



ปีการศึกษา 2533

ชุดการทดลองระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

(power system laboratory)

โดย

นาย พลกฤษณ์ ทรงสกุล 30.1182

นาย สรินทร์ ฤกษ์สุขรุ่งเรือง 30.1831

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ศิริวัฒน์ โภธิเวชกุล

028827

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2533

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง ชุดการทดลองระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

ผู้จัดทำ

1. นายพลกฤษณ์ ทรงสกุล 30.1182

2. นายสุรินทร์ ฤกษ์สุรุ่งเรือง 30.1331

อาจารย์ ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้ (0)28827

## ชดเชยการทดลองระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

ผลกฤษฎณ์ ทรงสกุล

สุรินทร์ ฤกษ์สุขรุ่งเรือง

อ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2533

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันในการศึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลัง และการป้องกันสำหรับนักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์นั้น มีความยุ่งยากในการศึกษา ค้นคว้า ให้เห็นถึงการทำงานจากระบบจริงได้ ทำให้ไม่สามารถเข้าใจถึงระบบไฟฟ้ากำลังได้ ในปฏิญานพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจำลองระบบไฟฟ้ากำลังและชุดป้องกัน จัดทำเป็นชุดการทดลองเพื่อศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ต่างๆของระบบไฟฟ้ากำลัง แล้วนำไปเปรียบเทียบกับระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้งานกันอยู่จริงๆได้ด้วยวิธีเปอร์ยูนิต (per unit) (ซึ่งการทดลองนี้ จะเป็นประโยชน์แก่นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จะศึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลังต่อไป)

## POWER SYSTEM LABOLATORY

Mr.Ponlakitsana Songsakul

Mr.Surin Roeksukrungraung

Mr.Siriwat PotivejkuI M.eng

Advisor

1990

### Abstract

Nowaday,there are difficulties for engineering students in studying electical power system protections.When it is hard to see and comprehend from real system,the comprehensible ideas of this subject maybe impossible.This thesis emphasizes electrical power system simulator,protection system and testing set and testing set of them which is able to test any phenomena involving the electrical power system.The testing set can be compared with real system by per unit method.Ultimately this project would be benefical for electrical engineering students.

## สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
1	ชุดการทดลอง	1
2	ระบบไฟฟ้ากำลัง	5
3	รีเลย์ป้องกันและวงจรถวคม	9
4	การใช้งานสำหรับชุดการทดลอง	32
	4.1 การต่อระบบของชุดการทดลอง	32
	4.2 การศึกษาเหตุผิดปกติต่างๆ	34
5	การทดลองระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง	36
	5.1 ระบบเปอร์ยูนิต	36
	5.2 การแปลงค่าต่างๆและพารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบจำลองกับระบบจริง	37
	5.3 ขั้นตอนการทดลอง	39
6	สรุปผลและวิจารณ์	41
	ภาคผนวก	42
	ตัวอย่างการคำนวณ	43
	โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับหาค่าพารามิเตอร์ของสายส่ง	46
	กติกกรรมประกาศ	53
	เอกสารอ้างอิง	54

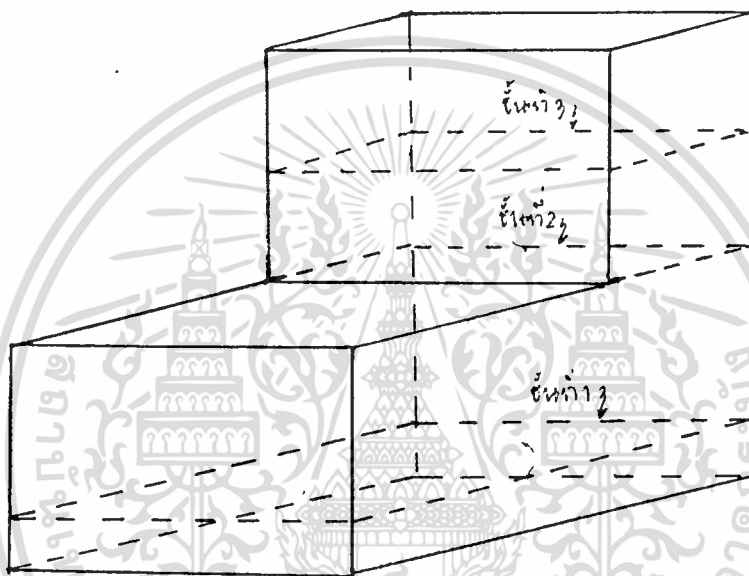
## สารบัญรูปภาพ

รูปที่	เรื่อง	หน้า
1.1	ตู้ชุดการทดลอง	1
1.2	แสดงหน้าตู้การทดลอง	2
2.1	โคยะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบไฟฟ้ากำลัง	5
2.2	วงจรระบบไฟฟ้า	6
2.3	สายส่งระยะปานกลางแบบ $\pi$	7
2.4	สายส่งระยะปานกลางแบบ T	8
3.1	วงจรโอเวอร์เคอเรนท รีเลย์	11
3.2	แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ โอเวอร์เคอเรนท รีเลย์	12
3.3	วงจรออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์	15
3.4	แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์	16
3.5	วงจรโอเวอร์ อันเตอร์ไวทเตจ รีเลย์	19
3.6	แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ โอเวอร์ อันเตอร์ไวทเตจ รีเลย์	20
3.7	การจำลอง เอิร์ธลิกเกจ	23
3.8	วงจรเอิร์ธลิกเกจ รีเลย์	24
3.9	แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ เอิร์ธลิกเกจ รีเลย์	25
3.10	วงจรเฟลซีเคเวน รีเลย์	27
3.11	ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ เฟลซีเคเวน รีเลย์	28
3.12	วงจรควบคุมระบบป้องกัน	30
4.1	การต่อระบบของชุดทดลอง	32
4.2	จุดต่อไหลคของชุดทดลอง	33
5.1	การต่อจุดต่าง ๆ ในการทดลอง	39

บทที่ 1

ชุดการทดลอง

เป็นชุดการทดลองที่ใช้สำหรับศึกษาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลัง เหตุผิดปกติต่างๆ รวมทั้งการตัดตอนระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งชุดการทดลองแสดงไว้ที่รูป 1.1



รูปที่ 1.1 ชุดการทดลอง

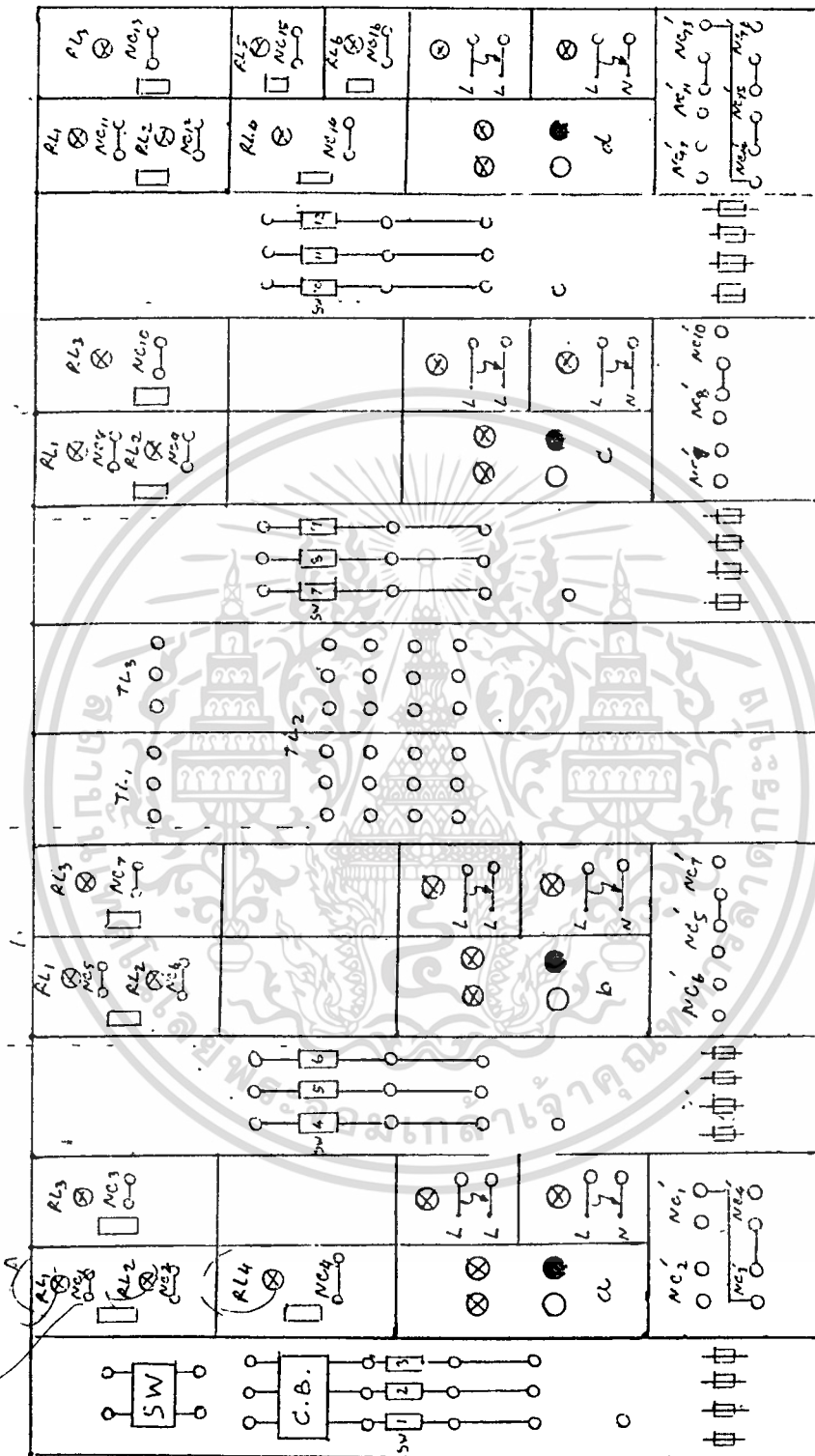
โดยชุดการทดลองนี้มีขนาด กว้าง 1m ยาว 1.70m สูง 1.60m แบ่งเป็น 3 ชั้น การจัดวางอุปกรณ์ต่างๆในตู้เป็นดังนี้

ชั้นที่ 1 วางหม้อแปลงเพิ่มแรงดัน (step-up transformer), หม้อแปลงลดแรงดัน (step-down transformer), สายส่งกำลังไฟฟ้า (transmission line) และ เพาเวอร์ซัพพลาย (power supply)

ชั้นที่ 2 วางแม่เหล็กค้อนแอกเตอร์ (magnetic contractor), หม้อแปลงกระแส (CT) และหม้อแปลงแรงดัน (PT)

ชั้นที่ 3 วางอุปกรณ์รีเลย์ต่างๆ

ส่วนหน้าตู้การทดลองจะแสดงได้ดังรูปที่ 1.2 นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงหน้าตู้การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ต่างๆที่แสดงอยู่บนหน้าตู้มีหน้าที่ดังนี้

sw คือสวิตช์ตัดตอนไฟ 220V ที่ใช้สำหรับจ่ายให้ชุดวงจรควบคุมและพาวเวอร์ ซัพพลาย

C.B. คือเซอร์กิตเบรกเกอร์ (CIRCUIT BREAKER) สำหรับตัดตอนไฟ 3 เฟสของระบบ

sw1-sw12 คือสวิตช์เปิด-ปิด (on-off) มีไว้สำหรับ เมื่อต้องการวัดกระแสของระบบ

ไฟฟ้กำลังเช่น เมื่อต้องการวัดกระแสของเฟส R ที่ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงเพิ่ม

แรงดันให้ทำการปิดสวิตช์ (sw1) หรือถ้าต้องการวัดกระแสเฟส S ที่ปลายของสายส่งกำลัง

ไฟฟ้ให้ทำการปิดสวิตช์ (sw8) โดยนำแอมป์มิเตอร์ (AMP METER) มาต่อแทน

A, B, C, D คือชุดรีเลย์ที่จุดต่างๆ

RL<sub>1A-1D</sub> คือชอร์ต เซอร์กิต รีเลย์ (short circuit relay)

RL<sub>2A-2D</sub> คือโอเวอร์ เคอร์เรนท์ รีเลย์ (over current relay)

RL<sub>3A-3D</sub> คือออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ (auto reclosing relay)

RL<sub>4A-4D</sub> คือโอเวอร์ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ (over-under voltage relay)

RL<sub>5D</sub> คือเอิร์ธ ลีกาจ รีเลย์ (earth leakage relay)

RL<sub>6D</sub> คือเฟสซีควนซ์ รีเลย์ (phase sequence relay)

โดยแต่ละชุดของรีเลย์จะประกอบด้วย สวิตช์ไฟเลี้ยง หลอดไฟแสดงการทำงานของรีเลย์และขั้วต่อลิลีโคลส (normally close) ของรีเลย์ ( $NC_1 - NC_{16}$ ) ที่จะต่อกับชุดระบบควบคุม ( $NC'_1 - NC'_{16}$ ) เมื่อต้องการใช้งานซึ่งการต่อจะกล่าวในบทของการทดลอง

a, b, c, d คือสวิตช์เปิด-ปิด พร้อมด้วยหลอดไฟ (pilot lamp) แสดงการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง

SC<sub>1</sub>, SC<sub>3</sub>, SC<sub>5</sub>, SC<sub>7</sub> คือ line to line fault

SC<sub>2</sub>, SC<sub>4</sub>, SC<sub>6</sub>, SC<sub>8</sub> คือ line to ground fault

TL<sub>1</sub>, TL<sub>2</sub> คือจุดที่ต่อกับสายส่งกำลังไฟฟ้าเพื่อที่จะสามารถศึกษาการสูญเสียในระบบสายส่งกำลังชนิดต่างๆได้

TL<sub>2</sub> คือสายส่งกำลังชนิดต่างๆซึ่งประกอบด้วย

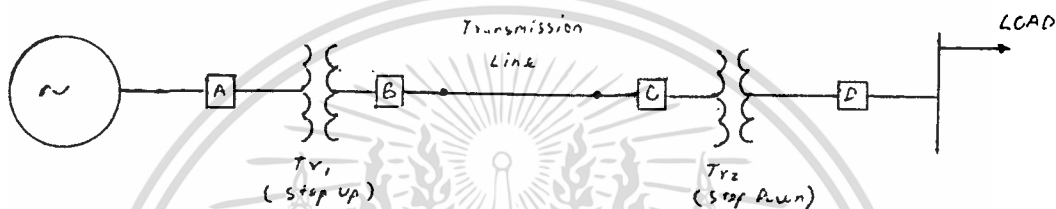
- สายส่งระยะสั้น
- สายส่งระยะปานกลางแบบ  $\pi$
- สายส่งระยะปานกลางแบบ T
- สายส่งระยะยาว

☐ คือนิวส์ป้องกัน ชุดควบคุมที่จุดต่างๆ

## บทที่ 2

### ระบบไฟฟ้ากำลัง

ในระบบไฟฟ้ากำลัง สามารถแสดงด้วยไดอะแกรมเส้นเดี่ยว (single line diagram) ได้ดังรูปที่ 2.1



