ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

POWER SYSTEM SIMULATION

นางสาวจารุรัตน์ สินธุสนธิชาติ

MISS JARURAT SINTHUSONTHICHAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2540

ISBN 974-621-981-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 28880
วัน, เดือน, ปี 10 พ.ย. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

POWER SYSTEM SIMULATION

JARURAT SINTHUSONTHICHAT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE

MASTER OF ENGINEERING IN ELETRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1997

ISBN 974-621-981-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง
นักศึกษา	นางสาวจารุรัตน์ สินธุสนธิชาติ
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2540

บทคัดย่อ

ระบบไฟฟ้ากำลังจำลองนี้เป็นการสร้างระบบจำลองการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และการป้องกันระบบไฟฟ้าเลียนแบบระบบใช้งานจริง ค่าพารามิเตอร์และอุปกรณ์ต่างๆของชุดจำลองนี้ได้มาจากการใช้วิธีเปอร์ยูนิตเปรียบเทียบกับระบบจริง อุปกรณ์ทั้งหมดที่จัดสร้างและจัดทำขึ้นใช้การเลียนแบบหลักการและคุณสมบัติของอุปกรณ์จริง เริ่มตั้งแต่การผลิตไฟฟ้าจากโรงจักรไฟฟ้าแล้วเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยมีลานไกไฟฟ้าที่มีหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น ผ่านสายส่งกำลังไฟฟ้าจำลองไปยังสถานีไฟฟ้าย่อยสุดท้ายที่มีหม้อแปลงไฟฟ้าลดแรงดันไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้แก่โหลดหรือผู้ใช้ไฟฟ้า พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อป้องกันความผิดปกติต่างๆที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบส่งจ่ายไว้ที่ลานไกไฟฟ้าและสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย โดยได้จำลองความผิดปกติต่างๆที่อาจเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าจริงมาใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังจำลองนี้ เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของระบบส่งจ่าย ระบบป้องกัน และการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดความผิดปกติซึ่งมีประโยชน์เป็นอย่างมากทั้งในด้านการฝึกอบรม และการทดลอง เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Power System Simulation
Student	Miss Jarurat Sinthusonthichat
Thesis Advisor	Asst. Prof. Siriwat Potivejkul
Level of Study	Master of Engineering in Eletrical Engineering
Department	Eletrical Engineering Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1997

ABSTRACT

Electrical Power System Simulation is a simulator which models a transmission and protective devices of an actual power system. Simulation parameters and devices were acheieved using the per unit method. All equipment that was constructed refer to the principle and the characteristic of actual equipment. The simulation begins from a voltage generating power plant and a step up transformer in switchyard which steps up the voltage to a level appropriate to a transmission line system. The final substation includes a step down transformer for decreasing the voltage to the suppply voltage level. Protective equipment is installed at switchyard and substation. And the simulation has models abnormal conditions that occur in a real power system, too. This research is useful for studying the characteristics of distribution systems, protection systems and protective equipment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับคำปรึกษา และคำแนะนำจากท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล ผู้วิจัยขอกราบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณสภาวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยนี้ และขอขอบคุณ คุณเทียนไชย นกครุต คุณวสันต์ อู่ยายโสม และคุณพิสัณห์ ถิรวศิน ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์ ตลอดจนเพื่อนๆ และน้องๆทุกคนที่ได้ช่วยเหลือทั้งแรงกายแรงใจจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกคนที่ได้เป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดมา

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้แด่ผู้มีอุปการะคุณทุกท่าน

จารุรัตน์ สินธุสนธิชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญภาพ VII

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาของโครงงาน 1

ขอบเขตโครงงาน 2

การจำแนกระบบไฟฟ้ากำลัง 3

2 ทฤษฎี และหลักการ 7

การผลิตพลังงานไฟฟ้า 7

หลักการจำลองสายส่ง 8

ทฤษฎีและหลักการทำงานของระบบป้องกัน 11

ส่วนรับรู้ 11

รีเลย์ควบคุม 13

ตัวกระตุ้น 23

อุปกรณ์ตัดกระแส 23

ทฤษฎีและหลักการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้า 25

องค์ประกอบสมมาตร 26

3 โครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 31

โครงสร้างหลักของระบบ 34

โครงสร้างของสายส่ง 35

โครงสร้างของอุปกรณ์ป้องกัน 40

โครงสร้างการจำลองความผิดปกติ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

4 วงจร และการทำงาน 56
วงจรหลัก 56
วงจรอุปกรณ์ป้องกัน 62
5 วิธีทดสอบและผลการทดสอบ 90
การทดสอบการใช้งานตัวเหนี่ยวนำ 90
การทดสอบการใช้งานอินสทรูเมนต์ทรานสฟอร์มเมอร์ 90
การทดสอบแผงสายส่ง 93
การทดสอบอุปกรณ์ป้องกัน 95
การทดสอบระบบไฟฟ้ากำลัง 104
6 บทสรุป วิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ 108
วิเคราะห์ผล 108
บทสรุป 116
ข้อเสนอแนะ 117
บรรณานุกรม 118
ภาคผนวก 120
ภาคผนวก ก 121
ภาคผนวก ข 125
ประวัติผู้เขียน 132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่

1 รายการอุปกรณ์วงจรโอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์ 67
2 รายการอุปกรณ์ออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์ 72
3 รายการอุปกรณ์โอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์ 79
4 รายการอุปกรณ์เฟสซีเคว้นท์รีเลย์ 85
5 รายการอุปกรณ์เอิร์ธลีกเกจรีเลย์ 89
6 ผลการทดสอบหม้อแปลงกระแสขนาด 640/5 91
7 ผลการทดสอบหม้อแปลงกระแสขนาด 320/5 91
8 ผลการทดสอบหม้อแปลงแรงดันขนาด 127/5 92
9 ผลการทดสอบสายส่งระยะสั้น 94
10 ผลการทดสอบสายส่งระยะปานกลางต่อวงจรแบบพายน์ 94
11 ผลการทดสอบสายส่งระยะปานกลางต่อวงจรแบบที 95
12 ความสัมพันธ์ของกระแส และเวลาที่ภาระโหลดต่างๆในแต่ละค่า
การตั้งเวลาอินเวอร์ส 97
13 ผลการทดสอบการทำงานของโอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์ 102
14 ผลการทดสอบการทำงานของเฟสซีเคว้นท์รีเลย์ 104
15 ผลการทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังจำลองในสภาวะปกติที่เงื่อนไขภาระโหลดต่างๆ 106
16 ผลการทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังจำลองในสภาวะเกิดความผิดปกติที่เงื่อนไขต่างๆ 107
17 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณกับ
ค่าที่ได้จากการทดสอบของสายส่งระยะสั้นที่จัดทำขึ้น 108
18 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณกับ
ค่าที่ได้จากการทดสอบของสายส่งระยะปานกลางต่อแบบพายน์ที่จัดทำขึ้น 109
19 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณกับ
ค่าที่ได้จากการทดสอบของสายส่งระยะปานกลางแบบทีที่จัดทำขึ้น 109
20 เปรียบเทียบลักษณะการทำงานของรีเลย์ที่จัดทำขึ้นกับรีเลย์ที่ใช้ในระบบจริง 111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

1 ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวและบล็อกไดอะแกรมของระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง 4
2 วงจรสมมูลย์ของสายส่งระยะสั้น 8
3 วงจรสมมูลย์ของสายส่งระยะปานกลางต่อแบบพายน์ 9
4 วงจรสมมูลย์ของสายส่งระยะปานกลางต่อแบบที 9
5 ขั้นตอนการทำงานของสวิทช์เกียร์ 11
6 การแบ่งเขตการป้องกันสำหรับรีเลย์หลักในระบบไฟฟ้ากำลัง 15
7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแส และเวลาการทำงานของโอเวอร์เคอเรนท์รีเลย์ ชนิดหน่วงเวลาการทำงานแบบต่างๆ 18
8 วิธีการต่อรีเลย์กระแสเกินในวงจรป้องกัน 19
9 การต่อหม้อแปลงกระแสและรีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดิน 22
10 สัญลักษณ์ของคอนแทครีเลย์ 22
11 ทรี-เฟส ฟอลต์ 25
12 ซิงเกิลไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ 25
13 ฟอลต์ระหว่างสาย 26
14 ดับเบิ้ลไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ 26
15 ระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่ได้จัดทำขึ้น 32
16 โครงสร้างระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่จัดทำเป็นตู้อุปกรณ์ 32
17 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ของสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 36
18 ขั้นตอนการคำนวณหาค่าสมมูลย์ทางไฟฟ้าใหม่ 38
19 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน 42
20 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของรีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติ 44
21 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติ 46
22 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเฟสซีเควันท์รีเลย์ 47
23 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเอิร์ทลีกเกจรีเลย์ 49
24 แสดงการจำลองการเกิดกระแสลัดวงจร 50
25 ขนาดแผ่นเบคกาไลน์ ที่ใช้สำหรับป๊อบบิ้น 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

26 โครงสร้างของตัวเหนี่ยวนำที่จัดทำขึ้น 54
27 ฟังก์ชันเครื่องมือวัดหลักของโครงสร้างการป้องกันสายส่ง 55
28 วงจรกำลัง 57
29 วงจรควบคุมระบบป้องกันในส่วน A 60
30 วงจรควบคุมระบบป้องกันในส่วน B 60
31 วงจรควบคุมระบบป้องกันในส่วน C 61
32 วงจรควบคุมระบบป้องกันในส่วน D 61
33 วงจรควบคุมการเกิดความผิดปกติระหว่างสาย 62
34 วงจรควบคุมการเกิดความผิดปกติระหว่างสายเฟสกับกราวด์ 62
35 วงจรโอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์ 63
36 ลายทองแดงวงจรโอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์ 64
37 การจัดวางอุปกรณ์วงจรโอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์ 66
38 วงจรออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์ 70
39 ลายทองแดงวงจรออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์ 71
40 การจัดวางอุปกรณ์วงจรออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์ 73
41 วงจรโอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์ 75
42 ลายทองแดงวงจรโอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์ 76
43 การจัดวางอุปกรณ์วงจรโอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์ 78
44 วงจรเฟสซีเควันท์รีเลย์ 82
45 ลายทองแดงวงจรเฟสซีเควันท์รีเลย์ 83
46 การจัดวางอุปกรณ์วงจรเฟสซีเควันท์รีเลย์ 84
47 วงจรเอิร์ธลีกเกจรีเลย์ 87
48 ลายทองแดงวงจรเอิร์ธลีกเกจรีเลย์ 88
49 การจัดวางอุปกรณ์วงจรเอิร์ธลีกเกจรีเลย์ 88
50 วงจรการทดสอบหม้อแปลงกระแส 90
51 วงจรการทดสอบหม้อแปลงแรงดัน 92
52 วงจรการทดสอบสายส่งระยะสั้น 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

53 วงจรการทดสอบสายส่งระยะปานกลางต่อวงจรแบบพายน์ 93
54 วงจรการทดสอบสายส่งระยะปานกลางต่อวงจรแบบที 93
55 วงจรการทดสอบรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน 95
56 หน้าปัทของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน 96
57 จุดต่อด้านหลังของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน 96
58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และกระแส 98
59 วงจรการทดสอบออโต้รีโคลสชิ่งรีเลย์ 99
60 หน้าปัทของออโต้รีโคลสชิ่งรีเลย์ 99
61 จุดต่อด้านหลังของออโต้รีโคลสชิ่งรีเลย์ 99
62 วงจรการทดสอบโอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์ 100
63 หน้าปัทของโอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์ 100
64 จุดต่อด้านหลังของโอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์ 101
65 วงจรการทดสอบเฟสซีเควันท์รีเลย์ 103
66 หน้าปัทของเฟสซีเควันท์รีเลย์ 103
67 จุดต่อด้านหลังของเฟสซีเควันท์รีเลย์ 103
68 วงจรการทดสอบเอิร์ธลีกเกจรีเลย์ 105
69 หน้าปัทของเอิร์ธลีกเกจรีเลย์ 105
70 จุดต่อด้านหลังของเอิร์ธลีกเกจรีเลย์ 105
71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางด้านต้นทาง ค่าทางด้านปลายทาง ที่ได้จากการทดสอบ และค่าทางด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ของกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของสายส่งระยะสั้น 114
72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางด้านต้นทาง ค่าทางด้านปลายทาง ที่ได้จากการทดสอบ และค่าทางด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ของกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของสายส่งระยะปานกลางต่อแบบพายน์ 115
73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางด้านต้นทาง ค่าทางด้านปลายทาง ที่ได้จากการทดสอบ และค่าทางด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ของกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของสายส่งระยะปานกลางต่อแบบที 115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาของโครงงาน

ในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นต้องใช้เงินลงทุนเป็นจำนวนมากเพื่อทำการผลิต ส่ง จ่าย และจำหน่ายกำลังไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการออกแบบและการจัดการระบบไฟฟ้ากำลังให้มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังจุดที่มีการใช้ไฟฟ้าให้มีความเชื่อถือได้ รวมทั้งนำพลังงานต่างๆ มาใช้ผลิตไฟฟ้าให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อส่งไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ในราคาถูก

ในสภาวะปกติกระแสไฟฟ้าจะไหลจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าผ่านตัวนำทองแดงหรืออลูมิเนียมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังหม้อแปลงไฟฟ้า สายส่งไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อต่อไปยังภาระโหลด กระแสไฟฟ้าไหลในเส้นทางที่กำหนดได้นี้เพราะมีฉนวนหุ้มตัวนำอยู่ โดยทั่วไปฉนวนไฟฟ้าจะเป็นอากาศหรือวัสดุที่มีความต้านทานจำเพาะสูง ฉนวนที่เป็นอากาศอาจเกิดการลัดวงจรจากกิ่งไม้ล้มพาดใส่ ฉนวนที่เป็นสารอินทรีย์อาจเสื่อมคุณภาพเนื่องจากความร้อน หรืออาจเบรคดาวน์เนื่องจากแรงดันคลื่นฟ้าผ่า หรือคลื่นสวิทซ์ชิ่ง หรือเกิดการวาบไฟตามผิวที่ฉนวนลูกถ้วย ฉนวนลูกถ้วยอาจเกิดทางผ่านกระแสไฟฟ้าเนื่องจากฝุ่น เป็นต้น ฟอลต์ที่เกิดขึ้นกับส่วนสำคัญของระบบอาจทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพได้ เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นพลังงานไฟฟ้าปริมาณมหาศาลสามารถทำความเสียหายหรือกระทบกระเทือนต่อระบบไฟฟ้ากำลังได้

ความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังนอกเหนือจากการลัดวงจรหรือฟอลต์ ซึ่งให้ผลเสียหายมากมายแล้ว ยังมีความผิดปกติอื่นๆเช่น การเกิดสภาวะแรงดันไฟฟ้าสูง หรือต่ำกว่าปกติอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าไม่ปกติ, การเรียงลำดับเฟสผิด, การเกิดความถี่ต่ำ อันเนื่องมาจากกำลังผลิตทางไฟฟ้าไม่เพียงพอกับภาระโหลด, การใช้งานเกินกำลังของอุปกรณ์ไฟฟ้า, การเกิดความถี่สูงอันเนื่องมาจากการตัดวงจรของเซอร์กิตเบรคเกอร์ขณะจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นต้น ระบบไฟฟ้ากำลังที่ดีไม่ได้หมายถึงระบบที่มีการผลิตและจ่ายไฟได้อย่างเดียว แต่ต้องมีการเลือกใช้อุปกรณ์ที่สามารถป้องกันหรือทนต่อเหตุการณ์ผิดปกติที่เกิดขึ้นได้โดยไม่ก่อความเสียหายให้แก่ระบบ ความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังเป็นเรื่องปกติที่ไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงได้หมด แต่อาจทำให้เกิดน้อยครั้งลงได้ด้วยวิธีการต่างๆเช่นการออกแบบระบบควบคุมที่ดี การจัดหากำลังผลิตให้เพียงพอกับโหลดในปัจจุบัน และอนาคต การออกแบบฉนวนที่เพียงพอ การมีระเบียบในการทำงาน และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบำรุงรักษาที่ถูกต้อง เป็นต้น ในทางปฏิบัติ เนื่องจากขีดจำกัดทางเศรษฐกิจไม่สามารถออกแบบระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อหลีกเลี่ยงความผิดปกติได้อย่างสมบูรณ์ แต่เราอาจเพิ่มมาตรการเพื่อลดผลเสียหายเนื่องจากฟอลต์และความผิดปกติได้ เช่น การออกแบบเพื่อจำกัดขนาดกระแสลัดวงจร การออกแบบตัวนำให้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทนแรงเค้นและความร้อนสูงในช่วงเวลาสั้น ๆ และที่สำคัญที่สุดคือ การออกแบบระบบรีเลย์ป้องกัน[1]

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าระบบป้องกันเป็นสิ่งจำเป็นมากและจะขาดเสียไม่ได้เลยในระบบไฟฟ้ากำลังทุกระบบ ซึ่งรวมไปถึงระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่เราได้ทำการปรับปรุงขึ้นมานี้ด้วย การจำความผิดปกติต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ในระบบไฟฟ้ากำลังมีดังนี้

1. การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร
2. การเกิดกระแสเกิน
3. การเกิดแรงดันสูงเกินหรือต่ำเกิน
4. การเกิดไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน
5. การเรียงเฟสผิด

<u>ขอบเขตของโครงงาน</u>

ระบบไฟฟ้ากำลังจำลองนี้เป็นการสร้างระบบจำลองการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และการป้องกันระบบไฟฟ้าเลียนแบบระบบใช้งานจริง ค่าพารามิเตอร์และอุปกรณ์ต่างๆของชุดจำลองนี้ได้มาจากการใช้วิธีเปอร์ยูนิตเปรียบเทียบกับระบบจริงง อุปกรณ์ทั้งหมดที่จัดสร้างและจัดทำขึ้นใช้การเลียนแบบหลักการและคุณสมบัติของอุปกรณ์จริง เริ่มตั้งแต่การผลิตไฟฟ้าจากโรงจักรไฟฟ้าแล้วเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยมีลานไกไฟฟ้าที่มีหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น ผ่านสายส่งกำลังไฟฟ้าจำลองไปยังสถานีไฟฟ้าย่อยสุดท้ายที่มีหม้อแปลงไฟฟ้าลดแรงดันไฟฟ้า เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้แก่โหลดหรือผู้ใช้ไฟฟ้า พร้อมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อป้องกันความผิดปกติต่างๆที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบส่งจ่ายไว้ที่ลานไกไฟฟ้าและสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย โดยได้จำลองความผิดปกติต่างๆที่อาจเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าจริงมาใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังจำลองนี้ เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของระบบส่งจ่าย ระบบป้องกัน และการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดความผิดปกติซึ่งมีประโยชน์เป็นอย่างมากทั้งในด้านการฝึกอบรม และการทดลอง เพื่อศึกษาลักษณะการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำแนกระบบไฟฟ้ากำลัง

ระบบไฟฟ้ากำลังจำแนกออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

1. ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า (Generating System) หรือโรงจักรไฟฟ้า (Power Plant)

โรงจักรไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่จะจ่ายเข้าสู่ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย

- ส่วนที่ผลิตไฟฟ้า
- ลานไกไฟฟ้า (Switchyard)
- ส่วนป้องกันการเดินเครื่อง
- ส่วนควบคุมเครื่อง

สำหรับระบบแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ มีหลายระดับแรงดันทั้งที่จ่ายออกในระบบอาทิเช่น 13.9 KV, 11 KV และ 3.5 KV แล้วเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น โดยมีลานไกไฟฟ้าเป็นส่วนที่เพิ่มแรงดันเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งมีระดับแรงดันไฟฟ้า 500 KV, 230 KV, 115 KV และ 69 KV โดยที่สายส่งแรงสูงนี้ต่อถึงกันเกือบทุกแหล่งผลิตทั่วประเทศ ทำให้ระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นไปอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ

2. ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission System) ซึ่งประกอบด้วย

2.1 สายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission line) เป็นชุดของสายตัวนำสำหรับส่งพลังงานไฟฟ้าที่ระดับแรงดันสูงๆจากโรงจักรไฟฟ้าไปยังสถานีเปลี่ยนแรงดัน ซึ่งเป็นการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังผู้ใช้ และเป็นการส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตต่างๆ กันไปยังศูนย์กลางของภาระโหลดในกรณีที่มีแหล่งผลิตหลายแห่งอยู่ห่าง ๆ กัน นอกจากนี้ยังเป็นการเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังอีกแหล่งผลิต ในกรณีที่แหล่งผลิตหนึ่งมีกำลังผลิตไม่เพียงพอก็สามารถรับจากอีกแหล่งผลิตหนึ่งได้

ประโยชน์ของการเชื่อมโยงสายส่งกำลังไฟฟ้า ได้แก่

- สามารถถ่ายเทพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตหนึ่งไปยังอีกแหล่งผลิตหนึ่งทำให้ช่วยลดแหล่งผลิตกำลังผลิตไฟฟ้าในขณะที่มีการใช้ไฟฟ้าไม่มากลงได้ ซึ่งช่วยให้ประหยัดพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า
- สามารถเชื่อมโยงแหล่งผลิตพลังงานหลายๆ ชนิดถึงกันได้ซึ่งช่วยให้สามารถวางโปรแกรมการเดินเครื่องอย่างประสิทธิภาพ
- ช่วยให้ระบบมีความมั่นคงในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีแหล่งผลิตไฟฟ้าเสริมกันอยู่หลายแหล่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 สถานีเปลี่ยนแรงดัน (Substation) เป็นแหล่งที่รับพลังงานไฟฟ้าจากสายส่งหรือจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเพื่อถ่ายผ่านสู่ระบบจำหน่าย ประกอบด้วย

- ส่วนเปลี่ยนแรงดัน
- ส่วนตัดตอน
- ส่วนควบคุม
- ส่วนป้องกันระบบ เป็นต้น

หน้าที่และจุดประสงค์ของสถานีเปลี่ยนแรงดัน

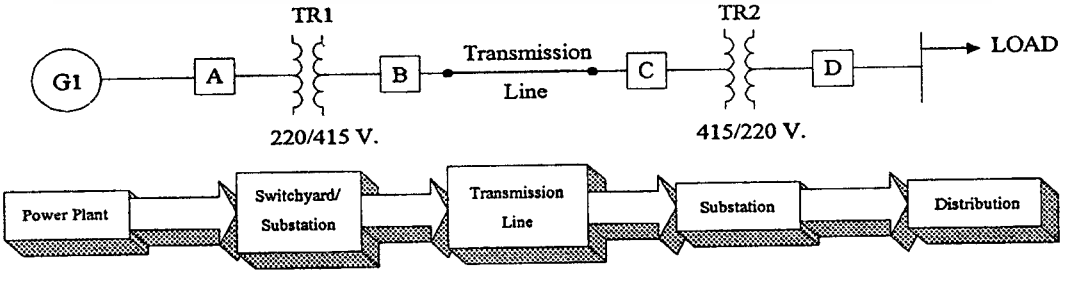
1. เป็นจุดเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า
2. เป็นจุดปรับระดับแรงดันไฟฟ้าของระบบให้คงที่
3. เป็นจุดเชื่อมระบบสายส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำหน้าที่ในการตัดตอนออกจากระบบและนำเข้าสู่ระบบ
4. เป็นจุดวัดปริมาณทางไฟฟ้า เช่น แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า เป็นต้น
5. เป็นจุดเชื่อมโยงระบบสื่อสาร และการป้องกันในระบบสายส่ง
6. เป็นตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า อุปกรณ์ตัดตอน อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินพิกัดและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จำเป็น

3. ระบบจำหน่ายกระแสไฟฟ้า (Distribution System) ซึ่งประกอบด้วย

- สายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงที่จ่ายจากสถานีเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า
- หม้อแปลงลดแรงดันไฟฟ้า
- สายจำหน่ายแรงดันต่ำที่จ่ายให้แก่โหลดหรือผู้ใช้ไฟฟ้า

ภาพที่ 1

ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวและบล็อกไดอะแกรมของระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง



สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่จัดสร้างและจัดทำขึ้นสามารถแสดงให้เห็นในรูปไดอะแกรมเส้นเดี่ยวและบล็อกไดอะแกรมได้ดังภาพที่ 1 ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ส่วนผลิตพลังงานไฟฟ้า (Generator Station)
2. ส่วนเพิ่มแรงดันไฟฟ้า (Step-up Transformer)
3. ส่วนสายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission Line)
4. ส่วนลดแรงดันไฟฟ้า (Step-down Transformer)
5. ส่วนของโหลด (Load)
6. ส่วนของระบบป้องกัน (Protection) ได้แก่ A, B, C, D

โดยที่เราจะจำลองส่วนต่าง ๆ เหล่านี้ได้ในห้องทดลองดังนี้

ส่วนผลิตพลังงานไฟฟ้า

ในระบบจริงจะเป็นโรงจักรไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดพิกัดใหญ่มากๆ แต่ในระบบจำลองเราจะแทนด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มาจากระบบในห้องทดลองโดยใช้กำลังไฟฟ้าขนาด 5 กิโลวัตต์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ ระบบไฟฟ้า 3 เฟส 4 สาย

ส่วนเพิ่มแรงดันไฟฟ้า

เนื่องจากเราเลือกค่าแรงดันไฟฟ้าที่จะป้อนให้สายส่งไฟฟ้ามีขนาด 415 V (เลือกตามความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่ใช้ทำสายส่ง) ดังนั้นหม้อแปลงที่ไฟฟ้าที่ใช้จึงออกแบบให้มีขนาดพิกัดเป็น 7.5 KVA 220/415 V ต่อแบบสตาร์-สตาร์ (Y-Y) ในระบบจริงจะมีขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าเป็นเมกกะวีเอ (MVA) และขนาดแรงดันไฟฟ้าในระดับกิโลโวลต์ (KV)

ส่วนสายส่งกำลังไฟฟ้า

ในส่วนนี้อาศัยการวิเคราะห์หาวงจรสมมูลย์ของสายส่งแบบต่างๆ ในรูปของค่าความต้านทาน ค่าตัวเหนี่ยวนำ และค่าตัวเก็บประจุสร้างเป็นวงจรแทนสายส่งที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน (R), ตัวเหนี่ยวนำ (L), และตัวเก็บประจุ (C) โดยจำลองจากสายส่งที่มีความยาวต่าง ๆ กัน การหาค่า RLC นี้ค่อนข้างจะยุ่งยากเพราะเมื่อหาค่า RLC ที่ระดับจริงได้แล้ว จึงใช้วิธีเปอร์ยูนิตแปลงมาที่ระบบจำลอง แต่ค่า C ที่ได้อาจจะมีค่าไม่ตรงกับค่า C ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงต้องมีการเลือกค่ากระแสของระบบจำลองใหม่เพื่อให้ค่า C มีขนาดตรงกับค่า C ที่เราสามารถหาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนลดแรงดันไฟฟ้า

เป็นหม้อแปลงที่ทำหน้าที่ลดแรงดันจากสายส่งให้มีค่าต่ำลงมาจ่ายให้กับโหลด ซึ่งเราเลือกระดับแรงดันที่จ่ายให้กับโหลดมีขนาดเท่ากับ 220 V ดังนั้นหม้อแปลงของส่วนนี้จึงออกแบบให้มีขนาดพิกัด 7.5 KVA 415/220 V ต่อแบบ Y-Y

ส่วนของโหลด

ในระบบจริงก็คือผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งเราจะแทนด้วยโหลดที่หาได้ในห้องทดลอง ซึ่งสามารถจำลองแทนภาวะการใช้ไฟฟ้าทั้งที่เป็น Unity power factor, Lagginng power factor และ Leading power factor

ส่วนของระบบป้องกัน

ระบบป้องกันแบ่งออกเป็น 4 โซนด้วยกันคือ โซน A, โซน B, โซน C และ โซน D ในแต่ละโซนมีจำนวน และชนิดของอุปกรณ์ป้องกันแตกต่างกันไปดังนี้คือ

โซน A ประกอบด้วย รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน รีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติ รีเลย์ป้องกันการเกิดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินหรือต่ำเกินกว่าปกติ รีเลย์ป้องกันการเกิดไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน

โซน B ประกอบด้วย รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน และรีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติ

โซน C ประกอบด้วย รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน และรีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติ

โซน D ประกอบด้วย รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน รีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติ รีเลย์ป้องกันการเกิดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินหรือต่ำเกินกว่าปกติ รีเลย์ป้องกันการเกิดไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน และรีเลย์ป้องกันการเรียงเฟสผิด

อุปกรณ์ป้องกันนี้ได้จัดสร้างขึ้นใหม่ทั้งหมดโดยใช้หลักการและลักษณะการทำงานเลียนแบบอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในระบบจริง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ป้องกันแบบอิเลกทรอนิกส์ชนิดโซลิดสเตทรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และหลักการ

การผลิตพลังงานไฟฟ้า

ขบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตพลังงานไฟฟ้าป้อนเข้าสู่ระบบในระดับแรงดันไฟฟ้า 18-24 kV จากนั้นจะเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเป็น 115-765 kV เข้าสู่สายส่งไฟฟ้า ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้อยู่คือแรงดันไฟฟ้าสูงมาตราฐานหรือสแตนดาร์ดไฮโวลเตจ (HV) พิกัด 115, 230 kV ระดับแรงดันไฟฟ้าสูงพิเศษหรือเอ็กซ์ตร้าไฮโวลเตจ (EHV) พิกัด 500, 765 kV และยังมีการวิจัยเพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้เป็นแรงดันไฟฟ้าสูงพิเศษมากหรือเดอะอุลตร้าไฮโวลเตจ (UHV) พิกัด 1000-1500 kV อีกด้วย

หลักการจำลองสายส่ง

ในการศึกษาถึงการคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ตำแหน่งใดๆในระบบสายส่งจะทำให้เข้าใจเกี่ยวกับประสิทธิผลของพารามิเตอร์ต่างๆของสายส่งบนแรงดันบัส ประสิทธิภาพของสายส่ง การสูญเสีย และข้อจำกัดของการไหลของกำลังไฟฟ้า ส่วนหนึ่งของโครงงานวิจัยและพัฒนาเรื่องนี้เป็นการค้นหาวิธีการจำลองระบบสายส่งไฟฟ้ากำลังแรงสูง ให้สามารถนำมาทดลองได้ในระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำในห้องปฏิบัติการ เพื่อทำการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณทางไฟฟ้าและปรากฏการต่าง ๆที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปสู่ความเข้าใจในการศึกษาที่ระดับแรงดันไฟฟ้าสูง ๆ ซึ่งไม่สามารถจะทดลองได้ในห้องปฏิบัติการ

กรรมวิธีในการคำนวณเพื่อเปลี่ยนจากระบบจริงของสายส่งมาเป็นระบบจำลองนั้นใช้เทคนิคของระบบค่าต่อยูนิต (Per-unit System) เป็นกรรมวิธีการเปลี่ยนสมมูลย์ทางไฟฟ้าของสายส่ง คือ ค่าความต้านทาน, ค่าความเหนี่ยวนำ, ค่าประจุไฟฟ้าในสมมูลย์ทางไฟฟ้าของระบบจริงเพื่อจัดสร้างเป็นอุปกรณ์ที่จะใช้ในห้องปฏิบัติการของระบบจำลอง การคำนวณเพื่อหาค่าปริมาณทางไฟฟ้าของระบบสายส่งกำลังไฟฟ้า อาทิเช่น ระดับแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าส่งจ่าย, กำลังไฟฟ้าสูญเสียและค่าประกอบกำลังที่จุดต่าง ๆ นั้นจะสามารถแบ่งวิธีการคิดคำนวณออกตามระยะความยาวของสายส่งได้เป็น 3 ระยะความยาวคือ

สายส่งระยะสั้น สายมีขนาดความยาวน้อยกว่าหรือเท่ากับ 80 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายส่งระยะปานกลาง สายมีขนาดความยาวมากกว่า 80 กิโลเมตร จนถึง 240 กิโลเมตร

สายส่งระยะไกล สายมีขนาดความยาวมากกว่า 240 กิโลเมตรขึ้นไป

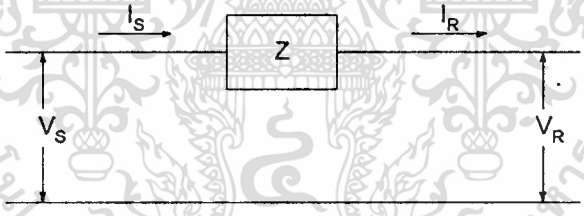
ในกรณีของสายส่งระยะใกล้ และสายส่งระยะปานกลาง สามารถที่จะพิจารณาค่าสมมูลย์ทางไฟฟ้า (R, L, C) ที่ถือว่าการกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ ตามความยาวของสายส่งเป็นค่าองค์ประกอบแบบกลุ่ม (Lumped parmeter) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา และจำลองสายส่งระยะสั้นขนาดพิกัด 100 MVA 230 kV และสายส่งระยะปานกลางขนาดพิกัด 100 MVA 500 kV ทั้งโครงข่ายแบบทีและโครงข่ายแบบพายน์ ซึ่งมีหลักการในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ [3], [4] ดังนี้

สายส่งระยะสั้น

วงจรสมมูลย์ของสายส่งระยะสั้นแสดงได้ดังภาพที่ 2 โดยที่ I_S และ I_R เป็นกระแสไฟฟ้าทางด้านต้นทาง และกระแสไฟฟ้าทางด้านปลายทาง และ V_S และ V_R เป็นแรงดันไฟฟ้าระหว่างไลน์กับนิวทรอลทางด้านต้นทาง และทางด้านปลายทาง

ภาพที่ 2

วงจรสมมูลย์ของสายส่งระยะสั้น



จากวงจรสมมูลย์ของสายส่งระยะสั้นจะเห็นว่าเป็นวงจรกระแสสลับอิมพีแดนซ์ของสายต่ออนุกรมไม่มีแขนชันท์ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าทางต้นทาง และกระแสไฟฟ้าทางด้านปลายทางเป็นดังสมการที่ 2.1 และความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าทางด้านต้นทาง และด้านปลายทางทางเป็นดังสมการที่ 2.2

$$I_S = I_R \qquad \text{... (2.1)}$$

$$V_S = V_R + I_R Z \qquad \text{... (2.2)}$$

เมื่อ Z คือ อิมพีแดนซ์อนุกรมของสายส่งทั้งหมดมีค่าเท่ากับ $R+j\omega L$

การเปลี่ยนแปลงของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางซึ่งแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันโหลดเต็มพิกัดสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ 2.3

$$\text{เปอร์เซ็นต์โวลเตจเรกกูเลชั่น} = \frac{|V_{R,NL}| - |V_{R,FL}|}{|V_{R,FL}|} \times 100 \qquad \text{... (2.3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $|V_{R,NL}|$ เป็นขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางในสภาวะไร้โหลด

$|V_{R,FL}|$ เป็นขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางในสภาวะโหลดเต็มพิกัดที่มี V_S เป็นค่าคงที่ หลังจากที่สายส่งระยะสั้นซึ่งแสดงดังภาพที่ 2 ถูกย้ายไปแล้วแรงดันไฟฟ้าปลายทางขณะที่ไม่มีภาระโหลดย่อมมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าต้นทางนั่นคือ

$$|V_S| = |V_{R,NL}|$$

และ

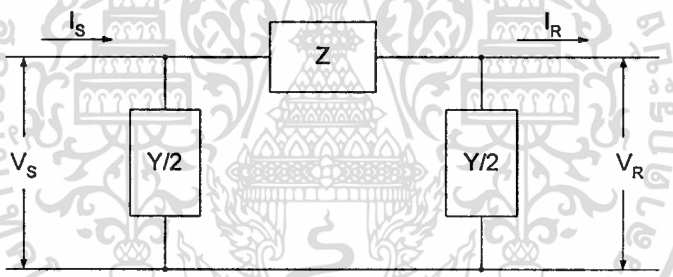
$$|V_R| = |V_{R,FL}|$$

สายส่งระยะปานกลาง

ในการวิเคราะห์สายส่งระยะปานกลางแบ่งวงจรสมมูลย์ออกเป็นสองชนิดด้วยกันคือ **วงจรสมมูลย์แบบ π** และวงจรสมมูลย์แบบ T ดังภาพที่ 3 และภาพที่ 4 ตามลำดับ

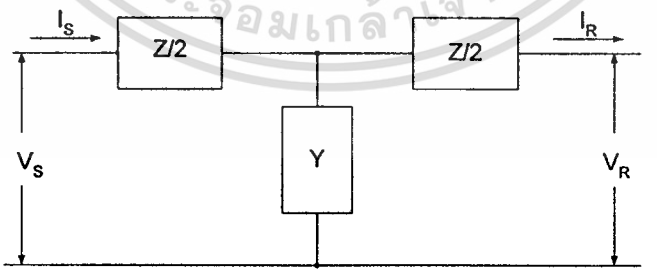
ภาพที่ 3

วงจรสมมูลย์ของสายส่งระยะปานกลางต่อแบบ π



ภาพที่ 4

วงจรสมมูลย์ของสายส่งระยะปานกลางต่อแบบ T



จากวงจรสมมูลย์แบบ π จะเห็นว่าค่าซันท์แอดมิตแตนซ์ (Y) ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่าคาปาซิแตนซ์ (Xc) ทั้งหมดของสายส่งถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่ากัน โดยต่อที่ปลายทางและต้นทางของสาย (Y/2) สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าทางด้านต้นทาง และทางด้านปลายทางเป็นดังสมการที่ 2.4 ส่วนสมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าทางต้นทาง และกระแสไฟฟ้าทางด้านปลายทางเป็นดังสมการที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_S = \left(\frac{ZY}{2} + 1\right)V_R + ZI_R \qquad \text{... (2.4)}$$

$$I_S = Y\left(1 + \frac{ZY}{4}\right)V_R + \left(1 + \frac{ZY}{2}\right)I_R \qquad \text{... (2.5)}$$

ซึ่งเขียนเป็นเมตริกได้ดังสมการที่ 2.6

$$\begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix} \qquad \text{... (2.6)}$$

โดยที่

$$A = D = 1 + \frac{ZY}{2}$$

$$B = Z$$

$$C = Y\left(1 + \frac{ZY}{4}\right)$$

จากวงจรสมมูลย์แบบ T มีค่าแอดมิตแตนซ์ทั้งหมดของสายส่งเป็นแขนชันท์และอิมพีแดนซ์อนุกรมแบ่งเท่าๆ กันระหว่างแขนอนุกรมสองแขนเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าทางด้านต้นทาง และด้านปลายทางเป็นดังสมการที่ 2.7 ส่วนสมการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าทางต้นทาง และกระแสไฟฟ้าทางด้านปลายทางเป็นดังสมการที่ 2.8 โดยแสดงในรูปทั่วไปได้

$$V_S = AV_R + BI_R \qquad \text{... (2.7)}$$

$$I_S = CV_R + DI_R \qquad \text{... (2.8)}$$

$$A = D = 1 + \frac{ZY}{2}$$

$$B = Z\left(1 + \frac{ZY}{4}\right)$$

$$C = Y$$

การเปลี่ยนแปลงของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางซึ่งแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงดันโหลดเต็มพิกัดสามารถวิเคราะห์ได้จากสมการที่ 2.9

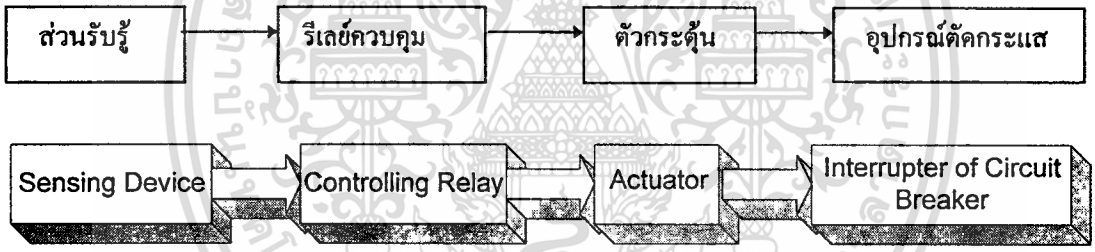
$$\text{เปอร์เซ็นต์โวลเตจเรกกูเลชั่น} = \frac{|V_S|/|A| - |V_{R,FL}|}{|V_{R,FL}|} \times 100 \qquad \text{... (2.9)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎี และหลักการทำงานของระบบป้องกัน

การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังจำเป็นต้องมีการคำนวณปริมาณกระแสไฟฟ้า และศักดาไฟฟ้าของระบบ ในกรณีที่เกิดความผิดปกติ และเกิดการลัดวงจรแบบต่างๆ ทั้งนี้เพื่อให้ทราบขนาด และลักษณะอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในระบบ การเลือกใช้ขนาดอุปกรณ์ที่ไม่ถูกต้อง โดยไม่สามารถรับกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในระบบได้ก็จะทำให้อุปกรณ์นั้นๆ เสียหายได้ ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์สูงมาก เมื่อมีเหตุผิดปกติเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบป้องกันจะทำหน้าที่ตัดตอนวงจรไฟฟ้าส่วนที่เกิดความผิดปกติออกจากระบบโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า " สวิทช์เกียร์ " (Switchgear) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับปิดเปิดวงจรไฟฟ้า และสามารถตัดกระแสไฟฟ้าขณะมีโหลดหรือฟอลต์ได้ ในการใช้สวิทช์เกียร์เพื่อป้องกันระบบจำเป็นจะต้องอาศัยอุปกรณ์ต่างๆที่สำคัญประสานงานกัน 4 ส่วน ดังแผนภูมิที่ 5 คือ ส่วนรับรู้ รีเลย์ควบคุม ตัวกระตุ้น และอุปกรณ์ตัดกระแส

แผนภูมิที่ 5
ขั้นตอนการทำงานของสวิทช์เกียร์



ส่วนรับรู้ (Sensing Device)

อินสทรูเมนท์ทรานสฟอร์มเมอร์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์รับรู้ส่งสัญญาณบอกเหตุมายังรีเลย์ โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ หม้อแปลงกระแสหรือ ซีที (Current Transformer : CT) และหม้อแปลงแรงดันหรือ พีที (Potential Transformer : PT) ซึ่งใช้ในการลดค่ากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมแก่การใช้งานกับมิเตอร์หรืออุปกรณ์ป้องกันหรือรีเลย์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ อินสทรูเมนทรานสฟอร์มเมอร์ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ วงจรไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ วงจรไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ และวงจรสนามแม่เหล็ก ในการนำอินสทรูเมนทรานสฟอร์มเมอร์ไปใช้งานจะต้องคำนึงถึงขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer polarity) ด้วย ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นคุณลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้าที่แสดงความสัมพันธ์ของทิศทางของแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นทางด้านปฐมภูมิกับทิศทางของกระแสทุติยภูมิที่จ่ายให้กับภาระโหลด ในหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด 2 ขดลวด ความสัมพันธ์นี้สามารถอธิบายได้โดยใช้กฎของเลนซ์ ในหม้อแปลงไฟฟ้าส่วนใหญ่นิยมที่จะแสดงทิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางโดยใช้เครื่องหมายจุด (.) บนปลายใดปลายหนึ่งของแต่ละขด ในการกำหนดจุดของหม้อแปลงเหล่านี้ใช้มาตรฐานของ เอ.เอส.เอ (ASA ย่อมาจาก American Standard Association) ในการใช้งานต่อซีทีร่วมกันหรือต่อพีทีร่วมกัน โดยใช้กับมิเตอร์ หรือรีเลย์ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบ 3 เฟส จะต้องต่อขั้วให้ถูกต้อง (ตามแผนผังการวางสายของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ) ถ้าหากต่อผิดขั้ว จะทำให้มิเตอร์อ่านค่าได้ผิดพลาด หรือหากใช้กับรีเลย์ด้วยแล้ว ยิ่งมีความสำคัญมาก หากต่อผิดจะทำให้การทำงานของรีเลย์ไม่เป็นไปตามความต้องการ ฉะนั้นทุกครั้งที่มีการต่อซีทีหรือพีทีใช้งานร่วมกันควรตรวจสอบเสียก่อนว่าเครื่องหมายบนซีทีและพีทีถูกต้องหรือไม่ ถ้าต่อซีทีหรือพีทีใช้งานเพียงตัวเดียวแบบซิงเกิลเฟส (Single Phase) เรื่องขั้วก็ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึง แต่ในกรณีที่ต้องต่อซีทีร่วมกับพีทีในระบบสามเฟส จำเป็นจะต้องให้ถูกขั้วด้วย

หม้อแปลงกระแส หรือซีที (Current Transformer)

ซีที คือ หม้อแปลงกระแสที่ใช้สำหรับลดค่ากระแสจากจำนวนมากที่ต้องการวัด ลงมาเหลือจำนวนน้อย เพื่อให้เหมาะสมแก่การใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น รีเลย์ มิเตอร์ และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ประกอบ ซีทีที่ใช้งานโดยทั่ว ๆ ไปมักจะมีอัตราส่วนเป็น ..../5A เช่น 600/5, 400/5, 300/5, 150/5, 100/5, 75/5 และ 50/5A เป็นต้น ทางด้านทุติยภูมิ อาจจะมีขดลวดเดียวหรือหลายขดก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับงานที่ต้องการจะใช้

ในการพิจารณาใช้ซีทีให้เหมาะสมกับการใช้งาน จะต้องพิจารณาถึงค่าต่าง ๆ ของซีทีดังนี้

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

ความคลาดเคลื่อนของซีทีเกิดขึ้นเนื่องจาก

1. การเปลี่ยนแปลงความถี่ ความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ต่ำลงความต้านทานและความร้อนจะสูงขึ้น เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น
2. การเปลี่ยนรูปลักษณะของคลื่นกระแส (Current Wave Form) ที่ได้อันเนื่องมาจากผลของสัญญาณฮาร์โมนิก แต่การเปลี่ยนแปลงนี้ไม่ทำให้ความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นมากนักสามารถที่จะติดตั้งได้
3. ความคลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจากซีที ตั้งอยู่ใกล้กับสายตัวนำไฟฟ้าที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเป็นจำนวนมาก เช่นประมาณ 2,000 A หรือสูงกว่านั้น เส้นแรงแม่เหล็กจากสายจะเข้าไปเกี่ยวคล้องผ่านแกนเหล็กของซีทีจะก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงกว่าปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการใช้งาน ในการใช้งานไม่ควรใช้ซีที ให้เกินพิกัด หากเกินพิกัดแล้ว ความคลาดเคลื่อนจะมีมาก หากจำเป็นต้องใช้เกินพิกัดไม่ควรจะเกินกว่า 10%

ด้านทุติยภูมิของซีทีหรือด้านกระแสต่ำจะต้องไม่เปิดวงจรไว้ ในขณะที่ด้านปฐมภูมิของซีทีหรือด้านกระแสสูงมีกระแสไหลอยู่ ในกรณีที่เปิดด้านทุติยภูมิไว้ จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กในแกนเหล็กเพิ่มขึ้นซึ่งจะมีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าสูงทางด้านทุติยภูมิ หากแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมาก ฉะนั้นในการปฏิบัติงานถ้าจำเป็นต้องถอดสายทางด้านทุติยภูมิออก จะต้องลัดวงจรที่ขั้วของทางด้านทุติยภูมิไว้ก่อนเสมอ

หม้อแปลงแรงดัน หรือพีที (Potential Transformer)

พีที คือ หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ลดค่าแรงดันไฟฟ้าสูง ๆที่ต้องการวัด ให้เหลือค่าแรงดันต่ำ ๆ ให้เหมาะสมต่อการใช้งานกับมิเตอร์ หรือรีเลย์ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ความคลาดเคลื่อนของพีทีขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 4 อย่างคือ

- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของขดลวดเนื่องจากความต้านทานของขดลวดเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง แต่ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอุณหภูมินี้จะมีค่าน้อยมาก คือ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปประมาณ 45 องศาเซลเซียส ความคลาดเคลื่อนจะมีปริมาณ 0.1% ซึ่งน้อยมากและอาจตัดทิ้งได้

- การเปลี่ยนรูปลักษณะคลื่นของแรงดันอันเนื่องมาจากเกิดฮาร์โมนิกที่สาม(3rd Harmonic) จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย ซึ่งในทางปฏิบัติอาจไม่ต้องคำนึงก็ได้

- ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้า ตามปกติแรงดันต่ำกว่าที่กำหนดจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย แต่จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงเมื่อแรงดันสูงกว่าที่กำหนดนอกจากนี้ยังทำให้เกิดความร้อน ในทางปฏิบัติแรงดันไม่ควรเกิน 10% ของแรงดันที่กำหนด

- ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความถี่ ตามปกติพีทีออกแบบไว้ใช้กับความถี่ขนาดเดียว ซึ่งอาจจะเป็น 50 หรือ 60 เฮิรทซ์ หากใช้พีทีที่ความถี่อื่นซึ่งสูงกว่ามาก จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน แต่ความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมากซึ่งอาจจะตัดทิ้งได้

<u>รีเลย์ควบคุม (Controlling Relay)</u>

ในขณะที่ระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาพผิดปกติเช่น เกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ จำเป็นต้องตัดวงจรไฟฟ้าออกจากระบบด้วยความเร็วสูงมีหน่วยเป็นวินาทีหรือน้อยกว่า เพื่อป้องกันอันตรายและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบพร้อมทั้งยังทำให้ระบบสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อไปได้โดยมีความสูญเสียน้อยที่สุด ซึ่งความเร็วสูงที่ใช้ในการตัดวงจรนี้ ไม่อยู่ในวิสัยที่คนจะไปตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรได้ทัน จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ป้องกันเข้ามาควบคุมและค้นหาสภาพผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบ แล้วสั่งใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดและปิดวงจรด้วยความเร็วสูงโดยอัตโนมัติ เราเรียกอุปกรณ์ป้องกันนี้ว่า "รีเลย์" ลักษณะของรีเลย์ควบคุม ได้แก่ รีเลย์ต่าง ๆ ซึ่งทำหน้าที่รับสัญญาณบอกเหตุจากซีทีหรือพีที แล้วนำสัญญาณบอกเหตุที่ได้นี้มาทำการประมวลผล จากการประมวลผลถ้าพบว่าเกิดความผิดปกติในระบบก็จะทำการส่งสัญญาณ และต่อหน้าสัมผัสไปยังทริปคอยล์ (Trip Coil) หรือโคลสซิ่งคอยล์ (Closing Coil) ของสวิทช์เกียร์ เพื่อให้สวิทช์เกียร์ทำงาน

ระบบรีเลย์ที่ใช้ในการป้องกันการทำงานผิดปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลัดวงจรนั้น แบ่งออกเป็น 2 ชั้น ดังนี้คือ

1. ระบบรีเลย์หลัก หรือ ชั้นต้น (primary relaying) ซึ่งเป็นระบบที่จะทำงานเป็นอันดับแรกเมื่อมีการลัดวงจรเกิดขึ้น โดยต้องออกแบบจัดระบบรีเลย์ให้สามารถป้องกันการเกิดความผิดปกติได้ทั้งระบบไม่ว่าความผิดปกติจะเกิดขึ้นที่ใดรีเลย์จะต้องสามารถรับรู้ และประมวลผลเพื่อสั่งให้มีการตัดวงจรส่วนที่เสียออกจากระบบได้ โดยพยายามแยกส่วนที่เสียออกให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ดังนั้นโดยมากจะแบ่งเขตป้องกันออกเป็นเขตๆแล้วจัดรีเลย์ให้ป้องกันในแต่ละเขตของตน ในการป้องกันระบบไฟฟ้าจะแบ่งเขตการป้องกันตามชนิดของอุปกรณ์[2] ดังภาพที่ 6 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

