

เครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับ
เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

AN INSTRUMENT FOR MEASURING CLOSING AND OPENING TIME
FOR CONTACTS OF HIGH VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS

ทศพร พรหมสิทธิ์
THODSAPORN PROMSIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-020-051

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**เครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับ
เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง**

**AN INSTRUMENT FOR MEASURING CLOSING AND OPENING TIME
FOR CONTACTS OF HIGH VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS**

ทศพร พรหมสิทธิ์

THODSAPORN PROMSIT

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... **82667**
วัน,เดือน,ปี... **2.1.0.ค. 2551**

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-020-351

**AN INSTRUMENT FOR MEASURING CLOSING AND OPENING TIME
FOR CONTACTS OF HIGH VOLTAGE CIRCUIT BREAKERS**

THODSAPORN PROMSIT

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2008

KMITL-2008-EN-M-020-351

COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKOT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง
นักศึกษา	นายทศพร พรหมสิทธิ์
รหัสประจำตัว	46060336
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำเสนอการออกแบบ และสร้างเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงตามมาตรฐาน IEC 62271-100 ควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ควบคุมระบบการทำงานและแสดงผลบนจอแอลซีดี อีกทั้งยังสามารถแสดงผลการทดสอบแบบกราฟิกด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในรูปแบบกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสกับเวลาตามมาตรฐานการทดสอบ ซึ่งผลการทดสอบเครื่องต้นแบบกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐานมีค่าผิดพลาดไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ และสามารถพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นใช้เองภายในประเทศทดแทนการนำเข้า อีกทั้งยังราคาถูกและมีการใช้งานที่สะดวก

Thesis Title	An Instrument for Measuring Closing and Opening Time for Contacts of High Voltage Circuit Breakers
Student	Mr. Thodsaporn Promsit
Student ID.	46060336
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Siriwat Potivejkul

ABSTRACT

This paper presents the design and construction of an instrument used in measuring closing and opening time of contractor of high voltage circuit breakers according to IEC 62271-100 standard. The MCS-51 microcontroller is employed in sending signal to control the closing - opening of the contactor, and in measuring the closing - opening time with an indication using the LCD. A computer graphic used interface is developed to show the relation between the movement of the contactors and the testing standard time. The developed instrument then is used to test high voltage circuit breakers with the percentage of error less than 2 %. Moreover, this instrument is affordable, convenient for using, and can be a implement of import devices.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอย่างสูงต่อท่าน รองศาสตราจารย์ ศิริวัฒน์ โภธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษา และแนะนำในการทำโครงการวิทยานิพนธ์รวมทั้งสั่งสอนมาตลอดเวลา ทำให้ผู้จัดทำมีความมานะพยายาม

ขอขอบคุณอาจารย์ที่มีส่วนร่วมทุกท่าน ผู้ซึ่งเสียสละเวลาอันมีค่าของท่านในการให้แนวทางการคิดและข้อแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณภาควิชาชีพวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และการไฟฟ้านครหลวง ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์รวมถึงเอกสารความรู้ทุกอย่าง

ขอบพระคุณต่อบุพการีเป็นอย่างสูงที่ได้เลี้ยงดูส่งเสียให้เล่าเรียน และขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ห้อง STAFF 2 ทุกคน ที่มีส่วนช่วยในการให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จ ลุล่วงด้วยดี

ทศพร พรหมสิทธิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 หน้าที่และการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	5
2.2.1 หน้าที่และการทำงาน.....	5
2.2.2 อินเตอร์ลักเตอร์.....	6
2.2.3 การดับอาร์ก.....	6
2.3 การแบ่งชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงตามพิกัดแรงดันไฟฟ้า.....	7
2.3.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงปานกลาง (Medium Voltage Circuit Breaker).....	7
2.3.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูง (High Voltage Circuit Breaker).....	7
2.4 ประเภทของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	7
2.4.1 แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ Air Circuit Breaker (ACB)	7
2.4.2 ออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์ Oil Circuit Breaker (OCB)	8
2.4.3 ก๊าซเซอร์กิตเบรกเกอร์ Gas Circuit Breaker (GCB)	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4 แวกคิวอัมเซอร์กิตเบรกเกอร์ Vacuum Circuit Breaker (VCB).....	11
2.5 ชนิดของกลไกควบคุมสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	12
2.6 ข้อกำหนดการทดสอบวัดช่วงเวลาปิด และเปิดหน้าสัมผัสตามมาตรฐาน IEC 62271-100.....	14
2.6.1 การวัดช่วงเวลาปิดหน้าสัมผัส (IEC62271-100 3.7.136).....	14
2.6.2 การวัดช่วงเวลาเปิดหน้าสัมผัส (IEC62271-100 3.7.133).....	14
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	15
2.8 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ของคอมพิวเตอร์.....	17
2.9 การทดสอบกับเครื่องทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์มาตรฐาน.....	17
2.10 การคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.).....	18
2.11 การคำนวณหาค่าเฉลี่ย.....	18
บทที่ 3 การออกแบบและสร้าง.....	19
3.1 บทนำ.....	19
3.1.1 การกำหนดพิกัดของเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสของ เซอร์กิตเบรกเกอร์.....	19
3.1.2 การกำหนดหลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิด หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์.....	20
3.2 การออกแบบส่วนประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.....	20
3.2.1 ไคอะแกรมการทำงานของโปรแกรมประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์...	20
3.2.2 วงจรสั่งเปิดและปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	22
3.2.3 วงจรตรวจวัดสัญญาณเปิดและปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง...	22
3.2.4 วงจรแปลงระดับสัญญาณการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์.....	23
3.2.5 ส่วนของการแสดงผล.....	24
3.2.6 ส่วนควบคุมการทำงานหลัก.....	24
3.2.7 วงจรหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล.....	25
3.3 ลักษณะโครงสร้างของเครื่องทดสอบ.....	27
3.3.1 อุปกรณ์ภายในเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ไฟฟ้าแรงสูง.....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 โปรแกรมย่อยการแสดงผลทางหน้าจอ LCD.....	31
3.4 การตรวจสอบเครื่องตรวจวัด.....	31
3.5 บทสรุป.....	32
บทที่ 4 การออกแบบโปรแกรมจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล.....	33
4.1 บทนำ.....	33
4.2 การติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	33
4.2.1 การคำนวณอัตราการส่งถ่ายข้อมูลกับคอมพิวเตอร์.....	34
4.2.2 การกำหนดข้อมูลในการรับส่งผ่านพอร์ตอนุกรม.....	34
4.3 โครงสร้างของโปรแกรมจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล.....	35
4.4 โปรแกรมจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล.....	36
4.5 บทสรุป.....	40
บทที่ 5 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล.....	41
5.1 บทนำ.....	41
5.2 การเตรียมห้องทดสอบ.....	41
5.3 การทดสอบตรวจวัดช่วงเวลาปิดและปิดหน้าสัมผัสกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ ไฟฟ้าแรงสูง.....	41
5.4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล.....	42
5.5 สรุปผล.....	50
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	52
6.1 การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบ.....	52
6.2 โปรแกรมบันทึกผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบ.....	53
6.3 การทดสอบกับเครื่องทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์มาตรฐาน.....	53
6.4 สรุปพิถักข์ของเครื่องตรวจวัด.....	54
6.5 ข้อเสนอแนะ.....	55

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	56
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ.....	58
ภาคผนวก ข. โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมเครื่องทดสอบ.....	61
ภาคผนวก ค. โปรแกรมบันทึกข้อมูลเครื่องทดสอบ.....	82
ภาคผนวก ง. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	96

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ชนิดกลไกควบคุมสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	12
2.2 รายละเอียดคอนเน็กเตอร์แบบ DB9 ตามมาตรฐาน RS-232.....	17
5.1 ผลการทดสอบช่วงเวลาการปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ ABB รุ่น SACE SFAS.....	43
5.2 ผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างเครื่องที่จัดสร้างเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐาน.....	43
5.3 ผลการทดสอบช่วงเวลาการเปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ ABB รุ่น SACE SFAS....	45
5.4 ผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างเครื่องที่จัดสร้างเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐาน.....	45
5.5 ผลการทดสอบช่วงเวลาการปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ AEG รุ่น CRR1000.....	47
5.6 ผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างเครื่องที่จัดสร้างเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐาน.....	47
5.7 ผลการทดสอบช่วงเวลาการเปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ AEG รุ่น CRR1000.....	49
5.8 ผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างเครื่องที่จัดสร้างเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐาน.....	49
6.1 พิกัดของเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	54

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	1
2.1 Air Circuit Breaker Merlin Gerin รุ่น 3-LV.....	7
2.2 Oil Circuit Breaker.....	8
2.3 Minimum Oil Circuit Breaker.....	9
2.4 GCB ชนิด Live Tank.....	10
2.5 GCB แบบ Dead Tank.....	10
2.6 Vacuum Circuit Breaker.....	12
2.7 กลไกควบคุมการเปิดและปิดหน้าสัมผัส แบบ Spring ยี่ห้อ ABB รุ่น FSA.....	13
2.8 กลไกควบคุมการเปิดและปิดหน้าสัมผัส แบบ Pneumatic ยี่ห้อ Siemens รุ่น SA7.....	13
2.9 กลไกควบคุมการเปิดและปิดหน้าสัมผัส แบบ Hydraulic ยี่ห้อ McGraw Edison รุ่น OA3	14
2.10 การวัดช่วงเวลาการปิดหน้าสัมผัส.....	15
2.11 การวัดช่วงเวลาการเปิดหน้าสัมผัส.....	15
2.12 ไดอะแกรมโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	16
3.1 ไดอะแกรมส่วนประกอบของเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสของ เซอร์กิตเบรกเกอร์.....	19
3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.....	21
3.3 วงจรส่งสัญญาณควบคุมการเปิดและปิดกลไก (ก) วงจรส่งเปิดหน้าสัมผัส และ (ข) วงจรส่งปิดหน้าสัมผัส.....	22
3.4 วงจรตรวจวัดสัญญาณหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง 3 เฟส.....	23
3.5 วงจรแปลงระดับสัญญาณสื่อสารกับคอมพิวเตอร์.....	23
3.6 วงจรควบคุมการแสดงผลบนจอ LCD.....	24
3.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนควบคุมการทำงานหลัก.....	24
3.8 วงจรหน่วยความจำ.....	25
3.9 วงจรตรวจวัดสัญญาณเปิดและปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	25
3.10 วงจรจำลองการทำงานของระบบ.....	26
3.11 วงจรหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล.....	26
3.12 วงจรควบคุมการปิดและเปิดหน้าสัมผัส.....	27
3.13 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	27
3.14 ลักษณะโครงสร้างเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์.....	27

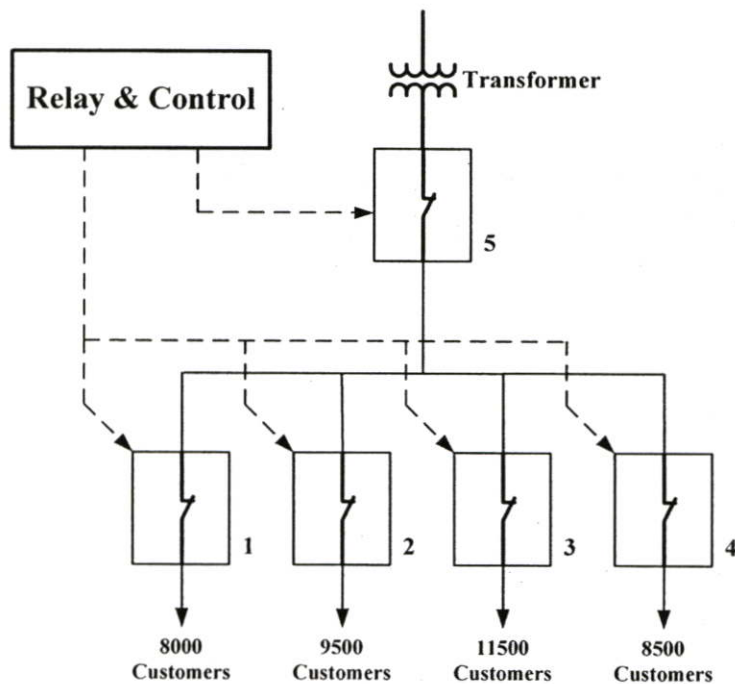
สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 ลักษณะเครื่องทดสอบจริงที่จัดสร้าง (ก) การจัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ลงในเครื่องทดสอบ, (ข) แสดงการจัดวางของเครื่อง ทดสอบ.....	28
3.16 ผลการทดสอบ (ก) ผลการทดสอบเปิดหน้าสัมผัส 3 เฟส, (ข) ผลการทดสอบปิดหน้าสัมผัส 3 เฟส.....	28
3.17 สัญญาณการปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	29
3.18 สัญญาณการเปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	30
3.19 สัญญาณแสดงความเร็วในการตรวจวัดทุกๆ 100 ไมโครวินาที.....	30
3.20 สัญญาณแสดงการตรวจจับสัญญาณ 300 มิลลิวินาที.....	31
4.1 การเชื่อมต่อกับเครื่องทดสอบเพื่อจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	33
4.2 โพลีชาร์ตการทำงานของโปรแกรมจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล.....	35
4.3 หน้าต่างการจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล (Graph).....	36
4.4 หน้าต่างแสดงค่าข้อมูลที่ทำการบินที่กจากเครื่องทดสอบทั้งสามเฟส (Data).....	37
4.5 หน้าต่างการเปรียบเทียบข้อมูลและแสดงผล (Compare).....	37
4.6 การแสดงผลแบบกราฟิกการทดสอบแบบปิดหน้าสัมผัส.....	38
4.7 การแสดงผลแบบกราฟิกการทดสอบแบบเปิดหน้าสัมผัส.....	38
4.8 การเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบกราฟิกแบบปิดหน้าสัมผัส.....	39
4.9 การเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบกราฟิกแบบเปิดหน้าสัมผัส.....	39
5.1 การทดสอบ (ก) ก๊าซเซอร์กิตเบรกเกอร์ ABB รุ่น SACE SFAS และ (ข) แวกคิวเอ็มเซอร์ กิตเบรกเกอร์ AEG รุ่น CRR1000.....	42
5.2 กราฟค่าเฉลี่ยการทดสอบการปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	44
5.3 กราฟค่าเฉลี่ยการทดสอบการเปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	46
5.4 กราฟค่าเฉลี่ยการทดสอบการปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	48
5.5 กราฟค่าเฉลี่ยการทดสอบการเปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง.....	50
6.1 เครื่องตรวจวัดช่วงเวลาปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง	54

บทที่ 1

บทนำ

เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่มีความสำคัญมากในระบบไฟฟ้ากำลังไม่น้อยไปกว่าอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถทำงานได้ตามคุณสมบัติ จะทำให้เกิดความเสียหายเป็นวงกว้าง เช่น ในกรณีสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดฟอลต์ ส่งมาถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกัน และไม่สามารถเปิดหน้าสัมผัสได้ภายในเวลาหรือเปิดหน้าสัมผัสได้ไม่ครบทุกเฟส จะทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันตัวถัดไปทำงาน ซึ่งจะทำให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นวงกว้างขึ้น เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ เซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องปลดหน้าสัมผัสออกให้เร็วที่สุด และการเกิดฟอลต์จะส่งผลให้เกิดความเสียหายกับเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยตรงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความรุนแรงของฟอลต์ในแต่ละครั้ง ซึ่งความเสียหายส่วนใหญ่จะเกิดที่หน้าสัมผัส และชุดแมคคานิค ส่งผลให้ความสามารถในการเปิด และปิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ผิดปกติไป ดังนั้น การวางแผนการบำรุงรักษา และซ่อมบำรุงจะต้องทำการตรวจวัดเวลาการเปิด และปิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์อย่างสม่ำเสมอ เช่น รูปที่ 1.1 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ในกรณีที่เกิดความผิดปกติกับโซนที่เซอร์กิตเบรกเกอร์หมายเลข 4 ชุดรีเลย์ควบคุมต้องสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์หมายเลข 4 เปิดวงจรออกให้เร็วที่สุด แต่ถ้าไม่สามารถเปิดวงจรออกได้ภายในเวลาที่กำหนด ชุดรีเลย์ควบคุมจะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์หมายเลข 5 เปิดวงจรแทน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเสียหายเป็นวงกว้างขึ้น [4-7]



รูปที่ 1.1 การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงจำเป็นที่จะต้องมีการทดสอบที่มีความแม่นยำในการทดสอบ เนื่องจากหากเครื่องทดสอบไม่มีความแม่นยำเพียงพอจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์อันอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายกับระบบไฟฟ้าทั้งระบบได้ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์ในเรื่องของการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจวัดเวลาการเปิดและปิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ตามมาตรฐาน IEC 62271-100 โดยควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะทำการทดสอบตามมาตรฐานเซอร์กิตเบรกเกอร์นั้นๆ ในการทดสอบหัวข้อต่างๆ ของแต่ละมาตรฐานจะมีขั้นตอนและวิธีการทดสอบที่แตกต่างกันไป ซึ่งอาจต้องอาศัยอุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่างๆ ค่อนข้างมากในการทดสอบ จึงทำให้เกิดความยุ่งยากและต้องอาศัยผู้ที่มีประสบการณ์ในการทดสอบเพื่อควบคุมการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งปัญหาต่างๆ เหล่านี้จะมีผลกระทบต่อเครื่องมือวัดจึงทำให้ผลการทดสอบได้ค่าที่ไม่ถูกต้อง รวมทั้งผู้ทดสอบนั้นยังขาดความเข้าใจเกี่ยวกับการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ จึงทำให้ไม่ทราบว่าค่าที่ได้นั้นมีความถูกต้องหรือไม่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบและจัดสร้างเครื่องทดสอบการเปิดและปิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติ และควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นในการทดสอบได้ตลอดระยะเวลา สามารถแสดงผลการทดสอบที่ได้ออกมาในรูปแบบกราฟที่ชัดเจน และลดต้นทุนการผลิตที่สูงหรือการนำเข้าอุปกรณ์การทดสอบ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อแนวทางการทดสอบให้กับกรไฟฟ้าและภาคอุตสาหกรรมต่อไปในอนาคต

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

จุดมุ่งหมายในการทำวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการออกแบบและจัดสร้างเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการเปิดและปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ตามมาตรฐาน IEC 62271-100 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีวัตถุประสงค์หลักดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาขั้นตอนและวิธีการทดสอบในหัวข้อการทดสอบช่วงเวลาการเปิดและปิดหน้าสัมผัส ตามมาตรฐาน IEC 62271-100 รวมทั้งศึกษาปัญหาและเทคนิคต่างๆ และการควบคุมการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน
2. ออกแบบและสร้างชุดทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงขึ้นใช้เองภายในประเทศที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำ
3. เพื่อเป็นการพัฒนาเทคโนโลยีขึ้นใช้เองภายในประเทศ
4. สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการทดสอบได้ง่าย และผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญในการทดสอบก็สามารถใช้เครื่องทดสอบได้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ตั้งสมมติฐานของการศึกษาโดยจะแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อ คือ

1. การศึกษาทฤษฎีมาตรฐานการทดสอบช่วงเวลาการปิด และเปิดหน้าสัมผัส ตามมาตรฐาน IEC 62271-100 โดยมีการควบคุมเงื่อนไขและอุปกรณ์ในการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐาน
2. การศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบลักษณะต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาปัจจัยต่างๆ
3. การควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาช่วยในการควบคุมการทำงาน และการตรวจวัด ซึ่งมีความแม่นยำสูงขึ้น สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานได้ง่ายมากขึ้น
4. การนำคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมาช่วยในการบันทึกผลช่วยลดความผิดพลาดในการจดบันทึกผลการทดสอบจากคน และผลที่ได้ในแต่ละครั้งยังสามารถนำมาเปรียบเทียบการทำงานในแต่ละครั้งได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการสร้างเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิด และเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงตามมาตรฐาน IEC 62271-100 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาช่วยในการควบคุมกระบวนการทดสอบ และการตรวจวัดให้มีความแม่นยำ โดยแสดงผลการตรวจวัดที่จอ LCD (Liquid Crystal Display) ซึ่งเครื่องทดสอบที่จัดสร้างสามารถควบคุมการทำงานที่ตัวเครื่องเองได้ และสามารถใส่โปรแกรมบันทึกข้อมูลจากเครื่องทดสอบเก็บไว้เป็นข้อมูลไว้ใช้ภายนอก, สามารถนำข้อมูลที่บันทึกไว้ในอดีตและปัจจุบันมาเปรียบเทียบ เพื่อวางแผนการซ่อมบำรุงต่อไป [8, 9], [15]

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แบ่งขอบเขตของงานวิจัยเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

1. จัดสร้างเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิด และเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ตามมาตรฐาน IEC 62271-100 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงาน
2. เขียนโปรแกรมบันทึกข้อมูลและเปรียบเทียบผลการทำงานจากเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิด และเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง
3. ทำการทดสอบเปรียบเทียบเครื่องต้นแบบกับเครื่องมาตรฐานที่นำเข้าจากต่างประเทศ

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นงานวิจัยใหม่โดยนำหลักการทำงานของเครื่องทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมาเป็นแนวทางในการจัดสร้างเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงขึ้นมาใหม่และได้เพิ่มเติมรูปแบบการใช้งาน, การบันทึกผลการทดสอบ และการเปรียบเทียบข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาและจัดสร้างเครื่องทดสอบดังนี้

1. ศึกษามาตรฐานการทดสอบของการปิด และเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ตามมาตรฐาน IEC 62271-100 รวมทั้งข้อกำหนดของ MEA.
2. ศึกษาการทำงานของเครื่องทดสอบที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ
3. ออกแบบและจัดสร้างเครื่องทดสอบที่ควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์
4. เขียนโปรแกรมบันทึกข้อมูล และเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากเครื่องทดสอบที่จัดสร้าง
5. ทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ
6. ปรับปรุง และแก้ไขและส่วนต่างๆ เพื่อให้การทดสอบให้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ
7. สรุปผลและวิเคราะห์ผล

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1. ทราบถึงมาตรฐาน ขั้นตอนและวิธีการทดสอบช่วงเวลาการปิด และเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ตามมาตรฐาน IEC 62271-100
2. ทราบถึงปัญหา และเทคนิคต่างๆ ในการทดสอบและแนวทางการแก้ไข
3. สามารถสร้างชุดทดสอบให้มีราคาถูก สะดวกต่อการนำไปใช้งาน และเป็นเครื่องที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงกับภาคอุตสาหกรรม
4. ลดการนำเข้าเครื่องทดสอบจากต่างประเทศที่มีราคาแพง

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 บทนำ

ระบบไฟฟ้าแรงสูงนั้นยิ่งแรงดันสูงมากเท่าใดก็ยิ่งมีความอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินสูงมากเท่านั้น การปลดวงจรไฟฟ้าออกจากระบบในขณะที่มีกระแสจำนวนมากไหลอยู่ จะมีเปลวอาร์กเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสทั้งสอง ความรุนแรงของการอาร์กจะขึ้นอยู่กับกระแสที่ไหลอยู่ในวงจร ถ้าใช้สวิตช์ธรรมดาปลดวงจรแล้วความร้อนที่เกิดจากการอาร์กจะทำให้ขาสวิตช์ หรือหน้าสัมผัสใหม่เสียหายอาจทั้งเป็นอันตรายแก่บุคคลที่ปลดสวิตช์นั้นได้ ฉะนั้นถ้าต้องการปลดวงจรในลักษณะเช่นนี้ต้องเลือกใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงมาใช้แทน ทั้งนี้เพราะว่าเป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีการออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบขึ้นมาเป็นพิเศษ เพื่อทำการดับอาร์กในเวลาสั้นที่สุด นอกจากการใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อปลดสับหรือสับในสภาพไฟฟ้าปกติแล้วประโยชน์อันสำคัญยิ่งก็คือการทริป เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบไฟฟ้ากระแสฟอลต์จะมีค่าสูงเป็นหลายเท่าตัวของกระแสใช้งานปกติ เกิดการอาร์กที่หน้าสัมผัสรุนแรงมากขึ้น ในขณะเดียวกันการที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงจะทริปได้ จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์อื่นประกอบให้เบรกเกอร์ทำงานแบบอัตโนมัติ อีกทั้งเมื่อฟอลต์ผ่านพ้นไปแล้วเบรกเกอร์จะถูกสั่งให้ทำซ้ำเข้าไปใหม่เช่นกัน เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าต่อไปดังเดิม [10, 11], [13]

2.2 หน้าที่และการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง คือ อุปกรณ์ที่ใช้ตัดกระแสโหลด หรือกระแสที่มีค่าสูงที่เกิดขึ้นจากการลัดวงจรได้ในเวลาที่เหมาะสมและทันเวลาก่อนที่จะเกิดผลเสียหายตามมาจนเป็นอันตรายกับคน หรือ อุปกรณ์อื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียง อุปกรณ์นี้จึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในสถานี

2.2.1 หน้าที่และการใช้งาน

เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กลไกเคลื่อนที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้าสามารถต่อและให้กระแสไหลผ่านในเวลาที่กำหนด และตัดกระแสในขณะที่เกิดสิ่งผิดปกติ เช่น เกิดลัดวงจร ฉะนั้นจึงกำหนดหน้าที่ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในสภาพที่กระแสที่ไหลผ่านทั้งในขณะที่ระบบมีสภาพปกติและเกิดผิดปกติ การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในขณะที่ระบบมีลัดวงจรเกิดขึ้นเป็นหน้าที่หลัก แม้ว่าตลอดอายุการใช้งานจริงอาจจะทำหน้าที่หลักนี้น้อยครั้ง และกระแสลัดวงจรที่ตัดอาจจะไม่เท่ากับค่าพิกัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ แต่อย่างไรก็ตามเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็ต้องมีการทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถเซอร์กิตเบรกเกอร์รุ่นใหม่ๆ จะมีคุณภาพที่ดีขึ้น เมื่อทำงานจะไม่

ก่อให้เกิดปัญหา หรือเกิดน้อยที่สุดกับระบบ หรือไม่ทำให้อุปกรณ์อื่นๆ ที่อยู่ใกล้เคียงเกิดความเสียหาย วงจรที่ใช้งานเป็นหลักในระบบต้องการ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ทำงานเร็วจะไม่ทำให้เกิด โอเวอร์โวลต์เตจสูงเกินไป และสามารถทำงานได้หลายครั้งอย่างมั่นใจ

2.2.2 อินเตอร์รัพเตอร์

กระแสขณะอินเตอร์รัพเตอร์ หรือกระแสขณะตัดวงจร ในขณะที่ระบบไฟฟ้าเกิดสถานะ โหลดเกินหรือลัดวงจร รีเลย์จะสั่งให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทริป ในขณะที่หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์กำลังแยกออกจากกัน จะทำให้เปลวอาร์กกระแส โดคข้างช่องว่างระหว่างหน้าสัมผัส ความรุนแรงของการอาร์กจะขึ้นอยู่กับกระแสฟลัดต์เล็กน้อยเพียงใด ในขณะที่หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์เริ่มแยกออกจากกัน ความต้านทานหน้าสัมผัสทั้งสองจะเพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นอันเนื่องมาจากกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (I^2R) อุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระและไอออนถูกดึงหลุดออกจากหน้าสัมผัสทั้งสอง ทำให้เกิดไอออนในช่องว่างหน้าสัมผัสทั้งสอง กระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านหน้าสัมผัสต่อไปได้ และจะเกิดประกายไฟระหว่างหน้าสัมผัสทั้งสอง เรียกว่า อาร์ก การเกิดอาร์กจะประกอบด้วย ไอออน อิเล็กตรอน และส่วนผสมของก๊าซ ทำให้มีความร้อนสูงประมาณ 5000 – 8000 K หรือเรียกว่า พลาสมา และจะมีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าที่ดี ทำให้อาร์กยิ่งเดินได้สะดวกและเพิ่มความรุนแรงมากขึ้น เซอร์กิตเบรกเกอร์จึงต้องการออกแบบให้สามารถดับอาร์กได้รวดเร็วภายในเวลาไม่เกิน 8 ไซเคิลหรือ 0.16 วินาทีหลังจากลัดวงจร แต่ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถดับอาร์กได้ในเวลาที่กำหนด การระเบิดเสียหายจะเกิดขึ้นทันที ดังนั้น เซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องมีอินเตอร์รัพเตอร์ เพื่อทำให้เปลวอาร์กดับลงนั่นเอง

2.2.3 การดับอาร์ก

วิธีการดับอาร์กมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน และแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างกระแสตรงและกระแสสลับ การดับอาร์กไฟฟ้ากระแสสลับนั้นง่ายกว่ากระแสตรง เพราะกระแสสลับจะผ่านศูนย์สองครั้งในหนึ่งไซเคิล ส่วนกระแสตรงนั้นจะคงที่ตลอดเวลา คือไม่มีกระแสไหลลงสู่ศูนย์ ฉะนั้นการดับอาร์กสำหรับกระแสตรงนั้น จึงต้องพยายามลดกระแสให้ลดต่ำลงที่สุด โดยการเพิ่มความต้านทานไฟฟ้าให้สูงขึ้นโดยการทำให้อาร์กมีระยะเวลาความยาวมากขึ้น สำหรับการตัดกระแสอาร์กของไฟฟ้ากระแสสลับจะต้องป้องกันไม่ให้กระแสไหลได้อีกในขณะที่ผ่านศูนย์ไป และต้องให้อัตราการคืนสภาพของความคงทนได้อิเล็กตริกนั้นสูงกว่าแรงดันพื้นตัวของระบบ จึงจะดับอาร์กได้สำเร็จ แต่ถ้ากระแสลดลงผ่านศูนย์ไปแล้วยังไม่สามารถดับอาร์กได้ ก็จะทำให้แรงดันของอาร์กสูงขึ้นทันทีเรียกว่า แรงดันกลับคืน (Restriking Voltage)

2.3 การแบ่งชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงตามพิกัดแรงดันไฟฟ้า

เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงจำแนกตามพิกัดแรงดันไฟฟ้าดังนี้

2.3.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงปานกลาง (Medium Voltage Circuit Breaker)

คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้กับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับตั้งแต่ 1.5 kV – 34.5 kV

2.3.2 เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูง (High Voltage Circuit Breaker)

คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้กับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับตั้งแต่ 34.5 kV ขึ้นไป

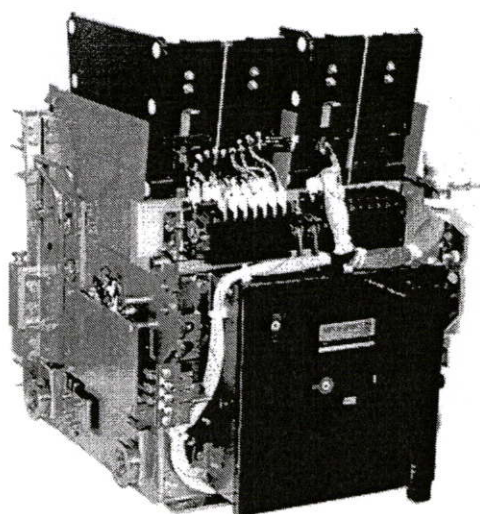
อนึ่งเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้กับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับตั้งแต่ 1.5 kV ขึ้นไป คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูงปานกลาง และ เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูง จึงถูกเรียกรวมๆว่า เพาเวอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์แรงสูง (High Voltage Power Circuit Breaker) [10]

