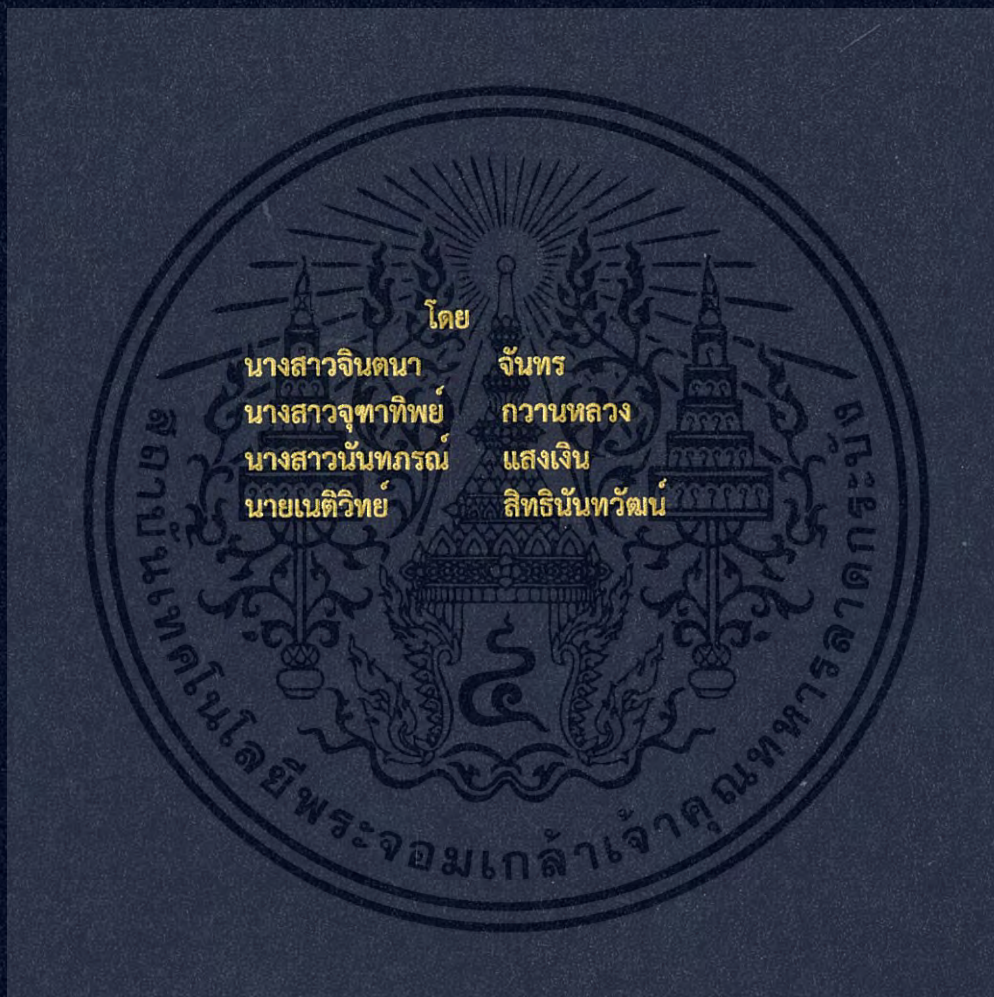
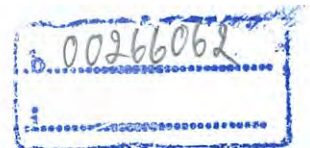


การออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก สำหรับการจัดการ
ใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME
DESIGN AND PROTOTYPING OF COMPACT ENERGY MONITORING AND
MANAGEMENT SYSTEM FOR SME



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก สำหรับการจัดการ
ใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME
DESIGN AND PROTOTYPING OF COMPACT ENERGY MONITORING AND
MANAGEMENT SYSTEM FOR SME



71300245

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND PROTOTYPING OF COMPACT ENERGY MONITORING AND
MANAGEMENT SYSTEM FOR SME



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

การออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก สำหรับการจัดการใช้
พลังงานไฟฟ้าเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME

DESIGN AND PROTOTYPING OF COMPACT ENERGY MONITORING AND
MANAGEMENT SYSTEM FOR SME



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ

รศ.ดร.สมชาติ จิริวิภากร

ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก สำหรับการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME

ผู้จัดทำ

1. นางสาวจินตนา จันทร์
2. นางสาวจุฑาทิพย์ กวานหลวง
3. นางสาวนันทภรณ์ แสงเงิน
4. นายเนติวิทย์ สิทธินันท์วัฒน์

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ)

อ. สมพงษ์..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รศ.ดร.สมชาติ จิรวิภากร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก สำหรับการจัดการ
ใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME

| | | |
|-----------------|---------------|------------------|
| นางสาวจินตนา | จันทร์ | |
| นางสาวจุฑาทิพย์ | กวางหลวง | |
| นางสาวนันทภรณ์ | แสงเงิน | |
| นายเนติวิทย์ | สิทธิโนนวัฒน์ | |
| รศ.ดร.เฉลิมชาติ | มานพ | อาจารย์ที่ปรึกษา |
| รศ.ดร.สมชาติ | จิรวิภากร | อาจารย์ที่ปรึกษา |
| ผศ.ดร.นิรุธ | จิรสวรรณกุล | อาจารย์ที่ปรึกษา |
| ปีการศึกษา 2560 | | |

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก สำหรับการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME โดยใช้โมดูลสำเร็จรูป PZEM-004t ซึ่งทำหน้าที่วัดและคำนวณปริมาณทางไฟฟ้าที่ได้รับมาจากโหลด จากนั้นส่งข้อมูลที่ไ้จากการวัดและการคำนวณไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุม และยังสามารถส่งค่าที่ได้จากโมดูลสำเร็จรูปไปแสดงผลทางจอแอลซีดี และส่งผ่านระบบไร้สาย WIFI เพื่อไปแสดงผลบนอินเทอร์เน็ต โดยทั้งนี้เครื่องมือวัดนี้จะมีการบันทึกข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมดทำให้สามารถเรียกดูค่าที่ได้จากการวัดย้อนหลังเพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND PROTOTYPING OF COMPACT ENERGY MONITORING AND MANAGEMENT SYSTEM FOR SME

Miss.Chintana Chanthon

Miss.Jutathip Kwanluang

Miss.Nanthaporn Sangngern

Mr.Netiwit Sittinuntawat

Assoc.Prof.Dr.Chalermchat Manop Supervisor

Assoc.Prof.Dr.Somchat Jiriwibhakorn Supervisor

Ass.Prof.Dr.Nirudh Jirasuwankul Supervisor

Year 2017

ABSTRACT

This project presents design and prototyping of a compact electric energy monitoring and management system for SME. By using a set of power measuring modules, PZEM-004t, to form a three-phase measuring unit, a number of electricity parameters related to three-phase load can be measured and monitored. In addition, by applying of real-time data uploading to internet and stored in cloud server, electric power and energy can be seen both by the unit's LCD and smart device. Moreover, the system has been designed to be able to retrieve the recorded data and thus can be exported to EMS (energy management system).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น เกิดจากการทำงานด้วยความมานะ อาศัยความร่วมมือของคนในกลุ่มเป็นอย่างดีและได้รับการสนับสนุนจากบุคลากรหลายท่านที่ให้ความรู้และเทคนิคต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สมชาติ จิรวิภากร รศ.ดร.เฉลิมชาติ มานพ และผศ.ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่ให้ความรู้ ความคิดริเริ่ม และชี้แนะแนวทางต่าง ๆ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนวทางการค้นคว้า การจัดทำปริญญาโทฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมไปถึงความกรุณาและความช่วยเหลือจากอาจารย์และเจ้าหน้าที่ในสายวิศวกรรมไฟฟ้า ที่กรุณาให้คำปรึกษาอำนวยความสะดวกเพื่อสถานที่และเครื่องมือในการทำปริญญาโทครั้งนี้จนสำเร็จ

รวมทั้งเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อ | I |
| ABSTRACT | II |
| กิตติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญรูปภาพ | VI |
| สารบัญตาราง | VII |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ | 2 |
| 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ | 2 |
| 1.4 วิธีการใช้ในโครงการ | 2 |
| 1.5 แผนการดำเนินโครงการ | 3 |
| 1.6 ประโยชน์ที่รับจากการวิจัย | 4 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 5 |
| 2.1 ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า | 5 |
| 2.2 ตัวประกอบกำลัง (Power factor) | 6 |
| 2.3 พลังงานไฟฟ้า kWh | 6 |
| 2.4 ระดับชั้นหรือคลาสของเครื่องมือวัด | 7 |
| 2.5 หลักการการเหนี่ยวนำของหม้อแปลงกระแส | 7 |
| 2.6 โมดูล PZEM-004t | 8 |
| 2.7 Arduino | 9 |
| 2.8 SPI | 12 |
| 2.9 NodeMCU Development Kit V1.0 (V2) | 13 |
| 2.10 เอสดี การ์ด (SD Card) | 15 |
| 2.11 แนวทางการแก้ไขปัญหาด้านพลังงาน | 17 |
| บทที่ 3 การออกแบบและประกอบสร้าง | 22 |
| 3.1 รูปแบบการทำงาน | 22 |
| 3.2 การออกแบบโครงสร้างของระบบติดตามการใช้ไฟฟ้า | 22 |
| 3.2.1 โมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า PZEM-004 | 23 |
| 3.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ | 23 |
| 3.2.3 ไฟเลี้ยงของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ | 24 |
| 3.2.4 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ | 25 |
| 3.3 การออกแบบในส่วนของซอฟต์แวร์ | 27 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

| | |
|--|-----------|
| 3.4 หลักการทำงานของระบบติดตามการใช้ไฟฟ้า | 27 |
| 3.5 การประกอบสร้างเครื่องวัด | 29 |
| บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบเครื่องมือวัด | 31 |
| 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ | 31 |
| 4.2 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องวัดโดยไม่มีโหลด | 32 |
| 4.3 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องวัดโดยใช้โหลด R แบบสมดุล | 33 |
| 4.4 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องวัดโดยใช้โหลด R แบบไม่สมดุล | 37 |
| 4.5 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องวัดโดยใช้โหลด RL แบบสมดุล | 40 |
| 4.6 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องวัดโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมดุล | 44 |
| 4.7 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องวัดโดยใช้โหลดมอเตอร์ | 48 |
| 4.8 การแสดงผลบนเว็บไซต์ | 52 |
| 4.8 ตัวอย่างการคำนวณค่าไฟ | 53 |
| บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ | 55 |
| 5.1 สรุปผลการทดสอบ | 55 |
| 5.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบ | 56 |
| 5.3 สรุปผลการดำเนินงาน | 56 |
| 5.4 ปัญหาที่พบระหว่างดำเนินโครงการและข้อเสนอแนะ | 57 |
| 5.5 แนวทางการพัฒนา | 57 |
| เอกสารอ้างอิง | |
| ภาคผนวก | |
| ภาคผนวก ก บทความทางวิชาการ | |
| ภาคผนวก ข ข้อมูลโมดูล | |
| ภาคผนวก ค Arduino Uno R3 | |
| ภาคผนวก ง Node MCU V2 | |
| ประวัติผู้เขียน | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า | 5 |
| 2.2 Current Transformer | 8 |
| 2.3 PZEM-004t | 9 |
| 2.4 แผนผังขาของชิป SD3004 | 9 |
| 2.5 Arduino Uno R3 | 10 |
| 2.6 แผนผังขาของบอร์ด Arduino Uno R3 | 11 |
| 2.7 การเชื่อมต่อการสื่อสารแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ Master – Slave โดยมีสายสัญญาณ 4 เส้น | 12 |
| 2.8 การเชื่อมต่อการสื่อสารแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ Master – Slave หลายตัว | 13 |
| 2.9 แผนผังขาของบอร์ด NodeMCU V2 | 15 |
| 2.10 SD Card | 17 |
| 3.1 โครงสร้างของเครื่องวัดไฟฟ้าสามเฟส | 22 |
| 3.2 PZEM-004T AC Digital Power Energy Meter Module | 23 |
| 3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3 | 24 |
| 3.4 Power Supply ขนาด 9 Vdc | 24 |
| 3.5 การเชื่อมต่อของเครื่องวัด | 25 |
| 3.6 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลคำนวณ PZEM-004t และบอร์ด Arduino UNO R3 | 25 |
| 3.7 การเชื่อมต่อระหว่างจอแสดงผล LCD กับบอร์ด Arduino UNO R3 | 26 |
| 3.8 การเชื่อมต่อระหว่าง Node MCU กับบอร์ด Arduino UNO R3 | 26 |
| 3.9 การเชื่อมต่อระหว่าง Node MCU กับบอร์ด SD Card | 26 |
| 3.10 Flowchart การทำงานของระบบติดตามการใช้ไฟฟ้าสามเฟส | 28 |
| 3.11 การจัดอุปกรณ์ภายในกล่องเครื่องมือวัด | 29 |
| 3.12 ลักษณะภายนอกของกล่องเครื่องมือวัด | 30 |
| 4.1 การต่อวงจรการทดสอบ | 31 |
| 4.2 วงจรวัดค่าแบบไม่มีโหลด | 32 |
| 4.3 วงจรวัดค่าโหลด R | 34 |
| 4.4 วงจรวัดค่าโหลด R แบบไม่สมดุล | 38 |
| 4.5 วงจรวัดค่าโหลด RL แบบสมดุล | 41 |
| 4.6 วงจรวัดค่าโหลด RL แบบไม่สมดุล | 45 |
| 4.7 วงจรวัดค่าโหลดมอเตอร์ | 49 |
| 4.8 การแสดงผลบนหน้าเว็บ | 52 |
| 4.9 การแสดงผลบนหน้าเว็บ | 53 |
| 4.10 การคิดค่าไฟอัตราปกติ | 53 |
| 4.11 การคิดค่าไฟอัตราTOU | 54 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 แผนการดำเนินโครงการ | 3 |
| 2.1 ข้อกำหนดทางเทคนิคของ Arduino Uno R3 | 11 |
| 2.2 อัตราการคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติ ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก | 17 |
| 2.3 อัตราการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก | 18 |
| 2.4 อัตราการคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติ ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง | 18 |
| 2.5 อัตราการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง | 19 |
| 2.6 อัตราการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวัน ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ | 20 |
| 2.7 อัตราการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ | 20 |
| 4.1 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยไม่มีโหลด | 32 |
| 4.2 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โหลดแบบ R แบบสมดุ | 34 |
| 4.3 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยใช้โหลดแบบ R แบบสมดุ | 35 |
| 4.4 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงโดยใช้โหลดแบบ R แบบสมดุ | 36 |
| 4.5 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏโดยใช้โหลดแบบ R แบบสมดุ | 36 |
| 4.6 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โหลดแบบ R แบบไม่สมดุ | 38 |
| 4.7 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยใช้โหลดแบบ R แบบไม่สมดุ | 39 |
| 4.8 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงโดยใช้โหลดแบบ R แบบไม่สมดุ | 39 |
| 4.9 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏโดยใช้โหลดแบบ R แบบไม่สมดุ | 40 |
| 4.10 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โหลดแบบ RL แบบสมดุ | 41 |
| 4.11 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยใช้โหลดแบบ RL แบบสมดุ | 42 |
| 4.12 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงโดยใช้โหลดแบบ RL แบบสมดุ | 42 |
| 4.13 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏโดยใช้โหลดแบบ RL แบบสมดุ | 43 |
| 4.14 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนโดยใช้โหลดแบบ RL แบบสมดุ | 43 |
| 4.15 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยใช้โหลดแบบ RL แบบสมดุ | 44 |
| 4.16 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โหลดแบบ RL แบบไม่สมดุ | 46 |
| 4.17 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยใช้โหลดแบบ RL แบบไม่สมดุ | 46 |
| 4.18 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงโดยใช้โหลดแบบ RL แบบไม่สมดุ | 46 |
| 4.19 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏโดยใช้โหลดแบบ RL แบบไม่สมดุ | 47 |
| 4.20 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนโดยใช้โหลดแบบ RL แบบไม่สมดุ | 47 |
| 4.21 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยใช้โหลดแบบ RL แบบไม่สมดุ | 48 |
| 4.22 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โหลดมอเตอร์ | 49 |
| 4.23 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยใช้โหลดมอเตอร์ | 50 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.24 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงโดยใช้โพลทอมเตอร์ | 50 |
| 4.25 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏโดยใช้โพลทอมเตอร์ | 51 |
| 4.26 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนโดยใช้โพลทอมเตอร์ | 51 |
| 4.27 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยใช้โพลทอมเตอร์ | 52 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นซึ่งจะมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นแต่ผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงทำให้มีราคาสูงขึ้น [1] ความต้องการไฟฟ้าที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ นี้เอง ทำให้ทางภาครัฐและเอกชนตระหนักถึงคุณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่จำกัดมากขึ้น ทำให้ต้องมีการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า [2] เพื่อเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัดและคุ้มค่าที่สุด การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าจึงเป็นวิธีการที่ใช้การบริหารจัดการที่มุ่งเน้นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ โดยระบบอุตสาหกรรมก็เป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งรวมถึงอุตสาหกรรมขนาดเล็กอย่าง SME เช่นเดียวกัน ดังนั้นรัฐบาลจึงมีนโยบายส่งเสริมการเติบโตของอุตสาหกรรม SME เนื่องจากอุตสาหกรรม SME มีความสำคัญช่วยในการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและสังคม [3] โดยรัฐบาลมีการส่งเสริมให้มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยพัฒนาธุรกิจเหล่านี้ และการจัดการพลังงานในอุตสาหกรรม SME ก็มีสวนช่วยส่งเสริมการพัฒนาธุรกิจ และช่วยลดต้นทุนในการผลิต แต่ในความเป็นจริงแล้วการนำเทคโนโลยีสูงที่ใช้ในการจัดการพลังงานมักพบได้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เนื่องจากระบบการจัดการพลังงานมีต้นทุนในการติดตั้งที่สูงและอุตสาหกรรม SME เป็นธุรกิจขนาดย่อมจึงทำให้ไม่สามารถนำเทคโนโลยีที่มีราคาสูงมาใช้

เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ ผู้จัดทำจึงได้จัดทำโครงการออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME โดยศึกษาและทำการสร้างเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าสามเฟสที่สามารถบันทึกและส่งค่าทางไฟฟ้าที่วัดได้ไปยังอุปกรณ์เคลื่อนที่แบบพกพาโดยโครงการของเราสามารถแสดงค่าที่วัดทางไฟฟ้าต่างๆได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลัง สามารถนำไปใช้งานในการติดตามการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม SME ได้ เพื่อเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้า ซึ่งถ้ามีการดำเนินการอย่างเหมาะสมและสม่ำเสมอจะมีผลดีต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME รวมถึงสามารถนำไปเป็นข้อมูลประกอบการพยากรณ์ค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า หรือคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นได้ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการทำงานพร้อมทั้งสามารถนำค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่บันทึกไว้มาวิเคราะห์และแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับผู้ใช้อิไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME
2. เพื่อศึกษาวิธีการออกแบบเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส
3. เพื่อศึกษามาตรฐานการสร้างเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส
4. เพื่อศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME และปรับปรุงการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ออกแบบและทำการสร้างเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส 4 สายสำหรับกำลังไฟฟ้ารวมของโหลดไม่เกิน 2.2 kW โดยใช้โมดูลการวัดค่าไฟฟ้าเบอร์ PZEM-004t
2. บันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงการไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น
3. ออกแบบสร้างระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าและแสดงผลผ่านเว็บไซต์

