้ เราไม่จำเป็นทดสอบความลิเนียร์ของตัวเหนี่ยวนำ เพราะในการใช้งานจะเป็นในลักษณะที่โวลเตจและกระแสค่าเดียวเท่านั้น) ผลจากการทดสอบ โดยมากมักจะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ได้ มีค่าไม่เท่ากับการคำนวณพอดี แต่เราสามารถทำการแก้ไขได้โดยการปรับที่ระยะแกป

4.2 การทดสอบและการใช้งานอินสทรูเมนต์ ทรานสฟอร์มเมอร์

4.2.1 ซีที

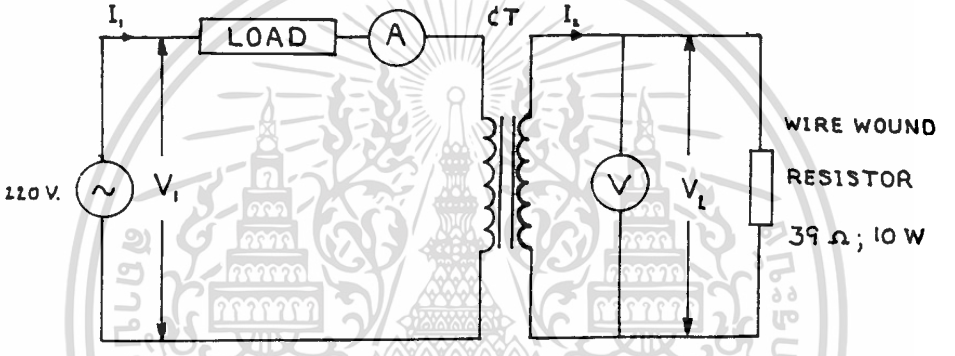
ซีทีที่จะนำไปใช้งานในระบบไฟฟ้าจำลองนี้ มีด้วยกัน 2 ขนาด คือ

(1) 640/5 ซึ่งใช้กับโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์ที่ตำแหน่ง A และ D (ดูรูปที่ 3.1) โดยมีขดลวดด้านปฐมภูมิ 4 รอบ (ลวดเบอร์ 14 SWG) และขดลวดทุติยภูมิ 510 รอบ (ลวดเบอร์ 26 SWG)

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) 320/5 ซึ่งใช้กับโอเวอร์ เคอเรนท์ รีเลย์ที่ตำแหน่ง B และ C (เพราะในช่วงของสายส่งนี้ จะมีค่ากระแสลัดวงจรต่ำกว่าที่ตำแหน่ง A และ B เราจึงต้องทำการแปลงค่าของกระแสในอัตราส่วนที่ต่างกัน) ใช้ขดลวดด้านปฐมภูมิ 4 รอบ (ลวดเบอร์ 14 SWG) และขดลวดด้านทุติยภูมิ 255 รอบ (ลวดเบอร์ 26 SWG)

ซีทีเมื่อพันเสร็จแล้วเราจะต้องนำมาทำการทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนการแปลงกระแสและความสิเนียร์ของการแปลงด้วยว่าถูกต้องเท่ากันตลอดช่วงของการใช้งานหรือไม่ โดยใช้วงจรในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 วงจรการทดสอบ ซีที

ซึ่งมีผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบซีที ขนาด 640/5

I_1 (A)	V_2 (V)	$I_2 = V_2 / R$ (mA)	I_2 / I_1
0.9	0.4	7.25	$8.056*10^{-3}$
1.8	0.8	14.50	$8.056*10^{-3}$
2.7	1.2	21.76	$8.056*10^{-3}$
3.6	1.6	29.01	$8.056*10^{-3}$
4.5	1.9	34.45	$8.058*10^{-3}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

I_1 (A)	V_2 (V)	$I_2 = V_2 / R$ (mA)	I_2 / I_1
5.35	2.3	41.76	$7.806*10^{-3}$
7.2	3.05	55.30	$7.681*10^{-3}$
9.0	3.8	68.90	$7.656*10^{-3}$
11.6	4.85	87.94	$7.581*10^{-3}$
14.3	6.0	108.79	$7.608*10^{-3}$

$a = N_1 / N_2 = 4/510 = 7.843*10^{-3}$

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบซีทีขนาด 255/4

I_1 (A)	V_2 (V)	$I_2 = V_2 / R$ (mA)	I_2 / I_1
0.9	0.6	10.88	$12.089*10^{-3}$
1.8	1.2	21.76	$12.089*10^{-3}$
2.7	1.95	35.36	$13.096*10^{-3}$
3.6	2.6	47.14	$13.094*10^{-3}$
4.55	3.36	60.74	$13.349*10^{-3}$
5.35	3.9	70.71	$13.217*10^{-3}$
7.2	5.35	97.00	$13.472*10^{-3}$
9.0	6.7	121.48	$13.498*10^{-3}$
11.7	8.8	159.55	$13.637*10^{-3}$
14.4	10.8	195.81	$13.598*10^{-3}$

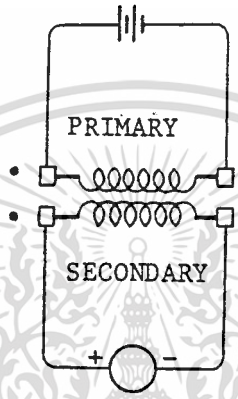
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a = N_1 / N_2 = 4/255 = 15.686*10^{-3}$$

จากผลการทดลอง จะเห็นว่า ค่า I_1 / I_2 ที่ได้นั้น มีความลิเนียร์ดีพอสมควร ในช่วงการใช้งาน และเมื่อเทียบกับค่า Turn Ratio ($a = N_1 / N_2$) ก็จะใกล้เคียงกัน

<u>การตรวจสอบโพลาริตี้ของซีที</u>

เราจะใช้วิธี ดี.ซี. เทสต์ (D.C. Test) ดูรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การทดสอบโพลาริตี้ของซีที

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ทางด้านปฐมภูมิของซีที จะต้องต่อขั้วที่มีเครื่องหมายกำกับ (เช่น ".") เข้ากับขั้วบวกของถ่านไฟฉายที่ต่ออนุกรมกัน 2 ก้อน
- ทางด้านทุติยภูมิของซีที จะต้องต่อขั้วที่มีเครื่องหมายกำกับเข้ากับขั้วบวกของ ดี.ซี. แอมมิเตอร์ (D.C. Ammeter) ซึ่งมีขนาด 5 แอมป์หรือต่ำกว่านี้ (ขึ้นอยู่กับขนาดของซีที)

หากเข็มของ ดี.ซี. แอมมิเตอร์ กระดิกถูกทาง แสดงว่าเครื่องหมายที่ขั้วของซีทีถูกต้อง

ข้อควรระวังของการใช้วิธีทดสอบแบบนี้ก็คือ ไม่ควรทดสอบซีทีโดยวิธีนี้เป็นเวลานาน หรือหลายครั้ง เพราะการทำเช่นนั้น จะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กตกค้างอยู่ในแกนเหล็กซึ่งจะมีผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้

4.2.2 <u>พีที</u>

พีทีที่จะนำไปใช้งานในระบบไฟฟ้าจำลองนี้ มีขนาด 127/5 เนื่องจากตำแหน่งที่เราจะติดตั้งนั้น คือ ตำแหน่ง A และ D (ดูรูปที่ 3.1) เพื่อใช้กับโอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์ และ เฟส ซีเควนซ์ รีเลย์ ดังนั้นโวลเตจที่เราใช้จึงเป็นโวลเตจคร่อมไลน์กับกราวน์ซึ่ง

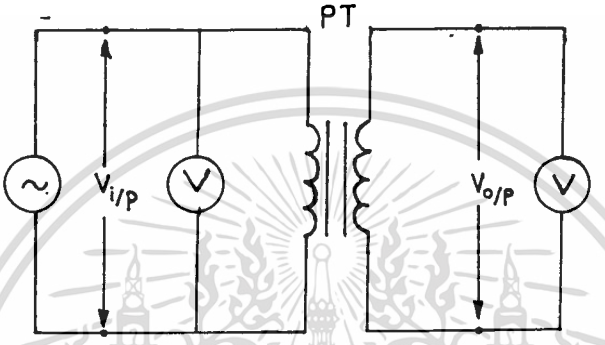
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขนาด 127 โวลต์