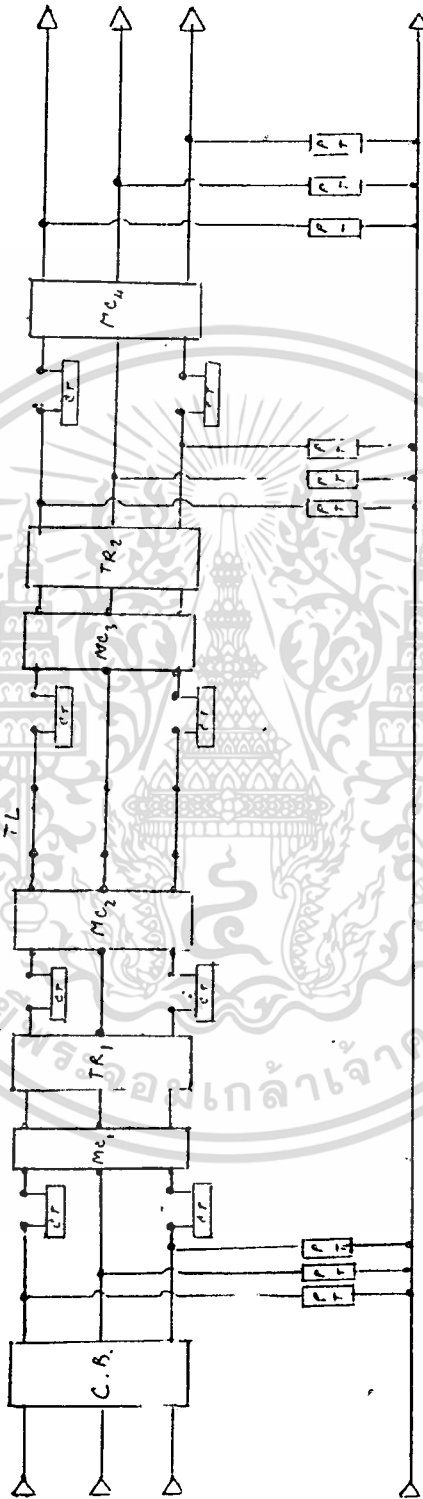
รูปที่ 2.1

ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

1. ส่วนผลิตพลังงานไฟฟ้า (generator station)
2. ส่วนเพิ่มแรงดันไฟฟ้า (step-up transformer)
3. ส่วนสายส่งกำลังไฟฟ้า (transmission line)
4. ส่วนลดแรงดันไฟฟ้า (step-down transformer)
5. ส่วนของโหลด (load)

A, B, C, D คือส่วนของระบบป้องกัน

สำหรับชุดการทดลองนี้จะไม่มีส่วนที่ 1 และ 5 (ส่วนนี้จะอยู่ในห้องทดลอง) ซึ่งจะแสดงวงจรของส่วนต่างๆดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญดังนี้

1. C.B. เซอร์กิต เบรกเกอร์ (circuit breaker)
2.  $TR_1$  หม้อแปลงเพิ่มแรงดัน (step-up transformer)
3. TL สายส่งกำลังไฟฟ้า (transmission line)
4.  $TR_2$  หม้อแปลงลดแรงดัน (step-down transformer)
5. MC แมกเนติก คอนแทรกเตอร์ (magnetic contractor)
6. CT หม้อแปลงกระแส (current transformer)
7. PT หม้อแปลงแรงดัน (potential transformer)

โดยส่วนต่างๆมีรายละเอียดดังนี้

1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (circuit breaker)

ในชุดการทดลองนี้ ใช้ C.B. ขนาด 15 AT 3 pole มีหน้าที่คล้ายสวิตช์ตัวหนึ่งซึ่งทำหน้าที่ตัดตอนระบบจากแหล่งจ่ายไฟ เข้าสู่ชุดการทดลอง

2 หม้อแปลงเพิ่มแรงดัน (step-up transformer)

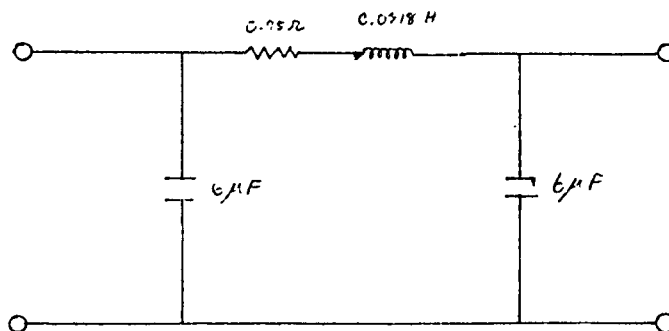
เนื่องจากแหล่งมีขนาด 220 V จึงต้องมีการเพิ่มแรงดันเพื่อใช้กับสายส่ง  $TR_1$  มีขนาด 7.5 KVA, 220/415 volt ต่อแบบ Y-Y

3 สายส่งกำลังไฟฟ้า (transmission line)

ในชุดการทดลองนี้ได้ออกแบบไว้สองชุด ซึ่งเป็นสายส่งระยะปานกลาง (medium length line) (80-240km)

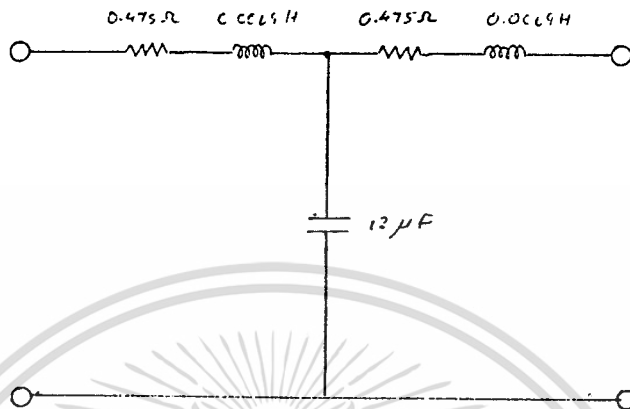
3.1 สายส่งระยะปานกลางแบบ  $\pi$

ในชุดการทดลองนี้ได้ออกแบบโดยมี พารามิเตอร์ R, L, C ดังรูป 2.3



### 3.2 สายส่งระยะปานกลางแบบ T

มีพารามิเตอร์ R, L, C ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 สายส่งระยะปานกลางแบบ T

หมายเหตุ สำหรับการออกแบบสายส่งนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป สำหรับหาค่าพารามิเตอร์ ซึ่งได้มาจากภาคผนวก

#### 4. หม้อแปลงลดแรงดัน (step-down transformer)

TR<sub>2</sub> มีพิกัด 7.5KVA, 415/220 volt ต่อแบบ Y-Y

#### 5. แมกเนติก คอนแทรกเตอร์ (magnetic contractor)

ในชุดการทดลองนี้ประกอบด้วย MC 2 ชนิดคือ

5.1 main magnetic contractor ใช้สำหรับในการตัดตอนระบบไฟฟ้า

5.2 auxiliary magnetic contractor ใช้สำหรับช่วยในการควบคุมการตัดตอนระบบไฟฟ้า

#### 6. หม้อแปลงกระแส (current transformer)

ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากระบบไฟฟ้ากำลังให้มีขนาดน้อยลง เพื่อใช้กับ โอเวอร์เคอร์เรนซ์ซึ่งเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ได้

สำหรับ CT มีอยู่ 2 ชนิดคือ ที่จุด A และ D มีขนาด 640/5 และที่ B และ C มีขนาด 320/5

#### 7. หม้อแปลงแรงดัน (potential transformer)

ทำหน้าที่แปลงสัญญาณเพื่อใช้กับ โอเวอร์ อันเคอร์ โวลเตจ และ เฟลซีควน รีเลย์

เอกสารนี้เป็นสำหรับที่ PT มีขนาด 127/5 ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### รีเลย์ป้องกันและวงจรควบคุม

อุปกรณ์ป้องกันความผิดปกติต่างๆประกอบด้วย -

1. โอเวอร์ เคอร์เรนท์ รีเลย์ (over current relay)
2. ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ (auto reclosing relay)
3. โอเวอร์ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ (over under voltage relay)
4. เอิร์ธ ลีคเกจ รีเลย์ (earth leakage relay)
5. เฟส ซีควนซ์ รีเลย์ (phase sequence)

ซึ่งรีเลย์ทั้งหมดนี้มีรายละเอียดดังนี้

1. โอเวอร์ เคอร์เรนท์ รีเลย์ จะทำการติดตั้งทั้ง 4 จุด คือ A, B, C, D ซึ่งจะมีการปรับตั้งค่าไว้แต่ละจุดต่างกัน ดังนี้

- ค่ากระแสเกิน โอเวอร์ เคอร์เรนท์ รีเลย์

จะทำงานในลักษณะ อินเวอร์สไทม์ ทริปโดยจะรับสัญญาณมาจาก CT นำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ซึ่งในการตั้งค่าจะปรับที่ VR<sub>1</sub> ดังตารางที่ 3.1

จุด	VOLT (V)
A, D	4.9 V
B, C	4.5 V

ตารางที่ 3.1

- ค่ากระแสลัดวงจร

การจำลองการเกิดกระแสลัดวงจร จะใช้  $L$  เป็นตัวหน่วงกระแส โดยรีเลย์จะได้รับสัญญาณจาก CT เช่นเดียวกัน แต่การตั้งค่าจะปรับที่  $VR_1$

-หมายเหตุ CT ที่จุด A,D ใช้ 640/5

CT ที่จุด B,C ใช้ 320/5

- การหน่วงเวลาและการทริป กรณีกระแสเกิน

จะปรับได้จาก 2 ส่วนคือ  $VR_5$  และ  $VR_2$  โดย  $VR_2$  จะตั้งค่าให้เท่ากันทั้ง 4 จุด ส่วน  $VR_5$  เป็นวงจร RC ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะ อินเวอร์สไทม์ ทริปซึ่งจะตั้งค่า  $VR_5$  ทั้ง 4 จุดไม่เท่ากันดังตารางที่ 3.3

จุด	ค่า $VR_5$
A	308 K
B	237 K
C	193 K
D	159 K

ตารางที่ 3.3

สำหรับ  $VR_2$  ชุดการทดลองนี้ตั้งให้มิโหวเตจตกคร่อม 10 V

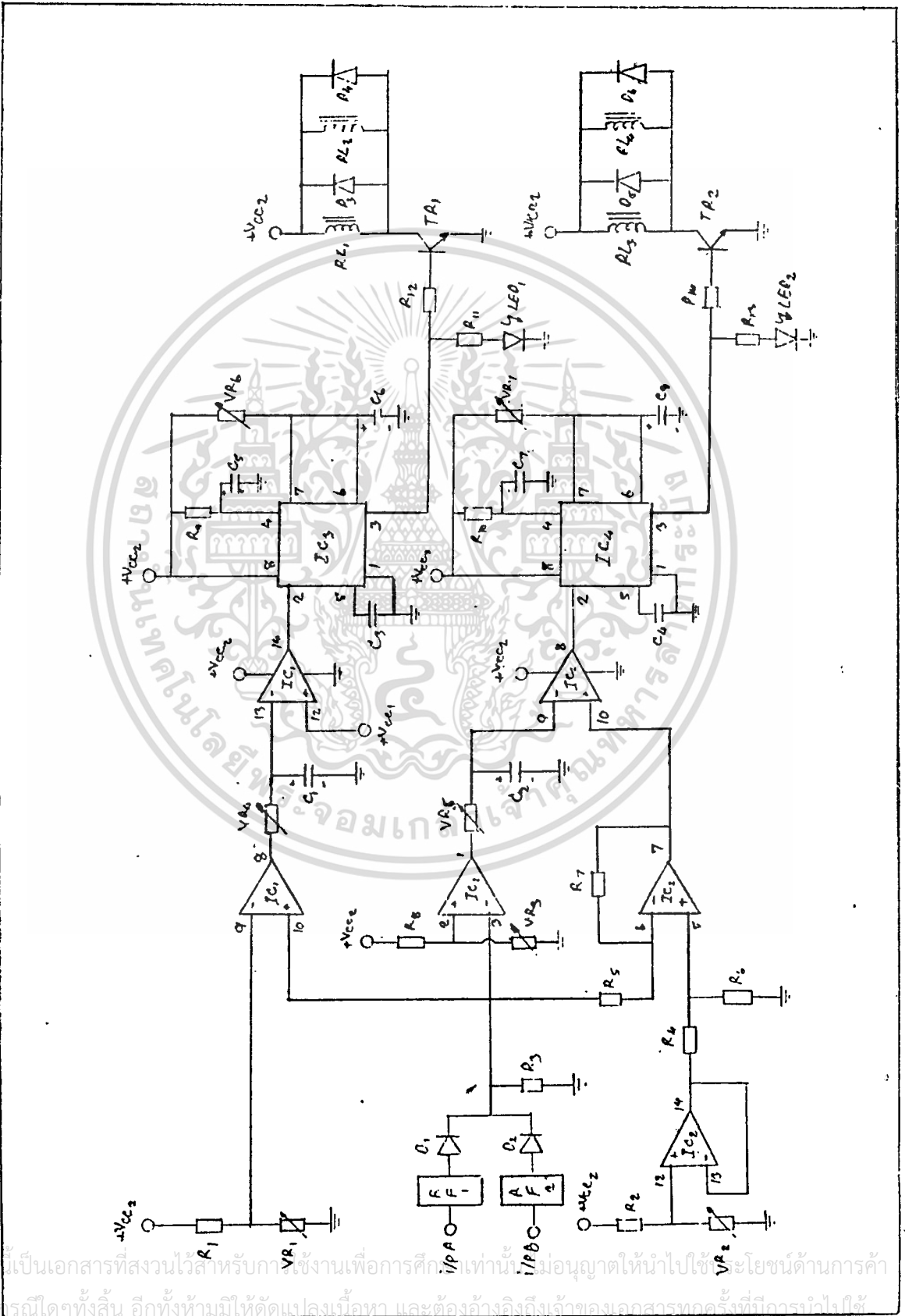
- การหน่วงเวลาในกรณีกระแสเกิน สามารถปรับตั้งค่าได้ที่  $VR_2$

- การหน่วงเวลาปิดกลับ

ในระบบจริงนั้นค่าเวลานี้จะไม่เท่ากันทุกครั้ง โดยครั้งแรกจะมีค่าน้อยที่สุด และค่อยเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนครั้งที่ทำการทริป แต่สำหรับในชุดการทดลองนี้ ได้ตั้งเวลาให้เท่ากันทุกครั้งโดยปรับค่าที่  $VR_5$  ซึ่งตั้งไว้ 20 s

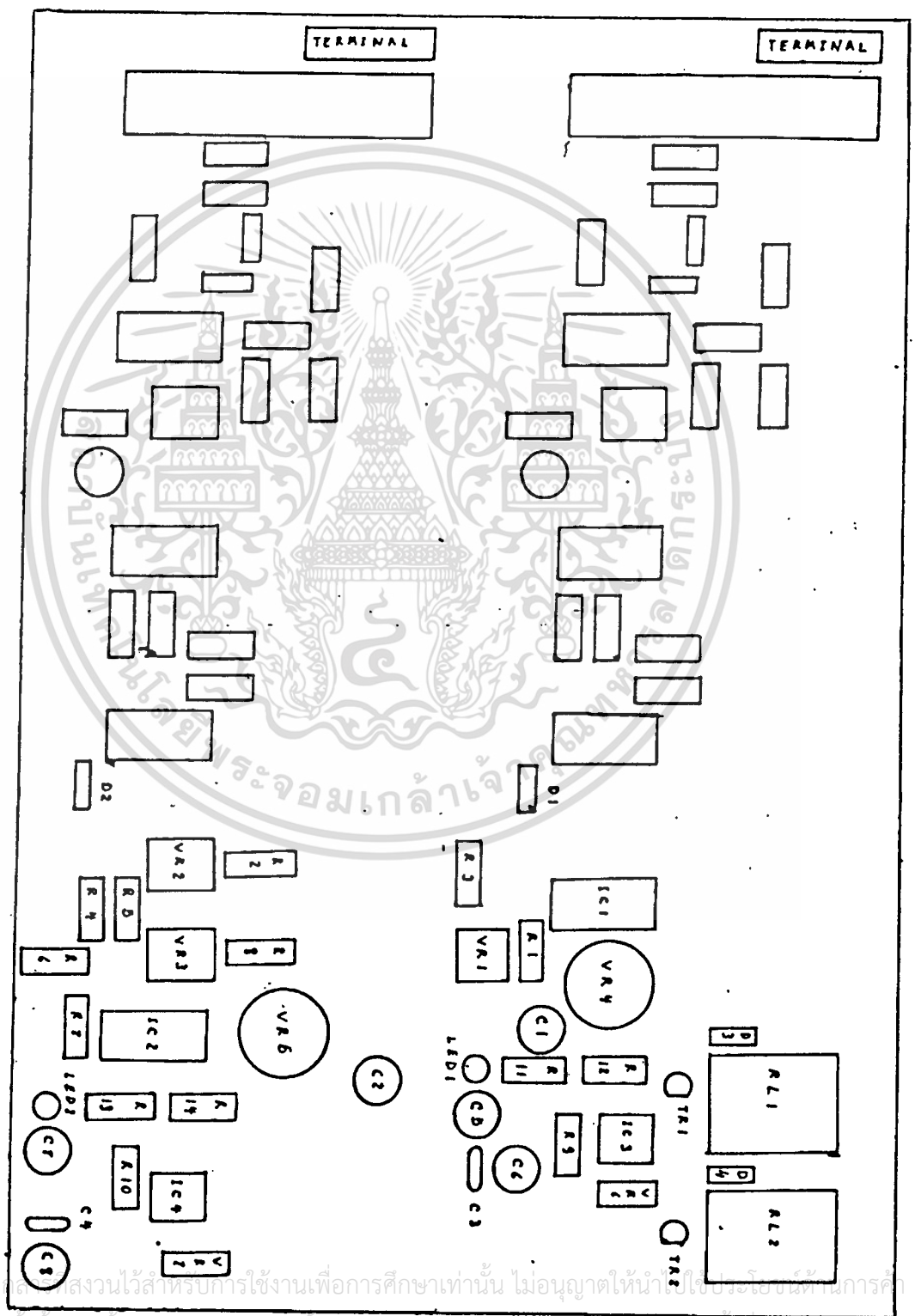
วงจรโอเวอร์เคอร์เรนท์ รีเลย์แสดงไว้ดังรูปที่ 3.1

