



นักศึกษา ☒ ปกติ ☐ สมทบ

การสอบป้องกันโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้า หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อโครงการ

เครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

Residual Current Device tester using microcontroller

ผู้จัดทำ

นางสาวพิมชนก นนทะพุทธร รหัสนักศึกษา 164404130023 โทร. 0816092547
นายวชิรวิทย์ แก้วควรชุม รหัสนักศึกษา 164404130028 โทร. 0950239885

ความเห็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ความเห็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
ได้ตรวจโครงงานและรายงานฉบับสมบูรณ์แล้ว เห็นควร ☐ อนุมัติให้สอบได้ ☐ ปรับปรุงเนื้อหาหรือรูปแบบใหม่	ได้ตรวจโครงงานและรายงานฉบับสมบูรณ์แล้ว เห็นควร ☒ อนุมัติให้สอบได้ ☐ ปรับปรุงเนื้อหาหรือรูปแบบใหม่
ลงชื่อ..... (.....)	ลงชื่อ..... (<u>ธีระพงษ์ จิมเพชร</u>)

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย



เครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
Residual Current Device tester using microcontroller

พิมชนก นนทะพุท

Pimchanok Nontaput

วชิรวิทย์ แก้วควรชุม

Wachirawit Kaewkhuanchum

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

A PROJECT REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY SRIVIJAYA

2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
Residual Current Device tester using microcontroller

พิมชนก นนทะพุท
Pimchanok Nontaput
วชิรวิทย์ แก้วควรชุม
Wachirawit Kaewkhuanchum

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

A PROJECT REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY SRIVIJAYA

2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ปริญญานิพนธ์ : เครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
ชื่อ : นางสาวพิมชนก นนทะพุท
: นายวชิรวิทย์ แก้วควรชุม
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ประธานที่ปรึกษา

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระพงษ์ นิยมเพชร)

กรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.พิทักษ์ บุญนุ่น)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมคิด สุทธิศักดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์คณิต ปานทองคำ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญณรงค์ พงศ์ภักดิ์ธรรม)
หัวหน้าหลักสูตร/ประธานหลักสูตร

Project Report Title : Residual Current Device tester using microcontroller

Name : Miss Pimchanok Nontaput

: Mr. Wachirawit Kaewkhuanthum

Major Field : Electrical Engineering

Major Advisor

.....

(Asst.Prof. Teerapong Chimphet)

Examining Committee

.....Chairperson

(Asst.Prof.Dr.Pituk Bunnoon)

.....Committee

(Asst.Prof. Somkid Suttisak)

.....Committee

(Lecturer Konto Pantongkum)

Accepted by the Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Srivijaya in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Bachelor of
Electrical Engineering.

.....

(Asst.Prof. Channarong Phongraktham)

Chief Curriculum/Head of Curriculum

หัวข้อปริญญานิพนธ์ : เครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
โดย : นางสาวพิมชนก นนทะพุท
: นายวชิรวิทย์ แก้วควรชุม
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระพงษ์ ฉิมเพชร
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา : 2567

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมุ่งเน้นการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่สามารถตรวจจับค่ากระแสไฟรั่วไหลได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ การศึกษาครอบคลุมถึงการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบที่ไม่มีการป้องกันไฟฟ้าว โดยเฉพาะในระบบไฟฟ้าที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันที่ได้มาตรฐาน ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่อาจนำไปสู่อันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน การศึกษานี้จึงเน้นถึงความสำคัญของการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถตรวจสอบกระแสไฟรั่วได้อย่างแม่นยำ เพื่อช่วยลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น ได้มีการออกแบบวงจรที่เหมาะสมสำหรับตรวจจับกระแสไฟรั่วและการประเมินผลการทำงานของอุปกรณ์ในสถานการณ์ต่างๆ โดยเครื่องทดสอบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับค่ากระแสไฟรั่วในช่วง 10mA, 20mA, และ 30mA พร้อมทั้งสามารถเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการวัดได้ไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐาน Fluke 1653B ผลการทดลองพบว่าตัวเครื่องมีค่าความผิดพลาดสูงสุด 4.44% และยังมีฟังก์ชันการแสดงผลผ่านหน้าจอ LCD เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

คำสำคัญ : เครื่องตัดไฟรั่ว, ไมโครคอนโทรลเลอร์, อุปกรณ์ทดสอบไฟฟ้า

(ปริญญานิพนธ์นี้มีจำนวนทั้งสิ้น 93 หน้า)

Project Report Title : Residual Current Device tester using microcontroller
Name : Miss Pimchanok Nontaput
: Mr. Wachirawit Kaewkhuanichum
Advisor : Asst.Prof. Teerapong Chimpheet
Major Field : Electrical Engineering
Academic Years : 2023

Abstract

This thesis aims to develop a leakage current circuit breaker (RCD) tester using a microcontroller, focusing on the design and construction of a device capable of accurately and efficiently detecting leakage current. The study covers an analysis of problems arising from the use of electrical equipment in systems without proper leakage protection, especially in installations lacking standard-compliant protective devices, which can lead to serious hazards to life and property. Therefore, this research emphasizes the importance of developing a device capable of precisely detecting leakage current to help reduce potential risks. A suitable circuit was designed for detecting leakage current, and the performance of the device was evaluated under various conditions. The developed tester is capable of detecting leakage currents at levels of 10mA, 20mA, and 30mA, with a measurement error of no more than 5% compared to the standard Fluke 1653B device. Experimental results showed a maximum measurement error of 4.44%. The tester also features an LCD display for ease of use.

Keywords: Leakage Current Circuit Breaker, Microcontroller, Electrical Testing

(The thesis has a total of 93 pages)

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความสามารถ และการสนับสนุนอย่างยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีระพงษ์ ฉิมเพชร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำปรึกษาข้อชี้แนะอันมีคุณค่าและก่อให้เกิดประโยชน์ในการดำเนินโครงการ ตลอดจนแนะแนวทางการแก้ปัญหาต่าง ๆ ในการดำเนินโครงการอย่างยิ่ง อีกทั้งความเมตตาในการช่วยเหลือด้านต่าง ๆ ตลอดโครงการนี้ ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ด้วยความซาบซึ้งใจและเคารพอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ ตลอดจนให้กำลังใจที่ดีเสมอมา จนทำให้ศึกษาเล่าเรียนจนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้ข้อมูล และให้คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ

ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรในหลักสูตรสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ได้กรุณาให้ความรู้ และคำปรึกษาแนะนำด้านการออกแบบโครงการชุดนี้ ให้ปริญญานิพนธ์มีความเรียบร้อยสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้องคณาจารย์ทุกท่าน ตลอดจนเพื่อนๆ ที่คอยเป็นกำลังใจ จนกระทั่งคณะผู้จัดทำมีโอกาสทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จจึงขอขอบคุณทุกท่านทุกฝ่ายและขอประกาศเป็นคุณงามความดี มา ณ ที่นี้ด้วย

พิมชนก นนทะพุทธ
วชิรวิทย์ แก้วควรรวม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.6 แผนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎี	5
2.1 ทบทวนวรรณกรรม	5
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	17
3.1 ออกแบบเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	19
3.2 หลักการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	21
3.3 การทดสอบโหลดความต้านทานปรับค่าได้	27
3.4 การสร้างประกอบเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	29
3.5 วงจรและไดอะแกรมการต่อใช้งานเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	33
3.6 การทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 โปรแกรมการทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์	37
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	38
4.1 รูปคลื่นที่ใช้ทดสอบเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester	38
4.2 รูปคลื่นที่ใช้ทดสอบเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	39
4.3 วิธีการทดลองเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	40
4.4 วิธีการทดลองเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester	41
4.5 วิธีการทดลองเครื่อง Habotest HT5910	42
4.6 การคำนวณหาค่าความผิดพลาดจากการวัด	43
4.7 ผลการทดลอง	44
4.8 ผลการทดลอง RCD แต่ละประเภท	47
4.9 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลอง RCCB และ RCBO	57
4.10 การต่อใช้งานจริงเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	60
4.11 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	60
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	61
5.1 สรุปผลที่ได้จากการทำโครงการ	61
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการ	61
5.3 ข้อควรระวังและข้อเสนอแนะ	62
5.4 แนวทางในการพัฒนาโครงการ	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก ก งบประมาณ	65

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข คู่มือแนะนำการใช้งาน	68
ภาคผนวก ค SOURCE CODE	72
ประวัติผู้จัดทำปริญญานิพนธ์	91

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1-1	แผนการดำเนินงาน	4
2-1	แสดงมาตรฐานมอก.ของ RCD	9
2-2	ลักษณะการทำงาน Type ของ RCD	11
2-3	ข้อมูลจำเพาะ Socket Tester	12
2-4	ข้อมูลจำเพาะ Habotest HT5910	13
2-5	ข้อมูลจำเพาะ Fluke 1653B Multifunction Tester	14
2-6	แสดงโหมดการทำงานของฟังก์ชัน Type RCD ของเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Tester	15
3-1	อุปกรณ์ภายในเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	20
4-1	การทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) ที่พิกัดกระแส 10mA	44
4-2	การทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) ที่พิกัดกระแส 20mA	44
4-3	การทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) ที่พิกัดกระแส 30mA	45
4-4	การทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping Time (ΔT) ที่พิกัดกระแส 10mA	45
4-5	การทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping Time (ΔT) ที่พิกัดกระแส 20mA	46
4.6	การทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping Time (ΔT) ที่พิกัดกระแส 30mA	46
4-7	การทดสอบ RCCB 1 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$)	47

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4-8	การทดสอบ RCCB 1 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT)	48
4-9	การทดสอบ RCCB 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) Phase A	48
4-10	การทดสอบ RCCB 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) Phase B	49
4-11	การทดสอบ RCCB 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) Phase C	49
4-12	การทดสอบ RCCB 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT) Phase A	50
4-13	การทดสอบ RCCB 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT) Phase B	51
4-14	การทดสอบ RCCB 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT) Phase C	51
4-15	การทดสอบ RCBO 1 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$)	52
4-16	การทดสอบ RCBO 1 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT)	52
4-17	การทดสอบ RCBO 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) Phase A	53
4-18	การทดสอบ RCBO 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) Phase B	54
4-19	การทดสอบ RCBO 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) Phase C	54

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4-20	การทดสอบ RCBO 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT) Phase A	55
4-21	การทดสอบ RCBO 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT) Phase B	55
4-22	การทดสอบ RCBO 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT) Phase C	56
ก-1	งบประมาณการสร้างเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	66
ข-1	คำอธิบายการใช้เครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	69

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1-1	เครื่องตัดไฟรั่ว	1
2-1	Residual Current Device (RCD)	7
2-2	Residual Current Circuit Breakers (RCCB)	7
2-3	Residual Current Circuit Breakers with Overload protection (RCBO)	8
2-4	Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB)	9
2-5	Socket Tester	12
2-6	Habotest HT5910	13
2-7	Fluke 1653B Multifunction Tester	14
2-8	การเชื่อมต่อ Fluke 1653B Multifunction Tester	15
2-9	กราฟแสดงเวลาและกระแสที่มีความเสี่ยงจากไฟฟ้าดูด	16
3-1	แผนผังขั้นตอนการดำเนินโครงการ	18
3-2	การออกแบบเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	19
3-3	โครงสร้างและอุปกรณ์ภายในเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	19
3-4	Arduino UNO R3	21
3-5	PZEM-004T	21
3-6	Relay 5V 1 Chanel 250V/10A	22
3-7	จอ LCD ขนาด 20x4	22
3-8	Step Motor 5V DC	23
3-9	Power Transformer 230V	23
3-10	VR Variable Resistor 10k Ohm	25
3-11	Push button switch	25
3-12	Multimeter test probes	26
3-13	รางถ่าน Lithium	26

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-14	BMS Battery	27
3-15	จำนวนรอบการหมุนของโหลดความต้านทานปรับค่าได้	27
3-16	ออกแบบการทำงานของโหลดความต้านทานปรับค่าได้	28
3-17	ออกแบบวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	29
3-18	วงจรตรวจเช็คขั้วสาย	30
3-19	วงจรวัดกระแสและการทำงานของ Relay	31
3-20	วงจรชาร์จแบตเตอรี่	31
3-21	วงจรปรับโหลดความต้านทานปรับค่าได้	32
3-22	ไดอะแกรมการต่อใช้งานเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์	33
3-23	การทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในโหมด RCD Tripping Time (ΔT)	34
3-24	การทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$)	36
3-25	การเขียนโปรแกรมการทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ RCD Tripping Time (ΔT)	37
4-1	รูปคลื่น Type A ที่ใช้ทดสอบ	38
4-2	รูปคลื่น Type AC ที่ใช้ทดสอบ	39
4-3	รูปคลื่น Type A ของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	39
4-4	รูปคลื่น Type AC ของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	40
4-5	การต่อใช้งาน RCD กับเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	41
4-6	การต่อใช้งาน RCD กับเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Tester	42
4-7	การต่อใช้งาน RCD กับเครื่อง Habotest HT5910	43
4-8	กราฟแสดงจำนวนครั้งกับพิกัดกระแสทดสอบของ RCCB	57
4-9	กราฟแสดงจำนวนครั้งกับเวลาการตัดวงจรของ RCCB	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-10	กราฟแสดงจำนวนครั้งกับพิกัดกระแสทดสอบของ RCBO	58
4-11	กราฟแสดงจำนวนครั้งกับเวลาการตัดวงจรของ RCBO	59
4-12	การต่อใช้งานจริงเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	60

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของหัวข้อโครงการ วัตถุประสงค์ของโครงการขอบเขตของโครงการ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการของโครงการ รวมถึงแผนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ

เครื่องตัดไฟรั่ว RCD (Residual Current Device) คือ เครื่องตัดไฟฟ้าอัตโนมัติที่จะตัดกระแสไฟฟ้าภายในระยะเวลาที่กำหนด เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าและออก มีค่าไม่เท่ากัน นั่นคือมีกระแสไฟฟ้าบางส่วนที่รั่วหายไป เช่น รั่วไหลจากเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินหรือกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านคนที่ไม่สัมผัสอุปกรณ์ที่มีไฟรั่วอยู่ ขณะใช้งานปกติจะไม่มีกระแสไฟฟ้ารั่ว ดังนั้น เครื่องตัดไฟรั่ว จะไม่ทำงาน ส่วนมากจะติดตั้งในตู้คอนซูมเมอร์ยูนิต ในบ้านพักอาศัย เครื่องตัดไฟรั่ว ทำงานโดยการเปรียบเทียบระดับกระแสไฟฟ้าทางสายนิวทรัลและสายไลน์ ซึ่งปกติแล้วจะต้องมีค่าเท่ากัน หากว่าระดับของกระแสไฟฟ้านั้นต่างกันเกินกว่า 30mA นั้นหมายถึงมีกระแสไฟฟ้ารั่วเกิดขึ้น เครื่องตัดไฟรั่วจะตัดวงจรโดยใช้เวลาเพียงไม่กี่มิลลิวินาที จึงช่วยป้องกันการบาดเจ็บหรืออันตรายแก่ชีวิต ประโยชน์ของเครื่องตัดไฟรั่ว คือการป้องกันอันตรายจากการถูกไฟฟ้าช็อต ป้องกันอัคคีภัยจากการเกิดไฟฟ้ารั่วในวงจรไฟฟ้า หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ และยังสามารถใช้ตรวจสอบจุดที่เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วได้ ซึ่งประโยชน์เครื่องตัดไฟฟ้านี้จะเป็นการป้องกันเสียมากกว่าแก้ปัญหา ตัวอย่างเครื่องตัดไฟรั่ว [1] แสดงดังภาพที่ 1-1



ภาพที่ 1-1 เครื่องตัดไฟรั่ว

เครื่องตัดไฟรั่วเมื่อทำงานผิดปกติอาจทำให้เกิดปัญหาต่างๆที่ทำให้ถึงชีวิตได้ สาเหตุของไฟรั่ว สาเหตุหลักลำดับแรกที่ทำให้เกิดปัญหาไฟรั่วมักมาจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ถูกต้อง เช่น การเสียบปลั๊กทิ้งเอาไว้ แม้จะปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าไปแล้ว แต่กระแสไฟยังคงทำงานอยู่จึงอาจทำให้เกิด การช็อตและไฟรั่วออกมา อุปกรณ์ไฟฟ้าเสื่อมสภาพเนื่องจากใช้งานมาเป็นเวลานาน และไม่ได้มีการ ตรวจสอบอย่างละเอียด เมื่อเปิดใช้ก็ทำให้กระแสไฟรั่วไหล ส่วนใหญ่จุดที่มักเกิดปัญหาไฟรั่วคือสาย หุ้มฉนวนที่หมดสภาพ มีร่องรอยความเสียหาย มีปัญหาชำรุดจาก การโดนทับ จนทำให้ตัวนำไฟฟ้า เกิดแรงดัน พอไฟฟ้าเจอกับโลหะจึงกลายเป็นกระแสไฟที่รั่วออกมา การเลือกใช้อุปกรณ์ที่ไม่ได้ มาตรฐาน รวมถึงการเดินสายไฟ การติดตั้งระบบไฟฟ้าภายในบ้านไม่ดีพอ เมื่อผ่านไประยะหนึ่ง แรงดันไฟฟ้าที่ทำงานเป็นประจำจะทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวพังเสียหายและเกิดปัญหาไฟรั่วขึ้น ซึ่งจะ ส่งผลให้เกิดอันตรายจากไฟรั่ว สำหรับอันตรายที่สามารถเกิดขึ้นได้จากปัญหาไฟรั่วมีด้วยกัน คือ หากมีใครไปสัมผัสบริเวณที่กระแสไฟฟ้ากำลังรั่วไหลจะทำให้ไฟดูด ถ้าหากกระแสไฟดังกล่าวไม่ได้แรง มากและสัมผัสไม่นานก็อาจมีแค่รอยไหม้ รอยแดง เลือดออกเล็กน้อย แต่ถ้ารุนแรงและโดนดูดด้วย ระยะเวลาานาน ๆ ก็ถึงขั้นเสียชีวิตได้ เป็นจุดเริ่มต้นของปัญหาอัคคีภัย เพราะเมื่อกระแสไฟรั่วออก มาแล้วจะก่อให้เกิดความร้อนหรือประกายไฟขึ้น หากบริเวณรอบ ๆ มีสิ่งของที่พร้อมติดไฟง่ายก็มี สิทธิ์เกิดอัคคีภัยและลุกลามไปยังจุดอื่น ๆ ได้ง่าย อีกประเด็นที่อาจไม่ได้ส่งผลต่อตัวบุคคลโดยตรงแต่ ก็นับว่าเป็นอันตรายทางการเงินพอสมควร เพราะเมื่อเกิดปัญหาไฟรั่วขึ้นจะทำให้ไฟฟ้าถูกใช้งาน ตลอดเวลา บิลค่าไฟที่ส่งมาให้ในเดือน นั้น ๆ จึงสูงกว่าปกติ

ด้วยเหตุผลนี้คณะผู้จัดทำ จึงมีความสนใจที่จะทำเครื่องทดสอบอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าวรั่วไหล ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อพัฒนาเครื่องทดสอบที่ขนาดเล็ก มีราคาถูกและสามารถตรวจเช็ค การทำงานของ RCD ภายในบ้านเรือนให้ตรงกับหลักการทำงานของเนมเพลต ที่สามารถเปรียบเทียบกับกระแสและเวลาได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการตรวจสอบการทำงานของเครื่องตัดไฟรั่ว
- 1.2.2 เพื่อออกแบบและสร้างอุปกรณ์เครื่องตัดไฟรั่ว
- 1.2.3 เพื่อนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้งาน ในการออกแบบซอฟต์แวร์ในการตัดไฟรั่ว

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 สร้างเครื่องทดสอบอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ารั่วไหลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จำนวน 1 เครื่องที่สามารถทดสอบ RCD type A แบบ 1 เฟส และ 3 เฟสได้
- 1.3.2 สามารถทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping current และ RCD Tripping time ได้โดยเปรียบเทียบความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับมิเตอร์ Fluke 1653
- 1.3.3 ตัวเครื่องสามารถป้อนพิกัดการทดสอบ 10mA, 20mA, 30mA ของอุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วผ่านปุ่มกดและสามารถแสดงค่า เวลาในการตัดวงจร ค่ากระแสรั่วไหล ตามโหมดที่เลือกผ่านทางหน้าจอ LCD ได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ความรู้เกี่ยวกับการทำงานและโครงสร้างภายในของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.4.2 ได้ออกแบบและได้สร้างเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.4.3 ได้เครื่องต้นแบบเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

- 1.5.1 จัดหาหัวข้อโครงงาน
- 1.5.2 ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงงาน
- 1.5.3 เข้าปรึกษาและพูดคุยกับอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
- 1.5.4 ออกแบบโครงสร้างชิ้นงาน
- 1.5.5 สอบหัวข้อโครงงาน
- 1.5.6 ต่อวงจรเครื่องตรวจจับกระแสไฟฟ้ารั่ว
- 1.5.7 เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.5.8 ทดสอบการทำงาน
- 1.5.9 รายงานความก้าวหน้า
- 1.5.10 ปรับปรุงและทดสอบการทำงานอีกครั้ง
- 1.5.11 จัดทำปริญญานิพนธ์
- 1.5.12 สอบจบโครงงาน

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎี

บทนี้จะกล่าวถึงทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและหลักการทำงานดังต่อไปนี้