ด้านปฐมภูมิของพีทีมีจำนวนขดลวด 990 รอบ (ลวดเบอร์ 30 SWG)

ด้านทุติยภูมิของพีทีมีจำนวนขดลวด 39 รอบ (ลวดเบอร์ 26 SWG)

สำหรับการทดสอบพีทีนั้น เราจะใช้วงจรในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วงจรการทดลอบ พีที

ซึ่งมีผลการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลอบพีที ขนาด 127/5

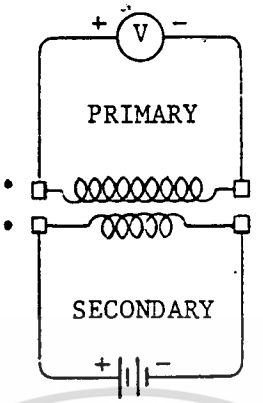
V_1 (V)	V_2 (V)	V_1 / V_2
100	3.94	25.381
110	4.33	25.404
127	4.99	25.451
135	5.30	25.472
150	5.90	25.424

$$a = N_1 / N_2 = 990/39 = 25.385$$

<u>การตรวจสอบโพลาริตี้ของพีที</u>

เราจะใช้วิธีดี.ซี. เทสต์ เช่นเดียวกัน ดูรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การทดสอบโพลาริตี้ของพีที

ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- ทางด้านปฐมภูมิของพีที จะต้องต่อขั้วที่มีเครื่องหมายกำกับ (เช่น ".") เข้ากับขั้วบวกของ ดี.ซี. โวลท์มิเตอร์ D.C. Voltmeter) โดยควรใช้สายหุ้มฉนวนพิกัดแรงดันไม่น้อยกว่า 150 โวลท์ ในการต่อคร่อม
- ทางด้านทุติยภูมิของพีที จะต้องต่อขั้วที่มีเครื่องหมายกำกับ เข้ากับขั้วบวกของถ่ายไฟฉายที่ต่ออนุกรมกัน 2 ก้อน

หากเข็มของดี.ซี. โวลท์มิเตอร์กระดิกไปทางบวก แสดงว่าเครื่องหมายบนพีทีถูกต้อง หากแตะครั้งแรกแล้ว เข็มกระดิกกลับทาง แสดงว่าเครื่องหมายนั้นไม่ถูกต้อง

4.3 การทดสอบและการใช้งานโปรเทคทีฟ รีเลย์

4.3.1 โอเวอร์เคอเรนท์ รีเลย์

การปรับตั้งเวลา

ในการใช้งานโอเวอร์เคอเรนท์ รีเลย์ นั้น เราต้องทำการปรับตั้งค่าต่างๆ ที่สำคัญทั้งหมด 5 ค่า ด้วยกัน ได้แก่ (ดูรูปที่ 3.8, 3.9 และตารางที่ 3.1)

1) ค่ากระแสเกิน

คือการกำหนดไว้ว่า ถ้ากระแสที่ไหลอยู่ในระบบมีค่ามากกว่านี้แล้ว โอเวอร์เคอเรนท์รีเลย์ จะเริ่มทำงานในลักษณะ อินเวอร์สไทม์ทริป ซึ่งเราสามารถทำได้โดยการปรับที่ VR3 [ในส่วนที่ (3)] ซึ่งเป็นตัวตั้งระดับโวลเตจที่จะไปเปรียบเทียบกับสัญญาณจากซีที

เอกสารนี้สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ค่ากระแสลัดวงจร

จะเหมือนกันกับในกรณีที่กระแสเกิน แต่จะทำการปรับที่ VR1 [ในส่วนที่ (3)]

3) ค่าการหน่วงเวลาและทริปในกรณีกระแสเกิน

การเกิดกระแสเกินจะมีอันตรายน้อยกว่ากระแสลัดวงจร และในบางครั้งอาจหายไปได้เอง (เช่น โหลดเกินชั่วขณะ) ในการปรับเวลาหน่วงของวงจรนี้เราจะทำได้ 2 วิธี คือ อาจปรับที่ VR2 หรือ VR5 [ในส่วนที่(4)] ก็ได้ แต่เรามักจะปรับ VR2 ในตอนเซ็ทระบบครั้งแรกเท่านั้น ในกรณีปกติ เราจะทำการปรับที่ VR5 ซึ่งเป็นวงจร RC โดยตรง (VR5 เป็นส่วนช่วยทำให้เกิดลักษณะเป็นอินเวอร์ส ไทม์)

4) ค่าการหน่วงเวลาทริปในกรณีกระแสลัดวงจร

เวลาหน่วงในส่วนนี้จะน้อยมาก เพราะใช้ในการจัดโคออร์ดิเนชั่นของระบบเท่านั้น เราทำการปรับได้ที่ VR4 [ในส่วนที่ (7)]

5) ค่าหน่วงเวลาปิดกลับ

โดยปกติในระบบไฟฟ้าจริง ค่าเวลาอันนี้จะมีค่าไม่เท่ากันทุกครั้ง โดยครั้งแรกจะมีค่าน้อยที่สุด และค่อยๆ เพิ่มมากขึ้น ตามจำนวนครั้งที่ทำการทริป แต่ในวงจรนี้ เราจะให้เวลาเท่ากันทุกครั้ง โดยใช้การปรับที่ VR6 [ในส่วนที่ (5)]

การทดสอบวงจร

กำหนดให้เกิดกระแสลัดวงจรที่ 7 A กระแสเกินที่ 3 A และวงจรเรคติไฟเออร์ที่ใช้จะเป็นแบบ "True RMS" มีค่าอัตราขยายเป็น 3 เท่า ดังนั้นจะได้ว่า ที่กระแส 3 A เมื่อทำการแปลงเป็นศักดาไฟฟ้ากระแสตรงแล้วจะได้ เท่ากับ 4 V ส่วนกระแส 7 A จะได้ 9.33 V

การปรับวงจรจริงเป็นดังนี้

ให้ศักดาตกคร่อม VR1 = 9.33 V

ให้ศักดาตกคร่อม VR3 = 4.00 V

ให้ศักดาตกคร่อม VR2 = 10.00 V

สำหรับ VR5 จะทำการเปลี่ยนค่าไปเรื่อยๆ สำหรับ VR7 จะตั้งที่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง (เวลาหน่วงของ 555 = 1.1*R*C sec) และได้ผลการทดลองดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