2.4 ประเภทของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงนั้น จะเรียกชื่อประเภทตามตัวกลางที่ใช้ในการดับอาร์ก ซึ่งในปัจจุบันนี้มีอยู่ 4 แบบ คือ [10, 11]

2.4.1 แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ Air Circuit Breaker (ACB)

เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดตัดวงจรระบบอากาศมักติดตั้งภายในอาคาร โดยอาศัยอากาศเป็นตัวดับอาร์กที่เกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยปกติจะใช้กับระบบไฟฟ้าที่มีแรงเคลื่อนตั้งแต่ 2,400 ถึง 34,500 โวลท์ ส่วนประกอบต่างๆของเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้จะมีการปกปิดตัวหุ้มเป็นอย่างดีเพื่อไม่ให้มีส่วนที่เป็นอันตรายส่งผลแก่ผู้ใช้ได้

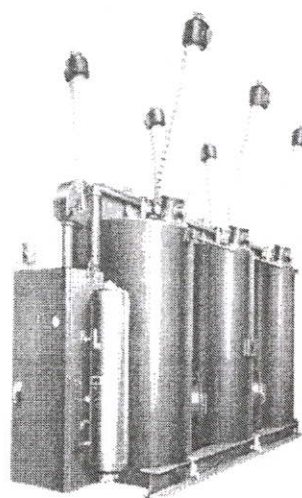
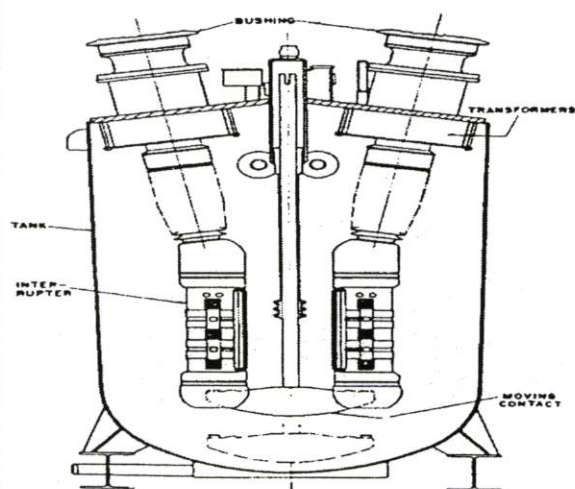


รูปที่ 2.1 Air Circuit Breaker Merlin Gerin รุ่น 3-LV

2.4.2 ออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์ Oil Circuit Breaker (OCB)

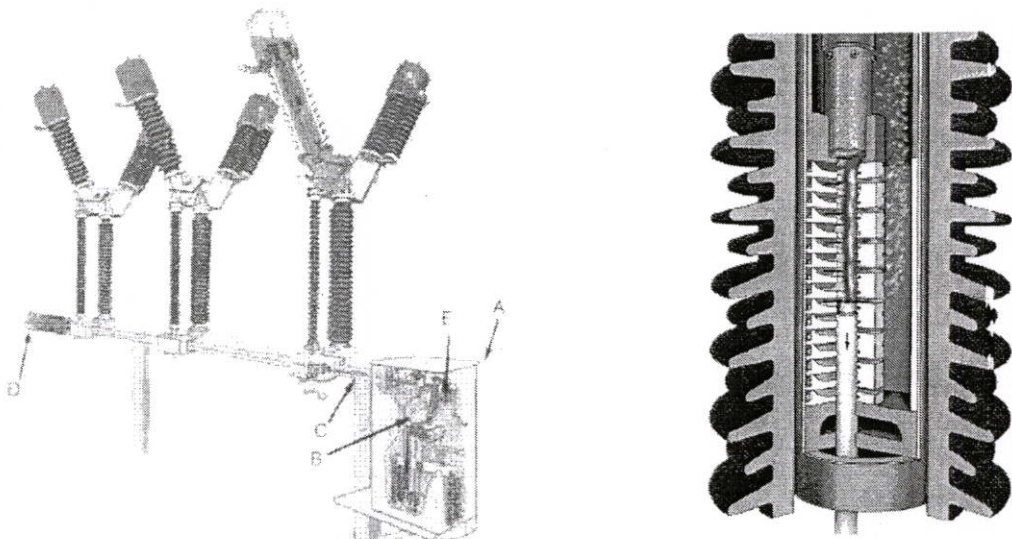
ออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์ใช้น้ำมันเรียกว่า insulating mineral oil เป็นฉนวนผลิตจาก petroleum แบ่งเป็นสองแบบ คือแบบ bulk oil type ใช้น้ำมันจำนวนมากใส่ในห้องดับอาร์ก (arcing chamber) ไว้ในถังเหล็กเรียกว่า dead tank และแบบ minimum oil type ใช้น้ำมันน้อยกว่าใส่ใน arcing chamber ไว้ใน porcelain ตั้งอยู่บน support insulator เรียกว่า live tank type

ในปัจจุบันแทบไม่มีการผลิตเพื่อใช้ในระดับแรงดันสูงกว่า 69 kV อาร์กที่เกิดใน insulated pressure chamber จากการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสในขณะที่หน้าสัมผัสเริ่มเคลื่อนที่จากกัน น้ำมันในห้องดับอาร์กยังมีอุณหภูมิและความดันปกติ เมื่อเริ่มมีช่องว่างจะเกิดการอาร์ก และความร้อนที่ทำให้ให้น้ำมันบริเวณนั้นแตกตัว (vaporize) เกิดความดันขึ้นในห้องดับอาร์ก เมื่อหน้าสัมผัสเคลื่อนที่จะเปิดช่องระบายด้านข้างในห้องที่วางเรียงตัวแถว เมื่อหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ผ่านช่องระบายจะเหมือนกับการระบายความดันทำให้เกิดแตกกระจายของก๊าซ และน้ำมัน ซึ่งเป็นการเอาพลังงานออกจากการอาร์ก และบังคับให้บางส่วนของอาร์กยาวขึ้นเข้าไปในช่องระบายอาร์กก็จะยาวขึ้น ในกรณีที่ minimum oil breaker ตัดกระแสสูงที่แรงดันสูงจะมีการออกแบบให้มีลักษณะเป็น oil pump ในขณะที่หน้าสัมผัสเคลื่อนที่แยกจากกัน คือ ฉีดน้ำมันเข้าไปในช่องระบาย เพื่อเร่งระบายความร้อนออกจากการอาร์ก bulk oil breaker อาจจะมีหน้าสัมผัสและช่องระบายหนึ่งหรือสองชุดต่อเฟส และอาจจะอยู่ในถังเดียวกัน โดยมี แผ่นกั้น (barrier) ระหว่างเฟสหรือแยกถังออกเป็นแต่ละเฟส



รูปที่ 2.2 Oil Circuit Breaker

Minimum oil breaker อาจใช้ interrupter unit มาต่ออนุกรมกันภายนอก เพื่อให้แต่ละช่องระบายแบ่งแรงดันเท่าๆ กัน



รูปที่ 2.3 Minimum Oil Circuit Breaker

หน้าสัมผัสที่ใช้ต่อหรือแยกวงจรจะมีอยู่ 2 ส่วน คือ หน้าสัมผัสอยู่กับที่ (fixed contact) และหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ (moving contact) ส่วนที่เป็นหน้าสัมผัสอยู่กับที่จะมีส่วนปลายเป็นทองแดงที่เป็นชั้นๆ ประกอบกันเป็นก้อนมีรูอยู่ตรงกลางเพื่อให้หน้าสัมผัสเคลื่อนที่เสียบเข้าได้ และส่วนที่เป็นทองแดงชั้นๆ จะรัศมีอยู่ที่ส่วนปลายของหน้าสัมผัสเคลื่อนที่ที่ปลายของซี่ทองแดงบางซี่จะยาวกว่าและทำด้วย copper tungsten alloy ทำหน้าที่เป็น arcing contact เพื่อตัดอาร์ก (breaking) ตอนที่กระแสจะดับขณะเปิดหน้าสัมผัสและจะต่อกระแส (making) ก่อนขึ้นอีกตอน close ส่วนหน้าสัมผัสเคลื่อนที่นั้นที่ปลายจะเป็น alloy เช่นเดียวกัน เพราะเมื่อเกิดการอาร์กบริเวณนั้นจะเกิดการสึกกร่อนน้อย

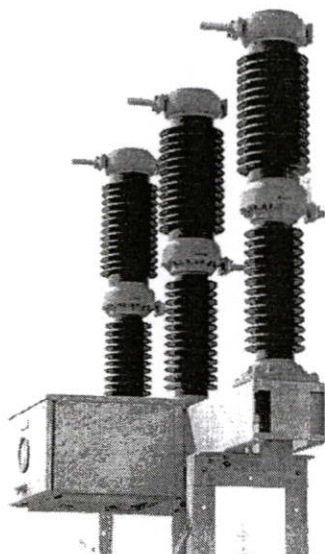
เวลาที่ใช้ในการดับกระแส (interrupting time) จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ

$30 \text{ ms opening time} + 25 \text{ ms arcing time} = 55 \text{ ms}$ ประมาณ 3 cycles

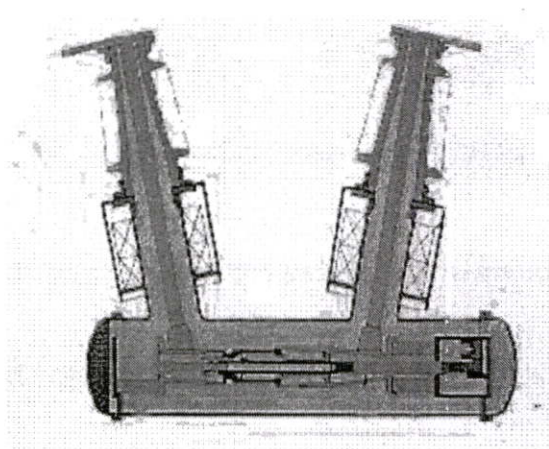
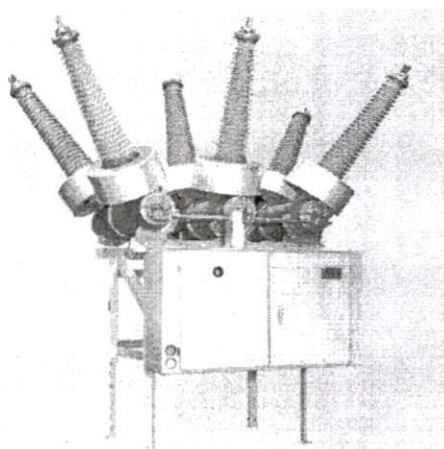
2.4.3 ก๊าซเซอร์กิตเบรกเกอร์ Gas Circuit Breaker (GCB)

หลักการดับอาร์กของ gas blast breaker คือ การดึงเอาพลังงานของการอาร์กด้วยการใช้ก๊าซไม่มีการทำให้อาร์กเปลี่ยนรูปร่างหรือทำให้ยาวขึ้นเช่นเดียวกับออยล์เซอร์กิตเบรกเกอร์ การทำความเย็นใช้วิธีฉีดพ่นก๊าซไปตามแนวแกนของการเกิดอาร์กทำให้ล้อมลำอาร์กที่มีอุณหภูมิสูงไว้ด้วยก๊าซที่เย็นกว่าและวิ่งผ่านผิวของลำอาร์ก ความเร็วของ ionized gas ที่ร้อนและประกอบเป็นลำอาร์กจะเร็วกว่า cooling ก๊าซที่ไหลผ่านผิว ทำให้ระบายความร้อนได้ดี ประกอบกับลำอาร์กเริ่มเกิดขึ้นในกระบอกที่ทำหน้าที่เหมือนหัวฉีด (nozzle) ทำให้มีความเร็วของก๊าซพุ่งออกไปตามลำของอาร์ก ส่วนที่สำคัญของ gas blast breaker คือ ฉนวนที่เป็นตัวระบายความร้อนทั้งปริมาณและความดันของก๊าซที่ฉีด

Gas blast แบ่งเป็นชนิด dead tank และ live tank มีฉนวนที่ใช้สองชนิดคือ อากาศ (air) และ SF₆ Gas และใช้อินเตอร์รัพเตอร์มาต่อกันเพื่อเพิ่ม breaking capacity



รูปที่ 2.4 GCB ชนิด Live Tank



รูปที่ 2.5 GCB แบบ Dead Tank

ในปัจจุบัน air blast breaker ไม่มีการผลิตเพื่อใช้กับแรงดันสูงๆแล้ว การทำงานจะใช้ อากาศเป็นฉนวน โดยอัดอากาศให้มีความดันสูง อาจสูงถึงระดับ 30 kg/cm² ซึ่งไม่เป็นพิษต่อ สิ่งแวดล้อม ส่วนประกอบต่างๆ ต้องออกแบบให้ทนความดันสูง หลักการทำงาน คือปล่อยให้พ่น ฉนวนอากาศออกมาภายนอก ฉะนั้นระบบวาล์วเป็นส่วนที่สำคัญต่อเวลาที่ใช้ในการตัดกระแส อาจ มี interrupting time ต่ำกว่า หนึ่งไมโครวินาที (20 ms) และสามารถตัดกระแสสูงได้ เช่น air blast breaker สำหรับระบบ 11-15 kV

SF₆ breaker ที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ใช้ SF₆ Gas ที่มีคุณสมบัติการเป็นฉนวนที่ดีกว่าอากาศ สารที่เกิดขึ้นหลังการตัด/ดับอาร์ก คือ ผงของเมทัลลิกฟลูออไรด์ (metallic fluoride) มีความเป็นฉนวนและไม่เป็นอันตรายในขณะที่แห้งแต่เมื่อได้รับความชื้นจะกัดกร่อน metal part

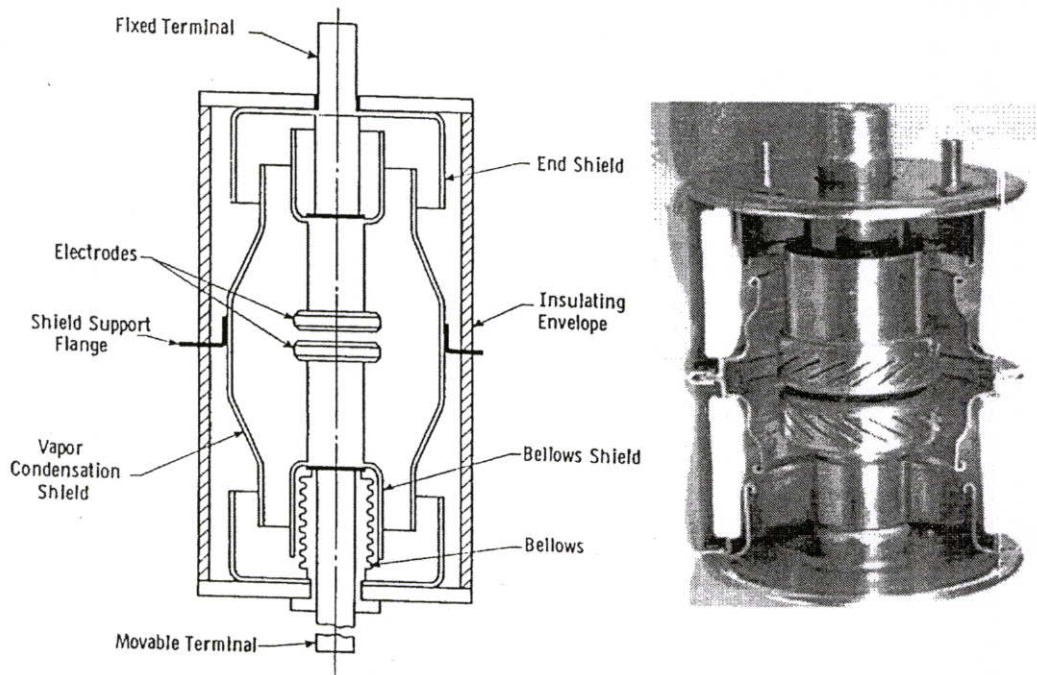
2.4.4 แวกคิวอัมเซอร์กิตเบรกเกอร์ Vacuum Circuit Breaker (VCB)

แวกคิวอัมเซอร์กิตเบรกเกอร์ในขณะที่หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์แยกออกจากกัน จะเกิดอาร์กระหว่างหน้าสัมผัสทั้งสองข้าง อาร์กที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วยไอออน อิเล็กตรอน และ ส่วนผสมของก๊าซที่ทำให้มีความร้อนสูง 10-15000 K เรียกว่า พลาสมา และมีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี จึงต้องทำการดับอาร์กให้ได้ภายในเวลาที่กำหนด วิธีการดับอาร์กสามารถกระทำได้ดังนี้

1. ลดอุณหภูมิของพลาสมาให้ลดลงอย่างรวดเร็ว คือ ถ้าอุณหภูมิของพลาสมาที่ 12000 K ให้ดับอาร์กภายในลูกคลื่นไซเคิลแรก ($1/50 = 0.02$ วินาที) อุณหภูมิของพลาสมาต้องทำให้ลดลงที่อัตราเร็ว 1 พันล้านองศาเซลเซียสในเวลา 1 วินาที

2. ลดความดัน คือ ค่าความคงทนของไดอิเล็กตริกจะมีค่าสูงที่ความดันสูงเนื่องจากโมเลกุลของอากาศอยู่อย่างหนาแน่นทำให้เกิดไอออนยาก อาร์กจึงผ่านไปได้น้อย ในขณะที่เดียวกันถ้าลดความดันให้ต่ำๆ ความคงทนของไดอิเล็กตริกจะมีค่าสูงขึ้นเช่นกัน โมเลกุลของอากาศเหลือน้อยมาก อาร์กก็จะเกิดขึ้นได้ยากเช่นกัน ดังนั้นถ้าความดันต่ำมากๆ การเกิดเบรกควาน์ของตัวกลางระหว่างหน้าสัมผัสจะเกิดยากขึ้น ถึงแม้ว่าความดันของพลาสมาจะถูกลดลงก็ยังคงมีไอออนในช่องอะตอมและอิเล็กตรอนอิสระอยู่บ้าง

คุณสมบัติที่ดีของแวกคิวอัมเซอร์กิตเบรกเกอร์ คือ ค่าความคงทนของไดอิเล็กตริกของสุญญากาศมีค่าสูงกว่าตัวกลางดับอาร์กอื่นๆ ระยะห่างระหว่างหน้าสัมผัสสามารถทำให้แคบกว่าปกติได้ จึงทำให้แวกคิวอัมอินเตอร์รัพเตอร์สามารถที่จะสับหรือปลดวงจรได้รวดเร็วกว่าอินเตอร์รัพเตอร์แบบอื่นๆ ประกอบกับชุดกลไกที่กำกับการเคลื่อนที่หน้าสัมผัสไม่ยุ่งยากซับซ้อน มีขนาดเล็กกะทัดรัด และมีน้ำหนักเบา สามารถติดตั้งในพื้นที่จำกัดได้ ส่วนข้อเสียของแวกคิวอัมเซอร์กิตเบรกเกอร์ คือ เทคนิคการผลิตค่อนข้างละเอียดอ่อน โลหะที่จะนำมาทำหน้าสัมผัสต้องเป็นโลหะผสมที่มีคุณสมบัติพิเศษ และยังไม่สามารถสร้างให้มีพิสัยแรงดันสูงๆ ได้



รูปที่ 2.6 Vacuum Circuit Breaker

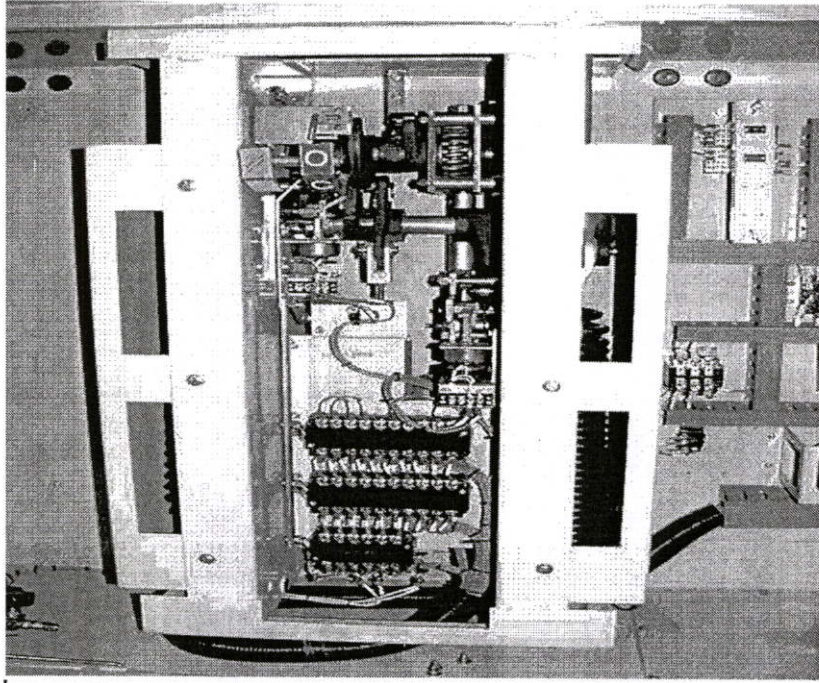
2.5 ชนิดของกลไกควบคุมสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

ชุดกลไกการทำงาน (Operating Mechanism) เป็นกลไกกำกับการทำงานของอินเตอร์รัพเตอร์ (Interrupter) หรืออีกนัยเป็นกลไกกำกับการทำงานของการเปิดและปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ชุดกลไกทำงานที่ใช้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ถูกออกดังนี้ [3], [10, 11]

ตารางที่ 2.1 ชนิดกลไกควบคุมสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

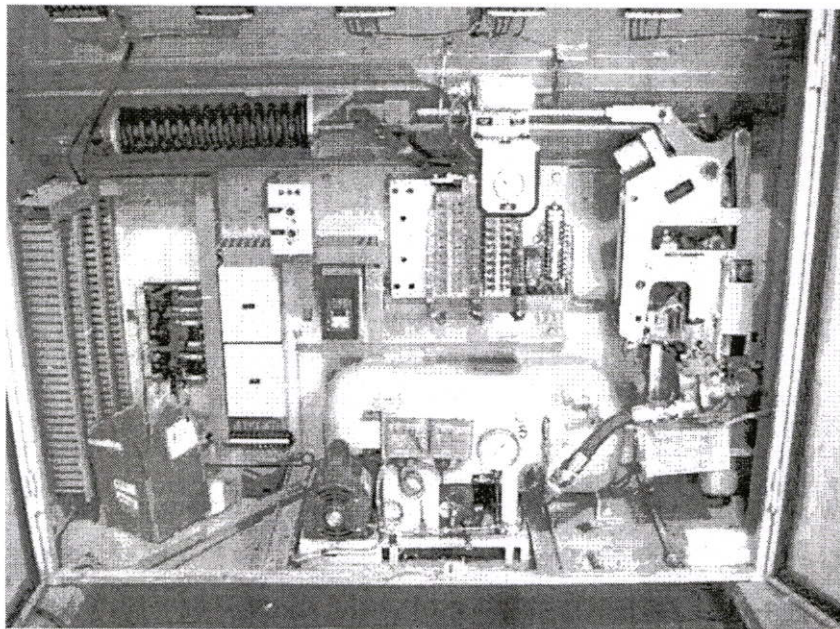
ชนิดของกลไก	การเปิดและปิดหน้าสัมผัส	
Spring type	ปิดหน้าสัมผัสด้วย Spring	เปิดหน้าสัมผัสด้วย Spring
Pneumatic type	ปิดหน้าสัมผัสด้วย Pneumatic	เปิดหน้าสัมผัสด้วย Spring
	ปิดหน้าสัมผัสด้วย Spring	เปิดหน้าสัมผัสด้วย Pneumatic
Hydraulic type	ปิดหน้าสัมผัสด้วย Hydraulic	เปิดหน้าสัมผัสด้วย Hydraulic

Spring mechanism เป็นกลไกที่มีพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนหน้าสัมผัส ซึ่งได้มาจากพลังงานที่ถูกสะสมอยู่ในสปริง ไซมอเตอร์ทำหน้าที่อัดสปริง ให้มีพลังงานสะสมไว้ ในเซอร์กิตเบรกเกอร์รุ่นแรกๆ จะใช้การเปิดหน้าสัมผัสด้วยสปริงและใช้ pneumatic mechanism สำหรับปิดหน้าสัมผัสเป็นส่วนใหญ่ แต่ระยะหลังมีการพัฒนาให้ใช้ spring ได้ทั้งปิดและเปิดหน้าสัมผัสตามค่าเวลาที่ต้องการ



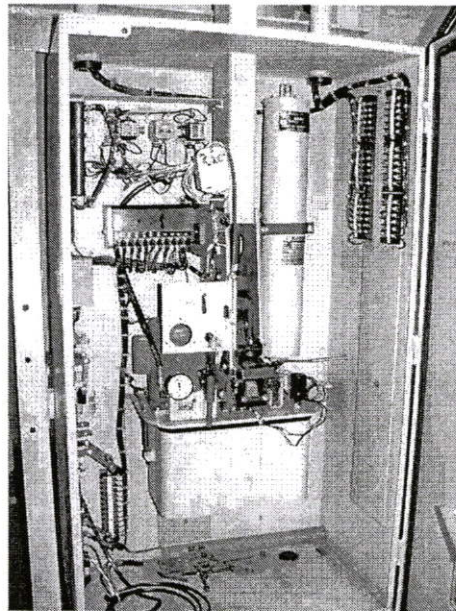
รูปที่ 2.7 กลไกควบคุมการเปิดและปิดหน้าสัมผัส แบบ Spring ยี่ห้อ ABB รุ่น FSA

Pneumatic mechanism พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนหน้าสัมผัสมาจากพลังงานของลมที่มีความดันสูง ใช้เครื่องอัดอากาศทำการอัดลมให้มีความดันสูงประมาณ 20 bar เก็บไว้ในถังที่มีขนาดสามารถใช้ในการปิดและเปิดได้อย่างต่อเนื่อง 4-5 ครั้ง ทุกครั้งที่สั่งปิดหน้าสัมผัส พลังงานที่ใช้จะไปขับเคลื่อนหน้าสัมผัส และ charge ส่วนของ spring ให้มีพลังงานพร้อมเปิดหน้าสัมผัส มีข้อเสียคือ มีเสียงดังขณะเปิดหน้าสัมผัส และเมื่อเกิดลมรั่วจะทำให้เครื่องอัดอากาศต้องทำงานหนัก



รูปที่ 2.8 กลไกควบคุมการเปิดและปิดหน้าสัมผัส แบบ Pneumatic ยี่ห้อ Siemens รุ่น SA7

Hydraulic mechanism พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนหน้าสัมผัสมาจากพลังงานของก๊าซไนโตรเจนที่มีความดันสูงเรียกว่า accumulator สร้างความดันโดยใช้ปั๊มอัดน้ำมันไฮดรอลิก เพื่อไปสร้างความดันให้ accumulator เกิดความดันสูงมากถึง 40-50 bar ทำให้มีพลังงานที่เก็บสะสมไว้มากกว่า spring mechanism มีข้อเสีย คือ ถ้าน้ำมันรั่วไหลปั๊มต้องทำงานหนัก ถ้าวรั่วมากอาจไม่สามารถรักษาสภาพปิดหน้าสัมผัสไว้ได้ เนื่องจากส่วนใหญ่จะต่อ driving rod ตรงกับ mechanism ไม่มีชิ้นส่วนของกลไกที่ใช้รักษาภาวะ เพื่อให้อยู่ในตำแหน่งปิดหน้าสัมผัส



รูปที่ 2.9 กลไกควบคุมการเปิดและปิดหน้าสัมผัส แบบ Hydraulic ยี่ห้อ McGraw Edison รุ่น OA3

2.6 ข้อกำหนดการทดสอบวัดช่วงเวลาปิด และเปิดหน้าสัมผัสตามมาตรฐาน IEC 62271-100

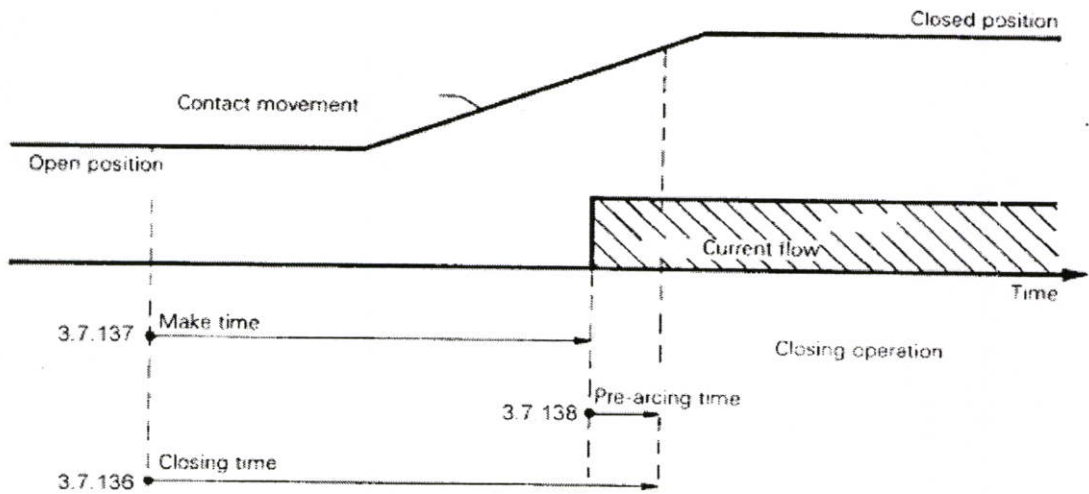
2.6.1 การวัดช่วงเวลาปิดหน้าสัมผัส (IEC62271-100 3.7.136)

การทดสอบช่วงเวลาปิดหน้าสัมผัสจะกระทำในขณะที่หน้าสัมผัสไม่มีแรงดันไฟฟ้า ก่อนกระทำการวัดช่วงเวลาปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ หน้าสัมผัสจะต้องอยู่ในตำแหน่งเปิดสุด จากนั้นทำการส่งสัญญาณปิดหน้าสัมผัสสู่ชุดกลไกควบคุมการปิดหน้าสัมผัส การตรวจวัดช่วงเวลาจะวัดตั้งแต่เริ่มส่งสัญญาณปิดหน้าสัมผัสจนกระทั่งหน้าสัมผัสปิดสุด [1, 2]

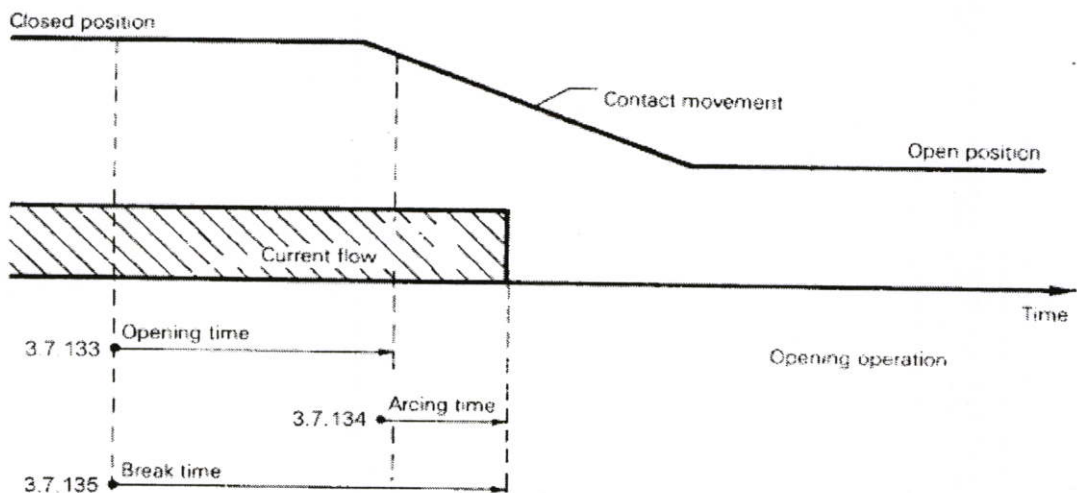
2.6.2 การวัดช่วงเวลาเปิดหน้าสัมผัส (IEC62271-100 3.7.133)