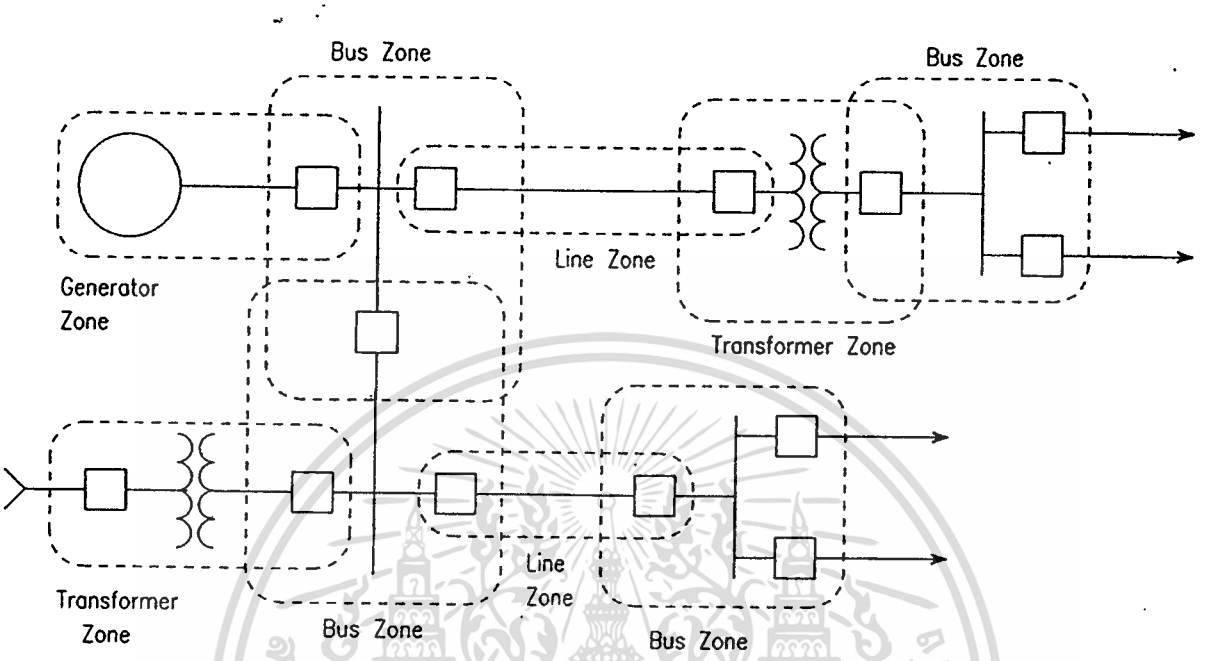
- เขตการป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า-หม้อแปลง ที่ทำงานเป็นหน่วยเดียวกัน (generator or generator transformer unit) : (1)
- เขตการป้องกันหม้อแปลง (transformer) : (2)
- เขตการป้องกันบัส (bus-bar) : (3)
- เขตการป้องกันสายส่ง หรือสายจ่าย (transmission line or distribution line) : (4)
- เขตการป้องกันมอเตอร์ (motor) : (5)

เขตป้องกันที่แบ่งไว้นั้นจะต้องให้คาบเกี่ยวกัน (overlap) เพื่อป้องกันไม่ให้มีจุดบอดขึ้นในระบบป้องกัน ถ้าไม่คาบเกี่ยวกันหากเกิดการลัดวงจรขึ้นบริเวณที่อยู่ระหว่างเขตป้องกันสองเขตจะทำให้ไม่มีรีเลย์ตัวใดทำงาน ซึ่งอาจทำให้เกิดผลเสียหายร้ายแรง การทำให้เขตป้องกันคาบเกี่ยวกันนี้มีผลเสียอยู่บ้างคือ เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นในส่วนที่คาบเกี่ยวกันอยอาจทำให้รีเลย์ในทั้งสองเขตจะสั่งตัดวงจรของทั้งสองเขต ทำให้เกิดการตัดวงจรออกมากเกินความจำเป็น แต่ดีกว่าการปล่อยให้มีจุดบอดซึ่งไม่ได้ป้องกันไว้ในระบบ และโอกาสที่การลัดวงจรจะเกิดขึ้นในจุดดังกล่าวมีน้อย ฉะนั้นการตัดวงจรเกินความจำเป็นจะเกิดขึ้นไม่บ่อยครั้งนัก จะเห็นว่าเมื่อเกิดมีการลัดวงจรขึ้นที่ใดก็ตาม (ยกเว้นในช่วงที่เกี่ยวคาบกันอยู่) ด้วยการแบ่งเขตป้องกันดังกล่าวนี้จะทำให้มีการตัดวงจรเป็นบริเวณที่น้อยที่สุด ดังนั้นวิธีการนี้จึงเป็นที่นิยมใช้โดยทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 6

การแบ่งเขตป้องกันสำหรับรีเลย์หลักในระบบไฟฟ้ากำลัง



2. ระบบรีเลย์รอง หรือชั้นที่สอง (secondary or back-up relaying) ระบบรีเลยนี้เป็นระบบที่ติดตั้งไว้ให้ทำงานในกรณีที่ระบบรีเลย์หลักไม่ทำงานเนื่องจากเสียหรือเหตุอื่น โดยมากระบบรีเลย์ชั้นที่สองจะใช้เฉพาะในกรณีที่ต้องการป้องกันการลัดวงจรเท่านั้น เนื่องจากการลัดวงจรเป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นบ่อย และมีความรุนแรงที่สุด สำหรับรีเลย์ที่ใช้ในหน้าที่อื่นที่ไม่ใช่เพื่อป้องกันการลัดวงจร โดยมากมักไม่ใช้ระบบรีเลย์ชั้นที่สองเพราะจะทำให้ราคาของระบบแพงขึ้นมาก ในการจัดระบบรีเลย์รองจึงควรพยายามหลีกเลี่ยงการใช้อุปกรณ์ หรือวิธีการที่ซ้ำกับระบบรีเลย์หลัก คือจัดให้อยู่คนละสถานีกัน

โดยปกติรีเลย์ป้องกันจะต้องไม่ทำงานในขณะที่ระบบอยู่ในสภาพปกติ แต่จะทำงานทันทีที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบ การใช้รีเลย์ป้องกันจะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดและสภาพของระบบที่จะป้องกันด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการออกแบบติดตั้งรีเลย์ให้เหมาะสมกับระบบที่จะป้องกัน ซึ่งจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้คือ

1. ความเชื่อถือได้ (Reliability) รีเลย์ที่จะนำมาใช้งานต้องทำงานได้ถูกต้องตามคุณสมบัติและขอบเขตที่กำหนดให้ทำงาน

2. ความเร็วในการทำงาน (Speed) ของรีเลย์แต่ละชนิดที่จะนำมาใช้งานต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับระบบที่จะป้องกันว่าต้องการใช้ความเร็วสูงเท่าใดในการสั่งปิดและเปิดเซอร์กิตเบรคเกอร์ เพื่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเลือกจัดระบบ (Selectivity) จะต้องออกแบบให้รีเลย์เลือกและสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ตัวที่อยู่ใกล้ส่วนที่เกิดฟอลต์มากที่สุดตัดวงจรเฉพาะส่วนนั้นออกไป โดยให้กระทบกระเทือนต่อระบบหลักน้อยที่สุด ซึ่งจะต้องจัดระบบการทำงานของรีเลย์ในแต่ละส่วนของระบบป้องกันให้ทำงานได้สัมพันธ์กัน

4. ความประหยัด (Economic) จะต้องออกแบบให้รีเลย์สามารถทำงานได้ตามความต้องการมากที่สุด โดยใช้เงินลงทุนน้อยที่สุด

5. ความสะดวก (Simplicity) จะต้องออกแบบระบบรีเลย์ให้ดูง่ายที่สุด หลีกเลี่ยงการใช้ระบบที่ยุ่งยากซับซ้อน

ในการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าด้วยจะต้องศึกษาระบบและเข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบเสียก่อน ดังนั้นจึงต้องมีข้อมูลที่สำคัญเพื่อใช้ในการออกแบบระบบป้องกันดังนี้

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

- ระบบป้องกันเดิมและปัญหาที่มีอยู่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการดัดแปลงแก้ไขหรือเพิ่มเติมให้ระบบป้องกันใหม่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

- ระดับการป้องกันที่ต้องการ ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงการจัดวงจรและความสามารถในการทำงานของระบบ เช่น ระบบที่ต้องการป้องกันนั้นเหมาะสมที่จะใช้รีเลย์แบบที่ทำงานด้วยความเร็วสูง ความเร็วปานกลาง หรือความเร็วต่ำ และต้องการให้มีการปิดกลับวงจรทันทีทันใดหรือไม่ (Instantaneous Reclosing) เป็นต้น

- การศึกษาฟอลต์ชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น ทรีเฟสฟอลต์ (Three-phase Fault) , ฟอลต์ระหว่าง ไลน์ (Line to line Fault) และฟอลต์ระหว่างเฟสกับดิน (Line to ground Fault) เป็นต้น เพื่อหาวิธีป้องกันที่ดีที่สุดสำหรับฟอลต์ทุกแบบ

- ค่าภาระโหลดสูงสุด ตำแหน่งและขนาดของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า ค่าอิมพิแดนซ์ของหม้อแปลงและสายส่ง

สามารถแบ่งชนิดของรีเลย์ตามลักษณะโครงสร้างได้ 2 แบบใหญ่ ๆ คือ อิเล็กโตรแมคคานิกรีเลย์ (Electro-mechanic Relay) และสแตติกรีเลย์ (Static Relay)

- อิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์ เป็นรีเลย์ที่ใช้ระบบกลไกทางกลโดยมีส่วนที่เคลื่อนที่ทำการตัดต่อวงจร ทำงานได้รวดเร็วและมีความเชื่อถือพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สแตติก รีเลย์ รีเลย์แบบนี้ใช้สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ทำงานแทน โดยไม่มีส่วนเคลื่อนที่เหมือนในแบบอิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์ จึงทำงานได้รวดเร็วและมีความเชื่อถือสูง แต่การใช้งานของสแตติก รีเลย์ ยังไม่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง เนื่องจากอิเล็กโตรแมคคานิก เลย์ถูกใช้งานมานาน ได้รับความเชื่อถือพอสมควร และปัจจุบันยังมีราคาถูกกว่าสแตติก รีเลย์

ข้อได้เปรียบของสแตติก รีเลย์ เมื่อเทียบกับอิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์

1. สแตติก รีเลย์มีค่าเบอร์เดน (Burden) หรือ VA ต่ำกว่า อิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์

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

3. ไม่มีความเสียดทานของแบริ่ง (Bearing) และปัญหาเนื่องจากคอนแทค จึงทำงานได้รวดเร็ว ถูกต้อง บำรุงรักษาน้อย มีอายุการใช้งานนานและทนต่อการสั่นสะเทือนได้ดี

4. ไม่มีการสึกหรอเมื่อทำงานมากครั้ง เหมือนในแบบอิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์

5. มีการขยายสัญญาณทำให้มีเซนซิติวิตี้ (Sensitivity) สูง

6. ใช้พลังงานต่ำ ทำให้ใช้อุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กได้

แม้ว่า สแตติก รีเลย์จะมีข้อได้เปรียบดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ก็มีข้อเสียบางส่วน คือ

1. คุณสมบัติการทำงานจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

2. อาจเสียหายหรือชำรุดเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่สูงเกินกำหนด เช่น ไฮโวลเตจเสิร์จ (High Voltage Surge)

3. วงจรของรีเลย์แบบนี้ใช้ส่วนประกอบชิ้นเล็ก ๆ และมีรอยต่อจำนวนมาก จึงมีโอกาสที่จะชำรุดเสียหายได้ง่ายกว่าแบบ อิเล็กโตรแมคคานิก รีเลย์

4. ทนกระแสโหลดและแรงดันไฟฟ้าที่เกินพิกัดได้ในช่วงเวลาสั้นกว่าอิเล็กโตรแมคคานิก- รีเลย์

อุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในการสั่งงานให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำงานโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันระบบนั้นที่ใช้สำหรับระบบจำลองนี้ ได้แก่

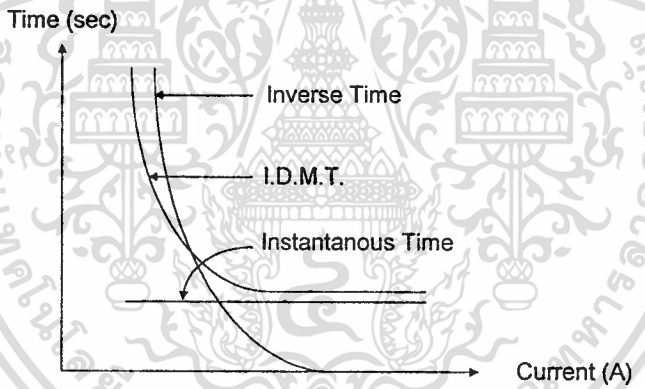
1. โอเวอร์เคอเร้น รีเลย์ (Overcurrent Relay) หรือรีเลย์ป้องกันกระแสเกินคือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อเกิดกระแสเกินค่าที่กำหนดเนื่องจากเกิดการลัดวงจรหรือฟอลต์ในระบบ ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นได้บ่อยกว่าข้อขัดข้องอื่น ๆ โดยปกติโอเวอร์เคอเร้น รีเลย์ แบ่งออกตามลักษณะการทำงานได้เป็น 2 ชนิด ซึ่งประกอบร่วมอยู่ในชุดเดียวกันคือมี

- ชนิดทำงานทันทีทันใด (Instantaneous) เป็นการทำงานแบบทันทีทันใด ใช้ในกรณีมีฟอลต์หรือเกิดการลัดวงจรที่มีค่ากระแสสูง ๆ (Short Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชนิดหน่วงเวลาทำงาน (Time-delay) เป็นการทำงานแบบหน่วงเวลา ใช้ในกรณีเมื่อเกิดโอเวอร์โหลด หรือฟอลต์ที่มีค่ากระแสน้อย ๆ หรือใช้ประสานงานร่วมกับรีเลย์ตัวอื่น ๆ ในระบบป้องกัน ซึ่งมีทั้งแบบ เวลาคงที่ (Fixed Time) คือกระแสจะมีค่ามากน้อยเท่าใดก็ตาม ถ้ามีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดแล้ว โอเวอร์เคอเร้นรีเลย์จะทำงานด้วยเวลาเท่ากัน ส่วนแบบเวลาผกผัน (Inverse Time) นั้นคือ ถ้ากระแสเกินกว่าพิกัดมาก ก็จะทำงานเร็วขึ้น ถ้ากระแสเกินกว่าค่าที่กำหนดน้อยก็ใช้เวลาช้าลง แบบเวลาผกผันตายตัวต่ำสุด (Inverse Definite Minimum time Overcurrent Relay) หรือ IDMT เป็นรีเลย์ที่มีลักษณะเวลากับกระแสเป็นแบบผสมระหว่างเวลาผกผันกับเวลาตายตัวลักษณะการทำงานของโอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์ชนิดหน่วงเวลาทำงานแต่ละแบบสามารถเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการทำงานกับปริมาณกระแสได้ ดังแสดงในภาพที่ 7

ภาพที่ 7
ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสและเวลาการทำงาน
ของโอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์ชนิดหน่วงเวลาทำงานแบบต่างๆ



การจัดลำดับความสัมพันธ์การป้องกัน (Protection Coordination) เป็นการจัดอุปกรณ์การป้องกันตั้งแต่ 2 จุด ขึ้นไป ต้องมีการจัดระยะเวลาที่อุปกรณ์ป้องกันแต่ละชุดทำงานให้มีระยะเวลาห่างกันมากพอที่จะไม่ทำให้อุปกรณ์ป้องกันทุกชุดทำงานพร้อมกัน ซึ่งเรียกว่า ช่วงเผื่อเวลา ระยะเวลาการจัดลำดับความสำคัญของรีเลย์ ระยะห่างของเวลาอุปกรณ์ป้องกัน ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ดังนี้

1. เวลาทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์โดยทั่วไปใช้เวลาทำงานมากกว่า 0.02 วินาทีหรือ 1 ไซเคิล ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาส่วนหนึ่งเป็นเวลาที่รีเลย์ปิดหน้าสัมผัสเพื่อสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์

2. เวลาทำงานเกิน (Overtravel Time) ของรีเลย์เป็นเวลาที่รีเลย์ใช้ในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เนื่องจากแรงเฉื่อยของส่วนเคลื่อนที่ หลังจากที่แรงกระตุ้นได้หมดไป เวลาการทำงานเกินของรีเลย์ประมาณ 0.05 ถึง 0.1 วินาที

3. ความคลาดเคลื่อน (Error) ความคลาดเคลื่อนในการทำงานของรีเลย์ อาจมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความถี่ หรืออายุการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เวลาเผื่อเพื่อความปลอดภัย (Safety Margin Time) เป็นระยะเวลาที่เพิ่มเข้าไป เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ป้องกันสามารถจัดลำดับเวลาการทำงานประสานกันได้แน่ โดยจะกำหนดประมาณ 0.1 วินาที สำหรับช่วงการลำดับเวลาการทำงานนั้นขึ้นอยู่กับเวลาในการทริปของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ชนิดของรีเลย์ ตลอดจนความแม่นยำของหม้อแปลงกระแส โดยปกติช่วงการลำดับเวลาการทำงาน ประมาณ 0.4 ถึง 0.5 วินาที

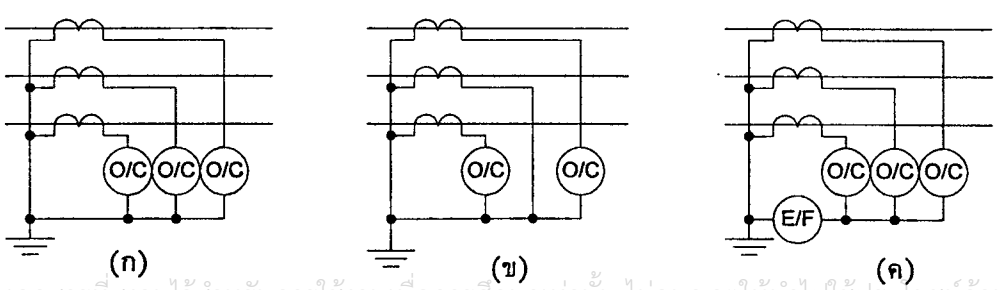
การปรับตั้งรีเลย์กระแสเกินนั้น จำเป็นจะต้องคำนวณค่าต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า เช่น กระแสโหลด และกระแส การลัดวงจร สูงสุดที่เกิดขึ้น โดยมีหลักการพิจารณา คือ จะกำหนดค่ากระแสเริ่มทำงานต่ำสุด (Minimum Pick up Current) อย่างน้อยมีค่าเป็น 2 เท่าของกระแสโหลดเต็มที่และโดยปกติทั่วไปไม่ควรต่ำกว่า 1.25 เท่าแต่ไม่เกิน 2.5 เท่า หรืออาจปรับตั้งกระแสแทป (Current tap setting) โดยพิจารณาจากค่ากระแสเริ่มทำงานต่ำสุด และทำการตั้งค่าให้มากกว่าหรือเท่ากับ 2 เท่าของกระแสโหลดเต็มพิกัดหรือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1/3 เท่าของกระแสลัดวงจรต่ำสุด

การเซ็ทค่ากระแสไฟฟ้าของชุดรีเลย์นั้นมีความสัมพันธ์กับค่าของกระแสที่ไหลของระบบ โดยที่รีเลย์ส่วนมากจะต่อเข้ากับระบบผ่านหม้อแปลงกระแส ซึ่งถ้ารีเลย์มีพิกัดของกระแสที่ 5 A และถ้าให้ค่าที่เซ็ทคือ 150% เพราะฉะนั้นค่าพิกัดกระแสเริ่มทำงานจะเท่ากับ 7.5 A ถ้ารีเลย์ใช้หม้อแปลงกระแสที่มีอัตราส่วนเป็น 300/5 ค่าพิกัดกระแสที่เซ็ทด้านปฐมภูมิจะเท่ากับ 7.5 x (300/5) เท่ากับ 450 A ค่าของกระแสเซ็ททางด้านปฐมภูมิควรจะมีการแบ่งชั้นเพื่อว่ารีเลย์ตัวที่ไกลจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากที่สุดจะมีค่าของการเซ็ทที่ต่ำที่สุด และมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆตามลำดับของรีเลย์ที่อยู่ถัดไปทางแหล่งจ่ายของกำลังไฟฟ้าการแบ่งขั้นการเซ็ทค่าดังกล่าวไม่เพียงแต่จะทำให้แน่ใจว่าความผิดพลาดของรีเลย์ และหม้อแปลงกระแสจะไม่สร้างค่าของกระแสอยู่ในช่วงซึ่งยากต่อการที่รีเลย์จะตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง แต่จะยอมให้สามารถต่อโหลดได้ระหว่างกลางของสถานีย่อย

การต่อรีเลย์ป้องกันกระแสเกินในระบบป้องกัน อาจใช้รีเลย์กระแสเกิน 2 ตัวหรือ 3 ตัวก็ได้ และอาจมีรีเลย์สำหรับตรวจจับ การลัดวงจรลงดินโดยเฉพาะด้วยก็ได้ วิธีการต่อรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (Over Current Relay : O/C) ในการใช้ป้องกันระบบมี 3 วิธี ดังแสดงในภาพที่ 8

ภาพที่ 8

การต่อรีเลย์กระแสเกินในวงจรป้องกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่ารีเลย์ป้องกันกระแสเกินในแต่ละเฟสจะต่ออนุกรมกับหม้อแปลงกระแสในเฟสนั้น ๆ และสายจากรีเลย์ป้องกันกระแสเกินจะต่อกันแบบสตาร์ (Y) โดยจุดร่วมของการต่อแบบสตาร์จะต้องต่อลงดิน วงจรภาพที่ 8 (ก) ใช้รีเลย์กระแสเกิน 3 ตัว จะสามารถตอบสนองการเกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส และ การลัดวงจรลงดินทุกชนิด วงจรนี้เหมาะกับระบบที่เรียกว่า การต่อลงดินโดยตรง (Solidly Earthed System) การต่อแบบนี้ใช้ระบบที่มีอิมพีแดนซ์ปกติสูงพอที่จะทำให้กระแสฟอลต์มีขนาดไม่สูงเกินไป ส่วนวงจรในภาพที่ 8 (ข) ใช้รีเลย์กระแสเกิน 2 ตัว จะตอบสนองต่อการเกิดการลัดวงจรทุกประเภท ยกเว้นการลัดวงจรลงดินที่เกิดในเฟสที่ไม่มีรีเลย์ต่ออยู่ การใช้รีเลย์เพียง 2 ตัวนั้นเป็นการประหยัด แต่เพื่อให้ป้องกันการลัดวงจรลงดินด้วยจึงต้องต่อรีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดิน (Earth Fault Relay : E/F) ด้วย ดังแสดงในภาพที่ 8 (ค) รีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดินมีค่าปลั๊กเซทติ้ง 10% ถึง 40% หรือ 20% ถึง 80% ของกระแสที่กำหนดของรีเลย์ การตั้งค่าปลั๊กเซทติ้งของรีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดินในระบบ 3 เฟส 4 สาย จะต้องคำนึงถึงความสมดุลย์ของกระแสโหลดในแต่ละเฟสด้วย เพราะจะมีกระแสไหลกลับทางสายนิวทรอล (Neutral) ผ่านรีเลย์ทำให้รีเลย์ทำงานได้ถ้ากระแสที่ไหลกลับนั้นมีค่าสูงกว่ากระแสพิคอัพของรีเลย์

2. ออโต้ รีโคลส รีเลย์ (Autoreclose Relay) คือ รีเลย์ที่ใช้ในการสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับวงจรเข้าไปโดยอัตโนมัติตามจำนวนครั้ง และเวลาที่ตั้งไว้ ออโต้ รีโคลสซิ่ง รีเลย์ หรือออโตเมติคสวิทซ์ชิ่ง ที่นำเสนอในโครงงานนี้เป็นส่วนของรีเลย์ที่นำมาต่อทำงานร่วมกับโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ โดยมีหน้าที่หลักในการสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำการปิดกลับระบบเข้าไปอีกครั้งหนึ่งภายหลังจากที่โอเวอร์เคอร์เร้นท์ได้สั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดระบบออก เนื่องจากมีการฟอลต์ภายในระบบ ณ ตำแหน่งที่อยู่ในขอบเขตของการป้องกันของโอเวอร์เคอร์เร้นท์ เพื่อให้ระบบสามารถปิดกลับได้อย่างรวดเร็วในกรณีที่ฟอลต์ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นแบบที่สามารถเคลียร์ตัวเองได้ หรือฟอลต์แบบชั่วขณะ โดยในโครงงานนี้ได้กำหนดให้ออโตรีโคลสซิ่งที่ออกแบบนั้นมีจำนวนครั้งของการปิดกลับไม่เกิน 2 ครั้ง โดยพิจารณาว่าถ้าเซอร์กิตเบรคเกอร์ถูกสั่งให้มีการปิดกลับครั้งที่ 2 และเป็นการปิดกลับที่ทำให้ระบบนั้นเกิดการผิดปกติเช่นเดิมอีก แสดงว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นแบบถาวร ซึ่งไม่สามารถเคลียร์ออกไปได้เอง

3. โอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์ (Over and Under Voltage Relay) หรือรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าที่กำหนด คือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อมีระดับแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ โอเวอร์แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์ จะทำงานเมื่อระบบไฟฟ้ามีกำลังไฟฟ้าสูงหรือต่ำกว่าค่ากำหนด ตามค่ากำหนดของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) กำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงหรือต่ำเกินไป ที่ค่า +15%, -15% ของระบบไฟฟ้าปกติ ซึ่งในวงจรที่จำลองระบบลงมา วงจรโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลท์เตจ รีเลย์ จะทำงานปกติที่ 127 โวลท์ ซึ่งถ้าระบบแรงดันไฟฟ้าสูงกว่า 146.05 โวลท์ ซึ่งเป็น +15% ของ 127 โวลท์ รีเลย์จะทำงานโดยเตือนให้ทราบว่าระบบมีแรง

เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดันไฟฟ้าเกินกว่าพิกัดที่ตั้งไว้ แต่ถ้าระบบมีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 107.95 โวลท์ ซึ่งเป็น -15% ของ 127 โวลท์ รีเลย์ก็จะทำงานโดยเตือนให้ทราบว่าระบบแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าพิกัดที่ตั้งไว้เปอร์เซ็นต์

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

5. เอิร์ทฟอลต์ รีเลย์ (Earth Fault Relay : Ground Fault Relay) หรือรีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดิน คือ รีเลย์ที่จะทำงานเมื่อสายเฟสเกิดกราวน์ขึ้นในระบบ ลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับโอเวอร์เคอเร้นรีเลย์ สามารถตรวจสอบฟอลต์ลงดินได้เป็นอย่างดีถึงแม้กระแสฟอลต์ลงดินจะมีค่าน้อยก็สามารถตรวจจับได้ ซึ่งแตกต่างจากโอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์ที่อาจจะตรวจจับฟอลต์ลงดินที่มีขนาดกระแสต่ำ ๆ ไม่ได้ (กระแสฟอลต์มีค่าใกล้เคียงกับกระแสโหลดปกติ) เนื่องจากค่าพิกัดกระแสที่ตั้งไว้มีค่าสูงกว่ากระแสฟอลต์ กรณีนี้เรียกว่า High Impedance Fault คือ เกิดฟอลต์ลงดิน แต่ไม่ได้ลงดินโดยตรงแต่ผ่านอิมพีแดนซ์ค่าหนึ่งซึ่งทำให้กระแสฟอลต์มีค่าไม่สูง ซึ่งมักเกิดขึ้นในระบบจำหน่ายที่ใช้สายหุ้มฉนวนหรือสายเคเบิล เมื่อเกิดสายขาดอาจไม่สัมผัสกับดินโดยตรงทำให้กระแสฟอลต์มีค่าต่ำ ดังนั้นจะใช้แต่โอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์ป้องกันไม่ได้จึงต้องมีการใช้รีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดินร่วมป้องกันด้วย ซึ่งถ้าหม้อแปลงกระแสเป็นไปตามอุดมคติแล้วรีเลย์จะมีลักษณะการทำงานดังนี้

ระบบอยู่ในสภาวะปกติ จะไม่มีกระแสไหลผ่านรีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดิน

ระบบเกิดฟอลต์ 3 เฟส จะไม่มีกระแสไหลผ่านรีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดิน

ระบบเกิดฟอลต์ระหว่างสาย จะไม่มีกระแสไหลผ่านรีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดิน

แต่ในทางปฏิบัติหม้อแปลงกระแสไม่ได้เป็นไปตามอุดมคติ คือ มีสนามแม่เหล็กตกค้าง (Residual Magnetism) ซึ่งไม่เท่ากัน 100% ในแต่ละเฟส ดังนั้นจะมีกระแสไหลผ่านรีเลย์ปริมาณหนึ่ง ซึ่งทำให้ต้องตั้งค่าพิกัดกระแสทำงานสูงกว่าค่านั้นเพื่อป้องกันไม่ให้รีเลย์ทำงานผิดพลาด

การปรับตั้งรีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดิน จะกำหนดค่ากระแสเริ่มทำงานต่ำสุด 30% ของกระแสโหลดเต็มที่ การใช้งานมักนำหม้อแปลงกระแสต่อร่วมกันกับรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน รีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดินใช้เพื่อตรวจจับกระแสลัดวงจรลงดินลักษณะของรีเลย์จะเหมือนกับรีเลย์ป้องกันกระแสเกินสำหรับเฟสทุกประการ ยกเว้นการตั้งค่ากระแสจะต่ำกว่า ซึ่งปกติจะอยู่ในช่วง 1-4 A. แต่รีเลย์กระแสเกินสำหรับเฟสจะอยู่ในช่วง 2.5-10A.. ในระบบที่มีการต่อลงดิน เมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินจะมีกระแสลำดับศูนย์ (Zero Sequency Current) เกิดขึ้น รีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดินจะต่ออยู่ในลักษณะที่ต้องสามารถตรวจจับกระแสลำดับศูนย์ ได้ซึ่งวิธีการต่อจะมีอยู่ 2 แบบคือ

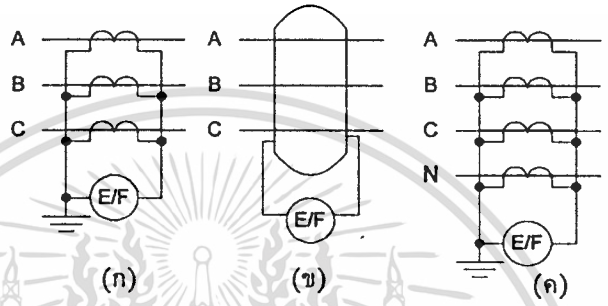
แบบที่ 1 ใช้หม้อแปลงกระแส 3 ตัว อัตราส่วนเท่ากันต่ออยู่ในแต่ละเฟสด้านทุติยภูมิของ หม้อแปลงกระแส ทุกตัว ต่อเข้าด้วยกันเป็นวงจรเรซิดวล ดังภาพที่ 9 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 2 ใช้หม้อแปลงกระแส 1 ตัว ซึ่งนิยมเรียกว่าหม้อแปลงลำดับศูนย์ (Zero Sequence Transformer) คล้องสายตัวนำทั้ง 3 เฟสไว้ ส่วนด้านทุติยภูมิต่อโดยตรงเข้ากับรีเลย์ ดังภาพที่ 9 (ข)ในกรณีที่ระบบเป็นแบบ 3 เฟส 4 สาย จะต้องมีหม้อแปลงกระแสตัวที่ 4 ซึ่งอัตราส่วนเท่ากับสามตัวแรก ต่อในสายด้วย ดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 9 (ค)

ภาพที่ 9

การต่อหม้อแปลงกระแส และรีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดิน



ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส ในทางปฏิบัติแล้วค่าโหลดไม่สมดุลย์จะมีกระแสไหลผ่านในตัวรีเลย์ ดังนั้นกระแสที่รีเลย์วัดได้จะเป็นกระแสลำดับศูนย์ซึ่งอาจจะมีค่าเป็นมิลลิแอมป์ อันอาจเกิดเนื่องจากความผิดพลาดของหม้อแปลงกระแส ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงควรคำนึงถึงข้อผิดพลาดของหม้อแปลงกระแสด้วย

ลักษณะของคอนแทคในรีเลย์มี 2 ชนิด คือ คอนแทคชนิดที่โดยปกติเปิดอยู่ (เรียกว่า normally open or make contact หรือคอนแทคแบบ a) และคอนแทคชนิดที่โดยปกติปิดอยู่ (เรียกว่า normally closed or break contact หรือ คอนแทคแบบ b) ซึ่งมีสัญลักษณ์ดังภาพที่ 8 ตามปกติการเขียนสัญลักษณ์การใช้งานของรีเลย์จะเขียนไว้ในตำแหน่งที่ยังไม่ทำงาน (un-operated หรือ de-energized)

ภาพที่ 10

สัญลักษณ์ของคอนแทคของรีเลย์

Nomally open Normally closed

เมื่อรีเลย์ทำงานโดยปิดคอนแทคแบบ a หรือ เปิดคอนแทคแบบ b จะเรียกว่า รีเลย์ทำงาน หรือ พิคอัพ (picks up) และค่าต่ำสุดที่จะทำให้รีเลย์ทำงาน (เมื่อค่อยๆเพิ่มค่าจากศูนย์ ขึ้นไป) เรียกว่า "ค่าทำงาน" หรือ "ค่าพิคอัพ" ของรีเลย์ เมื่อรีเลย์ทำงานโดยคอนแทคแบบ a เปิดกลับไปยังตำแหน่งหยุด หรือรีเซท หรือคอนแทคแบบ b ปิด จะเรียกว่ารีเลย์ "คืนสู่ตำแหน่งเดิม" และค่าสูงสุดที่จะทำให้รีเลย์ทำเช่นนี้ (เมื่อค่อยๆ ลดจากค่าพิคอัพลงมา) จะเรียกว่าค่าสู่ตำแหน่งเดิมของรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

คอนแทคอีกแบบหนึ่งเป็นแบบที่ต้องใช้มือ หรือ ไฟฟ้าทำให้กลับสู่ตำแหน่งเดิม คอนแทค แบบนี้จะอยู่ในตำแหน่งที่ทำงานเมื่อค่าที่ควบคุมมีค่าถึงค่าๆ หนึ่งแล้ว ถึงแม้ว่าค่านั้นจะหายไป คอนแทคก็ยังอยู่ในตำแหน่งนั้น จะต้องใช้มือหรือระบบแม่เหล็กไฟฟ้าดึงมันกลับมาสู่ตำแหน่งเดิมรีเลย์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในการป้องกันวงจรจะเป็นแบบที่คืนสู่ตำแหน่งเดิมเอง แต่ถ้าต้องการก็อาจจะทำให้เป็นแบบที่ต้องใช้มือดึงกลับได้โดยใช้อุปกรณ์ช่วยบางอย่าง สำหรับรีเลย์แบบที่ต้องใช้มือหรือระบบแม่เหล็กไฟฟ้าดึงกลับนั้นมักจะใช้เมื่อจำเป็นต้องมีสัญญาณต่อเนื่อง หรือต้องการให้อยู่ในสภาวะล็อคไว้ (lock-out)

ตัวกระตุ้น (Actuator)

ตัวกระตุ้นเป็นชุดวงจรที่ส่งความเคลื่อนไหวทำให้หน้าสัมผัสของชุดอินเตอร์รัพเตอร์ปิดเปิดวงจรซึ่งได้แก่ วงจรทริปคอยล์ วงจรโคลสซิ่งคอยล์ และชุดกลไก (Mechanism)

โดยหลักการแล้ววงจรทริพคอยล์จะประกอบด้วยสวิทช์ควบคุมสำหรับทริพด้วยมือ (hand-trip) และคอนแทคของรีเลย์ต่อขนานกัน เพื่อจะบังคับวงจรทริพซึ่งใช้แบตเตอรี่ และมีสวิทช์ช่วย (auxiliary switch) ซึ่งถูกบังคับโดยไกตัดวงจร สวิทช์ช่วยนี้มีไว้เพื่อเปิดวงจรทริพเมื่อไกตัดวงจรปิด เนื่องจากโดยทั่วไปหน้าสัมผัสของรีเลย์จะไม่สามารถตัดวงจรได้เอง ดังนั้นตามปกติจะปรับให้สวิทช์นี้ปิดวงจรทันทีที่ไกตัดวงจรปิดเพื่อให้การป้องกันทำได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีที่ไกตัดวงจรปิดขณะที่มีการลัดวงจรอยู่แล้ว โดยทั่วไปรีเลย์แบบสแตติค (static relays) มักจะมีวงจรสำหรับ การวัดแยกจากวงจรทริพ หรือ แบ่งเป็นโมดูล (modules) การทำงานของโมดูลที่ใช้วัด ซึ่งจะไม่มีผลต่อโมดูลที่ใช้ทริพ

อุปกรณ์ตัดกระแส (Interrupter of Circuit Breaker)

อุปกรณ์หลักของสวิชเกียร์ คือ ชุดอุปกรณ์ตัดตอนกระแสหรือที่เรียกว่า "เซอร์กิตเบรคเกอร์" (Circuit Breaker : CB) เซอร์กิตเบรคเกอร์โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ส่วนที่สำคัญคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. อินเตอร์รัพเตอร์ (Interrupter) คือ ส่วนที่ทำหน้าที่ปิดเปิดวงจรและดับอาร์ก

2. โอเปอเรตติ้ง แมคคานิซึ่ม (Operating Mechanism) คือ ส่วนที่เป็นกลไกควบคุมการทำงานของอินเตอร์รัพเตอร์

นอกจากการใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์สำหรับปิดวงจรในสภาวะปกติแล้ว ประโยชน์อันสำคัญยิ่งอีกประการหนึ่งก็คือ ใช้ทริปวงจรเมื่อเกิดฟอลต์หรือเกิดการลัดวงจร กระแสฟอลต์อาจมีค่าสูงเป็นหลาย ๆ เท่าของกระแสใช้งานปกติ (Normal Current) และอาจจะมีอาร์กรุนแรง การทริปวงจรในกรณีนี้จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์อื่นประกอบเพื่อช่วยให้เซอร์กิตเบรคเกอร์สามารถทำงานตัดวงจรได้โดยอัตโนมัติ และสามารถสับวงจรเข้าไปใหม่ (Reclose) ได้โดยอัตโนมัติตามจำนวนครั้งที่ตั้งไว้ และเมื่อฟอลต์ได้ผ่านพ้นไปแล้วก็สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านเซอร์กิตเบรคเกอร์ต่อไปตามปกติได้ การใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์ในลักษณะดังกล่าวนี้ จึงเป็นทั้งการอำนวยความสะดวก การให้ความปลอดภัยแก่ระบบ และการเพิ่มความมั่นคงให้แก่ระบบอีกด้วย ซึ่งพอจะสรุปหน้าที่การทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ได้ดังนี้

1. นอร์มอล สวิชชิ่ง (Normal Switching) คือการปิดเปิดวงจรในสภาวะที่มีกระแสโหลดไหลตามปกติ

2. ฟอลต์ อินเตอร์รัพชั่น (Fault Interruption) คือการทริปวงจรเมื่อเกิดฟอลต์ หรือข้อขัดข้องต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า โดยอาศัยรีเลย์เป็นตัวสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำงานตัดวงจรโดยอัตโนมัติ

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

เซอร์กิตเบรคเกอร์ที่ใช้งานกันอยู่ทั่ว ๆ ไปในปัจจุบันมีอยู่หลายประเภท แต่ที่สำคัญ ๆ ได้แก่

1. แอร์เบรค เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Air-break Circuit Breaker)
2. แอร์บลาสต์ เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Air-blast Circuit Breker)
3. ออยล์ เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Oil Circuit Breaker)
4. แก๊ส เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Gas Circuit Breaker : SF_5)
5. แวคคิวอัม เซอร์กิตเบรคเกอร์ (Vacuum Circuit Breaker)

สำหรับลานไกตัดวงจรขนาดใหญ่ กำลังไฟฟ้าที่ต้องการใช้สำหรับทริพไกตัดวงจรแต่ละตัวค่อนข้างสูง นอกจากนั้นระบบป้องกันระบบเดียวอาจจะต้องสั่งทริพไกตัดวงจรหลายตัว และอาจจะต้องการให้มีสัญญาณเตือนส่งไปยังห้องควบคุม หรือต้องการมีการอินเตอร์ล็อค (interlocking) กับการทำงานแบบอื่นเช่น การปิดวงจรใหม่เอง (autoreclosing) การทำงานแบบนี้อาจจะใช้รีเลย์ที่เรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่า รีเลย์ปลดปล่อยชนิดหลายคอนแทค (multicontact tripping relay) ซึ่งจะถูกบังคับโดยรีเลย์ป้องกัน และจะมีคอนแทคทางออก (output contact) ซึ่งมีค่ากำหนดแตกต่างกันตามที่ต้องการ

<u>ทฤษฎี และหลักการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้า</u>

การเกิดความผิดปกติหรือการเกิดลัดวงจรในระบบไฟฟ้ากำลังโดยทั่ว ๆ ไปนั้นแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. ทรี-เฟส ฟอลต์ (Three-phase fault) เกิดขึ้นเมื่อสายเฟสทั้งสามเฟสเกิดการลัดวงจรถึงกัน ดังภาพที่ 11

2. ซิงเกิลไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ (Single line to ground fault) เกิดขึ้นจากการที่สายไฟเส้นใดเส้นหนึ่งเกิดการลัดวงจรลงดิน ทั้งที่ลัดวงจรลงดินโดยตรง หรือโดยผ่านสายนิวทรอล (Neutral) หรือสายกราวน์ (Overhead Ground Wire) ดังในภาพที่ 12

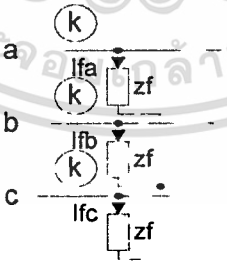
3. ฟอลต์ระหว่างสาย (Line to line fault) เกิดขึ้นจากการที่สายเฟสจำนวน 2 เส้น เกิดการลัดวงจรถึงกัน ดังภาพที่ 13

4. ดับเบิ้ลไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ (Double line to ground fault) เกิดจากการที่สายเฟสจำนวน 2 สาย เกิดการลัดวงจรถึงกันและลงดินด้วย ดังภาพที่ 14

ในการศึกษาการเกิดความผิดปกติแบบต่างๆ ยกเว้นแบบทรี-เฟส จำเป็นต้องเข้าใจเรื่ององค์ประกอบสมมาตร (Symmetrical components) เสียก่อน

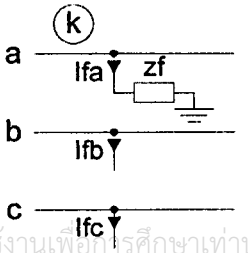
ภาพที่ 11

ทรี-เฟส ฟอลต์



ภาพที่ 12

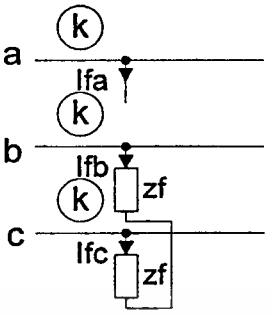
ซิงเกิลไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

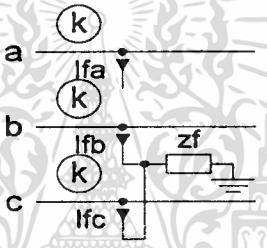
ภาพที่ 13

ฟอลต์ระหว่างสาย

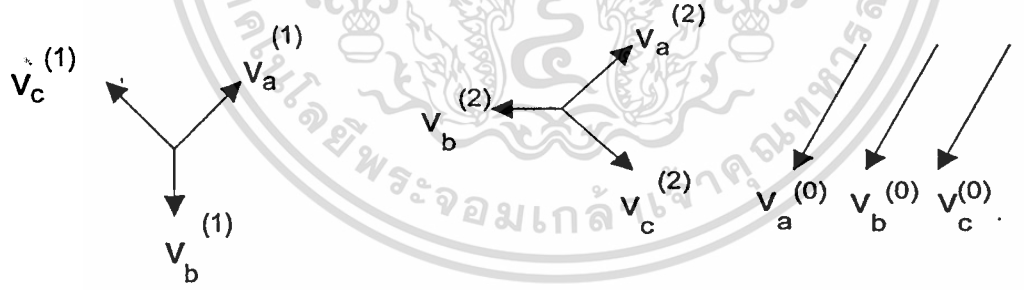


ภาพที่ 14

ดับเบิ้ลไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์



องค์ประกอบสมมาตร (Symmetrical Comeponents)



จะได้

$$V_a = V_a^{(0)} V_a^{(1)} + V_a^{(2)}$$
$$V_b = V_b^{(0)} + V_b^{(1)} + V_b^{(2)}$$
$$V_c = V_c^{(0)} + V_c^{(1)} + V_c^{(2)} \qquad \text{...(2.11)}$$

เมื่อ $V_a^{(0)} = V_b^{(0)} + Vc^{(0)}$

$$V_b^{(1)} = a^2 V_a^{(1)} \qquad V_c^{(1)} = aV_a^{(1)}$$
$$V_b^{(2)} = aV_a^{(2)} \qquad V_c^{(2)} = a^2 V_a^{(2)} \qquad \text{...(2.12)}$$

กำหนดให้ $a = 1\angle 120^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการที่ 2.12 แทนในสมการที่ 2.11 จะได้

$$V_a = V_a^{(0)}+V_a^{(1)}+V_a^{(2)}$$
$$V_b = V_a^{(0)}+a^2V_a^{(1)}+aV_a^{(2)}$$
$$V_c = V_a^{(0)}+aV_a^{(1)}+a^2V_a^{(2)} \quad ...(2.13)$$

นำมาเขียนในรูปของเมตริกซ์จะได้

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} \quad ...(2.14)$$

หรือ

$$\begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad ...(2.15)$$

$$V_a^{(0)} = \frac{1}{3}(V_a+V_b+V_c)$$
$$V_a^{(1)} = \frac{1}{3}(V_a+aV_b+a^2V_c)$$
$$V_a^{(2)} = \frac{1}{3}(V_a+a^2V_b+aV_c) \quad ...(2.16)$$

ถ้าหากคิดในรูปของกระแสจะได้เป็น

$$I_a = I_a^{(0)}+I_a^{(1)}+I_a^{(2)}$$
$$I_b = I_a^{(0)}+a^2I_a^{(1)}+aI_a^{(2)}$$
$$I_c = I_a^{(0)}+aI_a^{(1)}+a^2Ia^{(2)} \quad ...(2.17)$$

หรือ

$$I_a^{(0)} = \frac{1}{3}(I_a+I_b+I_c)$$
$$I_a^{(1)} = \frac{1}{3}(I_a+aI_b+a^2I_c)$$
$$I_a^{(2)} = \frac{1}{3}(I_a+a^2I_b+aI_c) \quad ...(2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การวิเคราะห์กรณีเกิดการลัดวงจรแบบทรีเฟส ฟอลต์ ดังภาพที่ 11 ลักษณะการลัดวงจรแบบนี้ไม่จำเป็นที่จะต้องคิดค่าองค์ประกอบใด ๆ เลยซึ่งสามารถคิดจากสมการพื้นฐานได้เลย

$$I_f = \frac{V_f}{Z}$$

I_f = กระแสลัดวงจร

V_f = แรงดันที่จุดลัดวงจร

Z = ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่ง

- การวิเคราะห์กรณีเกิดการลัดวงจรแบบซิงเกิลไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ จากภาพที่ 12 เมื่อเกิดการลัดวงจรที่เฟส a จะได้

$$I_{fb} = 0 \qquad I_{fc} = 0 \qquad V_{ka} = Z_f I_{fa}$$

เมื่อคิดในรูป Components จะได้เป็น

$$\begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^{(2)} \\ 1 & a^{(2)} & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \qquad ...(2.19)$$

จากสมการที่ 2.19 จะได้

$$I_{fa}^{(0)} = I_{fa}^{(1)} = I_{fa}^{(2)} = \frac{I_{fa}}{3}$$

$$\therefore \quad I_{fa} = 3\, I_{fa}^{(0)}$$

$$\therefore \quad V_{ka} = 3Z_f I_{fa}^{(0)}$$

จากสมการแรงดันที่จุดเกิดการลัดวงจร

$$V_{ka}^{(0)} = -Z_{kk}^{(0)} I_{fa}^{(0)}$$

$$V_{ka}^{(1)} = V_f - Z_{kk}^{(1)} I_{fa}^{(1)}$$

$$V_{ka}^{(2)} = -Z_{kk}^{(2)} I_{fa}^{(2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{ka} = V_{ka}^{(0)}+V_{ka}^{(1)}+V_{ka}^{(2)}$$

$$= V_f-(Z_{kk}^{(0)}+Z_{kk}^{(1)}+Z_{kk}^{(2)})\, I_{fa}^{(0)}$$

$$= 3Z_f I_{fa}^{(0)}$$

หรือ

$$V_f = (Z_{kk}^{(0)}+Z_{kk}^{(1)}+Z_{kk}^{(2)}+3Z_f)I_{fa}^{(0)}$$

จะได้

$$I_{fa}^{(0)} = I_{fa}^{(1)} = I_{fa}^{(2)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)}+Z_{kk}^{(2)}+Z_{kk}^{(0)}+3Z_f} \quad ...(2.20)$$

- การวิเคราะห์กรณีเกิดการลัดวงจรระหว่างสาย จากภาพที่ 13 เกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส b กับเฟส c

จะได้

$$I_{fa} = 0 \qquad I_{fb} = -I_{fc} \qquad V_{kb}-V_{kc} = I_{fb}Z_f$$

เมื่อคิดใน Components

$$\begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^{(2)} \\ 1 & a^{(2)} & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ I_{fa} \\ -I_{fb} \end{bmatrix} \quad ...(2.21)$$

$$I_{fa}^{(0)} = 0$$

$$I_{fa}^{(1)} = -I_{fa}^{(2)}$$

จะได้สมการเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{fa}^{(1)} = -I_{fa}^{(2)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)}+Z_{kk}^{(2)}+Z_f} \quad ...(2.22)$$

- การวิเคราะห์กรณีเกิดการลัดวงจรแบบดับเบิ้ลไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ จากภาพที่ 14 เกิดการลัดวงจรระหว่างเฟส b กับเฟส c ลงกราวน์