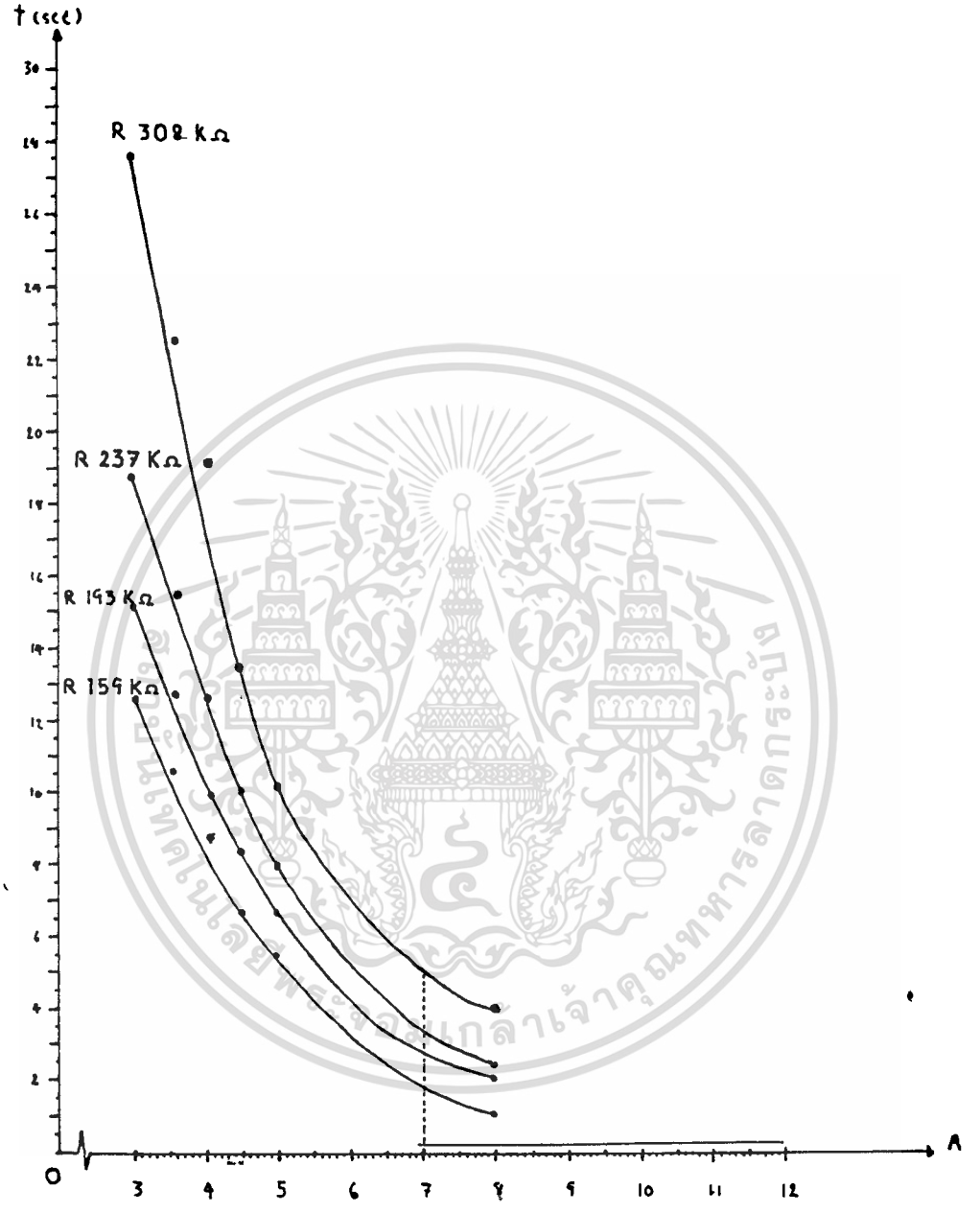
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบโอเวอเคอเรนท์ รีเลย์

I/P A (A) (กระแสในระบบ)	VR3 (V) (ผ่านเรคติไฟเออร์)	เวลาหน่วง t (sec) ; ปรับค่า VR5			
		308 KΩ	237 KΩ	193 KΩ	159 KΩ
3.15	4.2	27.5	18.7	15.1	12.5
3.60	4.8	22.5	15.3	13.5	10.5
4.05	5.4	17.0	12.6	9.9	8.5
4.50	6.0	13.4	10.0	8.4	6.7
5.05	6.6	10.0	7.8	6.9	5.3
* 7.95	10.0	4.0	2.4	2.1	1.5

หมายเหตุ ; * ได้จากการปรับ VR1 ให้ศักดาตกคร่อมสูงกว่า 10 V เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของวงจรหน่วงเวลา (ดูภาคผนวก) เพราะโดยปกติแล้ว เมื่อ VR3 > 9.33 V แล้ว t จะเท่ากับ 0

จากผลการทดลอง สามารถนำมาเขียนกราฟ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 การทำงานของ โอเวอเดอเรนท์ รีเลย์

4.3.2 <u>ออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์</u>

ในการใช้งานออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์ จะต้องทำการปรับตั้งค่าที่สำคัญ 2 ค่าคือ (ดูรูป 3.11, 3.12 และตารางที่ 3.2)

1) <u>ค่าระยะห่างของเวลาในการทริปแต่ละครั้งที่จะยอมรับหรือไม่</u>

เพราะถ้าเราไม่มีการตั้งระยะเวลาอันนี้ ออโต รีโคลสซิ่ง รีเลย์ จะนับจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นวนครั้งของการทริปค้างไว้เสมอ ไม่ว่าระยะเวลาในการทริปแต่ละครั้ง จะห่างกันเพียงใดก็ตาม ในวงจรนี้ เราสามารถปรับได้จากค่าของ VR1 [ในส่วนที่ (1)]

2) จำนวนครั้งในการทริป

โดยปกติมักตั้งให้มีค่าเป็น 3 ครั้ง แต่ถ้าเราต้องการเปลี่ยน ก็สามารถทำได้จากการดึงเอาสัญญาณเอาท์พุทของไอซี 7493 (Q_A , Q_B, Q_C , Q_D) [ในส่วนที่ (3)] มาใช้ ซึ่งเปลี่ยนได้ตั้งแต่ 1-15 ครั้ง

สำหรับในวงจรรูปที่ 3.11 นี้เป็นการต่อแบบทริป 3 ครั้ง

4.3.3 โอเวอร์และอันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์

ในการใช้งานโอเวอร์และอันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ จะต้องทำการปรับตั้งค่าที่สำคัญ 2 ค่า คือ

1) ชุดโอเวอร์โวลเตจ

คือจุดที่มีค่าโวลเตจสูงที่สุดที่ระบบสามารถจะยอมรับได้ ในที่นี้ จะต้องปรับที่ VR1, VR3 และ VR5 [ในส่วนที่(3)]

2) ชุดอันเดอร์โวลเตจ

คือจุดที่มีค่าโวลเตจต่ำที่สุดที่ระบบสามารถจะยอมรับได้ ในที่นี้ จะต้องปรับที่ VR2, VR4 และ VR6 [ในส่วนที่(3)]

ข้อควรระวังในการปรับตั้งค่า VR เหล่านี้ก็คือ ต้องทำการปรับตั้งให้ได้ค่าเท่ากันในทุกๆเฟส ทั้งนี้เพราะในบางครั้งอาจเกิดกรณีโวลเตจไม่สมดุลย์กันทั้ง 3 เฟส (Unbalanced Voltage) ขึ้นในระบบ ซึ่งถ้าเราตั้งค่า VR ไว้ไม่ดี อาจทำให้การทำงานของวงจรผิดพลาดไปได้

4.3.4 เอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์

การนำเอิร์ธ ลีกเกจ รีเลย์ไปใช้งานนั้น มีค่าที่เราต้องทำการปรับตั้งเพียงค่าเดียว คือ สัญญาณอ้างอิงในการเปรียบเทียบขนาดกระแสที่รั่วไหลในวงจรว่าอยู่ในระดับที่เรายอมรับได้หรือไม่ เพราะปกติกระแสรั่วไหลนี้จะมีค่าน้อยมาก ไม่มีผลกระทบกระเทือนต่ออุปกรณ์ทางไฟฟ้าเท่าใดนัก แต่จะมีอันตรายกับผู้ที่ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านั้นมากกว่า ดังนั้นในการตั้งระดับสัญญาณอ้างอิงนี้ เราจึงต้องคำนึงถึงระดับอันตรายต่อมนุษย์เป็นสำคัญ (โดยปกติควรอยู่ประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5-30 มิลลิแอมป์) ในการปรับตั้งนั้นเราสามารถทำได้โดยการปรับที่ VR1 [ในส่วนที่ (3)]

4.3.5 <u>เฟส ซีเควนส์ รีเลย์</u>

ในการใช้งานของเฟส ซีเควนส์ รีเลย์นั้น ปกติจะใช้ตามจุดที่มีการเชื่อมต่อกันของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยเฉพาะตามโหลดที่มีความสำคัญมากๆ รีเลย์ชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องมีการปรับตั้งค่าอะไรก่อนทั้งสิ้น สามารถนำไปใช้งานได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์