การทดสอบช่วงเวลาเปิดหน้าสัมผัสจะกระทำในขณะที่หน้าสัมผัสไม่มีแรงดันไฟฟ้า ก่อนกระทำการวัดช่วงเวลาเปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ หน้าสัมผัสจะต้องอยู่ในตำแหน่งปิด

สุด จากนั้นทำการส่งสัญญาณเปิดหน้าสัมผัสสู่ชุดกลไกควบคุมการเปิดหน้าสัมผัส การตรวจวัดช่วงเวลาจะวัดตั้งแต่เริ่มส่งสัญญาณเปิดหน้าสัมผัสจนกระทั่งหน้าสัมผัสเปิดออกสุด [1, 2]



รูปที่ 2.10 การวัดช่วงเวลาการปิดหน้าสัมผัส



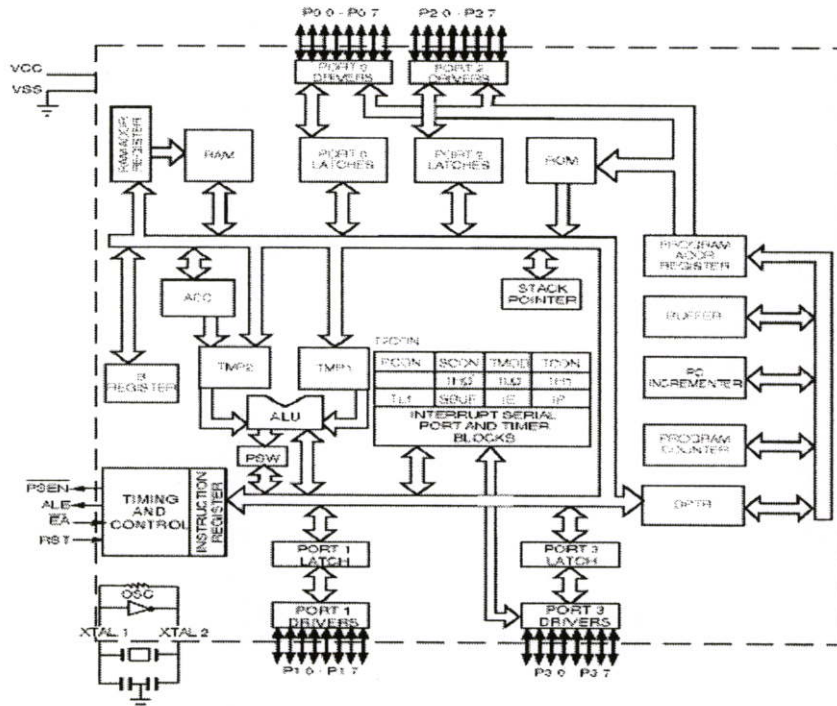
รูปที่ 2.11 การวัดช่วงเวลาการเปิดหน้าสัมผัส

2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยว ตระกูล MCS-51 คือไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่บรรจุอยู่ในแผงวงจรรวมเพียงชิพเดียว เหมาะสำหรับงานควบคุมอุปกรณ์อื่นๆ แบบอัตโนมัติ ผู้ใช้งานสามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานได้ง่าย

MCS-51 ผลิตโดยบริษัทอินเทล มีการทำงานแบบ 8 บิต หมายความว่าส่วนที่ทำหน้าที่ในการคำนวณ (Arithmetic logic Unit) ALU ทำงานที่ข้อมูลขนาด 8 บิต ซึ่งสามารถทำการประมวลผลการ AND, OR หรือทำ Complement ข้อมูลได้ที่ละ 8 บิต MCS-51 เป็นที่นิยมนำมาใช้ในงาน

ควบคุม การทำงานในระบบอัตโนมัติ เนื่องจากเป็นวงจรรวมแบบชิพเดี่ยว ขนาด 40 ขา ซึ่งมากพอสำหรับนำไปออกแบบวงจรควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ การตรวจสอบการทำงานสามารถทำได้ง่ายไม่สลับซับซ้อน รวมถึงการลดปัญหาเรื่องสัญญาณรบกวน [8]



รูปที่ 2.12 โค้ดแแกรมโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เนื่องจากลักษณะของ MCS-51 เป็นเหมือนคอมพิวเตอร์ จึงประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่ 1 คือ CPU (Central Processing Unit) หรือส่วนประมวลผล ซึ่งมีหน้าที่ทำการประมวลผลข้อมูลในการควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆ รวมถึงการติดต่อสื่อสาร การประมวลผลคำสั่งร่วมกับข้อมูลที่ได้รับไปวิเคราะห์หากระบวนการที่ถูกต้อง เพื่อใช้ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆต่อไป

ส่วนที่ 2 คือ หน่วยความจำ แบ่งออกเป็น 2 แบบ โดยแบ่งออกตามลักษณะการใช้งาน คือ

- 1) Program Memory เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บคำสั่งในรูปแบบภาษาเครื่อง
- 2) Data Memory เป็นหน่วยความจำที่ CPU ใช้สำหรับเก็บข้อมูล หรือพักข้อมูลเพื่อนำไปใช้ประมวลผลในครั้งต่อไป

ส่วนที่ 3 อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต เป็นส่วนที่ใช้ส่งข้อมูลเข้าหรือออกจาก MCS-51 ซึ่งทำให้สามารถติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ อุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้แก่ 32 อินพุตและเอาต์พุต, ไทเมอร์ 0, ไทเมอร์ 1 และ การสื่อสารอนุกรม [14]

2.8 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ของคอมพิวเตอร์

มาตรฐาน RS-232 ใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมนี้สามารถอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industrial Association) หรือ EIA กำหนดขึ้นเพื่อให้ผู้ผลิตสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ระหว่างกันได้ และนิยมใช้แพร่หลาย จนกระทั่งปรับปรุงมาตรฐานเป็นครั้งที่ 3 และกลายเป็นมาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่นิยมใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน ซึ่งไมโครคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องจะมีพอร์ตการสื่อสารอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ติดตั้งมาพร้อมทุกเครื่องแล้ว การเชื่อมต่อไมโครคอมพิวเตอร์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะใช้สายที่เรียกว่าสายโมเด็ม (Null Modem) ในการเชื่อมต่อเพื่อควบคุมการรับส่งข้อมูล [14]

ตารางที่ 2.2 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

2.9 การทดสอบกับเครื่องทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์มาตรฐาน

ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการทดสอบเครื่องต้นแบบที่จัดสร้าง (Prototype) กับเครื่องทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์มาตรฐาน (Standard) คือ Circuit Breaker Analyzer System ของ GE Energy Programma® Products รุ่น TM1800 ซึ่งเป็นเครื่องที่การไฟฟ้านครหลวงใช้ทดสอบการเปิด และปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในปัจจุบัน

ในการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจะนำผลค่าเวลาการตรวจวัดช่วงเวลาที่เปิด และเปิดหน้าสัมผัสจากเครื่องทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์มาตรฐานและที่ได้จากเครื่องทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จัดสร้างขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ [15]

$$\%Error = \left(\frac{Time_{Standard} - Time_{Prototype}}{Time_{Standard}} \right) \times 100 \quad (2.1)$$

$\%Error$ = เปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาด

$Time_{Standard}$ = ค่าเวลาการตรวจวัดจากเครื่องทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์มาตรฐาน

$Time_{Prototype}$ = ค่าเวลาการตรวจวัดจากเครื่องทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จัดสร้าง

2.10 การคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: S.D.)

ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยผลรวมกำลังสองค่าผลต่างข้อมูลระหว่างค่าเฉลี่ยข้อมูลกับข้อมูลดิบ อธิบายความหมายได้ว่าเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่ากลางข้อมูล [15]

$$S.D. = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}} \quad (2.2)$$

$S.D.$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum x$ = ผลรวมของข้อมูลดิบ

$\sum x^2$ = ผลรวมของข้อมูลดิบของแต่ละตัวอย่างยกกำลังสองทีละตัว

n = จำนวนตัวอย่าง

2.11 การคำนวณค่าเฉลี่ย

ในการทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ในวิทยานิพนธ์นี้จะทำการทดสอบซ้ำกัน 10 ครั้งและจะนำผลที่ได้จากการทดสอบมาหาค่าเฉลี่ยเวลาการปิดและเปิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละเฟสสมการที่ใช้หาค่าเฉลี่ย [15]

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (2.3)$$

X_i = คือผลรวมของค่าเวลาที่ได้จากการทดสอบ

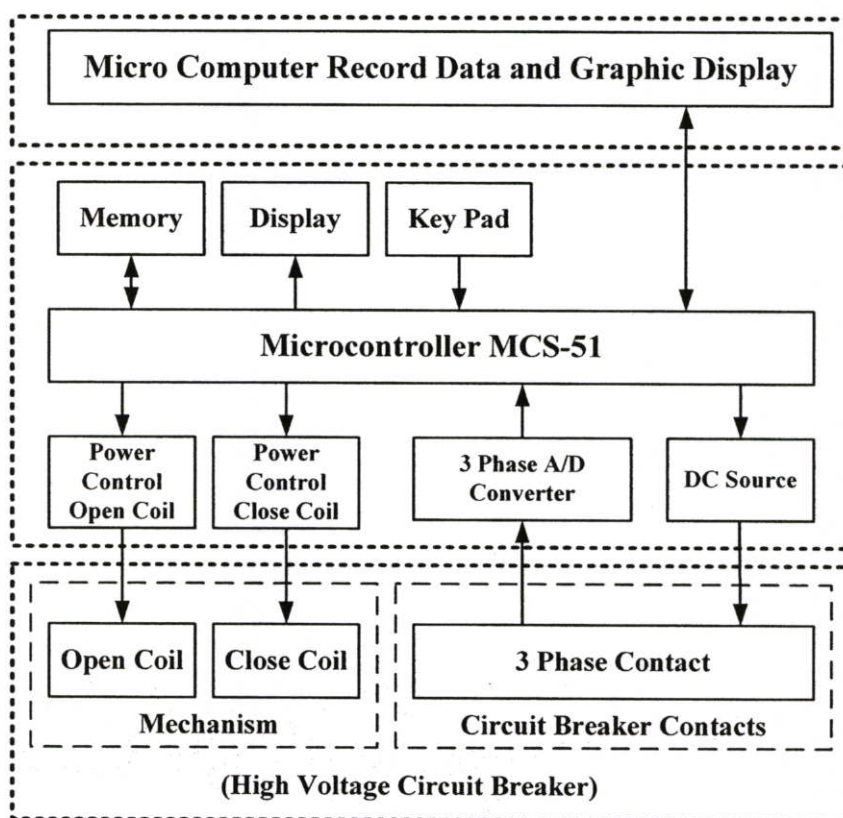
N = คือจำนวนครั้งที่ทำการทดสอบ

บทที่ 3

การออกแบบและสร้าง

3.1 บทนำ

ในการออกแบบสร้างเครื่องตรวจวัดช่วงการปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงในวิทยานิพนธ์นี้ จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ส่วนของชุดควบคุมการปิดและเปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง, ส่วนของภาคควบคุมการทดสอบและส่วนของภาคแสดงผลที่จอ LCD ดังรูปที่ 3.1 ส่วนการบันทึกผลข้อมูลและแสดงผลการทดสอบแบบกราฟิกจะแสดงอยู่ในบทที่ 4



รูปที่ 3.1 ไคอะแกรมส่วนประกอบของเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์

3.1.1 การกำหนดพิกัดของเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์

ขั้นตอนแรกก่อนที่จะเริ่มต้นการออกแบบเครื่องตรวจวัดการปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงจะทำการกำหนดขนาดพิกัดของเครื่องที่ต้องการก่อนดังนี้คือ [13]

- 1) สามารถใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับได้ตั้งแต่ $200 - 240 V_{AC}$, 50 Hz
- 2) สามารถควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51, แสดงผลทางจอ LCD ได้
- 3) มีความเร็วในการตรวจวัดในแต่ละครั้งที่ 100 ไมโครวินาที
- 4) มีหน่วยความจำขนาด 256 กิโลไบต์
- 5) สามารถบันทึกผลข้อมูลจากเครื่องทดสอบเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้
- 6) สามารถแสดงผลข้อมูลที่บันทึกจากเครื่องทดสอบในรูปแบบกราฟิกได้
- 7) สามารถนำข้อมูลที่บันทึกไว้มาเปรียบเทียบค่าการทำงานได้

3.1.2 การกำหนดหลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสของ เซอร์กิตเบรกเกอร์

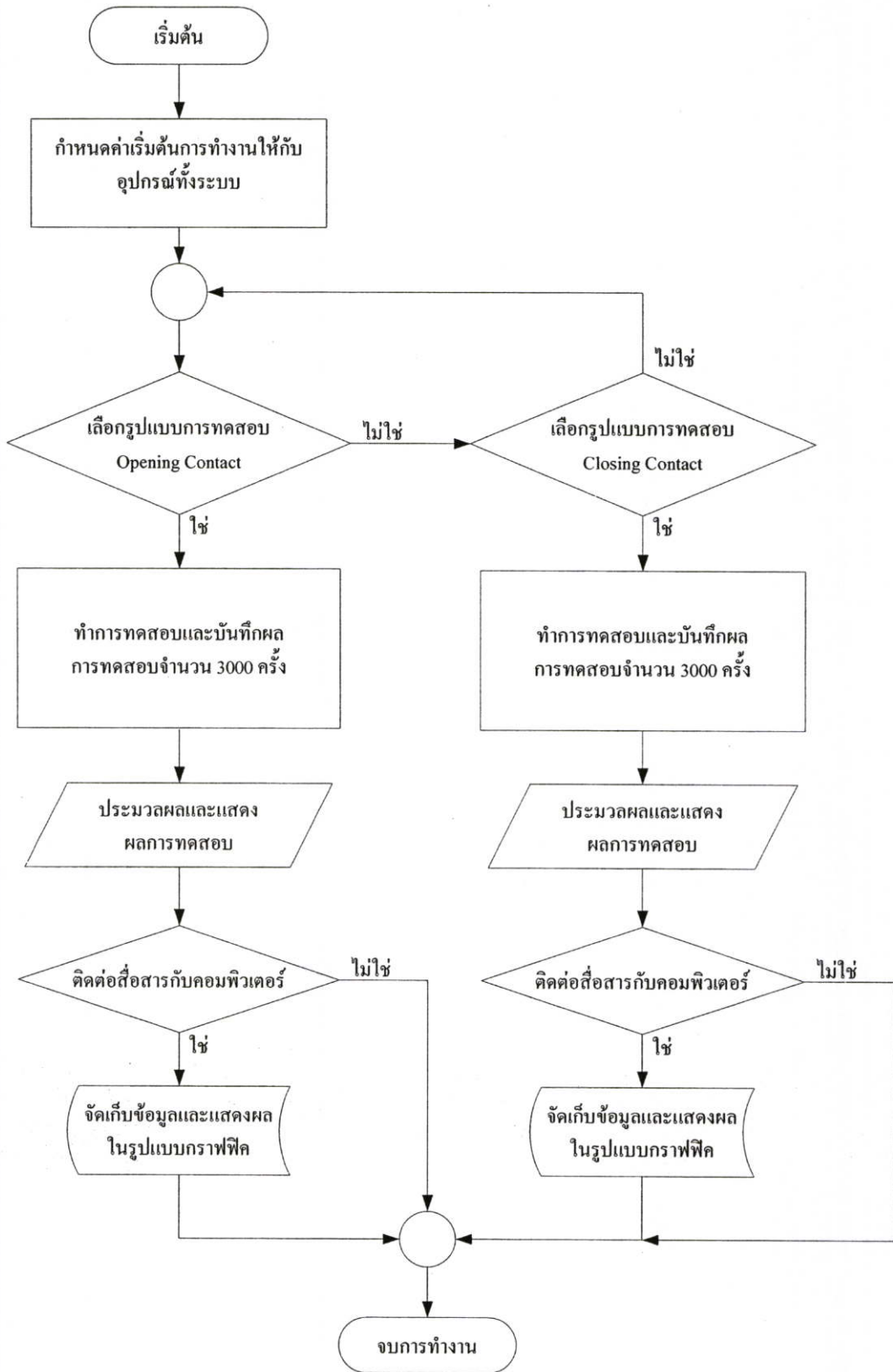
เมื่อกำหนดพิกัดของเครื่องทดสอบแล้วขั้นตอนต่อไปจะกำหนดหลักการทำงานของเครื่องทดสอบดังนี้ เริ่มจากการรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ $220 V_{AC}$, 50 Hz เข้าสู่ชุดเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายให้กับส่วนควบคุมต่างๆ จากนั้น เครื่องทดสอบก็รอรับคำสั่งการทดสอบ เมื่อรับคำสั่งการทดสอบแล้ว จะทำการส่งสัญญาณเข้าสู่คอยควบคุมการทำงาน จากนั้นเครื่องทดสอบจะทำการเก็บสัญญาณการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไว้ที่หน่วยความจำทุกๆ 100 ไมโครวินาที จนครบ 300 มิลลิวินาที ก็จะได้ข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์ ทั้ง 3 เฟสๆ ละ 3000 ชุดข้อมูล จากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการนำข้อมูลที่บันทึกไว้ในหน่วยความจำ มาทำการตรวจสอบหาตำแหน่งค่าเวลาที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานทั้ง 3 เฟส และทำการแสดงผลกระบวนการทดสอบ และผลการทดสอบบนจอแสดงผล LCD ที่ตัวเครื่องทดสอบ

ในส่วนของโปรแกรมบันทึกข้อมูลและแสดงผลแบบกราฟิก โดยใช้โปรแกรม Delphi 7.0 ส่งคำสั่งร้องขอข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ไปสู่เครื่องทดสอบ เมื่อเครื่องทดสอบรับรู้การร้องขอข้อมูลแล้ว จะส่งข้อมูลกลับสู่โปรแกรมบันทึกข้อมูล โดยแบ่งชุดข้อมูลออกเป็น 3 ชุด ชุดละ 3000 ข้อมูล รวมเป็น 9000 ข้อมูล โดยใช้ความเร็วในการส่งอยู่ที่ 4800 บิตต่อวินาที เมื่อโปรแกรมรับข้อมูลครบก็จะนำข้อมูลที่แสดงผลในรูปแบบกราฟิก และสามารถบันทึกผลเก็บไว้ใช้เปรียบเทียบการทำงานในแต่ละครั้งต่อไป [13]

3.2 การออกแบบส่วนประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.1 โค้ดแแกรมการทำงานของโปรแกรมประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

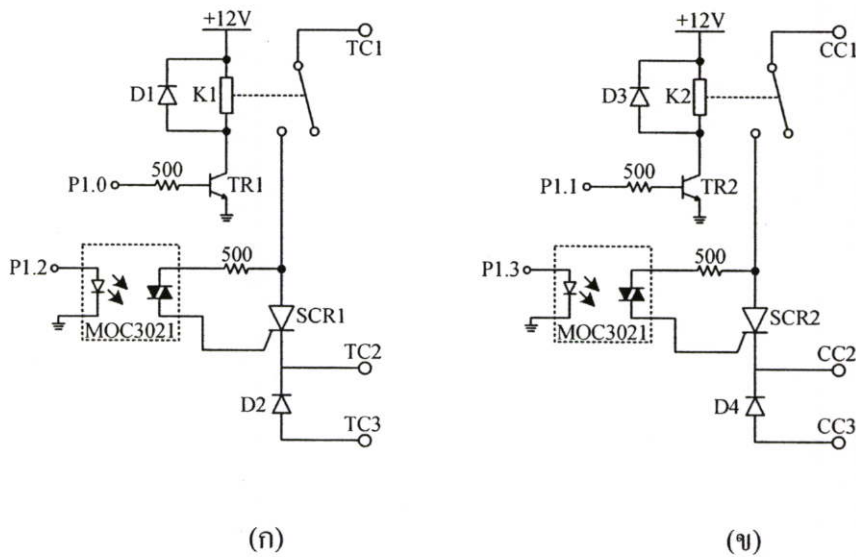
งานวิจัยนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSC-51 เบอร์ 89C51RD2 เนื่องจากมีคุณสมบัติการทำงานเร็วกว่าปกติ 2 เท่า และมีหน่วยการจัดเก็บโปรแกรมสูงถึง 64 kBytes สามารถออกแบบขยายหน่วยความจำ, การตรวจวัดข้อมูลอนาล็อก, การขยายอินพุตและเอาต์พุตได้ง่าย



รูปที่ 3.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.2 วงจรสั่งเปิดและปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

ในส่วนของการเปิดและปิดหน้าสัมผัสจะแบ่งคอยล์ควบคุมออกเป็น 2 ชุด คือ คอยล์เปิดหน้าสัมผัส (TC Coil) และ คอยล์ปิดหน้าสัมผัส (CC Coil) โดยจะรับคำสั่งการทำงานจาก MCS-51 โดยที่จุด TC1 จะถูกต่ออยู่กับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงภายนอก $125 V_{DC}$, TC2 และ TC3 จะถูกต่อเข้ากับคอยล์เปิดหน้าสัมผัส โดยที่ MCS-51 สั่งให้รีเลย์ K1 ทำงาน หลังจากนั้นส่งสัญญาณให้ MOC3021 ทำงานเพื่อขับให้ SCR1 จ่ายแรงดัน $125 V_{DC}$ ให้กับ คอยล์เปิดหน้าสัมผัส หลังจาก SCR1 ทำงานครบ 200 มิลลิวินาที MCS-51 จะสั่งให้รีเลย์ K1 หยุดการทำงาน ส่วนการทำงานของคอยล์ปิดหน้าสัมผัส (CC Coil) ใช้หลักการเดียวกันกับคอยล์เปิดหน้าสัมผัส

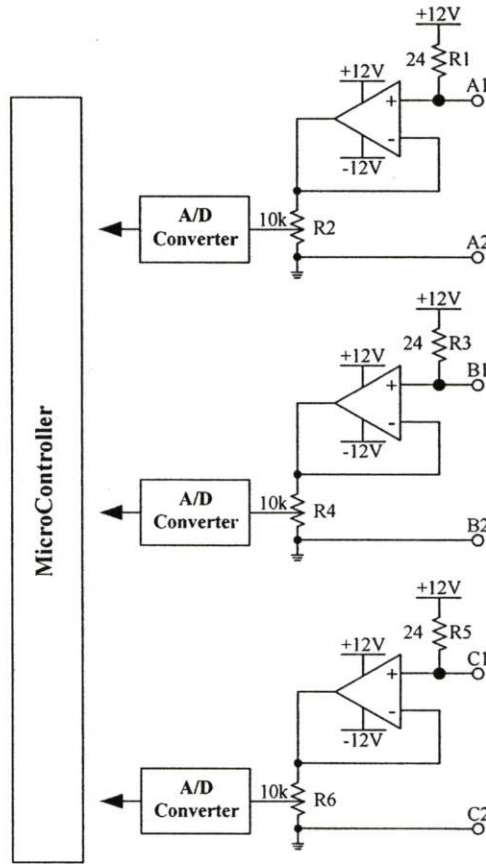


รูปที่ 3.3 วงจรส่งสัญญาณควบคุมการเปิดและปิดกลไก

(ก) วงจรสั่งเปิดหน้าสัมผัส และ (ข) วงจรสั่งปิดหน้าสัมผัส

3.2.3 วงจรตรวจวัดสัญญาณเปิดและปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

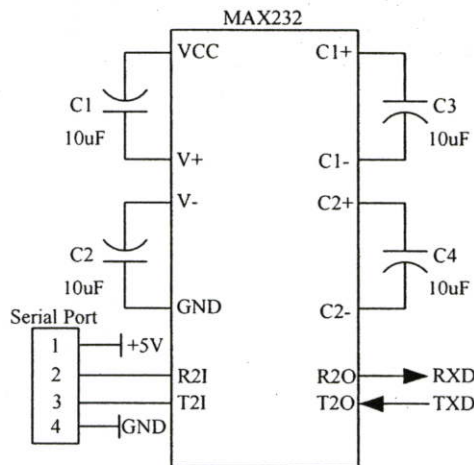
ในส่วนของการตรวจวัดสัญญาณเปิดและปิดหน้าสัมผัส โดยทำการต่อจุด A1 และ A2 เข้าที่ขั้วต่อหน้าสัมผัสเฟส A, จากนั้นต่อจุด B1 และ B2 เข้าที่เฟส B และจุด C1 และ C2 เข้าที่เฟส C ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ วงจรตรวจวัดทั้ง 3 เฟส ใช้แรงดัน $12 V_{DC}$ ในการตรวจวัดผ่าน OpAmp แบบวงจรตามแรงดัน ส่งต่อไปสู่วงจรแบ่งแรงดัน จาก $12 V_{DC}$ ให้เหลือ $5 V_{DC}$ เพื่อป้อนให้กับวงจร Analog to Digital โดยใช้ IC เบอร์ ADC0804 เพื่อแปลงให้เป็นข้อมูลดิจิทัลขนาด 8 บิต ส่งต่อไปสู่ม MCS-51 ทำการจัดเก็บข้อมูลต่อไป



รูปที่ 3.4 วงจรตรวจวัดสัญญาณหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง 3 เฟส

3.2.4 วงจรแปลงระดับสัญญาณการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์

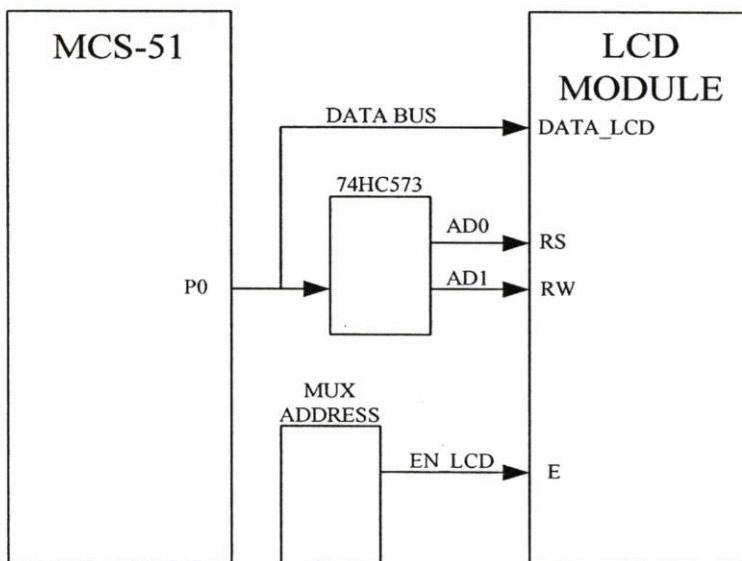
การสื่อสารแบบอนุกรมของ MCS-51 ใช้ระดับแรงดัน $5 V_{DC}$ แต่การสื่อสารโดยผ่านระบบ RS-232 นั้น ช่วงของแรงดันที่ใช้งานจะอยู่ที่ $+15 V_{DC}$ ถึง $-15 V_{DC}$ ดังนั้นจึงต้องมีการแปลงช่วงระดับแรงดันให้เหมาะสมก่อนที่จะส่งให้กับคอมพิวเตอร์ ชุดแปลงสัญญาณการสื่อสารใช้ IC MAX232 เป็นตัวแปลงระดับสัญญาณ เพื่อให้ MCS-51 สามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์ได้



รูปที่ 3.5 วงจรแปลงระดับสัญญาณการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์

3.2.5 ส่วนของการแสดงผล

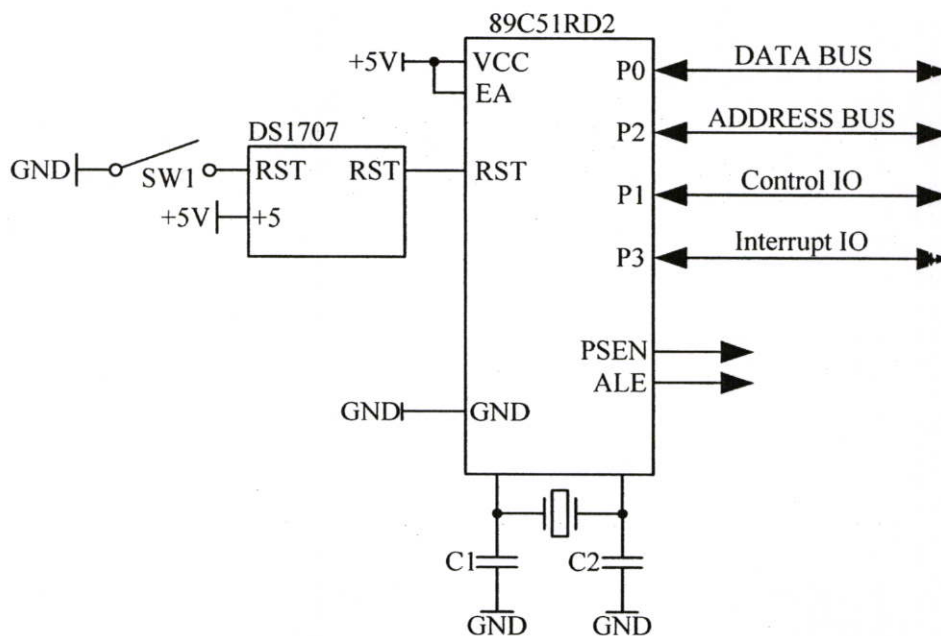
ส่วนแสดงผลใช้จอ LCD (Liquid crystal displays) แสดงผล 4 บรรทัดๆละ 16 ตัวอักษร จะแสดงผลการทำงานของกระบวนการทดสอบ ค่าเวลาที่ได้จากการทดสอบ



รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมการแสดงผลบนจอ LCD

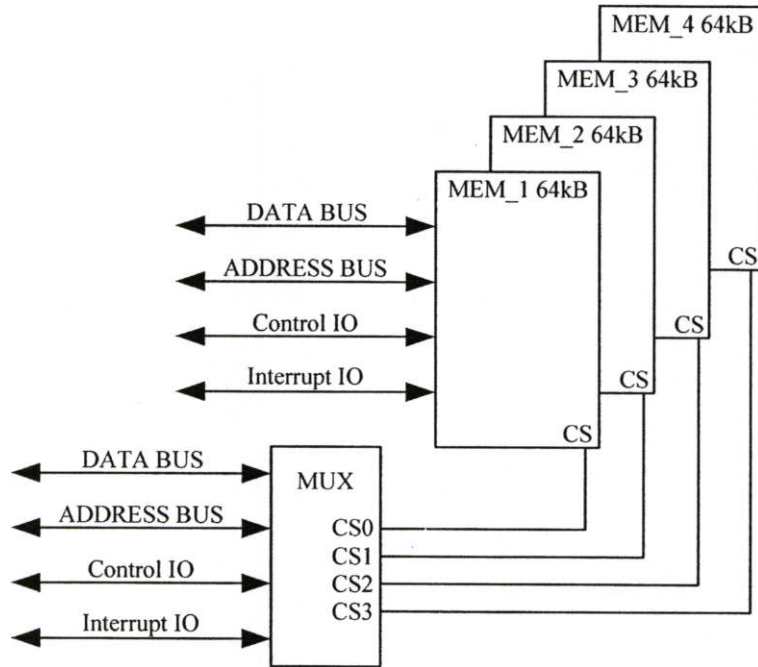
3.2.6 ส่วนควบคุมการทำงานหลัก

ส่วนควบคุมหลักใช้ MCS-51 เบอร์ 89C51RD2 ในการควบคุมระบบในส่วนต่างๆโดยใช้การเข้ารหัสควบคุมแบบ Address Bus และรับส่งข้อมูลแบบ Data Bus ในการสื่อสารและแลกเปลี่ยนข้อมูลกับอุปกรณ์ต่าง บนระบบบัสทั้งหมด



