

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์
DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PORTABLE RELAY TESTER
CONTROLLED BY MICROCONTROLLER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาของระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรม

ศูนย์พัฒนาระบบสารสนเทศและคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยเทคโนโลยีและสารสนเทศ

พ.ศ. 2543

ISBN 974-648-939-8

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PORTABLE RELAY TESTER
CONTROLLED BY MICROCONTROLLER



นราดล โชติวรรณพร

NARADON CHOTIWANAPORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

เลขที่.....
เลขทะเบียน...38954
วัน, เดือน, ปี 20 ก.พ. 2544

ขอสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้แบบเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
หากดัดแปลงเนื้อหา และดองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
พ.ศ.2543

ISBN 974-648-030-8

b.....
i.....

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PORTABLE RELAY TESTER
CONTROLLED BY MICROCONTROLLER**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

เอกสารนี้เป็นเอกสารของ **KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG** โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา ณ 2000 อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISBN 974-648-030-8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการพิมพ์ซ้ำหรือการดัดแปลงใดๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2000
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PORTABLE RELAY TESTER
CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

ชื่อนักศึกษา นายนราดล โชติวีรณิพพร
รหัสประจำตัว 40061048
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชัยวุฒิ	ฉัตรอุทัย	
ผศ.จงรักษ์	บุญเส็ง	
รศ.พิพัฒน์	เลาหสังคราม	
ผศ.ดร.วิจิตร	กิมเรศ	
รศ.ศิริวัฒน์	โปธิเวชกุล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 15 ธันวาคม 2543 เวลา 12.00-13.00 น.
สถานที่สอบ ณ ตึก 12 ชั้น 4 (ห้อง E12-404)



บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว
วันที่... 9 ...เดือน... มกราคม พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ ใช้งาน หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
ชื่อนักศึกษา	นายนราดล โชติวรรณพร
รหัสประจำตัว	40061048
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2543
อาจารย์ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันรีเลย์เป็นสิ่งสำคัญในการป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง หากรีเลย์ป้องกันทำงานผิดพลาดจะทำให้เกิดความเสียหายและทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังขาดความน่าเชื่อถือ ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบรีเลย์ป้องกันอย่างสม่ำเสมอตั้งแต่เริ่มติดตั้งในระบบจนถึงตรวจตามระยะเวลาการใช้งาน เพื่อให้รีเลย์ยังคงทำงานตามมาตรฐาน เครื่องทดสอบรีเลย์ที่ใช้ในประเทศไทยยังคงต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพงและยังต้องอาศัยความชำนาญของบุคคลากรผู้ทำการทดสอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ป้องกันกระแสเกินโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51 ควบคุมระบบการทำงานและแสดงผลทางตัวแสดงผลชนิดผลึกเหลว อีกทั้งยังสามารถควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลให้เป็นระบบอัตโนมัติตลอดการทดสอบและจะแสดงผลการทดสอบในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสกับเวลา ของการทำงานของรีเลย์ตามมาตรฐานการทดสอบ เครื่องทดสอบที่จัดสร้างสามารถจ่ายกระแสทดสอบ 0-50 แอมป์ โดยใช้ Stepping Motor ในการควบคุมการจ่ายกระแสทดสอบผ่านหม้อแปลงปรับค่าได้แล้วใช้หม้อแปลงกระแสเป็นตัวตรวจจับกระแสทดสอบเพื่อควบคุมค่ากระแสทดสอบให้ถูกต้องแม่นยำ อุณหภูมิใช้งาน 28 – 32 องศาเซลเซียส ทดสอบได้ทั้งรีเลย์แบบแม่เหล็กไฟฟ้า, รีเลย์แบบไฟฟ้าสถิตย์ และรีเลย์แบบดิจิตอล สามารถเลือกควบคุมการทำงานด้วยการปรับตั้งค่าด้วยมือหรือคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องทดสอบที่จัดสร้างขึ้นจะนำไปทดสอบรีเลย์มาตรฐาน ภายได้มาตรฐาน IEC 255-6 โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 5\%$ จากกราฟคุณลักษณะของกระแสและเวลา ตามมาตรฐาน IEC 255-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design and Construction of a Portable Relay Tester Controlled by Microcontroller
Student	Mr. Naradon Chotiwanaporn
Student ID.	40061048
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2000
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Siriwat Potivejkul

ABSTRACT

Nowadays, relays are important to protect power systems. If the relays malfunction, the power system may be damaged and there is no reliability. Therefore, it was suggested that the relays should be tested frequently since the installation and also during the operation in order to ensure that the relays are still working within a standard. For Thailand, the relay testers have to be imported from other countries, the price is very expensive, and the relay tester also need experts to operate. Because of these facts, an implementation and research of an overcurrent relay tester controlled by MCS51 micro-controller was proposed. The Liquid Crystal Display was used to display and the tester can also be controlled by any PC automatically in order to plot the current VS time curve base on a standard. The tester can inject current 0-50 A using stepping motor to control variable transformer. The current transformer was used to sensor the current in order to increase the accuracy of the testing. The operation temperature of the tester is 28-32 °C. The tester can be used to test Electromechanical Relay, Electrostatic Relay, and Digital Relay manually or automatically when connecting to a PC. The implemented relay tester can be operated to test relays base on IEC 255-6 standard within $\pm 5\%$ error from the current versus time characteristic curve of IEC 255-3 standard.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อท่าน รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒน์ โภธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่
อบรมและสั่งสอนมาตลอดเวลา ทำให้ผู้จัดทำมีความมานะพยายาม ขอขอบคุณอาจารย์ที่มีส่วนร่วม
ทุกท่าน ผู้ซึ่งเสียสละเวลาอันมีค่าของท่านในการให้แนวทาง ความคิดและข้อเสนอแนะต่างๆ
ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครและกองทดสอบรับ
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์
ขอขอบคุณคณาจารย์เป็นอย่างสูงที่ได้เล็งดูส่งเสียให้เล่าเรียนและขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆที่มี
ส่วนช่วยทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

นราดล โชติวรรณพร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีทั่วไป.....	3
2.1 คำว่านำ.....	3
2.2 หลักการพื้นฐานของการป้องกันกระแสเกิน.....	3
2.2.1 การทำ Discrimination ความผิดพลาดโดยใช้กระแส.....	5
2.2.2 การทำ Discrimination ความผิดพลาดโดยใช้เวลา.....	5
2.2.3 การทำ Discrimination โดยใช้ทั้งกระแสและเวลา.....	6
2.3 รีเลย์กระแสเกิน.....	6
2.3.1 ชนิดของรีเลย์กระแสเกิน.....	6
2.3.1.1 Electromechanical overcurrent relays.....	6
2.3.1.2 Static overcurrent relays.....	6
2.3.1.3 Digital overcurrent relays.....	6
2.3.2 Curve การทำงานของรีเลย์แบบ Digital relays.....	7
2.3.2.1 Standard inverse time.....	7
2.3.2.2 Long time inverse.....	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2.3 Very inverse time.....	7
2.3.2.4 Extremely inverse time.....	8
2.4 หม้อแปลงไฟฟ้า.....	8
2.5 หม้อแปลงกระแส.....	9
2.5.1 เบอเดนของซีที(Current transformer burden).....	10
2.5.2 วงจรสมมูลของหม้อแปลงกระแส.....	10
2.6 สเต็ปป์มอเตอร์.....	11
2.6.1 สเต็ปป์ชนิดแปรค่ารีลักแตนซ์ได้(Variable reluctance stepping motor).....	11
2.6.2 สเต็ปป์มอเตอร์แบบ Permanent magnet(PT).....	11
2.6.3 สเต็ปป์มอเตอร์แบบ Hybrid(Hybrid stepping motor).....	12
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	12
2.8 การสื่อสารข้อมูลอนุกรมมาตรฐาน RS-232 ของคอมพิวเตอร์.....	13
บทที่ 3. การออกแบบ.....	14
3.1 กล่าวนำ.....	14
3.1.1 การกำหนดพิกัดของเครื่องทดสอบ.....	14
3.1.2 การกำหนดหลักการทำงานของเครื่องทดสอบ.....	15
3.2 การออกแบบส่วนของวงจรกำลัง.....	15
3.2.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าปรับค่าได้ขนาด 500 VA (TR_1).....	15
3.2.2 หม้อแปลงแหล่งจ่ายกระแสขนาด 500 VA, 0-50 A, 10 V _{sc}	16
3.2.3 การทดสอบหม้อแปลง.....	18
3.2.4 หม้อแปลงกระแส.....	22
3.3 การออกแบบชุดควบคุม.....	23
3.3.1 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์.....	23
3.3.2 วงจรป้อนกลับ.....	25
3.3.3 การคำนวณความถี่ของสัญญาณนาฬิกา.....	25
3.4 ส่วนของการแสดงผล.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การออกแบบและการพิจารณาเลือกใช้สแต็ปมอเตอร์.....	28
3.5.1 วงจรไคร์ฟสแต็ปมอเตอร์.....	28
3.6 ลักษณะ โครงสร้างของเครื่องทดสอบ.....	29
3.6.1 อุปกรณ์ภายในเครื่องทดสอบปริเลย์.....	30
3.6.2 การควบคุมและการใช้เครื่องทดสอบปริเลย์.....	30
3.7 การสอบเทียบค่ากระแสและเวลา.....	31
3.7.1 การปรับตั้งค่ากระแสของเครื่องทดสอบ.....	31
3.7.2 การปรับค่าเวลาการทำงานของรีเลย์.....	33
3.8 บทสรุป.....	37
บทที่ 4. โปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ.....	38
4.1 กล่าวนำ.....	38
4.2 การติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล...38	
4.2.1 การคำนวณอัตราการส่งถ่ายข้อมูลสื่อสารกับคอมพิวเตอร์.....	38
4.2.2 การกำหนดข้อมูลในการรับส่งผ่านพอร์ตอนุกรม.....	39
4.3 โครงสร้างของโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ.....	41
4.4 บทสรุป.....	43
บทที่ 5. การทดสอบเทียบกับเครื่องมาตรฐาน.....	44
5.1 กล่าวนำ.....	44
5.2 การเตรียมห้องทดสอบ.....	44
5.2.1 การวัดค่าสนามแม่เหล็กภายในห้องทดสอบ.....	44
5.2.2 การวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....	47
5.2.3 การวัดรูปสัญญาณกระแสและแรงดันที่ออกจากเครื่องทดสอบ.....	47
5.3 การคำนวณหาค่าความผิดพลาด.....	48
5.4 การทดสอบกับรีเลย์มาตรฐาน.....	50
5.4.5 ผลการทดสอบกับ Overcurrent relay(มาตรฐาน) type SEL-551.....	50
บริษัท Scheitzer engineering ประเทศสหรัฐอเมริกา.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4.2 บทสรุป.....	67
5.4.3 ผลการทดสอบกับ Overcurrent relay(มาตรฐาน) type Sepam 2000 S25LT บริษัท Merlin gerin ประเทศฝรั่งเศส.....	70
5.4.4 บทสรุป.....	75
5.4.5 ผลการทดสอบกับ Earth fault relay(มาตรฐาน) type Sepam 2000 S25LT บริษัท Merlin gerin ประเทศฝรั่งเศส.....	76
5.4.6 บทสรุป.....	81
5.5 การทดสอบผลของอุณหภูมิต่อเครื่องทดสอบรีเลย์.....	82
5.5.1 บทสรุป.....	88
5.6 การทดสอบกับ Electromechanical relay.....	89
5.6.1 บทสรุป.....	91
บทที่ 6 สรุปผลและวิเคราะห์ผล.....	92
6.1 การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบ.....	92
6.2 โปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ.....	92
6.3 การเตรียมห้องทดสอบ.....	93
6.4 การทดสอบกับรีเลย์มาตรฐาน.....	93
6.5 การทดสอบผลของอุณหภูมิต่อเครื่องทดสอบรีเลย์.....	95
6.6 การทดสอบกับ Electromechanical relay.....	95
6.7 ข้อเสนอแนะ.....	96
เอกสารอ้างอิง.....	97
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ.....	98
ภาคผนวก ข โปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ.....	102
ภาคผนวก ค เอกสารกำกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.....	118
ภาคผนวก ง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	135
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ประวัติผู้เขียน.....	141

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	รายละเอียดคอนเน็กเตอร์แบบ DB9 ตามมาตรฐาน RS-232.....13
3.1	ผลการทดสอบหือแปลงขณะ Open circuit test.....19
3.2	ผลการทดสอบหือแปลงขณะ Short circuit test.....21
3.3	การทดสอบหือแปลงกระแส.....22
3.4	ผลการปรับค่ากระแสที่วงจรป้อนกลับ.....32
3.5	การทดสอบกระแสที่แรงดัน 220-240 V _{ac} , 50 Hz.....33
3.6	การทดสอบเพื่อสอบเทียบค่าเวลาที่ Curve standard time.....33
3.7	การปรับค่า TH0 ในโปรแกรม.....35
5.1	ผลการวัดสนามแม่เหล็ก.....45
5.1	(ต่อ).....46
5.2	ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551Curve standard inverse time Time setting 0.1 Second.....52
5.3	ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551Curve standard inverse time Time setting 0.2 Second.....53
5.4	ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551Curve standard inverse time Time setting 0.5 Second.....54
5.5	ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551Curve very inverse time Time setting 0.1 Second.....55
5.6	ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551Curve very inverse time Time setting 0.2 Second.....56
5.7	ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551Curve very inverse time Time Setting 0.5 Second.....57
5.8	ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551Curve extremely inverse time Time Setting 0.1 Second.....58
5.9	ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551Curve extremely inverse time Time Setting 0.2 Second.....59
5.10	ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551Curve extremely inverse time Time Setting 0.5 Second.....60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.11 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551 Curve long-time inverse Time Setting 0.1 Second.....	61
5.12 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551 Curve long-time inverse Time Setting 0.2 Second.....	62
5.13 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551 Curve long-time inverse Time Setting 0.5 Second.....	63
5.14 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551 Curve short-time inverse Time Setting 0.1 Second.....	64
5.15 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551 Curve short-time inverse Time Setting 0.2 Second.....	65
5.16 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551 Curve short-time inverse Time Setting 0.5 Second.....	66
5.17 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น Sepam 2000 Curve standard inverse time.....	71
5.18 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น Sepam 2000 Curve extremely inverse time.....	72
5.19 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น Sepam 2000 Curve very inverse time.....	73
5.20 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น Sepam 2000 Curve ultra inverse time.....	74
5.21 ผลการทดสอบ Earth Fault relay รุ่น Sepam 2000 Curve standard inverse time.....	77
5.22 ผลการทดสอบ Earth Fault relay รุ่น Sepam 2000 Curve extremely inverse time.....	78
5.23 ผลการทดสอบ Earth Fault relay รุ่น Sepam 2000 Curve very inverse time.....	79
5.24 ผลการทดสอบ Earth Fault relay รุ่น Sepam 2000 Curve ultra inverse time.....	80
5.25 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551 Curve standard inverse time ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส.....	83
5.26 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551 Curve very inverse time ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส.....	84
5.27 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551 Curve extremely inverse time ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส.....	85
5.28 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551 Curve long-time inverse ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส.....	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.29 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น SEL-551 Curve short-time inverse ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส.....	87
5.30 ผลการทดสอบกับ Electromechanical overcurrent relay.....	90
ค.1 ขนาดและรูปร่างของแกนเหล็กรูป EI.....	119
ค.2 ขนาดลวดตัวนำ.....	120
ค.2 ขนาดลวดตัวนำ(ต่อ).....	121



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	Definite time overcurrent relay(independent time).....4
2.2	Inverse time overcurrent relay characteristic.....4
2.3	Inverse definite minimum time(IDMT) overcurrent relay.....4
2.4	การตรวจจับของรีเลย์.....5
2.5	ลักษณะหม้อแปลงแบบสองขดลวด.....8
2.6	วงจรสมมูลของหม้อแปลงกระแส.....11
2.7	ไดอะแกรมโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....12
3.1	Block Diagram ของเครื่องทดสอบรีเลย์.....14
3.2	หม้อแปลงแบบปรับค่าได้.....16
3.3	หม้อแปลงแหล่งจ่ายกระแส.....16
3.4	ขนาดความกว้างของแกนเหล็ก EI.....17
3.5	วงจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะ Open Circuit Test.....19
3.6	วงจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าโดย Short Circuit Test.....20
3.7	วงจรสมมูลโดยประมาณของหม้อแปลง.....21
3.8	หม้อแปลงกระแส.....22
3.9	วงจรการทดสอบหม้อแปลงกระแส.....22
3.10	ความสัมพันธ์ของกระแสทางด้าน Primary และ Secondary.....23
3.11	ขั้นตอนการทำงานของเครื่องทดสอบที่ใช้ MCS-51 ควบคุมการทำงาน.....24
3.12	บล็อกการทำงานของวงจรป้อนกลับ.....25
3.13	สัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 5 kHz25
3.14	ส่วนของโปรแกรมที่ใช้สร้างสัญญาณนาฬิกา.....26
3.15	วงจรขับ LCD.....27
3.16	วงจรขับ LED.....27
3.17	วงจรขับสเต็ปปีงมอเตอร์.....29
3.18	ขนาดของเครื่องทดสอบเมื่อประกอบเสร็จ.....29
3.19	ลักษณะของเครื่องทดสอบจริงเมื่อประกอบเสร็จ.....30
3.20	วงจรป้อนกลับ.....31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.21	การปรับกระแสที่วงจรป้อนกลับ.....32
3.22	การต่อเครื่องทดสอบเข้ากับรีเลย์เพื่อวัดกระแส.....32
3.23	ส่วนของโปรแกรมที่ใช้ปรับความถี่.....34
3.24	สัญญาณนาฬิกาก่อนการปรับความถี่(5 kHz).....34
3.25	โปรแกรมหลังจากปรับความถี่.....35
3.26	สัญญาณนาฬิกาหลังการปรับความถี่(6.8 kHz).....36
3.27	ส่วนของโปรแกรมที่ปรับจำนวน Pulse.....36
4.1	ลักษณะการควบคุมเครื่องทดสอบรีเลย์กระแสเกินด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล.....38
4.2	ตัวอย่างการส่งค่า “S” ไปให้เครื่องทดสอบเริ่มทำงาน.....40
4.3	ตัวอย่างการส่งค่า “R” ไปให้เครื่องทดสอบรีเลย์ Reset.....40
4.4	ตัวอย่างการรอรับค่า “T” จากเครื่องทดสอบรีเลย์.....40
4.5	ตัวอย่างการรับคำสั่ง “R” ของ MCS-51 แล้วเคลียร์ข้อมูลที่เครื่องทดสอบรีเลย์.....41
4.6	รูปการส่งคำสั่ง “T” ของ MCS-51 เมื่อรีเลย์ Trip การทำงานแล้ว.....41
4.7	โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ.....41
4.8	หน้าต่างสำหรับป้อนค่าพารามิเตอร์ของ โปรแกรม.....42
4.9	ตัวอย่างข้อมูลที่ส่ง ไปให้เครื่องทดสอบรีเลย์ทำงาน.....42
4.10	หน้าต่างผลการทดสอบรีเลย์ของ โปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ.....43
4.11	หน้าต่างช่วยจากโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบรีเลย์.....43
5.1	การแบ่งพื้นที่ภายในห้องทดสอบและผลการวัดที่ความสูง 120 เซนติเมตร.....44
5.2	วิธีการต่อวงจรการวัดสัญญาณกระแสและแรงดัน.....47
5.3	(ก) สัญญาณกระแสที่จ่ายออกจากเครื่องทดสอบรีเลย์.....48
	(ข) สัญญาณแรงดันที่จ่ายออกจากเครื่องทดสอบรีเลย์.....48
5.4	Harmonic spectrum และค่า % THD _v ของกระแสที่จ่ายออกจากเครื่องทดสอบ.....48
5.5	Harmonic spectrum และค่า % THD _v ของแรงดันที่จ่ายออกจากเครื่องทดสอบ.....48
5.6	กราฟคุณลักษณะ Curve standard inverse time ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.1 second.....52
5.7	กราฟคุณลักษณะ Curve standard inverse time ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.2 second.....53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 กราฟคุณลักษณะ Curve standard inverse time ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.5 second.....	54
5.9 กราฟคุณลักษณะ Curve very inverse time ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.1 second.....	55
5.10 กราฟคุณลักษณะ Curve very inverse time ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.2 second.....	56
5.11 กราฟคุณลักษณะ Curve very inverse time ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.5 second.....	57
5.12 กราฟคุณลักษณะ Curve extremely inverse time ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.1 second.....	58
5.13 กราฟคุณลักษณะ Curve extremely inverse time ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.2 second.....	59
5.14 กราฟคุณลักษณะ Curve extremely inverse time ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.5 second.....	60
5.15 กราฟคุณลักษณะ Curve long-time inverse ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.1 second.....	61
5.16 กราฟคุณลักษณะ Curve long-time inverse ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.2 second.....	62
5.17 กราฟคุณลักษณะ Curve long-time inverse ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.5 second.....	63
5.18 กราฟคุณลักษณะ Curve short-time inverse ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.1 second.....	64
5.19 กราฟคุณลักษณะ Curve short-time inverse ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.2 Second.....	65
5.20 กราฟคุณลักษณะ Curve short-time inverse ของ SEL-551 ที่ Time setting 0.5 second.....	66
5.21 % ความผิดพลาด Curve SIT ใน Function overcurrent relay.....	67
5.22 % ความผิดพลาด Curve VIT ใน Function overcurrent relay.....	68

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.23	% ความผิดพลาด Curve EIT ใน Function overcurrent relay.....	68
5.24	% ความผิดพลาด Curve long-time inverse ใน Function overcurrent relay.....	69
5.25	% ความผิดพลาด Curve short-time inverse ใน Function overcurrent relay.....	69
5.26	กราฟคุณลักษณะ Curve standard inverse time ที่ Time setting 1 Second.....	71
5.27	กราฟคุณลักษณะ Curve extremery inverse time ที่ Time setting 1 Second.....	72
5.28	กราฟคุณลักษณะ Curve very inverse time ที่ Time setting 1 Second.....	73
5.29	กราฟคุณลักษณะ Curve untra inverse time ที่ Time setting 1 Second.....	74
5.30	% ความผิดพลาดใน function overcurrent relay.....	75
5.31	กราฟคุณลักษณะ Curve standard inverse time ของ Earth fault relay ที่ Time setting 1 second.....	77
5.32	กราฟคุณลักษณะ Curve extremely inverse time ของ Earth fault relay ที่ Time setting 1 second.....	78
5.33	กราฟคุณลักษณะ Curve very inverse time ของ Earth fault relay ที่ Time setting 1 second.....	79
5.34	กราฟคุณลักษณะ Curve ultra inverse time ของ Earth fault relay ที่ Time setting 1 second.....	80
5.35	% ความผิดพลาดใน Function earth fault relay.....	81
5.36	กราฟคุณลักษณะ Curve standard inverse time ของ SEL-551 ที่อุณหภูมิตั้งที่ 19 องศาเซลเซียส.....	83
5.37	กราฟคุณลักษณะ Curve standard inverse time ของ SEL-551 ที่อุณหภูมิตั้งที่ 35 องศาเซลเซียส.....	84
5.38	กราฟคุณลักษณะ Curve very inverse time ของ SEL-551 ที่อุณหภูมิตั้งที่ 19 องศาเซลเซียส.....	85
5.39	กราฟคุณลักษณะ Curve very inverse time ของ SEL-551 ที่อุณหภูมิตั้งที่ 35 องศาเซลเซียส.....	86
5.40	กราฟคุณลักษณะ Curve extremely inverse time ของ SEL-551 ที่อุณหภูมิตั้งที่ 19 องศาเซลเซียส.....	87
5.41	% ความผิดพลาดที่อุณหภูมิตั้งที่ 19 องศาเซลเซียส.....	88

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.42	% ความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส.....89
5.43	กราฟคุณลักษณะ Inverse time ของ Electromechanical overcurrent relay.....90
5.44	% ความผิดพลาดเทียบกับเครื่องทดสอบของบริษัทอื่น.....91
6.1	ผลการทดสอบของ Programa, Doble F2253 และเครื่องที่จัดสร้างขึ้น.....96
ก-1	เครื่องมือที่ใช้วัดสนามแม่เหล็ก.....99
ก-2	(ก) การวัดสนามแม่เหล็ก (ข) การวัดสนามแม่เหล็กในทิศแกน X (ค) การวัดสนามแม่เหล็กในทิศแกน Y (ง) การวัดสนามแม่เหล็กในทิศแกน Z.....99
ก-3	เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์.....100
ก-4	เครื่องมือวัดความเพี้ยนของสัญญาณ(Harmonics).....100
ก-5	Digital overcurrent relay ของบริษัท Schweitzer engineering laboratories.....100
ก-6	Electromechanical overcurrent relay ของบริษัท Westing house.....101
ก-7	Digital overcurrent relay ของบริษัท Merlin gerin.....101
ค-1	กราฟคุณสมบัติของแกนเหล็กจากผู้ผลิต.....122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันรีเลย์ป้องกันระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้งานในสถานีไฟฟ้าแรงสูงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการทำงานที่เที่ยงตรงหากรีเลย์ทำงานผิดพลาดจะทำให้เกิดความเสียหายในระบบและจะทำให้ระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลังไม่มีความน่าเชื่อถือดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบรีเลย์ให้ทำงานอย่างถูกต้องแม่นยำเสมอ โดยจะใช้เครื่องทดสอบรีเลย์เป็นเครื่องทดสอบว่ารีเลย์ที่ใช้อยู่ในขณะนี้ยังทำงานตามคุณสมบัติ (Standard curve) ที่ตั้งไว้ของรีเลย์หรือไม่ ในปัจจุบันนี้เครื่องทดสอบรีเลย์ที่มีมาตรฐานสูงจะต้องนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง ทำให้ประเทศไทยขาดดุลย์ทางการค้าและยากต่อการใช้งานรวมทั้งการซ่อมบำรุงและปรับเทียบมาตรฐาน ดังนั้นจึงได้มีแนวความคิดที่จะจัดสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ชนิด 1 เฟส โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานขึ้นโดยสามารถจ่ายกระแสทดสอบได้ถึง 50 แอมป์ ซึ่งสามารถทดสอบรีเลย์ได้ทั้งแบบ Static และ Electromechanical ได้ โดยเครื่องทดสอบรีเลย์ที่จัดสร้างขึ้นนี้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศ

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

จุดมุ่งหมายในการทำวิทยานิพนธ์นี้เพื่อออกแบบและจัดสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

- 1) เพื่อเป็นการศึกษาขั้นตอนการทดสอบรีเลย์ตามมาตรฐาน IEC 255-6(Condition)
- 2) ออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ขึ้นใช้เองภายในประเทศเพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง
- 3) เพื่อเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นใช้เองภายในประเทศ
- 4) สามารถปรับเปลี่ยน Function การทำงานได้ง่ายและผู้ใช้งานไม่ต้องมีความเชี่ยวชาญในการทดสอบก็สามารถใช้งานเครื่องทดสอบได้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

- 1) ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์ถ้านำเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์มาช่วยในการควบคุมจะทำให้การควบคุมมีความแม่นยำมากขึ้นและสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานได้ง่ายมากยิ่งขึ้น

2) นำคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมาช่วยในการตั้งค่าพารามิเตอร์และค่าที่ใช้ในการทดสอบจะสะดวกมากขึ้นและสามารถลดความผิดพลาดเนื่องจากการจดบันทึกผลการทดลองจากคนได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

โดยในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์สามารถจ่ายกระแสทดสอบได้ถึง 50 แอมป์ โดยจะอาศัยไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 มาช่วยในการควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์เพื่อให้มีความแม่นยำในการควบคุมการทำงาน, การเริ่มนับเวลาในการทำงานของรีเลย์รวมถึงการแสดงผลที่จอ LCD (Liquid crystal displays) ซึ่งเครื่องทดสอบที่จัดสร้างขึ้นนี้สามารถควบคุมการทำงานที่ตัวเครื่องทดสอบเองหรือควบคุมการทำงานจาก Software ทางหน้าจคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลก็ได้ Software ที่ใช้ในการควบคุมเครื่องทดสอบจะเขียนขึ้นมาจากภาษา Delphi หลังจากที่ได้จัดสร้างเครื่องทดสอบเสร็จแล้วจะนำไปทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องต้นแบบที่นำเข้าจากต่างประเทศโดยจะทำการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 255-3 [5]

1.5 ขอบเขตการวิจัย

- 1) จัดสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงาน
- 2) ทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องต้นแบบที่นำเข้าจากต่างประเทศ

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นงานวิจัยใหม่โดยนำหลักการการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์ที่นำเข้าจากต่างประเทศมาเป็นแนวทางในการจัดสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ขึ้นมาใหม่และได้เพิ่มเติมการควบคุมการทำงานให้มีความสะดวกในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถที่จะตั้งค่าพารามิเตอร์และทดสอบจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาและจัดสร้างเครื่องทดสอบดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาการทำงานของเครื่องทดสอบที่นำเข้าจากต่างประเทศ
- 2) ออกแบบและจัดสร้างเครื่องทดสอบ
- 3) เขียนโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
- 4) ทดสอบความแม่นยำในการจ่ายกระแสทดสอบและเวลาในการทดสอบ
- 5) ทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศ
- 6) วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ฌึ่มีว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีทั่วไป

2.1 กล่าวนำ

รีเลย์กระแสเกิน(Overcurrent relay) เป็นรีเลย์ที่ใช้แพร่หลายมากที่สุดในการป้องกันความผิดปกติอันอาจเกิดจากกระแสโหลดเกิน(Overload) หรือใช้ป้องกันกระแสลัดวงจร(Short circuit) ของระบบไฟฟ้าก็ได้ตามลักษณะการใช้งาน โดยทั่วไปถ้าใช้ป้องกันกระแสเกินจะใช้เป็น Primary protection ป้องกันความผิดปกติแบบเฟส(Phase fault) และความผิดปกติลงดิน(Earth fault) ในระบบของสายป้อนแบบเรเดียลซึ่งส่วนมากใช้ในสถานีไฟฟ้าย่อย, โรงงานอุตสาหกรรม, ระบบสายส่งย่อย นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานทำหน้าที่เป็น Backup ได้ทุกประเภทของการป้องกัน เช่น ระบบสายส่ง, ระบบสายส่งย่อย, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, หม้อแปลงไฟฟ้า และบัสเป็นต้น

สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับรีเลย์ป้องกันกระแสเกินเป็นดังนี้

50 คือ Instantaneous overcurrent relays

51 คือ Time Delay overcurrent relays

50N, 50G คือ Ground instantaneous overcurrent relays

51N, 51G คือ Ground time delay overcurrent relays

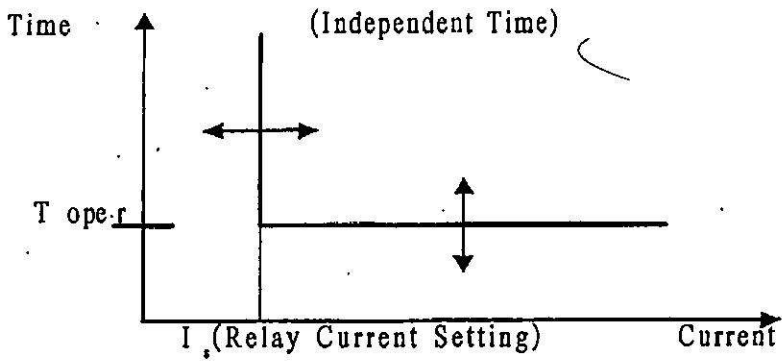
2.2 หลักการพื้นฐานของการป้องกันกระแสเกิน

จุดมุ่งหมายของการป้องกันกระแสเกินหรือการป้องกันในรูปแบบอื่นๆ คือเพื่อตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังและจะนำผลที่ได้ไปทำให้ Switchgear ทำงาน เพื่อที่จะตัดส่วนที่เกิดความผิดปกติออกไปจากระบบ การป้องกันต้องสามารถตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบ โดยการเลือกและตัดเฉพาะส่วนที่เกิดความผิดปกติเท่านั้นออกจากระบบ ขณะที่ส่วนอื่นๆ ของระบบยังทำงานได้ตามปกติ[1]

ปริมาณที่ใช้ตรวจจับความผิดปกติที่เกิดขึ้น

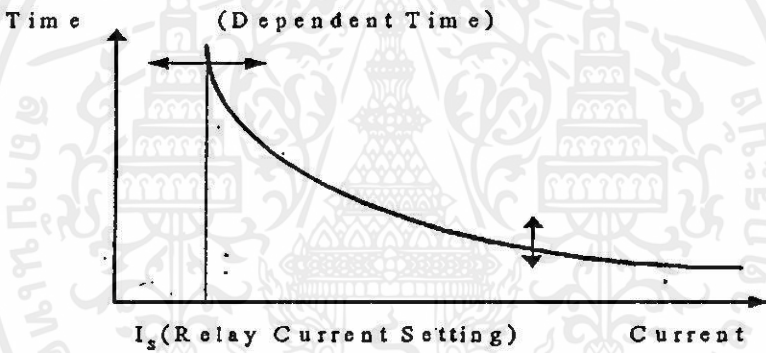
- 1) กระแส
- 2) เวลา
- 3) กระแสและเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ลักษณะการทำงานของรีเลย์สามารถแบ่งได้ดังนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การทำงานของรีเลย์ไม่ขึ้นกับเวลาแต่ขึ้นกับค่ากระแสที่ปรับตั้งไว้ นั่น ึ่งคือเมื่อกระแสผิดปกติมากกว่าหรือเท่ากับค่ากระแสที่ปรับตั้งไว้รีเลย์จะทำงานทันที ดังแสดงในรูป 2.1



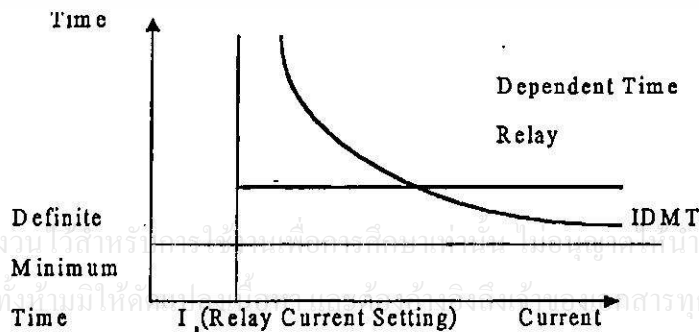
รูปที่ 2.1 Definite time overcurrent relay (Independent time)

การทำงานของรีเลย์เมื่อกระแสผิดปร้องมากกว่าหรือเท่ากับกระแสปรับตั้ง โดยที่ความเร็วในการทำงานของรีเลย์ขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสผิดปร้อง ถ้ากระแสผิดปร้องมากรีเลย์จะทำงานเร็ว ดังแสดงในรูป 2.2



รูปที่ 2.2 Inverse time overcurrent relay characteristic

การทำงานของรีเลย์ที่รวมลักษณะการทำงานของรีเลย์ทั้งสองแบบในรูป 2.1 และ 2.2 เข้าไว้ด้วยกันนั้นคือจะมีช่วงเวลาทำงานของรีเลย์แปรตามขนาดกระแสผิดปร้องและมีเวลาที่รีเลย์ทำงานทันทีเมื่อขนาดของกระแสผิดปร้องเป็นไปตามที่กำหนด



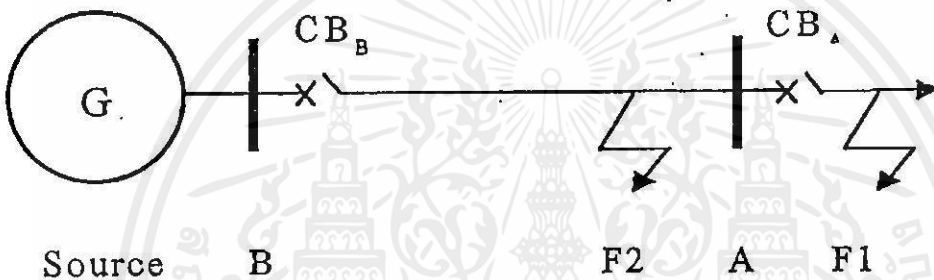
รูปที่ 2.3 Inverse definite minimum time (IDMT) overcurrent relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำ Discrimination เป็นการจัดลำดับการป้องกัน โดยให้รีเลย์ที่อยู่ใกล้ความผิดปกติทำงานก่อนและรีเลย์ที่อยู่ห่างมาทำหน้าที่เป็นตัว Backup

2.2.1 การทำ Discrimination ความผิดปกติโดยใช้กระแส

การทำ Discrimination โดยใช้กระแสผิดปกติของอาศัยหลักการที่ว่ากระแสผิดปกติจะแปรตามตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติซึ่งเป็นการแปรผันตามอิมพีแดนซ์อุปกรณ์ต่างๆเช่นสายเคเบิลและหม้อแปลง รีเลย์ของระบบทั้งหมดจะถูกปรับตั้งให้ทำงานที่ค่าที่เหมาะสม โดยรีเลย์ที่อยู่ใกล้กับจุดที่เกิดความผิดปกติมากที่สุดจะทำงานก่อน ระดับความผิดปกติในแต่ละด้านของตัว Circuit breaker ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การตรวจจับของรีเลย์

ในการทำ Discrimination รีเลย์ B จะถูกปรับตั้งให้ตรวจจับความผิดปกติที่ F2 ในขณะที่รีเลย์ A ถูกปรับตั้งให้ตรวจจับความผิดปกติที่ F1 ถ้าระดับความผิดปกติที่จุด F1 และ F2 มีขนาดใกล้เคียงกันรีเลย์ B อาจทำงานก่อนรีเลย์ A เมื่อเกิดความผิดปกติจะเปลี่ยนไปตามแหล่งที่เกิดอัตราส่วนระหว่างกระแสผิดปกติมากที่สุดกับกระแสผิดปกติน้อยสุดเป็น 2:1 รีเลย์ต้องทำงานภายใต้ระดับความผิดปกติสูงสุด(Maximum fault current) และจะไม่ทำงานเมื่อค่ากระแสต่ำกว่าค่ากระแสผิดปกติที่ต่ำที่สุด(Minimum fault current)

2.2.2 การทำ Discrimination ความผิดปกติโดยใช้เวลา

ใช้หลักการที่ว่ารีเลย์แต่ละตัวจะถูกตั้งค่านองเวลา(Time delay) ไว้คงที่ รีเลย์ตัวที่อยู่ไกลจากแหล่งจ่ายมากที่สุดมีค่านองเวลาสั้นที่สุด เวลาในการทำงานไม่ขึ้นกับระดับของกระแสผิดปกติ ข้อเสียของวิธีนี้คือรีเลย์ตัวที่อยู่ใกล้แหล่งจ่ายมากที่สุดจะมีค่านองเวลายาวนานที่สุดและเป็นจุดที่มีระดับกระแสความผิดปกติสูงสุดด้วย(ในการใช้วิธีนี้ต้องแน่ใจว่าพิกัดความร้อนของอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่ากระแสต้องไม่เกินค่าพิกัดของอุปกรณ์)

2.2.3 การทำ Discrimination โดยใช้ทั้งเวลาและกระแส

เนื่องจากการทำ Discrimination โดยใช้กระแสผิดพระองค์อย่างเดี่ยวหรือใช้เวลาอย่างเดี่ยว มีข้อจำกัดดั่งที่ได้กล่าวไปแล้ว จึงมีการพัฒนาลักษณะคุณสมบัติของกระแสเกินผกผันกับเวลา (Inverse time overcurrent relay) มาใช้งาน หรือที่รู้จักกันในชื่อ Inverse definite minimum time (IDMT) characteristic โดยลักษณะของเวลาทำงานเป็นส่วนกลับกับกระแสที่ใช้คือกระแสยิ่งมาก เวลาในการทำงานของรีเลย์ยิ่งสั้น

2.3 รีเลย์กระแสเกิน

รีเลย์กระแสเกินที่มีใช้กันอยู่ในขณะนี้มียู่ 3 แบบคือ

- 1) Electromechanical overcurrent relays
- 2) Static overcurrent relays
- 3) Digital overcurrent relays

2.3.1 ชนิดของรีเลย์กระแสเกิน

2.3.1.1 Electromechanical overcurrent relays

รีเลย์แบบนี้จะเป็นชนิด Induction Disc มี Operating coil พันให้มี Taps อยู่ 7 Taps ซึ่งแต่ละ Tap จะให้ I-t Curves รูปร่างเหมือนกัน

การ Set relay ทำได้ 2 แบบคือ

- 1) Current taps เลือกโดยใช้ Plug setting multiplier (PSM) เป็นจำนวนเท่าของค่า Setting
- 2) Time setting ปรับโดยการหมุน (Dial) ดังนั้นบางครั้งเรียกว่า Time dial setting โดยสามารถปรับได้ตั้งแต่ช่วง 0.1-10 ปกติเรียก Time multiplier setting (TSM)

2.3.1.2 Static overcurrent relays

รีเลย์แบบนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้แทน Electromechanical overcurrent relays มี Curve ให้เลือกหลายแบบในตัวเดียวทำให้สะดวกในการทำ Discrimination โดยสามารถปรับเลือก Curve ได้ตามต้องการ

2.3.1.3 Digital overcurrent relays

รีเลย์แบบนี้จะเป็นการนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์มาช่วยตัดสินใจแทนการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สวมไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 Curve การทำงานของรีเลย์แบบ Digital relays

โดยทั่วไป Curve การทำงานของ Digital relays จะมีกราฟคุณลักษณะการทำงานของรีเลย์ดังนี้ Standard inverse time, Long time inverse, Very inverse time และ Extremely inverse

2.3.2.1 Standard inverse time

ลักษณะคุณสมบัตินี้ตรงกับมาตรฐาน BS142 หรือ โดยทั่วไปคือ 3/10 Characteristic ซึ่งหมายถึงเมื่อค่ากระแสผิดพลาดเท่ากับ 10 เท่าของกระแส Plug setting แล้วรีเลย์จะทำงานภายใน 3 sec ที่ค่า $TMS = 1.0$

รีเลย์ลักษณะคุณสมบัตินี้มีใช้งานอยู่ในทุกระดับแรงดัน เช่น เป็นตัวป้องกันสำรอง(Back up) ของระบบ EHV และเป็นตัวป้องกันหลักของระบบ HV และ MV

โดยทั่วไป Standard inverse time characteristic จะใช้เมื่อ

- 1) ไม่มีการประสานสัมพันธ์(Co-ordination) กับอุปกรณ์ป้องกันชนิดอื่น ๆ ในระบบ เช่น ฟิวส์ ลักษณะทางความร้อนของหม้อแปลง มอเตอร์ และอื่น ๆ
- 2) ระดับความผิดพลาด ณ ตำแหน่งที่ใกล้และไกลของระบบไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก
- 3) ค่ากระแสกระชาก (Inrush) ที่ Cold load pick up ต่ำสุด โดยที่กระแส Cold load คือ กระแสที่เกิดขึ้นเมื่อสายจ่าย (Feeder) ได้รับพลังงานหลังจากอยู่ภายนอกระบบเป็นเวลานาน โดยทั่วไปแล้วรีเลย์จะไม่ตั้งค่าไว้เกินค่านี้ แต่กระแสจะลดต่ำลงกว่าค่าที่รีเลย์ตั้งไว้ก่อนหน้าที่หน้าสัมผัสของรีเลย์จะปิด

2.3.2.2 Long time inverse

ลักษณะคุณสมบัตินี้ ได้มาจากรีเลย์แบบ Induction disc ซึ่งจะมีการหน่วงมากและใช้เวลานาน (Long time characteristic) เราจะใช้รีเลย์ชนิดนี้ในการป้องกันความต้านทานที่ต่อลงดินของสายนิวทรัล (Neutral earthing resistance) ที่มีพิกัด 30s รีเลย์ชนิดนี้มีการตั้งค่าตายตัวได้ 2 แบบ คือ 15 % และ 20 % Tap version ของรีเลย์ชนิดนี้อยู่ในช่วงการของค่าที่ตั้ง 80-200 % ที่กระแส 5 A และสามารถนำไปใช้กับการป้องกันโหลดเกินของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวลาทำงานของรีเลย์ที่ 5 เท่าของค่ากระแสปรับตั้งเท่ากับ 30 sec ที่ $TMS = 1.0$

2.3.2.3 Very inverse time

ลักษณะคุณสมบัติแบบนี้ ปกติใช้เมื่อต้องการเลือกใช้ค่าเวลากว้าง ๆ ในขณะที่แฟกเตอร์เวลาทั้งหมดต่ำมาก ๆ และ กระแสที่ตำแหน่งใด ๆ ในระบบมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ถ้าแสดงได้ว่ากระแสพร่องลดลงตามระยะทางที่ไกลจากแหล่งจ่าย Very inverse time characteristic เหมาะสำหรับการใช้กรณีนี้ เส้นโค้งส่วนกลับเวลาที่ชันมาก ๆ จะใช้ช่วงเวลาของการ Grading ขาวขึ้น

2.3.2.4 Extremely inverse time

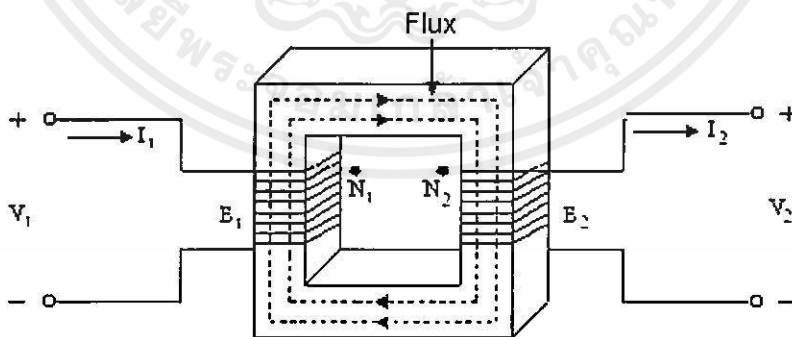
ลักษณะคุณสมบัตินี้ เวลาทำงานพหุผันกับค่ากระแสยกกำลังสอง เวลาทำงานของรีเลย์นานที่ค่ากระแสไหลสูงสุดทำให้รีเลย์เหมาะสมสำหรับการ Grading กับ ฟิวส์ และเหมาะสำหรับการใช้ป้องกันสายจ่ายซึ่งได้รับกระแสค่ายอดสูงสุดคอนสแตนต์เช่น สายป้อนสำหรับ ตู้เย็น ปัม เครื่องทำน้ำร้อนและอื่น ๆ ซึ่งยังคงต่ออยู่หลังจากที่ตัดแหล่งจ่ายไฟออกไปเป็นเวลานาน

จาก Curve ที่มีความแตกต่างกัน ในการทำ Discrimination จะต้องกำหนด Curve ที่ใช้หรือ Model ของรีเลย์ให้ชัดเจน อย่างไรก็ตามในรีเลย์ แต่ละ Model สามารถปรับ Curve ตามเวลาได้ตาม TMS จึงสามารถเลือก Curve แบบเดียวกันได้ 10 เส้น

2.4 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่ง ในการเพิ่มหรือลดระดับของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่งเมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแกนปิดจะเกิดฟลักซ์เหนี่ยวนำในแกนถ้ากระแสที่จ่ายให้มีการเปลี่ยนแปลงไปมาฟลักซ์จะเปลี่ยนไปมาด้วย ถ้าเรานำขดลวดอีกขดมาพันรอบแกนนี้ก็จะเกิดแรงดันและกระแสเหนี่ยวนำขึ้นเราเรียกหลักการนี้ว่า หม้อแปลงไฟฟ้า [2-3]

รูปที่ 2.5 แสดงถึงหม้อแปลงที่มีขดลวด 2 ขด และถือว่าเป็นหม้อแปลงในอุดมคติคือไม่มีค่าสูญเสียในแกนเหล็กและแกนสามารถทำให้เส้นแรงแม่เหล็กผ่านได้โดยไม่มีขีดจำกัด ไม่มีค่าเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหล และไม่มีค่าสูญเสียในขดลวดเมื่อไม่มีเส้นแรงแม่เหล็กรั่วไหลหมายถึงว่าเส้นแรงแม่เหล็กทั้งหมดสามารถเชื่อมโยงอยู่ระหว่างขดลวดทั้งสอง



รูปที่ 2.5 ลักษณะหม้อแปลงแบบสองขดลวด

ในรูปที่ 2.5 ส่วนประกอบหลักได้แก่ แกน ขดลวด Primary ที่มีจำนวนรอบ N_1 ขดลวด Secondary ซึ่งมีจำนวนรอบ N_2 ถ้า ϕ เป็นเส้นแรงแม่เหล็กที่เชื่อมโยงระหว่าง ขดลวด N_1 และ N_2 ตามกฎของฟาราเดย์เกี่ยวกับการเหนี่ยวนำโดยแม่เหล็กไฟฟ้าค่า แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ

(emf) E_1 และ E_2 จะเกิดขึ้นใน N_1 และ N_2 จากผลของการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็ก (Φ) ต่อเวลา คือ

$$E_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.1)$$

และ

$$E_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.2)$$

ทิศทางของ E_1 จะตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กตามกฎของเลนซ์ หม้อแปลงจะมีอัตราส่วนคงที่คือ $E_1 = V_1$ จากความสัมพันธ์ของจำนวนรอบขดลวดและแรงดัน

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

ซึ่งเราอาจเขียนในรูปค่าใช้งาน (RMS) ได้คือ

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2.3)$$

โดย a คือค่าอัตราส่วนของหม้อแปลง

ถ้าเส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงในรูปลักษณะคลื่นไซน์

$$\phi = \phi_m \sin \omega t \quad (2.4)$$

จากสมการ (2.1) และ (2.4) ค่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น อันเกิดในขดลวด N รอบ สามารถเขียนสมการสัมพันธ์กันก็คือ

$$e = \omega N \phi_m \cos \omega t \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสาร จากสมการ (2.5) ค่าใช้งานของแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำคือ $E = \frac{\omega N \phi_m}{\sqrt{2}}$ โปรดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = \frac{\omega N \phi_m}{\sqrt{2}} = 4.44 f N \phi_m \quad (2.6)$$