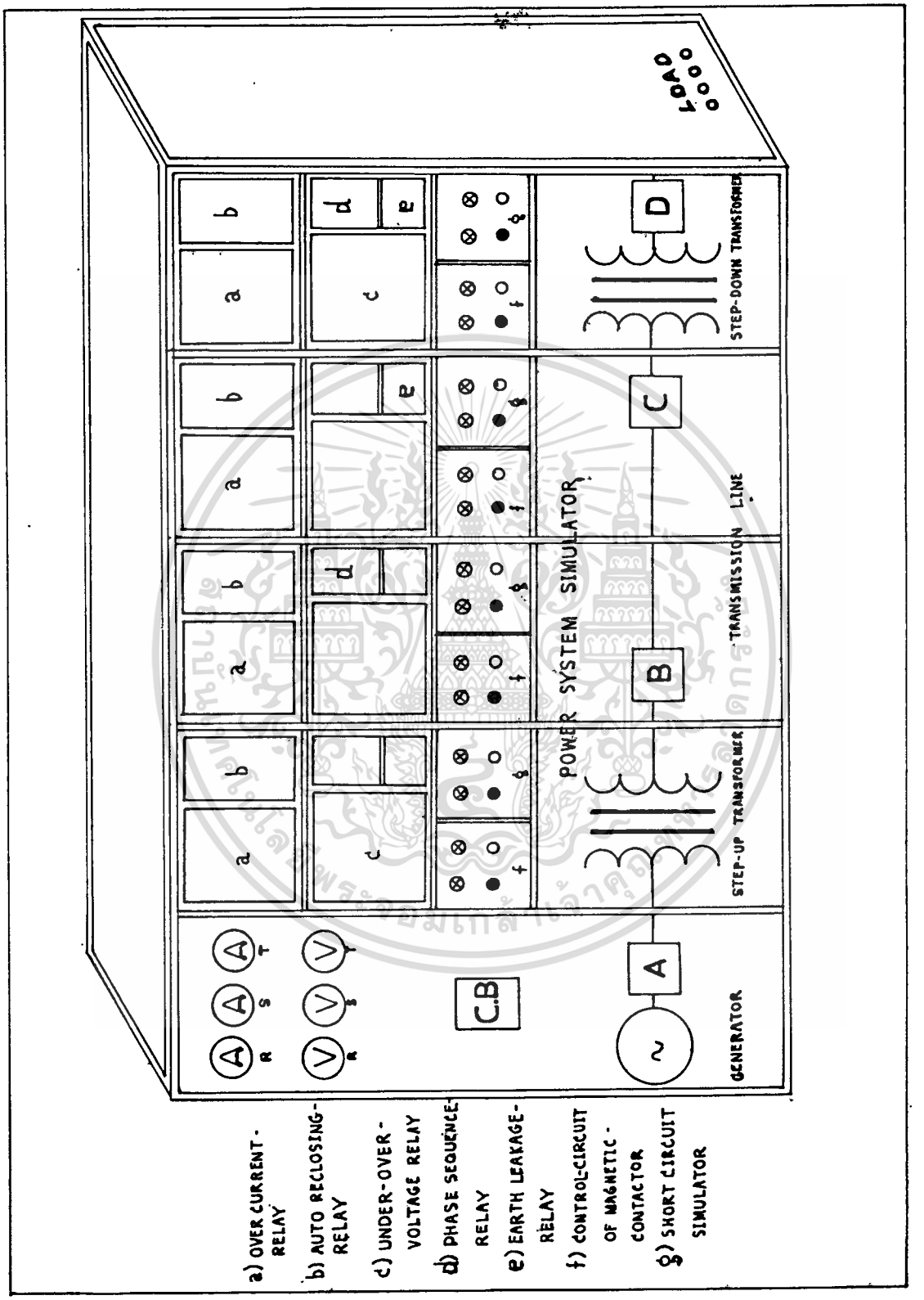
ปริญญานิพนธ์นี้ ตั้งวัตถุประสงค์ไว้เพื่อเป็นชุดทดลองในการศึกษาวิชาทางด้านระบบไฟฟ้ากำลัง โดยเฉพาะในส่วนของระบบป้องกัน ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นมากในระบบไฟฟ้ากำลังทุกๆระบบ โดยได้นำเอาหลักการของอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้งานกันในระบบจริงๆมาทำการจำลองให้มีขนาดเล็กลงและสามารถแสดงขั้นตอนการทำงานแต่ละขั้นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยการใช้อุปกรณ์ทางอิเลกทรอนิกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำต่างๆมาช่วย

เท่าที่ผ่านมาในการทดลองและปฏิบัติงานจริงๆนั้น อุปกรณ์ป้องกันทุกๆส่วนสามารถทำงานได้เป็นอย่างดี จะมีปัญหาและข้อขัดข้องบ้างก็ในกรณีที่อุปกรณ์ทางอิเลกทรอนิกส์นั้นมีความบอบบางและไวต่อสัญญาแรบกวนมากกว่าอุปกรณ์ป้องกันจำพวกอิเลกโตรแมกคานิกเท่านั้น

เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเวลาทำให้เราไม่สามารถทำการจัดอุปกรณ์ทั้งหมดขึ้นมาเป็นชุดทดลองได้ทันตามที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ แต่ก็ได้ทำการจัดเตรียมส่วนประกอบต่างๆของระบบและโครงงานที่จะทำในอนาคตไว้พร้อมหมดแล้ว ดังมีรายละเอียดแสดงในรูปที่ 5.1

ข้อที่ต้องระวังในการจัดชุดทดลองนี้ที่สำคัญ ได้แก่ การจัดโคออดิเนชั่นของระบบป้องกันให้ทำงานได้สัมพันธ์กัน ซึ่งต้องใช้ความละเอียดและรอบคอบเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ในการจำลองสภาวะผิดปกติต่างๆของระบบจะต้องให้อยู่ในขอบเขตที่อุปกรณ์ป้องกันจะยอมรับได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.1 ชุดทดลองระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

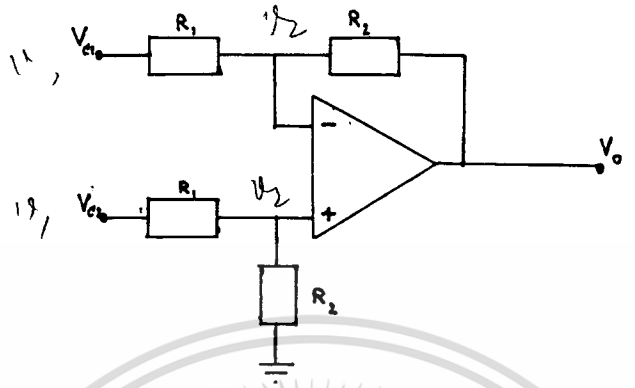
ภาคผนวก

ในบทนี้ จะประกอบด้วยการนำเอาวงจรต่างๆที่เป็นส่วนประกอบในรีเลย์มาอธิบายโดย สังเขป และ ข้อมูลของไอซี ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

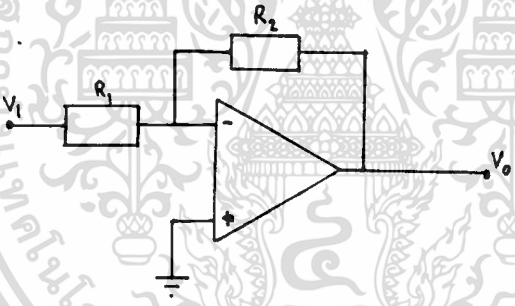
วงจร OP-AMP ชนิดต่างๆ

- วงจรลบ



$$V_o = (R_2/R_1)*(V_{s2} - V_{s2})$$

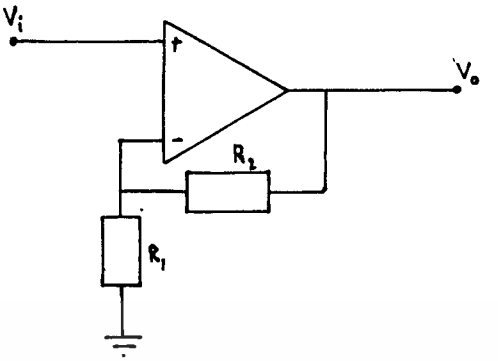
- วงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Feedback Amplifier)



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

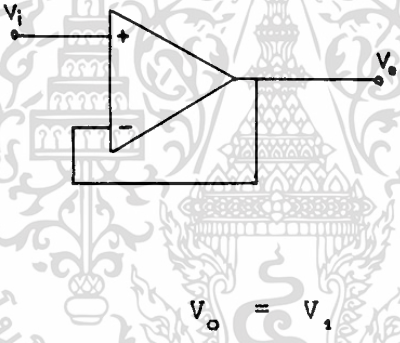
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- <u>วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส</u> (Noninverting Feedback Amplifier)



