



การประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับป้องกันและวินิจฉัยสิ่งผิดปกติใน
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครไรส์

Application of Microcomputer for Fault Protection and Diagnosis in
a Synchronous Generator

รุ่งฤทธิ์ ศรีเมฆารัตน์
Rungrit Srimekarat

Order Key..... ๑๐๒๖๘
BIB Key..... 1๖0 7๙3

เลขหมู่ TK2๙61 ๖๗๒ ๒๕42 ๑. 2
เลขทะเบียน.....
= ๕/ก.ค. 2542

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

Master of Engineering Thesis in Electrical Engineering

Prince of Songkla University

2542

Thesis Title Application of Microcomputer for Fault Protection and Diagnosis
 in a Synchronous Generator

Author Mr. Rungrit Srimekarat

Major Program Electrical Engineering

Academic Year 1998

Abstract

Generally, the electromechanical relays or static relays are used for fault protection of a synchronous generator. This research work, various types of programmable relay, e.g. percentage differential relay, fixed percentage ground differential relay, time-delay overcurrent relay and etc., were designed for replacing the electromechanical relays or static relays. The programmable relays are designed and compiled by a microcomputer using the labVIEW for Windows program. The advantages of the programmable relay, which controlled by a microcomputer, are fully replacing all types of the electromechanical relays or static relays and diagnosis of fault.

Reliable testing of the fault protection and diagnostic programs using a microcomputer that we designed was performed with a 90 watts synchronous generator. The results of testing are satisfied and met the objective of this research. However, some suggestions for further development are given in chapter 3.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรีพจน์ พัฒนสัตยวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์
สุนทร ปิยรัตน์วงศ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษาที่คอยให้คำแนะนำทางด้าน
วิชาการ โดยเฉพาะผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญเจริญ วงศ์กิตติศึกษาที่ให้เยี่ยมอุปกรณ์ซึ่งเป็นอุปกรณ์
ส่วนตัว ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.ประการ ครูหงษาและท่านอาจารย์ ดร.ชูศักดิ์ ลิ่มสกุล
ที่ให้ความช่วยเหลือทางด้านการเงินในส่วนที่ยังขาดอยู่ ขอขอบพระคุณครูช่างและเจ้าหน้าที่ของ
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่คอยให้ความสะดวกในการยืมและจัดซื้ออุปกรณ์ และขอ
ขอบพระคุณคณะกรรมการสอบทุกท่านที่ให้ความสำคัญกับวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้
ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้สนับสนุนทุนอุดหนุนวิจัย
ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และญาติพี่น้องครอบครัวศรีเมฆารัตน์ทุกท่าน
และขอแสดงความสำเร็จในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นของขวัญแก่คุณเมะลิ ศรีเมฆารัตน์
และด.ญ.พิม ศรีเมฆารัตน์ที่คอยเป็นกำลังใจตลอดเวลา

รุ่งฤทธิ์ ศรีเมฆารัตน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(9)
ตัวย่อและสัญลักษณ์	(10)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำต้นเรื่อง	1
การตรวจเอกสาร	1
วัตถุประสงค์	2
2 วิธีการวิจัย	3
ระบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์	3
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	6
การออกแบบและทดสอบโปรแกรมประมวลผลสัญญาณ	6
และวงจรตรวจรับตู้กระแส	
วงจรตรวจรับแรงดัน	14
การออกแบบวงจรขับเคลื่อนและชุดตัดตอน	14
การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่	16
การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบผลต่าง	21
ชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่	
การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลา	25
การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินลงดินชนิดหน่วงเวลา	27
การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับ	30
การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันการสูญเสียสนาม	34
การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดลำดับเฟสลบ	39
การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันแบบคุณแรงดัน	42
การทดสอบระบบป้องกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์	44
ผิดพลาด	
การทดสอบระบบป้องกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจริง	46

3 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	52
บรรณานุกรม	53
ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการใช้งานระบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	55
ภาคผนวก ข. การจัดเตรียมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัสสำหรับการทดสอบ ระบบป้องกัน	59
ภาคผนวก ค. วงจรและแผนภาพบล็อกสำหรับการทดสอบ	62
ภาคผนวก ง. คู่มือการใช้งานชุดควบคุมชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัส	87
ประวัติผู้เขียน	95

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลสัญญาณ	11
2.2 ผลการทดสอบวงจรตรวจรู้กระแสที่ไม่มีตัวแบ่งแรงดัน	11
2.3 ผลการทดสอบวงจรตรวจรู้กระแสที่มีตัวแบ่งแรงดัน	12
2.4 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่	20
2.5 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่	24
2.6 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลา	27
2.7 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินลงดินชนิดหน่วงเวลา	29
2.8 ค่าเปอร์เซ็นต์ของกำลังไหลย้อนกลับ	31
2.9 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับ	33
2.10 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันการสูญเสียสนาม	38
2.11 ค่าคงที่ k	39
2.12 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดล่าช้า	41
2.13 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันแบบคูลแรงดัน	43
2.14 ผลการทดสอบระบบป้องกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งโครนัสด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์ผิดปกติ	45
2.15 ผลการทดสอบระบบป้องกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจริงผิดปกติจริง	50

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของระบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์	3
2.2 แผนภูมิการทำงานของระบบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	5
2.3 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมย่อยสำหรับรับข้อมูลและจัดรูปแบบระบบป้องกัน	5
2.4 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมย่อยสำหรับวินิจฉัยสิ่งผิดปกติ	6
2.5 วงจรขยายสัญญาณ	7
2.6 วงจรตรวจรู้กระแสที่ไม่มีตัวแบ่งแรงดัน	8
2.7 วงจรตรวจรู้กระแสที่มีตัวแบ่งแรงดัน	8
2.8 วงจรการทดสอบวงจรตรวจรู้กระแสที่ไม่มีตัวแบ่งแรงดัน	9
2.9 วงจรการทดสอบวงจรตรวจรู้กระแสที่มีตัวแบ่งแรงดัน	9
2.10 วงจรหม้อแปลงแรงดัน	14
2.11 วงจรขับเคลื่อนและชุดตัดตอนสำหรับขดลวดอาร์เมเจอร์	15
2.12 วงจรขับเคลื่อนและชุดตัดตอนสำหรับขดลวดสนาม	15
2.13 รีเลย์ป้องกันแบบผลต่าง	16
2.14 รีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่	17
2.15 แผนภูมิการทำงานโปรแกรมรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่	18
2.16 แผนภูมิการทำงานโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสลัดวงจรลงดินแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่	22
2.17 แผนภูมิการทำงานโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหนึ่งช่วงเวลา	26
2.18 แผนภูมิการทำงานโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินลงดินชนิดหนึ่งช่วงเวลา	28
2.19 แผนภูมิการทำงานโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับ	32
2.20 แสดงพื้นที่การทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินสนาม	35
2.21 แผนภูมิการทำงานโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินสนาม	37
2.22 แผนภูมิการทำงานโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดลำดับเฟสลบ	40
2.23 แผนภูมิการทำงานโปรแกรมรีเลย์ป้องกันแบบจุดแรงดัน	42

ตัวย่อและสัญลักษณ์

ϕ	= มุมเฟสของกระแส
θ	= มุมเฟสของแรงดัน
32	= รีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับแบบกลไฟฟ้า
40	= รีเลย์ป้องกันการสูญเสียสนาม
46	= รีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดลำดับเฟสลบ
51V	= รีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลา
51G	= รีเลย์ป้องกันกระแสเกินลงดินชนิดหน่วงเวลา
60	= รีเลย์ป้องกันแบบคูลแรงดัน
87	= รีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่
87G	= รีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่
a	= $1/120^\circ$
a^2	= $1/-120^\circ$
G	= เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครทรัส
$i(t)$	= กระแสต่อเนื่องในโดเมนเวลา (continuous current)
I_2	= ขนาดกระแสลำดับเฟสลบ
I_{a1}	= ขนาดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานรับรู้กระแสตำแหน่ง 1 ของเฟส a
I_{a2}	= ขนาดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานรับรู้กระแสตำแหน่ง 2 ของเฟส a
I_m	= ขนาดกระแสสูงสุด (maximum current)
I_n	= ขนาดกระแสที่ไหลผ่านสายนิวทรัล
I_{pickup}	= ขนาดกระแสพิกอับ
I_{rated}	= ขนาดกระแสที่กำหนด
I_f	= ขนาดกระแสผิดปกติ
I_{rms}	= ขนาดกระแสในรูปค่า rms. (root-mean-square current)
I_2	= กระแสเฟสเซอร์ลำดับเฟสลบ
I_{a1}	= กระแสเฟสเซอร์ที่ไหลผ่านตัวต้านทานรับรู้กระแสตำแหน่ง 1 ของเฟส a
I_{a2}	= กระแสเฟสเซอร์ที่ไหลผ่านตัวต้านทานรับรู้กระแสตำแหน่ง 2 ของเฟส a
P_{av}	= กำลังเฉลี่ย (average power)
$P_{1-\phi}$	= กำลังเฉลี่ย 1 เฟส
pu	= ต่อหน่วย (per unit)
t_d	= เวลาหน่วง (delay time)

- $v(t)$ = แรงดันต่อเนื่องในโดเมนเวลา (continuous voltage)
 V_a = ขนาดแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์เฟส α
 V_m = ขนาดแรงดันสูงสุด (maximum voltage)
 V_{rms} = ขนาดแรงดันในรูปค่า rms. (root-mean-square voltage)
 V_a = แรงดันเฟสเซอร์ที่ตกคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์เฟส α
 $X_{d(pu)}$ = รีแอกแตนซ์ซิงโครนัสในรูปต่อหน่วย (synchronous reactance)
 $X'_{d(pu)}$ = รีแอกแตนซ์ชั่วคราวในรูปต่อหน่วย (transient reactance)
 $X''_{d(pu)}$ = รีแอกแตนซ์ชั่วแวบในรูปต่อหน่วย (subtransient reactance)
 Z_{pu} = อิมพีแดนซ์ในรูปต่อหน่วย

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบป้องกันสำหรับระบบผลิต ระบบส่งและระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ เพื่อทำให้เกิดความน่าเชื่อถือจากผู้บริโภค | เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในระบบผลิตจึงมีความจำเป็นต้องมีระบบป้องกันที่ดี ระบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะประกอบด้วยตัวรับรู้ (sensor) รีเลย์ป้องกัน (protective relay) วงจรขับเคลื่อน(driving circuit)และเซอร์กิตเบรกเกอร์

ชุดรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยทั่วไปประกอบด้วยรีเลย์ป้องกันที่เป็นแบบกลไฟฟ้า(electromechanical relay) หรือแบบสถิต(static relay)หลายประเภท เช่น รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (overcurrent relay) รีเลย์ป้องกันแรงดันเกิน (overvoltage relay) ฯลฯ ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีพิกัดกำลังผลิตต่างกันจะมีชุดรีเลย์ป้องกันที่ต่างกัน ทำให้ยุ่งยากและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแปลงชุดรีเลย์ป้องกัน ดังนั้นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างรีเลย์ป้องกันประเภทต่างๆเพื่อนำไปใช้งานจริงจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาตรงนี้ได้ ซึ่งง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงชุดรีเลย์ป้องกันให้เหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีพิกัดกำลังผลิตต่างกันได้ ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนแปลงชุดรีเลย์ป้องกันไม่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังง่ายต่อการบำรุงรักษาอีกด้วย

2. การตรวจเอกสาร

จากการสำรวจโครงการวิจัยทางด้านระบบกำลังไฟฟ้าในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2529 ถึง พ.ศ. 2539 และวารสารต่างประเทศตั้งแต่ปี ค.ศ. 1986 ถึง ค.ศ. 1996 พบว่าการนำเอาไมโครคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในระบบกำลังไฟฟ้ายังอยู่ในขั้นออกแบบโปรแกรมจำลองการเกิดสิ่งผิดปกติในระบบกำลังไฟฟ้าเพื่อให้ผู้ปฏิบัติการเข้าใจและสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดสิ่งผิดปกติได้เท่านั้นแต่ยังไม่ถึงระดับที่ใช้ผลจากการวิเคราะห์มาควบคุมการทำงานของระบบป้องกัน เช่น การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์วิเคราะห์การลัดวงจรของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม (นริศ สุธีธรรม, 2529) ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าย่อย (กัมปนาท ตัณฑ์เจริญรัตน์และคณะ, 2536) และโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับจำลองการทำงานระบบป้องกันกำลังไฟฟ้า (อธิกมาศ ณ ตะกั่วทุ่งและนภาพรเวียงวีระ, 2539) ระบบผู้เชี่ยวชาญเพื่อวิเคราะห์การเกิด

สิ่งผิดปกติโดยใช้สัญญาณที่ได้จากการทำงานของรีเลย์ป้องกันและเซอร์กิตเบรกเกอร์มาทำการวิเคราะห์(Bernard and Durocher, 1994; Yang, *et al.*, 1995; Yongli, *et al.*, 1994) โปรแกรมจำลองการเกิดสิ่งผิดปกติในระบบกำลังไฟฟ้า(Kobayashi, *et al.*, 1995)

3. วัตถุประสงค์

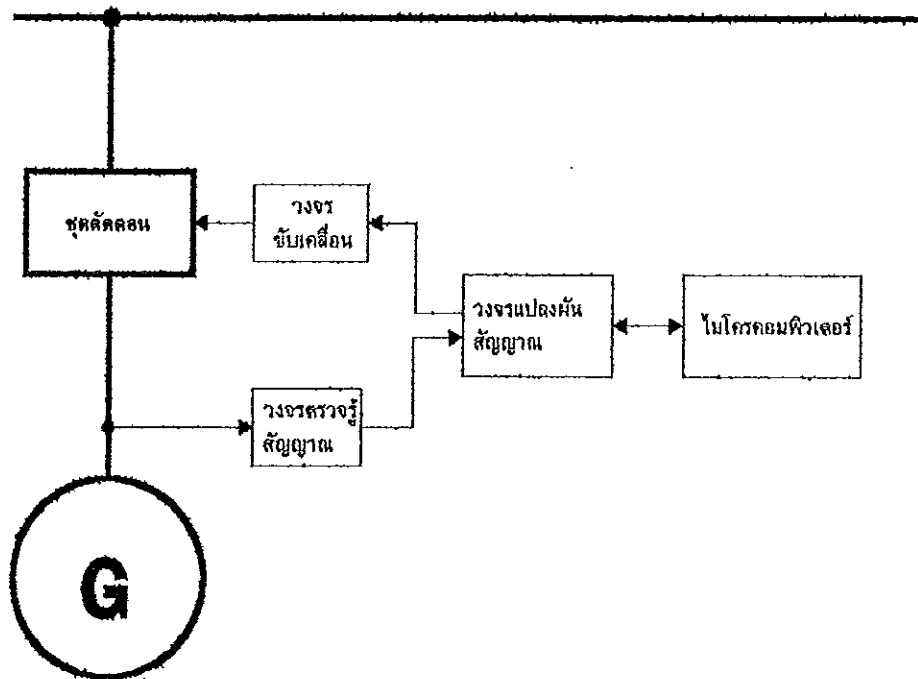
เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบระบบป้องกันและวินิจฉัยการเกิดสิ่งผิดปกติที่เกิดกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

1. ระบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

ระบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยวงจรตรวจรู้สัญญาณ(signal-sensing circuit) วงจรแปลงผันสัญญาณ(signal converter) ไมโครคอมพิวเตอร์ วงจรขับเคลื่อนและชุดตัดตอน ดังภาพประกอบ 2.1



ภาพประกอบ 2.1 ส่วนประกอบของระบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์

จากภาพประกอบ 2.1 วงจรตรวจรู้สัญญาณจะทำหน้าที่ตรวจรู้สัญญาณแรงดันและกระแสแล้วส่งไปยังไมโครคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางวงจรแปลงผันสัญญาณ โปรแกรมรีเลย์ป้องกันจะวินิจฉัยว่าเกิดสิ่งผิดปกติกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือไม่ เมื่อเกิดสิ่งผิดปกติ โปรแกรมรีเลย์ป้องกันจะส่งสัญญาณไปยังวงจรขับเคลื่อน เพื่อกระตุ้นให้ชุดตัดตอนปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบกำลังไฟฟ้า

รูปแบบของชุดโปรแกรมรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นอยู่กับพิกัดกำลังผลิต (ANSI/IEEE, 1992; Russel, 1956; Blackburn, 1976)

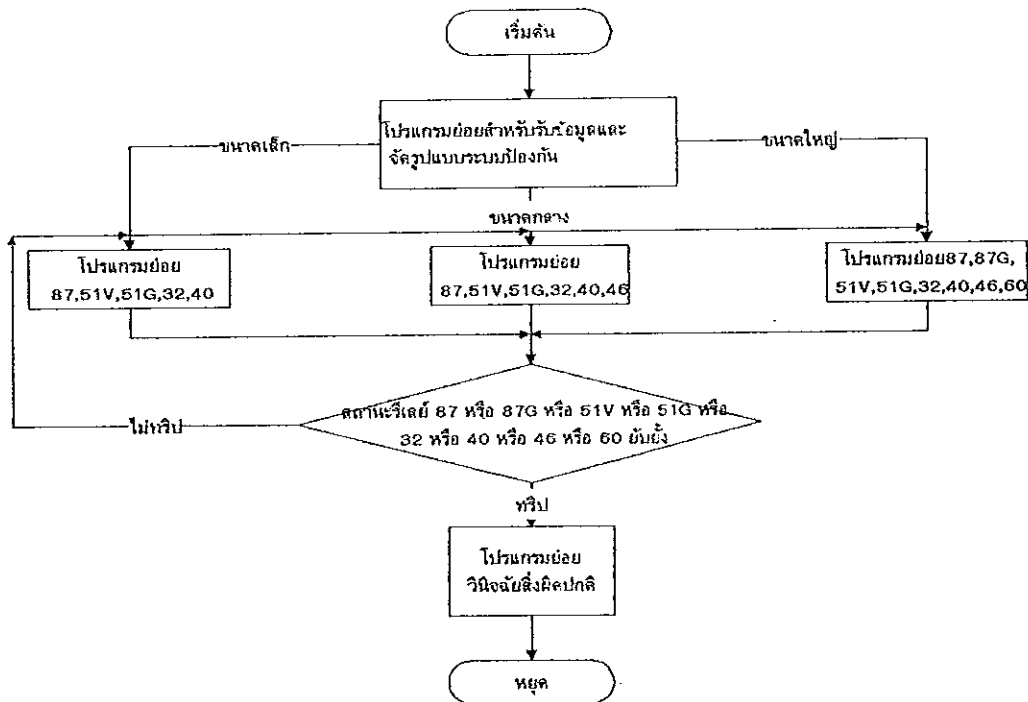
ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

1.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก (พิกัดกำลังผลิตต่ำกว่า 1,000 kVA) ชุดรีเลย์ป้องกันจะประกอบด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน (overcurrent relay:51V) รีเลย์ป้องกันกระแสเกินลงดินชนิดหน่วงเวลา (ground time-delay overcurrent relay:51G) รีเลย์ป้องกันแบบผลต่าง (differential relay:87) รีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับ(reverse power relay:32) และรีเลย์ป้องกันการสูญเสียสนาม (loss of field relay:40)

1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดกลาง(พิกัดกำลังผลิตตั้งแต่ 1,000 kVA ถึง 12,500 kVA) ชุดรีเลย์ป้องกันจะประกอบด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน รีเลย์ป้องกันกระแสเกินลงดินชนิดหน่วงเวลา รีเลย์ป้องกันแบบผลต่าง รีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับ รีเลย์ป้องกันการสูญเสียสนาม และรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดลำดับเฟสลบ(negative phase sequence overcurrent relay:46)

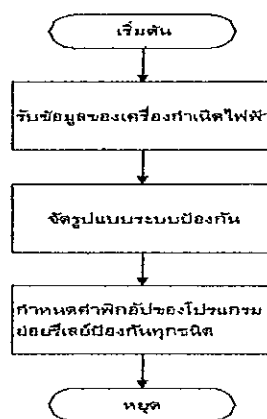
1.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ (พิกัดกำลังผลิตมากกว่า 12,500 kV)ชุดรีเลย์ป้องกันจะประกอบด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน รีเลย์ป้องกันกระแสเกินลงดินชนิดหน่วงเวลา รีเลย์ป้องกันแบบผลต่าง รีเลย์ป้องกันแบบผลต่างลงดิน(ground differential relay:87G) รีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับ รีเลย์ป้องกันการสูญเสียสนาม รีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดลำดับเฟสลบและรีเลย์ป้องกันสมดุลแรงดัน(voltage balance relay:60)

ชิ้นงานในวิทยานิพนธ์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ วงจรตรวจรู้สัญญาณ ระบบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและวงจรขับเคลื่อน ในส่วนของวงจรตรวจรู้สัญญาณ ได้แก่ วงจรตรวจรู้กระแสและวงจรตรวจรู้แรงดันซึ่งใช้ในการตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันและแปลงค่าที่ตรวจวัดได้ให้มีค่าที่สามารถส่งต่อไปยังวงจรแปลงผันสัญญาณได้ ระบบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นโปรแกรมที่วินิจฉัยสิ่งผิดปกติและส่งสัญญาณไปยังวงจรขับเคลื่อนเพื่อปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบผลิตกำลังไฟฟ้า ระบบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประกอบด้วย โปรแกรมย่อยสำหรับรับข้อมูลและจัดรูปแบบระบบป้องกัน โปรแกรมย่อยสำหรับวินิจฉัยสิ่งผิดปกติ โปรแกรมย่อยรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่ โปรแกรมย่อยรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลา โปรแกรมย่อยรีเลย์ป้องกันกระแสเกินลงดินชนิดหน่วงเวลา โปรแกรมย่อยรีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับ โปรแกรมย่อยรีเลย์ป้องกันการสูญเสียสนาม โปรแกรมย่อยรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดลำดับเฟสลบ โปรแกรมย่อยรีเลย์ป้องกันแบบดุลแรงดัน ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีพิกัดกำลังผลิตต่างกันจะมีรูปแบบระบบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันที่ต่างกัน(ANSI/IEEE, 1992) และวงจรขับเคลื่อนใช้เป็นตัวกระตุ้นให้ชุดตัดตอนปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบผลิตกำลังไฟฟ้า ซึ่งการทำงานโปรแกรมหลัก(main program)มีลักษณะแผนภูมิการทำงานดังภาพประกอบ 2.2



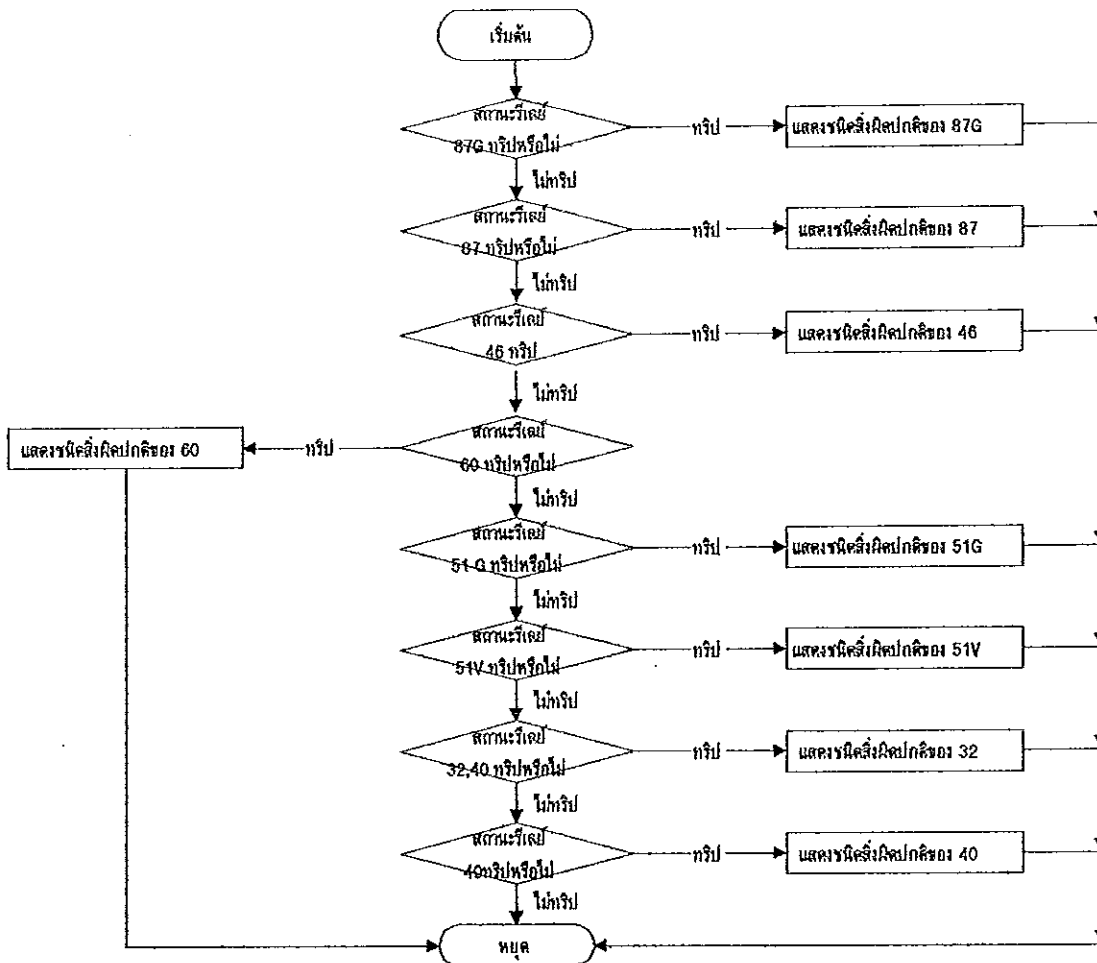
ภาพประกอบ 2.2 แผนภูมิการทำงานของระบบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โปรแกรมย่อยสำหรับรับข้อมูลและจัดรูปแบบระบบป้องกัน คือ โปรแกรมที่ใช้สำหรับรับค่าคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากผู้ปฏิบัติงานและปรับตั้งค่าค่าพิกัดต่างๆของโปรแกรมรีเลย์ป้องกันและรูปแบบระบบป้องกัน โดยมีลักษณะแผนภูมิการทำงานดังภาพประกอบ 2.3



ภาพประกอบ 2.3 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมย่อยสำหรับรับข้อมูลและจัดรูปแบบระบบป้องกัน

โปรแกรมย่อยสำหรับวินิจฉัยสิ่งผิดปกติ คือ โปรแกรมที่วินิจฉัยชนิดของสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งมีลักษณะแผนภูมิการทำงานดังภาพประกอบ 2.4



ภาพประกอบ 2.4 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมย่อยสำหรับวินิจฉัยสิ่งผิดปกติ

2. ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย การออกแบบและทดสอบวงจรตรวจรู้กระแสและแรงดัน การออกแบบวงจรขับเคลื่อน การออกแบบและทดสอบโปรแกรมประมวลผลสัญญาณ การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันชนิดต่างๆที่ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การพัฒนาและทดสอบระบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีการจำลองเหตุการณ์ การพัฒนาและทดสอบระบบป้องกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจริง

2.1 การออกแบบและทดสอบโปรแกรมประมวลผลสัญญาณและวงจรตรวจรู้กระแส

โปรแกรมประมวลผลสัญญาณ คือ โปรแกรมที่ใช้หาค่ามุมต่างเฟสระหว่างสัญญาณ 2 สัญญาณ

$$v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta) \quad (2.1)$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \phi) \quad (2.2)$$

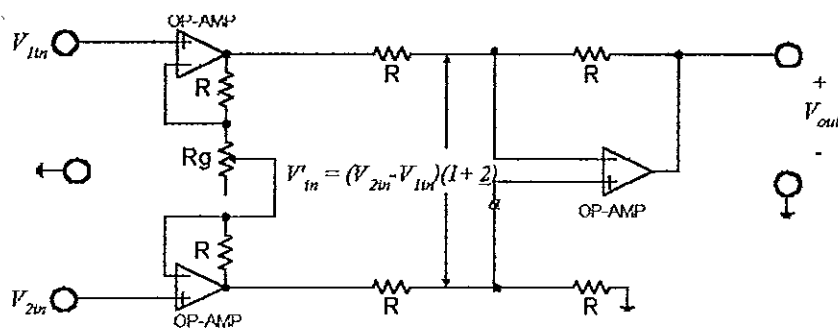
$$P_{av} = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} v(t) \cdot i(t) dt \quad (2.3)$$

$$P_{av} = V_{rms} I_{rms} \cos(\theta - \phi) \quad (2.4)$$

$$\cos(\theta - \phi) = \frac{1}{V_{rms} I_{rms}} \cdot \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} v(t) \cdot i(t) dt \quad (2.5)$$

วิธีการหาค่ามุมต่างเฟสจะใช้วิธีการของค่ากำลังเฉลี่ย(Su, 1978) และใช้แรงดันเฟส α เป็นสัญญาณอ้างอิงซึ่งมีค่าแรงดันดังสมการ 2.1 ในการอธิบายวิธีการหาค่ามุมต่างเฟสจะใช้กระแสเป็นสัญญาณที่ต้องการหาค่ามุมต่างเฟสเพื่อให้สอดคล้องกับวิธีการของค่ากำลังเฉลี่ยซึ่งค่ากระแสสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ 2.2 เนื่องจากค่ากำลังเฉลี่ยสามารถหาได้ 2 วิธี อธิบายได้ดังสมการ 2.3 และ 2.4 ดังนั้นจากสมการ 2.3 ซึ่งมีค่าเท่ากับสมการ 2.4 ทำให้สามารถหาค่ามุมต่างเฟสได้ดังสมการ 2.5

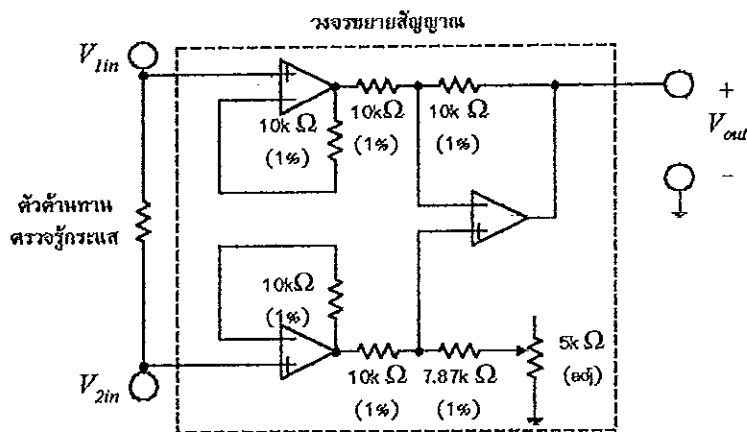
วงจรตรวจรู้กระแส คือ อุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนค่ากระแสที่มีค่าสูงให้มีค่าที่สามารถส่งต่อไปยังเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ป้องกัน ได้แก่ หม้อแปลงกระแส ทรานส์ดิวเซอร์และวงจรตรวจรู้กระแสโดยใช้ ตัวต้านทาน โดยหม้อแปลงกระแสเหมาะสมกับวัดค่ากระแสที่สูง ทรานส์ดิวเซอร์และวงจรตรวจรู้กระแสโดยใช้ตัวต้านทานเหมาะสมกับวัดค่ากระแสที่ต่ำ เนื่องจากทรานส์ดิวเซอร์มีราคาสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรตรวจรู้กระแสโดยใช้ตัวต้านทาน ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ออกแบบและทดสอบวงจรตรวจรู้กระแสโดยใช้ตัวต้านทาน ซึ่งประกอบด้วยวงจรมายาสัญญาณ (instrumentation amplifier) ใช้สำหรับขยายสัญญาณให้มีค่าที่สามารถส่งต่อไปยังวงจรแปลงผันสัญญาณได้ และตัวต้านทานรับรู้กระแสใช้สำหรับเปลี่ยนค่ากระแสให้เป็นค่าแรงดันเพื่อส่งต่อไปยังวงจรมายาสัญญาณ