2.1 ทบทวนวรรณกรรม

2.1.1 วณิชญา นูมาศ. 2564. เครื่องตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลในเครื่องตัดจีไฟฟ้า การตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลนั้นเป็นส่วนหนึ่งของการบำรุงรักษาเครื่องมือแพทย์เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน มีวิธีการตรวจวัดด้วยกัน 2 วิธี คือ การใช้ไขควงวัดไฟฟ้าหรือโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสรั่วไหล การใช้ไขควงเป็นเพียงแค่การตรวจสอบเบื้องต้นว่ามีกระแสรั่วไหลเท่านั้นไม่สามารถบ่งบอกปริมาณของกระแสที่รั่วไหลได้รวมไปถึงการใช้โวลต์มิเตอร์แม้เป็นวิธีที่ดีทำให้ทราบว่ามีแรงดันไฟฟ้ารั่วไหลแต่ก็ยังไม่สะดวกในการใช้งานและไม่ทราบระดับอันตรายที่ชัดเจน และอีกวิธีคือการใช้เครื่องตรวจวัดวิเคราะห์กระแสไฟฟ้ารั่วไหล (Electrical Safety Analyzer) จะได้ผลการตรวจสอบที่ค่อนข้างแม่นยำแต่มีราคาที่สูงมากทำให้โรงพยาบาลส่วนใหญ่ที่มีงบประมาณจำกัดไม่สามารถจัดซื้อเครื่องมือชิ้นนี้ไว้ใช้ในโรงพยาบาลได้อย่างทั่วถึง [2]

2.1.2 ญาณพล กลับเจริญ. 2560. พัฒนาระบบตรวจสอบปริมาณไฟฟ้าสำหรับอพาร์ทเมนต์ขนาดเล็ก อพาร์ทเมนต์ขนาดเล็กหรือห้องพักส่วนใหญ่มีการก่อตั้งมาเป็นระยะเวลานาน เป็นเหตุให้ระบบต่างๆ หรือสายไฟมีการเสื่อมสภาพลงตามกาลเวลา ก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้พักอาศัย อีกทั้งยังเป็นเหตุให้เลขมิเตอร์ตรวจวัดไม่ตรงกับการใช้งานทำให้ผู้พักอาศัยมีภาระค่าใช้จ่ายที่มากขึ้น ระบบตรวจสอบปริมาณไฟฟ้าจะช่วยให้เจ้าของธุรกิจสามารถดูปริมาณไฟฟ้าที่ถูกใช้ในแต่ละห้องพักได้ และผู้พักอาศัยสามารถดูค่าไฟที่เกิดขึ้นได้อีกด้วย อีกทั้งหากมีห้องพักว่างแต่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องจะสามารถทำให้ตรวจสอบได้อย่างรวดเร็ว บทความนี้ได้นำเสนอการสร้างระบบตรวจสอบปริมาณไฟฟ้าโดยใช้อาδυโน และศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้พักอาศัยในอพาร์ทเมนต์ขนาดเล็ก จากผลการทดลองหากผู้พักอาศัยสามารถตรวจสอบปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นได้ด้วยตนเองทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้พักอาศัยลดน้อยลง 0.66 หน่วยต่อวัน หรือ 26% [3]

2.1.3 ภาควิชา ภูมิศาสตร์, ภาควิชา ศรีเมือง, และจรัส สถาปนวงศ์. 2555. **การทดสอบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วสำหรับสถานการณ์น้ำท่วม** ผลงานวิจัย สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม.โครงการทดสอบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลสำหรับสถานการณ์น้ำท่วมเป็นการนำเสนอการทดสอบ ออกแบบ และการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลสำหรับสถานการณ์น้ำท่วม เพื่อให้อุปกรณ์ที่ได้รับการพัฒนามีประสิทธิภาพและความปลอดภัยในการทำงานมากขึ้นกว่าที่มีอยู่ในปัจจุบันโดยส่วนประกอบหลักของโครงการนี้จะแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของการทดสอบอุปกรณ์ที่ได้รับการนิยมนปัจจุบันจำนวน 3 วงจร ส่วนของการวิเคราะห์หาข้อดีและข้อเสียของอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ และส่วนของการออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ขึ้นใหม่ หลักการทำงานเบื้องต้นของอุปกรณ์ที่ได้รับการพัฒนา คือ เมื่อนำอุปกรณ์ที่ได้รับการพัฒนาจุ่มลงในน้ำ ถ้าตรวจพบกระแสไฟฟ้ารั่วไหล กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านโพรบเข้าสู่ IC วงจรคอมพิวเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบแรงดันที่ได้ จากนั้น IC จะส่งสัญญาณไปยังทรานซิสเตอร์เพื่อขยายสัญญาณที่ได้รับออกทางลำโพง และแสดงผลไปยังหลอด LED โดยพื้นที่ทำการทดสอบคือห้องทดลองแลปอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อบันทึกผลและสรุปผลการทดลอง [4]

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 เครื่องตัดไฟรั่ว

2.2.1.1 Residual Current Device (RCD) เครื่องตัดไฟฟ้าอัตโนมัติที่จะตัดกระแสไฟฟ้าภายในระยะเวลาที่กำหนด เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าและออก มีค่าไม่เท่ากัน นั่นคือมีกระแสไฟฟ้าบางส่วนที่รั่วหายไป เช่น รั่วไหลจากเครื่องใช้ไฟฟ้าลงดินหรือกระแสไฟฟ้ารั่วผ่านคนที่ไปสัมผัสอุปกรณ์ที่มีไฟรั่วอยู่ ขณะใช้งานปกติจะไม่มีกระแสไฟฟ้ารั่ว ดังนั้น เครื่องตัดไฟรั่ว จะไม่ทำงานส่วนมากจะติดตั้งในตู้คอนซูมเมอร์ ยูนิต ในบ้านพักอาศัย เครื่องตัดไฟรั่ว อาจมีชื่อเรียกอื่นๆ อีก เช่น เครื่องตัดวงจรกระแสเหลือ (RCD, RCBO, RCCB) หรือเครื่องตัดกระแสไฟฟ้ารั่วลงดิน (ELCB, GFCI) ถูกนำไปใช้งานร่วมกับ เซอร์กิต เบรกเกอร์ ประเภทอื่นๆ เช่น เบรกเกอร์ลูยก้อย MCB [5]



ภาพที่ 2-1 Residual Current Device (RCD)

เครื่องตัดไฟรั่วมีหลายแบบ และมีชื่อเรียกหลายชื่อด้วยกันแต่ก็จะมีหลักการทำงานที่คล้ายกัน เครื่องตัดไฟรั่ว อาจมีชื่อเรียกต่างกันเช่น เครื่องตัดไฟเมื่อมีกระแสรั่วลงดิน, Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB), Ground Fault Circuit Interrupter (GFCI), Residual Current Device (RCD) เครื่องตัดไฟรั่ว ทำงานโดยการเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสายไฟ 2 สาย (L และ N) หรือกระแสไหลเข้า (L) กับกระแสไหลกลับ (N) ต้องมีค่าเท่ากัน หากมีกระแสรั่วออกจากระบบโดยผ่านสายดิน (G) หรือไหลผ่าน ตัวคนไปสัมผัสอุปกรณ์เกิดไฟรั่ว เครื่องจะตรวจสอบได้ทันที และปลดวงจรออกทันที ในมาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้าของประเทศไทยจะกำหนดค่าการตรวจจับกระแสไฟรั่วที่ไม่เกิน 30 มิลลิแอมป์ และจะต้องตัดวงจรภายใน 0.04 วินาที

2.2.1.2 Residual Current Circuit Breakers (RCCB) เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดหนึ่งที่ช่วยตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อเกิดการรั่วไหลในระบบไฟฟ้าแต่ไม่สามารถตัดกระแสลัดวงจรได้ ส่วนใหญ่ที่มีการใช้งานจะมี 2 ขนาดด้วยกัน ขนาด 2 Pole สำหรับไฟ 1 เฟส และขนาด 4 Pole สำหรับไฟ 3 เฟส ในการทำงานนั้นจะใช้ควบคู่กับ MCB, MCCB [6]



ภาพที่ 2-2 Residual Current Circuit Breakers (RCCB)

2.2.1.3 Residual Current Circuit Breakers with Overloadprotection (RCBO) จะทำงานโดยช่วยป้องกันไฟฟ้าขัดข้องสองประเภท ประเภทแรกคือกระแสไฟฟ้าตกค้างหรือรั่วลงดิน ซึ่งเกิดขึ้นได้จากวงจรไฟฟ้าหยุดทำงานกะทันหันเนื่องจากเกิดการผิดพลาดจากการเดินสายหรืออุบัติเหตุจากการปรับแต่งสาย (เช่น การตัดสายเคเบิลเมื่อใช้เครื่องตัดไฟฟ้าเร็ว) หากไม่มีการตัดไฟ ผู้ที่ใช้งานจะถูกไฟฟ้าดูดจนถึงแก่ชีวิตได้ อีกกรณีหนึ่งคือ กระแสไฟฟ้าเกินกำลังซึ่งมาจากไฟฟ้าลัดวงจร และการจ่ายไฟฟ้าที่มากเกินไป ในกรณีแรกนั้นวงจรไฟฟ้าจะเกินกำลังจากการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้ามากเกินไป ซึ่งเป็นผลให้การโอนถ่ายพลังงานนั้นเกินความจุไฟฟ้า การลัดวงจรอาจจะเกิดได้จากความต้านทานของวงจรไฟฟ้าไม่เพียงพอและความจุไฟฟ้าเกินกำลัง ซึ่งเป็นเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายของไฟฟ้า [7]



ภาพที่ 2-3 Residual Current Circuit Breakers with Overload protection (RCBO)

2.2.1.4 Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกผลิตขึ้นมา โดยมีวัตถุประสงค์หลักสำหรับนำมาใช้ป้องกันไฟดูดหรือไฟรั่ว ส่วนใหญ่ใช้เป็นควบคุมเครื่องปรับอากาศ ปัมป์น้ำ เครื่องทำน้ำอุ่น ฯลฯ หน้าที่สำคัญของเบรกเกอร์กันดูด ELCB คือ เป็นตัวตัดหรือปลดวงจรไฟฟ้าอัตโนมัติในกรณีที่เกิดกระแสไฟรั่วลงดินในระดับที่ตรวจจับได้ อีกทั้งยังสามารถปลดวงจรไฟฟ้าในกรณีที่เกิดไฟฟ้าลัดวงจรได้ด้วยเช่นกัน แต่ข้อจำกัดของเบรกเกอร์ ELCB จะไม่สามารถปลดวงจรไฟฟ้าได้เองในกรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกินพิกัดที่ระบุเอาไว้ แตกต่างจากการใช้งานเบรกเกอร์ธรรมดาที่จะสามารถปลดวงจรไฟฟ้าหากใช้งานเกินพิกัดได้เอง เพราะพิกัดกระแสที่ระบุบนตัวของเบรกเกอร์ ELCB คือค่าสูงสุดที่สามารถทนได้ไม่ใช่ค่าสำหรับการปลดวงจร ประสิทธิภาพโดยทั่วไปของเบรกเกอร์ ELCB ในการตัดไฟ เฉลี่ยแล้วอยู่ประมาณ 0.01-0.04 วินาที [8]



ภาพที่ 2-4 Earth Leakage Circuit Breaker (ELCB)

ปัจจุบันรู้จักกันในชื่อตามมาตรฐาน IEC ว่า RCD (residual current device) หรือที่มาตรฐาน มอก. ใช้คำว่า “เครื่องตัดไฟรั่ว” นั้นล้วนหมายถึงอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดเดียวกัน ที่นำมาใช้ป้องกันหรือลดอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูด เหตุผลที่ทาง IEC ต้องเปลี่ยนมาใช้คำว่า RCD นั้นเนื่องจาก ELCB ที่ใช้ในยุโรปแต่เดิมนั้น เป็นชนิดที่ทำงานด้วยแรงดัน (voltage-operated ELCB) โดยจะทำงานตัดวงจรเมื่อแรงดันสัมผัสของจุดที่ป้องกันนั้นสูงกว่า 50 โวลต์ ส่วน ELCB ชนิดที่ทำงานด้วยกระแส (current-operated ELCB) ที่นิยมใช้กันนั้นเกิดขึ้นในระยะหลังมีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

ปัจจุบัน RCD แต่ละประเภทมีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องทั้งในระดับสากล (IEC) และประเทศไทย (มอก.) แสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 แสดงมาตรฐานมอก.ของ RCD

RCD	IEC	มอก.
RCCB	IEC 61008-1	มอก.2425
	IEC 61008-2-1	-
	IEC 61008-2-2	-
RCBO	IEC 61009-1	มอก.909
	IEC 61009-2-1	-
	IEC 61009-2-2	-
RCCB, RCBO type F,B	IEC 62423	มอก.2955
CBR	IEC 60947-2	-
SRCD, SRCBO	IEC 62640	มอก.2908
PRCD	IEC 61540	มอก.2910

RCD	IEC	มอก.
SPE-PRCD	IEC 62335	มอก.2909
IC-CPD	IEC 62752	มอก.2911
MRCD	IEC 60947-2	-
RCM	IEC 62020	-
RDC-DD	IEC 62955	-

2.2.2 ประเภท Type ของ RCD

2.2.2.1 RCD Type AC คือเครื่องตัดไฟรั่วที่จะจับไฟรั่วที่มีวงจรเป็นแบบกระแสสลับเท่านั้น ซึ่งเครื่องตัดไฟประเภทนี้ สามารถนำไปใช้ได้กับตัวทำความร้อน เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องทำน้ำร้อน เต้าไฟฟ้า และหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นต้น

2.2.2.2 RCD Type A คือเครื่องตัดไฟรั่วชนิดที่มีรูปคลื่นกระแสจากผลของวงจรแบบเรียงกระแส (Rectifier) โดยเราสามารถนำไปใช้งานได้กับอุปกรณ์ที่หลากหลาย และสามารถใช้ร่วมกับ RCD Type AC ที่เป็นกระแสสลับ ใช้กับ DC Pulsating หรือใช้กับ Halfwave Rectified ที่มีกระแสไม่เกิน 6mA ได้ ตัวอย่างของอุปกรณ์ เช่น เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ อินเวอร์เตอร์ เต้าไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ อุปกรณ์หรีไฟ ระบบอิเล็กทรอนิกส์ในบ้านหรืออาคาร และเครื่องประจุไฟฟ้าสำหรับ EV เป็นต้น

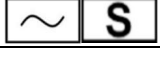
2.2.2.3 RCD Type B คือเครื่องตัดไฟรั่วที่มีรูปคลื่นกระแสจากผลของวงจรควบคุมความถี่ โดย RCD Type B สามารถใช้ได้กับ Type AC และ Type A ได้ นอกจากนี้ ยังสามารถใช้ได้กับอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็ว UPS เครื่องประจุไฟฟ้าสำหรับ EV ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ตัวแปลงความถี่ หรือในตัวแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเฟส 3 เป็นกระแสดรง เช่น ลิฟต์ บันไดเลื่อน เครื่องเชื่อม เป็นต้น

2.2.2.4 RCD Type F ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษสำหรับการป้องกันวงจรที่อาจใช้ไครฟ์ความเร็วแปรผันเฟสเดียวได้ ในวงจรเหล่านี้ รูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าตกค้างอาจเป็นส่วนผสมของความถี่หลายความถี่ ได้แก่ ความถี่ของมอเตอร์ ความถี่การสลับตัวแปลง และความถี่ของสายด้วยเหตุผลด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การใช้ตัวแปลงความถี่ในโหลดบางประเภท เช่น เครื่องซักผ้า เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น และมีคุณสมบัติทนทานต่อสัญญาณรบกวนที่ได้รับการปรับปรุง (ไม่สะดุดเมื่อเกิดกระแสไฟกระชาก)

2.2.2.5 RCD Type S เป็นอุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบหน่วงเวลา จะไม่ตัดวงจรทันทีเมื่อพบกระแสไฟรั่ว แต่จะหน่วงไว้ช่วงขณะหนึ่ง การหน่วงเวลานี้มีไว้เพื่อช่วยในการ เลือกตัดวงจรอย่างเหมาะสม ระหว่าง RCD หลายตัวที่ติดตั้งในระบบ เพื่อให้เฉพาะอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้จุดเกิดปัญหาที่สุดทำงาน และหลีกเลี่ยงการตัดไฟทั้งระบบโดยไม่จำเป็น ความล่าช้าในการตอบสนองจึงไม่เหมาะสมสำหรับการป้องกันบุคคลโดยตรง เพราะอาจไม่ตัดไฟได้ทันในกรณีที่มีกระแสไฟรั่วในระดับอันตรายต่อชีวิต เช่น 30mA หรือน้อยกว่า โดยทั่วไปจะมระดับความไวอยู่ที่ 100mA ขึ้นไป และมักใช้ในระบบหลักของอาคาร เช่น ตู้เมนหลัก เพื่อป้องกันไฟไหม้จากไฟรั่ว

สัญลักษณ์ของ Type RCD และการทำงานของ Type RCD แต่ละประเภทสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ลักษณะการทำงาน Type ของ RCD

Type RCD	สัญลักษณ์	ประเภทของกระแสไฟรั่ว
AC		ตรวจจับกระแสไฟรั่วที่เป็นกระแสสลับ
A		ตรวจจับกระแสไฟรั่วที่เป็นกระแสสลับและกระแสดตรง
B		ตรวจจับกระแสไฟรั่วที่เป็นกระแสสลับและกระแสดตรง, กระแสสลับความถี่สูง, พัลส์ของกระแสดตรง, และกระแสดตรงคงที่
F		ตรวจจับกระแสไฟรั่วที่เป็นกระแสสลับและกระแสดตรง, กระแสสลับความถี่สูง, และพัลส์ของกระแสดตรง
S		ตรวจจับกระแสไฟรั่วที่เป็นกระแสสลับพร้อมหน่วงเวลา

2.2.3 เครื่องทดสอบ RCD ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน

2.2.3.1 Socket Tester เครื่องทดสอบใช้ทดสอบ RCD สามารถทดสอบพิกัดกระแสที่มีค่ามากกว่า 30mA ได้ และยังสามารถใช้ตรวจสอบความถูกต้องของการเดินสายไฟในเต้ารับไฟฟ้า โดยสามารถตรวจสอบการต่อสาย Line (L), Neutral (N) และ Ground (E) ว่าถูกต้องหรือไม่พร้อมแสดงผลด้วยไฟ LED หรือหน้าจอดิจิทัล สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้แม่นยำในช่วง AC 48V-250V/45-65Hz โดย Socket Tester มีข้อดีคือ มีขนาดเล็ก ใช้งานง่าย รวดเร็ว และข้อเสียคือ เมื่อทดสอบ RCD ไม่มีการแสดงค่าพิกัดกระแสหรือเวลาการตัดวงจร [9]



ภาพที่ 2-5 Socket Tester

ตารางที่ 2-3 ข้อมูลจำเพาะ Socket Tester

ช่วงแรงดันไฟฟ้า	48V-250V
ความถี่	45-65 Hz
มาตรฐานปลั๊ก	ปลั๊ก Type EU และ Type UK
จอแสดงผล	LCD
การทดสอบ RCD	ที่พิกัดกระแสมากกว่า 30mA

2.2.3.2 Habotest HT5910 เครื่องทดสอบ RCD/LOOP Tester โวลต์มิเตอร์จัดเก็บข้อมูล 1,000 เมกโอห์มมิเตอร์ เครื่องทดสอบนี้ได้รับการออกแบบมาสำหรับมืออาชีพในอุตสาหกรรมไฟฟ้า โดยผสมผสานความแม่นยำ ความน่าเชื่อถือ และความสะดวกในการใช้งานไว้ในตัวเครื่องที่กะทัดรัดและทนทาน เครื่องทดสอบนี้สามารถทำการทดสอบอุปกรณ์ตัดกระแสไฟฟ้ารั่ว (RCD) การตรวจสอบอิมพีแดนซ์ของลูป และการวัดความต้านทานฉนวนเข้าไว้ในอุปกรณ์เดียวที่ใช้งานง่าย ไม่ว่าคุณจะทำงานในโครงการที่อยู่อาศัย เชิงพาณิชย์ หรืออุตสาหกรรม เครื่องทดสอบ RCD/Loop จะรับประกันว่าระบบไฟฟ้าของคุณเป็นไปตามมาตรฐานและข้อบังคับด้านความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด น้ำหนักเบา พกพาสะดวก และมาพร้อมจอแสดงผลที่สว่างและชัดเจน จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับช่างไฟฟ้าที่ต้องเดินทาง โดย Habotest HT5910 มีข้อดีคือ ใช้งานง่ายต่อการทดสอบและบันทึกผลการทดสอบโหลดไปยังคอมพิวเตอร์ได้ ข้อเสียคือ มีค่าความผิดพลาดค่อนข้างเยอะและไม่สามารถเลือก Type ของ RCD ที่ใช้ทดสอบได้ [10]



ภาพที่ 2-6 Habotest HT5910

ตารางที่ 2-4 ข้อมูลจำเพาะ Habotest HT5910

การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	ช่วง: 0 – 440 V
	ความละเอียด: 1 V
	ความแม่นยำ (45-65 Hz): ± 1 Hz
Tripping current	ช่วงการแสดงผล: 0.2 – 1.1 A
	ความแม่นยำ: ± 0.1 mA
	ค่าที่กำหนด: 10 30 mA
Tripping Time	ช่วงการแสดงผล: X1: 300 – 500 ms X5: 40 - 150 ms
	ความแม่นยำ: ± 30 ms
	ค่าที่กำหนด: 10 30 mA

2.2.3.3 Fluke 1653B Multifunction Installation Tester เครื่องมือทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงที่รวดเร็ว จะช่วยให้การติดตั้งระบบไฟฟ้ามีความปลอดภัยทั้งการใช้งานในอาคาร อาคารเชิงพาณิชย์ และอุตสาหกรรม เครื่องมือนี้ช่วยให้มั่นใจได้ว่าสายไฟที่ยึดอยู่นั้นปลอดภัยและติดตั้งอย่างถูกต้องตามข้อกำหนด IEC 60364, HD 384 โหมดใหม่เพิ่มเติมสำหรับอุปกรณ์ของกระแสไฟฟ้าแรงสูง การวัดที่รวดเร็วกว่า เมื่อเทียบกับการทดสอบอุปกรณ์ที่มีโหมดไม่ตัดวงจรของ RCD การวัดแรงดันไฟฟ้าที่รวดเร็วระหว่าง L-N, L-PE และ N-PE โดยใช้สายเมน ไม่ต้องเปลี่ยนการเชื่อมต่อ การวัด โดย Fluke 1653B Multifunction Installation Tester มีข้อดีคือ มีความแม่นยำสูงมีฟังก์ชันการใช้งานครบถ้วน ข้อเสียคือ ใช้งานค่อนข้างยากต้องมีความรู้เฉพาะทางระดับหนึ่งถึงจะใช้งานได้ และราคาค่อนข้างสูง [11]