### รูปที่ 3.1 วงจรโอเวอร์เคอร์เรนท์ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับค่า V<sub>R1</sub> งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. มอนูญาติให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าวิธีใดทั้งสิ้น. ดึงทั้งห้านี้ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ไอเวอร์เตอร์เรนท์ รีเลย์



ตารางแสดงรายการอุปกรณ์ ไอเวอเคอเรนท์ รีเลย์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR1,VR2,VR3	variable resistor 0.25 w	10kohm	3
VR4,VR5	variable resistor 0.25 w	470kohm	2
VR6,VR7	variable resistor 0.25 w	50kohm	2
R1	carbon resistor 0.25 w	2kohm	1
R2,R8,R11,R13	carbon resistor 0.25 w	1kohm	4
R3,R4,R5,R6,R7,R12,R14	carbon resistor 0.25 w	10kohm	7
R9,R10	carbon resistor 0.25 w	50kohm	2
C1,C2,C5,C6,C7,C8	electrolytic capacitor 16 v	100 $\mu$ F	6
C3,C4	dipmica 50 v	0.01 $\mu$ F	2
D1,D2	signal diode	1N 4148	2
D3,D4	rectifier diode	1N 4001	2
LED1,LED2	-	-	2
TR1,TR2	transistor;NPN	BC 337	2
IC1,IC2	IC	LM 324N	2
IC3,IC4	IC	555	2
RL1,RL2,RL3,RL4	relay 12v 3A		4
RF1,RF2	rectifier circuit		2

หมายเหตุ

+V<sub>cc</sub> 2 : +12 V

+V<sub>cc</sub> 1 : +5 V

i/p A : จากขั้ว ของ ไลน์-ทู้-ไลน์ ฟอลต์

i/p B : จากขั้ว ของ ไลน์-ทู้-กราว์น ฟอลต์

2. ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์ (auto reclosing relay)

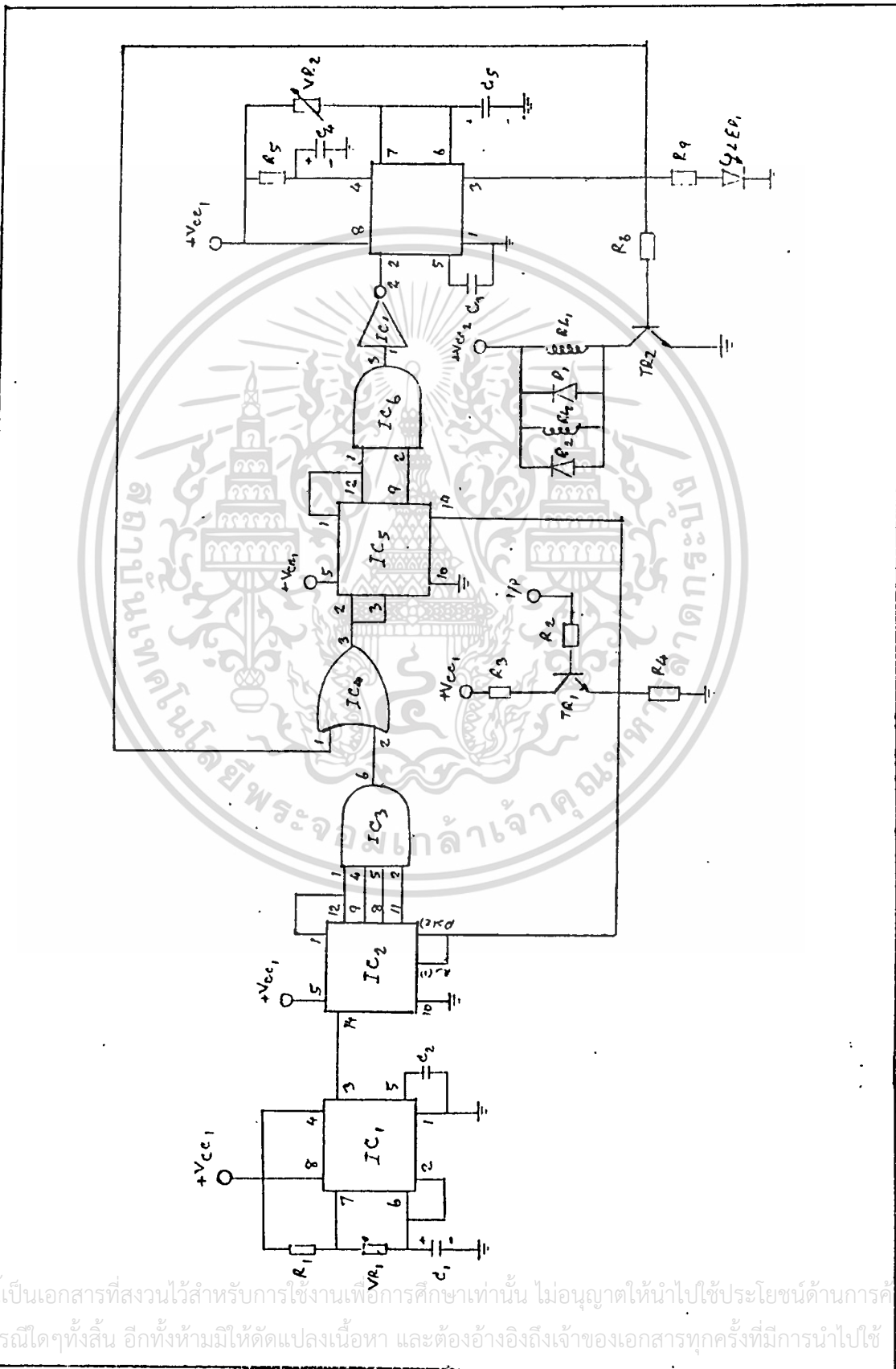
มีค่าสำคัญอยู่ 2 ส่วนในการใช้งาน

- ค่าระยะห่างของเวลาในการทริปแต่ละครั้งซึ่งสามารถตั้งค่าได้ที่  $VR_r$  สำหรับชดเชยการทดลองนี้ตั้งค่าไว้ 30 sec
- จำนวนครั้งในการทริปสำหรับในชดเชยการทดลองนี้ตั้งค่าไว้ 3 ครั้ง (สามารถตั้งได้ ตั้งแต่ 1-15)

วงจรออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

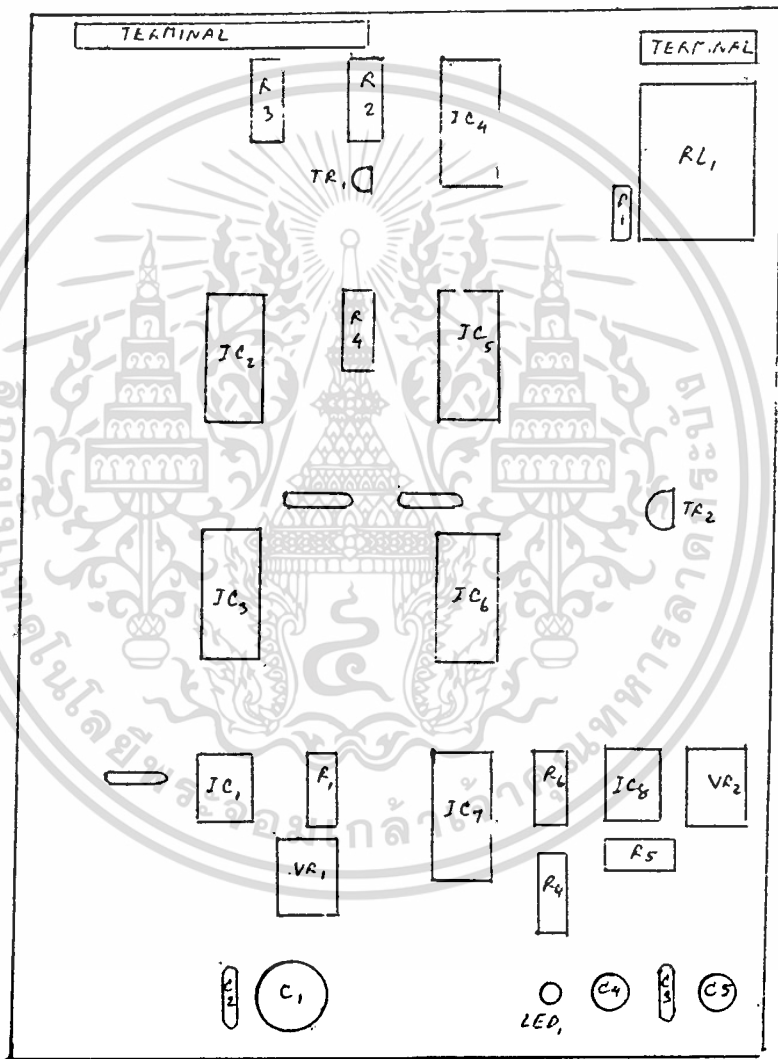


รูปที่ 8.3 วงจรออสซิลเลเตอร์รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ ออโตรีโคลสซึ่ง รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์ของ ออโตรีโคลสซิ่ง รีเลย์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
WR1,VR2	variable resistor 0.25 w	470kohm	2
R1	carbon resistor 0.25 w	560kohm	1
R2	carbon resistor 0.25 w	500 ohm	1
R3,R7	carbon resistor 0.25 w	1kohm	2
R4	carbon resistor 0.25 w	270kohm	1
R5	carbon resistor 0.25 w	50kohm	1
R6	carbon resistor 0.25 w	2kohm	1
C1	electrolytic capacitor 16 V	4.7 $\mu$ F	1
C4,C5	electrolytic capacitor 16 V	100 $\mu$ F	2
C2,C3	dipmica 50V	0.01 $\mu$ F	2
DI	rectifier diode	1N 4001	1
LED1	-	-	1
TR1,TR2	transistor;NPN	BC 337	2
IC1,IC8	-	555	2
IC2,IC5	-	7493	2
IC3	-	7421	1
IC4	-	7482	1
IC6	-	7408	1
IC7	-	7414	1
RL1,RL2	relay 12 V , 3A		2

หมายเหตุ +V<sub>cc1</sub> : +5 V +V<sub>cc2</sub> : +12 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีฉุกเฉินที่อาจเกิดขึ้นนั้น โปรดอย่าไปยุ่งเกี่ยวกับหน่วยงานการค้า  
I/P : จากขา 3 ของ IC 555 ของ over current relay  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๑. โอเวอร์ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ (over under voltage relay)

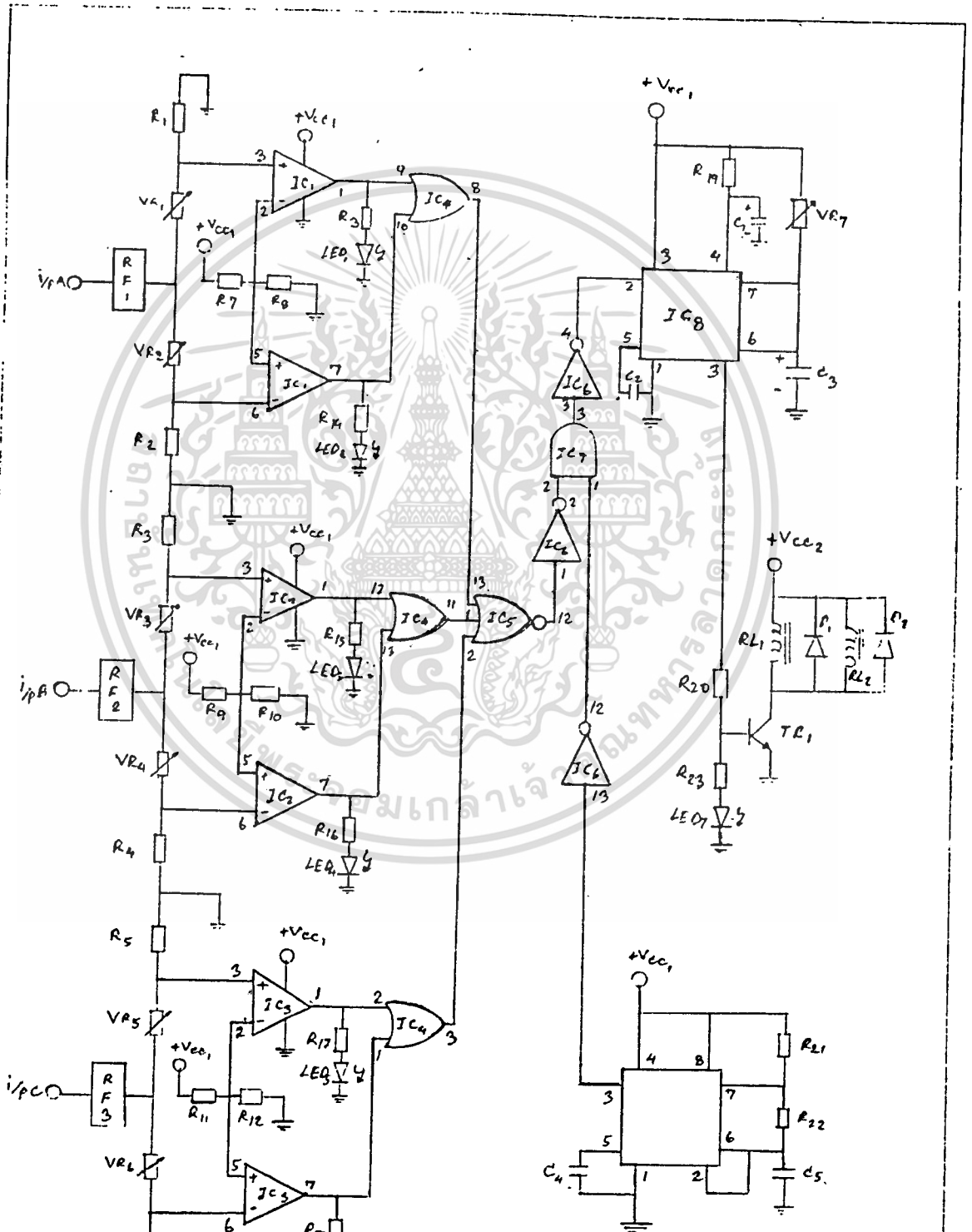
จะติดตั้งที่จุด A และ D ซึ่งมีค่า  $V_{L-L}$  127 v ซึ่งการปรับค่าจะตั้งค่าไว้ที่ ค่าที่ ยอมรับได้คือ  $\pm 10\%$  โดยโอเวอร์ โวลเตจ ปรับค่าที่  $VR_1, VR_2$  และ  $VR_3$  ส่วนอันเดอร์ โวลเตจ ปรับค่าที่  $VR_4, VR_5$  และ  $VR_6$  ดังตารางที่ 3.5