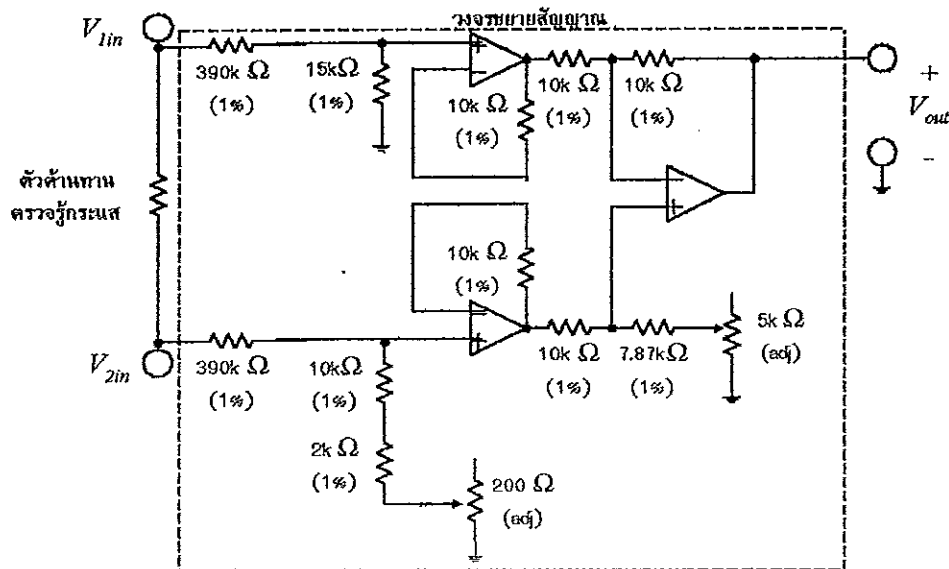
ภาพประกอบ 2.5 วงจรมายาสัญญาณ

จากภาพประกอบ 2.5 วงจรขยายสัญญาณที่ดีจะต้องมีตัวต้านทาน (R_o) สำหรับปรับอัตราขยายเพียงตัวเดียว กล่าวคือ ตัวต้านทานตัวอื่นจะต้องมีค่าต่างกันน้อยมาก ในวิทยานิพนธ์นี้ค่าตัวต้านทาน (R_o) จะเป็นค่าอนันต์ นอกจากนั้นค่าอิมพีแดนซ์ทางต้านเข้า (input impedance) จะต้องไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับอัตราขยาย และแรงดันทางต้านออก V_{out} จะขึ้นอยู่กับผลต่างของแหล่งจ่ายแรงดันต้านเข้า V_{1in} และ V_{2in} เท่านั้น

วงจรตรวจรู้กระแสโดยใช้ตัวต้านทานในวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้มี 2 รูปแบบ สามารถเขียนเป็นวงจรได้ดังภาพประกอบ 2.6 และ 2.7



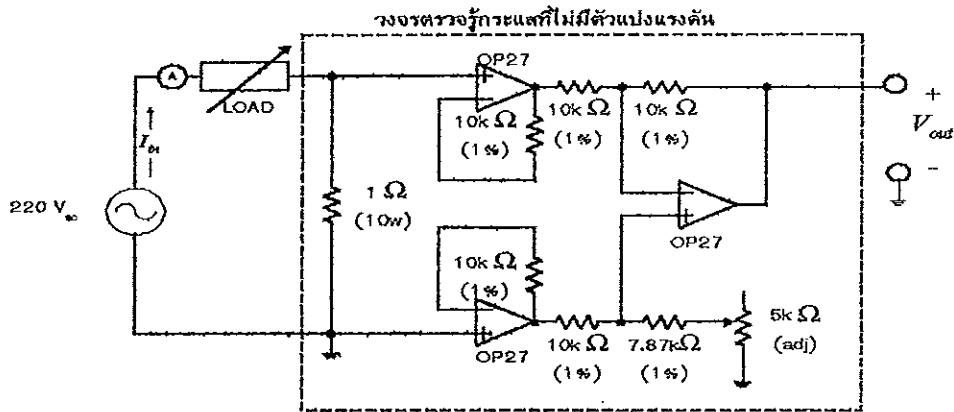
ภาพประกอบ 2.6 วงจรตรวจรู้กระแสที่ไม่มีตัวแบ่งแรงดัน



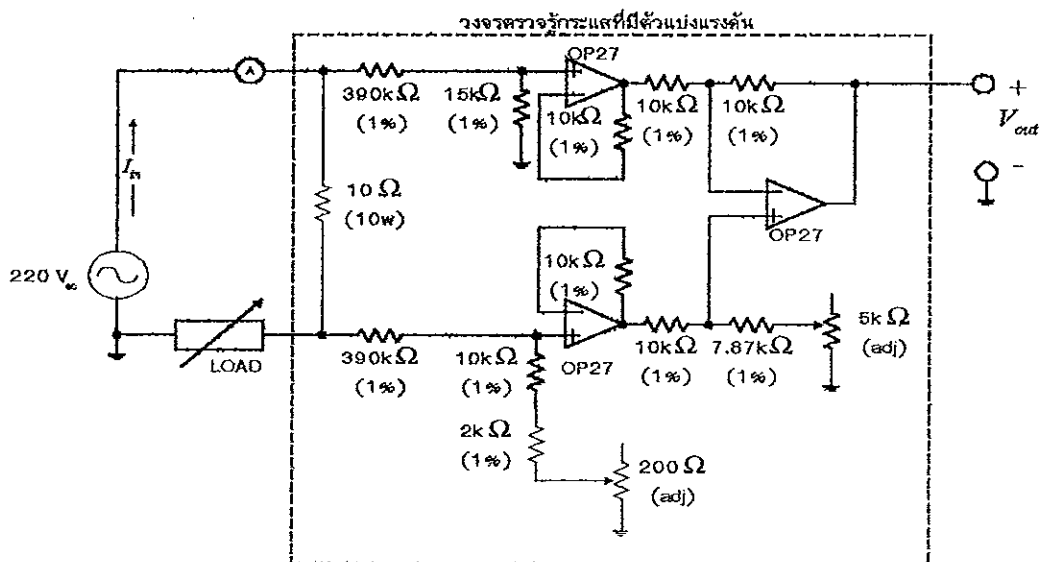
ภาพประกอบ 2.7 วงจรตรวจรู้กระแสที่มีตัวแบ่งแรงดัน

2.1.1 การทดสอบ

การทดสอบจะเริ่มจากการทดสอบโปรแกรมประมวลผลสัญญาณโดยป้อนสัญญาณไซน์จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมก่อนที่จะนำไปทดสอบกับวงจรตรวจรู้กระแสที่ไม่มีตัวแบ่งแรงดันและวงจรตรวจรู้กระแสที่มีตัวแบ่งแรงดัน ซึ่งวงจรที่ใช้ทดสอบอธิบายได้ดังภาพประกอบที่ 2.8 และ 2.9



ภาพประกอบ 2.8 วงจรทดสอบวงจรตรวจรู้กระแสที่ไม่มีตัวแบ่งแรงดัน



ภาพประกอบ 2.9 วงจรทดสอบวงจรตรวจรู้กระแสที่มีตัวแบ่งแรงดัน

2.1.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- | | | |
|---------------------------------------|---|---------|
| ก. variac ปรับค่าได้ 0-260 volt 1 เฟส | 1 | เครื่อง |
| ข. แอมมิเตอร์ (ELWE:M2112) | 1 | เครื่อง |

ค. โหลดตัวต้านทานปรับค่าได้ 0-5,600 ohm 0.315 A (ELWE:Bs 5.95)	1	ชุด
ง. โหลดตัวต้านทานปรับค่าได้ 0-152 ohm 2 A (D.J.Stork:AB 46182)	1	ชุด
จ. ชุดวงจรตรวจรู้กระแส ที่ไม่มีตัวแบ่งแรงดัน	1	ชุด
ฉ. ชุดวงจรตรวจรู้กระแส ที่มีตัวแบ่งแรงดัน	1	ชุด
ช. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ หรือวงจรแปลงผันสัญญาณ(AT-MIO-16E-10 board)	1	ชุด
ซ. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Tektronix:AWG2005)	1	เครื่อง
ณ. โปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows" รุ่นปรับปรุงที่ 4	1	โปรแกรม
ญ. โปรแกรม ชื่อ "Diffe1.vi"	1	โปรแกรม

2.1.1.2 วิธีการทดสอบ

ก. เปิดโปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows"

ข. เปิดโปรแกรม ชื่อ "Diffe1.vi" จากไดเรกทอรี "c:\thesis" กดปุ่ม "run" โปรแกรม "Diffe1.vi"

ค. ต่อดวงจรตามภาพประกอบ ค.1 และ ค.3 และกำหนดช่องสัญญาณแอนะล็อกด้านเข้า 0 และ 1 เป็นสัญญาณสมนัยกับแรงดัน V_1 ซึ่งเป็นสัญญาณอ้างอิงและแรงดัน V_2 ซึ่งเป็นสัญญาณที่ต้องการหามุมเฟสตามลำดับ บ่อนสัญญาณไซเรนขนาด $1/0^{\circ}$ V ที่ช่องสัญญาณ 0 และ 1 ของแผงขั้วต่อสาย บันทึกผลการทดสอบลงในตารางผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลสัญญาณ

ง. เปลี่ยนค่าสัญญาณที่ช่องสัญญาณแอนะล็อกด้านเข้าที่ 1 ตามหัวข้อที่ 2,3,4 ...ของตาราง 2.1 และบันทึกผลการทดสอบลงในตาราง 2.1

จ. ต่อดวงจรตามภาพประกอบ 2.8 โดยใช้โหลดตัวต้านทานปรับค่าได้ 0 - 5,600 ohm

ฉ. ปรับขนาดแรงดันของ variac ให้มีขนาด 220 V

ช. ปรับค่าขนาดกระแสทางด้านเข้า (I_m) โดยการปรับโหลดตัวต้านทานปรับค่าได้ให้มีค่าตามหัวข้อที่ 1 ในตาราง 2.2 กดปุ่ม "run" โปรแกรม "Diffe1.vi" และบันทึกผลการทดสอบลงในตารางผลการทดสอบวงจรถวายรู้กระแสที่ไม่มีตัวแบ่งแรงดันในคอลัมน์ 3,4 และ 5

ซ. ทำซ้ำในข้อ ช. โดยใช้ข้อมูลหัวข้อที่ 2,3,4,...17ตามตาราง 2.2 ตามลำดับและแต่ละหัวข้อให้บันทึกผลการทดสอบลงในคอลัมน์ 3,4 และ 5 ของตาราง 2.2

ณ. เปลี่ยนโหลดตัวต้านทานปรับค่าได้เป็น 0 - 152 ohm 2 A

ญ. ทำการทดสอบซ้ำในข้อ จ. และ ฉ. โดยใช้ข้อมูลในหัวข้อ 18 ถึง 22 ตามลำดับ

ฎ. เปลี่ยนวงจรตัวจุกกระแสเป็นแบบมีตัวแบ่งแรงดัน โดยต่อวงจรตามภาพประกอบ 2.9

ฏ. ทดสอบซ้ำในข้อ ช. ถึง ญ. และบันทึกผลการทดสอบในตาราง 2.3

2.1.2 ผลการทดสอบ

ตาราง 2.1 ผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลสัญญาณ

หัวข้อที่	$V_{1in}(V)$	$V_{2in}(V)$	มุมเฟสต่ำที่สุดที่วัดได้ (degree)	มุมเฟสมากที่สุดที่วัดได้ (degree)
1	$1/0^0$	$1/0^0$	-0.322	0.322
2	$1/0^0$	$1/5^0$	-4.968	4.956
3	$1/0^0$	$1/7^0$	-6.954	6.942
4	$1/0^0$	$1/8^0$	7.646	7.982
5	$1/0^0$	$1/10^0$	9.646	9.893
6	$1/0^0$	$1/45^0$	44.96	45.17
7	$1/0^0$	$1/89^0$	89.164	89.353
8	$1/0^0$	$1/90^0$	89.359	90.177
9	$1/0^0$	$1/120^0$	119.41	120.12
10	$1/0^0$	$1/180^0$	-179.39	179.39
11	$1/0^0$	$1/-45^0$	-45.54	-44.91
12	$1/0^0$	$1/-60^0$	-60.6	-59.85
13	$1/0^0$	$1/-90^0$	-90.649	-89.807

ตาราง 2.2 ผลการทดสอบวงจรตัวจุกกระแสที่ไม่มีตัวแบ่งแรงดัน

หัวข้อที่	$I_{in}(A)$	$V_{out}(V)$	มุมเฟสต่ำที่สุดของ V_{out} ที่วัดได้ (degree)	มุมเฟสมากที่สุดของ V_{out} ที่วัดได้ (degree)
1	$0.03/0^0$	0.030	-5.43	6.03
2	$0.04/0^0$	0.040	-4.56	4.85

3	0.05/0°	0.050	-4.04	4.06
4	0.06/0°	0.060	-3.26	3.38
5	0.07/0°	0.070	-2.95	2.94
6	0.08/0°	0.080	-2.66	2.72
7	0.09/0°	0.090	-2.48	2.4
8	0.1/0°	0.100	-2.13	2.22
9	0.11/0°	0.110	-1.84	2.02
10	0.12/0°	0.120	-1.84	1.9
11	0.13/0°	0.130	-1.68	1.8
12	0.14/0°	0.140	-1.54	1.63
13	0.15/0°	0.150	-1.54	1.56
14	0.16/0°	0.160	-1.33	1.38
15	0.17/0°	0.170	-1.29	1.33
16	0.18/0°	0.180	-1.22	1.27
17	0.19/0°	0.190	-1.15	1.23
18	1.15/0°	1.170	-0.25	0.25
19	1.2/0°	1.190	-0.24	0.25
20	1.3/0°	1.291	-0.24	0.25
21	1.4/0°	1.388	-0.24	0.25
22	1.5/0°	1.477	-0.25	0.25

ตาราง 2.3 ผลการทดสอบวงจรตัวกรองกระแสที่มีตัวแบ่งแรงดัน

หัวข้อที่	$I_{in}(A)$	$V_{out}(V)$	มุมเฟสต่ำที่สุดของ V_{out} ที่วัดได้ (degree)	มุมเฟสมากที่สุดของ V_{out} ที่วัดได้ (degree)
1	0.03/0°	0.030	-7.79	8.09
2	0.04/0°	0.040	-5.34	5.37
3	0.05/0°	0.050	-4.49	4.59
4	0.06/0°	0.060	-3.64	3.7
5	0.07/0°	0.070	-3.02	3.22

6	0.08/0 ⁰	0.080	-2.73	2.79
7	0.09/0 ⁰	0.090	-2.37	2.45
8	0.1/0 ⁰	0.100	-2.23	2.42
9	0.11/0 ⁰	0.110	-2.14	2.13
10	0.12/0 ⁰	0.120	-1.84	1.99
11	0.13/0 ⁰	0.130	-1.75	1.85
12	0.14/0 ⁰	0.140	-1.62	1.65
13	0.15/0 ⁰	0.150	-1.58	1.6
14	0.16/0 ⁰	0.160	-1.36	1.35
15	0.17/0 ⁰	0.170	-1.35	1.37
16	0.18/0 ⁰	0.180	-1.26	1.27
17	0.19/0 ⁰	0.190	-1.22	1.13
18	1.15/0 ⁰	1.170	-0.25	0.25
19	1.2/0 ⁰	1.230	-0.24	0.25
20	1.3/0 ⁰	1.330	-0.25	0.25
21	1.4/0 ⁰	1.430	-0.25	0.25
22	1.5/0 ⁰	1.530	-0.25	0.25

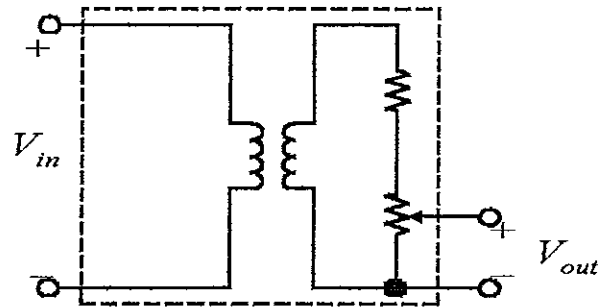
2.1.3 วิจัยรณผลการทดสอบ

2.1.3.1 จากผลการทดสอบโปรแกรมประมวลผลสัญญาณในตาราง 2.1 พบว่าเมื่อสัญญาณ 2 สัญญาณที่มีมุมเฟสต่างกันอยู่ในช่วง ± 8 องศาจะทำให้มุมที่อ่านได้มีเครื่องหมายผิดไป

2.1.3.2 จากผลการทดสอบวงจรตรวจรู้กระแสในตาราง 2.2 และ 2.3 พบว่าเมื่อกระแสที่ไหลผ่านวงจรตรวจรู้กระแสมีค่าน้อย มุมที่คำนวณได้ยิ่งมีความคลาดเคลื่อนมาก ซึ่งในงานวิทยานิพนธ์นี้ค่าความคลาดเคลื่อนของมุมที่ยอมรับได้ คือ มุมขนาด ± 8 องศาโดยอ้างถึงผลการทดสอบในตาราง 1 ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ไม่ทำให้โปรแกรมมีเลย์ป้องกันแบบค่าผลต่างทำงานผิดพลาด

2.2 วงจรตรวจรู้แรงดัน

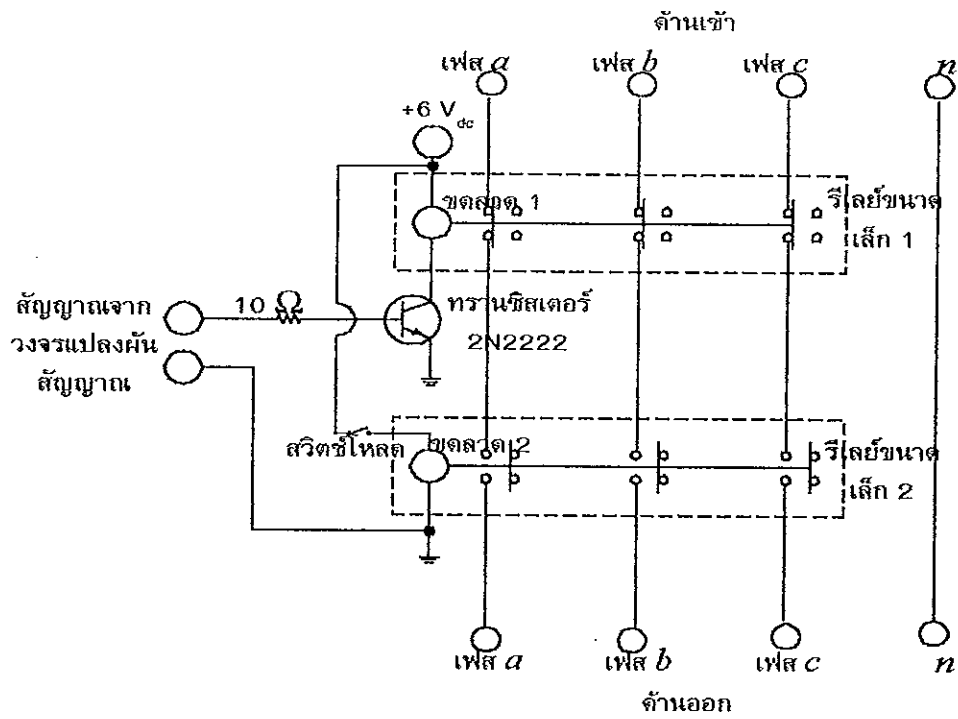
วงจรตรวจรู้แรงดัน คือ หม้อแปลงแรงดันเปลี่ยนค่าแรงดันที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงให้มีค่าต่ำที่สามารถส่งต่อไปยังเครื่องมือวัด และอุปกรณ์ป้องกัน วงจรตรวจรู้แรงดันสำหรับใช้ในวิทยานิพนธ์ มีลักษณะดังภาพประกอบ 2.10



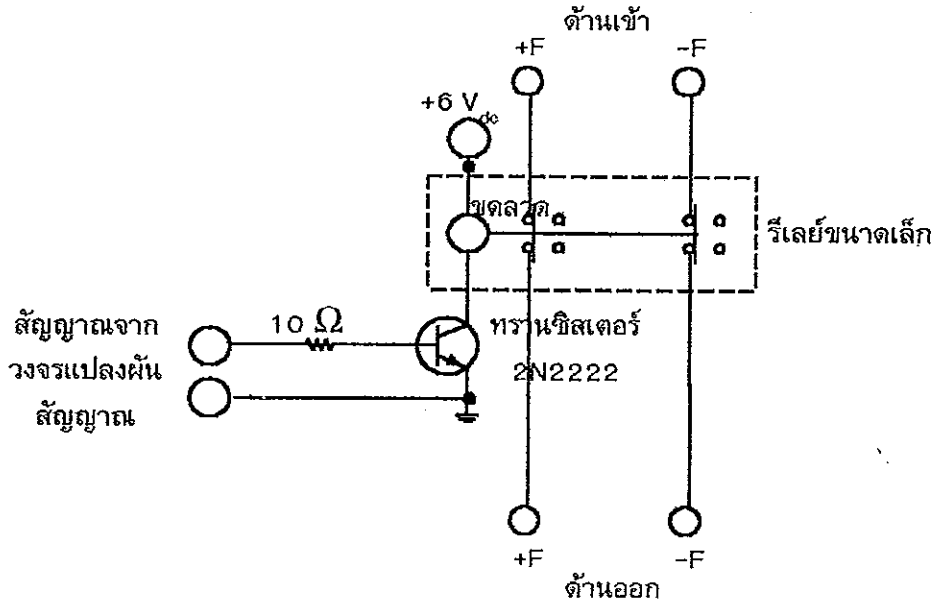
ภาพประกอบ 2.10 วงจรหม้อแปลงแรงดัน

2.3 การออกแบบวงจรขั้วเคลื่อนและชุดตัดตอน

ชุดตัดตอนทำหน้าที่เชื่อมต่อและแยกอุปกรณ์ทางไฟฟ้าโดยใช้ตัวขั้วเคลื่อนเป็นตัวควบคุมการเชื่อมต่อและแยก ในวิทยานิพนธ์นี้วงจรขั้วเคลื่อนและชุดตัดตอนจะรวมอยู่ในแผงวงจรเดียวกันซึ่งจะมี 2 ชุด คือ วงจรขั้วเคลื่อนและชุดตัดตอนสำหรับเชื่อมต่อและแยกขดลวดอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเข้ากับระบบกำลังไฟฟ้าหรือโหลดและวงจรขั้วเคลื่อนและชุดตัดตอนสำหรับเชื่อมต่อและแยกตัวกระตุ้น(exciter)เข้ากับขดลวดสนาม ซึ่งมีลักษณะวงจรดังภาพประกอบ 2.11 และ 2.12



ภาพประกอบ 2.11 วงจรขับเคลื่อนและชุดตัดต่อสำหรับขดลวดอาร์เมเจอร์

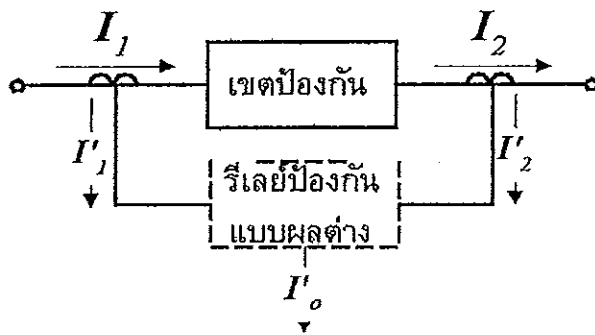


ภาพประกอบ 2.12 วงจรขับเคลื่อนและชุดตัดต่อสำหรับขดลวดสนาม

2.4 การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่ (fixed percentage differential programmable relay)

รีเลย์ป้องกันแบบผลต่าง คือ รีเลย์ที่ใช้ป้องกันการเกิดสิ่งผิดปกติในเขตป้องกัน ซึ่งการทำงานของรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างใช้หลักการผลต่างของกระแสที่ไหลเข้าและออกจากเขตป้องกัน โดยสามารถเขียนเป็นสมการและแผนภาพประกอบได้ดังสมการ 2.6 และภาพประกอบ 2.13 ตามลำดับ

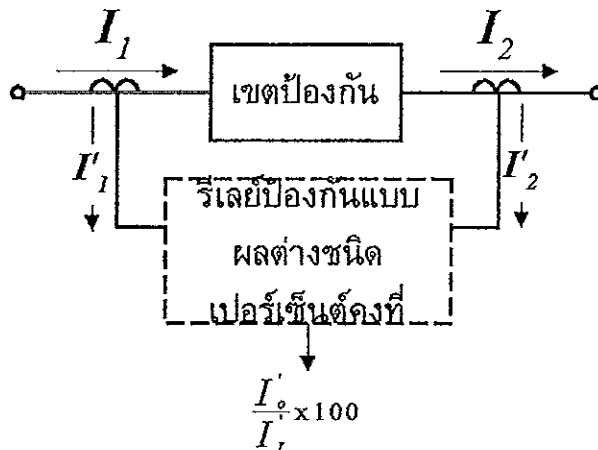
$$I_o = I_2 - I_1 \quad (2.6)$$



ภาพประกอบ 2.13 รีเลย์ป้องกันแบบผลต่าง

จากสมการที่ 2.6 และภาพประกอบ 2.13 ในสภาวะปกติกระแสที่ไหลเข้าและกระแสที่ไหลออกจากเขตป้องกันจะมีค่าเท่ากัน ทำให้กระแสทำงาน (operating current: I_o) แต่ในความเป็นจริงตัวตรวจรู้ 2 ชุดไม่สามารถที่จะให้กระแสทางด้านออกมีค่าเท่ากันได้ ในขณะที่ค่ากระแสทางด้านเข้าของตัวตรวจรู้มีค่าเท่ากัน ทำให้กระแสทำงานมีค่าไม่เป็นศูนย์ในสภาวะปกติ ซึ่งต้องกำหนดค่าพิคอัพให้มีค่ามากกว่าค่ากระแสทำงาน รีเลย์ป้องกันชนิดนี้ไม่มีโอกาสทำงานผิดพลาดในกรณีเกิดสิ่งผิดปกตินอกเขตป้องกัน ในการแก้ปัญหาจุดนี้จึงได้เพิ่มสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาค่ากระแสยับยั้ง (restraining current: I_r) ดังสมการ 2.7 ซึ่งเป็นกระแสที่ใช้ยับยั้งการทำงานผิดพลาดของรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างในกรณีเกิดสิ่งผิดปกตินอกเขตป้องกัน รีเลย์ป้องกันชนิดนี้ คือ รีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่ (fixed percentage differential relay) (ANSI/IEEE, 1992; Horowitz, et al., 1992) ซึ่งการทำงานของรีเลย์ป้องกันชนิดนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างกระแสทำงานและกระแสยับยั้งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ซึ่งถ้ามากกว่าค่าพิคอัพ รีเลย์ป้องกันจะส่งสัญญาณไปปลดอุปกรณ์ที่อยู่ในเขตป้องกัน

กันออกจากระบบกำลังไฟฟ้า ดังสมการ 2.8 และสามารถเขียนเป็นแผนภาพดังภาพประกอบ 2.14

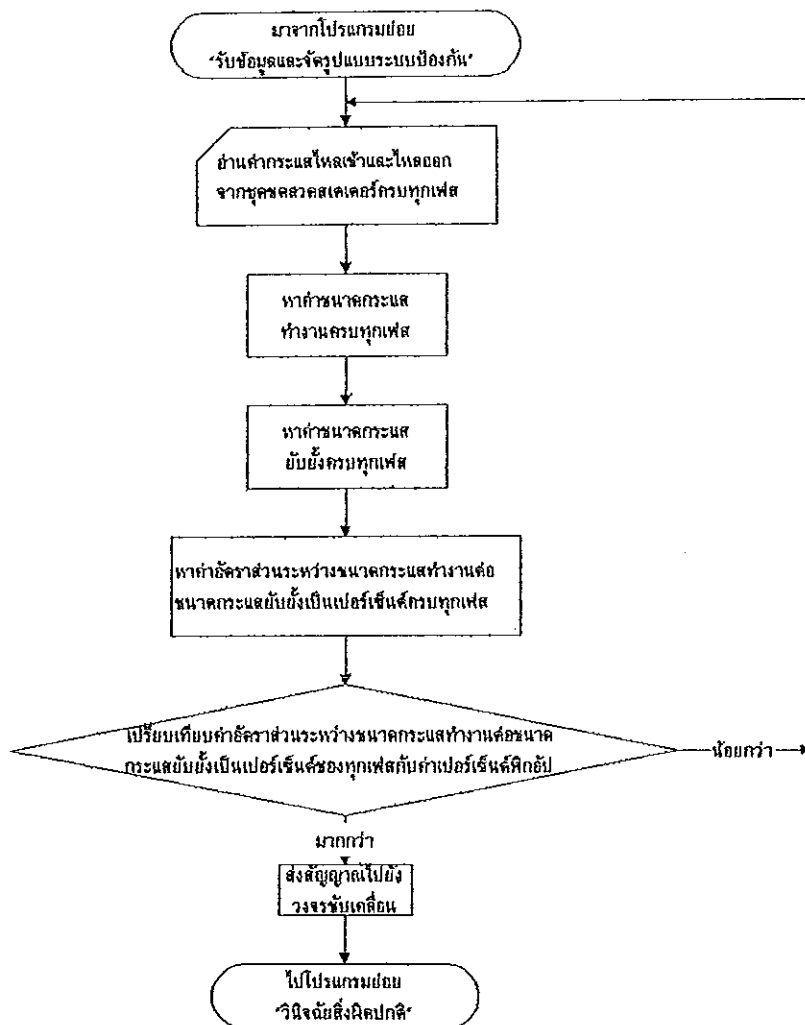


ภาพประกอบ 2.14 รีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่

$$I_r = \frac{I_2' + I_1'}{2} \quad (2.7)$$

$$\text{ค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสทำงานต่อกระแสยับยั้งเป็นเปอร์เซ็นต์} = \frac{I_2'}{I_r} \times 100 \quad (2.8)$$

จากลักษณะการทำงานของรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่ สามารถนำมาพัฒนาให้เป็นโปรแกรมได้ โดยมีลักษณะแผนภูมิการทำงานดังภาพประกอบ 2.15



ภาพประกอบ 2.15 แผนภูมิการทำงานโปรแกรมรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่

2.4.1 การทดสอบ

2.4.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- ก. เครื่องกำเนิดสัญญาณ 1 เครื่อง
- ข. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 1 ชุด
พร้อมวงจรแปลงผันสัญญาณ
- ค. โปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows" รุ่นปรับปรุงที่ 4 1 โปรแกรม
- ง. โปรแกรม ชื่อ "Test87.vi" 1 โปรแกรม

2.4.1.2 วิธีการทดสอบ

- ก. ต่อดังตามภาพประกอบ ค.1 และภาพประกอบ ค.2
- ข. เปิดโปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows"

ค. เปิดโปรแกรม ชื่อ "Test87.vi" จากไดเรกทอรี "c:\thesis" กดปุ่ม "run" โปรแกรม

ง. กำหนดเปอร์เซ็นต์พิกอัป 15 เปอร์เซ็นต์ และกำหนดช่องสัญญาณ แอนะล็อกด้านเข้า 0 และ 1 เป็นสัญญาณสมนัยกับแรงดันและกระแสตามลำดับ

จ. ป้อนสัญญาณไซน์ขนาด $1/0^{\circ}$ V ที่ช่องสัญญาณ 0 และ 1 ของแผง ขั้วต่อสาย

ฉ. ปรับเปลี่ยนค่าของขนาดและมุมเฟสตามตาราง 2.4 และบันทึกผลการ ทดสอบ

2.4.2 ผลการทดสอบ

ตาราง 2.4 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์ดังที่

หัวข้อที่	$I_{a1}(A)$	$I_{a2}(A)$	$I_{b1}(A)$	$I_{b2}(A)$	$I_{c1}(A)$	$I_{c2}(A)$	$(I_{a0}/I_{ar})*100\%$	$(I_{b0}/I_{br})*100\%$	$(I_{c0}/I_{cr})*100\%$	สถานะรีเลย์
1	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	0	0	0	ไม่ทริป
2	1.1739/ <u>-30</u> ⁰	0	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	200	0	0	ทริปทันทีทันใด
3	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	1.1739/ <u>150</u> ⁰	0	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	0	200	0	ทริปทันทีทันใด
4	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	1.1739/ <u>30</u> ⁰	0	0	0	200	ทริปทันทีทันใด
5	0.9073/ <u>-30</u> ⁰	0	0.9073/ <u>150</u> ⁰	0	0.9073/ <u>30</u> ⁰	0	200	200	200	ทริปทันทีทันใด
6	0.6778/ <u>-120</u> ⁰	0	0.6778/ <u>120</u> ⁰	0	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	200	200	0	ทริปทันทีทันใด
7	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.6778/ <u>180</u> ⁰	0	0.6778/ <u>0</u> ⁰	0	0	200	200	ทริปทันทีทันใด
8	0.6778/ <u>-60</u> ⁰	0	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	0.6778/ <u>60</u> ⁰	0	200	0	200	ทริปทันทีทันใด
9	1.1439/ <u>-106.62</u> ⁰	0	1.1439/ <u>166.62</u> ⁰	0	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	200	200	0	ทริปทันทีทันใด
10	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	1.1439/ <u>133.38</u> ⁰	0	1.1439/ <u>46.62</u> ⁰	0	0	200	200	ทริปทันทีทันใด
11	1.1439/ <u>-73.38</u> ⁰	0	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	1.1439/ <u>13.38</u> ⁰	0	200	0	200	ทริปทันทีทันใด