ภาพที่ 2-7 Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 2-5 ข้อมูลจำเพาะ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

การวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	ช่วง: 500V
	ความละเอียด: 0.1V
	ความแม่นยำ (50-60 Hz): $\pm (0.8\% + 3 \text{ หลัก})$
	อิมพีแดนซ์อินพุต: 3.3 M Ω
	การป้องกันการโหลดเกินกำลัง: 660 Vrms
Tripping current	ช่วงการแสดงผล: 3 mA - 550 mA
	ความแม่นยำ: $\pm (10\% + 1 \text{ หลัก})$
	ค่าที่กำหนด: 10 30 100 300 500 mA
Tripping Time	ช่วงการแสดงผล: 0.0 ms – 2000 ms
	ความแม่นยำ: $\pm (10\% + 1 \text{ หลัก})$
	ค่าที่กำหนด: 10 30 100 300 500 1000 mA

2.2.4 วิธีการทดสอบด้วยเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

2.2.4.1 หมุนสวิตช์หมุนไป $I_{\Delta N}$ หรือ ΔT

2.2.4.2 กด F1 เพื่อเลือกกระแสทดสอบ

2.2.4.3 กด F3 เพื่อเลือก type RCD คือ

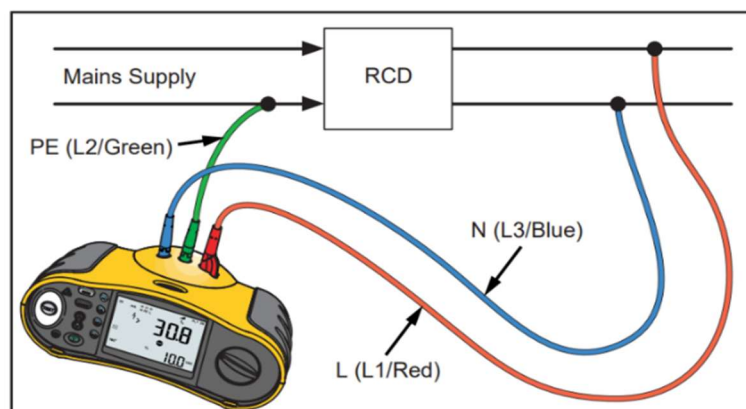
ตารางที่ 2-6 แสดงโหมดการทำงานของฟังก์ชัน Type RCD ของเครื่อง Fluke 1653B

Multifunction Installation Tester

สัญลักษณ์	รายละเอียด
	RCD type AC ตรวจสอบกระแสไฟรั่วที่เป็นกระแสสลับเท่านั้น
	RCD type A ตรวจสอบกระแสไฟรั่วที่เป็นกระแสสลับและกระแสตรง
 	RCD type AC ที่มีการหน่วงเวลาสั้น ๆ ก่อนที่จะทำการตัดวงจร
 	RCD type A ที่ไวต่อไฟ DC ที่มีการหน่วงเวลาสั้น ๆ ก่อนที่จะทำการตัดวงจร

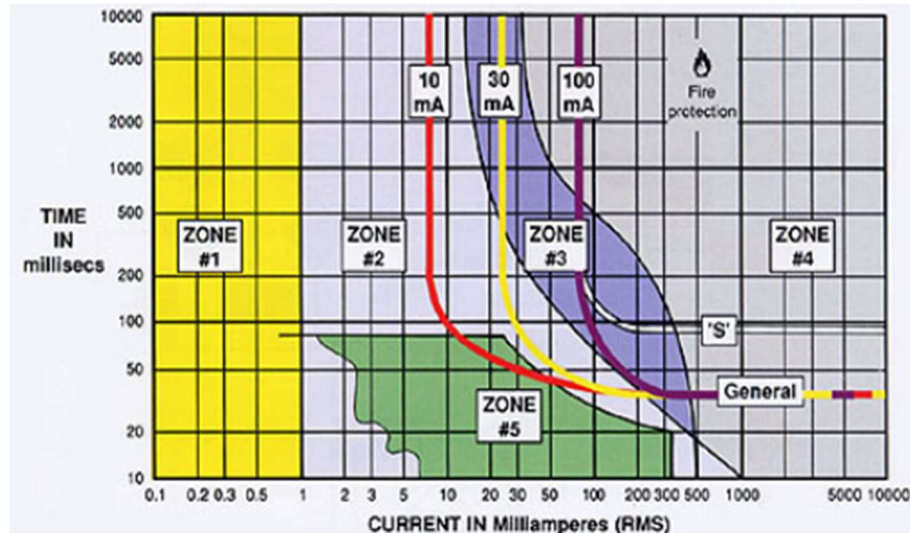
2.2.4.4 กด F4 เพื่อเลือกเฟสปัจจุบันในการทดสอบ 0° หรือ 180° ควรทดสอบ RCD ด้วยการตั้งค่าเฟสทั้งสองแบบเนื่องจากเวลาตอบสนองอาจแตกต่างกันอย่างมากขึ้นอยู่กับเฟส

2.2.4.5 กด Test แล้วรอการทดสอบเสร็จสิ้น แสดงผลและเช็คค่ากระแสหรือเวลาการตัดวงจรผ่านหน้าจอ



ภาพที่ 2-8 การเชื่อมต่อ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

2.2.5 กราฟคุณลักษณะของ RCD



ภาพที่ 2-9 กราฟแสดงเวลาและกระแสที่มีความเสี่ยงจากไฟฟ้าดูด

จากภาพที่ 2-10 แสดงความเสี่ยงของกระแสไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อร่างกายมนุษย์ในช่วงเวลาต่างๆ กราฟนี้จะเห็นได้ชัดเจนว่า RCD จะตัดวงจรในเวลาและระดับกระแสที่ปลอดภัย ก่อนเข้าสู่โซนเสี่ยงที่อาจเกิดอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน โดยแกนกราฟแนวตั้ง แสดงเวลา (มิลลิวินาที) ที่กระแสไหลผ่านร่างกาย และแกนกราฟแนวนอน แสดงค่ากระแส (มิลลิแอมป์)

2.2.5.1 Zone การทำงานของกระแสไฟฟ้าต่อร่างกายมนุษย์แบ่งออกเป็น 5 Zoneตามระดับความรุนแรงของผลกระทบ โดย Zone 1 เป็นระดับที่กระแสไฟฟ้าโดยทั่วไปจะไม่มีผลกระทบต่อร่างกายอย่างชัดเจน, Zone 2 เริ่มมีผลกระทบทางสรีรวิทยา โดยกระแสไฟฟ้าที่มากกว่า 0.5 mA จะเริ่มกระตุ้นการตอบสนองของร่างกาย, Zone 3 ไม่มีความเสียหายทางอวัยวะ แต่เริ่มมีความเป็นไปได้ของการกระตุกกล้ามเนื้อ หายใจติดขัด หรือหัวใจเต้นผิดปกติแบบชั่วคราว, Zone 4 มีอาการคล้าย Zone 3 แต่รุนแรงกว่า และมีความเสี่ยงของภาวะหัวใจหยุดเต้น หายใจล้มเหลวและอาจเกิดไฟไหม้จากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เสื่อมสภาพ, Zone 5 จะเกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้ารั่วขนาดเล็กในระบบไฟฟ้า ซึ่งมักมาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือระบบติดตั้งที่มีข้อบกพร่อง แม้จะไม่ใช่อันตรายโดยตรงแต่ก็เป็นต้นเหตุของปัญหาด้านความปลอดภัยในระยะยาว

2.2.5.2 เส้นโค้งของ RCD ที่กระแส 10mA (สีแดง) ตัดวงจรเร็วสุด ใช้ในที่เสี่ยงสูง เช่น ห้องน้ำ โรงพยาบาล เป็นต้น, ที่กระแส 30mA (สีเหลือง) ใช้ทั่วไปในบ้าน และที่กระแส 100mA (สีม่วง) ใช้เพื่อป้องกันไฟไหม้

บทที่ 3

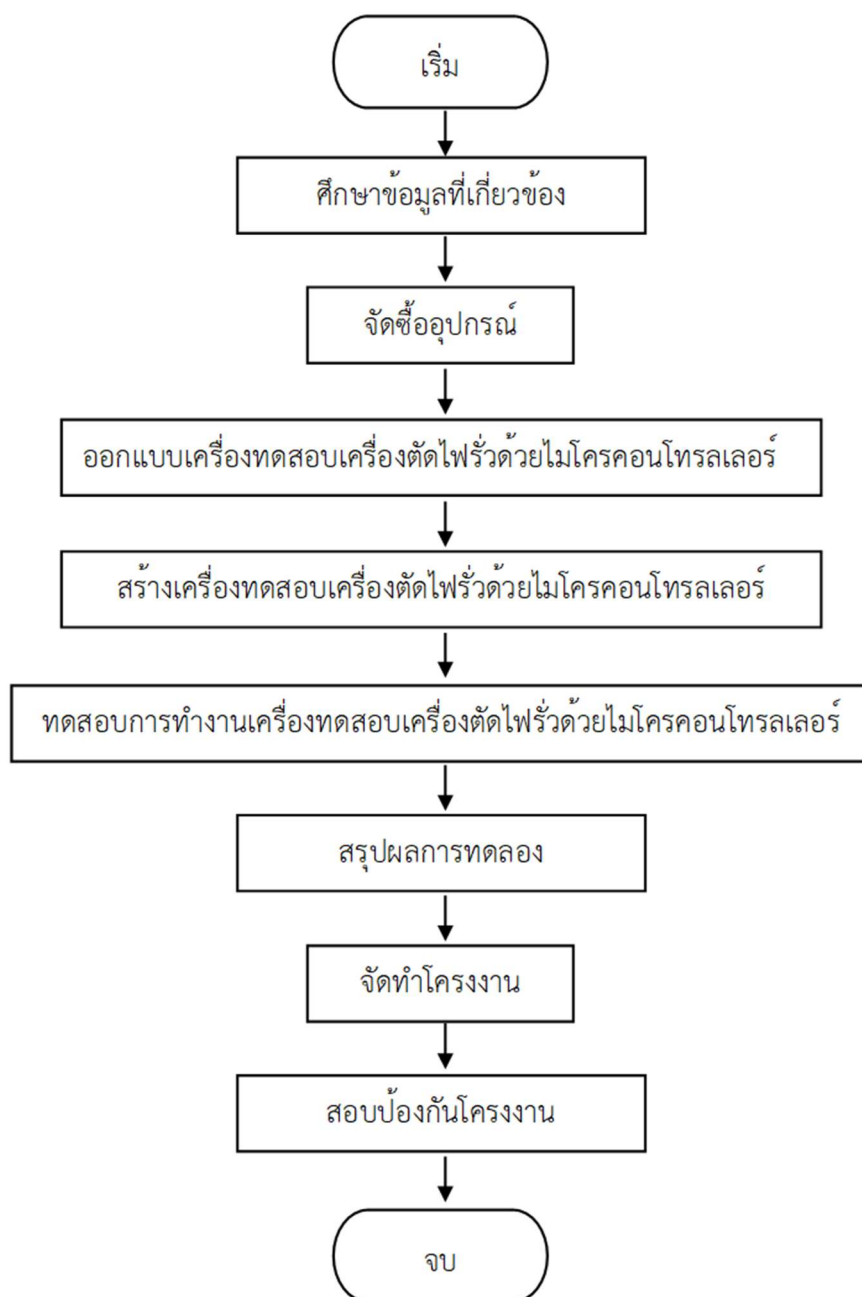
วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินการของโครงการเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เริ่มจากศึกษาวิธีการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ และการเขียนวงจรคำสั่งในอูโน้เพื่อไปควบคุมการทำงานและออกแบบสร้างเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ในบทนี้จะกล่าวถึง การออกแบบสร้างเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ขั้นตอนการดำเนินงาน การเลือกใช้อุปกรณ์ที่สำคัญ วงจรการทำงาน รวมไปถึงการสร้างและประกอบของโครงสร้างเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้เป็นไปตามขอบเขตของโครงการที่ได้กำหนดไว้ตามขอบเขต ดังต่อไปนี้

1. สร้างเครื่องทดสอบอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้ารั่วไหลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จำนวน 1 เครื่องที่สามารถทดสอบ RCD type A แบบ 1 เฟส และ 3 เฟสได้
2. สามารถทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping current และ RCD Tripping time ได้ โดยเปรียบเทียบความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับมิเตอร์ Fluke 1653
3. ตัวเครื่องสามารถป้อนพิกัดการทดสอบ 10mA, 20mA, 30mA ของอุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วผ่านปุ่มกดและสามารถแสดงค่า เวลาในการตัดวงจร ค่ากระแสรั่วไหล ตามโหมดที่เลือกผ่านทางหน้าจอ LCD ได้

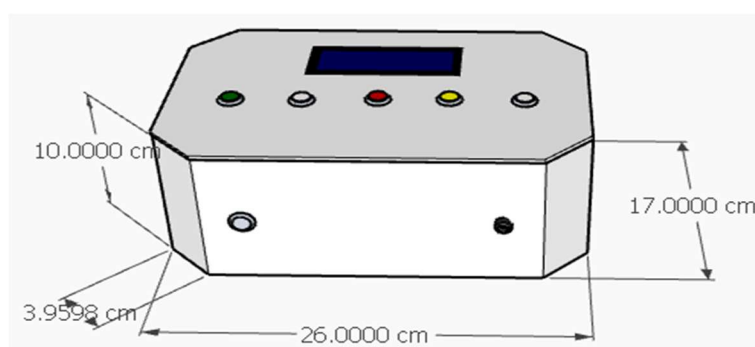
การดำเนินโครงการสามารถเขียนแผนผังขั้นตอนการทำงานได้แสดงดังภาพที่ 3-1



ภาพที่ 3-1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินโครงการ

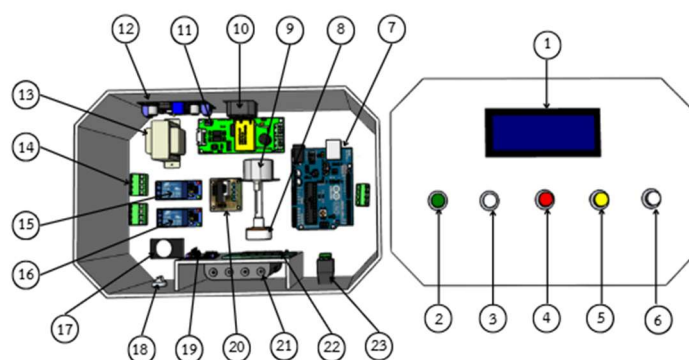
3.1 ออกแบบเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1.1 ออกแบบเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 26x17x10 เซนติเมตร ความหนา 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3-2 การออกแบบเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1.2 โครงสร้างและอุปกรณ์ภายในเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 3-3 โครงสร้างและอุปกรณ์ภายในเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

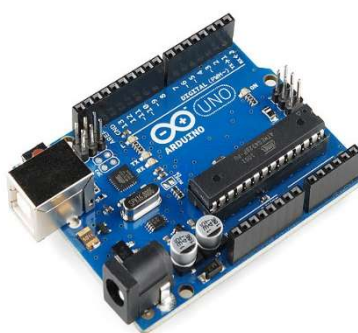
ตารางที่ 3-1 อุปกรณ์ภายในเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

หมายเลข	ชื่ออุปกรณ์
1	จอ LCD 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด
2	ปุ่มกด Test
3	ปุ่มกดเลือกฟังก์ชันทดสอบ 10mA, 20mA, 30mA
4	ปุ่มเลือกโหมด RCD Tripping current($I_{\Delta N}$) และ RCD Tripping time(ΔT)
5	ปุ่มเลือกโหมด และ Halfwave
6	ปุ่ม Reset
7	Arduino Uno R3
8	Potentiometers Variable Resistors 10K Ω 2w
9	Step Motor
10	AC Power Socket 250V 10A 3 Pin
11	PZEM-004t
12	power module DC-DC Buck Converter Step Down Terminal โมดูล lm 2596 dc/dc 4 . 0~40 v
13	AC Transformer 24V
14	ขั้วต่อสกรู PCB ซ็อกเก็ต
15	Relay Module 5V 1 Channel 10A
16	Relay Module 5V 1 Channel 10A
17	Split Core Current Transformer 50A
18	สวิตช์เปิด-ปิด
19	วงจรชาร์จขั้วสาย Battery Lithium BMS 16.8V 30A
20	ULN2003 Driver Board Stepper Motor
21	แท่นชาร์จแบตเตอรี่ 4 ส่วน
22	Battery Lithium BMS 16.8V 30A
23	DC Jack 5.5x2.1mm. Power Adapters

3.2 หลักการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.1 Arduino UNO R3

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ รันที่ความถี่ 16 MHz หน่วยความจำแฟลช 32 KB แรม 2 KB บอร์ดใช้ไฟเลี้ยง 7 ถึง 12 V มีระดับแรงดันไฟฟ้าในการทำงานและขาสัญญาณอยู่ที่ 5V (TTL) มี Digital Input/Output 14 ขา (เป็น PWM ได้ 6 ขา) มี Analog Input 6 ขา Serial UART 1 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด เขียนโปรแกรมบนซอฟต์แวร์ Arduino IDE และโปรแกรมผ่านพอร์ต USB



ภาพที่ 3-4 Arduino UNO R3

3.2.2 PZEM-004T

PZEM-004T 100A AC Digital Power Energy Meter โมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า ใช้วัดแรงดันไฟฟ้า วัดค่ากระแสไฟฟ้า วัดค่ากำลังไฟฟ้า และวัดค่ากำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมง (Wh) ซึ่งสามารถนำค่าเหล่านี้ไปใช้คำนวณค่าไฟฟ้าได้ หรือวัดการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชิ้น วัดค่าแรงดันไฟฟ้าได้ 80 - 260VAC และวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ 0 - 100A ทำงานได้ที่ความถี่ 45 - 65Hz สื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย UART (หรือ Serial)



ภาพที่ 3-5 PZEM-004T

3.2.3 Relay module 5V 1 chanel 250V/10A Active HIGH

โมดูลรีเลย์ที่ใช้สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดอุปกรณ์ด้วยสัญญาณไฟฟ้า โดยมีความจุเป็น 1 ช่อง รีเลย์สามารถรับโหลดได้สูงสุด 250V/10A โดยมีการต่อกับแหล่งจ่ายไฟด้วยแรงดัน 5V และมีสัญญาณ Active HIGH ซึ่งหมายถึงเมื่อสัญญาณเข้ามาเป็นระดับสูง รีเลย์จะทำงานเปิดอุปกรณ์ ส่วนเมื่อสัญญาณเป็นระดับต่ำ รีเลย์จะทำงานปิดอุปกรณ์ ในวงจรใช้ Relay 2 ตัว Relay ตัวแรกใช้ในโหมด I delta T และ I delta N โดยที่ขาCOMจะรับกระแสจาก VR เมื่ออยู่ในสถานะNC จะต่อเข้ากับ 0 ของขั้วหม้อแปลง แต่เมื่ออยู่ในสถานะNO จะต่อกับขาCOM ของRelay ตัวที่2 ส่วนRelay



ภาพที่ 3-6 Relay module 5V 1 chanel 250V/10A

3.2.4 จอ LCD ขนาด 20x4

เทคโนโลยีมอไนเตอร์ LCD ย่อมาจาก Liquid Crystal Display ซึ่งเป็นจอแสดงผลแบบ (Digital) โดยภาพที่ปรากฏขึ้นเกิดจากแสงที่ถูกปล่อยออกมาจากหลอดไฟด้านหลังของจอภาพ (Black Light) ผ่านชั้นกรองแสง (Polarized filter) แล้ววิ่งไปยัง คริสตัลเหลวที่เรียงตัวด้วยกัน 3 เซลล์คือ แสงสีแดง แสงสีเขียวและแสงสีน้ำเงิน กลายเป็นพิกเซล (Pixel) ที่สว่างสดใสเกิดขึ้น ใช้แสดงค่า กระแสและแรงดันที่วัดได้ในขณะนั้น เวลา trip ของ RCD ค่ากระแส trip ของRCD สถานะ โหมด I delta T หรือ I delta N สถานะย่านกระแสที่ใช้ทดสอบ



ภาพที่ 3-7 จอ LCD ขนาด 20x4

3.2.5 Step motor 5V DC

เป็นสเต็ปมอเตอร์ขนาดเล็ก ขับด้วยไอซีเบอร์ ULN2003 โดยมอเตอร์นี้ถูกออกแบบมาให้ เป็นสเต็ปมอเตอร์แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 5VDC กระแสไฟทำงาน 240mA จำนวนเฟส 4 ซึ่งใน วงจรมีหน้าที่ ขับตัวต้านทานปรับค่าได้หรือVR เพิ่มหรือลดค่าความต้านทานเพื่อให้กระแสไหลตาม ต้องการ แทนการปรับด้วยมือ



ภาพที่ 3-8 Step motor 5V DC

3.2.6 Power transformer 230V

หม้อแปลงขนาด 0.35-3.2VA ได้รับการออกแบบมาเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าจาก 230V AC ให้เป็นเอาต์พุต AC 24V ช่วงความถี่ 50-60Hz กำลังไฟฟ้า 2.8VA กำลังสูญเสียขณะไม่มีโหลด 0.9W ที่มีขดลวดทุติยภูมิ 2x15V และ 2x18V ที่ใช้หม้อแปลงขนาด 12V 300mA เพราะว่า ถ้าใช้แรงดัน 220V อาจทำให้อุปกรณ์ในวงจรเสียหายได้ แต่ในวงจรไม่ได้ต้องการแรงดันสูง จะใช้แรงดันในช่วง 9-30V สิ่งที่ต้องการคือกระแสต้องไม่ต่ำกว่า 100mA เพื่อเพียงพอในการทดสอบในแต่ย่านกระแส โดยการต่อหม้อแปลง จะต่อแบบหม้อแปลงอัตโนมัติเพื่อให้ขดลวดด้าน Primary และด้าน Secondary ต่อถึงกัน กรณีที่สองขั้วนี้ไม่ต่อถึงกัน เมื่อกระแสไหลลงกราวด์จะไม่ทำให้ RCD ตัดวงจร