จะได้

$$I_{fa} = 0 \quad ; \quad V_{kb} = V_{kc} = (I_{fb}+I_{fc})Z_f$$

จากการลัดวงจรแบบนี้สามารถหาค่า $I_{fa}^{(1)}$ $I_{fa}^{(2)}$ $I_{fa}^{(0)}$ ได้ดังนี้

$$I_{fa}^{(1)} = \frac{V_f}{Z_{kk}^{(1)}+\left[\frac{Z_{kk}^{(2)}(Z_{kk}^{(0)}+3Z_f)}{Z_{kk}^{(2)}+Z_{kk}^{(0)}+3Z_f}\right]} \quad ...(2.23)$$

$$I_{fa}^{(2)} = -I_{fa}^{(1)}\left[\frac{Z_{kk}^{(0)}+3Z_f}{Z_{kk}^{(2)}+Z_{kk}^{(0)}+3Z_f}\right] \quad ...(2.24)$$

$$I_{fa}^{(0)} = -I_{fa}^{(1)}\left[\frac{Z_{kk}^{(2)}}{Z_{kk}^{(2)}+Z_{kk}^{(0)}+3Z_f}\right] \quad ...(2.25)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
โครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง

ในการจำลองการทำงานทั้งหมดของระบบไฟฟ้ากำลังตามขอบเขตที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นชุดอุปกรณ์ทั้งหมดมีลักษณะดังภาพที่ 15 และภาพที่ 16 ซึ่งประกอบด้วยตู้ทั้งหมด 3 ใบ

ตู้ใบที่ 1 เป็นส่วนจำลองลานไกไฟฟ้าโดยรับแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่งไปยังหม้อแปลงเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าไปยังสายส่ง หม้อแปลงเพิ่มแรงดันไฟฟ้าทำหน้าที่เพิ่มแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 Vac เป็น 450 Vac และมีชุดอุปกรณ์ป้องกันส่วน A และส่วน B ติดตั้งอยู่ โดยมีรายละเอียดและตำแหน่งต่างๆของอุปกรณ์และเครื่องมือวัดด้านหน้าตู้ดังภาพที่ 17 หมายเลขต่างๆที่แสดงในภาพคืออุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1 หลอดไฟแสดงสถานะของเฟส R ส่วนจำลองลานไกไฟฟ้า
2 หลอดไฟแสดงสถานะของเฟส S ส่วนจำลองลานไกไฟฟ้า
3 หลอดไฟแสดงสถานะของเฟส T ส่วนจำลองลานไกไฟฟ้า
4 ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าในส่วน A
5 เฮิร์ซมิเตอร์ในส่วน A
6 ดิจิตอลแอมป์มิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าในส่วน A
7 สวิทซ์เลือกอ่านค่ากระแสไฟฟ้าของแต่ละเฟสในส่วน A
8 สวิทซ์เลือกอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสในส่วน A
9 รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน
10 รีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติ
11 รีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติ
12 เฟสซีเคว้นท์รีเลย์
13 ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าในส่วน B
14 ดิจิตอลแอมป์มิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าในส่วน B
15 สวิทซ์เลือกอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสในส่วน B
16 สวิทซ์เลือกอ่านค่ากระแสไฟฟ้าของแต่ละเฟสในส่วน B
17 รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน
18 รีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติ
19 เซอร์กิตเบรคเกอร์หลักจ่ายไฟเข้าส่วน A

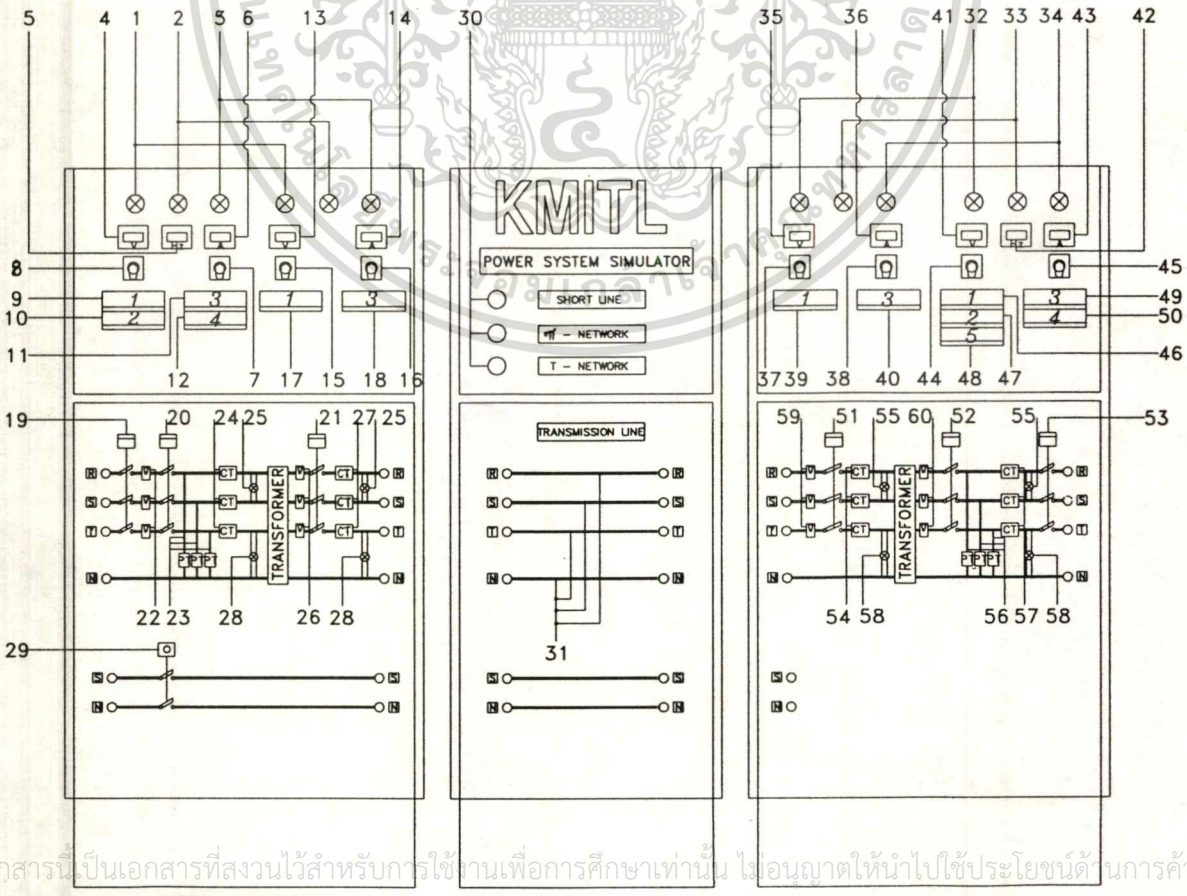
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 15

ระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่ได้จัดทำขึ้น

ภาพที่ 16

โครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่จัดทำเป็นตู้อุปกรณ์



1 = OVER CURRENT
2 = OVER/UNDER VOLTAGE
3 = AUTORECLOSE
4 = PHASE SEQUENCE
5 = EARTH LEAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20 เซอร์กิตเบรคเกอร์หลักของการจ่ายไฟเข้าระบบ

21 เซอร์กิตเบรคเกอร์หลักจ่ายไฟเข้าส่วน B

22 สวิทซ์เลือกการจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบของแต่ละเฟสเข้าส่วน A

23 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าในส่วน A

24 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าในส่วน A

25 สวิทซ์ และหลอดไฟแสดงการจำลองการลัดวงจรระหว่างสายของส่วน A และส่วน B

26 สวิทซ์เลือกการจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบของแต่ละเฟสเข้าส่วน B

27 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าในส่วน B

28 สวิทซ์ และหลอดไฟแสดงการจำลองการลัดวงจรระหว่างสายกับนิวทรอลของส่วน A และ B

29 เซอร์กิตเบรคเกอร์ใช้จ่ายไฟในโรงจักรไฟฟ้า และลานไกไฟฟ้า

ตู้ไบที่ 2 เป็นการจำลองค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้าของสายส่ง ประกอบด้วยสายส่งจำลองประเภทสายส่งระยะใกล้ และสายส่งระยะปานกลางชนิดโครงข่ายแบบที (T) และโครงข่ายแบบพายน์ (π) ที่ได้ทำการใช้วิธีการเปอร์ยูนิตลดทอนค่าจากระบบไฟฟ้าแรงสูงเป็นค่าระบบไฟฟ้าแรงต่ำเพื่อนำมาใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยมีรายละเอียดและตำแหน่งต่างๆของอุปกรณ์ด้านหน้าตู้ดังภาพที่ 18 หมายเลขต่างๆที่แสดงในภาพคืออุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

30 สวิทซ์ และหลอดไฟแสดงชนิดของการต่อสายส่ง

31 สายส่งจำลองค่าพารามิเตอร์ R, L, C แทนขนาดสายส่งจริง

ตู้ไบที่ 3 เป็นส่วนจำลองสถานีย่อยไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยหม้อแปลงลดแรงดันไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ลดแรงดันไฟฟ้าที่จะจ่ายไปยังโหลด หรือผู้ใช้ไฟฟ้า โดยลดแรงดันไฟฟ้าจากระดับแรงดันไฟฟ้า 450Vac เป็น 220 Vac และมีชุดอุปกรณ์ป้องกันส่วน C และส่วน D ติดตั้งอยู่ โดยมีรายละเอียดและตำแหน่งของอุปกรณ์ดังภาพที่ 19 หมายเลขต่างๆที่แสดงในภาพคืออุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

32 หลอดไฟแสดงสถานะของเฟส R ส่วนจำลองสถานีย่อยไฟฟ้า

33 หลอดไฟแสดงสถานะของเฟส S ส่วนจำลองสถานีย่อยไฟฟ้า

34 หลอดไฟแสดงสถานะของเฟส T ส่วนจำลองสถานีย่อยไฟฟ้า

35 ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าในส่วน C

36 ดิจิตอลแอมป์มิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าในส่วน C

37 สวิทซ์เลือกอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสในส่วน C

38 สวิทซ์เลือกอ่านค่ากระแสไฟฟ้าของแต่ละเฟสในส่วน C

39 รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

40 รีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติ

41 ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าในส่วน D

42 เฮิร์ซมิเตอร์ในส่วน D

43 ดิจิตอลแอมป์มิเตอร์วัดค่ากระแสไฟฟ้าในส่วน D

44 สวิทซ์เลือกอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟสในส่วน D

45 สวิทซ์เลือกอ่านค่ากระแสไฟฟ้าของแต่ละเฟสในส่วน D

46 รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน

47 รีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติ

48 เฟสซีเคว้นท์รีเลย์

49 รีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติ

50 เอิร์ทลีกเกจรีเลย์

51 เซอร์กิตเบรคเกอร์หลักจ่ายไฟเข้าส่วน C

52 เซอร์กิตเบรคเกอร์หลักจ่ายไฟเข้าส่วน D

53 เซอร์กิตเบรคเกอร์หลักจ่ายไฟไปยังโหลดหรือผู้ใช้ไฟฟ้า

54 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าในส่วน C

55 สวิทซ์ และหลอดไฟแสดงการจำลองการลัดวงจรระหว่างสายของส่วน C และส่วน D

56 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าในส่วน D

57 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าในส่วน D

58 สวิทซ์ และหลอดไฟแสดงการจำลองการลัดวงจรระหว่างสายกับนิวทรอลของส่วน C และ D

59 สวิทซ์เลือกการจ่ายไฟของแต่ละเฟสในส่วน C

60 สวิทซ์เลือกการจ่ายไฟของแต่ละเฟสในส่วน D

ในการจำลองการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้คือ

1. โครงสร้างหลักของระบบ
2. โครงสร้างของสายส่ง
3. โครงสร้างของอุปกรณ์ป้องกัน
4. โครงสร้างของการจำลองความผิดปกติ

<u>โครงสร้างหลักของระบบ</u>

โครงสร้างหลักประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

1. แมกเนติกคอนแทคเตอร์ใช้ตัดต่อวงจรแทนการทำงานของสวิทซ์เกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หม้อแปลงกระแส

หม้อแปลงกระแสที่นำมาใช้งานในระบบไฟฟ้ากำลังจำลองนี้ มีด้วยกัน 2 ขนาด คือ

2.1 640/5 ใช้กับรีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่ตำแหน่ง A และ D (ดูภาพที่ 1) โดยมีขดลวดด้านปฐมภูมิ 4 รอบ (ลวดเบอร์ 14 SWG) และขดลวดทุติยภูมิ 510 รอบ (ลวดเบอร์ 26 SWG)

2.2 320/5 ใช้กับรีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่ตำแหน่ง B และ C (เพราะในช่วงของสายส่งนี้ จะมีค่ากระแสลัดวงจรต่ำกว่าที่ตำแหน่ง A และ B เราจึงต้องทำการแปลงค่าของกระแสในอัตราส่วนที่ต่างกัน) ใช้ขดลวดด้านปฐมภูมิ 4 รอบ (ลวดเบอร์ 14 SWG) และขดลวดด้านทุติยภูมิ 255 รอบ (ลวดเบอร์ 26 SWG)

หม้อแปลงกระแสเมื่อพันเสร็จแล้วเราจะต้องนำมาทำการทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนการแปลงกระแสและความลิเนียร์ของการแปลงด้วยว่าถูกต้องเท่ากันตลอดช่วงของการใช้งานหรือไม่ โดยใช้วงจรในรูปที่ 4.2

3. หม้อแปลงแรงดัน

หม้อแปลงแรงดันที่จะนำไปใช้งานในระบบไฟฟ้าจำลองนี้ มีขนาด 127/5 เนื่องจากตำแหน่งที่เราจะติดตั้งนั้น คือ ตำแหน่ง A และ D (ดูภาพที่ 1) เพื่อใช้กับรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติ และเฟสซีเควนซ์รีเลย์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่เราใช้จึงเป็นแรงดันไฟฟ้าคร่อมไลน์กับกราวน์ ซึ่งมีขนาด 127 โวลต์

ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงแรงดันมีจำนวนขดลวด 990 รอบ (ลวดเบอร์ 30 SWG)

ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงแรงดันมีจำนวนขดลวด 39 รอบ (ลวดเบอร์ 26 SWG)

<u>โครงสร้างของสายส่ง</u>[6], [20]

ในการจำลองสายส่ง ได้ทำการจำลองสายส่ง 2 ชนิด คือ

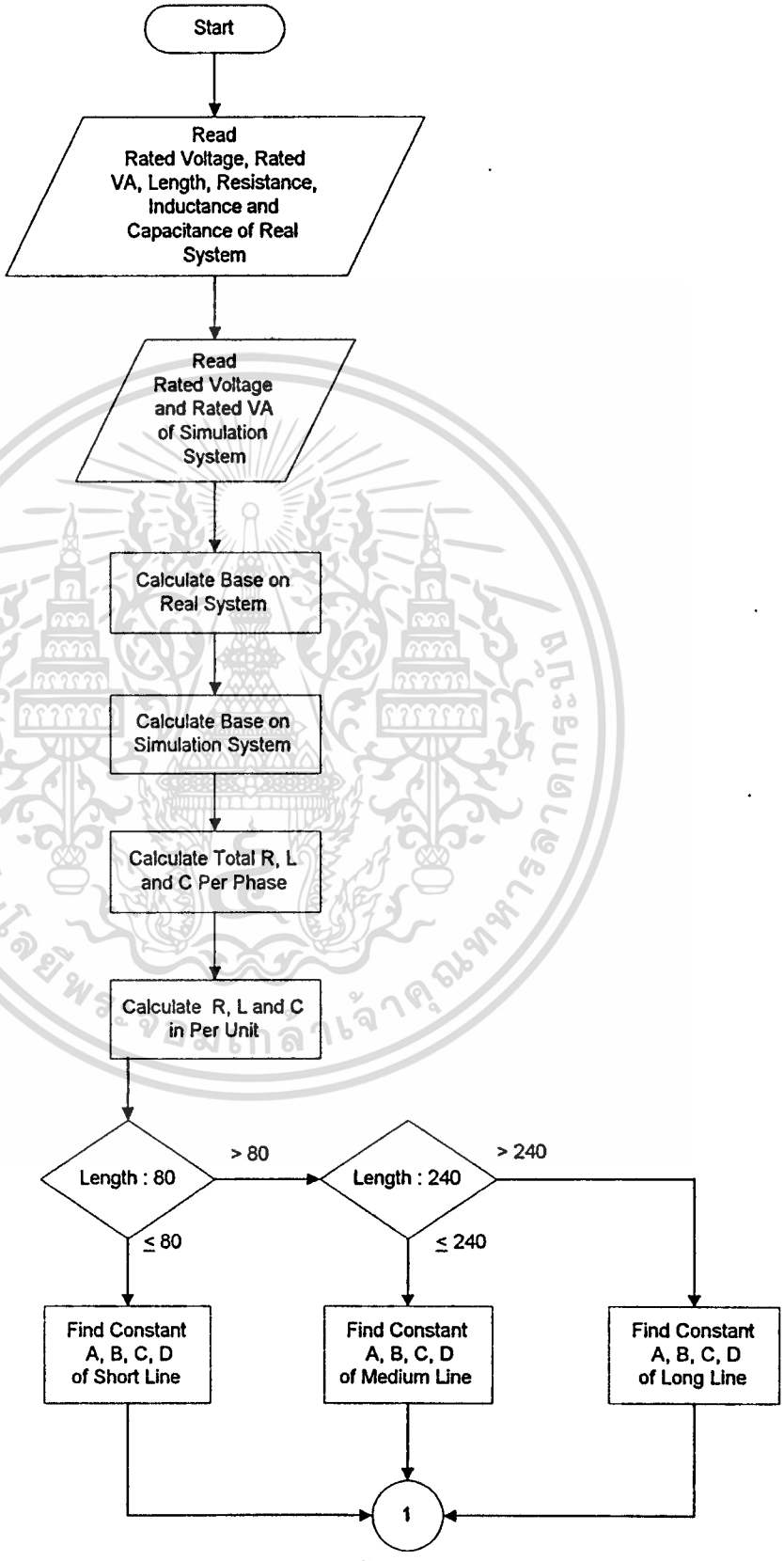
1. สายส่งระยะสั้น โดยจำลองการเดินสายจากหนองจอก-บางกะปิ
2. สายส่งระยะปานกลาง โดยจำลองการเดินสายจากท่าตะโก-หนองจอก

ในการจำลองนั้นใช้ข้อมูลคุณสมบัติต่างๆของสายจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก. กรรมวิธีการจำลองสายส่งไฟฟ้าแรงสูงมาสู่ระบบจำลองในห้องปฏิบัติการใช้ระบบเปอร์ยูนิตแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางไฟฟ้าของระบบจริงที่มีขนาดใหญ่ให้มาสู่ระบบจำลองที่มีขนาดเล็ก โดยอ้างอิงพิกัดกำลังไฟฟ้า และพิกัดแรงดันไฟฟ้า มีลำดับขั้นตอนเป็นดังแสดงในแผนภูมิที่ 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

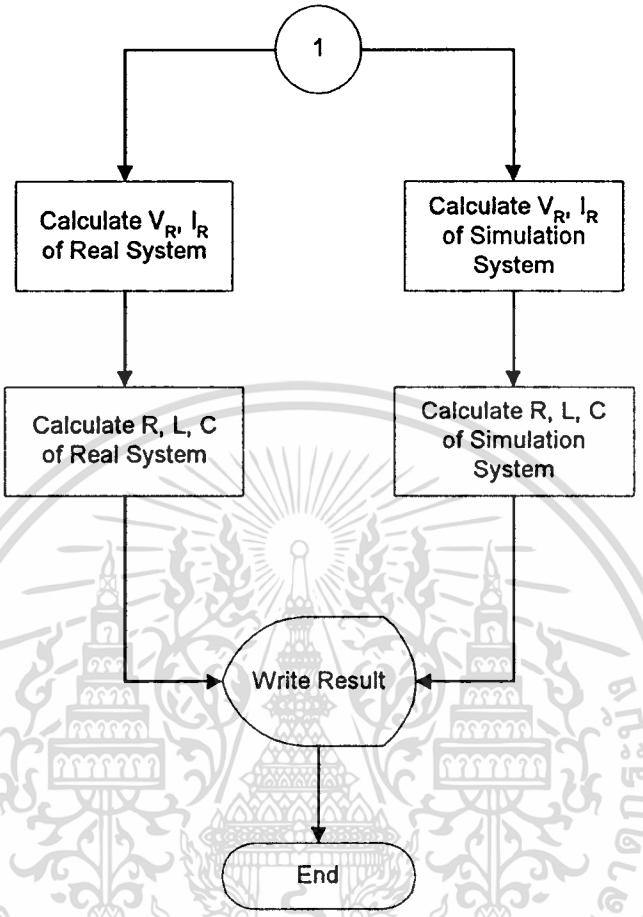
แผนภูมิที่ 17

ขั้นตอนการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าของสายส่งไฟฟ้าแรงสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิที่ 17 (ต่อ)



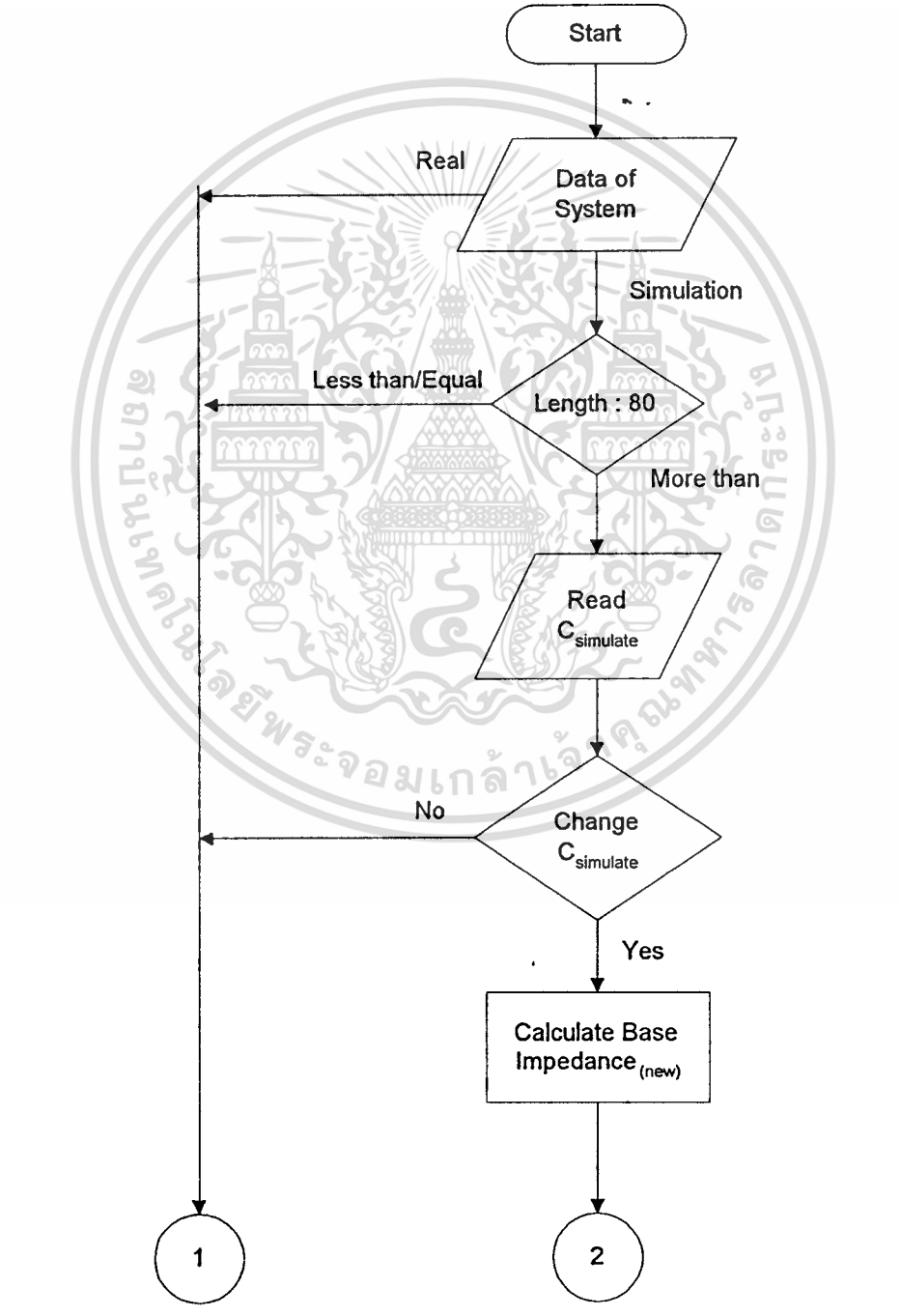
จะเห็นได้ว่ากรรมวิธีการคำนวณเพื่อจำลองสายส่งไฟฟ้าแรงสูงมาเป็นสมมูลย์ทางไฟฟ้า R, L, C ในระบบจำลองในห้องปฏิบัติการค่าสมมูลย์ต่างๆที่คำนวณขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานอ้างอิงเป็นหัวใจสำคัญ นั่นคือค่าสมมูลย์ที่คำนวณได้จะขึ้นอยู่กับพิกัดกำลังไฟฟ้า และพิกัดแรงดันไฟฟ้าของระบบจริงเทียบกับของระบบจำลอง ในการคำนวณเพื่อหาค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่จุดต่างๆของระบบใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นตัวช่วยในขบวนการ จากผลการคำนวณโดยอ้างอิงพิกัดกำลังไฟฟ้า และพิกัดแรงดันไฟฟ้าของระบบจริงมาสู่ระบบจำลองในรูปของอิมพีแดนซ์อ้างอิง จะได้ค่าเปอร์ยูนิตอิมพีแดนซ์ของระบบจริงเท่ากับระบบจำลอง ทำให้สามารถคำนวณหาค่า R, L, C ของระบบจำลองที่พิกัดที่กำหนดเพื่อนำมาใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการได้

ปัญหาที่พบจากการจัดสร้าง R, L, C ของระบบจำลองในทางปฏิบัติคือ ตัวความต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำสามารถจัดสร้างได้ตามค่าที่ต้องการ แต่ตัวเก็บประจุจะต้องซื้อจากตลาดอุตสาหกรรม ดังนั้นโดยส่วนใหญ่แล้วจะไม่สามารถหาตัวเก็บประจุให้มีค่าตามที่คำนวณไว้ได้ เพราะค่าตัวเก็บประจุที่มีอยู่ในตลาดอุตสาหกรรมเป็นค่ามาตรฐานซึ่งมีอยู่ไม่มากค่านัก ดังนั้นเพื่อจัดทำระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

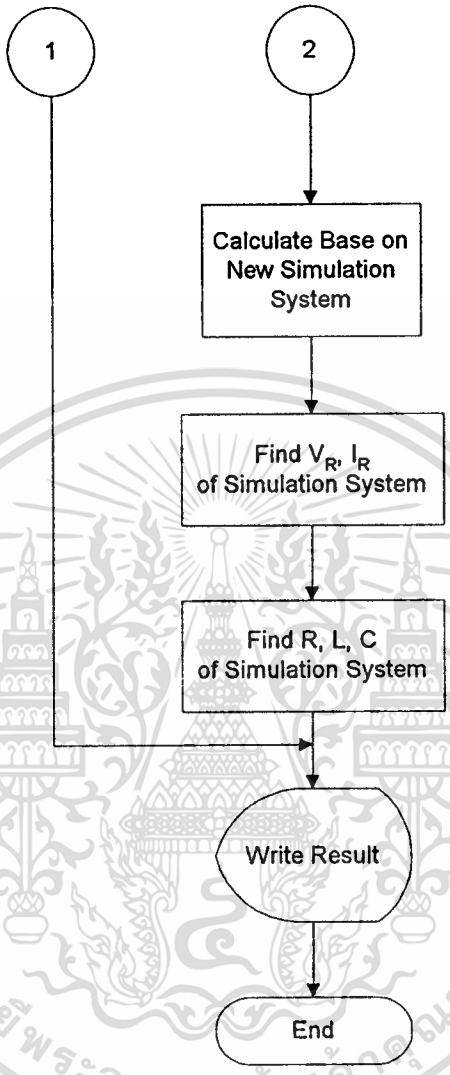
จำลองให้มีค่าถูกต้องจึงต้องทำการคำนวณค่าสมมูลย์ทางไฟฟ้าใหม่ กำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็น R_{sim}, L_{sim}, C_{sim} ค่าสมมูลย์ทางไฟฟ้าใหม่นี้คำนวณโดยยึดถือค่าคาร์ปาซิแตนซ์ที่มี กรรมวิธีการคำนวณเป็นดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในแผนภูมิที่ 18

แผนภูมิที่ 18
ขั้นตอนการคำนวณค่าสมมูลย์ทางไฟฟ้าใหม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิที่ 18 (ต่อ)



จากการคำนวณตามขั้นตอนดังภาพที่ 17 และภาพที่ 18 จะได้ข้อมูลของสายส่งมีรายละเอียดดังนี้

วงจร Short line

ความยาวสาย	26.766	km	ชนิดสาย	Pheasant	
พิกัดระบบจริง	100	MVA	230	KV	
พิกัดระบบจำลอง	1500	VA	415	V	
ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง		R = 1.02954	Ω	L = 34.6891	mH
ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง		R = 0.2811	Ω	L = 7.5291	mH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร. Medium line ต่อวงจรแบบ π-network

ความยาวสาย 207.192 km ชนิดสาย Conder

พิกัดระบบจริง 100 MVA 500 KV

พิกัดระบบจำลอง 1500 VA 415 V

ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง R = 16.0988 Ω L = 305.1227 mH C/2 = 0.8060 μF

ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง R = 0.7393 Ω L = 14.0132 mH C/2 = 17.5499 μF

เปลี่ยน $C_{simulate}$ R = 0.7208 Ω L = 13.6628 mH C/2 = 18.0000 μF

วงจร Medium line ต่อวงจรแบบ T-network

ความยาวสาย 207.192 km ชนิดสาย Conder

พิกัดระบบจริง 100 MVA 500 KV

พิกัดระบบจำลอง 1500 VA 415 V

ค่าพารามิเตอร์ระบบจริง R/2 = 8.0494 Ω L/2 = 152.5613 mH C = 1.6120 μF

ค่าพารามิเตอร์ระบบจำลอง R/2 = 0.3696 Ω L/2 = 7.0066 mH C = 35.0998 μF

เปลี่ยน $C_{simulate}$ R/2 = 0.3604 Ω L/2 = 6.8314 mH C = 36.0000 μF

<u>โครงสร้างของอุปกรณ์ป้องกัน</u>

อุปกรณ์ป้องกันที่จัดสร้างและจำลองขึ้นนี้ ได้จำลองหลักการ และลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในระบบจริงเพื่อป้องกันความผิดปกติที่อาจจะเกิดขึ้น ในการจำลองได้จำลองอุปกรณ์ป้องกันไว้ทั้งหมด 5 ชนิดด้วยกันคือ

- รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (Overcurrent Relay)
- รีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติ (Auto-reclosing Relay)
- รีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติ (Over and Under Voltage Relay)
- เฟสซีเควันท์รีเลย์ (Phase Sequence Relay)
- เอิร์ทลีกเกจรีเลย์ (Earth Leakage Relay)

อุปกรณ์ป้องกันแต่ละชนิดมีโครงสร้าง, คุณสมบัติ, ลักษณะ, การนำไปใช้งาน และการป้องกันแตกต่างกัน ซึ่งมีลักษณะต่างๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์ หรือรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (Over Current Relay)

หลักการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินเป็นดังบล๊อกไดอะแกรมการทำงานดังแผนภูมิที่ 19 จากบล๊อกไดอะแกรมสามารถอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer) ทำหน้าที่ลดทอนกระแส และรับค่าของกระแสในสายส่งเข้ามาในชุดรีเลย์

ส่วนที่ 2 วงจรเรคติไฟร์เออร์ (Rectifier) เมื่อหม้อแปลงกระแสแปลงค่ากระแสในสายส่งลงมาอยู่ในระดับจะใช้สำหรับรีเลย์แล้วจะมีวงจรคอนเวอร์เตอร์ (I to V Convertor) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า และผ่านส่วนกรองสัญญาณความถี่สูงซึ่งป้องกันสัญญาณสไปท์ไม่ให้ผ่านเข้าไปภายในรีเลย์ สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้มาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สัญญาณที่ได้แล้วนี้จะถูกนำไปใช้วิเคราะห์ในส่วนต่อไป

ส่วนที่ 3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) สัญญาณแรงดันไฟกระแสตรงที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงที่ตั้งค่าไว้เพื่อใช้ในการตัดสินว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงนี้สามารถปรับตั้งได้

ส่วนที่ 4 วงจรหน่วงเวลา (Delay Time) เมื่อส่วนเปรียบเทียบแสดงว่ามีความผิดปกติของกระแสในสายของระบบแล้วจะส่งเอ้าท์พุทออกมามีค่าประมาณ +VCC สัญญาณนี้จะถูกนำมาหน่วงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ +VCC ด้วยวงจร RC เพื่อใช้ประโยชน์ในการโคออร์ดิเนตกับรีเลย์ชุดอื่นในระบบ ซึ่งสามารถปรับตั้งเวลาได้ที่ตัวต้านทานในการหน่วงเวลาจะมีเวลาทริปกลับอ้างอิง (Reference Inverse Time Trip) ตั้งไว้ เมื่อมีความผิดปกติของกระแสขึ้นในระบบ โอเวอร์เดอร์เร้นท์ รีเลย์ จะสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ เวลาที่จะใช้ในการสั่งทริปจะเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของกระแสที่ผิดปกติเวลาดังกล่าวสามารถปรับตั้งค่าได้ สัญญาณอ้างอิงที่ปรับตั้งนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบหาความแตกต่างกับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้มาจากส่วนที่ 2 ค่าความแตกต่างที่ได้จะถูกนำไปเป็นค่าในการกำหนดช่วงเวลาในการสั่งทริปของรีเลย์

ส่วนที่ 5วงจรส่งสัญญาณ สัญญาณที่สั่งทริปจากรีเลย์อาจจะทำให้การทำงานเปิดวงจรออกของเซอร์กิตเบรคเกอร์ผิดพลาดได้เนื่องจากช่วงสัญญาณสั่งทริปที่ส่งไปอาจจะมีช่วงเวลาที่สั้นเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ไม่มีช่วงเวลาในการปิดกลับ ดังนั้นวงจรส่งสัญญาณจึงมีเวลาอยู่ที่ช่วงเวลาคงที่ค่าหนึ่งเพื่อป้องกันความผิดพลาดดังกล่าว โดยจะอาศัยการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิ้ลมัลติไวเบร์เตอร์เป็นตัวสร้างสัญญาณ

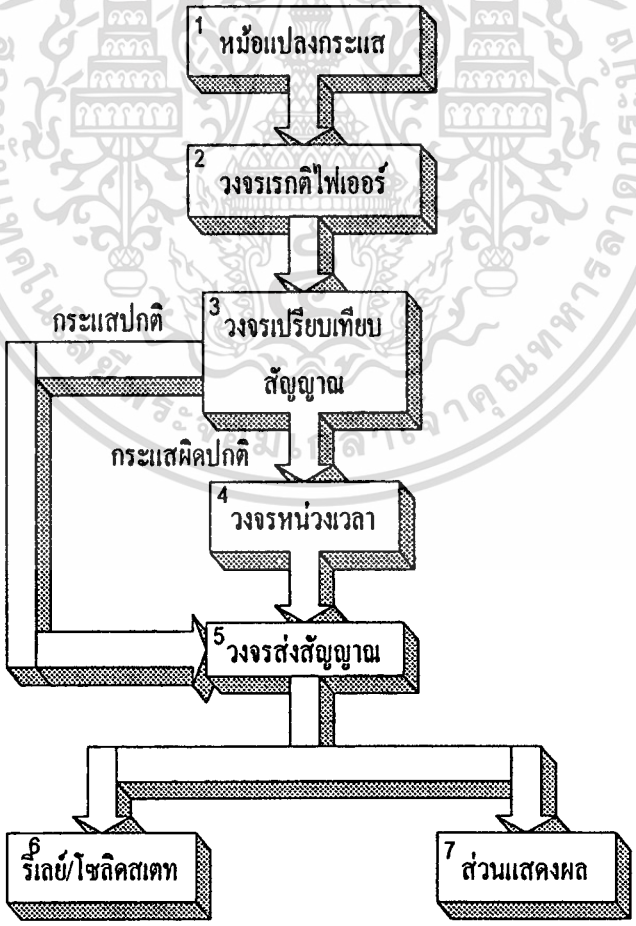
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 6 รีเลย์/โซลิดสเตทรีเลย์ สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรส่งสัญญาณจะถูกส่งมาที่คอนแทครีเลย์ ซึ่งเป็นแมคเนติคสวิทซ์ที่ต่ออนุกรมอยู่กับคอยล์ของแมคเนติค คอนแทคเตอร์ เนื่องจากโครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลองนี้ ใช้แมคเนติค คอนแทคเตอร์ จำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ซึ่งเปิด-ปิดวงจรโดยใช้สัญญาณไฟฟ้าในการควบคุมการทำงานดังนั้น คอนแทคปกติปิด (NC) ของรีเลย์จึงถูกต่อในลักษณะอนุกรมกับคอยล์ของแมคเนติคเพื่อใช้ในการเปิดวงจร

ส่วนที่ 7 ส่วนแสดงผล ขณะที่สัญญาณพัลส์จากส่วนที่ 5 ถูกส่งไปยังรีเลย์/โซลิดสเตทรีเลย์ ขณะเดียวกันสัญญาณพัลส์ที่ได้นี้จะถูกส่งไปยังวงจรแสดงผล เพื่อแสดงจำนวนครั้งในการทำงานของรีเลย์

แผนภูมิที่ 19

บล๊อกไดอะแกรมการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์ หรือรีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติ (Autoreclosing Relay)

หลักการทำงานของออโต้รีโคลสซิ่ง รีเลย์ ที่นำเสนอในโครงงานนี้ได้ออกแบบให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะทำงานร่วมกันกับโอเวอร์เคอร์เร้นท์รีเลย์ ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานเป็นดังบล๊อกไดอะแกรมการทำงานดังแผนภูมิที่ 20 จากบล๊อกไดอะแกรมสามารถอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 เมื่อเริ่มต้นทำงานข้อมูลต่างๆในรีเลย์จะถูกรีเซทให้อยู่ในสภาวะเริ่มต้นโดยมีปุ่มรีเซทไว้สำหรับให้ผู้ใช้ทำการรีเซทข้อมูลภายในตัวรีเลย์เพื่อเป็นการทำให้รีเลย์พร้อมที่จะทำงาน เมื่อเกิดการผิดปกติของกระแสในระบบ โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ จะเป็นตัวตัดสินใจในการที่จะสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ ถ้าโอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ มีสัญญาณส่งออกสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ก็จะส่งสัญญาณมายังส่วนที่ 1 นี้ด้วย

ส่วนที่ 2 วงจรรับสัญญาณจะได้รับสัญญาณสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ ทำให้ออโต้รีโคลสซิ่ง รีเลย์ทำการตัดสัญญาณเข้า

ส่วนที่ 3 สัญญาณที่ได้จากส่วนที่ 2 จะถูกตรวจสอบการสั่งทริปของ โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ โดยจะทำการตรวจสอบว่าเป็นการสั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ครั้งที่เท่าไร ถ้าจำนวนครั้งในการสั่งทริปน้อยกว่า 3 ครั้งออโต้ รีโคลสซิ่ง รีเลย์ จะต้องสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ทำการปิดกลับวงจรโดยส่งสัญญาณไปยังส่วนที่ 4 ถ้าในส่วนของการตรวจสอบจำนวนครั้งของการทริปพบว่าเป็นการทริปครั้งที่ 3 ออโต้ รีโคลสซิ่ง จะตัดสินใจไม่ให้มีการปิดกลับของเซอร์กิตเบรคเกอร์เกิดขึ้น โดยเมื่อระยะเวลาผ่านไปในช่วงเวลาหนึ่งก็จะมีสัญญาณเคลียร์ข้อมูลใน ออโต้ รีโคลสซิ่ง รีเลย์ ให้อยู่ในสภาวะเริ่มต้นอีกครั้ง ส่วนที่ 4 เริ่มต้นจากการหน่วงเวลาในการปิดกลับให้มากกว่า 1 วินาที เพื่อให้แน่ใจว่าฟอลต์น่าจะถูกเคลียร์ไปแล้ว เมื่อผ่านขั้นตอนการหน่วงเวลาในการปิดกลับแล้วก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนที่ 5

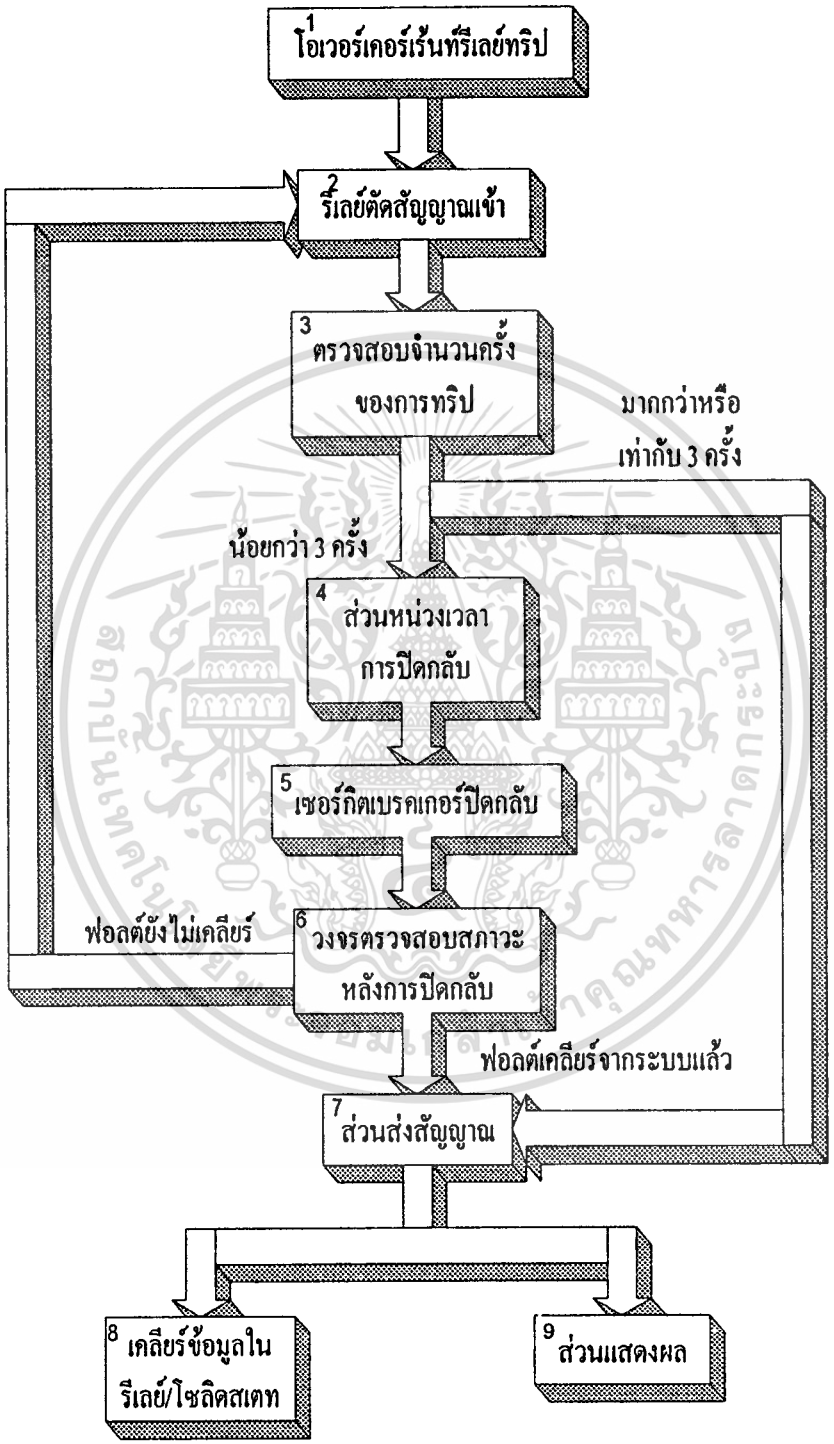
ส่วนที่ 5 เป็นส่วนที่ออโต้ รีโคลสซิ่งจะส่งสัญญาณให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับ โดยสัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งเข้าไปในส่วนของการหน่วงคาบของสัญญาณ เพื่อให้คาบเวลาของสัญญาณที่จะสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับมีค่าเวลาที่ค่าระดับหนึ่ง เพื่อให้อุปกรณ์ที่ตอบสนองกับสัญญาณดังกล่าวสามารถตอบสนองกับสัญญาณได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นสัญญาณนี้จะถูกส่งออกไปสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์มีการปิดกลับ

ส่วนที่ 6 ภายหลังจากการปิดกลับของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์จะตรวจสอบลักษณะการทำงานสภาวะหลังการปิดกลับว่าในระบบมีความผิดปกติอีกหรือไม่ ถ้ามีสัญญาณการทริปจะกลับไป โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนส่งสัญญาณข้อมูลต่างๆที่อยู่ในออโต้รีโคลสซิ่ง รีเลย์ จะถูกรีเซทไปอยู่ในสภาวะเริ่มต้นอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิที่ 20

บล๊อกไดอะแกรมการทำงานของรีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 7 วงจรส่งสัญญาณ ทำงานในลักษณะของการจับเวลาช่วงระยะเวลาหนึ่ง (โดยสามารถปรับตั้งระยะเวลานี้ได้) เมื่อครบเวลาที่กำหนดไว้แล้วก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนแสดงผล และโซลิดสเตทรีเลย์

ส่วนที่ 8 รีเลย์/โซลิดสเตทรีเลย์ สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรส่งสัญญาณจะถูกส่งมาที่คอนแทครีเลย์ ซึ่งเป็นแมคเนติคสวิทช์ที่ต่ออนุกรมอยู่กับคอยล์ของแมคเนติค คอนแทคเตอร์ ดังนั้น คอนแทคปกติเปิด (NO) ของรีเลย์จึงถูกต่อในลักษณะอนุกรมกับคอยล์ของแมคเนติคเพื่อใช้ในการปิดวงจรของแมคเนติคคอนแทคเตอร์ รีเลย์

ส่วนที่ 9 ส่วนแสดงผล ขณะที่สัญญาณพัลส์จากส่วนที่ 7 ถูกส่งไปยังรีเลย์/โซลิดสเตทรีเลย์ ขณะเดียวกันสัญญาณพัลส์ที่ได้นี้จะถูกส่งไปยังวงจรแสดงผล เพื่อแสดงจำนวนครั้งในการทำงานของรีเลย์

โอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์ หรือรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติ
(Over and Under Voltage Relay)

หลักการทำงานของรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติเป็นดังบล็อกไดอะแกรมการทำงานดังแผนภูมิที่ 21 จากบล็อกไดอะแกรมสามารถอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Potential Transformer) ทำหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟฟ้า และรับค่าแรงดันไฟฟ้าจากระบบสายส่งเข้ามาในชุดรีเลย์

ส่วนที่ 2 วงจรเรคติไฟร์เออร์ (Rectifier) เมื่อหม้อแปลงแรงดันแปลงค่าแรงดันในสายส่งลงมาอยู่ในระดับที่จะใช้สำหรับรีเลย์แล้ว สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนที่ 3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) สัญญาณแรงดันไฟกระแสตรงที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงที่ตั้งค่าไว้ ถ้าความต่างของสัญญาณอยู่ในช่วงค่าที่กำหนดระบบจะดำเนินต่อไปโดยปกติแต่ถ้าความต่างของสัญญาณมีค่าสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด ก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนที่ 4

ส่วนที่ 4 วงจรหน่วงเวลา (Delay Time) เมื่อส่วนเปรียบเทียบทราบว่ามีความผิดปกติของกระแสในสายของระบบแล้วจะส่งเอ้าท์พุทออกมาสัญญาณนี้จะถูกนำมาหน่วงการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้วยวงจร RC

ส่วนที่ 5 รีเลย์/โซลิดสเตทรีเลย์ สัญญาณแรงดันเอาท์พุทที่ได้จากส่วนที่ 4 จะส่งมาขับการทำงานของรีเลย์ซึ่งมีหน้าคอนแทคต่อขนานกับระบบอยู่ เมื่อรีเลย์ทำงานจะส่งผลให้คอนแทคช่วยของไซเรนที่เป็นหน้าสัมผัสปกติเปิด (NO) ทำการปิด ไซเรนที่เป็นสัญญาณเตือนซึ่งติดตั้งอยู่ในตู้ก็จะเกิดเสียงดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 6 ส่วน LED แสดงผล เป็นการแสดงค่าสภาวะของแรงดันในระบบโดยถ้า

LED สีเขียวของ NORMAL ติด แสดงถึงค่าแรงดันอยู่ในช่วงพิกัดที่กำหนด

LED สีแดงของ OVER ติด แสดงถึงค่าแรงดันสูงกว่าค่าพิกัดที่กำหนด

LED สีแดงของ UNDER ติด แสดงถึงค่าแรงดันต่ำกว่าค่าพิกัดที่กำหนด

ส่วนที่ 7 วงจรเรคติไฟร์เออร์ทำหน้าที่นำสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากหม้อแปลงแรงดันมาแปลง และกรองให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

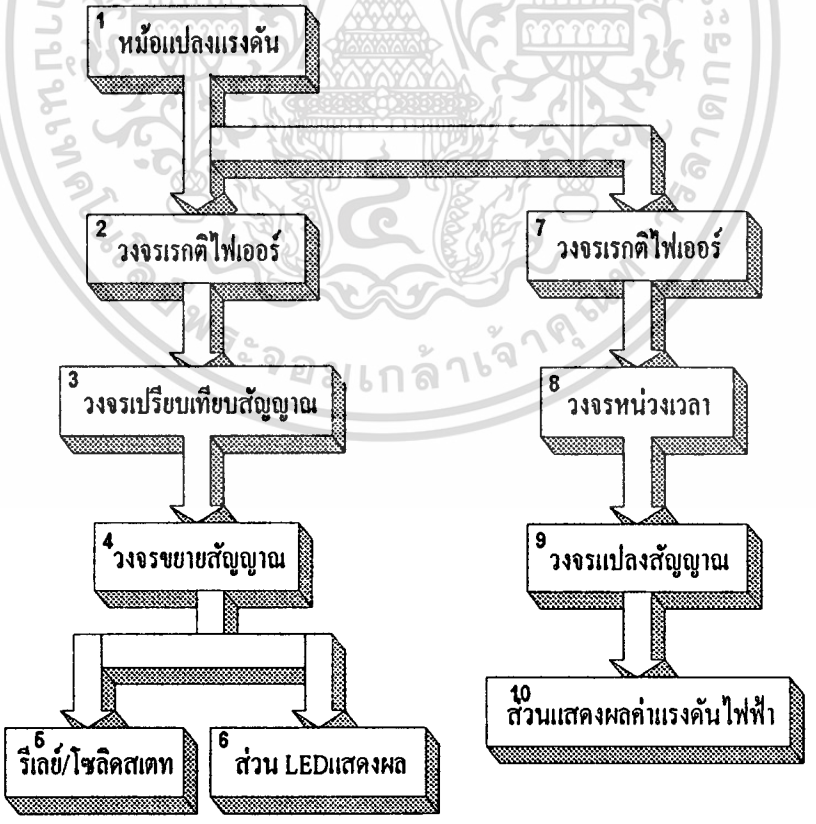
ส่วนที่ 8 วงจรหน่วงเวลาทำการหน่วงเวลาค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากส่วนที่ 7

ส่วนที่ 9วงจรแปลงสัญญาณ (AC to DC Converter) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล

ส่วนที่ 10 ส่วนแสดงผลค่าแรงดันไฟฟ้า ใช้เซเว่นเซกเม้นท์ (7-Segment) ชนิดสองดิจิตสองชุดในการแสดงผลของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ขณะทำการตรวจสอบค่า