2.5 การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่ (fixed percentage ground differential programmable relay)

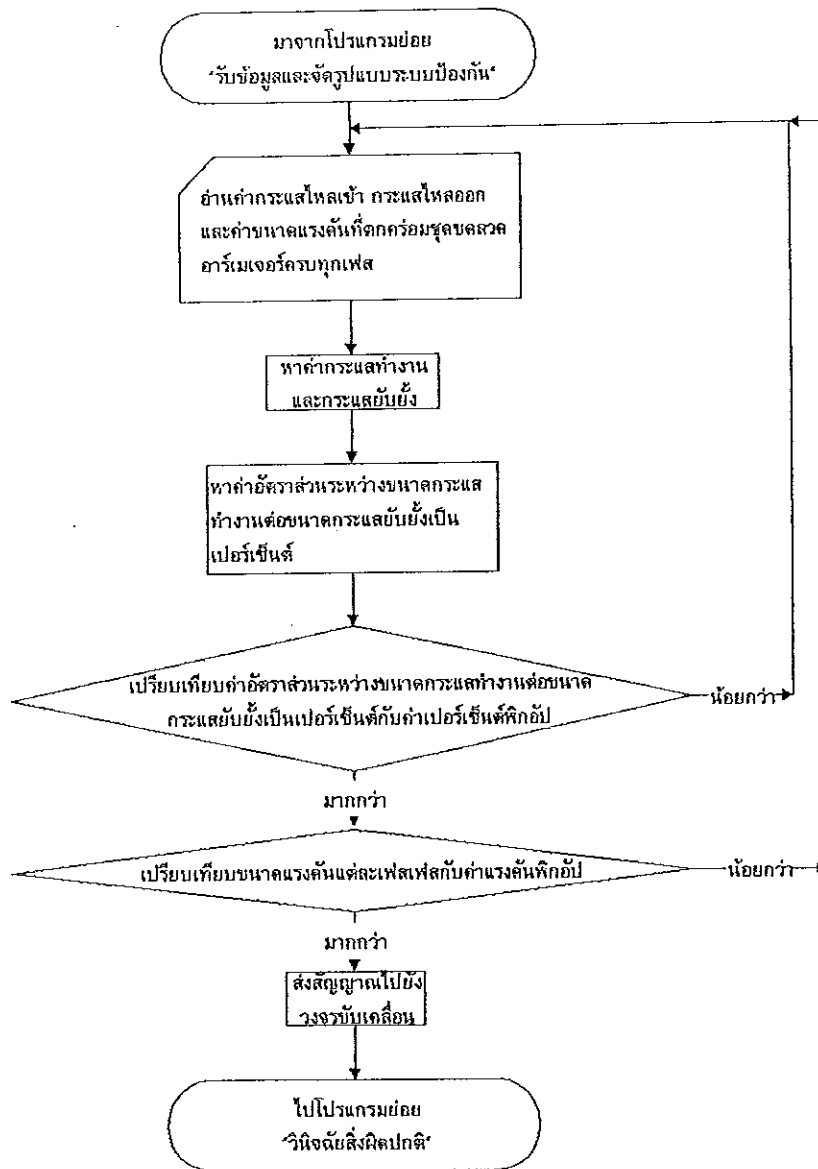
รีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่ (fixed percentage ground differential relay) ใช้ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีพิกัดกำลังผลิตมากกว่า 12,500 kVA (ANSI/IEEE, 1992) มีลักษณะการทำงานพื้นฐานเหมือนกับรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่ คือ เป็นการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างกระแสทำงานและกระแสยับยั้งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ กระแสทำงานได้มาจากผลรวมของกระแสทำงานในแต่ละเฟสของขดลวดอาร์เมเจอร์ และกระแสยับยั้งได้จากผลรวมของกระแสทั้ง 3 เฟสที่ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ ถ้าค่าอัตราส่วนระหว่างขนาดกระแสทำงานต่อกระแสยับยั้งเป็นเปอร์เซ็นต์ที่คำนวณได้มากกว่าค่าพิกัด (ANSI/IEEE, 1992; Blackburn, 1976) รีเลย์ป้องกันจะส่งสัญญาณไปยังวงจรรับเคลื่อนเพื่อปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบกำลังไฟฟ้า ซึ่งสมการสำหรับหาค่ากระแสทำงาน สมการสำหรับหาค่ากระแสยับยั้งและค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสทำงานต่อกระแสยับยั้งเป็นเปอร์เซ็นต์คำนวณได้จากสมการ 2.9, 2.10 และ 2.11 และเพื่อเป็นการแยกแยะการทำงานระหว่างรีเลย์ป้องกันแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่กับรีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่ โปรแกรมรีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่จึงต้องมีการตรวจสอบค่าแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดอาร์เมเจอร์ ซึ่งถ้าเกิดการลัดวงจรลงดินที่ขดลวดเฟสใด ค่าแรงดันเฟสนั้นจะมีค่าเป็นศูนย์

$$I'_o = I'_{ao} + I'_{bo} + I'_{co} \quad (2.9)$$

$$I'_r = I'_a + I'_b + I'_c \quad (2.10)$$

$$\text{ค่าอัตราส่วนระหว่างกระแสทำงานต่อกระแสยับยั้งเป็นเปอร์เซ็นต์} = \frac{I'_o}{I'_r} \times 100 \quad (2.11)$$

จากลักษณะการทำงานของรีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่ สามารถนำมาพัฒนาให้เป็นโปรแกรมได้ โดยมีลักษณะแผนภูมิการทำงานดังภาพประกอบ 2.16



ภาพประกอบ 2.16 แผนภูมิการทำงานโปรแกรมรีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่

2.5.1 การทดสอบ

2.5.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- | | | |
|---|---|---------|
| ก. เครื่องกำเนิดสัญญาณ | 1 | เครื่อง |
| ข. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
พร้อมวงจรแปลงผันสัญญาณ | 1 | ชุด |
| ค. โปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows" รุ่นปรับปรุงที่ 4 | 1 | โปรแกรม |
| ง. โปรแกรม ชื่อ "Test87G.vi" | 1 | โปรแกรม |

2.5.1.2 วิธีการทดสอบ

- ก. ต่อบางจรตามภาพประกอบ ค.1 และภาพประกอบ ค.2
- ข. เปิดโปรแกรม ชื่อ “LabVIEW for Windows”
- ค. เปิดโปรแกรม ชื่อ “Test87G.vi” จากไดเรกทอรี “c:\thesis” กดปุ่ม “run” โปรแกรม
 - ง. กำหนดเปอร์เซ็นต์พิกอัป 10 เปอร์เซ็นต์ และกำหนดช่องสัญญาณแอนะล็อกด้านเข้า 0 และ 1 เป็นสัญญาณสมนัยกับแรงดันและกระแสตามลำดับ
 - จ. ป้อนสัญญาณไซน์ขนาด $1/0^{\circ}$ V ที่ช่องสัญญาณแอนะล็อกด้านเข้า 0 และ 1 ของแผงขั้วต่อสาย
 - ฉ. ปรับเปลี่ยนค่าขนาดและมุมเฟสตามตารางที่ 2.5 และบันทึกผลการทดสอบ

2.5.2 ผลการทดสอบ

ตาราง 2.5 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่

หัวข้อที่	$V_a(V)$	$V_b(V)$	$V_c(V)$	$I_{a1}(A)$	$I_{a2}(A)$	$I_{b1}(A)$	$I_{b2}(A)$	$I_{c1}(A)$	$I_{c2}(A)$	$I_o/I_r*100\%$	สถานะรีเลย์
1	0	220	220	1.1739/ <u>-30</u> ⁰	0	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	141	ทริปทันทีทันใด
2	220	0	220	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	1.1739/ <u>150</u> ⁰	0	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	116	ทริปทันทีทันใด
3	220	220	0	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.7606/ <u>-156.87</u> ⁰	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	1.1739/ <u>30</u> ⁰	0	116	ทริปทันทีทันใด
4	0	0	0	0.9073/ <u>-30</u> ⁰	0	0.9073/ <u>150</u> ⁰	0	0.9073/ <u>30</u> ⁰	0	100	ทริปทันทีทันใด
5	75.5799	75.5799	220	0.6778/ <u>-120</u> ⁰	0	0.6778/ <u>120</u> ⁰	0	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	100	ไม่ทริป
6	220	75.5799	75.5799	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.6778/ <u>180</u> ⁰	0	0.6778/ <u>0</u> ⁰	0	0	ไม่ทริป
7	75.5799	220	75.5799	0.6778/ <u>-60</u> ⁰	0	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	0.6778/ <u>60</u> ⁰	0	120	ไม่ทริป
8	0	0	220	1.1439/ <u>-106.62</u> ⁰	0	1.1439/ <u>166.62</u> ⁰	0	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	0.13/ <u>83.13</u> ⁰	105	ทริปทันทีทันใด
9	220	0	0	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	0.13/ <u>-36.87</u> ⁰	1.1439/ <u>133.38</u> ⁰	0	1.1439/ <u>46.62</u> ⁰	0	105	ทริปทันทีทันใด
10	0	220	0	1.1439/ <u>-73.38</u> ⁰	0	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	0.13/ <u>-156.87</u> ⁰	1.1439/ <u>13.38</u> ⁰	0	105	ทริปทันทีทันใด

2.5.3 วิจารณ์ผลการทดสอบ

เนื่องจากโปรแกรมรีเลย์ป้องกันการลัดวงจรลงดินแบบผลต่างชนิดเปอร์เซ็นต์คงที่ใช้ป้องกันเฉพาะการลัดวงจรลงดินภายในเขตป้องกัน ดังนั้นสถานะรีเลย์ในหัวข้อที่ 5,6 และ 7 ไม่ทริปเนื่องจากการจำลองการเกิดสิ่งผิดปกติแบบการลัดวงจร 2 เฟสไม่ลงดินภายในเขตป้องกัน

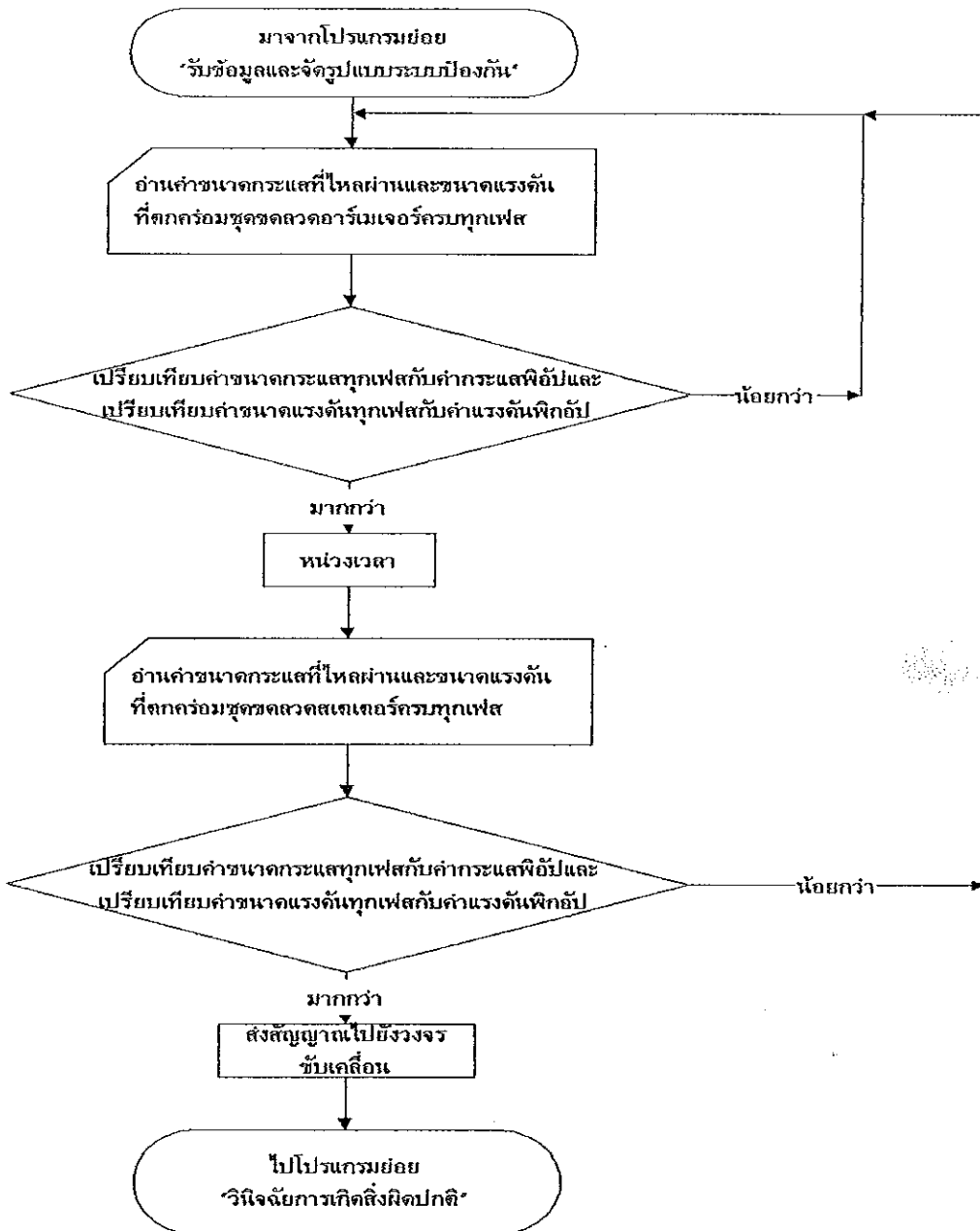
2.6 การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลา (time-delay overcurrent relay)

รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน คือ รีเลย์ป้องกันที่ทำงานเมื่อกระแสที่ไหลผ่านรีเลย์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่ากระแสพิกอ๊ป ซึ่งมี 2 ชนิด คือ รีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดฉับพลัน (instantaneous overcurrent relay) และรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลา (time-delay overcurrent relay) ซึ่งการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลานั้นขึ้นอยู่กับขนาดกระแสและแรงดัน ถ้าแรงดันที่ตกคร่อมเฟสมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 83 เปอร์เซ็นต์ของแรงดันฟิสิกัลและกระแสที่ไหลในเฟสมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับกระแสพิกอ๊ปซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.12 (ANSI/IEEE, 1992) รีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลาจะหน่วงเวลาและเวลาที่ใช้นั้นขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.13 (Warrington, 1977)

$$I_{pickup} = 1.5 \times I_{rated} \quad \text{A} \quad (2.12)$$

$$t_d = \frac{0.14}{I_f^{0.02} - 1} \quad \text{second} \quad (2.13)$$

จากลักษณะการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลา ทำให้สามารถนำมาพัฒนาให้เป็นโปรแกรมได้ โดยมีลักษณะแผนภูมิการทำงานดังภาพประกอบ 2.17



ภาพประกอบ 2.17 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลา

2.6.1 การทดสอบ

2.6.1.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

ก. เครื่องกำเนิดสัญญาณ	1	เครื่อง
ข. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ พร้อมวงจรแปลงผันสัญญาณ	1	ชุด
ค. โปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows" รุ่นปรับปรุงที่ 4	1	โปรแกรม
ง. โปรแกรม ชื่อ "Test51V.vi"	1	โปรแกรม

2.6.1.2 วิธีการทดสอบ

ก. ต่อดวงจรตามภาพประกอบ ค.1และภาพประกอบ ค.2

ข. เปิดโปรแกรม ชื่อ “LabVIEW for Windows”

ค. เปิดโปรแกรม ชื่อ “Test51V.vi” จากไดเรกทอรี “c:\thesis” กดปุ่ม “run” โปรแกรม

ง. กำหนดกระแสฟลักซ์ 0.195 A และแรงดันฟลักซ์ 182 V และกำหนดช่องสัญญาณแวนและลอกลดด้านเข้า 0 และ 1 เป็นสัญญาณสมนัยกับแรงดันและกระแสตามลำดับ

จ. ป้อนสัญญาณไซน์ขนาด $1/\sqrt{2}$ V ที่ช่องสัญญาณ 0 และ 1 ของแผงขั้วต่อสาย

ฉ. ปรับเปลี่ยนค่าขนาดแรงดันและกระแสแต่ละเฟส ตามตาราง 2.6และบันทึกผลการทดสอบ

2.6.2 ผลการทดสอบ

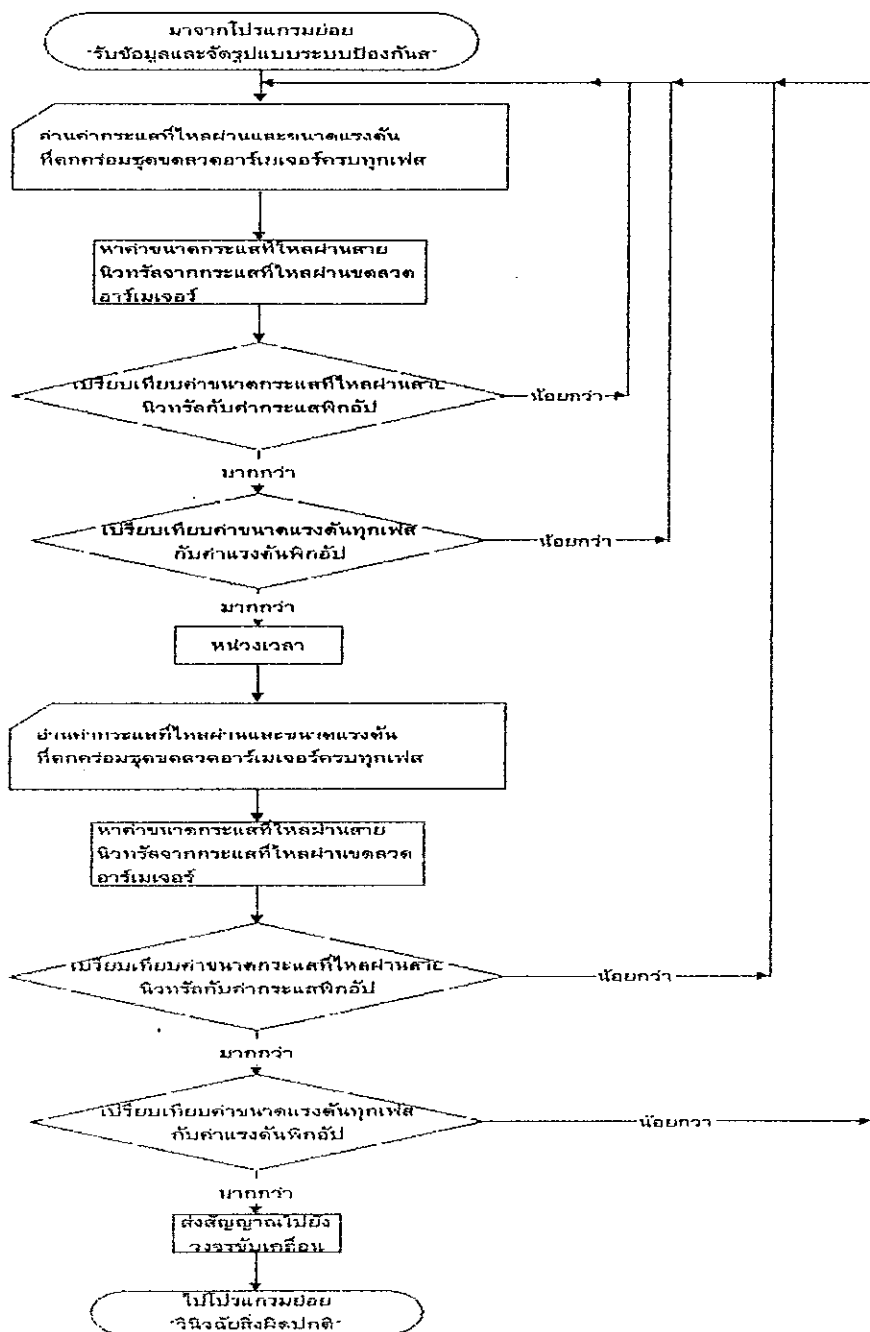
ตาราง 2.6 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลา

หัวข้อที่	$V_a(V)$	$V_b(V)$	$V_c(V)$	$I_{aI}(A)$	$I_{bI}(A)$	$I_{cI}(A)$	สถานะรีเลย์
1	220	220	220	0.13	0.13	0.13	ไม่ทริป
2	0	220	220	1.1739	0.13	0.13	ทริปหลังจาก 4วินาที
3	220	0	220	0.13	1.1739	0.13	ทริปหลังจาก 4วินาที
4	220	220	0	0.13	0.7606	1.1739	ทริปหลังจาก 4วินาที
5	0	0	220	0.9073	0.9073	0.9073	ทริปหลังจาก 5วินาที
6	75.5799	75.5799	220	0.6778	0.6778	0.13	ทริปหลังจาก 6วินาที
7	220	75.5799	75.5799	0.13	0.6778	0.6778	ทริปหลังจาก 6วินาที
8	75.5799	220	75.5799	0.6778	0.13	0.6778	ทริปหลังจาก 6วินาที
9	0	0	220	1.1439	1.1439	0.13	ทริปหลังจาก 4วินาที
10	220	0	0	0.13	1.1439	1.1439	ทริปหลังจาก 4วินาที
11	0	220	0	1.1439	0.13	1.1439	ทริปหลังจาก 4วินาที

2.7 การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลา (ground time-delay overcurrent programmable relay)

รีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลา มีลักษณะการทำงานเหมือนกับรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดหน่วงเวลา เมื่อกระแสที่ไหลผ่านสายนิวทรัลมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ

กระแสฟลักซ์และแรงดันที่ตกคร่อมในเฟสมีค่าไต่กว่าหรือเท่ากับแรงดันฟลักซ์ (ANSI/IEEE. 1992) รีเลย์ป้องกันกระแสเกินลงดินชนิดหนึ่งเวลาจะหนึ่งเวลาและเวลาที่ใช้หนึ่งอยู่ กับขนาดของกระแสที่ไหลผ่านสายนิวทรัล ดังสมการที่ 2.13 จากลักษณะการทำงานของ โปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินลงดินชนิดหนึ่งเวลา สามารถนำมาพัฒนาให้เป็นโปรแกรมได้ โดยมีลักษณะแผนภูมิการทำงานดังภาพประกอบ 2.18



ภาพประกอบ 2.18 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินลงดินชนิดหนึ่งเวลา

2.7.1 การทดสอบ

2.7.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- ก. เครื่องกำเนิดสัญญาณ 1 เครื่อง
- ข. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ พร้อมวงจรแปลงผันสัญญาณ 1 ชุด
- ค. โปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows" รุ่นปรับปรุงที่ 4 1 โปรแกรม
- ง. โปรแกรม ชื่อ "Test51G.vi" 1 โปรแกรม

2.7.1.2 วิธีการทดสอบ

- ก. ต่อดิจิตอลตามภาพประกอบ ค.1 และภาพประกอบ ค.2
- ข. เปิดโปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows"
- ค. เปิดโปรแกรม ชื่อ "Test51G.vi" จากไดเรกทอรี "c:\thesis" กดปุ่ม "run" โปรแกรม
- ง. กำหนดกระแสฟิสิกส์ 0.195 A และแรงดันฟิสิกส์ 44 V และกำหนดช่องสัญญาณแอนะล็อกด้านเข้า 0 และ 1 เป็นสัญญาณสมนัยกับแรงดันและกระแสตามลำดับ
- จ. ป้อนสัญญาณไซน์ขนาด $1/0^0$ V ที่ช่องสัญญาณ 0 และ 1 ของแผงหัวต่อสาย
- ฉ. ปรับเปลี่ยนค่าของขนาดและมุมเฟสของกระแส และค่าขนาดของแรงดันแต่ละเฟส ตามตาราง 2.7 และบันทึกผลการทดสอบ

2.7.2 ผลการทดสอบ

ตาราง 2.7 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินลงดินชนิดหน่วงเวลา

หัวข้อที่	$V_a(V)$	$V_b(V)$	$V_c(V)$	$I_{a1}(A)$	$I_{b1}(A)$	$I_{c1}(A)$	สถานะรีเลย์
1	220	220	220	$0.13/-36.87^0$	$0.13/-156.87^0$	$0.13/83.13^0$	ไม่ทริป
2	0	220	220	$1.1739/-30^0$	$0.13/-156.87^0$	$0.13/83.13^0$	ทริปหลังจาก 2วินาที
3	220	0	220	$0.13/-36.87^0$	$1.1739/150^0$	$0.13/83.13^0$	ทริปหลังจาก 2วินาที
4	220	220	0	$0.13/-36.87^0$	$0.7606/-156.87^0$	$1.1739/30^0$	ทริปหลังจาก 2วินาที
5	0	0	220	$0.9073/-30^0$	$0.9073/150^0$	$0.9073/30^0$	ทริปหลังจาก 2วินาที
6	75.5799	75.5799	220	$0.6778/-120^0$	$0.6778/120^0$	$0.13/83.13^0$	ไม่ทริป
7	220	75.5799	75.5799	$0.13/-36.87^0$	$0.6778/180^0$	$0.6778/0^0$	ไม่ทริป
8	75.5799	220	75.5799	$0.6778/-60^0$	$0.13/-156.87^0$	$0.6778/60^0$	ไม่ทริป
9	0	0	220	$1.1439/-106.62^0$	$1.1439/166.62^0$	$0.13/83.13^0$	ทริปหลังจาก 2วินาที

10	220	0	0	0.13/-36.87 ^o	1.1439/133.38 ^o	1.1439/46.62 ^o	ทริปหลังจาก 2วินาที
11	0	220	0	1.1439/-73.38 ^o	0.13/-156.87 ^o	1.1439/13.38 ^o	ทริปหลังจาก 2วินาที

2.7.3 วิจารณ์ผลการทดสอบ

2.7.3.1 ผลการทดสอบในหัวข้อที่ 6,7และ8 สถานะของรีเลย์ไม่ทริป เพราะเป็นการจำลองเกิดสิ่งผิดปกติแบบ 2 เฟสลัดวงจรไม่ลงดินภายนอกเขตป้องกัน ซึ่งมีผลให้แรงดันที่ตกคร่อมเฟสมีค่าไม่ต่ำกว่าหรือเท่ากับแรงดันฟิโก๊ป

2.7.3.2 เนื่องจากสามารถเฝ้าค่ากระแสที่ไหลผ่านขดลวดคเตอร์ทั้ง 3 เฟสมาหาค่ากระแสที่ไหลผ่านสายนิวทรัลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ จึงไม่จำเป็นต้องเพิ่มวงจรตรวจรู้กระแสตรงตำแหน่งนิวทรัล

2.8 การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับ (reverse power programmable relay)

รีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับใช้ป้องกันตัวต้นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยจะตรวจวัดกำลังไฟฟ้าทั้งหมด(Blackburn, 1976)ที่ไหลย้อนจากระบบเข้าสู่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ถ้ากำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ไหลย้อนกลับมากกว่าหรือเท่ากับค่าฟิโก๊ป รีเลย์ป้องกันจะหน่วงเวลา 10 วินาทีและจะตรวจวัดกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ไหลย้อนกลับใหม่อีกครั้งหนึ่ง ถ้ามากกว่าหรือเท่ากับค่าฟิโก๊ป รีเลย์ป้องกันจะส่งสัญญาณไปยังตัวขับเคลื่อนเพื่อปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบกำลังไฟฟ้า ปริมาณกำลังไหลย้อนกลับที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายขึ้นอยู่กับชนิดของตัวต้นกำลัง(ANSI/IEEE, 1992) ในการป้องกันกำลังไหลย้อนกลับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องตรวจวัดทั้งแรงดันที่ตกคร่อมและกระแสที่ไหลผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์ทั้ง 3 เฟส และนำเอาค่าแรงดันและกระแสที่ตรวจวัดได้ทั้งขนาดและมุมเฟสมาคำนวณหากำลังไหลย้อนกลับ ได้จากสมการ 2.14

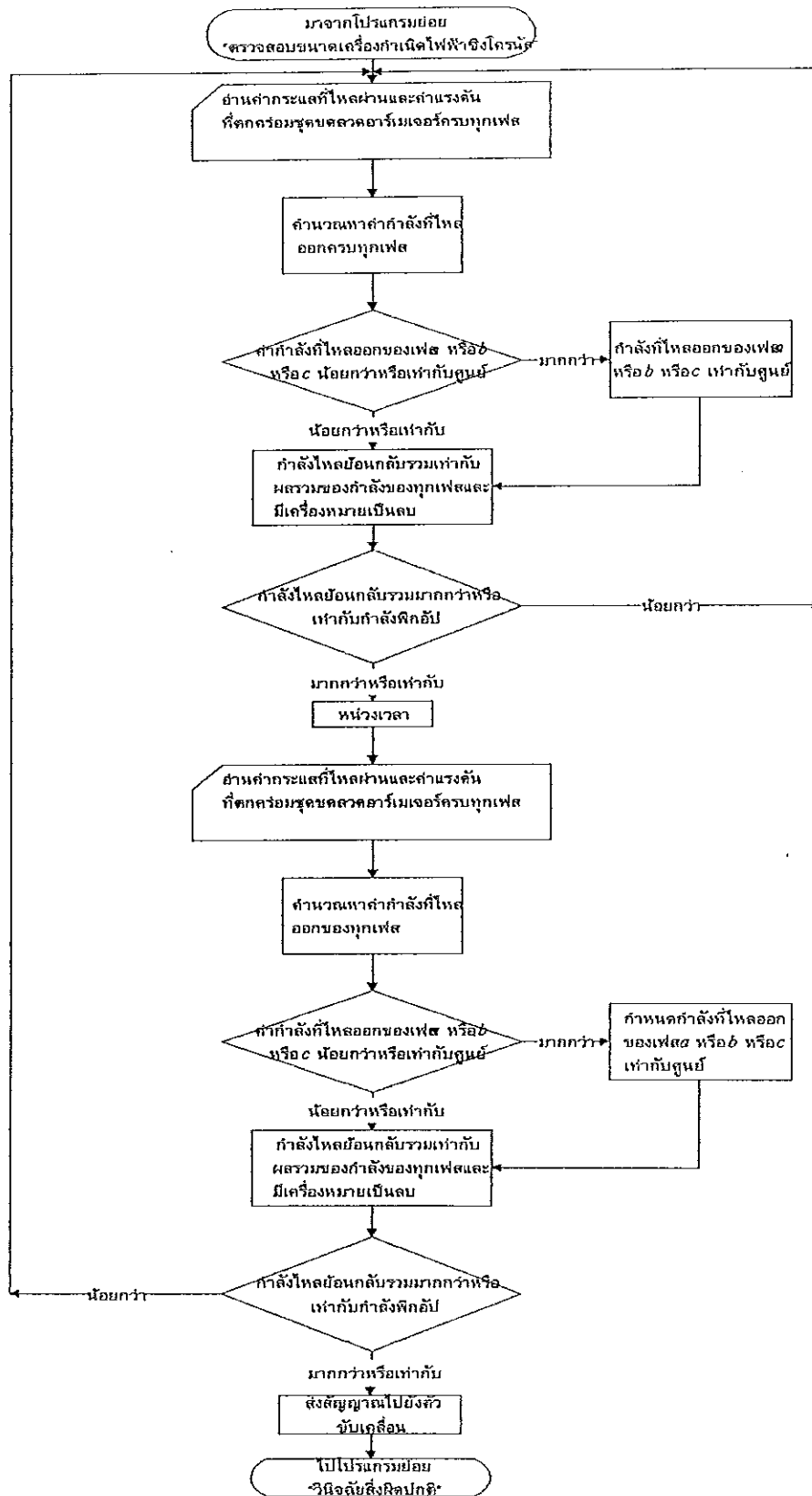
$$P_{1-\phi} = V_a I_a \cos(\theta - \phi) \quad (2.14)$$