2.5 หม้อแปลงกระแส (Current transformer)

หม้อแปลงกระแสหรือเรียกสั้นๆ ว่า ซีที เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่ง ในการวัดปริมาณกระแส ประกอบด้วยขดลวดสองชุดพันอยู่บนแกนเหล็กคือ ขดลวดปฐมภูมิ จะต่อกับส่วนของวงจรหลักที่ต้องการวัดค่าปริมาณกระแสจริง และขดลวดทุติยภูมิ ต่ออยู่กับโหลดภาระ เมื่อมีกระแสสลับไหลผ่านขดลวดทางปฐมภูมิจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาขึ้นในแกนเหล็ก เส้นแรงแม่เหล็กส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะไปคล้องกับขดลวดทุติยภูมิ และเกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ปลายขดลวดทุติยภูมิ ผลที่ได้ทำให้เกิดมีกระแสไหลในขดลวดทุติยภูมิ หลักการนี้เราเรียกว่าหม้อแปลงกระแส [2-3]

หม้อแปลงกระแสในทางอุดมคติ ค่าผลคูณของปริมาณกระแสกับจำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ มีค่าเท่ากับทางด้านทุติยภูมิเสมอ คือ

$$N_p I_p = N_s I_s \quad (2.7)$$

เมื่อ N_p = จำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ
 N_s = จำนวนรอบของขดลวดด้านทุติยภูมิ
 I_p = กระแสในขดลวดทางด้านปฐมภูมิ
 I_s = กระแสในขดลวดทางด้านทุติยภูมิ

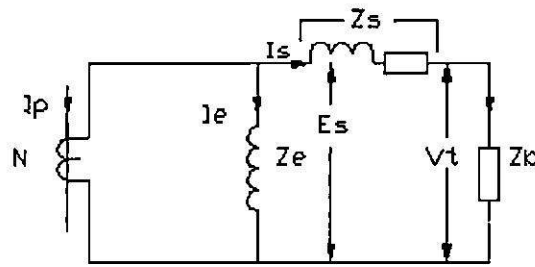
2.5.1 เบอเดนของซีที (Current transformer burden)

เบอเดนคือวงจรที่ต่ออยู่ทางด้านขดลวดทุติยภูมิของซีที มีความหมายเหมือนกับโหลดค่าของเบอเดนกำหนดในเทอมของอิมพีแดนซ์รวมค่าความต้านทานและรีแอกแตนซ์ของวงจรทั้งหมด ในสมัยก่อนค่าเบอเดนกำหนดในเทอมของโวลท์-แอมป์และตัวประกอบกำลัง หมายถึงค่าโวลท์-แอมป์ที่ถูกใช้ในเบอเดน เมื่อมีกระแสไหลเท่ากับกระแสทุติยภูมิ (มีค่าเท่ากับพิกัดกระแสทุติยภูมิกำลังสองคูณกับอิมพีแดนซ์ของเบอเดน)

2.5.2 วงจรสมมูลของหม้อแปลงกระแส

วงจรสมมูลของหม้อแปลงกระแสสามารถเขียนอธิบายได้ในลักษณะเดียวกันกับวงจรสมมูลของหม้อแปลงทั่วไป ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าอัตราส่วนผิดพลาดได้จากสมการ(2.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 วงจรสมมูลของหม้อแปลงกระแส

$$error = \frac{NI_s - I_p}{I_p} \times 100 \quad (2.8)$$

- เมื่อ
- N คือ อัตราส่วนการแปลงค่า
 - I_s คือ กระแสจริงที่ไหลด้านทุติยภูมิ
 - I_p คือ กระแสจริงที่ไหลด้านปฐมภูมิ

2.6 สเต็ปป์ิงมอเตอร์

สเต็ปป์ิงมอเตอร์เป็นเครื่องมือทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล คือ เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าและแรงดันเหมาะสมให้กับสเต็ปป์ิงมอเตอร์ โครงสร้างต่างๆ ไปของ สเต็ปป์ิงมอเตอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ

2.6.1 สเต็ปป์ิงชนิดแปรค่ารีลักแตนซ์ได้ (Variable reluctance stepping motor)

สเต็ปป์ิงมอเตอร์ชนิดนี้มักเรียกสั้นๆว่า VR stepmotor โดยโครงสร้างของสเตเตอร์และโรเตอร์สร้างมาจากเหล็กผสมซิลิคอน(Silicon steel) เพราะเป็นวัสดุที่มีความซั้บซึ้บ(Permeability) ได้สูง ข้อดีของสเต็ปป์ิงมอเตอร์แบบนี้คือจะมีค่า Inertia ที่ต่ำเพราะว่าแกนของโรเตอร์ไม่ใช่แม่เหล็กถาวรจึงทำให้การหมุนของโรเตอร์สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว

2.6.2 สเต็ปป์ิงมอเตอร์แบบ Permanent magnet (PM)

สเต็ปป์ิงมอเตอร์ชนิดนี้มักเรียกสั้นๆว่า PM stepmotor โดยโครงสร้างของโรเตอร์จะเป็นแบบแม่เหล็กถาวรส่วนสเตเตอร์สร้างขึ้นจากเหล็กผสมอัลลอย(Steel alloy, Alnico) เพื่อที่จะสามารถทำให้เกิดแม่เหล็กแบบหลายขั้ว(Multipole permanent magnet) บนสเตเตอร์เดียวได้ ข้อดีของสเต็ปป์ิงมอเตอร์แบบนี้คือจะให้แรงบิดสูงในขณะที่ใช้กำลังงานต่ำแต่ข้อเสียของการใช้แม่เหล็กถาวรเป็นโรเตอร์คือมีราคาแพงและค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูงสุดจะถูกจำกัดโดยระดับสารแม่เหล็กของขั้วแม่เหล็ก

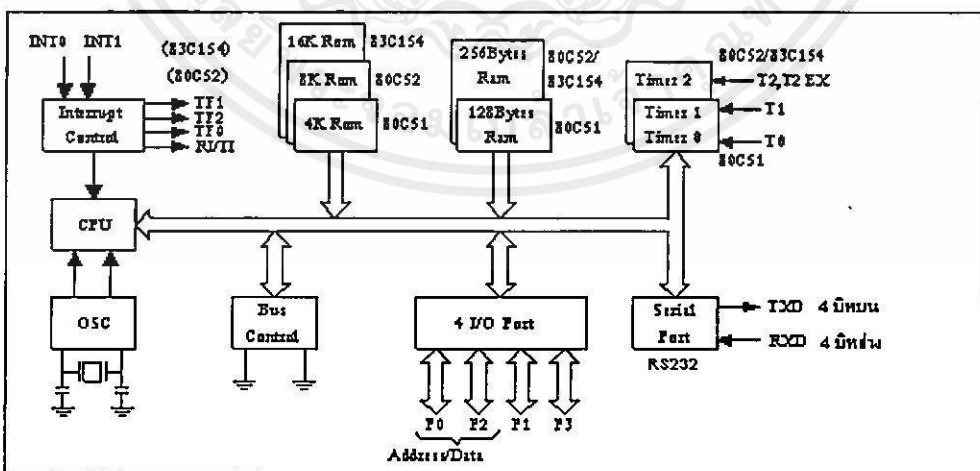
2.6.3 สเต็ปป์มอเตอร์แบบ Hybrid (Hybrid stepping motor)

โครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์แบบนี้จะนำโครงสร้างของสเต็ปป์มอเตอร์ทั้งแบบ VR และ PM มารวมกันคือขั้วแม่เหล็กถาวรและการแปรค่ารีลักแตนซ์เพื่อที่จะให้มุมของสเต็ป(Step angle) ที่ขนาดเล็กๆแต่ได้แรงบิด(Torque) ที่สูง

2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยว คือไมโครคอมพิวเตอร์แบบที่มีขนาดเล็กโดยบรรจุอยู่ในแผงวงจรรวมเพียงชิพเดี่ยว เหมาะสำหรับงานควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ แบบอัตโนมัติผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานได้ตามต้องการไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยวตระกูล 51 หรือ MCS-51

MCS-51 ผลิตโดยบริษัท Intel มีการทำงานเป็นแบบ 8 บิต หมายความว่าส่วนที่ทำหน้าที่ในการคำนวณ (Arithmetic logic unit) ALU จะทำงานสูงสุดทีละ 8 บิต ซึ่งสามารถนำเอาข้อมูลมา AND, OR หรือทำ Complement ทั้งแบบทีละ 8 บิต และ 1 บิต MCS-51 เป็นที่นิยมนำมาใช้ในการควบคุมระบบอัตโนมัติมาก เป็นวงจรรวมแบบ Single chip ขนาด 40 ขา ดังนั้นเราสามารถออกแบบให้ระบบทั้งหมดมีขนาดเล็ก และการที่ทั้งหมดบรรจุอยู่ในวงจรรวมเดียวจึงทำให้การตรวจสอบหาข้อผิดพลาดในระบบง่ายไม่สลับซับซ้อน รวมทั้งลดปัญหาเรื่องการที่มีสัญญาณรบกวนในระบบจนทำให้การทำงานผิดพลาดไป ภายใน MCS-51 จะประกอบขึ้นด้วย GATE ต่างๆ เช่น AND, OR, NOT ซึ่ง GATE เหล่านี้จะถูกนำมาออกแบบให้มีหน้าที่การทำงานต่างๆ เช่น วงจรถอดรหัสคำสั่งโครงสร้างภายใน MCS-51 จะประกอบด้วยส่วนย่อยๆ ดังรูปที่ 2.7[4-5]



รูปที่ 2.7 โค้ดแกรม โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์งานวิจัยของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากลักษณะของ MCS-51 เป็นคอมพิวเตอร์จึงประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ

ส่วนที่ 1 คือ CPU (Central processing unit) หรือตัวประมวลผลมีหน้าที่สร้างสัญญาณควบคุมในการติดต่อกับส่วนอื่นๆ โดยการถอดรหัสจากคำสั่งตามที่มีการกำหนดไว้ใน CPU นี้ยังประกอบด้วยส่วนย่อยอีกส่วนที่เรียกว่าส่วนประมวลผลทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล เช่นการบวก, ลบ,คูณ หรือหารข้อมูล

ส่วนที่ 2 คือหน่วยความจำมีไว้สำหรับจดจำข้อมูล แบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามลักษณะการใช้งานคือ

1) Program memory เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บคำสั่งในรูปรหัสภาษาเครื่อง

2) Data memory เป็นหน่วยความจำที่ MCS-51 ใช้สำหรับพัก เก็บข้อมูล แล้วเรียกมาใช้ใหม่ ในระหว่างการทำงานของ MCS-51

ส่วนที่ 3 อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต เป็นส่วนที่จะใช้ส่งข้อมูลเข้าหรือออกจาก MCS-51 ทำให้ MCS-51 ติดต่อกับภายนอกได้ อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้แก่ 4 I/O Port, Timer 0, Timer 1 และ Serial port

2.7 การสื่อสารข้อมูลอนุกรมมาตรฐาน RS-232 ของคอมพิวเตอร์

ในไมโครคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องจะมีพอร์ตการสื่อสารอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ติดตั้งมาพร้อมแล้ว การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์และไมโครคอลโทรลเลอร์เข้าด้วยกันจะใช้สายที่เรียกว่าสายโมเด็ม (Null modem) ในการเชื่อมต่อเพื่อควบคุมและรับส่งข้อมูล[5]

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดคอนเน็กเตอร์แบบ DB9 ตามมาตรฐาน RS-232

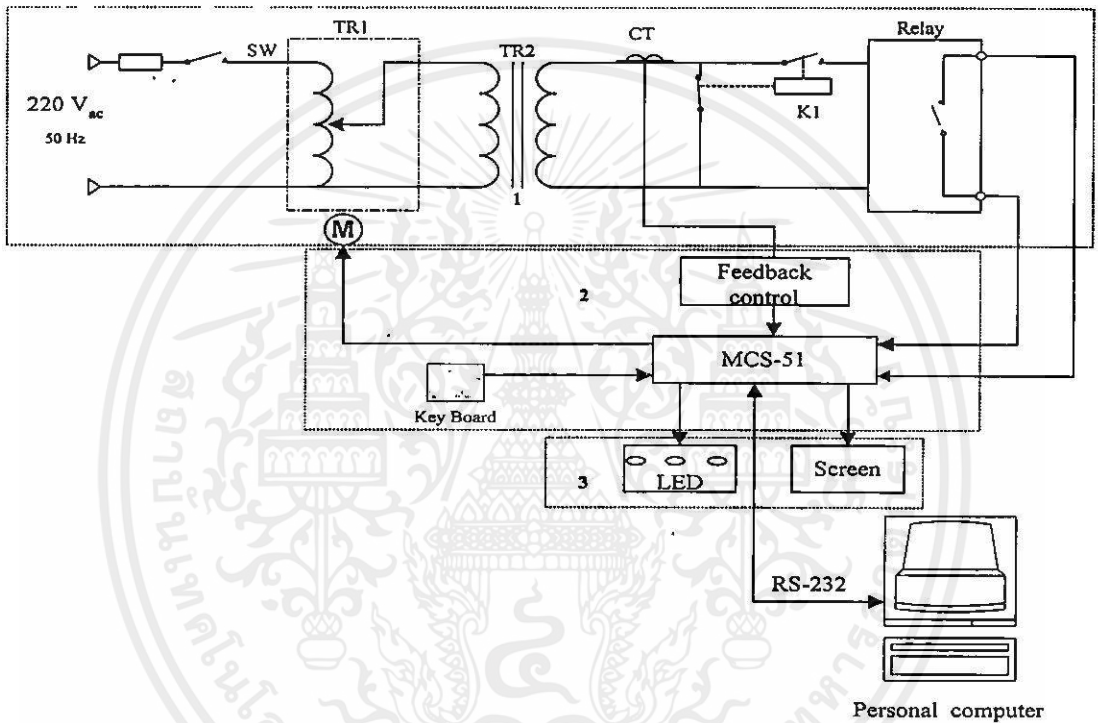
หมายเลขขาสัญญาณ	ชื่อของสายสัญญาณ
1	Data carrier detect
2	Received data
3	Transmitted data
4	Data terminal ready
5	Signal common
6	Data set ready
7	Request to send
8	Clear to send
9	Ring indicator

บทที่ 3

การออกแบบและการทดลอง

3.1 กล่าวนำ

ในการออกแบบเครื่องทดสอบบริเลย์กระแสนิน 1 เฟส จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ส่วนของภาควงจรกำลัง, ส่วนของภาคควบคุมและส่วนของภาคแสดงผลดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 Block diagram ของเครื่องทดสอบบริเลย์

3.1.1 การกำหนดพิกัดของเครื่องทดสอบ

ขั้นตอนแรกก่อนที่จะเริ่มต้นการออกแบบเครื่องทดสอบบริเลย์กระแสนินจะทำการกำหนดขนาดพิกัดของเครื่องทดสอบที่ต้องการก่อนดังนี้คือ

- 1) สามารถใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับได้ตั้งแต่ 200 - 240 V_{ac}, 50 Hz
- 2) สามารถจ่ายกระแสทดสอบได้ตั้งแต่ 0-50 A
- 3) สามารถควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051, แสดงผลทางจอ LCD และ LED ได้

ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

- 4) สามารถควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้และแสดงผลในรูปแบบกราฟลักษณะของ กระแส และเวลา ทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้

3.1.2 การกำหนดหลักการทำงานของเครื่องทดสอบ

เมื่อกำหนดพิกัดของเครื่องทดสอบแล้วขั้นตอนต่อไปจะทำการกำหนดหลักการทำงานของเครื่องทดสอบดังนี้ เริ่มจากรับไฟฟ้ากระแสสลับ $220 V_{ac}$, 50 Hz เข้าสู่หม้อแปลงปรับค่าได้ (TR_1) และหม้อแปลงปรับค่าได้จะจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับหม้อแปลงตัวที่ 2 (TR_2) เพื่อจ่ายกระแสทดสอบ 0-50 แอมป์ ให้กับรีเลย์ที่ต้องการทดสอบ ในการจ่ายกระแสทดสอบนี้จะใช้หม้อแปลงกระแส(CT) เป็นตัวตรวจจับกระแสทดสอบและเปลี่ยนค่ากระแสทดสอบนี้ให้เป็นแรงดันโดยจะวัดแรงดันที่ตกคร่อมค่าความต้านทาน 0.03 โอห์ม แล้วส่งค่าของแรงดันนี้ไปเปรียบเทียบกับค่าของกระแสที่ต้องการในไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ว่าเท่ากับที่ต้องการหรือไม่ ถ้ายังไม่เท่ากันไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะส่งสัญญาณไปให้ Stepping motor หมุนปรับค่าให้แรงดันทางด้านออกของหม้อแปลงปรับค่าได้(TR_1) เพิ่มขึ้นหรือลดลงซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าควบคุมกระแสที่ต้องการ หลังจากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะสั่งให้รีเลย์ K1 ปิดวงจร ทำให้ครบวงจรกระแสจะไหลไปยังรีเลย์พร้อมทั้งนับเวลา ถ้ารีเลย์เกิดการทริป(Close contact) รีเลย์จะปิดหน้าสัมผัสทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 รับรู้ว่าเกิดการทริปก็จะสั่งให้รีเลย์ K1 เปิดวงจรพร้อมทั้งหยุดการนับเวลา และจะแสดงผลของเวลาที่หน้าจอ LCD

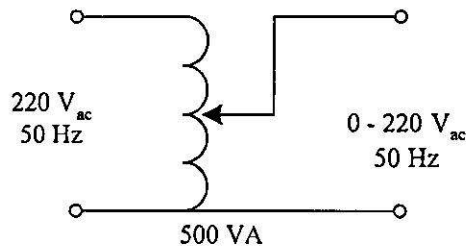
ในส่วนของโปรแกรมควบคุมจะทำการเขียนโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบโดยใช้ภาษา Delphi 4.0 ส่งคำสั่งการควบคุมผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ซึ่งจะสามารถควบคุมการทำงานให้เป็นแบบอัตโนมัติโดยสามารถตั้งค่าพารามิเตอร์ที่จะต้องใช้ในการควบคุมได้จากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล รวมถึงสามารถแสดงผลการทดสอบให้รูปภาพคุณลักษณะของ เวลาและกระแส ใน Function curve ต่างๆ ได้

3.2 การออกแบบส่วนของวงจรกำลัง

จะประกอบด้วยชุด Auto Variable Transformer (TR_1) และหม้อแปลง(TR_2) โดย Auto variable transformer ทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้า 0-220 V_{ac} , 50 Hz ให้กับหม้อแปลง ซึ่งจะเป็นตัวจ่ายกระแสให้กับรีเลย์ป้องกันที่จะนำมาทดสอบ และกำลังไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะจ่ายไฟฟ้าให้กับชุด Rectifier เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ $220 V_{ac}$ เป็นไฟฟ้ากระแสตรง +5 V_{dc} เพื่อจ่ายให้กับ วงจรควบคุม Microcontroller MCS-51 ชุดแสดงผลและสแต็ปปีงมอเตอร์

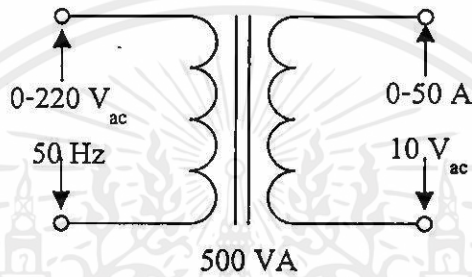
3.2.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าปรับค่าได้ขนาด 500 VA (TR_1)

เลือกใช้ Variac ขนาด 220 V_{ac} , 50 HZ แรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต 0-260 V_{ac} หนกระแสได้ 1.5 A ตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 หม้อแปลงแบบปรับค่าได้ .

3.2.2 หม้อแปลงแหล่งจ่ายกระแสพิคัด 500 VA, 0-50 A , 10 V_{ac}



รูปที่ 3.3 หม้อแปลงแหล่งจ่ายกระแส

คำนวณหา VA ของด้าน Secondary ที่ 50 A (10 V_{ac})

$$\text{จาก } S = EI = 10 \times 50 = 500 \text{ VA} \quad (3.1)$$

การหาพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กตัว E สามารถหาได้จาก

$$A = \frac{\sqrt{VA}}{5.58} \quad (3.2)$$

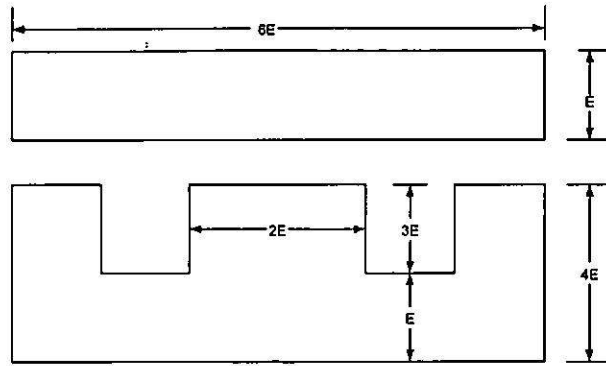
$$A = \frac{\sqrt{500}}{5.58} = 4.00729 \text{ ตารางนิ้ว} \quad \text{หรือ} \quad 0.00259 \text{ ตารางเมตร}$$

เมื่อได้ขนาดของพื้นที่หน้าตัดแล้วจะนำขนาดของพื้นที่หน้าตัดมาพิจารณาหาขนาดของแกนเหล็ก

โดยที่ขนาดของแกนเหล็กจะต้องมีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อยเนื่องจากว่าต้องเผื่อขนาดของบ๊อบบิน

เพื่อไม่ให้เกิดการลัดวงจร แกนเหล็กที่ใช้จะมีลักษณะเป็นแกน EI มีรายละเอียดดังรูปที่ 3.4

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รายละเอียดของแกนเหล็ก EI

$$2E \cong \sqrt{A} = \sqrt{4.00729} = 2 \text{ นิ้ว หรือ } 50.8 \text{ มิลลิเมตร}$$

เมื่อทราบขนาดของ 2E แล้วนำค่าที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับค่าในตารางที่ ค.1 จะได้ขนาดของแกนเหล็กเบอร์ EI 152

หลังจากที่ทราบขนาดของแกนเหล็กแล้วจะคำนวณหาจำนวนรอบของขดลวดทางด้าน Primary และ Secondary ได้จากสมการที่ 3.3 และ 3.4 โดยจะเลือกค่า B เท่ากับ 1.5 Tesla (จากกราฟคุณสมบัติของแกนเหล็ก รูปที่ ค.1)

$$N_1 = \frac{E_1}{4.44 fBA} \tag{3.3}$$

ดังนั้น $N_1 = \frac{220}{4.44 \times 50 \times 1.5 \times 0.00259} = 255.53 \cong 256 \text{ รอบ}$

$$N_2 = \frac{E_2}{4.44 fBA} \tag{3.4}$$

ดังนั้น $N_2 = \frac{10}{4.44 \times 50 \times 1.5 \times 0.00259} = 11.6 \cong 12 \text{ รอบ}$

ต่อจากนั้นจะทำการเลือกขนาดของขดลวดทองแดง โดยจะคำนวณค่าของกระแสทางด้าน Primary และ Secondary และนำค่ากระแสที่ได้ไปเปรียบเทียบกับตารางที่ ค.2 เพื่อหาขนาดของตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและส่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_2 = \frac{VA}{E_2} = \frac{500}{10} = 50A$$

ก่อนที่จะทำการเลือกขนาดของขดลวดจะต้องพิจารณาถึงค่าความหนาแน่นของกระแส (J_{max}) โดยทั่วไปต้องพิจารณาก่อนว่าการทำงานของหม้อแปลงที่ออกแบบจะใช้งานแบบต่อเนื่อง(ค่า J_{max} จะเท่ากับ 1.5 – 4.0 A/mm²)หรือแบบชั่วขณะเนื่อง(ค่า J_{max} จะเท่ากับ 5 – 10 A/mm²) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดค่าความหนาแน่นของกระแส ในวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการใช้งานอย่างต่อเนื่องจึงกำหนดค่าความหนาแน่นของกระแสเท่ากับ 3 A/mm² ดังนั้น ลวดทางด้าน Primary จะมีขนาดเท่ากับ $2.27/3 = 0.76 \text{ mm}^2$ และนำค่าที่ได้นี้ไปเทียบกับตารางที่ ค.2 เพื่อหาขนาดของลวดตัวนำจะได้ลวดเบอร์ 19 SWG ส่วน ลวดทางด้าน Secondary จะมีขนาดเท่ากับ $50/3 = 16.67 \text{ mm}^2$ และ นำค่าที่ได้นี้ไปเทียบกับ ตารางที่ ค.2 เพื่อหาขนาดของลวดตัวนำจะได้ลวดเบอร์ 6 SWG

ในการตรวจสอบว่าปริมาณของลวดตัวนำทั้งหมดสามารถใส่ในช่องว่างของแกนเหล็กได้หรือไม่ ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการคำนวณจากสมการที่ 3.5

$$\frac{A_w}{A_r} \leq 0.4 \quad (3.5)$$

เมื่อ A_w คือ พื้นที่หน้าตัดรวมของขดลวด :

A_r คือ พื้นที่ใช้งานจริง

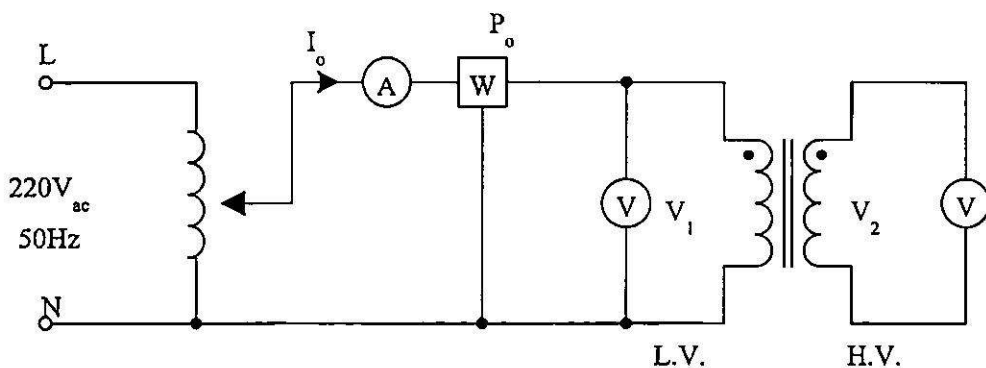
$$\frac{(256 \times 0.811) + (12 \times 18.68)}{1290.32} = \frac{431.776}{1290.32} = 0.3346 \leq 0.4$$

จากการคำนวณจะพบว่าค่าที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่า 0.4 จึงสามารถสรุปได้ว่าสามารถวางขดลวดใช้งานได้จริง

3.2.3 การทดสอบหม้อแปลง

หลังจากที่ทำการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 500 VA, 220/10V_{ac}, 50 HZ, 1φ แล้ว จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการทดสอบ เพื่อดูว่ามีคุณสมบัติตามความต้องการหรือไม่ โดยทดสอบตามมาตรฐานของ IEC 76-1967 มีการทดสอบดังนี้คือ

การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะ Open Circuit Test จะต้องวงจรทดสอบ ดังรูปที่ 3.5 โดยที่ขดลวดทางด้าน Primary(H.V.) ไม่มีโหลดและป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าทางด้าน Secondary (L.V.) จนกระทั่ง แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้เท่ากับ Rated voltage ของทางด้าน L.V. แล้วทำการวัดค่าดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.5 วงจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าขณะ Open circuit test

ตารางที่ 3.1 ผลการทดสอบหม้อแปลงขณะ Open circuit test

Description	Transformer rated
	50 A. (10 V.)
V_1 (Primary voltage)	220.5 Volt
V_2 (Secondary voltage)	10 Volt
P_o (No load power loss)	1.5 Watt
I_o (No load current)	2.3 Amp
a (Transformer ratio)	22
$\text{Cos } \theta_o$ (No load power factor)	0.065
I_c (Iron loss current)	0.15 Amp
I_m (core loss current)	2.295 Amp
X_m (Main reactance)	4.34 Ohm
R_c (Iron loss resistance)	66.58 Ohm
P_c (Power core loss)	1.49 Watt

เมื่อ

$$P_c = P - (I_o^2 R_2) \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนบุคคลเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกไปลงสื่อใดๆ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำเอกสารนี้ไปใช้

$$R_c = \frac{V_o}{I_c} \quad (3.7)$$

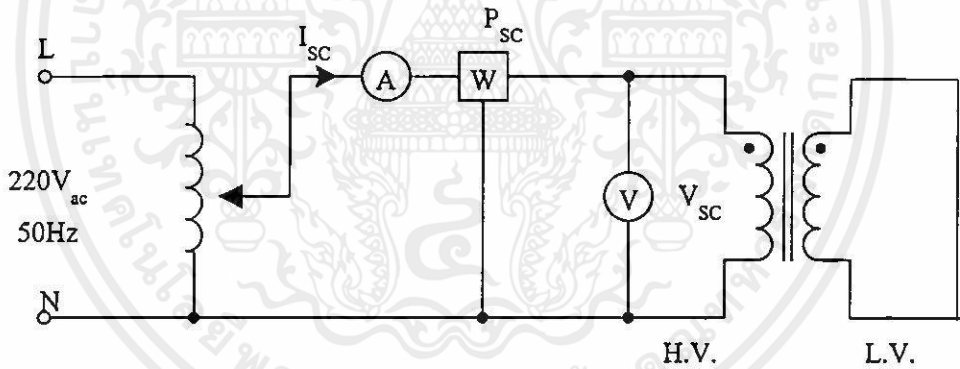
$$I_c = I_o \cos \theta_0 \quad (3.8)$$

$$I_m = \sqrt{I_o^2 - I_c^2} \quad (3.9)$$

$$X_m = \frac{V_o}{I_m} \quad (3.10)$$

$$a = \frac{V_1}{V_2} \quad (3.11)$$

การทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าโดย Short circuit test จะทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.6 โดยที่ขดลวดทางด้าน Secondary (L.V.) ถูกลัดวงจรและป้อนแรงดันเข้าทางด้าน Primary (H.V.) จนกระทั่งกระแสไฟฟ้าทางด้าน Primary (H.V.) เท่ากับ Rated current ของทางด้าน (H.V.) แล้วทำการวัดค่าดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.6 วงจรการทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้าโดย Short circuit test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบห้อแปลงขณะ Short circuit test

Description	Transformer rated 50 A. (10 V.)
Z_{eq} (Equivalent impedance)	17.62 Ohm
R_{eq} (Winding resistance)	1.84 Ohm
X_{eq} (Leakage reactance)	17.52 Ohm
P_{cu} (Power copper loss)	9.5 Watt
V_{sc} (Short circuit input voltage)	40 Volt
I_{sc} (Short Circuit Input Current)	2.27 Amp
P_{sc} (Short circuit input power loss)	9.5 Watt
% VR (Percentage voltage regulation)	3.5

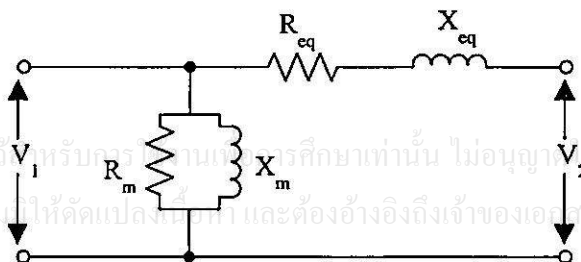
$$Z_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \quad (3.12)$$

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} \quad (3.13)$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} \quad (3.14)$$

$$\% R = \frac{E_2 - V_2}{E_2} \quad (3.15)$$

$$P_{cu} = P_{sc} - P_c \quad (3.16)$$



รูปที่ 3.7 วงจรสมมูลโดยประมาณของห้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูอาจารย์ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามไปคัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

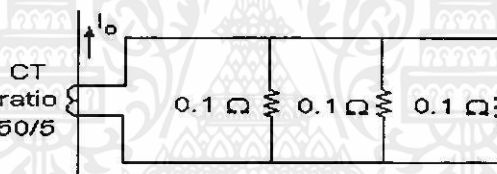
3.2.4 หม้อแปลงกระแส

การใช้งานหม้อแปลงกระแสของเครื่องทดสอบนี้จะใช้เพื่อการวัด โดยเมื่อค่ากระแสที่ด้านออกของเครื่องทดสอบเท่ากับ 50 A ซึ่งผ่าน CT ratio 50/5 แล้วได้ค่ากระแสเท่ากับ 5 A และต้องการแรงดันให้ทางด้านเข้าของวงจร Feedback 150 mV สามารถหาค่าความต้านทานที่เหมาะสมได้จากสมการที่ 3.17

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.17)$$

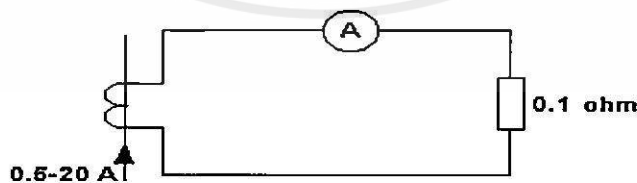
$$R = \frac{0.15}{5} = 0.03 \Omega$$

ดังนั้นค่าเบอร์เดนของหม้อแปลงกระแสมีค่าเท่ากับ 0.03 Ω เมื่อพิจารณาแล้วจึงเลือกใช้หม้อแปลงกระแส 50/5 ขนาด 15 VA ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 หม้อแปลงกระแส

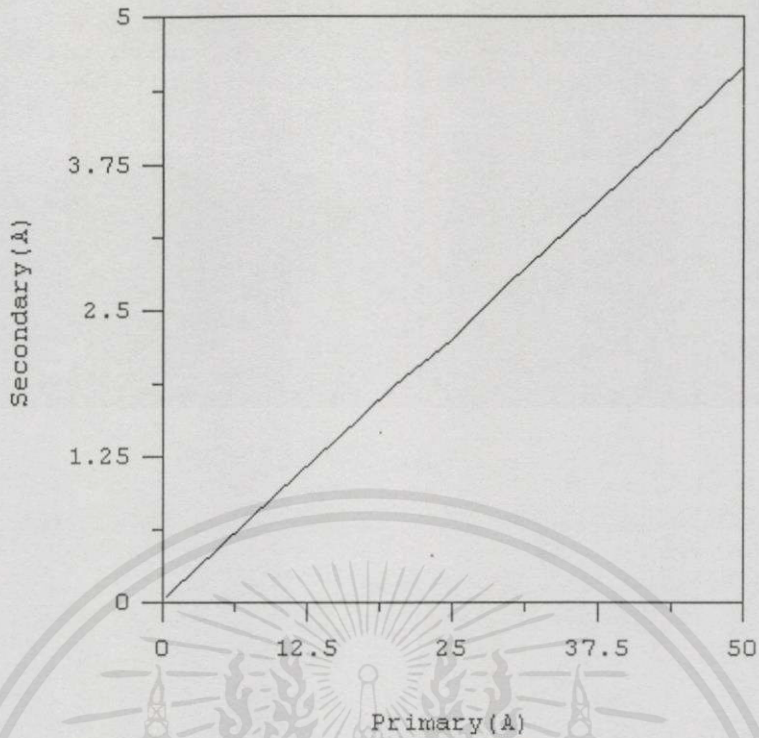
การทดสอบย่านการใช้งานของหม้อแปลงกระแสจะเป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบว่าหม้อแปลงกระแสที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีการแปลงค่ากระแสที่เป็นเชิงเส้น (Linear) อยู่ในช่วงใด โดยทำการต่อวงจรดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 วงจรการทดสอบหม้อแปลงกระแส

ตารางที่ 3.3 การทดสอบหม้อแปลงกระแส

Primary	0.5	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Secondary	0.05	0.1	0.46	0.93	1.38	1.85	2.25	2.74	3.19	3.65	4.1	4.48



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ของกระแสทางด้าน Primary และ Secondary

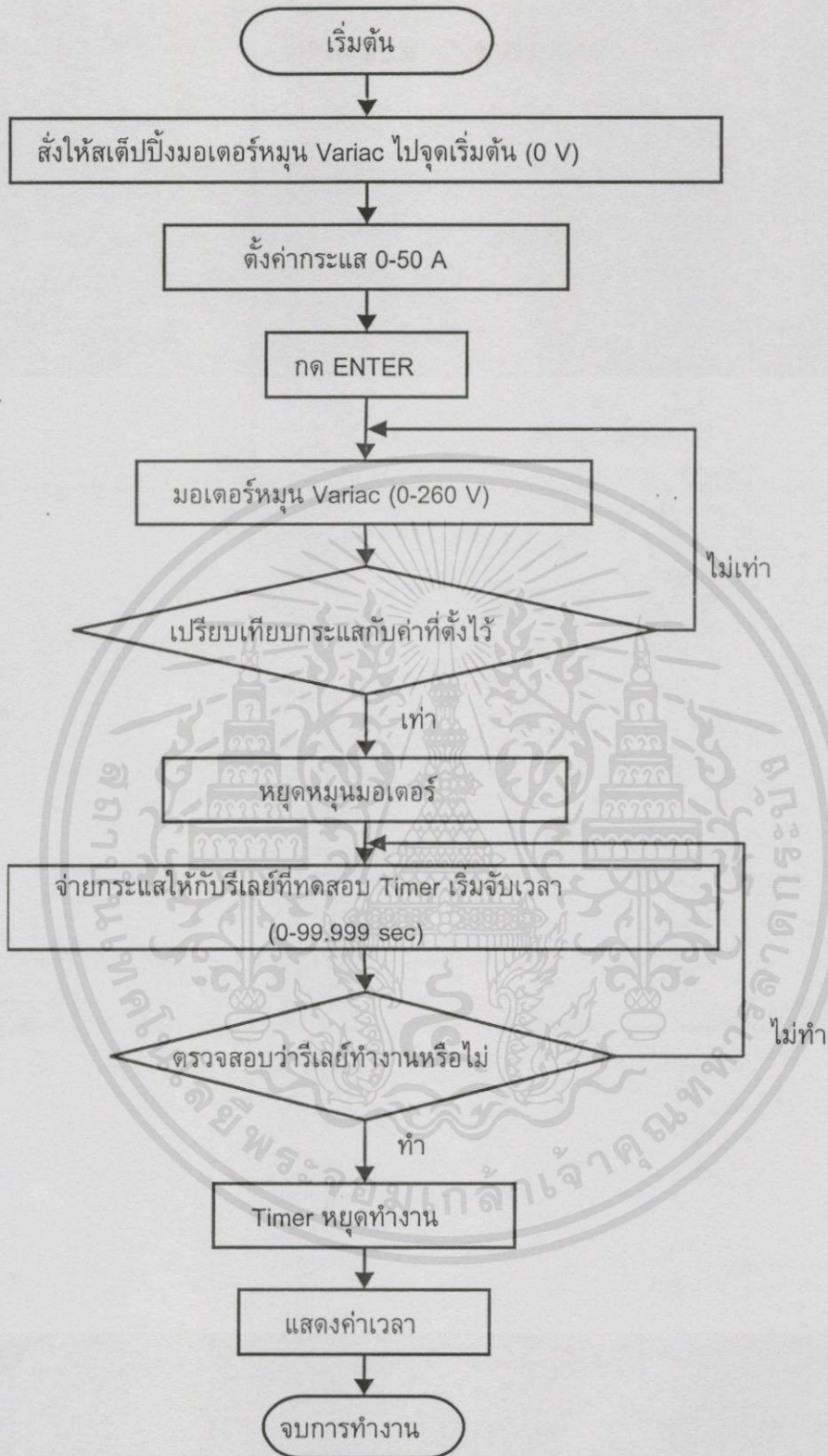
3.3 การออกแบบชุดควบคุม

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบทุกส่วน และเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่ง เพราะถ้าในส่วนของการควบคุมการทำงานผิดพลาด หรือทำงานไม่ถูกต้องตามขั้นตอนก็จะทำให้การทดสอบเกิดการผิดพลาด นั่นหมายความว่าอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวเครื่องทดสอบ และอุปกรณ์ที่นำมาทดสอบได้ สำหรับเครื่องทดสอบนี้เลือกใช้ Microcontroller MCS-51 มาควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบ

3.3.1 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการออกแบบการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์กระแสเกินมีขั้นตอนต่างๆดังแสดงใน

รูปที่ 3.12

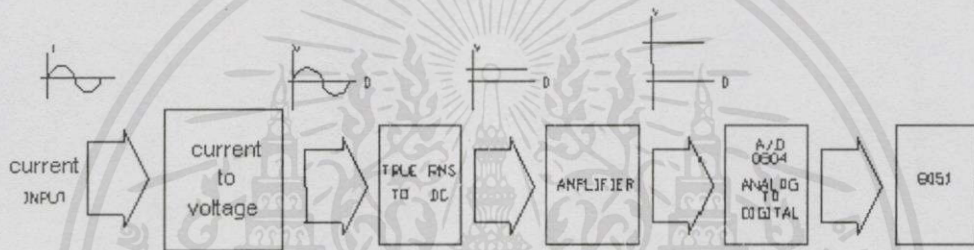


รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องทดสอบที่ใช้ MCS-51 ควบคุมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 วงจรป้อนกลับ

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่แปลงค่ากระแสที่เป็นสัญญาณ Analog ให้เป็นสัญญาณลอจิก 8 บิต เพื่อส่งไปให้ MCS-51 ประมวลผล โดยการทำงานจะเริ่มจากรับค่ากระแสจาก CT 50/5 ก่อนที่จะจ่ายให้เครื่องทดสอบ ผ่านค่าความต้านทาน 0.03Ω เพื่อแปลงเป็นสัญญาณแรงดัน ซึ่งเป็นแรงดันกระแสลับ ($0-0.150 V_{ac}$) จึงนำมาผ่านวงจร True RMS to DC[16] โดยใช้ IC เบอร์ MAX 636 ทำการเปลี่ยนเป็นแรงดันกระแสตรง แต่เนื่องจากค่าแรงดันที่ออกมามีค่าสูงสุด $150 mV_{dc}$ ซึ่งน้อยมาก จึงต้องนำมาผ่านชุดวงจรขยาย (Amplifier) 33 เท่า เพื่อให้แรงดันสูงสุดเท่ากับ $5 V_{dc}$ โดยใช้ IC เบอร์ LF353 หลังจากนั้นนำสัญญาณแรงดันที่ได้ไปผ่าน ชุด วงจร Analog to digital โดยใช้ IC เบอร์ AD0804 เพื่อแปลงเป็นสัญญาณลอจิก 8 บิต ส่งให้ MCS-51 ประมวลผลต่อไป ดังรูปที่ 3.12

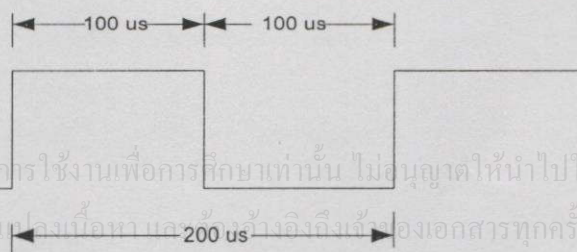


รูปที่ 3.12 บล็อกการทำงานของวงจรป้อนกลับ

3.3.3 การคำนวณความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

ในการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นับเวลาการทำงานของรีเลย์ ซึ่งความละเอียดของเวลาที่นับได้จะขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณนาฬิกา เช่น สัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 5 kHz ก็จะได้ว่า 1 ลูกคลื่นต้องใช้เวลา 0.2 msec ดังนั้นถ้าเวลาการทำงานของรีเลย์นับได้ 5 รูปคลื่น จึงได้ค่าเวลาการทำงานของรีเลย์เท่ากับ 1 msec

การสร้างสัญญาณนาฬิกาสามารถสร้างได้โดยการใช้ тайเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในของ MCS-51 จะต้องมีการกำหนดรูปแบบการใช้งานโดยในปริยญาณิพนธ์นี้ใช้สัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ขนาด 5 kHz เป็นความถี่อ้างอิง ซึ่งมีการคำนวณดังนี้



รูปที่ 3.13 สัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ 5 kHz

$$T = \frac{1}{f} \quad (3.18)$$

จะได้

$$T = \frac{1}{5k} = 0.2 \text{ msec}$$

สัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่ 5 kHz จะมีช่วงความกว้างของพัลส์ด้านสูงเป็น 100 ไมโครวินาที และมีช่วงความกว้างของพัลส์ด้านต่ำสูงเป็น 100 ไมโครวินาที เนื่องจากใช้ CRYSTAL ความถี่ 6 MHz ฉะนั้นสัญญาณความถี่หรือสัญญาณพัลส์ที่ป้อนให้กับไทม์เมอร์จะมีค่า 6 MHz/12 จะได้ 0.5 MHz ซึ่งจะมีคาบเวลาเป็น 2 ไมโครวินาที ฉะนั้นใน 100 ไมโครวินาที จะมีสัญญาณพัลส์เกิดขึ้น 50 ลูก

ค่าสูงสุดของการนับคือ FFH

ค่าที่นำมาลบคือ 50D = 32H

ผลลัพธ์ที่ได้เป็น FFH - 32H + 1 = CEH

(เนื่องจากเลขฐานสิบหกเริ่มนับที่ 0 จึงต้องบวก 1 ด้วย)

นำค่า CEH ที่ได้ไปใส่ใน TH0 ของโปรแกรมการสร้างสัญญาณนาฬิกา

```

SUBROUTINE START TIMER0
STARTTIM: MOV TMOD,#02
MOV TH0,#0CEH (ค่าที่ได้จากการคำนวณ)
SETB TR0
MOV R1,#0H
MOV R2,#0H
MOV R3,#0H
MOV R4,#0H
MOV R5,#0H
MOV R6,#0H

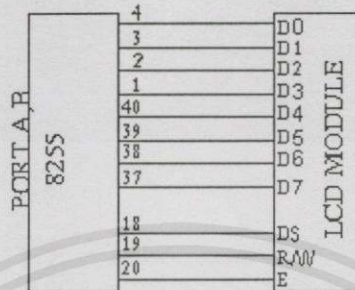
LOOPTIM: JNB TF0,LOOPTIM
CLR TF0
CPL P1.7
INC R1
LCALL CHECKTIM
LJMP LOOPTIM
RET

```

รูปที่ 3.14 ส่วนของโปรแกรมที่ใช้สร้างสัญญาณนาฬิกา

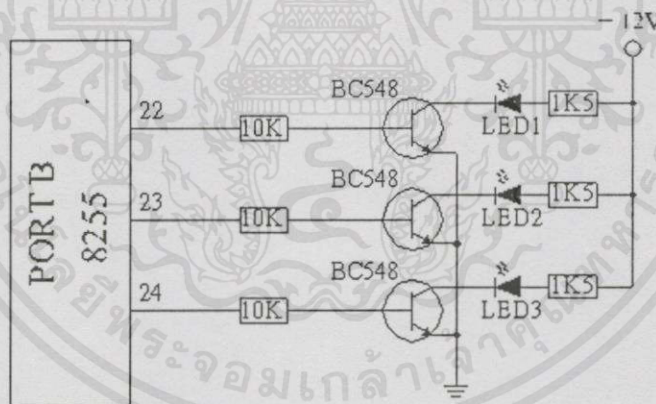
3.4 ส่วนของการแสดงผล

จะประกอบด้วย LCD (Liquid crystal displays) แสดงผลของเวลาการทำงานของรีเลย์ และ LED สำหรับแสดงสถานะการทำงานของเครื่องทดสอบ



รูปที่ 3.15 วงจรขับ LCD

จากรูปที่ 3.15 จะเป็นการต่อวงจรขับชุดแสดงผลเวลาการทำงานของรีเลย์ โดยลักษณะของการแสดงผลของ LCD module นี้จะเป็นแบบ ตัวอักษร 2 บรรทัด บรรทัดละ 20 ตัว ในการส่งข้อมูลเพื่อไปแสดงผลที่ LCD จะต้องส่งเป็นรหัสแอสกี



รูปที่ 3.16 วงจรขับ LED

จากรูปที่ 3.16 เป็นการต่อชุดวงจรขับ LED เพื่อแสดงสถานะการทำงานของเครื่องทดสอบ เมื่อเริ่มเปิดเครื่องทดสอบ MCS-51 จะทำการส่งสัญญาณผ่าน port B ของ 8255 ทริกที่ขา base ของ BC548 ตัวที่ 1 นำกระแส ส่งผลให้มีกระแสไหลผ่าน LED1 (หลอดไฟสีเขียว) สว่าง หมายถึงเครื่องพร้อมที่จะทำงาน และเมื่อมีสัญญาณมาทริกที่ขา base ของ BC548 ตัวที่ 2 LED2 (หลอดไฟสีเขียว) สว่าง หมายถึงเครื่องทดสอบกำลังทำงาน จากนั้นเมื่อมีสัญญาณมาทริกที่ขา base ของ BC548 ตัวที่ 3 LED3 (หลอดไฟสีแดง) จะสว่าง แสดงถึงว่าเครื่องทดสอบได้รับสัญญาณ close contact จากตัวรีเลย์