ภาพที่ 3-9 Power transformer 230V

3.2.7 VR Variable resistor 10k Ohm

เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ตัวต้านทาน R ชนิดปรับค่าได้ Potentiometer สามารถปรับความต้านทานได้ตามความต้องการโดยการหมุน สามารถปรับความต้านทานได้ตั้งแต่ 0 - 10,000 (10K)Ohm โดยกระแสที่ใช้ทดสอบก็จะขึ้นอยู่กับตัวต้านทาน ตัวต้านทานปรับค่าได้ชนิดนี้ สามารถหมุนได้ 10 รอบ นั่นคือค่าความต้านทานมีความละเอียดสูง ปรับกระแสในช่วง 0-30mA ได้ และจากการคำนวณหาค่าความต้านทานโดยใช้กฎของโอห์ม ใช้แรงดัน 24V กระแส 10mA, 20mA, 30mA และ 50mA กรณีกระแสสูงสุด Variable resistor ที่เลือกใช้มีค่าความต้านทานที่ขายทั่วไปคือ 100Ω, 1kΩ, 10kΩ เหตุผลที่เลือกค่า 10kΩ นั้น เพราะจากการคำนวณหาค่าความต้านทานที่ใช้อยู่ในช่วง 480Ω - 2400Ω เลยต้องเลือกใช้ค่า 10kΩ และคำนวณหาตัวตัดได้จากสมการ

โดยคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าได้จากสมการที่ 3.1

$$(P = I^2 R) \quad (3.1)$$

โดย R คือ ความต้านทาน(Ω)

I คือ กระแสไฟฟ้า(A)

P คือ กำลังไฟฟ้า(W)

แทนค่าการคำนวณจากสูตร จะได้ว่า

ทราบค่า V จากวงจรมีค่าเท่ากับ 24V

I จากวงจรมีค่าสูงสุดเท่ากับ 50mA

$$\begin{aligned} P &= (50\text{mA})^2 \times 480\Omega \\ &= 1.2\text{W} \end{aligned}$$

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของตัวต้านทานที่เลือกใช้คือ 2W เพราะค่ากระแสสูงสุดอยู่ที่ 50mA กำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 1.2W



ภาพที่ 3-10 VR Variable resistor 10k Ohm

3.2.8 Push button switch

Push button switch หรือที่เรียกกันสวิตช์ปุ่มกด เป็นอุปกรณ์พื้นฐานทางไฟฟ้าที่เวลาใช้งาน ต้องกดปุ่มสวิตช์ลงไป การควบคุมตัดต่อสวิตช์ ต้องกดปุ่มที่อยู่ส่วนกลางสวิตช์ ซึ่งทำหน้าที่ตัดและต่อ วงจรทางไฟฟ้า เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ ในวงจรที่ใช้งาน S1 ใช้เป็นสวิตช์เลือกกระแสทดสอบ 10mA, 20mA, 30mA Start, S2 ใช้เป็นสวิตช์ Test, S3 ใช้เป็นสวิตช์เลือกโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) และ RCD Tripping Time (ΔT), S4 ใช้เป็นสวิตช์เลือกโหมด Type A และ Type AC และ S5 ใช้เป็นสวิตช์ Reset



ภาพที่ 3-11 Push button switch

3.2.9 Multimeter test probes

ใช้สำหรับการวัดค่าทางไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า หรือความต้านทาน โดยต่อกับเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการตรวจวัดในวงจรไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ หัวโพรบสีแดงและสีดำ (บ่งบอกขั้วบวกและขั้วลบ) หัวจับแบบจระเข้ (Alligator Clips) สีแดง ดำ และเขียว สำหรับหนีบชิ้นส่วนหรือสายไฟเพื่อความสะดวกในการวัด ส่วนปลายสายเชื่อมต่อ กับเครื่องทดสอบ



ภาพที่ 3-12 Multimeter test probes

3.2.10 รางถ่าน Lithium

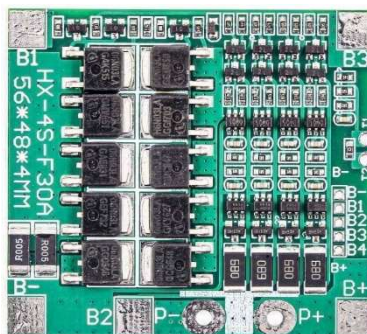
รางถ่าน Lithium 18650 จำนวน 4 ก้อน 14.8V (ต่ออนุกรมกัน) พร้อมหัวต่อ Jack ขนาด 5.5x2.5mm



ภาพที่ 3-13 รางถ่าน Lithium

3.2.11 BMS Battery

BMS รุ่น HX-4S-F30A Li-ion 3.7V ปลอยกระแสอย่างต่อเนื่อง 30A (MAX) การคายประจุ 56A แรงดันไฟฟ้าชาร์จ 16.8V กำลังชาร์จปัจจุบัน 20A (MAX) ความต้านทานภายใน $\leq 20\text{m}\Omega$ เป็นตัวป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดจากแบตเตอรี่ โดยมีหน้าที่ตัดไฟจากวงจรเมื่อมีการชาร์จเต็มแล้ว หรือเมื่อแบตเตอรี่ก้อนใดก้อนหนึ่งใกล้หมดและตัดวงจรเมื่อมีการชาร์จหรือการใช้แบตเตอรี่ด้วยกระแสเกินกว่าที่ BMS จะรับได้ และยังสามารถป้องกันการชาร์จ การใช้แบตเตอรี่ด้วยกระแสที่สูงจนเกินไป ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อแบตเตอรี่ หรืออาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่ที่เร็วขึ้น



ภาพที่ 3-14 BMS Battery

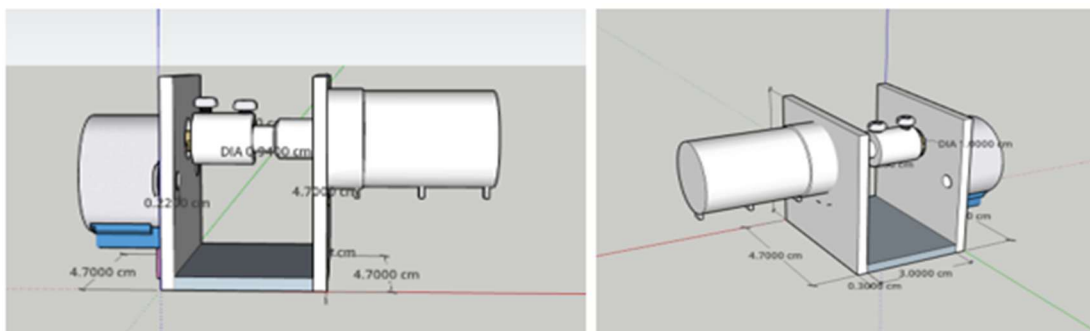
3.3 การทดสอบโหลดความต้านทานปรับค่าได้

3.3.1 ทดสอบจำนวนรอบของโหลด การทดสอบจะเป็นการเพิ่มกระแสให้โหลดอย่างต่อเนื่อง โดยให้สเตปมอเตอร์ขับโหลดเพิ่มกระแสจาก 1-10mA แล้วหมุนกลับนับเป็น 1 รอบ ทำติดต่อกันจนได้จำนวนที่มากกว่า 1000 ครั้ง



ภาพที่ 3-15 จำนวนรอบการหมุนของโหลดความต้านทานปรับค่าได้

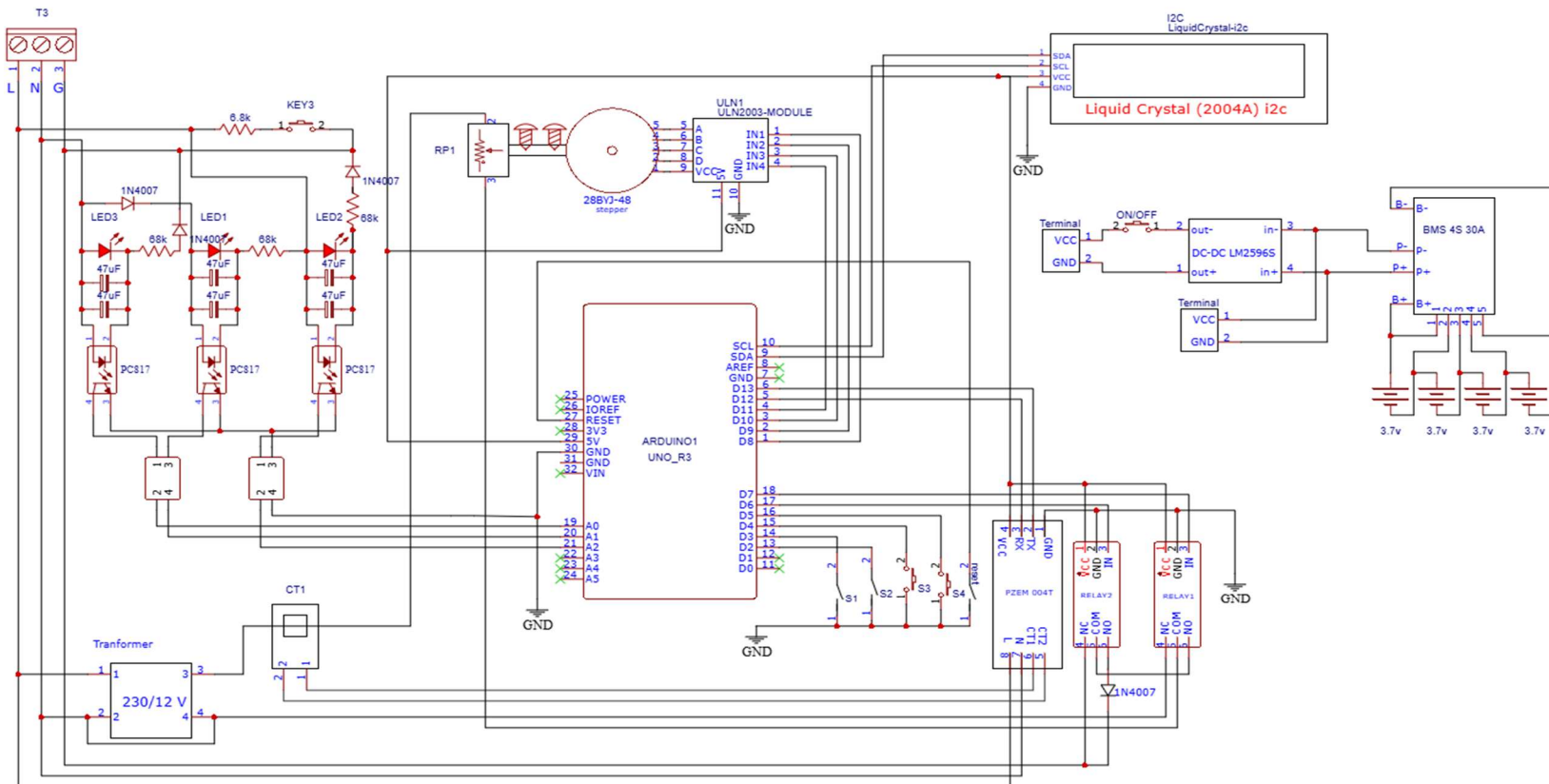
3.3.2 ออกแบบการทำงานของโหลดความต้านทานปรับค่าได้ จะเป็นการต่อโหลดความต้านทานปรับค่าได้กับ Stepper motor โดยใช้เฟลาในการหมุน และใช้อะคริลิกเป็นฐานยึดระหว่าง Stepper motor กับโหลดความต้านทานปรับค่าได้ ซึ่งมีน้ำหนักเบาใช้งานสะดวกออกแบบมีลักษณะคล้ายตัวยูสามารถติดตั้งภายในเครื่องได้



ภาพที่ 3-16 ออกแบบการทำงานของโหนดความต้านทานปรับค่าได้

3.4 การสร้างประกอบเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

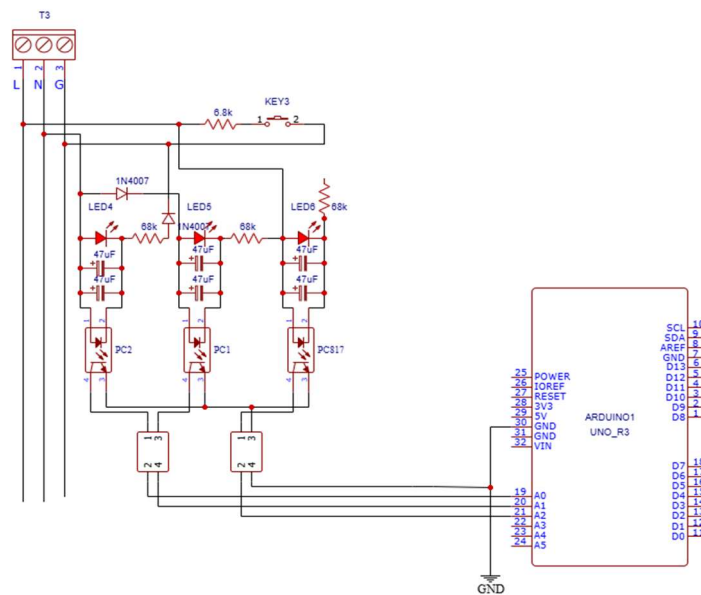
3.4.1 ออกแบบวงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยโปรแกรม Arduino IDE



ภาพที่ 3-17 ออกแบบวงจรควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.4.2 วงจรตรวจเช็คขั้วสาย

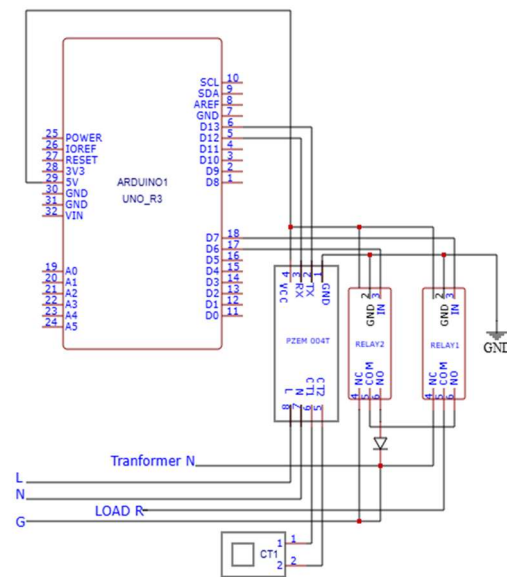
หลักการทำงานคือ กรณีต่อสายถูก LED 1,2 จะติดและทำให้ออปโตคัปเปอร์ทำงาน โดยออปโตคัปเปอร์ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ให้ขา Analog ต่อกับ Ground เพื่อให้ Arduino รับรู้ หากเป็นกรณีต่อสายผิด LED 1,3 ก็จะมีติดและทำให้ Arduino รับรู้โดยการแสดงผลบนหน้าจอ และสามารถตรวจเช็คว่าการต่อสาย Line, Newtrol, Ground หรือไม่



ภาพที่ 3-18 วงจรตรวจเช็คขั้วสาย

3.4.3 วงจรวัดกระแสและการทำงานของ Relay

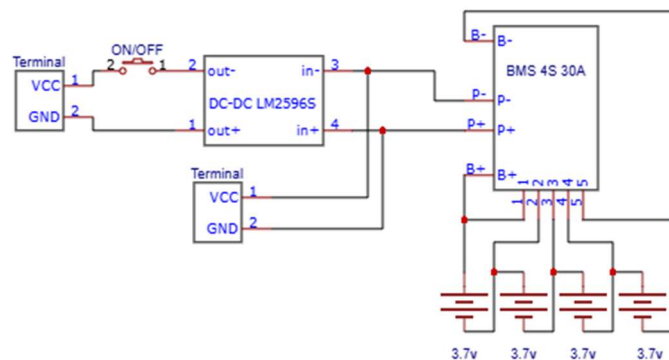
หลักการทำงานคือ ในการวัดกระแสจะใช้ CT ของ PZEM-004T ในการวัด ซึ่งวัดเส้นไฟที่ออกจากหม้อแปลงก่อนเข้าตัวด้านทานปรับค่าได้ ในส่วนของ Relay นั้นจะแบ่งการทำงานดังนี้ Relay 1 จะสับเปลี่ยนตามโหมด RCD Tripping Time (ΔT), RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) กรณี NC จะเป็นโหมด RCD Tripping Time (ΔT) และกรณี NO จะเป็นโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) ในส่วน Relay 2 ทำหน้าที่สับเปลี่ยนตาม Type ที่เลือกกรณี NO จะเป็น Type A กระแสจะไหลผ่านไดโอดเพื่อทำให้รูปคลื่นลดเหลือครึ่งคลื่น กรณี NC จะเป็น Type AC จะไม่ผ่านไดโอด นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ปล่อยกระแสลง Ground



ภาพที่ 3-19 วงจรวัดกระแสและการทำงานของ Relay

3.4.4 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

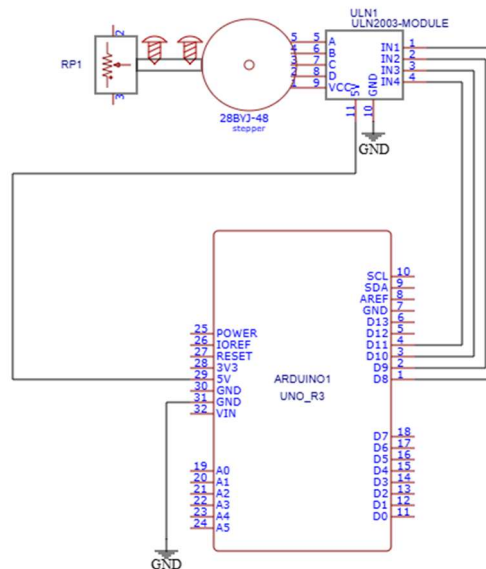
ใช้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 3.7V 3000mA จำนวน 4 ก้อนต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้แรงดัน 14.8V กรณีชาร์จเต็มจะได้ก้อนละ 4.2V ต่ออนุกรมกันจะได้ 16.8V และใช้ BMS เพื่อตัดระบบเมื่อเกิดเหตุผิดปกติ เช่น ความร้อนสูง ลัดวงจร และยังคงควบคุมการชาร์จและคายประจุ เนื่องจาก Arduino ใช้ไฟเลี้ยงไม่เกิน 5V จึงต้องให้ Buck converter เพื่อลดแรงดันให้เหลือ 5-7V ในส่วนการชาร์จ จะใช้อะแดปเตอร์ชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนโดยเฉพาะ เพื่อความปลอดภัยและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่



ภาพที่ 3-20 วงจรชาร์จแบตเตอรี่

3.4.5 วงจรขับโหลดความต้านทานปรับค่าได้

หลักการทำงานคือ ใช้ Stepper motor ในการขับให้โหลดตัวต้านทานปรับค่าได้หมุนโดยใช้เฟลา motor จับกับแกนของตัวต้านทานปรับค่าได้ ให้เพิ่มหรือลดค่ากระแสโดยค่าความต้านทานที่ใช้อยู่ในช่วง $400\text{-}6000\Omega$ 2W จากการคำนวณ

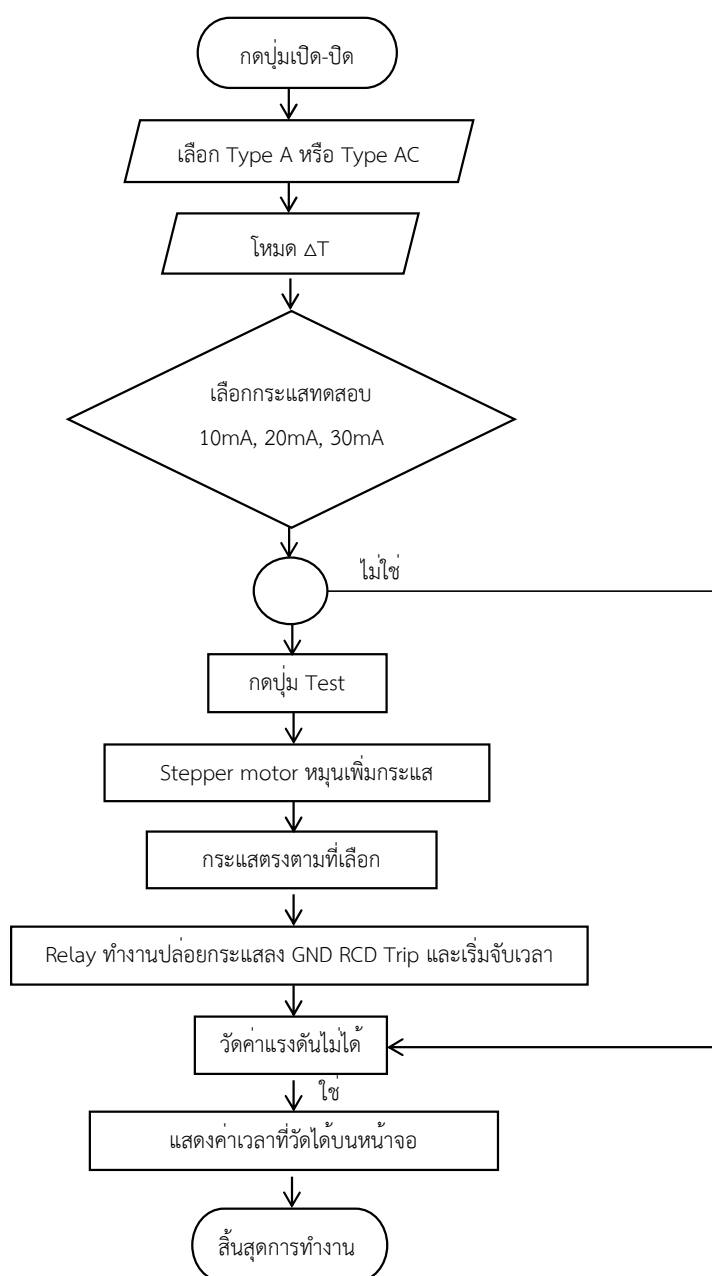


ภาพที่ 3-21 วงจรขับโหลดความต้านทานปรับค่าได้

3.6 การทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.6.1 โหมด RCD Tripping Time (ΔT) คือเวลาที่ RCD ใช้ในการตัดวงจรหลังจากตรวจพบกระแสรั่ว