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. กำหนดหัวข้อโครงการและวางแผนการทำงาน
2. ศึกษาโครงสร้างและการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้จัดทำเครื่องมือวัด
3. ศึกษามาตรฐานการสร้างเครื่องมือวัดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
4. ศึกษารูปแบบการส่งข้อมูลระหว่างโมดูลการวัดค่าไฟฟ้าและไมโครคอนโทรลเลอร์
5. ศึกษาการเขียนโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์
6. ศึกษารูปแบบการส่งข้อมูลแบบไร้สายเพื่อแสดงผลข้อมูลบนเว็บไซต์
7. ศึกษาการเขียนเว็บไซต์
8. ออกแบบสร้างเครื่องมือวัดให้ได้ตามมาตรฐานหรือใกล้เคียงที่สุด
9. ทดสอบการทำงานของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น
10. ออกแบบสร้างเว็บไซต์
11. ทดสอบการส่งค่าและแสดงผลบนเว็บไซต์
12. นำข้อมูลมาวิเคราะห์และสรุปผล
13. จัดทำรูปเล่มและนำเสนอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงการ

| การดำเนินงาน | ระยะเวลาการดำเนินงาน | | | | | | | | |
|--|----------------------|------|------|------|------|---------------|------|-------|-------|
| | ภาคเรียนที่ 1 | | | | | ภาคเรียนที่ 2 | | | |
| | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. |
| 1. กำหนดหัวข้อ โครงการและวาง แผนการทำงาน | ↔ | | | | | | | | |
| 2. ศึกษาโครงสร้างและ การทำงานของ อุปกรณ์ที่ใช้จัดทำ เครื่องมือวัด | ↔↔ | ↔ | | | | | | | |
| 3. ศึกษามาตรฐานการ สร้างเครื่องมือวัด และทฤษฎีที่ เกี่ยวข้อง | ↔↔ | ↔ | | | | | | | |
| 4. ศึกษารูปแบบการส่ง ข้อมูลระหว่างไมโคร การวัดค่าไฟฟ้าและ ไมโครคอนโทรลเลอร์ | | ↔↔ | | | | | | | |
| 5. ศึกษาการเขียน โปรแกรมบน ไมโครคอนโทรลเลอร์ | | ↔↔ | | | | | | | |
| 6. ศึกษารูปแบบการส่ง ข้อมูลแบบไร้สาย เพื่อนแสดงผลข้อมูล บนเว็บไซต์ | | | | ↔↔ | | | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| การดำเนินงาน | ระยะเวลาการดำเนินงาน | | | | | | | | |
|--|----------------------|------|------|------|------|---------------|------|-------|-------|
| | ภาคเรียนที่ 1 | | | | | ภาคเรียนที่ 2 | | | |
| | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. |
| 7. ศึกษาการเขียนเว็บไซต์ | | | ←→ | | | | | | |
| 8. ออกแบบสร้างเครื่องมือวัดให้ได้ตามมาตรฐานหรือใกล้เคียงที่สุด | | | | ←→ | | | | | |
| 9. ทดสอบการทำงานของเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น | | | | ←→ | | | | | |
| 10. ออกแบบสร้างเว็บไซต์ | | | | | | | ←→ | | |
| 11. ทดสอบการส่งค่าและแสดงผลบนเว็บไซต์ | | | | | | | ←→ | | |
| 12. นำข้อมูลมาวิเคราะห์และสรุปผล | | | | | | | ←→ | | |
| 13. จัดทำรูปเล่มและนำเสนอ | | | | | | | | ←→ | |

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. สามารถบอกพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของอุตสาหกรรม SME และนำข้อมูลที่ได้ไปปรับปรุงการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
2. สามารถนำไปเป็นเครื่องต้นแบบในการพัฒนาระบบการจัดการใช้พลังงานสำหรับผู้ใช้อุตสาหกรรม SME

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า (Electrical power) [4] คืออัตราของการใช้พลังงานไฟฟ้า ได้จากการนำพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ หารด้วยเวลาที่ใช้พลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น จูลต่อวินาที หรือ ได้จากการนำเอาค่าแรงดันไฟฟ้ามาคูณกับค่ากระแสไฟฟ้า อาจมีการนำตัวประกอบกำลังคูณเพิ่มไปด้วย กำลังไฟฟ้าประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ

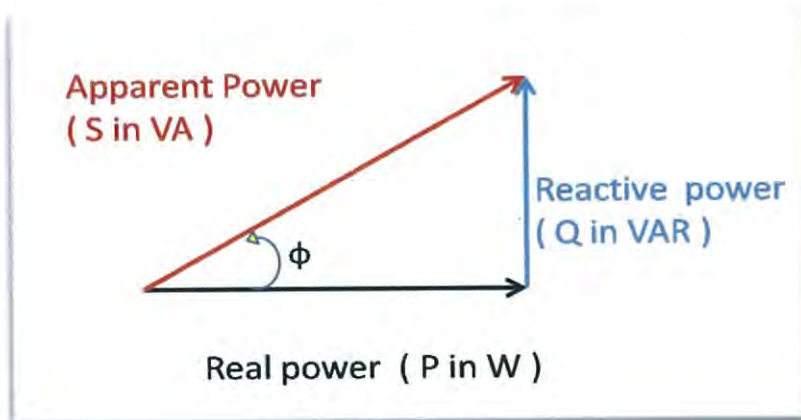
1. กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power : S , หน่วยเป็น VA)
2. กำลังไฟฟ้าจริง (Real power : P , หน่วยเป็น Watt หรือ W)
3. กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive power : Q , หน่วยเป็น Var)

โดยที่ค่ากำลังไฟฟ้าจริงหาได้จาก $P = S \cos\theta$ และค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนหาได้จาก $Q = S \sin\theta$ θ คือมุมระหว่างแรงดันกับกระแส และ $\cos\theta$ เป็นตัวประกอบกำลัง หรือ Power factor (p.f.) และสามารถเขียนกำลังไฟฟ้าในรูปกำลังเชิงซ้อนได้ดังนี้

$$S = P + jQ \quad (2.1)$$

จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าจริง (P) เป็นปริมาณที่เกิดขึ้นบนส่วนจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) เป็นปริมาณที่เกิดขึ้นบนส่วนจินตภาพ จึงสามารถหาขนาดของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (S) ได้ดังสมการนี้

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะที่ออกให้เท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ตัวประกอบกำลัง (Power factor)

2.2.1 ความหมายของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า[5] (Power factor) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง (Watt) ต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) โดยมีหน่วยวัดเป็นเปอร์เซ็นต์หรือร้อยละ แต่นิยมบอกเป็นค่าทศนิยมที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าถือได้ว่าเป็นตัววัดประสิทธิภาพของการส่งจ่ายหรือการใช้กำลังไฟฟ้าได้อย่างหนึ่ง ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ดีควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 85 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ หรือ 0.85 ถึง 0.9 โดยสามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบกำลังกับกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

$$\cos\theta = \frac{P}{S} \quad (2.3)$$

จากนิยามของตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่าระบบไฟฟ้าใดที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำ นั่นคืออัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟหรือกำลังไฟฟ้าเสมือนต่อกำลังไฟฟ้าจริงมีค่าสูง ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียทั้งในระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าเอง ดังนั้นประสิทธิภาพของการใช้ไฟฟ้าในกรณีระบบที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำจะต่ำกว่าระบบที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูง ทั้งนี้เป็นเพราะอาจเกิดแรงดันไฟฟ้าตก กระแสไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น และทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ามากขึ้น ซึ่งเราสามารถหาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้เป็นตัววัดประสิทธิภาพของการใช้ไฟฟ้าได้

2.3 พลังงานไฟฟ้า kWh

ค่า kWh กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ หน่วย คือหน่วยที่ใช้บอกขนาดหรือปริมาณของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานพลังงานไฟฟ้า 1 หน่วย หรือ 1 หน่วยเท่ากับ 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kilo watt hour = กำลังไฟ 1 กิโลวัตต์ใช้งาน นาน 1 ชั่วโมง) โดยปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดขึ้นอยู่กับกำลังและเวลาที่ใช้ ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังนี้

$$\text{พลังงาน} = \text{กำลัง} \times \text{เวลา} \quad (2.4)$$

อุปกรณ์ที่ใช้กำลังต่ำแต่ถ้าใช้เวลาทำงานนานก็สามารถใช้พลังงานมากกว่าอุปกรณ์ที่ใช้กำลังสูงแต่ทำงานช่วงสั้นๆ ดังตัวอย่าง

- หลอด 50W เปิด 12 ชั่วโมง จะใช้พลังงาน $50W \times 12 \times 3600$ วินาที = 2160 kJ
 - กาดม้ไฟฟ้า 3kW เปิด 3 นาที จะใช้พลังงาน $3000W \times 3 \times 60$ วินาที = 540 kJ
- หน่วยมาตรฐานของพลังงานคือจูล (J) แต่พลังงาน 1 J น้อยเกินไปสำหรับพลังงานจากไฟฟ้าหลัก ดังนั้นจึงมักใช้หน่วยกิโลจูล (kJ) หรือเมกะจูล (MJ) ซึ่งบางทีก็ใช้ในงานทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยาศาสตร์ด้วย สำหรับในบ้านพักอาศัย เราวัดพลังงานไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) 1kWh คือการใช้กำลังไฟฟ้า 1kW เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

$$1\text{kWh} = 1\text{kW} \times 1 \text{ ชั่วโมง} = 1000\text{W} \times 3600\text{วินาที} = 3.6\text{MJ}$$

จึงได้ว่า

$$\text{พลังงาน (kWh)} = \text{กำลัง (kW)} \times \text{เวลา (hrs)} \quad (2.5)$$

เช่นตัวอย่าง

- หลอด 60W เปิด 8 ชั่วโมง จะใช้พลังงาน $0.06\text{kW} \times 8 = 0.48 \text{ kWh}$.
- กาไฟฟ้า 3kW เปิด 5 นาที จะใช้พลังงาน $3\text{kW} \times 5/60 = 0.25 \text{ kWh}$.

2.4 ระดับชั้นหรือคลาสของเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดที่ผลิตขึ้นมาใช้งานจะต้องมีความแม่นยำระบุไว้เป็นตัวเลข ซึ่งบ่งบอกถึงความถูกต้องเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดนั้นและยังใช้สำหรับหาค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ของเครื่องวัดแต่ละย่านวัดโดยคิดจากค่าเต็มสเกลแต่อาจเนื่องมาจากตัวเลขที่ใช้มีค่ามากซึ่งอาจทำให้ผิดพลาดหรือสับสนได้ การแบ่งชั้นของเครื่องวัด[6] เพื่อความสะดวกจึงมีแบ่งระดับชั้นของเครื่องวัดไฟฟ้าตามมาตรฐานของอุตสาหกรรม(IEC) ได้ทั้งหมด 8 ระดับชั้น 4 หมู่ คือ

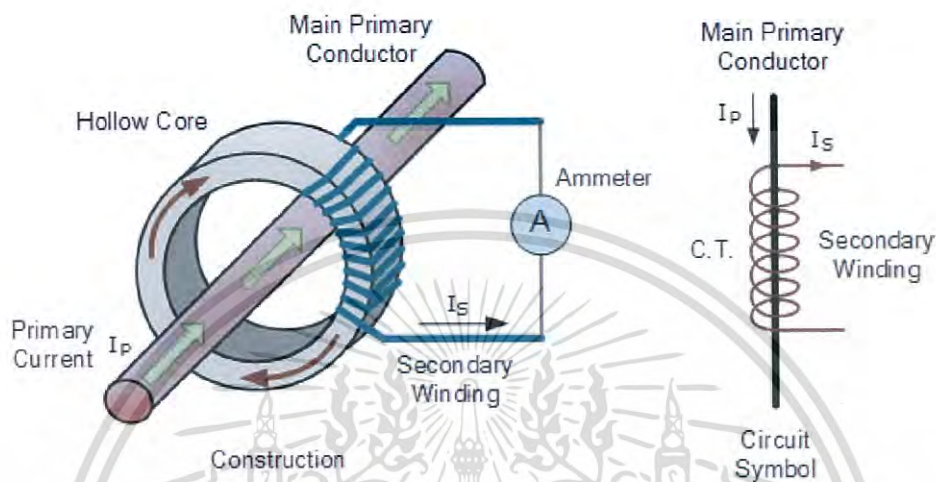
1. ระดับชั้น 0.05, 0.1 และ 0.2 เป็นระดับชั้นที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดหรือกล่าวได้ว่ามีความถูกต้องมากที่สุด จึงเหมาะสมสำหรับการใช้ในงานที่ต้องการความละเอียดและความถูกต้องสูง จึงมีราคาแพงที่สุด เช่น ห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์
2. ระดับชั้น 0.5 เป็นระดับชั้นที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำรองลงมาจากระดับชั้น 0.05, 0.1 และ 0.2 ถือได้ว่ามีความถูกต้องสูง จึงเหมาะสำหรับใช้ในงานไฟฟ้าทั่วไป เช่น เครื่องวัดไฟฟ้าแบบพกพา
3. ระดับชั้น 1.0 เป็นระดับชั้นที่มีความคลาดเคลื่อนรองลงมาจากระดับชั้น 0.5 ถือได้ว่ามีความถูกต้องในระดับปานกลาง จึงเหมาะสำหรับใช้ในงานไฟฟ้าทั่วไป
4. ระดับชั้น 1.5, 2.5 และ 5.0 เป็นระดับชั้นที่มีความคลาดเคลื่อนสูงสุด จึงเหมาะสำหรับ ใช้ในงานที่ไม่ต้องการความละเอียดและความถูกต้องสูงและราคาถูกที่สุด เช่น เครื่องวัดไฟฟ้าที่ติดตั้ง บนตู้ควบคุมไฟฟ้าพบในเครื่องมือที่ไม่ต้องการความละเอียดเที่ยงตรงของเครื่องวัดเท่าที่ควร

2.5 หลักการการเหนี่ยวนำของหม้อแปลงกระแส

หลักการทำงานของหม้อแปลงกระแสคือขดลวดปฐมภูมิต่ออนุกรมกับโหลดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นทางด้านขดลวดปฐมภูมิไปเหนี่ยวนำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้น ทางด้านขดลวดทุติยภูมิทำให้เข็มของของแอมมิเตอร์เกิดการบ่ายเบน ค่าที่อ่านได้ทางด้านขดลวดทุติยภูมิสามารถนำไปคำนวณได้



รูปที่ 2.2 Current Transformer

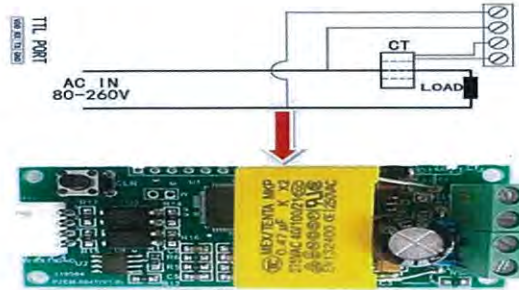
2.6 โมดูล PZEM-004t

PZEM-004t เป็นมิเตอร์วัดพลังงานที่สร้างโดยบริษัท PeaceFair อิเล็กทรอนิกส์ โดยสามารถวัดค่าทางไฟฟ้าได้ ได้แก่ แรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้าจริง พลังงาน และยังสามารถแจ้งเตือนได้เมื่อมีโหลดเกิน พร้อมทั้งสามารถตั้งล่วงหน้าและรีเซ็ตค่าใหม่ได้ เมื่อมีการปิดยังสามารถเก็บข้อมูลไว้ได้ มีความถี่การไซเคิลตั้งแต่ 45 – 65 Hz และมีระดับชั้นความแม่นยำในการวัด คือ 1.0

2.6.1 รูปแบบการแสดงผล

1. กำลังไฟฟ้า ช่วงทดสอบ 0 - 22kW โดยที่ระหว่างช่วง 0 - 10kW รูปแบบการแสดงผลเป็นแบบ 0.000 - 9.999 และช่วง 10 - 22kW เป็น 10.00 - 22.00
2. พลังงาน ช่วงทดสอบ 0 - 9999kWh โดยที่ระหว่างช่วง 0 - 10kWh รูปแบบการแสดงผลเป็นแบบ 0.000 - 9.999 ช่วง 10 - 100kWh เป็น 10.00 - 99.99 ช่วง 100 - 1000 kWh เป็น 100.0 - 999.9 และช่วง 1000 - 9999kWh ขึ้นไป เป็น 1000 - 9999
3. แรงดัน ช่วงทดสอบ 80 - 260 VAC มีรูปแบบการแสดงผลเป็นแบบ 110.0 - 220.0
4. กระแส ช่วงทดสอบ 0 - 100VAC มีรูปแบบการแสดงผลเป็นแบบ 00.00 - 99.99

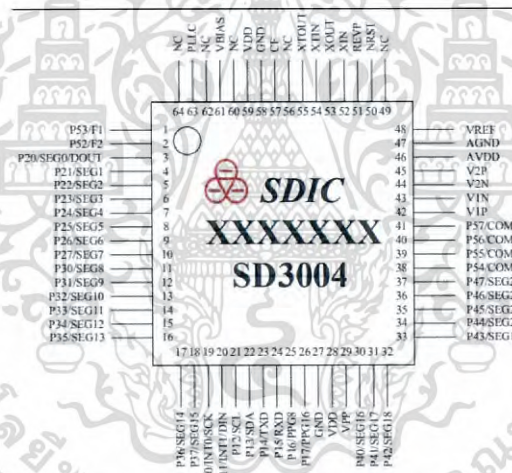
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 PZEM-004t

2.6.2 ชิป SD3004

SD3004 เป็นชิปวัดพลังงานไฟฟ้าที่มีความแม่นยำในการวัดพลังงานไฟฟ้าสูงที่สามารถวัดค่าแรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานของวงจรวัดพลังงาน 4.75 - 5.25 V



รูปที่ 2.4 แผนผังขาของชิป SD3004

2.7 Arduino

Arduino [7] เป็นชื่อของโครงการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR แบบ open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware (Arduino Board) และ Software (Arduino IDE) สำหรับสร้างต้นแบบของโปรเจกต์ที่เกี่ยวข้องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือระบบฝังตัว (Embedded System) โดย Arduino ถูกออกแบบมาเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน จึงเหมาะสมสำหรับผู้เริ่ม อีกทั้งยังสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดและประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย

Arduino Uno R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเนื่องจาก มีราคา

ไม่แพงนักใช้งานง่าย และอีกอย่าง Library ต่าง ๆ ที่พัฒนาขึ้นมาสนับสนุนจะอ้างอิงกับ Arduino Uno เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R3 เป็นหลัก ข้อดีอีกอย่างคือ ผู้ใช้งานสามารถซื้อไมโครคอนโทรลเลอร์มาเปลี่ยนเองได้กรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เสีย