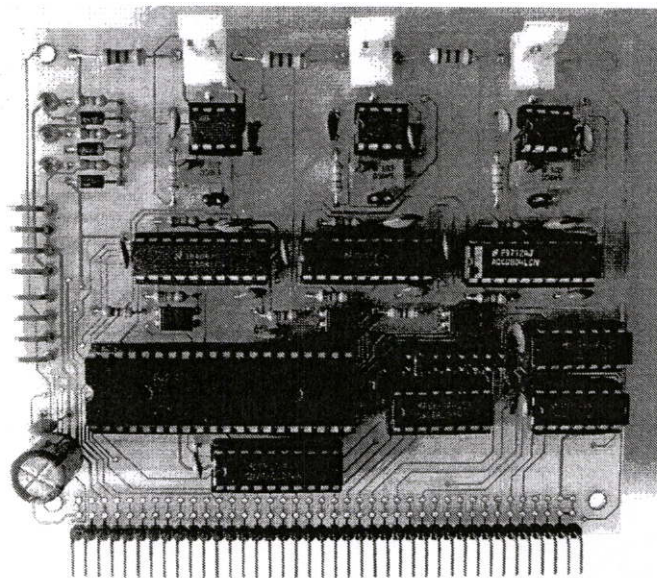
รูปที่ 3.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนควบคุมการทำงานหลัก

3.2.7 วงจรหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

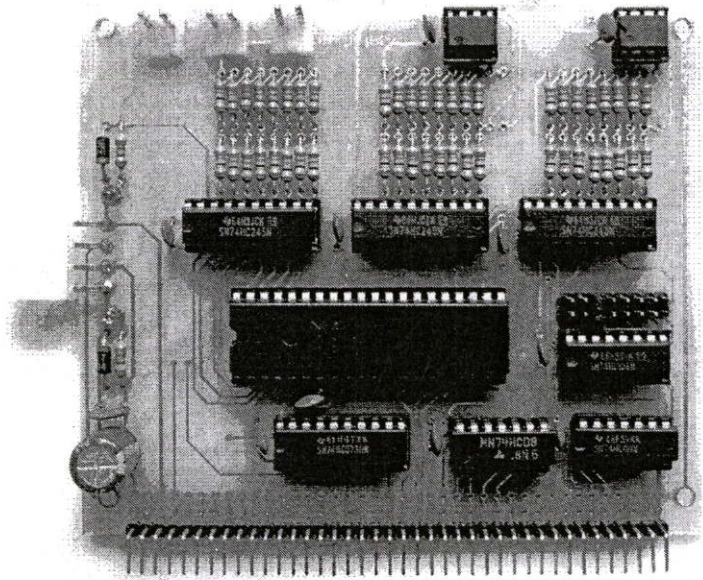


รูปที่ 3.8 วงจรหน่วยความจำ

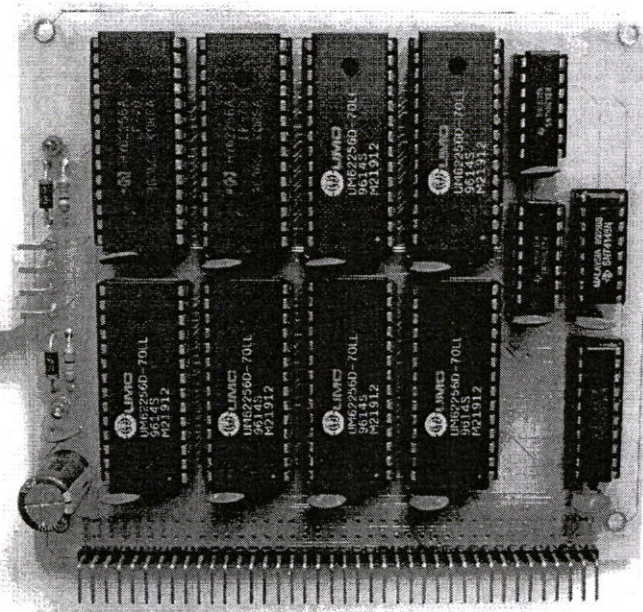
หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลนี้ ใช้ IC 62C256 เป็นหน่วยความจำขนาด 32 kBytes จำนวน 8 ตัว และแต่ละชุดจะใช้ 2 ตัว ดังนั้น แต่ละชุดจะมีหน่วยความจำ 64 kBytes ในการเก็บข้อมูล เมื่อ MCS-51 ทำการอ่านข้อมูลจากส่วนตรวจวัดหน้าสัมผัสแล้ว จะนำข้อมูลมาพักไว้ที่หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลก่อน เมื่อกระทำการเก็บข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จึงจะทำการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำเพื่อไปประมวลผลอีกครั้ง



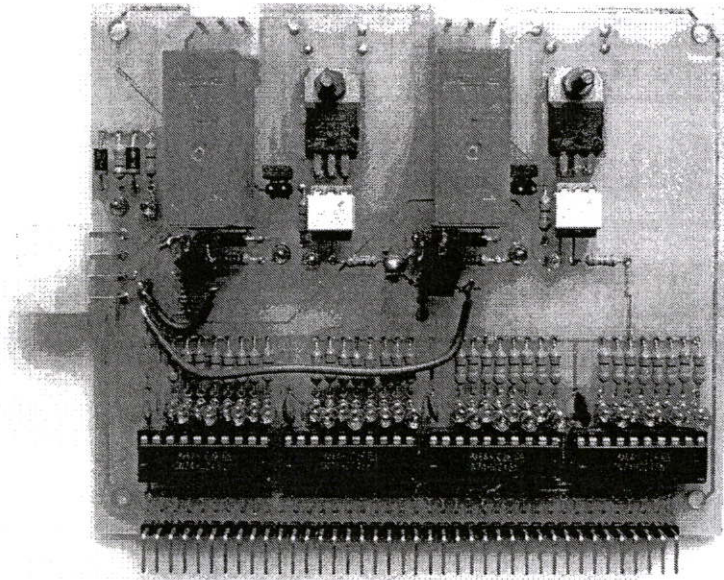
รูปที่ 3.9 วงจรตรวจวัดสัญญาณเปิดและปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง



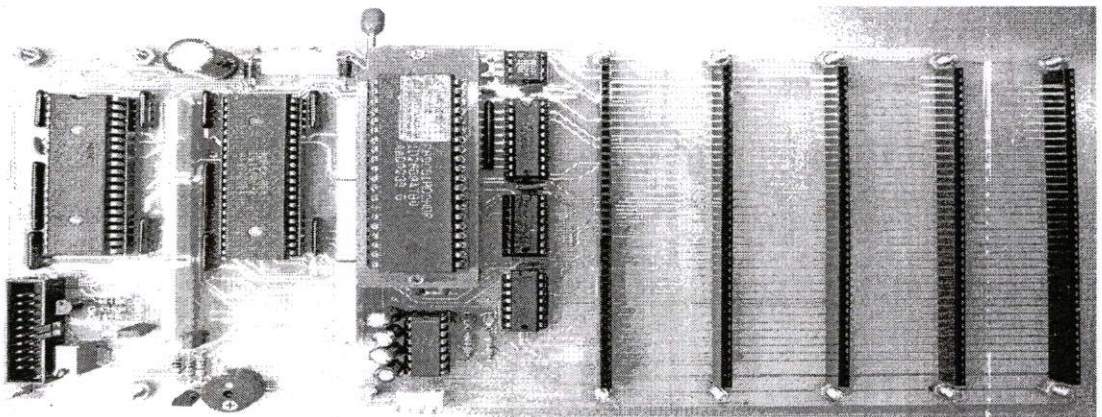
รูปที่ 3.10 วงจรจำลองการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.11 วงจรหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล



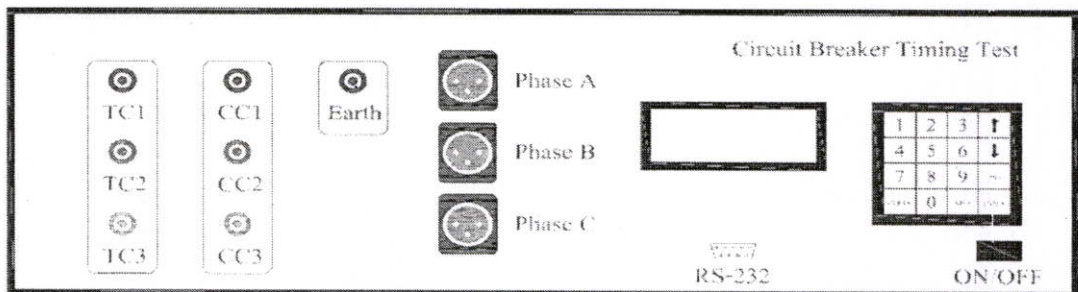
รูปที่ 3.12 วงจรควบคุมการปิดและเปิดหน้าสัมผัส



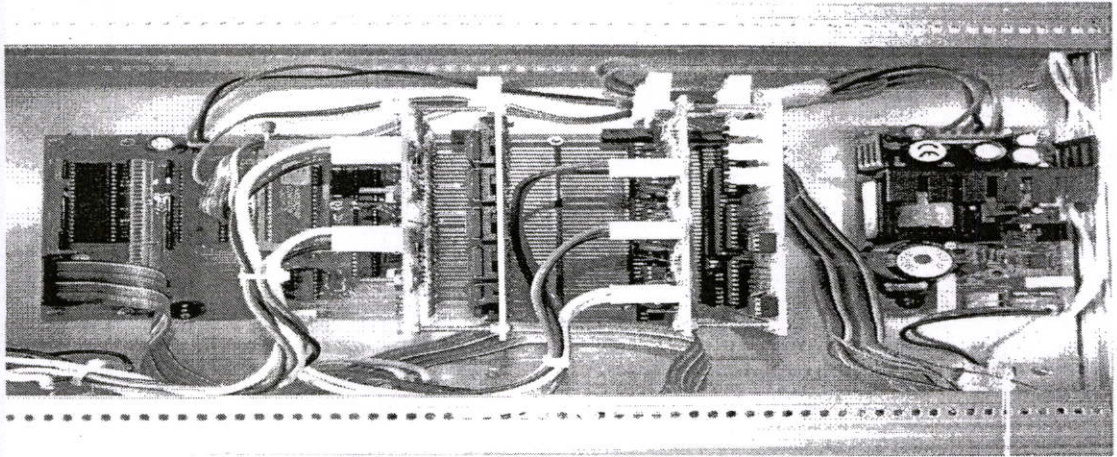
รูปที่ 3.13 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

3.3 ลักษณะโครงสร้างเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์

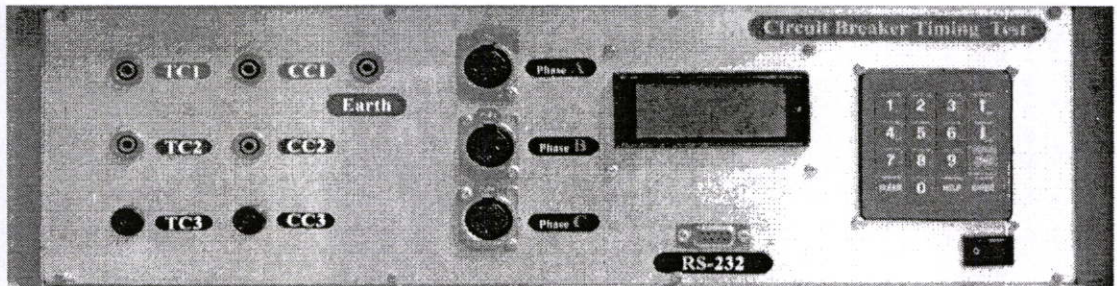
เมื่อทำการสร้างอุปกรณ์และจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ เรียบร้อยแล้วก็จะนำอุปกรณ์เหล่านั้นมาประกอบเข้าด้วยกันจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.14 และ 3.15



รูปที่ 3.14 ลักษณะโครงสร้างเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์



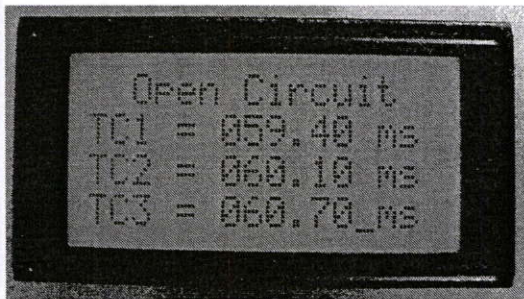
(ก)



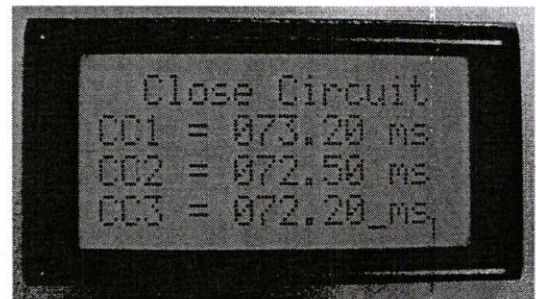
(ข)

รูปที่ 3.15 ลักษณะเครื่องทดสอบจริงที่จัดสร้าง

(ก) การจัดวางอุปกรณ์ต่างๆลงในเครื่องทดสอบ, (ข) แสดงการจัดวางของเครื่องทดสอบ



(ก)



(ข)

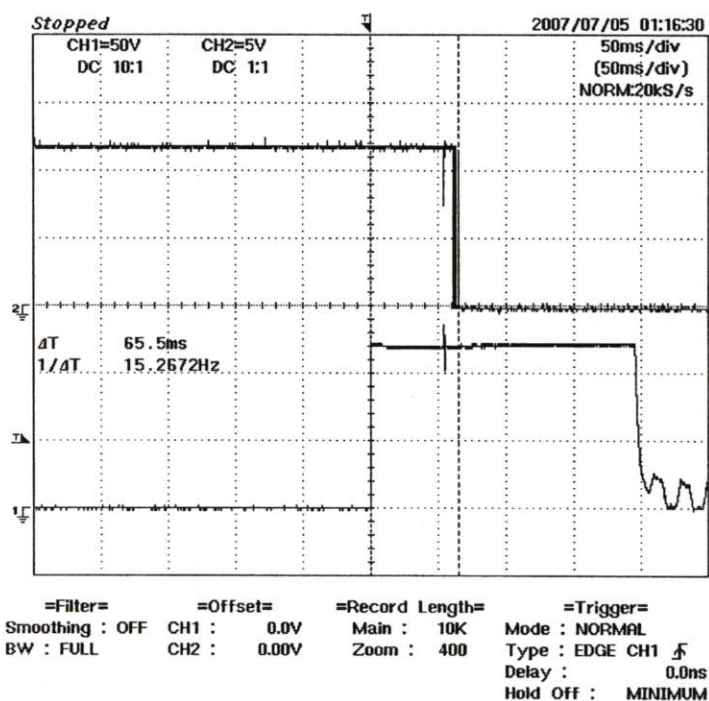
รูปที่ 3.16 ผลการทดสอบ

(ก) ผลการทดสอบเปิดหน้าสัมผัส 3 เฟส, (ข) ผลการทดสอบปิดหน้าสัมผัส 3 เฟส

3.3.1 อุปกรณ์ภายในเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

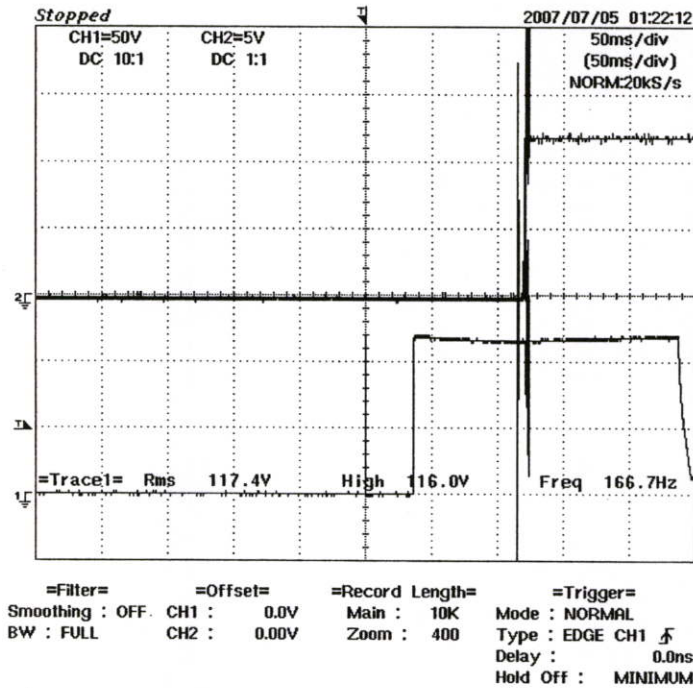
- 1) ชุดควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
- 2) ชุดควบคุมการเปิดและปิดหน้าสัมผัส
- 3) ชุดวัดสัญญาณการเปิดและปิดหน้าสัมผัส
- 4) ชุดหน่วยความจำ

- 5) ชุดจำลองการทำงานของระบบ
- 6) LCD (Liquid Crystal Display) 16 ตัวอักษร 4 บรรทัด
- 7) Key Board
- 8) Switching Power Supply 12V 10A, 5V 6A, -12V 2A



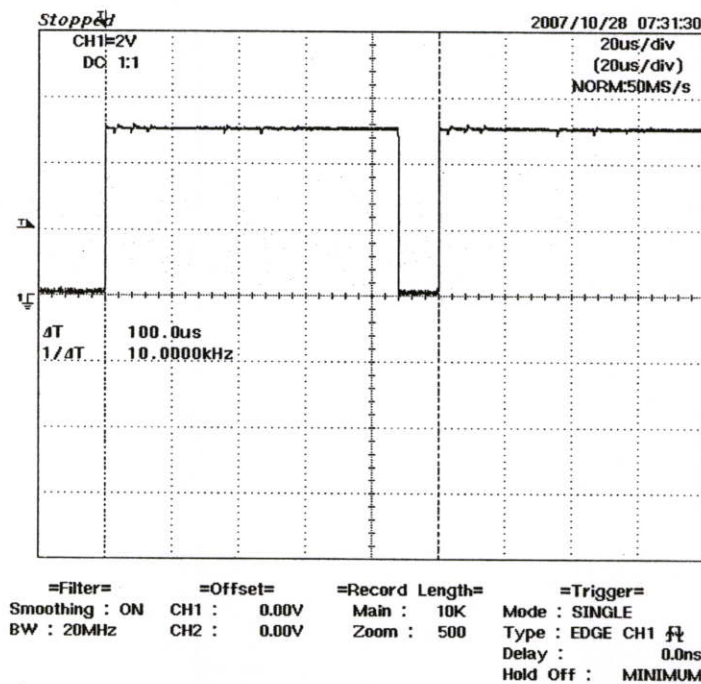
รูปที่ 3.17 สัญญาณการปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

จากรูปที่ 3.17 ช่องวัดสัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณแรงดัน $+125 V_{DC}$ ความกว้างของสัญญาณอยู่ที่ 200 มิลลิวินาที สำหรับจ่ายเข้าที่คอยล์ปิดหน้าสัมผัส และช่องวัดสัญญาณที่ 2 คือสัญญาณการปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ที่ตำแหน่ง $0 V_{DC}$ คือสภาวะปิดหน้าสัมผัส และที่ตำแหน่ง $12 V_{DC}$ คือสภาวะเปิดหน้าสัมผัส



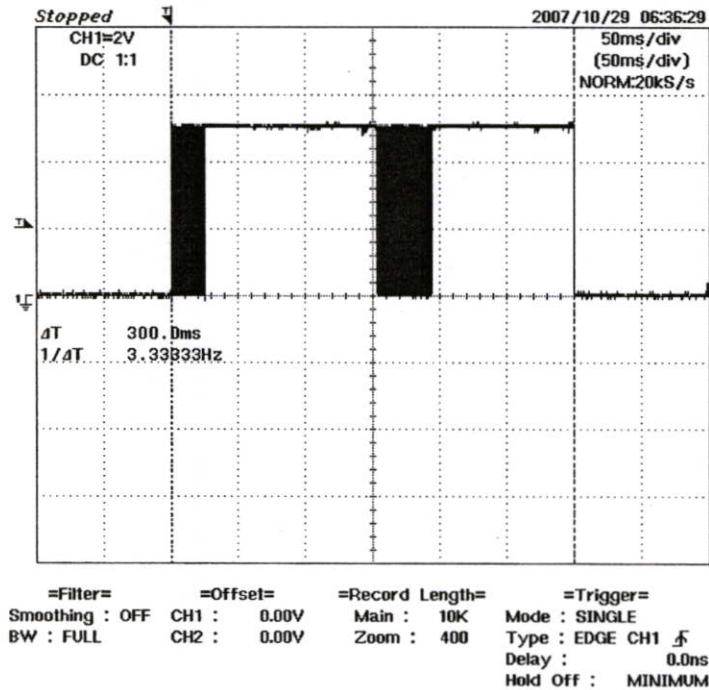
รูปที่ 3.18 สัญญาณการเปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

จากรูปที่ 3.18 ช่องวัดสัญญาณที่ 1 คือ สัญญาณแรงดัน $+125 V_{DC}$ ความกว้างของสัญญาณอยู่ที่ 200 มิลลิวินาที สำหรับจ่ายเข้าที่คอยล์เปิดหน้าสัมผัส และช่องวัดสัญญาณที่ 2 คือสัญญาณการปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ที่ตำแหน่ง $0 V_{DC}$ คือสภาวะปิดหน้าสัมผัส และที่ตำแหน่ง $12 V_{DC}$ คือสภาวะเปิดหน้าสัมผัส



รูปที่ 3.19 สัญญาณแสดงความเร็วในการตรวจวัดทุกๆ 100 ไมโครวินาที

จากรูปที่ 3.19 ความกว้างของสัญญาณที่ตรวจวัดได้ต่อหนึ่งรูปคลื่นมีค่าเท่ากับ 5 ช่อง ซึ่ง 1 ช่องมีขนาดเท่ากับ 20 ไมโครวินาที ดังนั้น 1 รูปคลื่นจะใช้เวลาทั้งหมด 100 ไมโครวินาที ซึ่งเป็นสัญญาณที่ถูกสร้างออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อดูความเร็วในการตรวจวัดในแต่ละครั้ง



รูปที่ 3.20 สัญญาณแสดงการตรวจจับสัญญาณ 300 มิลลิวินาที

จากรูปที่ 3.20 ความกว้างของสัญญาณที่ตรวจวัดได้ต่อหนึ่งรูปคลื่นมีค่าเท่ากับ 6 ช่อง ซึ่ง 1 ช่องมีขนาดเท่ากับ 50 มิลลิวินาที ดังนั้น 1 รูปคลื่นจะใช้เวลาทั้งหมด 300 มิลลิวินาที ซึ่งเป็นสัญญาณที่ถูกสร้างออกมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อดูคาบเวลาโดยรวมที่ใช้ในการตรวจวัดในแต่ละครั้ง การตรวจวัด 1 ครั้งอยู่ที่ 100 ไมโครวินาที ทำการตรวจวัดทั้งหมด 3000 ครั้ง

3.3.2 โปรแกรมย่อยการแสดงผลทางหน้าจอ LCD

จะทำการแสดงค่าของอุณหภูมิและเวลาออกทางหน้าจอ LCD สลับกันทุกๆ วินาที พร้อมทั้งทำการตรวจสอบเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเปรียบเทียบค่าระยะเวลาที่ได้ทำการทดสอบไปแล้วกับค่าของระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ

3.4 การตรวจสอบเครื่องตรวจวัด

การตรวจสอบเครื่องตรวจวัดจะต้องทำการตรวจสอบฐานเวลาการทำงานของเครื่อง ในการวัดแต่ละครั้งฐานเวลาที่ส่งออกมาจากขา 10 ของไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องได้ 100 ไมโครวินาที

และความกว้างรวมของสัญญาณจะต้องได้ 300 มิลลิวินาที โดยแสดงดังรูปที่ 3.19 และ 3.20 และในขณะที่ทำการตรวจวัดใช้ชุดวงจรจำลองการทำงานของระบบ ซึ่งจะแสดงผลสัญญาณในขณะที่ทำการตรวจวัดออกมาในรูปแบบของอนาล็อก สามารถใช้เปรียบเทียบกับสัญญาณหน้าสัมผัสที่ตรวจวัด

3.5 บทสรุป

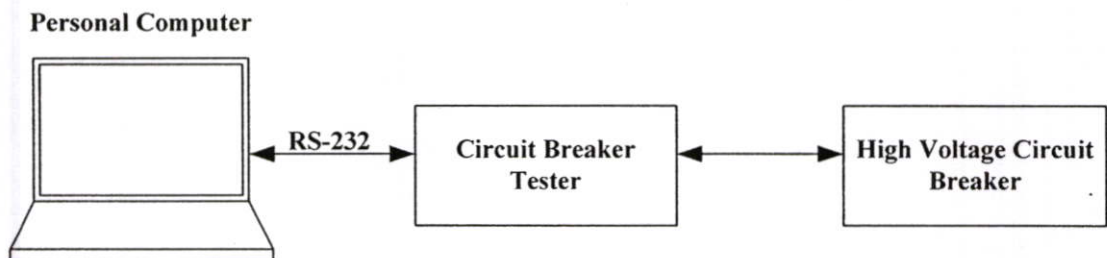
ในการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง การควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวสั่งงาน การสั่งเปิดและปิดหน้าสัมผัสโดยใช้ SCR เป็นตัวควบคุมการจ่ายแรงดัน $125 V_{DC}$ เป็นเวลา 200 มิลลิวินาที ต่อจากนั้นวงจรตรวจวัดสัญญาณเปิดและปิดหน้าสัมผัสจะตรวจวัดสัญญาณผ่าน OpAmp แบบวงจรตามแรงดัน ส่งต่อสู่วงจรแบ่งแรงดันให้เหลือ $5 V_{DC}$ ให้กับวงจร Analog to Digital โดยใช้ IC เบอร์ ADC0804 เพื่อแปลงให้เป็นข้อมูลดิจิทัลขนาด 8 บิต ส่งต่อไปสู่ MCS-51 ทำการจัดเก็บข้อมูลสู่หน่วยความจำ จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำข้อมูลที่บันทึกไว้ในหน่วยความจำ 62C256 มาทำการประมวลผลหาตำแหน่งเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสออกทางจอ LCD

บทที่ 4

การออกแบบโปรแกรมจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล

4.1 บทนำ

ในส่วนของโปรแกรมจัดเก็บข้อมูลจากเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิด และเปิดหน้าสัมผัส สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงในวิทยานิพนธ์นี้ ได้เขียนโปรแกรมจัดเก็บข้อมูลด้วยภาษา เดลไฟท์ 7.0 บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและส่งคำสั่งร้องขอข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 สู่มโครคอนโทรลเลอร์ของเครื่องตรวจวัด (ดังแสดงในรูป 4.1) โปรแกรมที่เขียนขึ้นนี้สามารถ โหลดข้อมูลการทดสอบจากเครื่องตรวจวัด และทำการจัดเก็บเป็นไฟล์ รวมถึงการแสดงผลการ ตรวจวัดในรูปแบบกราฟิก แสดงผลช่วงเวลาการทำงานของการปิดและเปิดหน้าสัมผัสทั้ง 3 เฟส ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง รวมถึงการเปรียบเทียบข้อมูลจากอดีตและปัจจุบัน โปรแกรม จัดเก็บข้อมูลจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนการใช้ติดต่อสื่อสารระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและส่วนโปรแกรมจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล



รูปที่ 4.1 การเชื่อมต่อกับเครื่องทดสอบเพื่อจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

4.2 การติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

การติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์จะอาศัยการส่งข้อมูลผ่าน พอร์ตอนุกรม RS-232 ซึ่งต้องพิจารณา 2 ส่วนด้วยกัน เพื่อให้การส่งถ่ายข้อมูลถูกต้องคือการ กำหนดอัตราการส่งข้อมูลและการกำหนดการรับข้อมูลในการรับส่งผ่านพอร์ตอนุกรม ซึ่งส่วนที่ 1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลใช้โปรแกรมเดลไฟท์ 7.0 ที่ตัวโปรแกรมมีฟังก์ชันสำหรับการสื่อสารผ่าน พอร์ตอนุกรม RS-232 เรียบร้อยแล้ว เพียงแต่กำหนดค่าความเร็วในการสื่อสารก็สามารถใช้งานได้ทันที สำหรับส่วนที่ 2. ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องกำหนดความเร็วที่โปรแกรมที่ใช้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นๆ ในที่นี้ ใช้โปรแกรม Keil uVision2 ในการโปรแกรม MCS-51

4.2.1 การคำนวณอัตราการส่งถ่ายข้อมูลกับคอมพิวเตอร์

อัตราการส่งถ่ายข้อมูลสูงสุดในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกันคือ คอมพิวเตอร์สามารถสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมได้ที่อัตราการส่งถ่ายข้อมูลสูงสุด 25600 bps ส่วนอัตราการส่งถ่ายข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ โดยในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้ความถี่ออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 24.0 MHz เมื่อต้องการรับหรือส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจะต้องกำหนดอัตราการส่งถ่ายข้อมูลที่เป็นค่าเดียวกันมิฉะนั้นข้อมูลที่รับและส่งจะผิดพลาด โดยในส่วนของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ได้กำหนดให้มีอัตราการส่งถ่ายข้อมูลอยู่ที่ 19200 bps [8,9] ใช้ Timer 1 Mode 2 ในการสร้างอัตราการส่งถ่ายข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม โหมด 2 โดยมีสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าตั้งต้นการนับเพื่อโหลดค่าใน TH1 ของ MCS-51 เพื่อใช้ในการกำหนดความเร็วการสื่อสารของ Timer 1 ดังนี้