แผนภูมิที่ 21

บล๊อกไดอะแกรมการทำงานของรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติ

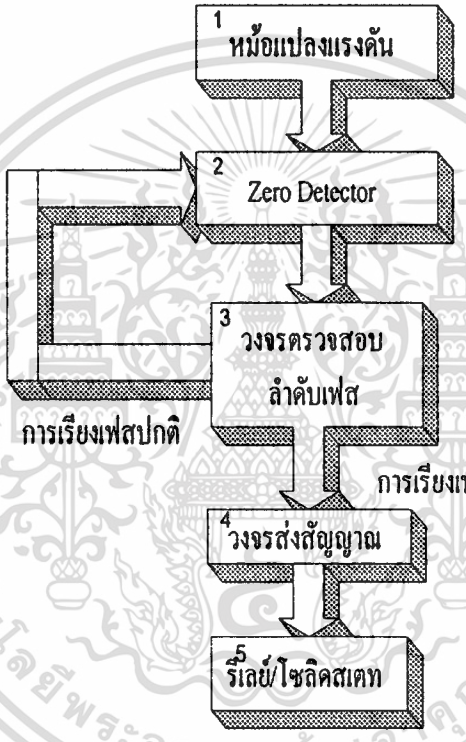


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟสซีเควันท์รีเลย์ หรือรีเลย์ตรวจจับทิศทาง (Phase Sequence Relay)

หลักการทำงานของเฟสซีเควันท์รีเลย์เป็นดังบล๊อกไดอะแกรมการทำงานดังแผนภูมิที่ 22 จากบล๊อกไดอะแกรมสามารถอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

แผนภูมิที่ 22
บล๊อกไดอะแกรมการทำงานของเฟสซีเควันท์รีเลย์



ส่วนที่ 1 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าทำหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟฟ้า และรับค่าแรงดันไฟฟ้าในสายส่งเข้ามาในชุดรีเลย์

ส่วนที่ 2 วงจรเช็คสัญญาณศูนย์ (Zero Detector) ใช้ตรวจสอบสัญญาณศูนย์ของระบบไฟฟ้าสามเฟสที่ต่อเข้ากับรีเลย์ ในส่วนนี้มีวงจรเรคติไฟเออร์เพื่อแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงรวมอยู่ด้วย

ส่วนที่ 3 วงจรตรวจสอบลำดับเฟส ใช้ตรวจสอบทิศทางการลำดับเฟส ถ้าทิศทางการลำดับเฟสเป็นไปในทำนองเดียวกันกับรูปแบบที่ตั้งไว้คือ A, B, C ก็จะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปยังวงจรในส่วนที่ 2 เพื่อทำการตรวจสอบสัญญาณครั้งต่อไป แต่ถ้าทิศทางการลำดับเฟสไม่เป็นไปตามรูปแบบที่ตั้งไว้ก็จะส่งสัญญาณไปยังส่วนที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 4 วงจรส่งสัญญาณ ทำหน้าที่ส่งสัญญาณแรงดันที่ได้ไปยังส่วนแสดงผล ในวงจรส่งสัญญาณนี้มีวงจรหน่วงเวลาการทำงานเพื่อเป็นการตรวจสอบให้แน่ใจว่าระบบมีทิศทางการลำดับเฟสผิดจากคุณสมบัติที่กำหนดไว้จริง

ส่วนที่ 5 ส่วนแสดงผล ใช้หลอดไฟแสดงสถานะของระบบโดยหลอดไฟสีแดงจะติดก่อนเป็นเวลาประมาณ 3 วินาที หลังจากนั้นเมื่อรีเลย์ทำการตรวจสอบสัญญาณเรียบร้อยแล้ว ถ้าระบบมีทิศทางการลำดับเฟสถูกต้องหลอดไฟสีเขียวจะติด แต่ถ้าระบบมีทิศทางการลำดับเฟสไม่ถูกต้องหลอดไฟสีแดงจะติดอยู่ตลอดโดยไม่ดับ

เอิร์ธลีกเกจรีเลย์ หรือรีเลย์ตรวจจับการรั่วไหลลงดิน (Earth Leakage Relay)

หลักการทำงานของเอิร์ทลีกเกจรีเลย์เป็นดังบล็อกไดอะแกรมการทำงานดังแผนภูมิที่ 23 จากบล็อกไดอะแกรมสามารถอธิบายลำดับขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

ส่วนที่ 1 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer) ทำหน้าที่ลดทอนกระแส และรับค่าของกระแสในสายส่งเข้ามาในชุดรีเลย์

ส่วนที่ 2 วงจรเรคติไฟร์เออร์ (Rectifier) เมื่อหม้อแปลงกระแสแปลงค่ากระแสในสายส่งลงมาอยู่ในระดับจะใช้สำหรับรีเลย์แล้วจะมีวงจรคอนเวอร์เตอร์ (I to V Convertor) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากกระแสไฟฟ้าเป็นแรงดันไฟฟ้า และผ่านส่วนกรองสัญญาณความถี่สูงซึ่งป้องกันสัญญาณสไปท์ไม่ให้ผ่านเข้าไปภายในรีเลย์ สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้มาจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สัญญาณที่ได้แล้วนี้จะถูกนำไปใช้วิเคราะห์ในส่วนต่อไป

ส่วนที่ 3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ (Comparator) สัญญาณแรงดันไฟกระแสตรงที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงที่ตั้งค่าไว้เพื่อใช้ในการตัดสินว่ามีความผิดปกติเกิดขึ้นหรือไม่ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงนี้สามารถปรับตั้งได้

ส่วนที่ 4 วงจรหน่วงเวลาการตัดวงจร เมื่อส่วนเปรียบเทียบแสดงว่ามีความผิดปกติของกระแสในสายของระบบแล้วจะส่งสัญญาณเอาท์พุทออกมา สัญญาณนี้จะถูกนำมาหน่วงเวลาซึ่งสามารถปรับตั้งเวลาการหน่วงได้ที่ตัวความต้านทานในการหน่วงเวลา

ส่วนที่ 5วงจรหน่วงเวลาการปิดกลับ สัญญาณที่สั่งทริปจากรีเลย์อาจจะทำให้การทำงานเปิดวงจรออกของเซอร์กิตเบรคเกอร์ผิดพลาดได้เนื่องจากช่วงสัญญาณสั่งทริปที่ส่งไปอาจจะมีช่วงเวลาที่สั้นเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ไม่มีช่วงเวลาในการปิดกลับ ดังนั้น ในส่วนนี้จึงมีค่าเวลาอยู่ที่ช่วงเวลาคงที่ค่าหนึ่งเพื่อป้องกันความผิดพลาดดังกล่าว

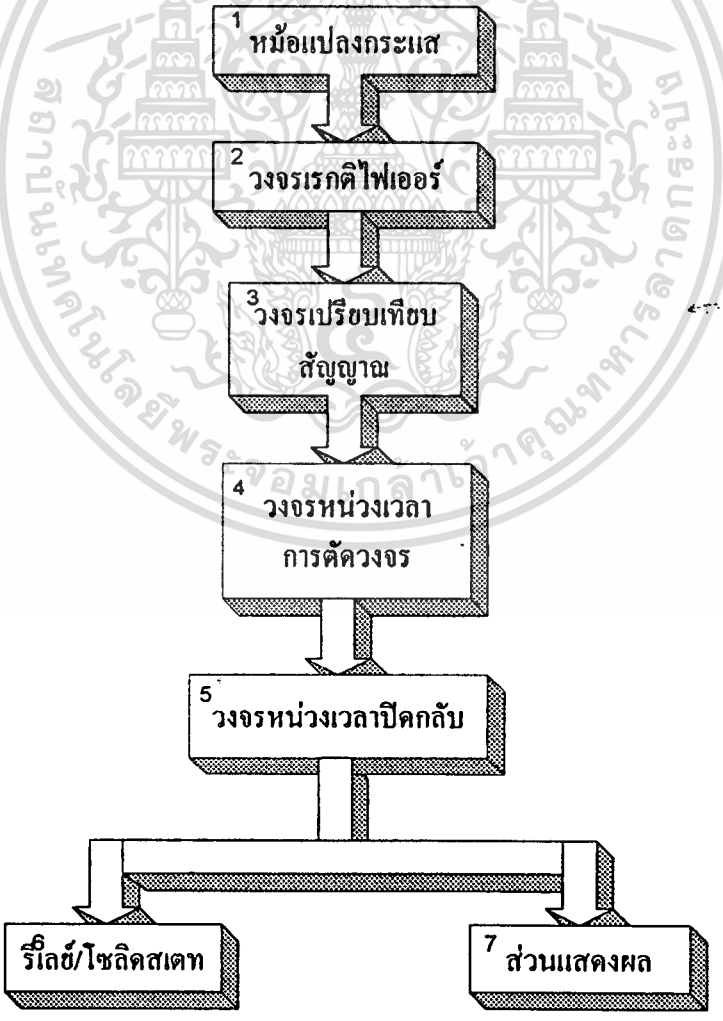
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 6 รีเลย์/โซลิดสเตทรีเลย์ สัญญาณพัลส์ที่ได้จากวงจรส่งสัญญาณจะถูกส่งมาที่คอนแทครีเลย์ ซึ่งเป็นแมคเนติคสวิทช์ที่ต่ออนุกรมอยู่กับคอยล์ของแมคเนติค คอนแทคเตอร์ เนื่องจากโครงงานระบบไฟฟ้ากำลังจำลองนี้ ใช้แมคเนติค คอนแทคเตอร์ จำลองการทำงานของเซอร์กิตเบรคเกอร์ ซึ่งเปิด-ปิดวงจรโดยใช้สัญญาณไฟฟ้าในการควบคุมการทำงานดังนั้น คอนแทคปกติปิด (NC) ของรีเลย์จึงถูกต่อในลักษณะอนุกรมกับคอยล์ของแมคเนติคเพื่อใช้ในการเปิดวงจร

ส่วนที่ 7 ส่วนแสดงผล ขณะที่สัญญาณพัลส์จากส่วนที่ 5 ถูกส่งไปยังรีเลย์/โซลิดสเตทรีเลย์ขณะเดียวกันสัญญาณพัลส์นี้จะถูกส่งไปยังวงจรแสดงผล เพื่อแสดงจำนวนครั้งในการทำงานของรีลย์/โซลิดสเตทรีเลย์

แผนภูมิที่ 23

บล๊อกไดอะแกรมการทำงานของเอิร์ธลีกเกจรีเลย์



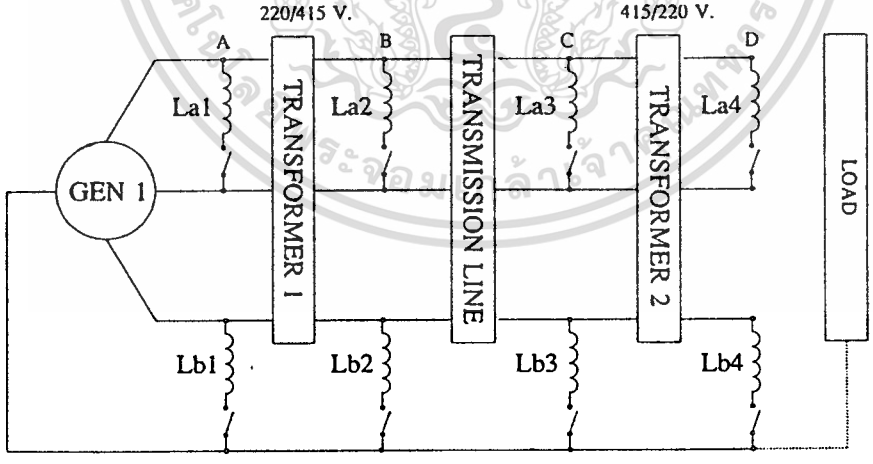
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของการจำลองความผิดปกติ

ในการจำลองความผิดปกติของระบบไฟฟ้ากำลังได้ทำการจำลองความผิดปกติด้วยกันทั้งหมด 5 ชนิด คือ

1. การเกิดการลัดวงจร จากไดอะแกรมภาพที่ 1 ตำแหน่ง A, B, C และ D เป็นตำแหน่งที่ใช้ในการจำลองการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร ในการจำลองการลัดวงจรนี้มีข้อจำกัดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งมีกระแสเต็มพิกัด (Rated Current) 8.5 แอมป์ ทำให้ไม่สามารถทำการลัดวงจรจริง ๆ ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) มาทำการจำกัดกระแสลัดวงจรที่สร้างขึ้นมาให้ได้ตามที่ต้องการ เหตุที่ต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำแทนการใช้ตัวต้านทานก็เพราะตัวเหนี่ยวนำมีการสูญเสียน้อย สามารถลดค่าอัตราการเพิ่มของกระแส และสามารถสร้างให้ได้ค่าต่าง ๆตามที่ต้องการได้ง่ายกว่าค่าอิมพิแดนซ์ชนิดอื่น ๆ ในการจำลองการลัดวงจรได้ทำการจำลองการลัดวงจรสองชนิดด้วยกันคือ การลัดวงจรระหว่างสาย กำหนดให้สัญลักษณ์ในการจำลองเป็น L_a และการลัดวงจรระหว่างสายเฟสกับกราวน์กำหนดให้สัญลักษณ์ในการจำลองเป็น L_b จุดต่างๆในการจำลองการเกิดกระแสลัดวงจรเป็นดังภาพที่ 24

ภาพที่ 24
แสดงการจำลองการเกิดกระแสลัดวงจร



สำหรับการจำลองการลัดวงจร กำหนดให้เกิดกระแสลัดวงจรเฉพาะในกรณีไร้ภาระโหลดทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการจำกัดค่ากระแสลัดวงจรให้ได้ตามต้องการ ซึ่งพิจารณาจากตำแหน่ง A ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีค่ากระแสลัดวงจรสูงสุด โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 9 แอมป์ (พิจารณาจากกระแสเต็มพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งมีค่า 8.5 แอมป์) ส่วนที่ตำแหน่ง B เนื่องจากต้องผ่านหม้อแปลงเพิ่มแรงดันไฟฟ้าทำให้กระแส 9 แอมป์ จะลดเหลือเพียง 4.77 แอมป์ (จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_1/V_2 = I_2/I_1$; 220/415 = I_2 ; I_2 = 4.77) จากภาพที่ 24 จะเห็นได้ว่า แต่ละตำแหน่งของ A, B, C และ D นั้น ต้องการค่าความเหนี่ยวนำ 2 ค่า คือเพื่อสร้าง ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์ (L_a) และสร้าง ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์ (L_b) ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำของที่ตำแหน่ง A สามารถหาได้จาก

กรณี ไลน์-ทู-ไลน์ ฟอลต์

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

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

จาก $V_L = I_{sc} \times X_{La1}$

$220 = 9 \times X_{La1}$

X_{La1} = 24.44 โอห์ม (Ω)

จาก $X_L = 2 \times \pi \times f \times L$

$24.44 = 2 \times \pi \times 50 \times L_{a1}$

L_{a1} = 77.81 มิลลิเฮนรี่ (mH)

กรณี ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์

V_{LN} = 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_{La2} = 87.00 โอห์ม

L_{a2} = 276.94 มิลลิเฮนรี่

กรณี ไลน์-ทู-กราวน์ ฟอลต์

X_{Lb2} = 50.31 โอห์ม

L_{b2} = 160.14 มิลลิเฮนรี่

ส่วนตำแหน่ง C นั้น จะเห็นได้ว่ามีแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเท่ากับตำแหน่ง B

ดังนั้น ค่า L_{a3} = 276.94 มิลลิเฮนรี่

และ L_{b3} = 160.14 มิลลิเฮนรี่

ในทำนองเดียวกัน ที่ตำแหน่ง D ก็จะเหมือนกับตำแหน่ง A คือ

$L_{a4} = L_{a1}$ = 77.81 มิลลิเฮนรี่

$L_{b4} = L_{b1}$ = 44.92 มิลลิเฮนรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างตัวเหนี่ยวนำในการจำลองการลัดวงจร

$$\text{ขนาดแกนเหล็ก} = \frac{\sqrt{VA}}{5.58} \quad \text{ตร.นิ้ว}$$

<u>ตัวอย่าง</u> จากตำแหน่ง A ที่ L_{a2}

$$V = 127\ V\ ,\ I = 9\ A$$

$$\therefore \text{ขนาดแกนเหล็ก} = \frac{\sqrt{127x9}}{5.58} = 6 \text{ ตร.นิ้ว}$$

$$= 2.46 \times 2.46 \text{ ตารางนิ้ว} \approx 2.5 \times 2.5 \text{ ตารางนิ้ว}$$

ได้ขนาดแกนเหล็กแล้วนำมาสร้างบ๊อบบิ้น ในโครงงานนี้ได้เผื่อขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กออกไป 20 % ทำให้ได้ขนาดของบ๊อบบิ้น = 2.5 x 3 ตารางนิ้ว ใช้ลวดเบอร์ 14 SWG

จาก $V = 2\pi fLI$ ---------- (1)

และ $V = 4.44fNBA$ ---------- (2)

จาก $L_{a1} = 77.81$ mH , $I = 9$ A

จากสมการ (1) จะได้

$$V = 2\pi x50x77.81x10^{-3}x9$$

$$= 220 \quad V$$

ให้ B = 1 นำ V = 220 V ไปแทนใน (2) จะได้

$$220 = 4.44x50x1xNA$$

$$NA = \frac{220}{4.44x50x1} = 0.99 \approx 1$$

$$N = \frac{1}{A} = \frac{1}{2.5^2x2.54^2x10^{-4}} = 248 \text{ รอบ}$$

จะได้จำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำทั้งหมดดังนี้

ที่ $L_{a1} = L_{a4} = 77.81$ mH

ได้ N = 248 รอบ

ที่ $L_{b1} = L_{b4} = 44.92$ mH

ได้ N = 141 รอบ

ที่ $L_{a2} = L_{a3} = 276.94$ mH

ได้ N = 461 รอบ

ที่ $L_{b2} = L_{b3} = 160.14$ mH

ได้ N = 265 รอบ

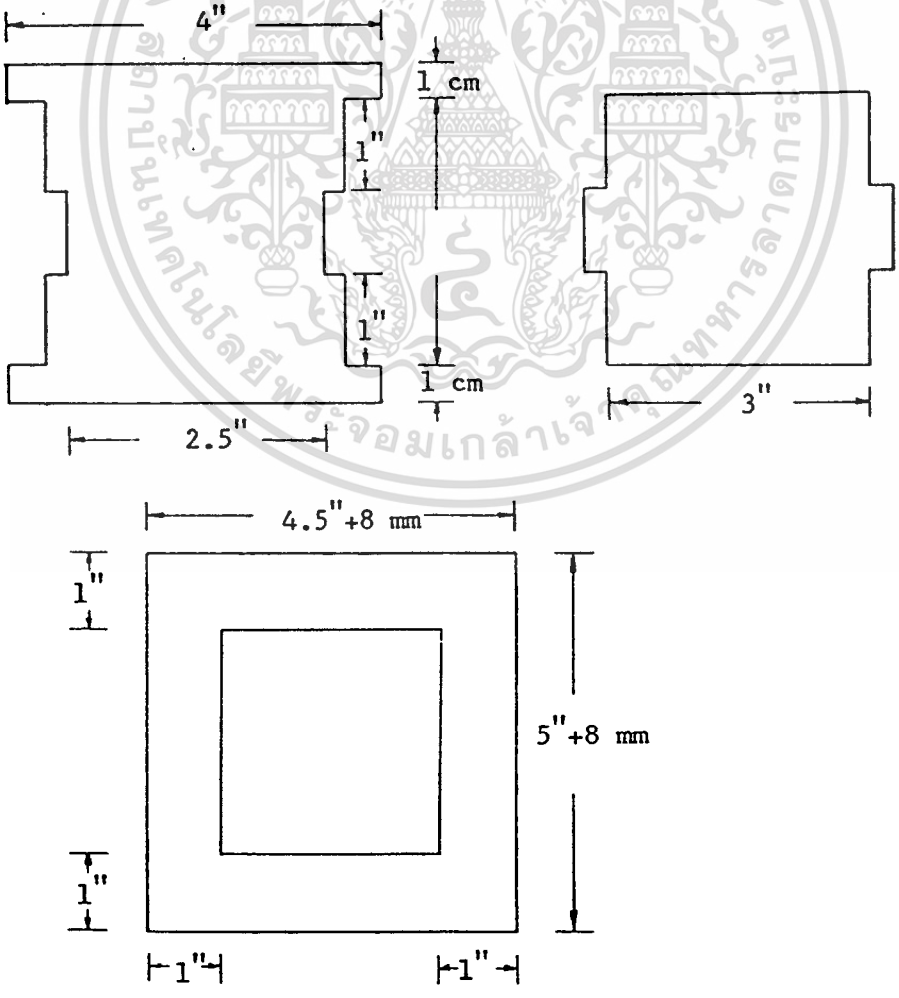
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการสร้างบ๊อบบิ้นด้วยเบคกาไลน์ โดยมีขนาดดังภาพที่ 25 และโครงสร้างตัวเหนี่ยวนำที่จัดทำขึ้นเป็นดังภาพที่ 26 จำนวนรอบที่คำนวณได้นี้เมื่อทำการพันจริง จะต้องนำมาตรวจสอบกับค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแส ณ จุดที่จะใช้งานจริงๆ ด้วย (ในกรณีนี้ เราไม่จำเป็นทดสอบความลิเนียร์ของตัวเหนี่ยวนำ เพราะในการใช้งานจะเป็นในลักษณะที่แรงดันไฟฟ้าและกระแสค่าเดียวเท่านั้น) จากการทดสอบมักจะพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ได้ มีค่าไม่เท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณแต่สามารถแก้ไขได้โดยการปรับระยะช่องว่างอากาศ

จากที่กล่าวมาอาจมีข้อขัดแย้งว่าเมื่อคิดค่ากระแสลัดวงจรเท่ากันหมดทั้ง 4 ตำแหน่งแล้วอาจจะทำให้รีเลย์ที่ใช้ตัดกระแสลัดวงจรทำงานผิดพลาด โดยตัดกระแสพร้อมกันหมดไม่ว่าจะทำการทดลองกระแสลัดวงจรที่จุดใดก็ตามซึ่งในความเป็นจริงแล้วจะไม่เป็นเช่นนั้นทั้งนี้เป็นเพราะสาเหตุ 2 ประการคือ

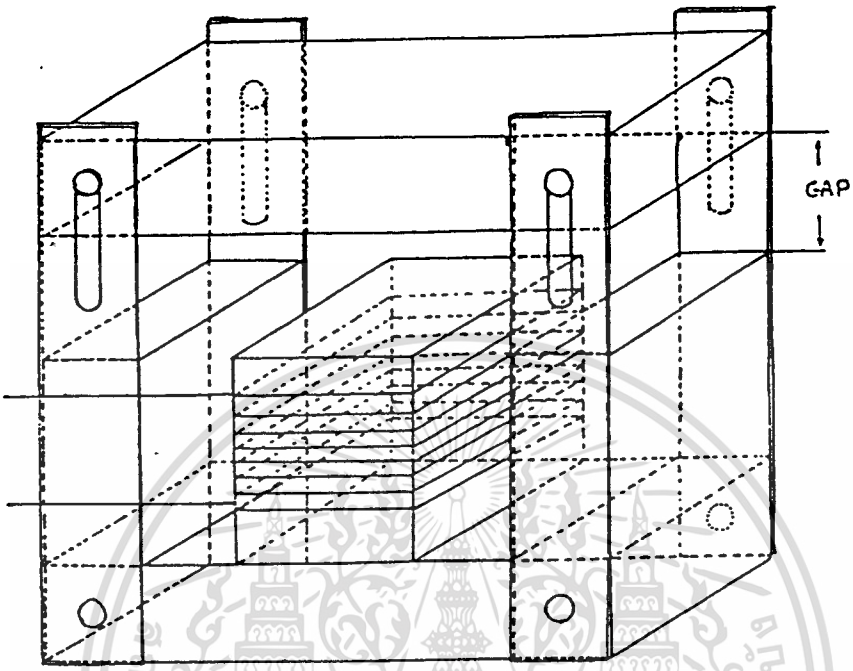
ภาพที่ 25

ขนาดแผ่นเบคกาไลน์ ที่ใช้ทำบ๊อบบิ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 26
โครงสร้างของตัวเหนี่ยวนำที่จัดทำขึ้น



ประการแรก เนื่องจากค่าอิมพิแดนซ์ของหม้อแปลงและสายส่งในระบบทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม (Voltage Drop) ขึ้น ทำให้ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้ลดลงไปด้วย ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีการเกิดกระแสลัดวงจรที่ตำแหน่ง B เอาท์พุทโวลเตจ (Output Voltage) ของหม้อแปลงอาจจะเหลือเพียง 410 โวลท์ แทนที่จะเป็น 415 โวลท์ ซึ่งจะทำให้ค่ากระแสลัดวงจรที่ได้ มีค่าไม่ถึง 4.77 แอมป์ ตามที่ได้คำนวณไว้ และจะมีผลให้กระแสทางด้านอินพุทของหม้อแปลงมีค่าไม่ถึง 9 แอมป์ด้วย ดังนั้นรีเลย์ที่ตำแหน่ง A ก็จะไม่ทำงาน ส่วนที่ตำแหน่งอื่น ๆ ก็เช่นเดียวกัน

ประการที่สอง ในการใช้งานของโอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์นั้นต้องมีการโคออร์ดิเนชั่น (Coordination) ของรีเลย์ทั้งระบบก่อน ซึ่งจะทำให้เราสามารถตั้งค่าของเวลาในการทริปของรีเลย์แต่ละตำแหน่งให้สัมพันธ์กันได้

2. <u>การเกิดกระแสเกิน</u>

ในการจำลองสภาวะการเกิดกระแสเกินนั้นใช้การต่อโหลดขนานเพิ่มเข้าไปกับภาระโหลดในสภาวะปกติซึ่งจะทำให้กระแสไหลในระบบเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าเกินพิกัดที่ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. <u>การเกิดแรงดันไฟฟ้าสูงเกินและต่ำเกินพิกัด</u>

การเกิดสภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน หรือต่ำเกินพิกัด สามารถจำลองได้โดยการปรับจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ปรับที่กระแสสร้างสนาม) โดยตรงให้ได้ค่าตามที่ต้องการ

4. <u>การเรียงเฟสผิด</u>

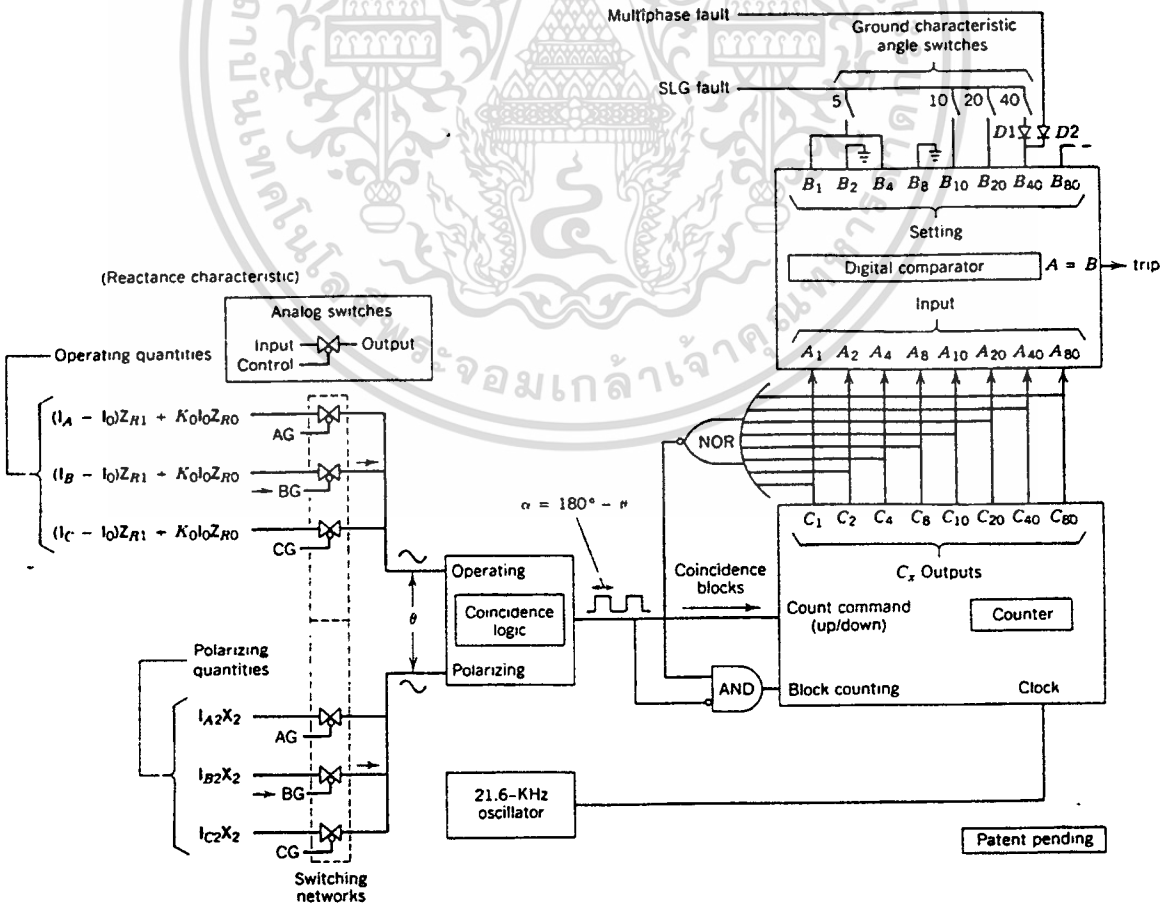
การเรียงเฟสผิดสามารถจำลองอย่างง่ายโดยทำการต่อสายเฟส 3 สายให้สลับกัน โดยในการสลับต้องสลับให้ไม่เรียงตามลำดับเฟส (Phase Sequence)

5. <u>การเกิดไฟฟ้ารั่วไหลลงดิน</u>

การเกิดสภาวะรั่วไหลลงดิน คือ การที่เกิดกระแสบางส่วนรั่วไหลลงดิน จากลักษณะการจำลองการเกิดความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลัง และลักษณะการตรวจสอบดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น ในระบบจริงอาศัยเครื่องมือวัดเป็นตัวส่งสัญญาณให้กับอุปกรณ์ป้องกัน[19] ดังรายละเอียดที่แสดงในภาพที่ 27

ภาพที่ 27

ฟังก์ชั่นเครื่องมือวัดหลักของโครงสร้างการป้องกันสายส่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วงจร และการทำงาน

<u>วงจรหลัก</u>

วงจรกำลัง (Power Circuit)

จากไดอะแกรมเส้นเดี่ยวในภาพที่ 1 ตำแหน่ง A, B, C และ D คือ ส่วนของระบบป้องกัน ในระบบไฟฟ้ากำลังจริงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติคืออุปกรณ์ประเภทสวิทช์เกียร์ สำหรับชุดการทดลองนี้ใช้แมกเนติกคอนแทกเตอร์แทนซึ่งจากภาพที่ จะเห็นว่ามีแมกเนติกคอนแทกเตอร์ทั้งหมด 12 ตัว แบ่งออกเป็น 4 ชุด ชุดละ 3 ตัว โดยแมกเนติก คอนแทกเตอร์ ทั้ง 3 ตัวของแต่ละชุดมีหน้าที่การทำงานที่ต่างกันดังนี้ กำหนดให้

MC1: ส่วนของคอนแทคเมน และยังมีคอนแทคช่วยในส่วนของวงจรควบคุมบางส่วน

LLF : ส่วนป้องกันความผิดปกติระหว่างสาย

LGF : ส่วนป้องกันความผิดปกติระหว่างสายกับกราวน์

จากชุดทดลองนี้มีการเดินสายในส่วนของวงจรกำลัง และวงจรควบคุมด้วยสายไฟหลายสี เพื่อจำแนกความแตกต่างของสายเฟส สายไลน์ และสายกราวน์ ดังนี้

สายสีแดง	คือเฟส R ของส่วนวงจรกำลัง
สายสีเหลือง	คือ เฟส S ของส่วนวงจรกำลัง
สายสีน้ำเงิน	คือ เฟส T ของส่วนวงจรกำลัง
สายสีขาว	คือ สายไลน์ของส่วนวงจรควบคุม
สายสีดำ	คือ สายกราวน์ของระบบ
สายสีเขียว	คือ แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับรีเลย์ชนิดต่างๆ
สายสีเทา	คือ สายสัญญาณที่มาจากหม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแส

จากภาพที่ 28 เป็นส่วนของวงจรกำลัง จะเห็นว่าวงจรถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

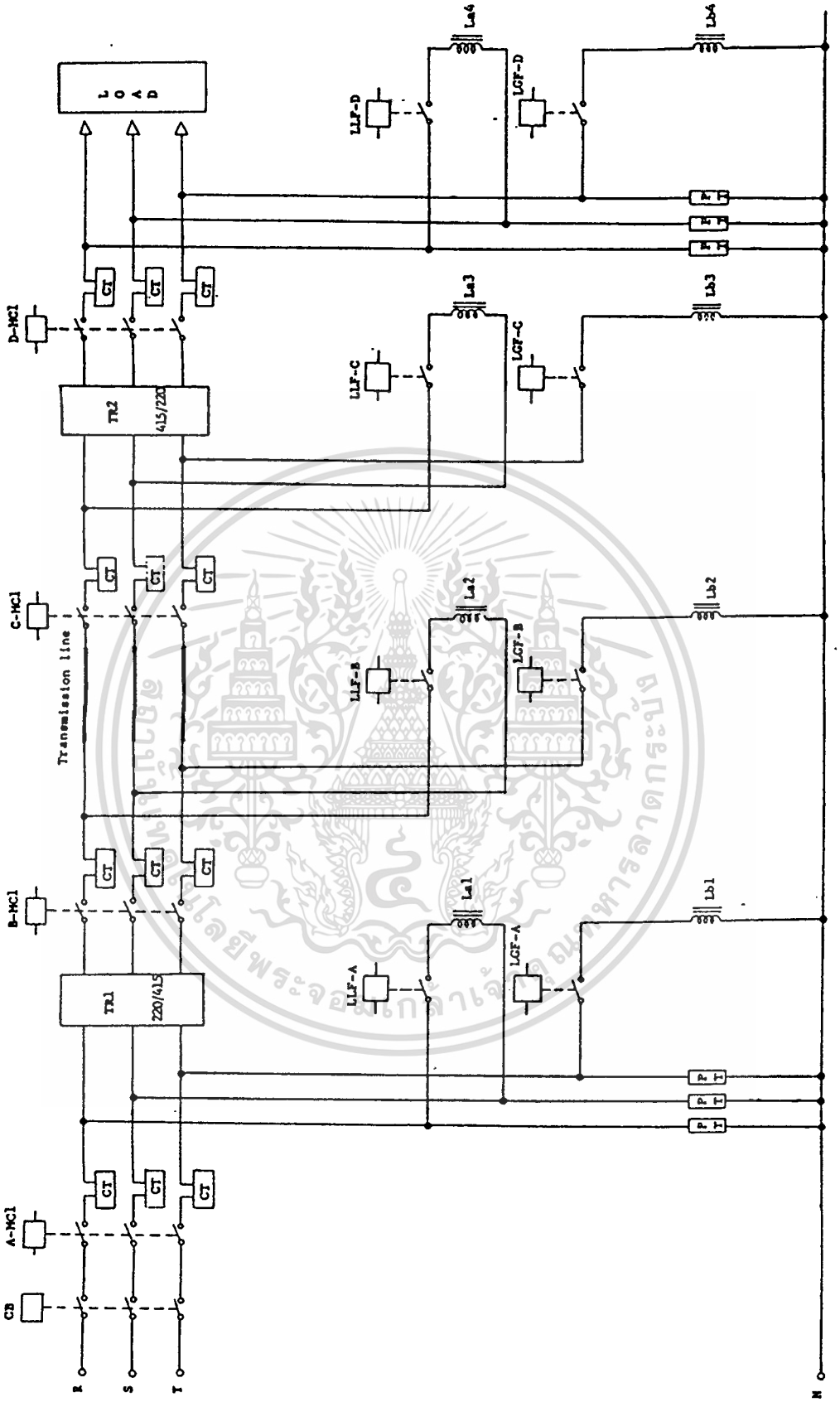
ส่วน A: ช่วงก่อนหม้อแปลงเพิ่มแรงดันไฟฟ้า (TR_1)

ส่วน B: ช่วงหลังหม้อแปลงเพิ่มแรงดันไฟฟ้า (TR_1) และก่อนสายส่ง

ส่วน C: ช่วงหลังสายส่ง และก่อนหม้อแปลงลดแรงดันไฟฟ้า (TR_2)

ส่วน D: ช่วงหลังหม้อแปลงลดแรงดันไฟฟ้า (TR_2) และก่อนเข้าภาระโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 28
วงจรกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาในแต่ละส่วนจะเห็นว่ามีสวิทซ์ 3 เฟส อยู่ทุกส่วนเพื่อตัดต่อวงจรเข้าสู่ส่วนต่างๆที่ต้องการ และเพื่อประโยชน์ในการทดสอบทีละส่วน ถ้าต้องการทดสอบในส่วนใดก็ให้ปิดสวิทซ์เฉพาะส่วนนั้น ในส่วนอื่นให้เปิดสวิทซ์ไว้ เช่นถ้าต้องการทดสอบในส่วน A ก็ปิดสวิทซ์ 3 phase ($SW1_A$) ของส่วน A ในขณะที่สวิทซ์ของส่วน B ($SW1_B$) เปิดอยู่ไฟที่จ่ายมาก็จะค้างอยู่ที่ส่วน A เพียงส่วนเดียว

จากวงจรกำลังจะเห็นว่ามีหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (PT) อยู่ 2 ชุด ชุดละ 3 ตัว โดยชุดแรกจะอยู่ที่ส่วน A ทำหน้าที่เช็คระดับแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลง (TR_1) ส่วนชุดที่ 2 จะอยู่ที่ส่วน D ทำหน้าที่เช็คระดับแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากหม้อแปลง (TR_2) หลักการทำงานของหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า ทำหน้าที่แปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่รับเข้ามาจากสายเมนแล้วแปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงเป็นเอาท์พุตไปเข้าแผงวงจรอิเลคทรอนิกส์ต่างๆ โดยระดับแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาทางเอาท์พุทมีค่าเท่ากับ 10 V ส่วนหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าจากวงจรหลักลงมาสู่ระดับที่วงจรอิเลคทรอนิกส์สามารถรับได้ ซึ่งจากวงจรจะเห็นว่ามีหม้อแปลงกระแสอยู่ 4 ชุด ชุดละ 3 ตัว ต่อเข้ากับเฟส R, เฟส S และเฟส T เฟสละ 1ตัว

วงจรควบคุม (Control Circuit)

วงจรควบคุมในโครงงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. วงจรควบคุมระบบป้องกันในส่วน A, B, C และD
2. วงจรควบคุมการจำลองความผิดปกติ แบ่งออกเป็นวงจรควบคุมไลน์ทูไลน์ฟอลต์ และวงจรควบคุมไลน์ทูกราวน์ฟอลต์

กำหนดให้อุปกรณ์ป้องกันต่างๆมีสัญลักษณ์ในการอ้างอิงดังนี้คือ

RL1 แทนสัญลักษณ์ของโอเวอร์เคอเร้น รีเลย์ (Overcurrent Relay)

RL2 แทนสัญลักษณ์ของออโต้ รีโคลส รีเลย์ (Auto Reclose Relay)

RL3 แทนสัญลักษณ์ของโอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์ โวลเตจ รีเลย์ (Over and Under Voltage Relay)

RL4 แทนสัญลักษณ์ของเฟสซีเควนซ์ รีเลย์ (Phase Sequence Relay)

RL5 แทนสัญลักษณ์ของเอิร์ทฟอลต์ รีเลย์ (Earth Fault Relay)

สำหรับวงจรควบคุมระบบป้องกันในส่วน A, B, C และD มีหลักการทำงานดังนี้

RL1 เป็นอุปกรณ์ป้องกันการเกิดสภาวะกระแสเกินแบ่งการทำงานออกเป็น 2 กรณีคือ ทำงานแบบทันทีทันใด (instantanous time) และทำงานแบบเวลาเปลี่ยนแปลงผกผันกับปริมาณกระแส (inverse time)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RL2 เป็นส่วนที่ทำงานโดยอาศัยวงจรนับทำหน้าที่นับจำนวนครั้งของการตัดวงจรออกจากระบบ โดยเมื่อเกิดสภาวะกระแสเกินจากค่าที่ตั้งไว้ RL1 จะตัดวงจรออก แล้ว RL2 จะหน่วงเวลาสักครู่แล้วต่อวงจรกลับเข้าไปแต่ถ้ายังเกิดสภาวะกระแสเกินอยู่ RL1 ก็จะตัดวงจรอีกครั้ง RL2 จะหน่วงเวลาสักครู่แล้วต่อวงจรกลับเข้าไปใหม่เป็นลักษณะนี้จนถึงค่าจำนวนครั้งการทำงานของรีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติ เนื่องจากรีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติใช้วิธีการนับจำนวนครั้งของการตัดวงจรของ RL1 และถูกตั้งให้ทำงานเพียง 2 ครั้ง ดังนั้นเมื่อ RL1 ตัดวงจรครบ 2 ครั้ง RL2 จะตัดวงจรออกอย่างถาวร

RL3 เป็นส่วนป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูงหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ (โดยกำหนดค่าไว้ที่ ± 15% ของแรงดันไฟฟ้าเฟส)

RL4 ใช้ตรวจเช็คความถูกต้องของการเรียงลำดับเฟส

RL5 ใช้ป้องกันการเกิดกระแสรั่วไหลลงดิน

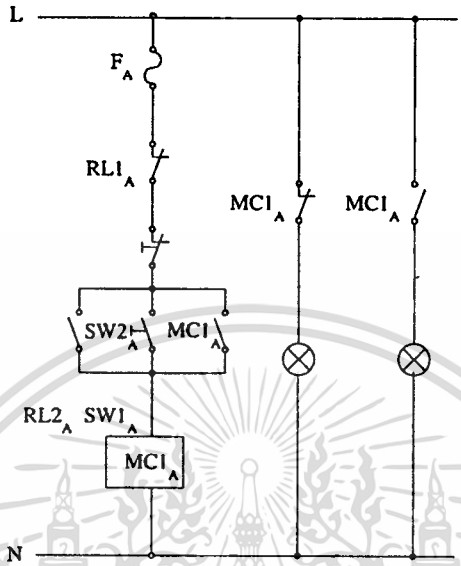
RL1, RL2, RL3, RL4 และRL5 เป็นส่วนของแผงโซลิดสเตทรีเลย์ โดยมองว่าแผงวงจร 1 แผง เป็นรีเลย์ 1 ตัว ซึ่งเป็นหน้าสัมผัสปกติปิดต่ออยู่กับวงจรควบคุม เมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นพีทีหรือซีทีจะส่งสัญญาณไปยังรีเลย์ทำให้รีเลย์ทำงาน มีผลให้วงจรควบคุมถูกตัดออก จากภาพที่ 29 จะเห็นว่าเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในส่วนวงจรควบคุมระบบป้องกันในส่วน A จะเป็นผลให้ไม่มีไฟเลี้ยงคอยล์ $MC1_A$ ดังนั้นวงจรหลักจึงถูกตัดวงจรออก พิจารณาที่ $RL1_A$ บนแผงจะมีไทม์เมอร์ไว้สำหรับตั้งเวลาในการต่อวงจรเข้ามาอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งทำงานร่วมกับ $RL2_A$ ถ้าตัดต่อวงจรครบตามจำนวนครั้งที่ตั้งไว้รีเลย์ก็จะหยุดตัดต่อวงจร ทำให้วงจรควบคุมส่วน A ทั้งหมดถูกตัดวงจรออกโดยสมบูรณ์ เมื่อจะต่อวงจรใหม่ก็ต้องเริ่มกด Push button $SW1_A$ ใหม่อีกครั้งหนึ่ง ส่วน $RL3_A$ และ $RL4_A$ เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้เพื่อเตือนให้แก้ไขข้อผิดพลาดเมื่อเกิดแรงดันสูงเกินหรือต่ำเกินกว่าปกติและเมื่อเกิดการเรียงผิดเฟส ตามลำดับ โดยไม่ทำการตัดระบบออก

ส่วนวงจรควบคุมระบบป้องกัน ในส่วน B, C และ D มีหลักการทำงานในลักษณะเดียวกันกับวงจรป้องกันในส่วน A แต่จะต่างกันตรงที่จำนวนรีเลย์ในการควบคุมแต่ละส่วน และคอยล์ควบคุม โดยส่วน B และ C จะมีเฉพาะ RL1, RL2 และคอยล์ควบคุมคือ $MC1_B$ และ $MC1_C$ ดังแสดงในภาพที่ 30 และภาพที่ 31 ส่วน D มีรีเลย์ป้องกันเหมือนกับส่วน A และมี RL5 เพิ่มเข้ามามีคอยล์ควบคุมคือ $MC1_D$ ดังแสดงในภาพที่ 32 และใน A, B, C และ D มีวงจรควบคุมความผิดปกติระหว่างสาย (Line-to-line Fault) และวงจรควบคุมความผิดปกติระหว่างสายกับกราวน์ (Line-to-ground Fault) มีลักษณะดังภาพที่ 33 และ ภาพที่ 34 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

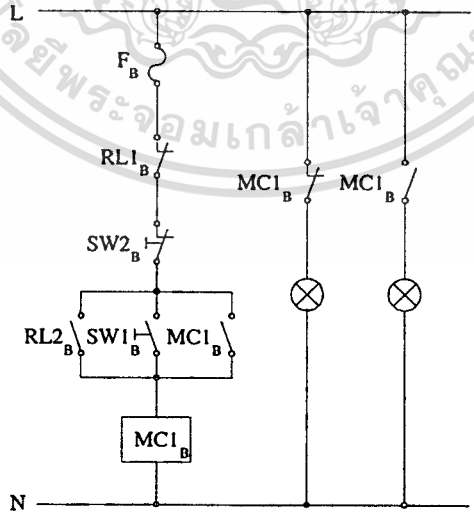
ภาพที่ 29

วงจรควบคุมระบบป้องกันในส่วน A



ภาพที่ 30

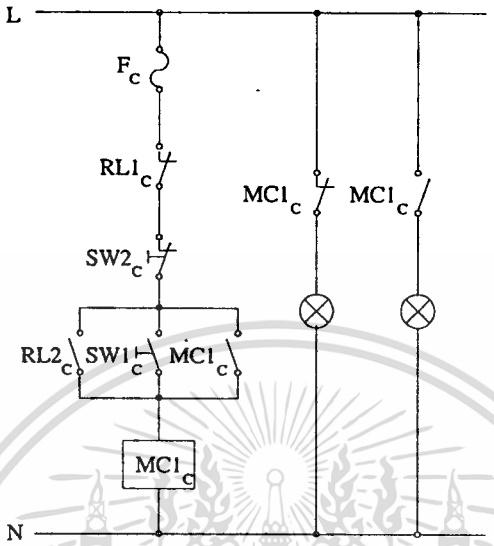
วงจรควบคุมระบบป้องกันในส่วน B



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

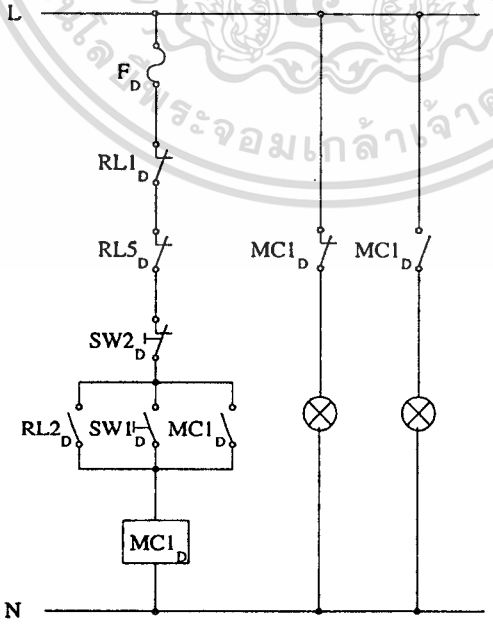
ภาพที่ 31

วงจรควบคุมระบบป้องกันในส่วน C



ภาพที่ 32

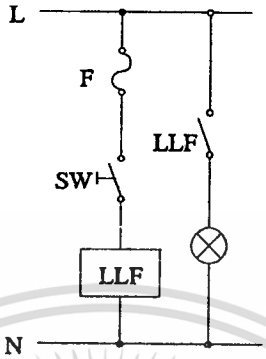
วงจรควบคุมระบบป้องกันในส่วน D



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

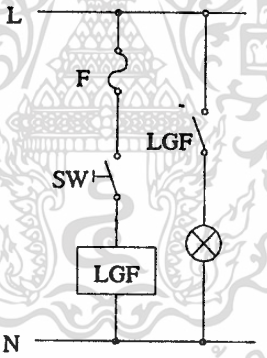
ภาพที่ 33

วงจรควบคุมการเกิดความผิดปกติระหว่างสาย



ภาพที่ 34

วงจรควบคุมการเกิดความผิดปกติระหว่างสายเฟสกับกราวน์



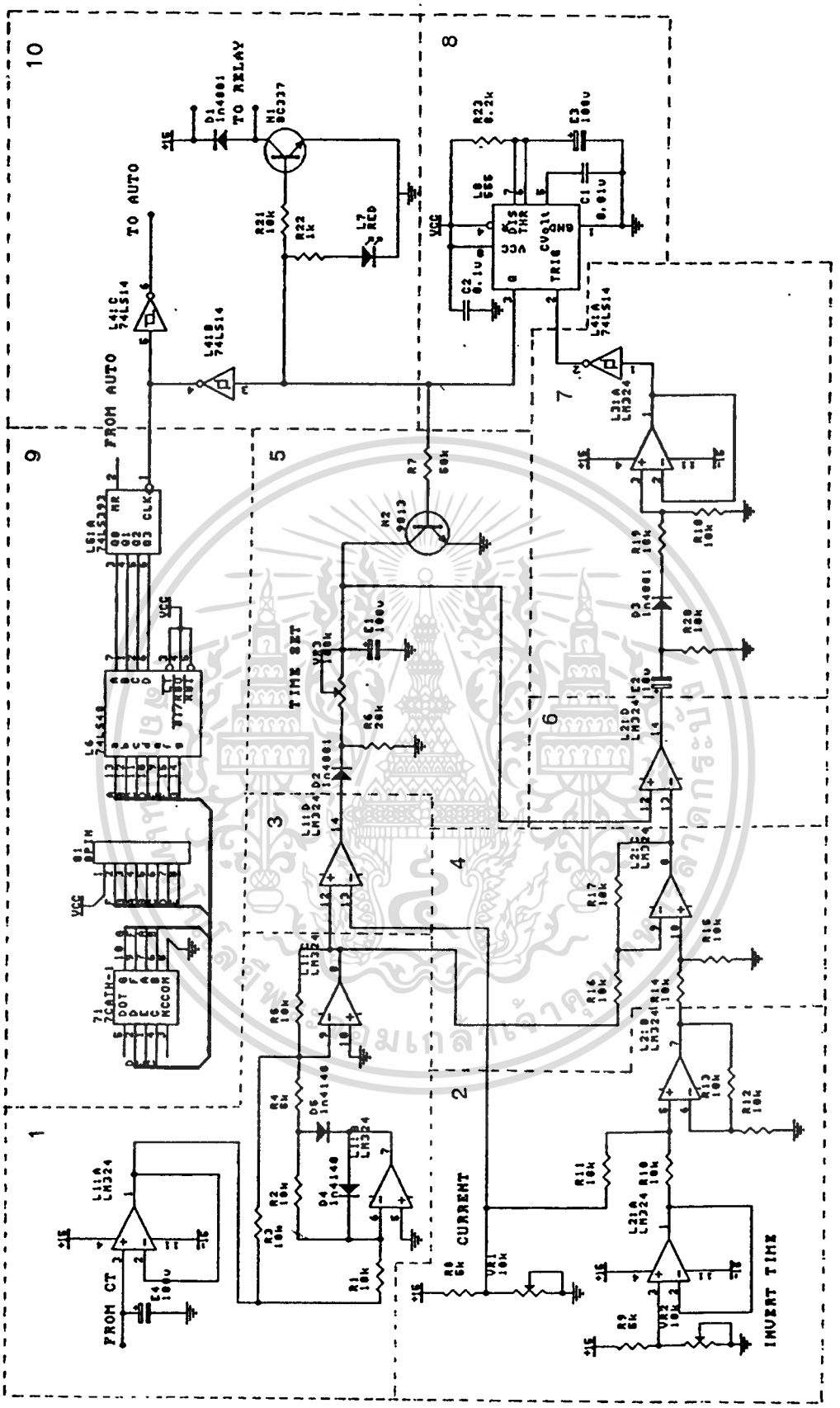
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