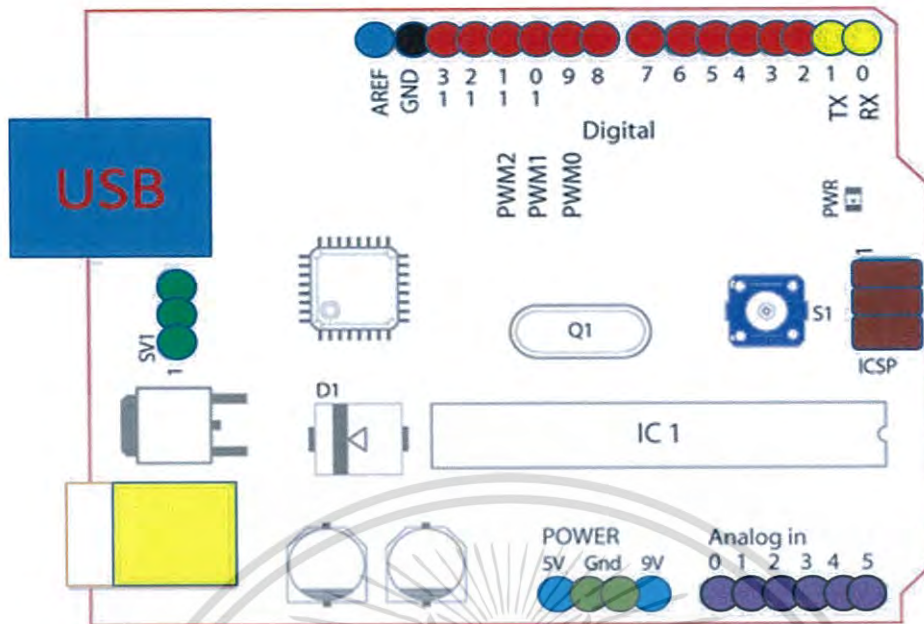
รูปที่ 2.5 Arduino Uno R3

Power ตัวบอร์ดสามารถรับไฟจากการเชื่อมต่อUSB หรือรับไฟจากแหล่งจ่ายไฟภายนอกได้ ซึ่งแหล่งจ่ายไฟภายนอกต้องผ่านตัวแปลงไฟจากกระแสสลับเป็นกระแสตรง หรือใช้แบตเตอรี่ ซึ่งมีช่องเสียบสายสำหรับตัวแปลงไฟ บอร์ดรับไฟจากแหล่งจ่ายไฟภายนอกได้ในช่วง 6-20 โวลต์แต่อย่างไรก็ตามแนะนำให้ใช้ไฟในช่วง 7-12 โวลต์ เพื่อความเสถียรภาพในการทำงานและความปลอดภัยของบอร์ด

Arduino Uno R3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ชิพ ATmega328 ทำงานที่ความถี่ 16 MHz หน่วยความจำแฟลช 32 KB แรม 2 KB

ขา Input และ Output Arduino Uno R3มีขาดิจิตอล 14 ขา สามารถรับค่าหรือส่งค่าออกก็ได้และมีขาแอนาล็อกอินพุต 6 ขา Serial UART 1 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แผนผังขาของบอร์ด Arduino Uno R3

- Analog Reference pin (ฟ้าเข้ม)
- Digital Ground (ดำ)
- Digital Pins 2-13 (แดง)
- Digital Pins 0-1/Serial In/Out – TX/RX (เหลือง)
- Reset Button – S1 (น้ำเงินเข้ม)
- In-circuit Serial Programmer (เลือดหมู)
- Analog In Pins 0-5 (ม่วง)
- Power and Ground Pins (power: ฟ้า, grounds: เขียวเข้ม)
- External Power Supply In (9-12VDC) (เหลือง)
- USB (สำหรับใช้โหลดโปรแกรมลงบอร์ดและใช้สื่อสารระหว่างArduinoและComputer หรือสามารถใช้จ่ายไปให้Arduinoได้) (น้ำเงิน)

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดทางเทคนิคของ Arduino Uno R3

| | |
|------------------------|------------|
| Microcontroller | ATmega 328 |
| Operating Voltage | 5V |
| Input Voltage (limits) | 6-20V |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|-----------------------------|--------|
| Input Voltage (recommended) | 7-12V |
| Digital I/O Pins | 14 |
| Analog Input Pins | 6 |
| DC Current per I/O Pin | 40 mA |
| DC Current for 3.3V Pin | 50 mA |
| Flash Memory | 32 KB |
| EEPROM | 1 KB |
| Clock Speed | 16 MHZ |

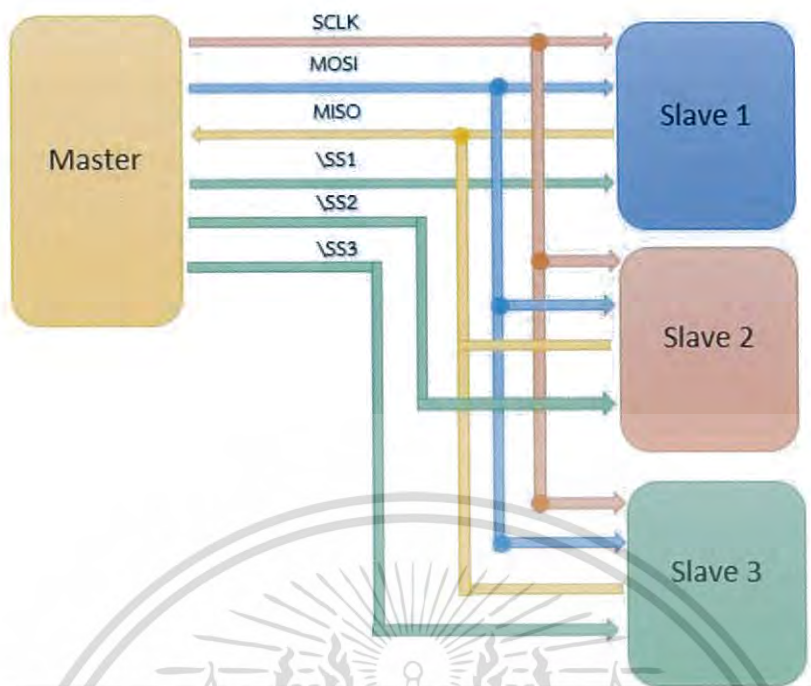
2.8 SPI

SPI หรือ Serial Peripheral Interface เป็นวิธีการสื่อสารอนุกรมแบบ Synchronous ซึ่งทำงานในรูปแบบที่ให้อุปกรณ์ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็น Master เป็นตัวควบคุมการรับส่งข้อมูลโดยในที่นี้คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์และอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็น Slave คืออุปกรณ์ที่รอรับคำสั่งจาก Master โดย Slave มีได้มากกว่า 1 ตัวสามารถส่งข้อมูลแบบ Full-duplex นั่นคือ สัญญาณสามารถส่งหากันได้ระหว่าง Master และ Slave ได้อย่างต่อเนื่อง รูปแบบข้อมูลการสื่อสารหรือ Protocol ของ SPI นี้ ไม่มีได้มาตรฐานกำหนดไว้ชัดเจน ว่าข้อมูลที่ส่งหากันนั้นต้องอยู่ในรูปแบบไหน เป็นการคิดรูปแบบข้อมูลการสื่อสารกันเอง หรือดูจาก Datasheet ของอุปกรณ์ยกตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้การสื่อสารแบบ SPI เช่น ไมโครแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล และ ไมโครแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก [8]



รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อการสื่อสารแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ Master – Slave โดยมีสายสัญญาณ 4 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การเชื่อมต่อการสื่อสารแบบ SPI ระหว่างอุปกรณ์ Master – Slave หลายตัว

SPI ใช้สายสัญญาณทั้งหมด 4 เส้นดังนี้

1. MOSI (Master Out Slave In) ใช้ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ Master ไปยังอุปกรณ์ Slave
2. MISO (Master In Slave Out) ใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ Slave
3. SCLK (Serial Clock) ใช้ส่งสัญญาณนาฬิกาจากอุปกรณ์ Master ไปยังอุปกรณ์ Slave เพื่อกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล
4. \SS (Slave Select) หรือ CS (Chip Select) ใช้ส่งสัญญาณ Low ไปยังอุปกรณ์ Slave ที่ต้องการรับส่งข้อมูล

สำหรับขา MOSI MISO SCLK แต่ละอุปกรณ์จะใช้งานสายทั้ง 3 นี้ร่วมกัน แต่สำหรับ \SS หรือ CS จะต้องใช้แยกกันในแต่ละอุปกรณ์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการสื่อสารกับอุปกรณ์ตัวใดจะต้องดึงสถานะขา \SS หรือ CS เป็น LOW จึงจะเริ่มการสื่อสารได้

ในการใช้งาน SPI จะต้องอ้างอิงจากอุปกรณ์ที่จะสื่อสารด้วย โดยอุปกรณ์แต่ละตัวจะใช้ SPI ในการสื่อสารต่างกัน และบางครั้งชื่อขาจะไม่ระบุโดยตรงว่าเป็น MOSI MISO แต่จะใช้ชื่อขาอื่น ๆ แทน ซึ่งจะต้องดูข้อมูลจากผู้ผลิตเป็นหลัก

2.9 NodeMCU Development Kit V1.0 (V2)

2.9.1 ความเป็นมาของ NodeMCU V2 ESP8266[9] การใช้งาน ESP8266 ในช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรกนั้นจะเป็นการนำเอา ESP ไปใช้ในลักษณะของโมดูล Serial to Wi-Fi ทำให้ Microcontroller ของ เราสามารถเชื่อมต่อกับระบบ Wi-Fi ได้อย่างง่ายดายผ่าน AT Command ต่อมาเริ่มมีการนำ ESP มาใช้งานในรูปแบบ Standalone มากขึ้น โดยเขียน Firmware ลงไปบน ESP8266 โดยตรง เพื่อให้ ESP สามารถรับค่าจาก Sensor ต่าง ๆ ประมวลผล และรับส่งข้อมูลได้ด้วยตัวมันเองเพียงลำพัง ซึ่งสามารถพัฒนาได้โดยใช้ SDK จากผู้ผลิต แต่การใช้งาน SDK ก็ไม่สะดวกกับการพัฒนามากนัก ต่อมาจึงมีการพัฒนามาใช้ Node MCU โดยใช้ ภาษา Lua ในการพัฒนา ซึ่งก็สามารถใช้งานได้ในระดับหนึ่ง

และในที่สุดวันนี้ ESP8266 ก็สามารถพัฒนาด้วย Platform Arduino ได้แล้ว และใช้ ArduinoIDE เป็น Tool ในการพัฒนาและโปรแกรมทำให้ขั้นตอนในการติดตั้ง Environment ต่างๆง่ายขึ้นและยังใช้รูปแบบการเขียนโปรแกรมเช่นเดียวกับ Arduino ที่คุ้นเคยกันเป็นอย่างดี

2.9.2 NodeMCU V2 ESP8266 NodeMCU Development Kit V2 เป็นตัวที่พัฒนาจาก NodeMCU Version เดิมโดยเป็นโมดูลที่ประกอบด้วย ESP8266-12E มีเสาอากาศแบบ PCB Antenna เชื่อมต่อเฮดเดอร์สำหรับขาสัญญาณต่าง ๆ ได้แก่ GPIO, PWM, I2C, 1-wire, ADC และ มี SPI เพิ่มขึ้นมาจาก Version เดิม มีส่วนของ USB-to-TTL และพอร์ต micro USB ซึ่งใช้ชิพ USB to Serial ของ silicon lab cp2102 เชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อพัฒนาโปรแกรมสามารถติดตั้งเฟิร์มแวร์ NodeMCU ได้ และยังมีขนาดของ PCB ที่เล็กลงสามารถใช้งานกับ breadboard ได้

ผู้ใช้สามารถเลือกพัฒนาด้วยสคริปต์ Lua โดยใช้เฟิร์มแวร์ NodeMCU หรือใช้เป็นชุดพัฒนาด้วยโมดูล ESP8266 ก็ได้ซึ่งสามารถเขียนด้วย Arduino IDE ได้ โมดูลมี GPIO ให้ใช้ถึง 10 พอร์ต สามารถนำมาพัฒนาโปรเจกต์ทางด้าน Internet of Things (IoT) เชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ตามต้องการ

โมดูล ESP8266 มีหลายรุ่นให้เลือกใช้งานสำหรับผู้สนใจทดลองใช้งาน ชิพ ESP8266 SoC บอร์ด NodeMCU v2 ("NodeMCU-DevKit 1.0") เป็นอีกตัวเลือกหนึ่ง และมีจุดเด่นหลายข้อ เมื่อเปรียบเทียบกับบอร์ดอื่น ๆ และซึ่งมีหลายจุดที่แตกต่างจาก NodeMCU v1 ("NodeMCU-DevKit")

2.9.3 ข้อมูลสำคัญเชิงเทคนิคของบอร์ด NodeMCU v2

2.9.3.1 ใช้โมดูล ESP-12E (ESP8266 SoC chip) ของบริษัท Ai Thinker (ในขณะที่ NodeMCU v1 ใช้โมดูล ESP12) มีขาเพิ่มมาอีก 6 ขา เมื่อเปรียบเทียบกับ ESP-12

2.9.3.2. ใช้ชิพ Flash ความจุ 32 Mbits (4 Mbytes)

2.9.3.3 มีวงจรควบคุมแรงดัน 3.3V (@800mA max.) บนบอร์ด ใช้ไอซีที่จ่ายกระแสได้มากกว่าบอร์ด NodeMCU v1

2.9.3.4 ใช้ชิพ CP2102 ของ Silabs ทำหน้าที่เป็นส่วนเชื่อมต่อ USB-to-Serial (แต่ NodeMCU v1 ใช้ชิพ CH340G)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3.5 มีขาสำหรับ SPI สำหรับต่อกับการ์ด SD (เพิ่มจากเดิมที่มีขาสำหรับ HSPI)

2.9.3.6 มีขา GPIO3/RXD0 และ GPIO1/TXD0 ที่ต่อกับขา TXD และ RXD ของชิป CP2102 ตามลำดับ

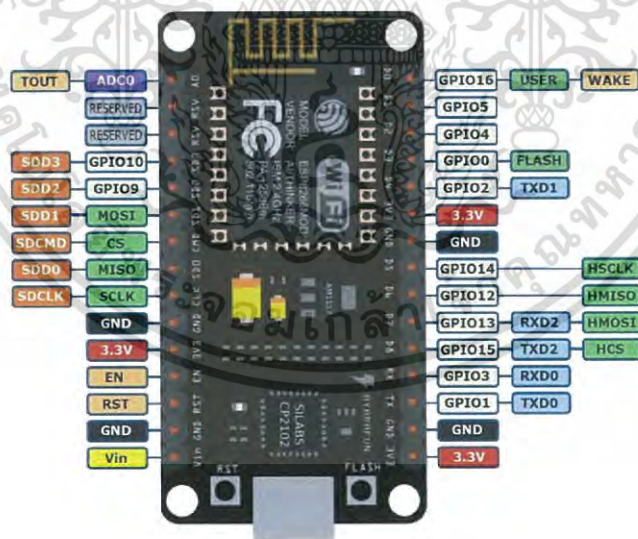
2.9.3.7 มีขา GPIO13/RXD2 และ GPIO15/TXD2 (ใช้เป็นพอร์ต Serial เพิ่มอีกหนึ่งชุด)

2.9.3.8 ใช้คอนเนกเตอร์แบบ micro-USB สำหรับจ่ายแรงดันไฟเลี้ยง (VUSB) เท่ากับ +5V และสำหรับดาวน์โหลดเฟิร์มแวร์ (แรงดัน VUSB ต่อผ่าน Schottky Diode 1N5819 ไปยัง VDD5V)

2.9.3.9 สามารถจ่ายแรงดันไฟเลี้ยง +5V จากภายนอกได้ (ต่อเข้ากับขา VDD5V)

2.9.3.10 ปุ่มกด RST (รีเซ็ตการทำงาน) และ Flash (สำหรับโปรแกรมเฟิร์มแวร์ใหม่)

2.8.3.11 มีขา A0 รับอินพุตแรงดันแบบแอนะล็อกสำหรับวงจร ADC (ขนาด 10 บิต) ที่อยู่ภายในชิปผ่านวงจรแบ่งแรงดันด้วยตัวต้านทาน 100k / 220k (ลดแรงดันอินพุตจาก 0..3.3V ลงมาให้อยู่ในช่วง 0V..1V)



รูปที่ 2.9 แผนผังขาของบอร์ด NodeMCU V2

2.10 เอสดี การ์ด (SD Card)

SD card หรือ Secure Digital เป็นการ์ดหน่วยความจำมาตรฐานโดยสมาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสดีการ์ดสำหรับใช้กับอุปกรณ์พกพา ซึ่งมีต้นกำเนิดจากการ์ดความจำรุ่นก่อนหน้าคือ มัลติมีเดียการ์ด (Multimedia card-MMC) แต่มีขนาดที่หนากว่า มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงกว่า มักมีปุ่มป้องกันการเขียนข้อมูลทับ และมีคุณสมบัติควบคุมสิทธิ์การใช้แบบดิจิทัล แต่ไม่มีการใช้คุณสมบัตินี้อย่างแพร่หลายมากนัก ขนาดมาตรฐานของเอสดีการ์ดคือ 32 มิลลิเมตร × 24 มิลลิเมตร × 2.1 มิลลิเมตร แต่สามารถลดความหนาให้เหลือ 1.4 มิลลิเมตร เท่ากับมัลติมีเดียการ์ดได้ สำหรับ SD card มันก็คือ NAND flash memory ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อเป็นหน่วยเก็บข้อมูลขนาดกลาง สำหรับกล้องถ่ายรูปดิจิทัล โทรศัพท์มือถือ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาความจุที่มากขึ้นมาก

SD Card แบ่งตามขนาดของความจุข้อมูล ดังนี้

1. SD Standard Capacity (SD, มากที่สุด 16 GB)
2. SD High Capacity (SDHC, มากที่สุด 32 GB)
3. SD Extended Capacity (SDXC, มากที่สุด 2 TB)

ในแต่ละความจุ มีการแยกความเร็วแตกต่างกันในการเขียนและการอ่านข้อมูล เช่น Class 2, 4, 6, 10 โดยการใช้งานจะต้องเลือกให้เหมาะสมต่างกันไป และหากมีความเร็วในการทำงานสูงจะมีราคาสูงขึ้นด้วย

Class และ X คือ?