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

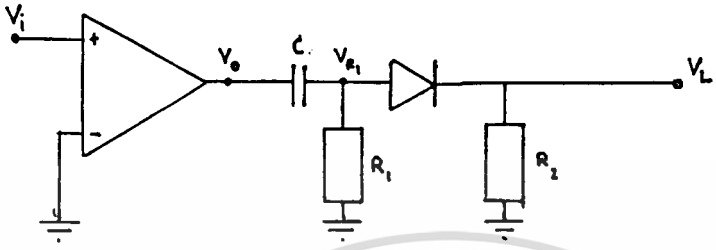
- <u>วงจรตามแรงดัน</u> (Voltage Follower Or Buffer)

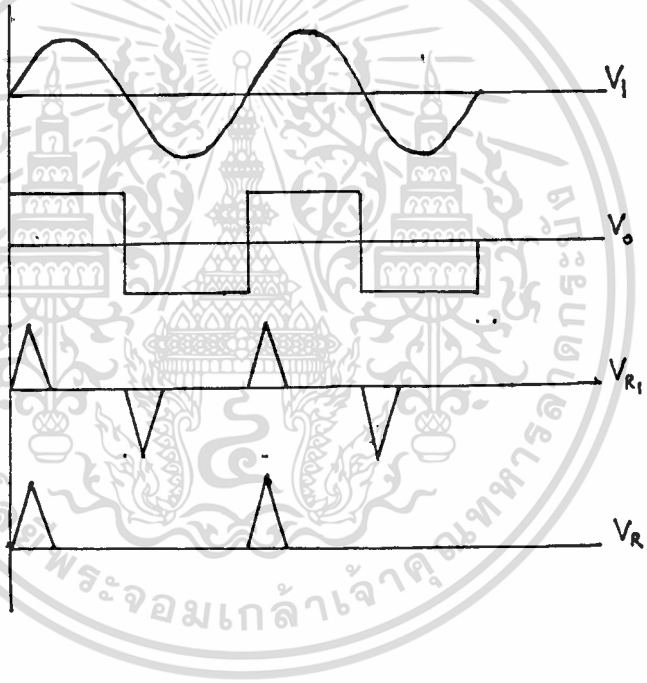


$$V_o = V_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจร Zero Crossing Detector

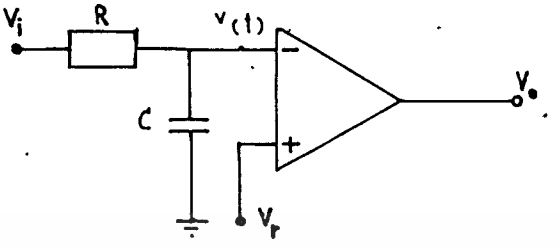




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรไทม์เมอร์ชนิดต่างๆ

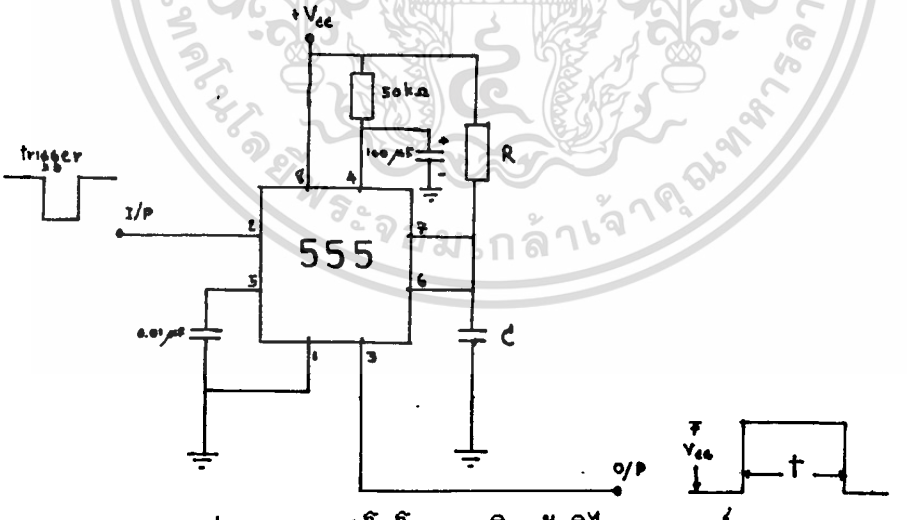
- วงจรหน่วงเวลา (R-C)



$$t = -\ln[(V_{(t)} - V_i)/(V_r - V_i)]*R*C \quad \text{séc}$$

- วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (Monostable Multivibrator)

คือวงจรชนิดหนึ่ง ซึ่งจะให้ภาวะคงที่แน่นอนอันหนึ่ง และภาวะที่เปลี่ยนแปลงได้ภาวะหนึ่ง (Transitory Or Quasi-Stable State) มันจะคงภาวะคงที่ (Stable) จนกว่าจะมีสัญญาณทริกเกอร์ (Trigger) เข้ามาเปลี่ยนให้อยู่ในอีกภาวะหนึ่ง ระยะเวลาของภาวะนี้ถูกควบคุมโดยการประจุที่คาปาซิเตอร์ พอสิ้นสุดระยะเวลานี้ เอาท์พุทจะกลับไปสู่สภาวะคงที่เอง ในกรณีนี้ เราจะใช้ไอซีไทม์เมอร์ 555 เป็นตัวสร้างวงจรนี้ ดังรูป

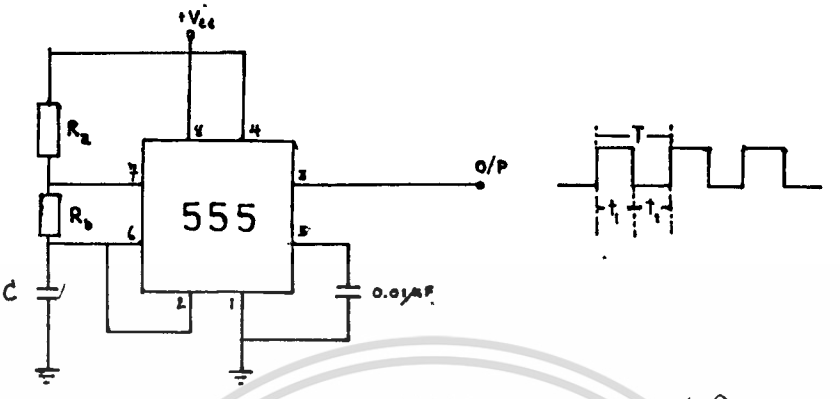


รูปแสดง วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- <u>วงจรอะสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์</u> (Astable Multivibrator)

คือวงจรซึ่งไม่มีสภาวะคงที่แน่นอน แต่มีอยู่ 2 สภาวะที่จะเปลี่ยนกลับไปกลับมา ดังรูป