VR	Volt (v)
1	5.49
2	5.18
3	5.49
4	5.18
5	5.49
6	5.18

ตารางที่ 3.5

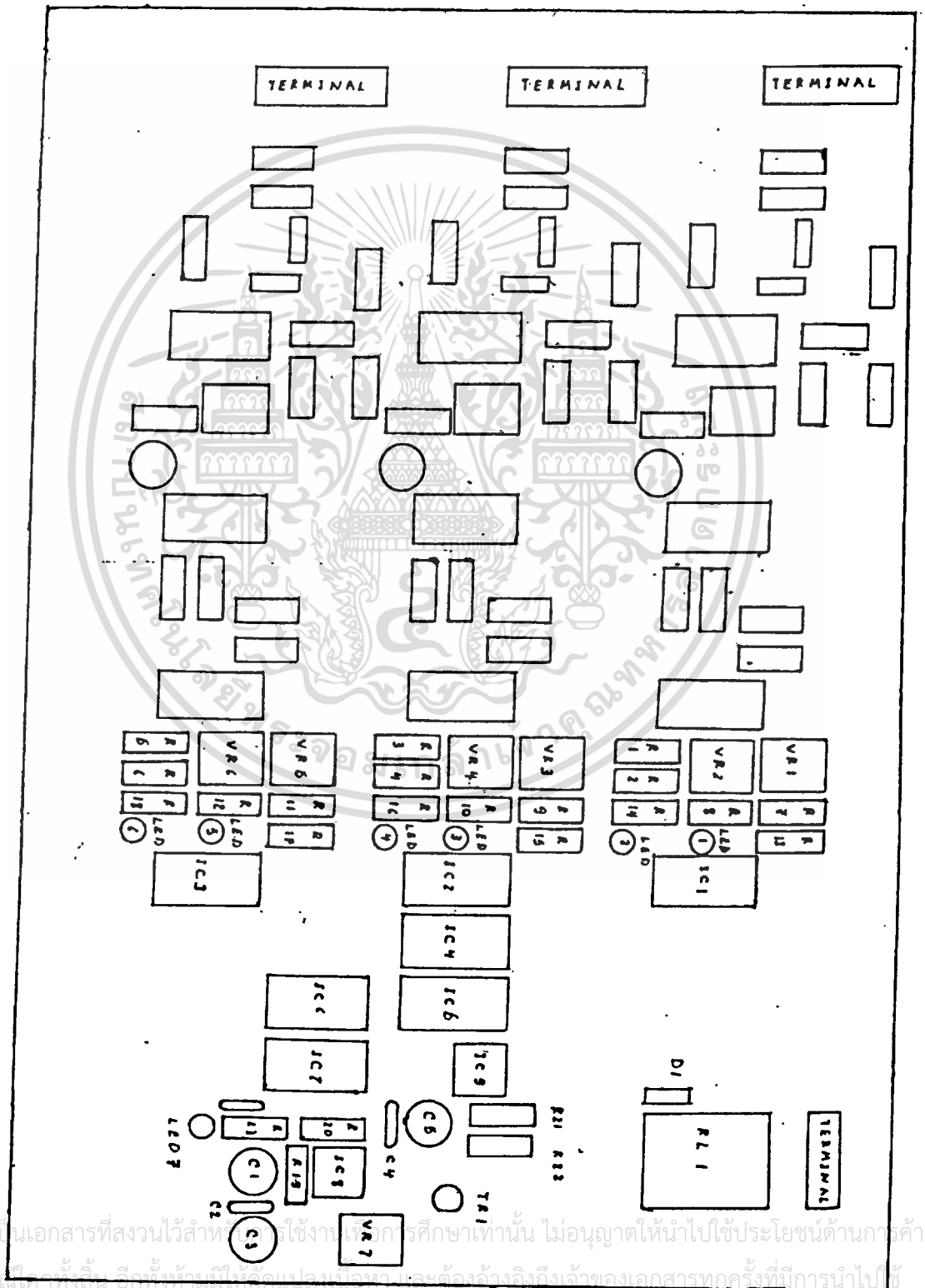
สำหรับการปรับค่าหน่วงเวลาปิดกลับ จะตั้งค่าที่  $VR_7$  โดยตั้งค่าที่ 10 sec  
วงจรโอเวอร์ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์แสดงไว้ดังรูปที่ 3.5

### รูปที่ 3.5 วงจรไอเวอร์์ อันเดอร์ โทเทจ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่มีการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ โอเวอร์ อันเตอร์ โทเทจรีเลย์



อุปกรณ์ของวงจรไอเวอร์และอินเตอร์ไวทเตจรีเลย์

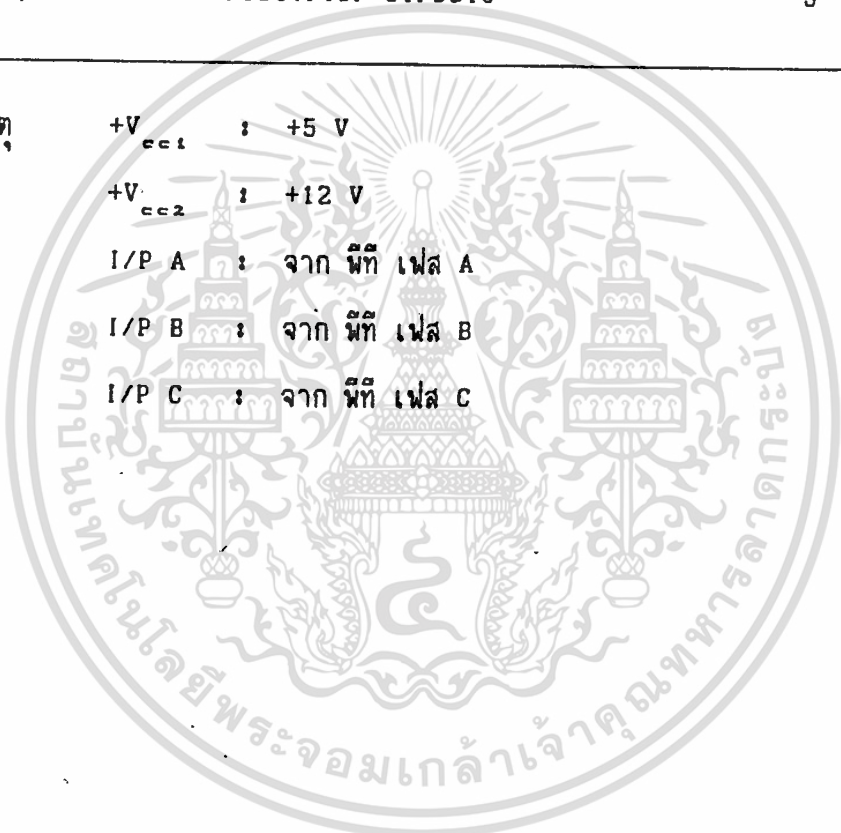
หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR1-VR6	variable resistor 0.25 w	20kohm	6
VR7	variable resistor 0.25 w	100kohm	1
R1-R6	carbon resistor 0.25 w	1kohm	6
R7,R9,R11	carbon resistor 0.25 w	3kohm	3
R8,R10,R12	carbon resistor 0.25 w	2kohm	3
R13-R18	carbon resistor 0.25 w	560 ohm	6
R19	carbon resistor 0.25 w	50kohm	1
R20	carbon resistor 0.25 w	4.7kohm	1
R21	carbon resistor 0.25 w	6.8Mohm	1
R22	carbon resistor 0.25 w	20 ohm	1
R23	carbon resistor 0.25 w	560ohm	1
C1,C3	electrolytic capacitor 16 v	470 $\mu$ F	1
C2,C4	dipmica 50 V	0.01 $\mu$ F	2
C5	dipmica 50 V	0.1 $\mu$ F	1
D1	rectifier diode	1N 4001	1
LED1,LED3,LED5	color green		3
LED2,LED4,LED6,LED7	color red		4
TR1	transistor ;NPN	BC 337	1
IC1-IC3	-	LM 324 N	3
IC4	-	7432	1
IC5	-	7427	1
IC6	-	7414	1

(ต่อ)

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
IC8, IC9	-	555	2
RL1, RL2	relay 12 v, 3 A		2
RF1, RF2, RF3	rectifier circuit		3

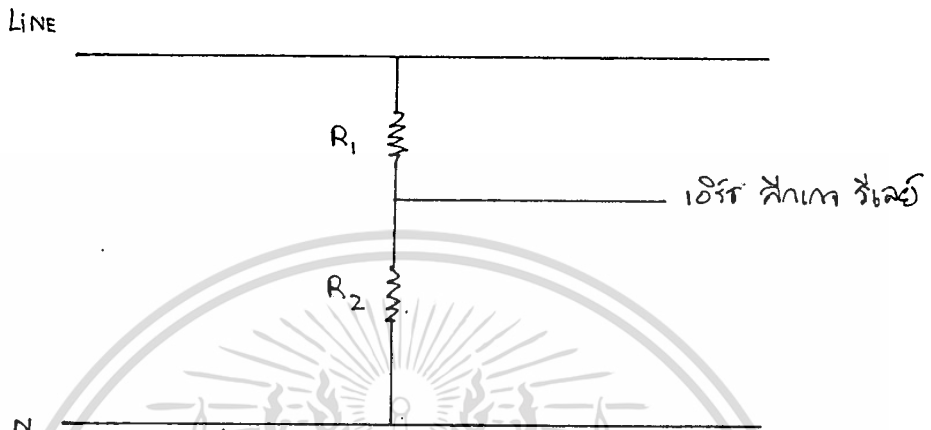
หมายเหตุ

- +V<sub>cc1</sub> : +5 V
- +V<sub>cc2</sub> : +12 V
- I/P A : จาก ฟิตี เฟส A
- I/P B : จาก ฟิตี เฟส B
- I/P C : จาก ฟิตี เฟส C



4. เอิร์ธลีกเกจ รีเลย์ (earth leakage relay)

จะติดตั้งไว้ที่จุด D เท่านั้น โดยกำหนดให้กระแสรั่วลงดิน 5mA และสัญญาณเปรียบเทียบ 5V โดยใช้ความต้านทานต่อดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7

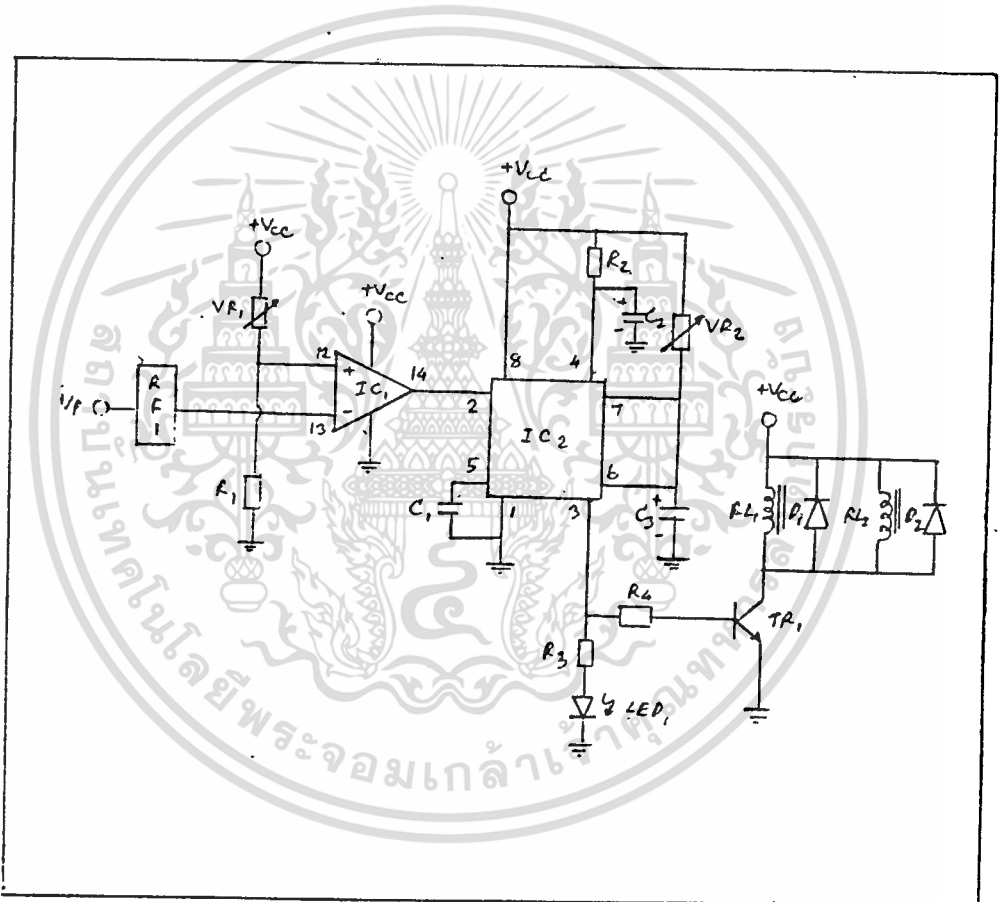
$$R_1 = 23.8 \text{ K } \Omega$$

$$R_2 = 1 \text{ K } \Omega$$

สำหรับค่าที่  $V_{R_1} = 5V$

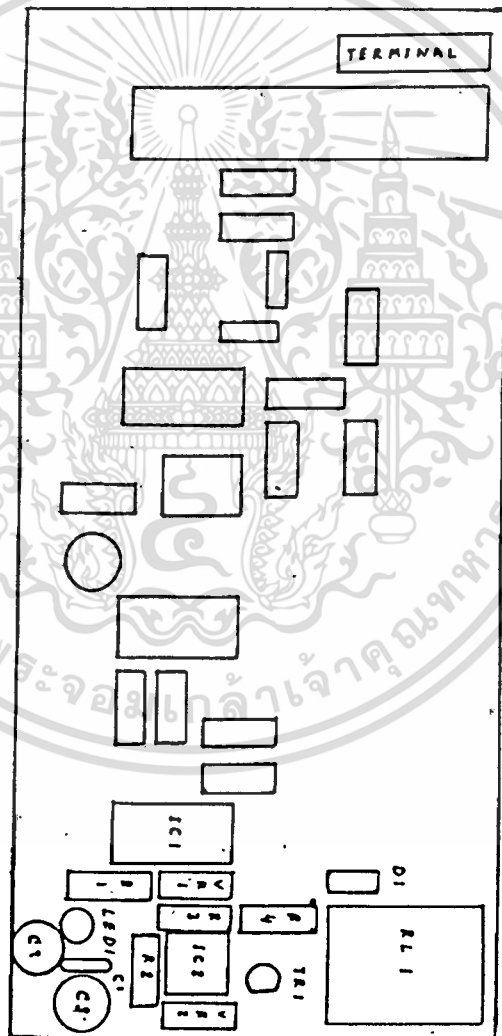
วงจรเอิร์ธลีกเกจ รีเลย์ แสดงได้ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 วงจรเอ็ร์ชติกเกจ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.9 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ เอิร์ธลิกเกจ รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ของเอิร์ธ ลิกเกจ รีเลย์

หมายเลข	รายละเอียด	ค่า, เบอร์	จำนวน
VR1	Variable Resister 0.25 W	10 K ohm	1
VR2	Variable Resister 0.25 W	50 K ohm	1
R1	Carbon Resister 0.25 W	5 K ohm	1
R2	Carbon Resister 0.25 W	50 K ohm	1
R3	Carbon Resister 0.25 W	1 K ohm	1
R4	Carbon Resister 0.25 W	10 K ohm	1
C1	Dipmica 50 V	0.01 $\mu$ F	1
C2,C3	Electrolytic 16 V	100 $\mu$ F	2
D1	Rectifier Diode	1N 4001	1
LED1	-	-	1
TR1	Transistor ; NPN	BC 337	1
IC1	-	LM 324 N	1
IC2	-	555	1
RL1	Relay 12 V, 3 A	-	1
RF1	Rectifier Circuit	-	1