เลข Class/X 2, 4, 6, 10 ส่วนใหญ่จะมีอยู่ที่ตัวเมมโมรี่หรือตรงกล่อง ซึ่งค่านี้จะบอกว่าการ์ดที่เราจะซื้อนั้น สามารถเขียนข้อมูลได้ช้าที่สุด ตามตัวเลขนั้น โดยหน่วยจะเป็น MB/s เช่น Class 4 ก็จะมีความเร็วในการเขียนประมาณ 4 MB/s , Class 10 ก็ 10 MB/s เป็นต้น ถ้าเทียบกับค่า x จะดูได้ตามตาราง ส่วนความเร็วของการ์ดที่ใช้ในงาน วีดีโอระดับ Full HD ควรใช้การ์ดที่มีความสามารถในการเขียนตั้งแต่ 5.5 mb/s หรือ Class 6 ขึ้นไป ซึ่งระดับของคลาสยิ่งสูง ยิ่งทำให้ได้ความเร็วในการทำงานที่สูงขึ้นด้วย

ราคาและคุณภาพของ SD Card

ความเห็นอย่างแพร่หลายจากผู้ใช้ทั่วไปลงความเห็นไว้ว่า ราคาที่ต่างกันหากเทียบกับความจุและความเร็วในระดับเดียวกันประกออบกับความน่าเชื่อถือของบริษัทต่างก็มีผลต่ออายุการใช้งาน รวมถึงความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลด้วย

SD Card ในปัจจุบัน มีความจุรองรับที่ค่อนข้างมาก ในด้านของความจุของ SD card นั้นไม่มีผลใด ๆ ต่อการทำงานนอกจากการได้พื้นที่การใส่ข้อมูลเพิ่มขึ้น แต่ก็ต้องจ่ายเงินเพิ่มขึ้นด้วย ในปัจจุบันมีการพัฒนาเรื่องความเร็วในการทำงานของ SD Card โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อเราไปซื้อตามร้านจะมี SD card แบบความเร็วสูงให้เลือกในราคาที่สูงกว่า

เพิ่มเติม

หน่วยความจำถาวร (อังกฤษ: Non-volatile memory) คือหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ที่สามารถเก็บรักษาข้อมูลได้อยู่โดยไม่ต้องอาศัยไฟฟ้า ตัวอย่างหน่วยความจำถาวร เช่น รม, แฟลช ยังรวมถึงหน่วยเก็บข้อมูลด้วยแม่เหล็ก เช่น จานบันทึกแบบแข็ง (hard disks), แผ่นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึก (floppy disks) และแถบแม่เหล็ก (magnetic tape), หน่วยเก็บข้อมูลด้วยแสง เช่น แผ่น ซีดี และหน่วยเก็บข้อมูลยุคเก่า เช่น บัตรเจาะรู



รูปที่ 2.10 SD Card

2.11 แนวทางการแก้ไขปัญหาด้านพลังงาน

ถ้าหากผู้ใช้เครื่องวัดมีความรู้ในการจัดการพลังงานก็จะสามารถนำไปปรับใช้ในการแก้ไขปัญหามาจากปัญหาที่เครื่องวัดตรวจพบทำให้สามารถใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

2.11.1 การคำนวณค่าไฟ

โดยการคิดอัตราค่าไฟฟ้าจะจำแนกตามกิจการไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง โดยจะพิจารณาเฉพาะกิจการที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจ SME ดังนี้

2.11.1.1 ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับบ้านอยู่อาศัย อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ หรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมี ความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

1.) อัตราปกติ

ตารางที่ 2.2 อัตราการคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติ ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

| ระดับแรงดัน/การใช้ไฟฟ้า | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | ค่าบริการ(บาท/หน่วย) |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------------|
| 2.1.1 แรงดัน 12 - 24 กิโลโวลต์ | 3.9086 | 312.24 |
| 2.1.2 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์ | | 46.16 |
| หน่วยที่ 0 – 150 | 3.2484 | |
| หน่วยที่ 151 – 400 | 4.2218 | |
| 401 เป็นต้นไป | 4.4217 | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff: TOU)

ตารางที่ 2.3 อัตราการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

| ระดับแรงดัน/การใช้ไฟฟ้า | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าบริการ(บาท/หน่วย) |
|----------------------------------|--------------------------------|----------|----------------------|
| | On Peak | Off Peak | |
| 2.1.1 แรงดัน 12 - 24 กิโลโวลท์ | 5.1135 | 2.6037 | 312.24 |
| 2.1.2 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลท์ | 5.7982 | 2.6369 | 46.16 |

2.11.1.2 ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง ลักษณะการใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจอุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

1.) อัตราปกติ

ตารางที่ 2.4 อัตราการคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติ ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

| ระดับแรงดัน/การใช้ไฟฟ้า | ค่าความต้องการ พลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | ค่าบริการ (บาท/หน่วย) |
|-------------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------|
| 3.1.1 แรงดัน 69 กิโลโวลท์ ขึ้นไป | 175.70 | 3.1355 | 312.24 |
| 3.1.2 แรงดัน 12 - 24 กิโลโวลท์ | 192.26 | 3.1729 | 312.24 |
| 3.1.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลท์ | 221.50 | 3.2009 | 312.24 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff: TOU)

ตารางที่ 2.5 อัตราการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

| ระดับแรงดัน/การใช้ไฟฟ้า | ค่าความต้องการ พลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าบริการ (บาท/หน่วย) |
|-------------------------------------|---|----------|--------------------------------|----------|--------------------------|
| | On Peak | Off Peak | Off Peak | Off Peak | |
| 3.2.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ ขึ้นไป | 74.41 | 0 | 4.1283 | 2.6107 | 312.24 |
| 3.2.2 แรงดัน 12 - 24 กิโล โวลต์ | 132.93 | 0 | 4.2097 | 2.6295 | 312.24 |
| 3.2.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์ | 210.00 | 0 | 4.3555 | 2.6627 | 312.24 |

2.11.1.3 ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ ลักษณะการใช้ สำหรับการ
ใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กร
ปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำ
การขององค์กรระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15
นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือ มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า
250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Tariff: TOD)

ตารางที่ 2.6 อัตราการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวัน ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

| ระดับแรงดัน/การใช้ไฟฟ้า | ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | ค่าบริการ (บาท/หน่วย) |
|----------------------------------|---|--------------|----------|--------------------------------|--------------------------|
| | On Peak | Partial Peak | Off Peak | ทุกช่วงเวลา | |
| 3.2.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ ขึ้นไป | 224.30 | 29.91 | 0 | 3.155 | 312.24 |
| 3.2.2 แรงดัน 12 - 24 กิโลโวลต์ | 285.05 | 58.88 | 0 | 3.1729 | 312.24 |
| 3.2.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์ | 332.71 | 68.22 | 0 | 3.2009 | 312.24 |

2.) อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff: TOU)

ตารางที่ 2.7 อัตราการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

| ระดับแรงดัน/การใช้ไฟฟ้า | ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย) | | ค่าบริการ (บาท/หน่วย) |
|----------------------------------|---|----------|--------------------------------|----------|--------------------------|
| | On Peak | Off Peak | Off Peak | Off Peak | |
| 3.2.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ ขึ้นไป | 74.41 | 0 | 4.1283 | 2.6107 | 312.24 |
| 3.2.2 แรงดัน 12 - 24 กิโลโวลต์ | 132.93 | 0 | 4.2097 | 2.6295 | 312.24 |
| 3.2.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์ | 210.00 | 0 | 4.3555 | 2.6627 | 312.24 |

หมายเหตุ 1. อัตราค่าไฟฟ้าข้างต้น เป็นอัตราที่เรียกเก็บรายเดือน ที่ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม

2. ค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บในแต่ละเดือน ประกอบด้วยค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าฐาน และค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft) โดยมีการเรียกเก็บ Ft ทุกเดือนแยกเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้า ทั้งนี้ Ft ที่เรียกเก็บจะปรับเปลี่ยนทุก ๆ 4 เดือน โดยกำหนดให้ Ft เป็นอัตราคงที่ต่อหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้า

3. โดย On Peak คือ เวลา 09.00 - 22.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์ และ Off Peak คือ เวลา 22.00 - 09.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์ และ เวลา 00.00 - 24.00 น. วันเสาร์ - วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติวันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันพืชมงคลและวันหยุดชดเชย)

4. ความต้องการพลังงานไฟฟ้า คือ ความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือนเศษของกิโลวัตต์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไป คิดเป็น 1 กิโลวัตต์

5. ค่าไฟฟ้าต่ำสุด คือ ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

6. ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้รีแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรากิโลวาร์ละ 56.07 บาทสำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้นเศษของกิโลวาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ ให้ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

2.11.2 การปรับปรุงพาวเวอร์แฟคเตอร์

2.11.2.1 สาเหตุที่ต้องปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้น อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำมีผลทำให้ระบบการจ่ายไฟฟ้ามีคุณภาพตามไปด้วย เนื่องจากระบบที่รับจากกำลังไฟฟ้าจริงในระบบไฟฟ้าจะต่ำกว่า ซึ่งทำให้การไฟฟ้าจำเป็นต้องเพิ่มขนาดของอุปกรณ์จำหน่ายและอุปกรณ์ส่งไฟฟ้าให้สูงขึ้น เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณพลังงานไฟฟ้าส่วนที่ไม่จำเป็นหรือพลังงานไฟฟ้าเสมือนที่เกิดขึ้นด้วย อันไม่เป็นผลดีต่อประเทศชาติโดยรวม

2.11.2.2 เราจะปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นได้อย่างไร เราสามารถทำให้มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นได้ โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor) ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้าและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการสร้างสนามแม่เหล็กที่ก่อให้เกิดกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ เช่น มอเตอร์ เข้าด้วยกัน กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่จ่ายจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหรือการไฟฟ้าจะลดลงหรือหมดไปขึ้นอยู่กับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยตัวเก็บประจุไฟฟ้านั้น

2.11.2.3 ประโยชน์ของการปรับค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้นต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

การปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียและเพิ่มความสามารถในการรับโหลดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้เพิ่มขึ้น ทั้งของผู้ใช้ไฟฟ้า ระบบจำหน่าย ระบบส่งไฟฟ้า และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นการประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าและของประเทศชาติโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

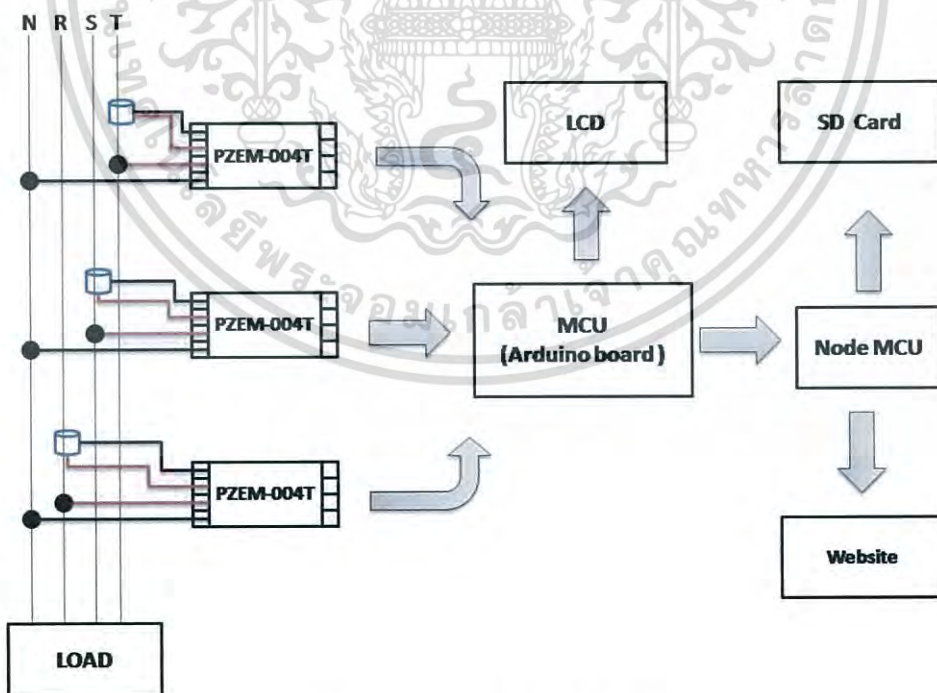
การออกแบบและประกอบสร้าง

3.1 รูปแบบการทำงาน

รูปแบบการวัดไฟฟ้าระบบไฟฟ้าสามเฟสจากโหนด จะเลือกใช้การวัดและคำนวณแบบต่อเฟสโดยการใช้โมดูล PZEM-004T และ Arduino Uno R3 ในการคำนวณปริมาณทางไฟฟ้าที่รับมาจากโหนดโดยผ่านตัวลดทอนระดับสัญญาณภายในโมดูลคือ Current Transformer และ Potential Transformer เพื่อลดระดับสัญญาณให้เหมาะสมในการวัดของตัวโมดูลนี้ และกำหนดให้มีการจัดเก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือน เพื่อใช้ในการจัดการปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และยังสามารถส่งข้อมูลที่ได้ออกจากการวัดและการคำนวณกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไร้สายแบบ WIFI เพื่อไปแสดงผลบนเว็บไซต์ โดยทั้งนี้ข้อมูลของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดจะถูกส่งเข้าไปจัดเก็บในหน่วยความจำของ SD Card จึงทำให้มีข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมเพื่อประโยชน์ในการจัดการพลังงานในอนาคต

3.2 การออกแบบโครงสร้างของระบบติดตามการใช้ไฟฟ้า

ระบบการติดตามการใช้ไฟฟ้าโดยการสร้างเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าสามเฟส มีโครงสร้างดังรูปที่ 3.1 โดยใช้โมดูลวัดพลังงานไฟฟ้า 3 ตัว ใช้สำหรับวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส โดยโมดูลแต่ละตัวจะคำนวณพลังงานต่อ 1 เฟส



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องวัดไฟฟ้าสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 โมดูลวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า PZEM-004

โมดูลที่ใช้ในการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่าง ๆ และคำนวณค่าทางไฟฟ้าในระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าคือ PZEM-004T เป็นโมดูลที่ใช้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของ Peace Fair อิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้สำหรับคำนวณปริมาณทางไฟฟ้าหนึ่งเฟสโดยสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 80 - 260 VAC และวัดค่ากระแสไฟฟ้าในช่วง 0 - 100 A ทำงานได้ที่ความถี่ 45 - 65 Hz โดยได้นำโมดูลมาประยุกต์ใช้กับการคำนวณไฟฟ้าแบบสามเฟส ซึ่งคุณสมบัติเบื้องต้นของโมดูลวัดค่าพลังงานไฟฟ้ามีดังนี้

1. วัดค่ากระแสไฟฟ้า I_{RMS}
2. วัดค่าแรงดันไฟฟ้า V_{RMS}
3. คำนวณกำลังไฟฟ้าจริง (Real Energy)
4. วัดค่าพลังงานไฟฟ้า (Kilowatt-hour)



รูปที่ 3.2 PZEM-004T AC Digital Power Energy Meter Module

3.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกนำมาใช้งานในการสร้างระบบติดตามการใช้ไฟฟ้าคือ Arduino Uno R3 เป็นบอร์ดที่นิยมใช้งานมาก เนื่องจากขนาดและราคาที่เหมาะสม ถ้ามีการพัฒนา Library ต่าง ๆ จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก ในโครงการนี้ Arduino Uno R3 ถูกนำมาใช้คำนวณค่าปริมาณทางไฟฟ้าเพิ่มเติมจากค่าที่โมดูลไม่สามารถวัดได้ ได้แก่

1. คำนวณกำลังไฟฟ้าเสมือน
 2. คำนวณกำลังไฟฟ้าปรากฏ
 3. คำนวณตัวประกอบกำลัง
- และเขียนคำสั่งแสดงผลทางจอ LCD



รูปที่ 3.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno R3

3.2.3 ไฟเลี้ยงของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

ใช้ Power Supply ขนาด 220Vac/9Vdc ตัวอย่างดังรูปที่ 3.4

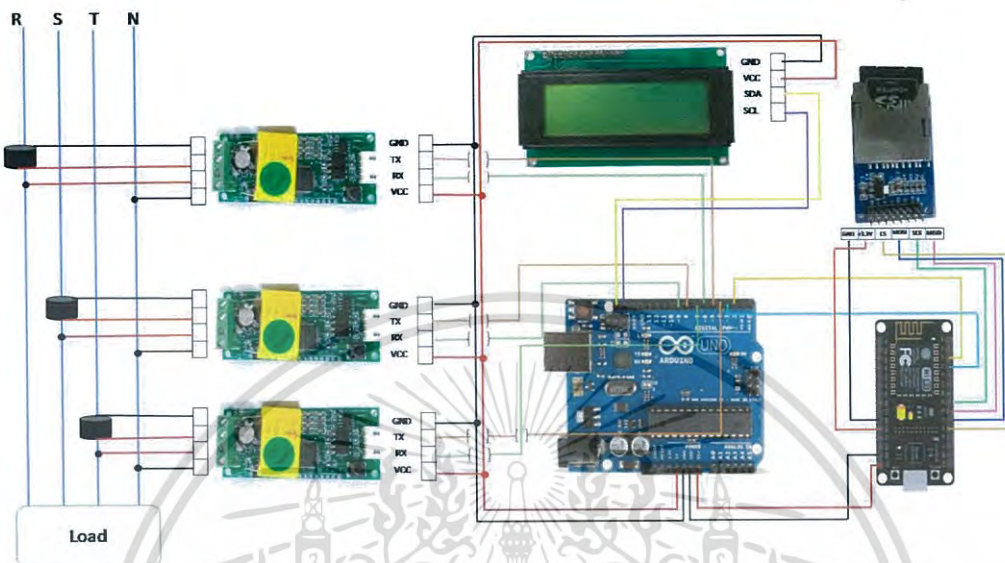


รูปที่ 3.4 Power Supply ขนาด 9 Vdc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

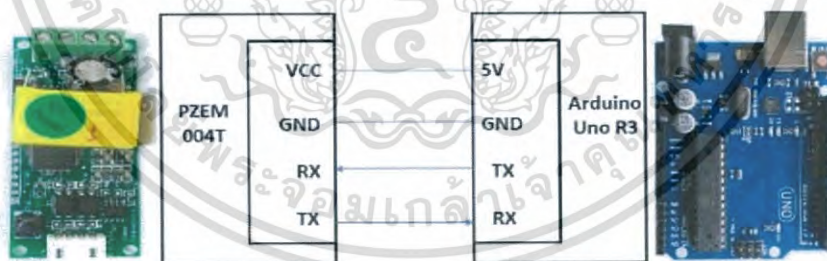
3.2.4 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ

ในรูปที่ 3.5 แสดงรายละเอียดการเชื่อมต่อของเครื่องวัดที่ได้ทำการออกแบบ



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อของเครื่องวัด

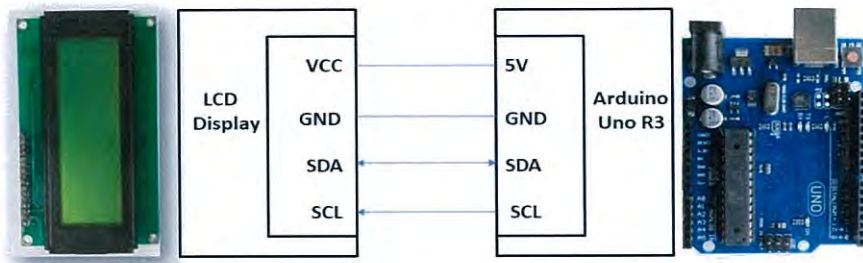
1. การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลคำนวณ PZEM-004T และบอร์ด Arduino UNO R3 โดยการใช้การเชื่อมต่อแบบ TTL ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูลคำนวณ PZEM-004t และบอร์ด Arduino UNO R3