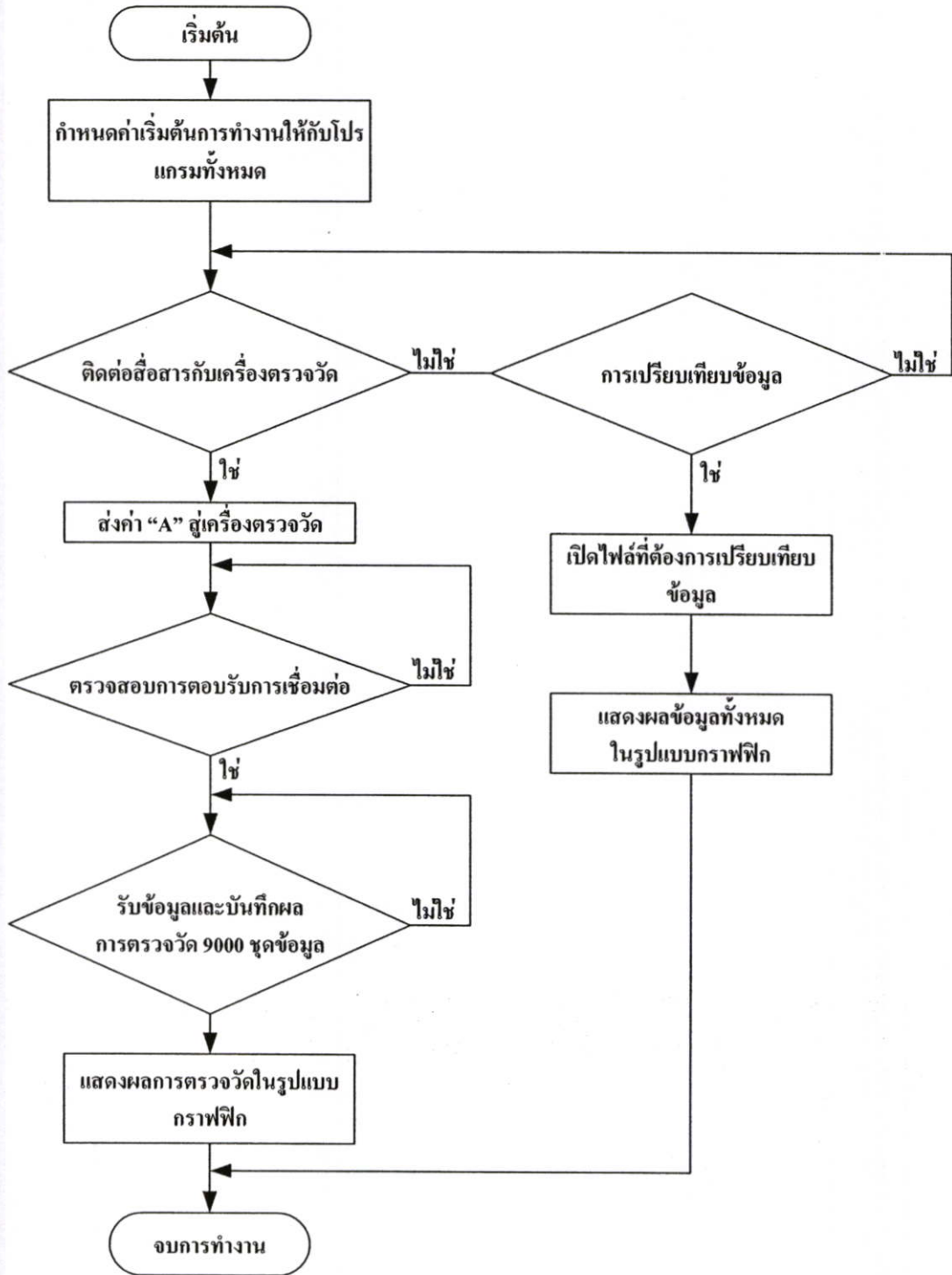
$$TH1 = 256 - \left[\frac{2^{S_{mode}} \times osc}{384 \times Baudrate} \right] \quad (4.1)$$

เมื่อกำหนดให้	S_{mode}	=	1
	Osc	=	24.00 MHz
	$Baudrate$	=	4800 bps
	$TH1$	=	F3H ในรูปแบบฐาน 16

4.2.2 การกำหนดข้อมูลในการรับส่งผ่านพอร์ตอนุกรม

ในการที่ไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์จะติดต่อสื่อสารและทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพย่อมต้องมีความเข้าใจในการตีความหมายของรหัสข้อมูลที่ได้รับเข้ามาในวิทยานิพนธ์นี้ รหัสข้อมูลที่ใช้ในการร้องขอข้อมูลใช้รหัสแอสกี "A" ซึ่งจะถูกส่งออกจากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรมทุกครั้งที่คอมพิวเตอร์ร้องขอข้อมูล เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับรหัสแอสกี "A" ก็จะทำการส่งข้อมูลที่ทำการทดสอบครั้งสุดท้ายส่งไปให้คอมพิวเตอร์ โดยจะทำการส่งข้อมูลขนาด 8 บิต จำนวน 9000 ชุดข้อมูล และส่งรหัสจบการสื่อสารด้วยรหัสแอสกี "13" และ "10" ตามลำดับ เมื่อคอมพิวเตอร์รับข้อมูลไปครบแล้ว โปรแกรมแสดงผลทำการแสดงผลข้อมูลที่รับมาในรูปแบบกราฟิก

4.3 โครงสร้างของโปรแกรมจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล

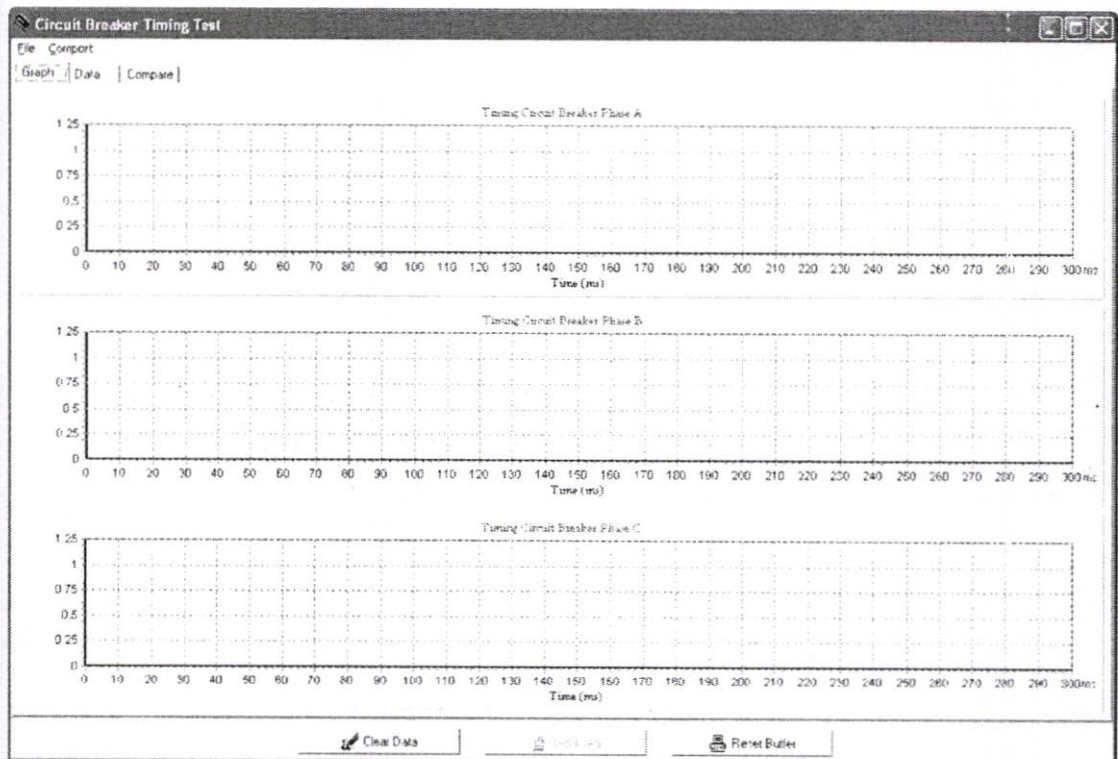


รูปที่ 4.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล

โพลีชาร์ตของซอฟต์แวร์โปรแกรมจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลดังรูปที่ 4.2 โดยเริ่มต้นจากการกำหนดค่าเริ่มต้นการทำงานต่างๆ ให้กับโปรแกรมทั้งหมด ถ้าต้องการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องทดสอบที่จัดสร้างจะต้องกำหนดค่า Comport สำหรับการสื่อสาร จึงสามารถที่จะทำการบันทึกข้อมูลจากเครื่องทดสอบและแสดงผลแบบกราฟิกได้ ถ้าไม่ได้ทำการสื่อสารข้อมูลก็สามารถที่จะนำข้อมูลที่เคยบันทึกเอาไว้มาเปรียบเทียบผลการทดสอบในแต่ละปีได้ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบข้อมูลได้สูงสุด 5 ชุดข้อมูล

4.4 โปรแกรมจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล

โปรแกรมจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลที่จัดสร้างจะแบบออกเป็น 3 ส่วน คือ 1. Graph สำหรับแสดงรูปภาพที่ได้จากการบันทึกในแต่ละครั้งและจะแสดงในรูปแบบกราฟิกการเปิดและปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้งสามเฟส ส่วนที่ 2. Data สำหรับแสดงค่าข้อมูลที่ทำการบันทึกจากเครื่องทดสอบทั้งสามเฟส และส่วนที่ 3. Compare สำหรับนำผลการทดสอบที่ได้ในแต่ละครั้งมาเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงของการทดสอบ สามารถเปรียบเทียบได้สูงสุดจำนวน 5 ชุดข้อมูล



รูปที่ 4.3 หน้าต่างการจัดเก็บข้อมูลและแสดงผล (Graph)

Circuit Breaker Timing Test

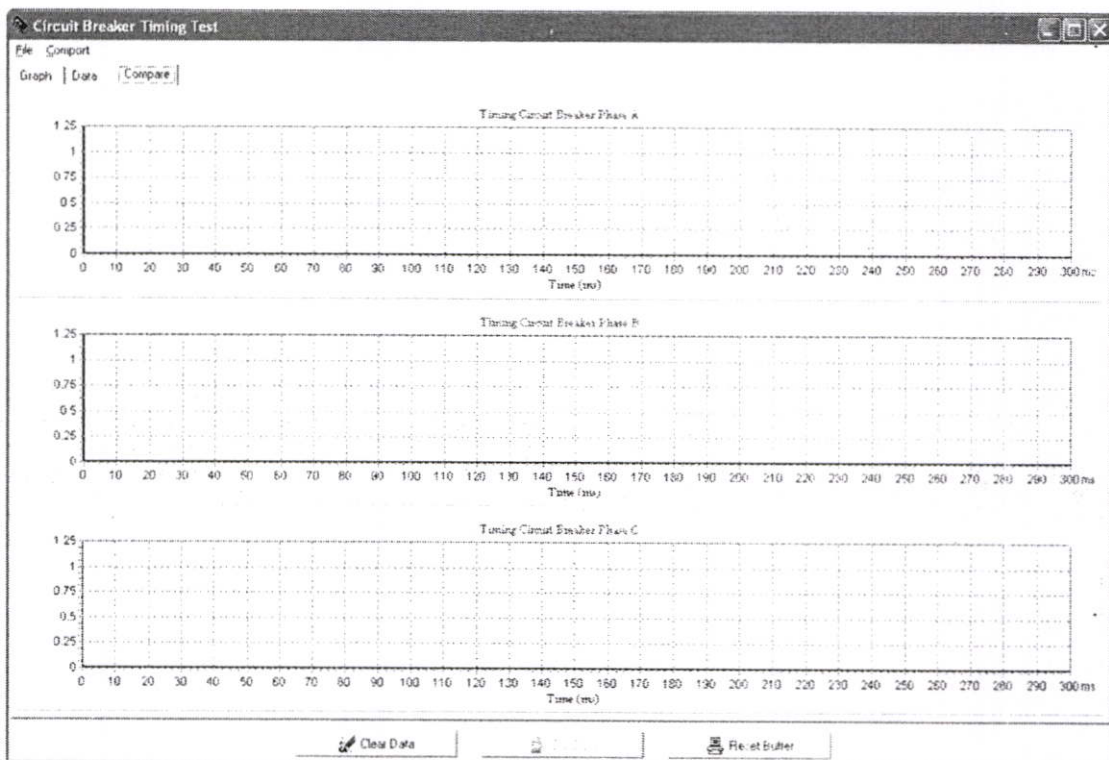
File | Support

Graph | Data | Compare

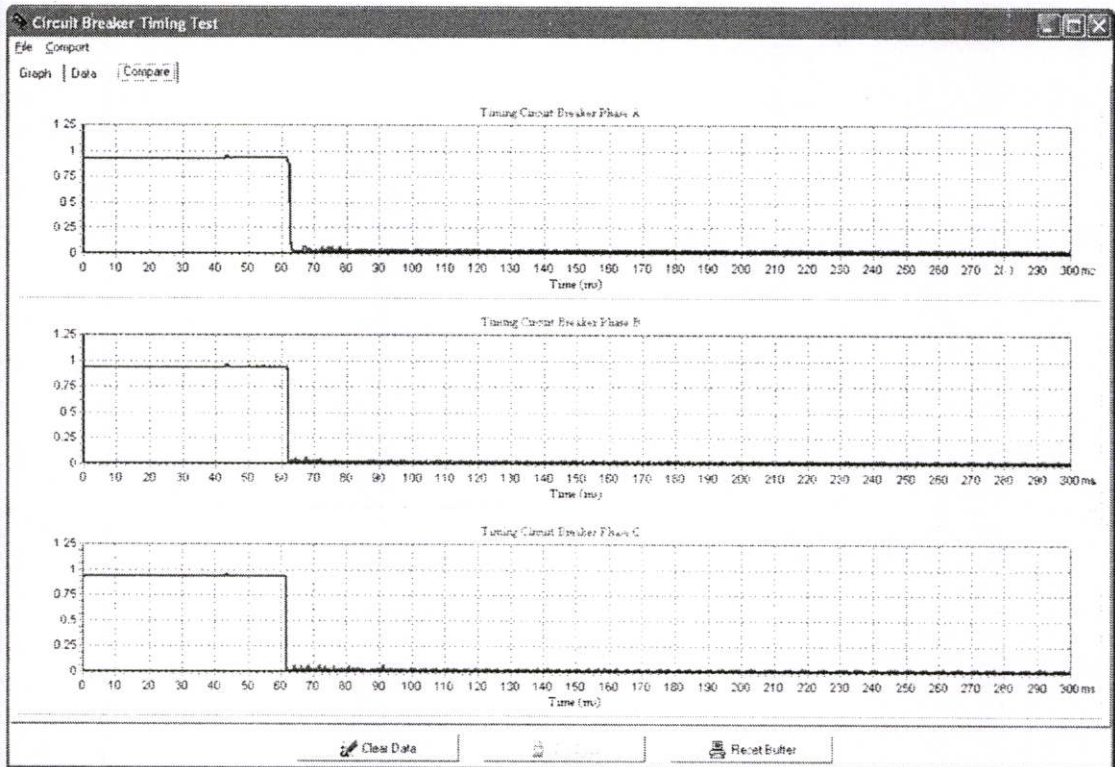
Num	Data1	Data2	Data3
1	2	2	4
2	8	5	4
3	5	8	8
4	5	8	8
5	2	2	8
6	8	5	4
7	1	8	4
8	5	8	1
9	4	2	8
10	10	5	8
11	8	8	8
12	5	8	4
13	5	8	4
14	2	5	1
15	10	8	8
16	8	8	8
17	5	8	8
18	4	5	4
19	2	8	1
20	8	8	1
21	1	4	8
22	5	1	8

Clear Data | Get Data | Reset Buffer

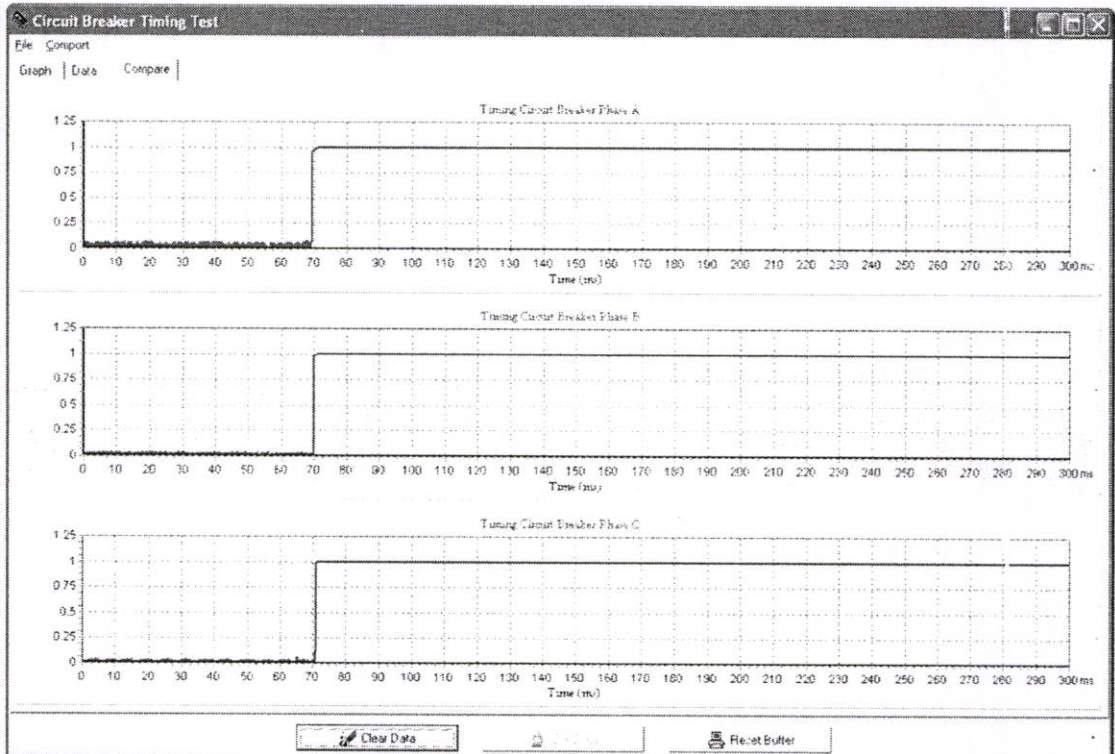
รูปที่ 4.4 หน้าต่างแสดงค่าข้อมูลที่ทำการบันทึกจากเครื่องทดสอบทั้งสามเฟส (Data)



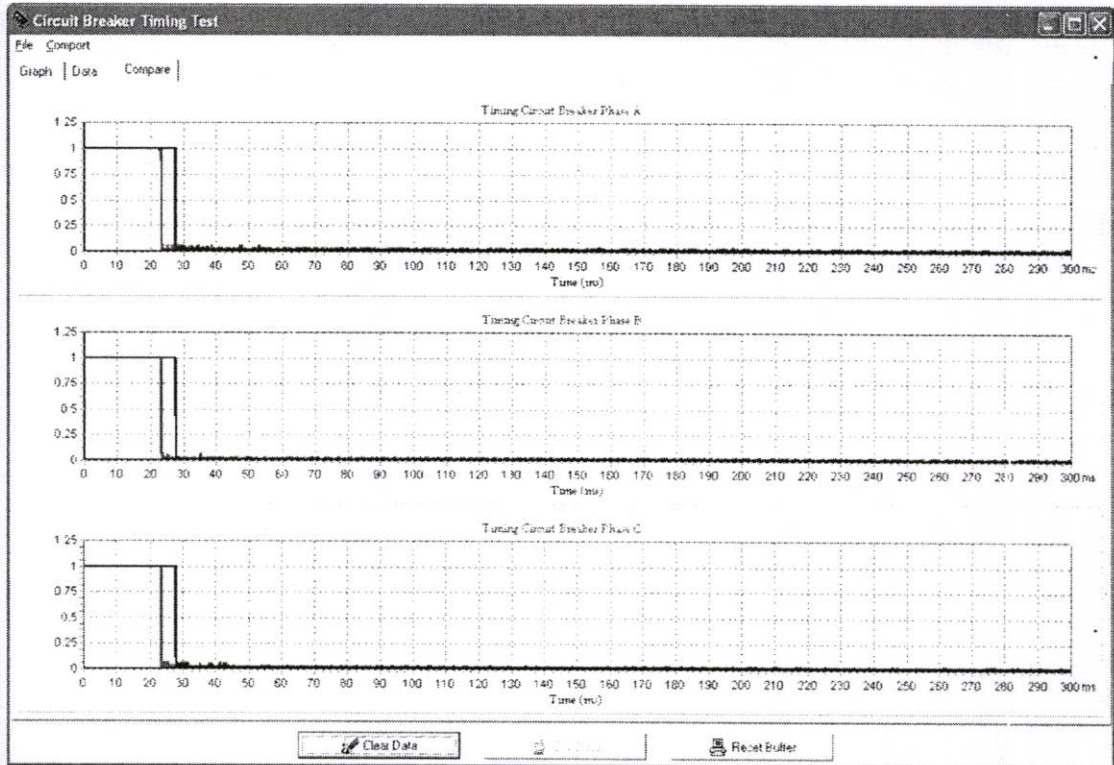
รูปที่ 4.5 หน้าต่างการเปรียบเทียบข้อมูลและแสดงผล (Compare)



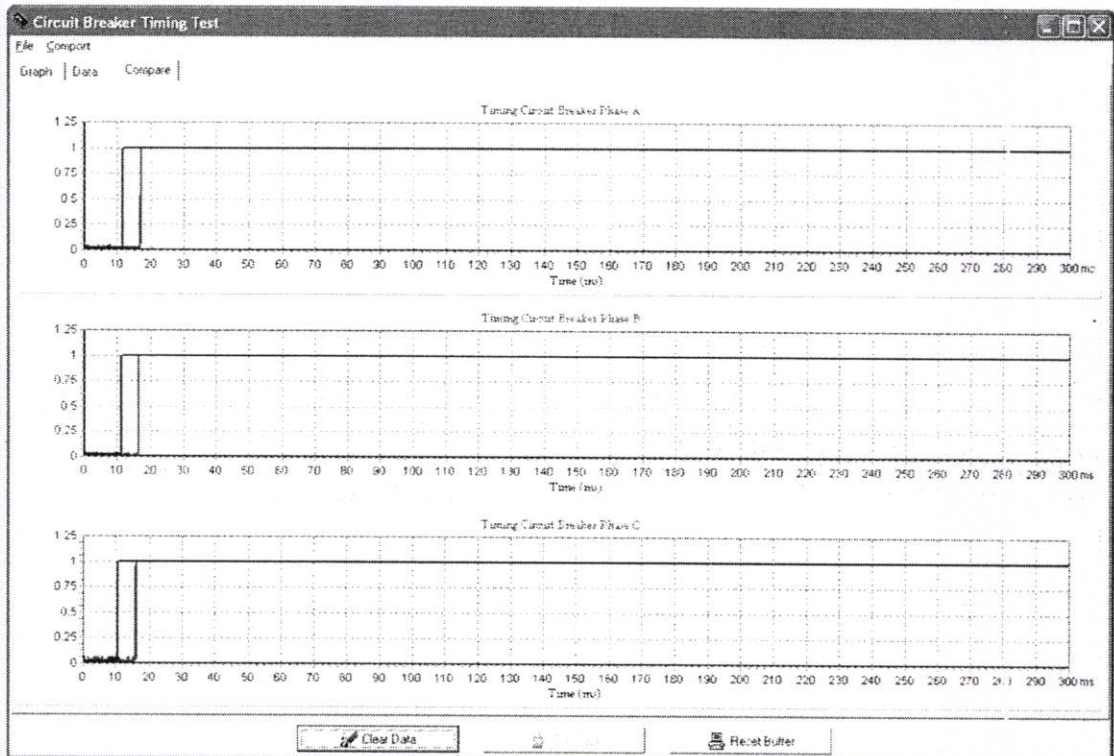
รูปที่ 4.6 การแสดงผลแบบกราฟิการทดสอบแบบปิดหน้าสัมผัส



รูปที่ 4.7 การแสดงผลแบบกราฟิการทดสอบแบบเปิดหน้าสัมผัส



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบกราฟิกแบบปิดหน้าสัมผัส



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลการทดสอบแบบกราฟิกแบบเปิดหน้าสัมผัส

4.5 บทสรุป

การใช้โปรแกรมจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลโดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ที่ได้จากการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลี 7.0 โดยการส่งคำสั่งร้องขอข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 ไปสู่มicrocontroller ซึ่งใช้อัตราการส่งถ่ายข้อมูลระหว่าง microcontroller กับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ความเร็ว 4800 บิตต่อวินาที สามารถบันทึกข้อมูลและแสดงผลแบบกราฟิกลดความผิดพลาดจากการจดบันทึก และสามารถนำข้อมูลที่บันทึกไว้มาเปรียบเทียบข้อมูลได้สูงสุด 5 ข้อมูล ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้ง่าย

บทที่ 5

ผลการทดสอบ และวิเคราะห์ผล

5.1 บทนำ

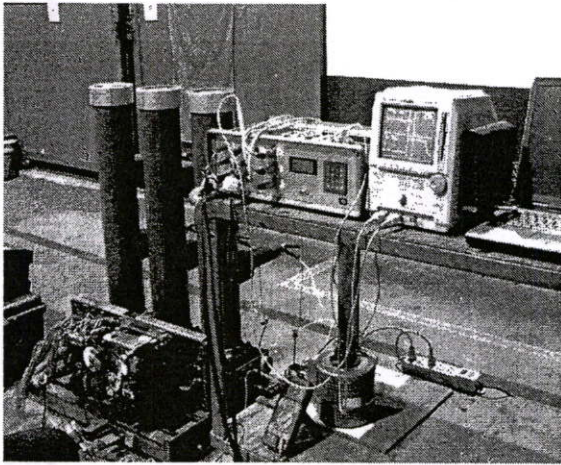
การตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ในปัจจุบันจะต้องทำการทดสอบภายใต้มาตรฐาน IEC 62271-100 ก่อนที่จะทำการทดสอบจะต้องทำความเข้าใจถึงขั้นตอนในการทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานก่อน ต่อจากนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอการทดสอบการตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาที่จัดสร้างขึ้นกับเครื่องตรวจวัดช่วงเวลามาตรฐานที่นำเข้าจากต่างประเทศ

5.2 การเตรียมห้องทดสอบ

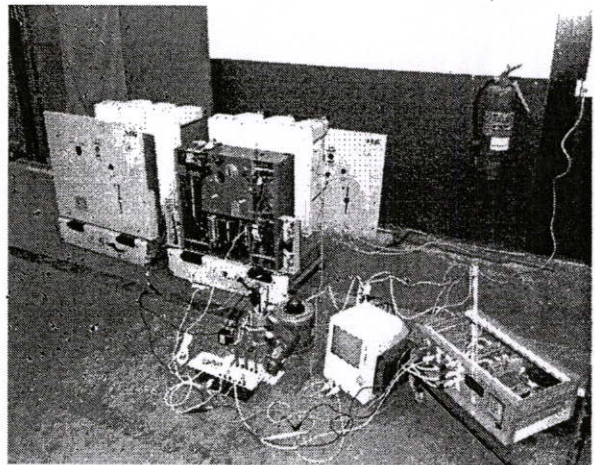
การตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการตรวจวัดในสภาวะแวดล้อมจริงร่วมกับการทดสอบของการไฟฟ้านครหลวง จึงไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกซึ่งอาจมีผลในแต่ละครั้งได้ ดังนั้นผลการทดสอบในแต่ละครั้งจะเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐานจากต่างประเทศเท่านั้น

5.3 การทดสอบตรวจวัดช่วงเวลาปิดและเปิดหน้าสัมผัสกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

ในการทดสอบตรวจวัดช่วงเวลาปิดและเปิดหน้าสัมผัสกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการทดสอบจำนวน 2 รุ่น คือ 1. ก๊าซเซอร์กิตเบรกเกอร์ ABB รุ่น SACE SFAS ใช้ระบบกลไกแบบสปริงควบคุมการปิดและเปิดหน้าสัมผัส และ 2. แวกคิวอัมเซอร์กิตเบรกเกอร์ AEG รุ่น CRR1000 ใช้ระบบกลไกแบบสปริงควบคุมการปิดและเปิดหน้าสัมผัส โดยการตรวจวัดใช้เครื่องทดสอบมาตรฐาน Circuit Breaker Analyzer System ของ GE Energy Programma® Products รุ่น TM1800 ซึ่งวิธีการทดสอบเปรียบเทียบจะใช้เครื่องทดสอบมาตรฐานทำการทดสอบก่อน โดยทำการทดสอบการตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัส อย่างละ 1 ครั้ง จากนั้นนำเครื่องทดสอบที่จัดสร้างทำการทดสอบเทียบ โดยทำการทดสอบซ้ำเช่นเดียวกันกับเครื่องมาตรฐาน จึงนับเป็น 1 รอบ จากนั้นทำการทดสอบสลับกันจนครบ 10 รอบ



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.1 การทดสอบ (ก) ก๊าซเซอร์กิตเบรกเกอร์ ABB รุ่น SACE SFAS และ (ข) แวกคิวเอ็มเซอร์กิตเบรกเกอร์ AEG รุ่น CRR1000

5.4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในการทดสอบตรวจวัดช่วงเวลาเปิดและปิดหน้าสัมผัสกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงในวิทยานิพนธ์ ได้ทำการทดสอบคำนวณหาค่าเฉลี่ย จากสมการที่ 2.3 เพื่อทำการเปรียบเทียบการตรวจวัดจากเครื่องตรวจวัดมาตรฐานและเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้าง โดยจะเปรียบเทียบเฟสต่อเฟส จากสมการที่ 2.2 การคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะคำนวณเพื่อดูความเบี่ยงเบนการตรวจวัดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ของเครื่องตรวจวัดเองว่าเครื่องตรวจวัดเองเบี่ยงเบนเท่าไร จากสมการที่ 2.1 การคำนวณหาค่าเบอร์ดัชนีความผิดพลาด เพื่อดูค่าความผิดพลาดแบบเฟสต่อเฟสระหว่างเครื่องตรวจวัดมาตรฐานเทียบกับเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้าง

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบช่วงเวลาการปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ ABB รุ่น SACE SFAS

เซอร์กิตเบรกเกอร์	ABB	รุ่น	SACE SFAS				
แรงดัน	24 kV	Closing Time	55 ms				
กระแส	1250 A	Opening Time	70 ms				
ความดันก๊าซ SF6	340 kpa						
ครั้งที่	เครื่องทดสอบมาตรฐาน			ครั้งที่	การทดสอบที่จัดสร้าง		
	Closing Time				Closing Time		
	Phase				Phase		
	A (ms)	B (ms)	C (ms)		A (ms)	B (ms)	C (ms)
1	61.1	59.4	64.5	1	60.1	59.3	64.2
2	61.5	59.9	64.8	2	61.1	59.7	64.7
3	60.9	59.3	64.2	3	60.5	59.3	58.8
4	60.6	59.0	63.9	4	61.0	59.6	64.5
5	60.9	59.2	64.2	5	60.9	59.4	64.1
6	61.1	59.4	64.4	6	61.2	59.5	64.6
7	61.1	59.4	64.4	7	60.7	59.5	59.3
8	60.6	59.0	63.9	8	60.6	59.2	58.9
9	60.9	59.3	59.1	9	61.1	59.6	64.5
10	60.7	59.0	58.9	10	60.3	59.1	58.8
\bar{X}	60.94	59.29	63.23	\bar{X}	60.75	59.42	62.24
SD	0.262	0.259	2.131	SD	0.372	0.193	2.840