ตาราง 2.8 ค่าเปอร์เซ็นต์ของกำลังไหลย้อนกลับ

ชนิดของตัวต้นกำลัง	เปอร์เซ็นต์ของพิกัดกำลังผลิต(%)
กังหันไอน้ำ(steam turbine)	3
กังหันน้ำ(water wheel turbine)	0.20
กังหันแก๊ส(gas turbine)	50
เครื่องยนต์ดีเซล(diesel engine)	25

ที่มา: ANSI/IEEE, 1992

จากลักษณะการทำงานของรีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับ สามารถนำมาพัฒนาให้เป็นโปรแกรมได้ โดยมีลักษณะแผนภูมิการทำงานดังภาพประกอบ 2.19



ภาพประกอบ 2.19 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับ

2.8.1 การทดสอบ

2.8.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- ก. เครื่องกำเนิดสัญญาณ 1 เครื่อง
- ข. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 1 ชุด
พร้อมวงจรแปลงผันสัญญาณ
- ค. โปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows" รุ่นปรับปรุงที่ 4 1 โปรแกรม
- ง. โปรแกรม ชื่อ "Test32.vi" 1 โปรแกรม

2.8.1.2 วิธีการทดสอบ

- ก. ต่อดวงจรตามภาพประกอบ ก.1 และภาพประกอบ ก.2
- ข. เปิดโปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows"
- ค. เปิดโปรแกรม ชื่อ "Test32.vi" จากไดเรกทอรี "c:\thesis" กดปุ่ม "run"

โปรแกรม

ง. กำหนดค่าพิกัดกำลังไหลย้อนกลับ 22.5 W และเวลาหน่วง 10 วินาที และกำหนดช่องสัญญาณแอนะล็อกด้านเข้า 0 และ 1 เป็นสัญญาณสมนัยกับแรงดันและกระแสตามลำดับ

จ. ป้อนสัญญาณไซน์ขนาด $1/0^\circ$ V ที่ช่องสัญญาณ 0 และ 1 ของแผงขั้วต่อสาย

ฉ. ปรับเปลี่ยนค่าของขนาดและมุมเฟสของแรงดันและกระแสแต่ละเฟสตามตาราง 2.9 และบันทึกผลการทดสอบ

2.8.2 ผลการทดสอบ

ตาราง 2.9 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับ

หัวข้อที่	V_a (V)	V_b (V)	V_c (V)	I_{a1} (A)	I_{b1} (A)	I_{c1} (A)	กำลังไฟฟ้า ไหลย้อนกลับ (W)	สถานะ รีเลย์
1	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.13/-36.87^\circ$	$0.13/-156.87^\circ$	$0.13/83.13^\circ$	0	ไม่ทริป
2	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.13/45^\circ$	$0.13/-156.87^\circ$	$0.13/83.13^\circ$	0	ไม่ทริป
3	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.13/-45^\circ$	$0.13/-156.87^\circ$	$0.13/83.13^\circ$	0	ไม่ทริป
4	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.13/120^\circ$	$0.13/-156.87^\circ$	$0.13/83.13^\circ$	43.3463	ทริป
5	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.13/110^\circ$	$0.13/-156.87^\circ$	$0.13/83.13^\circ$	29.8463	ทริป
6	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.13/-110^\circ$	$0.13/-156.87^\circ$	$0.13/83.13^\circ$	29.8463	ทริป
7	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.13/-36.87^\circ$	$0.13/-135^\circ$	$0.13/83.13^\circ$	0	ไม่ทริป

8	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/-36.87°	0.13/-90°	0.13/83.13°	0	ไม่ทริ
9	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/-36.87°	0.13/180°	0.13/83.13°	0	ไม่ทริ
10	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/-36.87°	0.13/-10°	0.13/83.13°	28.8691	ทริ
11	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/-36.87°	0.13/45°	0.13/83.13°	83.1375	ทริ
12	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/-36.87°	0.13/145°	0.13/83.13°	7.0313	ไม่ทริ
13	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/90°	0.13/-156.87°	0.13/-150°	0.9900	ไม่ทริ
14	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/-36.87°	0.13/-156.87°	0.13/-60°	85.9500	ทริ
15	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/-36.87°	0.13/-156.87°	0.13/-45°	82.8675	ทริ
16	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/-36.87°	0.13/-156.87°	0.13/90°	0	ไม่ทริ
17	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/110°	0.13/145°	0.13/83.13°	36.8438	ทริ
18	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/-36.87°	0.13/145°	0.13/-145°	14.9738	ไม่ทริ
19	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/90°	0.0855/105°	0.13/-150°	40.1738	ทริ
20	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/90°	0.13/10°	0.0855/-180°	54.8888	ทริ
21	220/0°	220/-120°	220/120°	0.13/120°	0.13/-90°	0.13/0°	85.9050	ทริ

2.8.3 วิจัยารณผลการทดสอบ

สถานะรีเลย์จะทริปได้เมื่อกำลังไฟฟ้าที่ไหลย้อนกลับมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับกำลังฟิคอัป ดังนั้นหัวข้อที่ 12,13 และ 18 สถานะรีเลย์ไม่ทริป เพราะ เป็นการจำลองการเกิดสภาวะที่ กำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับแต่มีค่ากำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับไม่มากกว่าหรือเท่ากับค่ากำลังฟิคอัป

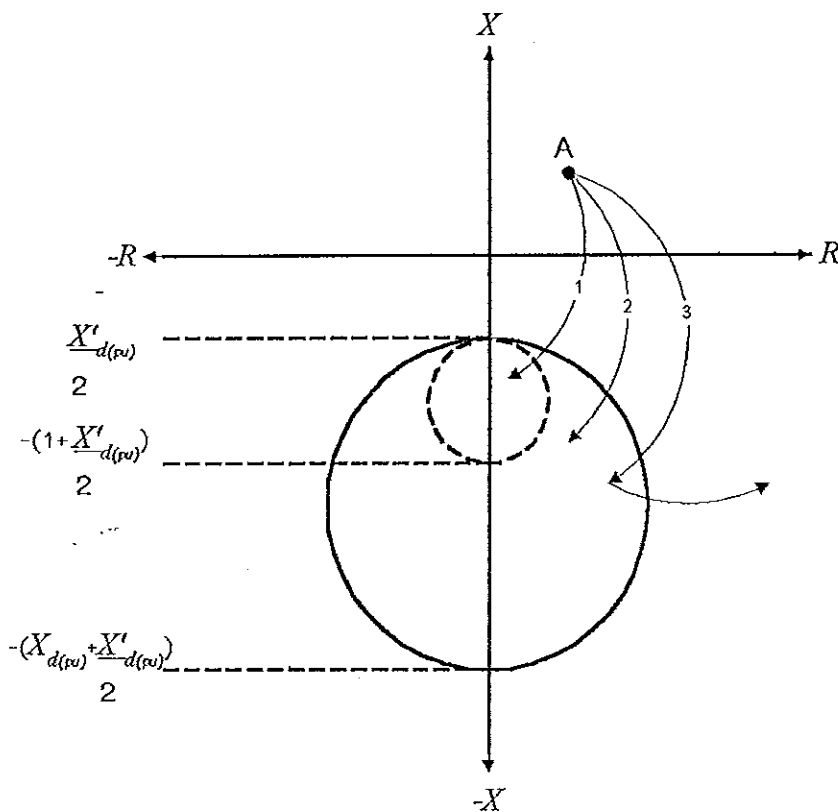
2.9 การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันการสูญเสียสนาม (loss of field programmable relay)

รีเลย์ป้องกันการสูญเสียสนาม เป็นรีเลย์ป้องกันแบบรีเลย์อิมพีแดนซ์ ซึ่งใช้ป้องกันการสูญเสียสนามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อมีการสูญเสียสนามในโรเตอร์เป็นผลให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำเป็นผลทำให้เกิดความร้อนเกินในโรเตอร์ (ANSI/IEEE, 1992)

รีเลย์ป้องกันการสูญเสียสนามใช้หลักการวัดค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏแต่ละเฟสในรูปต่อหน่วย(per unit)ซึ่งจะใช้ค่าแรงดันและกระแสในเฟส a,b และ c มาคำนวณหาอิมพีแดนซ์ปรากฏ ดังสมการ 2.15

$$Z_{pu} = \frac{V_{pu}}{I_{pu}} \quad (2.15)$$

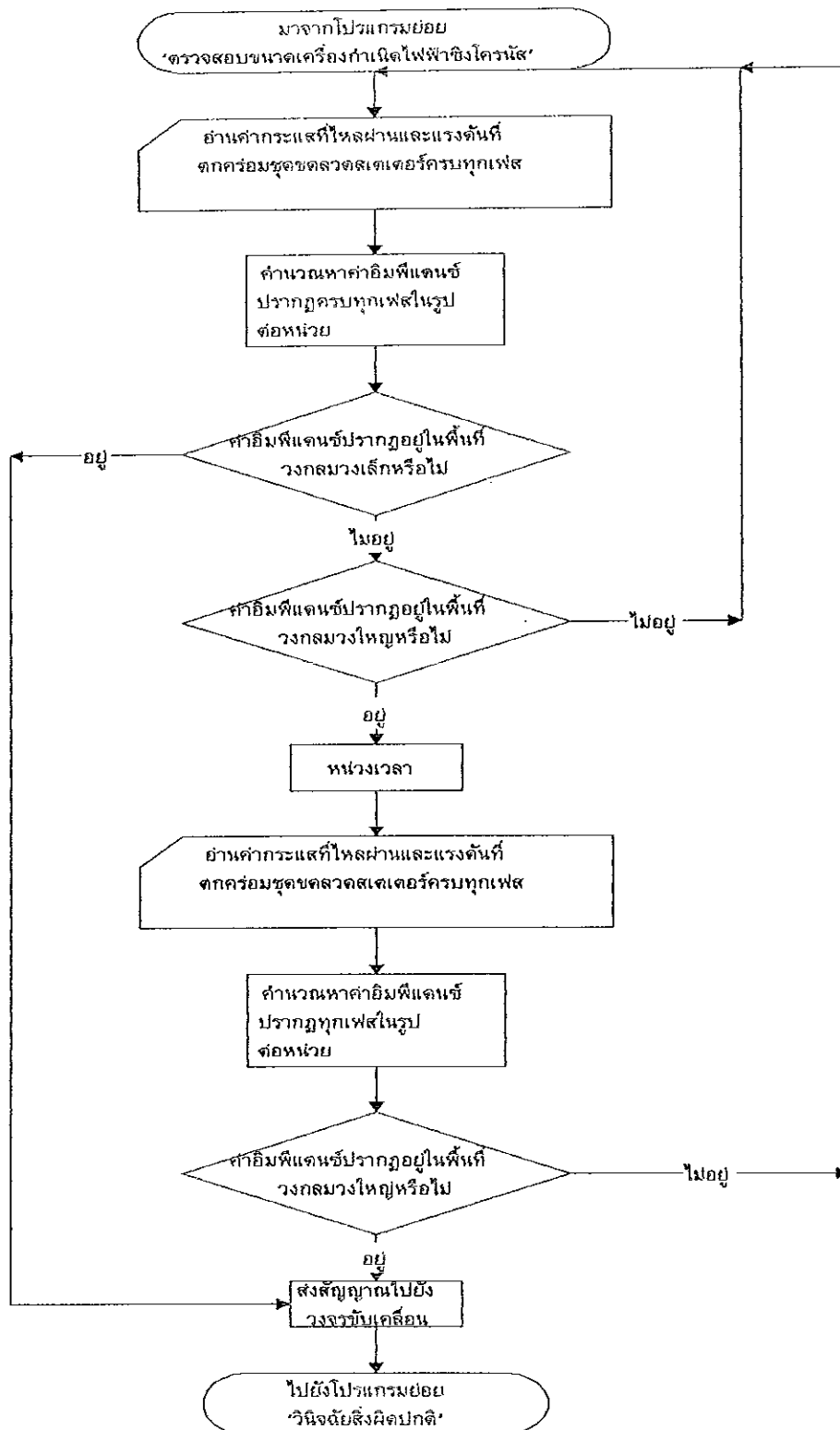
ในการป้องกันการสูญเสียสนามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะใช้แผนภาพ $R-X$ เพื่ออธิบาย การสูญเสียสนาม ซึ่งจะมีจุดศูนย์กลางของพื้นที่วงกลมการทำงานจะอยู่บนแกน $-X$ (ดังภาพ ประกอบ 2.20) (ANSI/IEEE, 1992) โดยใช้ค่ารีแอคแตนซ์ซิงโครนัส(synchronous reactance: $X_{d(pu)}$)และรีแอคแตนซ์ชั่วคราว(transient reactance: $X'_{d(pu)}$) ของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้ามาสร้างพื้นที่วงกลมการทำงาน จากแผนภาพ $R-X$ จะมีพื้นที่วงกลมการทำงาน 2 วง คือ พื้นที่วงกลมการทำงานวงเล็กจะมีรัศมี 0.5 pu จุดศูนย์กลางอยู่ที่จุด $\left(0, -\left(1 + \frac{X'_{d(pu)}}{2}\right)\right)$ และพื้นที่วงกลมการทำงานวงใหญ่จะมีรัศมี $\frac{X_{d(pu)}}{2}$ มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุด $\left(0, \left(X_{d(pu)} + \frac{X'_{d(pu)}}{2}\right)\right)$



ภาพประกอบ 2.20 แสดงพื้นที่การทำงานของรีเลย์ป้องกันการสูญเสียสนาม
ที่มา : ANSI/IEEE , 1992

จากภาพประกอบ 2.20 สมมุติว่าในสภาวะเริ่มต้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ กับระบบค่าหนึ่ง โดยมีค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏอยู่ที่จุด A เมื่อเกิดสภาวะการสูญเสียสนามซึ่งอาจ

เนื่องมาจากการเปิดวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ วงจรสนาม ค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏจะย้ายเข้าไปอยู่ในพื้นที่วงกลมการทำงานวงเล็ก ซึ่งในกรณีนี้รีเลย์ป้องกันจะส่งสัญญาณไปปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบกำลังไฟฟ้าทันที แต่ถ้าแรงดันกระแสตรงที่จ่ายให้กับขดลวดสนามมีค่าต่ำจะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏย้ายเข้าไปอยู่ในพื้นที่วงกลมการทำงานวงใหญ่ รีเลย์ป้องกันจะทำการหน่วงเวลา 3 วินาที เพื่อตรวจสอบค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏซ้ำว่ายังอยู่ในพื้นที่วงกลมการทำงานวงใหญ่หรือไม่ ถ้าเป็นไปตามแนวเส้นโค้งที่ 2 รีเลย์ป้องกันจะส่งสัญญาณไปปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบกำลังไฟฟ้า ถ้าเป็นไปตามแนวเส้นโค้งที่ 3 ซึ่งค่าอิมพีแดนซ์ปรากฏมีการแกว่งออกมาจากพื้นที่วงกลมการทำงานวงใหญ่ รีเลย์ป้องกันจะไม่ส่งสัญญาณไปปลดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าออกจากระบบกำลังไฟฟ้า จากลักษณะการทำงานของรีเลย์ป้องกันการสูญเสียสนาม สามารถนำมาพัฒนาให้เป็นโปรแกรม โดยมีลักษณะแผนภูมิการทำงานดังภาพประกอบ 2.21



ภาพประกอบ 2.21 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมรีเลย์ป้องกันการสูญเสียสนาม

2.9.1 การทดสอบ

2.9.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- ก. เครื่องกำเนิดสัญญาณ 1 เครื่อง
- ข. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 1 ชุด
พร้อมวงจรแปลงผันสัญญาณ
- ค. โปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows" รุ่นปรับปรุงที่ 4 1 โปรแกรม
- ง. โปรแกรม ชื่อ "Test40.vi" 1 โปรแกรม

2.9.1.2 วิธีการทดสอบ

- ก. ต่อดวงจรตามภาพประกอบ ก.1 และภาพประกอบ ก.2
- ข. เปิดโปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows"
- ค. เปิดโปรแกรม ชื่อ "Test40.vi" จากไดเรกทอรี "c:\thesis" กดปุ่ม

"run" โปรแกรม

ง. กำหนดค่ารีแอกแตนซ์เชิงโครนัส 0.9192 pu รีแอกแตนซ์ชั่วคราว 0.1884 pu และกำหนดช่องสัญญาณแอนะล็อกด้านเข้า 0 และ 1 เป็นสัญญาณสมนัยกับแรงดันและกระแสตามลำดับ

จ. ป้อนสัญญาณไซน์ขนาด $1/\sqrt{2} \text{ V}$ ที่ช่องสัญญาณ 0 และ 1 ของแผงหัวต่อสาย

ฉ. ปรับเปลี่ยนค่าของขนาดและมุมเฟสของแรงดันและกระแสแต่ละเฟสตามตาราง 2.10 และบันทึกผลการทดสอบ

2.9.2 ผลการทดสอบ

ตาราง 2.10 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันการสูญเสียสาม

หัวข้อที่	$V_a(\text{V})$	$V_b(\text{V})$	$V_c(\text{V})$	$I_{a1}(\text{A})$	$I_{b1}(\text{A})$	$I_{c1}(\text{A})$	สถานะรีเลย์
1	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.13/-36.87^\circ$	$0.13/-156.87^\circ$	$0.13/83.13^\circ$	ไม่ทริป
2	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.1709/90^\circ$	$0.13/-156.87^\circ$	$0.13/83.13^\circ$	ทริปทันทีทันใด
3	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.13/-36.87^\circ$	$0.1709/-30^\circ$	$0.13/83.13^\circ$	ทริปทันทีทันใด
4	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.13/-36.87^\circ$	$0.13/-156.87^\circ$	$0.1709/210^\circ$	ทริปทันทีทันใด
5	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.3094/90^\circ$	$0.1709/-30^\circ$	$0.1709/210^\circ$	ทริปทันทีทันใด
6	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.2393/70^\circ$	$0.13/-156.87^\circ$	$0.13/165^\circ$	ทริปทันทีทันใด
7	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.13/-36.87^\circ$	$0.2393/-60^\circ$	$0.13/165^\circ$	ทริปทันทีทันใด
8	$220/0^\circ$	$220/-120^\circ$	$220/120^\circ$	$0.13/45^\circ$	$0.13/-75^\circ$	$0.2222/185^\circ$	ทริปทันทีทันใด

2.9.3 วิจารณ์ผลการทดสอบ

เนื่องจากค่ารีแอกแตนซ์ซิงโครนัสของชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.9192 pu ซึ่งน้อยกว่า 1 pu จึงทำให้รูปแบบการป้องกันการสูญเสียของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้มีการป้องกันแบบฉบับล้วนเพียงอย่างเดียว

2.10 การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดลำดับเฟสลบ (negative phase sequence overcurrent programmable relay)

รีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดลำดับเฟสลบ คือ รีเลย์ที่ใช้ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อทำงานในสภาวะไม่สมดุลซึ่งอาจเนื่องมาจากโหลดไม่สมดุลและการเกิดสิ่งผิดปกติแบบไม่สมดุลทำให้กระแสลำดับเฟสลบสร้างกระแสความถี่คู่ (double frequency current) ขึ้นในโรเตอร์เป็นผลให้โรเตอร์เกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากความร้อนที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว กระแสลำดับเฟสลบหาได้จากสมการ 2.16 ซึ่งกระแสลำดับเฟสลบที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ายอมให้เกิดได้มีค่าเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ของกระแสเต็มพิกัด (ANSI/IEEE, 1992) รีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดลำดับเฟสลบเป็นรีเลย์แบบหน่วงเวลา เวลาที่หน่วงขึ้นอยู่กับค่าคงที่ k ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังแสดงในตาราง 2.11 และขนาดกระแสลำดับเฟสลบโดยสามารถหาได้จากสมการ 2.17

$$I_2 = \frac{1}{3} \cdot (I_a + a^2 I_b + a I_c) \quad (2.16)$$

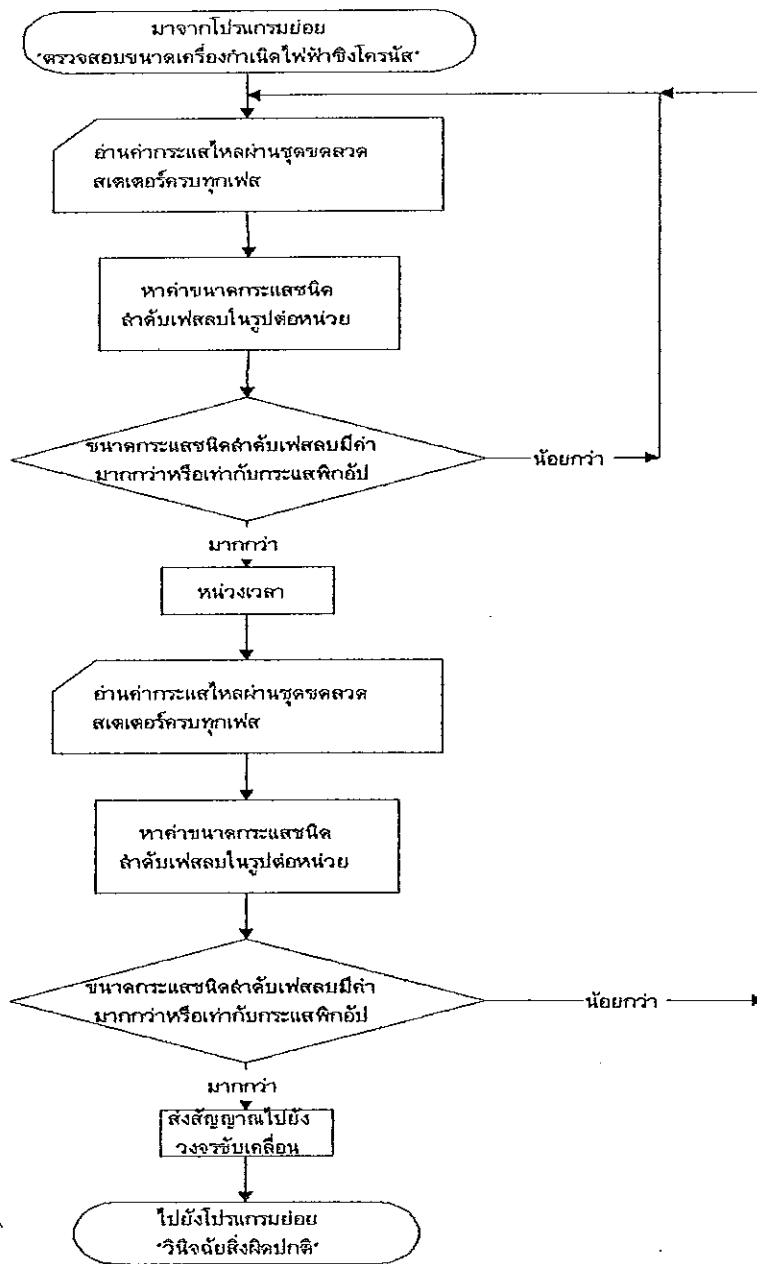
$$t_d = \frac{k}{I_{2(pv)}^2} \quad \text{second} \quad (2.17)$$

ตาราง 2.11 ค่าคงที่ k

ชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส	k
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขั้วยื่น (Salient-pole generator)	40
ซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ (Synchronous condenser)	30
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบตัวหมุนทรงกระบอก (Cylindrical-rotor generator)	
- ระบายความร้อนโดยใช้อากาศแบบโดยอ้อม (indirectly cooled (air))	30
- ระบายความร้อนโดยใช้ไฮโดรเจนแบบโดยตรง (Directly cooled (H ₂))	10

ที่มา : ANSI/IEEE, 1992

จากลักษณะการทำงานของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดลำดับเฟสลบ สามารถนำมาพัฒนาให้เป็นโปรแกรม โดยมีลักษณะแผนภูมิการทำงานดังภาพประกอบ 2.22



ภาพประกอบ 2.22 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดลำดับเฟสลบ

2.10.1 การทดสอบ

2.10.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- | | | |
|--|---|---------|
| ก. เครื่องกำเนิดสัญญาณ | 1 | เครื่อง |
| ข. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์
พร้อมวงจรแปลงผันสัญญาณ | 1 | ชุด |

- ค. โปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows" รุ่นปรับปรุงที่ 41 โปรแกรม
 ง. โปรแกรม ชื่อ "Test46.vi" 1 โปรแกรม

2.10.1.2 วิธีการทดสอบ

- ก. ต่อบางจรตามภาพประกอบ ค.1และภาพประกอบ ค.2
 ข. เปิดโปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows"
 ค. เปิดโปรแกรม ชื่อ "Test46.vi" จากไดเรกทอรี "c:\thesis" กดปุ่ม

"run" โปรแกรม

ง. กำหนดค่าพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนี้ ค่ากำลังไฟฟ้า 90 W
 แรงดัน 380 V กระแส 0.13 A

จ. กำหนดค่าคงที่ k เท่ากับ 40 และกำหนดช่องสัญญาณแอนะล็อก
 ด้านเข้า 0 และ 1 เป็นสัญญาณสมนัยกับแรงดันและกระแสตามลำดับ

ฉ. ป้อนสัญญาณไซน์ขนาด $1/0^0$ V ที่ช่องสัญญาณแอนะล็อกด้านเข้า
 0 และ 1 ของแผงขั้วต่อสาย

ช. ปรับเปลี่ยนค่าของขนาดและมุมเฟสของกระแสตามตาราง 2.12 และ
 บันทึกผลการทดสอบ

2.10.2 ผลการทดสอบ

ตาราง 2.12 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดลำดับเฟสลบ

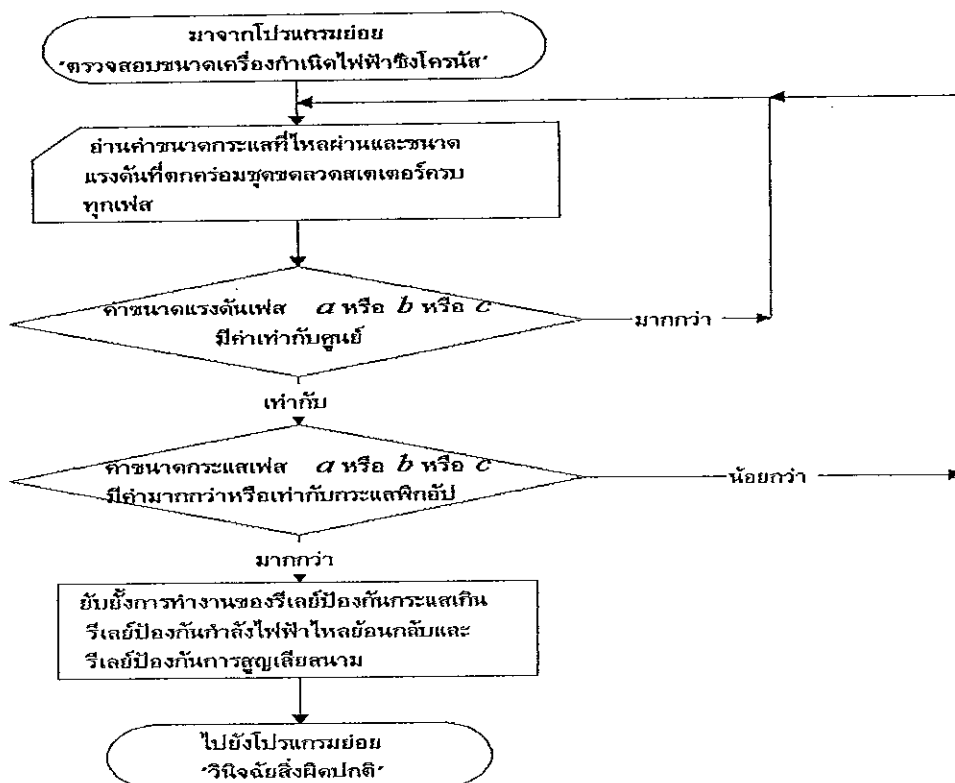
หัวข้อที่	$I_{a1}(A)$	$I_{b1}(A)$	$I_{c1}(A)$	$I_2(A)$	สถานะรีเลย์
1	$0.13/-36.87^0$	$0.13/-156.87^0$	$0.13/83.13^0$	0.0000	ไม่ทริป
2	$0/0^0$	$0.13/-156.87^0$	$0.13/83.13^0$	0.0433	ทริปหลังจาก 622 วินาที
3	$0.13/-36.87^0$	$0/0^0$	$0.13/83.13^0$	0.0433	ทริปหลังจาก 622 วินาที
4	$0.13/-36.87^0$	$0.13/-156.87^0$	$0/0^0$	0.0433	ทริปหลังจาก 622 วินาที
5	$0/0^0$	$0/0^0$	$0.13/83.13^0$	0.0433	ทริปหลังจาก 622 วินาที
6	$0/0^0$	$0.13/-156.87^0$	$0/0^0$	0.0433	ทริปหลังจาก 622 วินาที
7	$0.13/-36.87^0$	$0/0^0$	$0/0^0$	0.0433	ทริปหลังจาก 622 วินาที
8	$0.9073/-30^0$	$0.9073/150^0$	$0.9073/30^0$	0.0000	ไม่ทริป

2.10.3 วิจารณ์ผลการทดสอบ

เนื่องจากสถานะของรีเลย์ป้องกันกระแสเกินชนิดลำดับเฟสลบจะทริปได้เมื่อกระแสลำดับเฟสลบมีค่ามากกว่ากระแสฟิสิกัล ดังนั้นในหัวข้อที่ 8 สถานะรีเลย์ไม่ทริปเพราะเป็นการจำลองการเกิดสิ่งผิดปกติแบบการลัดวงจร 3 เฟส ซึ่งค่ากระแสชนิดลำดับเฟสลบที่คำนวณได้จากสมการ 2.17 มีค่าเท่ากับศูนย์

2.11 การพัฒนาและทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันแบบดุลแรงดัน (voltage balance programmable relay)

รีเลย์ป้องกันแบบดุลแรงดัน คือ รีเลย์ป้องกันที่ใช้ยับยั้งการทำงานผิดพลาดของรีเลย์ป้องกันชนิดอื่นซึ่งต้องใช้ค่าแรงดันเป็นส่วนหนึ่งในการควบคุมการทำงาน เช่น รีเลย์ป้องกันกระแสเกิน รีเลย์ป้องกันกำลังไหลย้อนกลับ รีเลย์ป้องกันการสูญเสียสาม เมื่อค่าขนาดแรงดันที่ตกคร่อมเฟสของขดลวดอาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากับศูนย์ในสถานะที่ไม่เกิดการลัดวงจรลงดินของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หมายความว่าขณะนี้วงจรตรวจรู้แรงดันทำงานผิดพลาดแล้ว ซึ่งการทำงานผิดพลาดของวงจรตรวจรู้แรงดันเนื่องมาจากการเปิดวงจรทางด้านขดลวดปฐมภูมิหรือขดลวดทุติยภูมิ (ANSI/IEEE, 1992) จากลักษณะการทำงานของรีเลย์ป้องกันแบบดุลแรงดันสามารถนำมาพัฒนาให้เป็นโปรแกรมโดยมีลักษณะแผนภูมิการทำงาน ดังภาพประกอบ 2.23



ภาพประกอบ 2.23 แผนภูมิการทำงานของโปรแกรมรีเลย์ป้องกันแบบดุลแรงดัน

2.11.1 การทดสอบ

2.11.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- ก. เครื่องกำเนิดสัญญาณ 1 เครื่อง
- ข. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 1 ชุด
พร้อมวงจรแปลงผันสัญญาณ
- ค. โปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows" รุ่นปรับปรุงที่ 41 โปรแกรม
- ง. โปรแกรม ชื่อ "Test60.vi" 1 โปรแกรม

2.11.1.2 วิธีการทดสอบ

- ก. ต่อดวงจรตามภาพประกอบ ก.1 และภาพประกอบ ก.2
- ข. เปิดโปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows"
- ค. เปิดโปรแกรม ชื่อ "Test60.vi" จากไดเรกทอรี "c:\thesis" กดปุ่ม
"run" โปรแกรม
- ง. กำหนดแรงดันพิกอัมป์ 0 V และกระแสพิกอัมป์ 0.195 A และ
กำหนดช่องสัญญาณแอนะล็อกด้านเข้า 0 และ 1 เป็นสัญญาณสมนัยกับแรงดันและกระแสตาม
ลำดับ ป้อนสัญญาณขนาด $1/0^0$ V ที่ช่องสัญญาณ 0 และ 1 ของแผงขั้วต่อสาย
- จ. ปรับเปลี่ยนค่าของขนาดของแรงดันและกระแสแต่ละเฟสตามตาราง

2.11 และบันทึกผลการทดสอบ

2.11.2 ผลการทดสอบ

ตาราง 2.13 ผลการทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันแบบคูลแรงดัน

หัวข้อที่	$V_a(V)$	$V_b(V)$	$V_c(V)$	$I_{aI}(A)$	$I_{bI}(A)$	$I_{cI}(A)$	สถานะรีเลย์
1	220	220	220	0.13	0.13	0.13	ไม่ยับยั้ง
2	0	220	220	0.13	0.13	0.13	ยับยั้ง
3	220	0	220	0.13	0.13	0.13	ยับยั้ง
4	220	220	0	0.13	0.13	0.13	ยับยั้ง
5	0	0	220	0.13	0.13	0.13	ยับยั้ง
6	220	0	0	0.13	0.13	0.13	ยับยั้ง
7	0	220	0	0.13	0.13	0.13	ยับยั้ง
8	0	0	0	0.13	0.13	0.13	ยับยั้ง
9	0	1.1739	220	0.13	220	0.13	ไม่ยับยั้ง
10	220	0.13	0	1.1739	220	0.13	ไม่ยับยั้ง
11	220	0.13	220	0.7606	0	1.1739	ไม่ยับยั้ง

12	0	0.9073	0	0.9073	220	0.9073	ไม่ยับยั้ง
13	75.5799	0.6778	75.5799	0.6778	220	0.13	ไม่ยับยั้ง
14	220	0.13	75.5799	0.6778	75.5799	0.6778	ไม่ยับยั้ง
15	75.5799	0.6778	220	0.13	75.5799	0.6778	ไม่ยับยั้ง
16	0	1.1439	0	1.1439	220	0.13	ไม่ยับยั้ง
17	220	0.13	0	1.1439	0	1.1439	ไม่ยับยั้ง
18	0	1.1439	220	0.13	0	1.1439	ไม่ยับยั้ง

2.12 การทดสอบระบบป้องกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์ผิดปกติ

ระบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ การนำเอาโปรแกรมรีเลย์ป้องกันทุกชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามารวมอยู่ในโปรแกรมเดียวกัน โดยการทำให้โปรแกรมรีเลย์ป้องกันแต่ละชนิดอยู่ในรูปโปรแกรมน้อย

วิธีการทดสอบระบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์ใช้วิธีการกำหนดค่าแรงดันและกระแสที่สมนัยกับสภาวะที่เกิดสิ่งผิดปกติ เช่น การลัดวงจร 1 เฟสลงดิน การลัดวงจร 2 เฟสไม่ลงดิน การลัดวงจร 2 เฟสลงดิน การลัดวงจร 3 เฟสซึ่งมีค่าแรงดันและกระแสซึ่งได้อธิบายในภาคผนวก ข.