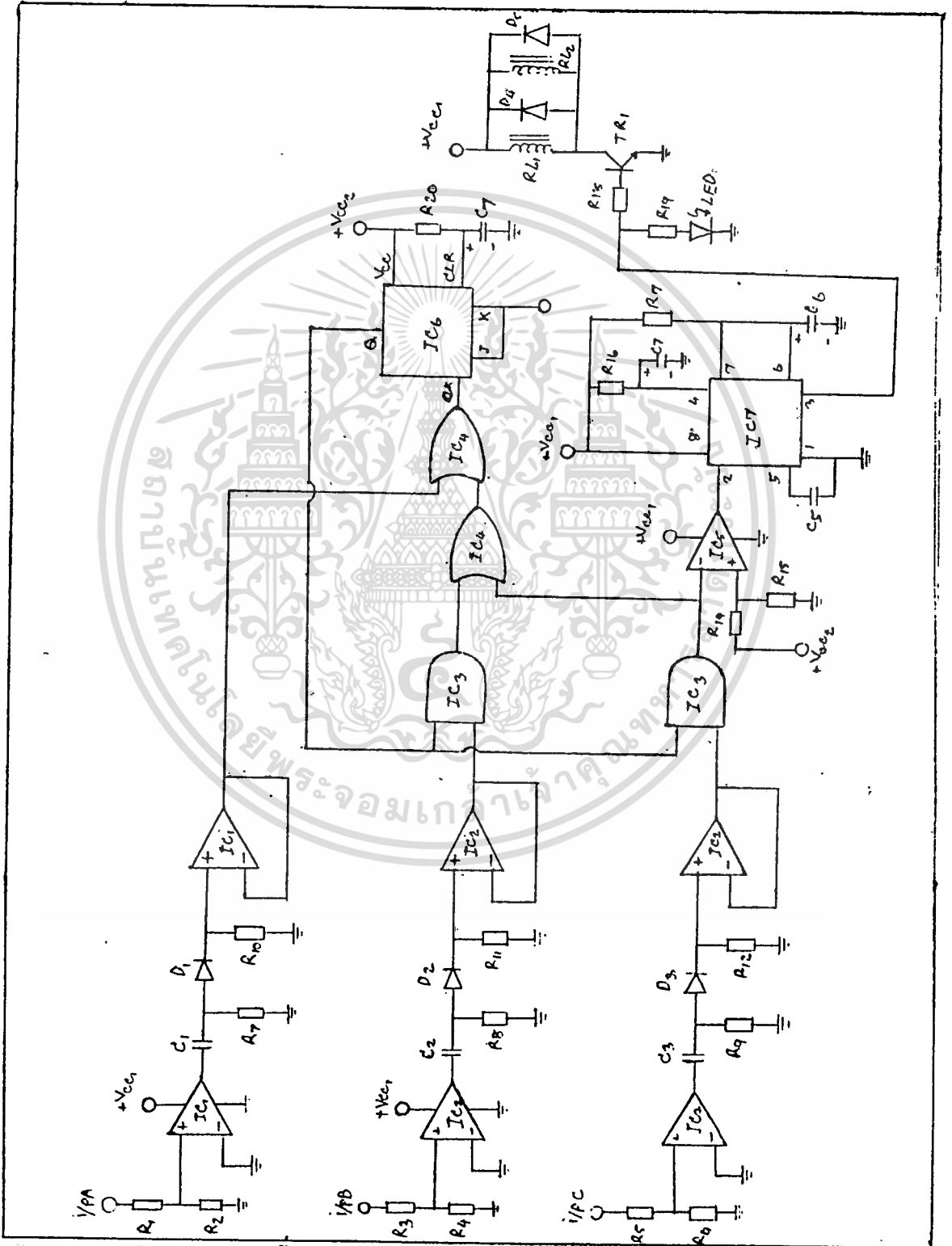
หมายเหตุ :  $+V_{cc}$  : +12 V

I/P : จากเอิร์ธ ลิกเกจ ฟอร์ด

5. เฟสซีควน รีเลย์ (phase sequence)

จะติดตั้งบริเวณที่ต่อกับ โหลดโดยจะทำงานเมื่อมีการเรียงเฟสผิด

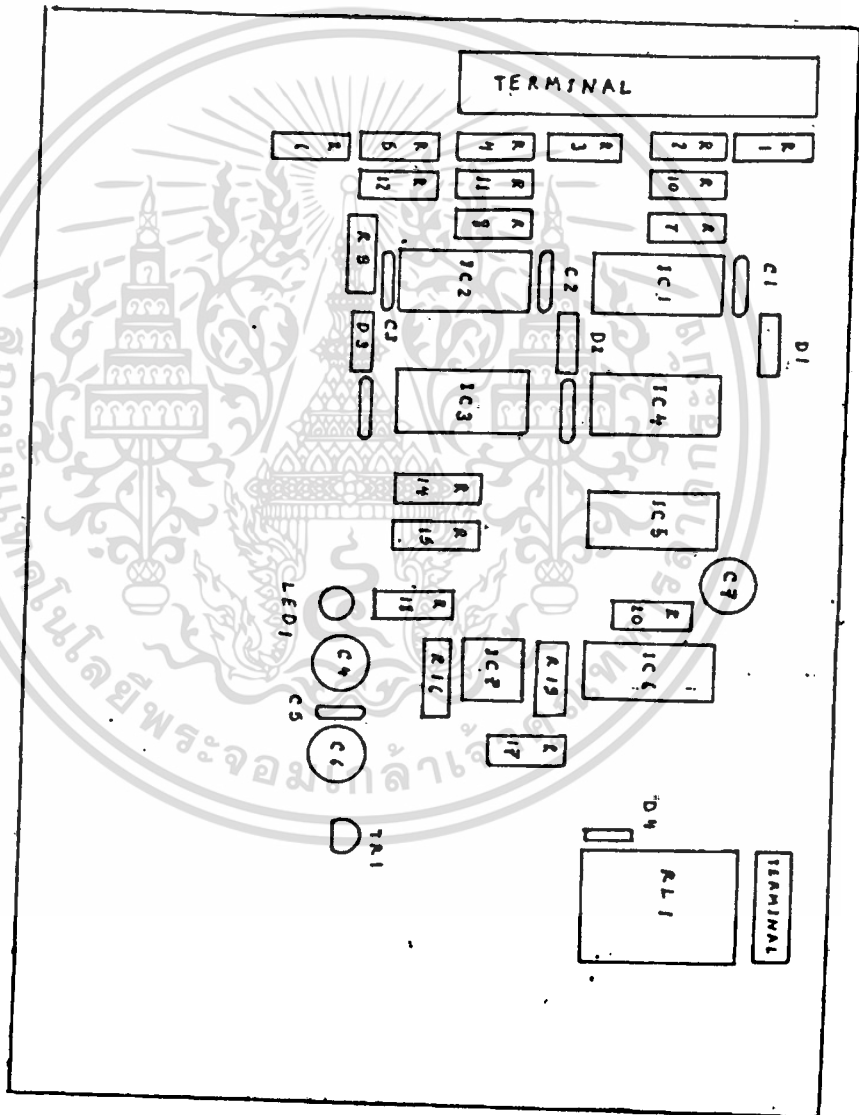
วงจรเฟสซีควน รีเลย์ แสดงไว้ดังรูป 3.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.10 วงจรเฟสซีควน รีเลย์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์ เฟลชีแควน รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ของ เฟล ซีเควนซ์ รีเลย์

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

หมายเหตุ : +V<sub>cc1</sub> : + 12 V

+V<sub>cc2</sub> : + 5 V

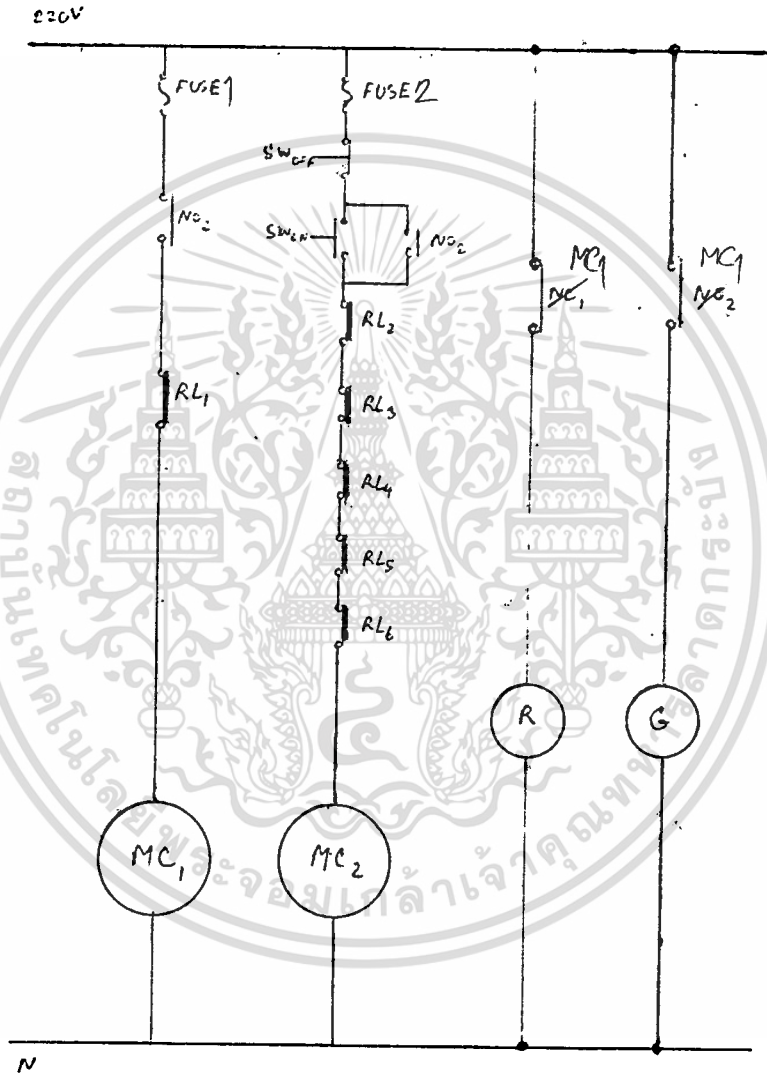
I/P A : จากนิตี เฟล A

I/P B : จากนิตี เฟล B      I/P C : จากนิตี เฟล C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษา/ใช้เท่านั้น เมื่อผู้นิพนธ์นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. วงจรควบคุมระบบป้องกัน (control circuit)

เป็นวงจรควบคุมระบบป้องกัน โดยใช้การลิ่งจากรีเลย์ป้องกันต่างๆไปยัง แมกเนติก คอนแทรกเตอร์ (magnetic contractor) ใช้ในการตัดตอนระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งวงจรสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.12



วงรควบคุมระบบป้องกันนี้ ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือเมน แมกเนติก คอนแทรคเตอร์ (main magnetic contractor) ซึ่งจะทำงาน 2 ลักษณะคือ

1. แมกเนติก เมื่อทริปแล้วสามารถปิดกลับเองได้โดย อัตโนมัตินี้ซึ่งในการทริปนี้ ใช้การสั่งงานจาก โอเวอร์ เคอร์เรนท รีเลย์ เพียงอย่างเดียว

2. แมกเนติกเมื่อทริปแล้ว จะเปิดวงจรค้างเลย ถ้าต้องการให้วงจรปิดกลับจะต้องกดสวิตช์ SW<sub>00</sub> ซึ่งการทริปนี้จะใช้การสั่งงานจาก ซีต เซอร์กิต รีเลย์, ออโตรีโคลสซึ่ง รีเลย์, โอเวอร์ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์, เอิร์ธลิกเกจ รีเลย์ และเฟลซี เควน รีเลย์



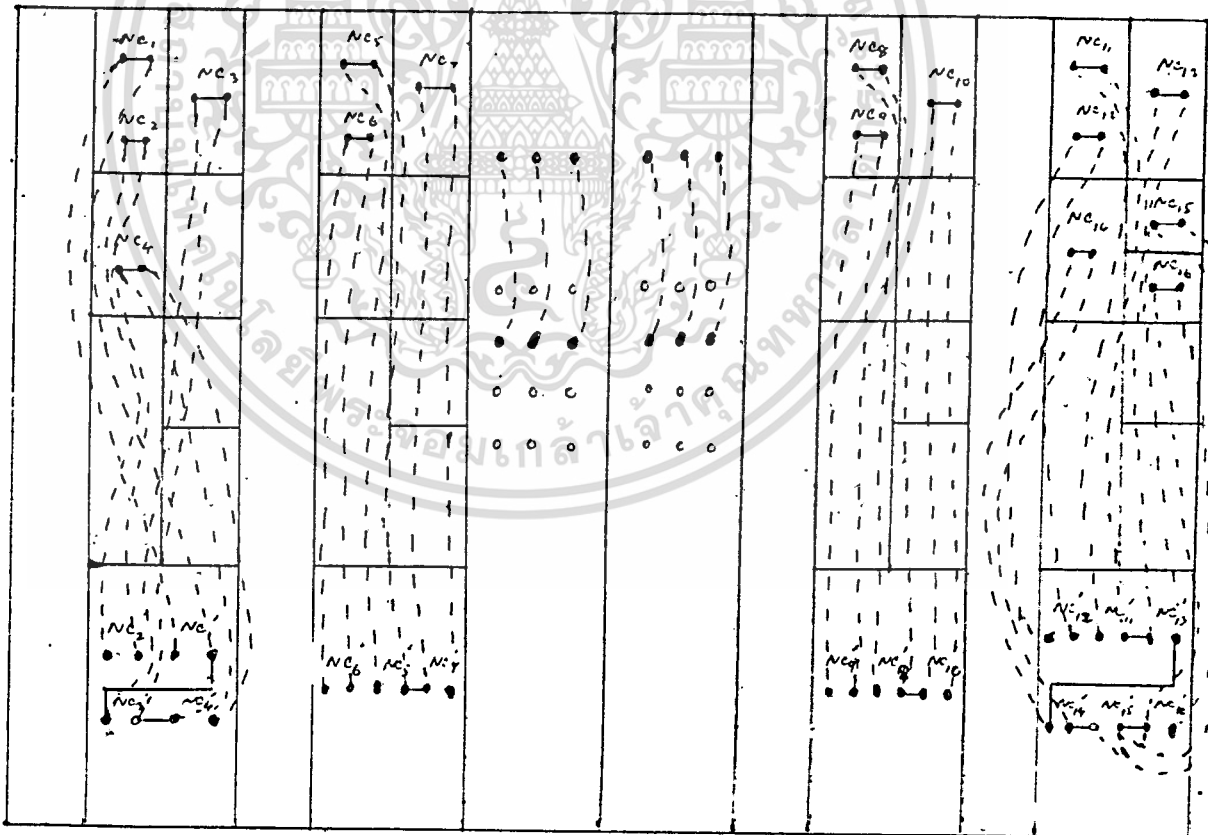
บทที่ 4

การใช้งานสำหรับชุดการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการใช้งานของชุดการทดลองนี้

4.1 การต่อระบบของชุดการทดลอง

ชุดการทดลองที่จัดทำขึ้นมาี้ มีการแยกส่วนบางส่วนของวงจรออกจากกัน เพื่อให้มีการเลือกใช้และศึกษาการทดลองได้ ดังนั้นเวลาจะศึกษาระบบจะต้องต่อระบบต่างๆเข้าด้วยกัน ซึ่งจะทำให้การต่อที่หน้าตู้การทดลอง ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.1 ดังนี้



ในการต่อระบบต่างๆจะปฏิบัติดังนี้คือ

4.1.1 ต่อ  $NC_1-NC_{1e}$  ซึ่งเป็น normally close ของ protection relay ต่างๆเข้ากับ  $NC_1'-NC_{1e}'$  ซึ่งจะเป็นการต่อ normally close เข้ากับวงจรควบคุม การต่อจะต่อ  $NC_1$  เข้ากับ  $NC_1'$   $NC_2$  เข้ากับ  $NC_2'$  ไปเรื่อยๆจนถึง  $NC_{1e}$  เข้ากับ  $NC_{1e}'$  ดังแสดงการต่อเป็นเส้นประดังรูปที่ 4.1

4.1.2 ต่อสายส่งกำลังไฟฟ้า (transmission line) ที่ต้องการศึกษาเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลัง การต่อจะต่อ transmission line TL1 หรือ TL2 เข้ากับ  $TL_{1n}$  และ  $TL_{2n}$  โดย

TL1 คือ สายส่งระยะปานกลางแบบ  $\pi$

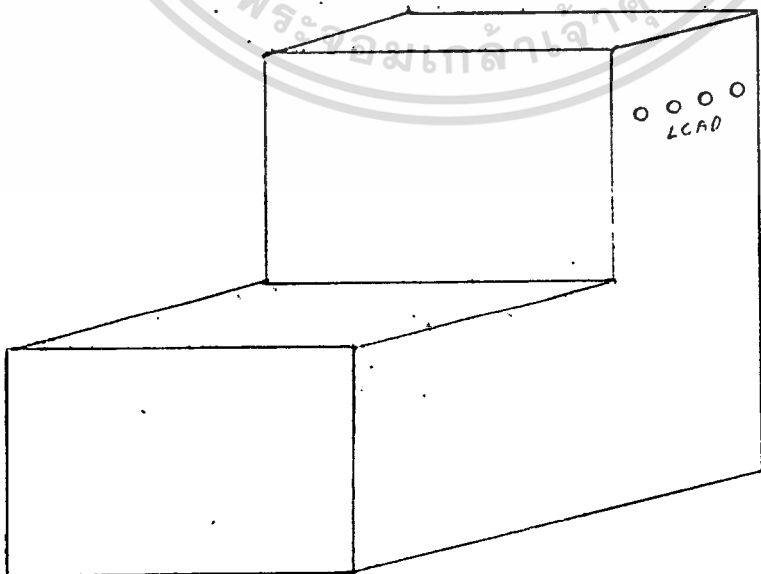
TL2 คือ สายส่งระยะปานกลางแบบ T

เช่นการต่อดังรูปที่ 4.1 เป็นการต่อสายส่งระยะปานกลางแบบ  $\pi$  เข้ากับระบบ.