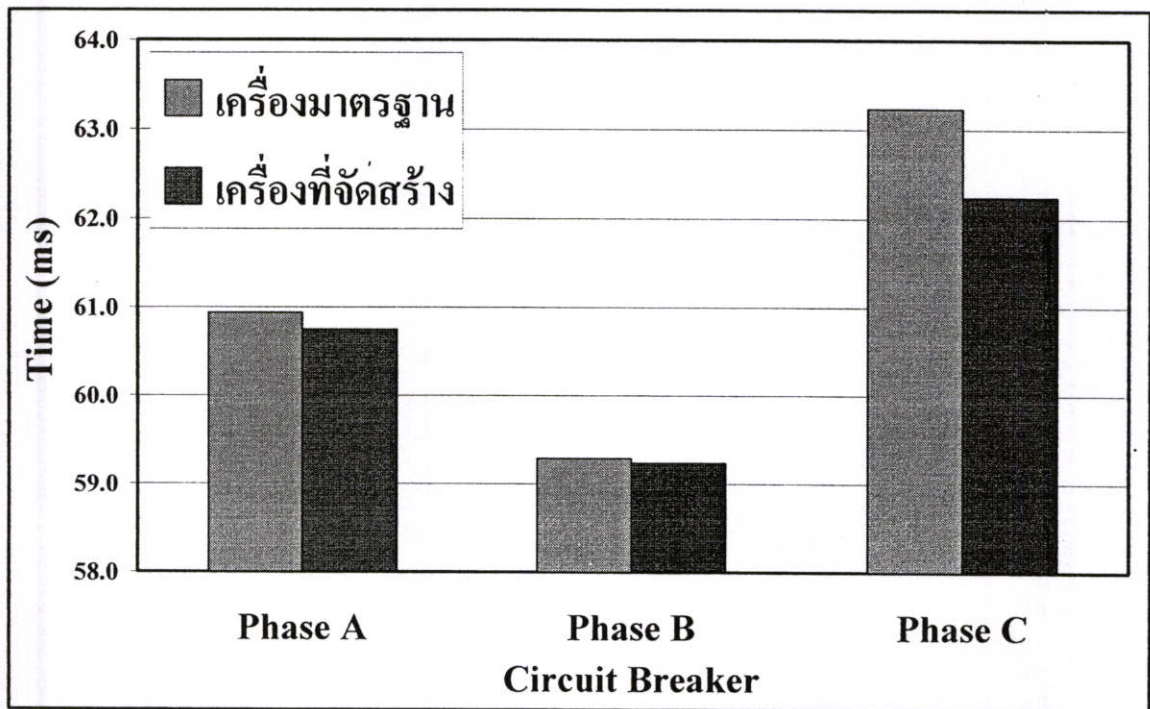
ตารางที่ 5.2 ผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างเครื่องที่จัดสร้างเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐาน

Phase	A	B	C
% Error \bar{X}	0.312	0.084	1.566

ผลการทดสอบจากตารางที่ 5.1 การตรวจวัดช่วงเวลาการปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ ค่าเฉลี่ยการตรวจวัดจากเครื่องทดสอบมาตรฐานที่เฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 60.94, 59.29 และ 63.23 มิลลิวินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดสอบเฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 0.262, 0.259 และ 2.131 และ

ผลค่าเฉลี่ยการตรวจวัดจากเครื่องที่จัดสร้างที่เฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 60.75, 59.42 และ 62.24 มิลลิวินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดสอบเฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 0.372, 0.193 และ 2.840

จากตารางที่ 5.2 โดยนำค่าเฉลี่ยของแต่ละเฟสจากตารางที่ 5.1 มาทำการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้างเทียบกับเครื่องตรวจวัดมาตรฐาน มีค่าผิดพลาดที่เฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 0.312, 0.084 และ 1.566 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.2 กราฟค่าเฉลี่ยการทดสอบการปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ABB รุ่น SACE

จากรูปที่ 5.2 กราฟค่าเฉลี่ยการทดสอบการปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง จากการตรวจวัดจากเครื่องมาตรฐานเทียบกับเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้างนั้น พบว่ามีค่าการตรวจวัดไปในทิศทางเดียวกันทั้งสามเฟส แต่ที่เฟส C มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าเฟส A, B มาก จากค่าเฉลี่ยที่ได้มีความแตกต่างสูงสุดอยู่ 0.99 มิลลิวินาทีที่เฟส C แต่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดอยู่ที่ 2.131 จากเครื่องมาตรฐาน และ 2.840 จากเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้าง ดังนั้นค่าที่เกิดความผิดพลาดที่มากกว่าปกติมาจากความผิดปกติของระบบกลไกของเซอร์กิตเบรกเกอร์เอง แต่ค่าความผิดพลาดมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 1.566 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบช่วงเวลาการเปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ ABB รุ่น SACE SFAS

เซอร์กิตเบรกเกอร์	ABB	รุ่น	SACE SFAS				
แรงดัน	24 kV	Closing Time	55 ms				
กระแส	1250 A	Opening Time	70 ms				
ความดันก๊าซ SF6	340 kpa						
ครั้งที่	เครื่องทดสอบมาตรฐาน			ครั้งที่	การทดสอบที่จัดสร้าง		
	Opening Time				Opening Time		
	Phase				Phase		
	A (ms)	B (ms)	C (ms)		A (ms)	B (ms)	C (ms)
1	74.1	76.1	70.4	1	71.6	74.2	68.0
2	77.1	79.1	73.3	2	75.9	78.3	72.3
3	75.5	77.7	71.9	3	72.2	74.4	68.6
4	75.6	77.9	72.0	4	74.2	77.1	71.2
5	75.3	77.7	71.1	5	74.0	76.2	70.6
6	72.1	74.3	68.4	6	75.3	77.5	71.6
7	76.2	78.3	72.4	7	74.0	76.3	70.8
8	74.4	76.9	71.0	8	72.1	74.4	68.4
9	73.4	75.7	69.9	9	75.4	77.6	71.7
10	74.5	76.7	70.8	10	74.5	77.4	71.3
\bar{X}	74.82	77.04	71.12	\bar{X}	73.92	76.34	70.45
SD	1.438	1.405	1.386	SD	1.494	1.513	1.541

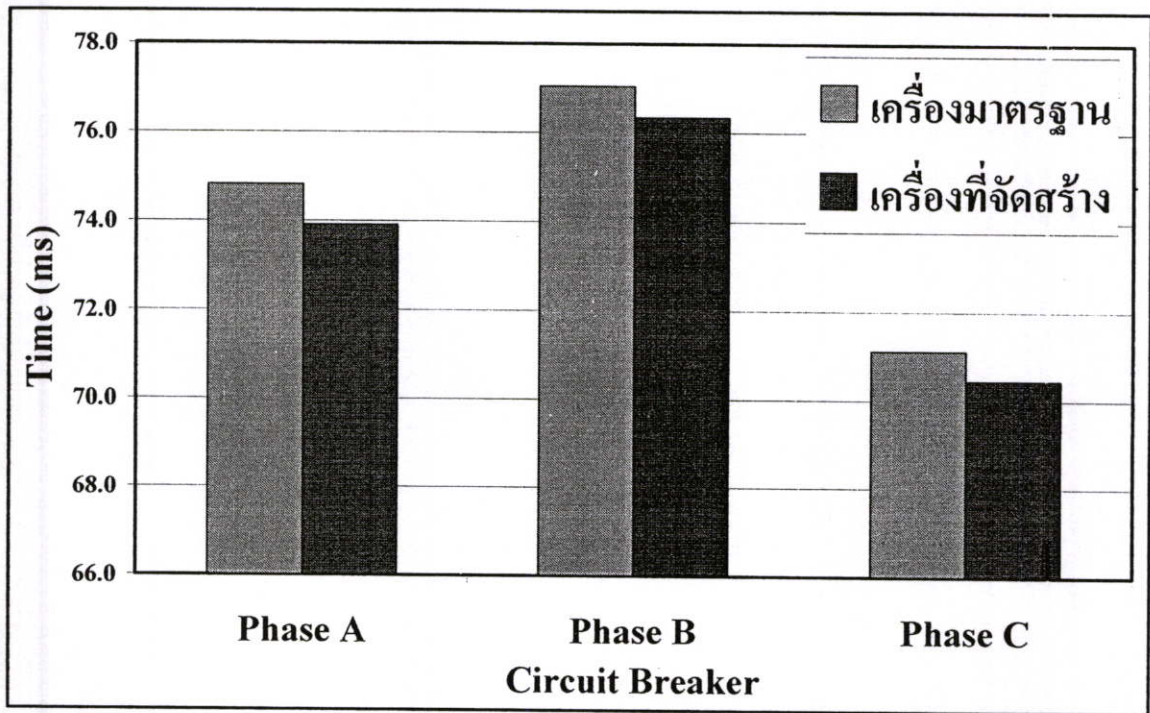
ตารางที่ 5.4 ผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างเครื่องที่จัดสร้างเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐาน

Phase	A	B	C
% Error \bar{X}	1.203	0.909	0.942

ผลการทดสอบจากตารางที่ 5.3 การตรวจวัดช่วงเวลาการเปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ ค่าเฉลี่ยการตรวจวัดจากเครื่องทดสอบมาตรฐานที่เฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 74.82, 77.04 และ 71.12 มิลลิวินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดสอบเฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 1.438, 1.405 และ 1.386 และ

ผลค่าเฉลี่ยการตรวจวัดจากเครื่องที่จัดสร้างที่เฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 73.92, 76.34 และ 40.45 มิลลิวินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดสอบเฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 1.494, 1.513 และ 1.541

จากตารางที่ 5.4 โดยนำค่าเฉลี่ยของแต่ละเฟสจากตารางที่ 5.3 มาทำการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้างเทียบกับเครื่องตรวจวัดมาตรฐาน มีค่าผิดพลาดที่เฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 1.203, 0.909 และ 0.942 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.3 กราฟค่าเฉลี่ยการทดสอบการเปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ABB รุ่น SACE.

จากรูปที่ 5.3 กราฟค่าเฉลี่ยการทดสอบการเปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง จากการตรวจวัดจากเครื่องมาตรฐานเทียบกับเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้างนั้น พบว่ามีค่าการตรวจวัดไปในทิศทางเดียวกันทั้งสามเฟส แต่ที่เฟส A มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าเฟส B, C มาก จากค่าเฉลี่ยที่ได้มีความแตกต่างสูงสุดอยู่ 0.9 มิลลิวินาทีที่เฟส A แต่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่เฟส C อยู่ที่ 1.386 จากเครื่องมาตรฐาน และ 1.541 จากเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้าง ดังนั้นค่าที่เกิดความผิดพลาดที่มากกว่าปกติมาจากความผิดปกติของระบบกลไกของเซอร์กิตเบรกเกอร์เอง แต่ค่าความผิดพลาดมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 1.203 เปอร์เซ็นต์

ข้อสังเกตในการตรวจวัดที่เฟส C มีความผิดปกติมากกว่าเฟสอื่นๆ จากรูปที่ 5.1 ใช้เวลาในการทำงานมากกว่าเฟสอื่นๆ และรูปที่ 5.3 ใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่าเฟสอื่นๆ สาเหตุที่มีผลดังนั้นเนื่องจากหน้าสัมผัสของเฟส C สึกหรือ หรือมีความยาวนานน้อยกว่าเฟสอื่นๆ

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบช่วงเวลาการปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ AEG รุ่น CRR1000

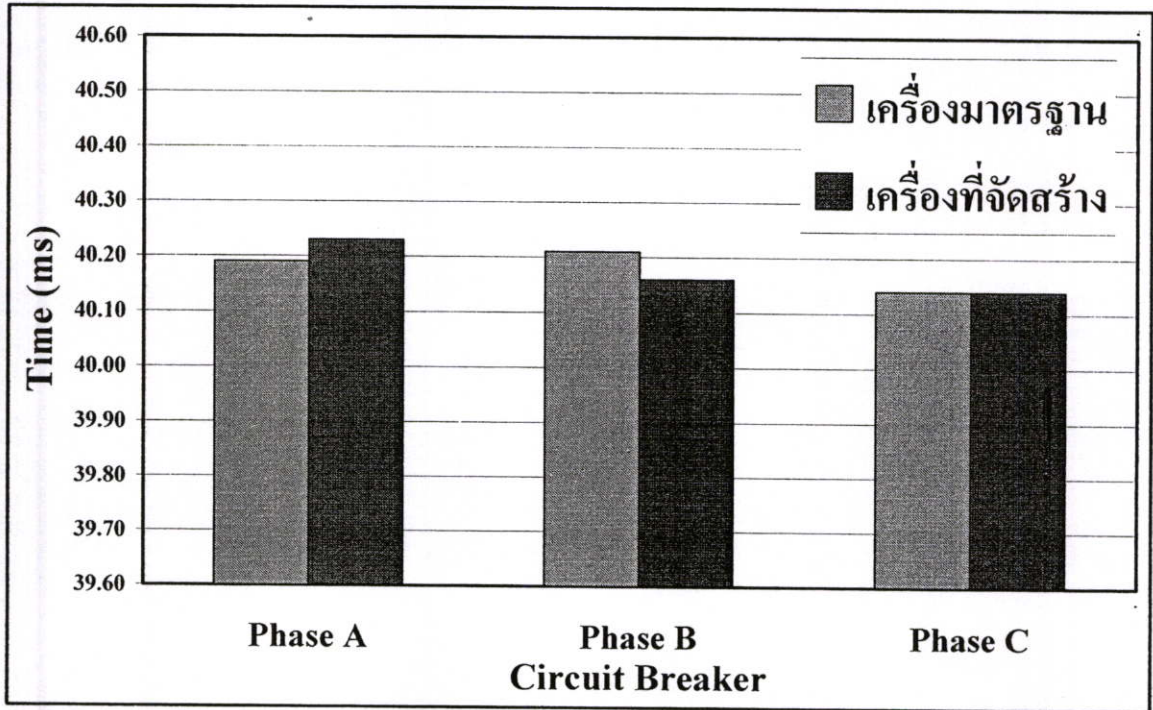
เซอร์กิตเบรกเกอร์	AEG			รุ่น	CRR1000		
แรงดัน	24 kV			Closing Time	-		
กระแส	2000 A			Opening Time	-		
ครั้งที่	เครื่องทดสอบมาตรฐาน			ครั้งที่	การทดสอบที่จัดสร้าง		
	Closing Time				Closing Time		
	Phase				Phase		
	A (ms)	B (ms)	C (ms)		A (ms)	B (ms)	C (ms)
1	40.2	40.2	40.2	1	40.4	40.3	40.3
2	40.0	40.1	40.0	2	40.2	40.3	40.2
3	40.3	40.3	40.2	3	40.3	40.2	40.2
4	40.1	40.2	40.1	4	40.2	40.1	40.1
5	40.2	40.2	40.1	5	40.1	40.0	39.9
6	40.3	40.3	40.2	6	40.2	40.2	40.2
7	40.3	40.2	40.3	7	40.3	40.2	40.2
8	40.2	40.2	40.1	8	40.2	40.1	40.1
9	40.0	40.1	40.0	9	40.1	39.9	40.0
10	40.3	40.3	40.2	10	40.3	40.3	40.2
\bar{X}	40.19	40.21	40.14	\bar{X}	40.23	40.16	40.14
SD	0.120	0.074	0.097	SD	0.095	0.135	0.117

ตารางที่ 5.6 ผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างเครื่องที่จัดสร้างเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐาน

Phase	A	B	C
% Error \bar{X}	-0.100	0.124	0.000

ผลการทดสอบจากตารางที่ 5.5 การตรวจวัดช่วงเวลาการปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ ค่าเฉลี่ยการตรวจวัดจากเครื่องทดสอบมาตรฐานที่เฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 40.19, 40.21 และ 40.14 มิลลิวินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดสอบเฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 0.120, 0.074 และ 0.097 และ ผลค่าเฉลี่ยการตรวจวัดจากเครื่องที่จัดสร้างที่เฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 40.23, 40.16 และ 40.14 มิลลิวินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดสอบเฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 0.095, 0.135 และ 0.117

จากตารางที่ 5.6 โดยนำค่าเฉลี่ยของแต่ละเฟสจากตารางที่ 5.5 มาทำการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้างเทียบกับเครื่องตรวจวัดมาตรฐาน มีค่าผิดพลาดที่เฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ -0.100, 0.124 และ 0.000 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.4 กราฟค่าเฉลี่ยการทดสอบการปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง AEG รุ่น CRR1000

จากรูปที่ 5.4 กราฟค่าเฉลี่ยการทดสอบการปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง จากการตรวจวัดจากเครื่องมาตรฐานเทียบกับเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้างนั้น พบว่ามีค่าการตรวจวัดไปในทิศทางเดียวกันทั้งสามเฟส แต่ที่เฟส B มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าเฟส A, C เล็กน้อย จากค่าเฉลี่ยที่ได้มีความแตกต่างสูงสุดอยู่ 0.06 มิลลิวินาทีที่เฟส B แต่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่เฟส A อยู่ที่ 0.120 จากเครื่องมาตรฐาน และที่เฟส B อยู่ที่ 0.135 จากเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้าง ดังนั้นค่าที่เกิดความผิดพลาดที่มากกว่าปกติมาจากความผิดปกติของระบบกลไกของเซอร์กิตเบรกเกอร์เอง แต่ค่าความผิดพลาดมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 0.124 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบช่วงเวลาการเปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ AEG รุ่น CRR1000

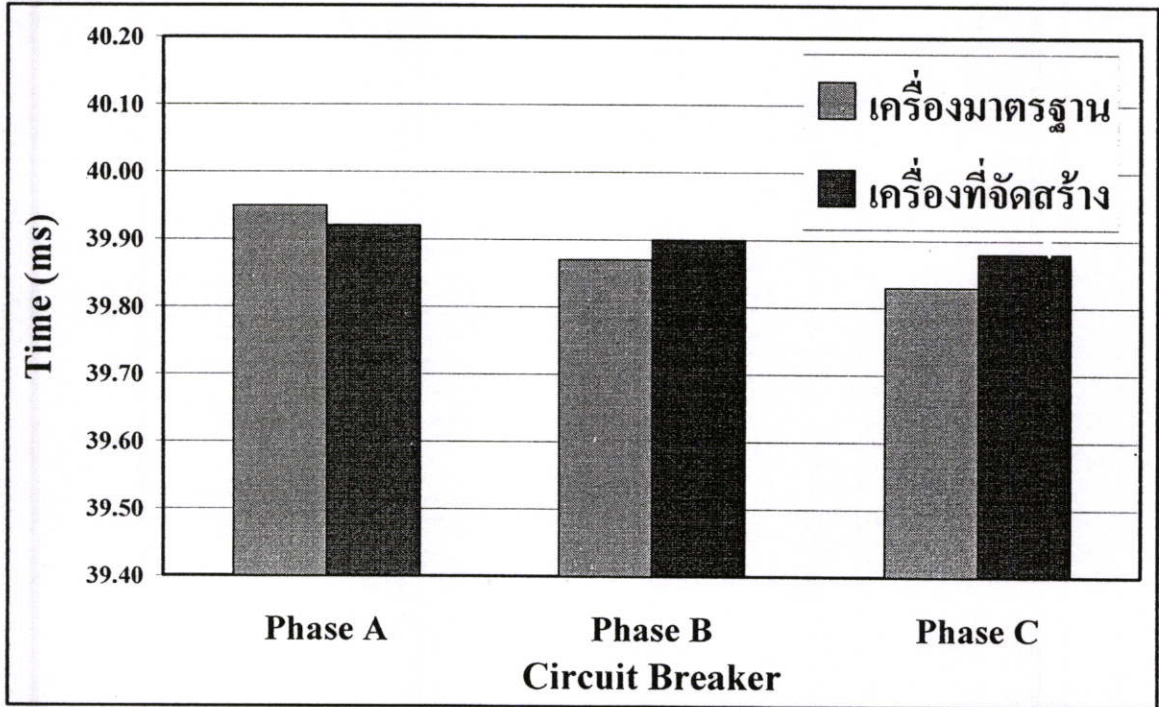
เซอร์กิตเบรกเกอร์	AEG			รุ่น	CRR1000		
แรงดัน	24 kV			Closing Time	-		
กระแส	2000 A			Opening Time	-		
ครั้งที่	เครื่องทดสอบมาตรฐาน			ครั้งที่	การทดสอบที่จัดสร้าง		
	Opening Time				Opening Time		
	Phase				Phase		
	A (ms)	B (ms)	C (ms)		A (ms)	B (ms)	C (ms)
1	39.8	39.7	39.6	1	39.8	39.8	39.8
2	40.2	40.1	40.0	2	40.0	39.9	39.9
3	40.1	40.0	40.0	3	40.0	40.0	40.0
4	39.9	39.8	39.8	4	39.9	39.9	39.8
5	39.8	39.8	39.8	5	39.8	39.8	39.8
6	39.7	39.7	39.6	6	40.0	39.9	39.9
7	39.9	39.8	39.7	7	40.0	40.0	40.0
8	40.1	40.0	40.0	8	40.0	40.1	40.0
9	40.2	40.1	40.1	9	39.9	39.9	39.8
10	39.8	39.7	39.7	10	39.8	39.7	39.8
\bar{X}	39.95	39.87	39.83	\bar{X}	39.92	39.90	39.88
SD	0.184	0.164	0.183	SD	0.092	0.115	0.092

ตารางที่ 5.8 ผลการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างเครื่องที่จัดสร้างเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐาน

Phase	A	B	C
% Error \bar{X}	0.075	-0.075	-0.126

ผลการทดสอบจากตารางที่ 5.7 การตรวจวัดช่วงเวลาการเปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ ค่าเฉลี่ยการตรวจวัดจากเครื่องทดสอบมาตรฐานที่เฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 39.95, 39.87 และ 39.83 มิลลิวินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดสอบเฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 0.184, 0.164 และ 0.183 และผลค่าเฉลี่ยการตรวจวัดจากเครื่องที่จัดสร้างที่เฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 39.92, 39.90 และ 39.88 มิลลิวินาที ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานการทดสอบเฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 0.092, 0.115 และ 0.092

จากตารางที่ 5.8 โดยนำค่าเฉลี่ยของแต่ละเฟสจากตารางที่ 5.7 มาทำการคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้างเทียบกับเครื่องตรวจวัดมาตรฐาน มีค่าผิดพลาดที่เฟส A, B และ C มีค่าเท่ากับ 0.075, -0.075 และ -0.126 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 5.5 กราฟค่าเฉลี่ยการทดสอบการเปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง AEG รุ่น CRR1000

จากรูปที่ 5.5 กราฟค่าเฉลี่ยการทดสอบการเปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง จากการตรวจวัดจากเครื่องมาตรฐานเทียบกับเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้างนั้น พบว่ามีค่าการตรวจวัดไปในทิศทางเดียวกันทั้งสามเฟส แต่ที่เฟส C มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าเฟส A, B เล็กน้อย จากค่าเฉลี่ยที่ได้มีความแตกต่างสูงสุดอยู่ 0.05 มิลลิวินาทีที่เฟส C แต่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนั้นมีค่าการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดที่เฟส A อยู่ที่ 0.184 จากเครื่องมาตรฐาน และที่เฟส B อยู่ที่ 0.115 จากเครื่องตรวจวัดที่จัดสร้าง ดังนั้นค่าที่เกิดความผิดพลาดที่มากกว่าปกติมาจากความผิดปกติของระบบกลไกของเซอร์กิตเบรกเกอร์เอง แต่ค่าความผิดพลาดมีค่ามากที่สุดอยู่ที่ 0.126 เปอร์เซ็นต์

5.5 สรุปผล

วิทยานิพนธ์ได้ทำการออกแบบและจัดสร้างเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงจากการทดสอบการทำงานพบว่าสามารถทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ต้องการ และค่าที่ตรวจวัดกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้ง 2 รุ่น ค่าที่ได้ในแต่ละเฟส มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จากตัวอย่างที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.99 มิลลิวินาที

และจากตัวอย่างที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.06 มิลลิวินาที เครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการเปิด และ ปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ที่ได้จัดสร้างนี้ มีค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐานไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ สามารถทดสอบตามมาตรฐาน IEC 62271-100 และใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมเงื่อนไขการทำงานได้ทั้งหมด ซึ่งมีความน่าเชื่อถือสูงสามารถผลิตขึ้นใช้เองภายในประเทศ ลดการนำเข้าเครื่องมือทดสอบจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงจำเป็นต้องมีเครื่องทดสอบที่มีความแม่นยำในการทดสอบ เนื่องจากหากเครื่องทดสอบไม่มีความแม่นยำเพียงพอจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์อันอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายกับระบบไฟฟ้าทั้งระบบได้ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง โดยทำการสร้างเครื่องทดสอบต้นแบบเรียบร้อยแล้วและทำการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐานคือ Circuit Breaker Analyzer System ของ GE Energy Programma® Products รุ่น TM1800 ซึ่งเป็นเครื่องที่การไฟฟ้านครหลวงใช้ทดสอบการเปิด และปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในปัจจุบันเพื่อทดแทนการนำเข้าเทคโนโลยีที่มีราคาแพงและลดความยุ่งยากในการใช้งาน ซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้เป็นหัวข้อใหญ่ๆดังนี้

6.1 การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบ

จากการศึกษาชุดควบคุมการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ได้ทำการออกแบบส่วนควบคุมออกเป็น 6 ส่วนคือ

- ภาคจ่ายไฟฟ้า เป็นระบบ Switching Power Supply โดยรับแรงดันไฟฟ้า $220 V_{AC}$ และเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับส่วนการทำงานอื่นๆ ดังนี้ $+5 V_{DC}$, $5 A$ สำหรับภาคควบคุมต่างๆ $+12 V_{DC}$, $6 A$ สำหรับภาคตรวจวัดการเปิดและปิดหน้าสัมผัส และ $-5 V_{DC}$, $2 A$ กับ $-12 V_{DC}$, $2 A$ สำหรับจ่ายให้กับส่วนวงจรย่อยต่างๆ ในระบบ

- ภาคควบคุมใช้ MCS-51 ควบคุมการทำงานของเครื่องทดสอบ โดยขั้นตอนการควบคุมจะแสดงใน Flowchart รูปที่ 3.2 การควบคุมความแม่นยำในการทำงานนั้น นอกจากความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ การออกแบบโครงสร้างโปรแกรมที่มีความกระชับจะทำให้ความน่าเชื่อถือของระบบควบคุมดีขึ้น

- ภาคสั่งเปิดและปิดหน้าสัมผัส สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ใช้ SCR ในการสั่งเปิดและปิดหน้าสัมผัส โดยใช้ SCR จำนวน 2 ตัว ที่ 1 ใช้ในการสั่งเปิดหน้าสัมผัส ส่วนตัวที่ 2 ใช้ในการสั่งปิดหน้าสัมผัส โดยแรงดันที่ใช้กับคอยล์สั่งเปิดและปิดหน้าสัมผัสอยู่ที่ $+125 V_{DC}$ และใช้รีเลย์ควบคุมการหยุดจ่ายแรงดันที่คอยล์เปิดและปิดหน้าสัมผัส

- ภาคตรวจวัดการเปิดและปิดหน้าสัมผัส สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง $+12 V_{DC}$ ให้กับหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง หลังจากสั่งเปิดและปิดหน้าสัมผัส ก็จะเริ่มทำการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัส โดยใช้การวัดสัญญาณแบบ

อนาล็อกแปลงสัญญาณที่ได้จาก $+12 V_{DC}$ เป็น 0 ถึง $+5 V_{DC}$ ตามการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง หลังจากนั้นทุกๆ 100 ไมโครวินาที MCS-51 จะนำข้อมูลที่ได้ บันทึกไว้ที่หน่วยความจำ

- ภาคหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ใช้หน่วยความจำขนาด 256 Kbytes จำนวน 8 ตัว โดย MCS-51 ขณะทำการทดสอบจะทำการส่งข้อมูลจัดเก็บไว้ที่หน่วยความจำ จำนวน 3 ชุดข้อมูลๆ ละ 3000 ข้อมูล ดังนั้นการทดสอบ 1 ครั้งจะทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 9000 ชุดข้อมูล และหลังจากทำการทดสอบเสร็จแล้ว จะเรียกข้อมูลที่จัดเก็บไว้ที่หน่วยความจำทั้ง 3 ชุดข้อมูล เพื่อนำไปประมวลผลหาตำแหน่งของการเปิดและปิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

- ภาคแสดงผล ทำการแสดงผลทางจอ LCD (Liquid Crystal Displays) สามารถแสดงผลข้อมูลได้ 4 บรรทัดๆ ละ 16 ตัวอักษร ซึ่งเมื่อ MCS-51 ประมวลผลการทดสอบเรียบร้อยแล้วจะส่งข้อมูลกระบวนการทดสอบ และเวลาที่ใช้ในการทดสอบ แสดงบนจอ LCD

6.2 โปรแกรมบันทึกผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบ

ในการบันทึกผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบสามารถใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีโปรแกรมบันทึกผล เพื่อเป็นการสะดวกในการเก็บข้อมูลและป้องกันความผิดพลาดจากการจดค่าของผลการทดสอบ ในส่วนของการบันทึกผลการทดสอบจะส่งสัญญาณควบคุมเป็นรหัสแอสกี ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 โดยใช้อัตราการส่งถ่ายข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ 4800 บิตต่อวินาที

6.3 การทดสอบกับเครื่องทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์มาตรฐาน

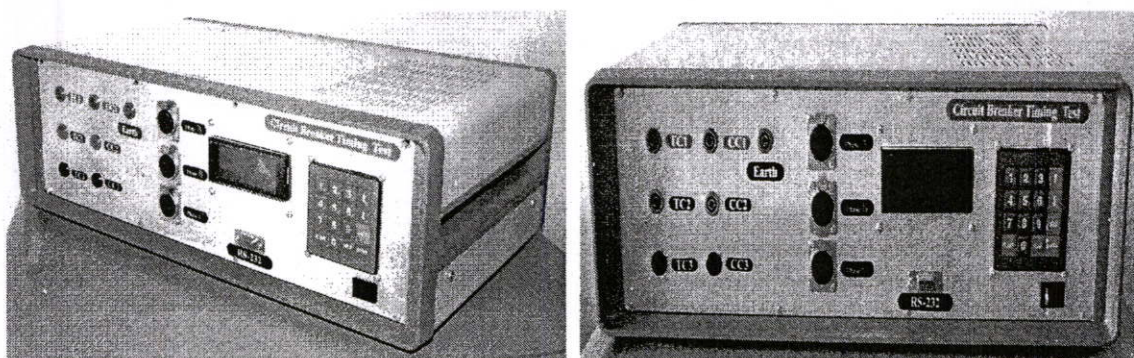
จากการทดสอบเครื่องที่จัดสร้างเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐานคือ Circuit Breaker Analyzer System ของ GE Energy Programma® Products รุ่น TM1800 โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบกับเซอร์กิตเบรกเกอร์จำนวน 2 ตัวอย่าง คือ 1. ABB รุ่น SACE SFAS และ 2. AEG รุ่น CRR1000 โดยทำการทดสอบการตรวจวัดช่วงเวลาปิดและเปิดหน้าสัมผัส ตาม IEC 62271-100 ภายใต้หัวข้อย่อย 3.7.313 และ 3.7.316 ในการทดสอบเนื่องจากการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะขึ้นอยู่กับกลไกควบคุมและประเภทของเซอร์กิตเบรกเกอร์ การทำงานในแต่ละครั้งจะไม่เท่ากันในแต่ละเฟส แต่จะแตกต่างกันเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งถือว่าเป็นเรื่องปกติ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการเปิดและปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ที่ได้จัดสร้างนี้ มีค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐานไม่เกิน 2 เปอร์เซ็นต์ สามารถทดสอบตามมาตรฐาน IEC 62271-100 และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมเงื่อนไขการทำงานได้ทั้งหมด ซึ่งมีความน่าเชื่อถือสูงสามารถผลิตขึ้นใช้เองภายในประเทศ ลดการนำเข้าเครื่องมือทดสอบจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง