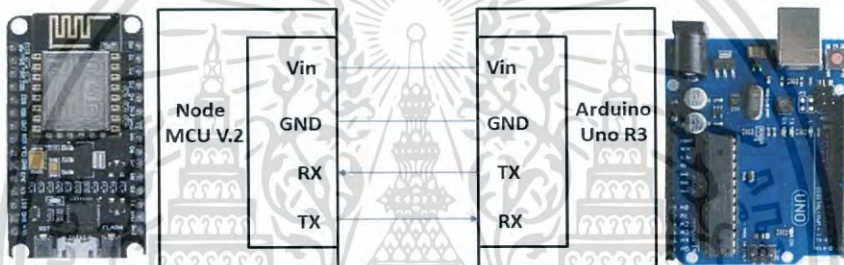
2. การเชื่อมต่อระหว่างจอแสดงผล LCD กับบอร์ด Arduino UNO R3 เพื่อแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้และผ่านการคำนวณแล้ว โดยการใช้การเชื่อมต่อแบบ I²C ดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



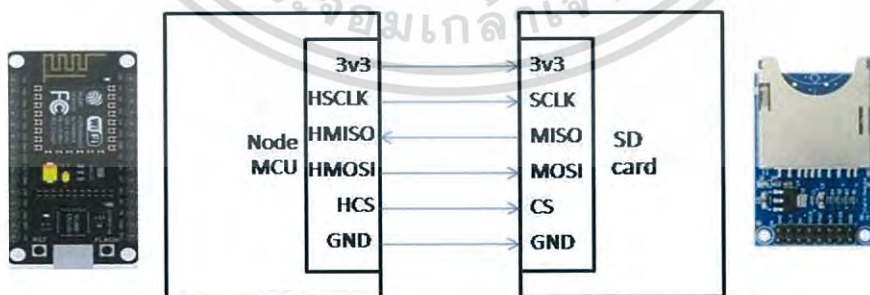
รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่อระหว่างจอแสดงผล LCD กับบอร์ด Arduino UNO R3

3. การเชื่อมต่อระหว่าง Node MCU กับบอร์ด Arduino UNO R3 ผ่านการเชื่อมต่อแบบ TTL เพื่อส่งข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลในฝั่ง Arduino แล้วไปยัง Node MCU เพื่อส่งข้อมูลทั้งหมดขึ้นบนระบบอินเทอร์เน็ตและบันทึกค่าลงใน SD Card ด้วย ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.8 การเชื่อมต่อระหว่าง Node MCU กับบอร์ด Arduino UNO R3

4. การเชื่อมต่อระหว่าง Node MCU กับ SD card ผ่านการเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อบันทึกข้อมูลลง SD Card ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.9 การเชื่อมต่อระหว่าง Node MCU กับบอร์ด SD Card

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การออกแบบในส่วนของซอฟต์แวร์

การเขียนคำสั่งให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงานระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบติดตามการใช้ไฟฟ้าโดยใช้การเขียนคำสั่งลงบนโปรแกรม Arduino IDE แล้วอัปโหลดลงบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะแยกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

1. ส่วนของการรับค่าที่วัดได้มาจากโมดูล PZEM-004T แล้วนำมาคำนวณเพื่อให้ค่าที่วัดได้มีความถูกต้องมากที่สุด และทำการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power) ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power factor)
2. ส่วนของการแสดงผลไปที่จอแอลซีดี เมื่อมีการคำนวณค่าต่าง ๆ เรียบร้อยแล้วจะส่งค่าจาก Arduino Uno R3 ไปแสดงผลบนจอ LCD โดยจะแสดงวงไปเรื่อย ๆ ทีละเฟส
3. ส่วนของการเชื่อมต่อกับ Node MCU ซึ่งจะต้องเขียนส่งค่าที่คำนวณได้ในฝั่งของ Arduino Uno R3 ไปยัง Node MCU
4. ส่วนของการจัดเก็บข้อมูลลงบน SD card เมื่อได้รับค่าที่คำนวณได้จาก Arduino Uno R3 แล้ว จะจัดเก็บข้อมูลลงใน SD Card
5. ส่วนของการส่งค่าไปแสดงผลบนเว็บไซต์ นอกจากจะเก็บค่าลงใน SD Card แล้ว ยังมีการส่งค่าไปเก็บในระบบฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตและแสดงผลบนเว็บไซต์อีกด้วยโดยใช้ระบบการเชื่อมต่อแบบ Wi-Fi ของ Node MCU

3.4 หลักการทำงานของระบบติดตามการใช้ไฟฟ้า

การทำงานของโปรแกรมเครื่องวัดไฟฟ้า 3 เฟส สามารถแบ่งการทำงานเป็นกระบวนการต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.4.1 กระบวนการที่หนึ่ง คือ กระบวนการวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่รับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าเป็นค่าอนาล็อกและส่งไปที่โมดูล PZEM-004T

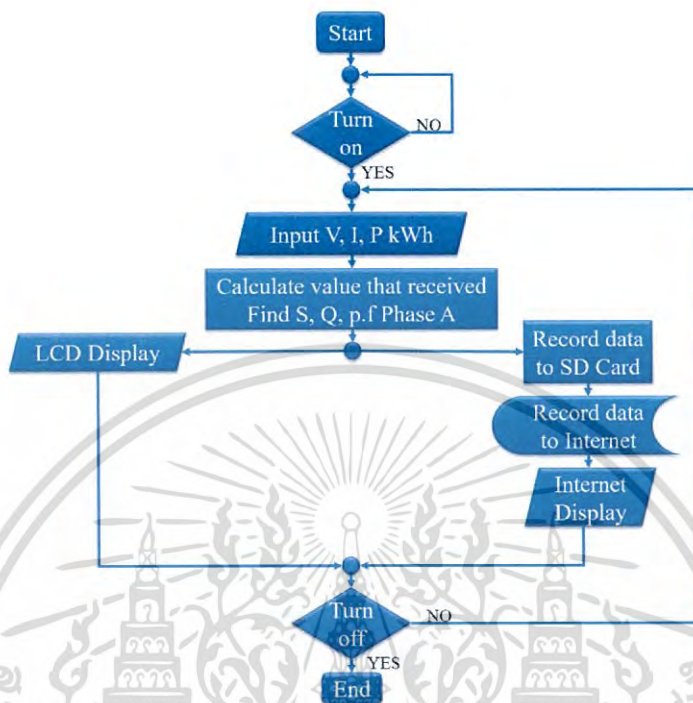
3.4.2 กระบวนการที่สอง คือ กระบวนการประมวลผลหาค่ากำลังไฟฟ้าต่าง ๆ โดยในส่วนนี้จะรับค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้ามาจากโมดูล PZEM-004T แล้วทำการประมวลผลหาค่ากำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้มีความถูกต้องในการวัดมากที่สุด

3.4.3 กระบวนการที่สาม คือ กระบวนการแสดงผลทางจอแสดงผลแอลซีดี ในส่วนนี้จะทำการแสดงผลของค่าที่ได้ทำการคำนวณและเปรียบเทียบเรียบร้อยแล้วมาแสดงผลทางจอแสดงผลแอลซีดี

3.4.4 กระบวนการที่สี่ คือ การบันทึกข้อมูลลงในการ์ดหน่วยความจำ (SD Card) ในส่วนนี้จะทำการบันทึกค่าพลังงานลงไปยังซึ่งจะมีส่วนของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าเสมือน ตัวประกอบกำลัง และพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

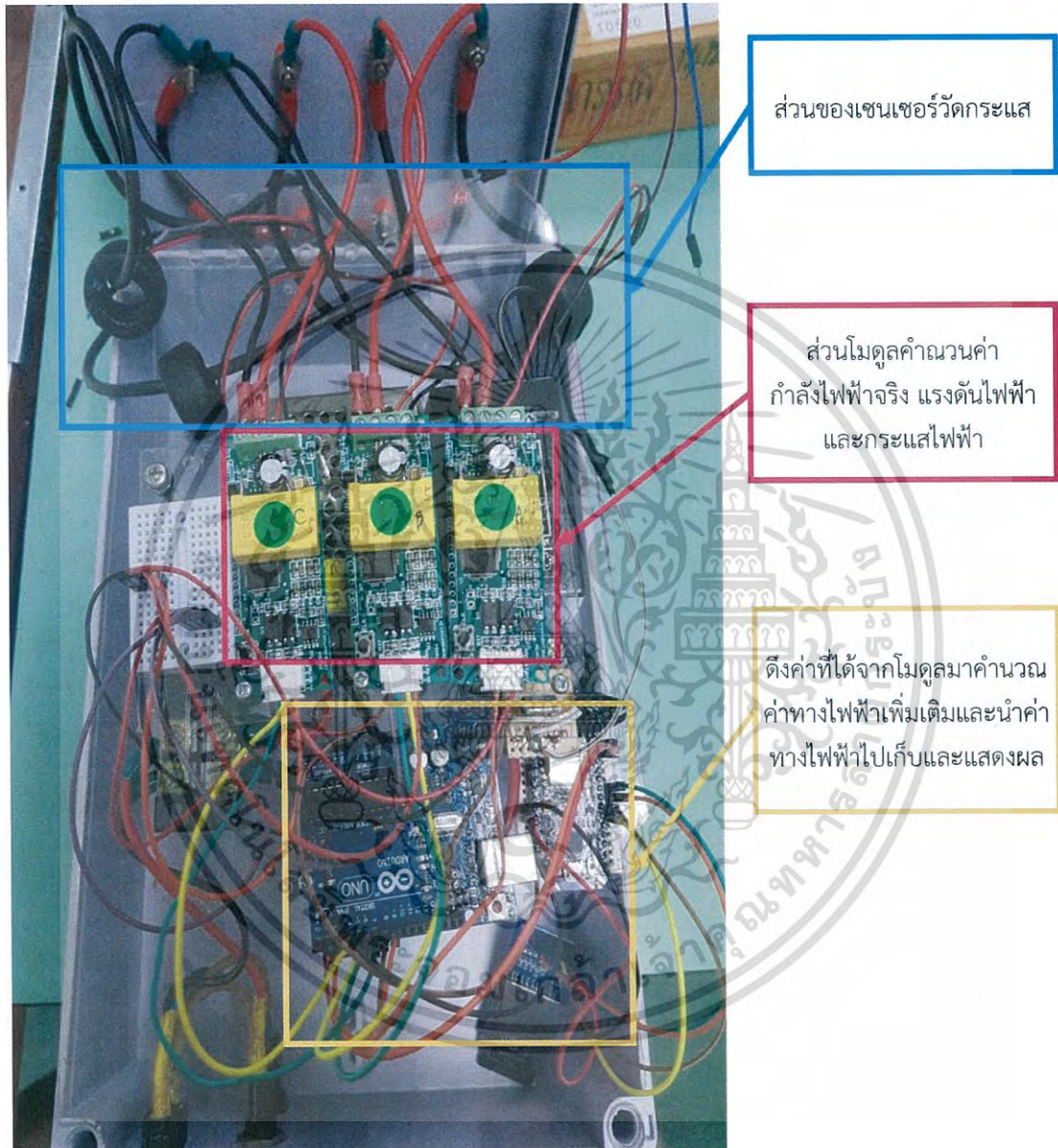
3.4.5 กระบวนการที่ห้า คือ การส่งข้อมูลที่ทำการคำนวณและเปรียบเทียบเรียบร้อยแล้วจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ไปแสดงผลที่เว็บไซต์ โดยระบบ Wi-Fi (Node MCU)



รูปที่ 3.10 Flowchart การทำงานของระบบติดตามการใช้ไฟฟ้าสามเฟส

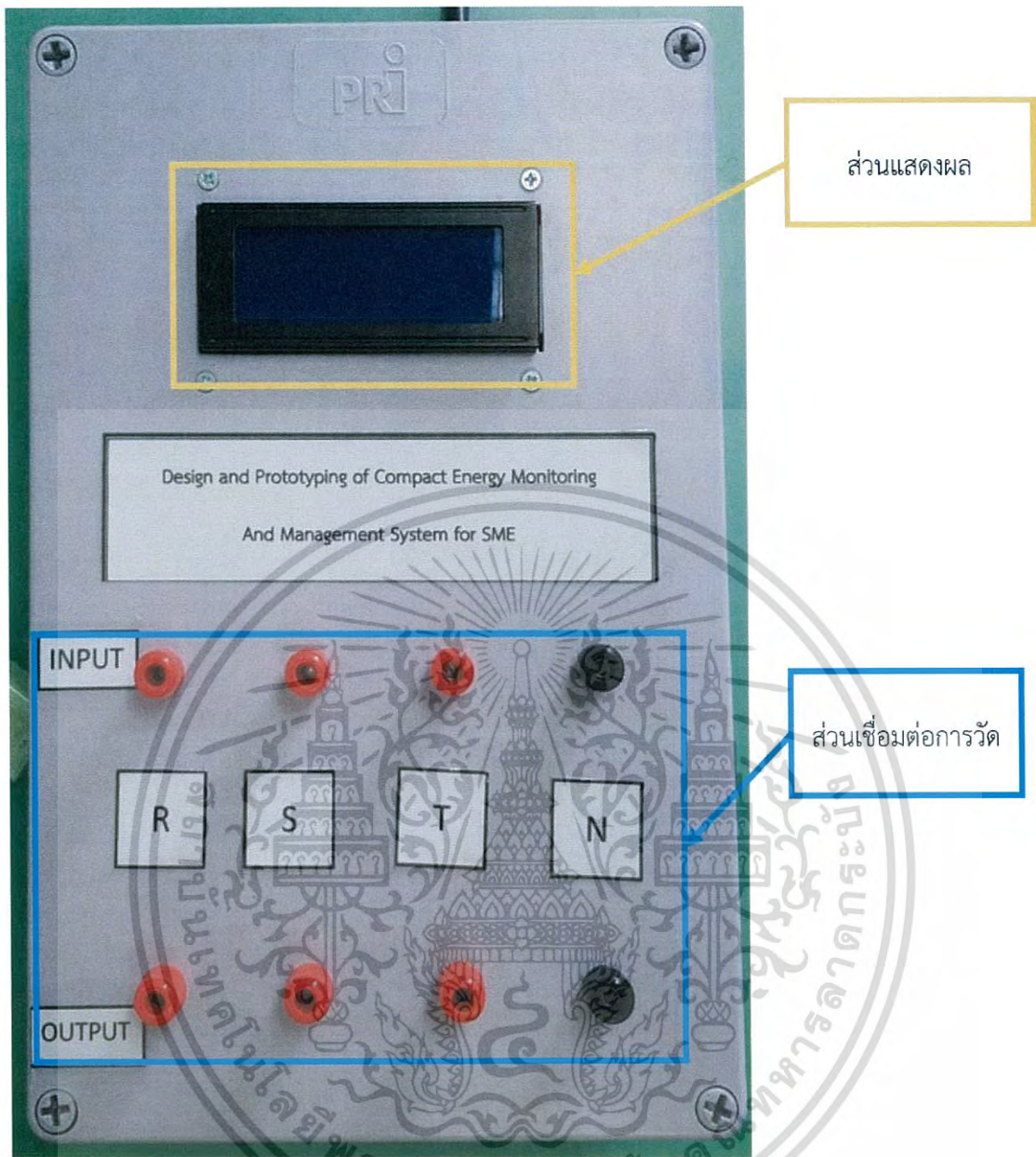
3.5 การประกอบสร้างเครื่องวัด

จากการออกแบบเครื่องมือวัดดังกล่าว ถูกนำมาประกอบสร้างได้ดังรูปที่ 3.10 และ 3.11



รูปที่ 3.11 การจัดอุปกรณ์ภายในกล่องเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 ลักษณะภายนอกของกล่องเครื่องมือวัด

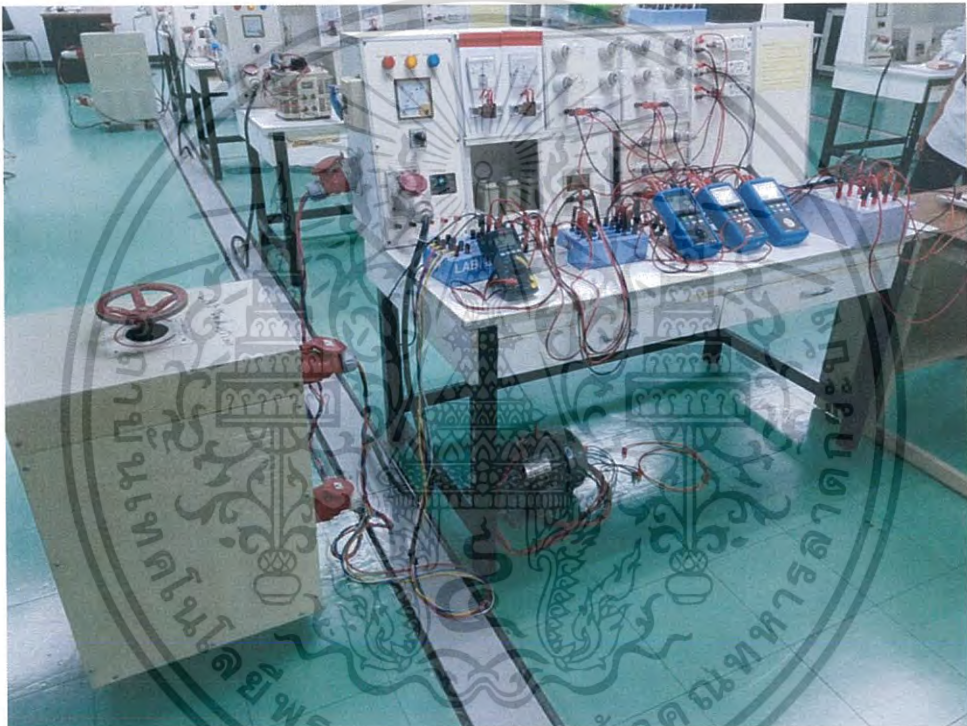
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบเครื่องมือวัด

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความแม่นยำและทดสอบหาค่าความเที่ยงตรงของการวัดของเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟสนี้ จะใช้เครื่องวัด Power meter Px110-single phase เป็นอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิงการวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าต่าง ๆ โดยจะทำการทดสอบเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดจากโหลด RL โหลดมอเตอร์

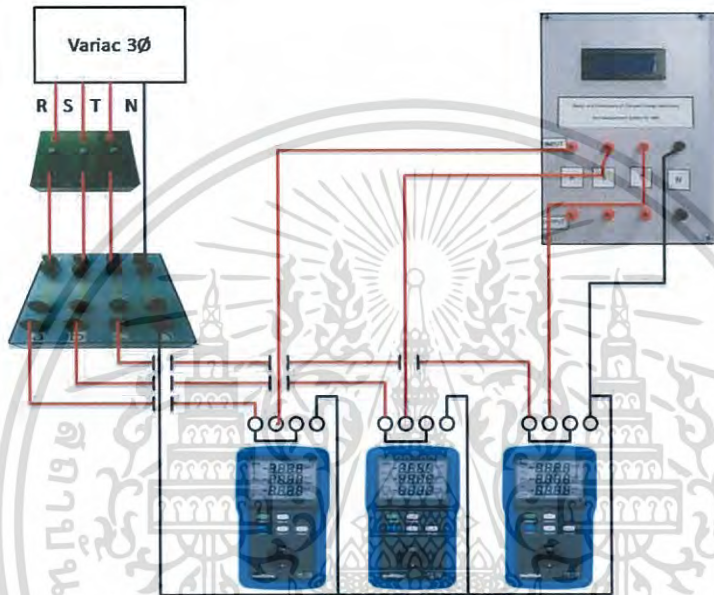


รูปที่ 4.1 การต่อวงจรการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องวัดโดยไม่มีโหลด

ทำการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันโดยนำเครื่องวัดไฟฟ้าที่ใช้อ้างอิงคือ เครื่องวัด Power meter Px110-single phase และเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส ที่จัดทำขึ้น มาทดสอบแบบไม่มีโหลด โดยใช้ Variac จ่ายแรงดันตั้งแต่ระดับแรงดัน 100 V ไปจนถึง 220 V ให้กับเครื่องมือวัด โดยต่อวงจรตามรูปที่ 4.2 ในการทดสอบจะทำการทดสอบวัดค่าเป็นจำนวน 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะทำให้การหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้รายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 วงจรวัดค่าแบบไม่มีโหลด

ตารางที่ 4.1 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยไม่มีโหลด

| ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------------------|------------|------------|--|------------|------------|-------------|------------|------------|
| Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 100.30 | 100.30 | 100.3 | 100.23 | 100.10 | 100.43 | 0.07 | 0.20 | 0.13 |
| 110.20 | 110.20 | 110.2 | 110.10 | 109.93 | 110.30 | 0.09 | 0.24 | 0.09 |
| 120.70 | 120.70 | 120.7 | 120.73 | 120.53 | 120.97 | 0.03 | 0.14 | 0.22 |
| 130.50 | 130.50 | 130.5 | 130.17 | 129.93 | 130.50 | 0.26 | 0.43 | 0.00 |
| 140.30 | 140.30 | 140.3 | 140.27 | 140.17 | 140.37 | 0.02 | 0.10 | 0.05 |

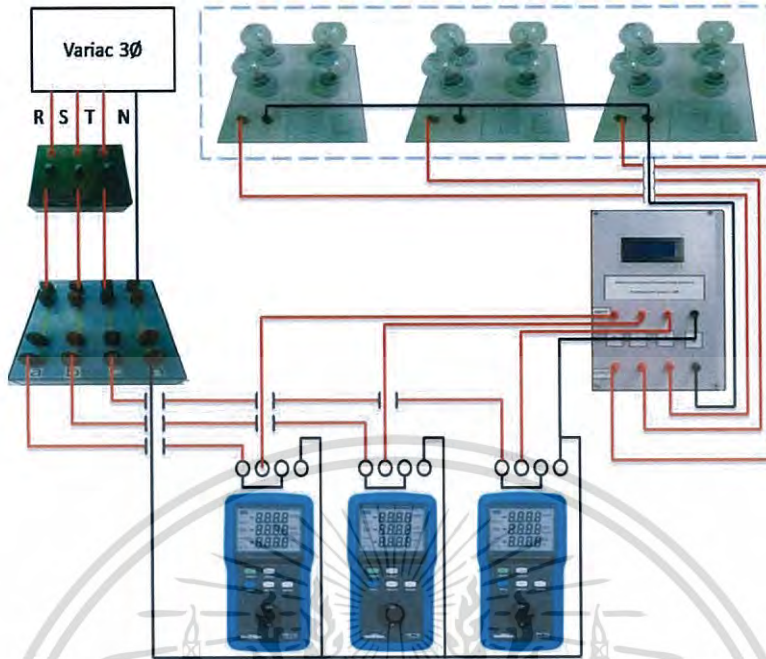
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------------------|------------|------------|--|------------|------------|-------------|------------|------------|
| Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 150.20 | 150.20 | 150.2 | 150.30 | 149.93 | 150.57 | 0.07 | 0.18 | 0.24 |
| 160.40 | 160.40 | 160.4 | 160.00 | 159.90 | 160.23 | 0.25 | 0.31 | 0.10 |
| 170.40 | 170.40 | 170.4 | 170.60 | 170.27 | 170.93 | 0.12 | 0.08 | 0.31 |
| 180.30 | 180.30 | 180.3 | 180.37 | 179.80 | 180.37 | 0.04 | 0.28 | 0.04 |
| 190.60 | 190.60 | 190.6 | 190.60 | 190.00 | 190.83 | 0.00 | 0.31 | 0.12 |
| 200.60 | 200.60 | 200.4 | 200.23 | 199.80 | 200.53 | 0.18 | 0.40 | 0.07 |
| 210.30 | 210.30 | 210.3 | 210.37 | 209.67 | 210.47 | 0.03 | 0.30 | 0.08 |
| 220.50 | 220.50 | 220.5 | 220.57 | 219.80 | 220.67 | 0.03 | 0.32 | 0.08 |

จากตารางที่ 4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยไม่มีโหลด โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 0.43 เปอร์เซ็นต์

4.3 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องวัดโดยใช้โหลด R แบบสมดุลง

ทำการทดสอบโดยนำเครื่องวัดไฟฟ้าที่ใช้อ้างอิงคือ เครื่องวัด Power meter Px110-single phase และ เครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส ที่จัดทำขึ้น มาทดสอบกับโหลดชนิดตัวต้านทาน (R) ซึ่งก็คือหลอดไส้ โดยแบ่งการทดสอบได้แก่ การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้า การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริง การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน และการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยต่อวงจรตามรูปที่ 4.3 โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบวัดค่าเป็นจำนวน 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะทำให้การหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.3 วงจรวัดค่าโหลด R

ตารางที่ 4.2 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โหลด R แบบสมดุล

| ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------------------|---------|---------|--|---------|---------|-------------|---------|---------|
| Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 213.80 | 213.40 | 215.2 | 213.83 | 212.50 | 214.57 | 0.02 | 0.42 | 0.29 |
| 212.30 | 212.40 | 213.6 | 211.97 | 211.23 | 214.57 | 0.16 | 0.55 | 0.45 |
| 211.10 | 211.60 | 211.6 | 210.43 | 210.43 | 210.90 | 0.32 | 0.55 | 0.33 |
| 209.20 | 210.10 | 210.7 | 208.47 | 208.67 | 208.63 | 0.35 | 0.68 | 0.98 |
| 207.80 | 208.40 | 210.2 | 207.10 | 206.70 | 209.87 | 0.34 | 0.82 | 0.16 |
| 206.10 | 206.10 | 208.2 | 205.23 | 204.60 | 208.63 | 0.42 | 0.73 | 0.21 |
| 204.90 | 205.00 | 207.1 | 204.07 | 203.13 | 207.07 | 0.41 | 0.91 | 0.02 |
| 205.40 | 203.50 | 205.4 | 203.63 | 201.60 | 203.53 | 0.86 | 0.93 | 0.91 |
| 203.30 | 202.00 | 203.3 | 202.07 | 200.07 | 203.53 | 0.61 | 0.96 | 0.11 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด R แบบสมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 0.98 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.3 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยใช้โหลด R แบบสมดุล

| ค่ากระแสไฟฟ้า (A) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่ากระแสไฟฟ้า (A) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|-----------------------------------|------------|------------|---------------------------------------|------------|------------|-------------|------------|------------|
| Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 3.33 | 3.32 | 3.31 | 3.36 | 3.33 | 3.34 | 0.80 | 0.30 | 0.91 |
| 4.14 | 4.14 | 4.19 | 4.17 | 4.17 | 4.23 | 0.72 | 0.72 | 0.88 |
| 4.97 | 4.98 | 4.97 | 5.01 | 5.02 | 5.03 | 0.80 | 0.80 | 1.21 |
| 5.77 | 5.79 | 5.79 | 5.82 | 5.83 | 5.86 | 0.87 | 0.63 | 1.21 |
| 6.52 | 6.54 | 6.55 | 6.58 | 6.60 | 6.63 | 0.97 | 0.87 | 1.22 |
| 7.32 | 7.34 | 7.35 | 7.41 | 7.41 | 7.45 | 1.18 | 0.95 | 1.36 |
| 8.09 | 8.12 | 8.15 | 8.19 | 8.21 | 8.26 | 1.28 | 1.07 | 1.31 |
| 9.00 | 8.91 | 8.95 | 9.09 | 9.00 | 9.06 | 1.04 | 1.01 | 1.23 |
| 9.74 | 9.67 | 9.70 | 9.87 | 9.78 | 9.84 | 1.37 | 1.17 | 1.48 |

จากตารางที่ 4.3 ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด R แบบสมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 1.48 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.4 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงโดยใช้โหลด R แบบสมดุ

| ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (W) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (W) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|---------------------------------------|------------|------------|---|------------|------------|-------------|------------|------------|
| Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 712.00 | 707.80 | 712.70 | 716.32 | 710.00 | 715.33 | 0.61 | 0.31 | 0.37 |
| 877.90 | 879.70 | 905.80 | 882.32 | 882.33 | 911.00 | 0.50 | 0.30 | 0.57 |
| 1049.00 | 1053.00 | 1051.00 | 1052.32 | 1056.67 | 1059.33 | 0.32 | 0.35 | 0.79 |
| 1206.00 | 1216.00 | 1219.00 | 1211.99 | 1218.33 | 1226.67 | 0.50 | 0.19 | 0.63 |
| 1354.00 | 1363.00 | 1377.00 | 1360.32 | 1365.33 | 1381.00 | 0.47 | 0.17 | 0.29 |
| 1508.00 | 1512.00 | 1531.00 | 1517.99 | 1517.00 | 1541.33 | 0.66 | 0.33 | 0.67 |
| 1659.00 | 1664.00 | 1688.00 | 1668.66 | 1669.67 | 1693.67 | 0.58 | 0.34 | 0.34 |
| 1849.00 | 1812.00 | 1838.00 | 1850.32 | 1817.67 | 1840.67 | 0.07 | 0.31 | 0.15 |
| 1979.00 | 1954.00 | 1971.00 | 1990.90 | 1960.00 | 1982.00 | 0.60 | 0.31 | 0.56 |

จากตารางที่ 4.4 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด R แบบสมดุ โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 0.79 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.5 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ โดยใช้โหลด R แบบสมดุ

| ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|---|------------|------------|---|------------|------------|-------------|------------|------------|
| Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 712.70 | 708.50 | 712.60 | 717.77 | 707.63 | 716.65 | 0.71 | 0.12 | 0.57 |
| 879.30 | 880.10 | 905.50 | 883.90 | 883.51 | 912.68 | 0.52 | 0.39 | 0.79 |
| 1047.00 | 1055.00 | 1053.00 | 1054.97 | 1055.88 | 1060.83 | 0.76 | 0.08 | 0.74 |
| 1205.00 | 1216.00 | 1219.00 | 1213.27 | 1215.83 | 1229.82 | 0.69 | 0.01 | 0.89 |
| 1353.00 | 1363.00 | 1378.00 | 1363.41 | 1363.25 | 1382.99 | 0.77 | 0.02 | 0.36 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

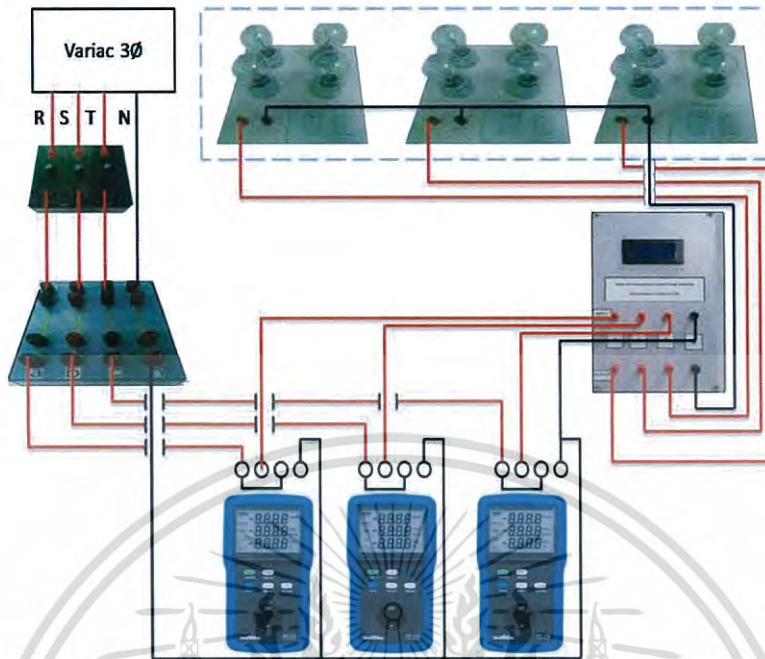
| ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|---|------------|------------|---|------------|------------|-------------|------------|------------|
| Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 1510.00 | 1513.00 | 1532.00 | 1520.09 | 1516.09 | 1542.15 | 0.67 | 0.20 | 0.66 |
| 1660.00 | 1666.00 | 1684.00 | 1671.99 | 1667.05 | 1698.67 | 0.72 | 0.06 | 0.87 |
| 1845.00 | 1816.00 | 1833.00 | 1854.81 | 1814.40 | 1844.01 | 0.53 | 0.09 | 0.60 |
| 1977.00 | 1954.00 | 1973.00 | 1995.07 | 1957.32 | 1987.70 | 0.91 | 0.17 | 0.74 |

จากตารางที่ 4.5 ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด R แบบสมมูล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 0.91 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน และการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเนื่องจากเป็นโหลดความต้านทานค่าที่วัดได้จึงได้ค่า 0 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งตรงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง

4.4 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด R แบบไม่สมมูล

ทำการทดสอบโดยนำเครื่องมือวัดไฟฟ้าที่ใช้อ้างอิงคือ เครื่องวัด Power meter Px110-single phase และ เครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส ที่จัดทำขึ้น มาทดสอบกับโหลดชนิดตัวต้านทาน (R) ซึ่งก็คือโหลดสี่ โดยขนาดโหลดของแต่ละเฟสจะไม่เท่ากันโดยแบ่งการทดสอบได้แก่ การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้า การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริง การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน และการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยต้องจรรยาบรรณรูปที่ 4.4 โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบวัดค่าเป็นจำนวน 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะทำให้การหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 วงจรวัดค่าโหลด R แบบไม่สมดุล

ตารางที่ 4.6 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โหลด R แบบไม่สมดุล

| ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------------------|------------|------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 221.30 | 221.90 | 217.20 | 221.83 | 221.77 | 217.30 | 0.24 | 0.06 | 0.05 |
| 220.60 | 221.30 | 217.00 | 220.50 | 221.00 | 217.17 | 0.05 | 0.14 | 0.08 |
| 220.50 | 220.60 | 219.20 | 221.03 | 220.37 | 219.70 | 0.24 | 0.10 | 0.23 |

จากตารางที่ 4.6 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด R แบบไม่สมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 0.24 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยใช้โหลด R แบบไม่สมดุล

| ค่ากระแสไฟฟ้า (A) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่ากระแสไฟฟ้า (A) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|-----------------------------------|------------|------------|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 0.88 | 1.71 | 2.55 | 0.87 | 1.71 | 2.58 | 0.68 | 0.18 | 1.18 |
| 1.73 | 2.56 | 3.40 | 1.73 | 2.58 | 3.44 | 0.29 | 0.78 | 1.18 |
| 2.57 | 3.42 | 0.84 | 2.60 | 3.45 | 0.84 | 1.17 | 0.88 | 0.12 |

จากตารางที่ 4.7 ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด R แบบไม่สมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 1.18 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.8 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงโดยใช้โหลด R แบบไม่สมดุล

| ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (W) (ค่า อ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (W) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|--|------------|------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 193.90 | 377.80 | 554.50 | 192.95 | 379.90 | 560.00 | 0.49 | 0.56 | 0.99 |
| 380.50 | 565.70 | 738.10 | 381.40 | 569.80 | 745.67 | 0.24 | 0.72 | 1.03 |
| 566.70 | 752.20 | 184.30 | 572.97 | 760.20 | 184.77 | 1.11 | 1.06 | 0.26 |

จากตารางที่ 4.8 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด R แบบไม่สมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 1.11 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.9 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏโดยใช้โหลด R แบบไม่สมดุล

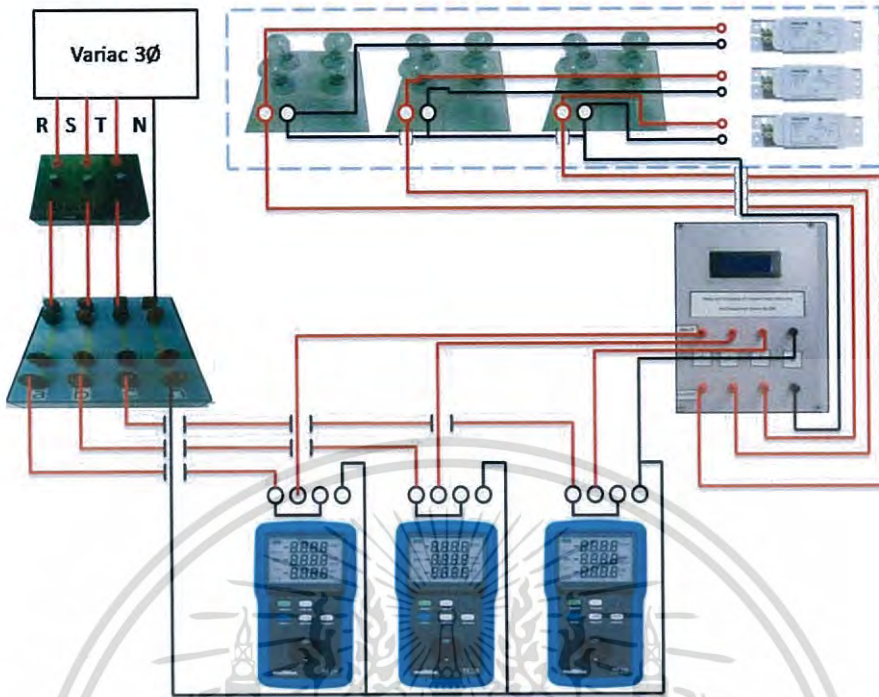
| ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|--------------------------------------|---------|---------|--|---------|---------|-----------|---------|---------|
| Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 193.40 | 378.60 | 554.70 | 193.00 | 379.96 | 560.63 | 0.21 | 0.36 | 1.07 |
| 381.00 | 566.30 | 736.60 | 381.47 | 570.18 | 747.06 | 0.12 | 0.69 | 1.42 |
| 565.40 | 752.80 | 184.30 | 574.68 | 760.27 | 184.80 | 1.64 | 0.99 | 0.27 |

จากตารางที่ 4.9 ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด R แบบไม่สมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 1.64 เปอร์เซ็นต์

ในส่วนของการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน และการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเนื่องจากเป็นโหลดความต้านทานค่าที่วัดได้จึงได้ค่า 0 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งตรงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง

4.5 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องวัดโดยใช้โหลด RL แบบสมดุล