3.6.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในโหมด RCD Tripping Time (ΔT)



ภาพที่ 3-23 การทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในโหมด RCD Tripping Time (ΔT)

จากภาพที่ 3-23 การทำงานในโหมด RCD Tripping Time (ΔT) จะแสดงการทำงานของเวลาในการ Trip ของ RCD สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เปิดสวิตช์

ขั้นตอนที่ 2 กดเลือกโหมดการทำงาน Type A หรือ Type AC ดูได้จากชนิดของ RCD ที่เลือกทดสอบ

ขั้นตอนที่ 3 กดเลือกการทำงานในโหมด RCD Tripping Time (ΔT) ทดสอบเวลาการทำงานของ RCD

ขั้นตอนที่ 4 กดเลือกกระแสโหมดที่ต้องการทดสอบ 10mA, 20mA, และ 30mA

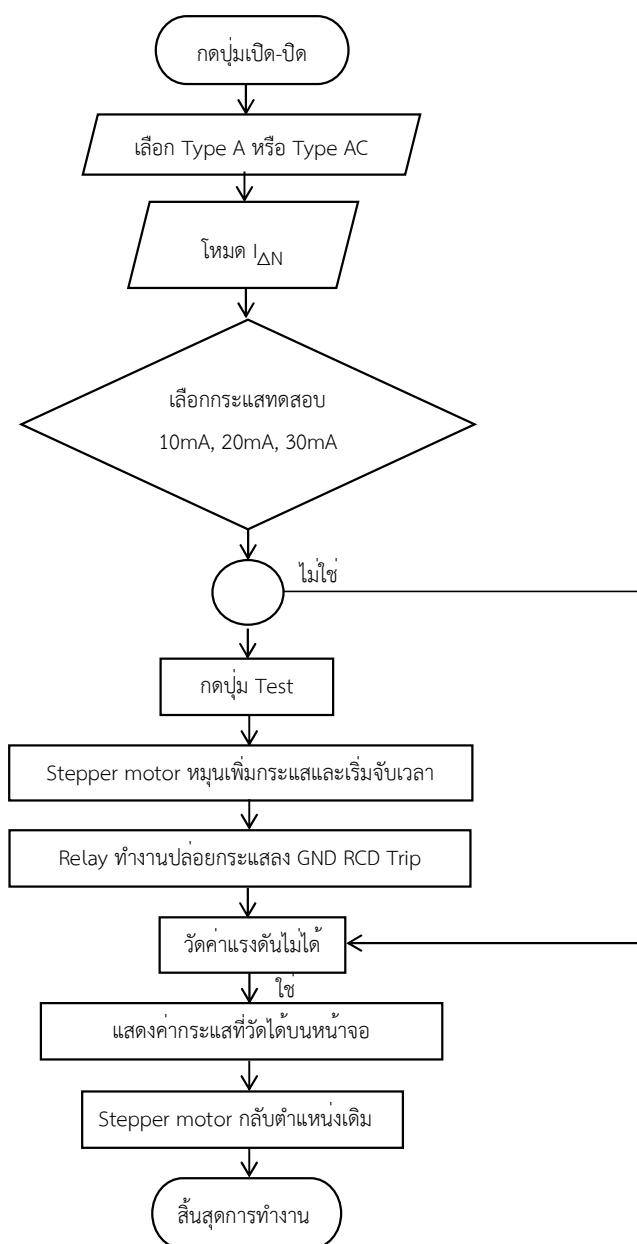
ขั้นตอนที่ 5 กด Test เพื่อทดสอบการทำงาน

ขั้นตอนที่ 6 แสดงผลการทำงานบนหน้าจอ LCD

3.6.3 โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) คือ ค่ากระแสรั่วลงดินสูงสุด ที่อุปกรณ์ตัดกระแสรั่วตรวจจับและตัดวงจรได้ภายในเวลาที่กำหนด

3.6.4 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ในโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$)



ภาพที่ 3-24 การทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในโหมด

RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$)

จากภาพที่ 3-24 การทำงานในโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) จะแสดงการทำงานของ กระแสรั่วไหล ของ RCD สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เปิดสวิตช์

ขั้นตอนที่ 2 กดเลือกโหมดการทำงาน Type A หรือ Type AC ดูได้จากชนิดของ RCD ที่เลือกทดสอบ

ขั้นตอนที่ 3 กดเลือกการทำงานในโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) ทดสอบ กระแสรั่วไหลของ RCD

ขั้นตอนที่ 4 กดเลือกกระแสโหมดที่ต้องการทดสอบ 10mA, 20mA, และ 30mA

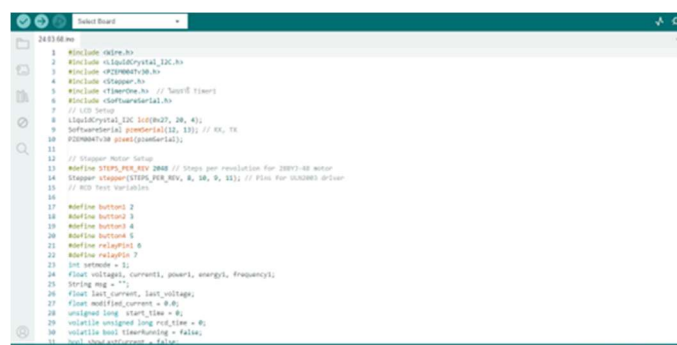
ขั้นตอนที่ 5 กด Test เพื่อทดสอบการทำงาน

ขั้นตอนที่ 6 แสดงผลการทำงานบนหน้าจอ LCD

3.7 โปรแกรมการทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

โปรแกรมที่ใช้เขียนการทำงานของโค้ดคือ Arduino IDE และใช้ LIBRARY ที่สำคัญมีดังนี้

Wire.h	// ไบรารีสำหรับการสื่อสาร I2C
LiquidCrystal_I2C.h	// ไบรารีสำหรับการควบคุม LCD ผ่าน I2C
PZEM004Tv30.h	// ไบรารีสำหรับการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์
Stepper.h	// ไบรารีสำหรับการควบคุมมอเตอร์สเต็ปเปอร์
TimerOne.h	// ไบรารี Timer1 สำหรับการตั้งเวลา
SoftwareSerial.h	// ไบรารีสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรมซอฟต์แวร์



ภาพที่ 3-25 การเขียนโปรแกรมเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

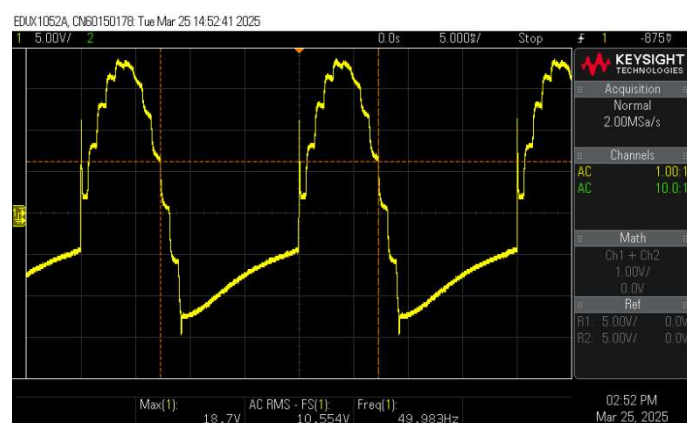
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงาน การออกแบบเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่ว ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์รวมถึงการออกแบบวงจรควบคุมและสร้างเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่ว ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ให้สามารถทำงานได้ตาม ขอบเขตที่กำหนดไว้ บทนี้จะกล่าวถึงการนำเครื่องที่ได้ออกแบบและสร้างไปทดลองใช้งานจริงและบันทึกผล การทดสอบ ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึง ผลการทำงาน ของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และข้อบกพร่อง เพื่อจะนำข้อบกพร่องมาแก้ไขและพัฒนาปรับปรุงต่อไป

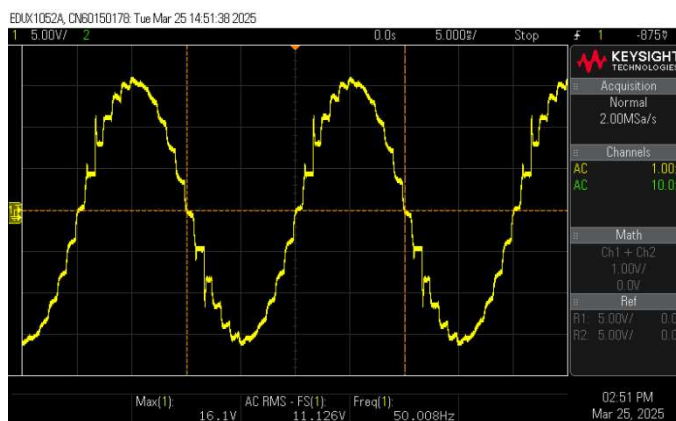
4.1 รูปคลื่นที่ใช้ทดสอบเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

4.1.1 รูปคลื่น Type A ของเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester เป็นรูปคลื่นวงจรเรียงกระแสแบบ (Rectifier) ถูกออกแบบมาให้สามารถตอบสนองต่อกระแส AC และ Pulsating DC (สามารถใช้กับโหลด Type AC ได้) ตัวอย่างการใช้งาน เช่น อินเวอร์เตอร์, โหลดอิเล็กทรอนิกส์ที่มีไดโอด, เต้าไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ, เครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิด, อุปกรณ์หรี่ไฟ (Dimmer) ระบบจ่ายไฟสำหรับ LED (Drivers), เครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับ EV กรณีที่กระแสไฟรั่วเป็น DC ที่ไม่เกิน 6 mA (Pulsing DC) เป็นต้น



ภาพที่ 4-1 รูปคลื่น Type A ที่ใช้ทดสอบ

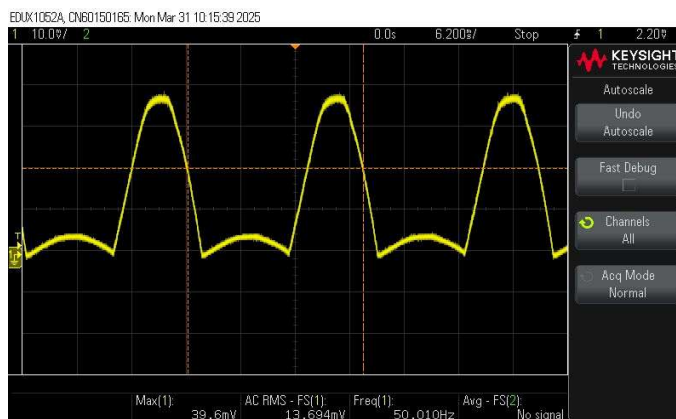
4.1.2 รูปคลื่น Type AC ของเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ใช้ทดสอบ RCD Type AC เครื่องตัดไฟรั่วที่จะจับไฟรั่วที่มีวงจรเป็นแบบกระแสสลับเท่านั้น ซึ่งเครื่องตัดไฟประเภทนี้ สามารถนำไปใช้ได้กับตัวทำความร้อน เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องทำน้ำร้อน เต้าไฟฟ้าหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง ทั้งไส้ทั้งสแตน และแบบฮาโลเจน เป็นต้น



ภาพที่ 4-2 รูปคลื่น Type AC ที่ใช้ทดสอบ

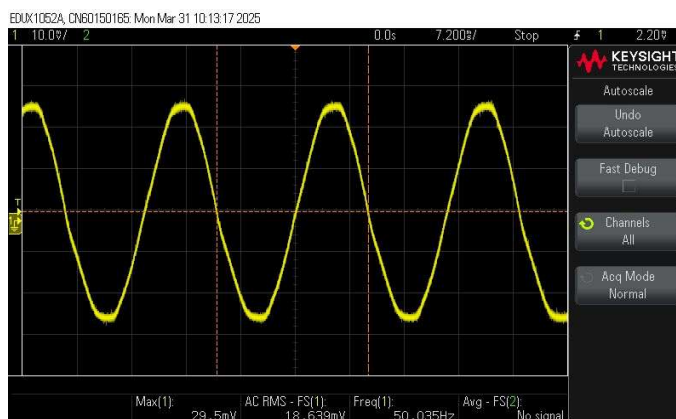
4.2 รูปคลื่นที่ใช้ทดสอบเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

4.2.1 รูปคลื่น Type A ที่เครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ทดสอบ Type A คือเครื่องตัดไฟรั่วชนิดที่มีรูปคลื่นกระแสจากผลของวงจรแบบเรียงกระแส(Rectifier) แบบเฟสเดียวและสามเฟส โดยเราสามารถนำไปใช้งานได้กับอุปกรณ์ที่หลากหลาย และสามารถใช้ร่วมกับ RCD Type AC ที่เป็นกระแสสลับ ใช้กับ DC Pulsating หรือใช้กับ Halfwave Rectified 50Hz พิกัดกระแสที่ใช้ทดสอบ 10mA, 20mA, 30mA



ภาพที่ 4-3 รูปคลื่น Type A ของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

4.2.2 รูปคลื่น Type AC ที่เครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้ทดสอบ Type A คือเครื่องตัดไฟรั่วที่ตรวจจับวงจรที่เป็นแบบกระแสสลับเท่านั้น ลักษณะรูปคลื่นเป็น Sine wave 50Hz พิกัดกระแสที่ใช้ทดสอบ 10mA, 20mA, 30mA



ภาพที่ 4-4 รูปคลื่น Type AC ของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

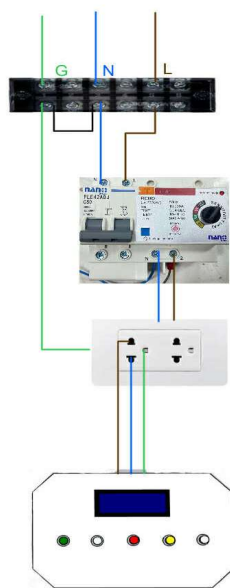
4.3 วิธีการทดลองเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

4.3.1 วิธีการต่อใช้งาน RCD กับเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการนำสาย Line จากเบรกเกอร์ลูกย่อยและนำสาย Neutral จาก Bar Neutral ต่อกับเต้ารับและนำสาย Ground จาก Bar Ground ต่อกับเต้ารับ จากนั้นนำเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เสียบกับเต้ารับเพื่อทำการทดสอบ

4.3.2 เปิดเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำการเลือก Type A หรือ Type AC ที่จะทำการทดสอบ

4.3.3 เลือกโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) หรือ RCD Tripping Time (ΔT) โดยการต่อใช้งานทั้ง 2 โหมดนี้มีการต่อใช้งานที่เหมือนกัน แต่ลักษณะการใช้งานแตกต่างกัน ในโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) เป็นการทดสอบกระแสรั่วที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จน RCD ตัดวงจร เพื่อระบุค่ากระแสที่ทำให้ RCD ทำงาน และโหมด RCD Tripping Time (ΔT) ทดสอบระยะเวลาในการตัดวงจรของ RCD เมื่อกระแสถึงพิกัดที่กำหนด

4.3.4 เลือกพิกัดกระแสดทดสอบที่ต้องการ โดยมีกระแสทดสอบที่ 10mA, 20mA, 30mA และกดปุ่ม Test



ภาพที่ 4-5 การต่อใช้งาน RCD กับเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

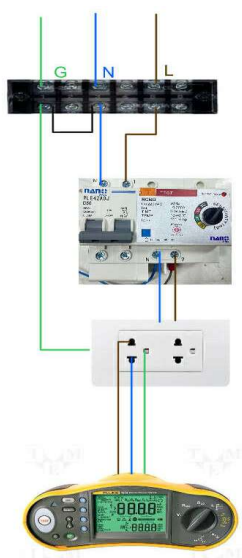
4.4 วิธีการทดลอง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

4.4.1 วิธีการต่อใช้งาน RCD กับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester โดยการนำสาย Line จากเบรกเกอร์ลูกย่อยและนำสาย Neutral จาก Bar Neutral ต่อกับเต้ารับและนำสาย Ground จาก Bar Ground ต่อกับเต้ารับ จากนั้นนำเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester เสียบกับเต้ารับเพื่อทำการทดสอบ

4.4.2 เปิดเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester และทำการเลือกโหมดรูปคลื่น Type A หรือ Type AC ที่จะทำการทดสอบ

4.4.3 เลือกโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) หรือ RCD Tripping Time (ΔT) โดยการต่อใช้งานทั้ง 2 โหมดนี้มีการต่อใช้งานที่เหมือนกัน แต่ลักษณะการใช้งานแตกต่างกัน ในโหมด RCD Tripping current เป็นการทดสอบกระแสรั่วที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จน RCD ตัดวงจร เพื่อระบุค่ากระแสที่ทำให้ RCD ทำงาน และโหมด RCD Tripping Time (ΔT) ทดสอบระยะเวลาในการตัดวงจรของ RCD เมื่อกระแสถึงพิกัดที่กำหนด

4.4.4 เลือกพิกัดกระแสทดสอบที่ต้องการ โดยมีกระแสทดสอบที่ 10-1000mA และกดปุ่ม Test



ภาพที่ 4-6 การต่อใช้งาน RCD กับเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

4.5 วิธีการทดลองเครื่อง Habotest HT5910

4.5.1 วิธีการต่อใช้งาน RCD กับเครื่อง Habotest HT5910 โดยการนำสาย Line จากเบรกเกอร์ ลูดย่อยและนำสาย Neutral จาก Bar Neutral ต่อกับเต้ารับและนำสาย Ground จาก Bar Ground ต่อกับเต้ารับ จากนั้นนำเครื่อง Habotest HT5910 เสียบกับเต้ารับ

4.5.2 เลือกโหมดทดสอบ RCD และเลือกพิกัดกระแสทดสอบ 10mA, 30mA, 100mA, 300mA, 500mA ตามต้องการ

4.5.3 กดปุ่มทดสอบเพื่อเริ่มการทดสอบ จากนั้นเครื่องจะแสดงค่ากระแสที่ทำให้ RCD ตัดวงจร RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) และเวลาที่ใช้ในการตัดวงจร RCD Tripping Time (ΔT)



ภาพที่ 4-7 การต่อใช้งาน RCD กับเครื่อง Habotest HT5910

4.6 การคำนวณค่าความผิดพลาดจากการวัด

การวัด (Measurement) คือ กระบวนการที่ทำการเปรียบเทียบปริมาณที่ไม่ทราบค่าของตัวแปรกับมาตรฐานที่กำหนดไว้ ถ้าค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากเพียงใดแสดงว่าการวัดนั้นมีความแม่นยำหรือความถูกต้องสูง การวัดทุกครั้งจะมีค่าความผิดพลาดเสมอในทางปฏิบัติจะไม่มีเครื่องมือวัดที่สามารถวัดค่าแล้วมีความถูกต้องเท่ากับค่าจริง ดังนั้นการใช้เครื่องมือวัดจะต้องเข้าใจหลักการและเทคนิคพื้นฐานของการวัดอย่างถูกต้องเสมอ ความผิดพลาดจากการวัดนั้นมี 3 ชนิดคือ

1. ความผิดพลาดโดยผู้วัด (Human Error or Gross Errors)
2. ความผิดพลาดของระบบ (Systematic Errors)
3. ความผิดพลาดแบบแรนดอม (Random Error)

การคำนวณค่าความผิดพลาดจากการวัด โดยคำนวณได้จากสมการที่ 4.1

$$\%error = \left| \frac{X_{mea} - X_t}{X_t} \right| \times 100\% \quad (4.1)$$

โดย X_t = คือค่าจริง (True value)

X_{mea} = คือค่าที่ได้จากการวัด (Measure value)

4.7 ผลการทดลอง

4.7.1 การทดสอบการทำงานของ RCBO Type AC ในโหมด RCD Tripping current ($I_{\Delta N}$)

ตารางที่ 4-1 การทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) ที่พิกัดกระแส 10 mA

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (mA)	Fluke 1653B (mA)	Habotest HT5910 (mA)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	9.3	9	8.5	3.33
2	9.4	9	8.5	4.44
3	9.1	9	8.5	1.11
4	9.4	9	8.5	4.44
5	8.8	9	8.5	2.22

จากตารางที่ 4-1 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่พิกัดกระแส 10 mA ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 4.44% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 3.10% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-2 การทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) ที่พิกัดกระแส 20 mA

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (mA)	Fluke 1653B (mA)	Habotest HT5910 (mA)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	18.6	18	16.5	3.33
2	18.6	18	16.5	3.33
3	18.5	18	16.5	2.77
4	18.5	18	16.5	2.77
5	18.4	18	16.5	2.22

จากตารางที่ 4-2 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่

พิกัดกระแส 20 mA ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 3.33% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.88% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-3 การทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) ที่พิกัดกระแส 30 mA

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (mA)	Fluke 1653B (mA)	Habotest HT5910 (mA)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	29.2	29	25.5	0.68
2	29.5	29	25.5	1.72
3	29.4	29	25.5	1.37
4	29	29	25.5	0
5	29.8	29	25.5	2.75

จากตารางที่ 4-3 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่พิกัดกระแส 30 mA ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 2.75% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.3% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