2.12.1 วิธีการทดสอบ

2.12.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- ก. เครื่องกำเนิดสัญญาณ 1 เครื่อง
- ข. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ 1 ชุด
พร้อมวงจรแปลงผันสัญญาณ
- ค. โปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows" รุ่นปรับปรุงที่ 4 1 โปรแกรม
- ง. โปรแกรม ชื่อ "Simgen.vi" 1 โปรแกรม

2.12.1.2 วิธีการทดสอบ

- ก. ต่อวงจรตามภาพประกอบ ก.1 และภาพประกอบ ก.2
- ข. เปิดโปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows"
- ค. เปิดโปรแกรม ชื่อ "Simgen.vi" จากไดเรกทอรี "thesis"
- ง. กำหนดพิกัดต่าง ๆ คือ กำลังผลิต 90 W แรงดัน 380 V กระแส 0.13 A ตัวประกอบกำลัง 0.8 แบบล้าหลัง รีแอกแตนซ์ซิงโครนัส 0.9192 pu รีแอกแตนซ์ชั่วคราว 0.1884 pu รีแอกแตนซ์ชั่วคราว 0.1040 pu ชนิดของโรเตอร์แบบขั้วยื่น และชนิดของตัวต้นกำลังแบบกึ่งหันแก๊ส

จ. และกำหนดช่องสัญญาณแอนะล็อกด้านเข้า 0 และ 1 เป็นสัญญาณ
สมนัยกับแรงดันและกระแสตามลำดับ ป้อนสัญญาณไซน์ขนาด $1/0^0$ V ที่ช่องสัญญาณ 0
และ 1 ของแผงขั้วต่อสาย

ฉ. เลือกกรณีข้อมูลเป็นกรณีที่ 0 (ตามตารางภาคผนวก ง.)

ช. กดปุ่ม "run" โปรแกรม "Simgen.vi" และบันทึกผลการทดสอบลง

ในตาราง 2.14

ซ. ทำซ้ำในข้อ ฉ. และ ช. โดยเลือกกรณีที่ 1, 2, 3 และ 4... ตามลำดับ

2.12.2 ผลการทดสอบ

ตาราง 2.14 ผลการทดสอบระบบป้องกันของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีจำลองเหตุการณ์

ผิดปกติ

หัวข้อที่	87	87G	51V	51G	32	40	46	60	การวินิจฉัย
1									Non fault
2	X						X		Internal phase a to ground fault
3	X						X		Internal phase b to ground fault
4	X						X		Internal phase c to ground fault
5	X								Internal 3 phase to ground fault
6	X						X		Internal phase a and b fault
7	X						X		Internal phase b and c fault
8	X						X		Internal phase a and c fault
9	X						X		Internal phase a and b to ground fault
10	X						X		Internal phase b and c to ground fault
11	X						X		Internal phase a and c to ground fault
12			X	X			X		External phase a to ground fault
13			X	X			X		External phase b to ground fault
14			X	X			X		External phase c to ground fault
15			X		X	X	X		External phase a and b fault
16			X				X		External phase a and c fault
17			X		X		X		External phase b and c fault
18			X	X			X		External phase a and b to ground fault

19			X	X			X		External phase b and c to ground fault
20			X	X			X		External phase a and c to ground fault
21			X	X			X		External 3 phase to ground fault
22							X		Unbalance current fault
23							X		Unbalance current fault
24							X		Unbalance current fault
25							X		Unbalance current fault
26							X		Unbalance current fault
27							X		Unbalance current fault
28						X			Loss of field fault
29					X		X		Reverse power
30					X		X		Reverse power
31					X		X		Reverse power
32					X		X		Reverse power
33								X	Open circuit phase a of PT
34								X	Open circuit phase b of PT
35								X	Open circuit phase c of PT
36								X	Open circuit 3 phase of PT

X = สถานะการทำงานของรีเลย์สังหาริป

2.13 การทดสอบระบบป้องกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจริง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งนำมาใช้ทดสอบกับระบบป้องกันนี้เป็นชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของบริษัท ELWE ซึ่งมีพิกัดกำลังผลิต 90 W แรงดัน 380 V กระแส 0.13 A ตัวประกอบกำลัง 0.8 แบบล้าหลัง

2.13.1 วิธีการทดสอบ

2.13.1.1 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- | | | |
|---|---|-----|
| ก. เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ | 1 | ชุด |
| พร้อมวงจรแปลงผันสัญญาณ | | |
| ข. ชุดวงจรตรวจรู้กระแสที่ไม่มีตัวแบ่งแรงดัน | 3 | ชุด |

ค. ชุดวงจรตรวจรู้กระแสที่มีตัวแบ่งแรงดัน	3	ชุด
ง. หม้อแปลงแรงดัน อัตราส่วน 100:1	3	ชุด
จ. หม้อแปลงแรงดัน อัตราส่วน 220:220	3	ชุด
ฉ. ชุดตัดตอนสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส	1	ชุด
ช. ชุดตัดตอนสำหรับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง	1	ชุด
ซ. ชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส พร้อมชุดควบคุมการทำงาน	1	ชุด
ฅ. โหลดตัวต้านทานปรับค่าได้ 0-5,600 ohm 0.315 A	3	ชุด
ญ. โปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows" รุ่นปรับปรุงที่ 4	1	โปรแกรม
ฎ. โปรแกรม ชื่อ "Gen.vi"	1	โปรแกรม

2.13.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ก. เปิดโปรแกรม ชื่อ "LabVIEW for Windows"

ข. เปิดโปรแกรมระบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส ชื่อ "Gen.vi"

จากไดเรกทอรี "c:\thesis" ซึ่งมีแฟ้มด้านหน้าเริ่มต้นดังภาพประกอบ ก.1 กดปุ่มทำงานและเลือก "menu" ไปที่แฟ้มด้านหน้าสำหรับกำหนดลักษณะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (specification of synchronous generator)

ค. กำหนดพิกัดกำลังผลิต 90 W แรงดัน 380 V กระแส 0.13 A ตัวประกอบกำลัง 0.8 แบบล้าหลัง รีแอกแตนซ์ซิงโครนัส 0.9192 pu รีแอกแตนซ์ชั่วคราว 0.1884 pu รีแอกแตนซ์ขั้วแวน 0.1040 pu ชนิดของโรเตอร์แบบขั้วยื่นและชนิดของตัวต้นกำลังแบบกังหันแก๊ส และกำหนดอัตราส่วนของวงจรตรวจรู้ กระแส 1,2 และ 3 เท่ากับ 1.35 อัตราส่วนของวงจรตรวจรู้กระแส 4,5 และ 6 เท่ากับ 1 อัตราส่วนของหม้อแปลงแรงดันเท่ากับ 100

ง. ต่อยังตามภาพประกอบ ค.3 หมุนปุ่ม "main switch" ของชุดควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(ดังภาพประกอบ จ.1) ไปที่ตำแหน่ง "ON" และกดปุ่ม "reset" จนกระทั่งไฟเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีเขียว

จ. หมุนปุ่ม "function selector" ของชุดควบคุมไปที่ตำแหน่ง "switch for speed or torque control" โยกสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง " $n_{constant}$ " หลังจากนั้นให้กดปุ่ม "push-button for setting speed up" จนกระทั่ง "speed indicator" เท่ากับ 1,500 RPM.

ฉ. ปรับโหลดตัวต้านทานปรับค่าได้ตัวที่ 1,2 และ 3 ให้มีค่ามากที่สุดค่อยๆปรับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงไปที่ขดลวดสนามจนกระทั่งแรงดันที่ตกคร่อมเฟสเท่ากับ 220 V ค่อยๆปรับโหลดจนกระทั่งกระแสแต่ละเฟสมีค่าประมาณ 0.1 A และเลือก "menu" ไปที่แฟ้มด้านหน้าแสดงแผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (single line diagram of protection system of synchronous generator) บันทึกผล

การทดสอบลงในหัวข้อที่ 1 ของตาราง 2.15

ข. กดปุ่ม “ON” ของ “short circuit box” รอจนกระทั่งโปรแกรม “Gen.vi” หยุดทำงานและกดปุ่ม “OFF” ของกล่องลัดวงจร

ข. บันทึกผลการทดสอบลงในหัวข้อที่ 2 ของตาราง 2.15

ฉ. เลือก “menu” ไปที่ด้านหน้าสำหรับกำหนดลักษณะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (specification of synchronous generator) และกดปุ่มทำงาน

ญ. ทำการทดสอบซ้ำตั้งแต่ข้อ ง. ถึง ฉ. โดยในการทดสอบซ้ำแต่ละครั้งให้ต่อวงจรตามภาพประกอบ ค.6,7,8..., 24 ตามลำดับ และบันทึกผลการทดสอบลงในหัวข้อที่ 3,4,5,...,21 ตามลำดับ

ฎ. ต่อวงจรตามภาพประกอบ ค.25 และทำซ้ำในข้อ ง. (จะต้องตรวจสอบเงื่อนไขการซิงโครไนซ์ก่อนซิงโครไนซ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสเข้าสู่ระบบกำลังไฟฟ้า)

ฏ. ค่อยๆ กดปุ่ม “push-button for setting speed down” จนกระทั่งโปรแกรม “Gen.vi” หยุดทำงานและบันทึกผลการทดสอบลงในหัวข้อที่ 22 ของตาราง 2.15

จ. ทำซ้ำในข้อ ฉ.

ช. ทำซ้ำในข้อ ง. และ ฎ.

ฉ. ค่อยๆ ปรับแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงจนกระทั่งโปรแกรม “Gen.vi” หยุดทำงานบันทึกผลการทดสอบลงในหัวข้อที่ 23 ของตาราง 2.15 และทำซ้ำในข้อ ฉ.

ฉ. ต่อวงจรตามภาพประกอบ ค.26 และทำซ้ำในข้อ ง.

ค. ปรับค่าโหลดตัวที่ 1 ไปที่ค่า 100 เปอร์เซ็นต์ รอจนกระทั่งโปรแกรมหยุดทำงานและบันทึกผลการทดสอบลงในหัวข้อที่ 24 และทำซ้ำในข้อ ฉ.

ค. ในผลการทดสอบหัวข้อที่ 25,26 ให้ทำซ้ำในข้อ ฉ. โดยแต่ละหัวข้อให้ปรับค่าโหลดตัวที่ 2,3 ไปที่ค่า 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับและบันทึกผลการทดสอบและทำซ้ำในข้อ ฉ.

ค. ในผลการทดสอบหัวข้อที่ 27,28,29 ให้ทำซ้ำในข้อ ค. โดยแต่ละหัวข้อให้ปรับค่าโหลดตัวที่ 1 กับ 2, 2 กับ 3, 1 กับ 3 ไปที่ 100 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

ค. ต่อวงจรตามภาพประกอบ ค.26 และทำซ้ำในข้อ ง.

ค. ค่อยๆ ดึงสายสัญญาณที่ต่อจากขั้ว U2 ไปยังหม้อแปลงแรงดันตำแหน่งที่ 1 บันทึกผลการทดสอบลงในหัวข้อที่ 30

ค. ในผลการทดสอบหัวข้อที่ 31,32 ให้ทำซ้ำในข้อ 3.22 โดยแต่ละหัวข้อให้ค่อยๆ ดึงสายสัญญาณที่ต่อจากขั้ว V2 และ W2 ไปยังหม้อแปลงแรงดันตำแหน่งที่ 2,3 ไปตามลำดับ

ม. ในผลการทดสอบหัวข้อที่ 33,34,35 และ 36 ให้ทำซ้ำในข้อ 3.22 โดยแต่ละหัวข้อให้ค่อยๆดึงสายสัญญาณที่ต่อจากขั้ว U2 กับ V2 , V2 กับ W2 , U2 กับ W2 และ U2 กับ V2 กับ W2 ไปยังหม้อแปลงแรงดันตำแหน่งที่ 1กับ2, 2กับ3, 1กับ 3 และ1กับ 2กับ3 ตามลำดับ

2.13.2 ผลการทดสอบ

ตาราง 2.15 ผลการทดสอบระบบป้องกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจริง

หัวข้อที่	ค่าขนาดและมุมเฟสของแรงดัน			ค่าขนาดและมุมเฟสของกระแส						สถานะรีเลย์								การวินิจฉัย
	$V_a(V)$	$V_b(V)$	$V_c(V)$	$I_{a1}(A)$	$I_{b1}(A)$	$I_{c1}(A)$	$I_{a2}(A)$	$I_{b2}(A)$	$I_{c2}(A)$	87	87G	51V	51G	32	40	46	60	
1	220/0°	220/-120°	220/120°	0.1/-5.87°	0.1/-126.12°	0.1/105°	0.1/-5.87°	0.1/-126.12°	0.1/105°									Non fault
2	0.2/0°	173/-120°	156/120°	0.005/107.35°	0.081/-83.87°	0.076/110°	0.421/-26.43°	0.081/-84.41°	0.076/112.50°	X	X					X		Internal phase a fault
3	155/0°	0.2/-115.20°	173/131.87°	0.09/-6.16°	0.005/64.82°	0.082/131.43°	0.074/-6.114°	0.424/156.648°	0.081/131.22°	X	X					X		Internal phase b fault
4	151/0°	135/-138.35°	0.5/129.12°	0.08/-6.88°	0.078/-143.82°	0.06/112.02°	0.081/-6.85°	0.076/-142.73°	0.415/57.47°	X	X					X		Internal phase c fault
5	88/-0.44°	88/-2.15°	170/176.13°	0.038/-1.34°	0.044/8.70°	0.081/-172.24°	0.31/36.84°	0.262/-131.31°	0.08/-171.89°	X						X		Internal phase a and b fault
6	165/-0.59°	88/-176.41°	88/-176.28°	0.081/-6.24°	0.04/172.62°	0.044/171.38°	0.081/-5.79°	0.314/142.56°	0.257/48.79°	X						X		Internal phase b and c fault
7	88/-0.46°	167/-176.50°	88/-2.08°	0.038/9.42°	0.078/-173.04°	0.04/8.66°	0.258/-131.22°	0.079/-173.36°	0.31/35.41°	X						X		Internal phase a and c fault
8	0.2/-25.08°	0.8/-135.02°	88/-120.04°	0.003/-111.28°	0.003/-105.54°	0.04/105.37°	0.269/74.21°	0.284/-91.17°	0.04/-105.33°	X	X		X			X		Internal phase a and b to ground fault
9	89/-0.330°	0.02/-28.88°	0.03/90.66°	0.039/-7.49°	0.003/91.63°	0.003/87.77°	0.041/-6.62°	0.27/-159.92°	0.286/65.86°	X	X		X			X		Internal phase b and c to ground fault
10	0.13/55.33°	78.05/26.86°	0.48/67°	0.003/-107.92°	0.044/-94.88°	0.003/-108.22°	0.28/-77.43°	0.039/-94.37°	0.258/88.99°	X	X		X			X		Internal phase a and c to ground fault
11	0.2/-64.5°	0.2/-82.57°	0.2/-90°	0.003/-106.42°	0.003/-112.88°	0.003/-99.87°	0.193/72.8°	0.196/99.92°	0.191/-97.7°	X	X							Internal 3 phase fault
12	0.6/17.02°	172/-76.61°	154/-135.87°	0.4/-31.44°	0.079/-82.15°	0.073/132.46°	0.4/-31.44°	0.079/-82.15°	0.073/132.46°			X	X			X		External phase a to ground fault
13	150/-0.42°	0.6/-140.21°	168/-137.27°	0.072/-4.68°	0.4/156.3°	0.077/131°	0.072/-4.68°	0.4/156.3°	0.077/131°			X	X			X		External phase b to ground fault
14	168/-0.46°	152/136.35°	0.7/74.63°	0.078/-5.27°	0.073/-141.33°	0.394/59.33°	0.078/-5.27°	0.073/-141.33°	0.394/59.33°			X	X			X		External phase c to ground fault
15	85/-0.48°	85/-1.25°	166/-176.97°	0.303/36.28°	0.256/-132.36°	0.08/174.02°	0.303/36.28°	0.256/-132.36°	0.08/174.02°			X			X	X		External phase a and b fault
16	163/-0.59°	85/176.75°	85/176.62°	0.081/5.01°	0.311/-142.85°	0.251/48.48°	0.081/5.01°	0.311/-142.85°	0.251/48.48°			X			X	X		External phase b and c fault
17	85/-0.48°	166/177.24°	86/-1.12°	0.253/129.83°	0.079/175.45°	0.3/37.53°	0.253/129.83°	0.079/175.45°	0.3/37.53°			X			X	X		External phase a and c fault

18	0.5/-20.9°	0.5/-82.35°	86/-145.62°	0.26/-36.86°	0.283/-107.41°	0.04/142.02°	0.26/-36.86°	0.283/-107.41°	0.04/142.02°			X	X			X		External phase a and b to ground fault
19	86/-0.35°	0.5/143.08°	0.5/23.60°	0.04/8.55°	0.262/-160.7°	0.277/67.49°	0.04/8.55°	0.262/-160.7°	0.277/67.49°			X	X			X		External phase b and c to ground fault
20	0.5/-30.87°	88/-88.88°	0.5/87.34°	0.281/-36.34°	0.041/-100°	0.256/79.22°	0.281/-36.34°	0.041/-100°	0.256/79.22°			X	X			X		External phase a and c to ground fault
21	0.35/32.39°	0.34/-74.04°	0.37/-81.15°	0.194/-53.7°	0.198/117.39°	0.192/27.75°	0.194/-53.7°	0.198/117.39°	0.192/27.75°			X	X			X		External 3 phase fault
22	220/0°	220/-120°	220/120°	0.072/-153.66°	0.073/85.35°	0.077/-41.97°	0.072/-154.07°	0.073/22.18°	0.076/-38.37°				X					Reverse power
23	220/0°	220/-120°	220/120°	0.17/26.27°	0.16/-29.32°	0.19/-150.36°	0.17/26.36°	0.16/-30.50°	0.18/-151.25°					X				Loss of field
24	220/0°	220/-120°	220/120°	0.055/-12.23°	0.1/-126.19°	0.1/105°	0.055/-12.23°	0.1/-131°	0.1/109.24°						X			Unbalance current
25	220/0°	220/-120°	220/120°	0.1/-5.87°	0.045/-129.660	0.1/105°	0.12/5.87°	0.13/-156.82°	0.11/105°						X			Unbalance current
26	220/0°	220/-120°	220/120°	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.061/112.25°	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.061/112.25°						X			Unbalance current
27	220/0°	220/-120°	220/120°	0.055/12.32°	0.062/-133.03°	0.1/105°	0.055/12.32°	0.062/-133.03°	0.1/105°						X			Unbalance current
28	220/0°	220/-120°	220/120°	0.1/-5.87°	0.057/-126.81°	0.063/110.57°	0.1/-5.87°	0.057/-126.81°	0.063/110.57°						X			Unbalance current
29	220/0°	220/-120°	220/120°	0.055/13.32°	0.1/-126.19°	0.055/107.65°	0.055/13.32°	0.1/-126.19°	0.055/107.65°						X			Unbalance current
30	0	220/-120°	220/120°	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°							X		Open circuit phase a of P.T.
31	220/0°	0	220/120°	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°							X		Open circuit phase b of P.T.
32	220/0°	220/-120°	0	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°							X		Open circuit phase c of P.T.
33	0	0	220/120°	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°							X		Open circuit phase a and b of P.T.
34	220/0°	0	0	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°							X		Open circuit phase b and c of P.T.
35	0	220/-120°	0	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°							X		Open circuit phase a and c of P.T.
36	0	0	0	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°	0.1/-5.87°	0.1/-126.19°	0.1/105°							X		Open circuit 3 phase of P.T.

บทที่ 3

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นเครื่องต้นแบบเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์สำหรับป้องกันและวินิจฉัยสิ่งผิดปกติในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์ และนำไปทดสอบกับชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโรตอร์สีกัดกำลังผลิต 90 วัตต์ ซึ่งผลการทดสอบเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ แต่ยังมีส่วนที่จะต้องปรับปรุงและแก้ไขเพื่อให้เครื่องต้นแบบมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ได้แก่

3.1 ส่วนของโปรแกรมประมวลผลสัญญาณ ต้องการสมการและวิธีการประมวลผลสัญญาณใหม่เพื่อลดความผิดพลาดในการประมวลผลสัญญาณ 2 สัญญาณที่มีมุมเฟสต่างกันอยู่ในช่วง ± 8 องศา

3.2 ส่วนของวงจรตรวจรู้สัญญาณ ควรจะออกแบบวงจรที่เป็นอิสระจากระบบไฟฟ้าที่ต้องการตรวจวัด

3.3 ส่วนของโปรแกรมระบบป้องกัน ควรออกแบบให้โปรแกรมย่อยรีเลย์ป้องกันทุกชนิดสามารถทำงานพร้อมกันในเวลาเดียวกันได้ เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการวินิจฉัยสิ่งผิดปกติ

3.4 ส่วนของโปรแกรมระบบป้องกัน ควรออกแบบให้เวลาการทำงานของโปรแกรมให้ใกล้เคียงกับเวลาการทำงานของระบบป้องกันที่ใช้รีเลย์แบบกลไฟฟ้าหรือแบบสแตติค

3.5 ส่วนประกอบต่างๆของระบบป้องกัน ควรจะออกแบบให้มีความคล่องตัวและสะดวกในการนำไปใช้งาน

บรรณานุกรม

- กัมปนาท ดัณฑ์เจริญรัตน์, เกียรติศักดิ์ จันทรเสนาวงศ์ และจักรกฤษณ์ ชมภูศรี.
 2536. ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติและสัญญาณเตือนภัยทางไฟฟ้าในสถานีจ่ายไฟฟ้าย่อย (Expert System for Substation Faults Diagnosis and Alarm Processing). วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นริศ สุธีธร. 2529. การใช้ไมโครคอมพิวเตอร์วิเคราะห์การลัดวงจรของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม (Microcomputer Application to Short Circuit Analysis of Industrial Power Systems). วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อริกมาศ ณ ตะกั่วทุ่งและนภาพร เวียงวีระ. 11 มีนาคม 2539. โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับจำลองการทำงานระบบป้องกันไฟฟ้ากำลัง (CAD for Simulation of Power System Protection). วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ANSI/IEEE. 1992. IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems. New York : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- A.R. van C. Warrington. 1976. Protective Relays : Their Theory and Practice. vol.1. London : Chapman & Hall Ltd.
- C. Russell Mason. 1956. The Art and Science of Protective Relaying. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- J.L. Blackburn. 1976. Applied Protective Relaying. Westinghouse Electric Corporation.
- Stanley H., Horowitz and Arun G., Phadke. 1992. Power System Relaying. Somerset, NJ. : Research Studies Press Ltd.
- Hong-Tzer Yang , Wen-Yeou Chang and Ching-Lien Huang. 1995. "On-Line Fault Diagnosis of Power Substation Using Connectionist Expert System," IEEE Transactions on Power Systems. vol. 10, no. 1 (February 1995), 323-331.
- J.-P. Bernard and D.Durocher. 1994. "An Expert System for Fault Diagnosis Integrated in Existing SCADA Systems," IEEE Transactions on Power Systems. vol. 9, no. 1 (February 1994), 548-554.

- T.Kobayashi , D.Moridera , K.Komai , S.Fukui and K.Matsumoto. 1995. "Fault Diagnosis Using a Diagnostic Shell and Its Verification Results by Connecting to an Operator Training Simulator," IEEE Transactions on Power Systems. vol. 10, no. 1 (February 1995), 167-174.
- Zhu Yongli , Yang Yihan , Brain W.Hogg , Zhang Wenqin and Gao Shu. 1994. "An Expert System for Power Systems Fault Analysis," IEEE Transactions on Power Systems. vol. 9, no. 1 (February 1994), 503-509.

ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการใช้งานระบบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ก.1 รูปแบบของแผงด้านหน้า (front panel)

แผงด้านหน้าของระบบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ประกอบด้วย

ก.1.1 แผงด้านหน้าแสดงข้อความ “welcome to protection system of synchronous generator” ดังภาพประกอบ ก.1

ก.1.2 แผงด้านหน้าสำหรับกำหนดลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส (specification of synchronous generator) ประกอบด้วยแผงควบคุมสำหรับกำหนดค่าต่าง ๆ เช่น พิกัดกำลังผลิต แรงดัน กระแส ตัวประกอบกำลัง รีแอคแตนซ์ซิงโครนัส รีแอคแตนซ์ชั่วคราว รีแอคแตนซ์ชั่วคราว อัตราส่วนของวงจรถวายรีแอคแตนซ์และอัตราส่วนของวงจรถวายแรงดัน ดังภาพประกอบ ก.2

ก.1.3 แผงด้านหน้าแสดงแผนภาพเส้นเดี่ยว(single-line diagram)ประกอบด้วย แผนภาพเส้นเดี่ยวแสดงรูปแบบรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แผงแสดงข้อความการเกิดสิ่งผิดปกติ และแผงแสดงค่าแรงดัน กระแสและความถี่

ก.2 ขั้นตอนเริ่มต้นการใช้งานระบบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ก.2.1 เปิดไฟล์ “Gen.vi” จากไดเรกทอรี “thesis” โดยใช้โปรแกรม “labVIEW for windows” ขณะนี้แผงด้านหน้าแสดงข้อความ “welcome to protection system of synchronous generator” กดปุ่ม “run” โปรแกรม

ก.2.2 กำหนดลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการเลือก “menu” ไปที่แผงด้านหน้าสำหรับกำหนดลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส

ก.2.3 หลังจากกำหนดลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสและปรับตั้งวงจรถวายรีแอคแตนซ์ วงจรถวายแรงดันและชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้พร้อมสำหรับการทดสอบแล้วให้ เลือก “menu” ไปที่แผงด้านหน้าแสดงแผนภาพเส้นเดี่ยว ซึ่งขณะนี้ระบบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังทำงาน

**WELCOME TO
PROTECTION SYSTEM
OF
SYNCHRONOUS GENERATOR**

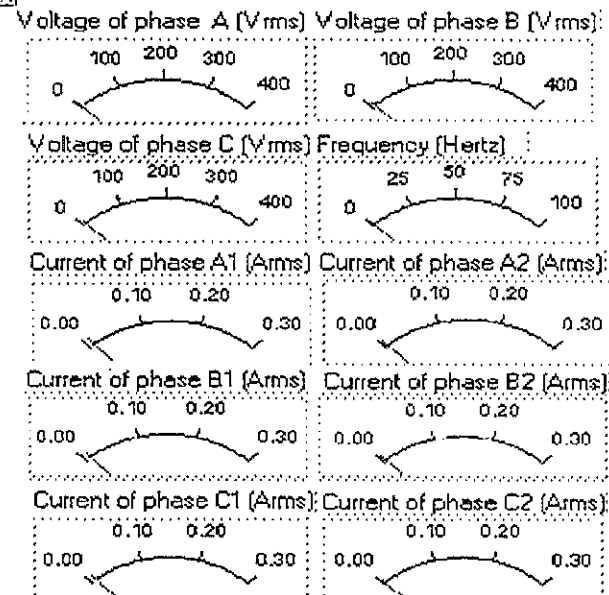
WELCOME TO PROTECTION SYSTEM OF SYNCHRONOUS GENERATOR

STOP

ภาพประกอบ ก.1

SPECIFICATION OF SYNCHRONOUS GENERATOR

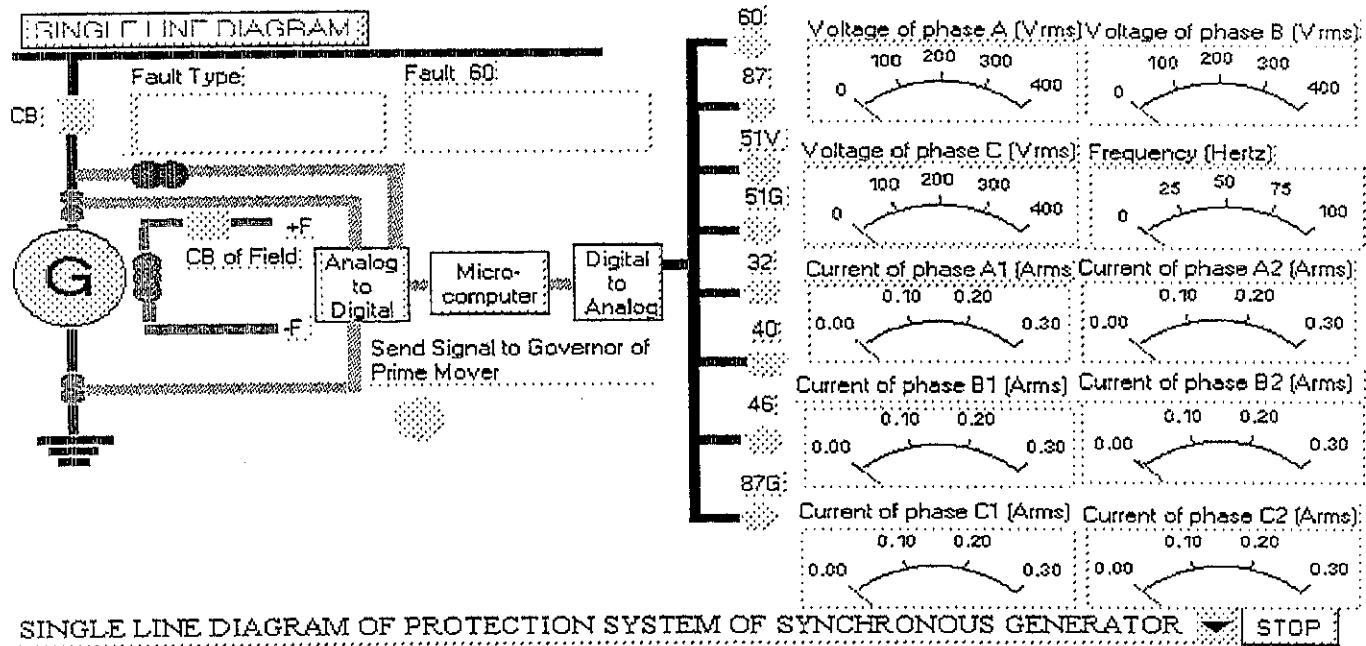
POWER (Watt)	90
VOLTAGE (Volt-I)	380
RATED CURRENT (Amp)	0.1300
POWER FACTOR	0.8000
REACTANCE (pu)	0.9192
TRANSIENT REACTANCE (pu)	0.1884
SUBTRANSIENT REACTANCE (pu)	0.1040
TYPE OF ROTOR	Salient Pole Rotor
TYPE OF PRIME MOVER	Diesel Engine
RATIO OF SENSOR (X amp : 1 volt)	
No.1 1.3500	No.4 1.0000
No.2 1.3500	No.5 1.0000
No.3 1.3500	No.6 1.0000
RATIO OF POTENTIAL TR. (Y volt : 1 volt)	
No.1 100.0	No.2 100.0
No.3 100.0	



SPECIFICATION OF SYNCHRONOUS GENERATOR

STOP

ภาพประกอบ ก.2



ภาพประกอบ ก.3

ภาคผนวก ข.

การจัดเตรียมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเชิงโครนัสสำหรับการทดสอบระบบป้องกัน

ระบบโปรแกรมรีเลย์ป้องกันในวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้เป็นระบบป้องกันสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ แต่มีข้อจำกัดในการจัดหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่มาทดสอบกับระบบรีเลย์ป้องกันด้วยเหตุการณ์จริงและเป็นการเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายถ้าการทดสอบเกิดผิดพลาด จึงได้ใช้ชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กซึ่งมีพิกัดกำลังผลิต 90 W แรงดัน 380 V กระแส 0.13 A ตัวประกอบกำลัง 0.8 แบบล้าหลังมาสมนัยกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ซึ่งมีพิกัดกำลังผลิต 15,600 MVA แรงดัน 12.47 kV กระแส 903 A ตัวประกอบกำลัง 0.8 แบบล้าหลัง และกำหนดให้มีค่ารีแอกแตนซ์เชิงโครนัส 0.9192 pu รีแอกแตนซ์ชั่วคราว 0.1884 pu รีแอกแตนซ์ชั่วคราว 0.104 pu เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายว่าถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมีค่ากระแสและแรงดันผิดปกติค่าหนึ่งแล้ว เมื่อไปเปรียบเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่จะมีค่ากระแสและแรงดันผิดปกติเท่าไร โดยใช้วิธีการเปลี่ยนแปลงค่าฐาน(base value)ทางไฟฟ้า เช่น กระแสฐาน(base current)และแรงดันฐาน(base voltage) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กไปเป็นค่าฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ ดังสมการ ข.1 และ ข.2

$$I_{fault(large)} = \frac{I_{base(large)}}{I_{base(small)}} \cdot I_{fault(small)} \quad (ข.1)$$

$$V_{fault(large)} = \frac{V_{base(large)}}{V_{base(small)}} \cdot V_{fault(small)} \quad (ข.2)$$

จะขออธิบายการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสและแรงดันในสภาวะผิดปกติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กไปเป็นค่ากระแสและแรงดันในสภาวะผิดปกติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยการยกตัวอย่าง กำหนดให้ค่ากระแสและแรงดันในสภาวะสิ่งผิดปกติแบบการลัดวงจรเฟส a และ b ไม่ลงดินสำหรับชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพิกัดกำลังผลิต 90 W ที่มีค่าแรงดันฐานเท่ากับ 380 V และค่ากระแสฐานเท่ากับ 0.13 A โดยอ้างอิงถึงวิธีการคำนวณกระแสและแรงดันผิดปกติจากหนังสือการวิเคราะห์ระบบกำลัง(Charles A.Gross, 1979) จะมีค่ากระแสผิดปกติของเฟส a เท่ากับ 0.6778 A และค่าแรงดันผิดปกติของเฟส a เท่ากับ 75.5799 V เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ากระแสฐานและแรงดันฐานจากชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กไปเป็นค่ากระแสฐานและแรงดันฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่พิกัดกำลังผลิต 15,600 MVA ซึ่งมีค่ากระแสฐานเท่ากับ 903 kA และค่าแรงดันฐานเท่ากับ

12.47 kV จากสมการ ข.1 และ ข.2 จะได้ค่ากระแสผัดปกติและแรงดันผัดปกติเท่ากับ 4.708 kA และ 2.48 kV ตามลำดับ หมายความว่า ถ้ากระแสผัดปกติและแรงดันผัดปกติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมีค่าเท่ากับ 0.6778 A และ 75.5799 V เปรียบเสมือนว่าค่ากระแสผัดปกติและแรงดันผัดปกติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่จะมีค่าเท่ากับ 4.708 kA และ 2.48 kA นอกจากนั้นค่ากระแสและแรงดันผัดปกติของการเกิดสิ่งผัดปกติชนิดอื่นสามารถหาได้ด้วยวิธีการเดียวกับตัวอย่างที่ได้อธิบายมาแล้ว โดยค่ากระแสและแรงดันผัดปกติของชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งหาได้โดยอ้างอิงถึงวิธีการคำนวณจากหนังสือการวิเคราะห์ระบบกำลังดังแสดงในตาราง ข.1 และค่ากระแสและแรงดันผัดปกติที่หาได้จากวิธีการเปลี่ยนแปลงค่าฐานจากชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพิกัดกำลังผลิต 90 W ไปเป็นค่าฐานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพิกัดกำลังผลิต 15,600 kVA โดยใช้สมการ ข.1 และ ข.2 ดังแสดงในตาราง ข.2

ตาราง ข.1 ค่ากระแสและแรงดันผัดปกติของชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

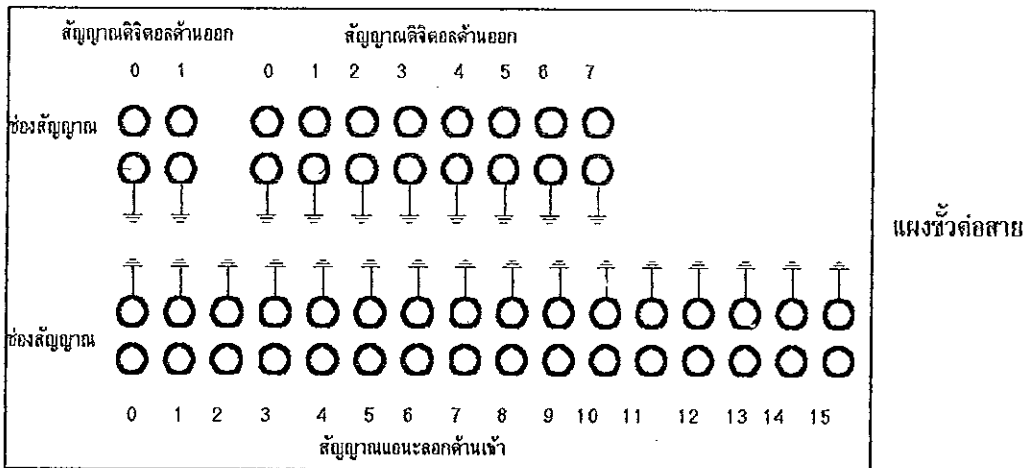
หัวข้อที่	$V_a(V)$	$V_b(V)$	$V_c(V)$	$I_a(A)$	$I_b(A)$	$I_c(A)$	สิ่งผัดปกติ
1	0	220	220	$1.1739/-30^{\circ}$	$0.13/-156.87^{\circ}$	$0.13/83.13^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส a ลงดิน
2	220	0	220	$0.13/-36.87^{\circ}$	$1.1739/150^{\circ}$	$0.13/83.13^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส b ลงดิน
3	220	220	0	$0.13/-36.87^{\circ}$	$0.7606/-156.87^{\circ}$	$1.1739/30^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส c ลงดิน
4	0	0	0	$0.9073/-30^{\circ}$	$0.9073/150^{\circ}$	$0.9073/30^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส a, b, c ลงดิน
5	75.5799	75.5799	220	$0.6778/-120^{\circ}$	$0.6778/120^{\circ}$	$0.13/83.13^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส a และ b ไม่ลงดิน
6	220	75.5799	75.5799	$0.13/-36.87^{\circ}$	$0.6778/180^{\circ}$	$0.6778/0^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส b และ c ไม่ลงดิน
7	75.5799	220	75.5799	$0.6778/-60^{\circ}$	$0.13/-156.87^{\circ}$	$0.6778/60^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส a และ c ไม่ลงดิน
8	0	0	220	$1.1439/-106.62^{\circ}$	$1.1439/166.62^{\circ}$	$0.13/83.13^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส a และ b ลงดิน
9	220	0	0	$0.13/-36.87^{\circ}$	$1.1439/133.38^{\circ}$	$1.1439/46.62^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส b และ c ลงดิน
10	0	220	0	$1.1439/-73.38^{\circ}$	$0.13/-156.87^{\circ}$	$1.1439/13.38^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส a และ c ลงดิน

ตาราง ข.2 ค่ากระแสและแรงดันผิดปกติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังผลิต 15,600 kVA

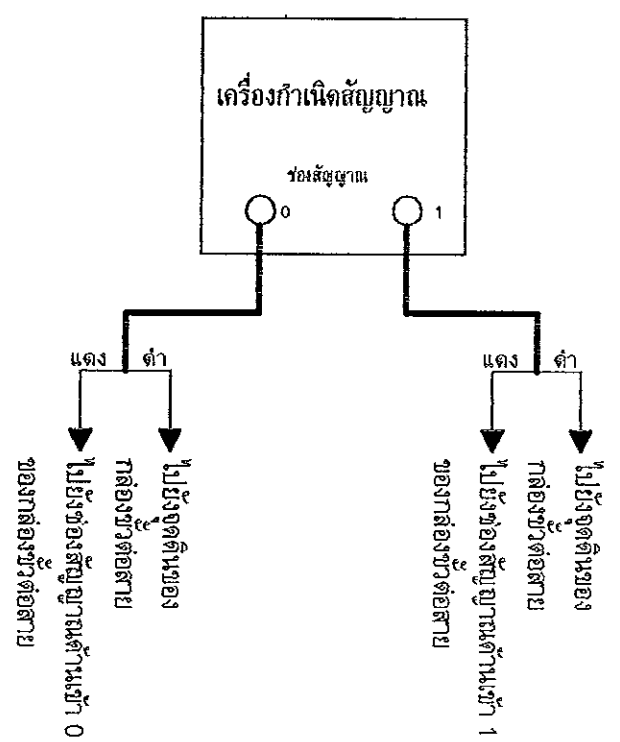
หัวข้อ ที่	V_a (kV)	V_b (kV)	V_c (kV)	I_a (kA)	I_b (kA)	I_c (kA)	สิ่งผิดปกติ
1	0.00	7.22	7.22	$8.154/-30^{\circ}$	$0.903/-156.87^{\circ}$	$0.903/83.13^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส a ลงดิน
2	7.22	0.00	7.22	$0.903/-36.87^{\circ}$	$8.154/150^{\circ}$	$0.903/83.13^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส b ลงดิน
3	7.22	7.22	0.00	$0.903/-36.87^{\circ}$	$5.283/-156.87^{\circ}$	$8.154/30^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส c ลงดิน
4	0.00	0.00	0.00	$6.302/-30^{\circ}$	$6.305/150^{\circ}$	$6.302/30^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส a, b, c ลงดิน
5	2.48	2.48	7.22	$4.708/-120^{\circ}$	$4.708/120^{\circ}$	$0.903/83.13^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส a และ b ไม่ลงดิน
6	7.22	2.48	2.48	$0.903/-36.87^{\circ}$	$4.708/180^{\circ}$	$4.708/0^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส b และ c ไม่ลงดิน
7	2.48	7.22	2.48	$4.708/-60^{\circ}$	$0.903/-156.87^{\circ}$	$4.708/60^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส a และ c ไม่ลงดิน
8	0.00	0.00	7.22	$7.945/-106.62^{\circ}$	$7.945/166.62^{\circ}$	$0.903/83.13^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส a และ b ลงดิน
9	7.22	0.00	0.00	$0.903/-36.87^{\circ}$	$7.945/133.38^{\circ}$	$7.945/46.62^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส b และ c ลงดิน
10	0.00	7.22	0.00	$7.945/-73.38^{\circ}$	$0.903/-156.87^{\circ}$	$7.945/13.38^{\circ}$	การลัดวงจรเฟส a และ c ลงดิน

ภาคผนวก ค.

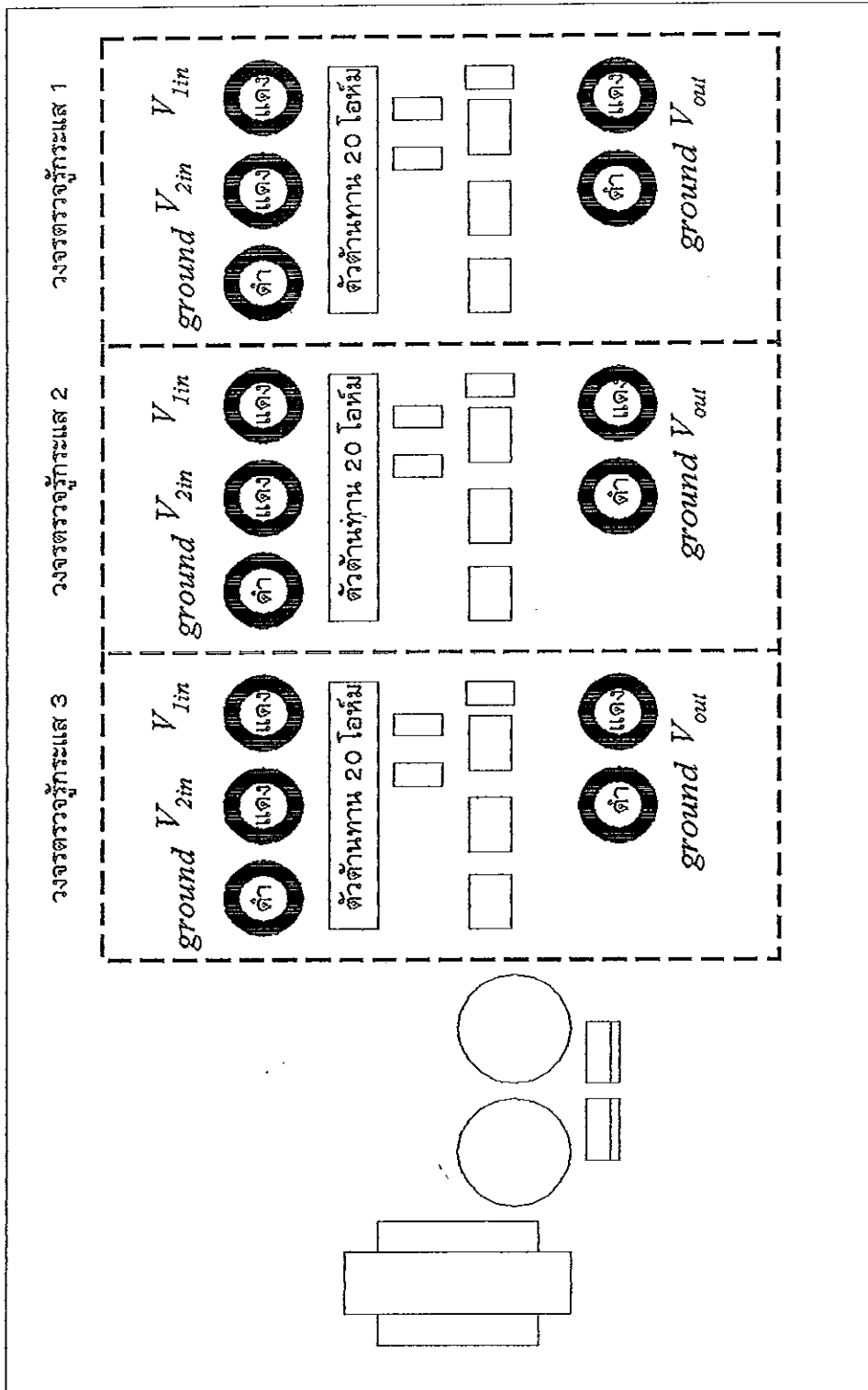
วงจรและแผนภาพบล็อกสำหรับการทดสอบ



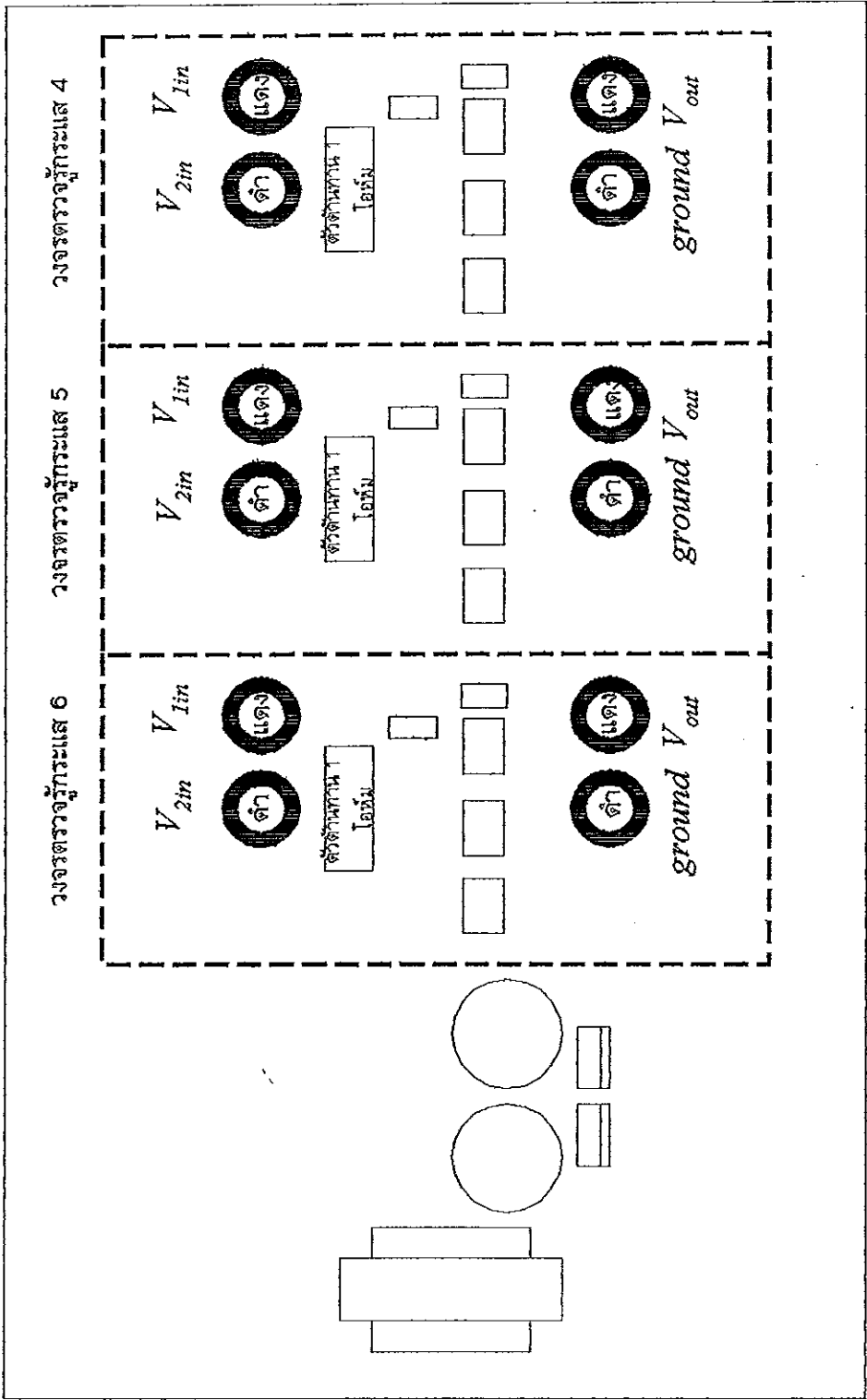
ภาพประกอบ ค.1 แผงขั้วต่อสายสำหรับวงจรแปลงผันสัญญาณ



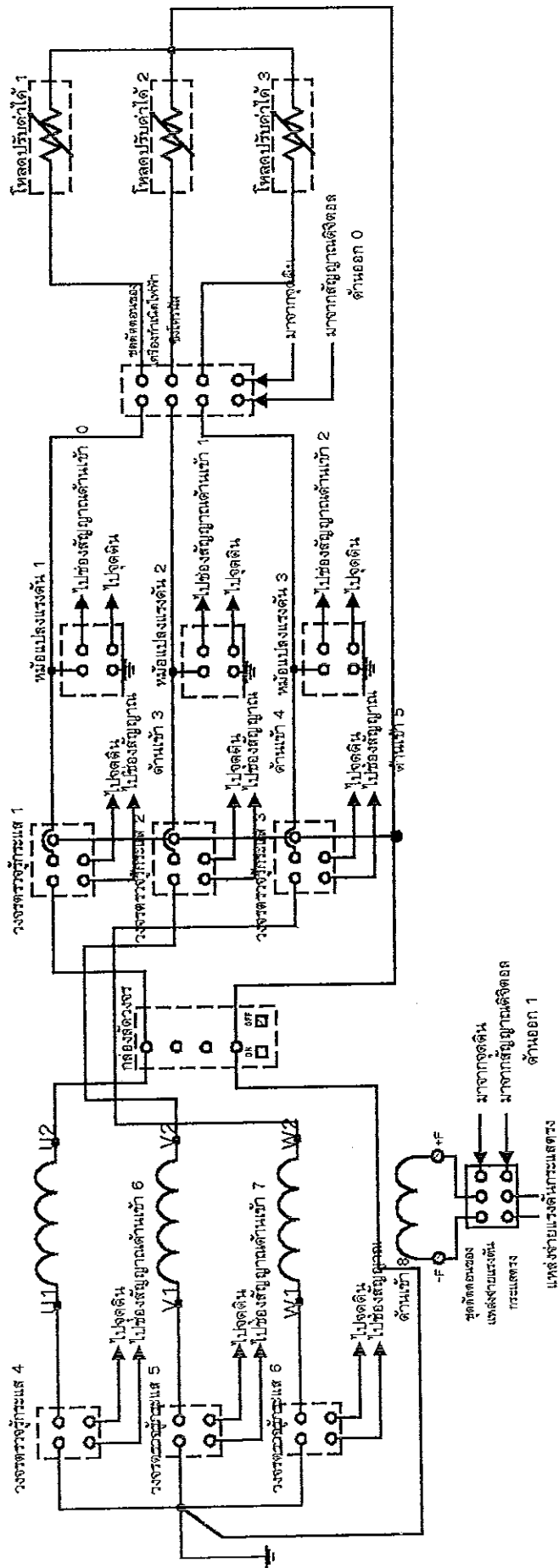
ภาพประกอบ ค.2 แผนภาพบล็อกสำหรับทดสอบโปรแกรมรีเลย์ป้องกัน



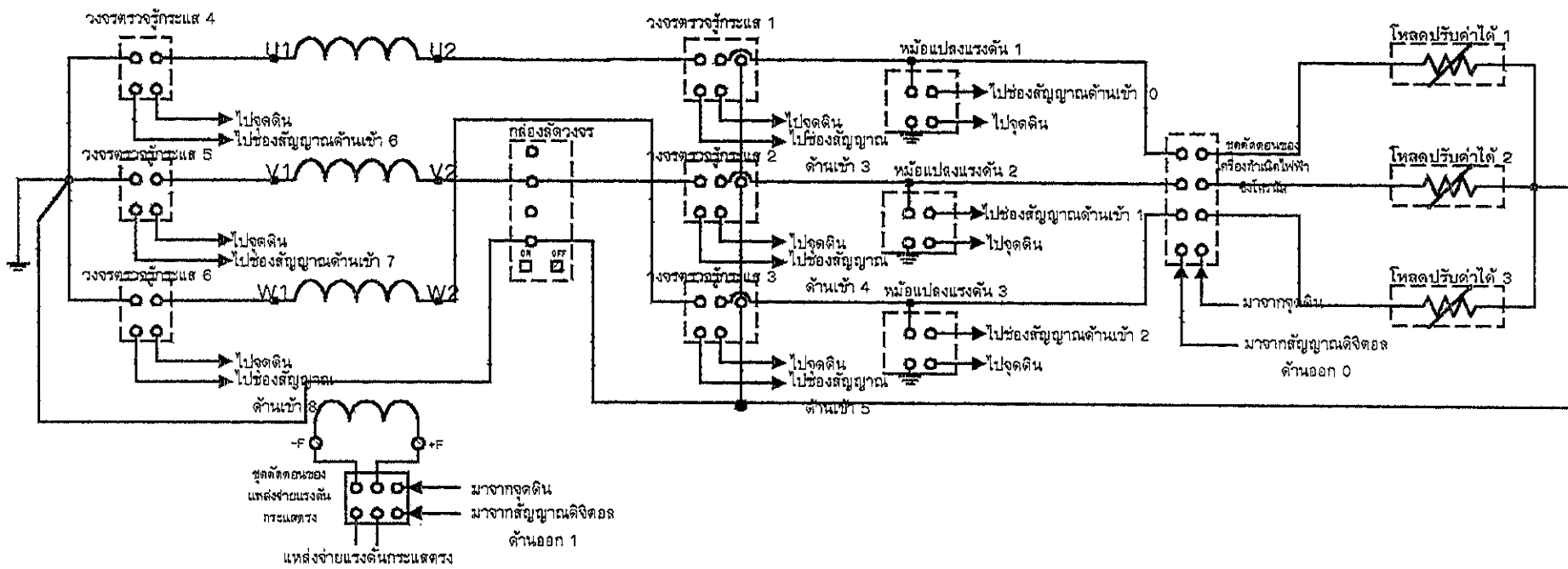
ภาพประกอบ ก.3 แผงวงจรพิมพ์ตรวจสอบกระแสที่มีตัวแบ่งแรงดัน



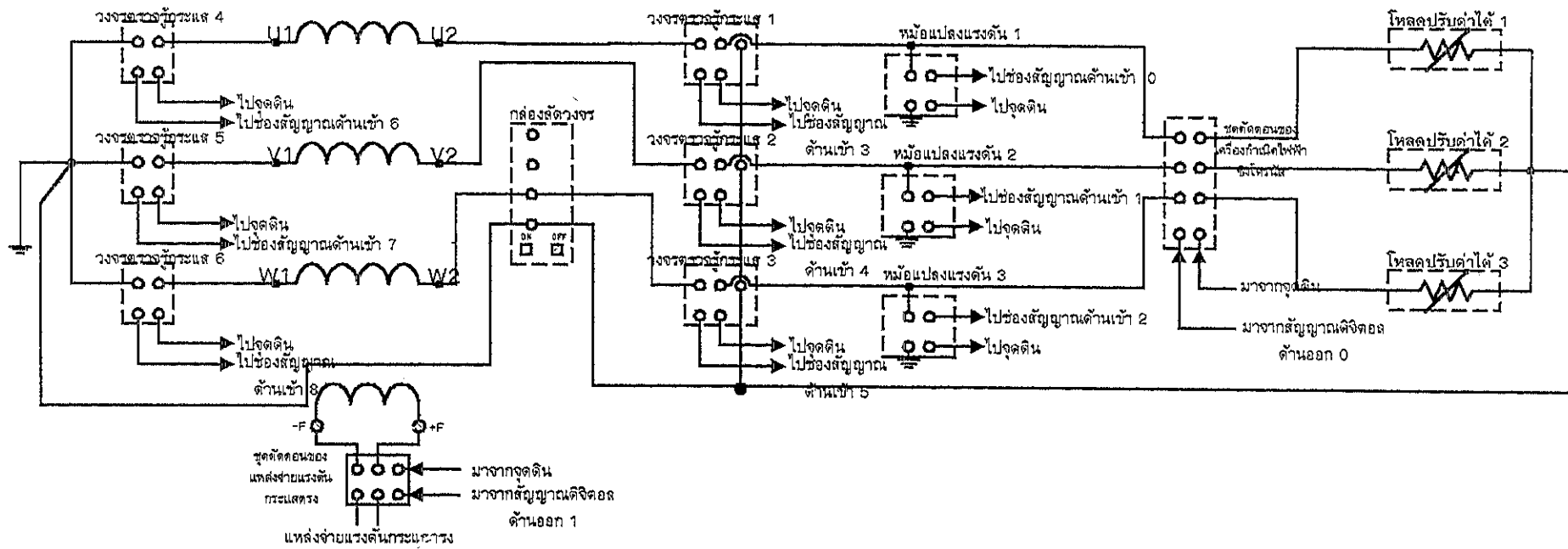
ภาพประกอบ ค.4 แผงวงจรพิมพ์ตัวกรองกระแสที่ไม่มีตัวแบ่งแรงดัน



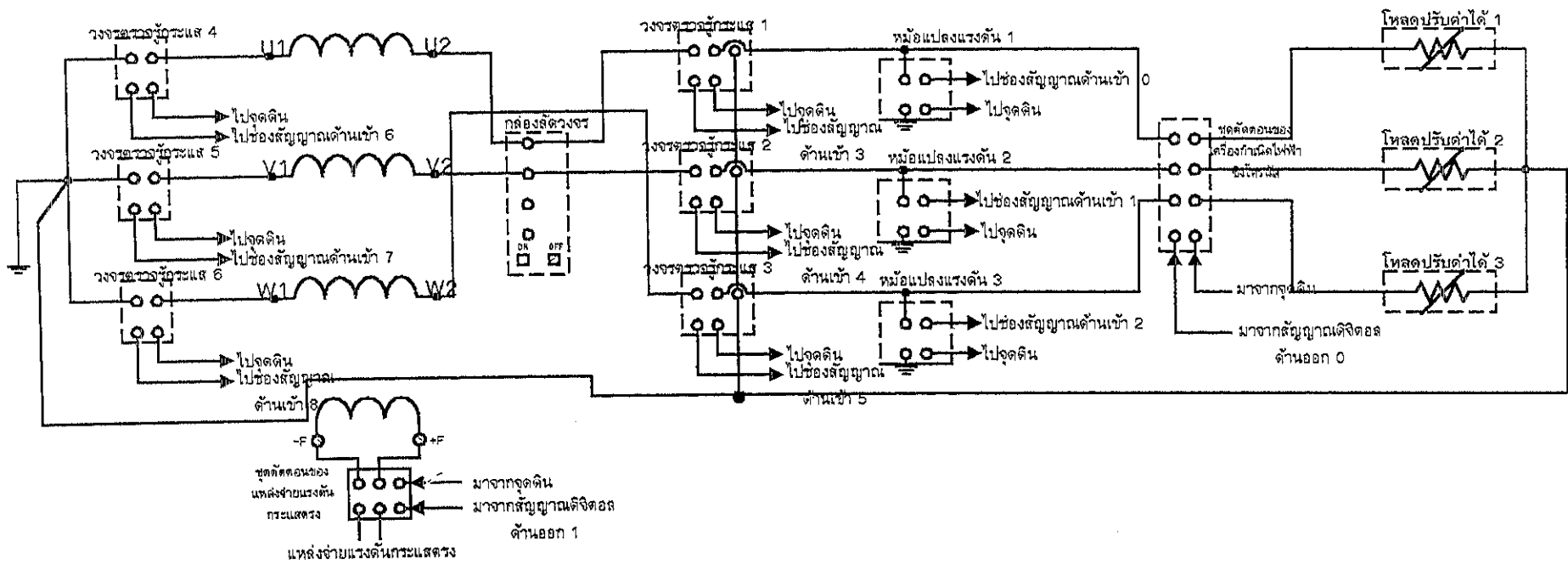
ภาพประกอบ ด.5 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส ๕ ลงดินภายในเซตป้องกัน