3.5 การออกแบบและการพิจารณาเลือกใช้สเต็ปป์มอเตอร์

ในส่วนของมอเตอร์ที่ใช้หมุน Auto variable transformer ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นสเต็ปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร และมีลักษณะการพันของขดลวดแบบยูนิโพลาร์ ซึ่งมีราคาถูก มีความเที่ยงตรงสูง หาซื้อได้ง่าย และง่ายต่อการควบคุมเพราะสเต็ปป์มอเตอร์จะทำงานแบบ Open loop สเต็ปป์มอเตอร์ที่เลือกใช้ในวิทยานิพนธ์นี้มีพารามิเตอร์ดังนี้

$$\text{Voltage} = 4 \text{ V/Phase}$$

$$\text{Current} = 1.2 \text{ A/Phase}$$

$$\text{Step} = 1.8 \text{ Deg/Step}$$

$$\text{Torque} = 2.2 \text{ Kgcm}$$

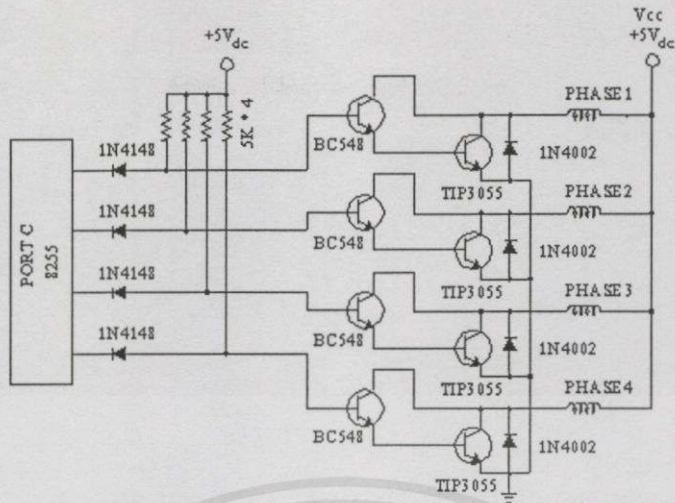
3.5.1 วงจรไคร์เฟสสเต็ปป์มอเตอร์

ซึ่งเป็นวงจรกระตุ้นเฟส ของสเต็ปป์มอเตอร์ โดยใช้ทรานซิสเตอร์ เบอร์ BC548 และ TIP 3055 ต่อแบบคาร์ลิงตัน เพื่อขยายสัญญาณในการจ่ายแรงดันกำลังผ่านไปยังขดลวดแต่ละเฟสทั้ง 4 เฟส ของสเต็ปป์มอเตอร์ โดยอาศัยสัญญาณพัลส์ผ่าน Port ของ IC 8255 ส่งผลให้ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวทำงาน เพื่อสามารถไปขับขดลวดแต่ละเฟสหมุนไปเป็นสเต็ป สเต็ปละ 1.8 องศา ซึ่งปริญญาณิพนธ์นี้ใช้การกระตุ้นแบบสองเฟสพร้อมกัน เพื่อต้องการให้แรงบิดของสเต็ปป์มอเตอร์มีค่าสูงขึ้น ดังนั้นต้องออกแบบวงจรแหล่งจ่ายกำลัง ไฟฟ้าให้เหมาะสม เพื่อขับสเต็ปป์มอเตอร์

จากรูปที่ 3.17 ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้สำหรับขับสเต็ปป์มอเตอร์ เมื่อเริ่มเปิดเครื่องทดสอบ MCS-51 จะตั้งให้สเต็ปป์มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งเริ่มต้น เพราะทรานซิสเตอร์ BC548 และ TIP 3055 ถูกป้อนแรงดัน $+5 V_{dc}$ เข้าที่ขาเบสทำให้ BC548 และ TIP 3055 นำกระแสทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดเฟส ของสเต็ปป์มอเตอร์ ด้วยสัญญาณพัลส์ผ่าน Port 8255

โดยสัญญาณพัลส์ที่ส่งออกมาจะเป็น 1 และ 0 ถ้าเป็น 1 สเต็ปป์มอเตอร์ก็จะหมุน เพราะมีแรงดัน $+5 V_{dc}$ เข้าที่ขาเบสของ BC548 ทำให้ TIP 8255 นำกระแส ถ้าเป็น 0 สเต็ปป์มอเตอร์ก็จะไม่หมุน เพราะจะไม่มีแรงดันเข้าขาเบสของ BC548 ทำให้ TIP 3055 ไม่นำกระแส

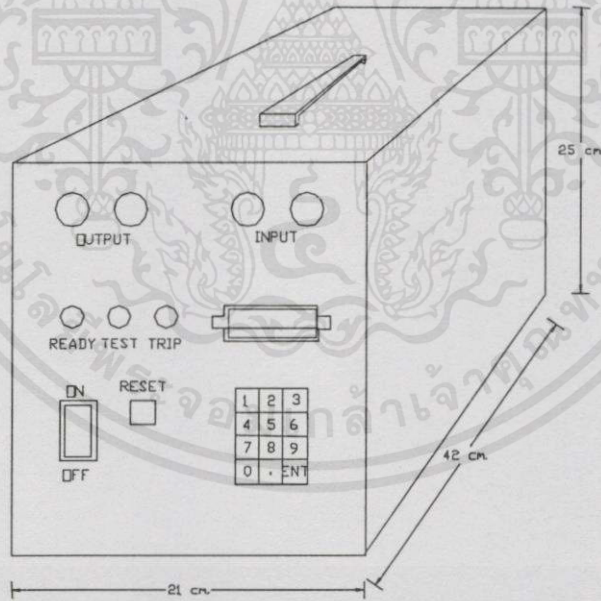
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 วงจรขับสเต็ปมอเตอร์

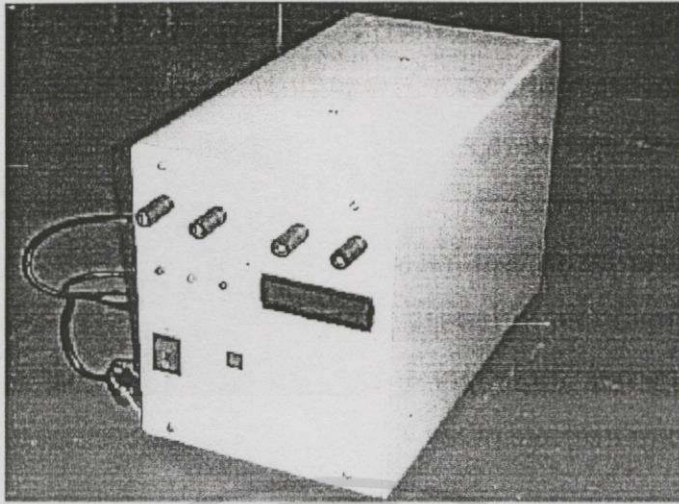
3.6 ลักษณะโครงสร้างของเครื่องทดสอบ

เมื่อทำการสร้างอุปกรณ์และจัดหาอุปกรณ์ประกอบรวมต่างๆ เรียบร้อยแล้วก็จะนำอุปกรณ์เหล่านั้นมาประกอบเข้าด้วยกันจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.18 และรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.18 ขนาดของเครื่องทดสอบเมื่อประกอบเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ลักษณะของเครื่องทดสอบจริงเมื่อประกอบเสร็จ

3.6.1 อุปกรณ์ภายในเครื่องทดสอบรีเลย์กระแสเกิน 1 เฟส

- 1) ชุดควบคุม Microcontroller MCS-51
- 2) ชุดวงจรป้องกันกลับ
- 3) ชุด Auto variable transformer 0 – 220 V_{ac}, 50 Hz
- 4) Transformer input 0 - 220 V_{ac}, 50 Hz output 0 - 50 A, (10 V_{ac})
- 5) วงจร Rectifier
- 6) Control Relay +12 V_{dc}
- 7) Fuse 5 A
- 8) LED lamp
- 9) LCD (Liquid crystal displays) 2 บรรทัด 20 ตัวอักษร
- 10) Push button switch
- 11) Keyboard
- 12) วงจร Stepping motor drive

3.6.2 การควบคุมและการใช้เครื่องทดสอบรีเลย์

จากวงจรรูปที่ 3.1 เมื่อเราต้องการที่จะทำการทดสอบรีเลย์ป้องกันหรืออุปกรณ์สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือค่าของกระแสที่ใช้ในการทดสอบ จากนั้นให้ทำการต่อสายจากขั้ว Current injection ของเครื่องทดสอบ ไปยังรีเลย์ป้องกันที่จะทดสอบ หลังจากนั้นทำการ On switch S₁ เพื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับระบบ ในขณะที่เดียวกันก็จะมีไฟไหลผ่านชุดแปลงไฟให้เป็นกระแสตรงกวดการคำนวณ Reset เพื่อให้เครื่องพร้อมใช้งาน เมื่อทำให้หลอดข้าง H₁ ก็สว่างซึ่งแสดงว่าเครื่องทดสอบพร้อมที่จะทำงาน ทำการตั้งค่ากระแสที่ต้องการทดสอบโดยค่ากระแสต่ำสุดที่ 0.5 A และกระแสสูงสุดได้ 50 A แล้วกดปุ่ม Enter เพื่อให้สเต็ปปีงมอเตอร์หมุน Auto variable transformer (TR₁) เมื่อได้ค่า

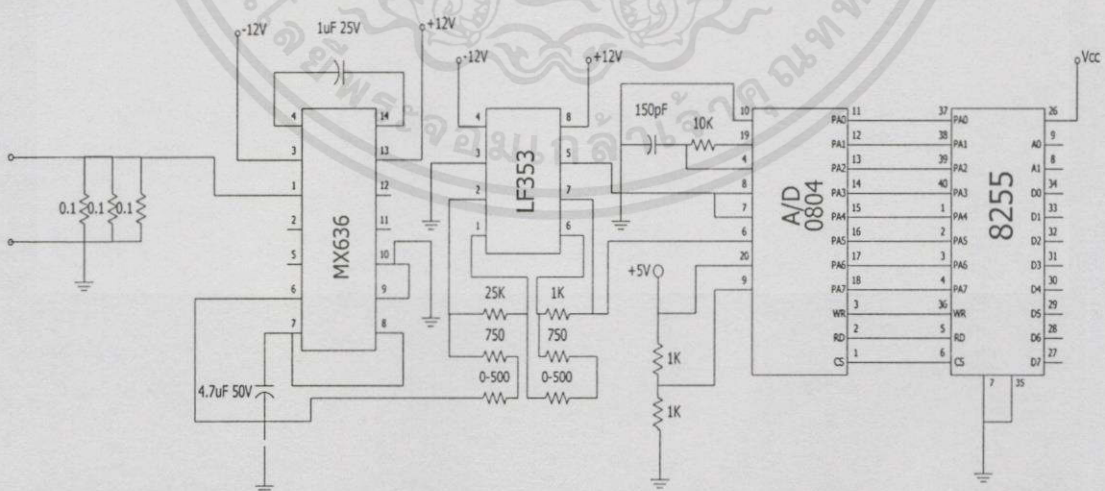
ของกระแสที่ต้องการเครื่องจะจ่ายกระแสไปยังตัวรีเลย์ป้องกันพร้อมทั้งทำให้ Timer เริ่มนับเวลา ในระหว่างนี้หลอด H₂ สว่างแสดงว่าเครื่องทดสอบกำลังทำงาน จนกระทั่งรีเลย์ป้องกันทำงานและ ส่งสัญญาณ Close contact เข้ามาที่ขั้ว I/P signal ของเครื่องทดสอบทำให้หลอด H₂ ดับ หลอด H₃ สว่างและเครื่องทดสอบจะหยุดทำงาน ในขณะเดียวกัน Timer หยุดนับพร้อมทั้งแสดงค่าของ เวลาที่นับไว้ และค่าที่ได้ก็หมายถึงค่าเวลาที่รีเลย์ทำงานนั่นเอง จากนั้นให้ทำการกดปุ่ม Reset เพื่อให้รีเลย์อยู่ในสภาวะปกติทำให้หลอด H₃ ดับ หลอด H₁ สว่าง แสดงว่าเครื่องทดสอบพร้อมที่จะทำการทดสอบครั้งต่อไปตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ในระหว่างที่เครื่องทดสอบกำลังทำงาน อยู่ ถ้ามีการกดปุ่ม Reset จะทำให้เครื่องทดสอบหยุดทำงานและกลับมาอยู่ในสภาวะเริ่มต้น

3.7 การสอบเทียบค่ากระแสและเวลา

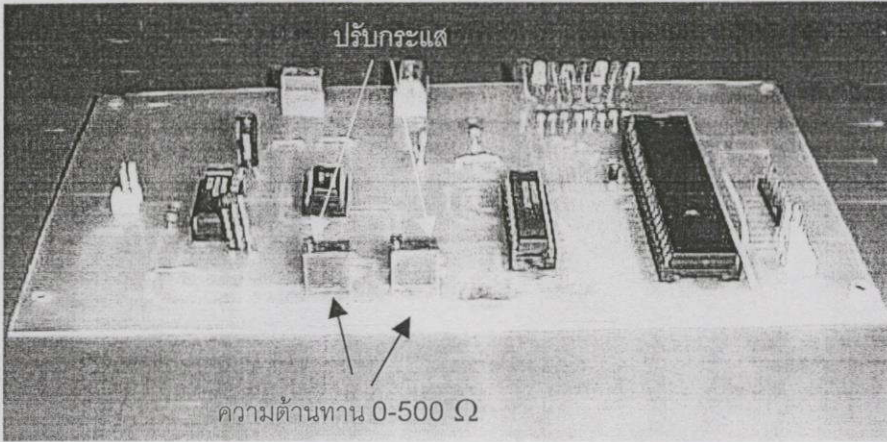
ในการสอบเทียบค่าเครื่องทดสอบรีเลย์กระแสเกิน 1 เฟส ควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถสอบเทียบได้ 2 ส่วน คือ

3.7.1 การปรับตั้งค่ากระแสของเครื่องทดสอบ

ในการปรับค่ากระแสสามารถทำได้โดยการปรับค่าความต้านทาน 0-500 Ω 2 ตัว ของชุดวงจรขยายในส่วนของวงจรป้อนกลับ ดังรูปที่ 3.20 ให้ตรงกับค่ากระแสที่ตั้งไว้ ซึ่งการหมุนความต้านทาน 1 รอบมีค่าประมาณ 18 Ω และการสอบเทียบจะทำการทดสอบโดยใช้แอมป์มิเตอร์วัดค่ากระแสที่จ่ายออกมาจากเครื่องทดสอบให้กับรีเลย์ แล้วทำการปรับค่าความต้านทานไปครั้งละ 2 รอบและจะปรับค่าความต้านทานไปจนกระทั่งได้ค่ากระแสตามที่ตั้งไว้ดังแสดงใน ตารางที่ 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.20 วงจรป้อนกลับ

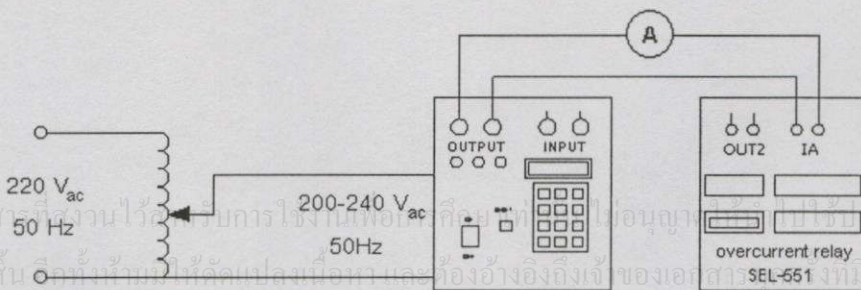


รูปที่ 3.21 การปรับกระแสที่วงจรป้อนกลับ

ตารางที่ 3.4 ผลการปรับค่ากระแสที่วงจรป้อนกลับ

ปรับครั้งที่	ความต้านทานที่ปรับแต่ง (R1,R2)	พิกัดกระแส (10 A)	
		ก่อนการปรับแต่ง	หลังการปรับแต่ง
1	เพิ่มค่าความต้านทาน R1	7.20	8.43
2	เพิ่มค่าความต้านทาน R1	8.43	9.37
3	เพิ่มค่าความต้านทาน R1	9.37	9.81
4	เพิ่มค่าความต้านทาน R2	9.81	10.35
5	ลดค่าความต้านทาน R2	10.35	10.17
6	ลดค่าความต้านทาน R1	10.17	9.89
7	เพิ่มค่าความต้านทาน R2	9.89	9.97

หลังจากที่ได้ทำการปรับค่าความต้านทานจนได้ค่ากระแสตรงตามที่ตั้งไว้แล้ว ดังนั้น เพื่อเป็นการตรวจว่าเครื่องทดสอบรีเลย์สามารถจ่ายกระแส ได้ตรงที่แรงดันของแหล่งจ่ายมีค่าเท่ากับ 220 V_{ac} ผิดพลาด ±10% ตามที่ได้ออกแบบไว้จึงทำการทดสอบโดยต่อวงจรดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 การต่อเครื่องทดสอบเข้ากับรีเลย์เพื่อวัดกระแส

ตารางที่ 3.5 การทดสอบกระแสที่แรงดัน 200-240 V_{ac}, 50 Hz

แรงดัน (V)	กระแส (A)						
	3	6	9	12	15	18	21
200	2.83	5.89	8.79	11.94	15	18.1	21.3
205	2.86	5.7	8.85	12.19	15.3	18.3	21.3
210	2.96	5.86	8.96	12.02	15.3	18.1	21.4
215	3.01	5.95	9.03	12.08	15.1	18.2	21.3
220	3.16	5.74	9.1	11.74	15.3	18.3	21.3
225	3.2	5.85	8.65	11.95	15.4	18.2	21.4
230	3.21	5.95	8.73	12.0	15	17.7	21.1
235	3.13	5.75	8.62	11.74	14.78	18	21.1
240	3.32	5.83	8.73	12.05	15	18.2	21.2

3.7.2 ส่วนการปรับค่าเวลาการทำงานของรีเลย์

การสอบเทียบค่าเวลาการทำงานของรีเลย์ทำได้โดยการทดสอบรีเลย์กับเครื่องทดสอบ แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าของการคำนวณตามคู่มือของรีเลย์ที่นำมาทดสอบ แล้วทำการปรับค่าเวลาการทำงานของรีเลย์ ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การทดสอบเพื่อสอบเทียบค่าเวลาที่ Curve standard inverse time

I/I _s	2.5	5	7.5	10
Injection(A)	5	10	15	20
Theory(Sec)	3.784	2.139	1.702	1.485
Caribate 1	4.370	2.438	1.970	1.665
Caribate 2	4.236	2.835	1.963	1.660
Caribate 3	4.218	2.356	1.877	1.597
Caribate 4	4.023	2.293	1.835	1.532
Caribate 5	3.987	2.245	1.796	1.510
Caribate 6	3.823	2.203	1.783	1.498
Final caribate	3.797	2.074	1.697	1.485
Error	-0.32%	3.08%	0.31%	0.02%

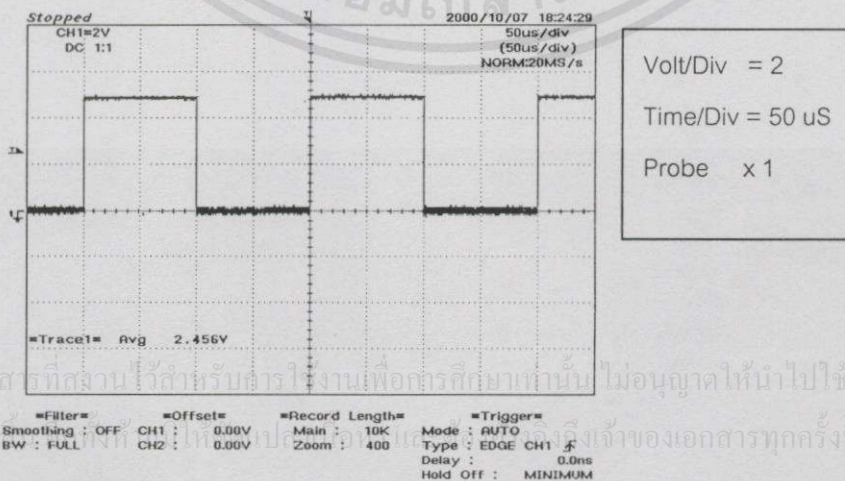
การปรับเวลาการทำงานของรีเลย์สามารถทำได้โดยการต่อรีเลย์เข้ากับเครื่องทดสอบ แล้วทดสอบเวลาการทำงานของรีเลย์ นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าเวลาการทำงานที่คำนวณได้ ซึ่งความถี่ของสัญญาณนาฬิกาในครั้งแรกจะได้จากค่าที่คำนวณดังรูปที่ 3.23

```

SUBROUTINE START TIMER0
STARTTIM: MOV TMOD,#02
          MOV TH0,#0CEH (ค่าจากการคำนวณ)
          SETB TR0
          MOV R1,#0H
          MOV R2,#0H
          MOV R3,#0H
          MOV R4,#0H
          MOV R5,#0H
          MOV R6,#0H
          LOOPTIM: JNB TF0,LOOPTIM
                  CLR TF0
                  CPL P1.7
                  INC R1
                  LCALL CHECKTIM
                  LJMP LOOPTIM
          RET
  
```

รูปที่ 3.23 ส่วนของโปรแกรมที่ใช้ปรับความถี่

สัญญาณได้จากการวัดที่ Port 1.7 ของ MCS-51 ดังรูปที่ 3.24 และ 3.26



รูปที่ 3.24 รูปสัญญาณนาฬิกาก่อนการปรับความถี่ (5 kHz)

จากรูปที่ 3.24 ความกว้างของสัญญาณที่อ่านได้ต่อหนึ่งรูปคลื่นมีค่าเท่ากับ 4 ช่อง ซึ่งใน 1 ช่องมีขนาดเท่า 50 μSec ดังนั้นใน 1 รูปคลื่นคิดเป็น 200 μSec และเมื่อคิดเป็นความถี่จะเท่ากับ 5 kHz

จากการทดสอบที่สัญญาณนาฬิกาความถี่ 5 kHz เวลาการทำงานมากกว่าเวลาที่คำนวณ ดังนั้นจึงทำการปรับความถี่โดยการปรับค่าของ TH0 ในส่วนของโปรแกรกดังตารางที่ 3.7 ซึ่งจะปรับไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเวลาการทำงานของรีเลย์มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณมากที่สุด ซึ่งความถี่ครั้งสุดท้ายที่วัดได้ดังรูปที่ 3.26

ตารางที่ 3.7 การปรับค่า TH0 ในโปรแกรม

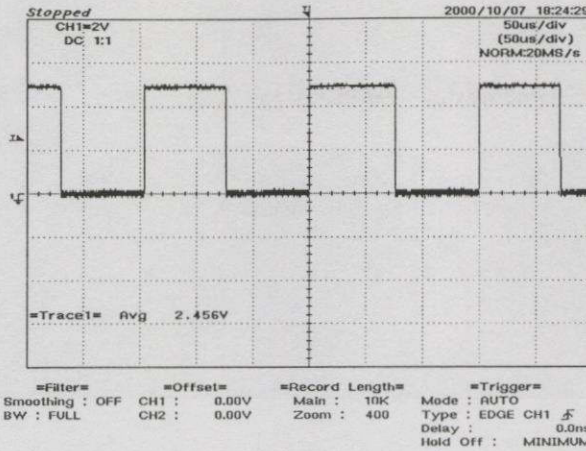
ปรับครั้งที่	ค่าใน TH0
1	CEH
2	C9H
3	C6H
4	C0H
5	BDH
6	B9H
7	B7H

```

SUBROUTINE START TIMER0
STARTTIM: MOV TMOD,#02
MOV TH0,#0CEH (ค่าจากการคำนวณ)
SETB TR0
MOV R1,#0H
MOV R2,#0H
MOV R3,#0H
MOV R4,#0H
MOV R5,#0H
MOV R6,#0H
LOOPTIM: JNB TF0,LOOPTIM
CLR TF0
CPL P1.7
INC R1
LCALL CHECKTIM
LJMP LOOPTIM
RET
  
```

รูปที่ 3.25 โปรแกรมหลังจากปรับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ใช้งานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่หรือแจกจ่ายแก่บุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Volt/Div = 2
Time/Div = 50 uS
Probe x 1

รูปที่ 3.26 รูปสัญญาณนาฬิกาหลังการปรับความถี่ (6.8 kHz)

จากรูปที่ 3.26 ความกว้างของสัญญาณที่อ่านได้ต่อหนึ่งรูปคลื่นมีค่าเท่ากับ 3 ช่อง ซึ่งใน 1 ช่องมีขนาดเท่า 50 μ Sec ดังนั้นใน 1 ลูกคลื่นคิดเป็น 150 μ Sec และเมื่อคิดเป็นความถี่จะประมาณ 6.8 kHz

และอีกส่วนหนึ่งแก้ไขโดยเปลี่ยนจำนวนพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาที่นับ เช่น ที่ความถี่ 5 kHz หนึ่งพัลส์ใช้เวลา 0.2 msec เมื่อนับจำนวนพัลส์ได้ 5 พัลส์ก็จะได้ 1 วินาที ซึ่งหากเวลาที่นับออกมาผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาที่คำนวณก็สามารถเปลี่ยนจำนวนพัลส์ที่ใช้นับได้ ดังรูปที่ 3.27

```

CHECKTIM
CHECKTIM:
    TIM1: CJNE R1,#05H,TIM2 (ค่าจากการปรับตั้ง)
    TIM1: CJNE R1,#07H,TIM2 (ค่าจากการคำนวณ)
    MOV R1,0H
    INC R2
TIM2: CJNE R2,#0AH,TIM3
    MOV R2,0H
    INC R3
TIM3: CJNE R3,#0AH,TIM4
    MOV R3,0H
    INC R4
TIM4: CJNE R4,#0AH,TIM5
    MOV R4,0H
    INC R5
TIM5: JNE R5,#0AH,TIM6
    MOV R5,0H
    INC R6
TIM6: RET
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีรูปที่ 3.27 ส่วนของ โปรแกรมที่ปรับจำนวนพัลส์ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 บทสรุป

ในการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์นี้จะใช้หม้อแปลงขนาดพิกัด 500 VA โดยสามารถจ่ายกระแสทดสอบได้ถึง 50 A ส่วนในการควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวสั่งงาน และนำผลของ กระแส, เวลา แสดงออกทางจอ LCD ขนาด 20 ตัวอักษร การจ่ายกระแสทดสอบจะใช้หลักการควบคุมกระแสแบบวงจรถัด (Open loop control) โดยจะรับค่าของกระแสทางด้านออกของหม้อแปลงผ่าน CT 50/5 และเปลี่ยนค่ากระแสที่ผ่านจาก CT มาเป็นแรงดันโดยผ่านค่าความต้านทาน 0.03 โอห์ม และทำการขยายแรงดัน 33 เท่าโดยใช้ IC เบอร์ LF353 ต่อจากนั้นนำแรงดันที่ได้ไปผ่าน IC เบอร์ MAX 636 เพื่อเปลี่ยนแรงดันกระแสสลับให้เป็นแรงดันกระแสตรง และส่งแรงดันกระแสตรงที่ได้นี้สัญญาณ Analog เปลี่ยนเป็นสัญญาณ Digital โดยใช้ IC เบอร์ AD0804 ต่อจากนั้นนำสัญญาณ Digital ส่งเข้าไปเปรียบเทียบกับค่ากระแสที่ตั้งไว้โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวตัดสินใจในการเปรียบเทียบ ถ้ากระแสทดสอบยังไม่ได้ตามที่ตั้งไว้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้ Stepping motor หมุนเพื่อเพิ่มแรงดันให้กับหม้อแปลงกระแสจะทำให้กระแสที่ออกได้ตามค่าที่ตั้งไว้

การควบคุมความแม่นยำของกระแสทดสอบจะสามารถปรับตั้งในส่วนของวงจรถัดกลับ โดยการปรับที่อัตราขยายของวงจรมากขึ้นหรือน้อยลงได้โดยปรับที่ค่าความต้านทาน R1 และ R2 ผลการปรับความแม่นยำของกระแสสามารถดูได้จากตารางที่ 3.4

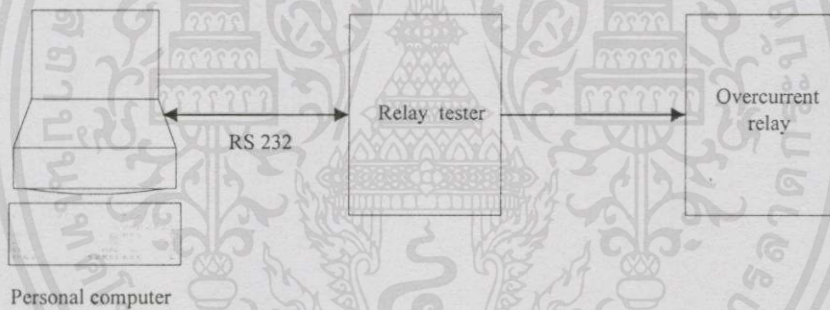
การควบคุมความแม่นยำในการจับเวลาผลทดสอบของรีเลย์จะทำการปรับตั้งที่ตัวโปรแกรมของ MCS-51 ในส่วนของ TH0 ผลการปรับตั้งความแม่นยำในการจับเวลาสามารถดูได้จากตารางที่ 3.7

บทที่ 4

โปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ

4.1 กล่าวนำ

ในส่วนของโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบรีเลย์ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เขียนโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบด้วยภาษาเตลไฟต์ 4.0 บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและส่งคำสั่งผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ของเครื่องทดสอบ(ดังแสดงในรูป 4.1) โปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบได้ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์และสามารถควบคุมให้การทดสอบเป็นไปโดยอัตโนมัติรวมถึงสามารถแสดงผลการทดสอบในรูปของกราฟคุณลักษณะกระแสและเวลาการทำงานของรีเลย์ได้ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ โปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบนี้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนการติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและส่วนของโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ



รูปที่ 4.1 ลักษณะการควบคุมเครื่องทดสอบรีเลย์กระแสเกินด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

4.2 การติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

การติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์จะอาศัยการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ซึ่งจะต้องพิจารณาถึง 2 ส่วนด้วยกันเพื่อให้การส่งถ่ายข้อมูลถูกต้องคือการกำหนดอัตราการส่งถ่ายข้อมูลและการกำหนดข้อมูลในการรับส่งผ่านพอร์ตอนุกรม[7-9]

4.2.1 การคำนวณอัตราการส่งถ่ายข้อมูลสื่อสารกับคอมพิวเตอร์

อัตราการส่งถ่ายข้อมูลสูงสุดในการรับและส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกันคือคอมพิวเตอร์สามารถสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมได้ที่อัตราการส่งถ่ายข้อมูลสูงสุด 25600 bps ส่วนอัตราการส่งถ่ายข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ โดยในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ความถี่ออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 11.0592 MHz เมื่อต้องการรับหรือส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์

กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจะส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์และเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล อัตราการส่งถ่ายข้อมูลทั้งทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์จำเป็นที่จะต้องเป็นค่าเดียวกันมิฉะนั้นข้อมูลที่รับหรือส่งจะผิดพลาด โดยในส่วนของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นได้กำหนดให้มีอัตราการส่งถ่ายข้อมูลที่ 19200 บิตต่อวินาที[5] จะใช้ Timer 1 mode 2 ในการสร้างอัตราการส่งถ่ายข้อมูลในการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมโหมด 1 โดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าตั้งต้นการนับเพื่อโหลดค่าใน TH1 ของ MCS-51 เพื่อทำหน้าที่นับสัญญาณนาฬิกาของ Timer 1 ดังนี้

$$TH1 = 256 - \left[\frac{2^{S_{mode}} \times OSC(Hz)}{384 \times baudrate} \right] \quad (4.1)$$

เมื่อกำหนดให้ $S_{mode} = 1$
 $OSC = 11,059,200 \text{ Hz}$
 $Baud \text{ rate} = 19200 \text{ bps}$
 ค่าของ TH1 = $256 - 3 = 253$ หรือ FDH ในรูปของเลขฐาน 16

4.2.2 การกำหนดข้อมูลในการรับส่งผ่านพอร์ตอนุกรม

ในการที่ไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์จะติดต่อสื่อสารและทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพย่อมต้องมีความเข้าใจในการตีความหมายของรหัสข้อมูลที่ได้รับเข้ามา ในวิทยานิพนธ์นี้รหัสข้อมูลที่ใช้แทนการตั้งค่ากระแสด้วยรหัสแอสกี “A” ซึ่งจะถูกส่งออกจากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรมทุกครั้งที่มีการคลิกปุ่มเพิ่มกระแส เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับรหัสแอสกี “A” ก็จะทำให้การเพิ่มค่าตัวนับของค่ากระแสแล้วนำค่าตัวนับนี้ไปเปิดตารางเพื่อนำค่ากระแสออกแสดงผลที่จอ LCD เมื่อต้องการเริ่มต้นทดสอบ ผู้ใช้งานโปรแกรมจะต้องคลิกที่ปุ่ม Test ซึ่งคอมพิวเตอร์จะทำการส่งรหัสแอสกี “S” ออกมา ทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อได้รับรหัสนี้ก็จะเริ่มต้นหมุน Stepper motor ไปยังตำแหน่งที่ตรงกับค่าของกระแสที่ตั้งแล้วจึงสั่งให้โซลิดสเตทรีเลย์ทำงาน เมื่อรีเลย์เกิดการทริปและต้องการที่จะทำการรีเซตระบบผู้ใช้สามารถที่จะทำการรีเซตระบบผ่านทางคอมพิวเตอร์ได้โดยการอาศัยความช่วยเหลือของ Watchdog ในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเมื่อมีการคลิกปุ่ม Reset บนหน้าจคอมพิวเตอร์ รหัสแอสกี “R” จะถูกส่งผ่านพอร์ตอนุกรมออกมา ซึ่งในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อได้รับรหัสนี้ก็จะทำการกระโดดอยู่ตำแหน่งนั้นๆ จนครบ 1.2 วินาทีตามเวลามาตรฐานที่กำหนดโดยไอซี Watchdog Max 1232 เมื่อครบ 1.2 วินาทีแล้วไม่มีการเปลี่ยนระดับสัญญาณของขา P1.7 ไอซีที่ทำหน้าที่ Watchdog ก็จะมีการส่งสัญญาณรีเซตออกมาทำการรีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วนค่าเวลาที่เริ่มต้นจับเวลา

เมื่อมีการเริ่มทดสอบก็จะถูกบันทึกลงในหน่วยความจำขนาด 6 ไบต์ เมื่อมีการร้องขอจากคอมพิวเตอร์โดยคอมพิวเตอร์จะทำการส่งรหัสแอสกี "T" ออกมาทางพอร์ตอนุกรม เครื่องทดสอบรีเลย์ก็จะอ่านค่าจากหน่วยความจำทั้ง 6 ไบต์แล้วทำการส่งข้อมูลออกทางพอร์ตอนุกรมทางคอมพิวเตอร์เมื่อได้รับข้อมูลการจับเวลาเข้ามาจากทางพอร์ตอนุกรมก็จะนำมาเปลี่ยนเป็นตัวเลขโดยใช้ฟังก์ชัน StrToFloat แล้วนำตัวเลขที่ได้แสดงผล [10]

```
procedure TForm1.testbtnClick(Sender: TObject);
begin
  send('S');
  timer1.enabled := true;
  testcurve.enabled := false;
  testfunction.enabled := false;
  timesetting.enabled := false;
  combobox1.enabled := false;
end;
```

รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการส่งค่า "S" ไปให้เครื่องทดสอบรีเลย์เริ่มทำงาน

```
procedure TForm1.resetbtnClick(Sender: TObject);
begin
  send('R');
  i_inject := 10;
  x := 5;
  injection.caption := '5.0';
  time.caption := '0.000';
  t_setting := 0.5;
end;
```

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการส่งค่า "R" ไปให้เครื่องทดสอบรีเลย์ Reset

```
procedure TForm1.Timer2Timer(Sender: TObject);
begin
  receive;
  if datain = '' then
    exit
  else
    if datain[1] = 'T' then
      timer2.enabled := false
    else
      // show time
      time.caption := datain[1]+datain[2]+datain[3]+datain[4]
      +datain[5]+datain[6];
end;
```

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการรับค่า "T" จากเครื่องทดสอบรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์บริการวิชาการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากท่านสนใจหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อศูนย์บริการวิชาการ

```

edge
mov    tmod,#21h    ;use timer0 mode 1, timer1 mode 2
mov    th0,#0fdh    ;1 ms. - time to process in isr.
mov    tl0,#0f2h
mov    th1,#0fdh    ;baudrate 19200 bps.
setb   tr1          ;start gen. baudrate

mov    status,#"R"
lcall  send
    
```

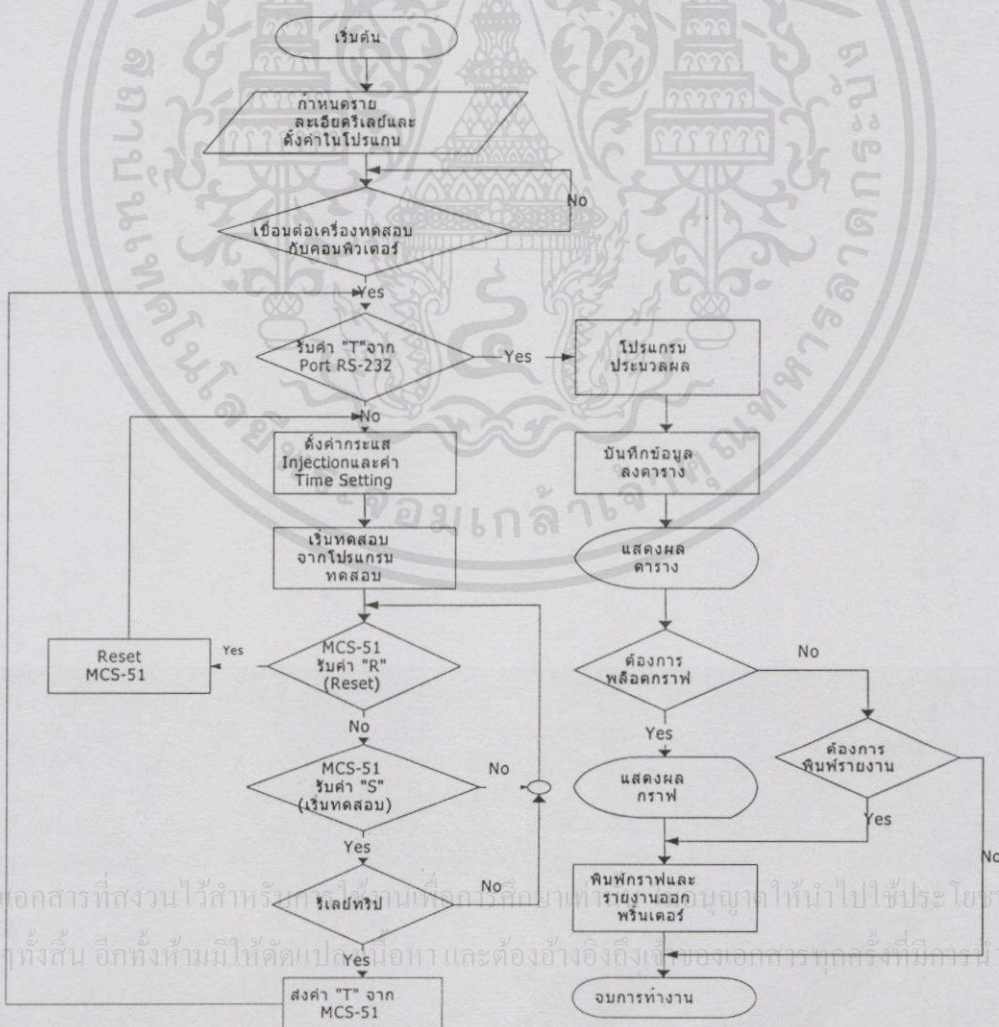
รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการรับคำสั่ง “R” ของ MCS-51 แล้วเคลียร์ข้อมูลที่เครื่องทดสอบรีเซ็ต(Reset)

```

send_t:
mov    a,#"T"      ;relay trip send 'T'
lcall  send
reti
    
```

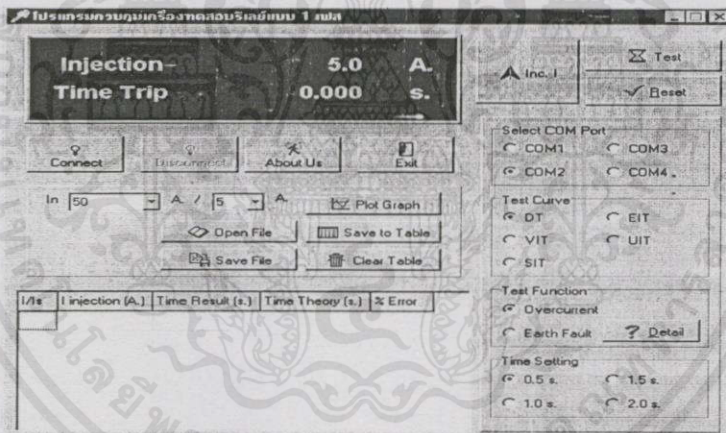
รูปที่ 4.6 รูปการส่งคำสั่ง “T” ของ MCS-51 เมื่อรีเลย์ Trip การทำงานแล้ว

4.3 โครงสร้างของโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ



รูปที่ 4.7 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ

ไฟล์วาร์ทของซอฟต์แวร์โปรแกรมควบคุมเป็นดังรูปที่ 4.6 โดยเริ่มต้นจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของรีเลย์ เช่น เลือกราคา CT ratio, Function ที่ต้องการทดสอบ, Curve ที่ต้องการทดสอบ, ค่ากระแส Setting และค่า Time setting ลงในรูปที่ 4.7 หลังจากที่ตั้งค่าต่างๆ แล้ว เครื่องทดสอบและคอมพิวเตอร์จะสามารถติดต่อกันได้โดยจะรับและส่งสัญญาณควบคุมผ่านทางพอร์ตอนุกรม RS-232 ข้อมูลที่จัดส่งจะส่งอยู่ใน From R (คำสั่งควบคุมเครื่องทดสอบ) ดังแสดงในรูปที่ 4.8 จากนั้นเครื่องทดสอบจะทำการจ่ายกระแสทดสอบให้กับรีเลย์ตามค่าที่ตั้งไว้จากโปรแกรมควบคุม เมื่อเครื่องทดสอบทำการจ่ายกระแสได้ครบตามที่ต้องการ โปรแกรมจะทำการแสดงผลการทดสอบเช่นค่าเวลาที่รีเลย์ทำงาน ค่าเวลาที่คำนวณจากทฤษฎี ออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ผลการทดสอบจะแสดงออกมาในรูปของ Text file ดังแสดงในรูปที่ 4.9 เมื่อได้ผลการทดสอบมาแล้ว สามารถดูผลการทดสอบในรูปของ Text file หรือต้องการดูในรูปของกราฟสามารถทำได้โดยทำการเลือก Plot graph หากผู้ใช้ไม่มีความรู้ทางด้านกราฟคุณลักษณะว่าเป็นกราฟคุณลักษณะแบบใด สามารถดูรายละเอียดของรีเลย์ชนิดนั้นได้จาก Help ของโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.10

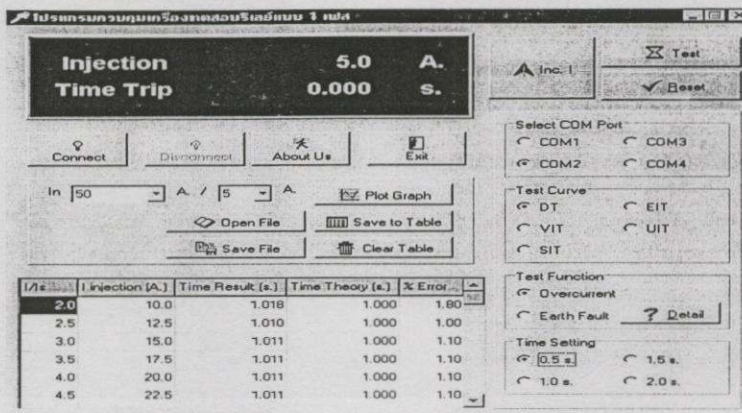


รูปที่ 4.8 หน้าต่างสำหรับป้อนค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรม

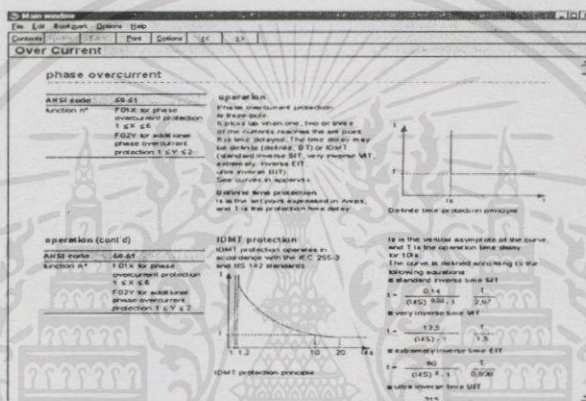
```