4.7.2 การทดสอบการทำงานของ RCBO Type AC ในโหมด RCD Tripping Time (ΔT)

ตารางที่ 4-4 การทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping Time (ΔT) ที่พิกัดกระแส 10 mA

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (ms)	Fluke 1653B (ms)	Habotest HT5910 (ms)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	8.3	8.5	9.1	2.35
2	8.2	8.3	8.1	3.52
3	8.3	8.3	7.2	2.35
4	8.3	8.3	8.1	2.35
5	8.3	8.3	8.1	2.35

จากตารางที่ 4-4 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่พิกัด

กระแส 10 mA ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 3.52% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.58% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-5 การทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping Time (ΔT) ที่พิกัดกระแส 20 mA

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (ms)	Fluke 1653B (ms)	Habotest HT5910 (ms)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	8.8	8.9	7.5	1.12
2	8.8	8.7	9.1	1.14
3	8.8	8.9	9.1	1.12
4	8.8	8.5	9.1	3.52
5	8.8	8.9	9.1	1.12

จากตารางที่ 4-5 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่พิกัดกระแส 20 mA ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 3.52% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.60% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-6 การทดสอบการทำงานในโหมด RCD Tripping Time (ΔT) ที่พิกัดกระแส 30 mA

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (ms)	Fluke 1653B (ms)	Habotest HT5910 (ms)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	9.3	9.5	8.1	2.10
2	9.3	9.5	8.1	2.10
3	9.3	9.5	8.1	2.10
4	9.3	9.5	8.1	2.10
5	9.3	9.5	8.1	2.10

จากตารางที่ 4-6 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่พิกัดกระแส 30 mA ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 2.10% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.10%

โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

4.8 ผลการทดลอง RCD แต่ละประเภท

4.8.1 RCD ประเภท RCCB 1 Phase

ตารางที่ 4-7 การทดสอบ RCCB 1 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$)

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (mA)	Fluke 1653B (mA)	Habotest HT5910 (mA)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	25.4	25	24	1.60
2	25.9	25	24	3.60
3	24.8	25	24	0.80
4	25.3	25	24	1.20
5	24.9	25	24	0.40

จากตารางที่ 4-7 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping current เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 3.6% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.52% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-8 การทดสอบ RCCB 1 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT)

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (ms)	Fluke 1653B (ms)	Habotest HT5910 (ms)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	6.4	6.4	7.5	0
2	6.3	6.4	7.5	1.50
3	6.3	6.4	7.5	1.50
4	6.3	6.4	7.5	1.50
5	6.3	6.4	7.5	1.50

จากตารางที่ 4-8 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping current เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 3.60% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.52% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

4.8.2 RCD ประเภท RCCB 3 Phase

ตารางที่ 4-9 การทดสอบ RCCB 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) Phase A

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (mA)	Fluke 1653B (mA)	Habotest HT5910 (mA)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	30.1	29	24	3.79
2	29.8	29	25.5	2.75
3	28.4	29	24	2.07
4	28.4	29	24	2.07
5	28.4	29	25	2.07

จากตารางที่ 4-9 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping current เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่ Phase A ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 3.79%

และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.55% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-10 การทดสอบ RCCB 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) Phase B

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (mA)	Fluke 1653B (mA)	Habotest HT5910 (mA)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	28.9	29	24	0.34
2	29.8	29	24	2.76
3	29.8	29	24	2.76
4	29.6	29	24	2.07
5	29.6	29	24	2.07

จากตารางที่ 4-10 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping current เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่ Phase B ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 2.76% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-11 การทดสอบ RCCB 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) Phase C

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (mA)	Fluke 1653B (mA)	Habotest HT5910 (mA)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	29.4	29	24	1.38
2	29.5	29	24	1.72
3	29.5	29	24	1.72
4	29.5	29	24	1.72
5	29.4	29	24	1.38

จากตารางที่ 4-11 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping current เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่ Phase C ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 1.72% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.58% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-12 การทดสอบ RCCB 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT) Phase A

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (ms)	Fluke 1653B (ms)	Habotest HT5910 (ms)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	11.7	12.1	12.5	3.31
2	11.7	12.1	12.5	3.31
3	11.7	12.1	12.5	3.31
4	11.7	12.1	12.5	3.31
5	11.7	12.1	12.5	3.31

จากตารางที่ 4-12 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping Time เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่ Phase A ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 3.31% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 3.31% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-13 การทดสอบ RCCB 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT) Phase B

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (ms)	Fluke 1653B (ms)	Habotest HT5910 (ms)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	11.7	11.9	12.5	1.68
2	11.7	11.9	12.5	1.68
3	11.7	11.9	12.5	1.68
4	11.7	11.9	12.5	1.68
5	11.7	11.9	12.5	1.68

จากตารางที่ 4-13 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping Time เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่ Phase B ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 1.68% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.68% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-14 การทดสอบ RCCB 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT) Phase C

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (ms)	Fluke 1653B (ms)	Habotest HT5910 (ms)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	11.6	12	12.5	3.33
2	11.6	12	12.5	3.33
3	11.6	12	12.5	3.33
4	11.6	12	12.5	3.33
5	11.6	12	12.5	3.33

จากตารางที่ 4-14 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping Time เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่ Phase C ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 3.33%

และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 3.33% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

4.8.3 RCD ประเภท RCBO 1 Phase

ตารางที่ 4-15 การทดสอบ RCBO 1 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$)

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (mA)	Fluke 1653B (mA)	Habotest HT5910 (mA)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	29.4	29	24	1.38
2	29.3	29	24	1.03
3	29	29	24	0
4	29.6	29	24	2.07
5	29.4	29	24	1.38

จากตารางที่ 4-15 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping Current เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 2.07% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.17% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-16 การทดสอบ RCBO 1 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT)

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (ms)	Fluke 1653B (ms)	Habotest HT5910 (ms)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	18.3	18.2	18.1	0.55
2	18.3	18.2	18.1	0.55
3	18.3	18.2	18.1	0.55
4	18.3	18.2	18.1	0.55
5	18.3	18.2	18.1	0.55

จากตารางที่ 4-16 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping Time เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.55% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.55% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

4.8.4 RCD ประเภท RCBO 3 Phase

ตารางที่ 4-17 การทดสอบ RCBO 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) Phase A

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (mA)	Fluke 1653B (mA)	Habotest HT5910 (mA)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	29.3	29	24	1.03
2	29.3	29	24	1.03
3	29.6	29	24	2.07
4	29	29	24	0
5	29.4	29	24	1.38

จากตารางที่ 4-17 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping Current เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่ Phase A ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 2.07% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.10% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-18 การทดสอบ RCBO 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping

Current ($I_{\Delta N}$) Phase B

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (mA)	Fluke 1653B (mA)	Habotest HT5910 (mA)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	29.8	29	24	2.78
2	29	29	24	0
3	29.4	29	24	1.38
4	29.2	29	24	0.69
5	29	29	24	0

จากตารางที่ 4-18 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping Current เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่ Phase B ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 2.78% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.97% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-19 การทดสอบ RCBO 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping

Current ($I_{\Delta N}$) Phase C

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (mA)	Fluke 1653B (mA)	Habotest HT5910 (mA)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	29.6	29	24	2.07
2	29.6	29	24	2.07
3	29.6	29	24	2.07
4	29.5	29	24	1.72
5	29.5	29	24	1.72

จากตารางที่ 4-18 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping Current เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่ Phase C ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ

2.07% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.93% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-20 การทดสอบ RCBO 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT) Phase A

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (ms)	Fluke 1653B (ms)	Habotest HT5910 (ms)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	18.2	18.2	18.1	0
2	18.3	18.2	18.1	0.55
3	18.3	18.2	18.1	0.55
4	18.3	18.2	18.1	0.55
5	18.2	18.2	18.1	0.0

จากตารางที่ 4-20 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping Time เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่ Phase A ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 0.55% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.33% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-21 การทดสอบ RCBO 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT) Phase B

ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (ms)	Fluke 1653B (ms)	Habotest HT5910 (ms)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	18.3	18.2	17.2	0.55
2	18.2	18.4	16.3	1.09
3	18.2	18.4	17.8	1.09
4	18.2	18.2	18.1	0
5	18.2	18.2	17.2	0

จากตารางที่ 4-19 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping Time เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่ Phase B ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 1.09% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.55% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

ตารางที่ 4-22 การทดสอบ RCBO 3 Phase Type A ที่พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT) Phase C

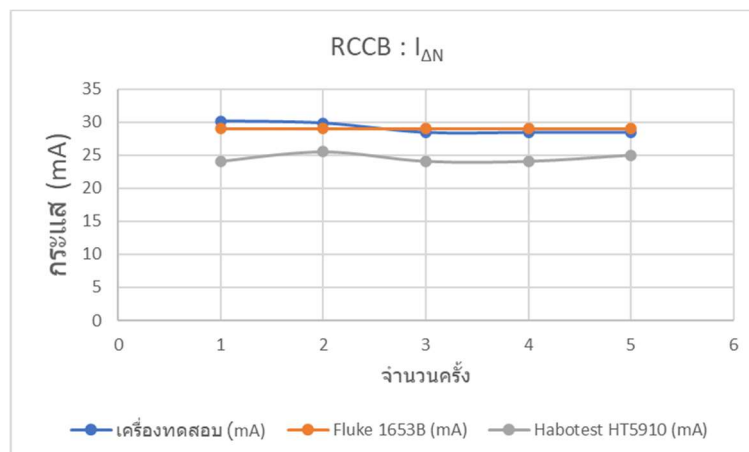
ครั้งที่	เครื่องทดสอบฯ (ms)	Fluke 1653B (ms)	Habotest HT5910 (ms)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	18.3	18.4	18.1	0.54
2	18.3	18.2	18.1	0.55
3	18.2	18.4	17.8	1.09
4	18.2	18.4	18.1	1.09
5	18.3	18.2	18.1	0.55

จากตารางที่ 4-20 สามารถสรุปการทดลองหาค่าความผิดพลาดของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์พิกัดกระแส 30 mA Type A โหมด RCD Tripping Time เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ที่ Phase C ได้ค่าผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 1.09% และค่าผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.76% โดยค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าไม่เกิน 5% เมื่อเทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester

4.9 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลองของ RCCB และ RCBO

4.9.1 ผลการทดลอง RCCB Phase A ที่พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping

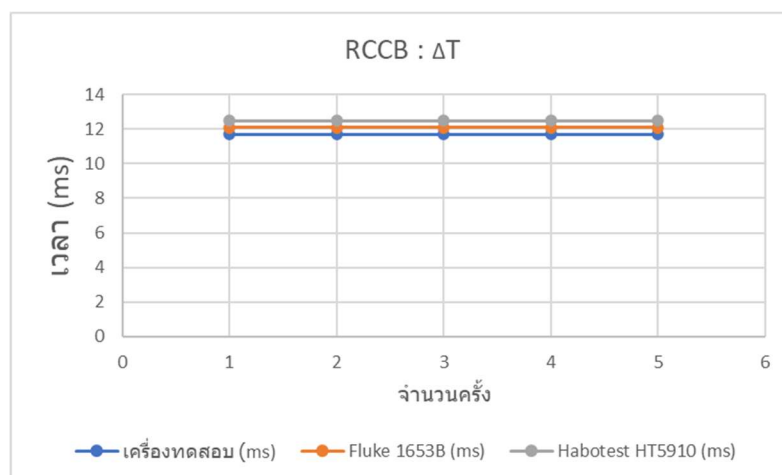
Current ($I_{\Delta N}$)



ภาพที่ 4-8 กราฟแสดงจำนวนครั้งกับพิกัดกระแสทดสอบของ RCCB

กราฟแสดงผลการทดลองของ RCCB 3 phase โดยเลือก phase A โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$) พิกัดกระแส 30mA ในการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทดสอบเครื่องตัดฟิวส์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester โดยเครื่องทดสอบเครื่องตัดฟิวส์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่ากระแสสูงกว่า Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ในช่วงแรกเล็กน้อย แต่ยังอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันในช่วง 28-30mA

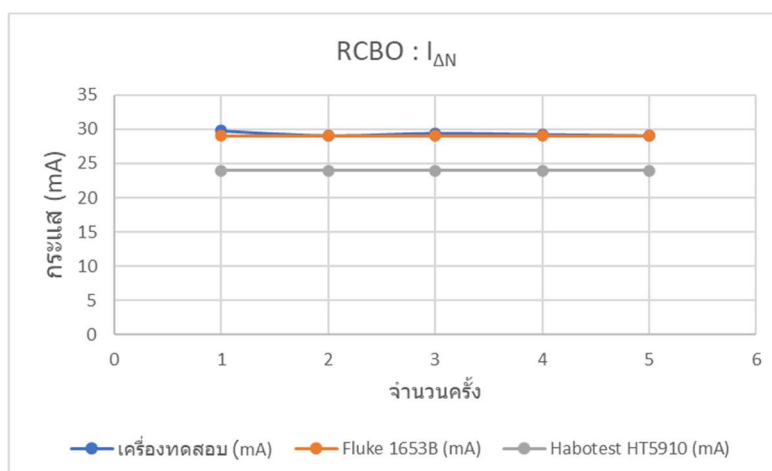
4.9.2 ผลการทดลอง RCCB Phase A พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT)



ภาพที่ 4-9 กราฟแสดงจำนวนครั้งกับเวลาการตัดวงจรของ RCCB

กราฟแสดงผลการทดลองของ RCCB 3 phase โดยเลือก phase A โหมด RCD Tripping Time (ΔT) พิกัดกระแส 30mA ในการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester โดยเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงค่าเวลาในการตัดวงจรเฉลี่ยอยู่ที่ 11.7ms และ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester แสดงค่าเวลาในการตัดวงจรเฉลี่ยอยู่ที่ 12.1ms ซึ่งต่างกันเล็กน้อยประมาณ 0.4ms

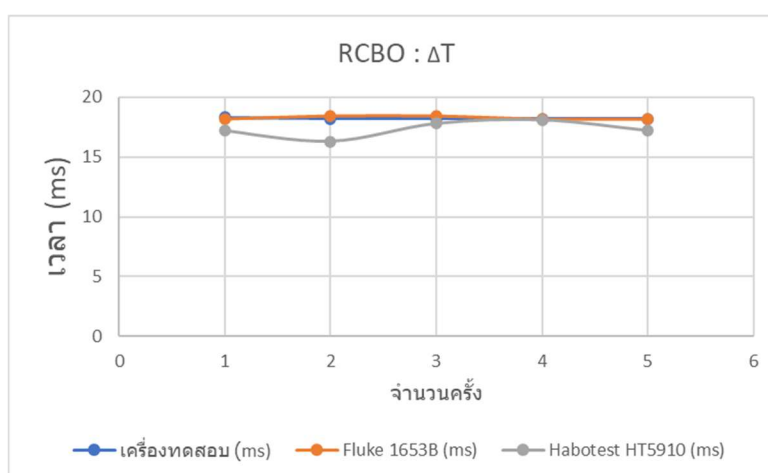
4.9.3 ผลการทดลอง RCBO Phase B พิกัดกระแส 30 mA โหมด RCD Tripping Current ($I_{\Delta N}$)



ภาพที่ 4-10 กราฟแสดงจำนวนครั้งกับพิกัดกระแสทดสอบของ RCBO

กราฟแสดงผลการทดลองของ RCCB 3 phase โดยเลือก phase A $I_{\Delta N}$ พิกัดกระแส 30mA ในการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทดสอบเครื่องตัดพรั้วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester โดยเครื่องทดสอบเครื่องตัดพรั้วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่ากระแสสูงกว่า Fluke 1653B Multifunction Installation Tester ในช่วงแรกเล็กน้อย แต่ยังอยู่ในช่วงใกล้เคียงกันในช่วง 29 - 30mA

4.9.4 ผลการทดลอง RCBO Phase B พิกัดกระแส 30mA โหมด RCD Tripping Time (ΔT)



ภาพที่ 4-11 กราฟแสดงจำนวนครั้งกับเวลาการตัดวงจรของ RCBO

กราฟแสดงผลการทดลองของ RCBO 3 phase โดยเลือก phase B โหมด ΔT พิกัดกระแส 30mA ในการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทดสอบเครื่องตัดพรั้วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์กับเครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester โดยแสดงค่าเวลาในการตัดวงจรเฉลี่ยอยู่ที่ 18.2 – 18.4ms ซึ่งต่างกันเล็กน้อยประมาณ 0.2ms

4.10 การต่อใช้งานจริงเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



ภาพที่ 4-12 การต่อใช้งานจริงเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

4.11 สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เทียบกับ Fluke 1653B Multifunction Installation Tester สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ 2 โหมด ได้แก่ โหมด RCD Tripping current ($I_{\Delta N}$) ในการทดลอง ที่พิกัดกระแส 10mA มีค่ากระแสทดสอบเฉลี่ยทั้ง 5 ครั้งเท่ากับ 9.20mA และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 3.10% ที่พิกัดกระแส 20mA มีค่ากระแสทดสอบเฉลี่ยทั้ง 5 ครั้งเท่ากับ 18.52mA และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 3.19% ที่พิกัดกระแส 30mA มีค่ากระแสทดสอบเฉลี่ยทั้ง 5 ครั้งเท่ากับ 23.46mA และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.24% ในโหมด RCD Tripping Time (ΔT) ในการทดลองที่พิกัดกระแส 10mA ค่าเวลาทดสอบเฉลี่ยทั้ง 5 ครั้งเท่ากับ 8.28ms และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.58% ที่พิกัดกระแส 20mA ค่าเวลาทดสอบเฉลี่ยทั้ง 5 ครั้งเท่ากับ 8.8ms และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.60% ที่พิกัดกระแส 30mA ค่าเวลาทดสอบเฉลี่ยทั้ง 5 ครั้งเท่ากับ 9.3ms และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.10%

จากผลการทดลอง RCD แต่ละประเภท ปรากฏว่า RCCB 1 Phase และ RCCB 3 Phase ในโหมด Tripping Current ($I_{\Delta N}$) มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าความผิดพลาด 1 Phase รวมอยู่ที่ 1.52% และ 3 Phase อยู่ที่ 2.03% ในโหมด Tripping Time (ΔT) มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าความผิดพลาด 1 Phase รวมอยู่ที่ 1.20% และ 3 Phase อยู่ที่ 2.77%

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการจัดทำเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการตรวจสอบการทำงานของเครื่องตัดไฟรั่ว ออกแบบและสร้างอุปกรณ์เครื่องตัดไฟรั่ว ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปผลของโครงการ ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการ รวมทั้งข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาต่อสำหรับผู้สนใจ

5.1 สรุปผลที่ได้จากการทำโครงการ

จากการศึกษาและทำการทดลองโครงการเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้ได้เรียนรู้เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมประยุกต์รวมถึงการเขียนโปรแกรม Arduino IDE ในการใช้ควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์และอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ต่างๆ ได้เรียนรู้การออกแบบโครงสร้างด้วยโปรแกรม SketchUp เรียนรู้หลักการทำงานของ Battery Management System(BMS) การสร้างเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้หม้อแปลงลดแรงดันจาก 230V เหลือ 24V ใช้ ตัวต้านทานแบบปรับได้ เพื่อเพิ่มลดกระแสตามต้องการ และใช้ PZEM-004t ใช้วัดกระแสและแรงดัน จากผลการทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ต้องเลือกโหมดการทำงานให้ตรงกับ Type ของ RCD สามารถเลือกการทำงานในโหมดการ Tripping Current โดยแสดงกระแสการตัดการทำงานของ RCD และในโหมด Tripping Time โดยแสดงเวลาการตัดการทำงานของ RCD ทั้ง 2 โหมดจะตัดการทำงานเมื่อกระแสไหลลงกราวด์เท่านั้น และยังสามารถทดสอบการทำงานได้ตั้งแต่ฟลักซ์กระแส 10mA, 20mA, และ 30mA ได้ ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงผลผ่านจอ LCD

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการ

5.2.1 ระยะเวลาทดสอบนาน อาจทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง โดยเฉพาะถ้าต้องการทดสอบหลายครั้งต่อวัน

5.2.2 ก่อนการทดสอบอาจมีกระแสไหลอยู่ 2mA เนื่องจากใช้ไฟ 24V และใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ 10k ohm ตามกฎของโอห์มเมื่อคิดคำนวณแล้วกระแสที่ไหลก่อนการทดสอบคือ 0.0024A หรือ 2mA

5.2.3 ตัวเครื่องอาจมีน้ำหนักมากและดูมีขนาดใหญ่

5.2.4 เมื่อชาร์จแบตเตอรี่เต็ม สามารถใช้งานเครื่องทดสอบได้ไม่เกิน 5 ชั่วโมง

5.3 ข้อควรระวังและข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรศึกษาและทำความเข้าใจวิธีการใช้งานอย่างละเอียดก่อนการใช้งาน

5.3.2 ตรวจสอบประเภท Type RCD ก่อนการใช้เครื่องทดสอบ

5.3.3 ในการทดสอบแต่ละครั้งอาจใช้เวลาในการทดสอบนานกว่า เครื่อง Fluke 1653B Multifunction Installation Tester และเครื่อง Habotest HT5910 เนื่องจากใช้ Stepper motor หมุนเพิ่มกระแสครั้งละ 1mA

5.4 แนวทางในการพัฒนาโครงการ

5.4.1 ลดขนาดและน้ำหนักของเครื่องให้พกพาสะดวกขึ้น

5.4.2 พัฒนาระบบซอฟต์แวร์ให้บันทึกข้อมูลอัตโนมัติได้

5.4.3 เพิ่มแบตเตอรี่ เพื่อให้ใช้งานต่อเนื่องได้นานขึ้น

5.4.4 เปลี่ยนวิธีการทำงานของเครื่องโดยไม่ใช้หลักการปรับโหลดความต้านทานปรับค่าได้ด้วย Stepper motor ในการทำให้กระแสไหลลง Ground โดยอาจจะใช้ Arduino ควบคุมวงจร Buck converter หรือควบคุมจําพวก Mosfet ให้กระแสไหลลง Ground

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภดล วิวัชรโกเศศ. 2531. ข้อกำหนดการใช้และคุณลักษณะเครื่องตัดไฟรั่ว RCD. <https://kjl.co.th/blog/rcd-residual-current-device/>.
- [2] วณิชญา นูมาศ, 2564. เครื่องตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วไหลในเครื่องตัดจี้ไฟฟ้า. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ <https://shorturl.asia/Qdr0x>.
- [3] ญาณพล กลับเจริญ, 2560. พัฒนาระบบตรวจสอบปริมาณไฟฟ้าสำหรับอพาร์ทเมนต์ขนาดเล็ก. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยกรุงเทพ. <https://shorturl.asia/Q5KCt>
- [4] ภาคภูมิ ภู่ออด, ภาณุวัฒน์ ศรีเมือง, และจรัส สถาพรนวงศ์. 2555. การทดสอบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบกระแสไฟฟ้ารั่วสำหรับสถานการณ์น้ำท่วม. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม. <http://dspace.spu.ac.th/handle>.
- [5] บริษัท ชูโฟติก จำกัด. 2563. เครื่องตัดไฟรั่ว (RCD) คืออะไร และประโยชน์ของเครื่องตัดไฟรั่ว. <https://chuphotic.com/knowledge/rccb-and-rcbo-differences/>.
- [6] บริษัท แม็กซีไมซ์ อินทิเกรทเต็ด เทคโนโลยี จำกัด. 2566. การป้องกันจากกระแสไฟฟ้ารั่วด้วย RCCB. <https://www.electricityandindustry.com/rccb-mit-thailand/>.
- [7] บริษัท อาร์เอส คอมโพเน็นส์ จำกัด. 2567. คู่มือแนะนำ RCBO (อุปกรณ์ป้องกันไฟดูด). <https://th.rs-online.com/web/content/discovery/ideas-and-advice/guide-to-rcbo>.
- [8] บริษัท เออีซีเอ็นจีเนียร์ริง จำกัด. 2565. หน้าหลักและหลักการทำงานของELCB <https://www.changfi.com/fix/2022/06/30/elcb>.
- [9] Dongguan Hobotest Instrument Technology. 2567. HABOTEST Socket Tester Pro วงจรเครื่องตรวจจับความผิดพลาดไฟฟ้า Outlet Tester 30mA RCD Test Ground Live Wire ตรวจสอบ EU UK Plug HT106. <https://th.aliexpress.com/i/1005001941701963.html>.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [10] S.C.IC Supply Limited Partnership. 2567. *HABOTEST HT5910 เครื่องทดสอบ RCD/Loop*. <https://www.it-elec.com/product/842/habotest-ht5910-rcd-loop>.
- [11] Fluke Corporation. 2010. *Fluke 1653B Multifunction Installation Tester*. <https://www.fluke.com/th-th/product/electrical-testing/installation-testers/fluke-1653b>.