ทำการทดสอบโดยนำเครื่องวัดไฟฟ้าที่ใช้อ้างอิงคือ เครื่องวัด Power meter Px110-single phase และ เครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส ที่จัดทำขึ้น มาทดสอบกับโหลดชนิดตัวต้านทาน (R) ซึ่งก็คือโหลดสี่ ต่อขนานกับแบตเตอรี่ โดยให้แต่ละเฟสมีขนาดโหลดเท่า ๆ กัน โดยแบ่งการทดสอบได้แก่ การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้า การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริง การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน และการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยต่อวงจรตามรูปที่ 4.5 โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบวัดค่าเป็นจำนวน 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะทำการหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.5 วงจรวัดค่าโหลด RL แบบสมดุล

- | | | | |
|---------------------|-----------------|---|------|
| รูปแบบโหลดกรณีที่ 1 | บัลลาสต์ (40 W) | 1 | ตัว |
| | โหลดไส้ (100 W) | 2 | หลอด |
| รูปแบบโหลดกรณีที่ 2 | บัลลาสต์ (40 W) | 1 | ตัว |
| | โหลดไส้ (100 W) | 4 | หลอด |
| รูปแบบโหลดกรณีที่ 3 | บัลลาสต์ (40 W) | 1 | ตัว |
| | โหลดไส้ (100 W) | 6 | หลอด |
| รูปแบบโหลดกรณีที่ 4 | บัลลาสต์ (40 W) | 1 | ตัว |
| | โหลดไส้ (100 W) | 8 | หลอด |

ตารางที่ 4.10 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โหลด RL แบบสมดุล

| รูปแบบ โหลด กรณีที่ | ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) (ค่า อ้างอิง) | | | ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|---------------------------|-------------------------------------|------------|------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 1 | 220.50 | 221.40 | 217.70 | 221.30 | 221.00 | 218.30 | 0.36 | 0.18 | 0.28 |
| 2 | 219.70 | 220.50 | 217.10 | 219.00 | 220.60 | 217.60 | 0.32 | 0.05 | 0.23 |
| 3 | 219.20 | 219.90 | 216.60 | 219.00 | 220.70 | 216.40 | 0.09 | 0.36 | 0.09 |
| 4 | 220.10 | 220.60 | 218.70 | 219.50 | 220.80 | 218.50 | 0.27 | 0.09 | 0.09 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.10 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด RL แบบสมมูล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 0.36 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.11 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยใช้โหลด RL แบบสมมูล

| รูปแบบ โหลด กรณี | ค่ากระแสไฟฟ้า (A) (ค่า อ้างอิง) | | | ค่ากระแสไฟฟ้า (A) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------|------------------------------------|------------|------------|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 1 | 1.09 | 1.08 | 1.07 | 1.10 | 1.09 | 1.08 | 1.29 | 0.74 | 1.22 |
| 2 | 1.86 | 1.87 | 1.84 | 1.88 | 1.88 | 1.86 | 1.08 | 0.80 | 0.98 |
| 3 | 2.68 | 2.69 | 2.70 | 2.71 | 2.71 | 2.73 | 1.12 | 0.74 | 1.11 |
| 4 | 3.54 | 3.52 | 3.53 | 3.57 | 3.54 | 3.56 | 0.85 | 0.57 | 0.85 |

จากตารางที่ 4.11 ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด RL แบบสมมูล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 1.29 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.12 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงโดยใช้โหลด RL แบบสมมูล

| รูปแบบ โหลด กรณี | ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (W) (ค่า อ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (W) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------|--|------------|------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 1 | 208.00 | 207.40 | 201.10 | 211.90 | 211.00 | 204.00 | 1.88 | 1.74 | 1.44 |
| 2 | 391.50 | 393.30 | 383.60 | 394.00 | 398.00 | 388.00 | 0.64 | 1.20 | 1.15 |
| 3 | 576.30 | 579.50 | 575.00 | 581.90 | 586.00 | 581.00 | 0.97 | 1.12 | 1.04 |
| 4 | 771.70 | 767.20 | 763.40 | 775.90 | 772.00 | 770.00 | 0.54 | 0.63 | 0.86 |

จากตารางที่ 4.12 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด RL แบบสมมูล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 1.88 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.13 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏโดยใช้โหลด RL แบบสมดุล

| รูปแบบ โหลด กรณี | ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------|---|------------|------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 1 | 239.90 | 239.70 | 232.90 | 243.43 | 241.00 | 235.76 | 1.47 | 0.54 | 1.23 |
| 2 | 408.80 | 410.60 | 399.20 | 411.72 | 414.73 | 404.74 | 0.71 | 1.01 | 1.39 |
| 3 | 587.90 | 591.20 | 584.90 | 593.49 | 598.10 | 590.77 | 0.95 | 1.17 | 1.00 |
| 4 | 780.10 | 778.20 | 771.10 | 783.62 | 781.63 | 777.86 | 0.45 | 0.44 | 0.88 |

จากตารางที่ 4.13 ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด RL แบบสมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 1.47 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.14 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนโดยใช้โหลด RL แบบสมดุล

| รูปแบบ โหลด กรณี | ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (var) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (var) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------|---|------------|------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 1 | 120.70 | 120.20 | 116.40 | 119.65 | 116.45 | 118.19 | 0.87 | 3.12 | 1.54 |
| 2 | 117.60 | 120.20 | 112.80 | 119.49 | 116.60 | 115.18 | 1.61 | 3.00 | 2.11 |
| 3 | 113.90 | 121.70 | 108.80 | 116.72 | 119.68 | 107.01 | 2.47 | 1.66 | 1.65 |
| 4 | 112.40 | 126.00 | 108.80 | 109.69 | 122.33 | 110.30 | 2.41 | 2.91 | 1.38 |

จากตารางที่ 4.14 ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด RL แบบสมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 3.12 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.15 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยใช้โหลด RL แบบสมมูล

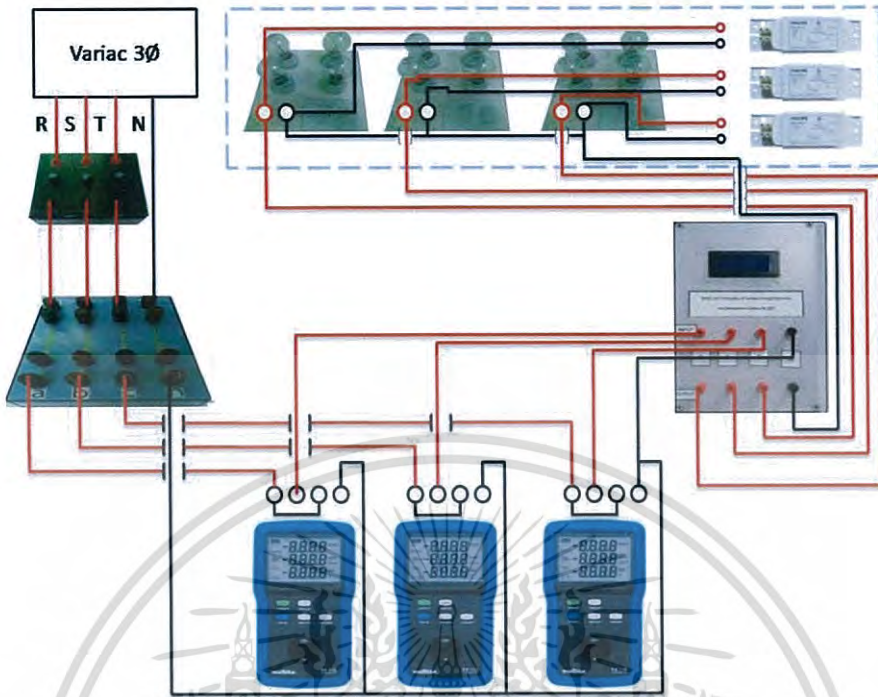
| รูปแบบ โหลด กรณี | ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ค่าอ้างอิง) | | | ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------|--|------------|------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 1 | 0.86 | 0.87 | 0.87 | 0.87 | 0.87 | 0.87 | 1.16 | 0.00 | 0.57 |
| 2 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.95 | 0.96 | 0.95 | 1.04 | 0.00 | 1.04 |
| 3 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.05 | 0.02 | 0.00 |
| 4 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.99 | 0.02 | 0.23 | 0.01 |

หมายเหตุค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

จากตารางที่ 4.15 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด RL แบบสมมูล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 1.16 เปอร์เซ็นต์

4.6 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องวัดโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมมูล

ทำการทดสอบโดยนำเครื่องวัดไฟฟ้าที่ใช้อ้างอิงคือ เครื่องวัด Power meter Px110-single phase และ เครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟสที่จัดทำขึ้น มาทดสอบกับโหลดชนิดตัวต้านทาน(R) ซึ่งก็คือหลอดไส้ ต่อขนานกับบัลลาสต์ โดยให้แต่ละเฟสมีขนาดโหลดไม่เท่ากัน โดยแบ่งการทดสอบได้แก่ การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้า การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริง การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน และ การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยต้องวงจรตามรูปที่ 4.6 โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบวัดค่าเป็นจำนวน 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะทำการหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.6 วงจรวัดค่าโหลด RL แบบไม่สมดุล

| รูปแบบโหลดกรณี | Phase | บิลลาสต์ (40 W) | หลอดไส้ (100 W) | จำนวน | ชนิด |
|---------------------|---------|-----------------|-----------------|-------|------|
| รูปแบบโหลดกรณีที่ 1 | Phase R | 1 | 2 | 1 | ตัว |
| | Phase S | 1 | 4 | 1 | หลอด |
| | Phase T | 1 | 6 | 1 | ตัว |
| | Phase R | 1 | 4 | 1 | ตัว |
| | Phase S | 1 | 6 | 1 | หลอด |
| | Phase T | 1 | 8 | 1 | หลอด |
| รูปแบบโหลดกรณีที่ 2 | Phase R | 1 | 6 | 1 | ตัว |
| | Phase S | 1 | 8 | 1 | หลอด |
| | Phase T | 1 | 2 | 1 | ตัว |
| | Phase R | 1 | 2 | 1 | ตัว |
| | Phase S | 1 | 8 | 1 | หลอด |
| | Phase T | 1 | 2 | 1 | ตัว |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมดุล

| รูปแบบ โหลด กรณี | ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) (ค่า อ้างอิง) | | | ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------|-------------------------------------|------------|------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 1 | 220.80 | 220.70 | 217.90 | 221.67 | 221.60 | 218.90 | 0.39 | 0.41 | 0.46 |
| 2 | 219.30 | 219.40 | 216.70 | 219.00 | 220.40 | 216.50 | 0.14 | 0.46 | 0.09 |
| 3 | 219.10 | 218.70 | 218.50 | 219.00 | 219.50 | 218.00 | 0.05 | 0.37 | 0.23 |

จากตารางที่ 4.16 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 0.46 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.17 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมดุล

| รูปแบบ โหลด กรณี | ค่ากระแสไฟฟ้า (A) (ค่า อ้างอิง) | | | ค่ากระแสไฟฟ้า (A) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------|------------------------------------|------------|------------|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 1 | 1.09 | 1.87 | 2.70 | 1.10 | 1.88 | 2.73 | 1.20 | 0.64 | 1.11 |
| 2 | 1.88 | 2.68 | 3.51 | 1.90 | 2.70 | 3.55 | 1.01 | 0.75 | 1.14 |
| 3 | 2.70 | 3.51 | 1.06 | 2.73 | 3.53 | 1.08 | 1.11 | 0.66 | 1.69 |

จากตารางที่ 4.17 ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 1.69 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.18 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมดุล

| รูปแบบ โหลด กรณี | ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (W) (ค่า อ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (W) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------|--|------------|------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 1 | 207.20 | 394.20 | 578.30 | 209.57 | 399.67 | 586.33 | 1.14 | 1.39 | 1.39 |
| 2 | 395.70 | 576.10 | 753.90 | 399.30 | 583.33 | 761.67 | 0.91 | 1.26 | 1.03 |
| 3 | 580.90 | 758.00 | 200.20 | 586.23 | 766.33 | 202.67 | 0.92 | 1.10 | 1.23 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.18 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 1.39 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.19 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมดุล

| รูปแบบ โหลด กรณี | ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------|---|------------|------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 1 | 240.20 | 412.20 | 589.40 | 243.83 | 416.61 | 597.60 | 1.51 | 1.07 | 1.39 |
| 2 | 413.50 | 584.00 | 761.00 | 416.10 | 595.08 | 768.58 | 0.63 | 1.90 | 1.00 |
| 3 | 590.90 | 767.40 | 231.10 | 597.87 | 775.57 | 235.44 | 1.18 | 1.06 | 1.88 |

จากตารางที่ 4.19 ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 1.88 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.20 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมดุล

| รูปแบบ โหลด กรณี | ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (var) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (var) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------|---|------------|------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 1 | 121.40 | 120.80 | 118.80 | 124.31 | 117.60 | 115.48 | 2.40 | 2.65 | 2.80 |
| 2 | 116.90 | 121.00 | 105.20 | 117.04 | 117.65 | 102.82 | 0.12 | 2.77 | 2.26 |
| 3 | 113.70 | 122.40 | 116.60 | 117.38 | 119.32 | 119.83 | 3.24 | 2.52 | 2.77 |

จากตารางที่ 4.20 ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 3.24 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.21 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมดุล

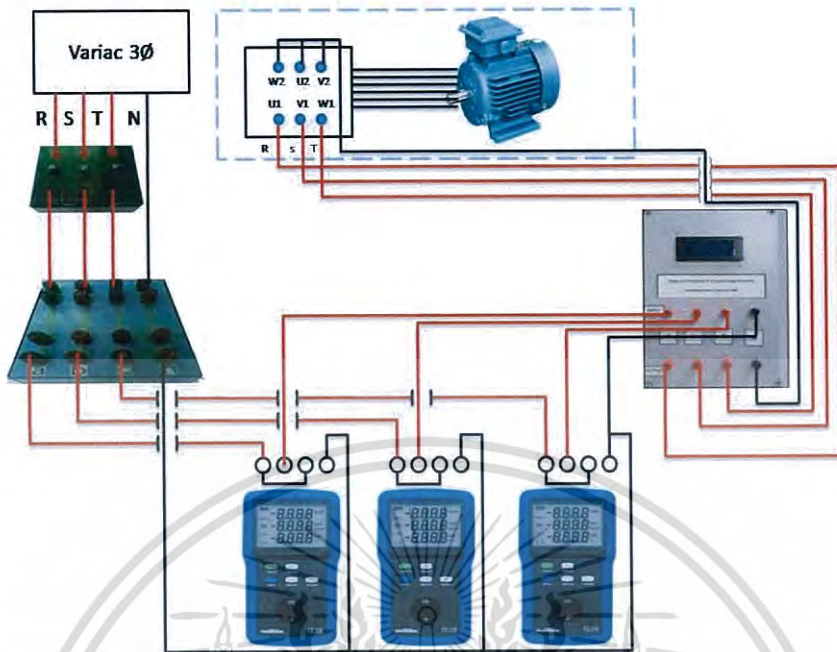
| รูปแบบ โหลด กรณี | ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ค่าอ้างอิง) | | | ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------|--|------------|------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 1 | 0.86 | 0.96 | 0.98 | 0.86 | 0.96 | 0.98 | 0.06 | 0.07 | 0.12 |
| 2 | 0.96 | 0.98 | 0.99 | 0.96 | 0.98 | 0.99 | 0.04 | 0.03 | 0.10 |
| 3 | 0.98 | 0.99 | 0.86 | 0.98 | 0.99 | 0.86 | 0.05 | 0.19 | 0.09 |

หมายเหตุค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

จากตารางที่ 4.21 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลด RL แบบไม่สมดุล โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 0.19 เปอร์เซ็นต์

4.7 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องวัดโดยใช้โหลดมอเตอร์

ทำการทดสอบโดยนำเครื่องวัดไฟฟ้าที่ใช้อ้างอิงคือ เครื่องวัด Power meter Px110-single phase และ เครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส ที่จัดทำขึ้น มาทดสอบกับโหลดมอเตอร์ 3 เฟส โดยแบ่งการทดสอบได้แก่ การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้า การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริง การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน และการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยต่อวงจรตามรูปที่ 4.7 โดยในการทดสอบจะทำการทดสอบวัดค่าเป็นจำนวน 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งจะทำให้การหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้ตั้งรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.7 วงจรวัดค่าโหลดมอเตอร์

ตารางที่ 4.22 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าโดยใช้โหลดมอเตอร์

| Load (%ของ กระแส พิกัด) | ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) (ค่า อ้างอิง) | | | ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|------------|------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 50 | 220.90 | 222.70 | 223.80 | 221.63 | 222.40 | 224.73 | 0.33 | 0.13 | 0.42 |
| 75 | 220.50 | 222.60 | 223.80 | 221.70 | 222.27 | 224.50 | 0.54 | 0.15 | 0.31 |
| 100 | 219.00 | 221.40 | 222.60 | 219.97 | 221.17 | 222.97 | 0.44 | 0.11 | 0.16 |

จากตารางที่ 4.22 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลดมอเตอร์ โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 0.54 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.23 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าโดยใช้โหลดมอเตอร์

| Load (%) ของ กระแส ฟลักซ์ | ค่ากระแสไฟฟ้า (A) (ค่า อ้างอิง) | | | ค่ากระแสไฟฟ้า (A) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------------------|------------------------------------|------------|------------|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 50 | 1.16 | 1.24 | 1.26 | 1.20 | 1.26 | 1.28 | 3.09 | 2.29 | 1.93 |
| 75 | 1.39 | 1.48 | 1.50 | 1.43 | 1.51 | 1.54 | 2.73 | 2.30 | 2.60 |
| 100 | 1.93 | 2.01 | 2.04 | 1.98 | 2.05 | 2.08 | 2.47 | 2.16 | 2.12 |

จากตารางที่ 4.23 ค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลดมอเตอร์ โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 3.09 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.24 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงโดยใช้โหลดมอเตอร์

| Load (%) ของ กระแส ฟลักซ์ | ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (W) (ค่า อ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (W) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------------------|--|------------|------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 50 | 159.20 | 160.50 | 179.00 | 163.93 | 165.00 | 185.67 | 2.97 | 2.80 | 3.72 |
| 75 | 227.10 | 233.10 | 252.20 | 233.27 | 243.67 | 261.33 | 2.72 | 4.53 | 3.62 |
| 100 | 359.00 | 370.10 | 388.00 | 368.57 | 380.00 | 397.67 | 2.66 | 2.67 | 2.49 |

จากตารางที่ 4.24 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลดมอเตอร์ โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 4.53 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.25 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏโดยใช้โหลดมอเตอร์

| Load (%) ของ กระแส ฟลักซ์ | ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------------------|---|------------|------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 50 | 257.30 | 274.50 | 281.80 | 265.95 | 280.96 | 288.41 | 3.36 | 2.35 | 2.35 |
| 75 | 302.90 | 332.30 | 331.80 | 316.46 | 335.67 | 345.73 | 4.48 | 1.01 | 4.20 |
| 100 | 424.70 | 449.50 | 458.50 | 436.84 | 458.73 | 466.60 | 2.86 | 2.05 | 1.77 |

จากตารางที่ 4.25 ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลดมอเตอร์โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 4.48 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.26 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนโดยใช้โหลดมอเตอร์

| Load (%) ของ กระแส ฟลักซ์ | ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (var) (ค่าอ้างอิง) | | | ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (var) จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------------------|---|------------|------------|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 50 | 201.90 | 222.90 | 218.00 | 209.12 | 227.41 | 220.68 | 3.58 | 2.02 | 1.23 |
| 75 | 220.20 | 222.40 | 225.10 | 213.24 | 230.76 | 226.34 | 3.16 | 3.76 | 0.55 |
| 100 | 224.30 | 249.90 | 237.80 | 234.38 | 251.52 | 244.08 | 4.50 | 0.65 | 2.64 |