<u>วงจรอุปกรณ์ป้องกัน</u>

อุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในโครงงานวิจัยนี้ประกอบด้วยรีเลย์ 5 ชนิด ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 หัวข้อโครงสร้างของอุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งแต่ละชนิดมีลักษณะของวงจรและหลักการทำงานแตกต่างกันออกไปดังนี้

<u>โอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์</u> ในการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้สามารถอธิบายโดยแบ่งส่วนต่างๆของวงจรหนึ่งเฟสโอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์ออกเป็น 10 ส่วนด้วยกันดังภาพที่ 35 ในการออกแบบลายปริ้นซ์ของวงจรได้ออกแบบเป็นลายปริ้นซ์สองหน้า (Two Layer) ซึ่งมีรายละเอียดดังภาพที่ 36 และวิธีการจัดวางอุปกรณ์เป็นดังภาพที่ 37 วงจรการทำงานของแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 35
วงจรไอเวอร์เตอร์เส้นทรีเลย์

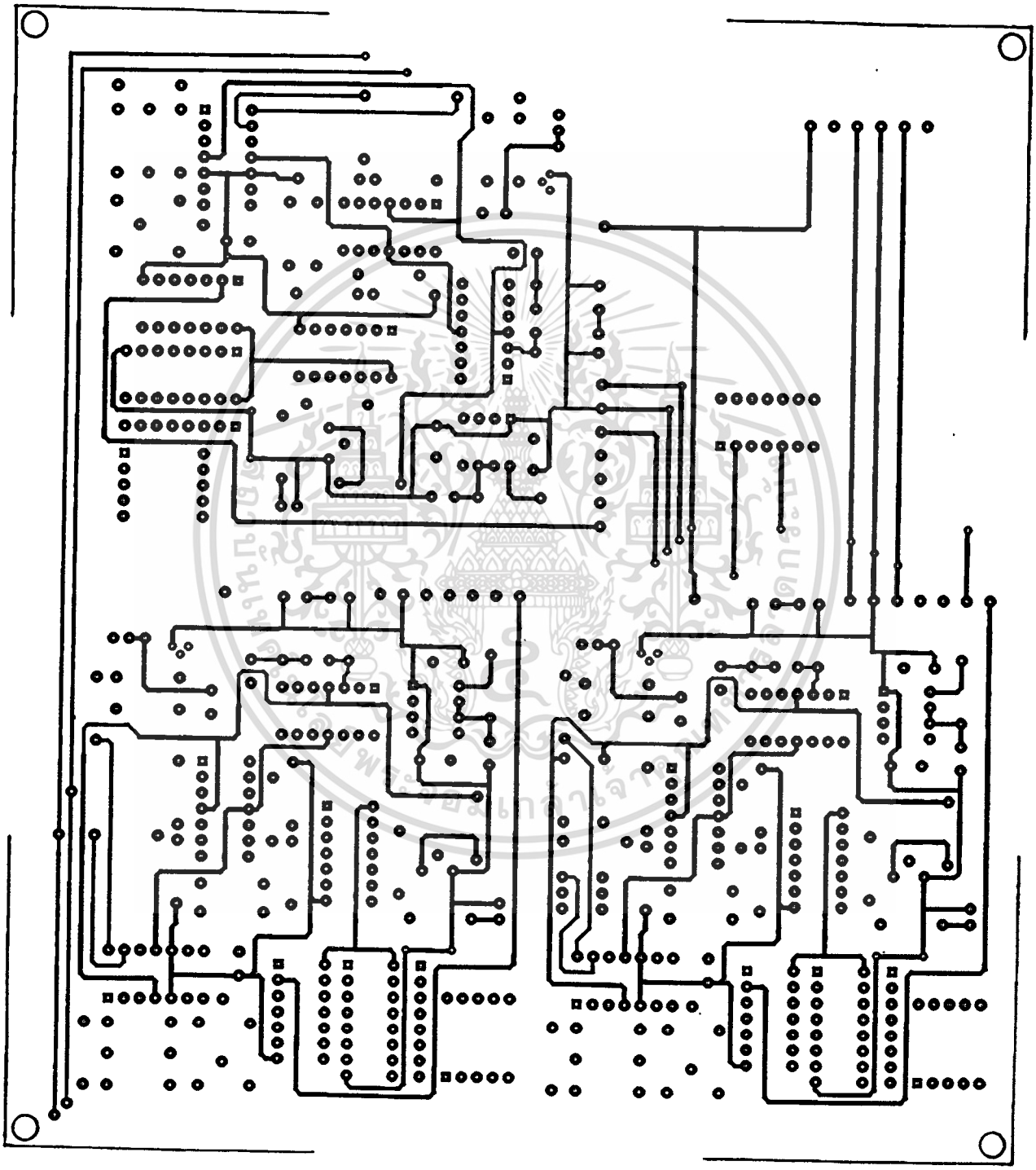
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 36

ลายทองแดงวงจรโอเวอร์เคอร์เร้นท์รีเลย์

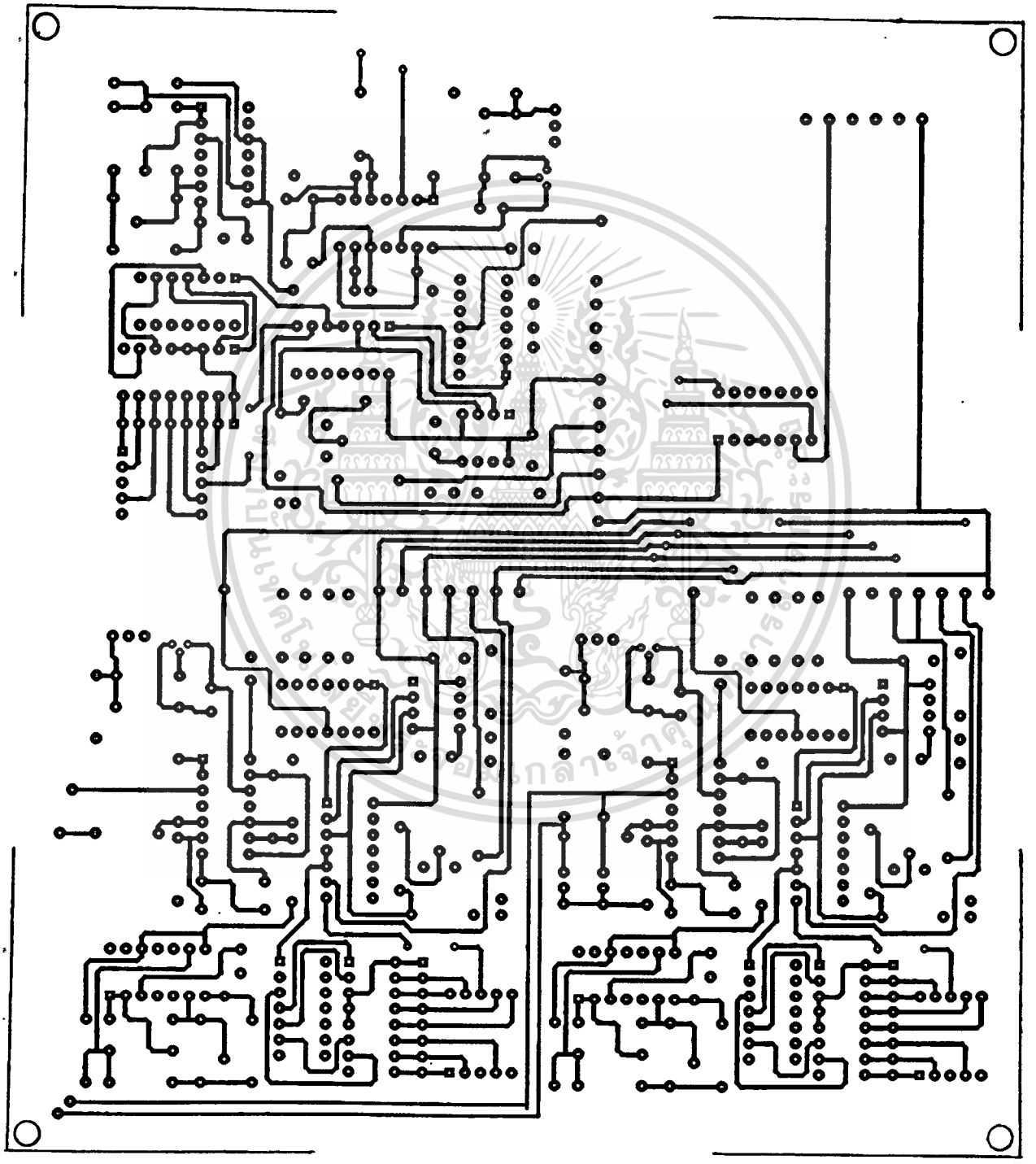
(ก) ลายทองแดงด้านบน

(ข) ลายทองแดงด้านล่าง



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

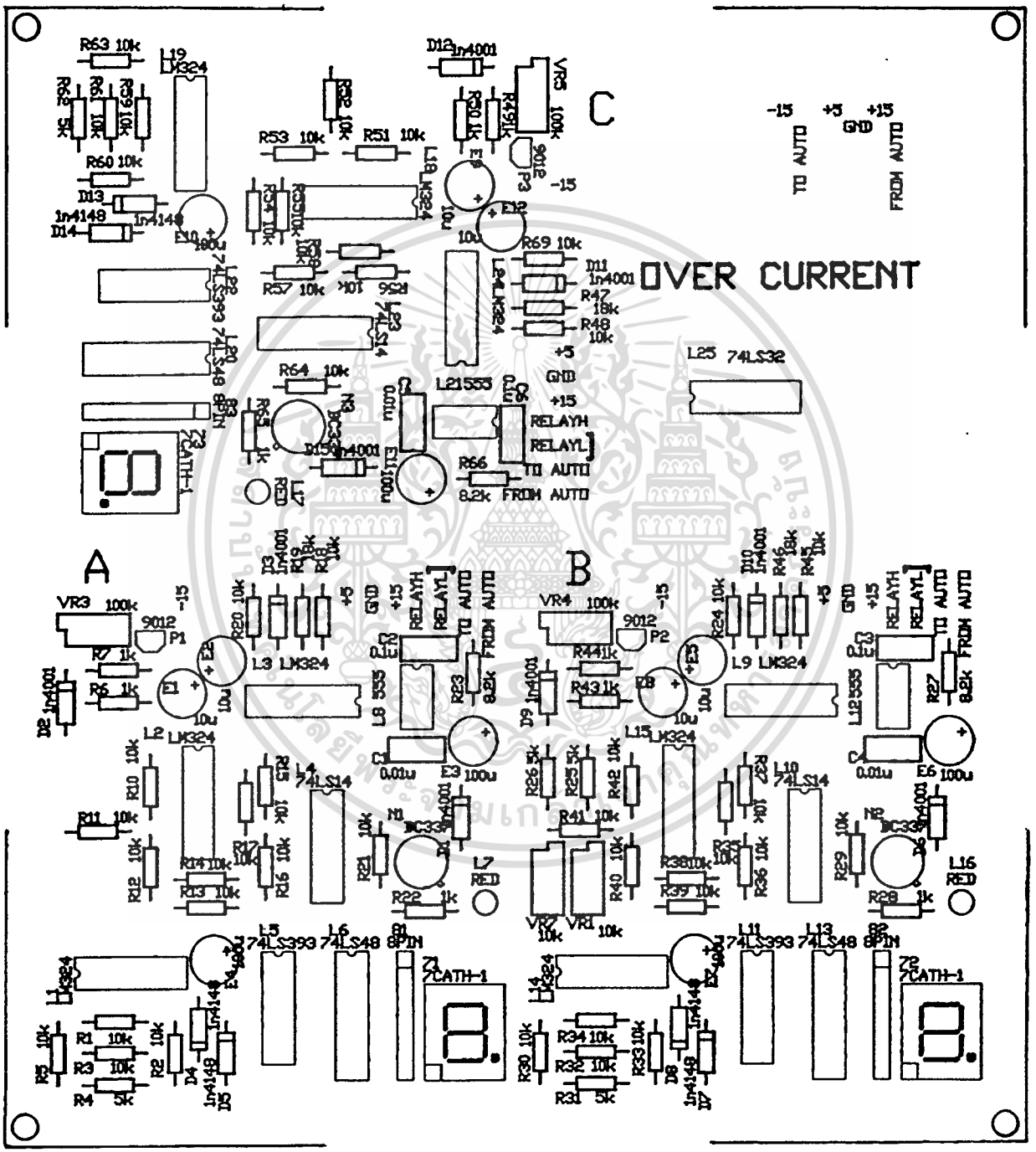


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 37

การจัดวางอุปกรณ์วงจรโอเวอร์เคอร์เร้นท์รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1

รายการอุปกรณ์โอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์

สัญลักษณ์	รายละเอียด	ค่าที่ใช้ / เบอร์
R1-R3, R5, R10-R21	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	10 kΩ
R4, R6-R9	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	5 kΩ
R22	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	1 kΩ
R23	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	8.2 kΩ
VR1, VR2	ความต้านทานปรับค่าได้	10 kΩ
VR3	ความต้านทานปรับค่าได้	100 kΩ
E1, E3, E4	ตัวเก็บประจุอิเลกโตรไลท์ 50 โวลต์	100 µF
E2	ตัวเก็บประจุอิเลกโตรไลท์ 16 โวลต์	10 µF
L1, L2, L3	ไอซี	LM 324
L4	ไอซี	74 LS14
L5	ไอซี	74LS393
L6	ไอซี	74LS48
L7	ไดโอดเปล่งแสง	RED
L8	ไอซี	555
N1	ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN	BC337
N2	ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN	9813
D1-D5	ไดโอด	1n4001
71	เซเว่นเซ็กเม้นท์ 1 ดิจิต	7CATH-1
81	R-PACK	8 PIN 20 kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 1 กระแสอินพุทที่ได้รับจากด้านเอาท์พุทของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (CT) จะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า และถูกบัฟเฟอร์โดย L1:A แล้วส่งเข้าสู่ภาคเรคติไฟเออร์ ซึ่งประกอบด้วย L1:B, L1:C และไดโอด D4, D5 ค่าเอาท์พุทที่ได้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่แปรผันตามขนาดของกระแสไฟสลับอินพุท

ส่วนที่ 2 ในส่วนนี้มีอินพุทสองส่วน ส่วนแรกเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงใช้ความต้านทานปรับค่าได้ VR1 ขนาด 10 kΩ ตั้งค่ากระแสเริ่มต้นทำงานของรีเลย์ (Pick-up Current) ซึ่งสามารถปรับค่าได้ เรียกการตั้งค่า VR1 ว่า "Current Setting" ส่วนที่สองเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอ้างอิงใช้ VR2 ขนาด 10 kΩ สำหรับตั้งค่าลักษณะการแปรผกผันระหว่างขนาดของกระแสไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ในการหน่วง เรียกการตั้งค่า VR2 ว่า "Inverse Time Setting" เอาท์พุทที่ได้ของส่วนนี้เป็นผลรวมของค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของอินพุททั้งสอง โดยใช้ L2:B ทำหน้าที่รวมค่าแรงดันไฟฟ้าทั้งสอง

ส่วนที่ 3 เป็นส่วนเปรียบเทียบสัญญาณโดยนำสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากส่วนที่ 1 และค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงกระแสเกินที่ตั้งค่าไว้จากส่วนแรกของส่วนที่ 2 มาทำการเปรียบเทียบโดยถ้าเกิดกระแสเกินขึ้น (แรงดันไฟฟ้าจากส่วนที่ 1 มีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ตั้งค่าไว้จากส่วนที่ 2) จะได้สัญญาณเอาท์พุทเป็น +15 โวลต์

ส่วนที่ 4 เป็นการนำสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 มาเปรียบเทียบกัน สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากวงจรในส่วนที่ 4 นี้เป็นผลต่างระหว่างส่วนที่ 2 กับส่วนที่ 1 ค่าเอาท์พุทใช้เป็นแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงของระบบ ซึ่งเป็นช่วงเวลาการชาร์จประจุของตัวเก็บประจุ E1 ขนาด 100 μF ในส่วนที่ 6 อีกครั้งหนึ่ง

ส่วนที่ 5 วงจรหน่วงเวลา จะรับสัญญาณเอาท์พุทจากส่วนที่ 3 โดยเมื่อมีกระแสเกินจะมีสัญญาณเอาท์พุทจากส่วนที่ 3 ออกมาแล้ว ค่าสัญญาณแรงดันจะถูกชาร์จเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล โดยสามารถปรับตั้งค่าเวลาคงที่ (τ) จากวงจร RC ได้ โดยใช้ VR3 ในการปรับตั้งค่าเวลาโดยสามารถคำนวณได้จากสมการ $\tau = (VR3).(E1)$ เรียกการปรับตั้งค่า VR3 ว่า "Time Setting" ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่ได้จะแปรผันตามสมการคือ

$$Vo = 13 (1 - e^{-t/\tau})$$

โดยมีทรานซิสเตอร์ N2 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ NPN 9013 ใช้ในการคายประจุของ E1

ส่วนที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันไฟฟ้าระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่ได้จากการหน่วงเวลาแล้วในส่วนที่ 5 (ยังไม่ผ่านทรานซิสเตอร์ N2) กับแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทในส่วนที่ 4 ผลที่ได้เป็นการหน่วงเวลาออกไป การหน่วงเวลานี้สามารถปรับค่าได้จากสองส่วน ส่วนแรกปรับจาก VR3 ซึ่งเป็นการปรับค่า τ ในวงจรส่วนที่ 5 ส่วนที่สองปรับจาก VR2 ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงสำหรับการชาร์จค่าตัวเก็บประจุ E1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 7 นำสัญญาณที่ได้จากส่วนที่ 6 มาสร้างพัลส์โดยใช้ขอบขาขึ้นของสัญญาณจากส่วนที่ 6 สร้างพัลส์เพื่อนำไปใช้ในการทริกโมโนสเตเบิลของ IC 555

ส่วนที่ 8 วงจรสร้างสัญญาณโมโนสเตเบิล โดยใช้ L8 ซึ่งเป็น IC เบอร์ 555 ในการสร้างสัญญาณโดยตั้งความกว้างของพัลส์ไว้ประมาณ 1 นาที ซึ่งนำสัญญาณที่ได้นี้ไปใช้ในการควบคุมการทำงานของรีเลย์

ส่วนที่ 9 วงจรแสดงผล โดยแสดงผลจำนวนครั้งของการเกิดความผิดปกติไปยังเซเว่นเซ็กเม้นท์ โดยมี L5:A ซึ่งเป็นตัวนับสัญญาณ (Counter) ทำการนับ ใช้ขอบขาลงในการทริก และมี L6 ซึ่งเป็นตัวถอดสัญญาณ (Decoder) ของเซเว่นเซ็กเม้นท์ ในวงจรใช้ L4:B ซึ่งเป็นสมิธทริกเกอร์ป้องกันสัญญาณรบกวน เนื่องจากตัวนับสัญญาณ L5:A มีความไวสูงมาก การรีเซทการแสดงผลของเซเว่นเซ็กเม้นท์ ใช้สัญญาณรีเซทจากออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์

ส่วนที่ 10 มีเอาท์พุทสองส่วนด้วยกัน ส่วนแรกจะส่งสัญญาณฟอลต์ซึ่งเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าไปยังออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์เพื่อให้ออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์นับ ส่วนที่สองใช้ในการเปิด-ปิดทรานซิสเตอร์ N1 ซึ่งใช้ในการขับรีเลย์เพื่อสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์เปิดวงจร

<u>ออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์</u> ในการทำงานของออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์สามารถอธิบายโดยแบ่งส่วนต่างๆของวงจรออกเป็น 9 ส่วนด้วยกันดังภาพที่ 38 ในการออกแบบลายปริ้นซ์ของวงจรได้ออกแบบเป็นลายปริ้นซ์สองหน้า (Two Layer) ซึ่งมีรายละเอียดดังภาพที่ 39 และวิธีการจัดวางอุปกรณ์เป็นดังภาพที่ 40 วงจรการทำงานของแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

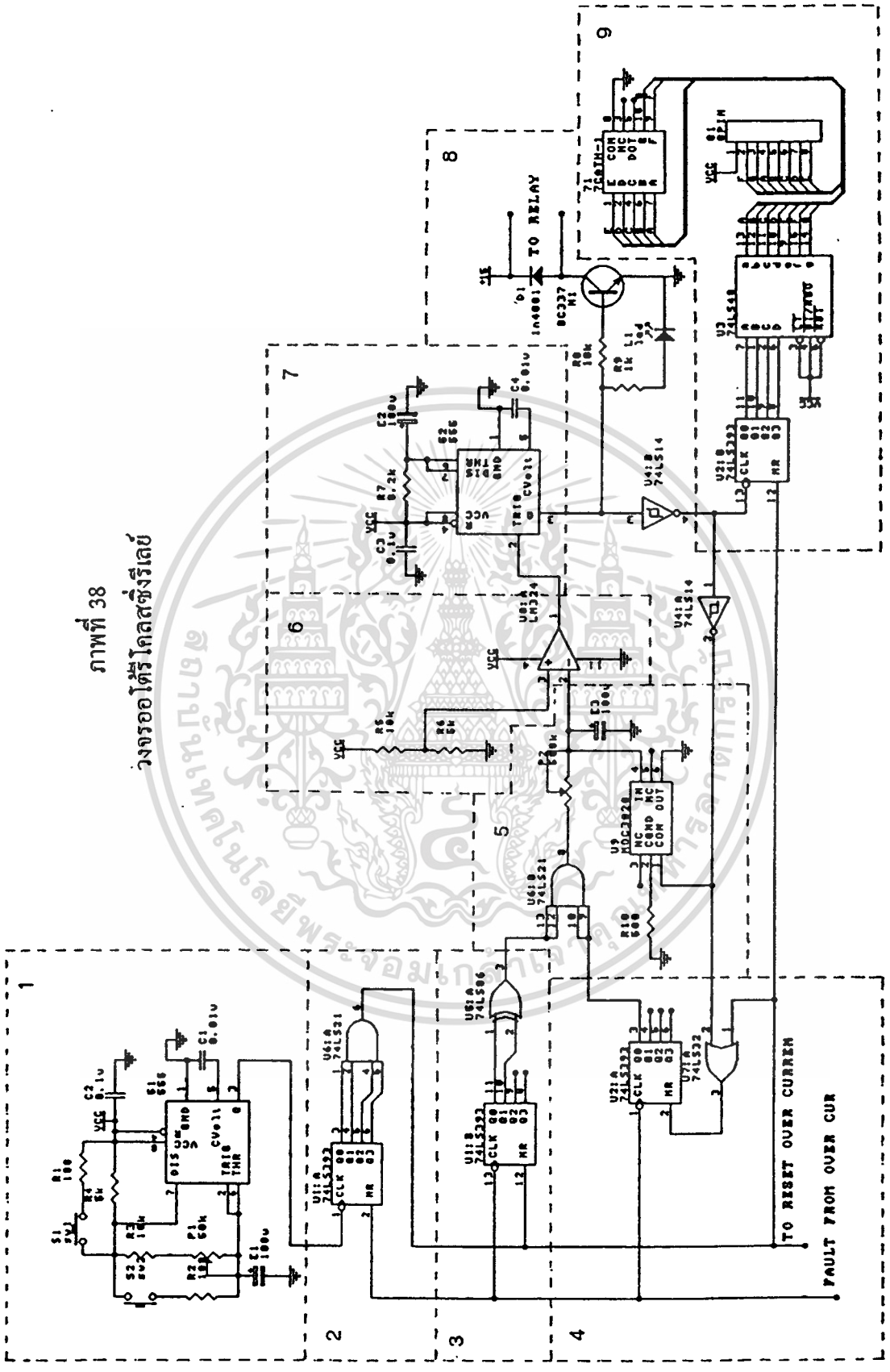
ส่วนที่ 1 วงจรสร้างสัญญาณ โดยสร้างเป็นวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ใช้สร้างสัญญาณส่งไปยังส่วนที่ 2 มีปุ่มรีเซทสัญญาณในกรณีที่ต้องการให้วงจรทำการรีเซทตัวเองโดยเร็ว

ส่วนที่ 2 วงจรนับสัญญาณ ทำหน้าที่นับสัญญาณที่ได้จากส่วนที่ 1 โดยค่าเอาท์พุทจะเป็น 1 เมื่อนับถึง 1111 เมื่อเกิดความผิดปกติที่รีเลย์ป้องกันกระแสเกินจะทำให้เกิดการรีเซทตัวเอง (นับ 0000) การนับจะเริ่มเมื่อขา 2 ของ U1:A ซึ่งเป็นตัวนับสัญญาณกลับเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่งและจะนับไป 16 ครั้ง ใช้เวลานานเท่ากับ 15x คาบเวลาของพัลส์ของ IC 555 ช่วงเวลานี้จะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาการกลับไปรีเซทเซเว่นเซ็กเม้นท์ของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน

ส่วนที่ 3 มีหน้าที่นับจำนวนครั้งของการเกิดความผิดปกติที่เกิดจากรีเลย์ป้องกันกระแสเกินโดยจะนับ (Enable) เฉพาะสำหรับการเกิดความผิดปกติครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เท่านั้น การรีเซทใช้สัญญาณร่วมกับสัญญาณรีเซทของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินจากวงจรในส่วนที่ 2

ส่วนที่ 4 มีหน้าที่นับสัญญาณความผิดปกติที่เกิดจากรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน การรีเซทสามารถทำได้สองวิธีคือ การใช้สัญญาณรีเซทจากรีเลย์ป้องกันกระแสเกินจากวงจรในส่วนที่ 2 หรือใช้สัญญาณเอาท์พุทของออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 38
วงจรอิเล็กโทรไดนามิคส์ซิงโครไนซ์

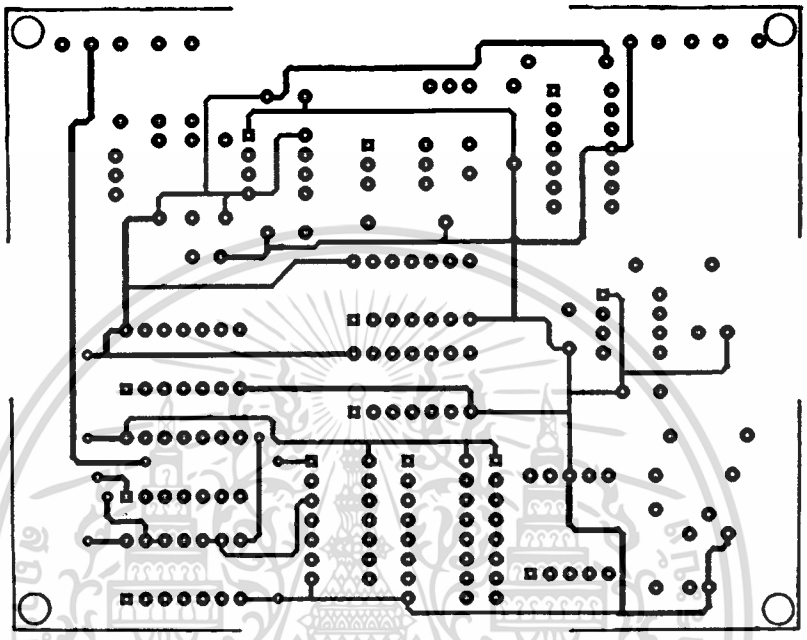
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 39

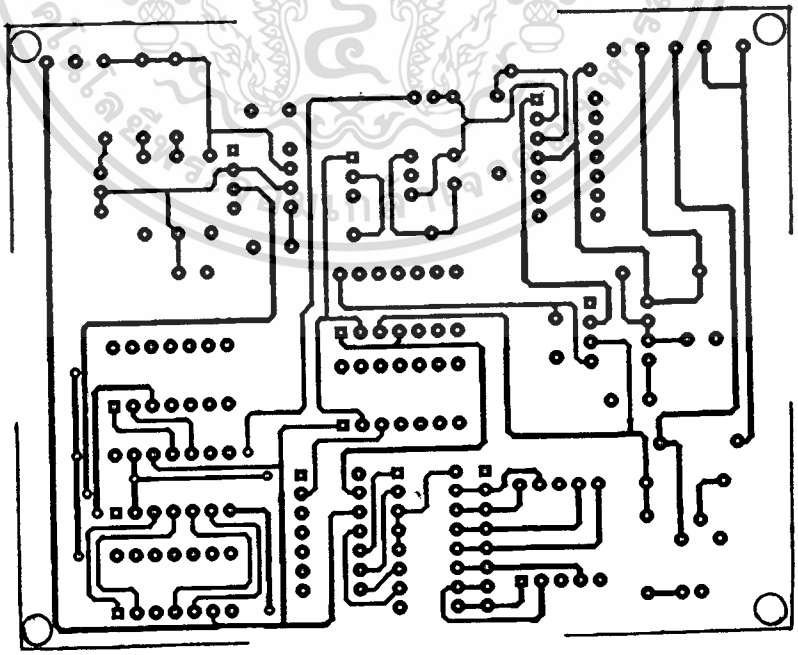
ลายทองแดงวงจรออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์

(ก) ลายทองแดงด้านบน

(ข) ลายทองแดงด้านล่าง



(ก)



(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2

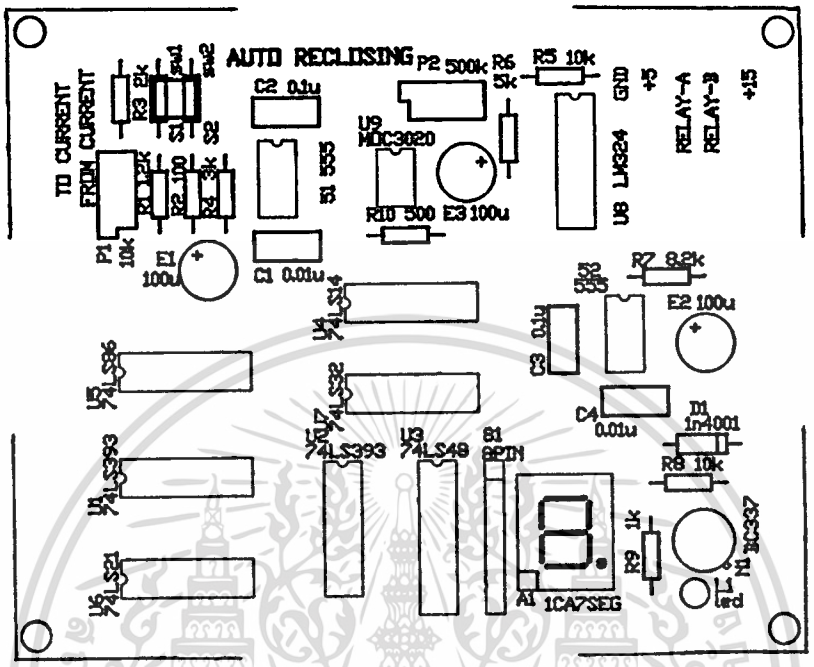
รายการอุปกรณ์ออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์

สัญลักษณ์	รายการอุปกรณ์	ค่าที่ใช้ / เบอร์
R1, R2	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	100 Ω
R3	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	18 kΩ
R4, R6	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	5 kΩ
R5, R8	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	10 kΩ
R7	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	8.2 kΩ
R9	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	1 kΩ
R10	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	500 Ω
C1, C4	ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 50 โวลต์	0.01 μF
C2, C3	ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 50 โวลต์	0.1 μF
E1-E3	ตัวเก็บประจุอิเลกโตรไลท์ 50 โวลต์	100 μF
P1	ความต้านทานปรับค่าได้	50 kΩ
P2	ความต้านทานปรับค่าได้	500 kΩ
D1	ไดโอด	1n4001
L1	ไดโอดเปล่งแสง	RED
N1	ทรานซิสเตอร์ NPN	BC337
U1, U2	ไอซี	74LS393
U3	ไอซี	74LS48
U4	ไอซี	74LS14
U5	ไอซี	74LS86
U6	ไอซี	74LS21
U7	ไอซี	74LS32
U9	ไอซี	MOC3028
51, 52	ไอซี	555
71	เซเว่นเซ็กเม้นท์ 1 ดิจิต	7CATH-1
81	R-PACK	8-PIN 100 kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 40

การจัดวางอุปกรณ์ของออโต้รีโคลสชิ่งรีเลย์



ส่วนที่ 5 วงจรหน่วงเวลา ทำหน้าที่หน่วงเวลาความผิดปกติออกไปโดยใช้วงจร RC ในการปรับค่าเวลาในการหน่วง โดยมี P2 ซึ่งเป็นความต้านทานปรับค่าได้มีค่า 500 kΩ หน่วงเวลาเรียกการตั้งค่า P2 ว่า "Resetting Time" สามารถหน่วงเวลาได้นานที่สุดถึง 4 วินาที ส่วน U9 เป็นไดรแอดใช้ในการคายประจุของตัวเก็บประจุ E3

ส่วนที่ 6 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณใช้เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุทของวงจรในส่วนที่ 5 กับแรงดัน 5/3 โวลต์ โดยถ้าเอาท์พุทของวงจรส่วนที่ 5 มีค่าสูงกว่า 5/3 โวลต์ เอาท์พุทที่ได้จากส่วนนี้จะเป็นศูนย์โวลต์ ซึ่งใช้ในการทริกวงจรโมโนสเตเบิลในส่วนที่ 7

ส่วนที่ 7 วงจรโมโนสเตเบิลใช้สร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างประมาณ 1 วินาที ไว้ควบคุมรีเลย์ และใช้ในการรีเซทวงจรนับความผิดปกติในส่วนที่ 4 เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการเริ่มนับจำนวนครั้งความผิดปกติในฟอลต์ครั้งต่อไป

ส่วนที่ 8 ชุดควบคุมรีเลย์ N1 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์ใช้ในการเปิด-ปิดการทำงานของรีเลย์

ส่วนที่ 9 ใช้แสดงผลจำนวนครั้งของการเกิดความผิดปกติ โดยแสดงผลออกทางเซเว่นเซ็กเม้นท์

<u>โอเวอร์ แอนด์ อันเดอร์โวลเตจรีเลย์</u> ในการทำงานของรีเลย์ชนิดนี้แบ่งวงจรการทำงานออกเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกเป็นชุดตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้า (Detector) สัญญาณอินพุทที่เข้ามาจะถูกนำมาประมวลผล สัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่ได้จะส่งไปควบคุมการทำงานของรีเลย์ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดที่สองเป็นชุดแสดงผล สัญญาณอินพุทซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอกจะถูกนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วนำสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ส่งไปยังเซเว่นเซ็กเม้นท์เพื่อแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากระบบในสายส่ง โดยแสดงเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส วงจรการทำงานในแต่ละชุดมีรายละเอียดดังภาพที่ 41 ในการออกแบบลายปริ้นซ์ของวงจรได้ออกแบบเป็นลายปริ้นซ์สองหน้า (Two Layer) ซึ่งมีรายละเอียดดังภาพที่ 42 และวิธีการจัดวางอุปกรณ์เป็นดังภาพที่ 43 วงจรการทำงานของแต่ละส่วนในแต่ละชุดมีรายละเอียดดังนี้

- ชุดตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้า แบ่งวงจรการทำงานออกเป็น 5 ส่วน ดังภาพที่ 41 (ก) ในแต่ละส่วนมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

ส่วนที่ 1 วงจรเรคติไฟเออร์ มีหน้าที่แปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่รับมาจากหม้อแปลงแรงดัน (PT) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ในการใช้งานต้องทำการปรับตั้งค่าความต้านทาน R2 เพื่อทำการกำหนดค่าแรงดันอ้างอิง โดยทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 10 โวลต์ให้กับวงจร และทำการปรับค่าความต้านทาน R2 จนกระทั่ง LED L3 ซึ่งมีสีเขียวใช้แสดงสภาวะปกติ (NORMAL) ติด

ส่วนที่ 2 ใช้เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงขนาด 6.75 โวลต์ กับสัญญาณเอาท์พุทของส่วนที่ 1 ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าในส่วนที่ 1 มีค่าสูงกว่า 6.75 โวลต์ วงจรส่วนนี้จะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขนาด +13 โวลต์ ออกมา สัญญาณแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกส่งออกไปสองส่วนคือถูกส่งออกไปยังส่วนที่ 4 และถูกส่งออกไปขับ LED ทำให้ LED ที่แสดงสภาวะแรงดันสูงกว่าพิกัดติด

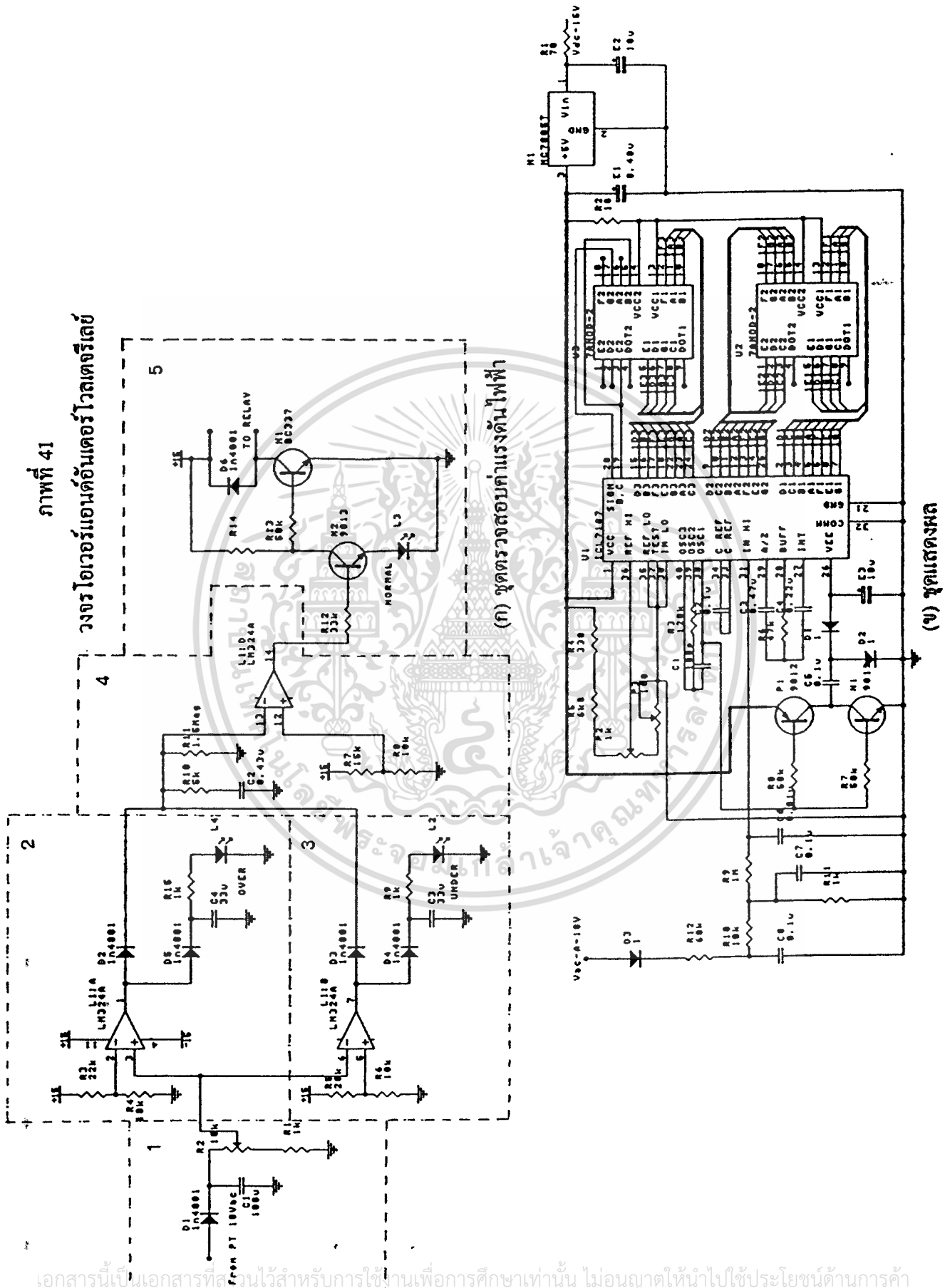
ส่วนที่ 3 ใช้เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงขนาด 5 โวลต์ กับสัญญาณแรงดันเอาท์พุทของส่วนที่ 1 ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าในส่วนที่ 1 มีค่าต่ำกว่า 5 โวลต์ วงจรส่วนนี้จะส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขนาด +13 โวลต์ ออกมา สัญญาณแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกส่งออกไปสองส่วนคือถูกส่งออกไปยังส่วนที่ 4 และถูกส่งออกไปขับ LED ทำให้ LED ที่แสดงสภาวะแรงดันต่ำกว่าพิกัดติด

ส่วนที่ 4 นำค่าเอาท์พุทที่ได้จากส่วนที่ 2 และส่วนที่ 3 มารวมกัน และเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง 6 โวลต์ โดยถ้าแรงดันไฟฟ้าอินพุทมีค่าสูงกว่า 6.75 โวลต์ หรือต่ำกว่า 5 โวลต์ จะทำให้เอาท์พุทของวงจรนี้เป็น -15 โวลต์ แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าอินพุทอยู่ระหว่าง 5.0-6.75 โวลต์ เอาท์พุทของวงจรนี้จะเป็น +15 โวลต์

ส่วนที่ 5 นำผลของวงจรในส่วนที่ 4 มาควบคุมการทำงานของรีเลย์ โดยถ้าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงอินพุทมีค่าอยู่ระหว่าง 5.0-6.75 โวลต์ จะมีผลทำให้ LED ที่แสดงสภาวะการทำงานปกติ (Normal) จะติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 41 วงจรโอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์



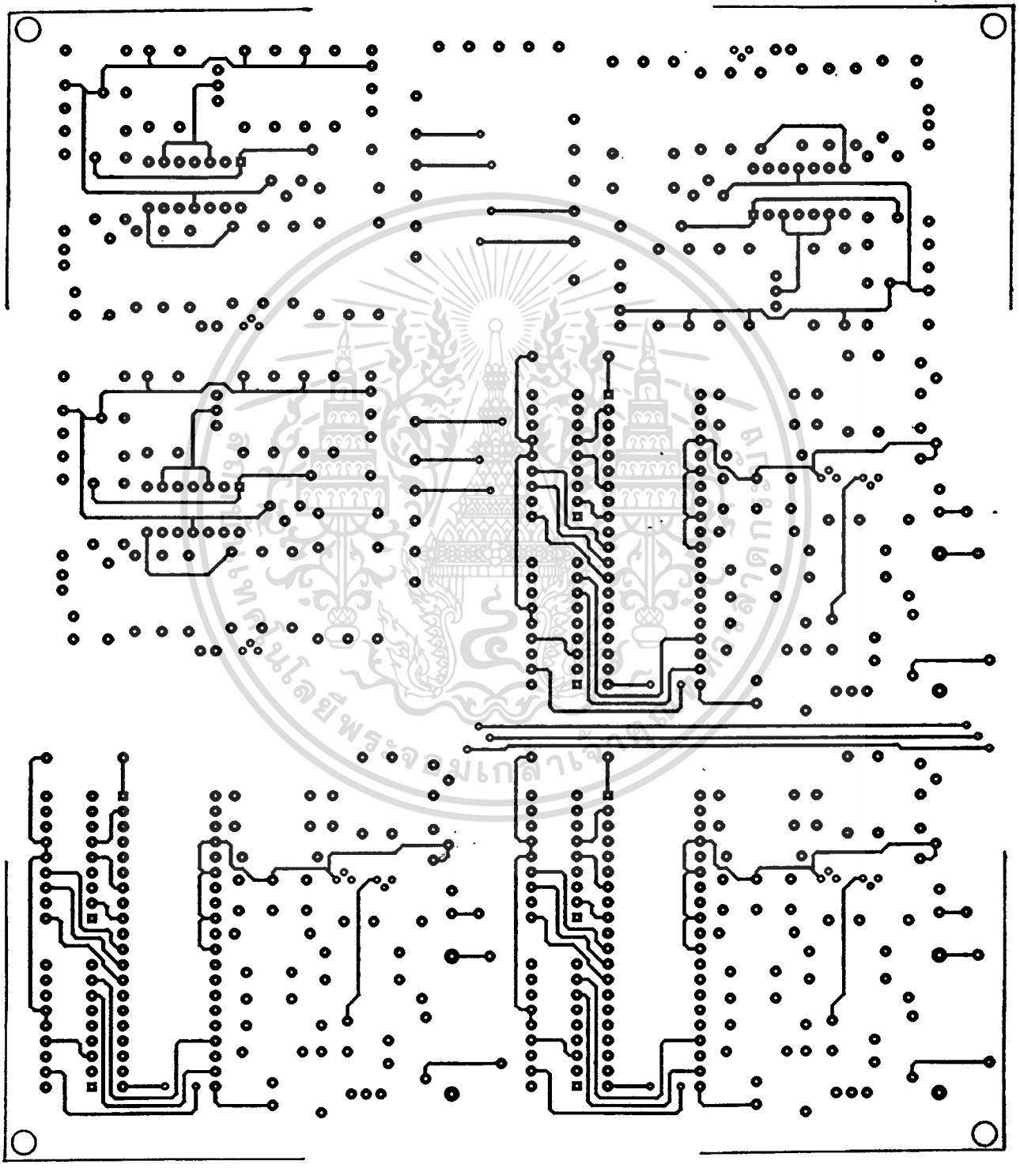
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 42

ลายทองแดงวงจรโอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์

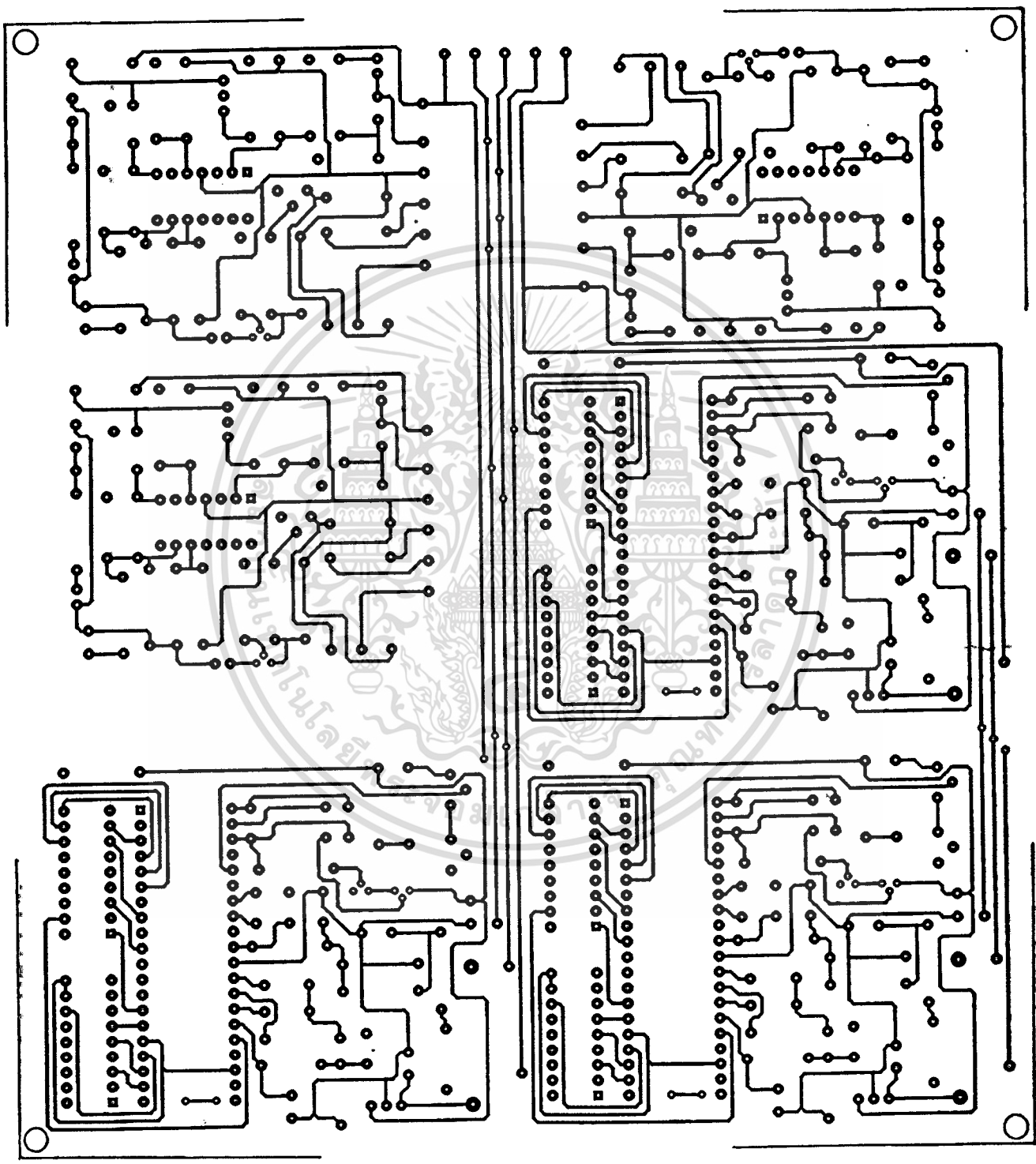
(ก) ลายทองแดงด้านบน

(ข) ลายทองแดงด้านล่าง



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

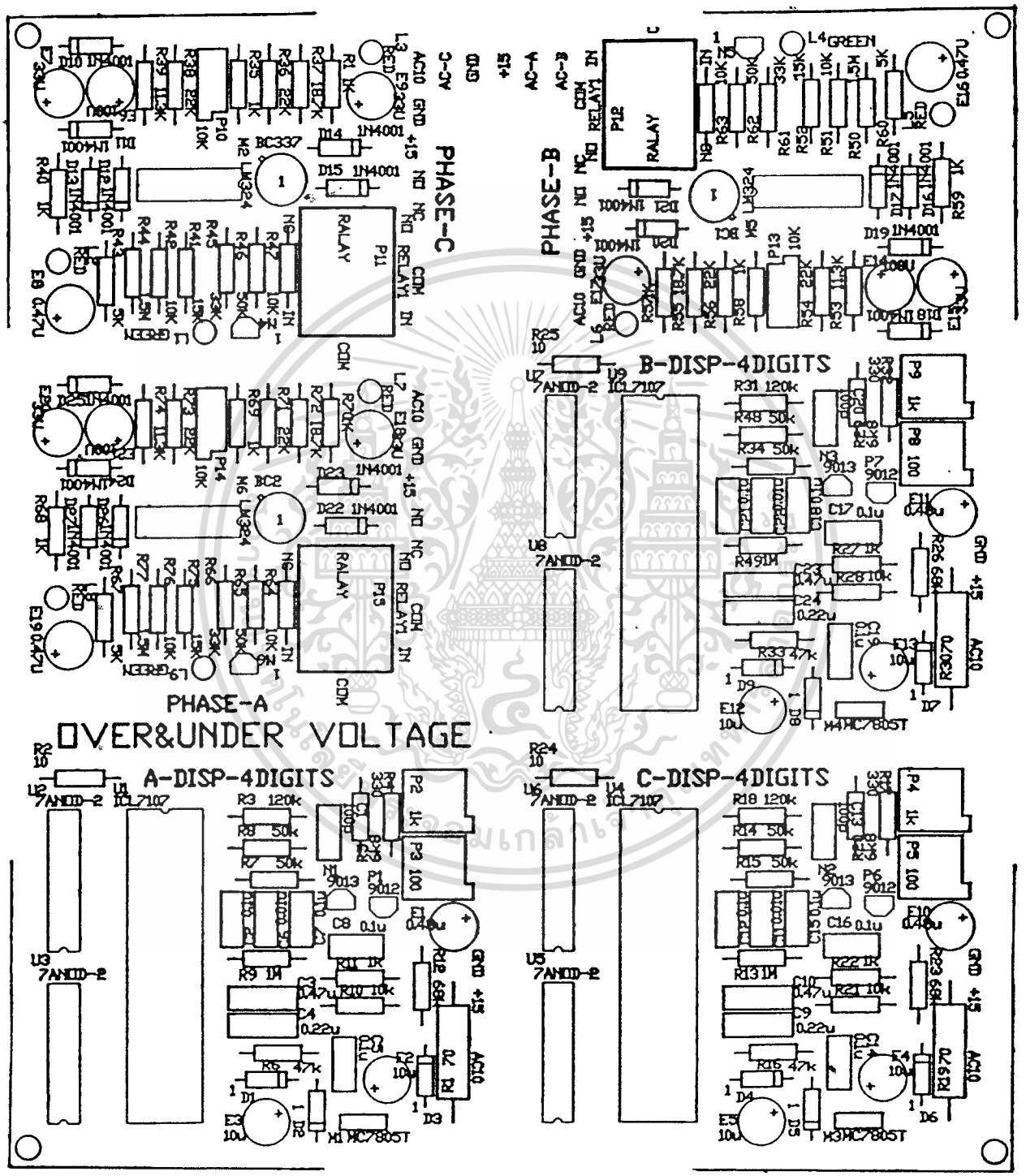


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 43

การจัดวางอุปกรณ์วงจรโอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3

รายการอุปกรณ์โอเวอร์แอนด์อันเดอร์รีเลย์

(ก) ชุดตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้า

(ข) ชุดแสดงผล

สัญลักษณ์	รายการอุปกรณ์	ค่าที่ใช้ / เบอร์
R1, R9, R15	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	1 kΩ
R2	ความต้านทานปรับค่าได้	10 kΩ
R3	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	22 kΩ
R4	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	18 kΩ
R5	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	20 kΩ
R6, R8	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	10 kΩ
R7	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	15 kΩ
R10	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	5 kΩ
R11	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	1.5 MΩ
R12	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	33 kΩ
R13	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	50 kΩ
R14	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	28 kΩ
C1	ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 50 โวลต์	100 µF
C2	ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 50 โวลต์	0.43 µF
C3, C4	ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 50 โวลต์	33 µF
D1-D6	ไดโอด	1n4001
L1	ไอซี	LM324
L2, L4	ไดโอดเปล่งแสง	RED
L3	ไดโอดเปล่งแสง	GREEN
N1	ทรานซิสเตอร์ NPN	BC337
N2	ทรานซิสเตอร์ NPN	9813