ภาคผนวก ก
งบประมาณ

งบประมาณของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ชุดสาธิตระบบขับเคลื่อนเรือทางสั้นไฟฟ้าชุดนี้มิงบประมาณในการสร้าง ประมาณ

4,832 บาท รายการงบประมาณข้างต้นเป็นงบประมาณต่อ 1 ชุด

ตารางที่ ก-1 งบประมาณการสร้างเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ลำดับ	รายการวัสดุ/อุปกรณ์	จำนวน(ชิ้น)	ราคา(บาท)
1	จอ LCD 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด	1	189
2	Push button switch	6	420
3	Arduino Uno R3	1	200
4	Potentiometers Variable Resistors 10K Ω 2w	1	50
5	Step Motor	1	70
6	AC Power Socket 250V 10A 3 Pin		40
7	PZEM-004t		370
8	power module DC-DC Buck Converter Step Down Terminal โมดูล lm 2596 dc/dc 4 . 0~40 v		75
9	AC Transformer 24V		480
10	ขั้วต่อสกรู PCB ซ็อกเก็ต	7	35
11	Relay Module 5V 1 Channel 10A	2	70
12	ไดโอด 1N4007	1	5
13	วงจรเช็คขั้วสาย Battery Lithium BMS 16.8V 30A	1	320
14	ULN2003 Driver Board Stepper Motor	1	25
15	รางถ่านแบตเตอรี่ 4 ส่วน	1	25
16	Battery Lithium BMS 16.8V 30A	1	115
17	DC Jack 5.5x2.1mm. Power Adapters	2	14
18	สายไฟ	1	300
19	แผ่นอะคริลิก	3	560
20	Battery Lithium 3.7V	4	110
21	น้ำยาเชื่อมอะคริลิก	1	60
22	Adapter 16.8V 2A Lithium Battery Charger	1	125
23	บานพับอะคริลิก	2	24

งบประมาณของเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (ต่อ)

ลำดับ	รายการวัสดุ/อุปกรณ์	จำนวน(ชิ้น)	ราคา(บาท)
24	มือจับสแตนเลส	2	180
25	เพลสดีปมอเตอร์	1	50
26	หางปลาและสลิปต่อสาย	1	100
27	สายไฟ AC Power	1	120
28	สายทดสอบ	1	700
รวมเป็นเงิน			4,832

ภาคผนวก ข
คู่มือแนะนำการใช้งาน

คู่มือการใช้งานเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ตารางที่ ข-1 คำอธิบายการใช้เครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ลำดับที่	แสดงรูปภาพ	คำอธิบาย
1		ต่อสายทดสอบเข้ากับเครื่อง
2		ให้นำปลายสายไปต่อกับเต้ารับ หรือจุดทดสอบ RCD
3		กดเปิดเครื่องทดสอบ ตรวจสอบการณ ต่อสายบนหน้าจว่าต่อถูกต้องหรือไม่

คู่มือการใช้งานเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์(ต่อ)

ลำดับที่	แสดงรูปภาพ	คำอธิบาย
4		เมื่อ L> OK เป็นสถานะที่พร้อมทดสอบ
5		กดเลือก Type ให้ตรงกับ RCD ที่ใช้ทดสอบ มี ให้เลือก 2 Type คือ A และ AC
6		เลือก โหมดเป็น $I_{\Delta N}$ หรือ ΔT
7		เลือกกระแสทดสอบให้ตรงกับ RCD ที่ใช้ทดสอบ 10mA ,20mA ,30mA

คู่มือการใช้งานเครื่องทดสอบเครื่องตัดไฟรั่วด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์(ต่อ)

ลำดับที่	แสดงรูปภาพ	คำอธิบาย
8		เมื่อเลือกโหมดเสร็จแล้ว ให้กดปุ่ม Test หน้าจอจะแสดงสถานะ ON
9		เมื่อทดสอบเสร็จ หน้าจอจะแสดงกระแส Trip หากเลือกโหมด $I_{\Delta N}$ เครื่องจะ Reset zero อัตโนมัติ หากเลือกโหมด ΔT จะต้องกดปุ่ม Reset

ภาคผนวก ค
SOURCE CODE

Source Code ที่เขียนลงบอร์ด Arduino Uno R3

```

#include <Wire.h> // ไบรารีสำหรับการสื่อสาร I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // ไบรารีสำหรับการควบคุม LCD ผ่าน I2C
#include <PZEM004Tv30.h> // ไบรารีสำหรับการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์
PZEM004T
#include <Stepper.h> // ไบรารีสำหรับการควบคุมมอเตอร์สเต็ป
เปอร์
#include <TimerOne.h> // ไบรารี Timer1 สำหรับการตั้งเวลา
#include <SoftwareSerial.h> // ไบรารีสำหรับการสื่อสารแบบอนุกรม
ซอฟต์แวร์
// LCD Setup
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); // กำหนดที่อยู่ I2C และขนาดของ LCD
SoftwareSerial pzemSerial(12, 13); // กำหนดขา RX, TX สำหรับการสื่อสารกับ
PZEM
PZEM004Tv30 pzem1(pzemSerial); // สร้างอ็อบเจกต์ PZEM
// Stepper Motor Setup
#define STEPS_PER_REV 2048 // จำนวนก้าวต่อการหมุน 1 รอบของมอเตอร์
28BYJ-48
Stepper stepper(STEPS_PER_REV, 8, 10, 9, 11); // กำหนดขาสำหรับ ULN2003 driver
// RCD Test Variables
#define button1 2 // กำหนดขาสำหรับปุ่ม 1
#define button2 3 // กำหนดขาสำหรับปุ่ม 2
#define button3 4 // กำหนดขาสำหรับปุ่ม 3
#define button4 5 // กำหนดขาสำหรับปุ่ม 4
#define relayPin1 6 // กำหนดขาสำหรับรีเลย์ 1
#define relayPin 7 // กำหนดขาสำหรับรีเลย์
int setmode = 1; // ตัวแปรสำหรับเก็บโหมดการตั้งค่า
float voltage1, current1, power1, energy1, frequency1; // ตัวแปรสำหรับเก็บค่าต่างๆ
String msg = ""; // ตัวแปรสำหรับเก็บข้อความ

```

```

float last_current, last_voltage;           // ตัวแปรสำหรับเก็บค่ากระแสและแรงดัน
ล่าสุด
float modified_current = 0.0;               // ตัวแปรสำหรับเก็บค่ากระแสที่ปรับแล้ว
unsigned long start_time = 0;              // ตัวแปรสำหรับเก็บเวลาเริ่มต้น
volatile unsigned long rcd_time = 0;       // ตัวแปรสำหรับเก็บเวลา RCD
volatile bool timerRunning = false;        // ตัวแปรสำหรับตรวจสอบสถานะการทำงาน
ของตัวจับเวลา
bool showLastCurrent = false;              // ตัวแปรสำหรับแสดงค่ากระแสล่าสุด
bool bottonActive = false;                 // ตัวแปรสำหรับตรวจสอบสถานะของปุ่ม
bool modeN = true;                         // สถานะของโหมด (N หรือ T)
bool modeF = true;                         // สถานะของโหมด F
bool relayActive = false;                  // สถานะของรีเลย์
unsigned long timerStart = 0;              // ตัวแปรสำหรับจับเวลา
float targetCurrent = 0.0;                 // ตัวแปรสำหรับเก็บค่ากระแสเป้าหมาย
long targetSteps = 0;                      // ตัวแปรสำหรับเก็บจำนวนก้าวเป้าหมาย
unsigned long lastStepTime = 0;            // ตัวแปรสำหรับเก็บเวลาของการหมุนครั้ง
ล่าสุด
const unsigned long stepInterval = 0;      // ช่วงเวลาระหว่างแต่ละก้าว (50ms)
long initialPosition = 0;                  // เก็บตำแหน่งเริ่มต้นของมอเตอร์
static long totalSteps = 0;                // ตัวแปรสำหรับเก็บจำนวนก้าวทั้งหมด
static long zeroCurrentPosition = 0;        // ตัวแปรสำหรับเก็บตำแหน่งกระแสเป็น
ศูนย์
static bool zeroCurrentRecorded = false;    // ตัวแปรสำหรับตรวจสอบว่ามีการบันทึก
ตำแหน่งกระแสเป็นศูนย์หรือไม่
long stepsToReturn = totalSteps - zeroCurrentPosition; // คำนวณจำนวนก้าวที่จะกลับ
const int buttonPin1 = A0;                 // กำหนดขา D4 สำหรับปุ่ม 1
const int buttonPin2 = A1;                 // กำหนดขา D5 สำหรับปุ่ม 2
const int buttonPin3 = A2;                 // กำหนดขา D6 สำหรับปุ่ม 3

void setup() {
    Serial.begin(9600);                     // เริ่มต้นการสื่อสารอนุกรมที่ 9600 bps

```

```

Wire.begin(); // เริ่มต้นการสื่อสาร I2C

// RCD Setup
pinMode(button1, INPUT_PULLUP); // กำหนดขาปุ่ม 1 เป็น INPUT_PULLUP
pinMode(button2, INPUT_PULLUP); // กำหนดขาปุ่ม 2 เป็น INPUT_PULLUP
pinMode(button3, INPUT_PULLUP); // กำหนดขาปุ่ม 3 เป็น INPUT_PULLUP
pinMode(button4, INPUT_PULLUP); // กำหนดขาปุ่ม 4 เป็น INPUT_PULLUP
pinMode(relayPin, OUTPUT); // กำหนดขารีเลย์เป็น OUTPUT
digitalWrite(relayPin, LOW); // ทำให้แน่ใจว่ารีเลย์ปิดอยู่ในตอนเริ่มต้น

pinMode(relayPin1, OUTPUT); // กำหนดขารีเลย์ 1 เป็น OUTPUT
digitalWrite(relayPin1, LOW); // ทำให้แน่ใจว่ารีเลย์ 1 ปิดอยู่ในตอนเริ่มต้น

// LCD Setup
lcd.init(); // เริ่มต้น LCD
lcd.backlight(); // เปิดไฟแบ็คไลท์ของ LCD
lcd.clear(); // ล้างหน้าจอ LCD
lcd.setCursor(6, 1); // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (6, 1)
lcd.print("RCD Test"); // แสดงข้อความ "RCD Test" บน LCD
delay(1000); // หน่วงเวลา 1 วินาที
lcd.clear(); // ล้างหน้าจอ LCD

// Stepper Motor Setup
stepper.setSpeed(10); // ตั้งความเร็ว (RPM) ของมอเตอร์สเต็ปเปอร์
current1 = pzem1.current(); // อ่านค่ากระแสจาก PZEM
modified_current = (current1 / 8.0) * 1000.0; // ปรับค่ากระแสเริ่มต้น
if (modified_current > 4.2) { // ถ้าค่ากระแสที่ปรับแล้วมากกว่า 4.2 mA
    lcd.clear(); // เคลียร์หน้าจอ LCD
    lcd.setCursor(4, 1); // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (4, 1)
    lcd.print("Reset Zero..."); // แสดงข้อความ "Reset Zero..."
}
while ( modified_current > 4.2) { // ทำซ้ำจนกว่าค่ากระแสที่ปรับแล้วจะน้อย
    กว่าหรือเท่ากับ 4.2 mA
    if (micros() - lastStepTime >= stepInterval) { // ตรวจสอบเวลาที่ผ่านไป

```

```

    stepper.step(-1000);                // หมุนมอเตอร์ถอยหลัง 1000 ก้าว
    lastStepTime = micros();            // อัปเดตเวลาการหมุนครั้งล่าสุด
    current1 = pzem1.current();          // อ่านค่ากระแสใหม่
    modified_current = (current1 / 8.0) * 1000.0;    // อัปเดตค่ากระแสที่ปรับแล้ว
}
}

set_current(setmode);                  // ตั้งค่ากระแสตามโหมดที่กำหนด
pinMode(buttonPin1, INPUT_PULLUP);    // ใช้ Pull-up resistor ภายในสำหรับปุ่ม 1
pinMode(buttonPin2, INPUT_PULLUP);    // ใช้ Pull-up resistor ภายในสำหรับปุ่ม 2
pinMode(buttonPin3, INPUT_PULLUP);    // ใช้ Pull-up resistor ภายในสำหรับปุ่ม 3
// ตั้งค่า Timer1 ให้เรียก handleTimer ทุก 1ms
Timer1.initialize(1000);               // ตั้งค่า Timer1 ให้ทำงานทุก 1 ms
Timer1.attachInterrupt(handleTimer);   // เชื่อมต่อฟังก์ชัน handleTimer กับ
Timer1
}

void loop() {
    handleMeasurement();                // จัดการวัดค่าต่างๆ
    updateDisplay();                    // อัปเดตจอแสดงผล
    handleButtons();                    // จัดการปุ่มกด
    if (!modeN) {                       // ถ้าไม่อยู่ในโหมด N
        handleModeT();                 // เรียกใช้ฟังก์ชันจัดการโหมด T
    } else {
        handleModeN();                 // เรียกใช้ฟังก์ชันจัดการโหมด N
    }
    LED ();                             // เรียกใช้ฟังก์ชัน LED
}

void resetCurrentToZero() {
    unsigned long lastStepTime = 0;     // เก็บเวลาของการหมุนครั้งล่าสุด
    const unsigned long stepInterval = 50000; // ช่วงเวลาระหว่างแต่ละก้าว (50ms)
    long initialPosition = 0;           // เก็บตำแหน่งเริ่มต้นของมอเตอร์

```

```

static long totalSteps = 0; // ตัวแปรสำหรับเก็บจำนวนก้าวทั้งหมด
static long zeroCurrentPosition = 0; // ตัวแปรสำหรับเก็บตำแหน่งกระแสเป็น
ศูนย์
static bool zeroCurrentRecorded = false; // ตัวแปรสำหรับตรวจสอบว่ามี
การบันทึกตำแหน่งกระแสเป็นศูนย์หรือไม่
current1 = pzem1.current(); // อ่านค่ากระแสจาก PZEM
modified_current = (current1 / 8.0) * 1000.0; // แปลงกระแสเป็น mA
long stepsToReturn = totalSteps - zeroCurrentPosition; // คำนวณจำนวนก้าวที่จะกลับ
stepper.step(-stepsToReturn); // หมุนมอเตอร์กลับไปยังตำแหน่งกระแสเป็น
ศูนย์
totalSteps -= stepsToReturn; // อัปเดตจำนวนก้าวทั้งหมด

// อัปเดตค่ากระแส
current1 = pzem1.current(); // อ่านค่ากระแสใหม่
modified_current = (current1 / 8.0) * 1000.0; // อัปเดตค่ากระแสที่ปรับแล้ว
// อนุญาตให้ฟังก์ชันอื่นทำงาน
handleMeasurement(); // เรียกใช้ฟังก์ชันจัดการวัดค่า
updateDisplay(); // อัปเดตจอแสดงผล
handleButtons(); // จัดการปุ่มกด
}

void handleModeT() {
digitalWrite(relayPin, LOW); // รีเลย์อยู่ในสถานะ LOW เสมอในโหมด T
static long totalSteps = 0; // ตัวแปรสำหรับเก็บจำนวนก้าวทั้งหมด
static long zeroCurrentPosition = 0; // ตัวแปรสำหรับเก็บตำแหน่งกระแสเป็น
ศูนย์
static bool zeroCurrentRecorded = false; // ตัวแปรสำหรับตรวจสอบว่ามี
การบันทึกตำแหน่งกระแสเป็นศูนย์หรือไม่
static bool startPressed = false; // ตัวแปรสำหรับตรวจสอบว่าปุ่มเริ่มถูกกด
หรือไม่
if (bottonActive && !relayActive && startPressed) { // ถ้าปุ่มถูกกดและรีเลย์ไม่
ทำงาน

```

```

while (modified_current < targetCurrent) { // ทำซ้ำจนกว่าค่ากระแสที่ปรับแล้วจะถึงค่า
ที่ตั้งเป้า
    int stepSize = 500; // ขนาดก้าวเริ่มต้น
    int stepDelay = 15; // หน่วงเวลาในการหมุน
    // ตั้งค่า stepSize ตามค่ากระแสที่เลือก
    if (setmode == 1) { // 10mA mode
        if (modified_current >= 10.0) {
            stepSize = 50; // ปรับขนาดก้าวถ้ากระแสเกิน 10mA
        }
    } else if (setmode == 2) { // 20mA mode
        if (modified_current >= 20.0) {
            stepSize = 50; // ปรับขนาดก้าวถ้ากระแสเกิน 20mA
        }
    } else if (setmode == 3) { // 30mA mode
        if (modified_current >= 30.0) {
            stepSize = 50; // ปรับขนาดก้าวถ้ากระแสเกิน 30mA
        }
    }
    stepDelay = 15; // ตั้งค่าหน่วงเวลา
    // ตรวจสอบว่ากระแสเกิน 60mA หรือไม่
    if (modified_current >= 60.0) { // ถ้ากระแสเกิน 60mA
        long stepsToReturn = totalSteps - zeroCurrentPosition; // คำนวณจำนวนก้าว
        ที่จะกลับ
        stepper.step(-stepsToReturn); // หมุนมอเตอร์กลับไปยังตำแหน่งกระแสเป็น
ศูนย์
        totalSteps -= stepsToReturn; // อัปเดตจำนวนก้าวทั้งหมด
        bottonActive = false; // ปิดสถานะปุ่ม
        startPressed = false; // ปิดสถานะเริ่ม
        relayActive = false; // ปิดรีเลย์
        return; // ออกจากลูป
    }

```

```

stepper.step(stepSize);           // หมุนมอเตอร์ตามขนาดก้าว
delay(stepDelay);                 // หน่วงเวลา
totalSteps += stepSize;           // อัปเดตจำนวนก้าวทั้งหมด
current1 = pzem1.current();        // อ่านค่ากระแสใหม่
modified_current = (current1 / 8.0) * 1000.0; // อัปเดตค่ากระแสที่ปรับแล้ว
if (modified_current == 0 && !zeroCurrentRecorded) { // ถ้ากระแสเป็นศูนย์และยัง
ไม่ได้บันทึกตำแหน่ง
    zeroCurrentPosition = totalSteps; // บันทึกตำแหน่งกระแสเป็นศูนย์
    zeroCurrentRecorded = true;       // ตั้งค่าสถานะว่ามีการบันทึกแล้ว
}
if (isnan(current1) || isnan(voltage1) || isnan(power1) || isnan(energy1) ||
isnan(frequency1)) {               // ตรวจสอบค่าที่อ่านได้
    long stepsToReturn = totalSteps - zeroCurrentPosition; // คำนวณจำนวนก้าว
ที่จะกลับ
    totalSteps -= stepsToReturn;     // อัปเดตจำนวนก้าวทั้งหมด
    return;                          // ออกจากลูป
}
handleMeasurement();                // เรียกใช้ฟังก์ชันจัดการวัดค่า
handleButtons();                    // จัดการปุ่มกด
updateDisplay();                    // อัปเดตจอแสดงผล
}
if (modified_current >= targetCurrent) { // ถ้าค่ากระแสที่ปรับแล้วถึงค่าที่ตั้งเป้า
    digitalWrite(relayPin, HIGH);      // เปิดรีเลย์
    relayActive = true;                 // ตั้งค่าสถานะรีเลย์ว่าเปิด
    startTimer();                      // เริ่มจับเวลา
}
bottonActive = false;               // ปิดสถานะปุ่ม
startPressed = false;               // ปิดสถานะเริ่ม
}
if (!bottonActive) {                // ถ้าปุ่มไม่ถูกกด
    relayActive = false;               // ปิดสถานะรีเลย์