procedure TForm1.resetbtnClick(Sender: TObject);
begin
  send('R');
  i_inject := 10;
  x := 5;
  injection.caption := '5.0';
  time.caption := '0.000';
  t_setting := 0.5;
end;
  
```

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างข้อมูลที่ส่งไปให้เครื่องทดสอบรีเลย์ทำงาน



รูปที่ 4.10 หน้าต่างผลการทดสอบรีเลย์ของโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ



รูปที่ 4.11 หน้าต่างช่วยจากโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบรีเลย์

4.4 บทสรุป

ในการควบคุมเครื่องทดสอบ โดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลนี้จะเขียน โปรแกรมจากภาษา Delphi และส่งคำสั่งไปควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะกำหนดอัตราการส่งถ่ายข้อมูลของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ 19200 bps โปรแกรมที่เขียนขึ้นมานี้จะสามารถทำให้การตั้งค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นสำหรับการทดสอบรีเลย์ง่ายมากขึ้นและสามารถลดความผิดพลาดในการจดบันทึกได้อีกด้วย เนื่องจากพอมมีการสั่ง Trip จากรีเลย์โปรแกรมนี้จะทำการเก็บค่าเวลาการทดสอบและจะทำการทดสอบต่อไปโดยไม่ต้องอาศัยผู้ทดสอบตั้งอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดสอบเทียบกับเครื่องมาตรฐาน

5.1 กล่าวนำ

ในการทดสอบรีเลย์กระแสเกินจำเป็นจะต้องทดสอบภายใต้มาตรฐาน IEC 255-6 โดยมีข้อกำหนดในการทดสอบทางสภาวะแวดล้อม ดังนั้นก่อนที่จะทำการทดสอบรีเลย์จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเตรียมห้องทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 255-6 ก่อน ต่อจากนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการทดสอบรีเลย์กระแสเกินมาตรฐานโดยทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทดสอบที่จัดสร้างขึ้นกับเครื่องทดสอบมาตรฐานที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

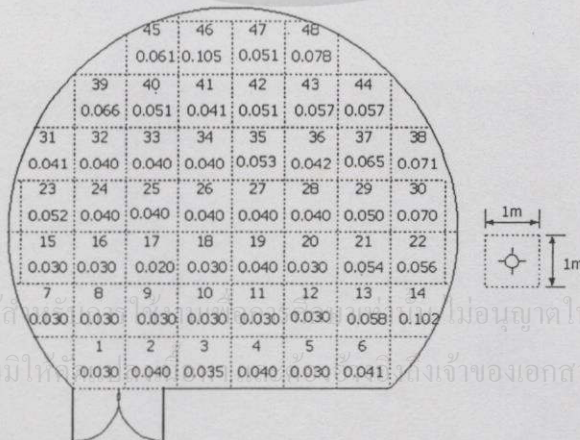
5.2 การเตรียมห้องทดสอบ

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบรีเลย์กระแสเกินจะใช้มาตรฐาน IEC 255-6 ซึ่งจะมีข้อกำหนดถึงสภาวะแวดล้อม(Condition) ในการทดสอบ โดยมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้คือ[11]

- 1) สนามแม่เหล็กภายนอก (External magnetic field) ต้องมีค่าไม่เกิน 0.5 mT.
- 2) อุณหภูมิ (Temperature) ที่ใช้ในการทดสอบอยู่ในช่วงระหว่าง -25°C ถึง 70°C
- 3) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) ต้องอยู่ระหว่าง 45 % ถึง 75 %
- 4) มีค่าตัวประกอบความเพี้ยนของสัญญาณไม่เกิน 2 %

5.2.1 การวัดค่าสนามแม่เหล็กภายในห้องทดสอบ

ในวิทยานิพนธ์นี้จะแบ่งพื้นที่ห้องที่ใช้ในการทดสอบเป็นส่วนๆ ส่วนละ 1 ตารางเมตร เพื่อกำหนดตำแหน่งการวัดค่าสนามแม่เหล็กแล้วนำค่าที่ได้ไปตรวจสอบตามเงื่อนไขของมาตรฐาน IEC 255-6 โดยใช้เครื่องวัดสนามแม่เหล็ก METEX Model 3800 ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การแบ่งพื้นที่ภายในห้องทดสอบและผลการวัดที่ความสูง 120 เซนติเมตร

ตารางที่ 5.1 ผลการวัดสนามแม่เหล็ก

เปิดอุปกรณ์ทั้งหมดที่ระดับความสูง 120 เซนติเมตร								
ตำแหน่ง	x		y		z		ความเข้มสนามแม่เหล็ก	
	-x	x	-y	y	-z	z	mG	μT
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.300	0.300	0.030
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400	0.400	0.040
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.400	0.350	0.035
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400	0.400	0.040
5	0.000	0.000	0.300	0.000	0.300	0.300	0.300	0.030
6	0.000	0.000	0.100	0.100	0.300	0.500	0.412	0.041
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.300	0.300	0.030
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.300	0.300	0.030
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.300	0.300	0.030
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.300	0.300	0.030
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.300	0.300	0.030
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.300	0.300	0.030
13	0.500	0.200	0.600	0.100	0.400	0.200	0.579	0.058
14	0.500	0.500	0.800	0.800	0.400	0.400	1.025	0.102
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.300	0.300	0.030
16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.300	0.300	0.030
17	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200	0.200	0.200	0.020
18	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.300	0.300	0.030
19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400	0.400	0.040
20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300	0.300	0.300	0.030
21	0.000	0.300	0.100	0.200	0.500	0.500	0.543	0.054
22	0.000	0.400	0.200	0.100	0.500	0.500	0.559	0.056
23	0.200	0.100	0.500	0.100	0.400	0.400	0.522	0.052
24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400	0.400	0.040
25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400	0.400	0.040
26	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400	0.400	0.040

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

เปิดอุปกรณ์ทั้งหมดที่ระดับความสูง 120 เซนติเมตร (ต่อ)								
ตำแหน่ง	x		y		z		ความเข็ม สนามแม่เหล็ก	
	-x	x	-y	y	-z	z	mG	μT
27	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400	0.400	0.040
28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400	0.400	0.040
29	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0.500	0.500	0.050
30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.700	0.700	0.700	0.070
31	0.200	0.200	0.400	0.400	0.300	0.300	0.539	0.054
32	0.100	0.100	0.000	0.000	0.400	0.400	0.412	0.041
33	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400	0.400	0.040
34	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400	0.400	0.400	0.040
35	0.100	0.200	0.200	0.000	0.500	0.500	0.532	0.053
36	0.100	0.100	0.200	0.000	0.400	0.400	0.424	0.042
37	0.500	0.500	0.100	0.100	0.400	0.400	0.648	0.065
38	0.100	0.100	0.000	0.000	0.700	0.700	0.707	0.071
39	0.300	0.300	0.500	0.500	0.300	0.300	0.656	0.066
40	0.100	0.100	0.000	0.000	0.500	0.500	0.510	0.051
41	0.100	0.100	0.000	0.000	0.400	0.400	0.412	0.041
42	0.100	0.100	0.000	0.000	0.500	0.500	0.510	0.051
43	0.400	0.400	0.100	0.100	0.400	0.400	0.574	0.057
44	0.100	0.100	0.300	0.300	0.500	0.500	0.592	0.059
45	0.000	0.000	0.100	0.100	0.600	0.600	0.608	0.061
46	0.600	0.600	0.500	0.500	0.700	0.700	1.049	0.105
47	0.100	0.100	0.000	0.000	0.500	0.500	0.510	0.051
48	0.200	0.200	0.000	0.000	0.700	0.700	0.728	0.073

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนในการวัดสนามแม่เหล็กต้องทำการวัดทั้งหมดสามแกนคือ x , y และ z โดยวัดสูงจากพื้น 120 เซนติเมตร เพื่อให้ทราบค่าสนามแม่เหล็กที่ระดับพื้นที่ใช้งาน ก่อนที่จะทำการวัดจะต้องปรับ Meter ไปที่ 200 mV_{ac} แล้วนำหัววัดสนามแม่เหล็กไปวัดทั้ง 3 แกนดังรูปที่ 5.3 หลังจากนั้นจะนำค่าที่วัดค่าสนามแม่เหล็กทั้ง 3 แกนคือในแนวแกน x , y และ z เมื่อวัดค่าได้แล้วจะนำมาแทนค่าในสมการที่ 5.1 เพื่อคำนวณหาค่าสนามแม่เหล็กเฉลี่ย แต่เนื่องจากค่าที่คำนวณได้มีหน่วยเป็น mG แต่จากมาตรฐาน IEC 255-6 ต้องการหน่วยเป็น Tesla ดังนั้นจึงนำค่าสนามแม่เหล็กเฉลี่ยที่ได้มาแทนค่าในสมการที่ 5.2 และนำค่าที่ได้บันทึกไว้ในตารางที่ 5.1 [12]

$$V_{mag} = \sqrt{(M_x^2 + M_y^2 + M_z^2)} \quad (5.1)$$

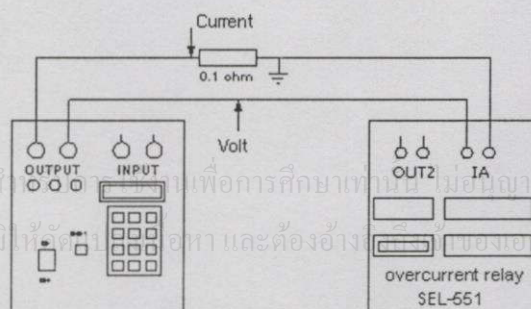
$$\mu T = V_{mag} (mG) \times \left(\frac{1 \text{ Tesla}}{10^6 mG} \right) \quad (5.2)$$

5.2.2 การวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

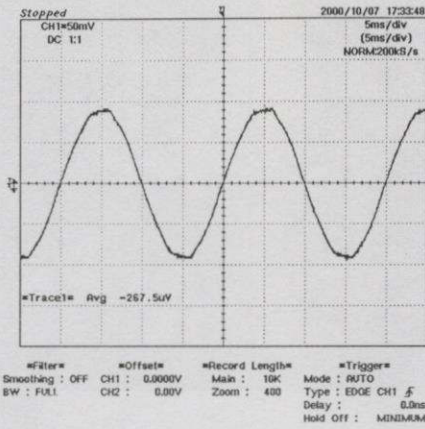
ในการทดสอบจะทดสอบที่อุณหภูมิปกติอยู่ในช่วง 22 องศาเซลเซียสถึง 28 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 45 % ถึง 75 % โดยการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DIGITAL Model TH-02 ซึ่งผลการวัดมีค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ถูกต้องตามมาตรฐาน IEC 255-6 ดังรูปที่ 5.4

5.2.3 การวัดรูปสัญญาณกระแสและแรงดันที่ออกจากเครื่องทดสอบ

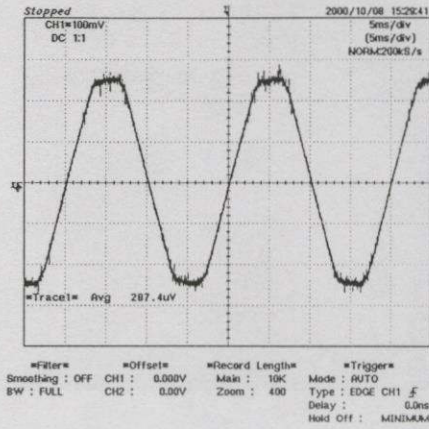
การวัดรูปสัญญาณทำการวัดเพื่อหาตัวประกอบความเพี้ยนของสัญญาณโดยทำการต่อวงจรดังรูปที่ 5.5 ผลการวัดดังรูปที่ 5.4 พบว่าความเพี้ยนของสัญญาณของกระแสจะมีค่าเท่ากับ 1.8 % ซึ่งไม่เกิน 2 % ตามมาตรฐาน IEC 255-6 แต่ในส่วนความเพี้ยนของสัญญาณของแรงดันจะมีค่าเท่ากับ 32.3 % ซึ่งเกิน 2% แต่เนื่องจากในการทดสอบครั้งนี้จะทำการทดสอบรีเลย์กระแสเกิน ดังนั้นจึงสนใจเฉพาะความเพี้ยนของสัญญาณกระแสเท่านั้น



รูปที่ 5.2 วิธีการต่อวงจรการวัดสัญญาณกระแสและแรงดัน



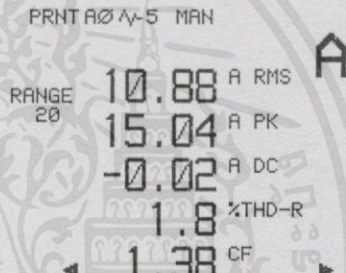
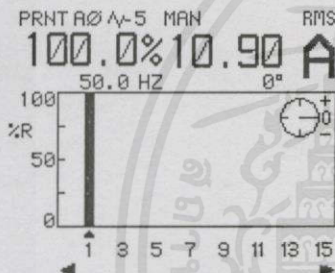
(ก)



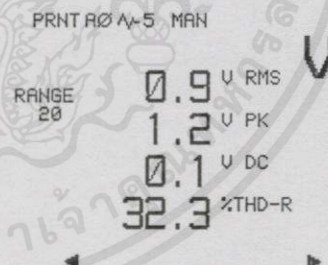
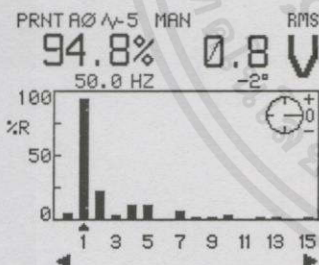
(ข)

รูปที่ 5.3 (ก) สัญญาณกระแสที่จ่ายออกจากเครื่องทดสอบรีเลย์

(ข) สัญญาณแรงดันที่จ่ายออกจากเครื่องทดสอบรีเลย์



รูปที่ 5.4 Harmonic spectrum และ ค่า % THD_v ของกระแสที่จ่ายออกจากเครื่องทดสอบ



รูปที่ 5.5 Harmonic spectrum และ ค่า % THD_v ของแรงดันที่จ่ายออกจากเครื่องทดสอบ

5.3 การกำหนดค่าความผิดพลาด

ในการทดสอบรีเลย์กระแสเกินในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการทดสอบซ้ำกัน 5 ครั้งและจะนำผลที่ได้จากการทดลองมาหาค่าเฉลี่ยดังตัวอย่างจากตารางที่ 5.17

สมการที่ใช้ในการหาค่าเฉลี่ย[11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \tag{5.3}$$

เมื่อ

Xi คือ ข้อมูล

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

การทดสอบที่ I/I_s เท่ากับ 1.5

$$mean = \frac{5.611 + 5.612 + 5.614 + 5.616 + 5.614}{5} = 5.613$$

การทดสอบที่ I/I_s เท่ากับ 2

$$mean = \frac{3.24 + 3.25 + 3.24 + 3.21 + 3.26}{5} = 3.24$$

การทดสอบที่ I/I_s เท่ากับ 3

$$mean = \frac{2.095 + 2.097 + 2.095 + 2.096 + 2.093}{5} = 2.095$$

การทดสอบที่ I/I_s เท่ากับ 4

$$mean = \frac{1.609 + 1.625 + 1.621 + 1.625 + 1.623}{5} = 1.621$$

การทดสอบที่ I/I_s เท่ากับ 5

$$mean = \frac{1.39 + 1.41 + 1.39 + 1.42 + 1.34}{5} = 1.39$$

การทดสอบที่ I/I_s เท่ากับ 6

$$mean = \frac{12.49 + 1.251 + 1.249 + 1.25 + 1.246}{5} = 1.249$$

การทดสอบที่ I/I_s เท่ากับ 7

$$mean = \frac{1.164 + 1.166 + 1.164 + 1.161 + 1.165}{5} = 1.164$$

เอกสาร การทดสอบที่ I/I_s เท่ากับ 8 รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง $mean = \frac{1.085 + 1.084 + 1.085 + 1.083 + 1.088}{5} = 1.085$ ครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบที่ I/I_s เท่ากับ 9

$$mean = \frac{1.037 + 1.033 + 1.037 + 1.032 + 1.046}{5} = 1.037$$

การทดสอบที่ I/I_s เท่ากับ 10

$$mean = \frac{0.989 + 0.988 + 0.989 + 0.987 + 0.992}{5} = 0.989$$

5.4 การทดสอบกับรีเลย์มาตรฐาน

ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการทดสอบกับรีเลย์กระแสเกินมาตรฐาน 3 บริษัทคือ Sepam 2000 S25LT ของบริษัท Merlin gerin จากประเทศฝรั่งเศส, SEL-551 ของบริษัท Schweitzer engineering laboratories จากประเทศสหรัฐอเมริกาและ บริษัท Westing house จากประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งรีเลย์ทั้ง 3 บริษัทนี้มีโครงสร้างแตกต่างกันคือ เป็นแบบ Static relay, Digital relay และ Mechanical relay ตามลำดับ ในการทดสอบครั้งนี้จะทำการทดสอบกับรีเลย์มาตรฐานของบริษัท Schweitzer engineering laboratories รุ่น SEL-551 โดยจะนำเครื่องทดสอบมาตรฐานของบริษัท SMC รุ่น PTE-50 CE และเครื่องทดสอบที่จัดสร้างขึ้น ไปทำการทดสอบรีเลย์ที่ Curve เดียวกันเพื่อทำการปรับค่าความถูกต้องของเครื่องทดสอบที่จัดสร้างขึ้นเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐานของบริษัท SMC

ในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะนำผลการทดสอบรีเลย์มาตรฐานที่ได้จากเครื่องทดสอบที่จัดสร้างขึ้นเทียบกับผลการทดสอบของเครื่องทดสอบมาตรฐาน(บริษัท SMC) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\% \text{ ความผิดพลาด} = \left(\frac{\text{ผลการทดสอบจากเครื่องมาตรฐาน} - \text{ผลการทดสอบจากเครื่องที่จัดสร้างขึ้น}}{\text{ผลการทดสอบจากเครื่องมาตรฐาน}} \right) \times 100$$

5.4.1 ผลการทดสอบกับ Overcurrentt relay มาตรฐาน type SEL-551 บริษัท

Scheitzer engineering ประเทศสหรัฐอเมริกา

ในการทดสอบรีเลย์กระแสเกินรุ่น SEL-551 ของบริษัท Scheitzer engineering จำเป็นที่จะต้องทราบสมการในการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์ดังนี้[13-14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการนำเอกสารนี้ไปใช้เพื่อการค้าหรือไม่ก็ตาม ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_p = TD \times \left(\frac{0.14}{M^{0.02} - 1} \right) \quad (5.4)$$

Very inverse time

$$t_p = TD \times \left(\frac{13.5}{M-1} \right) \quad (5.5)$$

Extremely inverse time

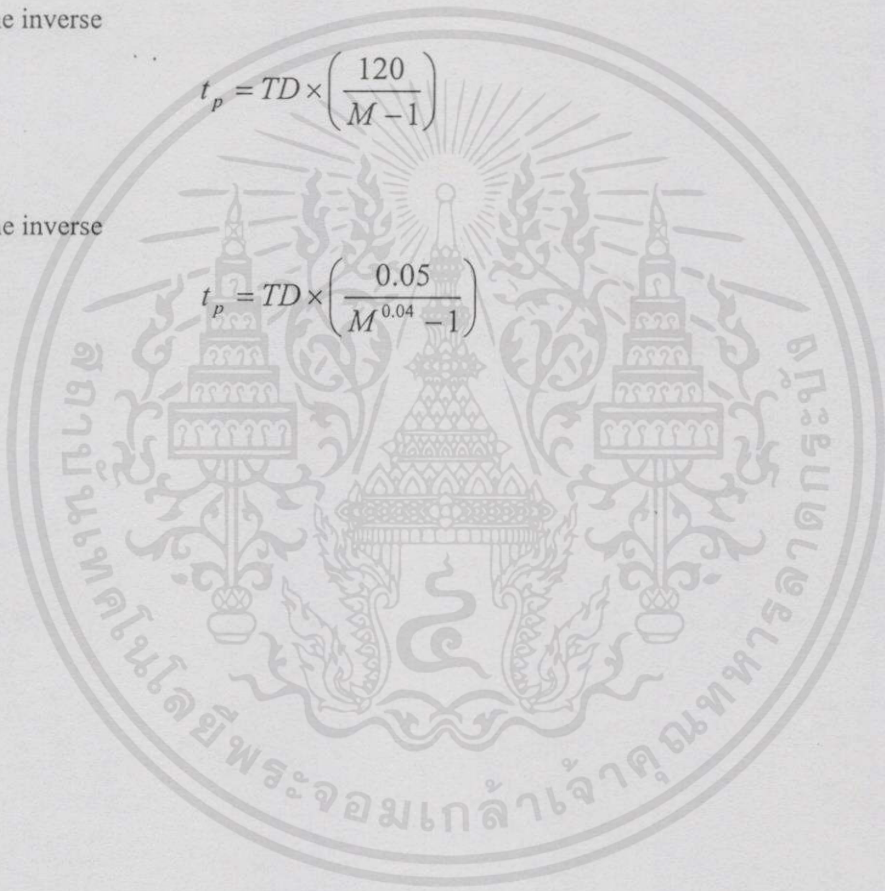
$$t_p = TD \times \left(\frac{80}{M^2-1} \right) \quad (5.6)$$

Long-time inverse

$$t_p = TD \times \left(\frac{120}{M-1} \right) \quad (5.7)$$

Short-time inverse

$$t_p = TD \times \left(\frac{0.05}{M^{0.04}-1} \right) \quad (5.8)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Standard inverse time

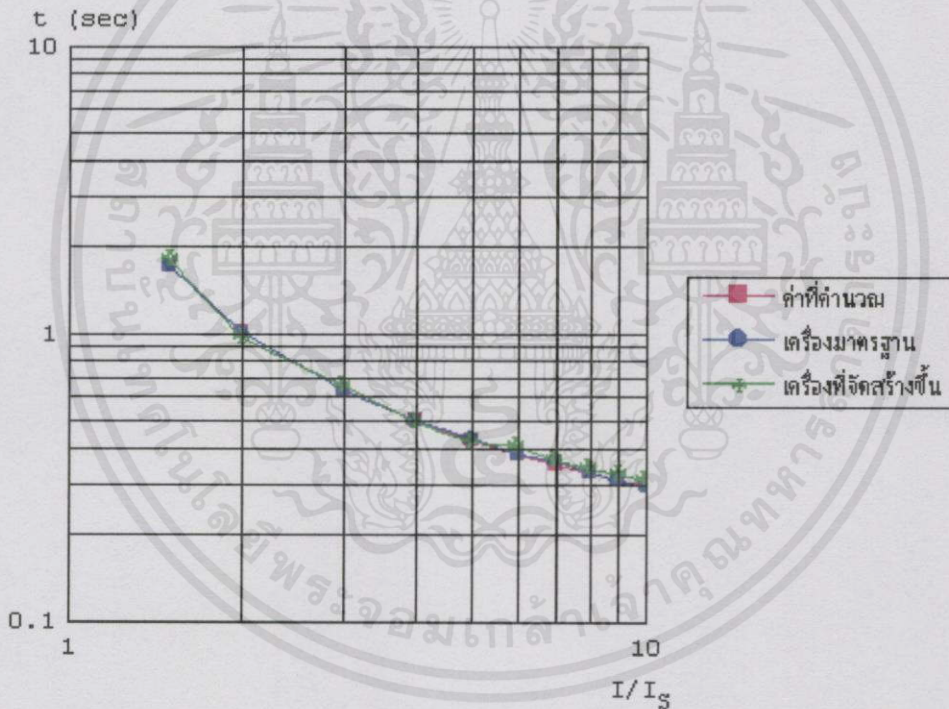
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.1 second

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve standard inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	1.719	1.003	0.630	0.497	0.427	0.383	0.352	0.329	0.311	0.297
เครื่องมาตรฐาน	1.716	1.002	0.629	0.496	0.429	0.382	0.360	0.328	0.309	0.293
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	1.797	0.96	0.658	0.492	0.42	0.402	0.365	0.341	0.326	0.311
ความผิดพลาด(%)	-4.72	4.192	-4.61	0.807	2.098	-5.236	-1.389	-3.963	-5.502	-6.143



รูปที่ 5.6 กราฟคุณลักษณะ Curve standard inverse time ที่ Time setting 0.1 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Standard inverse time

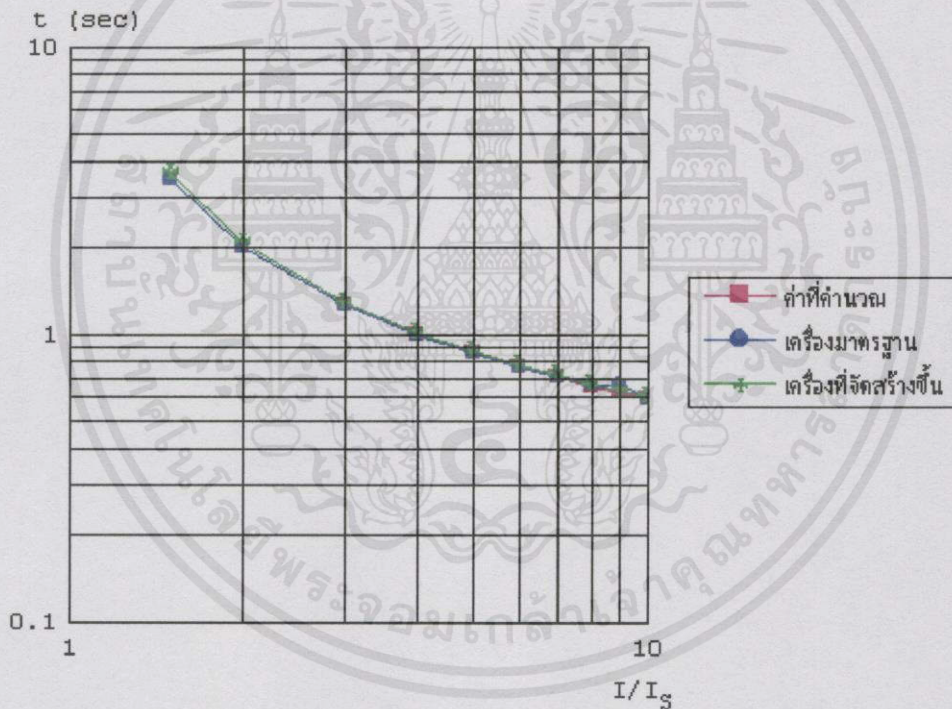
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.2 second

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบ Over Current Relay รุ่น SEL-551 Curve Standard Inverse Time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	3.438	2.005	1.260	0.995	0.855	0.767	0.705	0.659	0.623	0.594
เครื่องมาตรฐาน	3.455	1.989	1.255	0.992	0.857	0.769	0.707	0.662	0.622	0.592
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	3.600	2.085	1.289	1.004	0.871	0.783	0.722	0.667	0.632	0.602
ความผิดพลาด(%)	-4.19	-4.82	-2.70	-1.20	-1.63	-1.82	-2.12	-0.75	-1.60	-1.68



รูปที่ 5.7 กราฟคุณลักษณะ Curve standard inverse time ที่ Time setting 0.2 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Standard inverse time

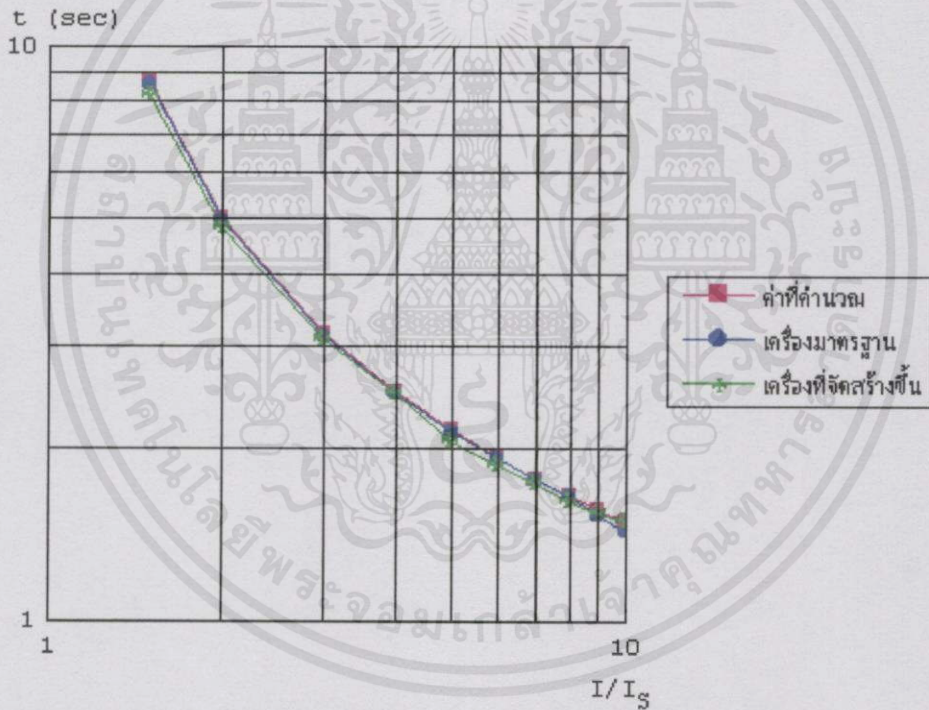
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.5 second

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve standard inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	8.597	5.014	3.150	2.489	2.139	1.918	1.763	1.648	1.558	1.485
เครื่องมาตรฐาน	8.577	4.975	3.136	2.486	2.135	1.916	1.757	1.648	1.561	1.482
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	8.175	4.811	3.071	2.474	2.049	1.856	1.730	1.612	1.534	1.489
ความผิดพลาด(%)	4.687	3.296	2.073	0.483	4.028	3.132	1.537	2.185	1.729	-0.47



รูปที่ 5.8 กราฟคุณลักษณะ Curve standard inverse time ที่ Time setting 0.5 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Very inverse time

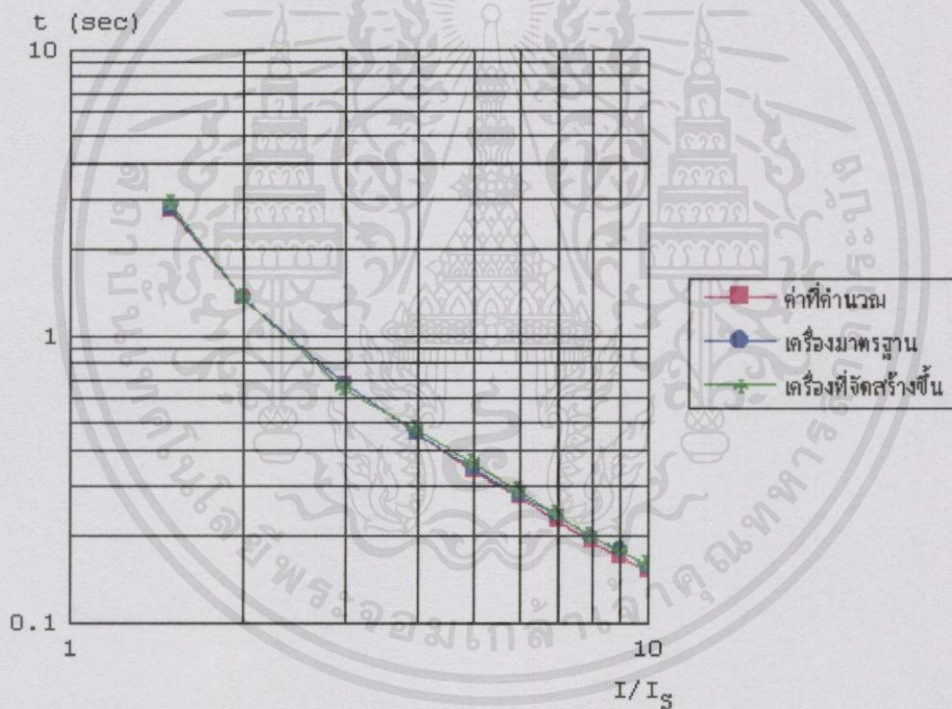
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.1 second

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve very inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	2.700	1.350	0.675	0.450	0.337	0.270	0.225	0.192	0.168	0.150
เครื่องมาตรฐาน	2.756	1.354	0.675	0.455	0.341	0.276	0.234	0.196	0.179	0.154
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	2.828	1.346	0.644	0.465	0.354	0.283	0.235	0.196	0.176	0.157
ความผิดพลาด(%)	-2.61	0.591	4.593	-2.19	-3.81	-2.53	-0.42	0	1.676	-1.94



รูปที่ 5.9 กราฟคุณลักษณะ Curve very inverse time ที่ Time setting 0.1 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Very inverse time

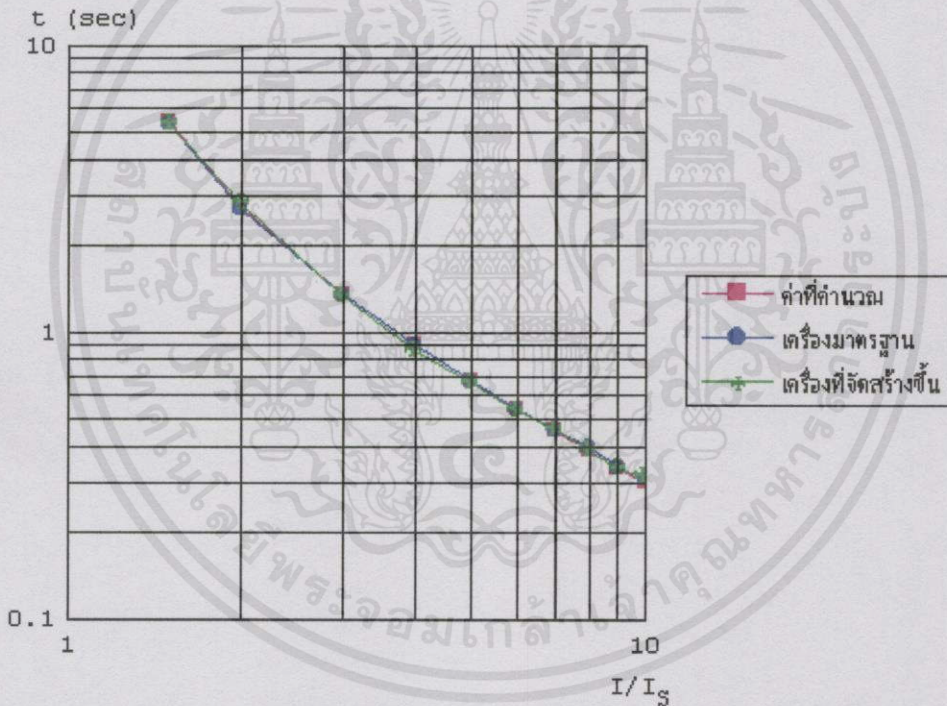
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.2 second

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve very inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	5.400	2.700	1.350	0.900	0.675	0.540	0.450	0.385	0.337	0.300
เครื่องมาตรฐาน	5.332	2.671	1.343	0.904	0.671	0.541	0.450	0.396	0.339	0.307
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	5.345	2.821	1.329	0.863	0.664	0.532	0.463	0.387	0.332	0.312
ความผิดพลาด(%)	-0.24	-5.61	1.042	4.536	1.043	1.664	-2.88	2.273	2.065	-1.62



รูปที่ 5.10 กราฟคุณลักษณะ Curve very inverse time ที่ Time setting 0.2 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Very inverse time

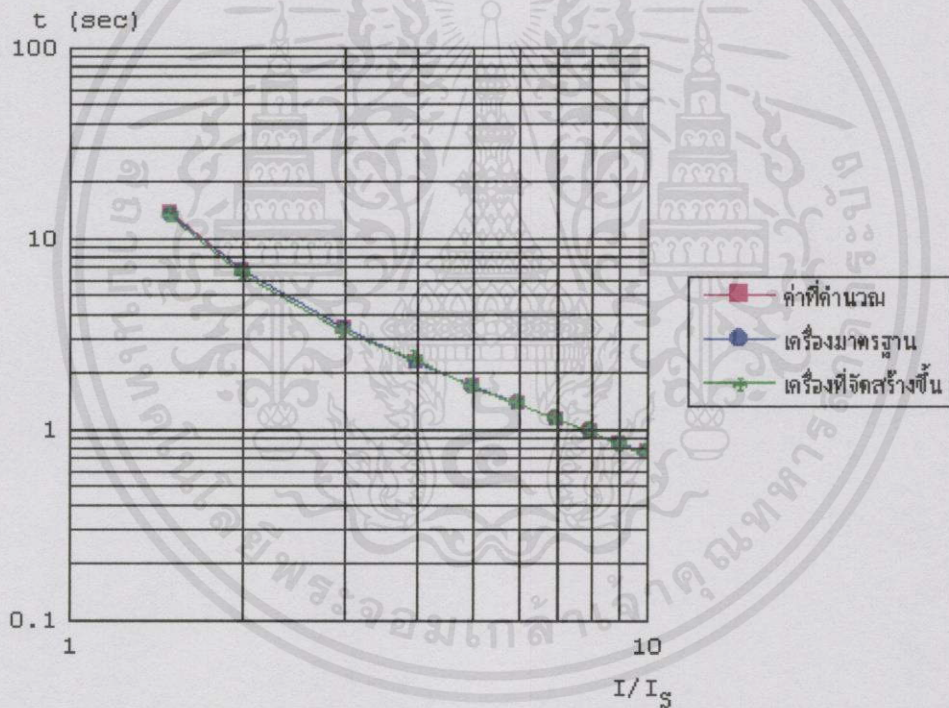
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.5 second

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve very inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	13.50	6.750	3.375	2.250	1.688	1.350	1.125	0.964	0.843	0.750
เครื่องมาตรฐาน	13.30	6.664	3.35	2.233	1.681	1.346	1.123	0.960	0.844	0.750
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	12.82	6.423	3.207	2.263	1.631	1.358	1.126	0.965	0.808	0.736
ความผิดพลาด(%)	3.609	3.617	4.269	-1.34	2.974	-0.89	-0.26	-0.52	4.265	1.867



รูปที่ 5.11 กราฟคุณลักษณะ Curve very inverse time ที่ Time setting 0.5 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Extremely inverse time

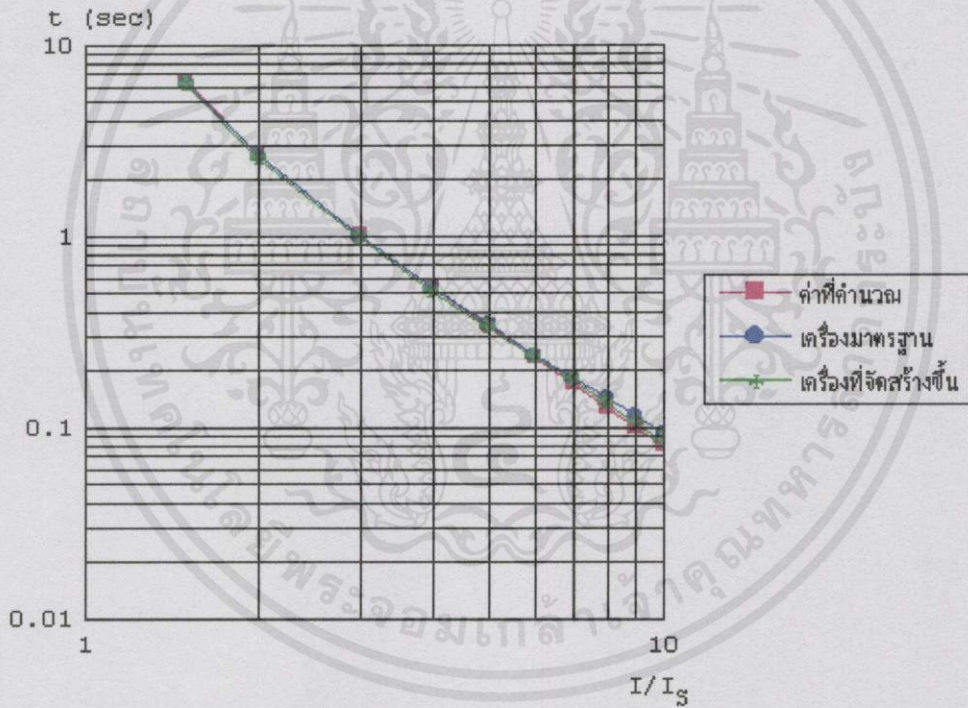
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.1 second

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve extremely inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	6.400	2.666	1.000	0.533	0.333	0.228	0.166	0.126	0.100	0.080
เครื่องมาตรฐาน	6.248	2.623	0.998	0.535	0.343	0.237	0.181	0.141	0.115	0.092
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	6.089	2.535	0.975	0.508	0.328	0.230	0.174	0.133	0.104	0.083
ความผิดพลาด(%)	2.545	3.355	2.305	5.047	4.373	2.954	3.867	5.674	9.565	9.783



รูปที่ 5.12 กราฟคุณลักษณะ Curve extremely inverse time ที่ Time setting 0.1 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Extremely nverse time

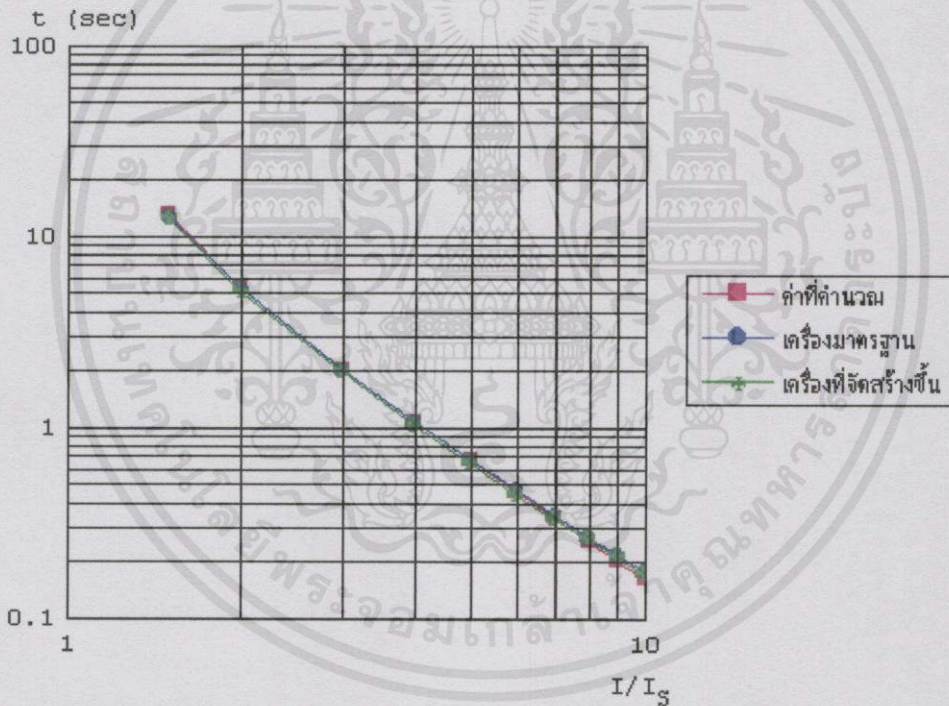
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.2 second

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve extremely inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	12.80	5.333	2.000	1.066	0.666	0.457	0.333	0.253	0.200	0.161
เครื่องมาตรฐาน	12.64	5.251	1.991	1.071	0.673	0.469	0.347	0.262	0.213	0.176
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	12.26	5.081	1.914	1.015	0.636	0.438	0.328	0.256	0.210	0.169
ความผิดพลาด(%)	3.006	3.237	3.867	5.228	5.498	6.609	5.476	2.29	1.409	3.977



รูปที่ 5.13 กราฟคุณลักษณะ Curve extremely inverse time ที่ Time setting 0.2 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Extremely inverse time

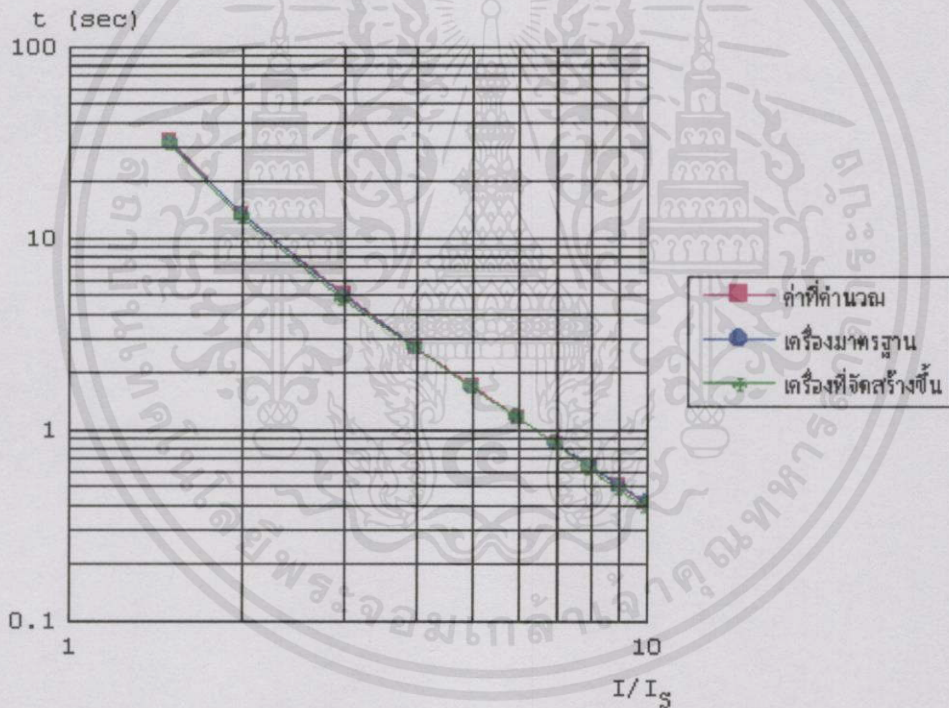
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.5 second

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve extremely inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	32.00	13.33	5.000	2.667	1.667	1.142	0.833	0.634	0.500	0.404
เครื่องมาตรฐาน	31.39	13.09	4.948	2.637	1.654	1.140	0.833	0.644	0.507	0.412
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	30.62	12.71	4.751	2.662	1.643	1.136	0.832	0.614	0.476	0.391
ความผิดพลาด(%)	2.453	2.903	3.981	-0.94	0.665	0.351	0.12	4.658	6.114	5.097



รูปที่ 5.14 กราฟคุณลักษณะ Curve extremely inverse time ที่ Time setting 0.5 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Long-time inverse

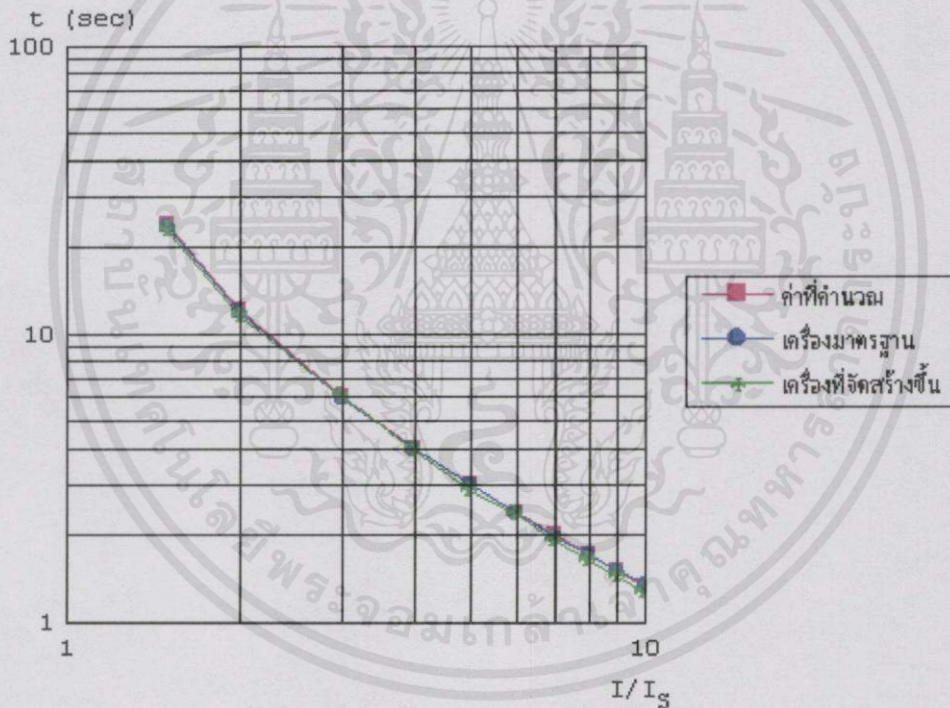
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.1 second

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve long-time inverse

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	24.00	12.00	6.00	4.00	3.00	2.400	2.000	1.714	1.500	1.333
เครื่องมาตรฐาน	23.59	11.83	5.949	3.972	2.987	2.386	1.985	1.711	1.496	1.335
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	22.81	11.42	6.047	3.907	2.858	2.337	1.912	1.641	1.426	1.270
ความผิดพลาด(%)	3.307	3.466	-1.64	1.636	4.318	2.053	3.677	4.091	4.679	4.868