(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สัญลักษณ์	รายการอุปกรณ์	ค่าที่ใช้ / เบอร์
R1	ความต้านทาน 1 วัตต์	70 Ω
R2	ความต้านทาน 1 วัตต์	10 Ω
R3	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	120 kΩ
R4	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	330 kΩ
R5	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	6 kΩ
R6	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	47 kΩ
R7, R8	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	50 kΩ
R9	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	1 MΩ
R10	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	10 kΩ
R11	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	1 kΩ
R12	ความต้านทาน 0.25 วัตต์	68 kΩ
C1	ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 50 โวลต์	100 ρF
C2, C5, C7, C8	ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 50 โวลต์	0.1 μF
C3	ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 50 โวลต์	0.47 μF
C4	ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 50 โวลต์	0.22 μF
C6	ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 50 โวลต์	0.01 μF
E1	ตัวเก็บประจุอิเลกโตรไลท์ 16 โวลต์	0.48 μF
E2, E3	ตัวเก็บประจุอิเลกโตรไลท์ 16 โวลต์	10 μF
N1	ทรานซิสเตอร์ NPN	9013
P1	ทรานซิสเตอร์ PNP	9012
P2	ความต้านทานปรับค่าได้	1 kΩ
P3	ความต้านทานปรับค่าได้	100 Ω
D1-D3	ไดโอด	1n4001
U1	ไอซี	ICL7107
U2, U3	เซเว่นเซ็กเม้นท์	7ANOD-2
M1	ไอซี	MC7805T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชุดแสดงผล มีรายละเอียดของ วงจรดังภาพที่ 41 (ข) ใช้ไอซีเบอร์ ICL7107 ซึ่งเป็นไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ไอซีเบอร์นี้มีส่วนขับเซเว่นเซ็กเม้นท์ขนาด 4 ดิจิตภายในตัวเอง ในชุดแสดงผลเริ่มตั้งแต่การนำสัญญาณอินพุทซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากหม้อแปลงแรงดันนำมาเรคติไฟ และกรองสัญญาณให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ในการใช้งานจะต้องทำการปรับตั้งค่าโดยทำการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 10 Vrms ให้กับวงจร และทำการปรับค่าความต้านทานปรับต่าได้ P3 และ P2 ซึ่งเป็นการปรับสเกลละเอียด และสเกลหยาบตามลำดับ ปรับจนกระทั่งเซเว่นเซ็กเม้นท์แสดงผลออกมาเป็น 220 Vrms

<u>เฟสซีเควนรีเลย์</u>

เฟสซีเควนรีเลย์ ทำหน้าที่ตรวจสอบการเรียงเฟสของระบบไฟ 3 เฟส ซึ่งจะมีการตรวจสอบที่ 2 ตำแหน่ง คือ ที่ตำแหน่ง A และที่ตำแหน่ง D ในการทำงานสามารถอธิบายโดยแบ่งส่วนต่างๆของวงจรออกเป็นส่วน 4 ส่วน วงจรการทำงานในแต่ละส่วนเป็นดังภาพที่ 44 ลายทองแดงของวงจรมีรายละเอียดดังภาพที่ 45 และวิธีการจัดวางอุปกรณ์เป็นดังภาพที่ 46 วงจรการทำงานของแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 รับค่าแรงดันไฟฟ้าจากหม้อแปลงแรงดัน ซึ่งทำหน้าที่ลดทอนแรงดันไฟฟ้า และใช้ค่าความต้านทานดิไวเดอร์ลดทอนค่าแรงดันไฟฟ้าลงมาในระดับค่าใช้งานของรีเลย์ โดยมีค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ IR2/(R1+R2)

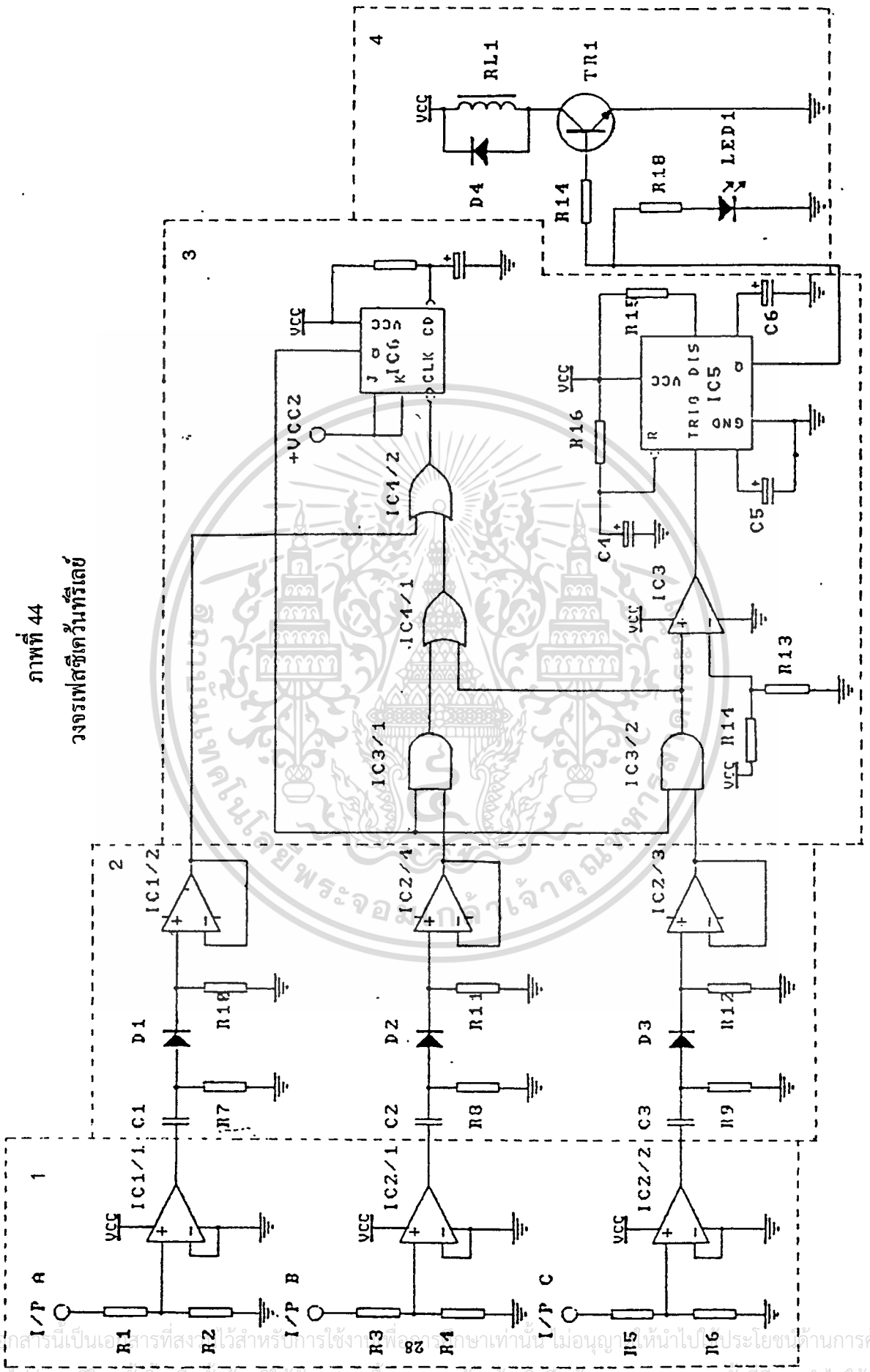
ส่วนที่ 2 เป็นวงจร Zero Detector ให้สัญญาณแรงดันเอาท์พุทคล้ายสัญญาณพัลส์ เมื่อแรงดันที่ด้านอินพุทมีค่าเป็นศูนย์ และมีไดโอดทำการเรคติไฟให้ค่าสัญญาณพัลส์ผ่านได้เฉพาะพัลส์ที่เป็นบวก ใช้ IC1 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์

ส่วนที่ 3 เป็นวงจรตรวจสอบลำดับเฟส โดยมีหลักการดังนี้

- เมื่อสัญญาณจากเฟส A เข้ามา จะทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ที่ขา clock ของ IC6 ทำให้ IC6 ปล่อยสัญญาณเอาท์พุทระดับ High
- เมื่อสัญญาณจากเฟส B เข้ามา จะเกิดการ AND ระหว่างสัญญาณเฟส B กับสัญญาณเอาท์พุท Q ที่ IC3 เป็นผลทำให้มีสัญญาณอินพุท เข้าที่ขา Clock ของ IC6 ทำให้สัญญาณแรงดันเอาท์พุทของ IC6 เปลี่ยนระดับจาก High เป็น Low
- เมื่อสัญญาณจากเฟส C เข้ามา จะเกิดการ AND กับสัญญาณเอาท์พุทของ IC6 ซึ่งมีระดับ Low จะได้สัญญาณเอาท์พุทของ IC3 เป็น Low และมีผลทำให้สัญญาณเอาท์พุทของ IC5 เป็น Low ซึ่งจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณแรงดันเอาท์พุทของ IC 555 นั่นคือสัญญาณที่ออกจากขา 3 ของ IC 555 มีค่าเป็นศูนย์

ส่วนที่ 4 เมื่อเกิดการเรียงเฟสผิด จะมีสัญญาณ High ออกมาที่ขา 3 ของ IC 555 ซึ่งระดับสัญญาณนี้จะทำให้เกิดการไบแอสทรานซิสเตอร์ TR1 ทำให้รีเลย์ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

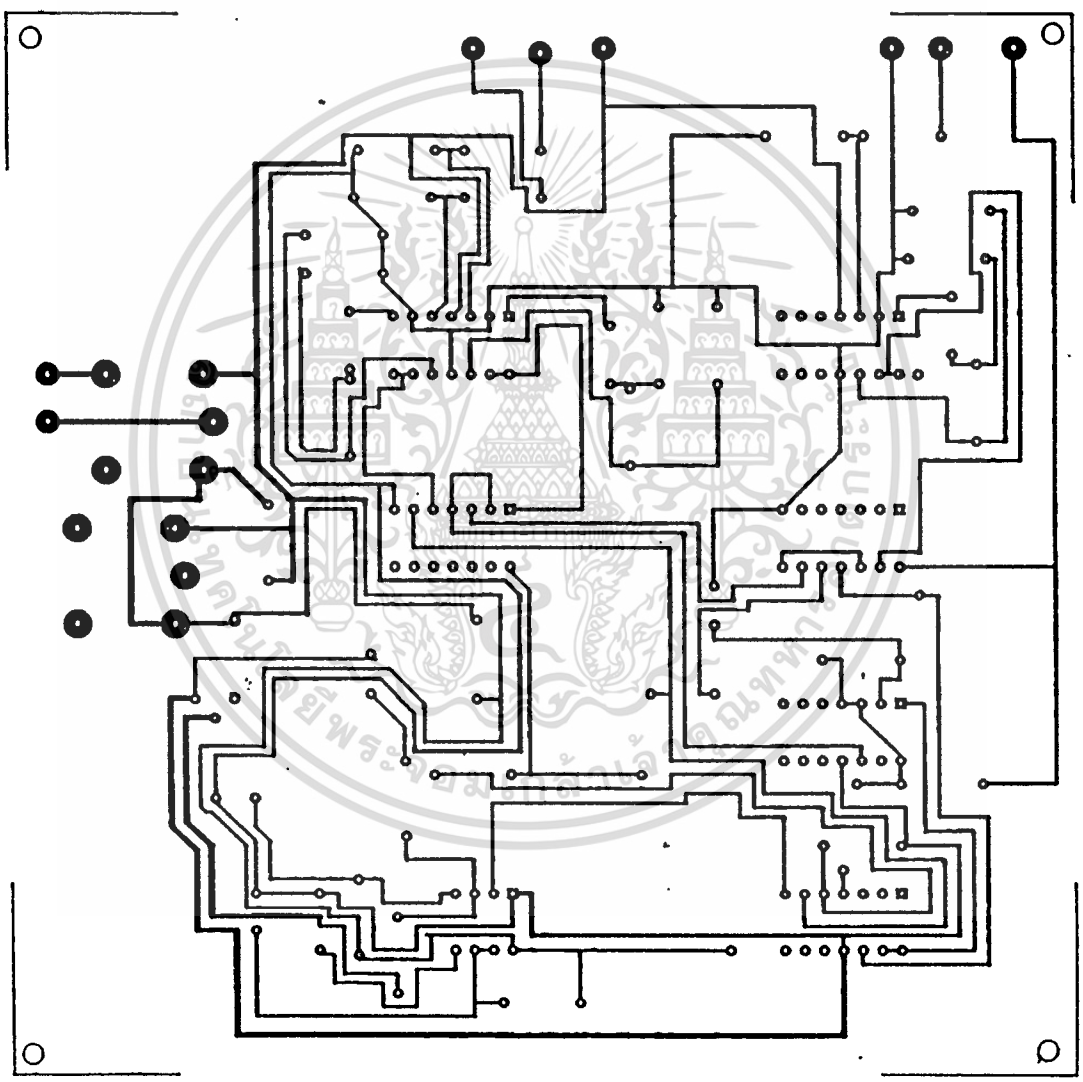


ภาพที่ 44
วงจรเฟสซีเควินทรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 45

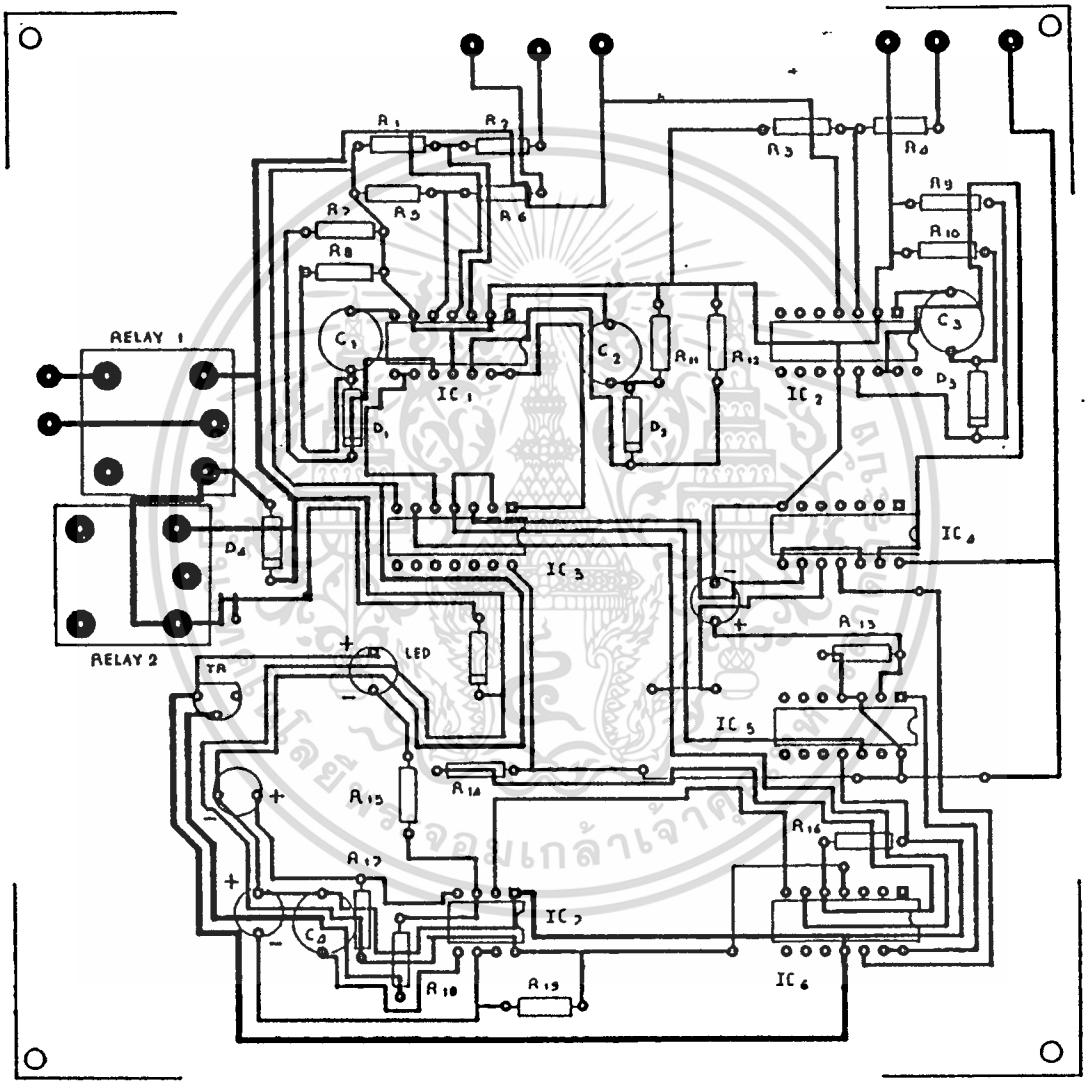
ลายทองแดงวงจรเฟสซีเคว้นท์รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 46

การจัดวางอุปกรณ์พร้อมลายทองแดงวงจรเฟสซีเคว้นท์รีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4

รายการอุปกรณ์เฟสซีเควนท์รีเลย์

รายการอุปกรณ์	ค่าที่ใช้ / เบอร์	จำนวน
ความต้านทาน 0.25 วัตต์	50 kΩ	6 ตัว
ความต้านทาน 0.25 วัตต์	560 Ω	3 ตัว
ความต้านทาน 0.25 วัตต์	10 kΩ	4 ตัว
ความต้านทาน 0.25 วัตต์	20 kΩ	3 ตัว
ความต้านทาน 0.25 วัตต์	1 kΩ	1 ตัว
ความต้านทาน 0.25 วัตต์	5 kΩ	1 ตัว
ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 50 โวลต์	0.01 μF	4 ตัว
ตัวเก็บประจุอิเลกโตรไลท์ 16 โวลต์	100 μF	2 ตัว
ตัวเก็บประจุอิเลกโตรไลท์ 16 โวลต์	4.7 μF	1 ตัว
ไดโอด	1n4001	4 ตัว
ไดโอดเปล่งแสง	RED	1 ตัว
ไอซี	LM324N	3 ตัว
ไอซี	7408	1 ตัว
ไอซี	7432	1 ตัว
ไอซี	7473	1 ตัว
ไอซี	555	1 ตัว
ทรานซิสเตอร์ NPN	BC337	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอริธรึกเกจรีเลย์

ในการนำเอาเอริธรึกเกจรีเลย์ ไปใช้ในงานในระบบไฟฟ้ากำลังจริง ๆ เมื่อเกิดกระแสรั่วไหลลงดินเกินกว่าค่าที่กำหนดเอาไว้ รีเลย์จะทำการตัดกระแสไฟฟ้าออกจากภาระโหลดทันที สำหรับเอริธรึกเกจรีเลย์นั้น ทำการติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่ง D เท่านั้น ในการทำงานสามารถอธิบายโดยแบ่งส่วนต่างๆของวงจรออกเป็นส่วน 6 ส่วน วงจรการทำงานในแต่ละส่วนเป็นดังภาพที่ 47 ลายทองแดงของวงจรมีรายละเอียดดังภาพที่ 48 และวิธีการจัดวางอุปกรณ์เป็นดังภาพที่ 49 วงจรการทำงานของแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นส่วนของการรับสัญญาณมาจากหม้อแปลงกระแสเข้ามาในรีเลย์ ปริมาณ กระแสที่เข้ามาจะถูกแปลงเป็นสัญญาณจากแรงดัน และผ่านตัวกรองสัญญาณความถี่สูง ซึ่งป้องกันสัญญาณรบกวนไม่ให้ผ่านเข้าไปภายในรีเลย์

ส่วนที่ 2 วงจรเรคติไฟเออร์ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง สัญญาณที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้วิเคราะห์ในส่วนต่อไป

ส่วนที่ 3 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณจะนำค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่ได้จากส่วนที่ 2 มาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ตั้งค่าไว้ ซึ่งเป็นการตั้งค่ากระแสเริ่มทำงานของเอิร์ธลีกเกจรีเลย์ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงนี้สามารถปรับตั้งค่าได้โดยใช้การปรับตั้งค่าความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 10 กิโลโอห์ม

ส่วนที่ 4 วงจรหน่วงเวลาการทริป เมื่อส่วนที่ 3 พบว่ามีการรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าในสายลงดิน จะส่งสัญญาณเอาท์พุทออกมามีค่าประมาณ +VCC สัญญาณนี้จะถูกนำมาหน่วงการเปลี่ยนแปลงด้วยวงจร RC เพื่อใช้ประโยชน์ในการโคออดิเนตกับการทำงานของรีเลย์ชุดอื่นในระบบ โดยสามารถปรับตั้งค่าการหน่วงเวลาได้ที่ความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 250 kΩ

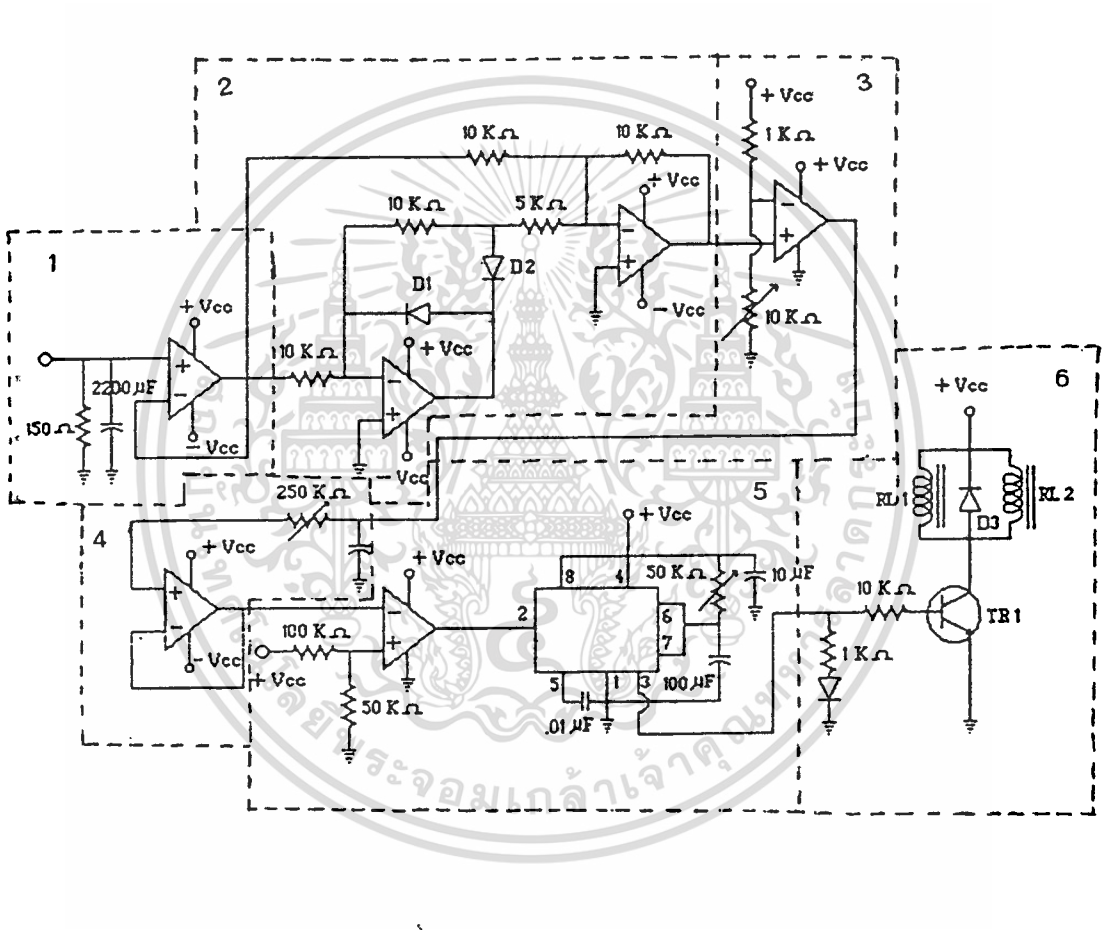
ส่วนที่ 5 วงจรหน่วงเวลาการปิดกลับ ในส่วนนี้จะเป็นการนำสัญญาณเอาท์พุทจากส่วนที่ 4 ไปสั่งการให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ในส่วนที่ 6 ทำงาน แต่เนื่องจากช่วงสัญญาณสั่งทริปที่ส่งมาอาจจะมีช่วงเวลาที่สั้นเกินไป ซึ่งอาจจะทำให้แมกเนติกคอนแทคเตอร์มีความไม่แน่นอนในการเปิดวงจรออก ดังนั้นจึงต้องมีส่วนสร้างสัญญาณที่สั่งทริปให้มีช่วงเวลาปิดกลับ โดยอาศัยการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

ส่วนที่ 6 ส่วนแสดงผล สัญญาณแรงดันเอาท์พุทที่ได้จากส่วนที่ 5 จะถูกส่งมาที่หน้าสัมผัสปกติปิด (NC) ของรีเลย์ ซึ่งต่ออนุกรมกับคอยล์ของแมกเนติกคอนแทคเตอร์ ทำให้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ทำการเปิดวงจรออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 47

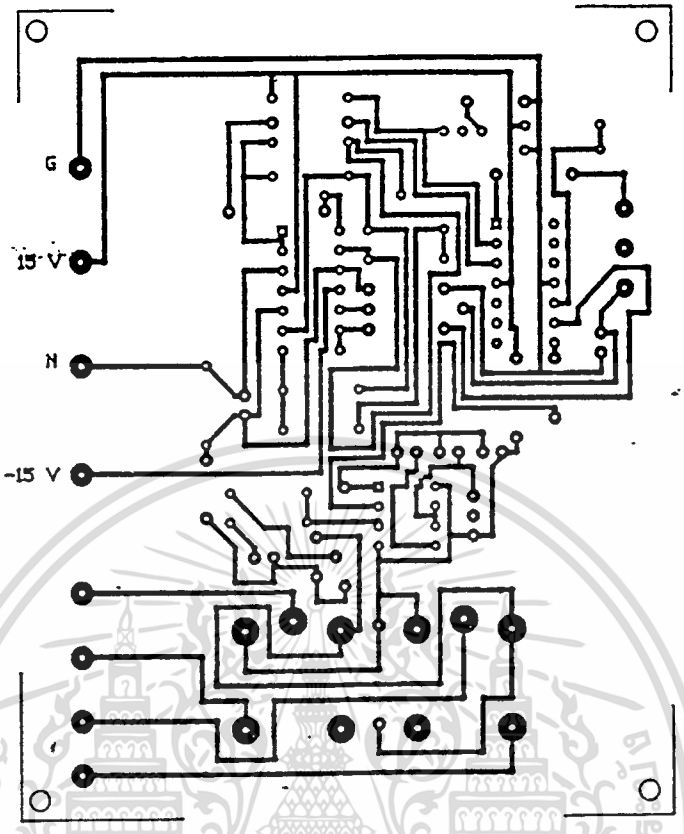
วงจรเอิรธรีกเกจรีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

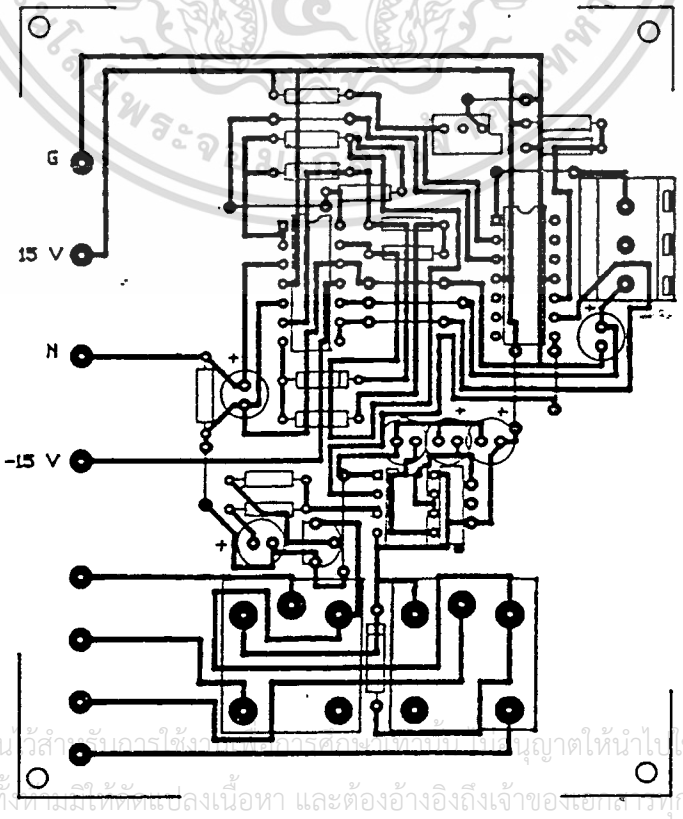
ภาพที่ 48

ลายทองแดงวงจรเอิร์ทลีกเกจรีเลย์



ภาพที่ 49

การจัดวางอุปกรณ์พร้อมลายทองแดงวงจรเอิร์ทลีกเกจรีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5

รายการอุปกรณ์เอิร์ธลีกเกจรีเลย์

รายการอุปกรณ์	ค่าที่ใช้ / เบอร์	จำนวน
ความต้านทาน 0.25 วัตต์	150 Ω	1 ตัว
ความต้านทาน 0.25 วัตต์	1 kΩ	1 ตัว
ความต้านทาน 0.25 วัตต์	5 kΩ	1 ตัว
ความต้านทาน 0.25 วัตต์	10 kΩ	5 ตัว
ความต้านทาน 0.25 วัตต์	50 kΩ	1 ตัว
ความต้านทาน 0.25 วัตต์	100 kΩ	1 ตัว
ความต้านทาน 0.25 วัตต์	250 kΩ	1 ตัว
ความต้านทานปรับค่าได้	10 kΩ	1 ตัว
ความต้านทาน ปรับค่าได้	50 kΩ	1 ตัว
ความต้านทานปรับค่าได้	250 kΩ	1 ตัว
ตัวเก็บประจุชนิดไมก้า 50 โวลต์	0.01 µF	1 ตัว
ตัวเก็บประจุอิเลกโตรไลท์ 16 โวลต์	10 µF	1 ตัว
ตัวเก็บประจุอิเลกโตรไลท์ 16 โวลต์	100 µF	1 ตัว
ตัวเก็บประจุอิเลกโตรไลท์ 16 โวลต์	2200 µF	1 ตัว
ไดโอด	1n4001	2 ตัว
ไดโอด	1n4148	2 ตัว
ไอซี	LM324N	2 ตัว
ไอซี	555	2 ตัว
ทรานซิสเตอร์ NPN	BC337	1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิธีทดสอบ และ ผลการทดสอบ

<u>การทดสอบการใช้งานตัวเหนี่ยวนำ</u>

การทดสอบการใช้งานของตัวเหนี่ยวนำในการจำลองการลัดวงจร ซึ่งทำการทดสอบโดยการวัดค่าความเหนี่ยวนำ จากจำนวนรอบของตัวเหนี่ยวนำที่คำนวณได้นี้เมื่อทำการพันจริง จะต้องนำมาตรวจสอบกับค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแส ณ จุดที่จะใช้งานจริงๆ ในการทดสอบไม่จำเป็นต้องทดสอบความลิเนียร์ของตัวเหนี่ยวนำ เพราะในการใช้งานจะเป็นในลักษณะที่แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดเพียงช่วงเดียวเท่านั้น จากการทดสอบพบว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ได้มีค่าไม่เท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณแต่สามารถแก้ไขได้โดยการปรับระยะช่องว่างอากาศระหว่างแกนเหล็กตัว E กับแกนเหล็กตัว I

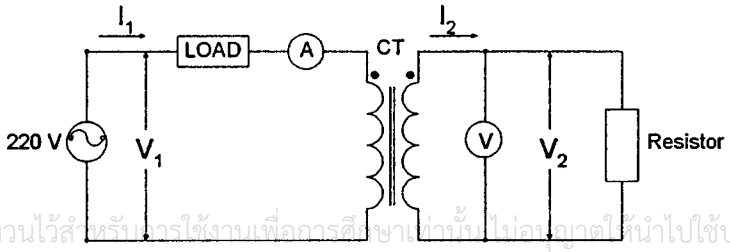
<u>การทดสอบการใช้งานอินสทรูเมนต์ ทรานสฟอร์มเมอร์</u>

1. หม้อแปลงกระแส

หม้อแปลงกระแสเมื่อพันเสร็จแล้วเราจะต้องนำมาทำการทดสอบเพื่อหาอัตราส่วนการแปลงกระแสและความเป็นเชิงเส้นของการแปลงกระแสด้วยว่าถูกต้องเท่ากันตลอดช่วงของการใช้งานหรือไม่ จากบทที่ 3 ในหัวข้อโครงสร้างของระบบจะเห็นว่าใช้หม้อแปลงกระแส 2 ขนาด คือ 640/5 และ 320/5 ดังนั้นจึงทำการทดสอบหม้อแปลงกระแสแต่ละขนาด ซึ่งได้ข้อมูลดังตารางที่ 6 และตารางที่ 7 ตามลำดับ ในการทดสอบทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ให้กับภาระโหลดและนำค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ต่อเข้ากับหม้อแปลงกระแสทางด้านปฐมภูมิ ส่วนทางด้านทุติยภูมินำค่าความต้านทานมาต่อคร่อม ดังวงจรการทดสอบภาพที่ 50 หลังจากนั้นปรับค่าภาระโหลดจากน้อยไปมากเป็นลำดับ ทำการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าลงในตารางบันทึกผล

ภาพที่ 50

วงจรการทดสอบหม้อแปลงกระแส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6

ผลการทดสอบหม้อแปลงกระแส 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	9.056×10^{-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}
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 7

ผลการทดสอบหม้อแปลงกระแสขนาด 320/5

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}

a = N_1/N_2 = 4/255 = 15.686×10^{-3}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

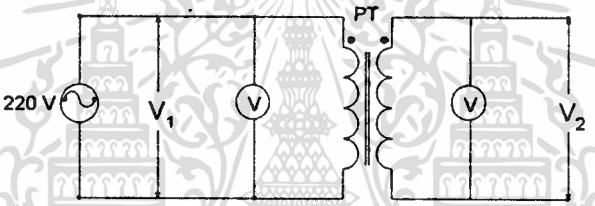
จากการทดสอบจะเห็นว่า ค่า I_1/I_2 ที่ได้นั้น มีความลีเนียร์ดีพอสมควร ในช่วงการใช้งาน และเมื่อเทียบกับค่าอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง ($a = N_1/N_2$) จะมีค่าใกล้เคียงกัน

2. หม้อแปลงแรงดัน

สำหรับการทดสอบหม้อแปลงแรงดันนั้น ใช้วงจรการทดสอบดังภาพที่ 51 เมื่อต่อวงจรเรียบร้อยแล้วทำการจ่ายค่าแรงดันไฟฟ้าขนาด 100 โวลต์ ให้กับหม้อแปลงแรงดัน ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ หลังจากนั้นทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเป็น 110 โวลต์, 127 โวลต์, 135 โวลต์ และ 150 โวลต์ ตามลำดับ ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าลงในตารางที่ 8

ภาพที่ 51

วงจรการทดสอบหม้อแปลงแรงดัน



ผลการทดสอบที่ได้เป็นดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8

ผลการทดสอบหม้อแปลงแรงดัน 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

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

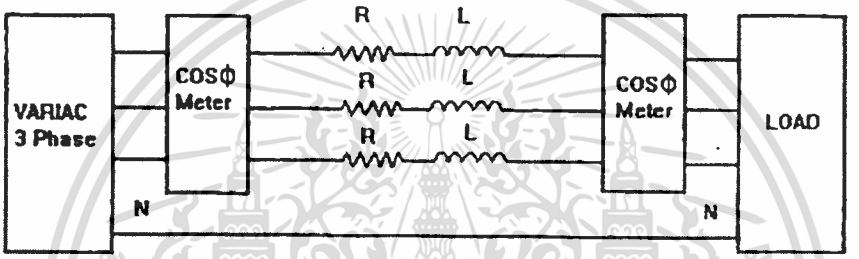
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบแผงสายส่ง

ในการทดสอบแผงสายส่งจะทำการทดสอบสายส่งระยะสั้นก่อน โดยทำการต่อวงจรดังภาพที่ 52 และทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าขนาด 200 V_{L-L} , 220 V_{L-L} และ 250 V_{L-L} ให้กับภาระโหลดที่ค่าต่างๆ กันเป็นจำนวนทั้งสิ้นสามค่า ทำการบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของสายส่งทั้งทางด้านต้นสาย และทางด้านปลายสาย ผลการทดสอบเป็นดังตารางที่ 9

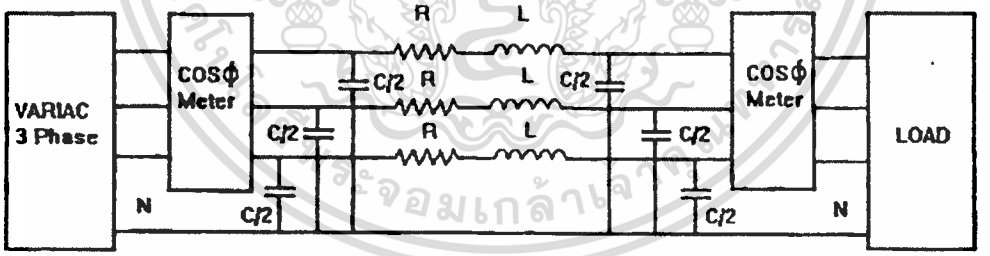
ภาพที่ 52

วงจรการทดสอบสายส่งระยะสั้น



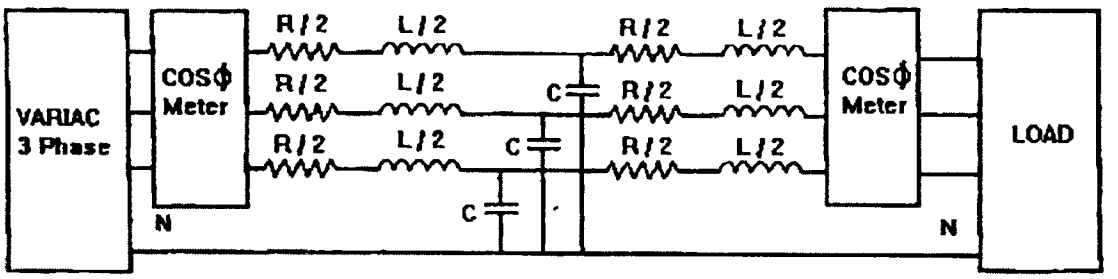
ภาพที่ 53

วงจรการทดสอบสายส่งระยะปานกลางต่อวงจรแบบพายน์



ภาพที่ 54

วงจรการทดสอบสายส่งระยะปานกลางต่อวงจรแบบที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นเปลี่ยนแผงสายส่งเป็นสายส่งระยะปานกลางต่อวงจรแบบพายน์ ดังวงจรการทดสอบภาพที่ 53 ทำการทดสอบเหมือนกันกับสายส่งระยะสั้น ผลการทดสอบเป็นดังตารางที่ 10 เปลี่ยนแผงสายส่งเป็นสายส่งระยะปานกลางต่อวงจรแบบที ดังวงจรการทดสอบภาพที่ 54 ทำการทดสอบเหมือนกันกับสายส่งระยะสั้น ผลการทดสอบเป็นดังตารางที่ 11

ตารางที่ 9

ผลการทดสอบสายส่งระยะสั้น

Sending			Receiving			Efficiency	% Voltage
$V_S (V_{L-L})$	I_S (A)	$\cos\phi_S$	$V_R (V_{L-L})$	I_R (A)	$\cos\phi_R$	(%)	Regulation
200	3.54	0.995	187	3.54	1.0	93.97	6.95
	2.97	0.997	186	2.95	1.0	92.65	7.53
	2.52	0.998	186	2.40	1.0	88.75	7.53
220	3.78	0.998	210	3.78	1.0	95.65	4.76
	3.15	0.998	210	3.14	1.0	95.34	4.76
	2.58	0.998	210	2.55	1.0	94.53	4.76
250	4.12	0.998	239	4.05	1.0	93.77	4.60
	3.54	0.998	238	3.40	1.0	91.62	5.04
	2.78	0.998	239	2.65	1.0	91.31	4.60

ตารางที่ 10

ผลการทดสอบสายส่งระยะปานกลางต่อวงจรแบบพายน์

Sending			Receiving			Efficiency	% Voltage
$V_S (V_{L-L})$	I_S (A)	$\cos\phi_S$	$V_R (V_{L-L})$	I_R (A)	$\cos\phi_R$	(%)	Regulation
200	3.72	-0.96	190	3.60	1.0	95.77	5.26
	3.48	-0.96	191	3.20	1.0	91.48	4.71
	2.73	-0.96	191	2.45	1.0	89.28	4.71
220	3.95	-0.95	211	3.78	1.0	96.61	4.27
	3.56	-0.95	211	3.16	1.0	89.61	4.27
	2.91	-0.95	211	2.58	1.0	89.51	4.27
250	4.28	-0.94	241	4.06	1.0	97.28	3.73
	3.61	-0.94	241	3.42	1.0	97.16	3.73
	3.15	-0.89	247	2.78	1.0	97.97	1.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11

ผลการทดสอบสายส่งระยะปานกลางต่อวงจรแบบที

Sending			Receiving			Efficiency	% Voltage
V_S (V_{L-L})	I_S (A)	$\cos\phi_S$	V_R (V_{L-L})	I_R (A)	$\cos\phi_R$	(%)	Regulation
200	3.72	-0.955	191	3.58	1.0	96.24	4.71
	3.46	-0.953	191	3.10	1.0	89.78	4.71
	2.73	-0.953	191	2.46	1.0	90.30	4.71
220	3.94	-0.947	209	3.76	1.0	95.73	5.26
	3.31	-0.945	209	3.16	1.0	95.97	5.26
	2.90	-0.945	210	2.58	1.0	89.86	4.76
250	4.27	-0.935	238	4.03	1.0	96.10	5.04
	3.67	-0.935	238	3.38	1.0	93.77	5.04
	3.18	-0.854	242	2.76	1.0	98.38	3.31

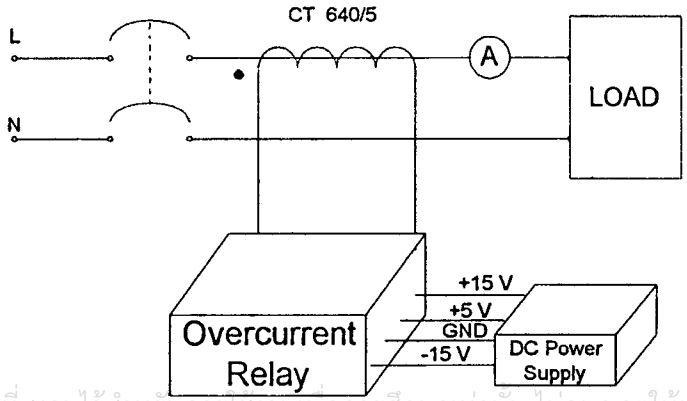
<u>การทดสอบอุปกรณ์ป้องกัน</u>

การทดสอบรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน

เมื่อทำการสร้างรีเลย์ป้องกันกระแสเกินต้นแบบแล้วจะต้องทำการทดสอบหาคุณลักษณะการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่สภาวะต่างๆแล้วทำการเก็บข้อมูลที่ได้เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนี้จะช่วยในการปรับตั้งค่าต่างๆ ในรีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่จะใช้ในการทำงานร่วมกันกับอุปกรณ์ป้องกันชนิดอื่นในระบบป้องกันทั้งหมด รวมทั้งใช้ในการปรับตั้งโคออดิเนตของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินที่ถูกติดตั้งในโซน A, B, C และ D วงจรที่ใช้ในการทดสอบแสดงดังภาพที่ 55

ภาพที่ 55

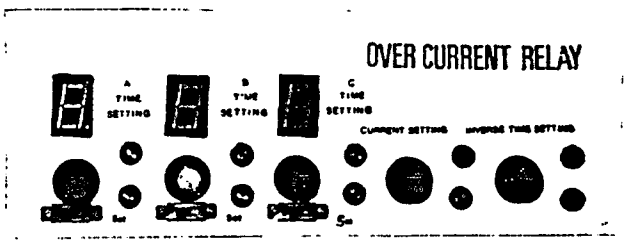
วงจรการทดสอบรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

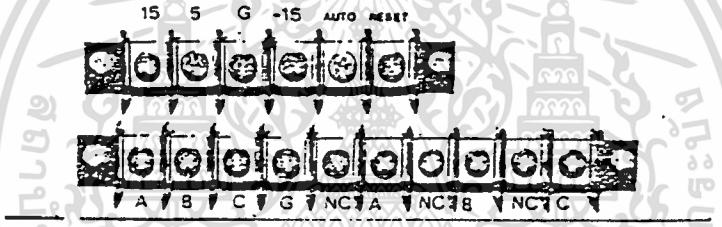
ภาพที่ 56

หน้าปัทของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน



ภาพที่ 57

จุดต่อด้านหลังของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน



การทดสอบการทำงานนั้นใช้ระบบไฟ 220 โวลต์ 1 เฟส เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่โหลดหลอดไฟซึ่งปรับค่าได้ และนำหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าขนาด 640/5A ที่ได้ทำการทดสอบขั้ว และทำเครื่องหมายดอทไว้เรียบร้อยแล้วมาทำการต่อวงจรดังภาพที่ 55 และทำการตั้งค่าต่างๆที่โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ดังนี้

- ที่จุดเคอร์เร้นท์เซ็ทติ้ง ให้ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ประมาณ 3 V ซึ่งเป็นค่ากำหนดกระแสเริ่มผิดปกติ (4 A)
- ที่จุดไทม์เซ็ทติ้ง ตั้งค่าความต้านทานปรับค่าได้ที่จุดนี้ 500 kΩ
- ที่จุดอินเวอสไทม์ เซ็ทติ้ง ซึ่งเป็นกรณีที่โอเวอร์เคอร์เร้นท์ รีเลย์ ใช้เวลาในการทำงานสูงสุดในสภาวะที่กำหนด เป็นการปรับกราฟคุณลักษณะการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน ในการทดสอบนี้พิจารณาผลของเวลาที่ใช้ในการสั่งทริปกับค่ากระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นเป็นหลัก

- เมื่อทำการตั้งค่าเรียบร้อยแล้วก็ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดที่ค่าต่ำกว่า 4 A จะสังเกตุเห็นว่ารีเลย์ป้องกันกระแสเกินไม่ทำงานเพราะว่าปริมาณกระแสที่ไหลมีค่าน้อยกว่าค่าพิกัดเริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของรีเลย์ และเนื่องจากโหลดที่ใช้ในการเลือกปรับนั้นเป็นโหลดที่มีลักษณะเป็นสเตปแบ่งได้เป็น 4 สเตปคือ 25%, 50%, 75% และ 100%ของโหลดทั้งหมด หลังจากนั้นทำการเพิ่มโหลดไปที่ 25%ของโหลดทั้งหมด ทำการจับเวลาขณะเริ่มจ่ายโหลดจนกระทั่งรีเลย์ทำงาน ทำการบันทึกค่าเวลา และค่ากระแสที่ได้ลงในตารางที่ 12 และปลดโหลดที่เพิ่มเข้าไปออก ซึ่งจะทำให้ปริมาณกระแสมีค่าต่ำกว่า 4 A หลังจากนั้นทำการเพิ่มโหลดไปที่ 50%, 75% และ 100%ของโหลดทั้งหมดตามลำดับและทำการทดสอบแบบเดียวกันกับที่ 25%ของโหลดทั้งหมด