4.1.3 ต่อแหล่งจ่ายไฟ 3 เฟส (ในการทดลองจะใช้ variac 3 เฟส ต่อเข้ากับจุด input 3 phase  $V_{ac}$ )

4.1.4 ต่อไฟ single phase 220v เข้ากับจุด input 220 V<sub>ac</sub> เพื่อจ่ายไฟให้กับ supply และวงจรควบคุมการตัดตอนระบบไฟฟ้ากำลัง

4.1.5 ต่อโหลดซึ่งใช้จากการทดลอง เข้ากับระบบ ซึ่งจะมีจุดต่อโหลดอยู่ที่ข้างตู้ทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ 4.2 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6. เปิดสวิตช์( $SW_{12}$ ) ซึ่งเป็นสวิตช์ไฟเลี้ยงวงจร รีเลย์ต่างๆเมื่อต้องการศึกษาการทำงานของ รีเลย์ซึ่งจะกล่าวอีกครั้งในหัวข้อการศึกษาเหตุผิดปกติต่างๆ

4.1.7. กัดสวิตช์( $SW_{on1}$ - $SW_{on4}$ ) เพื่อให้ magnetic contractor ต่อระบบต่างๆเข้าด้วยกัน

#### 4.2 การศึกษาเหตุผิดปกติต่างๆ

##### 4.2.1 การเกิดกระแสเกิน

เป็นการศึกษาการทำงานของโอเวอร์เคอเรนท รีเลย์ โดยทำการเปิดสวิตช์  $SW_{12}$ ,  $SW_{13}$ ,  $SW_{14}$  และ  $SW_{15}$  เพื่อให้โอเวอร์ เคอเรนท รีเลย์ ทำการตรวจจับเหตุผิดปกติ การทำให้เกิดกระแสเกิน จะทำได้โดยการเพิ่มโหลดให้กับระบบ เมื่อค่ากระแสในระบบมีค่ามากกว่าค่าที่ตั้งไว้ใน โอเวอร์เคอเรนท รีเลย์

โอเวอร์เคอเรนท รีเลย์ ที่จุด D ซึ่งมีค่าหน่วงเวลาในการทริปน้อยที่สุด จะทำการตัดระบบไฟฟ้้าออก แต่ถ้าจุด D ไม่ทำงาน ที่จุด C หรือ B หรือ D- จะทำงานเป็นลำดับ เนื่องจากการตั้งเวลาหน่วงในการทริปที่จุด  $D < C < B < A$  ซึ่งในการตัดตอนจะเป็นแบบอัตโนมัติ คือเมื่อตัดระบบออกแล้ว จะต่อระบบเข้าเอง

##### 4.2.2 การเกิดกระแสเกินมากกว่า 3 ครั้งในเวลาที่กำหนด

เป็นการศึกษาการทำงานของ ออโตรีโคลสซึ่ง รีเลย์ โดยทำการเปิดสวิตช์  $SW_{12}$ ,  $SW_{13}$  และ  $SW_{14}$  เพื่อให้ ออโตรีโคลสซึ่ง รีเลย์ ตรวจสอบเหตุผิดปกติ

เมื่อ โอเวอร์เคอเรนท รีเลย์ ทำการตัดระบบโดยอัตโนมัติ 3 ครั้ง โดยช่วงเวลาในการตัดแต่ละครั้งไม่เกินค่าที่ตั้งไว้ใน ออโตรีโคลสซึ่ง รีเลย์ ระบบก็จะทำการตัดอย่างถาวรโดย ออโตรีโคลสซึ่ง รีเลย์

##### 4.2.3 การเกิดโอเวอร์ หรือ อันเดอร์ โวลเตจ

เป็นการศึกษาการทำงานของ โอเวอร์ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ โดยทำการเปิดสวิตช์  $SW_{12}$  และ  $SW_{13}$  เพื่อให้โอเวอร์ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ ตรวจจับเหตุผิดปกติ

การทำให้ โอเวอร์ หรือ อันเดอร์ โวลเตจ จะทำโดยการปรับ variac 3 phase ซึ่งเมื่อ ค่าโวลเตจมีค่ามากกว่า  $\pm 10\%$  ของระดับ โวลเตจปกติ โอเวอร์ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ จะทำการตัดระบบออก

#### 4.2.4 การเกิดการเรียงเฟสของระบบไฟฟ้ากำลังผิด

เป็นการศึกษา การทำงานของ เฟสซีแควนซ์ รีเลย์ โดยทำการเปิด  $SW_{12}$  เพื่อให้ เฟสซีแควนซ์ รีเลย์ ทำการตรวจจับเหตุผิดปกติ

การทำการเรียงเฟสผิด ทำได้โดยจ่ายไฟจาก variac 3phase สลับเฟสกัน เช่น ปกติจะจ่ายไฟ เรียงเฟส R,S,T พอสลับเฟสเป็น S,R,T ก็จะทำให้ เฟสซีแควนซ์ รีเลย์ ทำการตัดระบบออก

#### 4.2.5 การเกิดกระแสรั่วลงดิน

เป็นการศึกษาการทำงานของ เอิร์ธลิกเกจ รีเลย์ โดยทำการเปิดสวิตช์  $SW_{12}$  เพื่อให้ เอิร์ธลิกเกจ รีเลย์ตรวจจับเหตุผิดปกติ

การทำให้เกิดกระแสรั่วลงดินทำได้โดย ต่อจุด L เข้ากับจุด G ในรูปที่ 4.1 ซึ่ง จะทำให้ เอิร์ธลิกเกจ รีเลย์ ทำการตัดระบบออก



บทที่ 5

การทดลองระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

(Power System Laboratory)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ชุดทดลองที่จัดทำขึ้นมานี้ เพื่อให้ให้นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ใช้ในการศึกษาเรื่อง ระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งนอกจากจะศึกษาถึงระบบการทำงาน และระบบการตัดตอนเมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติของระบบไฟฟ้ากำลังแล้ว ยังควรจะต้องรู้ถึงระบบเปอร์เซ็นต์ และการสูญเสียที่เกิดขึ้นในหม้อแปลง และสายส่งกำลังไฟฟ้าด้วย เพราะฉะนั้นในบทนี้จะกล่าวถึง ระบบเปอร์เซ็นต์ การแปลงค่าต่างๆในระบบจำลองกับระบบจริง ตลอดจนขั้นตอนการทดลองที่นักศึกษาจะทำการทดลอง

5. ระบบเปอร์เซ็นต์

การใช้ระบบเปอร์เซ็นต์ ในการคำนวณและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากความง่ายในการคำนวณและไม่ต้องกังวลเกี่ยวกับเรื่องหน่วยต่างๆของ ศักดาไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า เป็นต้น และข้อได้เปรียบของระบบเปอร์เซ็นต์ก็คือลดปัญหาเกี่ยวกับการย้ายข้างของ กระแส ศักดาไฟฟ้า อิมพีแดนซ์ ระหว่างขดลวดปฐมภูมิ และทุติยภูมิของหม้อแปลง เมื่อต้องการคำนวณหรือวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง.

เปอร์เซ็นต์ คือ อัตราส่วนของค่าที่ต้องการหาค่าเปอร์เซ็นต์ ต่อฐาน(Base)ที่ตั้งไว้ เช่น ศักดาไฟฟ้าฐาน(Base Voltage)ของระบบมีค่า 200 KV ศักดาไฟฟ้าขนาด 11, 22, และ 33 KV จะมีค่าเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 11/200P.U., 22/200P.U. และ 33/200P.U. ตามลำดับ

สำหรับระบบสามเฟส สูตรที่ใช้หาค่าฐาน (Base)ต่างๆได้แสดงดังนี้

$$\text{กระแสไฟฟ้าฐาน(A)} = \frac{\text{ฐาน KVA}}{\sqrt{3} \text{ ฐาน KV}}$$

$$\text{อิมพีแดนซ์ฐาน(โอม)} = \frac{(\text{ฐานKV})^2}{\text{ฐาน MVA}}$$

โดยกำหนดให้ 3φ หมายถึง สามเฟส

L หมายถึง Line To Line

5.2 การแปลงค่าต่างๆและพารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบจำลองกับระบบจริง

ในหัวข้อนี้ เป็นการกล่าวถึงการหาค่าต่างๆ เช่น ศักดาไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า เป็นต้น ของระบบจริง จากการศึกษาที่ได้จากระบบจำลองจากการทดลอง โดยใช้ฐานต่างๆดังนี้

-ระบบจริง

$$\text{ศักดาไฟฟ้าฐาน } (BV_1) = 75 \text{ KV}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าฐาน } (BVA_1) = 4.54 \text{ MVA}$$

$$\text{กระแสไฟฟ้าฐาน } (BI_1) = 34.95 \text{ A}$$

-ระบบจำลอง

$$\text{ศักดาไฟฟ้าฐาน } (BV_2) = 415 \text{ V}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าฐาน } (BVA_2) = 1.5 \text{ KVA}$$

$$\text{กระแสไฟฟ้าฐาน } (BI_2) = 2.09 \text{ A}$$

เช่น สมมติว่า จากการทดลองวัดค่าได้ดังนี้

$$\text{ศักดาไฟฟ้า } (v_1) = 412 \text{ Volt}, (v_2) = 400 \text{ Volt}$$

$$\text{กระแสไฟฟ้า } (i_1) = 2.1 \text{ A}, (i_2) = 1.8 \text{ A}$$

$$\text{COS } \phi_1 = 0.9, \text{COS } \phi_2 = 0.8$$

จากข้อมูลนี้ นำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์ของระบบจำลองได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของศักดาไฟฟ้า} = v_1 / BV_2 = 0.993 \text{ P.U.}$$

$$= v_2 / BV_2 = 0.964 \text{ P.U.}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของกระแสไฟฟ้า} = i_1 / BI_2 = 1 \text{ P.U.}$$

$$= i_2 / BI_2 = 0.86 \text{ P.U.}$$

$$\text{ศักดาไฟฟ้าในระบบจริง } V_1 = 74.48 \text{ KV}, V_2 = 72.3 \text{ KV}$$

$$\text{กระแสไฟฟ้าในระบบจริง } I_1 = 34.95 \text{ A}, I_2 = 30.1 \text{ A}$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบจำลอง} = 201.2 \text{ W}$$

$$\% \text{การสูญเสีย} = 26 \%$$

$$\text{กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบจริง} = 1.04 \text{ KW}$$

$$\% \text{การสูญเสีย} = 26 \% \text{ (ซึ่งจะเห็นว่า \%การสูญเสียมีค่าเท่ากัน)}$$

สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบจำลองหาได้ดังนี้

สายส่งระยะปานกลางที่จะมาจำลอง เป็นสายส่ง 3φ วงจรขนาน สายเดี่ยวชนิด Tern  
795,000 cmils 45/7 Aluminium/steel 3Lagers

$$GMR = 1.063 \text{ inch}$$

ความต้านทานที่ 50 C = 0.1302 ohm/miles จากการคำนวณจะได้

$$R = 0.0844 \text{ ohm/Km}$$

$$L = 1.22456 * 10^{-3} \text{ Henry/Km}$$

$$C = 9.40928 * 10^{-9} \text{ Farad/Km}$$

ใช้ความยาว 120 Km เพราะฉะนั้นจะได้

$$R_{real} = 10.13 \text{ ohm}$$

$$L_{real} = 0.1469 \text{ Henry}$$

$$C_{real} = 0.1129 * 10^{-3} \text{ Farad}$$

พารามิเตอร์ ในระบบจำลองได้

$$R_{sim} = R_{real} * BZ(2)/BZ(1)$$

$$L_{sim} = L_{real} * BZ(2)/BZ(1)$$

$$C_{sim} = C_{real} * BZ(1)/BZ(2)$$

จะคำนวณหาค่าต่างๆได้ดังนี้

$$R_{sim} = 0.95 \text{ ohm}$$

$$L_{sim} = 0.0138 \text{ Henry}$$

$$C_{sim} = 0.12 * 10^{-4} \text{ Farad}$$

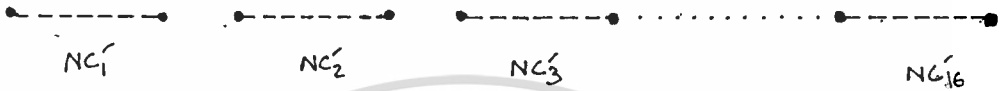
ซึ่งสามารถนำพารามิเตอร์นี้ไปหาค่า คัดดาไฟฟ้าปลายทางสายส่ง กระแสไฟฟ้าทาง  
ปลายสายส่ง เมื่อกำหนดคัดดาไฟฟ้าต้นทางสายส่ง กระแสไฟฟ้าต้นทางสายส่ง หรือกลับ  
กันได้ ซึ่งนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดลองแล้ว ส่วนใหญ่จะได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้  
เนื่องจาก เครื่องมือวัดและการปรับค่าต่างๆไม่ละเอียดพอ

### 5.3 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองที่ 1 การศึกษาการทำงานการตัดต่อระบบไฟฟ้า เมื่อมีเหตุผิดปกติเกิดขึ้น (ขั้นตอนการปฏิบัติได้กล่าวไว้ในบทที่ 4)

#### การทดลองที่ 2

1. ต่อ  $NC_1, NC_2, NC_3, \dots, NC_{16}$  เข้าด้วยกันภายในจุดตัวเองดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1

2. ต่อ Variac 3φ, โหลด และสายส่งระยะปานกลางแบบ π เข้ากับระบบ

3. ปรับ Variac ให้ค่าศักดาไฟฟ้า ( $V_L$ ) มีค่าเท่ากับ 415 V<sub>L-L</sub> วัดค่า ศักดาไฟฟ้า ( $V_L$ ), กระแสไฟฟ้า ( $I_L$ ) และ  $\cos\phi_L$  ที่ทางต้นทางสายส่ง และวัดค่า ศักดาไฟฟ้า ( $V_L$ ), กระแสไฟฟ้า ( $I_L$ ) และ  $\cos\phi_L$  ที่ปลายทางสายส่ง นำไปคำนวณค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้น แล้วแปลงค่าสู่ระบบจริง คำนวณค่าความสูญเสียเปรียบเทียบ บันทึกค่าในตารางที่ 5.1