0.1 μF

$$T = t_1 \; t_2 = 0.693(R_1 + 2R_2)\,C \quad \text{sec}$$

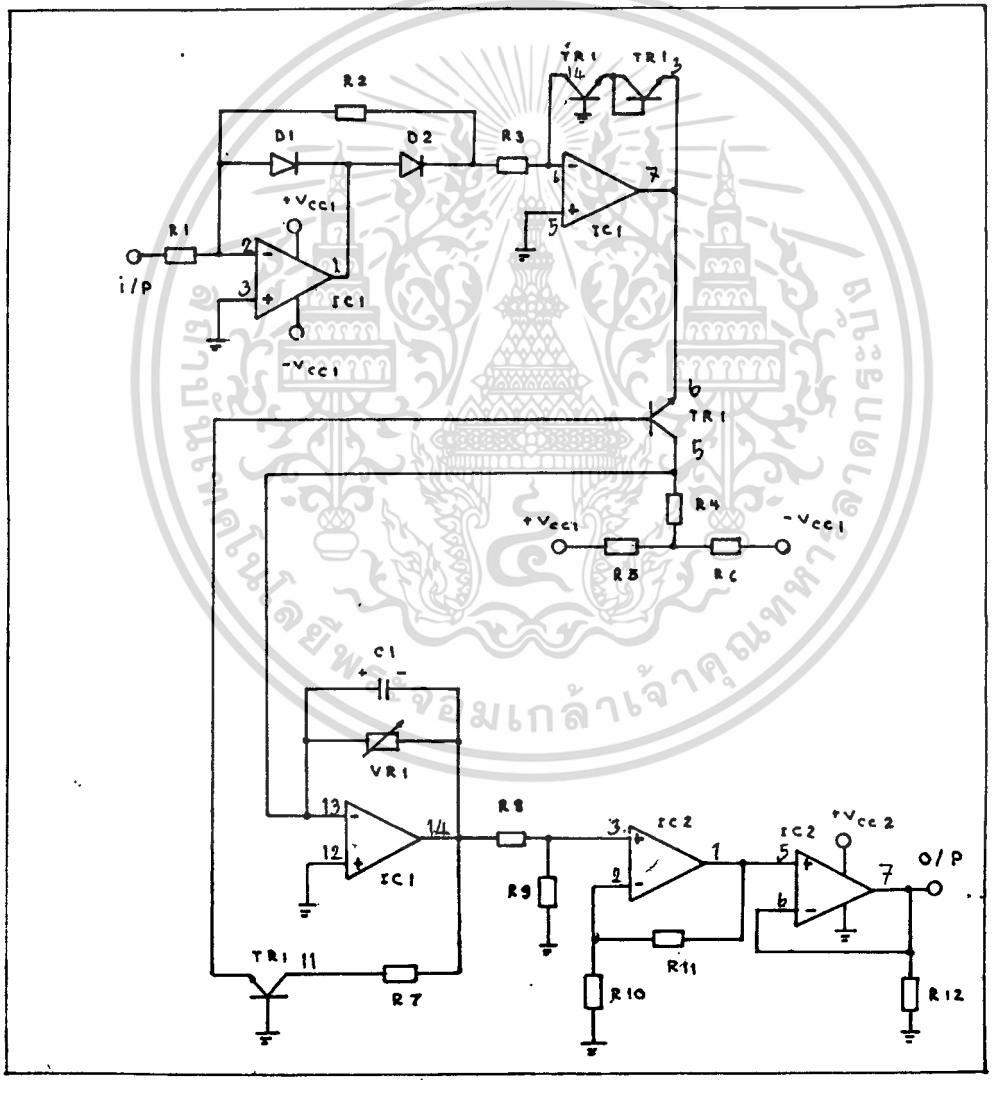
$t_{off} = 0.7 R_2 C$

$t_{on} = 0.7 (R$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเรกติไฟเออร์

ประกอบด้วยวงจรเรกติไฟเออร์แบบ True RMS (คือให้ค่า DC Output Voltage ออกมาเท่ากับค่า Peak ของ AC Input Voltage) และวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส เพื่อช่วยปรับขนาดของสัญญาณให้เหมาะสม แต่วงจรนี้จะมีข้อเสียคือ จะมีเวลาหน่วงระหว่าง Input กับ Output เนื่องจาก C ในวงจรเรกติไฟเออร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง แสดงอุปกรณ์ของวงจรเรกติไฟเออร์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR1	Variable Resistor 0.25 W	10 KΩ	1
R1, R2, R7	Carbon Resistor 0.25 W	100 KΩ	3
R3	Carbon Resistor 0.25 W	50 KΩ	1
R4	Carbon Resistor 0.25 W	390 KΩ	1
R5, R6, R8, R10	Carbon Resistor 0.25 W	1 KΩ	4
C1	Electrolytic Capacitor 16 V	4.7 µF	1
D1, D2	Signal Diode	1N 4148	2
TR1	Transistor Package	MC 3346	1
IC1, IC2	IC	LM 324 N	2

หมายเหตุ

R9, R10 Carbon Resistor 0.25 W ค่าขึ้นอยู่กับอัตราขยายที่ต้องการ

R12 Wire Wound Resistor 10 W ค่าขึ้นอยู่กับโวลเตจที่ต้องการ

$+V_{cc1}$: + 5 V

$-V_{cc1}$: - 5 V

$+V_{cc2}$: + 12 V

I/P : ไฟฟ้ากระแสสลับจากอินสทรูเมนต์ทรานสฟอร์มเมอร์

O/P : ไฟฟ้ากระแสตรงที่จะนำไปเข้าวงจรอิเลกทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของไอซีที่ใช้ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

5408/7408 Quadruple 2-Input Positive-AND Gate

Electrical Characteristics SN54LS08/SN74LS08

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
Interemitter voltage	5.5V	Storage temperature range		-65°C to 150°C

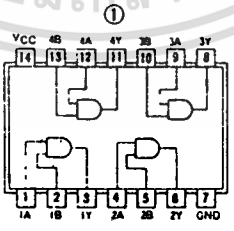
recommended operating conditions

	SN54LS08			SN74LS08			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current I_{OH}			-400			-800	μA
Low-level output current I_{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature T_A	-55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER		TEST CONDITIONS †		MIN	TYP ‡	MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage					0.8	V
V_I	Input clamp voltage	V_{CC} = MIN, I_I = -18mA				-1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage	V_{CC} = MIN, I_{OH} = MAX	V_{IH} = 2V,	2.7	3.4		V
V_{OL}	Low-level output voltage	V_{CC} = MIN, I_{OL} = 4mA	V_{IH} = 2V		0.25	0.4	V
I_I	Input current at maximum input voltage	V_{CC} = MAX, V_I = 7V				0.1	mA
I_{IH}	High-level input current	V_{CC} = MAX	V_{IH} = 2.7V			20	μA
I_{IL}	Low-level input current	V_{CC} = MAX	V_{IL} = 0.4V			-0.4	mA
I_{OS}	Short circuit output current ●	V_{CC} = MAX	54LS Family	-20		-100	mA
			74LS Family	-20		-100	
I_{CCH}	Supply current	V_{CC} = MAX	Total, outputs high		2.4	4.8	mA
I_{CCL}	Supply current		Total, outputs low		4.4	8.8	mA
I_{CC}	Supply current	V_{CC} = 5V,	Average per gate (50% duty cycle)		0.85		mA
t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V_{CC} = 5V, C_L = 15pF,	T_A = 25°C, R_L = 2kΩ		8	15	ns
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output				10	20	ns

Pin Assignment (Top View)



positive logic:
$Y = AB$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

5414/7414 Hex Schmitt-Trigger Inverter

Electrical Characteristics SN54LS14/SN74LS14

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

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

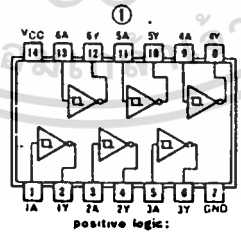
recommended operating conditions

	SN54LS14			SN74LS14			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			−400			−400	μA
Low-level output current, I_{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T_A	−55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER			TEST CONDITIONS†	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{T+}	Positive-going threshold voltage		V_{CC} = 5V	1.4	1.6	1.9	V
V_{T-}	Negative-going threshold voltage		V_{CC} = 5V	0.5	0.8	1	V
	Hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$)		V_{CC} = 5V	0.4	0.8		V
V_I	Input clamp voltage		V_{CC} = MIN, I_I = −18mA			−1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage		V_{CC} = MIN, $V_I = V_{T-}$ min, I_{OH} = MAX	2.7	3.4		V
V_{OL}	Low-level output voltage		V_{CC} = MIN, $V_I = V_{T+}$ max, I_{OL} = 4mA		0.25	0.4	V
I_{T+}	Input current at positive-going threshold		V_{CC} = 5V, $V_I = V_{T+}$		0.14		mA
I_{T-}	Input current at negative-going threshold		V_{CC} = 5V, $V_I = V_{T-}$		−0.18		mA
I_I	Input current at maximum input voltage		V_{CC} = MAX, V_I = 7V			0.1	mA
I_{IH}	High-level input current		V_{CC} = MAX, V_I = 2.7V			20	μA
I_{IL}	Low-level input current		V_{CC} = MAX, V_{IL} = 0.4V			−0.4	mA
I_{OS}	Short-circuit output current#		V_{CC} = MAX	−20		−100	mA
I_{CC}	Supply current	Total, output high	V_{CC} = MAX		8.6	16	mA
		Total, output low			12	21	
		Average per gate	V_{CC} = 5V, 50% duty cycle		1.72		
t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output		V_{CC} = 5V, T_A = 25°C,		15	22	ns
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output		C_L = 15PF, R_L = 2kΩ		15	22	ns