- ทำการปรับค่าอินเวอสไทม์เซ็ทติ้งเพิ่มขึ้นเป็น 6 V และ 9 V ตามลำดับ และทำการทดสอบเหมือนขณะค่าอินเวอสไทม์เซ็ทติ้งเท่ากับ 3V

ตารางที่ 12

ความสัมพันธ์ของกระแส และเวลาที่ภาระโหลดต่างๆ ในแต่ละค่าการตั้งเวลาอินเวอร์ส

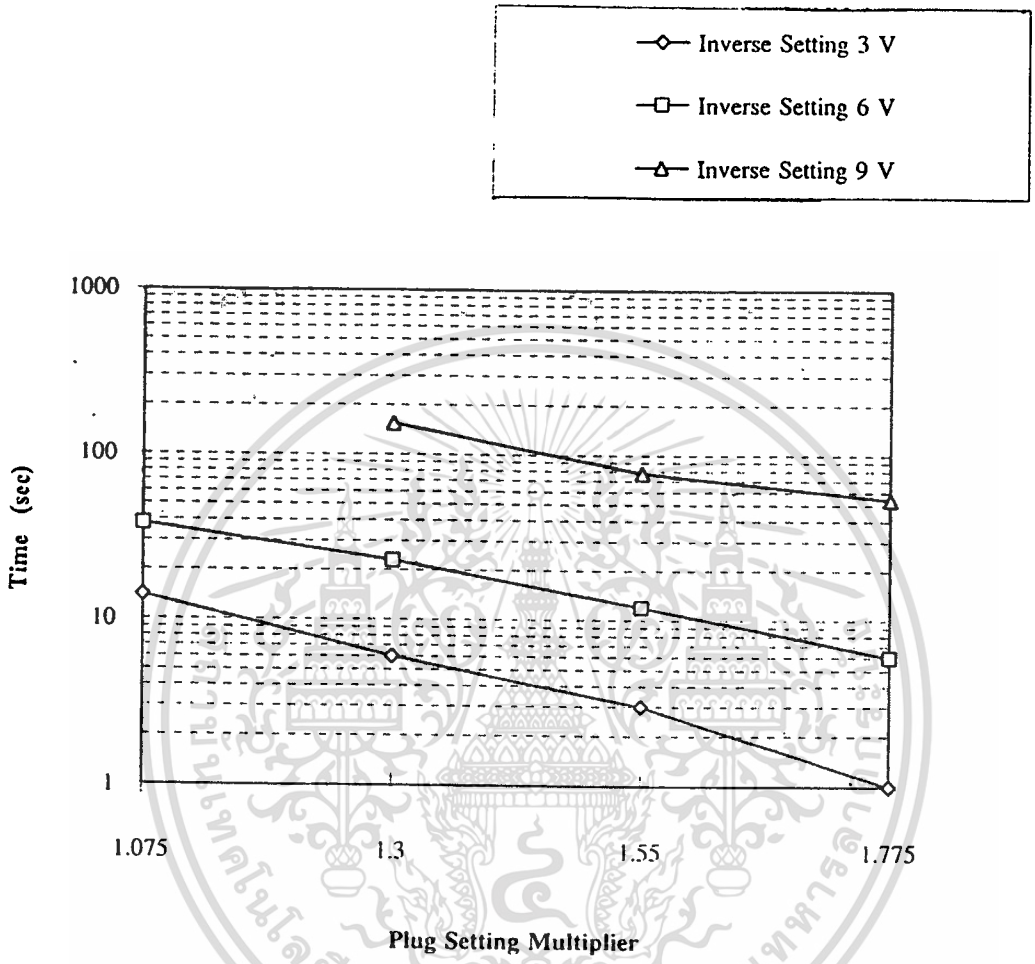
ภาระโหลด (%)	กระแส (A)	Inverse Time Setting		
		3 V	6 V	9 V
		เวลา (วินาที)		
25	4.3	14	36	-
50	5.2	6	23	154
75	6.2	3	12	78
100	7.1	1	6	54

- นำผลที่ได้ไปพล็อทกราฟเซมิลอค โดยให้ค่ากระแสอยู่ในแกนนอน และเวลาอยู่ในแนวแกนตั้ง ข้อควรระวังคือ ในช่วงที่มีการเพิ่มโหลดนั้นควรจะทิ้งช่วงเวลาการทดลองสักครู่ เพื่อให้คาปาซิเตอร์ที่ทำการหน่วงเวลาคายประจุออกจนหมดเสียก่อน เพื่อให้ผลการทดสอบที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นและจากข้อมูลที่ได้นำไปพล็อตเป็นกราฟเซมิล๊อคได้ดังภาพที่ 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 58

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและกระแสของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน



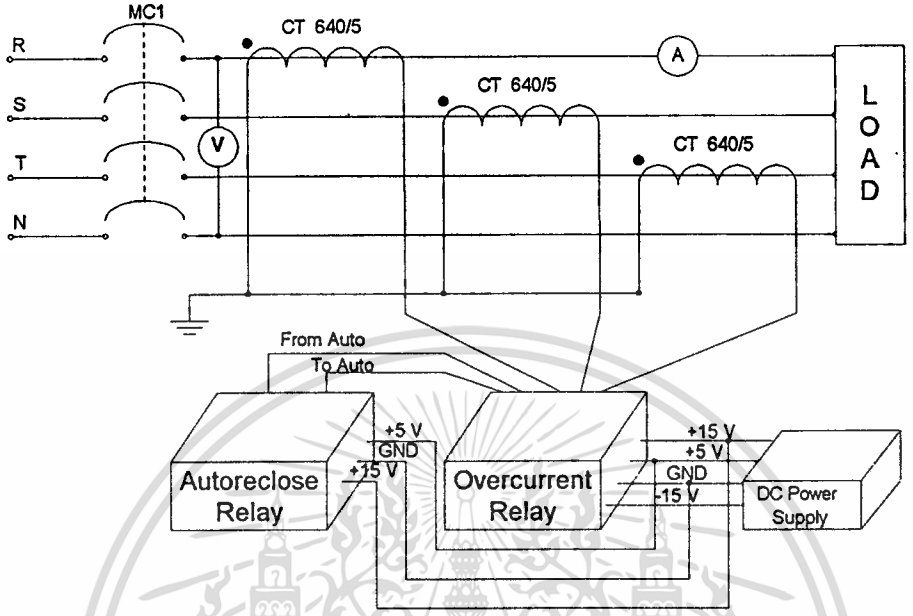
การทดสอบออโต้รีโคลสซิ่ง รีเลย์

ในการทดสอบออโต้รี โคลสซิ่งรีเลย์นั้นต้องนำรีเลย์ป้องกันกระแสเกินมาใช้ในการทดสอบด้วยเนื่องจากรีเลย์ทั้งสองทำงานสัมพันธ์กัน ในการทดสอบจะทำการต่อวงจรการทดลองดังภาพที่ และทำการตั้งค่าการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินไว้ที่ 4 A หลังจากนั้นทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดจนกระทั่งมากกว่า 4 A ซึ่งจะมีผลทำให้รีเลย์ป้องกันกระแสเกินทำงานหลังจากนั้นทำการสังเกตุการทำงานของออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์ในการสั่งปิดแมกเนติกคอนแทคเตอร์ และในส่วนแสดงผลของตัวรีเลย์ วงจรการทดสอบเป็นดังภาพที่ 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

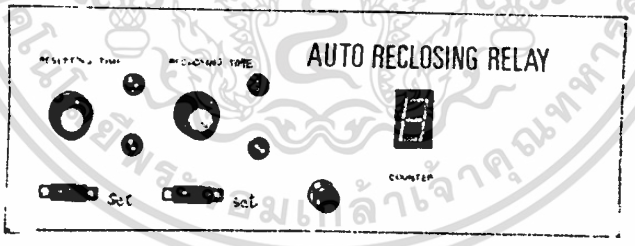
ภาพที่ 59

วงจรการทดสอบออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์



ภาพที่ 60

หน้าปัทของออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์



ภาพที่ 61

จุดต่อด้านหลังของออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์

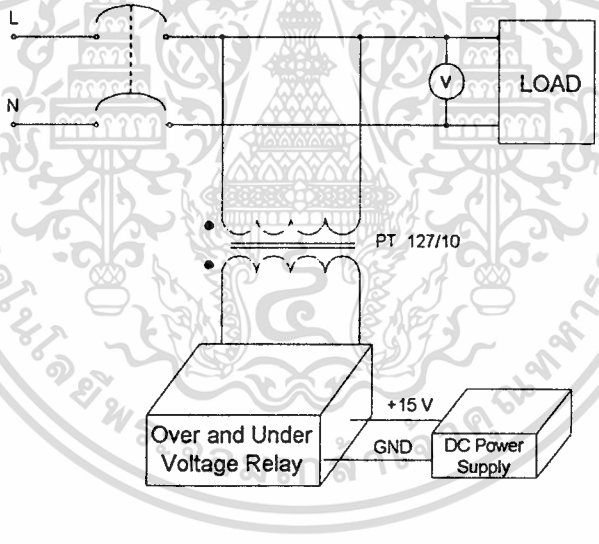
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบเมื่อรีเลย์ป้องกันกระแสเกินทำการตัดวงจรออกเนื่องจากฟอลต์ ออโต้รีโคลสจะสั่งงานให้กับเซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดวงจรเข้าไปอีกครั้ง การปิดกลับไปนั้นก็เพื่อให้ระบบสามารถจ่ายไฟได้อย่างรวดเร็วในกรณีเกิดฟอลต์ การปิดวงจรกลับนี้สามารถทำการปิดกลับวงจรได้ 2 ครั้งตามที่ได้ออกแบบไว้ และเมื่อปิดกลับวงจรครบสองครั้งก็จะทำการเปิดวงจรโดยถาวร

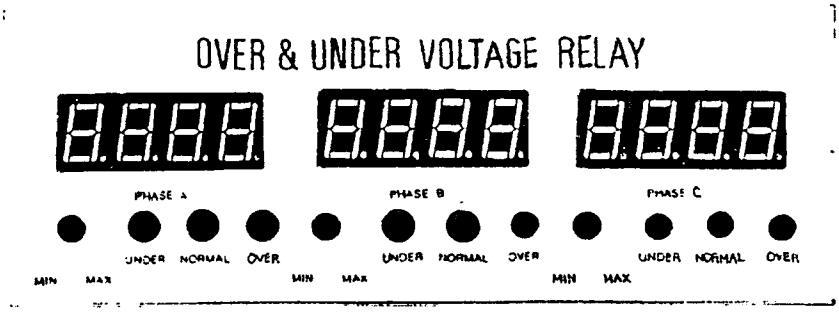
การทดสอบรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติ

การทดสอบการทำงานของรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าพิกัด ใช้วงจรการทดสอบดังภาพที่ 62

ภาพที่ 62
วงจรการทดสอบรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติ



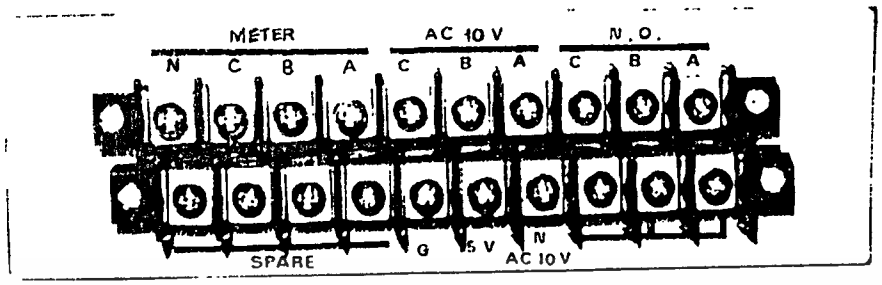
ภาพที่ 63
หน้าปัทของรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 64

จุดต่อด้านหลังของรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติ



จากวงจรจะเห็นว่าทำการทดสอบการทำงานของรีเลย์ทีละเฟส เพื่อพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์และวงจรการทำงานของภายในตัวรีเลย์ของแต่ละเฟสว่าเป็นไปตามค่าที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยวงจรรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติจะมส่วนแสดงผลซึ่งเป็นเซเว่นเซ็กเม้นท์ขนาด 2 ดิจิต 2 ชุด ติดอยู่กับกล่องรีเลย์ด้วย จากวงจรจะเห็นว่านำหม้อแปลงแรงดันขนาด 127/10 ต่อเข้ากับระบบเพื่อใช้ในการลดทอนค่าแรงดันไฟฟ้าต่อเข้ากับขั้วด้านหลังกล่องรีเลย์ตามจุดต่อ A-N, B-N, C-N ตามลำดับ แล้วนำแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่อเข้ากับหลังกล่องของรีเลยที่ขั้ว +15, G หลังจากต่อเรียบร้อยแล้วทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ขั้ว L-N ไปยังโหลดหลอดไฟ โดยเริ่มจ่ายแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 80 โวลต์ จนถึง 170 โวลต์ ในการทดสอบทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าครั้งละ 10 โวลต์ แล้วสังเกตการทำงานของหลอด LED ในแต่ละตำแหน่งด้านหน้ากล่องของรีเลย์ การทำงานของรีเลย์ และส่วนแสดงผล นำค่าที่ได้จากการทดสอบบันทึกผลลงในตารางที่ 13

จากการทดสอบถ้าหลอดไฟ LED สีเขียวติดแสดงว่าระบบแรงดันไฟฟ้าของเฟสที่กำลังทดสอบมีค่าอยู่ในระดับปกติ แต่ถ้าหลอดไฟ LED สีแดงที่ตำแหน่งแสดงแรงดันเกิน (OVER) ติด แสดงว่าระบบมีแรงดันไฟฟ้าเกินกว่าพิกัด แต่ถ้าหลอดไฟ LED สีแดงที่ตำแหน่งแสดงแรงดันต่ำ (UNDER) ติด แสดงว่าระบบทีค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าพิกัด ขณะที่ระบบมีค่าแรงดันเป็นปกติรีเลย์ไม่ทำงานทำให้ไม่มีสัญญาณเสียงออกมาจากฮอร์นที่ต่ออยู่กับหน้าคอนแทคของรีเลย์

เนื่องจากมีรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าพิกัดทั้งหมด 3 ชุด และแต่ละชุดมีการทำงานที่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ดังนั้นขณะทำการทดสอบถ้ารีเลย์มีลักษณะการทำงานไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดคือ $\pm$15% ของค่าแรงดันไฟฟ้าที่กำหนด ให้ทำการปรับตั้งค่าความต้านทานปรับค่าได้ให้อยู่ในระดับแรงดันไฟฟ้าที่กำหนดก็สามารถนำไปติดตั้งในระบบไฟฟ้ากำลังจำลองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13

ผลการทดสอบการทำงานรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติ

ลำดับที่	แรงดันไฟฟ้า (V_s)	การทำงานของ LED			การทำงานของรีเลย์	ส่วนแสดงผล (V_t)
		UNDER	NORMAL	OVER		
1	80	✓	-	-	ON	139
2	90	✓	-	-	ON	156
3	100	✓	-	-	ON	173
4	110	-	✓	-	OFF	191
5	120	-	✓	-	OFF	208
6	130	-	✓	-	OFF	225
7	140	-	✓	-	OFF	243
8	150	-	-	✓	ON	260
9	160	-	-	✓	ON	277
10	170	-	-	✓	ON	295

หมายเหตุ เครื่องหมาย ✓ = LED ที่ตำแหน่งนั้นสว่าง

\- = LED ที่ตำแหน่งนั้นดับ

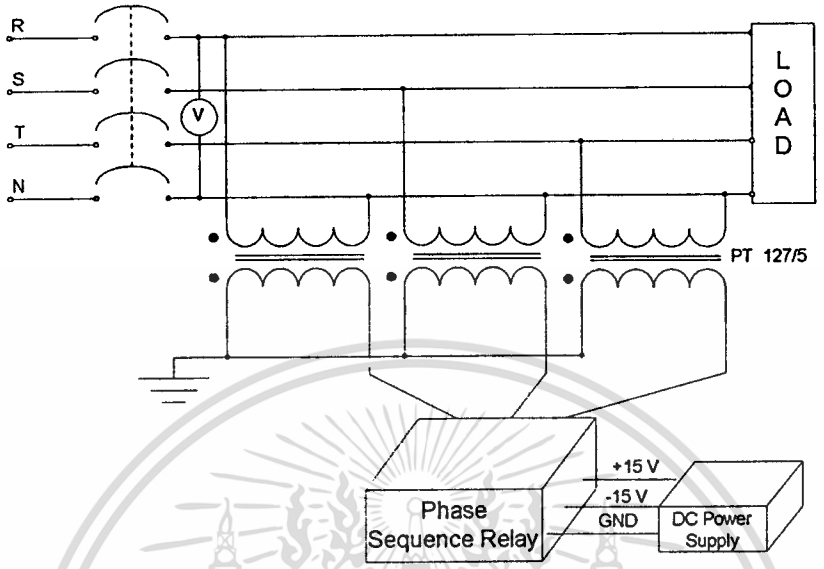
การทดสอบเฟสซีเควนรีเลย์

ในการทดสอบการทำงานของเฟสซีเควันท์รีเลย์ให้ต่อวงจรดังภาพที่ 65 โดยนำค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่ได้จากหม้อแปลงแรงดันขนาดพิกัด 127/5 ทั้งสามเฟส ต่อเข้ากับด้านหลังของรีเลย์ในลักษณะการต่อแบบสตาร์ (Y) ตามขั้วต่อสายที่กำหนดไว้ แล้วต่อเพาเวอร์ซัพพลาย +15 V, +5 V, และกราวด์ ให้กับรีเลย์ แล้วนำแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ ต่อเข้ากับขั้วของรีเลย์ด้วย เมื่อต่อวงจรเรียบร้อยให้ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟสให้กับภาระโหลด แล้วพิจารณาการทำงานของรีเลย์ จะพบว่าหลอดไฟสีแดงด้านหน้ากล่องจะติดอยู่นาน 3 วินาที แล้วดูผลที่ได้หลังจาก 3 วินาที ว่าหลอดไฟหลอดใดบ้างที่ติดอยู่ นำค่าที่ได้บันทึกผลลงในตารางที่ 14 จากผลการทดสอบจะเห็นว่าเฟสซีเควนรีเลย์สามารถตรวจสอบการเรียงลำดับเฟสของระบบไฟฟ้าสามเฟสได้ ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของรีเลย์ดังที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 65

วงจรการทดสอบเฟสซีเควนรีเลย์

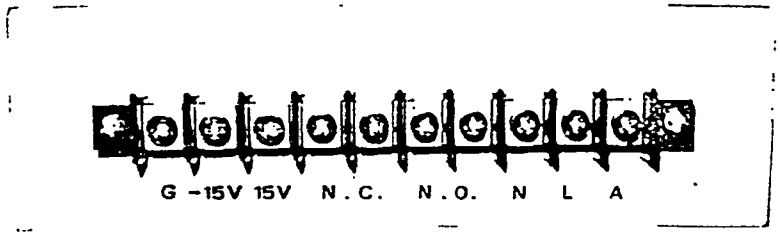


ภาพที่ 66

หน้าปัทของเฟสซีเควนรีเลย์

ภาพที่ 67

จุดต่อด้านหลังของเฟสซีเควนรีเลย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 14

ผลการทดสอบการทำงานเฟสซีเควนท์รีเลย์

การต่อขั้วด้านหลังของเฟส			การทำงานของหลอดไฟ		การเรียงลำดับเฟส
A	B	C	หลอดสีแดง	หลอดสีเขียว	
R	S	T	ดับ	ติด	✓
S	R	T	ติด	ดับ	✗
T	S	R	ติด	ดับ	✗
T	R	S	ดับ	ติด	✓

การทดสอบเอริธลึกเกจรีเลย์

ในการทดสอบการทำงานของรีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดิน ทำการต่อวงจรดังภาพที่ 68 โดยนำค่ากระแสไฟฟ้าเอาท์พุทที่ได้จากหม้อแปลงกระแสพิกัด 640/5 ต่อเข้ากับด้านหลังของรีเลย์ตามขั้วต่อสาย นำแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด +15 โวลต์, -15 โวลต์ และกราวด์ จ่ายให้กับรีเลย์ ทำการเซทค่ากระแสโดยกำหนดให้กระแสเริ่มทำงานมีค่าเท่ากับ 4 แอมป์ ตั้งค่าเวลาการทำงานของรีเลย์โดยการปรับตั้งค่าความต้านทานปุ่ม TIME 1 และตั้งเวลาการปิดกลับโดยปรับค่าความต้านทานของปุ่ม TIME 2 แล้วนำแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ ต่อเข้ากับขั้วของรีเลย์ เมื่อต่อวงจรเรียบร้อยให้ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับภาระโหลด พิจารณาการทำงานของรีเลย์จะเห็นว่าเมื่อจ่ายกระแสปริมาณน้อยกว่าค่าเริ่มทำงานของรีเลย์ รีเลย์จะไม่ทำงาน และเมื่อจ่ายกระแสปรีมาณมากกว่า หรือเท่ากับค่าเริ่มทำงาน รีเลยจะทำงานโดยส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทออกมา เนื่องจากโครงงาน.วิจัยนี้ใช้รีเลย์ป้องกันการรั่วไหลลงดินเพื่อศึกษาคุณสมบัติการรั่วไหลลงดินของระบบ ดังนั้นรีเลย์ชนิดนี้จึงใช้เพื่อแจ้งให้ผู้ใช้ทราบว่าระบบเกิดความผิดปกติ

<u>การทดสอบระบบไฟฟ้ากำลัง</u>

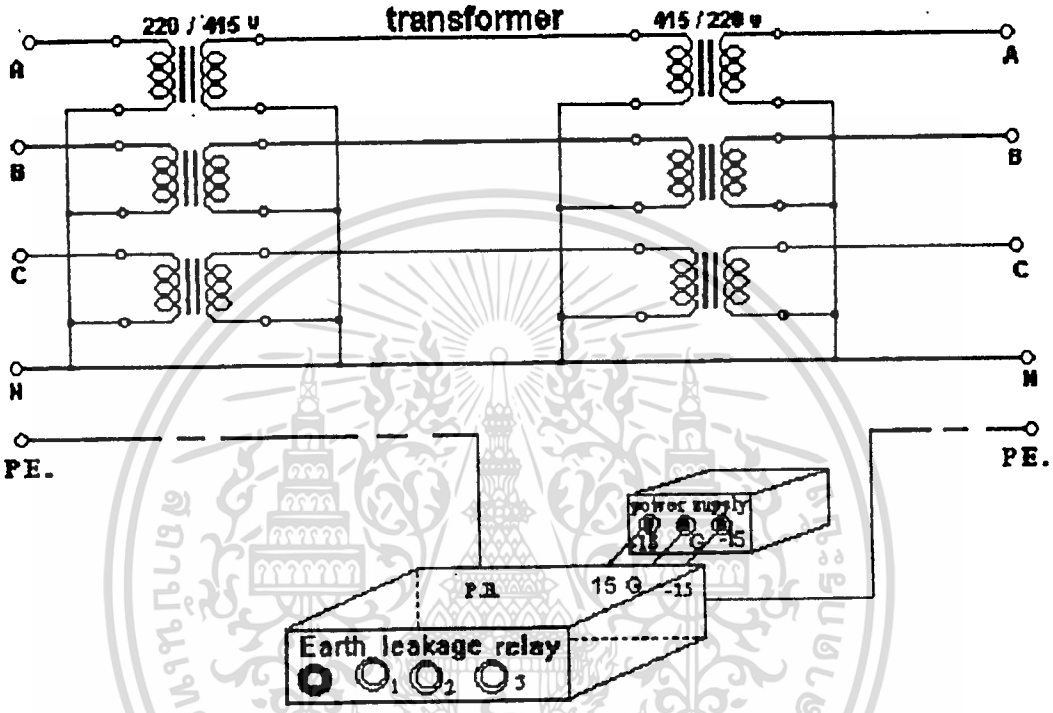
ในการทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังจำลองเป็นการนำอุปกรณ์ทั้งหมดที่จัดสร้าง และผ่านการทดสอบคุณสมบัติการนำไปใช้งาน และตั้งค่าการทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้มาทำการต่อวงจรซึ่งมีรายละเอียดของการเดินสายไฟฟ้าทั้งวงจรกำลัง และวงจรควบคุมของระบบไฟฟ้ากำลังทั้งในโซน A โซน B, โซน C และโซน D เป็นดังภาคผนวก ข ในการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการทดสอบที่เงื่อนไขภาระโหลดต่างๆ และทำการทดสอบที่สภาวะการเกิดความผิดปกติที่เงื่อนไขต่างๆ ซึ่งได้ผลการทดสอบเป็นดังตารางที่ 15 และ ตารางที่ 16 ตามลำดับ

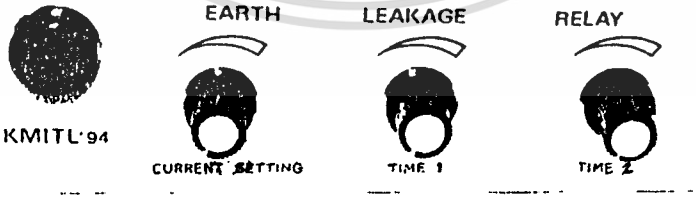
ภาพที่ 68

วงจรการทดสอบเอิร์ธลีกเกจรีเลย์



ภาพที่ 69

หน้าปัทของเอิร์ธลีกเกจรีเลย์



ภาพที่ 70

จุดต่อด้านหลังของเอิร์ธลีกเกจรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 15

ผลการทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังจำลองในสภาวะปกติที่เงื่อนไขภาระโหลดต่างๆ

ชนิดของสายส่ง	V_{input} (%rated)	ส่วน A			ส่วน B			ส่วน C			ส่วน D			เงื่อนไขภาระโหลด
		$V_{o/p}$	$I_{o/p}$	cos θ	$V_{o/p}$	$I_{o/p}$	cos θ	$V_{o/p}$	$I_{o/p}$	cos θ	$V_{o/p}$	$I_{o/p}$	cos θ	
สายส่งระยะสั้น	50%	110	0	1.0	208	0	1.0	217	0	1.0	105	0	-	ไม่มีโหลด
		107	2.28	0.995	202	1.2	0.994	206	1.19	1.0	101	2.25	1.0	Unity
		107	2.28	0.983	202	1.2	0.983	204	1.19	0.998	100	2.25	0.998	Lagging
	100%	220	0	1.0	415	0	1.0	436	0	1.0	213	0	-	ไม่มีโหลด
		215	3.34	0.997	405	1.76	0.997	417	1.76	1.0	208	3.32	1.0	Unity
		215	3.34	0.985	405	1.76	0.992	413	1.76	0.988	207	3.32	0.988	Lagging
สายส่งระยะปานกลางต่อแบบพาย (π)	50%	110	0	-0.795	208	0	-0.798	213	0	1.0	113	0	-	ไม่มีโหลด
		107	2.21	-0.935	202	1.17	-0.938	194	1.10	0.998	103	2.07	0..998	Unity
		106	2.21	-0.950	202	1.17	-0.951	193	1.10	0.993	102	2.07	0.992	Lagging
	100%	220	0	-0.788	415	0	-0.788	425	0	1.0	225	0	-	ไม่มีโหลด
		215	3.38	-0.876	405	1.8	-0.876	398	1.74	0.998	211	3.25	0.995	Unity
		215	3.37	-0.889	405	1.8	-0.890	393	1.74	0.990	208	3.25	0.990	Lagging
สายส่งระยะปานกลางต่อแบบที (T)	50%	110	0	-0.792	208	0	-0.792	213	0	1.0	113	0	-	ไม่มีโหลด
		108	2.21	-0.932	203	1.17	-0.932	194	1.10	0.998	103	2.07	0.998	Unity
		107	2.21	-0.994	202	1.17	-0.944	193	1.09	0.990	102	2.07	0.988	Lagging
	100%	220	0	-0.783	415	0	-0.785	425	0	1.0	225	0	-	ไม่มีโหลด
		216	3.37	-0.875	406	1.81	-0.875	398	1.74	0.998	211	3.24	0.995	Unity
		215	3.38	-0.888	405	1.81	-0.888	393	1.74	0.988	208	3.24	0.987	Lagging

ตารางที่ 16

ผลการทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังจำลองในสภาวะเกิดความผิดปกติที่เงื่อนไขต่างๆ

สภาวะการเกิดความผิดปกติของระบบ	ส่วน A				ส่วน B		ส่วน C		ส่วน D				
	RL1	RL2	RL3	RL4	RL1	RL2	RL1	RL2	RL1	RL2	RL3	RL4	RL5
แรงดันสูงเกิน 15%	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-
แรงดันต่ำกว่า 15%	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-
ต่อวงจรสลับเฟส	-	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	✓	-
กระแสรั่วไหลลงดิน	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓
ขดลวดของหม้อแปลง TR1 ลัดวงจร	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ขดลวดของหม้อแปลง TR2 ลัดวงจร	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ภาระโหลดในแต่ละเฟสไม่เท่ากัน	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-
กระแสเกิน	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-
กระแสลัดวงจรส่วน D	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-
กระแสลัดวงจรส่วน C	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-
กระแสลัดวงจรส่วน B	-	-	-	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-
กระแสลัดวงจรส่วน A	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ ✓ = ทำงาน - = ไม่ทำงาน

บทที่ 6
บทสรุป วิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ

วิเคราะห์ผล

จากผลการทดสอบอุปกรณ์ต่างๆ ที่จัดทำขึ้นสามารสรุปได้ดังนี้

1. ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการจำลองการลัดวงจรสามารถนำมาใช้งานได้จริง สำหรับในโครงงานวิจัยนี้จำเป็นต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำต่อเข้ากับระบบในขณะทำการจำลองการลัดวงจรเนื่องมาจากหากทำการลัดวงจรระหว่างสาย หรือระหว่างสายเฟสกับกราวด์โดยตรงจะทำให้อุปกรณ์ที่จัดสร้างขึ้นได้รับความเสียหาย เพราะในการลัดวงจรจริงค่ากระแสลัดวงจรมีค่าสูงมาก ซึ่งมากเกินกว่าที่อุปกรณ์ป้องกัน และอุปกรณ์ควบคุมต่างๆในระบบจำลองที่จัดสร้างขึ้นทนได้
2. สายส่งจำลองที่นำมาใช้งานสามารถจำลองลักษณะการจ่ายไฟของระบบจริงได้ จากการทดสอบการจำลองสายส่งที่ใช้วิธีเปอร์ยูนิตเทียบค่าจากระบบจริงมาเป็นระบบจำลองนั้น ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าที่ทดสอบได้เมื่อนำค่าที่ได้จากผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี พบว่ามีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดไม่มากนัก สำหรับสายส่งระยะสั้นเป็นดังตารางที่ 17 สำหรับสายส่งระยะปานกลางต่อแบบพายน์ และสายส่งระยะปานกลางต่อแบบทีเป็นดังตารางที่ 18 และตารางที่ 19 ตามลำดับ

ตารางที่ 17

เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการทดสอบของสายส่งระยะสั้นที่จัดทำขึ้น

Calculation Receiving End				% Error (%)			
P (W)	V_R (V)	I_R (A)	$\cos\phi_R$	P	V_R	I_R	$\cos\phi_R$
170.6	99.2	1.72	1.0	8.3	7.25	1.16	0
315.9	149.0	2.12	1.0	4.9	4.02	0.94	0
493.3	198.9	2.48	1.0	3.5	3.49	0.00	0
696.6	248.8	2.80	1.0	3.1	3.13	0.00	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 18

เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการทดสอบของสายส่งระยะปานกลางต่อแบบพายน์ที่จัดทำขึ้น

Calculation Receiving End				% Error (%)			
P (W)	V_R (V)	I_R (A)	$\cos\phi_R$	P	V_R	I_R	$\cos\phi_R$
171.2	98.5	1.82	0.955	6.1	6.6	3.9	4.5
322.4	148.5	2.30	0.944	5.5	4.4	6.5	5.7
500.6	198.5	2.70	0.934	3.8	2.8	7.4	6.8
705.4	248.7	3.11	0.912	1.7	2.3	8.0	9.4

ตารางที่ 19

เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการทดสอบของสายส่งระยะปานกลางต่อแบบทีที่จัดทำขึ้น

Calculation Receiving End				% Error (%)			
P (W)	V_R (V)	I_R (A)	$\cos\phi_R$	P	V_R	I_R	$\cos\phi_R$
171.6	98.2	1.83	0.955	6.4	6.3	4.4	4.5
314.0	148.7	2.22	0.951	3.0	4.5	3.2	4.9
492.2	199.0	2.62	0.944	2.2	3.0	4.6	5.7
698.6	249.0	3.02	0.929	1.1	2.5	5.6	7.4

จากตารางจะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าจริงกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดลดลงเรื่อยๆเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าจริงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดลดลงเรื่อยๆเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ค่ากระแสไฟฟ้าจริงกับค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบสำหรับสายส่งระยะสั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยมาก โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดอยู่ในช่วง 0%-2% ของค่ากระแสไฟฟ้าจริง สำหรับสายส่งระยะปานกลางต่อแบบพายน์ และต่อแบบที มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเพิ่มขึ้นเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับภาระโหลดเพิ่มขึ้น ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสำหรับสายส่งระยะสั้นไม่มีความผิดพลาด ส่วนสายส่งระยะปานกลางทั้งสองแบบมีค่าความผิดพลาดเพิ่มมากขึ้นเมื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลทั้งหมดจะเห็นว่าค่าความแตกต่างของกำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังของค่าที่วัดได้จากสายส่งจำลองเมื่อคิดเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างกับค่าที่ได้จากการคำนวณของระบบจริงจะเห็นว่ามีค่าไม่มากนัก เหตุผลที่ทำให้เกิดความแตกต่างอาจเนื่องมาจาก

- ในการใช้วิธีเปอร์ยูนิตแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างของสายส่งในระบบจริงมาเป็นค่าพารามิเตอร์ในระบบจำลองนั้น ค่าตัวเลขต่างๆที่ได้ใช้การปัดเลขทศนิยมทำให้ค่าที่ได้จึงเป็นค่าใกล้เคียงกับระบบจริงมากกว่าเป็นค่าจริงของระบบ
- เมื่อคำนวณได้ค่าความต้านทาน (R) ค่าความเหนี่ยวนำ (L) และค่าความเก็บประจุ (C)ที่จะนำมาใช้ในการทำชุดสายส่งจำลอง ไม่สามารถหาอุปกรณ์ที่มีค่าตรงกับค่าที่คำนวณได้มาใช้ เนื่องจากค่าตัวเก็บประจุที่คำนวณได้มีค่าไม่ตรงกับค่าที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ดังนั้นจึงต้องเลือกค่ากระแสของระบบจำลองใหม่เพื่อให้มีค่าที่สามารถหาได้ ส่วนค่าความต้านทานที่คำนวณได้มีค่าละเอียดมากซึ่งในท้องตลาดไม่มี ดังนั้นค่าความต้านทานที่ใช้จึงไม่ใช่ค่าจริงที่คำนวณได้แต่เป็นค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ ส่วนค่าความเหนี่ยวนำที่คำนวณถูกนำมาใช้ในการออกแบบเพื่อจัดทำตัวเหนี่ยวนำเอง เมื่อทำการออกแบบ และจัดทำตัวเหนี่ยวนำขึ้น ค่าความเหนี่ยวนำที่ได้จากการทดสอบไม่เป็นไปตามค่าที่ได้ออกแบบไว้ จึงใช้การปรับระยะห่างช่องว่างอากาศของแกนเหล็ก E-I แทนการทำตัวเหนี่ยวนำใหม่ และเนื่องจากการทดสอบเพื่อคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำใช้วิธีการทดสอบแบบ V-I Method (เนื่องจากไม่มีเครื่องมือวัดค่าความเหนี่ยวนำโดยตรง) ในการทดสอบสมมุติว่าค่าความต้านทานในขดลวดมีค่าเป็นศูนย์ สมการในการวิเคราะห์ค่าความเหนี่ยวนำจึงเป็น $V = I.X_L$ แทนการใช้สมการจริงคือ $V = I.Z$, $Z = R+jX_L$ รวมทั้งการตั้งค่าระยะห่างช่องว่างอากาศของตัวเหนี่ยวนำแต่ละชุดมีความผิดเพี้ยน ดังนั้นค่าความเหนี่ยวนำจริงที่ได้จึงมีค่าไม่เท่ากับค่าความเหนี่ยวนำจริงที่ต้องการ

3. อุปกรณ์ป้องกันที่จำลองขึ้นเพื่อใช้ในการป้องกันสภาวะการเกิดความผิดปกติภายใต้ขอบเขตที่กำหนด จากผลการทดสอบจะเห็นว่าอุปกรณ์ป้องกันที่จัดทำขึ้นบางชนิดสามารถเลียนแบบลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันจริง และบางชนิดสามารถจำลองการทำงานเหมือนอุปกรณ์จริงได้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 20

เปรียบเทียบลักษณะการทำงานของรีเลย์ที่จัดทำขึ้นกับรีเลย์ที่ใช้ในระบบจริง

ชนิดของรีเลย์	ลักษณะการทำงานของระบบจำลอง	ลักษณะการทำงานของระบบจริง[20]	วิเคราะห์ลักษณะการทำงาน
โอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์	- เป็นโอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์หนึ่งเฟส 3 ชุด อยู่ในรีเลย์ตัวเดียวกัน - แบ่งตามลักษณะช่วงเวลาการทำงานได้ 2 แบบ คือ แบบทำงานทันทีทันใด และแบบทำงานแปรผกผันกับเวลา - ตั้งกราฟการทำงานของรีเลย์แบบทำงานแปรผกผันกับเวลาได้ - ตั้งค่ากระแสเริ่มทำงานที่ 1.06 เท่าของกระแสสูงสุด - สามารถจัดโคออออดิเนตของรีเลย์แต่ละชุดในระบบโดยใช้ช่วงเวลาลำดับ 1.0 วินาที - สามารถตั้งหน่วงเวลาก่อนส่งสัญญาณให้รีเลย์ทำงาน	- เป็นโอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์หนึ่งเฟส รีเลย์แต่ละตัวใช้สำหรับตรวจสอบแต่ละเฟส - แบ่งตามลักษณะช่วงเวลาการทำงานได้ 4 แบบ คือ แบบทำงานทันทีทันใด แบบเวลาทำงานตายตัว แบบทำงานแปรผกผันกับเวลา และแบบหน่วงเวลาตายตัวต่ำสุด - ตั้งค่ากระแสเริ่มทำงานภายใต้สองเงื่อนไขคือ มีค่าน้อยกว่ากระแสฟอลต์ต่ำสุดหารด้วย 1.5 และ/หรือ มีค่ามากกว่า 1.5 เท่าของกระแสโหลดสูงสุด - จัดโคออออดิเนตของรีเลย์แต่ละชุดในระบบโดยใช้ช่วงเวลาลำดับ 0.4 วินาที	เลียนแบบการทำงานของระบบจริง
ออโต้รีโคลสซิ่งรีเลย์	- ทำการปิดกลับ 2 ครั้ง ทั้งในส่วนลานไกไฟฟ้า และในส่วนจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระโหลด - ตั้งค่าหน่วงเวลาก่อนส่งสัญญาณ (Resetting Time) ได้นาน 0-4 วินาที - ตั้งค่าหน่วงเวลาก่อนส่งสัญญาณให้รีเลย์ปิดกลับ (Reclosing Time) 0-15 วินาที	- ทำการปิดกลับ 1 ครั้งในส่วนลานไกไฟฟ้า และทำการปิดกลับ 2 ครั้ง ในส่วนจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระโหลด ก่อนส่งสัญญาณสั่งให้เซอร์กิตเบรคเกอร์ปิดกลับจะมีการตรวจสอบการซิงโครไนซ์ซิ่งก่อน	เลียนแบบการทำงานของระบบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 20 (ต่อ)

ชนิดของรีเลย์	ลักษณะการทำงานของระบบจำลอง	ลักษณะการทำงานของระบบจริง[20]	วิเคราะห์ลักษณะการทำงาน
โอเวอร์แอนด์อันเดอร์โวลเตจรีเลย์	- เป็นรีเลย์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง-ต่ำกว่าปกติระบบสามเฟส โดยแยกการเช็คสัญญาณแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟส - แสดงผลเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ สำหรับในโครงงานวิจัยนี้ตั้งค่าแสดงผลเป็นแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย (ในกรณีที่ต้องการปรับตั้งให้แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าในรูปแบบอื่นก็สามารถปรับตั้งได้) - มีอินดิเคเตอร์แสดงสภาวะการเกิดแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ/ต่ำกว่าปกติ/ปกติ - ปรับตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงได้ 0% ถึง ±15% ของแรงดันไฟฟ้าพิกัด - ตั้งค่าหน่วงเวลาก่อนส่งสัญญาณให้รีเลย์ทำงานได้ - เมื่อรีเลย์ทำงานจะทำให้เกิดสัญญาณเตือนว่าเกิดความผิดปกติของแรงดันไฟฟ้าโดยไม่เกิดการทริปของระบบ	- ทำการตรวจสอบค่าแรงดันไฟฟ้าของระบบสามเฟส โดยแยกการเช็คสัญญาณแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเฟส - แสดงผลเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้และมีสวิทช์เลือกอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเฟส และแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายเฟสกับกราวด์ - เมื่อเกิดความผิดปกติ รีเลย์จะทำงานส่งสัญญาณเตือนว่าเกิดความผิดปกติของระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบ โดยไม่สั่งทริปเซอร์กิตเบรคเกอร์ และมีสัญญาณไฟกระพริบเป็นอินดิเคเตอร์แสดงสภาวะการเกิดความผิดปกติ - ปรับตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงอยู่ในช่วง ±15%ของแรงดันไฟฟ้าพิกัด	จำลองการทำงานเหมือนระบบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 20 (ต่อ)

ชนิดของรีเลย์	ลักษณะการทำงานของระบบจำลอง	ลักษณะการทำงานของระบบจริง[20]	วิเคราะห์ลักษณะการทำงาน
เฟสซีเควนท์รีเลย์	- ตรวจสอบการเรียงลำดับเฟสของระบบในส่วนจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับภาระโหลด ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นส่วน Distribution ของระบบ - มีอินดิเคเตอร์แสดงสภาวะการทำงานของระบบ	- ตรวจสอบการเรียงลำดับเฟสของระบบในส่วน Distribution - มีอินดิเคเตอร์แสดงการเรียงลำดับเฟสของระบบ	จำลองการทำงานเหมือนระบบจริง
เอิร์ธลีกเกจรีเลย์	- ตรวจสอบกระแสที่ไหลในสายนิวทรอล ตั้งค่ากระแสเริ่มทำงานได้ ในโครงงานวิจัยนี้ตั้งค่ากระแสเริ่มทำงานของเอิร์ธลีกเกจรีเลย์ให้มีค่าน้อยกว่าค่ากระแสเริ่มทำงานของโอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์ (น้อยกว่า 1.06 เท่าของกระแสโหลดสูงสุด) - สามารถตั้งหน่วงเวลาการทำงานของรีเลย์ และตั้งหน่วงเวลาการปิดกลับของรีเลย์	- ตรวจค่ากระแสที่ไหลในสายนิวทรอล - ตั้งค่ากระแสเริ่มทำงานที่ 20%-30% ของกระแสเริ่มทำงานของรีเลย์ป้องกันฟอลต์ระหว่างเฟส และ/หรือตั้งค่ากระเริ่มทำงานที่ 20% หรือน้อยกว่าพิกัดกระแสของวงจรป้องกัน[14]	เลียนแบบการทำงานของระบบจริง

จากการทดสอบคุณลักษณะการทำงานของรีเลย์ป้องกันมีข้อผิดพลาดเนื่องจาก

- การปรับตั้งค่าความต้านทานปรับค่าได้มีค่าผิดพลาดอันเนื่องมาจากขีดจำกัดของความละเอียดของตัวความต้านทาน รวมทั้งในกรณีที่หน้าสัมผัสของตัวความต้านทานสกปรก

- โหลดที่นำมาใช้ในการทดสอบนั้นเป็นโหลดที่ไม่สามารถปรับค่าได้โดยละเอียด ซึ่งทำให้ได้ผลการทดสอบไม่ละเอียดเท่าที่ควร รวมทั้งปริมาณโหลดที่นำมาใช้ในการปรับมีไม่มากนัก ดังนั้นการตั้งเวลาการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินจะใช้การคำนาณโดยตรงจากวงจรเพียงอย่างเดียวไม่ได้ต้องนำผลการทดสอบมาลองใช้ปรับตั้งค่าและพิจารณาการจัดโดออร์ดิเนตของรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

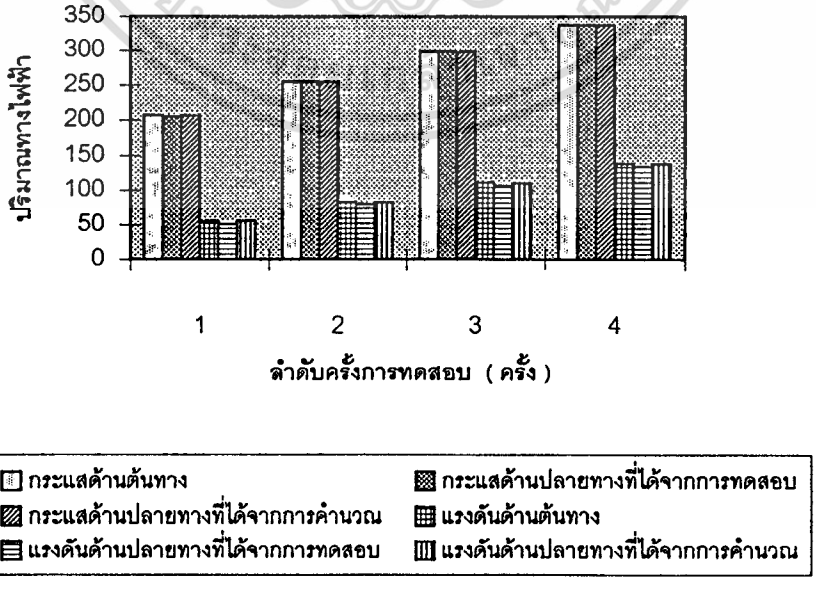
เลย์ป้องกันกระแสเกินแต่ละตัวที่จะนำไปใช้ในการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังจำลองในแต่ละส่วนอีกครั้งหนึ่ง เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการใช้งานของระบบ

- แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) ที่นำมาใช้มีสัญญาณรบกวน (Spice) ต่อการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน จากค่าที่วัดพบว่าสัญญาณรบกวนมีค่าอยู่ในช่วง 3-10 เท่าของแรงดันไฟฟ้าพิกัด และค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่ได้จากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงบางชุดมีค่าไม่ตรงตามค่าที่กำหนดไว้ที่ปุ่มตั้งค่าแรงดัน

- เมื่อแมกเนติคคอนแทกเตอร์ทำงานเปิด-ปิดวงจรบ่อยๆ จะมีผลทำให้เกิดสัญญาณรบกวนต่อส่วนประมวลผล และส่วนส่งสัญญาณของอุปกรณ์ป้องกัน ทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงานผิดพลาด แม้จะมีการลดผลของสัญญาณรบกวนโดยการชีลส์ตู้แต่ละส่วนแล้วก็ตาม

4. ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง จากผลการทดสอบดังตารางที่ 15 เมื่อนำค่ากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของค่าทางด้านส่ง ทางด้านรับที่ได้จากการทดลองโดยแปลงค่ากลับไปสู่ระบบจริง และค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีในบทที่ 2 หัวข้อหลักการจำลองสายส่ง มาทำการเปรียบเทียบค่าจะได้คุณสมบัติต่างๆของค่าที่ได้ของสายส่งระยะสั้นเป็นดังภาพที่ 71 สายส่งระยะปานกลางต่อแบบพายน์เป็นดังภาพที่ 72 และสายส่งระยะปานกลางต่อแบบทีเป็นดังภาพที่ 73

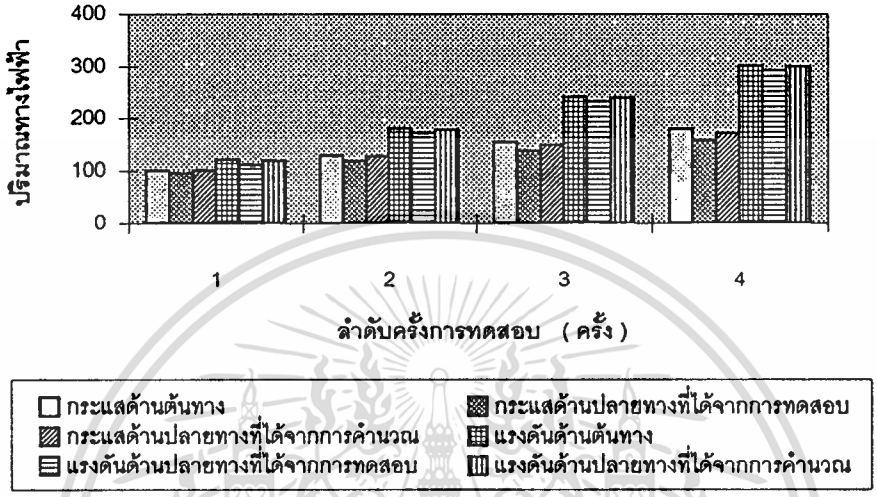
ภาพที่ 71
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางด้านต้นทาง ค่าทางด้านปลายทางที่ได้จากการทดสอบ และค่าทางด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี ของกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของสายส่งระยะสั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

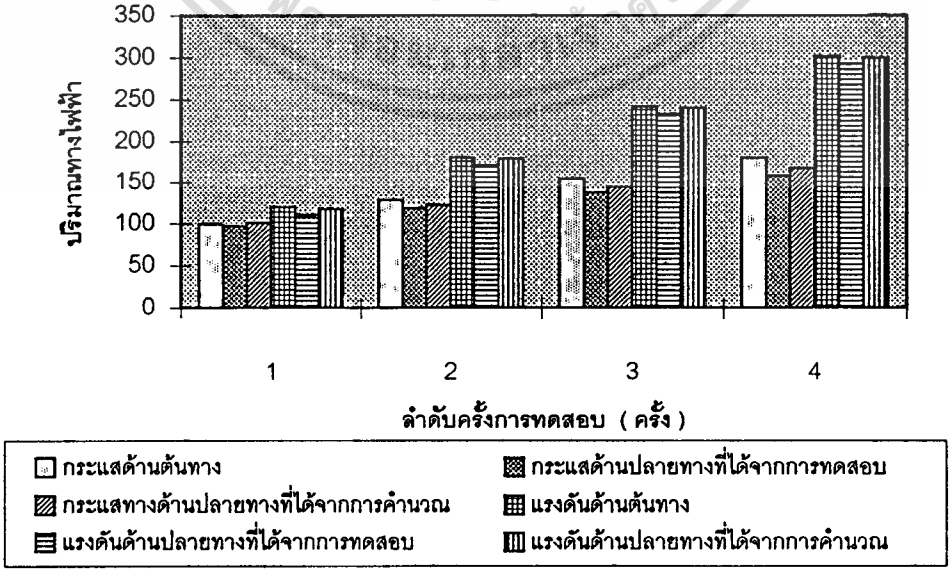
ภาพที่ 72

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางด้านต้นทาง ค่าทางด้านปลายทางที่ได้จากการทดสอบ และค่าทางด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีของกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของสายส่งระยะปานกลางแบบพายน์