รูปที่ 5.15 กราฟคุณลักษณะ Curve long-time inverse ที่ Time setting 0.1 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Long-time inverse

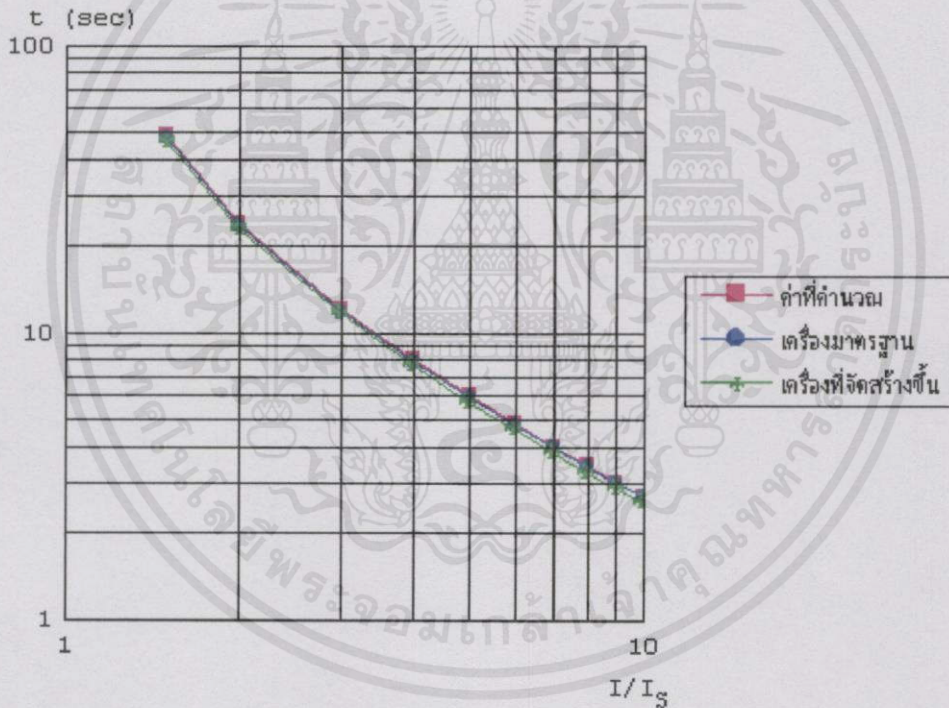
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.2 second

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve long-time inverse

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	48.00	24.00	12.00	8.000	6.000	4.800	4.000	3.428	3.000	2.666
เครื่องมาตรฐาน	47.43	23.70	11.89	7.940	5.954	4.773	3.978	3.408	2.986	2.656
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	45.89	22.80	11.71	7.677	5.701	4.57	3.808	3.258	2.851	2.534
ความผิดพลาด(%)	3.246	3.797	1.513	3.312	4.249	4.253	4.273	4.401	4.521	4.593



รูปที่ 5.16 กราฟคุณลักษณะ Curve long-time inverse ที่ Time setting 0.2 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Long-time inverse

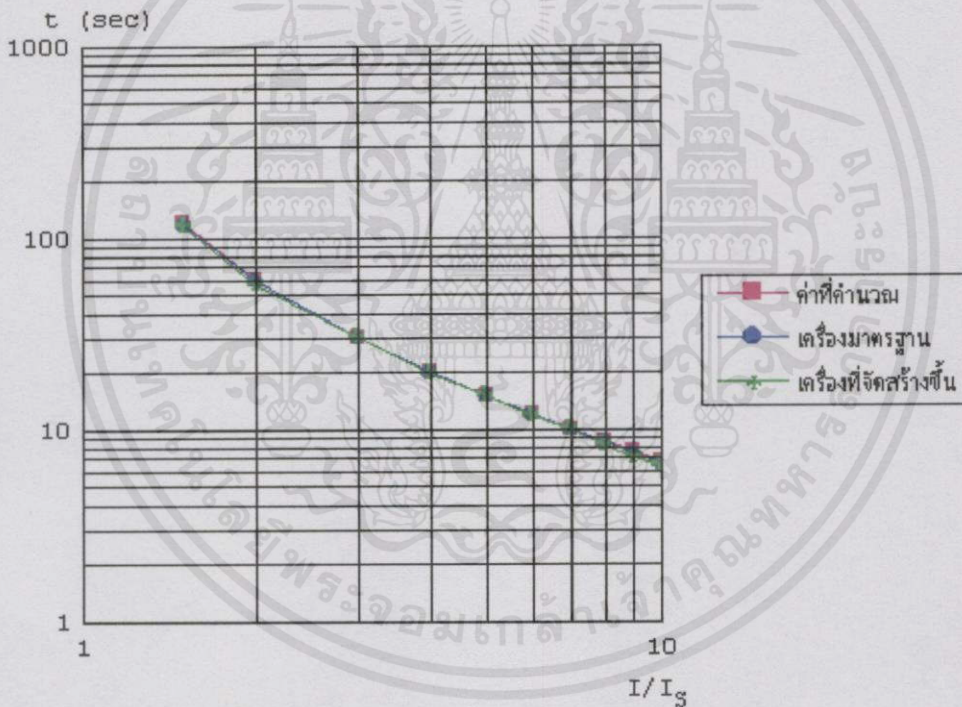
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.5 second

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve long-time inverse

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	120.0	60.00	30.00	20.00	15.00	12.00	10.00	8.571	7.500	6.666
เครื่องมาตรฐาน	117.9	59.18	29.74	19.85	14.89	11.92	9.929	8.508	7.455	6.625
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	114.4	57.25	29.82	19.39	14.74	11.65	9.769	8.181	7.142	6.360
ความผิดพลาด(%)	2.968	3.261	-0.26	2.317	1.007	2.265	1.611	3.843	4.198	4



รูปที่ 5.17 กราฟคุณลักษณะ Curve long-time inverse ที่ Time setting 0.5 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Short-time inverse

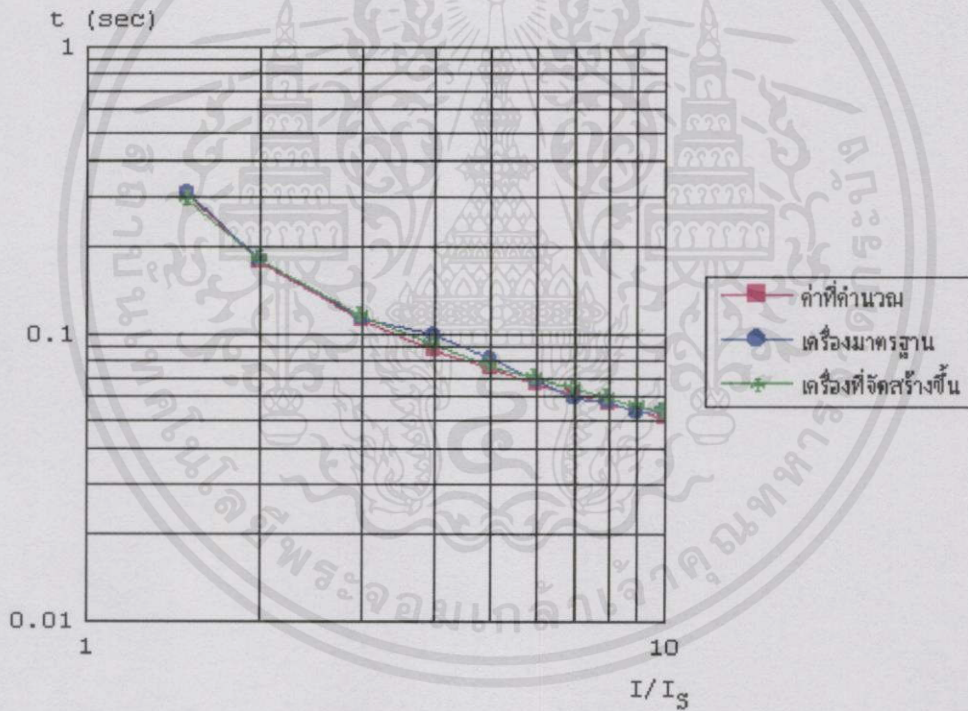
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.1 second

ตารางที่ 5.14 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve short-time inverse

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	0.305	0.177	0.111	0.087	0.075	0.067	0.061	0.057	0.054	0.051
เครื่องมาตรฐาน	0.308	0.180	0.113	0.100	0.082	0.069	0.059	0.058	0.053	0.054
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	0.291	0.18	0.115	0.091	0.077	0.07	0.064	0.059	0.056	0.053
ความผิดพลาด(%)	5.519	0	-1.76	9	6.097	-1.44	-8.47	-1.72	-5.66	1.851



รูปที่ 5.18 กราฟคุณลักษณะ Curve short-time inverse ที่ Time setting 0.1 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Short time inverse

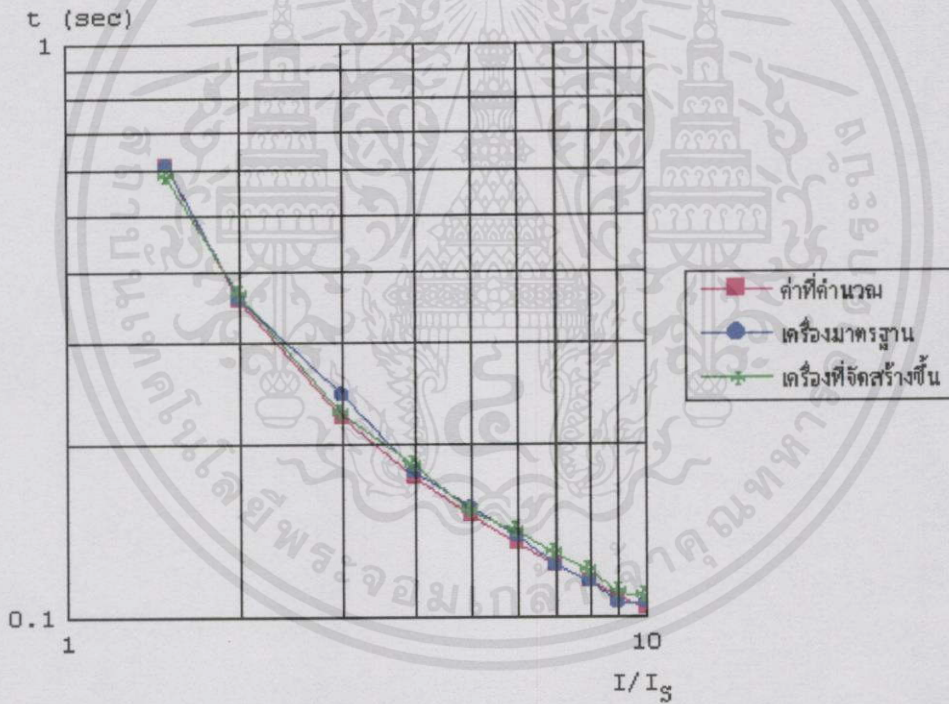
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.2 second

ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve short time inverse

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	0.611	0.355	0.222	0.175	0.150	0.134	0.123	0.115	0.108	0.103
เครื่องมาตรฐาน	0.610	0.358	0.244	0.179	0.154	0.138	0.123	0.115	0.105	0.105
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	0.581	0.363	0.226	0.183	0.152	0.14	0.129	0.12	0.11	0.108
ความผิดพลาด(%)	4.754	-1.39	7.377	-2.23	1.298	-1.44	-4.87	-4.34	-4.76	-2.85



รูปที่ 5.19 กราฟคุณลักษณะ Curve short time inverse ที่ Time setting 0.2 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Short time inverse

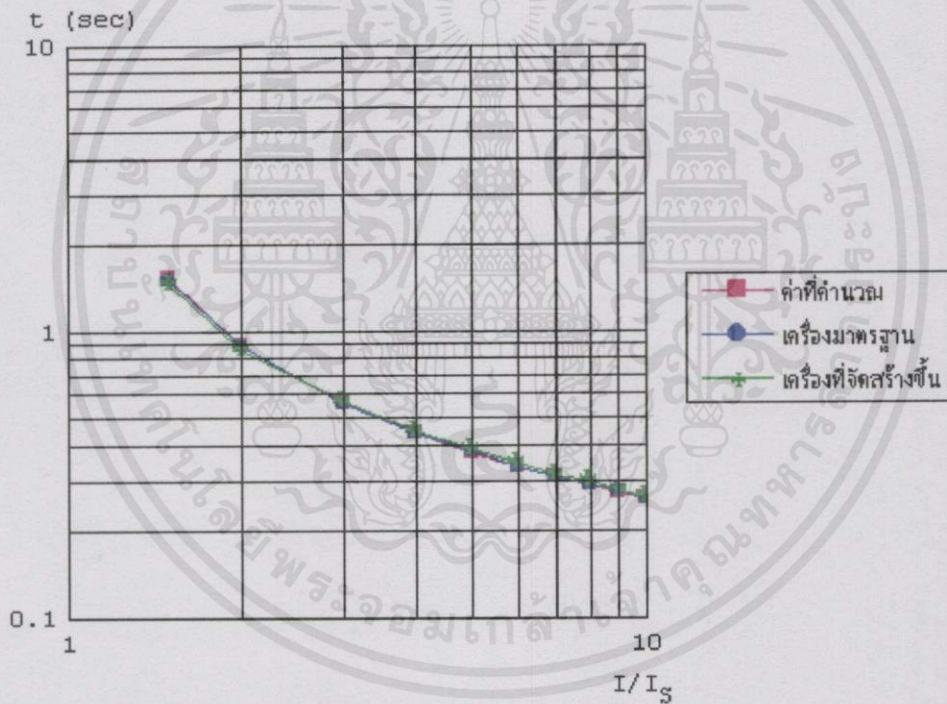
Function : Over Current Relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.5 second

ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve short time inverse

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	1.528	0.889	0.556	0.438	0.375	0.336	0.308	0.288	0.272	0.259
เครื่องมาตรฐาน	1.505	0.888	0.554	0.440	0.378	0.336	0.308	0.289	0.275	0.261
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	1.458	0.863	0.565	0.447	0.385	0.343	0.316	0.297	0.278	0.265
ความผิดพลาด(%)	3.122	2.815	-1.98	-1.59	-1.85	-2.09	-2.59	-2.75	-1.09	-1.53

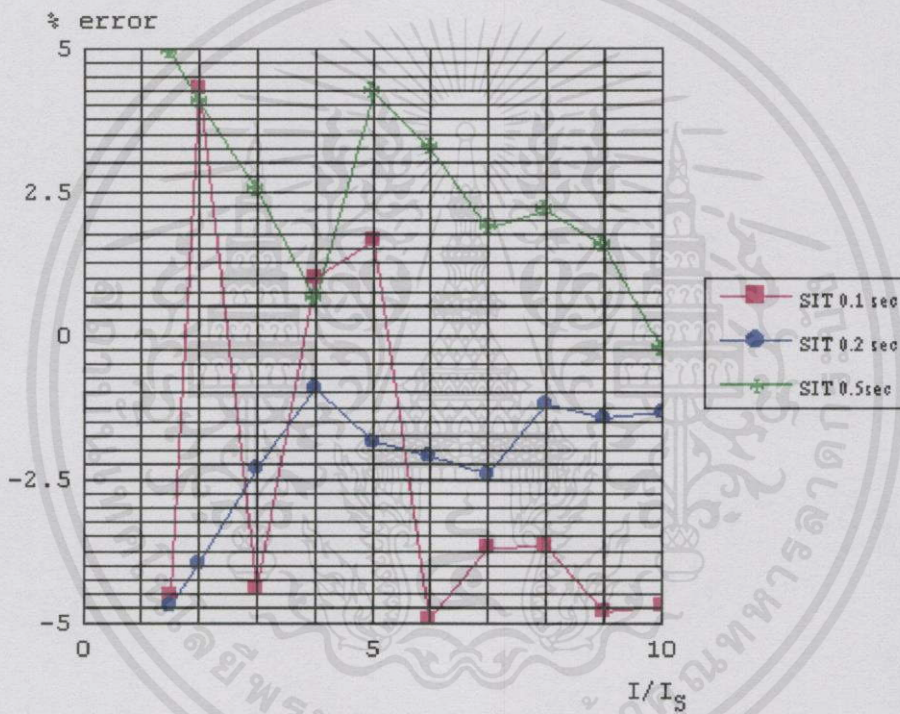


รูปที่ 5.20 กราฟคุณลักษณะ Curve short time inverse ที่ Time setting 0.5 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

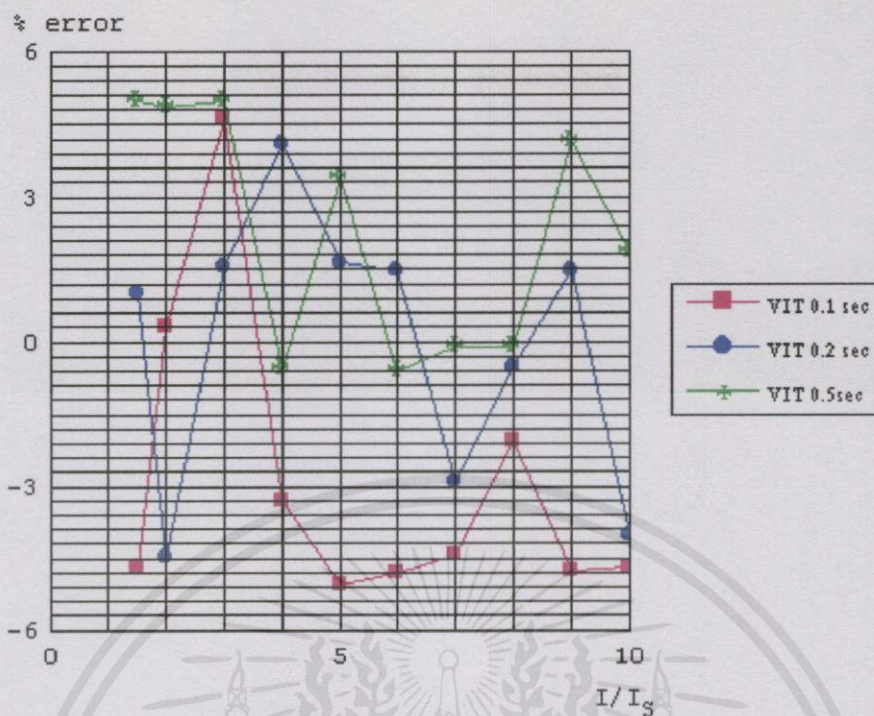
5.4.2 บทสรุป

ในการทดสอบรีเลย์ของบริษัท Scheitzer engineering laboratories ใน Curve ของ overcurrent relay สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเวลาการทำงานของรีเลย์จะใช้สมการที่ 5.4 ถึง 5.8 ผลการทดสอบโดยเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบรุ่น PTE-50 CE ของบริษัท SMC พบว่า ที่ค่าเวลา I/I_s เท่ากับ 1.5 ถึง 3 ทั้งในตัวคูณหน่วง 0.1, 0.2 และ 0.5 จะพบว่าเกิดค่าความผิดพลาดมาก เนื่องจากกระแสที่ใช้ในการทดสอบมีค่าน้อยทำให้เครื่องทดสอบที่จัดสร้างขึ้นจ่ายกระแสทดสอบผิดพลาดมากแต่ผลการทดสอบทั้งหมดจะเกิดค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 5\%$ ซึ่งสามารถยอมรับได้ตามมาตรฐาน IEC 255-3[14]

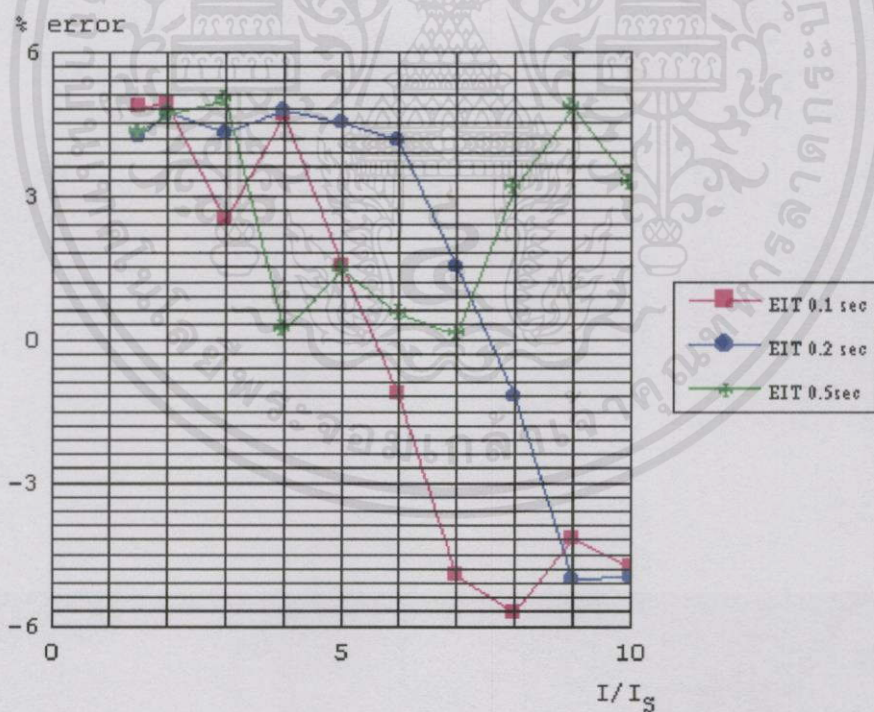


รูปที่ 5.21 % ความผิดพลาด Curve SIT ใน Function overcurrent relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

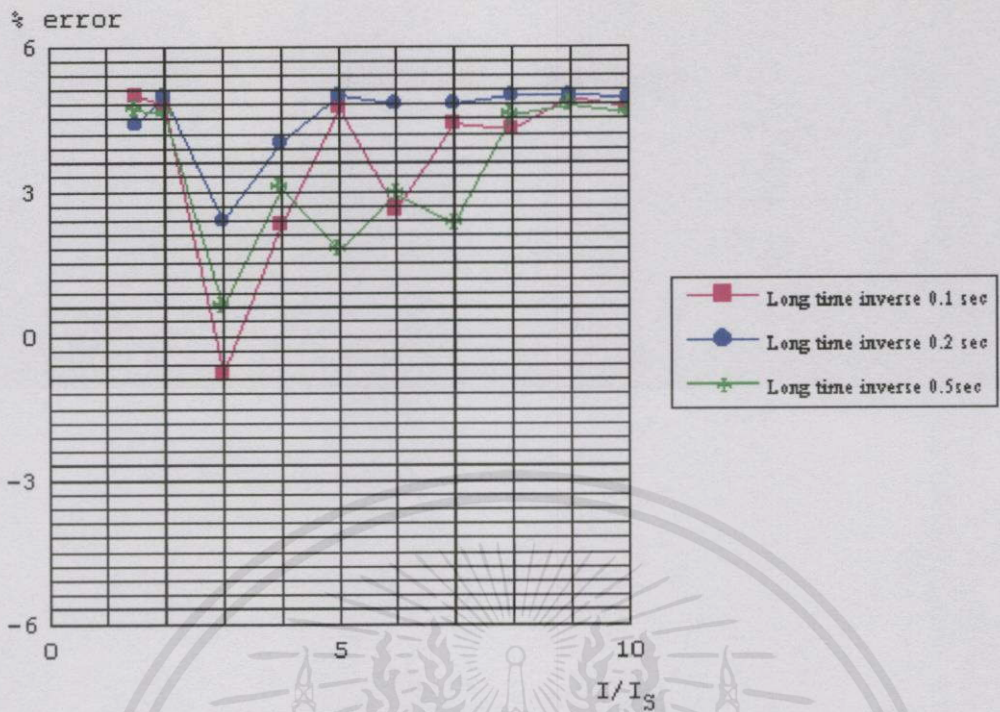


รูปที่ 5.22 % ความผิดพลาด Curve VIT ใน Function overcurrent relay

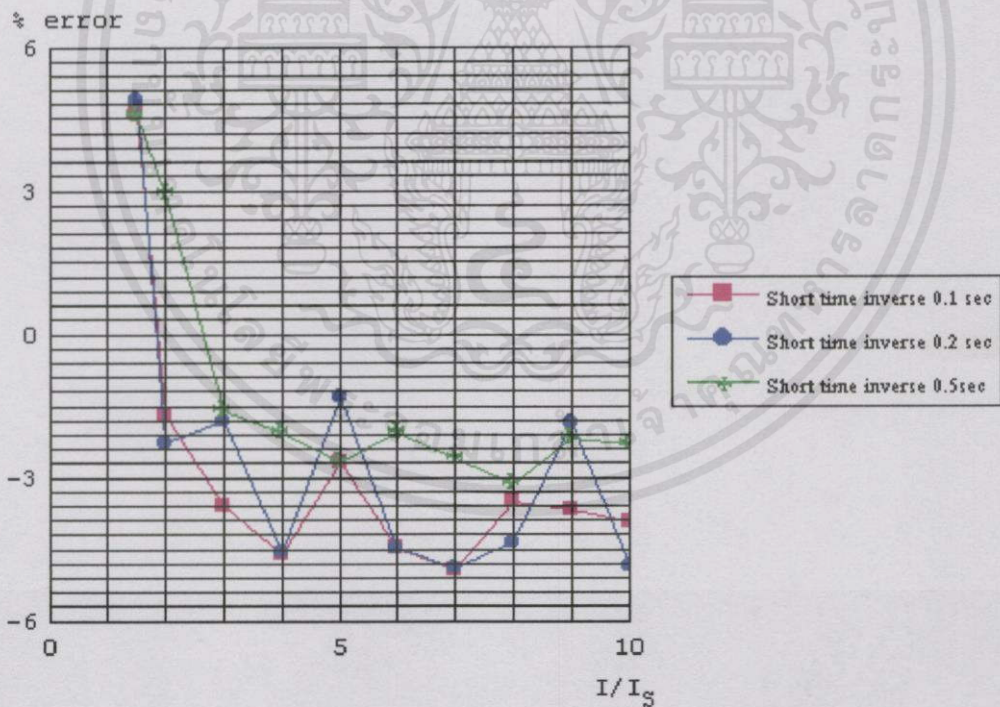


รูปที่ 5.23 % ความผิดพลาด Curve EIT ใน Function overcurrent relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.24 % ความผิดพลาด Curve long-time inverse ใน Function overcurrent relay



รูปที่ 5.25 % ความผิดพลาด Curve short-time inverse ใน Function overcurrent relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.3 ผลการทดสอบกับ Overcurrent relay (มาตรฐาน) type sepam 2000 S25 LT

บริษัท Merlin gerin ประเทศฝรั่งเศส

หลังจากที่ได้ทำการปรับแต่งการทำงานของเครื่องที่จัดสร้างขึ้นแล้ว โดยทำการทดสอบกับรีเลย์มาตรฐานของบริษัท Scheitzer engineering รุ่น SEL-551และนำผลการทดสอบไปทำการเทียบกับผลการทดสอบของเครื่องทดสอบมาตรฐานของบริษัท SMC รุ่น PTE-50CE ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการนำเครื่องทดสอบรีเลย์ที่จัดสร้างขึ้นไปทดสอบรีเลย์ของบริษัท Merlin gerin รุ่น Sepam 2000 S25LT ซึ่งเป็นรีเลย์แบบ Static relay โดยจะทำการทดสอบใน Function ของ Overcurrent relay และ Earth fault relay ดังนั้นจึงสามารถที่จะคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์แบบนี้ใน Function overcurrent relay ได้จากสมการที่ 5.9 ถึง 5.12[15]

Standard inverse time(SIT)

$$t_p = \frac{0.14}{(I/I_s)^{0.02} - 1} \times \frac{T}{2.97} \quad (5.9)$$

Very inverse time(VIT)

$$t_p = \frac{13.5}{(I/I_s) - 1} \times \frac{T}{1.5} \quad (5.10)$$

Extremely inverse time(EIT)

$$t_p = \frac{80}{(I/I_s)^2 - 1} \times \frac{T}{0.808} \quad (5.11)$$

Ultra inverse time(UIT)

$$t_p = \frac{315}{(I/I_s)^{2.5} - 1} \times T \quad (5.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

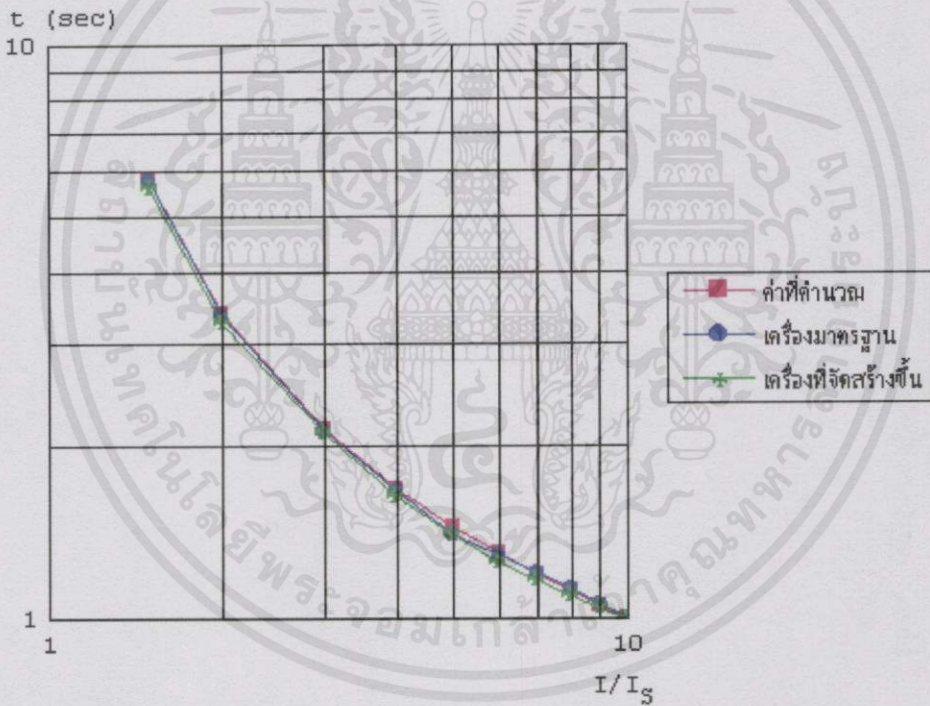
Relay type : Sepam 2000 S25 LT **บริษัท** Merlin gerin

Serial No. : 9517074 IN : 100/5 A **Curve** : Standard inverse time (SIT)

Function : Overcurrent relay **Relay setting** : 50 A **Time setting** : 1 second

ตารางที่ 5.17 ผลการทดสอบ Overcurrent Relay รุ่น Sepam 2000 Curve standard inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3.75	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
ค่าที่คำนวณ	5.789	3.376	2.122	1.677	1.44	1.292	1.188	1.11	1.049	1
เครื่องต้นแบบ	5.782	3.345	2.112	1.668	1.395	1.285	1.198	1.122	1.05	1
เครื่องทดสอบ รีเลย์	5.613	3.24	2.095	1.621	1.39	1.249	1.164	1.085	1.037	0.989
ความผิดพลาด(%)	3.045	4.051	1.272	3.339	3.472	3.328	2.020	2.252	1.172	1.1



รูปที่ 5.26 กราฟคุณลักษณะ Curve standard inverse time ที่ Time setting 1 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

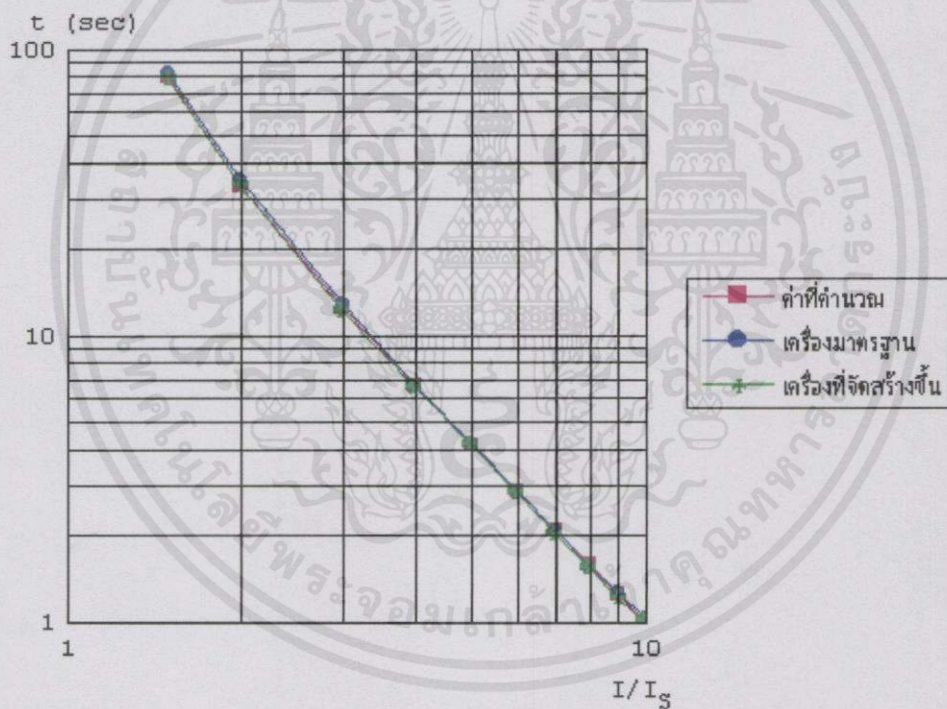
Relay type : Sepam 2000 S25 LT บริษัท Merlin gerin

Serial No. : 9517074 IN : 100/5 A Curve : Extremely inverse time (EIT)

Function : Overcurrent relay Relay setting : 50 A Time setting : 1 second

ตารางที่ 5.18 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น Sepam 2000 Curve extremely inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3.75	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
ค่าที่คำนวณ	79.21	33.00	12.38	6.6	4.125	2.829	2.063	1.572	1.238	1
เครื่องต้นแบบ	82.17	34.35	12.79	6.630	4.215	2.870	2.066	1.551	1.255	1.031
เครื่องทดสอบ รีเลย์	78.25	32.75	11.96	6.570	4.091	2.788	1.995	1.539	1.196	0.99
ความผิดพลาด(%)	1.212	0.758	3.385	0.455	0.824	1.449	3.296	2.099	3.393	1



รูปที่ 5.27 กราฟคุณลักษณะ Curve extremely inverse time ที่ Time setting 1 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

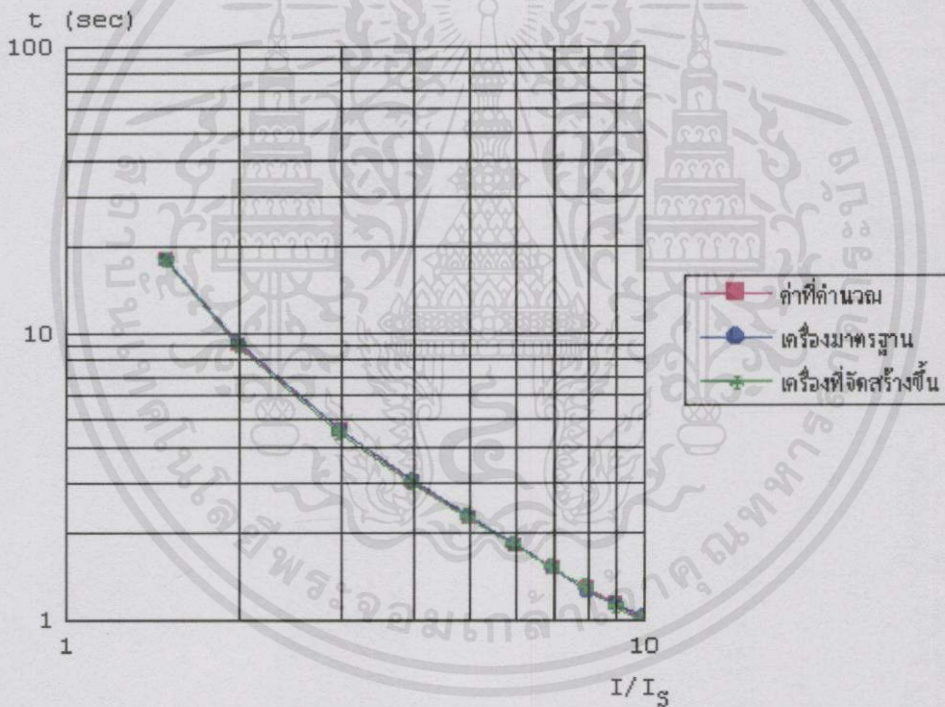
Relay type : Sepam 2000 S25 LT **บริษัท** Merlin gerin

Serial No. : 9517074 IN : 100/5 A **Curve** : very inverse time (VIT)

Function : Overcurrent relay **Relay setting** : 50 A **Time setting** : 1 second

ตารางที่ 5.19 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น Sepam 2000 Curve very inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3.75	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
ค่าที่คำนวณ	18	9	4.5	3	2.25	1.8	1.5	1.286	1.125	1
เครื่องต้นแบบ	18.02	9.150	4.525	3.050	2.263	1.820	1.515	1.250	1.121	1.021
เครื่องทดสอบ รีเลย์	17.58	8.850	4.375	2.950	2.238	1.790	1.495	1.272	1.098	0.978
ความผิดพลาด(%)	2.283	1.667	2.778	1.667	0.533	0.556	0.333	1.089	2.4	2.2



รูปที่ 5.28 กราฟคุณลักษณะ Curve very inverse time ที่ Time setting 1 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

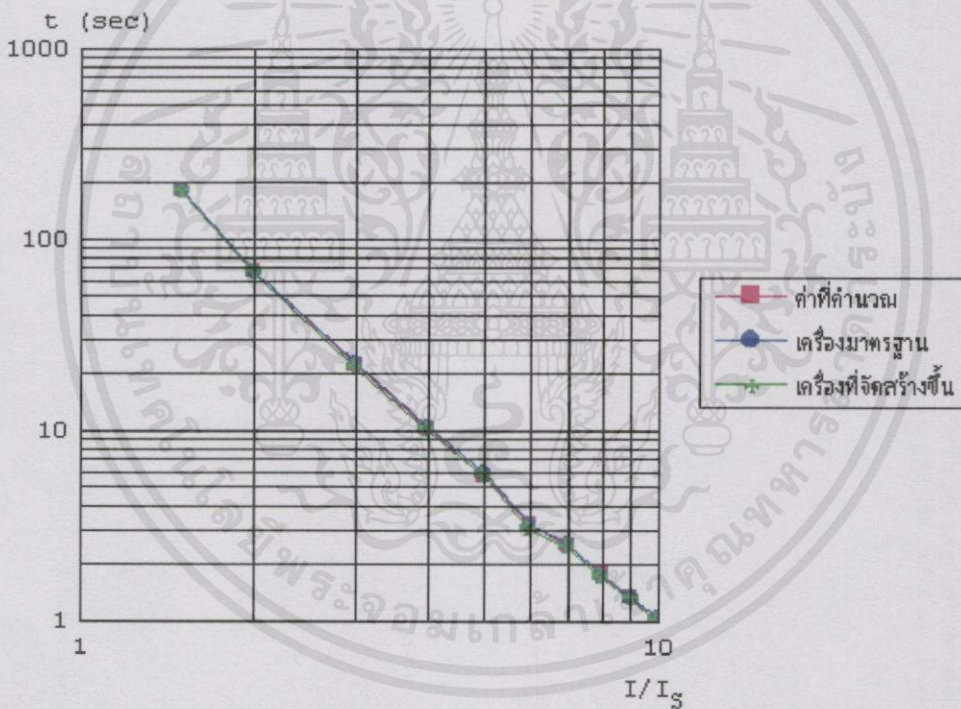
Relay type : Sepam 2000 S25 LT **บริษัท** Merlin gerin

Serial No. : 9517074 IN : 100/5 A **Curve** : Ultra inverse time (UIT)

Function : Overcurrent relay **Relay setting** : 50 A **Time setting** : 1 second

ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบ Overcurrent relay รุ่น Sepam 2000 Curve ultra inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3.75	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
ค่าที่คำนวณ	179.4	67.64	21.59	10.16	5.738	3.163	2.449	1.749	1.302	0.999
เครื่องต้นแบบ	180.3	68.02	22.27	10.26	5.925	3.221	2.511	1.736	1.317	1.030
เครื่องทดสอบ รีเลย์	174.4	65.25	20.91	9.852	5.651	3.005	2.427	1.692	1.297	0.989
ความผิดพลาด(%)	2.770	3.522	3.145	3.032	1.516	4.995	0.898	3.259	0.384	1.001

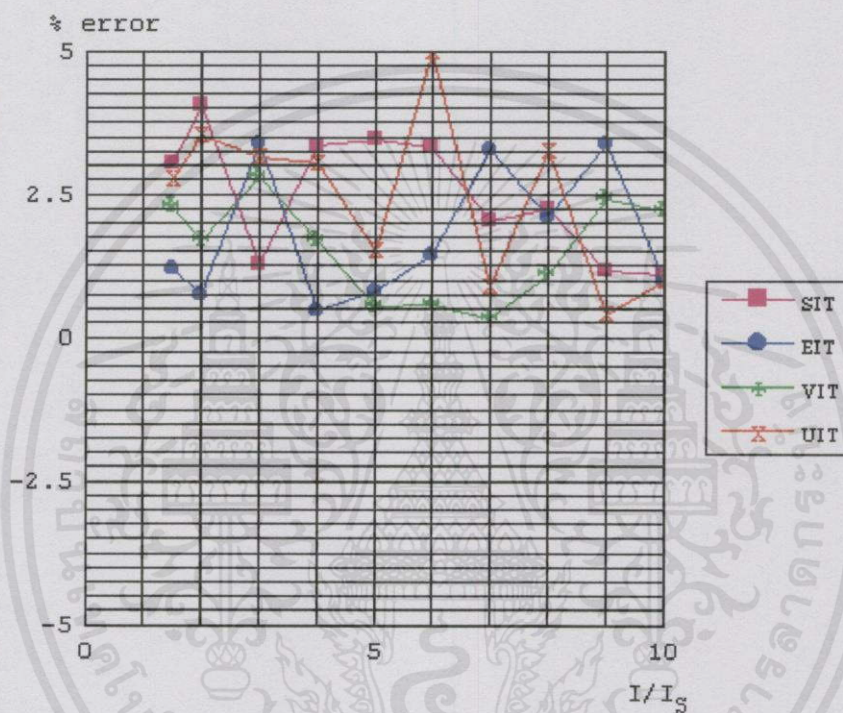


รูปที่ 5.29 กราฟคุณลักษณะ Curve ultra inverse time ที่ Time setting 1 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.4 บทสรุป

ในการทดสอบรีเลย์ของบริษัท Merlin gerin ใน Curve ของ Overcurrent relay สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเวลาการทำงานของรีเลย์จะใช้สมการที่ 5.9 ถึง 5.12 โดยเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบรุ่น PTE-50 CE ของบริษัท SMC จากตารางผลการทดสอบที่ 5.17 ถึง 5.20 พบว่าค่าเวลาการทำงานของรีเลย์ทั้ง 4 curve ยังทำงานอยู่ในย่านที่สามารถยอมรับได้คือมีความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 5\%$ เทียบกับการคำนวณจากสมการที่ 5.9 ถึง 5.12 ดังรูปที่ 5.30



รูปที่ 5.30 % error ของ function overcurrent relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.5 ผลการทดสอบกับ Earth fault relay (มาตรฐาน) type Sepam 2000 S25 LT บริษัท Merlin gerin ประเทศฝรั่งเศส

หลังจากที่ได้ทดสอบรีเลย์ของบริษัท Merlin gerin ใน function overcurrent relay แล้ว ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอการทดสอบรีเลย์ของบริษัท Merlin gerin ใน Fnction earth fault relay ดังนั้นจึงสามารถที่จะคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์ได้จากสมการที่ 5.13 ถึง 5.16[15]

Standard inverse time(SIT)

$$t_p = \frac{0.14}{(I_o / I_{so})^{0.02} - 1} \times \frac{T}{2.97} \quad (5.13)$$

Very inverse time(VIT)

$$t_p = \frac{13.5}{(I_o / I_{so}) - 1} \times \frac{T}{1.5} \quad (5.14)$$

Extremely inverse time(EIT)

$$t_p = \frac{80}{(I_o / I_{so})^2 - 1} \times \frac{T}{0.808} \quad (5.15)$$

Ultra inverse time(UIT)

$$t_p = \frac{315}{(I_o / I_{so})^{2.5} - 1} \times T \quad (5.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

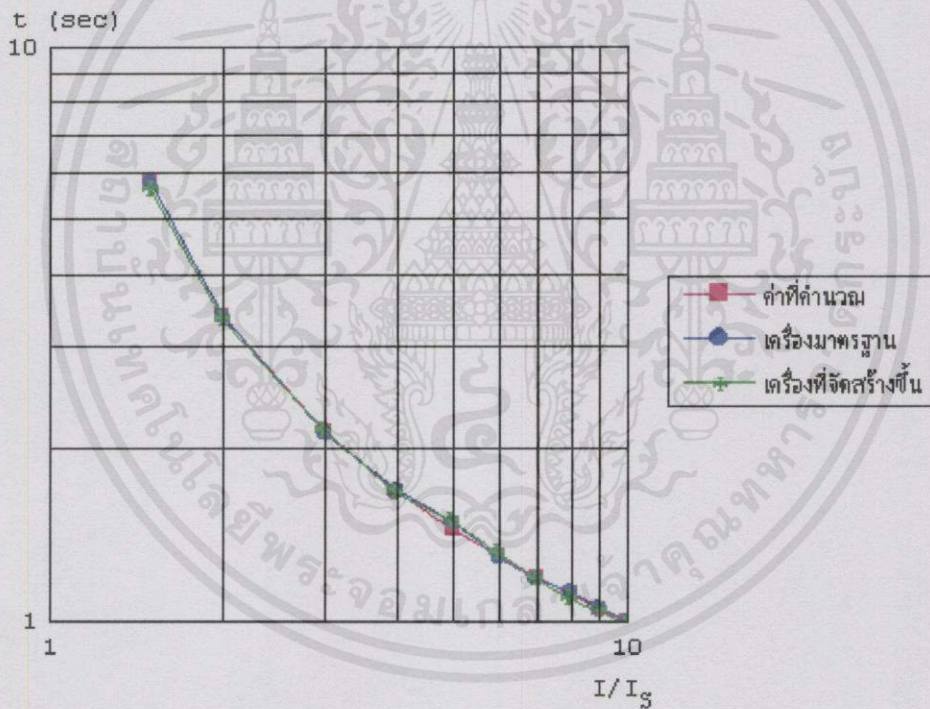
Relay type : Sepam 2000 S25 LT **บริษัท** Merlin gerin

Serial No. : 9517074 IN : 100/5 A **Curve** : Standard inverse time (SIT)

Function : Earth fault relay **Relay setting** : 50 A **Time setting** : 1 second

ตารางที่ 5.21 ผลการทดสอบ Earth fault relay รุ่น Sepam 2000 Curve standard inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3.75	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
ค่าที่คำนวณ	5.789	3.377	2.122	1.677	1.441	1.292	1.188	1.11	1.049	1
เครื่องมาตรฐาน	5.772	3.389	2.113	1.689	1.486	1.291	1.181	1.12	1.051	1
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	5.592	3.329	2.122	1.655	1.489	1.304	1.181	1.086	1.037	0.979
ความผิดพลาด(%)	3.40	1.42	0	1.31	-3.33	-0.92	0.58	2.16	1.14	2.1



รูปที่ 5.31 กราฟคุณลักษณะ Curve standard inverse time ของ Earth fault relay ที่ Time setting 1 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

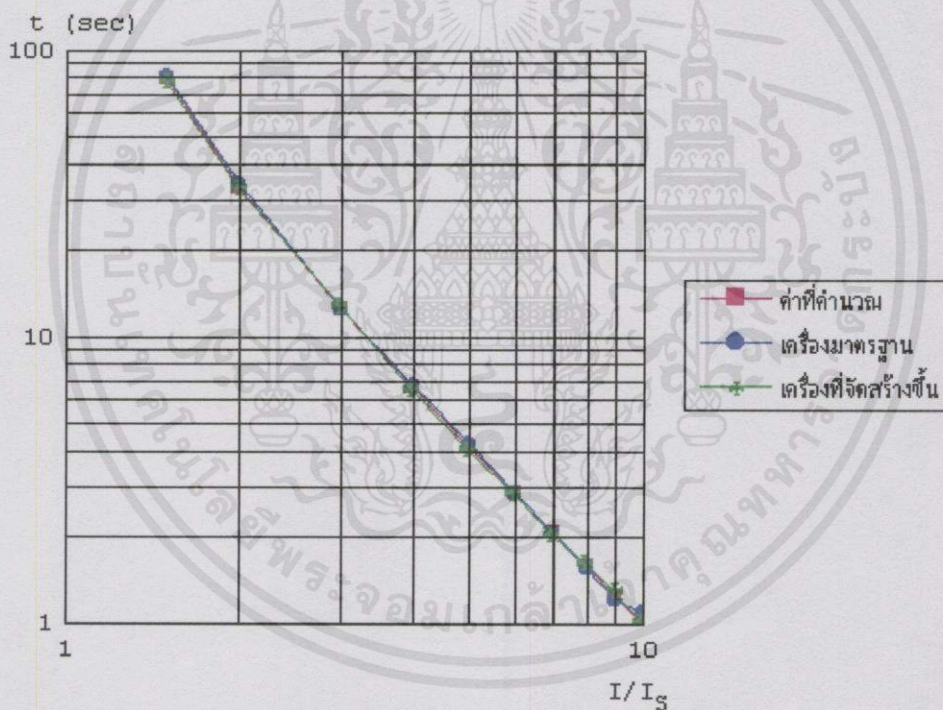
Relay type : Sepam 2000 S25 LT บริษัท Merlin gerin

Serial No. : 9517074 IN : 100/5 A Curve : Extremely inverse time (EIT)

Function : Earth fault relay Relay setting : 50 A Time setting : 1 second

ตารางที่ 5.22 ผลการทดสอบEarth fault relay รุ่น Sepam 2000 Curve extremely inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3.75	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
ค่าที่คำนวณ	79.21	33.00	12.38	6.6	4.125	2.829	2.063	1.572	1.238	1
เครื่องมาตรฐาน	80.17	34.25	12.49	6.730	4.231	2.870	2.066	1.551	1.209	1.10
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	76.25	32.35	12.66	6.470	3.989	2.788	1.991	1.593	1.276	0.989
ความผิดพลาด(%)	3.737	1.969	-2.26	1.969	3.297	1.449	3.490	-1.33	-3.06	1.1



รูปที่ 5.32 กราฟคุณลักษณะ Curve extremely inverse time ของ Earth fault relay ที่ Time setting 1 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

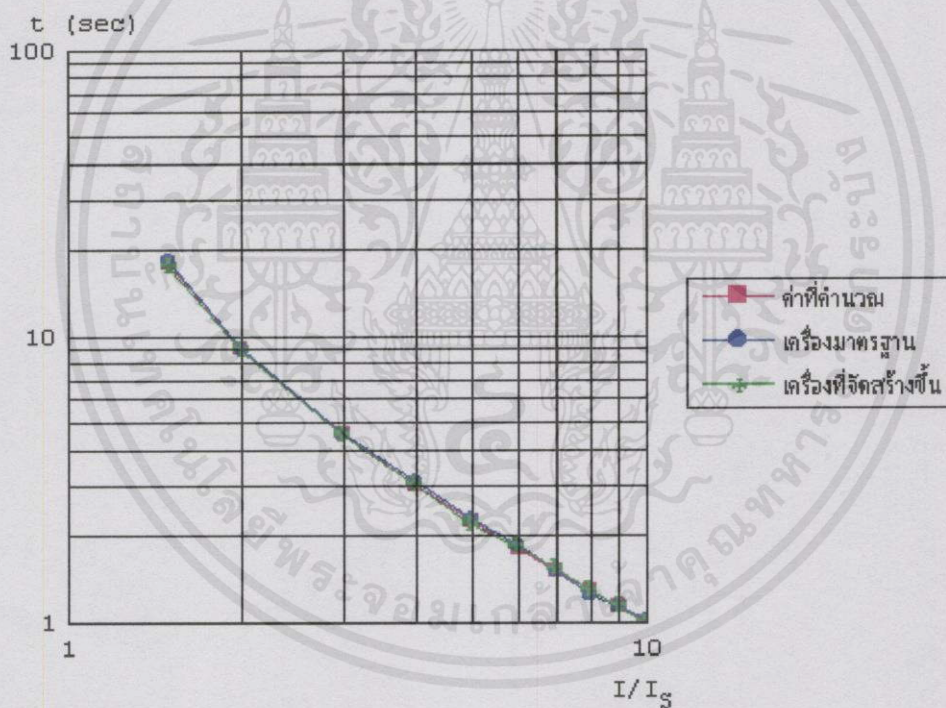
Relay type : Sepam 2000 S25 LT **บริษัท** Merlin gerin

Serial No. : 9517074 IN : 100/5 A **Curve** : Very inverse time (VIT)

Function : Earth fault relay **Relay setting** : 50 A **Time setting** : 1 second

ตารางที่ 5.23 ผลการทดสอบ Earth fault relay รุ่น Sepam 2000 Curve very inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3.75	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
ค่าที่คำนวณ	18	9	4.5	3	2.25	1.8	1.5	1.286	1.125	1
เครื่องมาตรฐาน	18.20	9.050	4.525	3.110	2.263	1.840	1.515	1.250	1.131	1.010
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	17.35	8.850	4.475	2.995	2.188	1.810	1.525	1.272	1.119	0.981
ความผิดพลาด(%)	3.561	1.667	0.556	0.167	2.756	-0.55	-1.66	1.088	0.533	1.9



รูปที่ 5.33 กราฟคุณลักษณะ Curve very inverse time ของ Earth fault relay ที่ Time setting 1 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

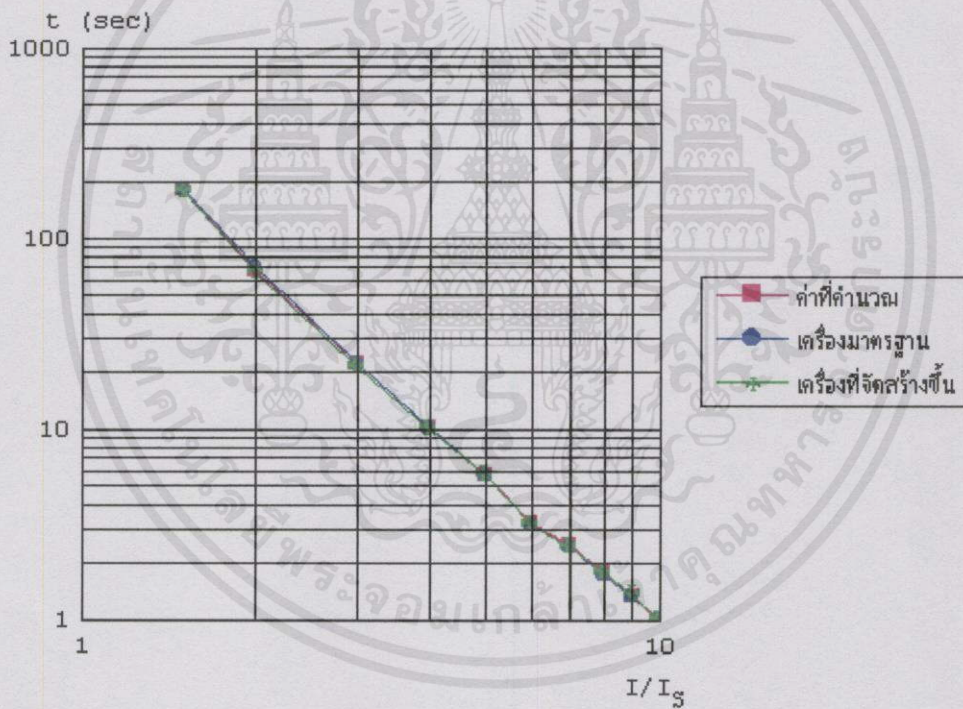
Relay type : Sepam 2000 S25 LT บริษัท Merlin gerin

Serial No. : 9517074 IN : 100/5 A Curve : Ultra inverse time (UIT)

Function : Earth fault relay Relay setting : 50 A Time setting : 1 second

ตารางที่ 5.24 ผลการทดสอบ Earth fault relay รุ่น Sepam 2000 Curve ultra inverse time

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3.75	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25
ค่าที่คำนวณ	179.4	67.64	21.59	10.16	5.738	3.163	2.449	1.749	1.302	0.999
เครื่องมาตรฐาน	178.3	70.02	21.67	10.16	5.65	3.121	2.471	1.736	1.307	1.019
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	174.4	65.25	20.91	9.982	5.651	3.105	2.427	1.762	1.337	0.989
ความผิดพลาด(%)	2.770	3.522	3.145	1.752	1.516	1.834	0.898	-0.74	-2.68	1.001

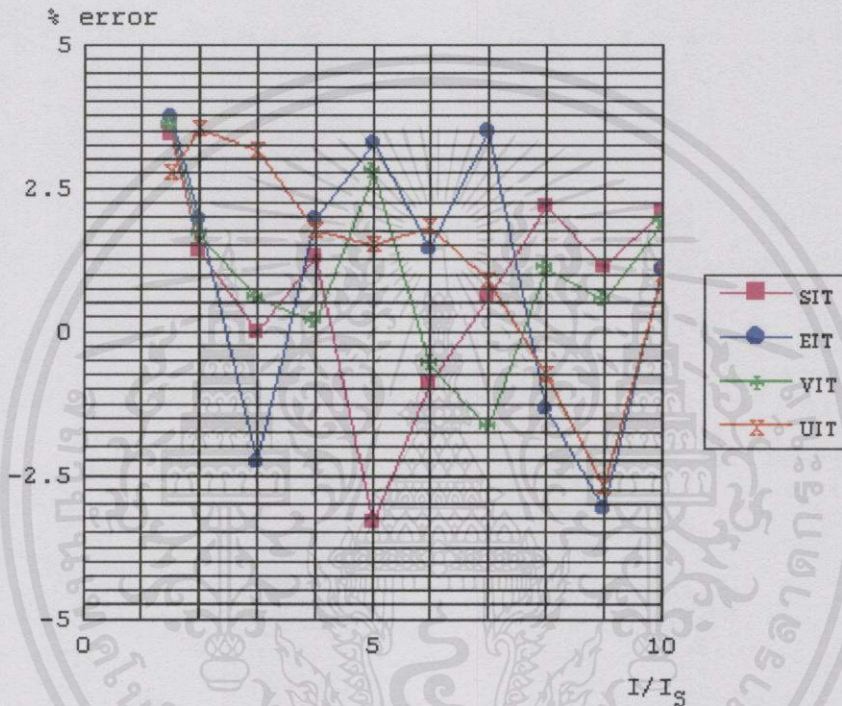


รูปที่ 5.34 กราฟคุณลักษณะ Curve ultra inverse time ของ Earth fault relay ที่ Time setting 1 second

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4.6 บทสรุป

ในการทดสอบรีเลย์ของบริษัท Merlin gerin ใน Curve ของ Earth fault relay สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าเวลาการทำงานของรีเลย์จะใช้สมการที่ 5.13 ถึง 5.16 โดยเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบรุ่น PTE-50 CE ของบริษัท SMC จากตารางผลการทดสอบที่ 5.21 ถึง 5.24 พบว่าค่าเวลาการทำงานของรีเลย์ทั้ง 4 curve ยังทำงานอยู่ในย่านที่สามารถยอมรับได้คือมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 5\%$ เทียบกับการคำนวณจากสมการที่ 5.13 ถึง 5.16 ดังรูปที่ 5.35



รูปที่ 5.35 % ความผิดพลาดใน Function earth fault relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การทดสอบผลของอุณหภูมิต่อเครื่องทดสอบรีเลย์

หลังจากที่ได้นำเครื่องทดสอบที่จัดสร้างขึ้นนำไปทดสอบรีเลย์กระแสเกินที่เป็นแบบ Digital relay และ Static relay แล้วในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอผลของอุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องทดสอบหรือไม่ ในการทดสอบครั้งนี้จะเลือกอุณหภูมิที่ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส เนื่องจากในสภาพการทำงานจริง รีเลย์จะถูกติดตั้งอยู่ในห้องควบคุม(Control room) ดังนั้นจึงมีโอกาที่เครื่องปรับอากาศซึ่งใช้ในการปรับอุณหภูมิในในห้องควบคุมเกิดการเสียหาย เราสามารถจำแนกการเสียหายได้ 2 อย่างด้วยกันคือ เครื่องปรับอากาศไม่ทำงานทำให้อุณหภูมิภายในห้องเพิ่มขึ้นกว่าปกติและเครื่องปรับอากาศทำงานอย่างต่อเนื่องทำให้อุณหภูมิภายในห้องควบคุมลดลงมาต่ำกว่าปกติ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อดูผลกระทบของอุณหภูมิที่ต่ำกว่าปกติและอุณหภูมิที่สูงกว่าปกติ อันเนื่องจากสาเหตุข้างต้น ในการทดสอบจะทำการทดสอบกับรีเลย์มาตรฐานของบริษัท Scheitzer engineering laboratories รุ่น SEL-551 โดยจะทำการตั้งค่า Time setting เท่ากับ 0.5 sec และทดสอบ Curve ของ Standard inverse time, Very inverse time, Extremely inverse time, Long-time inverse และ Short-time inverse สมการที่ใช้ในการคำนวณหาเวลาการทำงานของรีเลย์สามารถที่จะคำนวณได้จากสมการที่ 5.4 ถึง 5.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Standard inverse time

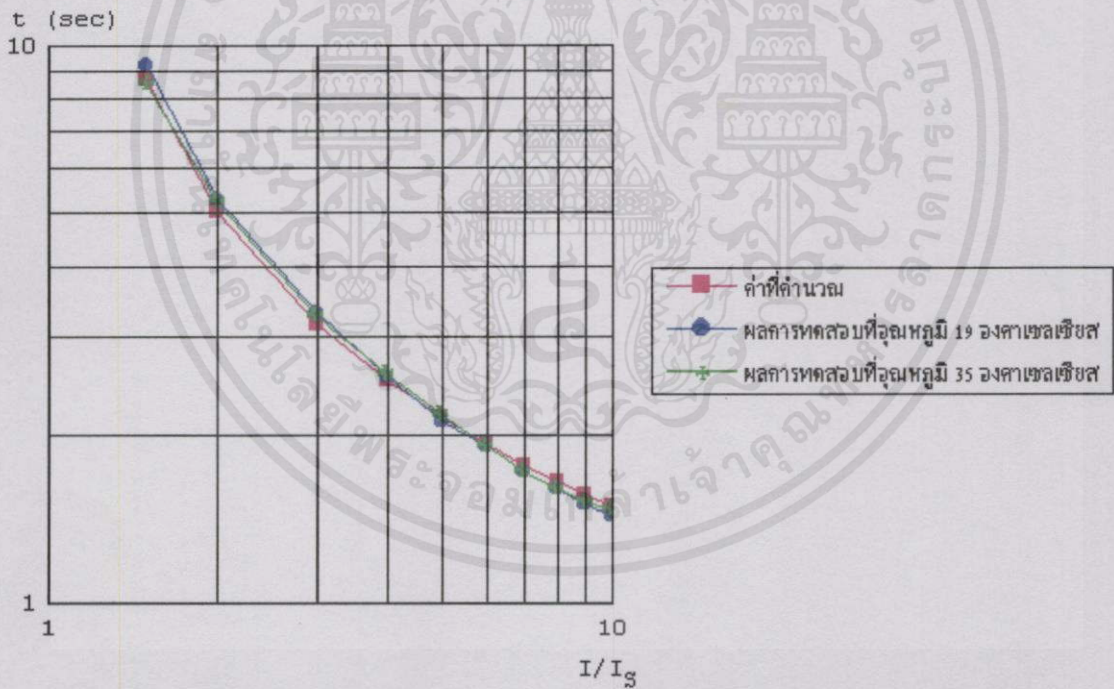
Function : Overcurrent relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.5 second

ตารางที่ 5.25 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve standard inverse time
ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	8.597	5.014	3.150	2.489	2.139	1.918	1.763	1.648	1.558	1.485
ผลที่อุณหภูมิ 19° C	9.213	5.275	3.311	2.530	2.116	1.906	1.716	1.597	1.497	1.423
ความผิดพลาด(%)	-7.16	-5.19	-5.33	-1.61	1.12	0.66	2.71	3.12	3.93	3.99
ผลที่อุณหภูมิ 35° C	8.503	5.209	3.260	2.563	2.163	1.906	1.716	1.597	1.506	1.463
ความผิดพลาด(%)	1.09	-3.88	-3.46	-2.94	-1.08	0.66	2.71	3.12	3.35	1.50



รูปที่ 5.36 กราฟคุณลักษณะ Curve standard inverse time ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ
35 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Very inverse time

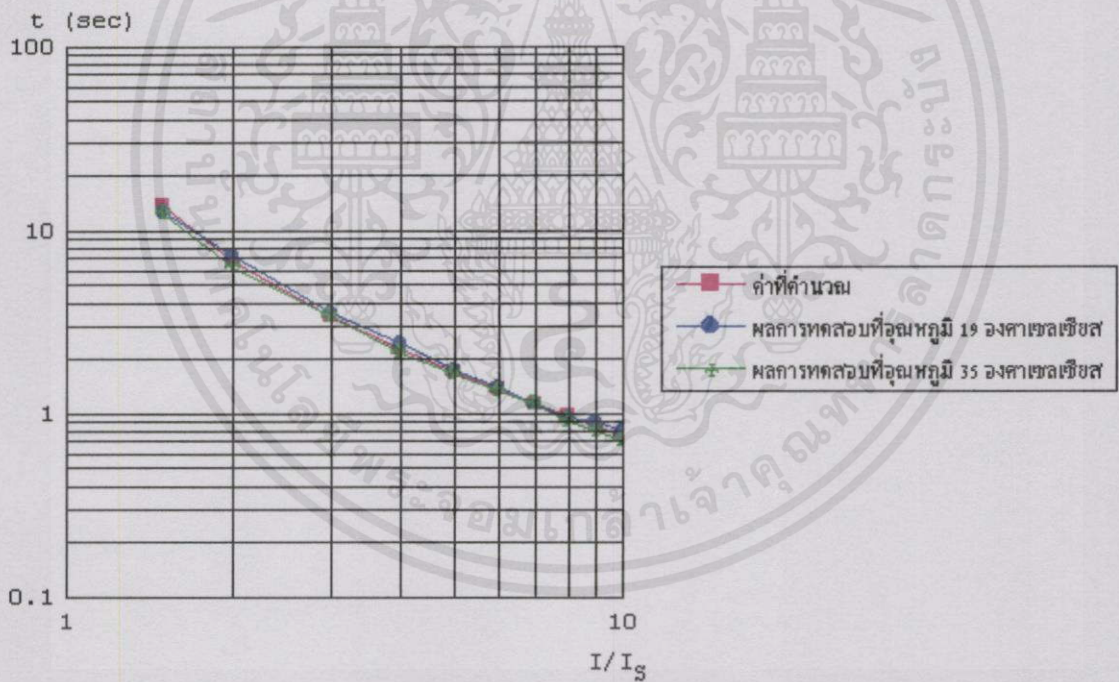
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.5 second

ตารางที่ 5.26 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve very inverse time ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	13.50	6.750	3.375	2.250	1.687	1.350	1.125	0.964	0.843	0.750
ผลที่อุณหภูมิ 19° C	12.54	7.213	3.554	2.401	1.706	1.385	1.116	0.941	0.897	0.794
ความผิดพลาด(%)	7.10	-6.86	-5.30	-6.71	-1.10	-2.59	0.80	2.41	-6.31	-5.87
ผลที่อุณหภูมิ 35° C	12.31	6.275	3.330	2.104	1.641	1.316	1.118	0.906	0.797	0.706
ความผิดพลาด(%)	8.80	7.04	1.33	6.49	2.76	2.52	0.62	6.04	5.54	5.87



รูปที่ 5.37 กราฟคุณลักษณะ Curve very inverse time ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Extremely inverse time

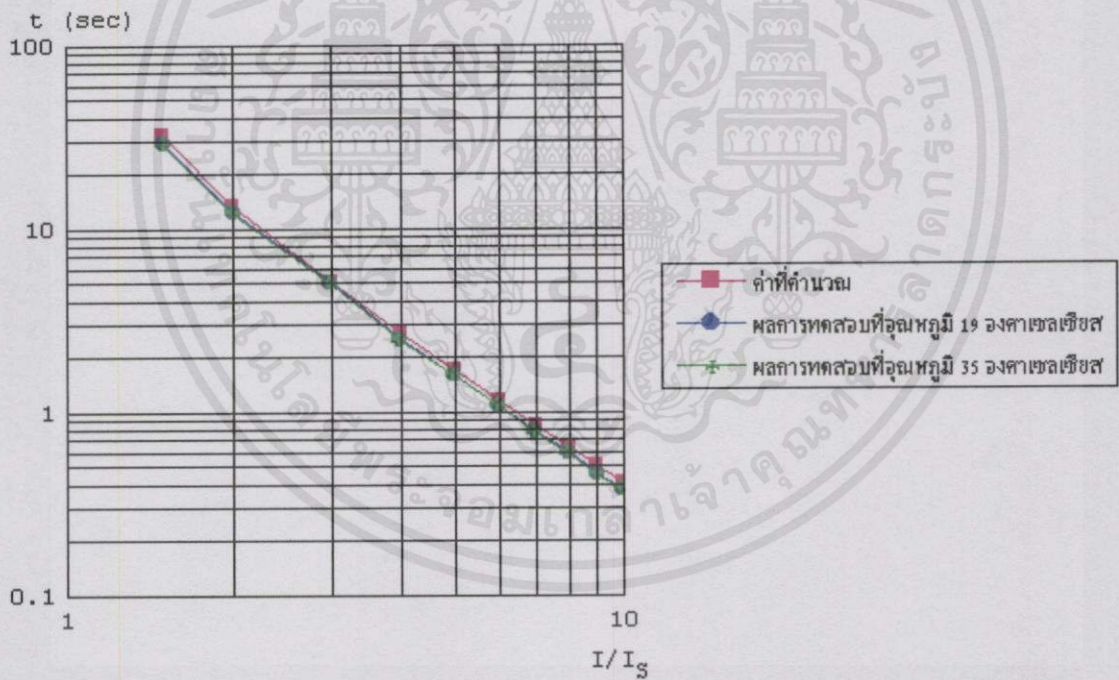
Function : Overcurrent relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.5 second

ตารางที่ 5.27 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve extremely inverse time ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	32	13.33	5.00	2.666	1.666	1.142	0.833	0.634	0.500	0.404
ผลที่อุณหภูมิ 19° C	29.24	12.35	5.006	2.452	1.552	1.052	0.775	0.592	0.459	0.374