6.4 สรุปพิกัดของเครื่องตรวจวัด

พิกัดของเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.1 พิกัดของเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

ลำดับที่	รายละเอียด	พิกัดเครื่อง
1	เครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง	กxขxส = 27.0x40.65x15.5 เซนติเมตร น้ำหนัก 4.8 กิโลกรัม
2	ไมโครคอนโทรลเลอร์	MCS-51 เบอร์ 89C51RD2
3	การตรวจวัดช่วงเวลาปิดและเปิดหน้าสัมผัส	ได้ พร้อมกันทั้ง 3 เฟส
4	แรงดันที่สามารถควบคุมคอยล์ปิดและเปิดหน้าสัมผัส	600 โวลต์ดีซี
5	ความเร็วในการตรวจวัดหน้าสัมผัส	100 ไมโครวินาทีต่อครั้ง
6	ไมโครคอมพิวเตอร์ที่สามารถติดตั้งโปรแกรม	รุ่น INTEL หรือ AMD
7	โปรแกรมสามารถติดตั้งกับระบบปฏิบัติการ	WinME ขึ้นไป
8	ระบบการอินเตอร์เฟส	RS-232, 9-PIN D-SUB, 4800 bps
9	แรงดันอินพุท	200 - 240 โวลท์เอซี, 50-60 Hz
10	มาตรฐานการตรวจวัด	IEC 62271-100
11	สามารถทดสอบได้กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง	ขนาด 24 kV ขึ้นไป



รูปที่ 6.1 เครื่องตรวจวัดช่วงเวลาปิดและเปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

6.5 ข้อเสนอแนะ

การสร้างโปรแกรมบันทึกผลการทดสอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาส่วนบุคคลควรจะต้องมีการพัฒนาในส่วนของการวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้จากเครื่องทดสอบ เพื่อหาสาเหตุของความผิดปกติเบื้องต้นและระบบฐานข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูงที่นำเข้ามาใช้ในประเทศไทย เนื่องจากมีหลากหลายรุ่น เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการทดสอบในอนาคต ในส่วนของการพัฒนาเครื่องทดสอบควรใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความเร็วในการประมวลผลมากขึ้นและเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความเร็วสูงขึ้น เพื่อให้สามารถตอบสนองการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทั้งระบบอย่างเต็มรูปแบบ เพื่อที่จะได้ความละเอียดในการวัดและความแม่นยำมากขึ้น ด้านการบันทึกผลการตรวจวัดปรับจากระบบ RS-232 เป็นระบบ USB ให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น ด้านการตรวจสอบการทำงานของเครื่องตรวจวัดควรมีชุดทดสอบการทำงานจากภายนอกได้

ในส่วน of สถานที่ใช้ในการทดสอบ เนื่องจากการทดสอบในวิทยานิพนธ์นี้ ได้ทำการทดสอบกลางแจ้งในสถานที่จริง จึงไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิการทดสอบ และปัจจัยต่างๆ ได้ เพื่อที่จะให้แน่ใจในผลการทดสอบควรหาสถานที่ทดสอบที่สามารถควบคุมได้ เช่น สนามแม่เหล็กภายนอก, อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และความดันก๊าซ SF6 ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEC 62271-100, “**High-voltage switchgear and control gear - Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers**”, Edition 1.1,2005.
- [2] IEC 56, “**High-voltage alternating-current circuit-breakers**”, 1987.
- [3] IEEE Std C37.11-1997, “**IEEE Standard Requirements for Electrical Control for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis**”, 1997.
- [4] Alex R. Salinas and John Prunte, “**Enhancing circuit breaker reliability through effective mechanism maintenance and lubrication**” IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001, pp. 578 – 587.
- [5] A. Bosma, P-O. Thureson, “**A new reliable operating mechanism for HVAC circuit-breakers**” IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001, pp. 573 – 577.
- [6] H. Jiang, R. Shuttleworth, B.A.T. Al Zahawi, A. Power, “**Variable speed latching magnetic actuator for a vacuum switch**” Eighth International Conference Electrical Machines and Drives, 1997, pp. 105 – 108.
- [7] Fouad Brikci, “**Circuit Breaker Timing Tests**” POWER TEST Electrical Maintenance and Safety Conference (NETA), 2002, pp. 1 – 4.
- [8] P89C51RD2 Manual, **80C51 8-bit Flash microcontroller family**, Philips Semiconductors, 2002.
- [9] จักรพงษ์ สุขประเสริฐ และ สัจจะ จรัสรุ่งรวีร์, “**เริ่มต้นอย่างมืออาชีพด้วย Delphi 7 ฉบับสมบูรณ์**” สำนักพิมพ์อินโฟเพรส, 2002.
- [10] สุทธิ บรรจงจิตร, “**หลักการและเทคนิคการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลัง**” ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.
- [11] ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช, “**การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง**” ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, 2543.
- [12] ทศพร พรหมสิทธิ์ และ ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล “**เครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการเปิดและปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง**”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30, 2550, หน้า 253-256.
- [13] ส้ารวย สังข์สะอาด. “**วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง**” ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มกราคม 2528.

- [14] สุเจตน์ จันทรัมย์ “ไมโครคอนโทรลเลอร์ชิพเดี่ยว 8051” มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2535.
- [15] สายชล สนิสมบูรณ์ทอง “สถิติวิศวกรรม” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พฤษภาคม 2547.
- [16] ZENSOL AUTOMATION INC. “Circuit Breaker Test Equipment” [Online]. Available : <http://www.zensol.com/>. 2005.
- [17] General Electric Company “Testing Circuit Breakers” [Online]. Available : http://www.gepower.com/prod_serv/products/electrical_test/en/test_circuit.htm. 2005.
- [18] vanguard-instruments. “Digital Circuit Breaker Analyzer” [Online]. Available : <http://www.vanguard-instruments.com/products/cbtimers/index.php>. 2005.

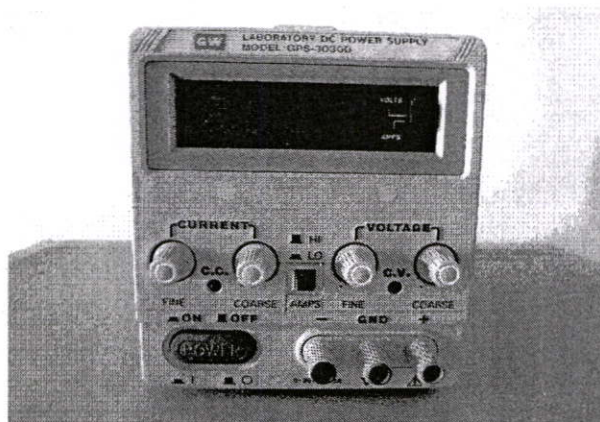
ภาคผนวก ก.
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ



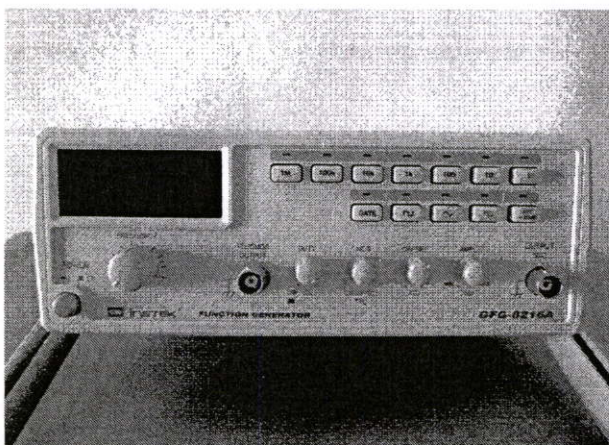
รูปที่ ก-1 Digital Oscilloscope 150 MHz ของบริษัท YOKOGAWA Model DL1520



รูปที่ ก-2 Universal Programmer ของบริษัท XELTEK ELECTRONIC Model SUPERPRO L+



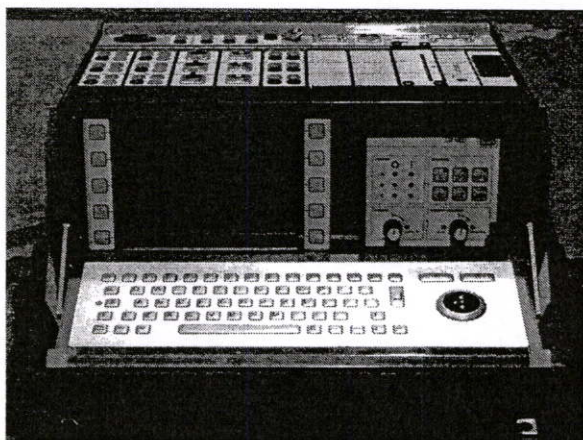
รูปที่ ก-3 DC Power Supply ของบริษัท GOOD WILL INSTRUMENT Model GPS-3030D



รูปที่ ก-4 Function Generator ของบริษัท GOOD WILL INSTRUMENT Model GFG-8216A



รูปที่ ก-5 Digital Multimeter ของบริษัท YOKOGAWA Model 73303



รูปที่ ก-6 Circuit Breaker Analyzer System ของบริษัท GE Energy Programma® Model TM1800

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมเครื่องทดสอบ

โปรแกรมภาษาซีสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

```

#include<REG51.H>
#include<ABSACC.H>
#include<STRING.H>
#define Analog_in1 XBYTE[0x0F900]
#define Analog_in2 XBYTE[0x0F901]
#define Analog_in3 XBYTE[0x0F902]
#define CON_Analog_in XBYTE[0x0F903]
#define Analog_out1 XBYTE[0x0FA00]
#define Analog_out2 XBYTE[0x0FA01]
#define Analog_out3 XBYTE[0x0FA02]
#define CON_Analog_out XBYTE[0x0FA03]
#define PA_8255_in XBYTE[0x0D000]
#define PB_8255_in XBYTE[0x0D001]
#define PC_8255_in XBYTE[0x0D002]
#define PCON_8255_in XBYTE[0x0D003]
#define PA_8255_out XBYTE[0x0E000]
#define PB_8255_out XBYTE[0x0E001]
#define PC_8255_out XBYTE[0x0E002]
#define PCON_8255_out XBYTE[0x0E003]
#define LCD_WINIT XBYTE[0x08000]
#define LCD_RBUSY XBYTE[0x08001]
#define LCD_WDATA XBYTE[0x08002]
#define LCD_RDATA XBYTE[0x08003]
code unsigned char PAGE1_1[] = {"Circuit
Breaker"};
code unsigned char PAGE1_2[] = {"TestingTimer"};
code unsigned char PAGE1_3[] = {"IEC62271-100"};
code unsigned char PAGE1_4[] = {"KMITL 2007"};
code unsigned char PAGE2_1[] = {"1. Diagnosis "};
code unsigned char PAGE2_2[] = {"2. Setup"};
code unsigned char PAGE2_3[] = {"3. Send to PC
"};
code unsigned char PAGE2_4[] = {" 5.Esc"};
code unsigned char PAGE3_1[] = {"1. Open
"};
code unsigned char PAGE3_2[] = {"2. Close
"};
code unsigned char PAGE4_1[] = {"Open Circuit"};
code unsigned char PAGE4_4[] = {"4. Test 5.Esc"};
code unsigned char PAGE5_1[] = {"Close Circuit"};
code unsigned char PAGE5_4[] = {"4. Test 5.Esc"};
code unsigned char PAGE6_4[] = {"4. Test 5.Esc"};
code unsigned char PAGE8_1[] = {" Open Circuit };
code unsigned char PAGE8_2[] = {"TC1 = 000.00
ms "};
code unsigned char PAGE8_3[] = {"TC2 = 000.00
ms "};
code unsigned char PAGE8_4[] = {"TC3 = 000.00
ms "};
code unsigned char PAGE9_1[] = {"Close Circuit };
code unsigned char PAGE9_2[] = {"CC1 = 000.00
ms "};
code unsigned char PAGE9_3[] = {"CC2 = 000.00
ms "};
code unsigned char PAGE9_4[] = {"CC3 = 000.00
ms "};
const StartChar = 'A';
unsigned char Data;
bit RxComplete;
code unsigned int scan_mem;
code unsigned char scan_check;
int ANS_DIG1;
int ANS_DIG2;
int ANS_DIG3;
int ANS_DIG4;
int ANS_DIG5;
int cal_1;
int cal_2;
int cal_3;
sbit Reset_Analog_in = P1^7;

```

```

sbit Relay_TC = P1^0;
sbit SCR_TC = P1^2;
sbit Relay_CC = P1^1;
sbit SCR_CC = P1^3;
sbit P1_4 = P1^4;
sbit P1_5 = P1^5;
sbit P1_6 = P1^6;
sbit P3_2 = P3^2;
bit temp;
bit Restart;
bit scan;
void delay(int count);
void Restart_mode(void);
void LCD_BUSY(void);
void LCD_INIT(char D1);
void LINE1(void);
void LINE2(void);
void LINE3(void);
void LINE4(void);
void test_ram(void);
void Start_Screen(void);
void Screen_Page2(void);
void Screen_Page3(void);
void Screen_Page4(void);
void Screen_Page5(void);
void Screen_Page6(void);
void Screen_Page7(void);
void Screen_Page8(void);
void Screen_Page9(void);
void Screen_Page10(void);
void Screen_Page11(void);
void Screen_Page20(void);
void Screen_Page21(void);
void Screen_Page30(void);
void Calculator_Data(int time1);
void Read_ADD_RAM_TC(void);

void Read_ADD_RAM_CC(void);
void Clear_Data_RAM(void);
void Send3000(unsigned char Head_CH);

void IntSerial() interrupt 4
{
if(RI==1)
{
RI = 0;
Data = SBUF;
if(Data == StartChar)
RxComplete = 1;
EA = 1;
if(RxComplete)
{
RxComplete = 0;
EA = 0;
Send3000(1);
delay(200);
Send3000(2);
delay(200);
Send3000(3);
EA = 1;
}
}
else if(TI==1)
TI=0;
}

void Send3000(unsigned char Head_CH)
{
unsigned int i;
unsigned char xdata *ptr;
SBUF = Head_CH;
while(~TI);
TI=0;
}

```

```

if(Head_CH == 0x01)
{
for(i=0;i<=0xBB8;i++)
{
ptr = i;
SBUF = *ptr;
while(~TI);
TI = 0;
}
}
else if(Head_CH == 0x02)
{
for(i=0x1000;i<=0x1BB8;i++)
{
ptr = i;
SBUF = *ptr;
while(~TI);
TI = 0;
}
}
else if(Head_CH == 0x03)
{
for(i=0x2000;i<=0x2BB8;i++)
{
ptr = i;
SBUF = *ptr;
while(~TI);
TI = 0;
}
}
SBUF=13;
while(~TI);
TI=0;
SBUF=10;
while(~TI);
TI=0;
}

void Clear_Data_RAM(void)
{
unsigned char xdata *ptr;
unsigned int i = 0;
for(i=0;i<=0x7FFF;i++)
{
ptr = i;
*ptr = 0x00;
}
}

void Read_ADD_RAM_CC(void)
{
unsigned char bcheck = 0x00;
unsigned char xdata *ptr;
int i;
cal_1 = 0;
cal_2 = 0;
cal_3 = 0;
for(i=0;i<=0x0BB8;i++)
{
ptr = i;
bcheck = *ptr;
if(bcheck <= 0xBB)
{
cal_1 = i*10;
i = 0xBB8;
}
}
for(i=0x1000;i<=0x1BB8;i++)
{
ptr = i;
bcheck = *ptr;
if(bcheck <= 0xBB)

```

```

{
cal_2 = (i-0x1000)*10;
i = 0x1BB8;
}
}
for(i=0x2000;i<=0x2BB8;i++)
{
ptr = i;
bcheck = *ptr;
if(bcheck <= 0xBB)
{
cal_3 = (i-0x2000)*10;
i = 0x2BB8;
}
}
}

void Read_ADD_RAM_TC(void)
{
unsigned char bcheck = 0x00;
unsigned char xdata *ptr;
int i;
cal_1 = 0;
cal_2 = 0;
cal_3 = 0;
for(i=0;i<=0x0BB8;i++)
{
ptr = i;
bcheck = *ptr;
if(bcheck >= 0x33)
{
cal_1 = i*10;
i = 0xBB8;
}
}
for(i=0x1000;i<=0x1BB8;i++)

```

```

{
ptr = i;
bcheck = *ptr;
if(bcheck >= 0x33)
{
cal_2 = (i-0x1000)*10;
i = 0x1BB8;
}
}
for(i=0x2000;i<=0x2BB8;i++)
{
ptr = i;
bcheck = *ptr;
if(bcheck >= 0x33)
{
cal_3 = (i-0x2000)*10;
i = 0x2BB8;
}
}
}

void Calculator_Data(int time1)
{
int temp1;
ANS_DIG1 = time1/10000;
temp1 = ANS_DIG1*10000;
time1 = time1-temp1;
ANS_DIG2 = time1/1000;
temp1 = ANS_DIG2*1000;
time1 = time1-temp1;
ANS_DIG3 = time1/100;
temp1 = ANS_DIG3*100;
time1 = time1-temp1;
ANS_DIG4 = time1/10;
temp1 = ANS_DIG4*10;
time1 = time1-temp1;
ANS_DIG5 = time1;

```

```

}

void test_ram(void)
{
unsigned char btest,bcheck = 0xAA;
unsigned char btest2 = 0x55;
unsigned int i,j = 0;
unsigned char xdata *ptr;
unsigned char x,status = 0;
for(i=0;i<=0x7FFF;i++)
{
ptr = i;
*ptr = btest;
}
for(i=0;i<=0x7FFF;i++)
{
ptr = i;
bcheck = *ptr;
if(bcheck != btest)
{
status = 1;
}
}
for(i=0;i<=0x7FFF;i++)
{
ptr = i;
*ptr = btest2;
}
for(i=0;i<=0x7FFF;i++)
{
ptr = i;
bcheck = *ptr;
if(bcheck != btest2)
{
status = 1;
}
}
}

}

if(status == 0)
{
LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE21_5[x];
}
}
if(status == 1)
{
LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE21_6[x];
}
}

void Screen_Page30(void)
{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE30_1[x];
}
LINE2();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE30_2[x];
}
LINE3();
}

```

```

for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE30_3[x];
}
LINE4();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE30_4[x];
}
}

void Screen_Page21(void)
{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
CD_WDATA = PAGE21_1[x];
}
LINE2();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE21_2[x];
}
LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE21_3[x];
}
LINE4();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE21_4[x];
}
}

void Screen_Page20(void)
{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE20_1[x];
}
LINE2();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE20_2[x];
}
LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE20_3[x];
}
LINE4();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE20_4[x];
}
}

void Screen_Page11(void)

```

```

{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE11_1[x];
}
LINE2();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE11_2[x];
}
LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE11_3[x];
}
LINE4();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE11_4[x];
}
}

void Screen_Page10(void)
{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE10_1[x];
}
}

void Screen_Page9(void)
{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE9_1[x];
}
LINE2();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE9_2[x];
}
}
}

```

```

LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE9_3[x];
}

LINE4();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE9_4[x];
}

void Screen_Page8(void)
{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE8_1[x];
}
LINE2();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE8_2[x];
}
LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE8_3[x];
}
LINE4();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE8_4[x];
}
}

void Screen_Page7(void)
{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE7_1[x];
}
LINE2();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE7_2[x];
}
LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE7_3[x];
}
LINE4();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE7_4[x];
}
}

```

```

void Screen_Page6(void)
{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE6_1[x];
}
LINE2();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE6_2[x];
}
LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE6_3[x];
}
LINE4();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE6_4[x];
}
}

```

```

void Screen_Page5(void)
{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();

```

```

LCD_WDATA = PAGE5_1[x];
}
LINE2();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE5_2[x];
}
LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE5_3[x];
}
LINE4();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE5_4[x];
}
}

```

```

void Screen_Page4(void)
{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE4_1[x];
}
LINE2();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE4_2[x];

```

```

}
LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE4_3[x];
}
LINE4();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE4_4[x];
}
}

void Screen_Page3(void)
{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE3_1[x];
}
LINE2();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE3_2[x];
}
LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE3_3[x];
}
}

LINE4();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE3_4[x];
}
}

void Screen_Page2(void)
{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE2_1[x];
}
LINE2();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE2_2[x];
}
LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE2_3[x];
}
LINE4();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE2_4[x];
}
}
}

```

```

void Start_Screen(void)
{
char x;
LINE1();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE1_1[x];
}
LINE2();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE1_2[x];
}
LINE3();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE1_3[x];
}
LINE4();
for(x=0;x<16;x++)
{
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = PAGE1_4[x];
}
}

```

```

void LINE1(void)
{
LCD_INIT(0x80);
}

```

```

void LINE2(void)

```

```

{
LCD_INIT(0xC0);
}

```

```

void LINE3(void)
{
LCD_INIT(0x90);
}

```

```

void LINE4(void)
{
LCD_INIT(0xD0);
}

```

```

void LCD_INIT(char D1)
{
LCD_BUSY();
LCD_WINIT = D1;
}

```

```

void LCD_BUSY(void)
{
while(LCD_RBUSY & 0x80)
{
delay(1);
}
}

```

```

void Restart_mode(void)
{
delay(10);
P0 = 0xFF;
P1 = 0xFF;
P2 = 0xFF;
P3 = 0xFF;
SCR_TC = 0;
}

```

```

Relay_TC = 0;
SCR_CC = 0;
Relay_CC = 0;
CON_Analog_in = 0x9B;
CON_Analog_out = 0x80;
PCON_8255_in = 0x9B;
PCON_8255_out = 0x80;
LCD_INIT(0x38);
delay(4);
LCD_INIT(0x0E);
delay(4);
LCD_INIT(0x01);
delay(4);
Reset_Analog_in = 0;
delay(4);
Reset_Analog_in = 1;
delay(4);
TI = 0;
RI = 0;
SCON = 0x52;
PCON = 0x80;
TMOD = 0x20;
TH1 = 0xF3;
ES = 1;
TR1 = 1;
RxComplete = 0;
EA = 1;
SCON = 0x52;
TMOD = 0x20;
TH1 = 0xF3;
PCON = 0x80;
TR1 = 1;
}

void delay(int count)
{
    int i,j;
    for(i=0;i<=count;i++)
        for(j=0;j<=255;j++)
            ;

    void main(void)
    {
        char key,x;
        char step1,step2,step3,step4,step5;
        char step6,step7,step8,step9,step10,step11;
        char step20,step21;
        char step30;
        char Data_in;
        unsigned char xdata *ptr;
        unsigned char mem_check = 0;
        unsigned int scan_TC;
        unsigned int scan_CC;
        unsigned int Time_TC1;
        unsigned int Time_TC2;
        unsigned int Time_TC3;
        unsigned int Time_CC1;
        unsigned int Time_CC2;
        unsigned int Time_CC3;
        unsigned char Data_TC1;
        unsigned char Data_TC2;
        unsigned char Data_TC3;
        unsigned char Data_CC1;
        unsigned char Data_CC2;
        unsigned char Data_CC3;
        Restart = 1;
        while(Restart)
        {
            Restart_mode();
            Restart = 0;
            step1 = 1;
        }
    }
}

```



```

step4 = 1;
key = 0;
}
}
if(PA_8255_in == 0xFB)
{
while(PA_8255_in == 0xFB)
{
delay(100);
step3 = 0;
step5 = 1;
key = 0;
}
}
if(PA_8255_in == 0xF7)
{
while(PA_8255_in == 0xF7)
{
delay(100);
step3 = 0;
step6 = 1;
key = 0;
}
}
if(PA_8255_in == 0xEF)
{
while(PA_8255_in == 0xEF)
{
delay(100);
step3 = 0;
step7 = 1;
key = 0;
}
}
if(PA_8255_in == 0xDF)
{
while(PA_8255_in == 0xDF)
{
delay(100);
step2 = 1;
step3 = 0;
key = 0;
}
}
while(step4 == 1)
{
Screen_Page4();
key = 1;
while(key)
{
if(PA_8255_in < 0xFF)
{
if(PA_8255_in == 0xEF)
{
while(PA_8255_in == 0xEF)
{
delay(100);
step4 = 0;
step8 = 1;
key = 0;
}
}
if(PA_8255_in == 0xDF)
{
while(PA_8255_in == 0xDF)
{
delay(100);
step3 = 1;
step4 = 0;

```

```

key = 0;
}
}
}
}
while(step5 == 1)
{
Screen_Page5();
key = 1;
while(key)
if(PA_8255_in < 0xFF)
{
if(PA_8255_in == 0xEF)
{
while(PA_8255_in == 0xEF)
{
delay(100);
step5 = 0;
step9 = 1;
key = 0;
}
if(PA_8255_in == 0xDF)
{
while(PA_8255_in == 0xDF)
{
delay(100);
step3 = 1;
step5 = 0;
key = 0;
}
}
}
}
while(step6 == 1)
{
Screen_Page6();
key = 1;
while(key)
{
if(PA_8255_in < 0xFF)
{
if(PA_8255_in == 0xEF)
{
while(PA_8255_in == 0xEF)
{
delay(100);
step6 = 0;
step10 = 1;
key = 0;
}
}
if(PA_8255_in == 0xDF)
{
while(PA_8255_in == 0xDF)
{
delay(100);
step3 = 1;
step6 = 0;
key = 0;
}
}
}
}
while(step7 == 1)
{
Screen_Page7();
key = 1;
while(key)
{

```



```

}
Relay_CC = 0;
SCR_CC = 0;
Read_ADD_RAM_CC();
Calculator_Data(cal_1);
LCD_INIT(0xC6);
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG1+0x30;
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG2+0x30;
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG3+0x30;
LCD_INIT(0xCA);
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG4+0x30;
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG5+0x30;
Calculator_Data(cal_2);
LCD_INIT(0x96);
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG1+0x30;
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG2+0x30;
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG3+0x30;
LCD_INIT(0x9A);
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG4+0x30;
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG5+0x30;
Calculator_Data(cal_3);
LCD_INIT(0xD6);
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG1+0x30;
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG2+0x30;
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG3+0x30;
LCD_INIT(0xDA);
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG4+0x30;
LCD_BUSY();
LCD_WDATA = ANS_DIG5+0x30;
while(key)
{
if(PA_8255_in < 0xFF)
{
if(PA_8255_in == 0xDF)
{
while(PA_8255_in == 0xDF)
{
delay(100);
step5 = 1;
step9 = 0;
key = 0;
}
}
}
while(step10 == 1)
{
Screen_Page10();
key = 1;
while(key)
{
if(PA_8255_in < 0xFF)
{
if(PA_8255_in == 0xDF)
{
while(PA_8255_in == 0xDF)
{
delay(100);

```

```

step6 = 1;
step10 = 0;
key = 0;
}
}
}
}
while(step11 == 1)
{
Screen_Page11();
key = 1;
while(key)
{
if(PA_8255_in < 0xFF)
{
if(PA_8255_in == 0xDF)
{
while(PA_8255_in == 0xDF)
{
delay(100);
step7 = 1;
step11 = 0;
key = 0;
}
}
}
}
while(step20 == 1)
{
Screen_Page20();
key = 1;
while(key)
{
if(PA_8255_in < 0xFF)
{
if(PA_8255_in == 0xFD)

```

```

{
while(PA_8255_in == 0xFD)
{
delay(100);
step21 = 1;
step20 = 0;
key = 0;
}
}
if(PA_8255_in == 0xDF)
{
while(PA_8255_in == 0xDF)
{
delay(100);
step2 = 1;
step20 = 0;
key = 0;
}
}
}
}
while(step21 == 1)
{
Screen_Page21();
key = 1;
while(key)
if(PA_8255_in < 0xFF)
{
if(PA_8255_in == 0xDF)
{
while(PA_8255_in == 0xDF)
delay(100);
step20 = 1;
step21 = 0;
key = 0;

```


ภาคผนวก ค.