4. เปลี่ยนค่า  $V_L$  ให้เท่ากับ 400, 430 V<sub>L-L</sub> ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3

5. นำค่า  $V_L, I_L$  และ  $\cos\phi_L$  ที่วัดได้มาคำนวณหาค่า  $V_L, I_L$  และ  $\cos\phi$  โดยใช้ วงจรสมมูลแบบ π กำหนดพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

$$R = 0.95 \text{ Ohm}$$

$$L = 0.0138 \text{ Henry}$$

$$C = 0.12 \text{ }\mu\text{F}$$

6. การคำนวณจะใช้วิธีคำนวณจากวงจร หรือ วิธีเปอร์เซ็นต์ก็ได้ ถ้าใช้ระบบ เปอร์เซ็นต์จะใช้ฐานต่างๆดังนี้

$$\text{กำลังไฟฟ้าฐาน} = 1.5 \text{ KVA}$$

$$\text{ศักดาไฟฟ้าฐาน} = 415 \text{ V}_{L-L}$$

$$\text{กระแสไฟฟ้าฐาน} = 2.09 \text{ A}$$

หมายเหตุ : ตัวอย่างการคำนวณอยู่ในภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. เปลี่ยนไปใช้สายส่งปานกลางแบบ T แล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 3-6

ตารางที่ 5.1

ชนิดของสายส่ง	$V_1$	$I_1$	$\text{Cos}\phi_1$	$V_2$	$I_2$	$\text{Cos}\phi_2$	%Loss
TT							
T							

บทที่ 6

สรุปผลและวิจารณ์

ปัญหานี้พบครั้งแรกนี้ ได้กล่าวถึงชุดการทดลอง ของระบบไฟฟ้ากำลังจำลองและ การป้องกัน ซึ่งเป็นโครงการที่ทำต่อเนื่องมาจาก นักศึกษารุ่นก่อน โดยในโครงการนี้ได้ ศึกษาแนวทางจากโครงการเก่า และศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้โครงการนี้ได้สำเร็จลุล่วง ซึ่ง ได้พบปัญหาที่เกิดขึ้นมาจากการทำงาน

สำหรับปัญหาที่พบในโครงการในครั้งนี้ ประการสำคัญ คือสัญญาณรบกวนซึ่งเกิด จากการตัดต่อระบบโดย แมกเนติกส์ คอนแทกเตอร์ ซึ่งมีผลให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งแก้ปัญหาโดยการใช้ ตัวเก็บประจุ ช่วยในการลดสัญญาณรบกวน

อนึ่ง ชุดการทดลองนี้ ยังไม่เสร็จสมบูรณ์ เนื่องจากชุดจำลองกระแสลัดวงจรนั้น ในชุดการทดลองนี้มิได้ทำไว้ เพราะเมื่อใช้ตัวเหนี่ยวนำเป็นตัวหน่วงกระแสแล้ว ไม่สามารถจำลองกระแสลัดวงจรให้ได้ค่าตามต้องการได้

สำหรับการตั้งค่าต่าง ๆ นั้น ได้ตั้งไว้ตามความเหมาะสมกับเวลาที่นักศึกษาที่ใช้ ชุดการทดลองนี้ ได้ทดลองได้ทันตามเวลาที่กำหนด

ภาคผนวก

- ตัวอย่างการคำนวณระบบเปอร์เซ็นต์
- โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับหาค่าพหุนามของสายส่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณ

สายส่งระยะปานกลางแบบ π

$$V_1 = 400 \text{ V}_{L-L}$$

$$V_2 = 398.4 \text{ V}_{L-L}$$

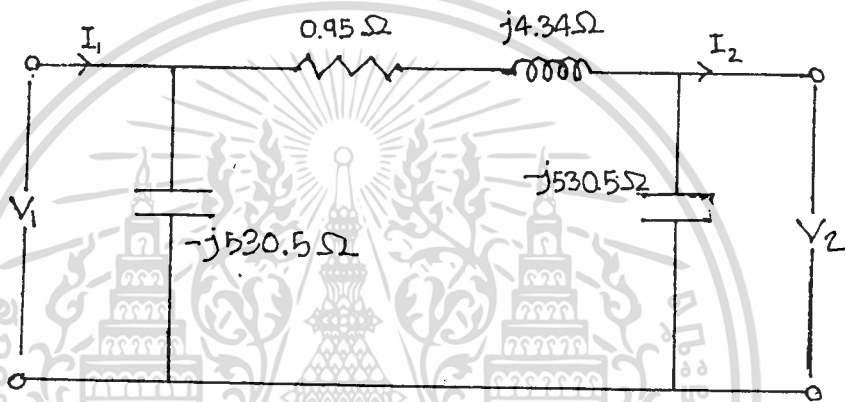
$$I_1 = 1.7 \text{ A}$$

$$I_2 = 1.9 \text{ A}$$

$$\text{Cos}\phi_1 = 0.95$$

$$\text{Cos}\phi_2 = 0.8$$

คำนวณหาค่า  $V_1, I_1, \text{Cos}\phi_1$  จากค่า  $V_2, I_2, \text{Cos}\phi_2$  แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ  
การคำนวณจากวงจรสมมูล



ตั้งสมการได้ดังนี้

$$V_1 = AV_2 + BI_2$$

$$I_1 = CV_2 + DI_2$$

เมื่อ

$$A = 1 + YZ/2$$

$$B = Z$$

$$C = Y(1+A)/2$$

$$D = A$$

$$Z = R + jX_L$$

$$Y = \text{แอดมิตแตนซ์ระหว่างเฟสกับนิวตรอน}$$

เนื่องจาก

$$V_L = 398.4/\sqrt{3} = 230 \text{ V}_p$$

$$I_2 = 1.9 \text{ A}$$

$$\text{Cos}\phi_2 = 0.8$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z = 0.95 + j4.34 \text{ ohm} \quad , \quad Y = -j3.77 * 10^{-3} \text{ mho}$$

จากข้อมูลต่างๆนำไปคำนวณค่าได้ดังนี้

$$A = 0.9918 + j1.79 * 10^{-3}$$

$$B = 0.95 + j4.34$$

$$C = -3.342 * 10^{-6} + j3.75 * 10^{-3}$$

$$D = 0.9918 + j1.79 * 10^{-3}$$

และจะได้  $V_1 = 234.6 \angle 1.45$

$$V_1 = 406 \text{ V}_{L-L}$$

$$I_1 = 1.53 \angle -9.68 \text{ A}$$

$$\text{Cos} \phi_1 = 0.98$$

การคำนวณโดยวิธีเปอร์เซ็นต์

$$V_{2 \text{ P.U.}} = 398.4 / 415 = 0.96 \text{ Volt P.U.}$$

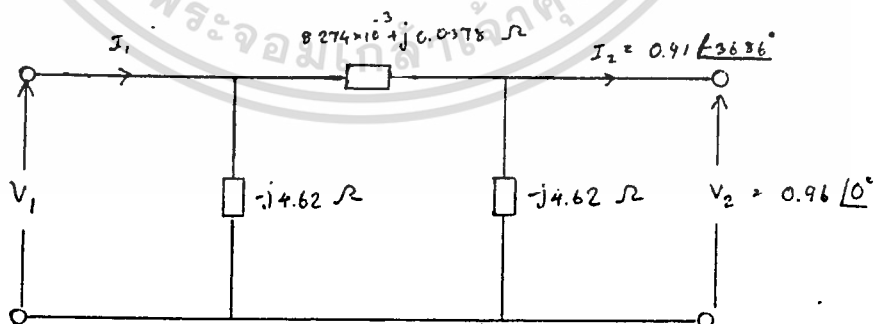
$$I_{2 \text{ P.U.}} = 1.9 / 2.09 = 0.91 \text{ Amp P.U.}$$

$$\text{Cos} \phi_2 = 0.8$$

$$R_{\text{P.U.}} = 0.95 / 114.82 = 8.274 * 10^{-3} \text{ Ohm P.U.}$$

$$X_{L \text{ P.U.}} = j4.34 / 114.82 = j0.0378 \text{ Ohm P.U.}$$

$$X_{C \text{ P.U.}} = -j530.5 / 114.82 = -j4.62 \text{ Ohm P.U.}$$



$$I_{c2} = 0.207/90 \quad \text{A P.U.}$$

$$I_x = 0.8/-25 \quad \text{A P.U.}$$

$$V_x = 0.031/52.65 \quad \text{V P.U.}$$

$$V_1 = 0.979/1.44 \quad \text{V P.U.}$$

$$V_1 = 0.979 * 415 = 406 \quad \text{V P.U.}$$

$$I_1 = 0.731/-9.93 \quad \text{A P.U.}$$

$$I_1 = 1.53/-9.93 \quad \text{A}$$

การคำนวณค่าการสูญเสีย

จาก  $P = \sqrt{3} V_L I_L \cos\phi$

$$P_{in} = \sqrt{3} * 400 * 107 * 0.95 \quad \text{Kw}$$
$$= 1.12 \quad \text{Kw}$$

$$P_{out} = \sqrt{3} * 398.4 * 1.9 * 0.8 \quad \text{Kw}$$
$$= 1.05 \quad \text{Kw}$$

% ความสูญเสีย = 6.25 %

```

C *****
C HIGH VOLTAGE TRANSLATION LINE
C 1. SHOT LINE : S < 80 KM.
C 2. MEDIUM LINE : 80 < S < 240 KM.
C 2.1 NOMINAL PI
C 2.2 NOMINAL TEE
C 3. LONG LINE : S > 240 KM.
C 3.1 EQUIVALENT PI
C 3.2 EQUIVALENT TEE
C *****
C
C DIMENSION S(50),EV(50),EI(50),PVA(50),E2(50),CSIM(50)
C REAL LSPEC,LSIM
C COMPLEX GM,GL,YP,ZP,YT,ZT
C *****
C LSPEC = 0.0844
C LSPEC = 1.22456E-3
C CSPEC = 9.40922E-9
C READ(5,10) M,M
C READ(5,20) (S(I), I = 1, N)
C READ(5,30) (CSIM(I), I=1,N)
C READ(5,40) GEN, V, PF, K
C READ(5,50) TRVA1, TR11, TR12
C READ(5,50) TRVA2, TR21, TR22
10 FORMAT(2I2)
20 FORMAT(6F3.0)
30 FORMAT(11E6.1)
40 FORMAT(F5.1,F3.0,F2.1,11)
50 FORMAT(F5.1,2F3.0)
A1 = TR11/TR12
A2 = TR21/TR22
C *****
C CALCULATE BASE ON ANY SIDE OF SYSTEM.
C *****
C
C SELECT BASE ON GENERATION SIDE
C
C LVAG = GEN / 3.0
C EVG = V / 1.732(51
C ZC = EVG ** 2 / EVAG
C EIG = LVAG / EVG
C
C BASE ON TRANSMISSION LINE SIDE
C
C LVATRL = EVAG
C EVTRL = EVG / A1
C LZTRL = ZVTRL ** 2 / LVATRL
C IITRL = EVATRL / EVTRL

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

C      BASE ON LOAD SIDE
C
      EVALD = BVATRL
      FVLD = BVTRL / A2
      LZLD = BVLD ** 2 / EVALD
      FILD = EVALD / FVLD

```

```

C
C*****
C      TRANSMISSION LINE SIMULATION
C*****
C

```

```

      FVA(2) = BVATRL
      FV(2) = BVTRL
      EZ(2) = BZTRL
      EI(2) = BITRL
      WRITE(6,45)
45  FORMAT(1H1, '//////T31, 'LSAI' 795000 ACOR'/1HD, T21,
      E'795000 CHILS', T41, '54/7' ALUMINIUM/STEEL', T71, '3 LAYERS'////)
      WRITE(6,46)
46  FORMAT(1HD, T25, 'OUTSIDE DIAMETER', T53, '1.0930 INCHES'//1HD, T25,
      E'GMR ( DS )', T53, '0.0308 FEET'//1HD, T25, 'R-AC AT 50.0 50 CYCLE'
      E'T53, '0.1356 OHM/MILE'////)
      WRITE(6,47)
47  FORMAT(1HD, T85, 'R-SPEC' = 0.1356 'OHM/MILE'/1HD,
      E'T100, '= 0.0844 'OHM/KILOMETER'//1HD, T29,
      E'L-SPEC' = 1.22450E-6 'HENRY/PETER' / 1HD, T100,
      E'I' = 1.22450E-3 'HENRY/KILOMETER', //1HD, T89,
      E'C-SPEC' = 9.40928E-12 'FARAD/PETER'/1HD, T100,
      E'I' = 9.40928E-9 'FARAD/KILOMETER')
      WRITE(6,48) GEN, V, PF
48  FORMAT(1HD, '//////T31, 'GENERATION SET'/1HD, T50, F0.1, ' VA.' /
      E'1HD, T51, F5.1, ' VOLT'/1HD, T53, F3.1, ' PF. LAG')
      DO 999 J=1, N
      DO 888 J=1, N
      WRITE(6,60) S(J)
60  FORMAT(1H1, T42, 'LENGTH OF TRANSMISSION LINE =', F0.1, ' KM.' /
      E'1HD, T27, 'REAL SYSTEM', T77, 'SIMULATION SYSTEM'//)
      LSIM = LSPEC * CSPEC * S(J) ** 2 / (SIN(J))
      RSIM = RSPEC * CSPEC * S(J) ** 2 / (SIN(J))
      VREAL = 0.25.0 * S(J)
      VAREAL = VREAL ** 2 * (SPEC * S(J) / ((LSIM (J) * BZ(2))
      XL = 2.0 * 3.14159 * 50.0 * LSIM
      YC = 2.0 * 3.14159 * 50.0 * (SIN(J))
      XFU = RSIM / BZ(2)
      YFU = YC * BZ(2)
      FVA(1) = VAREAL / 3.0
      FV(1) = VAREAL / 1.732051
      BZ(1) = VAREAL ** 2 / VAREAL
      EI(1) = VAREAL / (1.732051 * VAREAL)
      PHI = ACOS(PF)
      IF (K.EQ.0) PHI = -PHI
      IF (S(J).LE.0) GO TO 111
      IF (S(J).LE.240.( ) GO TO 222

```

3. LONG TRANSMISSION LINE

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่มีการเผยแพร่ถึงผู้อื่น ยกเว้นที่ขออนุญาตเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

C
  YSPEC = 2.0 * 3.14159 * 50.0 * CSPEC
  XSPEC = 2.0 * 3.14159 * 50.0 * LSPEC
  GM = SQRT(CMPLX(0.0,YSPEC) * CMPLX(KSPEC,XSPEC))
  GL = GM * CMPLX(S(I), 0.0)

```

3.1 EQUIVALENT PI NETWORK

```

C
  YP=CMPLX(0.0,2.0*YPU)*CMPLX(COSH(REAL(GL))*COS(AIMAG(GL))-1.0,
  *SINH(REAL(GL))*SIN(AIMAG(GL)))/(GL*CMPLX(SINH(REAL(GL))*
  *COS(AIMAG(GL)),COSH(REAL(GL))*SIN(AIMAG(GL)))
  ZP=CMPLX(RPU,XPU)*CMPLX(SINH(REAL(GL))*COS(AIMAG(GL)),
  *COSH(REAL(GL))*SIN(AIMAG(GL)))/GL
  CALL RLC(YP,ZP,EZ)
  CALL VAJPI(YP,ZP,EV,EI,EVA,PHI)

```

3.2 EQUIVALENT TEE NETWORK

```

C
  YT = CMPLX(0.0,YFU)*CMPLX(SINH(REAL(GL))*COS(AIMAG(GL)),
  *COSH(REAL(GL))*SIN(AIMAG(GL)))/GL
  ZT = CMPLX(RPU,XFU)*CMPLX(2.0,0.0)*CMPLX(COSH(REAL(GL))*
  *COS(AIMAG(GL))-1.0,SINH(REAL(GL))*SIN(AIMAG(GL)))/(GL*CMPLX(SINH
  *(REAL(GL))*COS(AIMAG(GL)),COSH(REAL(GL))*SIN(AIMAG(GL)))
  CALL RLC(YT,ZT,EZ)
  CALL VAITEE(YT,ZT,EV,EI,EVA,PHI)
  GO TO 777

```

2. MEDIUM TRANSMISSION LINE

2.1 NOMINAL PI NETWORK

2.2 NOMINAL TEE NETWORK