ความผิดพลาด(%)	8.62	7.35	-0.12	8.05	6.88	7.95	7.00	6.76	8.20	7.44
ผลที่อุณหภูมิ 35° C	28.52	12.04	4.876	2.410	1.543	1.063	0.752	0.579	0.453	0.370
ความผิดพลาด(%)	10.88	9.69	2.48	9.62	7.42	6.99	9.76	8.81	9.40	8.43



รูปที่ 5.38 กราฟคุณลักษณะ Curve extremely inverse time ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Long-time inverse

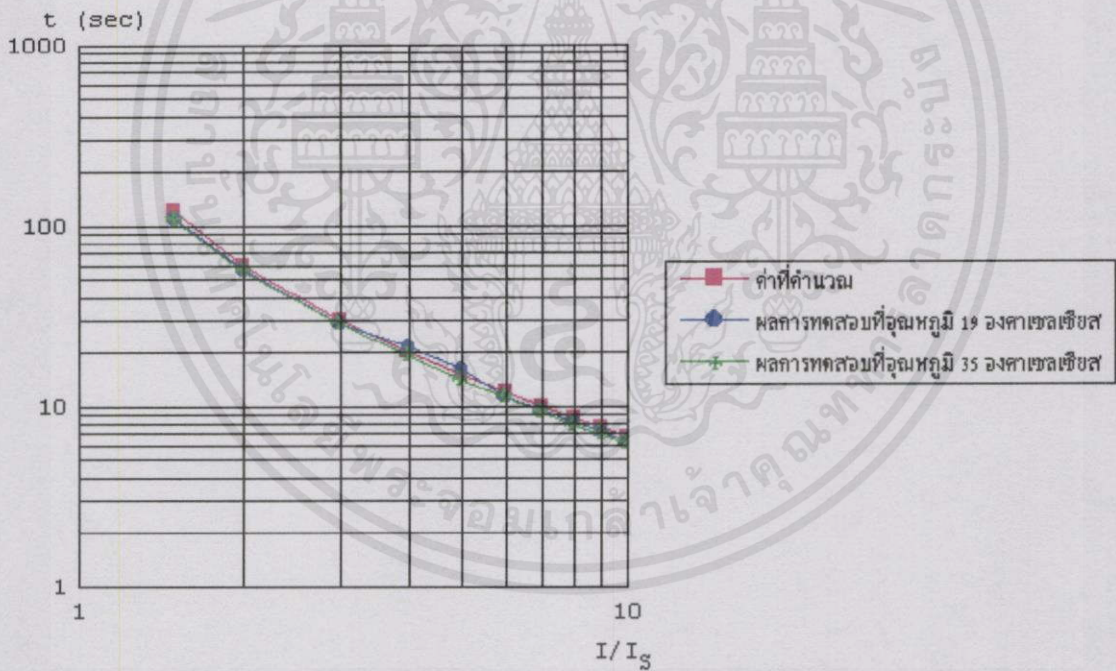
Function : Over current relay

Relay Setting : 2 A

Time setting : 0.5 second

ตารางที่ 5.28 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 Curve long-time inverse ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	120.0	60.00	30.00	20.00	15.00	12.00	10.0	8.571	7.500	6.666
ผลที่อุณหภูมิ 19° C	108.1	56.76	28.67	21.24	16.05	11.19	9.437	8.212	7.152	6.332
ความผิดพลาด(%)	9.92	5.40	4.42	-6.21	-7.01	6.79	5.63	4.19	4.64	5.02
ผลที่อุณหภูมิ 35° C	105.2	55.52	28.67	18.95	13.92	11.23	9.174	7.774	6.957	6.053
ความผิดพลาด(%)	12.37	7.46	4.42	5.27	7.23	6.45	8.26	9.30	7.24	9.21



รูปที่ 5.39 กราฟคุณลักษณะ Curve long-time inverse ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : SEL-551

บริษัท Scheitzer engineering laboratories

Serial No. : 9517074 IN

Curve : Short-time inverse

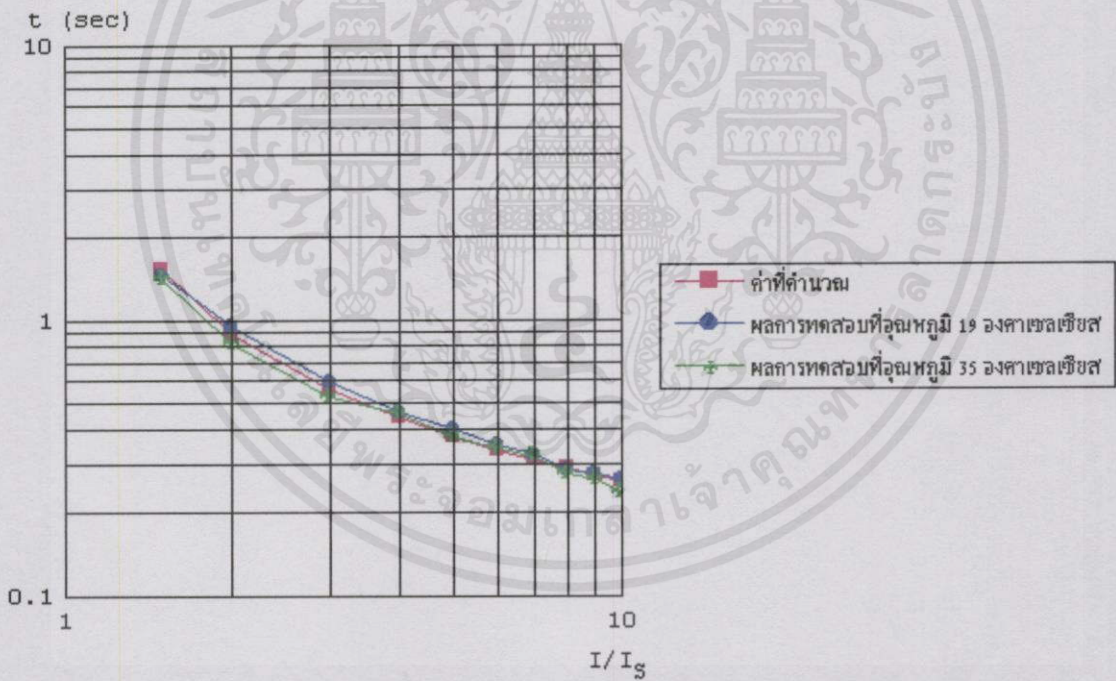
Function : Over current relay

Relay setting : 2 A

Time setting : 0.5 second

ตารางที่ 5.29 ผลการทดสอบ Over current relay รุ่น SEL-551 curve short-time inverse ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียส และ 35 องศาเซลเซียส

I/I_s	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10
กระแสทดสอบ	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
ค่าที่คำนวณ	1.528	0.889	0.556	0.438	0.375	0.336	0.308	0.288	0.272	0.259
ผลที่อุณหภูมิ 19° C	1.452	0.951	0.596	0.459	0.397	0.352	0.326	0.285	0.275	0.263
ความผิดพลาด(%)	5.03	-6.94	-7.10	-4.69	-5.59	-4.62	-5.55	1.12	-1.05	-1.50
ผลที่อุณหภูมิ 35° C	1.405	0.816	0.521	0.452	0.374	0.341	0.321	0.274	0.263	0.237
ความผิดพลาด(%)	8.11	8.24	-6.38	-3.09	0.52	-1.35	-3.93	4.94	3.36	8.54

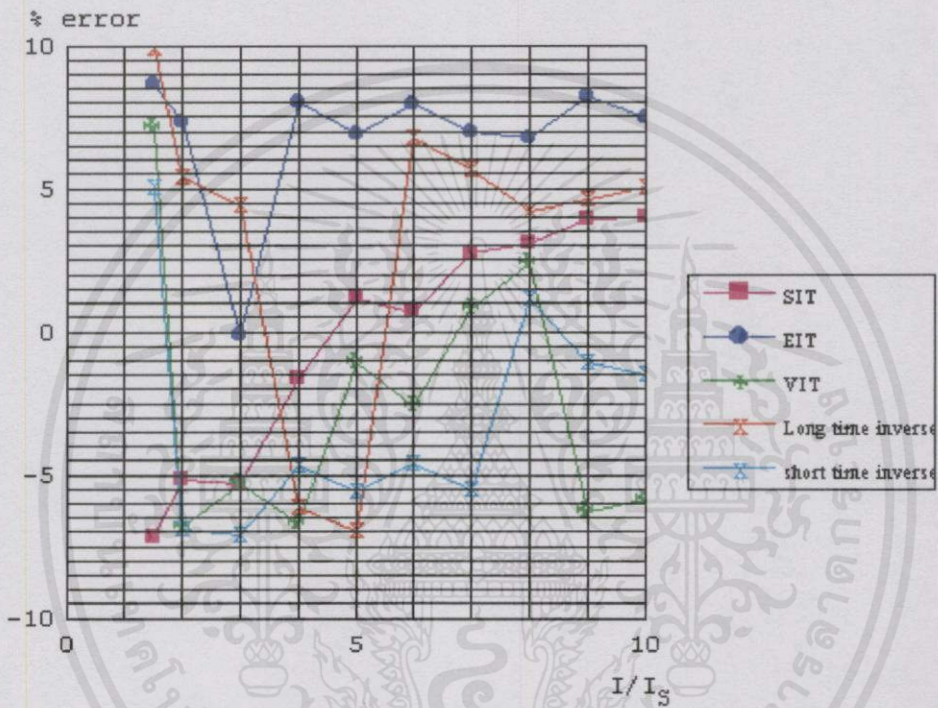


รูปที่ 5.40 กราฟคุณลักษณะ Curve short-time inverse ที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

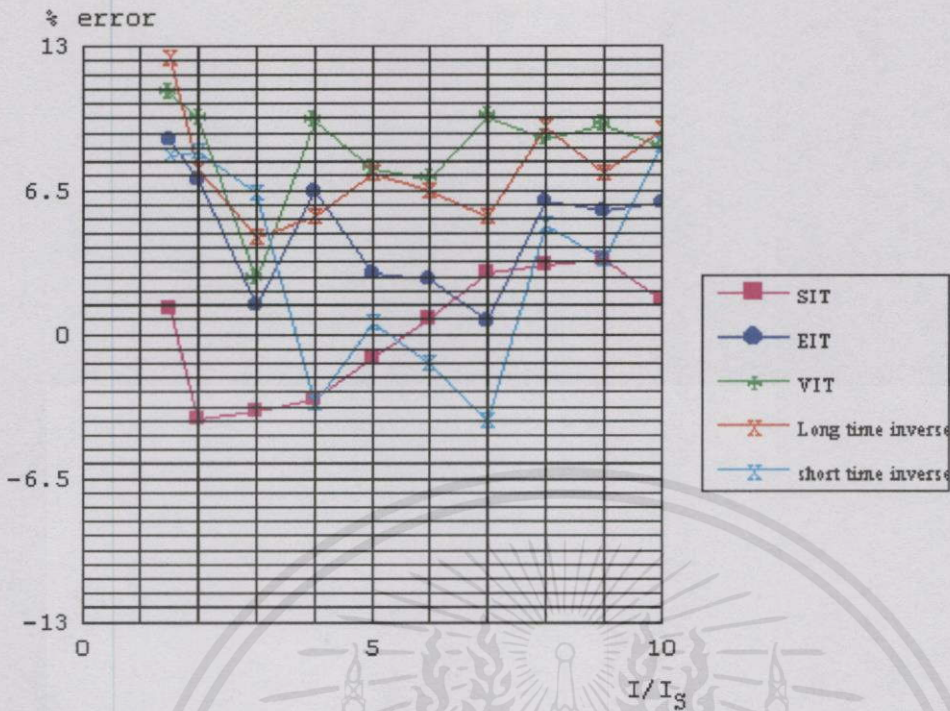
5.5.1 บทสรุป

ในการทดสอบผลของอุณหภูมิจะทำการทดสอบโดยการนำเครื่องทดสอบรีเลย์นี้ไปทดสอบในสภาวะอุณหภูมิต่ำกว่าปกติและสูงกว่าปกติ โดยทำการทดสอบกับรีเลย์มาตรฐานของบริษัท Scheitzer engineering laboratories ที่ Time setting เท่ากับ 0.5 sec จากตารางผลการทดสอบที่ 5.25 ถึง 5.29 พบว่าทั้งที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดค่าความผิดพลาดเกินกว่าค่ามาตรฐานของ IEC 255-3 ดังรูปที่ 5.41 และ 5.42



รูปที่ 5.41 % ความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.42 % ความผิดพลาดที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

5.6 การทดสอบกับ Electromechanical relay

หลังจากที่นำเครื่องทดสอบที่จัดสร้างขึ้นไปทดสอบกับรีเลย์แบบ Digital relay และ Static relay แล้วในหัวข้อนี้จะเป็นการนำเสนอการทดสอบกับรีเลย์ที่เป็นแบบ Electromechanical relay ในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้รีเลย์ของบริษัท Westing house โดยทำการทดสอบใน Curve CO-9 ในการทดสอบจะเลือกค่ากระแสเริ่มทำงานของรีเลย์เท่ากับ 1 A และ Curve เวลาการทำงานที่ 3 ถ้าต้องการทราบว่ารีเลย์จะทำงานที่เวลาเท่าไรสามารถทราบได้ดังนี้คือ สมมติว่าจะทดสอบที่เท้าของกระแสที่ตั้งไว้เท่าไร ให้ดูค่าในแนวแกน X และลากเส้นขึ้นไปจนกระทั่งตัดกับเส้น Curve ที่ตั้งไว้คือ 3 และลากเส้นไปสัมผัสกับแกน Y ก็จะสามารถทราบเวลาในการทำงานได้ ในการทดสอบ จะทำการทดสอบเทียบกับเครื่องทดสอบของบริษัท Prorama saverker 650 และ ของบริษัท Doble F2253

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay type : CO-9

บริษัท : Westing house

Curve : Operating time

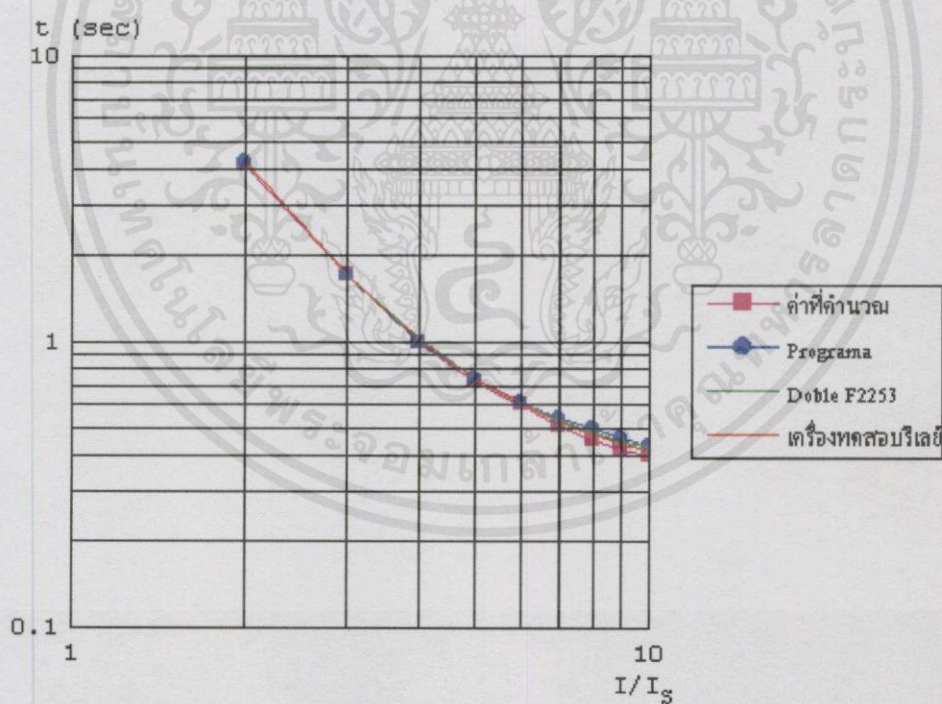
Function : Overcurrent relay

Service setting : Tap 1.0 A

Time Dial : 3.0 Inst : 30 A Indicator : 0.2 A_{dc}

ตารางที่ 5.30 ผลการทดสอบกับ Electromechanical overcurrent relay

% การทดสอบ	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
กระแสทดสอบ	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ค่าที่คำนวณ	4.1	1.7	1.0	0.720	0.6	0.505	0.450	0.420	0.4
Programa Saverker 650	4.24	1.71	1.0	0.744	0.617	0.544	0.497	0.460	0.432
Doble F2253	4.280	1.720	1.030	0.743	0.611	0.534	0.483	0.447	0.429
เครื่องที่จัดสร้างขึ้น	4.26	1.715	1.015	0.744	0.614	0.522	0.475	0.439	0.419
ความผิดพลาด(%)	-3.904	-0.885	-1.5	-3.333	-2.333	-3.366	-5.556	-4.523	-4.75

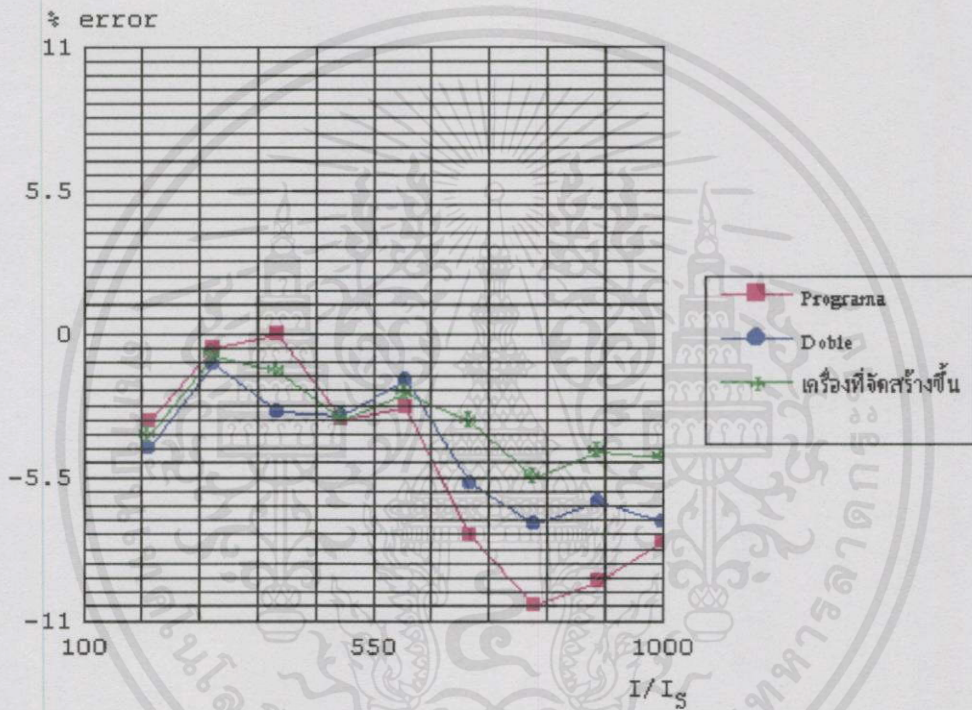


รูปที่ 5.43 กราฟคุณลักษณะ Inverse time ของ Electromechanical overcurrent relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6.1 บทสรุป

ในการทดสอบกับ Electromechanical overcurrent relay ของบริษัท Westing house โดย จะทำการทดสอบกับเครื่องทดสอบที่จัดสร้างขึ้น, เครื่องทดสอบของ Programa saverker 650 และ เครื่องทดสอบของ Doble F2253 ที่ Curve Co-9 จากตารางผลการทดสอบที่ 5.30 พบว่าเครื่อง ทดสอบของ Programa saverker, Doble F2253 และ เครื่องทดสอบที่จัดสร้างขึ้นมีผลการทดสอบใน ทิศทางเดียวกันดังนั้นจึงสรุปได้ว่ารีเลย์ที่นำมาทดสอบนี้ทำงานผิดพลาด ไม่ได้เกิดจากการผิดพลาด ของเครื่องทดสอบรีเลย์ที่จัดสร้างขึ้น



รูปที่ 5.44 % ความผิดพลาดเทียบกับเครื่องทดสอบของบริษัทอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลและวิเคราะห์ผล

โดยทั่วไปในการทดสอบรีเลย์จำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบที่มีความแม่นยำในการทดสอบหากเครื่องทดสอบไม่มีความแม่นยำพอจะทำให้ระบบไฟฟ้าเสียหายได้ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้เป็นนำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อทำการสร้างเรียบร้อยแล้วจะนำเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นนี้ไปทดสอบกับรีเลย์มาตรฐานที่เป็นแบบ Digital relay และทำการทดสอบกับรีเลย์แบบ Electromechanical relay และ Static rely หลังจากนั้นจะนำผลการทดสอบไปเปรียบเทียบกับผลการทดสอบมาตรฐานของบริษัท SMC รุ่น PTE-50CE ซึ่งสามารถสรุปการทดสอบได้เป็นหัวข้อใหญ่ๆ ได้ดังนี้

6.1 การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบ

เครื่องทดสอบรีเลย์ที่จัดสร้างขึ้นมีส่วนสำคัญอยู่ 3 ส่วนคือ

- ภาควงจรกำลัง จะประกอบไปด้วย Auto variable transformer ขนาด 500 VA สามารถจ่ายแรงดันได้ตั้งแต่ 0-260 V_{ac} และ หม้อแปลงกระแส พิกัดทางด้านไฟออก 50 A, 10V_{ac} โดยที่ Auto Variable Transformer จะเป็นแหล่งจ่ายแรงดัน 0-220 V_{dc} ให้กับ หม้อแปลงกระแส, แรงดัน 5 V/Phase ให้กับสเต็ปปีงมอเตอร์ และ +5 V_{dc} ให้กับวงจรควบคุม MCS-51 กระแสที่ใช้ในการทดสอบจะได้จากหม้อแปลงกระแสซึ่งกระแสที่ใช้ในการทดสอบจะถูกต้องและแม่นยำขึ้นอยู่กับค่าของ CT 50/5

- ภาคควบคุมจะใช้ MCS-51 มาควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบ โดยขั้นตอนการควบคุมจะแสดงใน Flowchart รูปที่ 3.12 ในวิทยานิพนธ์นี้สามารถปรับความแม่นยำในการจับเวลาการทำงานของรีเลย์โดยการกำหนดค่าที่ TH0 ในโปรแกรม ค่าสุดท้ายในการปรับตั้งคือ 0CEH ใน TH0 ซึ่งจะตรงกับความถี่ 6.8 kHz

- ภาคแสดงผล จะแสดงผลทาง LCD(Liquid Crystal Displays) ซึ่งสามารถให้ความละเอียด 2 บรรทัด 20 ตัวอักษร LCD จะทำงานก็ต่อเมื่อมีคำสั่งจาก MCS-51 ส่งผ่าน PORT B ของ 8255

6.2 โปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบ

เพื่อการศึกษานี้ ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ทำกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ในการควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์นี้สามารถควบคุมได้ที่ตัวเครื่องทดสอบ และโปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเพื่อเป็นการสะดวกในการทดสอบ และป้องกันความผิดพลาดจากการจดค่าของผลการทดสอบ ในส่วนของการควบคุมจะส่งสัญญาณ

ควบคุมเป็นรหัสแอสกี ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 โดยจะตั้งอัตราการส่งถ่ายข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ 19200 บิตต่อวินาที สำหรับคอมพิวเตอร์และค่า FDH ใน TH1 ของไมโครคอนโทรลเลอร์

6.2 การเตรียมห้องทดสอบ

ในการทดสอบบรีเลย์จำเป็นต้องทดสอบภายใต้มาตรฐาน IEC 255-6 โดยมีข้อกำหนดทางสภาวะแวดล้อมดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงเลือกห้องทดสอบและทำการวัดค่าของสนามแม่เหล็กภายนอก, อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และ ค่าตัวประกอบความเพี้ยนของสัญญาณ ได้ดังนี้คือ

- สนามแม่เหล็กภายนอกวัดได้ค่าต่ำสุดคือ 0.02 μT และค่าสูงสุด 0.067 μT จะพบว่าค่าที่วัดได้ต่ำกว่า 0.5 mT ตามมาตรฐาน IEC 255-6 กำหนด
- อุณหภูมิภายในห้องทดสอบคือ 27 องศาเซลเซียส จะพบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบอยู่ในอุณหภูมิระหว่าง -25 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส ตามมาตรฐาน IEC 255-6 กำหนด
- ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องทดสอบคือ 55 % จะพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้ในการทดสอบอยู่ระหว่าง 45 % ถึง 75 % ตามมาตรฐาน IEC 255-6 กำหนด
- ค่าตัวประกอบความเพี้ยนของสัญญาณกระแสทดสอบคือ 1.8% จะพบว่าค่าตัวประกอบความเพี้ยนของสัญญาณมีค่าน้อยกว่า 2 % ตามมาตรฐาน IEC 255-6 กำหนด

6.3 การทดสอบกับรีเลย์มาตรฐาน

ในการทดสอบจะทำการทดสอบกับ Overcurrent relay รุ่น Sepam 2000 S25LT ของบริษัท Merlin Gerin ประเทศฝรั่งเศส โดยทำการทดสอบเทียบกับกราฟคุณลักษณะของ Standard inverse time, Very inverse time, Extremely inverse time และ Ultra inverse time ที่ Time setting เท่ากับ 1 ผลการทดสอบดังนี้

ทดสอบที่ Function overcurrent relay กราฟคุณลักษณะ Standard inverse time มีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์สูงสุดอยู่ที่ค่า I/I_r เท่ากับ 2 คือ 4.0512 %

ทดสอบที่ Function overcurrent relay กราฟคุณลักษณะ Extremely inverse time มีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์สูงสุดอยู่ที่ค่า I/I_r เท่ากับ 9 คือ 3.393 %

ทดสอบที่ Function overcurrent relay กราฟคุณลักษณะ Very inverse time มีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์สูงสุดอยู่ที่ค่า I/I_r เท่ากับ 3 คือ 2.778 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับของงานวิจัยที่เตรียมขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาการคำนวณค่าการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์สูงสุดอยู่ที่ค่า I/I_r เท่ากับ 6 คือ 4.995 % การนำไปใช้

ทดสอบที่ Function earth fault relay กราฟคุณลักษณะ Standard inverse time มีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์สูงสุดอยู่ที่ค่า I/I_r เท่ากับ 1.5 คือ 3.403 %

ทดสอบที่ Function earth fault relay กราฟคุณลักษณะ Extremely inverse time มีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์สูงสุดอยู่ที่ค่า I/I_s เท่ากับ 1.5 คือ 3.737 %

ทดสอบที่ Function earth fault relay กราฟคุณลักษณะ Very inverse time มีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์สูงสุดอยู่ที่ค่า I/I_s เท่ากับ 1.5 คือ 3.561 %

ทดสอบที่ Function earth fault relay กราฟคุณลักษณะ Ultra inverse time มีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์สูงสุดอยู่ที่ค่า I/I_s เท่ากับ 2 คือ 3.522 %

ในการทดสอบจะทำการทดสอบกับ Overcurrent relay รุ่น SEL-551 บริษัท Schweitzer Engineering ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยทำการทดสอบเทียบกับกราฟคุณลักษณะของ Standard inverse time, Very inverse time, Extremely inverse time, Long-time inverse และ Short time inverse โดยทำการทดสอบที่ Time setting 0.1, 0.2 และ 0.5 second, Relay setting 2 A ผลการทดสอบดังนี้

ทดสอบที่ กราฟคุณลักษณะ Standard inverse time ที่ Time setting 0.1, 0.2 และ 0.5 มีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์สูงสุดอยู่ที่ -4.823%, -4.712% และ 4.909% ตามลำดับ ดังตารางที่ 5.7-5.9

ทดสอบที่ กราฟคุณลักษณะ Very inverse time ที่ Time setting 0.1, 0.2 และ 0.5 มีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์สูงสุดอยู่ที่ -5.045%, -4.482% และ 4.993% ตามลำดับ ดังตารางที่ 5.10-5.12

ทดสอบที่ กราฟคุณลักษณะ Extremely inverse time ที่ Time setting 0.1, 0.2 และ 0.5 มีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์สูงสุดอยู่ที่ -4.939%, -4.969% และ 4.322% ตามลำดับ ดังตารางที่ 5.13-5.15

ทดสอบที่ กราฟคุณลักษณะ Long time inverse ที่ Time setting 0.1, 0.2 และ 0.5 มีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์สูงสุดอยู่ที่ 4.967%, 4.967% และ 4.773% ตามลำดับ ดังตารางที่ 5.16-5.18

ทดสอบที่ กราฟคุณลักษณะ Short time inverse ที่ Time setting 0.1, 0.2 และ 0.5 มีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณเวลาการทำงานของรีเลย์สูงสุดอยู่ที่ -4.598%, 4.909% และ 4.581% ตามลำดับ ดังตารางที่ 5.19-5.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.4 การทดสอบผลของอุณหภูมิต่อเครื่องทดสอบรีเลย์

ในการทดสอบผลของอุณหภูมิจะทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสและ 35 องศาเซลเซียส, ความชื้นสัมพัทธ์ 55-62%, Time setting 0.5 second และ Relay setting 2 A จะพบว่าถ้านำเครื่องทดสอบไปทดสอบรีเลย์ที่อุณหภูมิสูงเกินหรือต่ำเกินไปจะทำให้ผลการทดลองผิดพลาดจากกราฟคุณลักษณะการทำงานของรีเลย์ดังนี้

ทดสอบที่กราฟคุณลักษณะ Standard inverse time ผลการทดสอบดังตารางที่ 5.22 จะพบว่าที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสจะมีค่าความผิดพลาดสูงสุด -7.16% และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสจะมีค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ -3.88% ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาดเกิน 5% ตามมาตรฐาน IEC 255-3

ทดสอบที่กราฟคุณลักษณะ Very inverse time ผลการทดสอบดังตารางที่ 5.23 จะพบว่าที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสจะมีค่าความผิดพลาดสูงสุด 7.10% และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสจะมีค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ 8.80% ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาดเกิน 5% ตามมาตรฐาน IEC 255-3

ทดสอบที่กราฟคุณลักษณะ Extremely inverse time ผลการทดสอบดังตารางที่ 5.24 จะพบว่าที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสจะมีค่าความผิดพลาดสูงสุด 8.62% และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสจะมีค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ 10.88% ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาดเกิน 5% ตามมาตรฐาน IEC 255-3

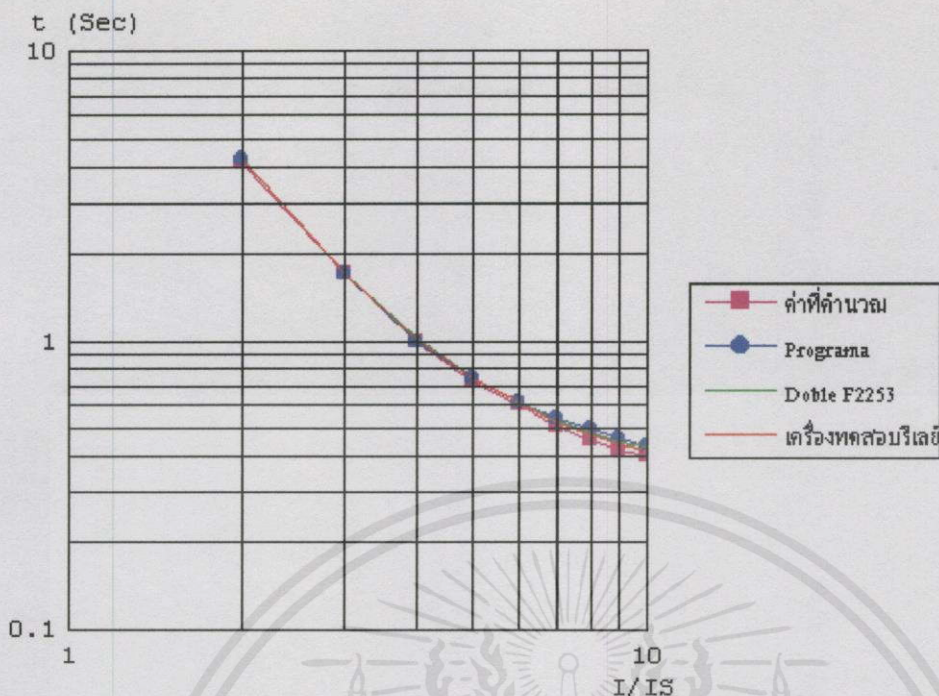
ทดสอบที่กราฟคุณลักษณะ Long-time inverse ผลการทดสอบดังตารางที่ 5.25 จะพบว่าที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสจะมีค่าความผิดพลาดสูงสุด 9.92% และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสจะมีค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ 12.37% ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาดเกิน 5% ตามมาตรฐาน IEC 255-3

ทดสอบที่กราฟคุณลักษณะ Short-time inverse ผลการทดสอบดังตารางที่ 5.26 จะพบว่าที่อุณหภูมิ 19 องศาเซลเซียสจะมีค่าความผิดพลาดสูงสุด 7.10% และที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียสจะมีค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ 8.54% ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาดเกิน 5% ตามมาตรฐาน IEC 255-3

6.5 การทดสอบกับ Electromechanical relay

ในการทดสอบกับรีเลย์ที่เป็นแบบ Electromechanical relay จะทำการทดสอบโดยเทียบกับผลการทดสอบของเครื่องทดสอบ Programa saverker 650 และ Doble F2253 ผลการทดสอบจากตารางที่ 5.27 พบว่าเครื่องที่จัดสร้างขึ้นจะมีค่าความผิดพลาดไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 เครื่องทดสอบจึงสรุปได้ว่ารีเลย์ทำงานผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 ผลการทดสอบของ Programa, Doble F2253 และเครื่องที่จัดสร้างขึ้น

6.6 ข้อเสนอแนะ

ในการสร้าง โปรแกรมควบคุมเครื่องทดสอบด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจำเป็นต้องทราบข้อมูลในการคำนวณของรีเลย์รุ่นนั้นๆ เนื่องจากรีเลย์ที่นำเข้ามาใช้ในประเทศไทยมีหลากหลาย ดังนั้นควรจะมีการพัฒนาในส่วนของ Data ของรีเลย์ทุกชนิดเพื่อสะดวกและง่ายต่อการทดสอบในอนาคต

ในส่วนของเครื่องทดสอบควรพิจารณาการเลือกใช้อุปกรณ์ให้มีความละเอียดมากขึ้น เพื่อที่จะได้ความแม่นยำในการทดสอบเทียบกับเครื่องทดสอบที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

ในส่วนของการพัฒนาการทดสอบน่าจะควบคุมขบวนการทดสอบใหม่ โดยพิจารณาเรื่องของอุณหภูมิในขณะที่ทำการทดสอบ เพื่อที่จะสรุปในส่วนของความผิดพลาดที่เกิดจากเครื่องทดสอบหรือเกิดจากรีเลย์

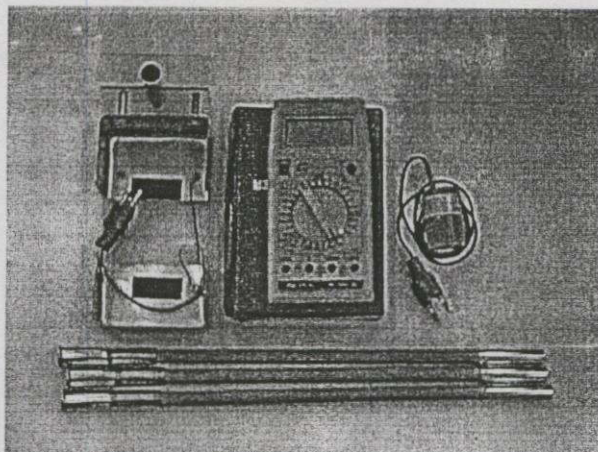
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEEE Std 242-1986, IEEE recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System.
- [2] Flanagan, William M. 1986. **Handbook of Transformer Applications**. New York: McGraw-Hill.
- [3] Colonel, Wm and McLyman, T. 1988. **Transformer and Inductor Design Handbook**. 2nd ed. New York: Marcel Dekker.
- [4] สุนทร วิฑูสูรพจน์.2537. การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด(มหาชน).
- [5] ประเมษฐ์ ศศิภานุเดชและคณะ. 2536. คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด(มหาชน).
- [6] http://www.dbserve.maxim-ic.com/quick_view.cfm/pdf_num=1197.html.
- [7] Dawish, H.A. et. al. "Digital Model of Overcurrent Relay Characteristics", IEEE Trans. on Power., 1995. pp. 195-198.
- [8] Sidhu, T.S. et. al. "A Technique for Generating Computer Models of Microprocessor-based Relays", Power and Computing Wescanex'97 Proceedings., May 22-23, 1997, pp. 191-196.
- [9] Sidhu, T.S. et. al. "A Technique for Generating Software Models of Microprocessor-based Relays" Power and Computing Wescanex'98 Proceedings, pp. 289-292.
- [10] Teixeira, S. and Pacheco, X. 1998. **Borland delphi 4 developer's guide**. New York: Sams publishing.
- [11] IEC 255-6-1988, IEC Standard for Measuring Relay and Protection Equipment.
- [12] W. Stockridce, "EFM model 131 manual", New York, 1991, pp.1-4.
- [13] Scheitzer Engineering Laboratories, SEL-551 Instruction Manual.
- [14] IEC 255-3-1989, IEC Standard for Single Input Energizing Quantity Measuring Relays With Dependent or Independent Time.
- [15] Schneider electric SA F-38050-1995, Instruction Manual MV protection.
- [16] นราคล โชติวรรณพรและคณะ. 2542. "เครื่องทดสอบบริเลย์ชนิด 1 เฟสโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม." หน้า 665-668. ใน การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 22. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

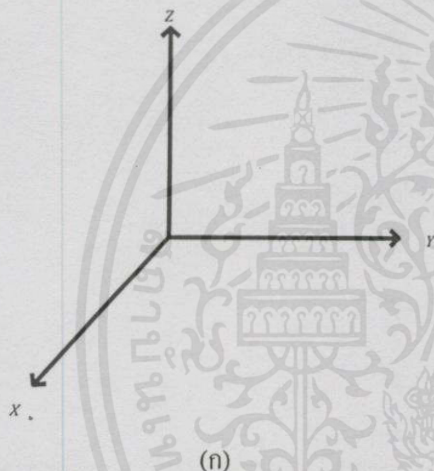


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

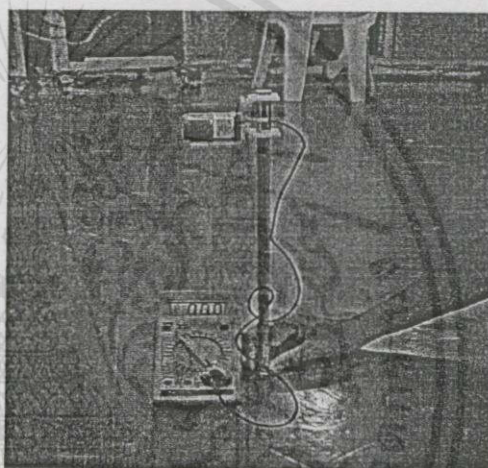


METEX MODEL 3800
 Maximum Display 1999 counts 3 digit type with Automatic polarity indication
 Indication Method : LCD display
 Measuring Indication "1" Figure only in the display
 Temperature Fanges : Operating 0 °C to +40 °C, 32 °F to 104 °F Storage -10 °C to +50 °C, 14 °F to 122 °F
 Power supply : One 9 Volt battery

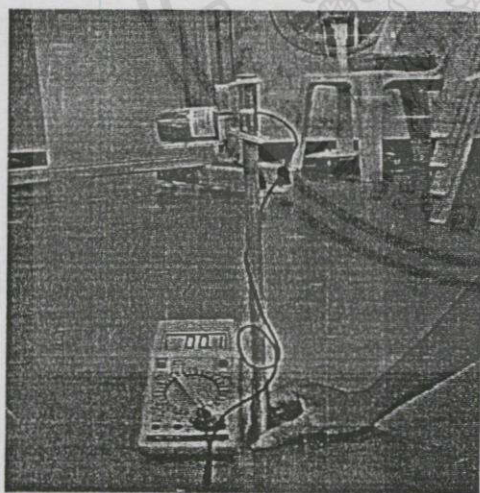
รูปที่ ก-1 เครื่องมือที่ใช้วัดสนามแม่เหล็ก



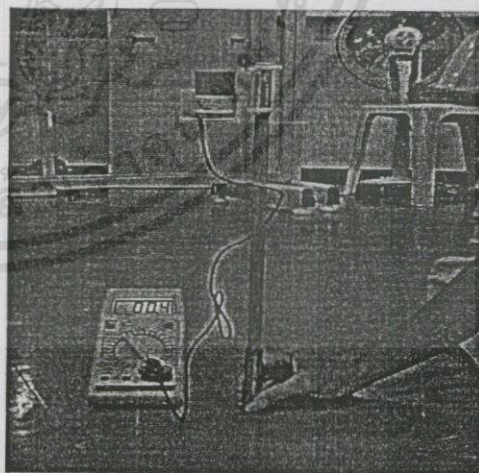
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ก-2 (ก) การวัดสนามแม่เหล็ก

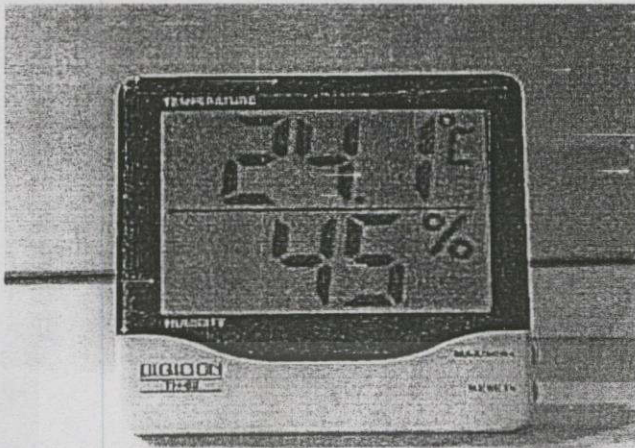
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

(ข) การวัดสนามแม่เหล็กในทิศแกน x

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

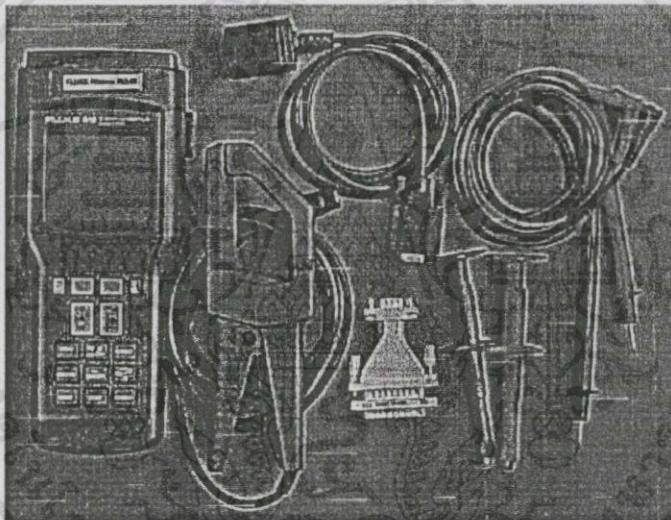
(ค) การวัดสนามแม่เหล็กในทิศแกน y

(ง) การวัดสนามแม่เหล็กในทิศแกน z



DIGITAL Model TH-02
 Limits temperature form -10°C to $+60^{\circ}\text{C}$
 (14°F to 122°F)
 Humidity form 10 % to 99 % R.H.
 Max. error : $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ($\pm 18^{\circ}\text{F}$) within -10°C to
 $+50^{\circ}\text{C}$ (14°F to 122°F)
 $\pm 5\%$ R.H. 25% to 75% R.H. and
 0°C to 50°C (32°F to 122°F)
 Battery : 1.5 Volt

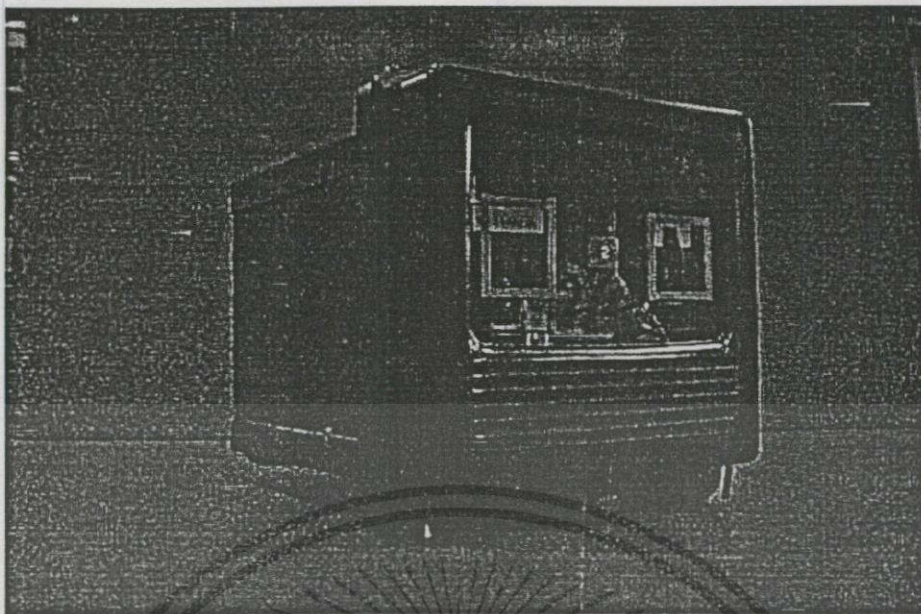
รูปที่ ก-3 เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



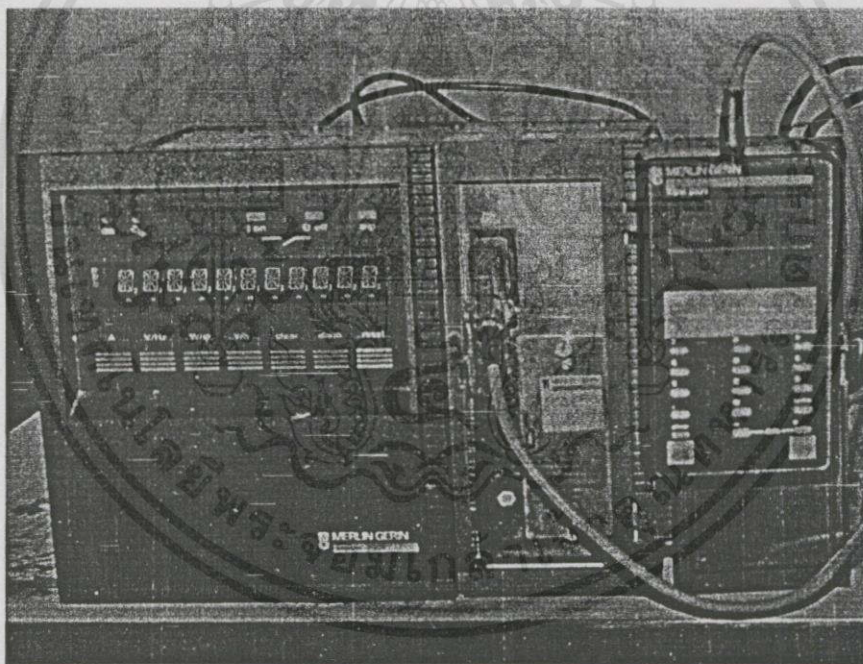
รูปที่ ก-4 เครื่องมือวัดความเพี้ยนของสัญญาณ(Harmonics)



รูปที่ ก-5 Digital Overcurrent Relay ของบริษัท Schweitzer Engineering Laboratories



รูป ก-6 Electromechanical Overcurrent Relay ของบริษัท Westing House



รูปที่ ก-7 Digital Overcurrent Relay ของบริษัท Merlin Gerin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานเครื่องทดสอบรีเลย์