โปรแกรมบันทึกข้อมูลของเครื่องทดสอบ

โปรแกรมภาษา Delphi 7 ของโปรแกรมบันทึกข้อมูลของเครื่องทดสอบ

```

unit UPlot;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes,
  Graphics, Controls, Forms, Dialogs, ComPort, Grids,
  TeEngine, Series, TeeProcs, Chart, StdCtrls, Buttons,
  ComCtrls, ExtCtrls, Menus, ImgList;

type
  TDataGraph = Record
  DataGraph1: Array[1..3000] of Byte;
  DataGraph2: Array[1..3000] of Byte;
  DataGraph3: Array[1..3000] of Byte;
end;

type
  TFrMain = class(TForm)
  MainMenu1: TMainMenu;
  File1: TMenuItem;
  Save1: TMenuItem;
  Open1: TMenuItem;
  Exit1: TMenuItem;
  Panel1: TPanel;
  Panel2: TPanel;
  PageControl1: TPageControl;
  TabSheet1: TTabSheet;
  TabSheet2: TTabSheet;
  OpenDialog1: TOpenDialog;
  SaveDialog1: TSaveDialog;
  BitBtn1: TBitBtn;
  BitBtn2: TBitBtn;
  BitBtn3: TBitBtn;
  Chart1: TChart;
  Series1: TLineSeries;
  StringGrid1: TStringGrid;
  ComPort11: TComPort1;
  Chart2: TChart;
  LineSeries1: TLineSeries;
  Chart3: TChart;
  LineSeries2: TLineSeries;
  Comport1: TMenuItem;
  Open2: TMenuItem;
  Close1: TMenuItem;
  ImageList1: TImageList;
  Clear1: TMenuItem;
  TabSheet3: TTabSheet;
  Chart4: TChart;
  LineSeries3: TLineSeries;
  Chart5: TChart;
  LineSeries4: TLineSeries;
  Chart6: TChart;
  LineSeries5: TLineSeries;
  Series2: TLineSeries;
  Series3: TLineSeries;
  Series4: TLineSeries;
  Series5: TLineSeries;
  Series6: TLineSeries;
  Series7: TLineSeries;
  Series8: TLineSeries;
  Series9: TLineSeries;
  Series10: TLineSeries;
  Series11: TLineSeries;
  Series12: TLineSeries;
  Series13: TLineSeries;
  Label1: TLabel;
  Label2: TLabel;
  Label3: TLabel;

```

```

Label4: TLabel;
Label5: TLabel;
Label6: TLabel;
procedure Save1Click(Sender: TObject);
procedure Open1Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure ComPort11ReceiveCallBack(Data:
String);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action:
TCloseAction);
procedure Close1Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure Exit1Click(Sender: TObject);
procedure Panel2Click(Sender: TObject);
private
procedure Initial();
procedure PlotGraph(Index:Integer;
XValues:Double; Data:Double);
procedure PlotGraphLoad(Index:Integer;
XValues:Double; Data:Double);
procedure AssignData(Index, DataCount: Integer;
Data:Byte);

procedure UpdateData();
procedure OpenComPort(Sender: TObject);
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;

var
FrMain: TFrMain;
OkSave:Boolean;
DataGraph:TDataGraph;

DataGraphFile: File of TDataGraph;
GraphCount:Integer;
ProgramPath:String;
PathFileName:String;
PortOpen:Boolean;

implementation
uses registry;

{$R *.dfm}
procedure TFrMain.Save1Click(Sender: TObject);
Label
SaveAgain;
begin
SaveAgain:
if SaveDialog1.Execute then
begin
OkSave:=True;
try
AssignFile(DataGraphFile,SaveDialog1.FileName);
except
Showmessage('File Error');
end;{try}
if FileExists(SaveDialog1.FileName) then
case MessageDlg('Do you want to Ralplace it?',
mtWarning,[mbYes,mbNo,mbCancel],0) of
mrYes:Reset(DataGraphFile);
mrNo:goto SaveAgain;
mrCancel:Abort;
end else ReWrite(DataGraphFile);
Write(DataGraphFile,DataGraph);
CloseFile(DataGraphFile);
SaveDialog1.HistoryList.Add(SaveDialog1.FileName);
PathFileName:=SaveDialog1.FileName;
end else OkSave:=False;

```

```

end;

procedure TFrMain.Open1Click(Sender: TObject);
begin
with OpenFileDialog1 do
if OpenFileDialog1.Execute then
begin
PathFileName:=OpenDialog1.FileName;
AssignFile(DataGraphFile,PathFileName);
try
Reset(DataGraphFile);
Read(DataGraphFile,DataGraph);
finally
CloseFile(DataGraphFile);
end;{try}
UpdateData;
FileName:=Lowercase(FileName);
With HistoryList do
begin
if Count=6 then
Delete(Count-1);
HistoryList.Insert(0,FileName);
end;

Save1.Enabled:=True;
end;
end;

procedure TFrMain.AssignData(Index, DataCount:
Integer; Data:Byte);
begin
StringGrid1.RowCount:=3001;

StringGrid1.Cells[0,DataCount]:=IntToStr(DataCount);
StringGrid1.Cells[Index,DataCount]:=IntToStr(Data);
;
end;

procedure TFrMain.PlotGraph(Index: Integer;
XValues:Double; Data:Double);
var
Data_Y:Real;
begin
if GraphCount < 5 then
begin
case Index of
1:
Chart4.Series[GraphCount].AddXY(
XValues,Data,",clTeeColor);
2:
Chart5.Series[GraphCount].AddXY(
XValues,Data,",clTeeColor);
3:
Chart6.Series[GraphCount].AddXY(
XValues,Data,",clTeeColor);
end;
end;
end;

procedure TFrMain.PlotGraphLoad(Index: Integer;
XValues, Data: Double);
var
Data_Y:Real;
begin
case Index of
1:
Chart1.Series[0].AddXY(
XValues,Data,",clTeeColor);
2:

```

```

Chart2.Series[0].AddXY(
XValues,Data,",clTeeColor);
3:
Chart3.Series[0].AddXY(
XValues,Data,",clTeeColor);
end;
end;

(*
function AddXY(Const AXValue, AYValue:
Double; Const AXLabel: String; AColor: TColor) :
Longint;

AddXY Example
procedure TCurveFittingForm.Timer1Timer(Sender:
TObject);
begin
Timer1.Enabled:=False; { <-- stop timer }
With StockPrice do
Begin
Delete(0); { <-- remove the first point }
{ Add a new random point }
AddXY( XValues.Last+1,
YValues.Last/YValues.Multiplier)+(Random(ChartS
amplesMax)-(ChartSamplesMax/2)),",clTeeColor);
Chart1Zoom(Self); { <-- recalculate Curve !!!! }
end;
Timer1.Enabled:=True; { <-- restart timer }
end;*)

procedure TFrMain.Initial;
var
reg:TRegistry;
st:TStrings;
i,a:integer;
x:String;

NewItem: TMenuItem;
begin
StringGrid1.Cells[0,0]:='Num';
StringGrid1.Cells[1,0]:='Data1';
StringGrid1.Cells[2,0]:='Data2';
StringGrid1.Cells[3,0]:='Data3';

ProgramPath:=ExtractFilePath(Application.ExeName
);
Comport11.Close;
reg:=TRegistry.Create;
reg.RootKey := HKEY_LOCAL_MACHINE;
reg.OpenKey('hardware\devicemap\serialcomm',false
);
st := TStringList.Create;
reg.GetValueNames(st);

for i := 0 to st.Count -1 do
begin
x:='COM'+Copy(reg.ReadString(st.Strings[i]),4,2);
a:=StrToInt(Copy(reg.ReadString(st.Strings[i]),4,2));
NewItem := TMenuItem.Create(Open2);
try
NewItem.Caption := x;
NewItem.Tag:=a;
Open2.Insert(0, NewItem);
NewItem.OnClick:= OpenComPort;
except
NewItem.Free;
raise; { reraise the exception }
end;
end;

st.Free;
reg.CloseKey;

```

```

reg.free;
PortOpen:=False;
GraphCount:=0;
end;

procedure TFrMain.FormCreate(Sender: TObject);
begin
Initial();
end;

procedure
TFrMain.ComPort11ReceiveCallBack(Data: String);
var
i:Integer;
ByteData:Byte;
begin
case Byte(Data[1]) of
1:begin
for i:=1 to 3000 do
begin
ByteData:=Byte(Data[i+1]);
DataGraph.DataGraph1[i]:=ByteData;
AssignData(1,i,ByteData);
PlotGraphLoad(1,i/10,ByteData/255);
end;
end;
2:begin
for i:=1 to 3000 do
begin
ByteData:=Byte(Data[i+1]);
DataGraph.DataGraph2[i]:=ByteData;
AssignData(2,i,ByteData);
PlotGraphLoad(2,i/10,ByteData/255);
end;
end;
3:begin
for i:=1 to 3000 do
begin
ByteData:=Byte(Data[i+1]);
DataGraph.DataGraph3[i]:=ByteData;
AssignData(3,i,ByteData);
PlotGraphLoad(3,i/10,ByteData/255);
end;
end;
Save1.Enabled:=True;
end;
end;
end;

procedure TFrMain.OpenComPort(Sender: TObject);
var
Port:String;
begin
if Sender is TMenuItem then
Port:='COM'+IntToStr(TMenuItem(Sender).Tag);
try
Comport11.Close;
Comport11.Port:=Port;
Comport11.Open;
PortOpen:=True;
Except
ShowMessage('Comport '+Port+' Can not Open');
Abort;
end; // Try }

Open2.Enabled:=False;
Open2.ImageIndex:=0;
Close1.Enabled:=True;
BitBtn3.Enabled:=True;
end;

```

```

procedure TFrMain.FormClose(Sender: TObject; var
Action: TCloseAction);
begin
Comport11.Close;
end;

procedure TFrMain.Close1Click(Sender: TObject);
begin
Open2.Enabled:=True;
Close1.Enabled:=False;
Close1.ImageIndex:=2;
Comport11.Close;
BitBtn3.Enabled:=False;
PortOpen:=False;
end;

procedure TFrMain.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
Comport11.ClearRxBuffer;
end;

procedure TFrMain.BitBtn3Click(Sender: TObject);
begin
Comport11.Send('A');
end;

procedure TFrMain.BitBtn1Click(Sender: TObject);
var
i:Integer;
begin
for i:=1 to 3 do
StringGrid1.Cols[i].Clear;
StringGrid1.RowCount:=2;
StringGrid1.Cells[0,0]:='Num';
StringGrid1.Cells[1,0]:='Data1';
StringGrid1.Cells[2,0]:='Data2';
StringGrid1.Cells[3,0]:='Data3';
Chart1.Series[0].Clear;
Chart2.Series[0].Clear;
Chart3.Series[0].Clear;
for i:=0 to 4 do
begin
Chart4.Series[i].Clear;
Chart5.Series[i].Clear;
Chart6.Series[i].Clear;
end;

Save1.Enabled:=False;
GraphCount:=0;
end;

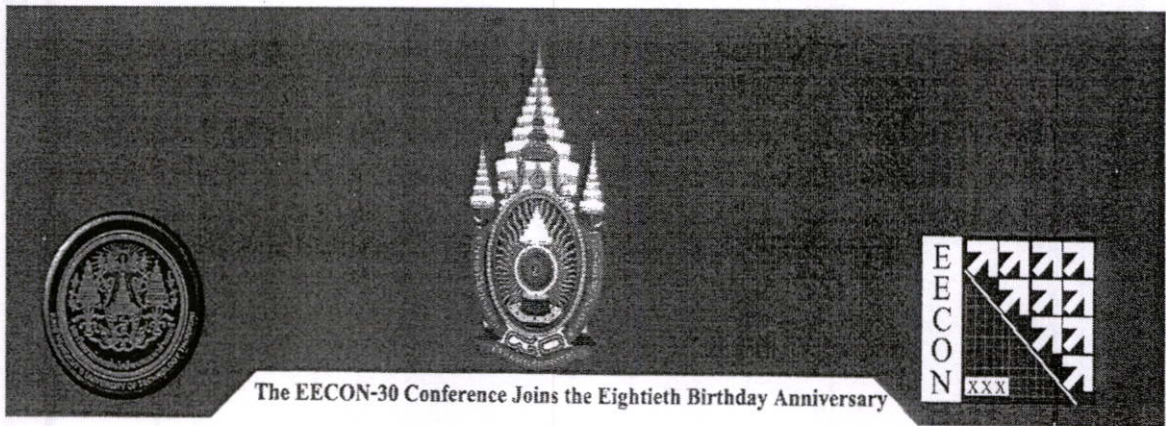
procedure TFrMain.UpdateData;
var
i:Integer;
ByteData:Byte;
begin
for i:=1 to 3000 do
begin
ByteData:=DataGraph.DataGraph1[i];
PlotGraph(1,i/10,ByteData/255);
ByteData:=DataGraph.DataGraph2[i];
PlotGraph(2,i/10,ByteData/255);
ByteData:=DataGraph.DataGraph3[i];
PlotGraph(3,i/10,ByteData/255);
end;
GraphCount:=GraphCount+1;
end;

procedure TFrMain.Exit1Click(Sender: TObject);
begin
Close;
end;

```

```
procedure TFrMain.Panel2Click(Sender: TObject);  
begin  
end;  
end.
```

ภาคผนวก ง.
บทความที่ให้บริการตีพิมพ์



Celebration of His Majesty the King Bhumibol Adulyadej

30th Electrical Engineering Conference

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30

หนังสือรวมบทความของบทความที่น่าสนใจในการประชุม

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- ไฟโตนิคส์ (PH)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)



โดย
 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม
 ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมและเครื่องมือวัด ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ณ โรงแรมเฟลิกซ์ ริเวอร์แคว รีสอร์ท กาญจนบุรี
 25 - 26 ตุลาคม 2550



เครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการเปิดและปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง

Opening Time and Closing Time of Contacts for High Voltage Circuit Breaker Measurement Device

ทศพร พรหมสิทธิ์ ศิริวิวัฒน์ โทษิเวชกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร. 02-326-4550 โทรสาร 02-326-4550 E-mail: S6060336@kmitl.ac.th, kpsiriwa@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอการออกแบบสร้างเครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการเปิด และปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง เพื่อทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ตามมาตรฐาน IEC62271-100 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ควบคุมกระบวนการทดสอบและประมวลผลการทำงาน โดยทำการส่งสัญญาณควบคุมการเปิด และปิดหน้าสัมผัส และทำการตรวจวัดช่วงเวลาการเปิด และปิดหน้าสัมผัสและแสดงผลที่จอ LCD ในการทดสอบกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ตัวอย่าง ระบบ 24 กิโลโวลต์ จำนวน 2 รุ่น ของการไฟฟ้านครหลวง ผลที่ได้จากเครื่องตรวจวัดที่สร้างขึ้นเปรียบเทียบกับเครื่องมือทดสอบมาตรฐานมีความผิดพลาดไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความน่าเชื่อถือสูงสามารถผลิตขึ้นใช้เองภายในประเทศ ลดการนำเข้าเครื่องมือทดสอบจากต่างประเทศ จึงมีราคาสูง

คำสำคัญ: เครื่องตรวจวัด, ช่วงเวลาการเปิด และปิดหน้าสัมผัส, เซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง, มาตรฐาน IEC62271-100

Abstract

This paper represents the design and construction of time recording instrument for open-close circuit breaker according to IEC 62271-100. This instrument is controlled and evaluated by the microcontroller MCS-51. In the test procedure, the operating time for opening and closing the contactor of the circuit breaker is controlled by the electrical signal obtained from MCS-51. The operating time is measured and displayed by LCD screen. The operating time of two different class circuit breakers for 24 kV system from MEA (Metropolitan Electricity Authority) are tested by using the standard instrument compared with the developed instrument. It is found that the test results from the standard instrument is relatively similar that from the developed instrument with difference not more than 3 percent. We can conclude that the time recording instrument which was designed and developed is high reliability which can be produced with low price.

Keywords: Measurement Device, Opening Time and Closing Time of Contacts, High Voltage Circuit Breaker, IEC62271-100 Standard

1. บทนำ

เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่มีความสำคัญมากในระบบไฟฟ้ากำลังไม่น้อยไปกว่าอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถทำงานได้ตามคุณสมบัติ จะทำให้เกิดความเสียหายเป็นวงกว้าง เช่น ในกรณีสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดฟอลต์ ส่งมาถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกัน และไม่สามารถเปิดหน้าสัมผัสได้ภายในเวลาหรือเปิดหน้าสัมผัสได้ไม่ครบทุกเฟส จะทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ป้องกันตัวถัดไปทำงาน ซึ่งจะทำให้เกิดไฟฟ้าดับเป็นวงกว้างขึ้น เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ เซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องปลดหน้าสัมผัสออกให้เร็วที่สุด และการเกิดฟอลต์จะส่งผลให้เกิดความเสียหายกับเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยตรงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความรุนแรงของฟอลต์ในแต่ละครั้ง ซึ่งความเสียหายส่วนใหญ่จะเกิดที่หน้าสัมผัส และชุดแอมคานิก ส่งผลให้ความสามารถในการเปิด และปิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ผิดปกติไป ดังนั้นการวางแผนการบำรุงรักษา และซ่อมบำรุงจะต้องทำการตรวจวัดเวลาการเปิด และปิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์อย่างสม่ำเสมอ [1-4]

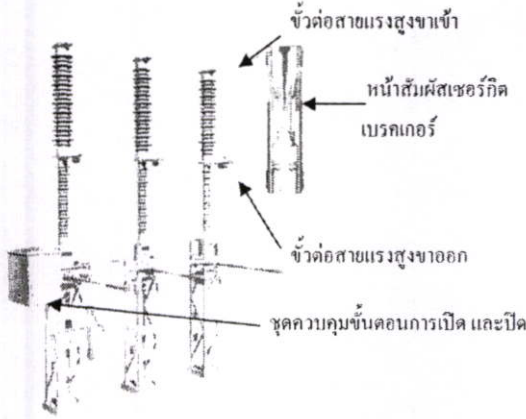
2. ทฤษฎี

ข้อกำหนดการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 62271-100 การทดสอบช่วงเวลาเปิด และปิดหน้าสัมผัสจะทำในขณะที่ไม่มีโหลด ก่อนทำการวัดช่วงเวลาเปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องอยู่ในตำแหน่งปิดสุด จากนั้นจึงทำการทดสอบโดยควบคุมผ่านชุดควบคุมขั้นตอนการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และก่อนทำการวัดช่วงเวลาเปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องอยู่ในตำแหน่งเปิดสุด จากนั้นจึงทำการทดสอบโดยควบคุมผ่านชุดควบคุมขั้นตอนการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 [1-2]

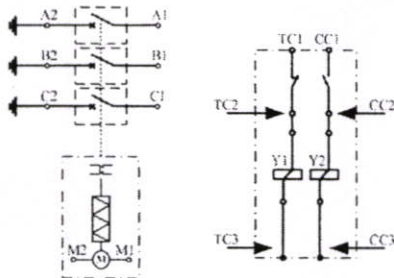
เครื่องทดสอบมาตรฐานที่เปรียบเทียบกับบทความนี้ใช้ Circuit Breaker Analyzer System ของ GE Energy Programma® Products รุ่น TM1800 ซึ่งเป็นเครื่องที่การไฟฟ้านครหลวงใช้ทดสอบการเปิด และปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในปัจจุบัน

2.1 วิธีควบคุมการเปิด และปิดหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์

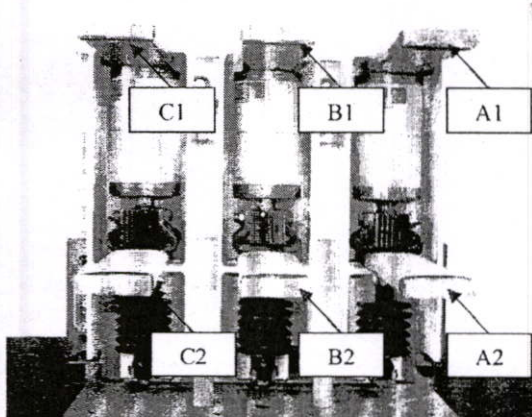
ชุดควบคุมขั้นตอนการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์มีอยู่หลายประเภท ซึ่งในบทความนี้ ใช้ชุดควบคุมแบบสปริง ซึ่งใช้แรงดึงของสปริงในการสั่งเปิดหรือปิดหน้าสัมผัส และมี Y1 คือ Open coil หรือ Trip coil (TC) เป็นโซลินอยด์ควบคุมการเปิดหน้าสัมผัส และ Y2 คือ Close coil (CC) เป็นโซลินอยด์ควบคุมการปิดหน้าสัมผัส ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 โครงสร้างของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง



รูปที่ 2 การควบคุมขั้นตอนการทำงาน และตำแหน่งที่วัดช่วงเวลาการเปิด และปิดหน้าสัมผัส

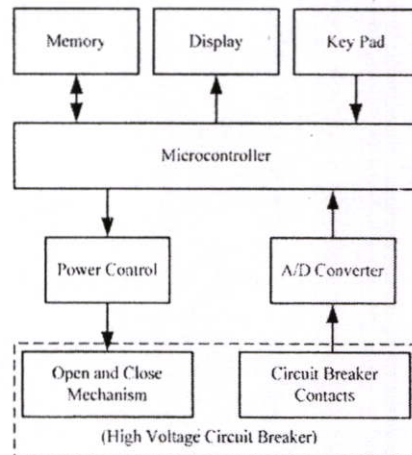


รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดช่วงเวลาการเปิด และปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ชนิดสูญญากาศ

3. โครงสร้าง และการทำงานของเครื่องทดสอบ

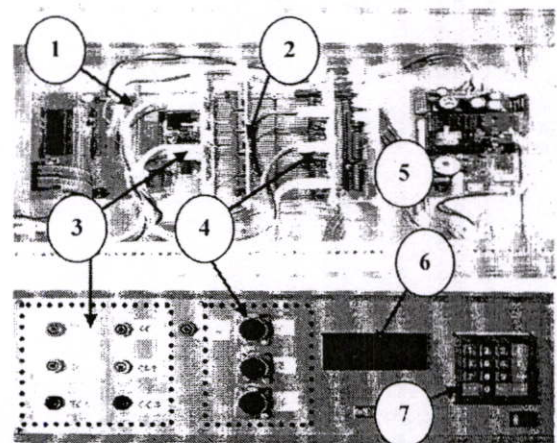
3.1 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

ในงานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MSC-51 ในการควบคุมการทำงานทั้งระบบ เมื่อได้รับคำสั่งการทดสอบไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณควบคุม SCR ที่ชุดเทอร์เวอร์คอนโทรลในการสั่งเปิดและปิดหน้าสัมผัส จากนั้นทำการตรวจวัดค่าเวลาในการเปิด และปิดหน้าสัมผัสจากชุดแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล โดยใช้เวลาในการตรวจวัดทุกๆ 100 ไมโครวินาที นำค่าที่ได้จากการตรวจวัดจัดเก็บไว้ในหน่วยความจำ จนครบ 300 มิลลิวินาที จากนั้นนำค่าที่จัดเก็บไว้ในหน่วยความจำมาประมวลผลหาค่าเวลาที่ใช้ในการเปิด และปิดหน้าสัมผัส และแสดงผลการตรวจวัดออกที่จอ LCD โดยแสดงค่าเวลาการทดสอบทั้ง 3 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดช่วงเวลาการเปิด และปิดหน้าสัมผัส

3.2 เครื่องทดสอบที่จัดสร้าง



รูปที่ 5 เครื่องตรวจวัดเวลาเปิด และปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์

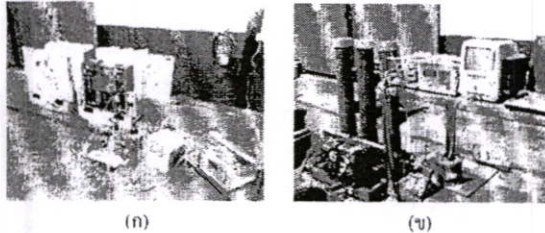
รูปที่ 5 ภาพถ่ายแสดงตำแหน่งการจัดวางอุปกรณ์ของเครื่องตรวจวัดเวลาเปิด และปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จัดสร้างโดยหมายเลข 1 คือ ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์, 2 ชุดหน่วยความจำ, 3 ชุดควบคุมการเปิด และปิดหน้าสัมผัส, 4 ชุดแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล, 5 แหล่งจ่ายไฟที่กระแสตรง, 6 จอแสดงผล, 7 คีย์บอร์ด

4. ขั้นตอนการทดสอบ และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 ขั้นตอนการทดสอบ

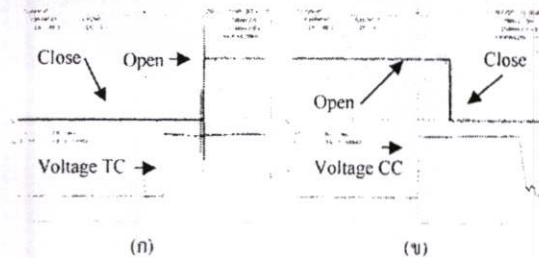
ทำการทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ 2 ชนิด คือชนิดที่ 1 เป็นสูญญากาศ พิกัด 24 กิโลโวลท์ 2000 แอมแปร์ และชนิดที่ 2 เป็นก๊าซ SF6 พิกัด 24 กิโลโวลท์ 1,250 แอมแปร์ โดยเปรียบเทียบผลที่ได้กับเครื่องมือวัดมาตรฐาน ขั้นตอนแรกทำการหมุนมอเตอร์ที่ตำแหน่ง M โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้า +125 V_{TC} เข้าที่ตำแหน่ง M1 และกราวด์เข้าที่ตำแหน่ง M2 เพื่อให้สปริงที่ใช้ในการปลดสลักอยู่ในตำแหน่งที่พร้อมใช้งาน จากนั้นนำเครื่องตรวจวัดต่อเข้าที่จุดต่างๆ โดยต่อชุด Trip Coil (TC) เข้าที่ตำแหน่ง TC1, TC2, TC3 และชุด Close Coil (CC) เข้าที่ตำแหน่ง CC1, CC2, CC3 ดังแสดงในรูปที่ 2

นำชุดวัดสัญญาณหน้าสัมผัส 3 เฟส โดยที่เฟส A จะวัดอยู่ที่ตำแหน่ง A1 และ A2, เฟส B จะวัดอยู่ที่ตำแหน่ง B1 และ B2, เฟส C จะวัดอยู่ที่ตำแหน่ง C1 และ C2 ดังแสดงในรูปที่ 3 [1-2]



รูปที่ 6 (ก) การทดสอบตัวอย่างที่ 1 ชนิดสูญญากาศ (ข) การทดสอบตัวอย่างที่ 2 ชนิดก๊าซ SF6

4.2 สัญญาณการเปิด และปิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์



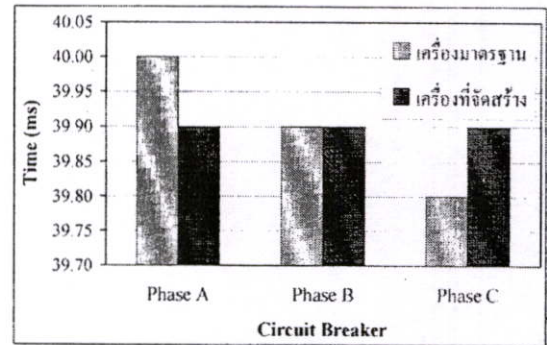
รูปที่ 7 (ก) สัญญาณเวลาการเปิด (ข) สัญญาณเวลาการปิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์

จากรูปที่ 7 (ก) เมื่อทำการจ่ายแรงดันเข้าที่ตำแหน่ง TC เซอร์กิตเบรกเกอร์ใช้เวลาในการเปลี่ยนจากหน้าสัมผัสปิดเป็นเปิดโดยใช้เวลา 78.0 มิลลิวินาที และพบว่าช่วงเวลาเปิดจริงนั้น มีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น เพราะเกิดการเสียดสีในขณะที่หน้าสัมผัสเคลื่อนตัวออกจากกัน

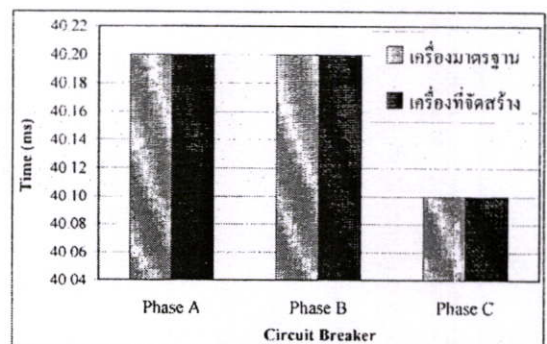
จากรูปที่ 7 (ข) เมื่อทำการจ่ายแรงดันเข้าที่ตำแหน่ง CC เซอร์กิตเบรกเกอร์ใช้เวลาในการเปลี่ยนจากหน้าสัมผัสเปิดเป็นปิดโดยใช้เวลา 62.0 มิลลิวินาที และมีสัญญาณรบกวนเล็กน้อย เพราะเมื่อปิดวงจรแล้วหน้าสัมผัสจะถูกตอลงกราวด์ [5-6].

4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

การตรวจวัดช่วงเวลาการเปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่จัดสร้างเปรียบเทียบกับชุดทดสอบมาตรฐาน จากการทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ ชนิดสูญญากาศ จากรูปที่ 8 พบว่าขณะเปิดหน้าสัมผัสทั้ง 3 เฟส มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.1 มิลลิวินาที และจากรูปที่ 9 พบว่าขณะปิดหน้าสัมผัสทั้ง 3 เฟส ไม่พบความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดค่าเวลา

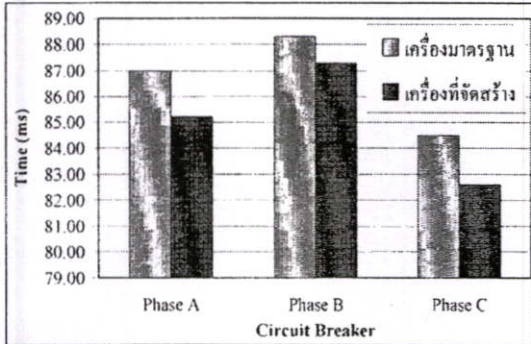


รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยการวัดช่วงเวลาการเปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ตัวอย่างที่ 1 ชนิดสูญญากาศ เฟส A, B, C

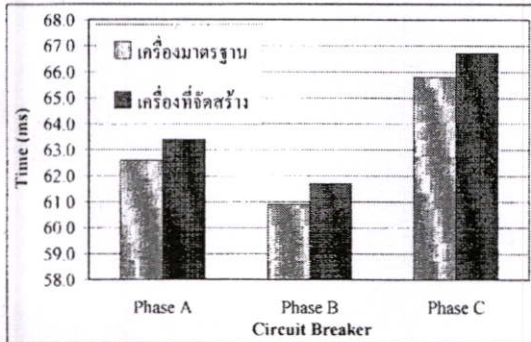


รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยการวัดช่วงเวลาการปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ตัวอย่างที่ 1 ชนิดสูญญากาศ เฟส A, B, C

จากการทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ ชนิดก๊าซ SF6 จากรูปที่ 10 พบว่าขณะเปิดหน้าสัมผัสทั้ง 3 เฟส มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 1.9 มิลลิวินาที และจากรูปที่ 11 พบว่าขณะปิดหน้าสัมผัสทั้ง 3 เฟส พบว่าขณะปิดหน้าสัมผัสมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.9 มิลลิวินาที



รูปที่ 10 ค่าเฉลี่ยการวัดช่วงเวลาการเปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ตัวอย่างที่ 2 ชนิดก๊าซ SF6 เฟส A, B, C



รูปที่ 11 ค่าเฉลี่ยการวัดช่วงเวลาการปิดหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ตัวอย่างที่ 2 ชนิดก๊าซ SF6 เฟส A, B, C

5. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการทำงานพบว่าสามารถทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ต้องการ และค่าที่ตรวจวัดกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้ง 2 รุ่น ค่าที่ได้ในแต่ละเฟส มีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จากตัวอย่างที่ 1 มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.1 มิลลิวินาที และ จากตัวอย่างที่ 2 มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 1.9 มิลลิวินาที เครื่องตรวจวัดช่วงเวลาการเปิด และปิดหน้าสัมผัสสำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ไฟฟ้าแรงสูง ที่จัดสร้างนี้ มีค่าความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบมาตรฐานไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ สามารถทดสอบตามมาตรฐาน IEC 62271-100 และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมเงื่อนไขการทำงานได้ทั้งหมด ซึ่งมีความน่าเชื่อถือสูงสามารถผลิตขึ้นใช้เองภายในประเทศ ลดการนำเข้าเครื่องมือทดสอบจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณเกรียงศักดิ์ ศรีสุข หัวหน้าแผนกอุปกรณ์สถานีย่อย 2 กองบำรุงรักษาอุปกรณ์สถานีย่อย ฝ่ายบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือทดสอบ และข้อมูล ทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] IEC 62271-100, "High-voltage switchgear and control gear - Part 100: High-voltage alternating-current circuit-breakers", Edition 1.1, 2005.
- [2] IEEE Std C37.11-1997, "IEEE Standard Requirements for Electrical Control for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis"
- [3] Alex R. Salinas and John Prunte, "Enhancing circuit breaker reliability through effective mechanism maintenance and lubrication" IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001, pp. 578 - 587
- [4] A. Bosma, P-O. Thureson, "A new reliable operating mechanism for HVAC circuit-breakers" IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2001, pp. 573 - 577
- [5] H. Jiang, R. Shuttleworth, B.A.T. Al Zahawi, A. Power, "Variable speed latching magnetic actuator for a vacuum switch" Eighth International Conference Electrical Machines and Drives, 1997, pp. 105 - 108
- [6] Fouad Briki, "Circuit Breaker Timing Tests" POWER TEST Electrical Maintenance and Safety Conference (NETA), 2002, pp. 1 - 4



ทศพร ทรมณสิทธิ์ จบการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ศิริวัฒน์ โทธีเวชกุล จบการศึกษาระดับปริญญาตรี และระดับปริญญาโท จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าฯ วิศวกรรมลาดกระบัง สนใจงานวิจัยทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง ระบบไฟฟ้ากำลัง ด้านพลังงานทดแทน และการใช้ไอโซมเพื่อสิ่งแวดล้อม

ประวัติผู้เขียน



นายทศพร พรหมสิทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 11 มิถุนายน พ.ศ. 2520 ที่อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้ากำลังจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2542 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ และประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง จากวิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี

ปี พ.ศ.2543 ทำงานในตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า บริษัท โปรดักส์ เทสติ้ง เซ็นเตอร์

ปี พ.ศ.2547 - 2550 ทำงานในตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า ประจำสถาบันไทย-เยอรมัน ศูนย์ระบบควบคุมอัตโนมัติ

ปี พ.ศ.2544 ถึงปัจจุบัน ทำงานในตำแหน่งอาจารย์ประจำ สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น