Pin Assignment (Top View)



positive logic:
Y = A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5421/7421 , Dual 4-Input Positive-AND Gate

Electrical Characteristics, SN54LS21/SN74LS21

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

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

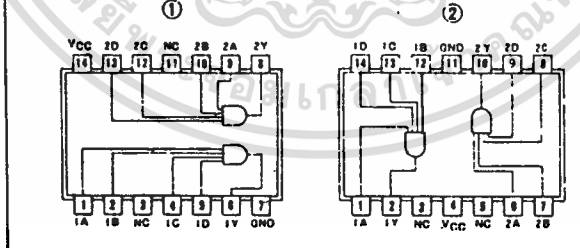
recommended operating conditions

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

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

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

Pin Assignments (Top View)



positive logic :
Y = ABCD

NC = No internal connection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5427/7427 Triple 3-Input Positive-NOR Gate

Electrical Characteristics SN54LS27/SN74LS27

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	−55°C to 125°C
Input voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
Interemitter voltage	5.5V	Storage temperature range		−65°C to 150°C

recommended operating conditions

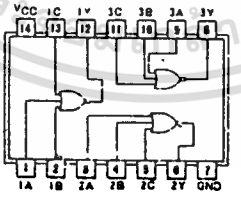
	SN54LS27			SN74LS27			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			−400			−400	μA
Low-level output current, I_{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T_A	−55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER			TEST CONDITIONS†		MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage				2			V
V_{IL}	Low-level input voltage						0.8	V
V_I	Input clamp voltage		V_{CC} = MIN, I_I = −18 mA				−1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage		V_{CC} = MIN, V_{IL} = V_{IL} max, I_{OH} = MAX		2.7	3.4		V
V_{OL}	Low-level output voltage		V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2 V, I_{OL} = 4 mA			0.25	0.4	V
I_I	Input current at maximum input voltage		V_{CC} = MAX, V_I = 7 V				0.1	mA
I_{IH}	High-level input current	Data inputs	V_{CC} = MAX, V_{IH} = 2.7 V				20	μA
I_{IL}	Low-level input current	Data inputs	V_{CC} = MAX, V_{IL} = 0.4 V				−0.4	mA
I_{OS}	Short-circuit output current ●		V_{CC} = MAX	54LS Family	−20		−100	mA
				74LS Family	−20		−100	
I_{CCH}	Supply current		V_{CC} = MAX	Total, outputs high		2.8	4	mA
I_{CCL}	Supply current			Total, outputs low		3.4	6.8	mA
I_{CC}	Supply current		V_{CC} = 5 V	Average per gate (50% duty cycle)		0.9		mA
t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output		V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C, C_L = 15 pF, R_L = 2 kΩ			10	15	ns
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output					10	15	ns

Pin Assignment (Top View)

①



positive logic:
$Y = \overline{A + B + C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5432/7432 · Quadruple 2-Input Positive-OR Gate

Electrical Characteristics SN54LS32/SN74LS32

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

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

recommended operating conditions

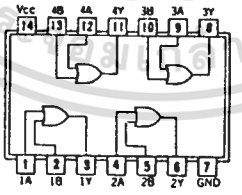
	SN54LS32			SN74LS32			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}			−400			−400	μA
Low-level output current, I_{OL}			4			8	mA
Operating free-air temperature, T_A	−55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

	PARAMETER	TEST CONDITIONS †		MIN	TYP ‡	MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage					0.8	V
V_I	Input clamp voltage	V_{CC} = MIN, I_I = −18mA				−1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, I_{OH} = MAX		2.7	3.4		V
V_{OL}	Low-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IL} = V_{IL} max, I_{OL} = 4mA			0.25	0.4	V
I_I	Input current at maximum input voltage	V_{CC} = MAX, V_I = 7V				0.1	mA
I_{IH}	High-level input current	V_{CC} = MAX, V_{IH} = 2.7V				20	μA
I_{IL}	Low-level input current	V_{CC} = MAX, V_{IL} = 0.4V				−0.4	mA
I_{OS}	Short-circuit output current #	V_{CC} = MAX	54LS Family	−20		−100	mA
			74LS Family	−20		−100	
I_{CCH}	Supply current	V_{CC} = MAX	Total, outputs high		3.1	6.2	mA
I_{CCL}	Supply current		Total, outputs low		4.9	9.8	mA
I_{CC}	Supply current	V_{CC} = 5V	Average per gate (50% duty cycle)		1.0		mA
t_{PLH}	Propagation delay time, low-to-high-level output	V_{CC} = 5V, C_L = 15pF,	T_A = 25°C, R_L = 2kΩ		14	22	ns
t_{PHL}	Propagation delay time, high-to-low-level output				14	22	ns

Pin Assignment (Top View)

①



positive logic:
$Y = A + B$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5473/7473 Dual J-K Master-Slave Flip-Flop with Clear

Electrical Characteristics SN54LS73/SN74LS73A

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

Supply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	−55°C to 125°C
Input voltage	5.5V		SN74LS	0°C to 70°C
		Storage temperature range		−65°C to 150°C

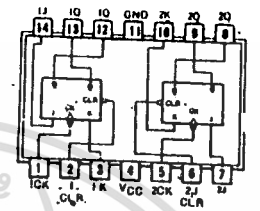
recommended operating conditions

		SN54LS73A			SN74LS73A			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}		4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I_{OH}				−400			−400	μA
Low-level output current I_{OL}				4			8	mA
Pulse width, t_w	Clock high	20			20			ns
	Preset or clear low	25			25			
Input setup time, t_{setup}	High-level data	20↓			25↑			ns
	Low-level data	20↓			20↑			
Input hold time, t_{hold}		0↓			5↑			ns
Operating free-air temperature T_A		−55		125	0		70	°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER			TEST CONDITIONS †	MIN	TYP ‡	MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage					0.8	V
V_I	Input clamp voltage		V_{CC} = MIN, I_I = −18mA			−1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage		V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = 0.8V, I_{OH} = MAX	2.7	3.4		V
V_{OL}	Low-level output voltage		V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = 0.8V, I_{OL} = 4mA		0.25	0.4	V
I_I	Input current at maximum input voltage	D, J, K	V_{CC} = MAX, V_I = 7V			0.1	mA
		Clear				0.3	
		Preset				0.3	
		Clock				0.4	
I_{IH}	High-level input current	D, J, K	V_{CC} = MAX, V_I = 2.7V			20	μA
		Clear				60	
		Preset				60	
		Clock				80	
I_{IL}	Low-level input current	D, J, K	V_{CC} = MAX, V_I = 0.4V			−0.4	mA
		Clear				−0.8	
		Preset				−0.8	
		Clock				−0.8	
I_{OS}	Short-circuit output current §	Series 54LS	V_{CC} = MAX	−20		−100	mA
		Series 74LS		−20		−100	
I_{CC}	Supply current (Average per flip-flop)		V_{CC} = MAX, See Note 1		4	6	mA
f_{max}	maximum clock frequency		V_{CC} = 5V, T_A = 25°C, C_L = 15pF, R_L = 2kΩ	30	45		MHz
t_{PLH}	from clear, preset or clock (as appropriate) to Q or $\bar{Q}$				15	20	ns
t_{PHL}	from clear, preset or clock (as appropriate) to Q or $\bar{Q}$				15	20	

Pin Assignment (Top View)



Function Tables

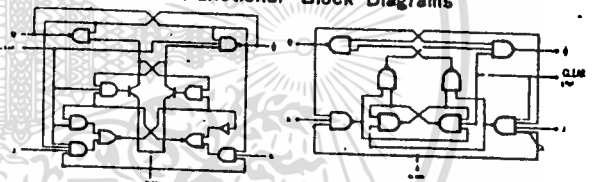
'73 H73, 'L73 (See Note 2)

INPUTS				OUTPUTS	
CLEAR	CLOCK	J	K	Q	$\bar{Q}$
L	X	X	X	L	H
H	↓	L	L	Q_0	$\bar{Q}_0$
H	↓	H	L	H	L
H	↓	L	H	L	H
H	↓	H	H	TOGGLE	

LS73 (See Note 2)

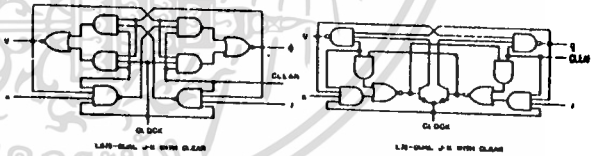
INPUTS				OUTPUTS	
CLEAR	CLOCK	J	K	Q	$\bar{Q}$
L	X	X	X	L	H
H	↓	L	L	Q_0	$\bar{Q}_0$
H	↓	H	L	H	L
H	↓	L	H	L	H
H	↓	H	H	TOGGLE	
H	H	X	X	Q_0	$\bar{Q}_0$

Functional Block Diagrams



'73—DUAL J-K WITH CLEAR

'H73—DUAL J-K WITH CLEAR



NOTES: 1. with all outputs open, I_{CC} is measured with the Q and $\bar{Q}$ outputs high in turn. At the time time of measurement, the clock input is grounded.