ภาพที่ 73

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทางด้านต้นทาง ค่าทางด้านปลายทางที่ได้จากการทดสอบ และค่าทางด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีของกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของสายส่งระยะปานกลางแบบที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ภาพที่ 71-73 หน่วยของปริมาณทางไฟฟ้าของกระแสด้านต้นทาง กระแสด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณ และกระแสด้านปลายทางที่ได้จากการทดสอบมีหน่วยเป็นแอมป์ (A) ส่วนแรงดันด้านต้นทาง แรงดันด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณ และแรงดันด้านปลายทางที่ได้จากการทดสอบมีหน่วยเป็นกิโลโวลต์ (kV)

จากภาพที่ 71 จะเห็นว่าค่าปริมาณกระแสทางด้านปลายทางที่ได้จากการทดสอบ และที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีมีค่าใกล้เคียงกัน และมีค่าเท่ากันเมื่อภาระโหลดเพิ่มมากขึ้น ส่วนปริมาณแรงดันด้านปลายทางที่ได้จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าแรงดันด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณ เมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นว่าปริมาณแรงดันไฟฟ้ามีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก จากภาพที่ 72 และภาพที่ 73 จะเห็นว่าค่ากระแสทางด้านปลายทางที่ได้จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่ากระแสด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี และเมื่อภาระโหลดเพิ่มมากขึ้นความแตกต่างของปริมาณกระแสก็ยิ่งเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ความแตกต่างนี้น่าจะมีสาเหตุมาจากค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่จัดทำขึ้นมีค่ามากกว่าค่าประมาณทางทฤษฎี และในการจำลองสายส่งระยะปานกลางนั้นต้องทำการแปลงค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากระบบจำลองใหม่เพราะต้องเลือกใช้ค่าตัวเก็บประจุที่มีในท้องตลาดทำให้ผลการทดสอบที่ได้มีค่าผิดพลาดแต่ค่าผิดพลาดนี้มีค่าไม่มากนักพิจารณาได้ดังกราฟ ส่วนแรงดันด้านปลายทางที่ได้จากการทดสอบมีค่าน้อยกว่าแรงดันด้านปลายทางที่ได้จากการคำนวณ โดยความแตกต่างของแรงดันทั้งสองนี้มีปริมาณลดลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มีค่าใกล้เคียงพิกัด

บทสรุป

การจำลองระบบไฟฟ้ากำลังที่จัดสร้างขึ้นนี้ สร้างเพื่อจำลองระบบการส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าระบบสายส่ง และอุปกรณ์ป้องกันความผิดปกติต่างๆที่อาจเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าจริง จากผลการทดสอบจะเห็นว่าระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่จัดสร้างขึ้นสามารถแสดงขั้นตอนการทำงานแต่ละขั้นตอนได้ชัดเจน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการจัดฝึกอบรมเพื่อเพิ่มทักษะความเข้าใจทางด้านระบบไฟฟ้ากำลัง และเพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะโครงสร้างของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า รวมทั้งทำให้เข้าใจถึงการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า การป้องกันระบบไฟฟ้า คุณสมบัติของสายส่ง ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ และการวิเคราะห์พลังงาน

ข้อควรระวังสำหรับการทำการทดสอบคือ การจัดโคออดิเนชั่นของระบบป้องกันในแต่ละโซน (โซน A, โซน B, โซน C และโซน D) ให้ทำงานสัมพันธ์กันต้องใช้ความละเอียดรอบคอบเป็นอย่างมาก นอกจากนี้การจำลองสภาวะความผิดปกติต่างๆของระบบจะต้องอยู่ในขอบเขตที่อุปกรณ์ป้องกันยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้น่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งทั้งทางด้านการศึกษาค้นคว้า และการพัฒนาบุคลากรทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

1. ในการตั้งค่าโคออดิเนตเพื่อให้อุปกรณ์ป้องกันเรียงลำดับการทำงานนั้นต้องทำการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในแต่ละส่วนก่อนทำการทดสอบทุกครั้งเพื่อป้องกันความผิดพลาดอันอาจเกิดจากการปรับตั้งค่าผิด
2. การตัดต่อวงจรของระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่จัดทำขึ้นนี้ใช้แมกเนติคคอนแทคเตอร์ ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนอุปกรณ์ป้องกันซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอทรอนิคส์ ถึงแม้จะมีการแก้ไขโดยการชีลส์ตู้ในแต่ละส่วน และแต่ละชั้นให้แยกออกจากกัน พร้อมทั้งต่อวงจรสนับเบอร์คร่อมระหว่างไฟเลี้ยงคอยล์ของแมกเนติคคอนแทคเตอร์แล้วก็ตาม ในบางครั้งอุปกรณ์ป้องกันก็ยังมีการทำงานผิดพลาด ซึ่งโดยทั่วไปในระบบจริงส่วนของวงจรกำลัง (Main Power) ที่ใช้เซอร์กิตเบรคเกอร์ในการตัดต่อวงจรและอุปกรณ์ป้องกันจะถูกติดตั้งแยกส่วนกันทำให้ไม่มีผลของสัญญาณรบกวน ดังนั้นถ้าต้องการลดความผิดพลาดการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันควรแยกส่วนวงจรกำลังกับอุปกรณ์ป้องกันออกจากกัน รวมทั้งถ้ามีงบประมาณในการจัดทำ ควรใช้สายสัญญาณซึ่งเป็นสายที่มีฉนวนหุ้มป้องกันสัญญาณรบกวนโดยเฉพาะมาใช้ในการเดินสายในส่วนของวงจรควบคุม การส่งสัญญาณจากหม้อแปลงแรงดัน และหม้อแปลงกระแสไปยังอุปกรณ์ป้องกัน แทนการใช้สายไฟธรรมดา
3. ในการจัดทำหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงแรงดัน หม้อแปลงกระแส และตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการจำลองการลัดวงจร เป็นการจัดทำโดยนำวัสดุคุณภาพที่ดีที่สุดเท่าที่สามารถจะหาได้ในท้องตลาดมาใช้ และทำการพันโดยใช้เครื่องมือที่มีอยู่ในภาควิชาฯ ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดอยู่บ้างแม้จะไม่มากนักก็ตาม ดังนั้นถ้าต้องการให้อุปกรณ์มีคุณสมบัติ และประสิทธิภาพดีขึ้นสามารถแก้ไขโดย การหาซื้อวัสดุที่มีคุณภาพดี และจัดทำโดยใช้เครื่องพันหม้อแปลง หรือเครื่องพันขดลวดโดยเฉพาะ
4. จากการทดสอบพบว่าแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) ของภาควิชาฯ ค่าแรงดันเอาท์พุทที่ได้จริงไม่ตรงกับค่าแรงดันเอาท์พุทที่แสดงที่ปุ่มตั้งค่าแรงดัน และค่าแรงดันเอาท์พุทที่ได้มีความไม่เรียบ รวมทั้งมีสัญญาณรบกวนมาก ซึ่งมีผลต่อการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ในการใช้งาน และการทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังจำลองที่จัดสร้างขึ้นนี้ควรใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ให้ค่าแรงดันเอาท์พุทคงที่ มีสัญญาณรบกวนน้อยมาใช้กับอุปกรณ์ของระบบ เพื่อช่วยลดความผิดพลาดการทำงานของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] A.R.Van C.Warrington,"Protective Relays: Their Theory and Practice",Volume II,Third Edition,Chapman and Hall

[2] Michael A.Anthony,"Dlectric Power System Protection and Coordination",Mc Graw Hill

[3] John J. Grainger, William D.Stevenson,JR.,"Power System Analysis",Mc Graw Hill

[4] Syed A.Nasar,"Electric Machines and Power Systems",Volume II : Power Systems,

[5] ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล"ระบบไฟฟ้ากำลัง" เล่ม 1 พื้นฐานระบบไฟฟ้า วศ.สจล.135 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[6] "การจำลองสายส่งไฟฟ้าแรงสูง" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14 หน้า 1-50 - 1-55

[7] "โอเวอร์เคอเร้นท์รีเลย์แบบอีเลคทรอนิคส์" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 หน้า 186 - 191

[8] "รีเลย์ปิดกลับอัตโนมัติแบบอิเลคทรอนิคส์" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 หน้า 170 - 175

[9] "อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าสูง - ต่ำกว่าปกติของระบบไฟฟ้า 3 เฟส "วิศวสารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีที่ 12 ฉบับที่ 1

[10] "ระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 19 หน้า PW 148 - 154

[11] T.S. Madhava Rao,"Electric Power Transfer Systems",Second Edition,Delhi, 1980

[12] A.E.Guile,W.Paterson,"Electrical Power System", Second Edition, 1986

[13] Vincent Del Toro,"Electrical Power Systems", Prentice - Hall, Inc., 1992

[14] A.Wright and C.Christopoulos,"Electrical Power System Protection"Champman & Hall, First Edition, 1993

[15] Mulukutla S.Sarma,"Electric Machines:Steady State Theory and Dynamic Performance" , Second Edition, West, 1994

[16] สันติ อัศวศรีพงศ์ธร,"รีเลย์ป้องกันกับการป้องกันระบบกำลัง",สมาคมศูนย์วิชาการไทย - ออสเตรเลีย, 2526

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[17] สมเกียรติ ผโลประการ,"วิศวกรรมการส่งและจ่ายไฟฟ้า",บริษัทสำนักพิมพ์ไทยวัฒนาพานิช จำกัด, 2526

[18] Colonel Wm.T.Mclyman,"Transformer and Inductor Design Handbook",Second Edition,Revised and Expanded

[19] Turan Gonen, "Modern Power System Analysis" John Wieley & Sons, 1988

[20] เอกสารการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

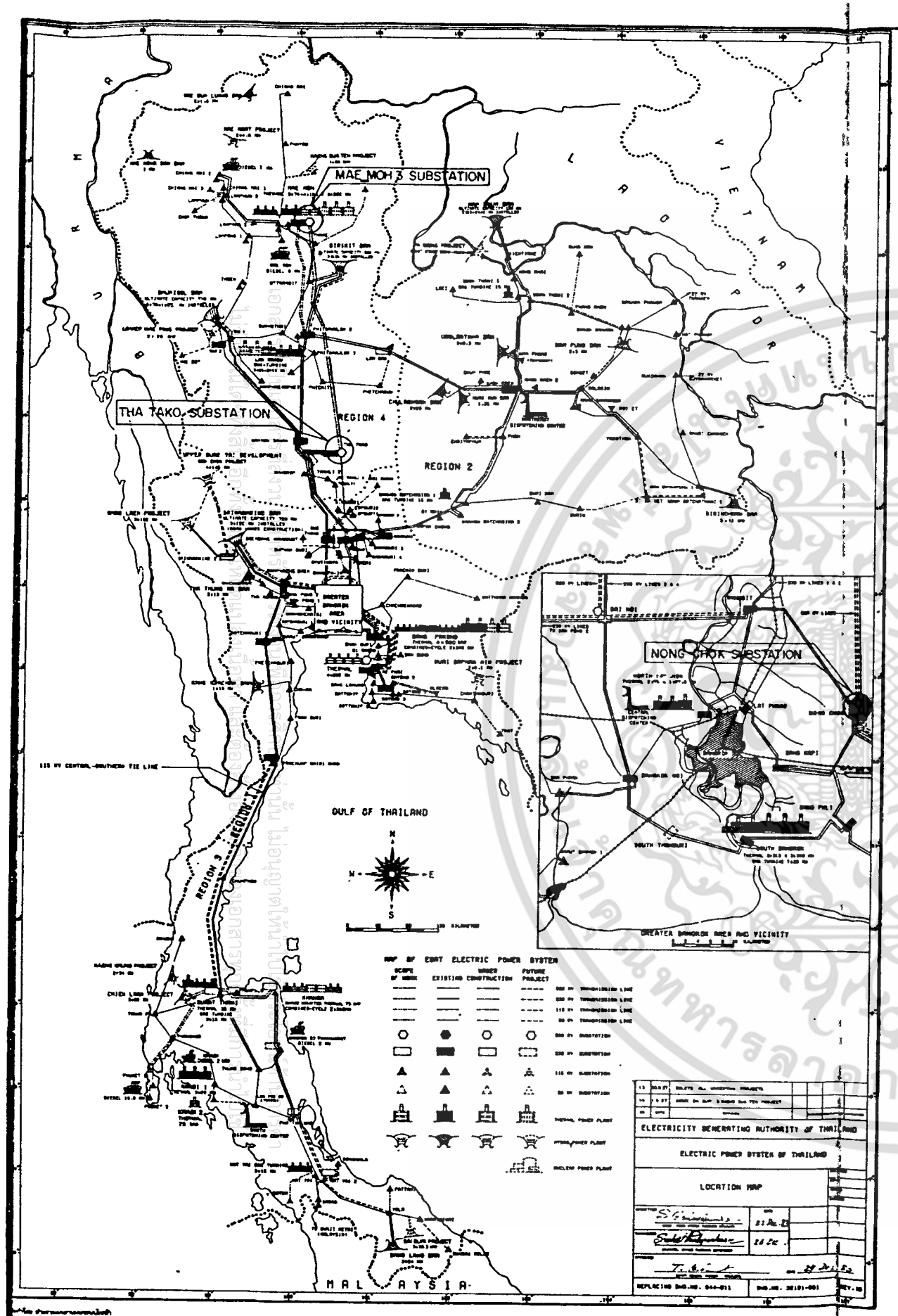
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

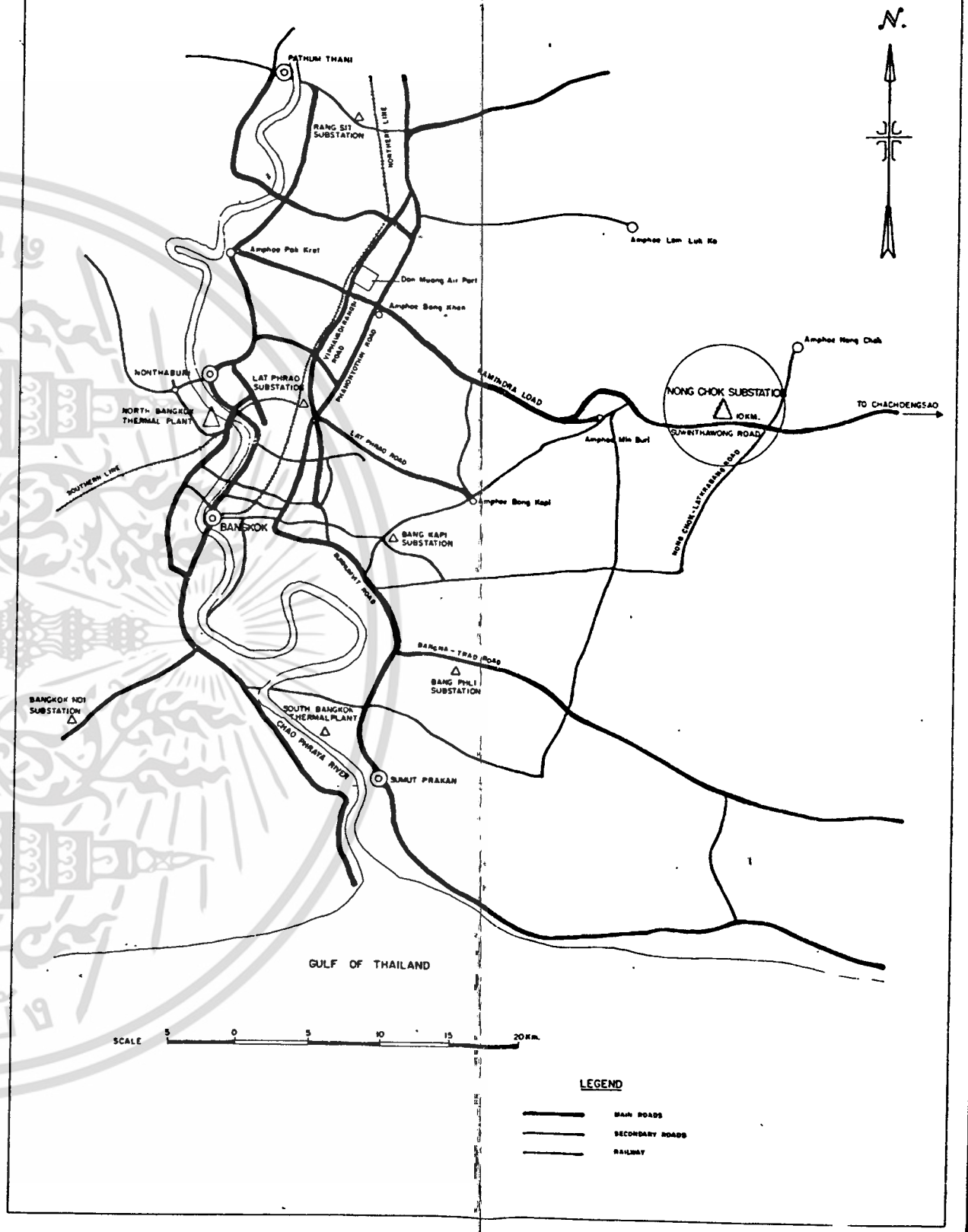
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

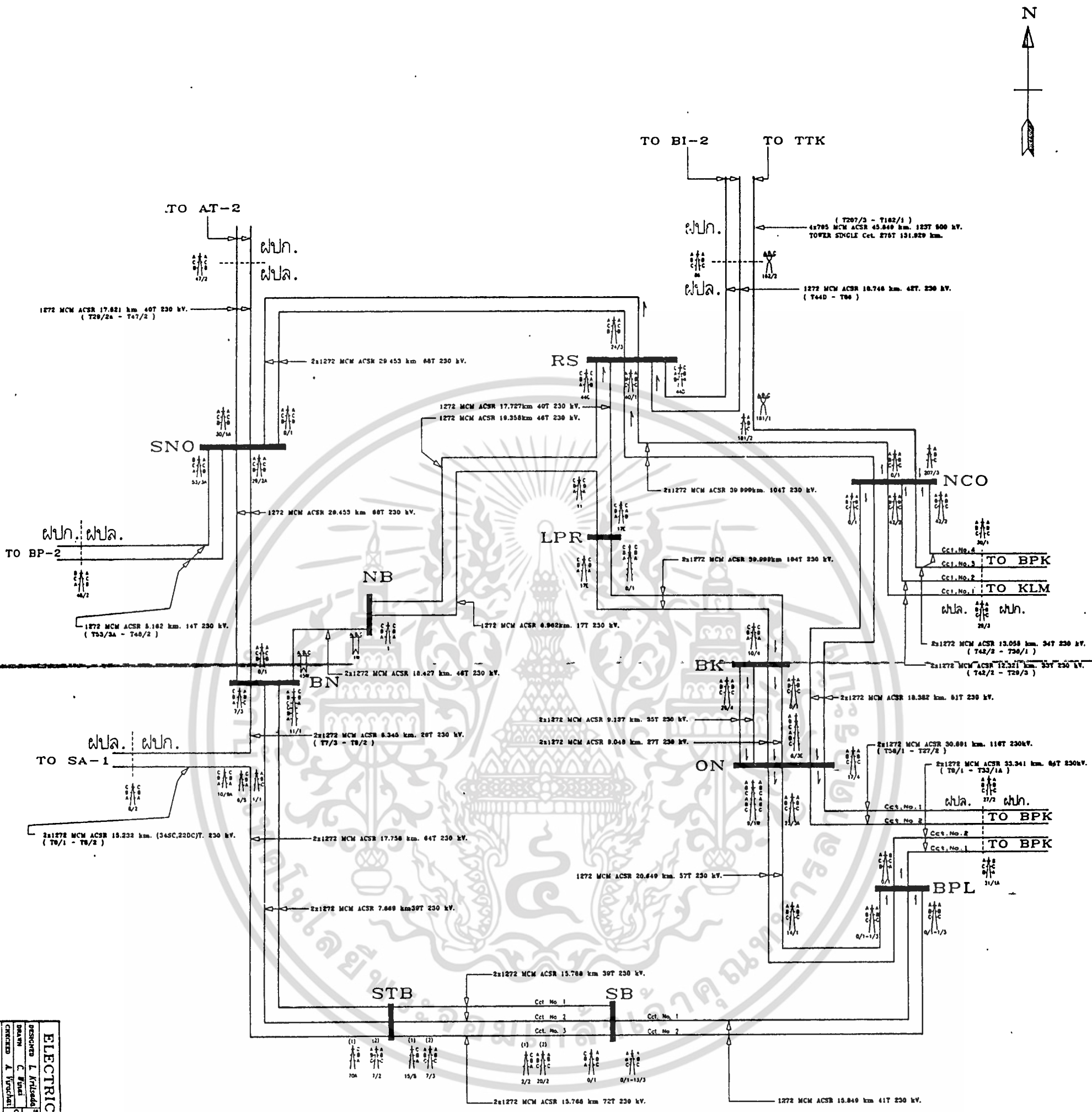
ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





D. RALPH YOUNG AND ASSOCIATES, INC.	ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND	
CONTRACT NO. 67A-30-0010	SUBMITTED / RECOMMENDED / CONCURRED	500 kV TRANSMISSION SYSTEM PROJECT
DESIGNED / DRAWN / CHECKED		NONG CHOK SUBSTATION
APPROVED		LOCATION MAP
JOB NO.	REPLACING DWG NO.	DWG NO. NCO - 1 / REV



THERMAL LIMIT OF CONDUCTORS

MAXIMUM CONDUCTOR TEMPERATURE	75 C
AMBIENT TEMPERATURE	35 C
WIND VELOCITY	2.2 KM/HR
SOLAR INTENSITY	0.06 W/CM.
SOLAR ABSORPTION	0.75

CONDUCTOR SIZE	CURRENT(AMP)		MVA		KV
	WITH SOLAR	WITHOUT SOLAR	WITH SOLAR	WITHOUT SOLAR	
4x795 MCM ACSR	3272	3596	2833.56	3114.13	500
2x1272 MCM ACSR	2156	2394	858.66	953.68	230
1272 MCM ACSR	1076	1197	429.43	476.84	230
1272 MCM ACSR	1076	1197	214.72	238.41	115
795 MCM ACSR	818	899	161.73	179.08	115
477 MCM ACSR 240 sq.mm.	600	651	119.51	129.67	115
477 MCM AAC	590	640	117.52	127.47	115
4/0 AWG ACSR	363	389	72.30	77.84	115
4/0 AWG ACSR	363	389	43.38	46.49	69

ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

DESIGNED L. Krisada SUBMITTED Manit Sukhsong

DRAWN C. Bisai

CHECKED A. Yingchai CONCURRED Vichai Pothirat

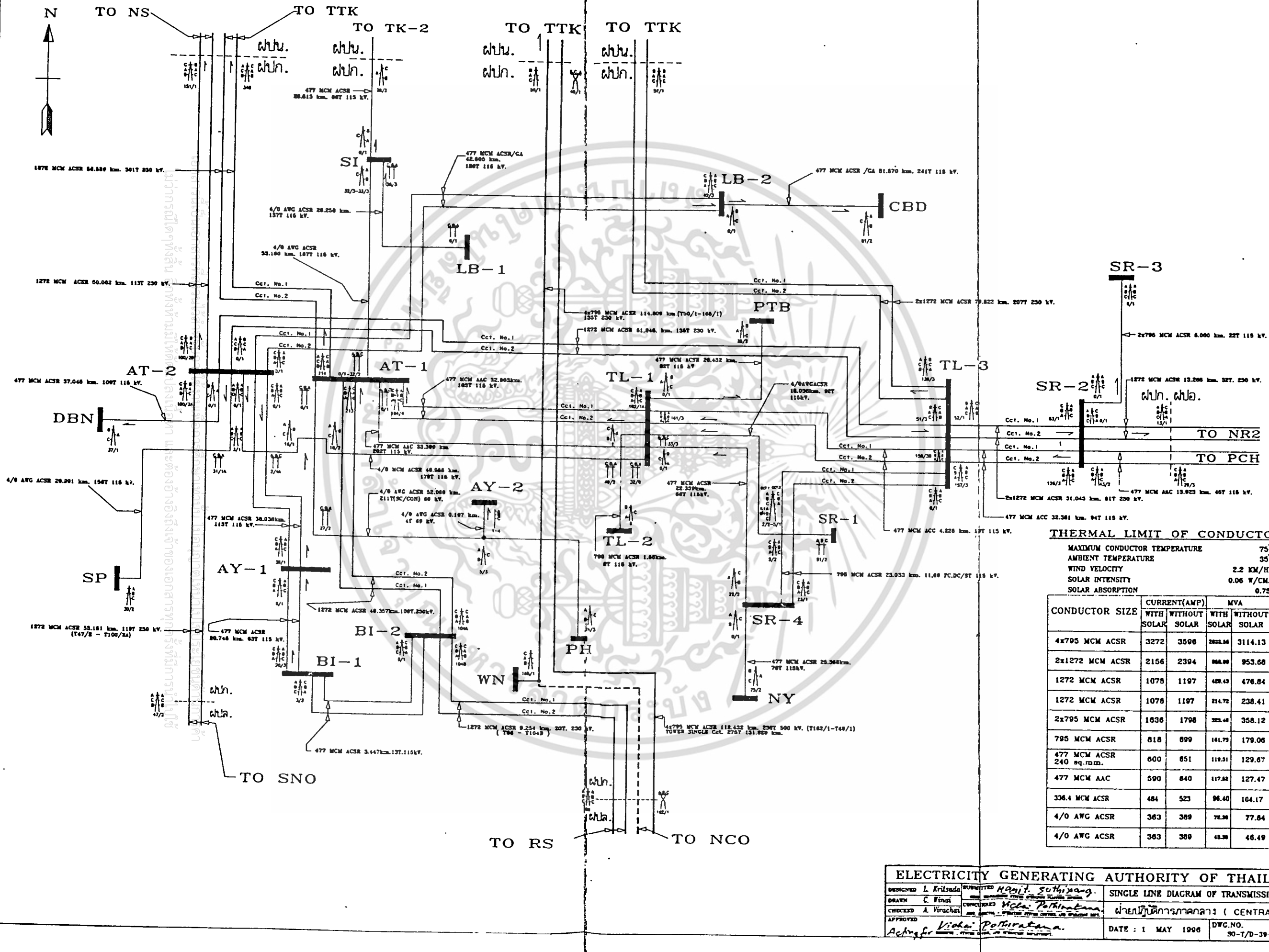
APPROVED Vichai Pothirat

SINGLE LINE DIAGRAM OF TRANSMISSION LINE

DATE : 1 MAY 1996

DWG.NO. SO-T/D-39-T-0/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



THERMAL LIMIT OF CONDUCTORS

MAXIMUM CONDUCTOR TEMPERATURE	75° C
AMBIENT TEMPERATURE	35° C
WIND VELOCITY	2.2 KM/HR
SOLAR INTENSITY	0.06 W/CM.
SOLAR ABSORPTION	0.75

CONDUCTOR SIZE	CURRENT(AMP)		MVA		KV
	WITH SOLAR	WITHOUT SOLAR	WITH SOLAR	WITHOUT SOLAR	
4x795 MCM ACSR	3272	3596	2833.56	3114.13	500
2x1272 MCM ACSR	2156	2394	868.86	953.68	230
1272 MCM ACSR	1078	1197	429.43	476.84	230
1272 MCM ACSR	1078	1197	214.72	238.41	115
2x795 MCM ACSR	1636	1798	325.48	358.12	115
795 MCM ACSR	818	899	161.73	179.06	115
477 MCM ACSR 240 sq.mm.	600	651	119.51	129.67	115
477 MCM AAC	590	640	117.52	127.47	115
336.4 MCM ACSR	484	523	96.40	104.17	115
4/0 AWG ACSR	363	389	72.36	77.84	115
4/0 AWG ACSR	363	389	43.38	46.49	69

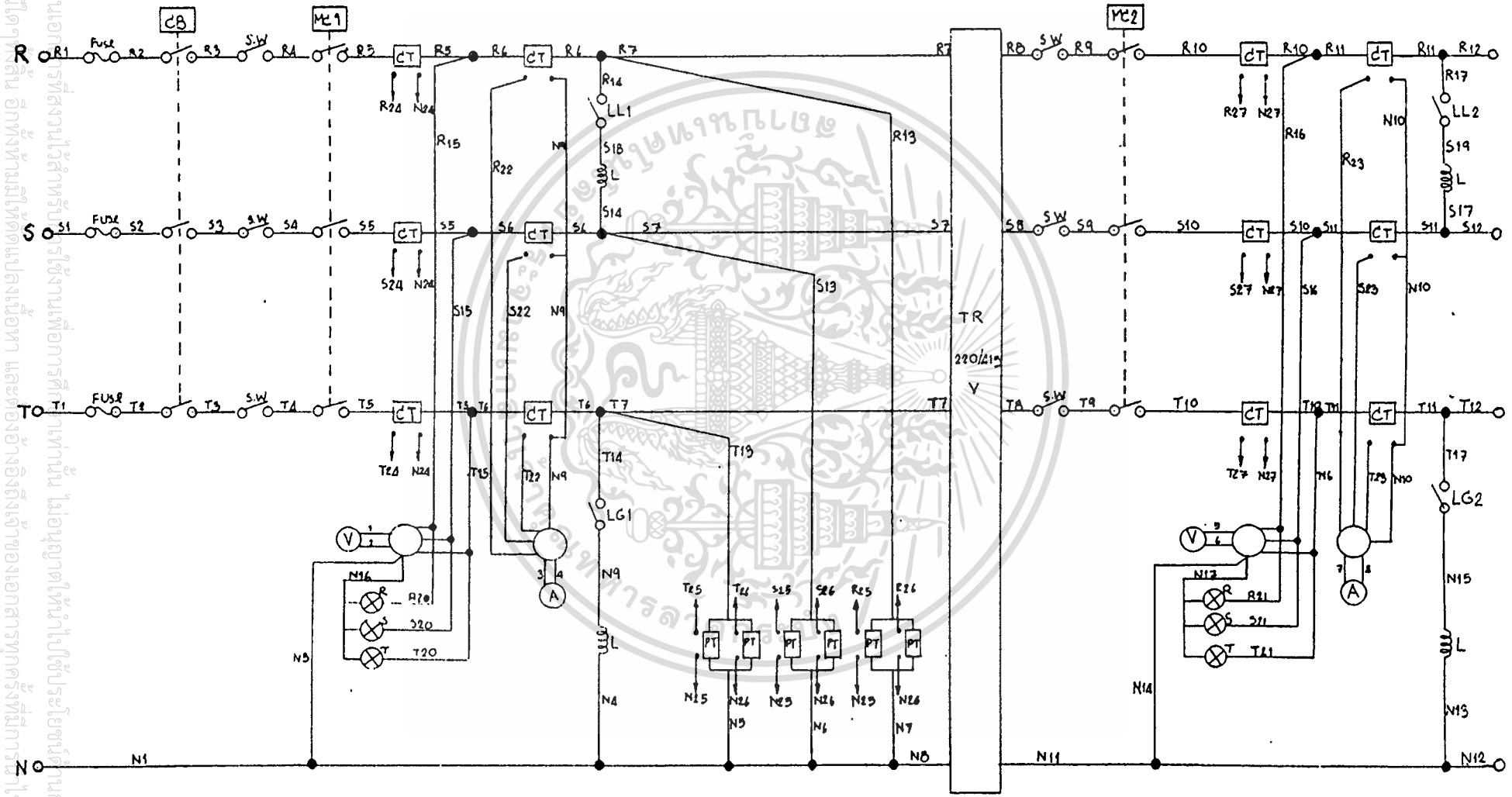
ELECTRICITY GENERATING AUTHORITY OF THAILAND

DESIGNED L. Kritsada	SUBMITTED Hanit Sethiyang.	SINGLE LINE DIAGRAM OF TRANSMISSION LINE	
DRAWN C. Winai	CONCURRED Vicha Pothiratana.	ฝ่ายปฏิบัติการภาคกลาง (CENTRAL)	
CHECKED A. Virachai			
APPROVED Acting for Vichai Pothiratana.	DATE : 1 MAY 1996	DWG.NO. SO-T/D-39-T-1/1	

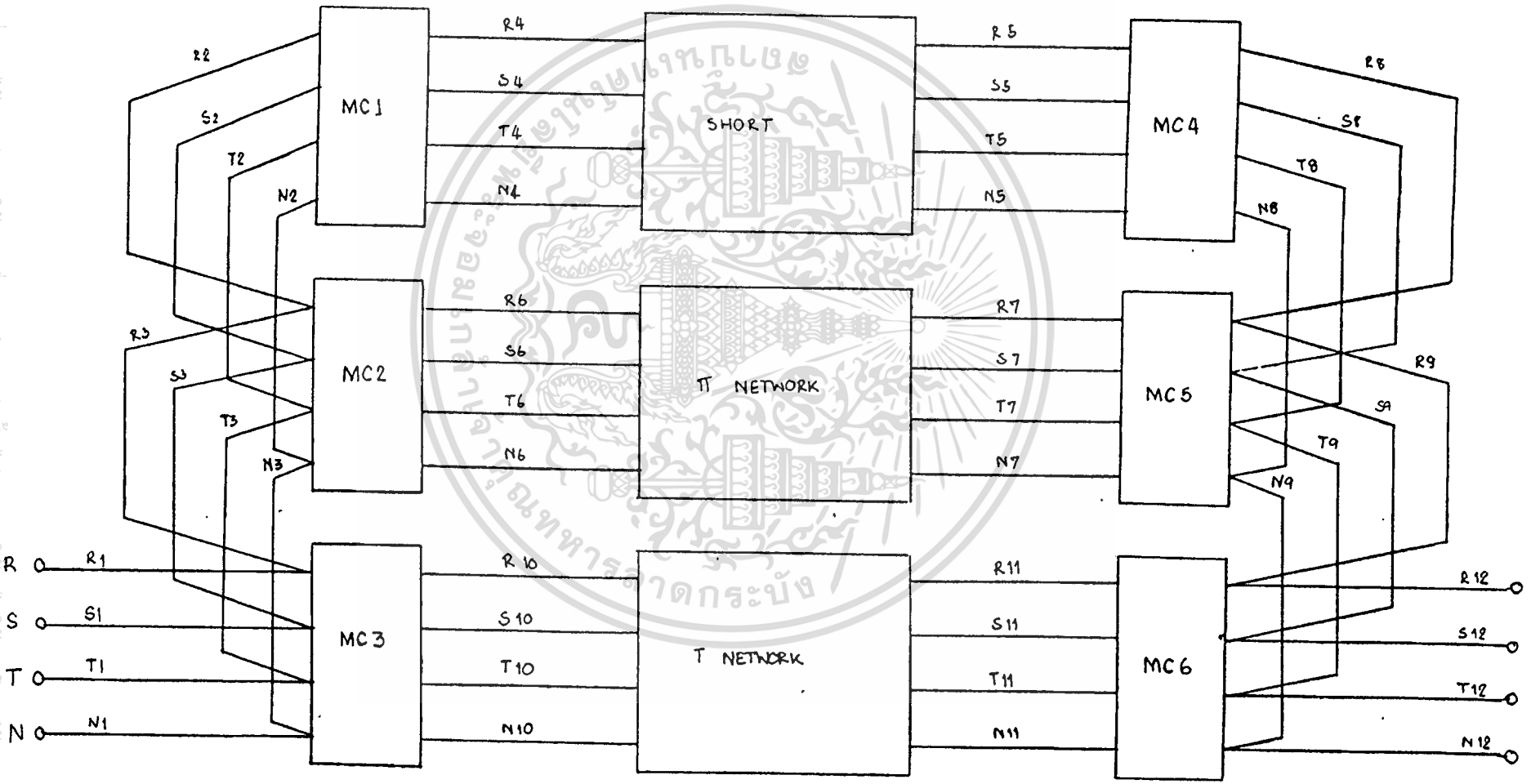
ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

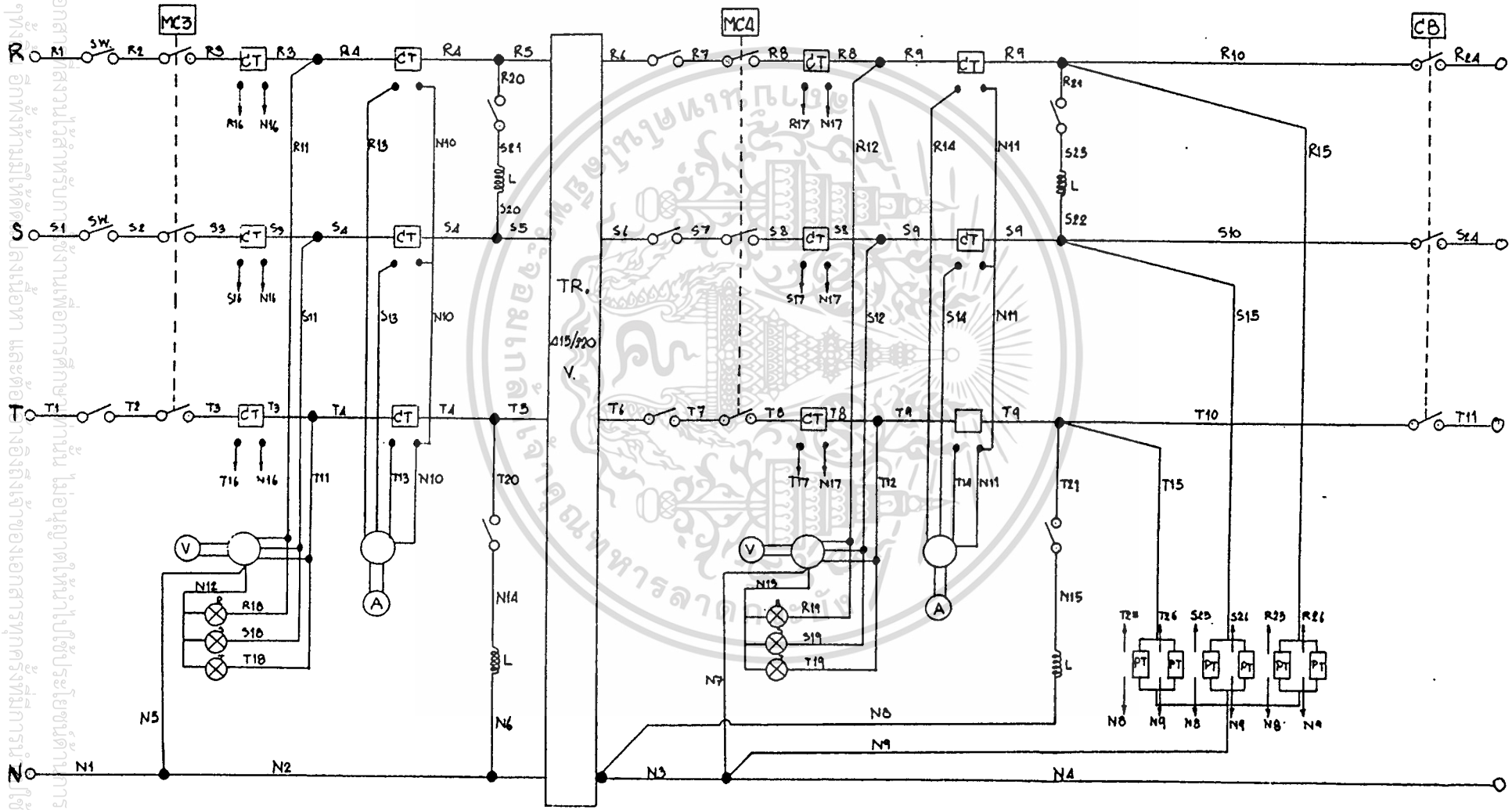
Wiring Diagram ในส่วนของ Power Circuit, Instrument Transformer, Metering ของตู้ใบที่ 1



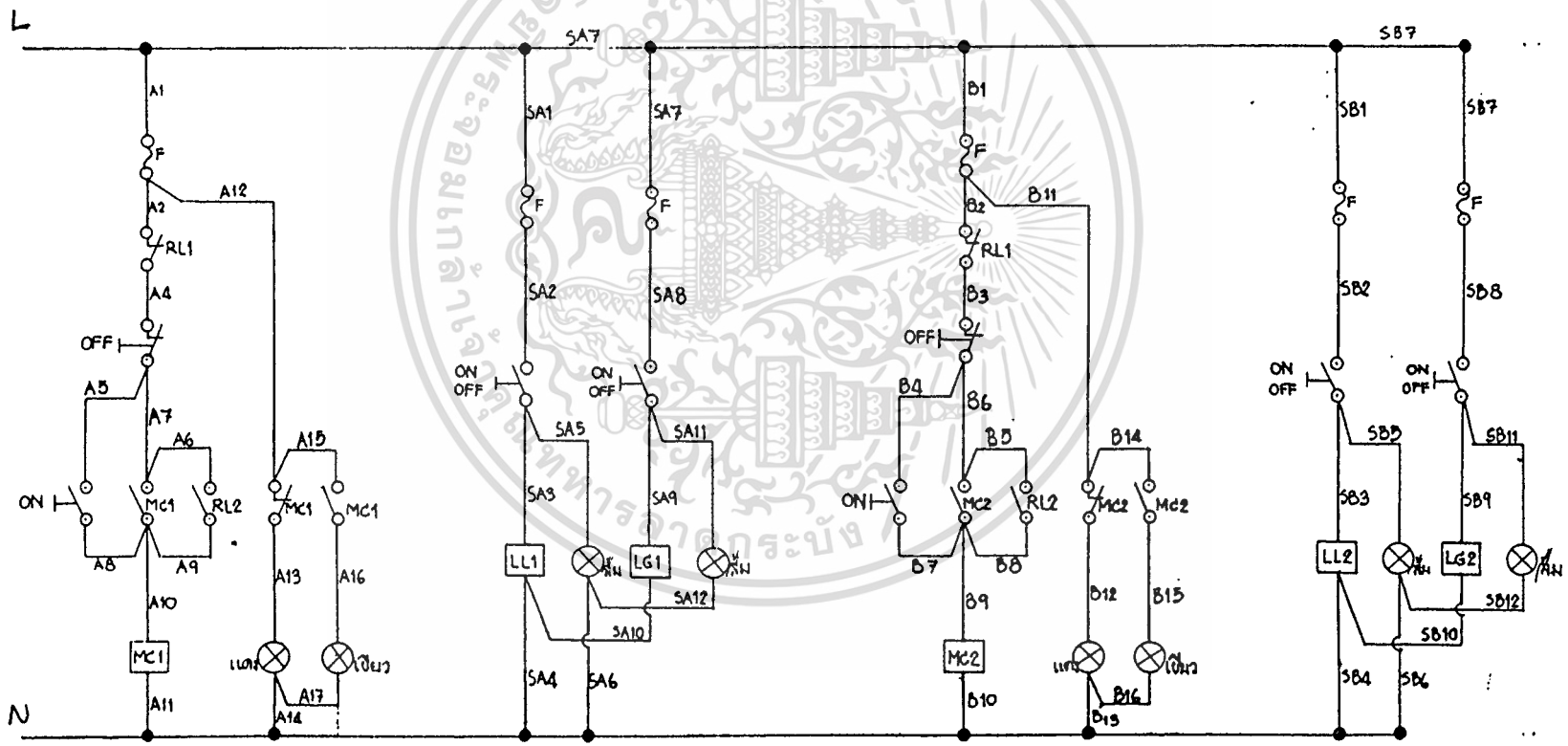
Wiring Diagram ในส่วนของ Power Circuit ของชุดสายส่งของตู้ไบที่ 2



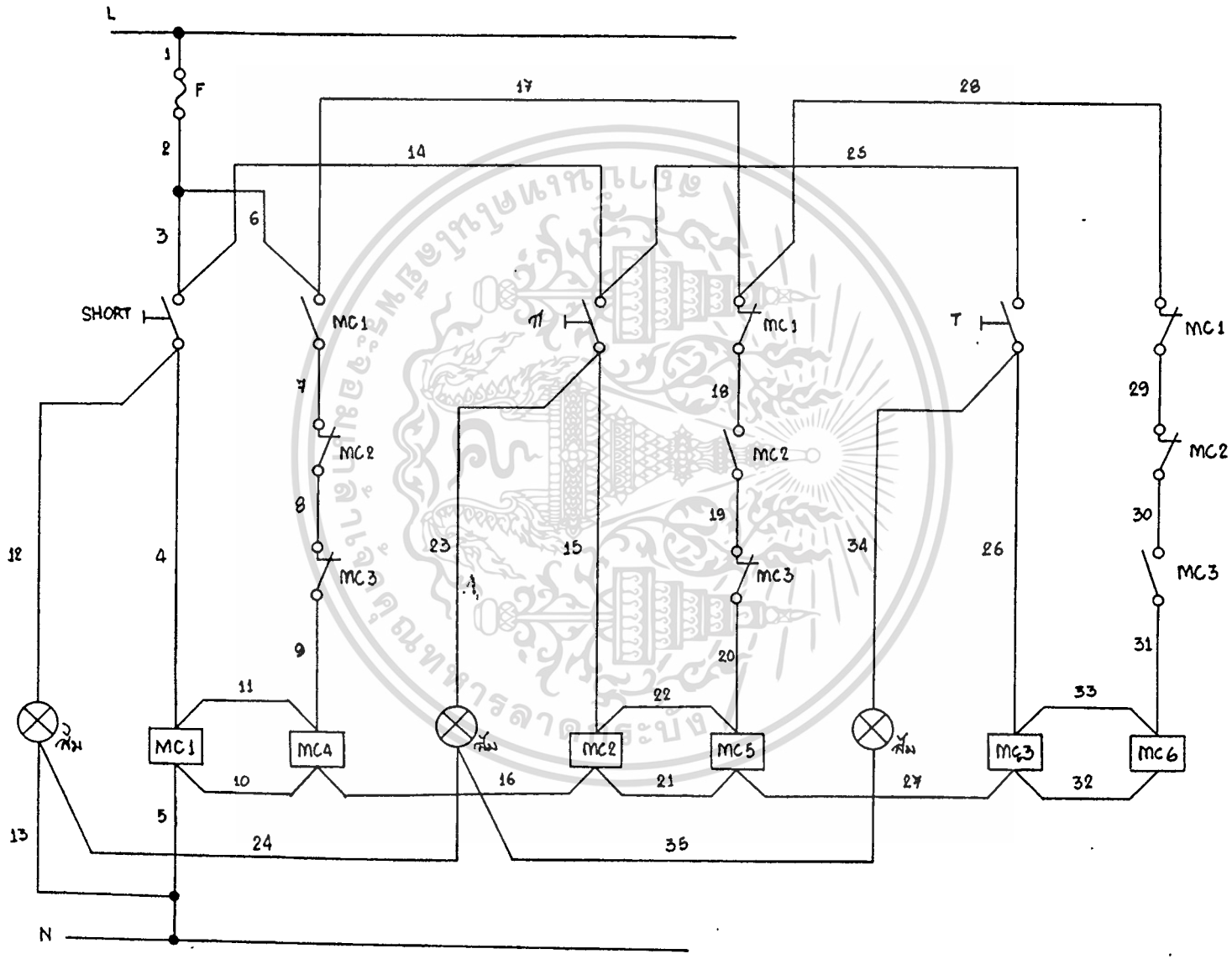
Wiring Diagram ในส่วนของ Power Circuit, Instrument Transformer, Metering ของตู้ใบที่ 3



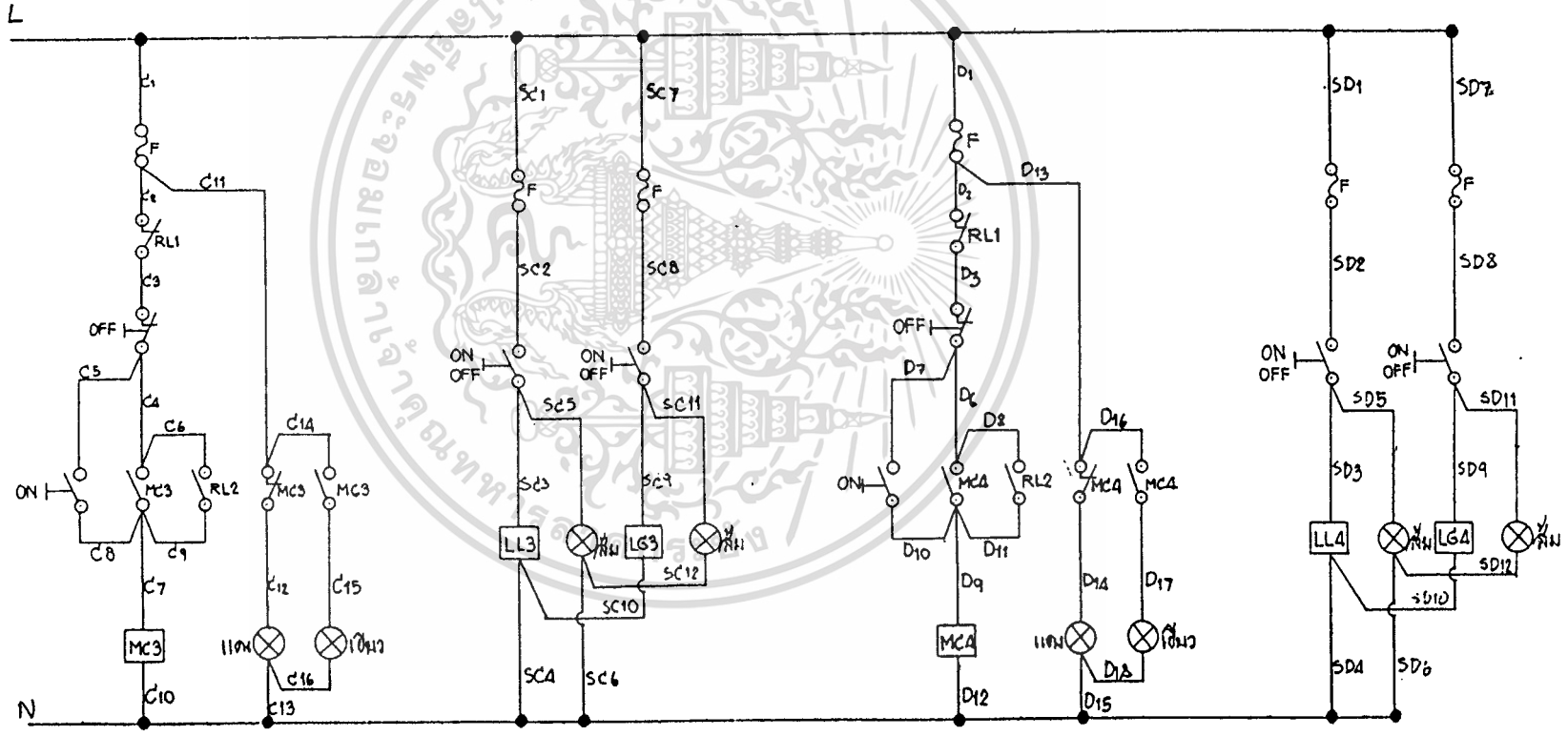
Wiring Diagram ในส่วนของ Control Circuit ของตู้ใบที่ 1



Wiring Diagram ในส่วนของ Control Circuit ของชุดสายส่งของตู้ใบที่ 2



Wiring Diagram ในส่วนของ Control Circuit ของตู้ใบที่ 3



ประวัติผู้เขียน

นางสาวจารุรัตน์ สินธุสนธิชาติ เกิดวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2515 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2535 และเข้าทำงานในตำแหน่งอาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ตั้งแต่จบการศึกษา ปัจจุบันดำรงตำแหน่งหัวหน้าห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้