```

C
C
C
C
C
222 YP = CMPLX(0.0,YPU)
  ZP = CMPLX(RFU,XFU)
  CALL RLC(YP,ZP,EZ)
  CALL VAJPI(YP,ZP,EV,EI,EVA,PHI)
  CALL VAITEE(YP,ZP,EV,EI,EVA,PHI)
  GO TO 777

```

1. SHORT TRANSMISSION LINE

```

C
C
C
111 YP = CMPLX(0.0,0.0)
  ZP = CMPLX(RPU,XPU)
  CALL RLC(YP,ZP,EZ)
  CALL VAJPI(YP,ZP,EV,EI,EVA,PHI)
  YP = CMPLX(0.0,YPU)
  ZP = CMPLX(RFU,XFU)
  CALL RLC(YP,ZP,EZ)
  CALL VAJPI(YP,ZP,EV,EI,EVA,PHI)
777 WRITE(6,100)
  WRITE(6,110) EVA(1) * 3.0, EVA(2) * 3.0
  WRITE(6,120) EV(1) * 1.732051, EV(2) * 1.732051
100 FORMAT(1H0,164,'TRANSMISSION LINE BASE')

```

```

110 FORMAT(1H0,145,E15.4,1E3,F15.3,1120,'VA.')
```

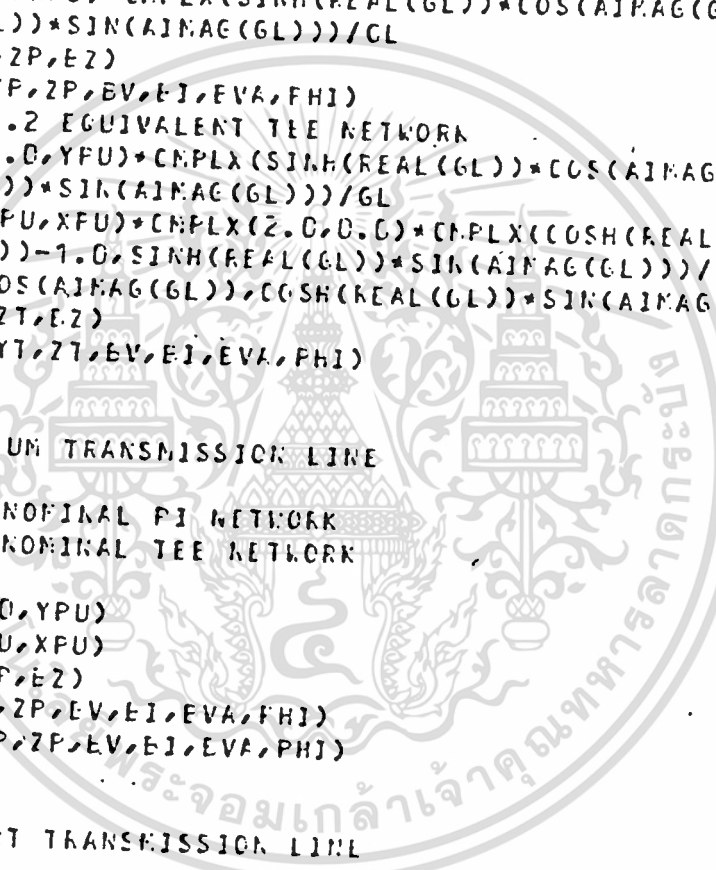
```

120 FORMAT(1H0,145,E15.4,1E3,F15.3,1120,'VOLT')
```

```

888 CONTINUE
999 CONTINUE
STOP

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 และ/หรือในเชิงพาณิชย์อื่น ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C \*\*\*\*\*  
C \*\*\*\*\*

SUBPROGRAM CALCULATE PARAMETER R L C

```

SUBROUTINE RLC(Y,Z,PZ)
  COMPLEX YR(10),ZR(10),Y,Z
  REAL R(10),L(10),C(10),BZ(50)
  DO 10 I=1,2
    ZR(I) = Z * CMPLX(BZ(I),0.0)
    YR(I) = Y / CMPLX(BZ(I),0.0)
    R(I) = REAL(ZR(I))
    L(I) = AIMAG(ZR(I)) / (2.0 * 3.14159 * 50.0)
    C(I) = CAES(YR(I)) / (2.0 * 3.14159 * 50.0)
  10 CONTINUE

```

```

WRITE(6,20)
WRITE(6,30) R(1),L(1),C(1),R(2),L(2),C(2)
RETURN
20 FORMAT(1H0,T27,'R(OHM)',T38,'L(HEMLY)',T51,'C(FARAD)',T77,
  'R(OHM)',T88,'L(HEMLY)',T101,'C(FARAD)')
30 FORMAT(1H0,T26,F6.2,T38,F7.4,T49,E11.4,T70,F6.2,T88,F7.4,
  T99,E11.4)
END

```

SUBPROGRAM CALCULATE V & I BY PI-NETWORK

```

SUBROUTINE VAIFI(Y,Z,PV,EI,FVA,PHI)
  COMPLEX A,B,C,D,VSU,ISU,IRU,ICRU,ICSU,Y,Z,VRL,FU(10),JLU
  REAL VS(10),IS(10),ICS(10),ICR(10),IR(10),VF(10),LOSS(10),EV(50),
  FI(50),EVA(50),LOSSPU,FAG(10),IL(10)
  I = CMPLX(1.0,0.0) + Y * Z / CMPLX(2.0,C.0)
  E = Z
  C = Y * (CMPLX(1.0,0.0) + A) / CMPLX(2.0,L.C)
  D = A
  VSU = CMPLX(1.0,0.0)
  ISU = CMPLX(COS(PHI),SIN(PHI))
  VLU = D * VSU - E * ISU
  IRU = A * ISU - C * VSU
  ICRU = VLU * Y / CMPLX(2.0,0.0)
  ICSU = VSU * Y / CMPLX(2.0,0.0)
  JLU = IRU + ICRU
  LOSSPU = CAES(IRU + ICRU) ** 2 * RE / L(2)
  FU(1) = VSU
  FU(2) = ISU
  FU(3) = ICSU
  FU(4) = ICRU
  FU(5) = JLU
  FU(6) = IRU
  FU(7) = VLU
  DO 50 I=1,7
    IF (REAL(FU(I)).NE.0.0) GO TO 40
    IF (AIMAG(FU(I))) 20,10,30
  10 FAG(I) = 0.0
  20 GO TO 50
  30 FAG(I) = -90.0
  40 FAG(I) = 90.0
  50 GO TO 50

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

40 PAG(I)=ATAN(A1FAG(PU(I))/REAL(PU(I)))*180.0/3.14159
   IF (REAL(PU(I)).GT.0.0) GO TO 50
   FAG(I)=FAG(I)+180.0
   IF (PAG(I).GT.180.0) PAG(I)=PAG(I)-360.0
50 CONTINUE
   PHIR= -(PAG(7)-PAG(6))*3.14159/180.0
   PFR=(COS(PHIR)
   PHIR=PHIR*180.0/3.14159
   DO 60 I=1,2
   VR(I)=(ABS(VRU)*EV(I)
   IR(I)=(ABS(IRU)*EI(I)
   ICS(I)=(ABS(ICSU)*LI(I)
   ICR(I)=(ABS(ICRU)*EI(I)
   JL(I)=(ABS(JLU)*EI(I)
   IS(I)=(ABS(ISU)*EI(I)
   VS(I)=(ABS(VSU)*LV(I)
   LOSS(I)=LOSSFU*FVA(I)
60 CONTINUE
   WRITE(6,70)
   WRITE(6,80) (VS(I),I=1,2),FAG(1)
   WRITE(6,90) (IS(I),I=1,2),FAG(2)
   WRITE(6,100) (ICS(I),I=1,2),FAG(3)
   WRITE(6,110) (ICR(I),I=1,2),FAG(4)
   WRITE(6,120) (JL(I),I=1,2),FAG(5)
   WRITE(6,130) (IR(I),I=1,2),FAG(6)
   WRITE(6,140) (VR(I),I=1,2),FAG(7)
   WRITE(6,150) (LOSS(I),I=1,2)
   WRITE(6,160) PFR,PHIR
   RETURN
70 FORMAT(1H,15,'P1-NETWORK',5X,'(ALL VALUE FOR PHASE)')
80 FORMAT(1H,127,'VS',T45,E15.4,T72,F15.3,T110,'<',F6.1,'>',
  AT120,'VOLT')
90 FORMAT(1H,127,'IS',T45,E15.4,T72,F15.3,T110,'<',F6.1,'>',
  AT120,'AMP')
100 FORMAT(1H,127,'ICS',T45,E15.4,T72,F15.3,T110,'<',F6.1,'>',
  AT120,'AMP')
110 FORMAT(1H,127,'ICR',T45,E15.4,T72,F15.3,T110,'<',F6.1,'>',
  AT120,'AMP')
120 FORMAT(1H,127,'JL',T45,E15.4,T72,F15.3,T110,'<',F6.1,'>',
  AT120,'AMP')
130 FORMAT(1H,127,'IR',T45,E15.4,T72,F15.3,T110,'<',F6.1,'>',
  AT120,'AMP')
140 FORMAT(1H,127,'VR',T45,E15.4,T72,F15.3,T110,'<',F6.1,'>',
  AT120,'VOLT')
150 FORMAT(1H,127,'LOSS',T45,E15.4,T72,F15.3,T120,'WATT')
160 FORMAT(1H,127,'PFR',T45,F15.2,T110,'<',F6.1,'>'//1H(,132('**'))
  END

```

C

```

SUBPROGRAM CALCULATE V & I BY TEE-NETWORK
SUBROUTINE VAITTE(Y,Z,EV,EI,LVA,PHI)
  COMPLEX A,B,C,D,VRU,ISU,ICU,IRU,PU(10),Y,Z,VSU
  REAL VS(10),IS(10),IC(10),IR(10),VR(10),LOSS(10),FV(50),
  FLJ(50),FVA(50),LOSSFU,FAG(10)
  A = CMPLX(1.0,0.0) + Y * Z / CMPLX(2.0,C.0)
  I = Z * (CMPLX(1.0,C.0)+A)/CMPLX(2.0,C.0)
  D=A

```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสำนักงานเพื่อการศึกษาและเผยแพร่โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่มีการคืนใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

VSU=CMPLX(1.0,0.0)
ISU=CMPLX(COS(PHI),SIN(PHI))
VRU=D*VSU-E*ISU
IRU=A*ISU-C*VSU
ICU=ISU-IRU
LOSSFU=(CAES(ISU)**2+CAES(IRU)**2)*REAL(2)/2.0
PU(1)=VSU
PU(2)=ISU
PU(3)=ICU
PU(4)=IRU
PU(5)=VRU

```

```

DO 50 J=1,5
IF (REAL(PU(J)).NE.0.0) GO TO 40
IF (AIMAG(PU(J))) 20,10,30

```

```
10 FAC(1)=0.0
```

```
GO TO 50
```

```
20 FAC(1)=-90.0
```

```
GO TO 50
```

```
30 FAC(1)=90.0
```

```
GO TO 50
```

```
40 FAC(1)=ATAN(AIMAG(PU(J))/REAL(PU(J)))*180./3.14159
IF (REAL(PU(J)).GT.0.0) GO TO 50

```

```
FAC(1)=FAC(1)+180.0
```

```
IF (FAC(1).GT.180.0) FAC(1)=FAC(1)-360.0
```

```
50 CONTINUE
```

```
PHIE=-(FAC(5)-FAC(4))*3.14159/180.0
```

```
PFF=COS(PHIE)
```

```
PHIR=PHIE*180./3.14159
```

```
DO 60 J=1,2
```

```
VF(J)=CAES(VRU)*EV(J)
```

```
IR(J)=CAES(IRU)*EI(J)
```

```
IC(J)=CAES(ICU)*EI(J)
```

```
IS(J)=CAES(ISU)*EI(J)
```

```
VS(J)=CAES(VSU)*EV(J)
```

```
LOSS(J)=LOSSFU*EVA(J)
```

```
60 CONTINUE
```

```
WRITE(6,70)
```

```
WRITE(6,80) (VS(J),J=1,2),P/C(1)
```

```
WRITE(6,90) (IS(J),J=1,2),FAC(2)
```

```
WRITE(6,100) (IC(J),J=1,2),FAC(3)
```

```
WRITE(6,110) (IR(J),J=1,2),FAC(4)
```

```
WRITE(6,120) (VF(J),J=1,2),FAC(5)
```

```
WRITE(6,130) (LOSS(J),J=1,2)
```

```
WRITE(6,140) PFF,PHIR
```

```
RETURN
```

```
70 FORMAT(1H0,15,'TITLE-NETWORK',3Y,'(ALL VALUE PER PHASE)')//
```

```
80 FORMAT(1H ,127,'VS',145,E15.4,172,F15.3,1100,'<',F6.1,'>',1120,'VOLT')
```

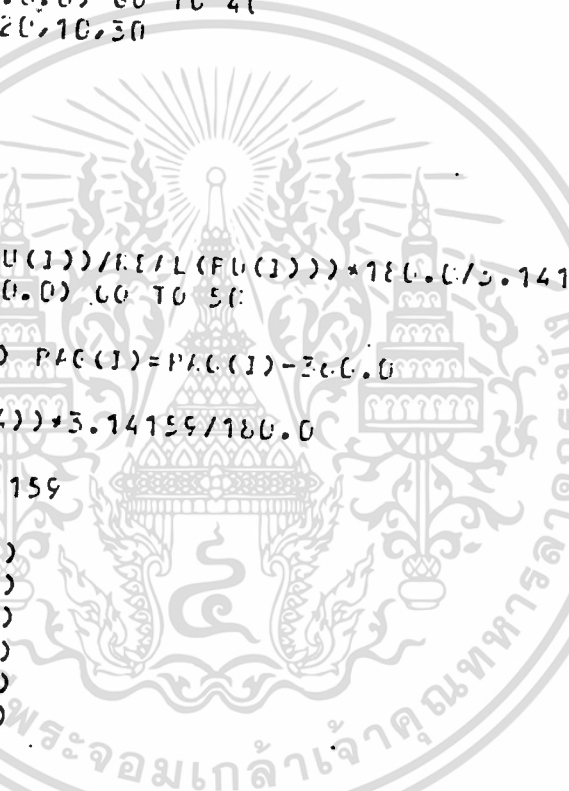
```
90 FORMAT(1H ,127,'IS',145,E15.4,172,F15.3,1100,'<',F6.1,'>',1120,'AMP')
```

```
100 FORMAT(1H ,127,'IC',145,E15.4,172,F15.3,1100,'<',F6.1,'>',1120,'AMP')
```

```
110 FORMAT(1H ,127,'IR',145,E15.4,172,F15.3,1100,'<',F6.1,'>',1120,'AMP')
```

```
120 FORMAT(1H ,127,'VR',145,E15.4,172,F15.3,1100,'<',F6.1,'>',1120,'VOLT')
```

```
130 FORMAT(1H ,127,'LOSS',145,E15.4,172,F15.3,1100,'<',F6.1,'>',1120,'WATT')
```



```
130 FORMAT(1H ,T27,'LOSS',T45,E15.4,T72,F15.3,T120,'WATT')
140 FORMAT(1H ,T27,'FF',T45,F15.2,T100,'<',F6.1,'>'//1H0,T32('**'))
END
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ปริญญาพนธ์, "ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง"

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2530-2532

2. ชำนาญ ห่อเกียรติ, "ระบบไฟฟ้ากำลัง"

3. William D. Stevenson, Jr., "Element of power system analysis",

Mcgraw-Hill, 436 P, 1985

4. T.S. Madhava Rao, "Power System Protection, Static Relay"

Mcgraw-Hill, 705 P., 1979