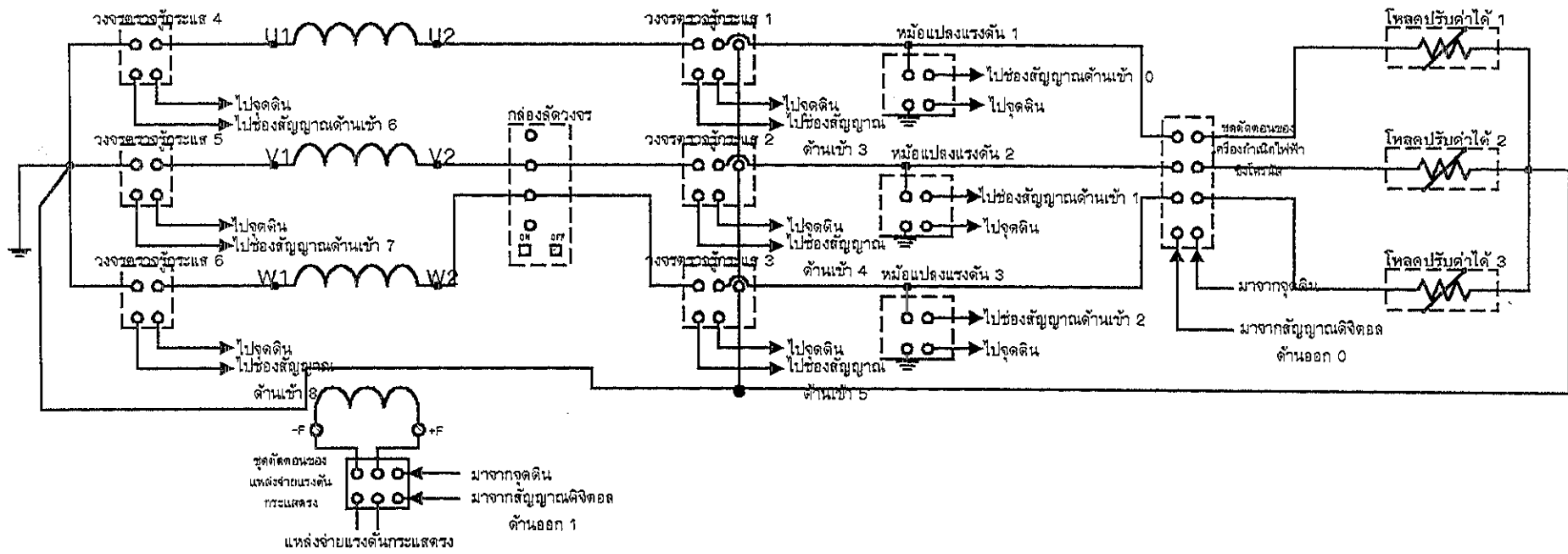
ภาพประกอบ ค.6 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส 6 ลงดินภายในเขตป้องกัน



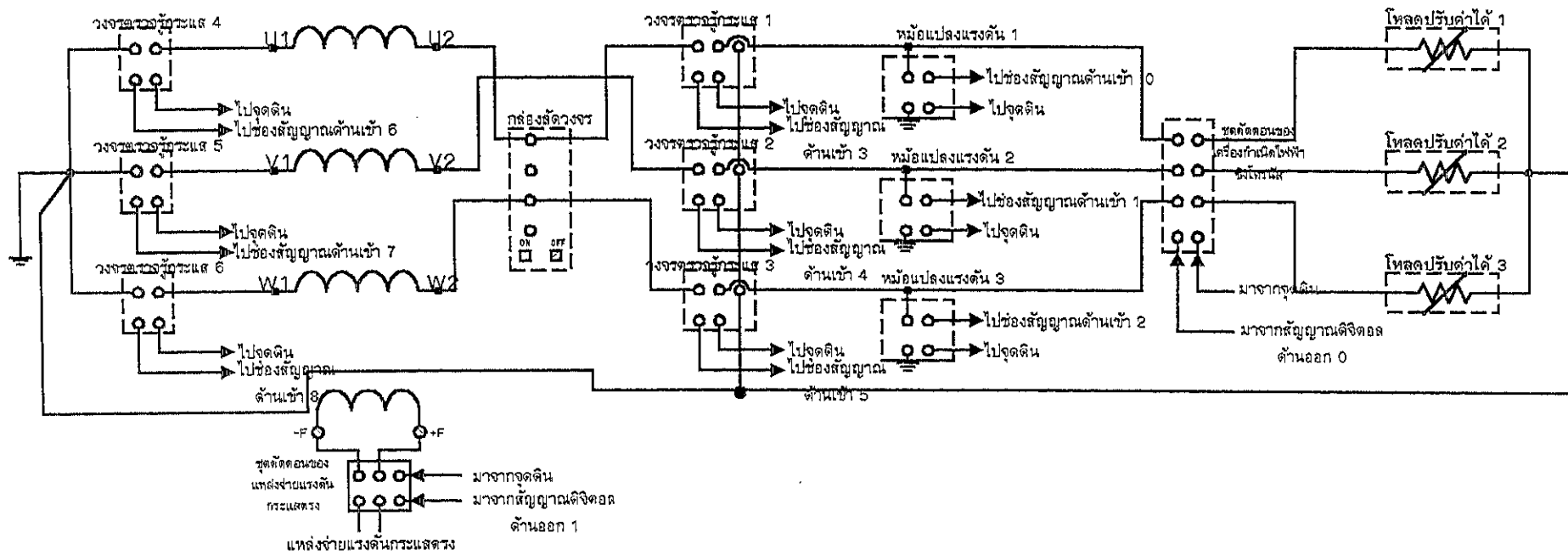
ภาพประกอบ ค.5 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส c ลงดินภายในเขตป้องกัน



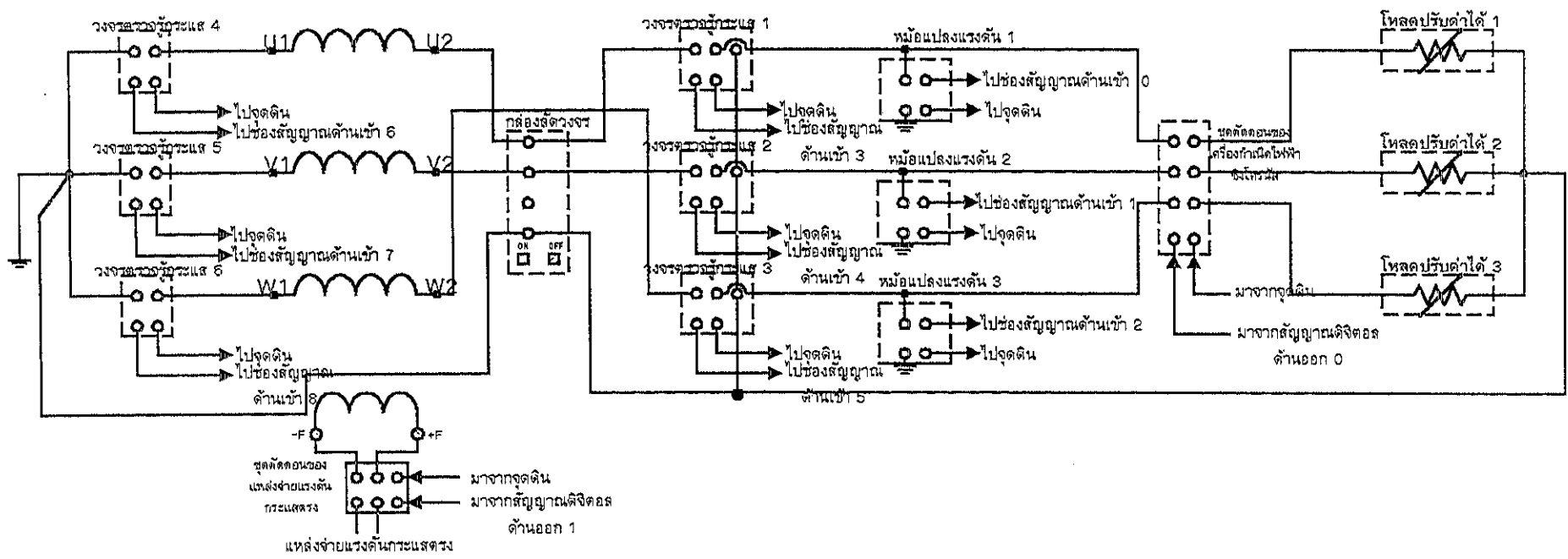
ภาพประกอบ ค.6 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส a และ b ไม่ลงดินภายในเขตป้องกัน



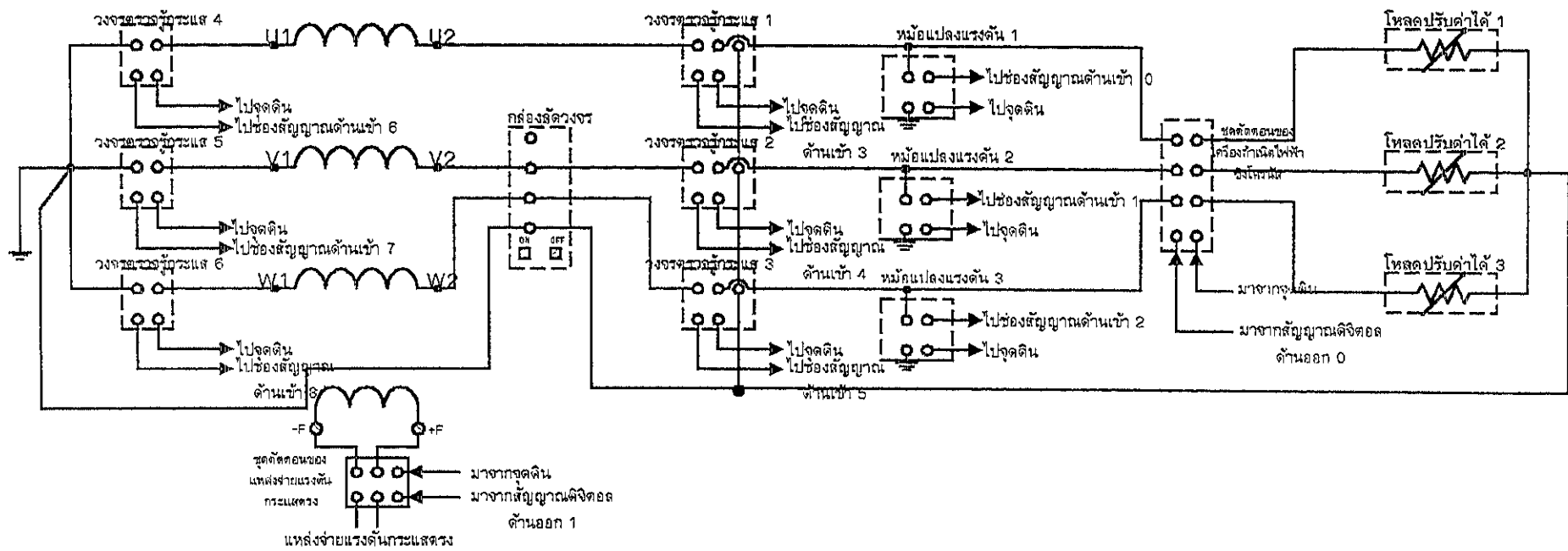
ภาพประกอบ ค.9 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส *b* และ *c* ไม่ลงดินภายในเขตป้องกัน



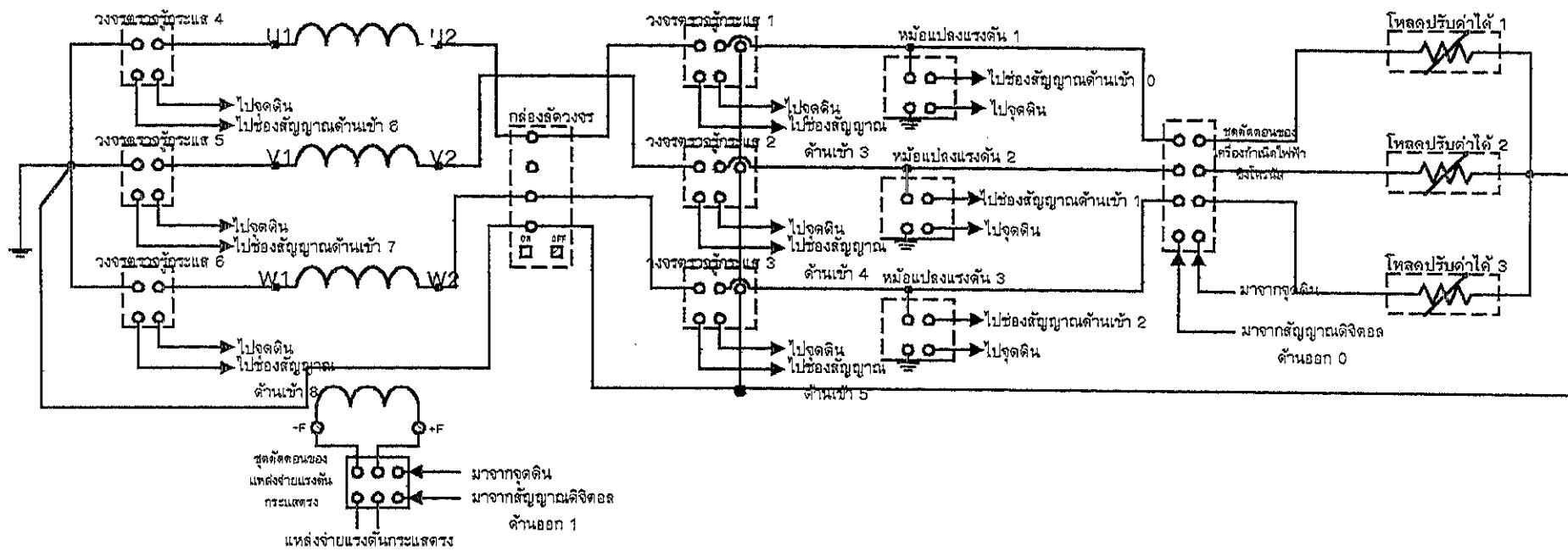
ภาพประกอบ ค.10 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส α และ c ไม่ลงดินภายในเขตป้องกัน



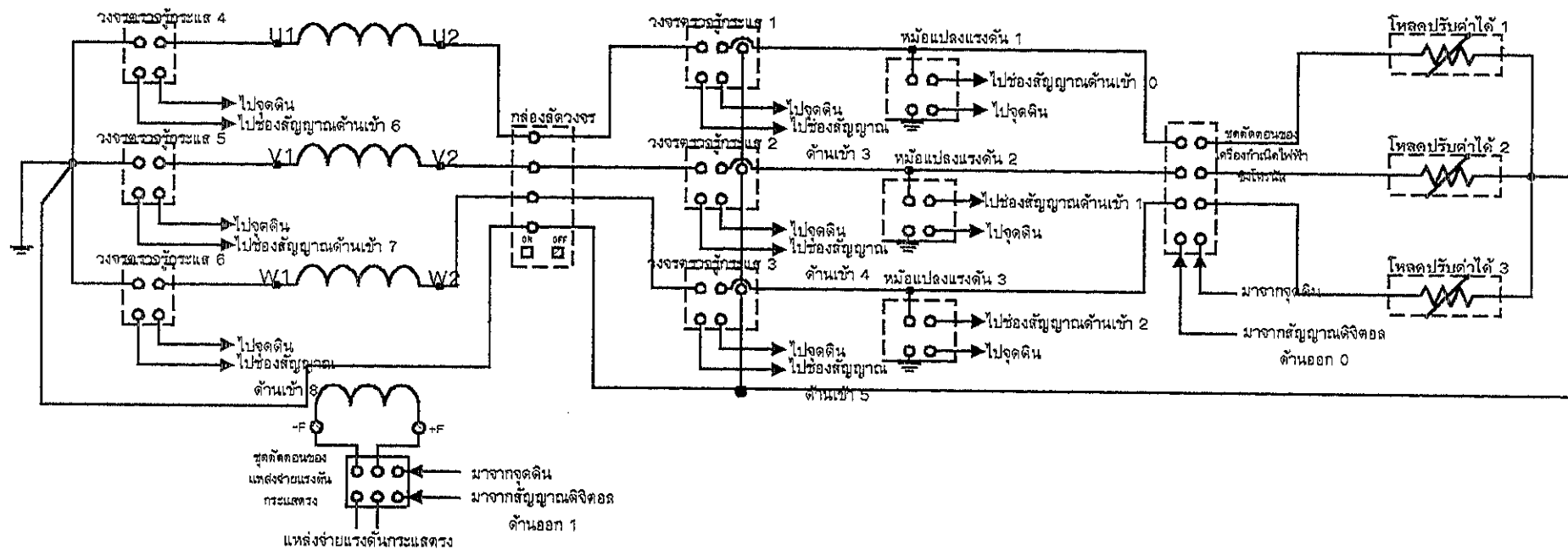
ภาพประกอบ ค.11 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส a และ b ลงดินภายในเขตป้องกัน



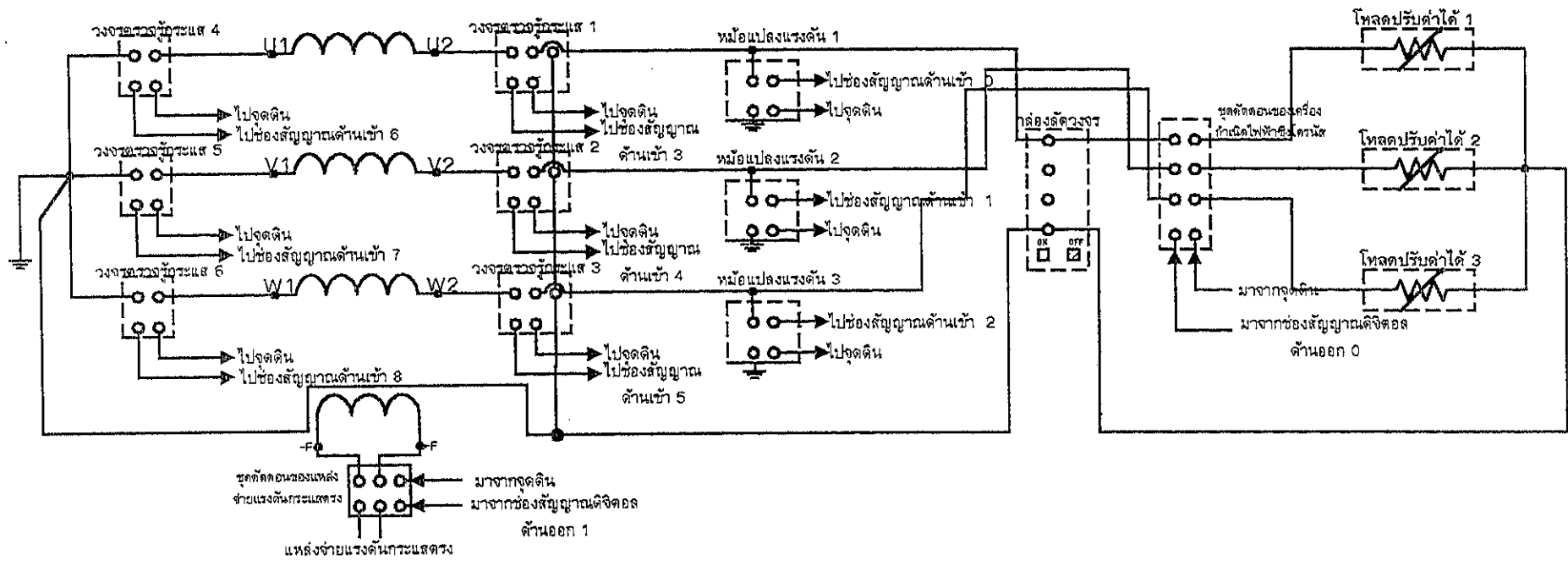
ภาพประกอบ ค.12 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส *b* และ *c* ลงดินภายในเขตป้องกัน



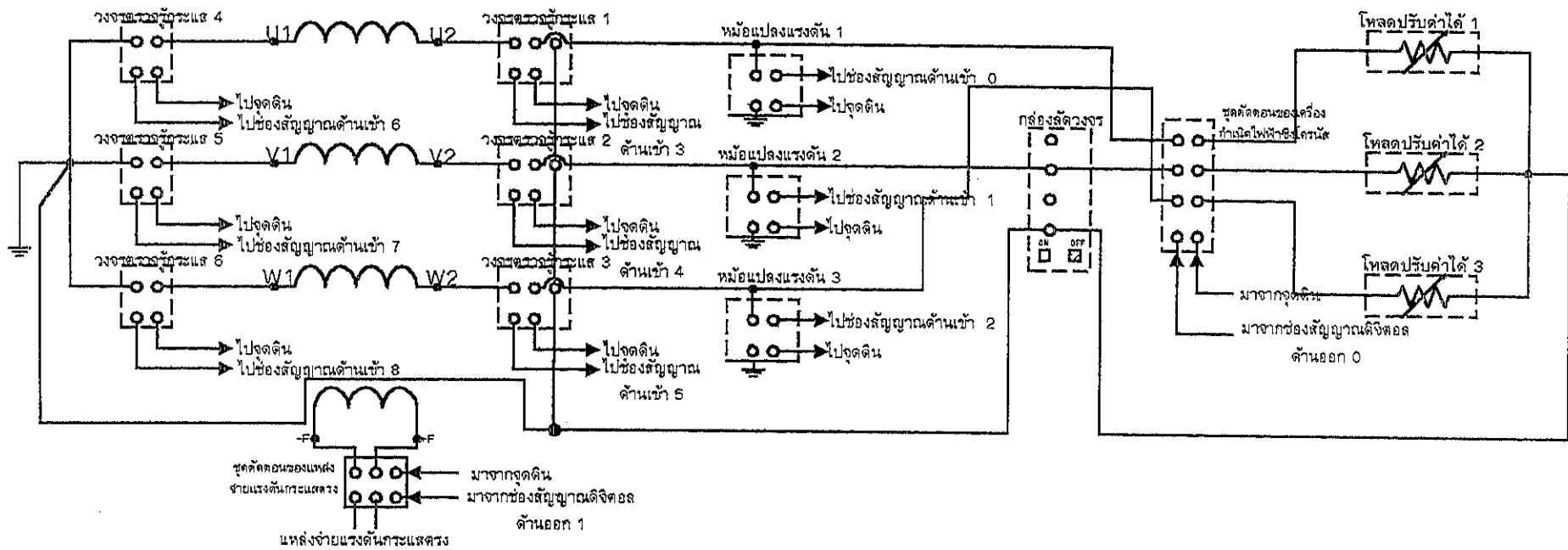
ภาพประกอบ ค.13 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส a และ c ลงดินภายในเขตป้องกัน



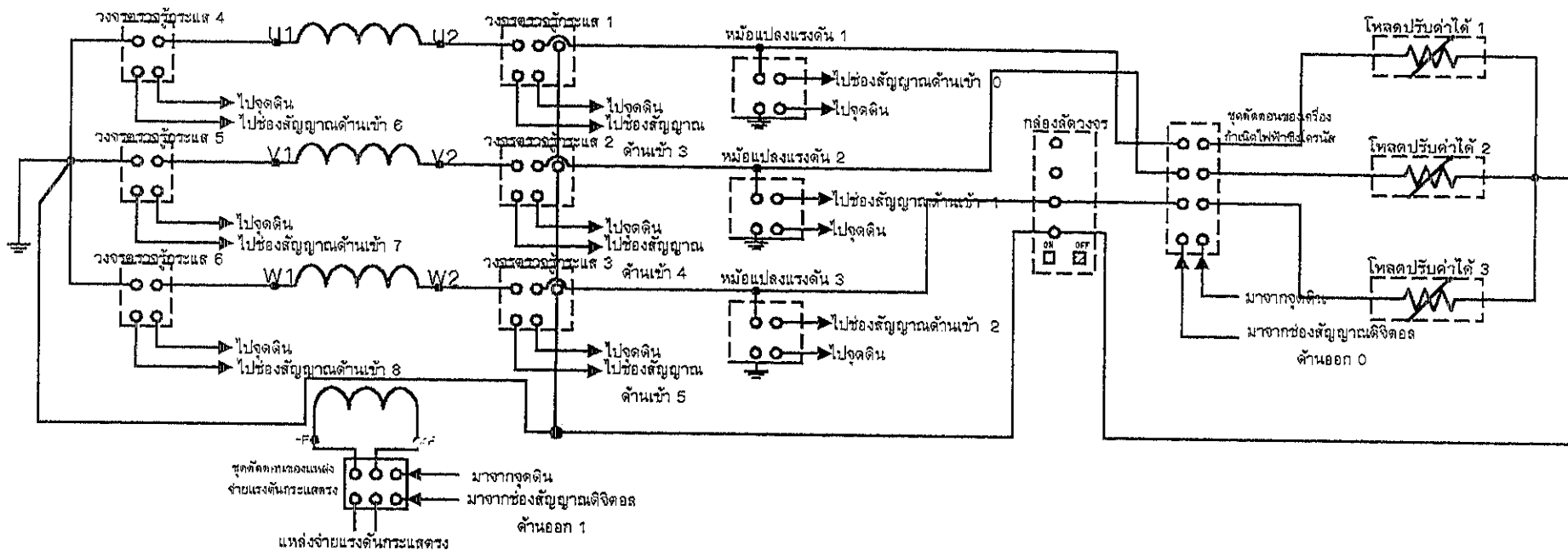
ภาพประกอบ ค.14 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส a, b, c ลงดินภายในเขตป้องกัน



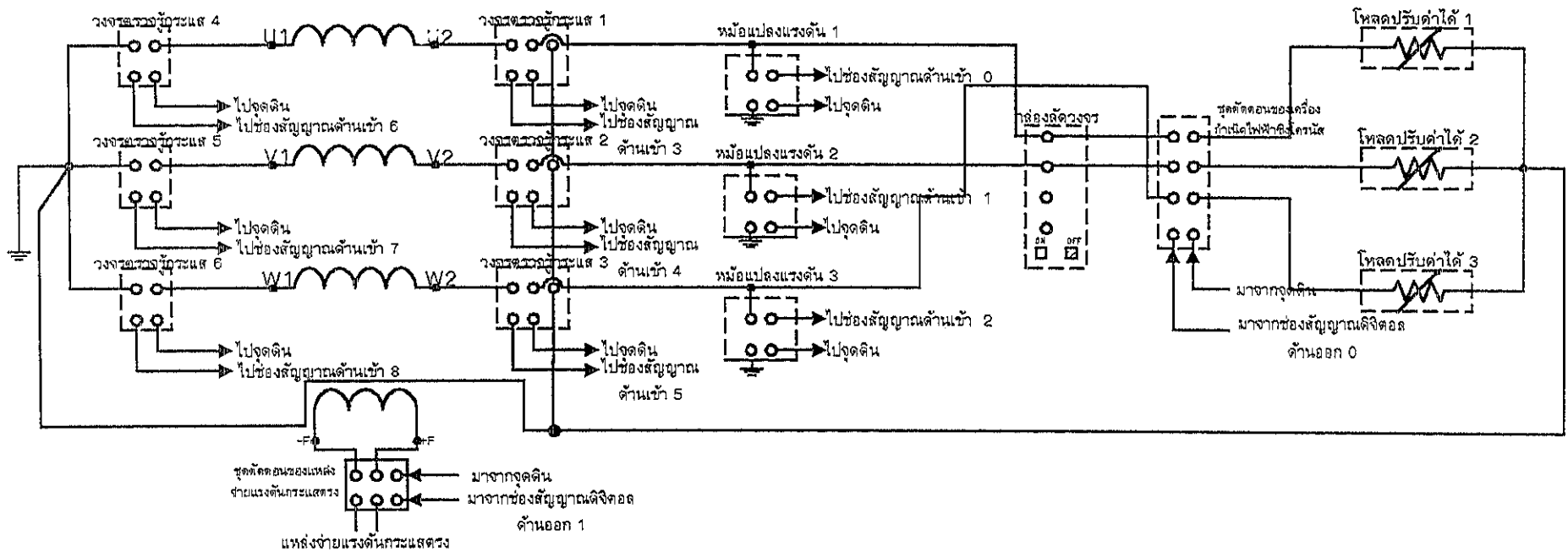
ภาพประกอบ ค.15 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส α ลงดินภายนอกเขตป้องกัน



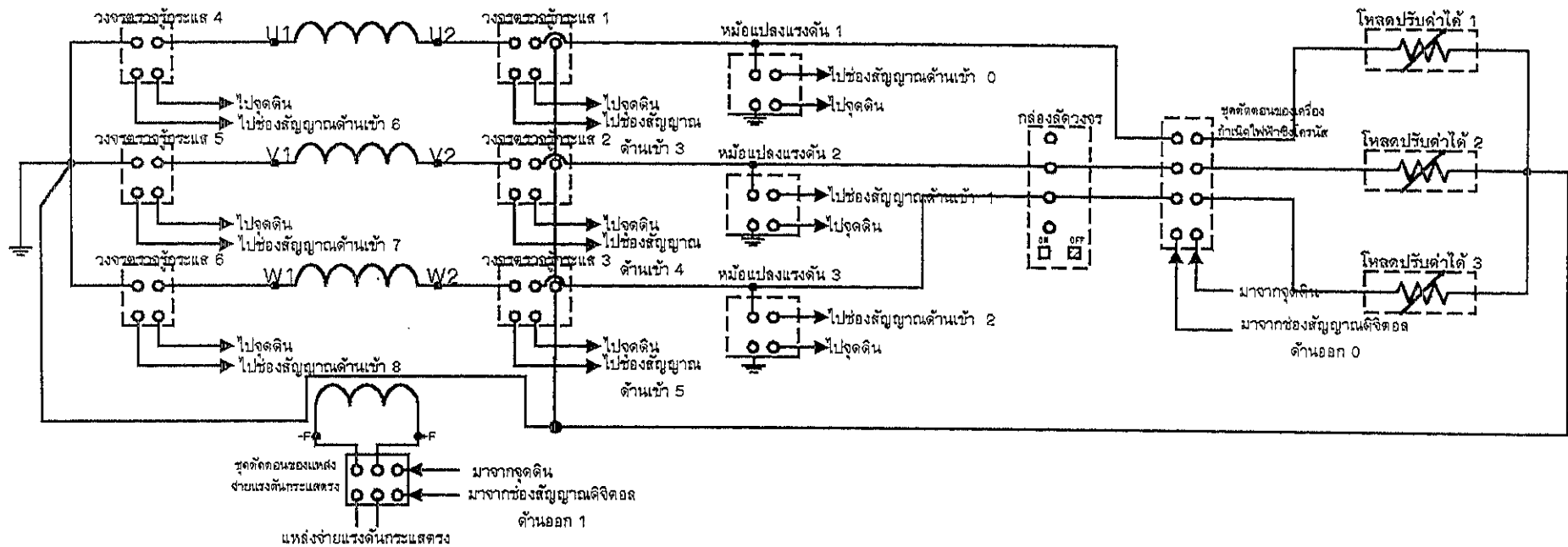
ภาพประกอบ ค.16 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส 6 ลงดินภายนอกเขตป้องกัน



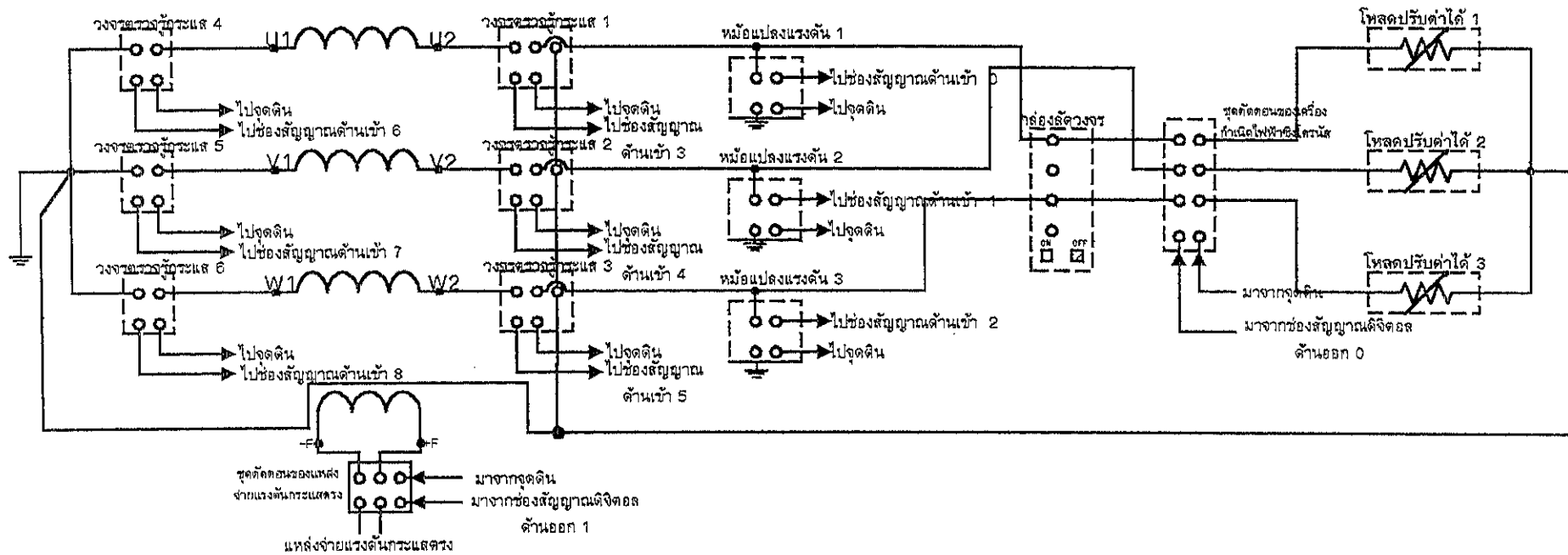
ภาพประกอบ ด.17 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส C ลงดินภายนอกเขตป้องกัน