```
cpu"8051.tbl"
```

```
ho"int8"
```

```
INCL"HEAD51.H"
```

```
XP5MS: EQU 020H ; PROCESS 10Ms
```

```
NUM: EQU 000H ; BIT 1 SCAN KEYS
```

```
DOT5: EQU 001H ; BIT 2 ASYNC INPUT/OUTPUT
```

```
COUN: EQU 002H ; BIT 3 MULTIPLEX DISPLAY
```

```
COUN1: EQU 003H ;
```

```
B_RUN: EQU 004H ;
```

```
B_TIMER: EQU 005H ;
```

```
;***** STATUS KEY REGISTER *****
```

```
;
```

```
XFLAG1: EQU 021H
```

```
B_KEYST: EQU 008H ; BIT 0 KEY STATE 0 --> FIND 1ST KEY
```

```
B_ACTIVE: EQU 009H ; ACTIVE KEY
```

```
B_RELKEY: EQU 00AH ; RELEASE KEY
```

```
B_SAK: EQU 00BH ; SPECIAL KEY
```

```
B_TABST: EQU 00CH ; STATE OFF KEY
```

```
B_SETTING: EQU 00DH ; CURRENT SETTING
```

```
DISPUF: EQU 022H
```

```
XDDRAM: EQU 023H
```

```
XTIMER: EQU 024H
```

```
XTIMER1: EQU 025H
```

```
XTIMER2: EQU 026H
```

```
XTIMER3: EQU 027H
```

```
XTIMER4: EQU 028H
```

```
;***** BYTE ADDRESSIBLE REGISTERS 8051 { START AT 030H } *****
```

```
;
```

```
XKEYNUB1: EQU 030H ; KEY NUMBER 1
```

```
XKEYNUB2: EQU 031H ; KEY NUMBER 2
```

```
XDUTAB: EQU 032H
```

```
XTABLE: EQU 033H
```

```
XCKEY: EQU 034H ; COUNTER FOR KEY
```

```
XCTOTAB: EQU 035H
```

```
XCTABLE: EQU 036H
```

```
XSTEP: EQU 037H ; BUFFER STEPPING MOTOR
```

```
XCURRENT: EQU 038H
```

```
XRCURRENT: EQU 039H
```

```
XDISP: EQU 03AH
```

```
;
```

```
; CONSTANT
```

```
PORTA: EQU 2000H ; LCD DATA PA0-PA7
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่งานสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PORTB: EQU 2001H ; LCD CONTROL PB0-PB2
PORTC: EQU 2002H ; STEPIING CONTROL PC0-PC4
PORTP: EQU 2003H ; 8255 CONTROL PORT
PORTA1: EQU 6000H ; LCD DATA PA0-PA7
PORTB1: EQU 6001H ; LCD CONTROL PB0-PB2
PORTC1: EQU 6002H ; STEPIING CONTROL PC0-PC4
PORTP1: EQU 6003H ; 8255 CONTROL PORT
XSPEED: EQU 020D ; SPEED FOR STEPIING

```

```

.....

```

```

;
; MAIN PROGRAM

```

```

;RESET

```

```

;

```

```

ORG 000H ; RESET

```

```

SJMP INITIAL

```

```

ORG 0003H

```

```

RETI

```

```

ORG 000BH

```

```

RETI

```

```

ORG 0013H

```

```

MOV B,R2

```

```

LJMP STOPTIM

```

```

; INITIAL CONDITION

```

```

ORG 02BH ; START ADDRESS 02BH

```

```

INITIAL: MOV SP,#04FH ; SET STACK POINTER 04FH

```

```

LCALL SETSFR

```

```

LCALL CLR8255 ; CLEAR 8255 PORT

```

```

LCALL SETINIT

```

```

LCALL MAIN1 ; FIRST LCD DISPLAY

```

```

LCALL STZERO ; SET ZERO VARIAC

```

```

LCALL MAIN2

```

```

MOV DPTR,#PORTB

```

```

MOV A,#10010000B ; SET LED POWER

```

```

MOVX @DPTR,A

```

```

MOV DPTR,#PORTB1

```

```

MOVX @DPTR,A

```

```

LCALL SK

```

```

MOV B,R6

```

```

MOV A,#32H

```

```

CLR C

```

```

SUBB A,R6

```

```

JC ERROR

```

```

MOV R6,B

```

```

LCALL RUNVAR

```

```

MOV DPTR,#PORTB

```

```

MOV A,#10100000B ; SET LED POWER

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

LCALL KK
MOV A,R6
MOV R0,A
LCALL SHOWTIM
LCALL KK1
LCALL KK
MOV A,R5
MOV R0,A
LCALL SHOWTIM
LCALL KK1
LCALL KK
MOV A,#"."
LCALL KK1
LCALL KK
MOV A,R4
MOV R0,A
LCALL SHOWTIM
LCALL KK1
LCALL KK
MOV A,R3
MOV R0,A
LCALL SHOWTIM
LCALL KK1
LCALL KK
MOV R2,B
MOV A,R2
MOV R0,A
LCALL SHOWTIM
LCALL KK1
MOV DPTR,#PORTB
MOV A,#11000000B ; SET LED POWER
MOVX @DPTR,A
LCALL STZERO
MOV DPTR,#PORTB
MOV A,#01000000B ; SET LED POWER
MOVX @DPTR,A
ENDSTOPTIM: LJMPL ENDSTOPTIM

```

```

;.....
SHOWTIM: CJNE R0,#00H,NTIM1

```

```

MOV A,#"0"

```

```

NTIM1: CJNE R0,#01H,NTIM2

```

```

MOV A,#"1"

```

```

NTIM2: CJNE R0,#02H,NTIM3

```

```

MOV A,#"2"

```

```

NTIM3: CJNE R0,#03H,NTIM4

```

```

MOV A,#"3"

```

```

NTIM4: CJNE R0,#04H,NTIM5

```

```

MOV A,#"4"

```

```

NTIM5: CJNE R0,#05H,NTIM6

```

```

MOV A,#"5"

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการที่ใดก็ตามที่คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

NTIM6:   CJNE R0,#06H,NTIM7
         MOV A,#"6"
NTIM7:   CJNE R0,#07H,NTIM8
         MOV A,#"7"
NTIM8:   CJNE R0,#08H,NTIM9
         MOV A,#"8"
NTIM9:   CJNE R0,#09H,NTIMEND
         MOV A,#"9"
NTIMEND: RET

```

```

;*****

```

```

;   SUBROUTINE SET SFR [ SETSFR ]

```

```

;
SETSFR:  MOV   PCON,#00H
MOV   IE,#10000110B   ; SET ENABLE TIMER0, TIMER1
SETB  OBAH
MOV   TMOD,#00010001B ; TIMER1 16 BIT MODE1
         ; TIMER0 16 BIT MODE1
         ; SET SOFTWARE CONTROL
MOV   P3,#0FFH       ; SET ALL PORT 3 TO INPUT
RET

```

```

;*****

```

```

;   SUBROUTINE SET INITIAL CONDITION [ SETINIT ]

```

```

SETINIT: CLR   RS0
CLR   RS1       ; REGISTER BANK 0
; MOV   XPSMS,#00000001B ; SCAN KEY
MOV   XFLAG1,#00100000B ; SET BIT SETTING FIRST ONLY

CLR   A
MOV   R1,#0FFH
MOV   XKEYNUB1,R1
MOV   XKEYNUB2,R1
MOV   XCKEY,A
MOV   XCURRENT,A

MOV   XTIMER,A
MOV   XTIMER1,A
MOV   XTIMER2,A
MOV   XTIMER3,A
MOV   XTIMER4,A
RET

```

```

;***** SET 8255 PORT *****

```

```

CLR8255: MOV   R2,#2       ; FOR START UP LCD
LCALL DELAY
MOV   DPTR,#PORTP
MOV   A,#080H           ; SET 8255 TO OUTPUT PORT
MOVX  @DPTR,A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV DPTR,#PORTP1
MOV A,#090H ; SET 8255 TO OUTPUT PORT1
MOVX @DPTR,A
CLR A
MOV DPTR,#PORTA
MOVX @DPTR,A ; CLEAR PORTA
MOV DPTR,#PORTB
MOVX @DPTR,A ; CLEAR PORTB
MOV DPTR,#PORTC
MOVX @DPTR,A ; CLEAR PORTC
MOV DPTR,#PORTB1
MOVX @DPTR,A ; CLEAR PORTB1
MOV DPTR,#PORTC1
MOVX @DPTR,A ; CLEAR PORTC1
RET

```

```

;***** ROTATE RIGHT STEPING INCREMENT CURRENT *****
;

```

```

RRSTEP: INC XSTEP
MOV A,XSTEP
ANL A,#00000011B
LCALL DBTST
MOV R7,A
MOV DPTR,#PORTC
MOVX A,@DPTR ;OUT TO CONTROL PORT
ANL A,#0FH
ORL A,R7
MOV DPTR,#PORTC
MOVX @DPTR,A ;OUT TO CONTROL PORT
MOV R2,#XSPEED ; CONSTANT SPEED
LCALL DLST
MOV DPTR,#PORTC
MOVX A,@DPTR
ANL A,#00001111B
MOVX @DPTR,A
RET

```

```

;***** ROTATE LEFT STEPING DECREMENT CURRENT *****
;

```

```

RLSTEP: DEC XSTEP
MOV A,XSTEP
ANL A,#00000011B
LCALL DBTST
MOV R7,A
MOV DPTR,#PORTC
MOVX A,@DPTR ;OUT TO CONTROL PORT
ANL A,#0FH
ORL A,R7
MOV DPTR,#PORTC
MOVX @DPTR,A
MOV R2,#XSPEED

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCALL DLST
MOV DPTR,#PORTC
MOVX A,@DPTR
ANL A,#00001111B
MOVX @DPTR,A
RET

```

```

;***** DECODE CONTROL PORT STEPING *****

```

```

;
DBTST: INC A
MOVX A,@A+PC
RET
DFB 00110000B ;STEP 1
DFB 01100000B ;STEP 2
DFB 11000000B ;STEP 3
DFB 10010000B ;STEP 4

```

```

;***** SET STEPING TO ZERO *****

```

```

;
STZERO: MOV R1,#30 ;ROTATE RIGHT 10 STEP
ORGST1: LCALL RRSTEP
DJNZ R1,ORGST1
ORGST2: LCALL RLSTEP ;ROTATE LEFT UNTIL SW=0
JB P3.2,ORGST2
LCALL RRSTEP
LCALL RRSTEP
MOV DPTR,#PORTC
MOVX A,@DPTR ;READ MODIFY WRITE
ANL A,#00001111B
MOVX @DPTR,A
RET

```

```

;***** STEPING RELAY SUB *****

```

```

; DELAY SUBROUTINE
; IN = R2
; REG = R2,R3
DLST: MOV R3,#0
DJNZ R3,$
DJNZ R2,DLST
RET

```

```

;*****

```

```

;***** LCD INITIALIZE *****

```

```

MAIN1:

```

```

MOV A,#00111000B ;FUNCTION SET
LCALL LCDWI
MOV A,#00001100B ;DISPLAY ON/OFF OFF CURSOR
LCALL LCDWI
MOV A,#01H ;CLEAR
LCALL LCDWI

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติมต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV   DPTR,#MAINT1   ; LCD MODULE
LCALL LCDLD
RET
MAIN2:
MOV   A,#00111000B   ; FUNCTION SET
LCALL LCDWI
MOV   A,#00001100B   ; DISPLAY ON/OFF OFF CURSOR
LCALL LCDWI
MOV   A,#01H         ; CLEAR
LCALL LCDWI
MOV   DPTR,#MAINT2   ; LCD MODULE
LCALL LCDLD
RET

```

```

MAINT1: DFB " RESETTING "
DFB    " PLEASE WAIT... "

```

```

MAINT2: DFB " SETTING CURRENT "
DFB    " Amp "

```

```

;***** MAIN 3 *****

```

```

MAIN3:
MOV   A,#00111000B   ; FUNCTION SET
LCALL LCDWI
MOV   A,#00001100B   ; DISPLAY ON/OFF OFF CURSOR
LCALL LCDWI
MOV   A,#01H         ; CLEAR
LCALL LCDWI

MOV   DPTR,#MAINT3   ; LCD MODULE
LCALL LCDLD
RET

```

```

MAINT3: DFB " SETTING ERROR "
DFB    " PRESS RESET KEY "

```

```

;*****MAIN4*****

```

```

MAIN4:
MOV   A,#00111000B   ; FUNCTION SET
LCALL LCDWI
MOV   A,#00001100B   ; DISPLAY ON/OFF OFF CURSOR
LCALL LCDWI
MOV   A,#01H         ; CLEAR
LCALL LCDWI

```

```

MOV   DPTR,#MAINT4   ; LCD MODULE
LCALL LCDLD
RET

```

```

MAINT4: DFB " TIMMING "

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DFB " SEC "

;***** DELAY SUB *****

; DELAY SUBROUTINE

; IN = R2

; REG = R2,R3,R4

DELAY: MOV R3,#0

DELAY1: MOV R4,#0

DJNZ R4,\$

DJNZ R3,DELAY1

DJNZ R2,DELAY

RET

;***** LCDDIS *****

; LOAD DATA TO LCD-MODULE

; IN = DPTR START BLOCK (40 BYTE)

; REG = A,R2,DPTR

LCDL: MOV A,#80H ;SET ADDRESS LINE 1

LCALL LCDLDS

MOV A,#0C0H ;SET ADDRESS LINE 2

LCALL LCDLDS

RET

LCDLDS: PUSH DPH ;LOAD SUB.

PUSH DPL

LCALL LCDWI ;WRITE ADDRESS

POP DPL

POP DPH

MOV R2,#20 ;20 CHAR.

LCDLDS1: CLR A

MOVC A,@A+DPTR ;MOVC FOR CODE /MOVX FOR DATA

PUSH DPH

PUSH DPL

LCALL LCDWD ;WRITE DATA

POP DPL

POP DPH

INC DPTR

DJNZ R2,LCDLDS1

RET

;***** LCDWI *****

; LCD WRITE INSTRUCTION (RS=0)

; IN = A

; REG = A,DPTR

LCDWI: MOV DPTR,#PORTA ;DATA TO PORTA

MOVX @DPTR,A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV DPTR,#PORTB ; PORTB READ MODIFY WRITE
MOVX A,@DPTR
ANL A,#11111000B
MOVX @DPTR,A
ORL A,#00000100B
MOVX @DPTR,A
ANL A,#11111011B
MOVX @DPTR,A
MOV A,#0 ; DELAY
LCDW11: DEC A
JNZ LCDW11

```

```
RET
```

```

;***** LCDWD *****
; LCD WRITE DATA (RS=1)
; IN = A
; REG = A,DPTR

```

```

LCDWD: MOV DPTR,#PORTA ; DATA TO PORTA
MOVX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORTB ; PORTB READ MODIFY WRITE
MOVX A,@DPTR
ANL A,#11111000B
ORL A,#00000001B
MOVX @DPTR,A
ORL A,#00000100B
MOVX @DPTR,A
ANL A,#11111011B
MOVX @DPTR,A
MOV A,#0
LCDWD1: DEC A
JNZ LCDWD1
RET

```

```

;*****
; SUBROUTINE SCAN KEY
;
; P1.0-P1.3 = ROW
; P1.4-P1.6 = COLUMN
;
;
;
SK: MOV R7,#0C6H
MOV R6,#00H

```

```

CLR NUM
CLR DOTS

```

```

CLR COUN
CLR COUN1

```

```
SCANKEY:MOV P1,#0FH ; CHECK KEY PRESS
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV A,P1      ; SET P1.0-P1.3 = INPUT
ANL A,#0FH
CJNE A,#0FH,SK0
SJMP SCANKEY

SK0: MOV P1,#0F0H ;ROW
MOV A,P1
mov R5,A
MOV P1,#0FH   ;COLUM
MOV A,P1
ORL A,R5
ANL A,#7FH

JNB COUN1,CH0
LJMP NO_DOT

CH0: JNB DOT5,CH1
LJMP NO_ENT

CH1: CJNE R7,#0CAH,NO_1
LJMP NO_ENT

NO_1:
CJNE A,#37H,NO_2
LCALL K1
LJMP SCANKEY

NO_2: CJNE A,#57H,NO_3
LCALL K2
LJMP SCANKEY

NO_3: CJNE A,#67H,NO_4
LCALL K3
LJMP SCANKEY

NO_4: CJNE A,#3BH,NO_5
LCALL K4
LJMP SCANKEY

NO_5: CJNE A,#5BH,NO_6
LCALL K5
LJMP SCANKEY

NO_6: CJNE A,#6BH,NO_7
LCALL K6
LJMP SCANKEY

NO_7: CJNE A,#3DH,NO_8
LCALL K7
LJMP SCANKEY

NO_8: CJNE A,#5DH,NO_9

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LCALL K8

LJMP SCANKEY

NO_9: CJNE A,#6DH,NO_0

LCALL K9

LJMP SCANKEY

NO_0: CJNE A,#3EH,NO_DOT

LCALL K0

LJMP SCANKEY

NO_DOT: CJNE A,#5EH,NO_ENT

LCALL K_DOT

LJMP SCANKEY

NO_ENT: CJNE A,#6EH,LOOP_SK

RET

LOOP_SK: LJMP SCANKEY

***** KEY ACTIVE *****

;

K1: JNB NUM,K11

RET

K11: MOV R1,#1H

LCALL TE

LCALL KK

MOV A,#"1"

LCALL KK1

MOV R2,#01H

LCALL DELAY

RET

K2: JNB NUM,K21

RET

K21: MOV R1,#2H

LCALL TE

LCALL KK

MOV A,#"2"

LCALL KK1

MOV R2,#01H

LCALL DELAY

RET

K3: JNB NUM,K31

RET

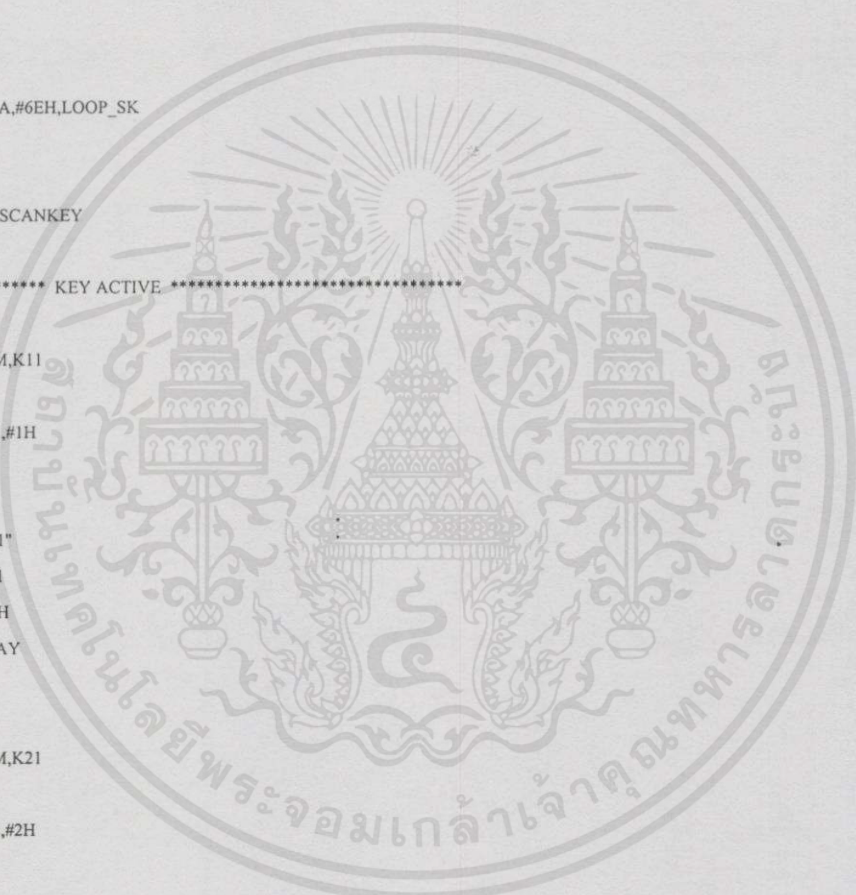
K31: MOV R1,#3H

LCALL TE

LCALL KK

MOV A,#"3"

LCALL KK1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
MOV R2,#01H
LCALL DELAY
RET
```

```
K4: JNB NUM,K41
RET
```

```
K41: MOV R1,#4H
LCALL TE
LCALL KK
MOV A,#"4"
LCALL KK1
MOV R2,#01H
LCALL DELAY
RET
```

```
K5: JNB NUM,K51
SETB DOT5
```

```
K51: MOV R1,#5H
LCALL TE
LCALL KK
MOV A,#"5"
LCALL KK1
MOV R2,#01H
LCALL DELAY
RET
```

```
K6: JNB NUM,K61
RET
```

```
K61: MOV R1,#6H
LCALL TE
LCALL KK
MOV A,#"6"
LCALL KK1
MOV R2,#01H
LCALL DELAY
RET
```

```
K7: JNB NUM,K71
RET
```

```
K71: MOV R1,#7H
LCALL TE
LCALL KK
MOV A,#"7"
LCALL KK1
MOV R2,#01H
LCALL DELAY
RET
```

```
K8: JNB NUM,K81
RET
```

```
K81: MOV R1,#8H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCALL TE
LCALL KK
MOV A,#"8"
LCALL KK1
MOV R2,#01H
LCALL DELAY
RET

```

```

K9: JNB NUM,K91
RET

```

```

K91: MOV R1,#9H
LCALL TE
LCALL KK
MOV A,#"9"
LCALL KK1
MOV R2,#01H
LCALL DELAY
RET

```

```

K0: ;JNB NUM,K01
;RET
;K01:
MOV R1,#0H
LCALL TE
LCALL KK
MOV A,#"0"
LCALL KK1
MOV R2,#01H
LCALL DELAY
RET

```

```

K_DOT: SETB NUM
CLR COUN
CLR COUN1
LCALL KK
MOV A,#"."
LCALL KK1
MOV R2,#01H
LCALL DELAY
RET

```

```

;***** PROGRAM KK CHECK NUM OF KEY*****

```

```

KK:

```

```

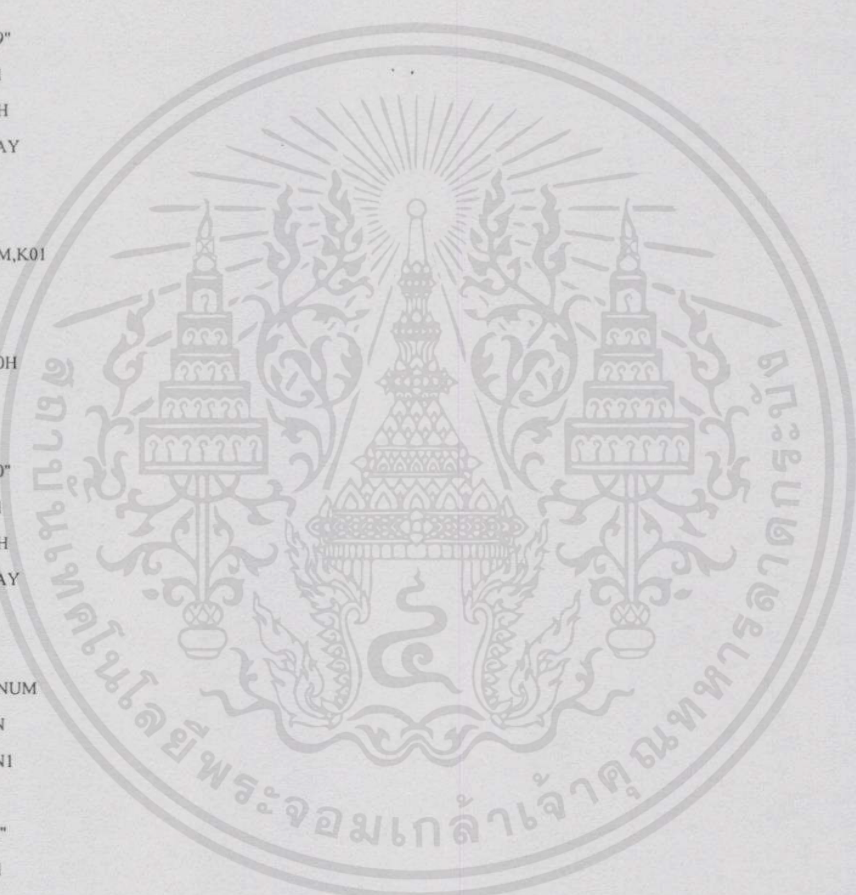
;INC R4
;INC R7

```

```

MOV A,R7 ; SET ADDRESS LINE 1
PUSH DPH ; LOAD SUB.

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PUSH DPL
LCALL LCDWI ; WRITE ADDRESS
POP DPL
POP DPH
RET
KK1: PUSH DPH
PUSH DPL
LCALL LCDWD ; WRITE DATA
POP DPL
POP DPH
RET

```

```

;***** TE*****

```

```

TE: JNB COUN,TE2

```

```

MOV A,R6
MOV B,#0AH
MUL AB
ADD A,R1
MOV R6,A
SETB COUN1
RET

```

```

TE2: MOV A,R6

```

```

ADD A,R1
MOV R6,A
SETB COUN
RET

```

```

;*****RUNVAR*****

```

```

RUNVAR: MOV DPTR,#PORTB
MOV A,#0000000B ; SET LED POWER
MOVX @DPTR,A

```

```

MOV A,#5H
MOV B,R6
MUL AB
MOV R6,A
JNB DOT5,RUNVART
MOV A,R6
SUBB A,#15H
MOV R6,A

```

```

RUNVART: LCALL RUNVARI

```

```

;*****RUNVARI*****

```

```

RUNVARI: LCALL RRSTEP

```

```

MOV DPTR,#PORTA1
MOVX A,@DPTR

```

```

CLR C
SUBB A,R6
JC RUNVARI

```

```

ENDRUNVAR: RET

```

```

END

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีผู้คัดลอกหรือแก้ไขเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ขนาดและรูปร่างของแกนเหล็กรูป EI

EI number	F(mm)	E(mm)	G(mm)	H(mm)
14	3.5	3.5	10	14
16	4	4	10	16
19	4	5	10	19
24	6	6	12	24
28	6	8	17	28
35	7.2	9.6	19.5	35
40	7.45	12.7	20	40
41	8	13	21	41
48	8	16	24	48
54	9	18	27	54
57	9.5	19	28.5	57
60	10	20	30	60
66	11	22	33	66
76.2	12.7	25.4	38.1	76.2
85.8	14.3	28.6	42.9	85.5
95	15	30	47	95
96	16	32	48	96
105	17.5	35	52.5	105
114	19	38	57	114
133.2	22.2	44.4	66.6	133.2
152	25.4	50.8	76.2	152.4
190	31.95	63.75	95.3	190.5
225	38.1	76	114.65	228.6
245	44.5	88.9	134.05	247.5
300	50.75	101.4	152.6	304.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ขนาดลวดตัวนำ

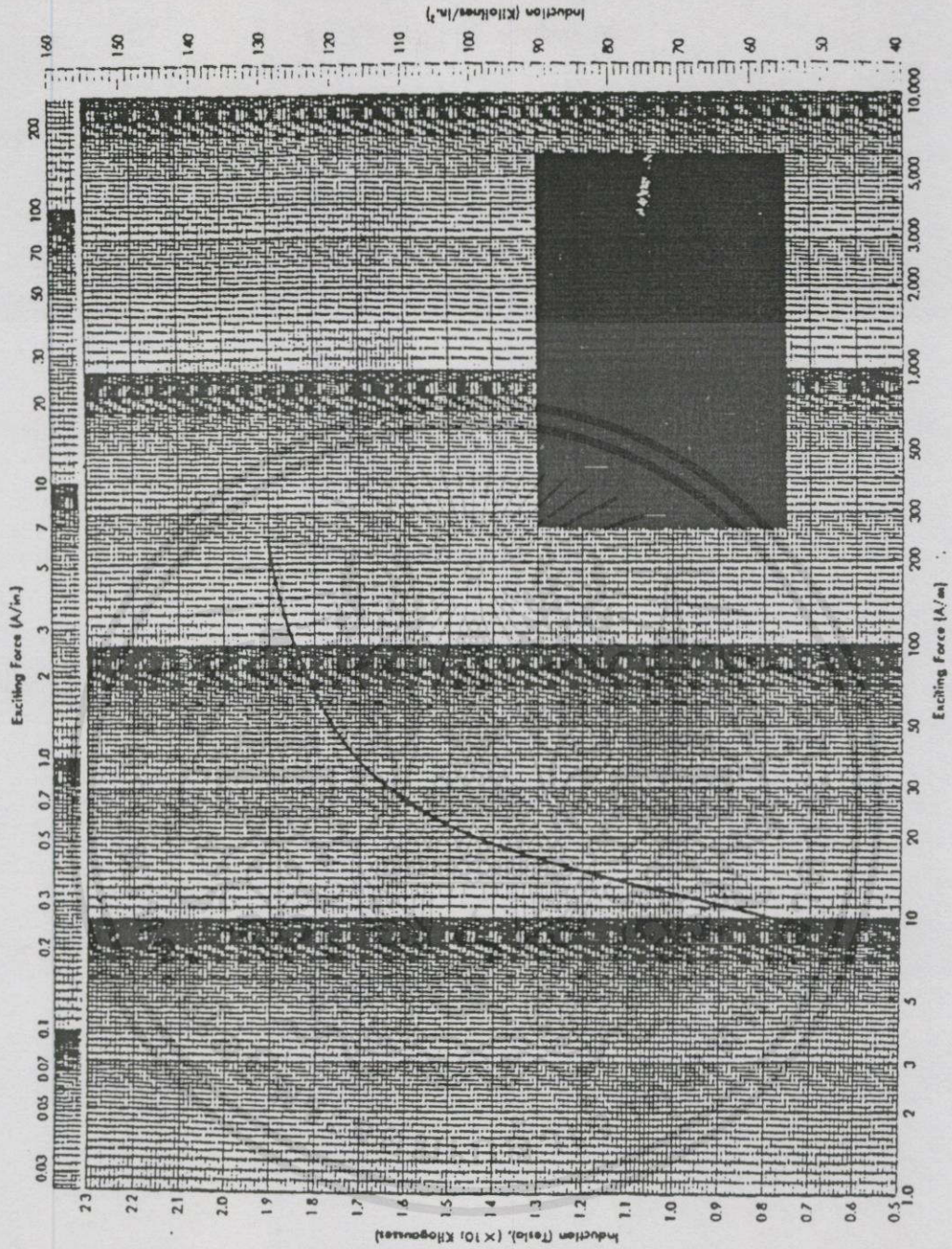
มาตรฐาน AWG.			มาตรฐาน SWG.		
Gauge No.	Mm ²	กรัม/เมตร	Gauge No.	mm ²	กรัม/เมตร
0/2	67.43	599.5	0/5	94.56	840.7
0	53.49	477.6	0/4	81.07	720.8
1	42.41	377	0/3	70.12	623.4
2	33.62	286.1	0/2	61.36	545.5
3	26.67	237.1	0	53.19	472.9
4	21.15	188	1	45.6	405.4
5	16.17	149	2	38.6	343.1
6	13.3	118.2	3	32.18	286.1
7	10.55	93.8	4	27.27	242.5
8	8.368	74.38	5	22.77	202.5
9	6.631	58.95	6	18.68	166.1
10	5.261	46.77	7	15.7	139.5
11	4.172	37.1	8	12.97	115.3
12	3.309	29.4	9	10.52	93.41
13	2.63	23.4	10	8.302	73.8
14	2.081	18.5	11	6.818	60.61
15	1.65	14.7	12	5.481	48.72
16	1.309	11.6	13	4.289	38.13
17	1.037	9.24	14	3.243	28.83
18	0.823	7.32	15	2.627	23.35
19	0.653	5.81	16	2.075	18.45
20	0.517	4.61	17	1.589	14.13
21	0.411	3.66	18	1.167	10.38
22	0.326	2.88	19	0.811	7.21
23	0.258	2.3	20	0.658	5.84
24	0.205	1.82	21	0.519	4.613
25	0.162	1.44	22	0.397	3.532
26	0.129	1.14	23	0.292	2.595
27	0.102	0.91	24	0.245	2.18
28	0.081	0.72	25	0.203	1.802

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ขนาดลวดตัวนำ(ต่อ)

มาตรฐาน AWG.			มาตรฐาน SWG.		
Gauge No.	Mm ²	กรัม/เมตร	Gauge No.	mm ²	กรัม/เมตร
29	0.0643	0.58	26	0.1642	1.46
30	0.051	0.45	27	0.136	1.212
31	0.0404	0.357	28	0.111	0.9867
32	0.032	0.288	29	0.0937	0.833
33	0.0254	0.227	30	0.078	0.693
34	0.021	0.179	31	0.0682	0.606
35	0.016	0.141	32	0.059	0.525
36	0.0127	0.113	33	0.0507	0.4733
37	0.01005	0.0912	34	0.0429	0.3813
38	0.007968	0.0721	35	0.03575	0.3178
39	0.006319	0.0552	36	0.02927	0.2602
40	0.005012	0.0433	37	0.02373	0.2083
41	0.003973	0.0353	38	0.01824	0.1622
42	0.0032151	0.0282	39	0.0137	0.1218
43	0.002495	0.0218	40	0.01167	0.1038
44	0.001982	0.0180	41	0.009810	0.08721
45	0.001572	0.0146	42	0.008107	0.07207
46	0.001246	0.0115	43	0.006560	0.05838
47	0.0009884	0.00883	44	0.005819	0.0413
48	0.0007838	0.00649	45	0.003973	0.03532
49	0.0006216	0.00545	46	0.002929	0.02595
50	0.0004929	0.00450	47	0.002027	0.01802
			48	0.001297	0.01153
			49	0.0002797	0.006487
			50	0.0005067	0.004505

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-1 กราฟคุณสมบัติของแกนเหล็กจากผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIM

True RMS-to-DC Converters

General Description

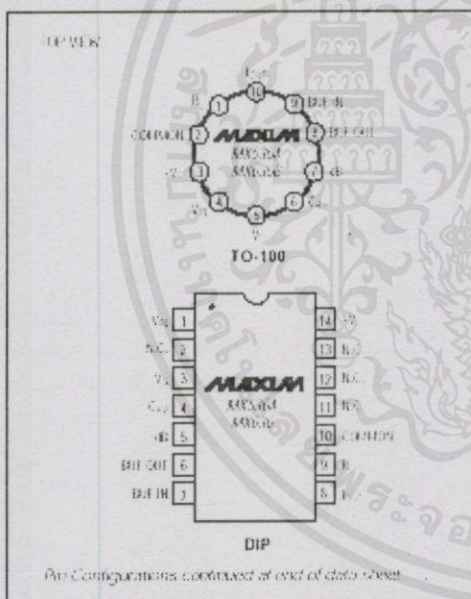
The MX536A and MX636 are true RMS-to-DC converters. They feature low power and are designed to accept low-level input signals from 0 to 7Vrms for the MX536A and 0 to 200mVrms for the MX636. Both devices accept complex input waveforms containing AC and DC components. They can be operated from either a single supply or dual supplies. Both devices draw less than 1mA of quiescent supply current, making them ideal for battery-powered applications.

Input and output offset, positive and negative waveform symmetry (DC reversal), and full-scale accuracy are user trimmed, so that no external trims are required to achieve full rated accuracy.

Applications

Digital Multimeters
Battery-Powered Instruments
Panel Meters
Process Control

Pin Configurations



Features

- ♦ True RMS-to-DC Conversion
- ♦ Computes RMS of AC and DC Signals
- ♦ Wide Response:
 - 2MHz Bandwidth for $V_{RMS} > 1V$ (MX536A)
 - 1MHz Bandwidth for $V_{RMS} > 100mV$ (MX636)
- ♦ Auxiliary dB Output: 60dB Range (MX536A)
50dB Range (MX636)
- ♦ Single- or Dual-Supply Operation
- ♦ Low Power: 1.2mA typ (MX536A)
800 μ A typ (MX636)

Ordering Information

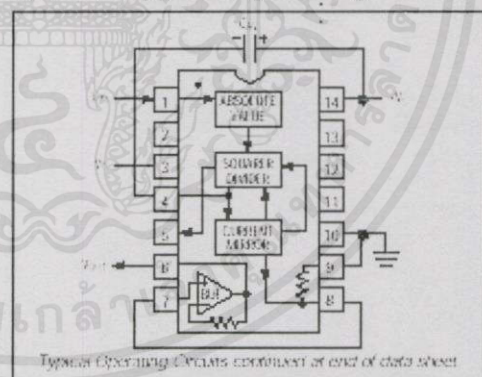
PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MX536A	0°C to +70°C	Dice**
MX536AJW	0°C to +70°C	16 Wide SQ
MX536AJD	0°C to +70°C	14 Ceramic
MX536AKH	0°C to +70°C	10 TO-100
MX536AKN	0°C to +70°C	14 Plastic DIP
MX536AKQ	0°C to +70°C	14 CERDIP
MX536AKQW	0°C to +70°C	16 Wide SQ
MX536AKD	0°C to +70°C	14 Ceramic
MX536AKH	0°C to +70°C	10 TO-100
MX536AKN	0°C to +70°C	14 Plastic DIP
MX536AKQ	0°C to +70°C	14 CERDIP
MX536ASD	55°C to +125°C	14 Ceramic

Ordering Information continued at end of data sheet.

* Maxim reserves the right to discontinue packages in favor of CERDIP packages.