```

```

totalSteps = 0; // รีเซ็ตจำนวนก้าวทั้งหมด
zeroCurrentPosition = 0; // รีเซ็ตตำแหน่งกระแสเป็นศูนย์
zeroCurrentRecorded = false; // รีเซ็ตสถานะการบันทึกตำแหน่งกระแสเป็น
ศูนย์
} else if (!startPressed) { // ถ้าปุ่มถูกกดแต่ยังไม่เริ่ม
startPressed = true; // ตั้งค่าสถานะเริ่ม
}
updateDisplay(); // อัปเดตจอแสดงผล
}

void handleModeN() {
digitalWrite(relayPin, HIGH); // เปิดรีเลย์ในโหมด N
static long totalSteps = 0; // ตัวแปรสำหรับเก็บจำนวนก้าวทั้งหมด
static long zeroCurrentPosition = 0; // ตัวแปรสำหรับเก็บตำแหน่งกระแสเป็น
ศูนย์
static bool zeroCurrentRecorded = false; // ตัวแปรสำหรับตรวจสอบว่ามีการบันทึก
ตำแหน่งกระแสเป็นศูนย์หรือไม่
static bool startPressed = false; // ตัวแปรสำหรับตรวจสอบว่าปุ่มเริ่มถูกกด
หรือไม่
if (buttonActive && !relayActive && startPressed) { // ถ้าปุ่มถูกกดและรีเลย์ไม่
ทำงาน
while (modified_current < targetCurrent) { // ทำซ้ำจนกว่าค่ากระแสที่ปรับแล้วจะถึงค่า
ที่ตั้งเป้า
int stepSize = 300; // ขนาดก้าวเริ่มต้น
int stepDelay = 15; // หน่วงเวลาในการหมุน
// ตั้งค่า stepSize ตามค่ากระแสที่เลือก
if (setmode == 1) { // 10mA mode
if (modified_current >= 6.0) {
stepSize = 50; // ปรับขนาดก้าวถ้ากระแสเกิน 6mA
}
} else if (setmode == 2) { // 20mA mode
if (modified_current >= 12.0) {

```

```

        stepSize = 50; // ปรับขนาดก้าวถ้ากระแสเกิน 12mA
    }
} else if (setmode == 3) { // 30mA mode
    if (modified_current >= 15.0) {
        stepSize = 50; // ปรับขนาดก้าวถ้ากระแสเกิน 15mA
    }
}

stepDelay = 15; // ตั้งค่านี้นเวลา
// ตรวจสอบว่ากระแสเกิน 60mA หรือไม่
if (modified_current >= 60.0) { // ถ้ากระแสเกิน 60mA
    long stepsToReturn = totalSteps - zeroCurrentPosition; // คำนวณจำนวนก้าว
    ที่จะกลับ
    stepper.step(-stepsToReturn); // หมุนมอเตอร์กลับไปยังตำแหน่งกระแสเป็น
    ศูนย์
    totalSteps -= stepsToReturn; // อัปเดตจำนวนก้าวทั้งหมด
    bottonActive = false; // ปิดสถานะปุ่ม
    startPressed = false; // ปิดสถานะเริ่ม
    relayActive = false; // ปิดรีเลย์
    break; // ออกจากลูป
}

stepper.step(stepSize); // หมุนมอเตอร์ตามขนาดก้าว
delay(stepDelay); // นี้นเวลา
totalSteps += stepSize; // อัปเดตจำนวนก้าวทั้งหมด
current1 = pzem1.current(); // อ่านค่ากระแสใหม่
modified_current = (current1 / 8.0) * 1000.0; // อัปเดตค่ากระแสที่ปรับแล้ว
if (modified_current == 0 && !zeroCurrentRecorded) { // ถ้ากระแสเป็นศูนย์และยัง
    ไม่ได้บันทึกตำแหน่ง
        zeroCurrentPosition = totalSteps; // บันทึกตำแหน่งกระแสเป็นศูนย์
        zeroCurrentRecorded = true; // ตั้งค่าสถานะว่ามีการบันทึกแล้ว
    }

// ตรวจสอบค่าจากเซ็นเซอร์ ถ้ามี NaN ให้รีเซ็ต

```

```

    if (isnan(current1) || isnan(voltage1) || isnan(power1) || isnan(energy1) ||
    isnan(frequency1)) { // ตรวจสอบค่าที่อ่านได้
        long stepsToReturn = totalSteps - zeroCurrentPosition; // คำนวณจำนวนก้าว
        ที่จะกลับ
        stepper.step(-stepsToReturn); // หมุนมอเตอร์กลับไปยังตำแหน่งกระแสเป็น
        ศูนย์
        totalSteps -= stepsToReturn; // อัปเดตจำนวนก้าวทั้งหมด
        bottonActive = false; // ปิดสถานะปุ่ม
        startPressed = false; // ปิดสถานะเริ่ม
        relayActive = false; // ปิดรีเลย์
        return; // ออกจากลูป
    }
    handleMeasurement(); // เรียกใช้ฟังก์ชันจัดการวัดค่า
    handleButtons(); // จัดการปุ่มกด
    updateDisplay(); // อัปเดตจอแสดงผล
}
stopTimer(); // หยุดจับเวลา
long stepsToReturn = totalSteps - zeroCurrentPosition; // คำนวณจำนวนก้าวที่จะกลับ
stepper.step(-stepsToReturn); // หมุนมอเตอร์กลับไปยังตำแหน่งกระแส
เป็นศูนย์
totalSteps -= stepsToReturn; // อัปเดตจำนวนก้าวทั้งหมด
bottonActive = false; // ปิดสถานะปุ่ม
startPressed = false; // ปิดสถานะเริ่ม
relayActive = false; // ปิดรีเลย์
}
handleMeasurement(); // เรียกใช้ฟังก์ชันจัดการวัดค่า
handleButtons(); // จัดการปุ่มกด
updateDisplay(); // อัปเดตจอแสดงผล
if (bottonActive && !startPressed && !relayActive) { // ถ้าปุ่มถูกกดและยังไม่เริ่ม
และรีเลย์ไม่ทำงาน
    startPressed = true; // ตั้งค่าสถานะเริ่ม

```

```

}
if (!buttonActive) { // ถ้าปุ่มไม่ถูกกด
    relayActive = false; // ปิดสถานะรีเลย์
    totalSteps = 0; // รีเซ็ตจำนวนก้าวทั้งหมด
    zeroCurrentPosition = 0; // รีเซ็ตตำแหน่งกระแสเป็นศูนย์
    zeroCurrentRecorded = false; // รีเซ็ตสถานะการณ้บันทึกตำแหน่งกระแส
    เป็นศูนย์
}
}

void handleMeasurement() {
    static unsigned long lastMeasureTime = 0; // ตัวแปรสำหรับเก็บเวลาวัดค่าครั้งล่าสุด
    if (micros() - lastMeasureTime >= 0) { // วัดทุก 500ms
        float new_voltage = pzem1.voltage(); // อ่านค่าแรงดันใหม่จาก PZEM
        current1 = pzem1.current(); // อ่านค่ากระแสจาก PZEM
        power1 = pzem1.power(); // อ่านค่าพลังงานจาก PZEM
        energy1 = pzem1.energy(); // อ่านค่าพลังงานสะสมจาก PZEM
        frequency1 = pzem1.frequency(); // อ่านความถี่จาก PZEM
        modified_current = (current1 / 8.0) * 1000.0; // ปรับค่ากระแสเป็น mA
        adjustCurrentForModes(); // ปรับค่ากระแสตามโหมด
        if (!isnan(new_voltage)) { // ถ้าอ่านค่าแรงดันได้
            voltage1 = new_voltage; // อัปเดตค่าแรงดันล่าสุด
            last_voltage = new_voltage; // อัปเดตค่าแรงดันล่าสุด
        } else {
            voltage1 = last_voltage; // ถ้าอ่านค่าแรงดันไม่ได้ ให้ใช้ค่าแรงดัน
            ล่าสุด
        }
        if (current1 > last_current) { // ถ้าค่ากระแสใหม่มากกว่าค่ากระแสล่าสุด
            last_current = current1; // อัปเดตค่ากระแสล่าสุด
        }
        if (isnan(new_voltage) && timerRunning) { // ถ้าอ่านค่าแรงดันไม่ได้และตัวจับเวลา
            ทำงานอยู่

```

```

    stopTimer();                // หยุดจับเวลา
    bottonActive = false;       // ปิดสถานะปุ่ม
}

lastMeasureTime = micros();    // อัปเดตเวลาวัดค่าครั้งล่าสุด
}
}

void handleButtons() {
    static unsigned long lastButtonTime = 0;    // ตัวแปรสำหรับเก็บเวลาของการกดปุ่มครั้ง
    ล่าสุด

    bool btn1 = digitalRead(buttonPin1) == LOW;    // ตรวจสอบสถานะปุ่ม 1
    bool btn2 = digitalRead(buttonPin2) == LOW;    // ตรวจสอบสถานะปุ่ม 2
    bool btn3 = digitalRead(buttonPin3) == LOW;    // ตรวจสอบสถานะปุ่ม 3
    if (millis() - lastButtonTime < 100) return;    // Debounce 50ms
    if (digitalRead(button1) == LOW && !bottonActive) {    // ถ้าปุ่ม 1 ถูกกดและปุ่มไม่
    ทำงาน
        bottonActive = false;                // อัปเดตสถานะรีเลย์
        setmode = (setmode % 3) + 1;         // เปลี่ยนโหมดการตั้งค่า
        //resetCurrentToZero();              // รีเซ็ตกระแสเป็นศูนย์
        set_current(setmode);                // ตั้งค่ากระแสตามโหมดที่กำหนด
        rcd_time = 0;                        // รีเซ็ตเวลา RCD
        if (timerRunning) {                  // ถ้าตัวจับเวลาทำงานอยู่
            stopTimer();                     // หยุดจับเวลา
        }
        lastButtonTime = millis();           // อัปเดตเวลาของการกดปุ่มครั้งล่าสุด
    }

    if (btn1 && btn2){                        // ถ้าปุ่ม 1 และ 2 ถูกกดพร้อมกัน
        if (digitalRead(button2) == LOW && !bottonActive ) {    // ถ้าปุ่ม 2 ถูกกดและปุ่มไม่
        ทำงาน
            bottonActive = true;              // ตั้งค่าสถานะปุ่มว่าเปิด
            if (!modeN) {                     // ถ้าไม่อยู่ในโหมด N
                handleModeT();                // เรียกใช้ฟังก์ชันโหมด T
            }
        }
    }
}

```

```

    } else {
        handleModeN(); // เรียกใช้ฟังก์ชันโหมด N
    }

    bottonActive = false; // ปิดสถานะปุ่ม
    lastButtonTime = millis(); // อัปเดตเวลาของการกดปุ่มครั้งล่าสุด
}
}

modeN = digitalRead(button3) == HIGH; // ตั้งค่าสถานะโหมด N ตามสถานะของปุ่ม 3
if (digitalRead(button4) == LOW) { // ถ้าปุ่ม 4 ถูกกด
    digitalWrite(relayPin1, HIGH); // รีเซ็ตรีเลย์
    modeF = false; // ตั้งค่าสถานะโหมด F เป็น false
    lastButtonTime = millis(); // อัปเดตเวลาของการกดปุ่มครั้งล่าสุด
// ตรวจสอบว่ากระแสไม่เป็นศูนย์ ถ้าไม่ ให้รีเซ็ต
}else {
    // ถ้าไม่ได้กดปุ่ม 4, รีเลย์จะทำงานในโหมดปกติ (LOW)
    digitalWrite(relayPin1, LOW); // ตั้งค่ารีเลย์เป็น LOW
    modeF = true; // ตั้งค่าสถานะโหมด F เป็น true
}
}

void handleTimer() {
    if (timerRunning) { // ถ้าตัวจับเวลาทำงานอยู่
        rcd_time++; // เพิ่มเวลา RCD
    }
}

// แก้อฟังก์ชันให้ใช้ Timer1 แทน millis()
void startTimer() {
    cli(); // ปิดการขัดจังหวะชั่วคราว
    rcd_time = 0; // รีเซ็ตเวลา RCD
    timerRunning = true; // ตั้งค่าสถานะตัวจับเวลาเป็นทำงาน
    sei(); // เปิดการขัดจังหวะกลับคืน
}

```

```

void stopTimer() {
    cli(); // ปิดการขัดจังหวะชั่วคราว
    timerRunning = false; // ตั้งค่าสถานะตัวจับเวลาเป็นไม่ทำงาน
    sei(); // เปิดการขัดจังหวะกลับคืน
}

void updateDisplay() {
    static unsigned long lastDisplayTime = 0; // ตัวแปรสำหรับเก็บเวลาของการอัปเดต
    จอแสดงผลครั้งล่าสุด
    static bool hasStarted = false; // ใช้ตรวจสอบว่ามีการจับเวลาเกิดขึ้นแล้ว
    หรือไม่
    static unsigned long finalTime = 0; // เก็บค่าเวลาสุดท้ายเมื่อหยุดจับเวลา
    if (micros() - lastDisplayTime < 0) return; // อัปเดตทุก 100ms
    unsigned long adjustedTime; // ตัวแปรสำหรับเก็บเวลาที่ปรับแล้ว
    // ตรวจสอบโหมด T และปรับเวลาเพิ่มตามกระแส
    unsigned long extraTime = 0; // ตัวแปรสำหรับเก็บเวลาเพิ่มเติม
    if (!modeN) { // ถ้าอยู่ในโหมด T
        if (setmode == 1) {
            extraTime = 380; // เพิ่มเวลา 380ms สำหรับโหมด 10mA
        } else if (setmode == 2) {
            extraTime = 380; // เพิ่มเวลา 380ms สำหรับโหมด 20mA
        } else if (setmode == 3) {
            extraTime = 380; // เพิ่มเวลา 380ms สำหรับโหมด 30mA
        }
    }
    if (!modeF && !modeN) { // ถ้าอยู่ในโหมด T
        if (setmode == 1) {
            extraTime = 380; // เพิ่มเวลา 380ms สำหรับโหมด 10mA
        } else if (setmode == 2) {
            extraTime = 380; // เพิ่มเวลา 380ms สำหรับโหมด 20mA
        } else if (setmode == 3) {
            extraTime = 380; // เพิ่มเวลา 380ms สำหรับโหมด 30mA
        }
    }
}

```

[illegible]

```

lcd.setCursor(18, 1);           // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (18, 1)
lcd.print(" ");                 // ลบข้อความที่แสดงอยู่
lcd.setCursor(9, 0);           // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (9, 0)
lcd.print(" ");                 // ลบข้อความที่แสดงอยู่
lcd.setCursor(9, 1);           // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (9, 1)
lcd.print(" ");                 // ลบข้อความที่แสดงอยู่
lcd.setCursor(9, 2);           // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (9, 2)
lcd.print(" ");                 // ลบข้อความที่แสดงอยู่
lcd.setCursor(9, 3);           // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (9, 3)
lcd.print(" ");                 // ลบข้อความที่แสดงอยู่
lcd.setCursor(0, 0);           // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (0, 0)
lcd.print("TYPE:" + String(modeF ? "AC " : "A ")); // แสดงประเภทของโหมด
lcd.setCursor(10, 0);          // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (10, 0)
lcd.print(String(modeN ? "I Delta N" : "Delta T")); // แสดงโหมด N หรือ T
lcd.setCursor(0, 1);           // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (0, 1)
lcd.print("MODE:" + msg);       // แสดงข้อความโหมด
lcd.setCursor(0, 2);           // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (0, 2)
lcd.print("V:" + String(voltage1) + "v"); // แสดงค่าแรงดัน
lcd.setCursor(0, 3);           // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (0, 3)
lcd.print("I:" + String(displayCurrent, 1) + "mA "); // แสดงค่ากระแส
lcd.setCursor(11, 2);          // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (11, 2)
lcd.print(String(bottonActive ? "ON" : "OFF")); // แสดงสถานะของปุ่ม
lcd.setCursor(11, 3);          // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (11, 3)
lcd.print("t:" + String(adjustedTime / 100.0, 1) + "ms"); // แสดงเวลา
lastDisplayTime = micros();    // อัปเดตเวลาของการอัปเดตจอแสดงผลครั้ง
    ล่าสุด
}

void adjustCurrentForModes() {
    if (modeF){                 // ถ้าอยู่ในโหมด F
        if (setmode == 1) {    // ตรวจสอบว่าอยู่ในโหมด 10mA
            modified_current += -0.5; // ลดกระแส 0.5mA
        }
    }
}

```

```

}

if (setmode == 2) {
    modified_current += 1.8;
}

if (setmode == 3) {
    modified_current += 2.8;
}

}

if (!modeF){
    if (setmode == 1) {
        modified_current += -0.5;
    }

    if (setmode == 2) {
        modified_current += 1.8;
    }

    if (setmode == 3) {
        modified_current += 7.0;
    }
}

}

void set_current(int mode_) {
    switch (mode_) {
        case 1:
            targetCurrent = 12.0;
            msg = "10mA";
            break;

        case 2:
            targetCurrent = 22.0;
            msg = "20mA";
            break;

        case 3:
    
```

// ตรวจสอบว่าอยู่ในโหมด 20mA
// เพิ่มกระแส 1.8mA

// ตรวจสอบว่าอยู่ในโหมด 30mA
// เพิ่มกระแส 2.8mA

// ถ้าไม่อยู่ในโหมด F
// ตรวจสอบว่าอยู่ในโหมด 10mA
// ลดกระแส 0.5mA

// ตรวจสอบว่าอยู่ในโหมด 20mA
// เพิ่มกระแส 1.8mA

// ตรวจสอบว่าอยู่ในโหมด 30mA
// เพิ่มกระแส 7.0mA

// ฟังก์ชันตั้งค่ากระแสตามโหมด
// ตรวจสอบโหมด
// โหมด 10mA
// ตั้งค่ากระแสเป้าหมายเป็น 12.0mA
// ตั้งข้อความเป็น "10mA"

// โหมด 20mA
// ตั้งค่ากระแสเป้าหมายเป็น 22.0mA
// ตั้งข้อความเป็น "20mA"

// โหมด 30mA

```

        targetCurrent = 50.0;           // ตั้งค่ากระแสเป้าหมายเป็น 50.0mA
        msg = "30mA";                  // ตั้งข้อความเป็น "30mA"
        break;
    }
}

void LED () {                          // ฟังก์ชันจัดการ LED
    bool btn1 = digitalRead(buttonPin1) == LOW;    // ตรวจสอบสถานะปุ่ม 1
    bool btn2 = digitalRead(buttonPin2) == LOW;    // ตรวจสอบสถานะปุ่ม 2
    bool btn3 = digitalRead(buttonPin3) == LOW;    // ตรวจสอบสถานะปุ่ม 3
    if (btn1 && btn2) {                      // ถ้าปุ่ม 1 และ 2 ถูกกดพร้อมกัน
        lcd.setCursor(11, 1);              // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (11, 1)
        lcd.print("L> OK ");               // แสดงข้อความ "L> OK"
    } else if (btn3 && btn1) {              // ถ้าปุ่ม 3 และ 1 ถูกกดพร้อมกัน
        lcd.setCursor(11, 1);              // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (11, 1)
        lcd.print("L< NO ");               // แสดงข้อความ "L< NO"
    } else if (btn1) {                     // ถ้าปุ่ม 1 ถูกกด
        lcd.setCursor(11, 1);              // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (11, 1)
        lcd.print("PE!! ");               // แสดงข้อความ "PE!!"
    } else if (btn3 && btn2) {              // ถ้าปุ่ม 3 และ 2 ถูกกดพร้อมกัน
        lcd.setCursor(11, 1);              // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (11, 1)
        lcd.print("L<>PE ");              // แสดงข้อความ "L<>PE"
    } else if (btn3 || btn2) {              // ถ้าปุ่ม 3 หรือ 2 ถูกกด
        lcd.setCursor(11, 1);              // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (11, 1)
        lcd.print("connext!!");           // แสดงข้อความ "connext!!"
    } else if (btn3 && btn1 && btn2) {      // ถ้าปุ่ม 3, 1 และ 2 ถูกกดพร้อมกัน
        lcd.setCursor(11, 1);              // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (11, 1)
        lcd.print("L<>PE&PE!! ");         // แสดงข้อความ "L<>PE&PE!!"
    } else {
        lcd.setCursor(11, 1);              // ตั้งตำแหน่งเคอร์เซอร์ที่ (11, 1)
        lcd.print("connext!! ");           // แสดงข้อความ "connext!!"
    }
}

```

ประวัติผู้จัดทำปริญญานิพนธ์

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ	: นางสาวพิมชนก นนทะพุทฺธ
สาขา	: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
วัน-เดือน-ปีเกิด	: วันที่ 30 พฤศจิกายน 2543
สถานที่เกิด	: จังหวัดสงขลา
ที่อยู่	: 129 หมู่ที่ 9 ตำบลทุ่งลาน อำเภอกลองหยอง จังหวัดสงขลา 90230
ประวัติการศึกษา	: ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ ปี 2564

ประวัติผู้แต่ง



ชื่อ	: นายวชิรวิทย์ แก้วควรชุม
สาขา	: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
วัน-เดือน-ปีเกิด	: วันที่ 4 ธันวาคม 2545
สถานที่เกิด	: จังหวัดนครศรีธรรมราช
ที่อยู่	: 133 หมู่ที่ 7 ถนนหนองชัยแก้ว ตำบลโคกหาร อำเภอเขาพนม จังหวัด กระบี่ รหัสไปรษณีย์ 80240
ประวัติการศึกษา	: ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมการต่อเรือ นครศรีธรรมราช ปี 2564