2. H = high level (steady state), L = low level (steady state), X = irrelevant
↓ = transition from high to low level
⎍ = high-level pulse; data inputs should be held constant while clock is high; data is transferred to output on the falling edge of the of the pulse.
Q_0 = the level of Q before the indicated input conditions were established.
TOGGLE: Each output changes to the complement of its previous level on each active transition (pulse) of the clock.

5493/7493 4-Bit Binary Counter

Electrical Characteristics SN54LS93A SN74LS93A

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range

...ply voltage, V_{CC}	7V	Operating free-air temperature range	SN54LS	55°C to 125°C
...put voltage	7V		SN74LS	0°C to 70°C
...-emitter voltage (see Note 1)	5.5V	Storage temperature range		65°C to 150°C

recommended operating conditions

		SN54LS93A			SN74LS93A			UNIT
		MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
...ply voltage, V_{CC}		4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
...h-level output current, I_{OH}				-400			-400	μA
...w-level output current, I_{OL}				4			8	mA
...ck frequency, f_{count}	A input	0		32	0		32	MHz
	B input	0		16	0		16	
...se width, t_w	A input	15			15			ns
	B input	30			30			
	Reset inputs	15			15			
...ve inactive-state setup, t_{setup}		25			25			ns
...erating free-air temperature, T_A		-55		125	0		70	°C

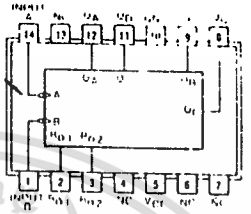
electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

PARAMETER		TEST CONDITIONS†		MIN	TYP‡	MAX	UNIT
V_{IH}	High-level input voltage			2			V
V_{IL}	Low-level input voltage					0.8	V
V_I	Input clamp voltage	V_{CC} = MIN, I_I = -18mA				-1.5	V
V_{OH}	High-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = 0.8V, I_{OH} = -400μA		2.7	3.4		V
V_{OL}	Low-level output voltage	V_{CC} = MIN, V_{IH} = 2V, V_{IL} = 0.8V, I_{OL} = 8mA			0.35	0.5	V
I_I	Input current at maximum input voltage	Any reset	V_{CC} = MAX, V_I = 7V			0.1	mA
		A input	V_{CC} = MAX, V_I = 5.5V			0.2	
		B input				0.2	
I_{IH}	High-level input current	Any reset	V_{CC} = MAX, V_I = 2.7V			20	μA
		A input				80	
		B input				80	
I_{IL}	Low-level input current	Any reset	V_{CC} = MAX, V_I = 0.4V			-0.4	mA
		A input				-2.4	
		B input				-1.6	
I_{OS}	Short-circuit output current ●	V_{CC} = MAX	SN54LS	-20		-100	mA
			SN74LS	-20		-100	
I_{CC}	Supply current	V_{CC} = MAX, See Note 2			9	15	mA
f_{max}	from A to output Q_A	V_{CC} = 5V, T_A = 25°C, C_L = 15pF, R_L = 2kΩ		32	42		MHz
	from B to output Q_B			16			
t_{PLH}	from A to output Q_A				10	16	ns
t_{PHL}					12	18	
t_{PLH}	from A to output Q_D				46	70	ns
t_{PHL}					46	70	
t_{PLH}	from B to output Q_B				10	16	ns
t_{PHL}					14	21	
t_{PLH}	from B to output Q_C				21	32	ns
t_{PHL}					23	35	
t_{PLH}	from B to output Q_D				34	51	ns
t_{PHL}					34	51	
t_{PLH}	from Set-to-0 to Any output				26	40	ns

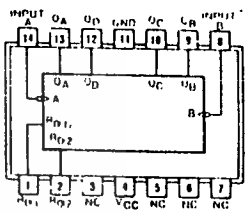
† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable type.
‡ All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.
● Not more than one output should be shorted at a time.
● I_{OS} outputs are tested at I_{OL} = 16mA plus the limit value for I_{IL} for the B input. This permits driving the B input while maintaining full fan-out capability.
f_{max} = maximum count frequency. t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output. t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output.

Pin Assignments (Top View)

(1)



(2)



positive logic: see function tables
NC = No internal connection

Function Table

COUNT SEQUENCE

'93A, 'LS93, 'L93 (See Note 3,4)

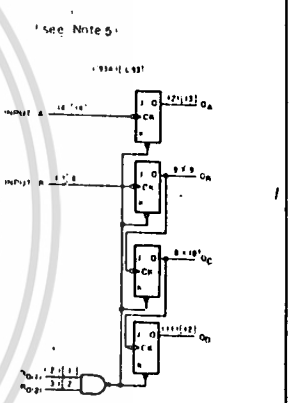
COUNT	OUTPUT Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H
10	H	L	H	L
11	H	L	H	H
12	H	H	L	L
13	H	H	L	H
14	H	H	H	L
15	H	H	H	H

RESET COUNT

'93A, 'LS93, 'L93 (See Note 4)

RESET INPUTS $R_0(1)$	$R_0(2)$	OUTPUT Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
H	H	L	L	L	L
L	X	COUNT			
X	L	COUNT			

Functional Block Diagram



'93A, 'LS93, 'L93
4-BIT BINARY COUNTER

NOTES.

1. This is the voltage between two emitters of a multiple-emitter transistor. For this circuit, this rating applies between the two R_0 inputs.
2. I_{CC} is measured with all outputs open, both R_0 inputs grounded following momentary connection to 4.5V, and all other inputs grounded.
3. Output Q_A is connected to input B.
4. H = high level, L = low level, X = irrelevant.
5. The J and K inputs shown without connection are for reference only and are functionally at a high level.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อท่านอาจารย์ ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ และเป็นแนวทางในการทำการวิจัยนี้มาโดยตลอด จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ สุวงษ์ โสมพงศ์, อาจารย์ บุญยงค์ จิงกาญจนา และ อาจารย์ ชัยยา ตันติสุขารมย์ ที่คอยช่วยชี้แนะเทคนิคต่างๆ ในการปฏิบัติงาน ตลอดจนอำนวยความสะดวกด้านอุปกรณ์สำหรับใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. สันติ อัศวศรีพงศ์ธร , "รีเลย์ป้องกันกับการป้องกันระบบกำลัง" , สมาคมศูนย์วิชาการไทย-ออสเตรเลีย , 189 หน้า , 2526

2. สมเกียรติ ผโลประการ , "วิศวกรรมการส่งและจ่ายไฟฟ้า" , บริษัทสำนักพิมพ์ ไทยวัฒนาพานิช จำกัด , 212 หน้า , 2526

3. ศูนย์ฝึกอบรมการไฟฟ้าภูมิภาค , "คู่มืออบรมหลักสูตรสวิทช์เกียร์" , 675 หน้า , 2523

4. William D. Stevenson,Jr. , "Element of power system analysis", McGRAW-HILL , 436 p. , 1985

5. T.S. MADHAVA RAO , "Power System Protection ; Static Relay" , McGRAW-HILL , 705 p. , 1979

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า