** Electrical specifications at $T_A = 25^\circ C$.

Typical Operating Circuits



MX536A/MX636

MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For free samples & the latest literature: <http://www.maxim-ic.com>, or phone 1-800-998-8800.
For small orders, phone 408-737-7600 ext. 3468.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

True RMS-to-DC Converters

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage (Load Supplied) (MX536A)	+1.7V
(MX536B)	+1.2V
Single Supply (MX536A)	+0.9V
(MX536B)	+0.7V
Input Voltage (MX536A)	+2.5V
(MX536B)	+1.7V
Power Dissipation (Package)	
Micro-DIP (derate 12mW/°C above +75°C)	450mW
Small Outline (derate 10mW/°C above +75°C)	400mW
Ceramic (derate 10mW/°C above +75°C)	500mW
TO-18 (micro-pin) (derate 7mW/°C above +75°C)	450mW

Cycle Time (Input Duration)	Indefinite
Operating Temperature Ranges	
Commercial (JEDEC)	+2°C to +70°C
Military (54)	+55°C to +125°C
Storage Temperature Range	+50°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering 10sec)	+300°C

Maxim does not assume any responsibility for any damage caused by misuse. These are stress ratings only, and functional operation is not guaranteed at these conditions. Maximum power dissipation limits are based on the worst case operating conditions of the package. Thermal resistance is assumed to be 25°C/W unless otherwise indicated.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MX536A

($V_{IN} = 2.5V$, $V_{OUT} = 1.0V$, $V_{FS} = 1.0V$, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS		
Transfer Equation			V_{OUT}	Avg. $(V_{IN}/1.1)$				
Averaging Time Constant	Figure 3			25		micro-sec		
CONVERSION ACCURACY								
Total Error Interval (1σ) (Data 1)	MX536AJ AS			+0.5	-0.5	mV (% of Reading)		
	MX536AK			+0.2	-0.2			
Total Error vs. Temperature	+25°C to +70°C	MX536AJ		+0.1	-0.01	mV (% of Reading/°C)		
		MX536AK		+0.05	-0.005			
		MX536AS		+0.1	-0.005			
Total Error vs. Supply						mV (% of Reading/V)		
								+0.1
Total Error vs. DC Offset						% of Reading		
							MX536AJ AS	+0.2
MX536AK	+0.1							
Total Error External Error (Data 1)						mV (% of Reading)		
							MX536AJ AS	+0.3
MX536AK	+0.2	-0.1						
ERROR vs. CREST FACTOR (Data 2)								
Additional Error						% of Reading		
							Crest Factor = 2	Specified Accuracy
							Crest Factor = 3	+0.1
Crest Factor = 7	+1.0							
FREQUENCY RESPONSE (Data 3)								
Bandwidth for 1σ Additional Error (0.5dB)						kHz		
							$V_{IN} = 10mV$	5
							$V_{IN} = 100mV$	45
3-dB Bandwidth						kHz		
							$V_{IN} = 1V$	1.0
							$V_{IN} = 10mV$	30
$V_{IN} = 100mV$	400							
$V_{IN} = 1V$	2.3							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

True RMS-to-DC Converters

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MX536A (continued)

($T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{IN} = +10\text{V}$, $V_{OUT} = 1.0\text{V}$, unless otherwise specified)

PARAMETER	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
INPUT CHARACTERISTICS						
Input Signal Range	AC Supplies, Continuous RMS Peak Current		0 to 7			V _{RMS}
				± 20		V _{PK}
Safe Input	AC Supplies, Continuous RMS Peak Current		0 to 7			V _{RMS}
				± 25		V _{PK}
Input Resistance			12.5k	16.7	20.0k	k Ω
Input Offset Voltage	MODE=OFF			0.0	± 7	mV
	MODE=ON			0.5	± 1	mV
OUTPUT CHARACTERISTICS						
Offset Voltage	$I_A = +25\text{mA}$	MX536A0		± 1	± 2	mV
		MX536A6		± 0.5	± 1	mV
	$I_A = \text{Output Load}$	MX536A0			± 7	mV
		MX536A6			± 0.2	mV
Supply Voltage		MODE=ON		0.1		mV
		MODE=OFF		± 0.2		mV
Output Voltage Swing	AC Supplies		0 to 11	12.5		V
			0 to 2			V
Output Current	Source		100			mA
Short-Circuit Current	Sink		100			mA
Output Resistance					0.5	Ω
dB OUTPUT						
Error	VIN = Input Voltage VREF = VREF	MODE=ON		± 0.4	± 0.6	dB
		MODE=OFF		± 0.2	± 0.3	
		MODE=ON		± 0.5	± 0.6	
Scale Factor			3			mV/dB
Scale Factor (C, 10% compensated)				0.33		% of Reading/C
THD	20B - 10kHz		5	20	100	μA
THD Range			1		100	μA
I_{OUT} TERMINAL						
I _{OUT} Scale Factor				40		$\mu\text{A}/\text{V}_{\text{OUT}}$
I _{OUT} Scale Factor Tolerance				± 10	± 20	%
Output Resistance			20	25	30	k Ω
Voltage Compliance				V _{IN} to V _{IN} - 2.5V		V

MX536A/MX636

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

True RMS-to-DC Converters

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MX536A (continued)

($V_A = +2.5\text{ V}$, $V_S = +15\text{ V}$, $V_N = -15\text{ V}$, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
BUFFER AMPLIFIER					
Input and Output Voltage Range		$V_{IN}/2$ $V_{IN}/2 \sim V_{IN}$			V
Input Offset Voltage	$R_{IN} = 25\text{ k}\Omega$		± 0.5	± 4	mV
Input Bias Current			20	300	nA
Input Resistance			10		Ω
Output Current	Source		5		nA
	Sink		100		μA
Short-Circuit Current			20		nA
Signal Output Bandwidth			1		MHz
Slew Rate (Plate 4)			5		V/ μs

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MX636

($V_A = +2.5\text{ V}$, $V_S = +5\text{ V}$, $V_N = -5\text{ V}$, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Transfer Equation		Gain	Level $(V_{IN}/2)^2$		
Averaging Time/Constant	Figure 4		25		ms/dB/Cal
CONVERSION ACCURACY					
Total Error: Internal Load (Notes 3, 6)	MX636L			± 0.5 to ± 1.0	mV rms of Reading
	MX636K			± 0.2 to ± 0.5	mV rms of Reading
Total Error vs. Temperature (0°C to +100°C)	MX636L			± 0.1 to ± 0.1	mV rms of Reading/°C
	MX636K			± 0.1 to ± 0.05	mV rms of Reading/°C
Total Error vs. Supply				± 0.1 to ± 0.1	mV rms of Reading/V
				± 0.1 to ± 0.1	mV rms of Reading
Total Error vs. DC Load/Load	$V_{IN} = 200\text{ mV}$	MX636L		± 0.2	% of Reading
		MX636K		± 0.1	% of Reading
Total Error: External Load (Plate 5)	MX636L			± 0.2 to ± 0.1	mV rms of Reading
	MX636K			± 0.1 to ± 0.1	mV rms of Reading
ERROR vs. CREST FACTOR (Plate 3)					
Additional Error	Crest Factor: 1 to 2	Specified Accuracy			% of Reading
	Crest Factor: 3	0.4			
	Crest Factor: 6	0.5			
FREQUENCY RESPONSE (Plates 6, 7)					
Bandwidth for 1% Additional Error (0.02dB)	$V_{IN} = 10\text{ mV}$		4		kHz
	$V_{IN} = 100\text{ mV}$		80		
	$V_{IN} = 200\text{ mV}$		130		
3-dB Bandwidth	$V_{IN} = 10\text{ mV}$		100		kHz
	$V_{IN} = 100\text{ mV}$		900		
	$V_{IN} = 200\text{ mV}$		1.5		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

True RMS-to-DC Converters

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MX636 (continued)

($I_A = +25\text{ mA}$, $V_S = +3\text{ V}$, $V_S = 5\text{ V}$, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
INPUT CHARACTERISTICS					
Input Signal Range	Continuous RMS, All Supplies	0 to 200			mVrms
	Peak Transient	+3V, 5V Supplies	+2.8		Vpk
		+2.5V Supplies	+2		
Safe Input	All Supplies	+1.2		Vpk	
Input Resistance		5.33	6.2	6.00	k Ω
Input Offset Voltage	MX636a			+0.5	mV
	MX636k			+0.2	
OUTPUT CHARACTERISTICS (RMS)					
Output Voltage	$I_A = +25\text{ mA}$	MX636a	+0.5		mV
		MX636k	+0.2		
	$I_A = 100\text{ mA}$ to 100 mA With Supply Voltage			+10	$\mu\text{V}/\text{V}$
Output Voltage Swing	+3V, 5V Supplies	0 to 1		V	
	+5V to +16.5V Supplies	0 to 1			1.4
Output Resistance		8	10	12	k Ω
dB OUTPUT					
Error	500 Hz to 5,000 Hz	MX636a	+0.3		dB
		MX636k	+0.2		
Scale Factor				0	mV/dB
Scale Factor Tolerance				+0.33	dB/C
				0.030	
dB \ddot{I}	0 dB = 1Vrms	2	4	8	μA
dB \ddot{I} Range		1		50	μA
IOUT TERMINAL					
Iout Scale Factor				100	mV/dB
Iout Scale Factor Tolerance		-20	+10	+20	%
Output Resistance		8	10	12	k Ω
Voltage Compliance		Vs to		-Vs - 200	V
BUFFER AMPLIFIER					
Input and Output Voltage Range		Vs to		-Vs - 20	V
Input Offset Voltage	Rs = 10k Ω	MX636a	+0.8		mV
		MX636k	+0.5		
Input Current		100		300	nA
Input Resistance		10 ⁷			Ω
Output Current	Source	-5			mA
	Sink	130			μA
Short-Circuit Current		20			mA
Small-Signal Bandwidth		1			MHz
Slew Rate (Note 3)		5			V/ μs

MX536A/MX636

MAXIM

5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

True RMS-to-DC Converters

ELECTRICAL CHARACTERISTICS—MX636 (continued)

($I_{AV} = 250 \mu\text{A}$, $V_{IN} = 100 \text{ mV}$, $V_{OUT} = 50 \text{ mV}$, unless otherwise noted.)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
POWER SUPPLY					
Rated Performance			+0.5		V
True Supply		+0.75		+1.5	V
Single Supply		+1		+2.4	V
Quiescent Current (I _Q)			0.8	1	mA

Note 1: Accuracy is specified for 0 to 20Vrms DC or 1kHz sine wave input with the MX636A connected as in Figure 2.

Note 2: Error vs. crest factor is specified as an additional error for 10Vrms rectangular pulse stream, pulse width = 200µs.

Note 3: Input voltages are expressed in volts RMS, and error as % of reading.

Note 4: With 2kΩ external pull-down resistor.

Note 5: Accuracy is specified for 0 to 200mV DC or 1kHz sine wave input. Accuracy is degraded at higher RMS signal levels.

Note 6: Measured at pin 8 of DIP and SO (center), with pin 9 tied to COMMON.

Note 7: Error vs. crest factor is specified as an additional error for 200mVrms rectangular pulse input, pulse width = 200µs.

Note 8: Input voltages are expressed in volts RMS.

Note 9: With 10kΩ external pull-down resistor from pin with R_{TH} (pin 9) to V_{CC}.

Note 10: With 50kΩ input bias to COMMON.

Detailed Description

The MX536A/MX636 uses an indirect method of RMS computation that overcomes the dynamic range as well as other limitations inherent in a straightforward computation of the RMS. The actual computation performed by the MX536A/MX636 follows the equation:

$$\text{Volts} = \text{Avg.} (V_{IN}^2 / V_{REF})$$

The input voltage, V_{IN} , applied to the MX536A/MX636 is processed by an absolute value/voltage-to-current converter that produces a unipolar current I_1 (Figure 1). This current drives one input of a squared/divider that produces a current I_4 that has a transfer function:

$$I_4 = \frac{I_1^2}{I_2}$$

The current I_4 drives the internal current mirror through a lowpass filter formed by R_1 and an external capacitor, C_{AV} . As long as the time constant of this filter is greater than the longest period of the input signal, I_4 is averaged. The current mirror returns a current, I_3 , to the squared divider to complete the circuit. The current I_3 is then a function of the average of I_1^2 / I_2 , which is equal to I_{RMS} .

The current mirror also produces a 2:1 output current, I_{OUT} , that can be used directly or converted to a voltage using resistor R_2 and the internal buffer to provide a low impedance voltage output. The transfer function for the MX536A/MX636 is

$$V_{OUT} = 2 \cdot R_2 \cdot I_{RMS} \cdot V_{IN}$$

The dB output is obtained by the voltage at the emitter of Q_3 , which is proportional to the $\log V_{IN}$. The emitter follower Q_5 buffers and level shifts this voltage so that the dB output is zero when the externally set emitter current for Q_5 approximates I_3 .

Standard Connection (Figure 2)

The standard RMS connection requires only one external component, C_{AV} . In this configuration the MX536A/MX636 measures the RMS of the AC and DC levels present at the input, but shows an error for low-frequency inputs as a function of the C_{AV} filter capacitor. Figure 3 gives practical values of C_{AV} for various values of averaging error over frequency for the standard RMS connections (no post filtering). If a 3µF capacitor is chosen, the additional error at 100Hz will be 1%. If the DC error can be rejected, a capacitor should be connected in series with the input, as would typically be the case in single supply operation.

The input and output signal ranges are a function of the supply voltages. Refer to the electrical characteristics for guaranteed performance. The buffer amplifier can be used either for lowering the output impedance of the circuit or for other applications such as buffering high impedance input signals. The MX536A/MX636 can be used in current output mode by disconnecting the external load resistor, R_2 , from ground. The current output is available at pin 8 (pin 10 on the "H" package) with a nominal scale of 40µA/Vrms input for the MX536A and 100µA/Vrms input for the MX636. The output is positive.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

True RMS-to-DC Converters

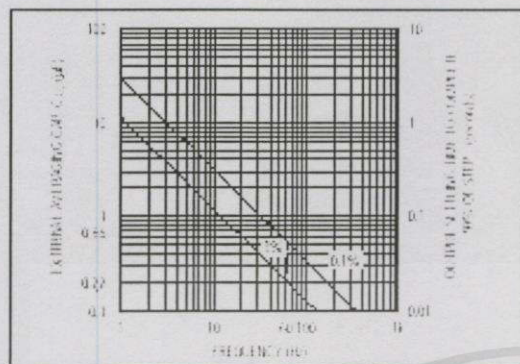


Figure 3. Lower Frequency for Smaller % of Resistor Error and Settling Time for Current shown in Figure 2.

High-Accuracy Adjustments

The accuracy of the MX536A/MX636 can be improved by the addition of external trimmers as shown in Figure 4. R4 trims the offset. The input should be grounded and R4 adjusted to give zero volts output from pin 6. R5 is trimmed to give the correct value for either a calibrated DC input or a calibrated AC signal. For example, 200mV DC input should give 200mV DC output, a 1200mV peak-to-peak sine wave should give 141mV DC output.

Single-Supply Operation

Both the MX536A and the MX636 can be used with a single supply down to -5V (Figure 5). The major limitation of this connection is that only AC signals can be measured, since the differential input stage must be biased off ground for proper operation. It is not necessary to provide output sink current; the input signal is coupled through R7 and the voltage division so that the desired low frequency peak point is obtained with the input resistors. Use 10kΩ for the MX536A and 6kΩ for the MX636.

Figure 5 shows how to bias pin 10 within the range of the supply voltage (pin 7 on "+" packages). It is critical that no extraneous signals are coupled into this pin. A capacitor connected between pin 10 and ground is recommended. The common pin requires less than 50µA of input current, and if the current flowing through resistors R1 and R2 is chosen to be approximately 10 times the common pin current (or 500µA), the resistor values can easily be calculated.

Choosing the Averaging Time Constant

Both the MX536A and MX636 compute the RMS value of AC and DC signals. At low frequencies a DC, the output tracks the input exactly; at higher frequencies,

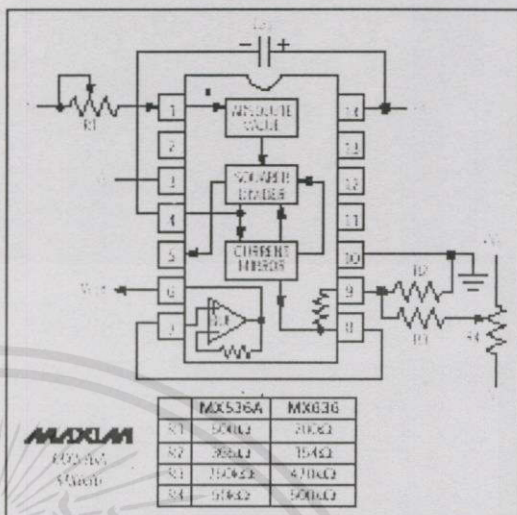


Figure 4. Typical External Gain and Output Offset Trims

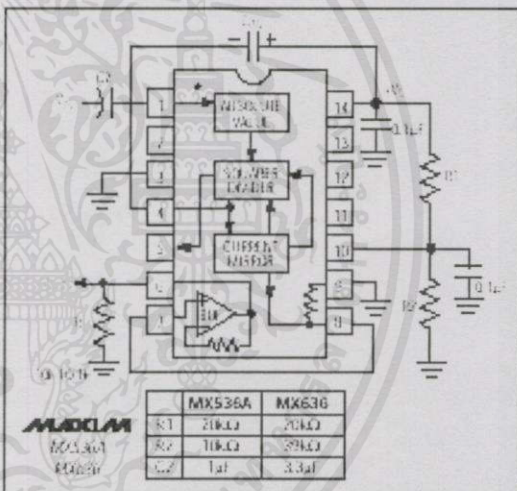


Figure 5. Single-Supply Operation

the average output approaches the RMS value of the input signal. The actual output differs from the ideal by an average (or DC) error plus some amount of ripple.

The AC error term is a function of the value of C_{avg} and the input signal frequency. The output ripple is inverse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

True RMS-to-DC Converters

MX536A/MX636

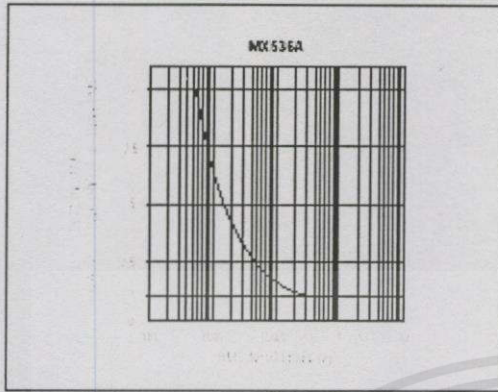


Figure 6a. MX536A Settling Time vs. Input Level

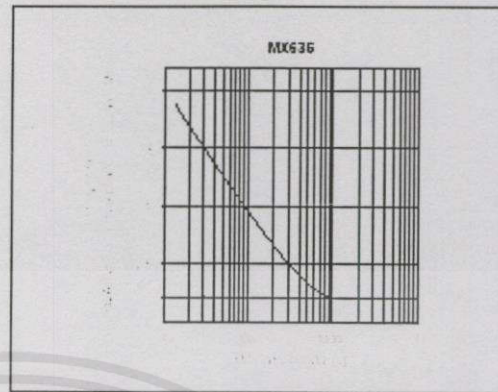


Figure 6b. MX636 Settling Time vs. Input Level

is proportional to the value of C_{avg} . Waveforms with high crest factors, such as a pulse train with low duty cycle, should have an average time constant chosen to be at least ten times the signal period.

Using a large value of C_{avg} to remove the output ripple increases the settling time for a step change in the input signal level. Figure 3 shows the relationship between C_{avg} and settling time, where 11.97 τ_{avg} settling equals 1% of C_{avg} . The settling time or time for the RMS converter to settle to within a given percent of the change in RMS level is set by the averaging time constant, which varies approximately 2:1 between increasing and decreasing input signals. For example, increasing input signals require 2.3 time constants to settle to within 1%, and 4.6 time constants for decreasing signals levels.

In addition, the settling time also varies with input signal levels, increasing as the input signal is reduced, and decreasing as the input is increased, as shown in figures 6a and 6b.

Using Post Filters

A post filter allows a smaller value of C_{avg} , and reduces ripple and improves the overall settling time. The value of C_{avg} should be just large enough to give the maximum 2% error at the lowest frequency of interest. The post filter is used to remove excess output ripple. Figures 7, 8, and 9 give recommended filter connections and values for both the MX536A and MX636. Table 1 lists the number of time constants required for the RMS section to settle to within different percentages of the final value for a step change in the input signal.

Table 1. Number of RC Time Constants (τ) Required for MX536A/MX636 RMS Converters to Settle to Within Stated % of Final Value

PARAMETERS	FOR INCREASING AMPLITUDES	FOR DECREASING AMPLITUDES
Basic Formula	$\Delta V \sqrt{1 - \%TDR}$	$\Delta V \sqrt{\%TDR}$
Settling Time to within Stated % of True RMS Level	1.8 0.723 0.0723	4.604 1.903 0.2704
	2.3 4.6	4.6 9.2

Note: τ = Settling Time vs. Level AC Filter

Decibel Output (dB)

The $10 \log$ output of the MX536A/MX636 originates in the squared-error section and works well over a 60dB range. The compensation 0.001dB measurement is shown in Figure 20. The 10dB output has a temperature drift of 0.001dB/°C, and in some applications may need to be compensated. Figure 7C shows a compensation scheme. The amplifier can be used to scale the output for a particular application. The values used in figure 7C give a output of +100mV/CB.

MAXIM

9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

True RMS-to-DC Converters

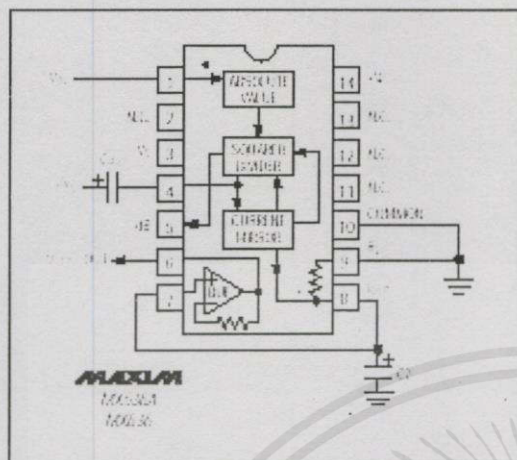


Figure 7. MAX536A/MX636 with a One-Pole Butterworth Filter

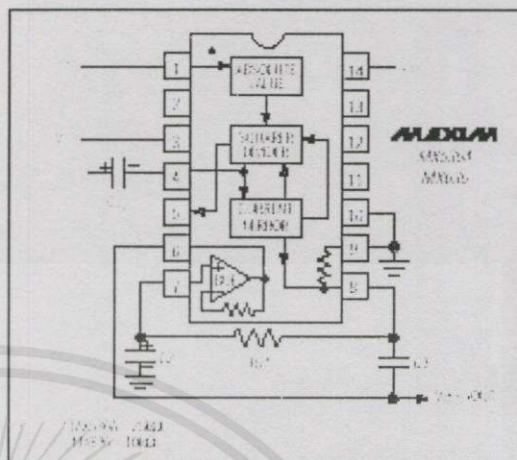


Figure 8. MAX536A/MX636 with a Two-Pole Butterworth Filter

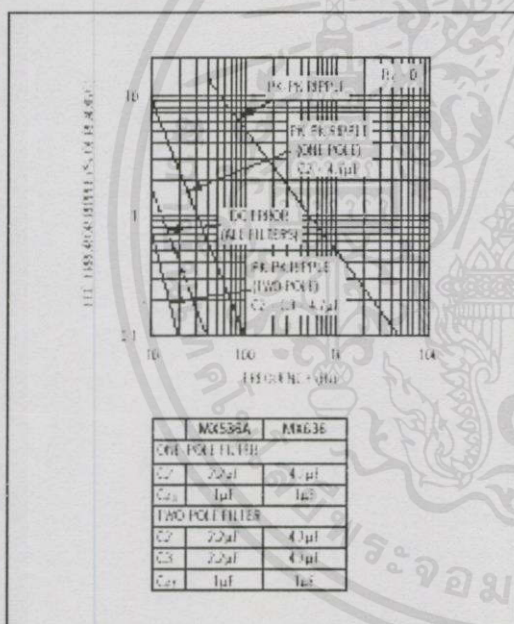


Figure 9. Performance Features of Various Filter Types for MAX536A/MX636

Frequency Response

The MAX536A/MX636 always a logarithmic circuit in performing the RMS computation of the input signal. The bandwidth of the RMS converters is proportional to signal level. Figures 11 and 12 represent the frequency response of the converters from 10mV to 7Vrms for the MX536A and 1mV to 1V for the MX636, respectively. The dashed lines indicate the upper frequency limits for 1%, 10%, and 3dB of loading additional error. Caution must be used when designing RMS measuring systems so that overload does not occur. The input clipping level for the MX636 is $\pm 1.2V$, and for the MAX536A is $\pm 20V$. A 10Vrms signal with a crest factor of 3 has a peak output of 7.1V.

Application in a Low-Cost DVM

A low-cost digital voltmeter (DVM) uses just two integrated circuits: precision accuracy and LCD display (shown in Figure 13). The MAX130 is a 3 1/2 digit integrating A/D converter with precision bandgap reference. 150-100Ω input attenuator is AC coupled to pin 6 of the MX636 buffer amplifier. The output from the MX636 is connected to the MAX130 to give a direct reading to the LCD display.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

True RMS-to-DC Converters

MX536A/MX636

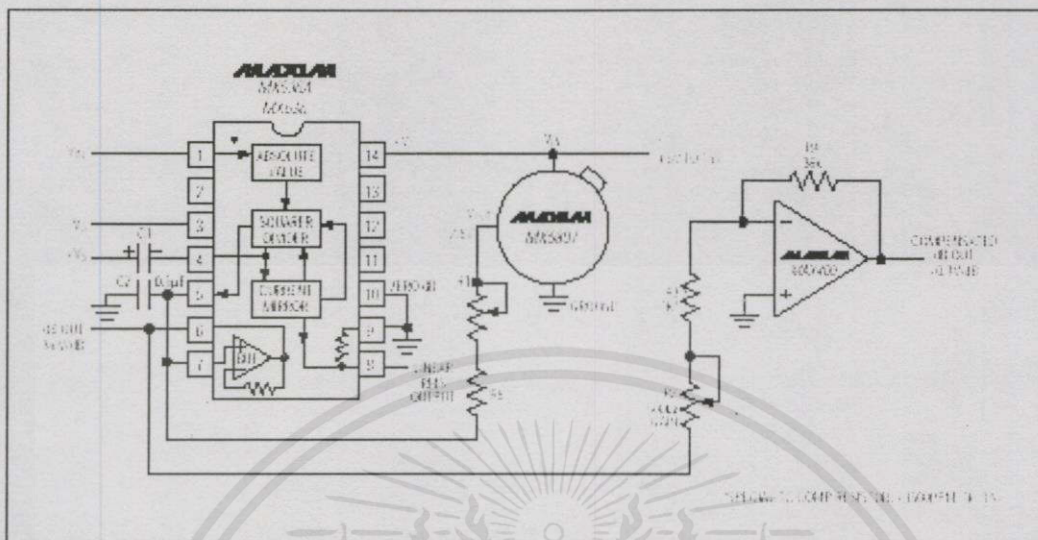


Figure 10. I/O Connection

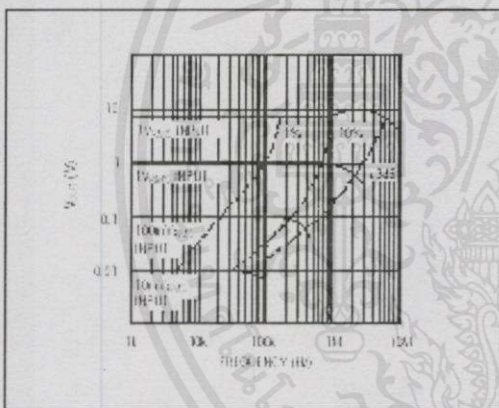


Figure 11. MX536A High-Frequency Response

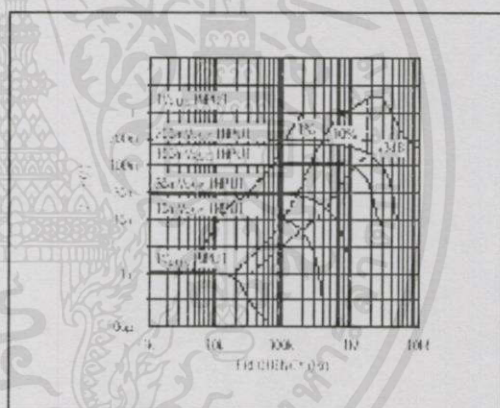


Figure 12. MX636 High-Frequency Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประชุมวิชาการ สาขา 22
Electrical Engineering Conference
(EECON-22)

วันที่ 2-3 ธันวาคม 2542

ณ อาคารสถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดำเนินการจัดประชุมโดย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทดสอบรีเลย์ชนิด 1 เฟส โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม Portable Single Phase Relay Tester Using Microcontroller

นราลด โชติวรรณพร สุขพัฒน์ ชะม้อย วิจิตร กิณเรศ ศิริวิวัฒน์ ไพธิเวชกุล
ภาควิชาไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2 หมู่ 3 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร (662) 3269902 E-mail: kpsiriwa@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันรีเลย์ในระบบป้องกันของสถานีไฟฟ้าแรงสูง มีความจำเป็นที่จะต้องมีการทำงานที่เที่ยงตรงหากรีเลย์ทำงานผิดพลาด จะก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมาก ซึ่งจะทำให้สายความนำเชื่อถือของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นทีมงานจึงได้สร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ เพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง เครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นมานี้สามารถจ่ายกระแสทดสอบได้ 50 A ตั้งเวลาในการทดสอบ 00.000-99.999 วินาที โดยมีเปอร์เซ็นต์ผิดพลาด $\pm 0.2\%$ โดยเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบรีเลย์เครื่องทดสอบที่มีน้ำหนักเบาสามารถนำไปทดสอบในสนามได้ เครื่องทดสอบรีเลย์ได้ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน IEC-801A

Abstract

Recently, relays used in the protection system of the high voltage station must have an accurate operation. If the relay error exists, it will damage system which may cause less reliability of transmission system. Therefore, researchers have produced a compact relay tester replacing import instrument. This tester can handle current 50 amperes, and set the time between 00.000-99.999 sec with accuracy of $\pm 0.2\%$. Also, this prototype is low weight, and is easy to move for outdoor testing. In addition, this portable relay tester has the specification complying with the IEC 801A standard.

1. บทนำ

เทคโนโลยีทางด้านเครื่องทดสอบรีเลย์ในปัจจุบันมีความก้าวหน้าและทันสมัย ซึ่งต้องอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศทำให้เครื่องทดสอบรีเลย์มีราคาแพง อีกทั้งยังมีน้ำหนักมากไม่สะดวกในการเคลื่อนย้ายทางทีมงานจึงได้มีความคิดที่จะจัดสร้างเครื่องทดสอบรีเลย์ขึ้นเพื่อทดแทนการนำเข้าจากต่างประเทศ ในปัจจุบันรีเลย์มีหน้าที่ตรวจสอบความผิดปกติของระบบไฟฟ้ากำลัง เช่นแรงดันไฟฟ้าสูงหรือต่ำเกิน ฯลฯ ดังนั้นรีเลย์ที่ใช้งาน

ในระบบไฟฟ้ากำลังจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการทำงานที่เที่ยงตรงสูง หากทำงานผิดพลาดจะทำให้ระบบส่งจ่ายไฟฟ้าไม่มีควมน่าเชื่อถือ

2. ทฤษฎี

หน้าที่ของรีเลย์ป้องกัน คือ จะต้องแยกส่วนใดส่วนหนึ่งออกจากระบบทันที เมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้น หรือเมื่อเริ่มมีการทำงานผิดปกติเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะทำความเสียหาย หรือทำให้การทำงานของระบบไม่เป็นไปด้วยดี ในกรณีที่ทำงานนี้จะต้องมีตัวตัดวงจร ซึ่งมีขนาดที่เหมาะสม และสามารถที่จะตัดกระแสเหล่านั้น ได้หรือจะพูดอีกอย่างหนึ่งก็คือ รีเลย์ป้องกันเป็นตัวที่คอยตัดต่อคู่แล้วมีการทำงานผิดปกติ หรือ เกิดการลัดวงจรขึ้นหรือไม่ เพื่อแยกเอาส่วนที่เกิดการทำงานผิดปกตินั้นออกจากระบบทันที เพื่อไม่ให้ความเสียหายลุกลามออกไป หรือทำให้ระบบทำงานไม่ได้ ซึ่งในการนี้จะต้องจัดวางตัววงจรไว้ในตำแหน่ง ซึ่งสามารถแยกแยะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, หม้อแปลง (Transformer), สายส่ง ฯลฯ ออกจากระบบได้ตามต้องการ วงจรเหล่านี้ยังต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะทนต่อกระแสลัดวงจรสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นและสามารถตัดกระแสเหล่านั้นได้โดยไม่ชำรุดเสียหาย

การศึกษาคุณสมบัติของรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน Model ต่าง ๆ ของแต่ละบริษัท ว่ามีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันอย่างไร รวมถึงการทำงานของรีเลย์ในแต่ละ Curve เช่น Standard Inverse Time (SIT) และ Very Inverse Time (VIT) ว่ามีการทำงานในลักษณะใด และมีความแตกต่างอย่างไร รวมถึงการเลือกใช้ Curve ที่ให้เหมาะสมกับ Load นั้นๆ

ในการวิเคราะห์นี้ เมื่อจ่ายค่ากระแสให้ Relay ทำงานจะตั้งนค่ากระแสที่ตรวจสอบร่วมกับค่า Timer ที่ได้หลังจากที่ Relay ทำงานแล้วว่าจะตรงตามคุณสมบัติของ Relay ตามที่บริษัทผู้ออกแบบหรือไม่ ถ้าทำงานตรงตามรีเลย์ยังใช้งาน ได้ตามปกติถ้าไม่ตรงจะต้องมีการปรับแต่งการทำงานใหม่

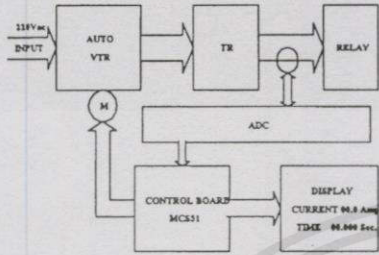
3. โครงสร้างและการทำงานของเครื่องทดสอบ

3.1 โครงสร้างของเครื่องทดสอบ

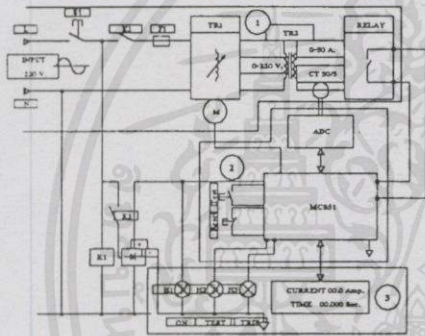
PW080

เครื่องทดสอบรีเลย์ชนิด 1 เฟส โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม

โครงสร้างของเครื่องทดสอบรีเลย์มี 2 ส่วนคือ ส่วนโครงสร้างทางด้าน Hardware และโครงสร้างทางด้าน Software โดยใช้ MCS-51 เป็นตัวควบคุมการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็น Block diagram ของเครื่องทดสอบ



รูปที่ 1 Block diagram ของเครื่องทดสอบ



รูปที่ 2 ส่วนประกอบต่างๆของเครื่องทดสอบ

โครงสร้างทางด้าน Hardware อุปกรณ์ภายในเครื่องทดสอบรีเลย์ประกอบไปด้วยชุด Auto Variable Transformer 0-220 Vac , Current transformer Input 0-220 Vac, Output 50 A(10 V) , Current Transformer Measurement 50-5 A, Micro Controller 8051, Rectifier และ Control Relay 220 Vac,

3.2 การทำงานของเครื่องทดสอบ

การทำงานของเครื่องทดสอบรีเลย์ประกอบด้วย ส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 2 โดยประกอบด้วย หมายเลข 1 เป็นส่วนของวงจรกำลัง (Power Circuit), หมายเลข 2 เป็นส่วนของวงจรควบคุม (Control

Circuit) และหมายเลข 3 เป็นส่วนของการแสดงผล(Display) การทำงานของแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 วงจรกำลัง(Power Circuit)

ประกอบด้วยชุด Auto Variable Transformer และหม้อแปลงกระแส การทำงานของส่วนนี้จะทำหน้าที่จ่ายกระแสไปยังโหลด ซึ่งในที่นี้หมายถึงรีเลย์ป้องกัน หรือแอมป์มิเตอร์ที่จะนำมาทดสอบแล้ววัดจุดประสงค์หลักคือใช้ทดสอบกับรีเลย์ป้องกัน ซึ่งจากตัวของวงจรกำลังจะมีอุปกรณ์หลักคือ TR1 (Auto Variable Transformer) ทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับ TR2 (Transformer) ซึ่งจะจ่ายกระแสให้กับรีเลย์ป้องกันหรืออุปกรณ์อื่นๆที่จะนำมาทดสอบ และกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะกลับอีกส่วนหนึ่ง จะจ่ายให้กับ Rectifier แปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อไปจ่ายให้กับวงจรควบคุม Micro Controller 8051 และในส่วนแสดงผล

3.2.2 วงจรควบคุม(Control Circuit)

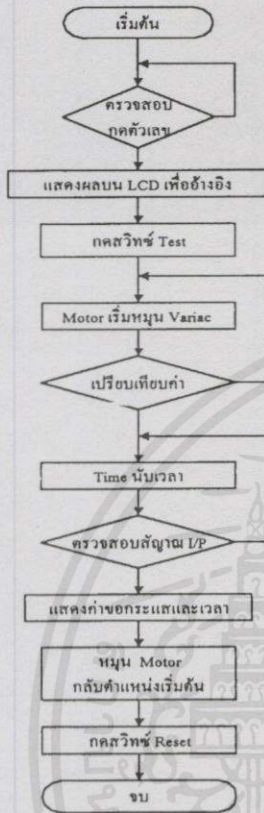
ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบในทุกส่วนและเป็นส่วนสำคัญ เพราะถ้าในส่วนของการควบคุมการทำงานผิดพลาด จะทำให้การทดสอบเกิดการผิดพลาด นั่นหมายความว่าอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวเครื่องและอุปกรณ์ที่นำมาใช้ทดสอบ สำหรับเครื่องทดสอบนี้ ได้ใช้ Micro Controller 8051 มาควบคุมการทำงานของเครื่องเพื่อใช้ในการประมวลผล Micro Controller 8051 จะคอยเข้ากับ ADC (Analog to Digital Converter) ที่คอยทำการแปลงสัญญาณ Analog ให้เป็นสัญญาณ Digital

3.2.3 การแสดงผล(Display)

ส่วนของการแสดงผล (Display) จะประกอบด้วย Ammeter และ Timer ในส่วนของ Ammeter จะแสดงผลของกระแสที่จะจ่ายให้กับโหลด ส่วน Timer จะแสดงเวลาการทำงานของรีเลย์ สำหรับในส่วนแสดงผลสถานะการทำงานของตัวเครื่องทดสอบ จะแสดงผลที่ LED ก็คือเมื่อหลอดสีแดง (H1) สว่างหมายถึงเครื่องทดสอบพร้อมที่จะทำงาน และเมื่อหลอดสีแดง (H1) คับดับเขียว (H2) สว่างหมายถึงเครื่องกำลังทำงาน สำหรับหลอดสีส้ม (H3) จะสว่างเมื่อเครื่องทดสอบได้รับสัญญาณ Close Contact จากตัวรีเลย์ และในส่วนของ Supply ที่จ่ายให้ชุดแสดงผลจะได้จากชุด Rectifier ที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเมื่อทำการจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบซึ่งสามารถแยกการทำงานของเครื่องได้ตาม Flowchart

การออกแบบชุดแสดงผลและชุดควบคุมMCS-8051ในงานนี้ได้ใช้ MCS-8051 มาเป็นตัวควบคุมการทำงานและแสดงผลซึ่งทำให้มีความสะดวกและง่ายต่อการออกแบบ การทำงานของเครื่องและวงจรของ Microcontroller ดังแสดงในรูปที่ 3

เครื่องทดสอบรีเลย์ชนิด 1 เฟส โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม



รูปที่ 3 Flow Chart การทำงานของเครื่องทดสอบ

4. ขั้นตอนการทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบรีเลย์ป้องกัน โดยใช้เครื่องทดสอบที่ได้ทำขึ้นมา ทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของรีเลย์ป้องกัน และขั้นตอนในการทดสอบรีเลย์ ป้องกันจะทำการทดสอบทีละเฟสเท่านั้น เพราะในความเป็นจริงนั้นเมื่อ รีเลย์ป้องกันทำงานเนื่องจากเกิดการผิดพลาดขึ้นในระบบที่เฟสหนึ่งเฟสใด นั้นย่อมหมายความว่ารีเลย์จะสั่งให้เกิดคัตคอนเปิดวงจรทั้ง 3 เฟส จะทำการ ทดสอบทางด้าน Secondary ของระบบ หรือทางด้าน Primary ของรีเลย์ ลักษณะการต่อเครื่องทดสอบรีเลย์แสดงดังรูปที่ 4

การทดสอบรีเลย์จะมีวิธีการปฏิบัติกันดังนี้คือ

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 4 พร้อมทั้งทำการต่อ Supply ให้กับรีเลย์ ป้องกันที่จะทำการทดสอบ

2. ทำการปรับค่า Parameter ต่าง ๆ ของรีเลย์ป้องกันเพื่อให้รีเลย์รับ รู้ถึงสถานะของตัวรีเลย์ป้องกัน

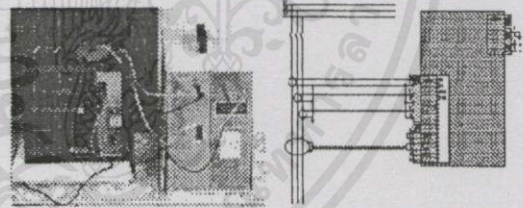
3. กดสวิทช์ S1 ให้อยู่ในตำแหน่ง ON เครื่องทดสอบหรือมือที่จะ ทำงานจากนั้นตั้งค่ากระแสที่จะป้อนให้รีเลย์ป้องกันที่ต้องการทดสอบ

4. ในการตั้งค่ากระแสเพื่อหาว่ากระแสที่ทำให้รีเลย์เริ่มทำงาน (Pick Up) ให้ตั้งสูงกว่าค่าที่คำนวณได้ประมาณ 5% เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของ เครื่องทดสอบสำหรับในการทดสอบหาค่ากระแสที่รีเลย์เริ่มทำงาน ส่วนค่า กระแสที่รีเลย์เริ่มทำงาน (Pick Up) สามารถดูค่าได้จากตัวรีเลย์ที่บันทึกค่า ไว้และนำค่าของกระแสที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า Pick Up ตาม Curve ของ รีเลย์ป้องกันว่ามีค่าใกล้เคียงหรืออยู่ในช่วง Pick Up ของรีเลย์ เพื่อใช้ในการ ตัดสินใจเลือกใช้รีเลย์

5. ถ้าการป้อนกระแสให้กับรีเลย์ป้องกัน แล้วทำให้รีเลย์ป้องกัน ทำงานก่อนช่วงของ Pick Up แสดงว่า รีเลย์ป้องกัน ทำงานผิดพลาด แต่อาจ เกิดจากการปรับค่าของกระแสที่จ่ายให้กับรีเลย์ป้องกัน ดังนั้นให้ปฏิบัติตาม ข้อ 4. อีกครั้ง ถ้ารีเลย์ป้องกันยังคงทำงานในช่วง Pick Up อีกครั้งก็สามารถ ตรูปได้ว่ารีเลย์ทำงานผิดพลาด ถ้าหากว่ารีเลย์ป้องกันทำงานในช่วง Pick Up ให้ทำการบันทึกค่าของกระแสของเครื่องทดสอบและค่าของกระแสที่ ทำให้รีเลย์ป้องกันทำงานจากตัวของรีเลย์

6. ให้ทำการ Switch Reset และปรับตั้งค่าของกระแสที่จะใช้ทำการ ทดสอบที่ค่าต่างๆ เมื่อปรับค่าของกระแสได้ตามที่ต้องการแล้วให้กด Switch Test เพื่อตั้งให้เครื่องทำงานจนกระทั่งรีเลย์ป้องกันทำงานเครื่อง ทดสอบก็จะหยุดทำงานแบบอัตโนมัติพร้อมแสดงค่าเวลาที่รีเลย์ทำงาน

7. บันทึกค่ากระแสและเวลาหลังจากที่รีเลย์ป้องกันทำงาน



รูปที่ 4 ลักษณะการต่อเครื่องทดสอบรีเลย์

4.2 ผลการทดสอบ

รายละเอียดของ Relay ที่ใช้ในการทดสอบ Relay Type : Sepam 2000 s25 LT ของบริษัท Merlin Gerin Serial No. :9517074 และในการ เปรียบเทียบผลจากการคำนวณสามารถพิจารณาจากสูตร[2]

$$t = T \times K \tag{1}$$

PW080

เครื่องทดสอบรีเลย์ชนิด 1 เฟส โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม

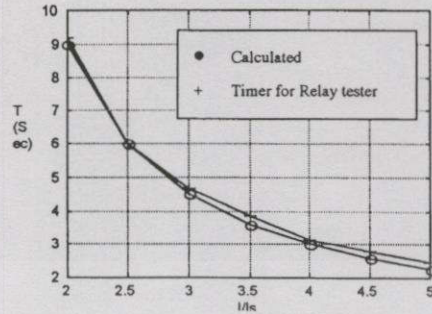
เมื่อ t = เวลาจากการคำนวณ

T = Time Setting

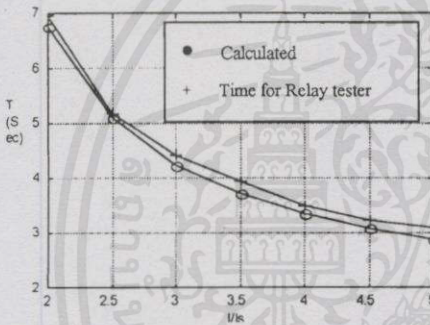
K = ค่าคงที่

ตารางที่ 1 IN: 100/5A.:STD Inv. Curve Function: Overcurrent Relay
Relay setting:100 A. Time:2 Second.

I/Is	Current injection (A)	Time for Relay Under Test (T1) Sec	Time for Relay Tester (T2) Sec	Calculated (Sec)
2	10	6.770	6.969	6.76
2.5	12.5	5.108	5.17	5.10
3	15	4.199	4.413	4.24
3.5	17.5	3.718	3.99	3.72
4	20	3.363	3.489	3.36
4.5	22.5	3.069	3.251	3.08
5	25	2.901	3.109	2.88



รูปที่ 6 ผลการทดสอบ Very inverse time curve (VIT)



รูปที่ 5 ผลการทดสอบ Standard inverse time curve (SIT)

ตารางที่ 2 IN:100/5A Curve:VIT Inv Function:Overcurrent Relay
Relay setting:100 A. Time: 1 Second.

I/Is	Current injection (A)	Time for Relay Under Tester (T1) Sec	Time for Relay Tester (T2) Sec	Calculated (Sec)
2	10	8.994	9.182	9.00
2.5	12.5	5.978	6.013	6.00
3	15	4.526	4.665	4.50
3.5	17.5	3.598	3.866	3.60
4	20	2.984	3.151	3.00
4.5	22.5	2.496	2.77	2.57
5	25	2.194	2.461	2.25

5. สรุปผลการทดสอบ

เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบโดยกรทำซ้ำและคิดค่าเฉลี่ยออกมาจะได้ค่า (T1) และ (T2) และค่าที่ได้จากการคำนวณ (Calculated) ซึ่ง (T1) เป็นผลของเครื่องทดสอบต้นแบบ (T2) เป็นผลที่ได้จากเครื่องที่จัดสร้างขึ้น ดังแสดงในตารางพบว่าค่าที่ได้จะใกล้เคียงกันในการทดสอบแต่ละ Curve และเมื่อพิจารณาของกระแสที่ใช้ในการทดสอบเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ ซึ่งในที่นี้จะผิดพลาดไป 0.2 % แต่ค่าที่อ่านได้ยังอยู่เป็นไปตามมาตรฐาน IEC-801A ในการทดสอบรีเลย์ป้องกันที่ผิดปกติของกระแสต่างๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณณฤนท โพธิ์เย็น คุณศุภนธ์ นพวิ คุณบรรเทา คงทน และบริษัท Schneider Group ที่ให้ความร่วมมือทางด้านเครื่องมือและเครื่องทดสอบ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] "MV Protection," Schneider Electric SA , F-38050 Grenoble Cedex 9 France .
- [2] "Protection and Control Sepam 20000," Schneider Electric SA ,F-38050 Grenoble Cedex 9 France.
- [3] Walter A.Elmore "Protective relaying theory and applications" ABB power T&D company, 1994.
- [3] จิวรัช ภูมิศร, "รีเลย์ป้องกันระบบไฟฟ้า," ตามคมต่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่4, มิถุนายน 2539
- [4] ศุเจนัน จันทรัมย์, "ไมโครคอนโทรลเลอร์ซีพียู 8051," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร,51 หน้า 1 กรุงเทพฯ.

ประวัติผู้เขียน

นายนราดล โชติวรรณพร เกิดเมื่อวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ.2513 ที่จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2538 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงและประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาไฟฟ้ากำลัง จากวิทยาลัยเทคนิคนครสวรรค์

ปี พ.ศ. 2534 ทำงานในตำแหน่งพนักงานประจำ ที่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ปี พ.ศ.2540 ทำงานในตำแหน่งอาจารย์ประจำ ที่ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร จนถึงปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้