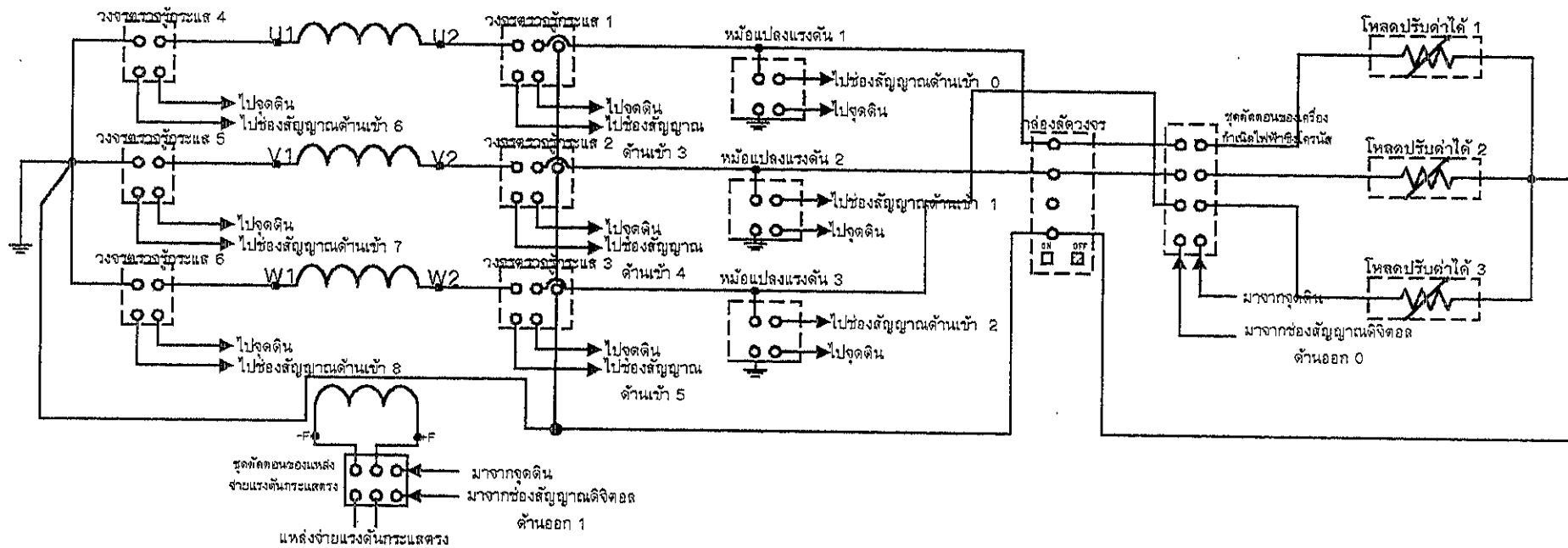
ภาพประกอบ ค.18 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส *a* และ *b* ไม่ลงดินภายนอกเขตป้องกัน



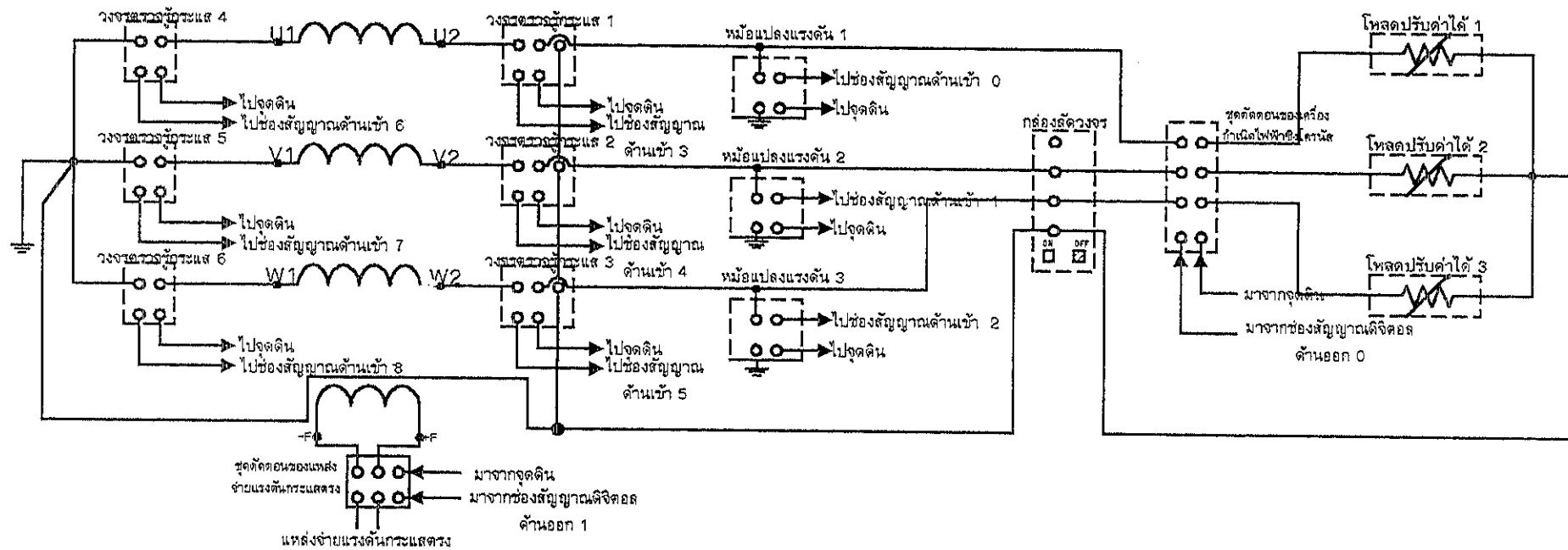
ภาพประกอบ ค.19 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส *b* และ *c* ไม่ลงดินภายนอกเขตป้องกัน



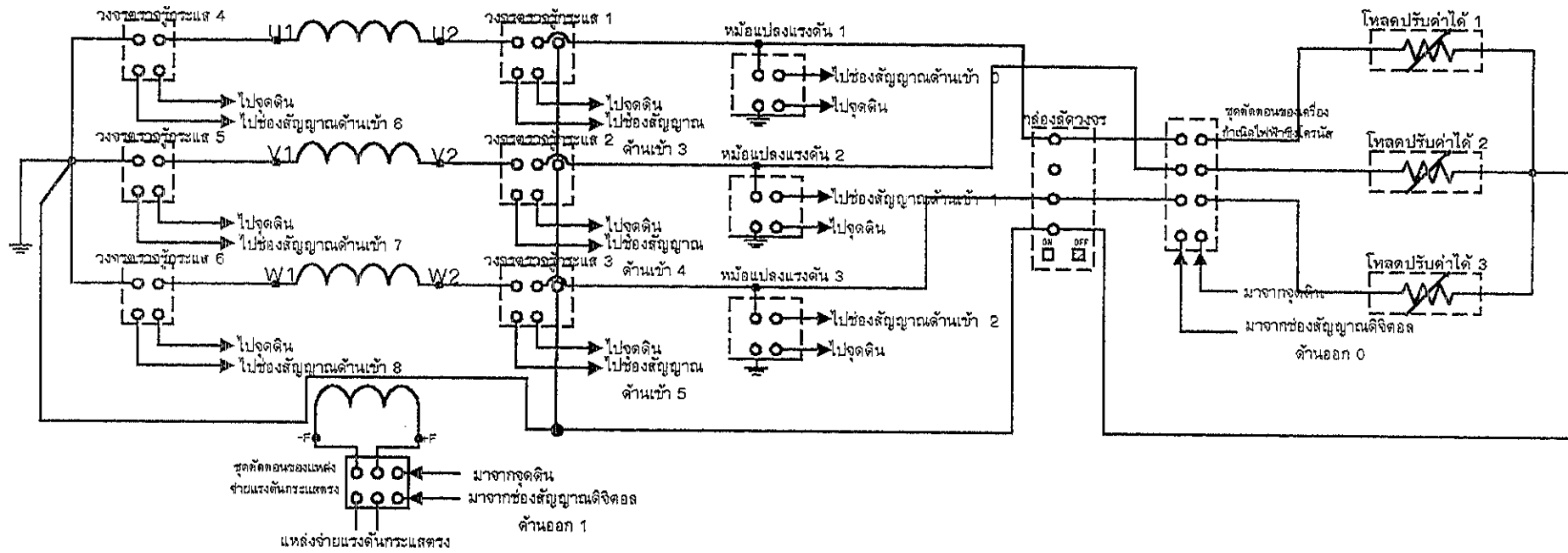
ภาพประกอบ ค.20 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส α และ c ไม่ลงดินภายนอกเขตป้องกัน



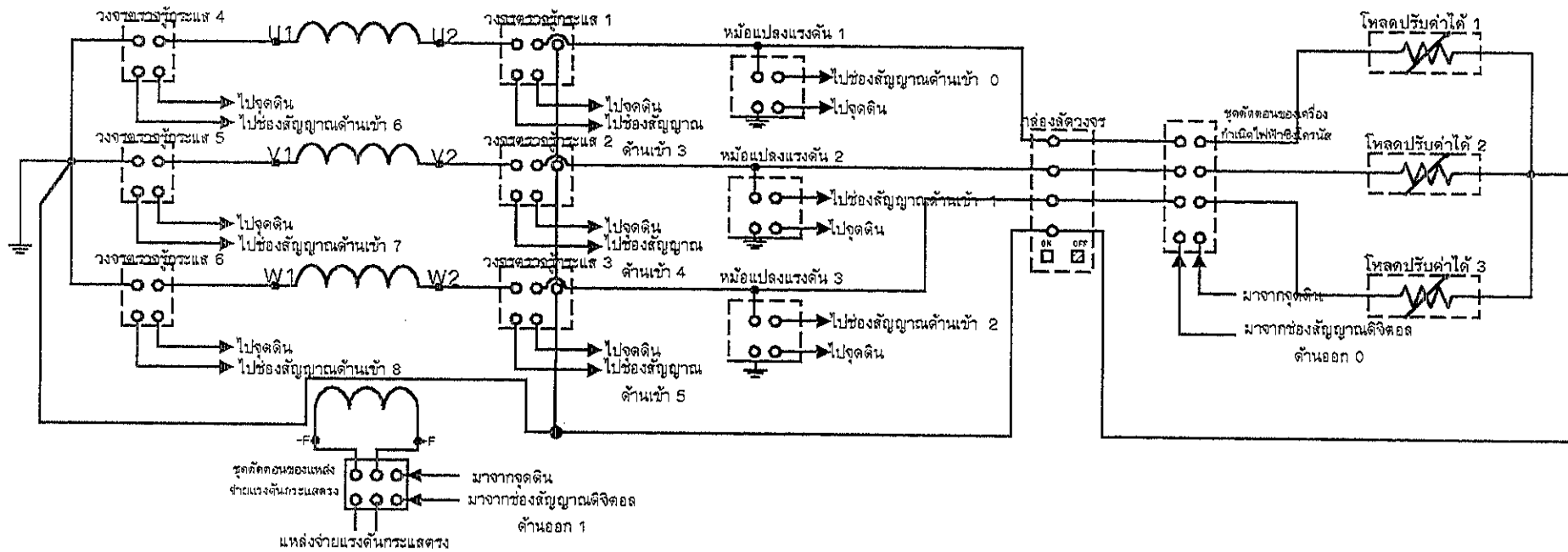
ภาพประกอบ ค.21 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส α และ b ลงดินภายนอกเขตป้องกัน



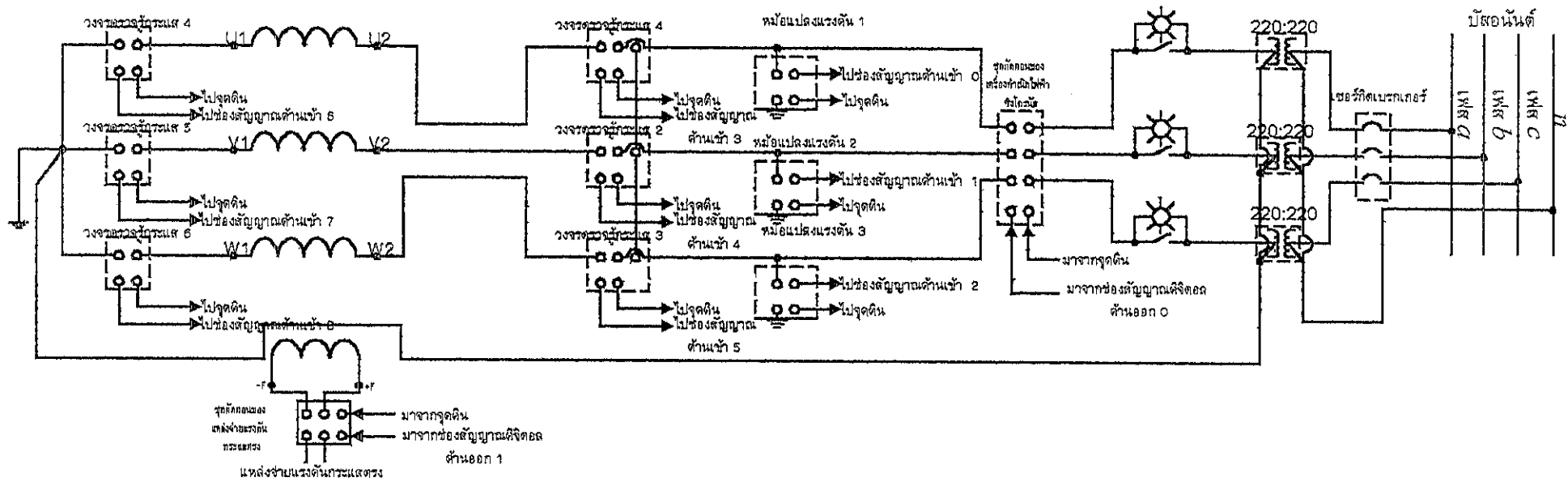
ภาพประกอบ ค.22 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส *b* และ *c* ลงดินภายนอกเขตป้องกัน



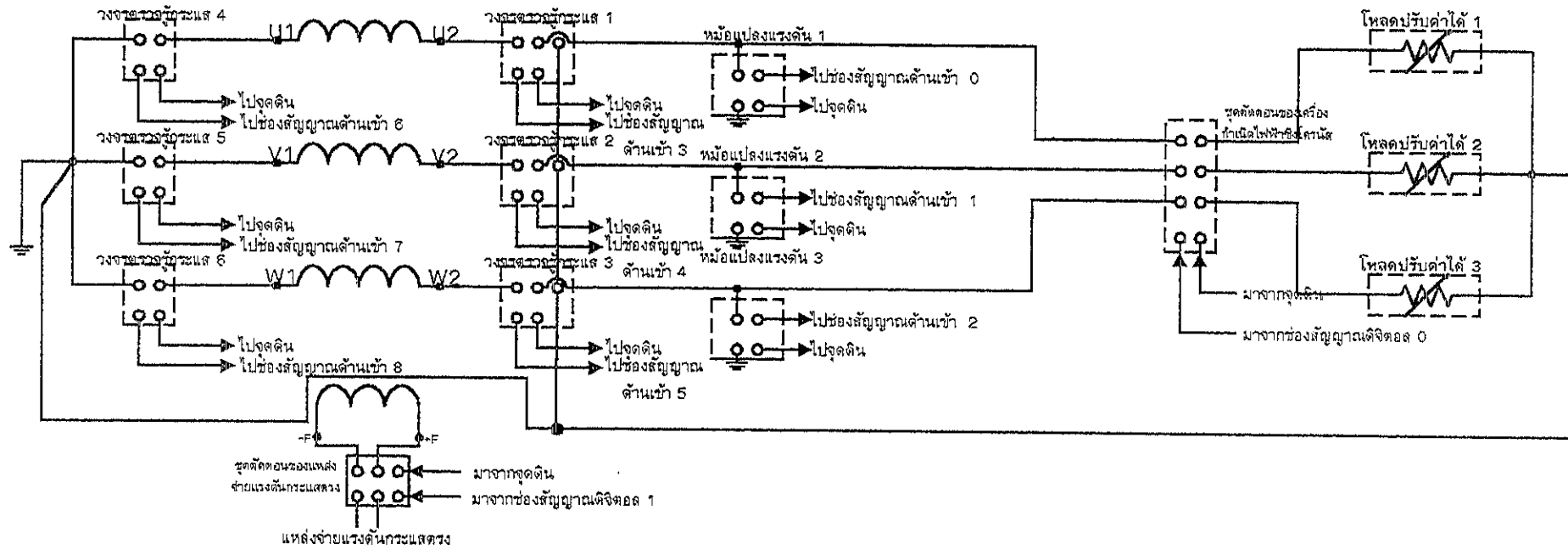
ภาพประกอบ ค.23 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส α และ c ลงดินภายนอกเขตป้องกัน



ภาพประกอบ ค.24 วงจรทดสอบการลัดวงจรเฟส α, b, c ลงดินภายนอกเขตป้องกัน



ภาพประกอบ ค.25 วงจรทดสอบกำลังไหลย้อนกลับและการสูญเสียเสี้ยนนาม



ภาพประกอบ ค.26 วงจรทดสอบกระแสเกินชนิดลำดับลบและการทำงานผิดพลาดของหม้อแปลงแรงดัน

ภาคผนวก ง.

คู่มือการใช้งานชุดควบคุมและชุดทดลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครทรัส

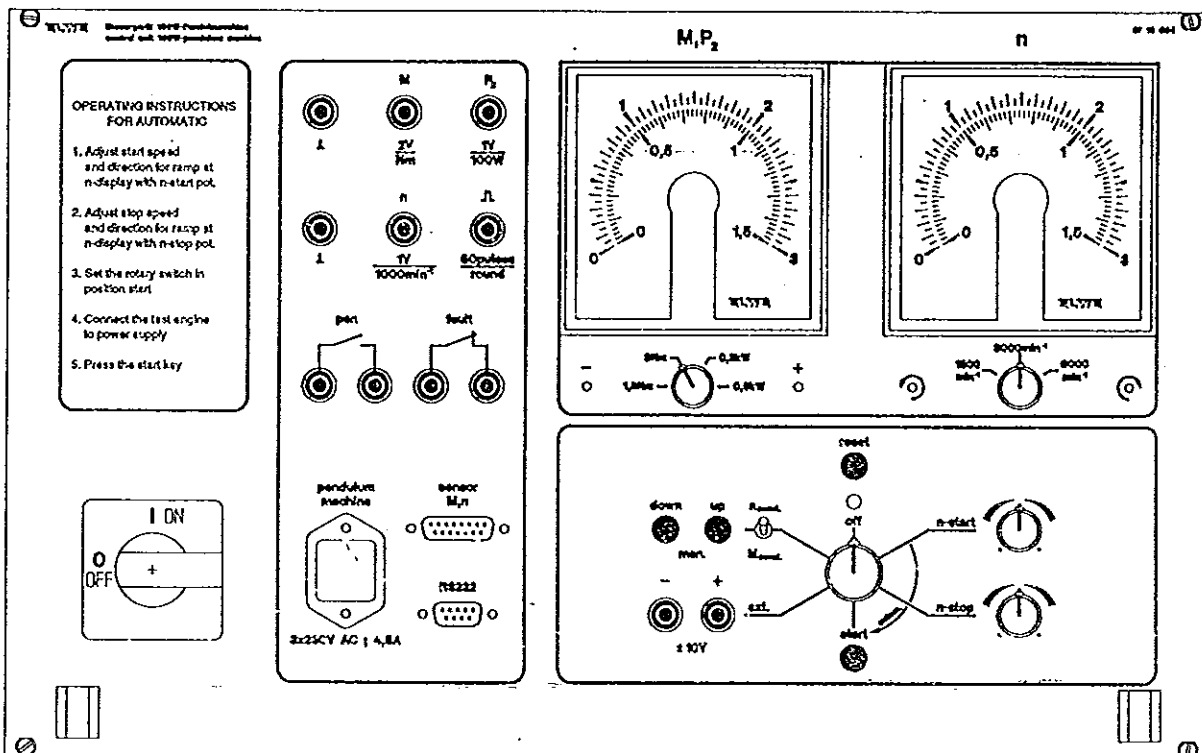
ELWE

Operating manual

Control unit for 100-W pendulum machine 67 10 604



Please read the operating manual carefully before switching on the control unit. The warranty and responsibility of the manufacturer for possible defects extinguish in case of defects which result from not observing this operating manual.



All rights reserved, particularly translations reprinting and any kind of photomechanical reproduction.

© 1996 ELWE-Lehrsysteme GmbH, Elwestraße 6, D - 38162 Cremlingen / Schandelaß
Tel. (05306) 930-0 • Fax (05306) 7135

Printed in Germany by ELWE - Lehrsysteme GmbH

GB

1. Field of application

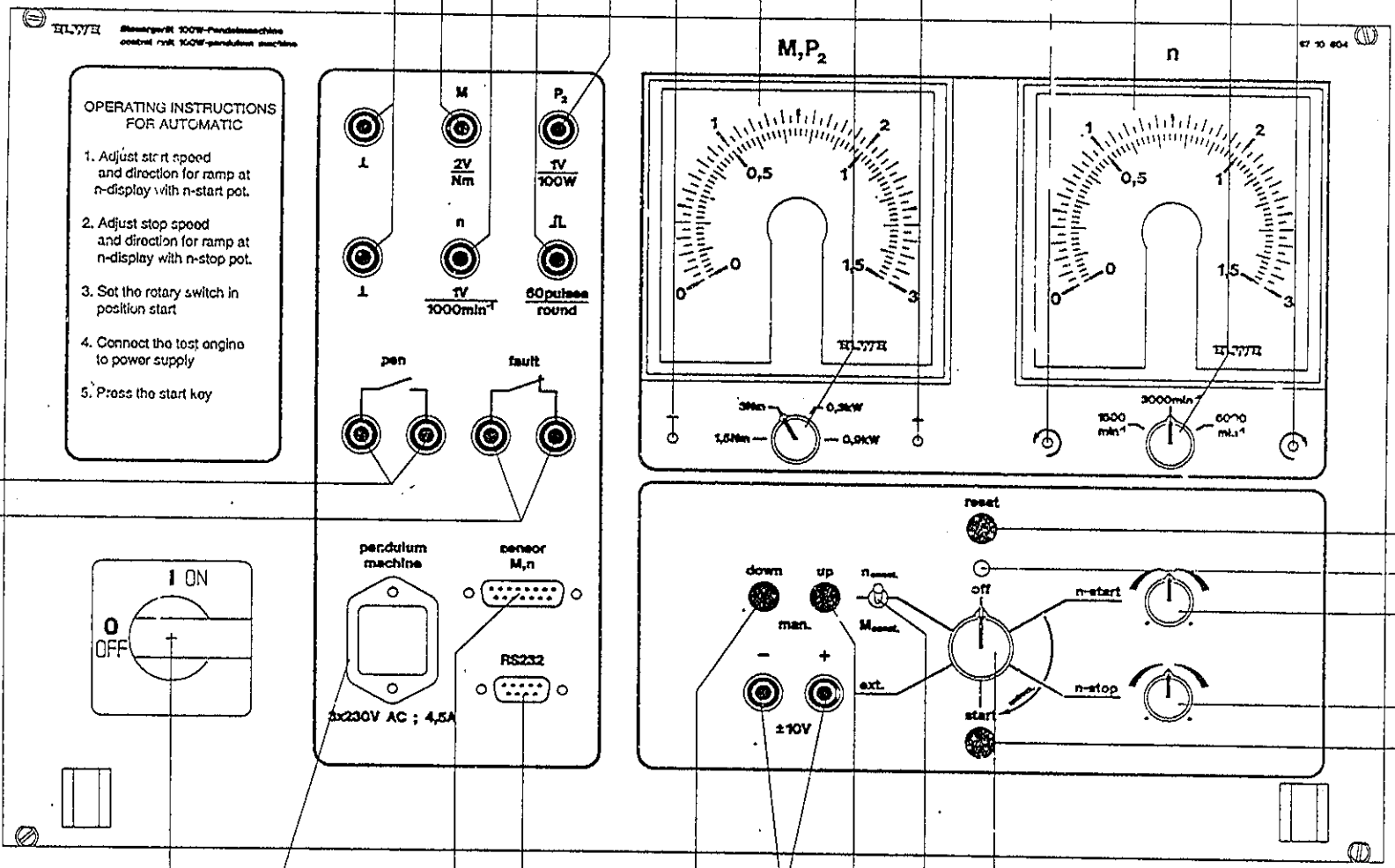
The control unit has been designed to operate pendulum machines (Art. no. 30 05 000 and 30 07 000) driven by 100-W motors only.

This combination allows you to design various tests of electrical machines within the ELWE 100-W motor program in all four quadrants.

2. Main specification of the control unit

- speed of ± 5000 rpm in three indicating ranges on a 270° pointer instrument
- torque of ± 3 Nm or shaft output of ± 0.9 kW in two indicating ranges each on a 270° pointer instrument
- RS-232 interface for the output of torque, shaft output and speed to the PC (The graphical illustration is possible by means of additional software.)
- analog outputs with standardized signals for M , P_2 and n for the connection of an XY-recorder or other measuring instruments
- automatic control of M or n
- external speed frequency control
- programmable automatic function
- monitoring of the temperature and of the protective gear at the pendulum machine and the motor of the tested machine

(7) (8) (9) (10) (11) (14) (12) (13) (15) (18) (16) (17) (19)



(6)
(5)

(1) (2) (3) (4) (23) (29) (24) (25) (20)

(22)
(21)
(26)
(27)
(28)

Control unit
for 100 - W pendulum machine

3. Designation of the controls

- (1) Mains switch
 - (2) Power connection for the pendulum machine
 - (3) Signal connection from the pendulum machine
 - (4) Serial interface for PC connection
 - (5) Fault indicating contact
 - (6) Control of the recorder
 - (7) Ground for the outputs (8) - (11)
 - (8) OUT hub for analog torque signal
 - (9) OUT hub for analog speed signal
 - (10) OUT hub for digital speed signal
 - (11) OUT hub for analog power signal
 - (12) 270° pointer instrument for torque and shaft output
 - (13) Measuring range or mode selector for (12)
 - (14) Display of negative torque or negative shaft output
 - (15) Display of positive torque or positive shaft output
 - (16) Speed frequency indicator
 - (17) selector "speed frequency range"
 - (18) Display of "left" sense of rotation
 - (19) Display of "right" sense of rotation
- The sense of rotation refers to the motor of the tested machine, viewing direction onto the shaft end
- (20) Function selector
 - (21) Display of faults or activation of pendulum machine
 - (22) Reset push-button for fault indication
 - (23) Push-button for setting the speed "down"
 - (24) Push-button for setting the speed "up"
 - (25) Switch for speed or torque control
 - (26) Adjuster for start speed at automatic operation
 - (27) Adjuster for stop speed at automatic operation
 - (28) Push-button for starting the automatic operation
 - (29) IN hub for external control voltage

4. Connecting instructions

The unit is connected to the pendulum machine and, if necessary, to the PC via the connections (2), (3) and (4).

When the pendulum machine and the machine, that shall be examined, have been coupled, it is necessary to set up the following connections.

- Machines on aluminium profile
 - apply both guard bows
 - connect the thermal switch via the socket at the terminal box of the motor by means of a jack plug cable of the pendulum machine
- Machines on frame
 - apply guard bow
 - connect the thermal switch via the socket at the terminal box of the motor by means of a jack plug cable of the frame
 - plug second jack plug cable of the frame into the corresponding socket at the pendulum machine

The control unit is linked with the AC system and is switched on by means of the mains switch (1).

The ranges for M or P₂ are selected with switch (13), for n with switch (17) and the mode of operation by means of switch (20).

When the unit is switched on or faults occur, the control unit will be locked. The display (21) is red. The resetting is carried out by means of the push-button (22).

When the display (21) is green, the pendulum machine is actuated with the desired speed according to the selected mode of operation. If this display (21) is yellow, the pendulum machine will be actuated when the push-button (22) has been activated and will then adjust on the selected setpoint automatically.

5. Mode adjustment

The following modes of operation are possible:

- **Function selector (20) on position "ext."**
The pendulum machine can be controlled with a voltage of ± 10 V at the IN hubs (29) within the speed range of left/right 5000 rpm. The rate of rise of the control voltage is not limited internally. Accelerations which are too fast can cause a fault indication. This input is provided for applications within in field of automatic control.
- **Function selector (20) on position "man.", switch (25) on position nconst.**
When the unit is switched on, the speed of the test motor will be determined by the control unit and then the pendulum machine will be controlled with the corresponding speed. Both machines run synchronously. The torque is approx. 0.
The speed is adjusted in the direction 5000 rpm left by means of the push-button "down" (23) and in the direction 5000 rpm right by means of the push-button "up" (24). The rotary frequency of the pendulum machine can be altered by the lowest possible value by tapping the respective push-button shortly. If it is actuated for a longer time, the speed will be regulated progressively.

- **Function selector (20) on position "man.", switch (25) on position M_{const} .**
The speed is adjusted in the direction 5000 rpm left by means of the push-button "down" (23) and in the direction 5000 rpm right by means of the push-button "up" (24).
When the speed is changed or the unit is switched on, the actual torque will be stored as a setpoint and possible changes of the torque on the load side will be compensated by an automatic speed regulation resulting in a constant torque.
Selector "torque and shaft output range" (13) must be set on torque range.
- **Function selector (20) on position "off"**
The pendulum machine is not actuated.
- **Function selector (20) on position "n-start"**
The pendulum machine is not actuated. The sense of rotation and the speed for starting the automatic function are set with the adjuster (26). The set sense of rotation is indicated by means of the displays (18) or (19) and the speed by means of the pointer instrument (16). The range selector (17) is active.
- **Function selector (20) on position "n-stop"**
The same operation as with "n-start" but setting the stop speed of the automatic function.
- **Function selector (20) on position "start"**
The pendulum machine accelerates with a short ramp to the start speed which had been set by means of the adjuster (26).
- **Function selector (20) on position "start", actuating push-button (28)**
The pendulum machine accelerates with a long ramp to the stop speed which had been set by means of the adjuster "n-stop" (27). When the stop speed is reached, the pendulum machine is switched off.
During automatic operation, that is from the moment of actuating the push-button (28) until reaching the stop speed, the floating pen contact (6) is closed.
Now, the automatic operation can only be started again after having turned back the function selector.

6. Sequence for the operation of the automatic function

1. Adjusting the start speed and sense of rotation
2. Adjusting the stop speed and sense of rotation
3. Setting function selector on "start"
4. Switching on the motor of the tested machine
5. Pressing push-button "start"

7. Further notes

The standard signal for torque, speed and shaft output is applied to the safety sockets (8), (9) and (11) and the ground (7).

The speed with the duty factor 1, CMOS-level of 15 V, is available at socket (10). It can be read off in rpm at a connected counter.

Switching-on and the following faults cause an opening of the floating fault indicating contact (5):

- the guard bow has not been attached to the motor
- motor / basic panel and guard bow have simultaneous contact
- the temperature of the motor is too high
- overstressing of the control unit

The fault indication can be reset by eliminating the defect (cooling down the motors, if necessary) and pressing push-button "reset" (22).

By means of specific software, speed and torque or shaft output can be illustrated graphically on the monitor of the PC. Torque and shaft output can be selected with switch (13).

The PC interface (4) has also the function to parameterize the control unit by means of specific software through service staff. When delivered, the control unit is parameterized.

8. Technical data

Operating voltage:	230 V, 50-60 Hz
Power output:	3 x 230 V AC; 4,5 A 0 - 167 Hz overload capacity up to 200 % for 30 s.
Fault indicating contact:	250 V AC; 0,2 A
Control of recorder:	30 V DC; 1 A
M-signal:	± 2 V/Nm; max. 10 mA
n-signal:	± 1 V / 1000 min ⁻¹ ; max. 10 mA
P ₂ -signal:	± 1 V / 100 W; max. 10 mA
n-frequency:	60 pulses per revolution CMOS-level, 0 - 15 V
Mains fuse in the back panel of the unit:	1 x 16 A T (6.3 x 32)
Power unit fuse:	50 mA T (5 x 20)

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายรุ่งฤทธิ์ ศรีเมฆารัตน์
วัน เดือน ปีเกิด 31 มีนาคม 2513
วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(ไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2534