จากตารางที่ 4.26 ค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลดมอเตอร์โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 4.50 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.27 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าโดยใช้โหลดมอเตอร์

| Load (%) ของ กระแส พิกัด) | ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ค่าอ้างอิง) | | | ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า จากเครื่องมือวัด | | | Error (%) | | |
|------------------------------------|--|------------|------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T | Phase R | Phase S | Phase T |
| 50 | 0.62 | 0.58 | 0.63 | 0.61 | 0.58 | 0.64 | 1.08 | 0.57 | 1.59 |
| 75 | 0.72 | 0.71 | 0.74 | 0.73 | 0.72 | 0.75 | 1.85 | 1.41 | 1.35 |
| 100 | 0.85 | 0.83 | 0.85 | 0.84 | 0.83 | 0.85 | 1.18 | 0.00 | 0.00 |

หมายเหตุค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

จากตารางที่ 4.27 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดโดยใช้โหลดมอเตอร์ โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 1.85 เปอร์เซ็นต์

4.8 การแสดงผลบนเว็บไซต์

ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส ถูกนำมาแสดงผลบนเว็บไซต์นี้ www.smartmeter.spinmaxstudio.com/index.php ซึ่งบนเว็บไซต์จะแสดงค่าปริมาณทางไฟฟ้าทั้งสามเฟส โดยจะแสดงในรูปแบบตัวเลขและกราฟ



รูปที่ 4.8 การแสดงผลบนหน้าเว็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 การแสดงผลบนหน้าเว็บ

4.9 ตัวอย่างการคำนวณค่าไฟ

โดยใช้ค่ากำลังไฟฟ้าจากการทดสอบนำมาคำนวณหาค่าไฟฟ้าคิดเป็น 1 ชั่วโมง 5.94 kWhr แรงดันต่ำกว่า 12 KV โดยทำการคำนวณ 2 แบบ คือคำนวณตามอัตราปกติและอัตรา TOU เพื่อที่จะนำไปสู่การพัฒนาพลังงานเบื้องต้นได้

| ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก อัตรา 2.1 (อัตราปกติแบบอัตราก้าวหน้า) | | | |
|--|----------------------------------|------------|---------------|
| รหัสแรงดัน | 2 | | |
| ผู้ใช้ไฟฟ้ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า | 1,425.600 | | หน่วยต่อเดือน |
| การปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดย อัตโนมัตี (F) | -15.90 | | สตางค์/หน่วย |
| ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน | | | |
| 1. ค่าพลังงานไฟฟ้า | | | |
| แรงดัน 12 - 24 กิโลโวลต์ | | | |
| | | รวม | บาท |
| แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์ | | | |
| 150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 1 - 150) | = (150 x 3.2484) | 414.42 | บาท |
| 250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400) | = (250 x 4.2218) | 934.050 | บาท |
| เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป) | = (1425.6 - 400) x 3.9361 | 4,036.864 | บาท |
| | รวม | 5385.33416 | บาท |
| 2. ค่าบริการ | | | |
| รวมค่าไฟฟ้าฐาน | = (5385.33416 + 46.16) | 5,431.49 | บาท |
| ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) | | | |
| จำนวนพลังงานไฟฟ้า x ค่า Ft | = 1425.6 x -0.159 | -226.67 | บาท |
| ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% | | | |
| (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่า Ft) x 7/100 | = (5431.49416 + -226.67) x 7/100 | 364.34 | บาท |
| รวมเงินค่าไฟฟ้า | = 5431.49416+ -226.67+364.34 | 5,569.16 | บาท |

รูปที่ 4.10 การคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก อัตรา 2.2 (อัตรา TOU) | | | |
|--|--|--------------|-----|
| รหัสแรงดันไฟฟ้า | 2 | | |
| มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงเวลา On Peak | 427.680 | หน่วย | |
| มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงเวลา Off Peak | 997.920 | หน่วย | |
| การปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (F _t) | -15.90 | สตางค์/หน่วย | |
| ส่วนที่ 1 ค่าไฟฟ้าฐาน | | | |
| 1. ค่าพลังงานไฟฟ้า | = (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak x อัตราค่าไฟฟ้าช่วง On Peak) + (จำนวนพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak x อัตราค่าไฟฟ้าช่วง Off Peak) | | |
| รวม | = (427.68 x 5.7982) + (997.92 x 2.6369) | 5,111.19 | บาท |
| 2. ค่าบริการ | | 46.16 | บาท |
| รวมค่าไฟฟ้าฐาน | = 5111.19 + 46.16 | 5,157.35 | บาท |
| ส่วนที่ 2 ค่าไฟฟ้าผันแปร (F_t) | | | |
| จำนวนพลังงานไฟฟ้า x ค่า F _t | = 1425.6 x -0.159 | -226.67 | บาท |
| ส่วนที่ 3 ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% | | | |
| (ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่า F _t) x 7/100 | = (5157.35 + -226.67) x 7/100 | 345.14 | บาท |
| รวมเงินค่าไฟฟ้า | = 5157.35 + -226.67 + 345.14 | 5,275.82 | บาท |

รูปที่ 4.11 การคิดค่าไฟฟ้าอัตรา TOU



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส พบว่าในการทดสอบทั้ง 6 กรณี ได้แก่ กรณีไม่ต่อโหลด กรณีต่อโหลดความต้านทานแบบสมดุลงกรณีต่อโหลดความต้านทานแบบไม่สมดุลงกรณีต่อโหลดความต้านทานขนานกับบัลลาสต์แบบสมดุลงกรณีต่อโหลดความต้านทานขนานกับบัลลาสต์แบบไม่สมดุลง และกรณีต่อโหลดมอเตอร์ มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมากเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 0.98 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส พบว่าในการทดสอบทั้ง 5 กรณี ได้แก่ กรณีต่อโหลดความต้านทานแบบสมดุลงกรณีต่อโหลดความต้านทานแบบไม่สมดุลงกรณีต่อโหลดความต้านทานขนานกับบัลลาสต์แบบสมดุลงกรณีต่อโหลดความต้านทานขนานกับบัลลาสต์แบบไม่สมดุลง และกรณีต่อโหลดมอเตอร์ มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ยกเว้นในกรณีต่อโหลดมอเตอร์ที่จะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่ากรณีอื่น ๆ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 3.09 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส พบว่าในการทดสอบทั้ง 5 กรณี ได้แก่ กรณีต่อโหลดความต้านทานแบบสมดุลงกรณีต่อโหลดความต้านทานแบบไม่สมดุลงกรณีต่อโหลดความต้านทานขนานกับบัลลาสต์แบบสมดุลงกรณีต่อโหลดความต้านทานขนานกับบัลลาสต์แบบไม่สมดุลง และกรณีต่อโหลดมอเตอร์ มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ยกเว้นในกรณีต่อโหลดมอเตอร์ที่จะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่ากรณีอื่น ๆ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 4.53 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏของเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส พบว่าในการทดสอบทั้ง 5 กรณี ได้แก่ กรณีต่อโหลดความต้านทานแบบสมดุลงกรณีต่อโหลดความต้านทานแบบไม่สมดุลงกรณีต่อโหลดความต้านทานขนานกับบัลลาสต์แบบสมดุลงกรณีต่อโหลดความต้านทานขนานกับบัลลาสต์แบบไม่สมดุลง และกรณีต่อโหลดมอเตอร์ มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ยกเว้นในกรณีต่อโหลดมอเตอร์ที่จะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่ากรณีอื่น ๆ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 4.48 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส พบว่าในการทดสอบกรณีต่อโหลดความต้านทานแบบสมดุลงและกรณีต่อโหลดความต้านทานแบบไม่สมดุลง มีค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ และในการทดสอบอีก 3 กรณี ได้แก่ กรณีต่อโหลดความต้านทานขนานกับบัลลาสต์แบบสมดุลงกรณีต่อโหลดความต้านทานขนานกับบัลลาสต์แบบไม่สมดุลง และกรณีต่อ

โหลดมอเตอร์ มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ยกเว้นในกรณีต่อโหลดมอเตอร์ที่จะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่ากรณีอื่น ๆ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 4.50 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส พบว่าในการทดสอบกรณีต่อโหลดความต้านทานแบบสมดุลและกรณีต่อโหลดความต้านทานแบบไม่สมดุล มีค่าความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ และในการทดสอบอีก 3 กรณี ได้แก่ กรณีต่อโหลดความต้านทานขนานกับบัลลาสต์แบบสมดุล กรณีต่อโหลดความต้านทานขนานกับบัลลาสต์แบบไม่สมดุล และกรณีต่อโหลดมอเตอร์ มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 1.85 เปอร์เซ็นต์

5.2 วิจารณ์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส โดยภาพรวม พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ ยกเว้นในกรณีต่อโหลดมอเตอร์ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนของกระแสไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ และกำลังไฟฟ้าเสมือนสูงกว่ากรณีอื่น ๆ ซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดของการคำนวณทางคณิตศาสตร์ในโปรแกรม ค่าความละเอียดของการอ่านค่าในโปรแกรม การเปรียบเทียบการอ่านค่าจากการทดลอง และอาจเกิดจากการเฉลี่ยค่าของข้อมูลจากการทำการทดสอบเพียงสามครั้งซึ่งไม่เพียงพอต่อการนำค่ามาเฉลี่ย ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

5.3 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก สำหรับการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME พบว่าสามารถวัดค่าได้ในระดับที่สามารถนำไปใช้ในงานไฟฟ้าทั่วไปที่ไม่ต้องการความถูกต้องสูงมาก ทำให้ผู้ประกอบการสามารถลดค่าใช้จ่ายในการนำเข้าเทคโนโลยีการจัดการพลังงานไฟฟ้าได้ และสามารถบันทึกค่า แสดงค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่าง ๆ ได้ผ่านจอแสดงผล LCD อีกทั้งยังสามารถแสดงผลบนระบบอินเทอร์เน็ต เพื่อให้ผู้ใช้สามารถรับรู้ถึงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าได้อย่างสะดวกสบาย ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการวางแผนการประหยัดพลังงาน ดังนั้นโครงการวิจัยนี้สามารถที่จะนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กสำหรับการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ปัญหาที่พบระหว่างดำเนินโครงการและข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากโครงการนี้มีการดำเนินการทั้งในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ แต่เป็นส่วนซอฟต์แวร์นั้นมีสัดส่วนที่มากกว่า ผู้จัดทำโครงการที่มีความรู้ด้านซอฟต์แวร์ไม่เพียงพอ ทำให้เกิดปัญหาล่าช้าในส่วนนี้ ดังนั้นจึงต้องเตรียมตัวศึกษาและค้นคว้าข้อมูลให้ดีกว่านี้เพื่อที่จะพัฒนางานให้ดียิ่งขึ้น

5.2.2 เนื่องจากโครงการนี้ใช้ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีพอสมควร ซึ่งผู้จัดทำถือว่ายังมีความรู้ทางด้านนี้ไม่มาก ทำให้เกิดปัญหาในการจัดทำโครงการ ดังนั้นผู้จัดทำโครงการจึงถือว่าเป็นเรื่องใหม่ที่ต้องเรียนรู้เพิ่มเติม และทำการศึกษาเพื่อมาใช้พัฒนาโครงการนี้

5.2.3 ควรเช็ควงจรการทดสอบให้ละเอียดก่อนทุกครั้ง เช่น กราวด์ ถ้ามีการต่อผิดพลาดขึ้นอาจทำให้อุปกรณ์เสียหาย

5.2.4 เนื่องจากอุปกรณ์ที่จะใช้ในการจัดทำโครงการไม่พร้อม จึงเกิดการล่าช้าไปพอสมควรทำให้เวลาในการจัดทำโครงการน้อยลง ผู้จัดทำโครงการจึงต้องวางแผนและบริหารเวลาให้ดี

5.5 แนวทางการพัฒนา

โครงการนี้สามารถนำไปต่อยอดพัฒนาได้ในอนาคต ทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นหรือเพิ่มความหลากหลายของการใช้งาน ดังนั้น

5.3.1 การเลือกใช้วัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานให้มีคุณภาพดีขึ้น และแข็งแรงขึ้น

5.3.2 สามารถพัฒนาให้แสดงผลในแอปพลิเคชัน และสามารถควบคุมจากระยะไกลได้เพื่อความสะดวกสบายของผู้ใช้

5.3.3 ถ้าการใช้ไฟฟ้ามีปัญหา สามารถแจ้งเตือนให้ผู้ใช้มีเตอร์ทราบ ทำให้ทำการแก้ไขได้ทัน ส่งผลให้ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายได้

5.3.4 สามารถใช้พัฒนาช่วยวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้า และช่วยแนะนำแนวทางการจัดการพลังงานให้แก่ผู้ใช้ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2559,” ใน *กระทรวงพลังงาน*, 2558, pp. 1-20.
- [2] ชนิกันต์ หอมมาลัย ชวิน หฤหรรษพงศ์ และชัชชล กระจ่างทอง, “การศึกษาและพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่โดยสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้,” ใน *ปริญญา นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต,ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*, 2556.
- [3] บ. อ. จำกัด, “moneyhub,” บริษัท อินเทอร์เน็ตประเทศไทย จำกัด, 3 สิงหาคม 2015. [ออนไลน์]. Available: <https://moneyhub.in.th/article/ธุรกิจ-sme-คืออะไร/>. [เข้าถึง16 กันยายน 2017].
- [4] J.Duncan Glover, Mulukutla S.Sarma and Thomas Overbye, *Power System Analysis and Design*, Canada, Cengage Learning, 2011.
- [5] การไฟฟ้านครหลวง, “ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า,” 2556, pp. 1-2
- [6] Introduction%20Measurement, “คลาสของเครื่องมือวัด,” [ออนไลน์]. Available: www.elecpdk.rmutl.ac.th/Course/.../Chapter1%20. [เข้าถึง 20 ตุลาคม 2017].
- [7] arduino, “ARDUINO,” arduino, 2017. [ออนไลน์]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [เข้าถึง8 ตุลาคม 2017].
- [8] Wisit. P., “การติดต่อสื่อสารด้วย SPI: Serial Peripheral Interface,” [ออนไลน์]. Available: <http://www.123microcontroller.com/Hardware-Interfacing/SPI-Serial-Peripheral-Interface-communication>. [เข้าถึง8 ตุลาคม 2017].
- [9] node mcu, “Node MCU V2,” [ออนไลน์]. Available: narong.ece.engr.tu.ac.th/ei444/document/ESP8266.pdf. [เข้าถึง30 ตุลาคม 2017].
- [10] data logger, “การใช้งาน data logger shield” [ออนไลน์]. Available: <https://www.arduinotai.com>. [เข้าถึง31 ตุลาคม 2017].



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก สำหรับการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อ ผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME

DESIGN AND PROTOTYPING OF COMPACT ENERGY MONITORING AND MANAGEMENT SYSTEM FOR SME

จินตนา จันทร จุฑาทิพย์ กวานหลวง นันทกรณ์ แสงเงิน และ เนติวิทย์ สิทธินันท์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: sangngern_1994@hotmail.com

บทคัดย่อ

ปัญหานี้มีผลกับผู้นำเสนอการออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก สำหรับการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME โดยใช้โมดูลสำเร็จรูป PZEM-004t ซึ่งทำหน้าที่วัดและคำนวณปริมาณทางไฟฟ้าที่ได้รับมาจากโหลดจากนั้นส่งข้อมูลที่ได้ออกการวัดและการคำนวณไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมและยังสามารถส่งค่าที่ได้จากโมดูลสำเร็จรูปไปแสดงผลทางจอแอลซีดีและส่งผ่านระบบไร้สาย WIFI เพื่อไปแสดงผลบนอินเทอร์เน็ตโดยทั้งนี้เครื่องมือวัดนี้จะมีการบันทึกข้อมูลที่วัดได้ทั้งหมดทำให้สามารถเรียกดูค่าที่ได้จากการวัดการวัดย้อนหลังเพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าได้

คำสำคัญ: เครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส, แสดงผลบนเว็บไซต์, ใช้จัดการพลังงาน

Abstract

This project presents design and prototyping of a compact electric energy monitoring and management system for SME. By using a set of power measuring modules, PZEM-004t, to form a three-phase measuring unit, a number of electricity parameters related to three-phase load can be measured and monitored. In addition, by applying of real-time power and energy can be seen both by the unit's LCD and smart device.

Moreover, the system has been designed to be able to retrieve the

data uploading to internet and stored in cloud server, electric recorded data and thus can be exported to EMS (energy management system).

Keyword: Three phases measuring instrument, Monitoring on website, Make energy management comfortable

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นซึ่งจะมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นผลมาจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และจำนวนประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นแต่ผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการ จึงทำให้มีราคาสูงขึ้น[1] ความต้องการไฟฟ้าที่สูงขึ้นเรื่อยๆนี้เอง ทำให้ทางภาครัฐและเอกชนตระหนักถึงคุณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่จำกัดมากขึ้น ทำให้ต้องมีการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า [2] เพื่อเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัดและคุ้มค่าที่สุด การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าจึงเป็นวิธีการที่ใช้การบริหารจัดการที่มุ่งเน้นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า โครงการนี้ได้นำเสนอถึงการออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก สำหรับการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME ที่สามารถแสดงค่าที่วัดได้ทางไฟฟ้าต่างๆ ในระบบ ดังกล่าวนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโหลดทางไฟฟ้าภายใน SME ได้ทุกชนิด โดยสามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยในการศึกษาการทำงานการใช้พลังงานภายใน SME เพื่อเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้า และนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่ได้ไปวางแผนประหยัดการพลังงาน โดยดูจากพฤติกรรมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆภายใน SME

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า (Electrical power)[4] คืออัตราของการใช้พลังงานไฟฟ้า ได้จากการนำพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ หาค่าด้วยเวลาที่ใช้พลังงานไฟฟ้า มีหน่วยเป็น จูลต่อวินาที หรือได้จากการนำเอาค่าแรงดันไฟฟ้ามาคูณกับค่ากระแสไฟฟ้า อาจมีการนำตัวประกอบกำลังคูณเพิ่มไปด้วย กำลังไฟฟ้าประกอบด้วย

3 ส่วนหลักๆ คือ

1. กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent power : S , หน่วยเป็น VA)
2. กำลังไฟฟ้าจริง (Real power : P , หน่วยเป็น Watt หรือ W)
3. กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive power : Q , หน่วยเป็น Var)

2.2 ตัวประกอบกำลัง (Power factor)

2.2.1 ความหมายของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า [5] (Power factor) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง (Watt) ต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) นิยมบอกเป็นค่าทศนิยมที่อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยสามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ของตัวประกอบกำลังกับกำลังไฟฟ้าได้

$$\cos\theta = \frac{P}{S} \quad (2.3)$$

2.3 พลังงานไฟฟ้า kWh

ค่า kWh ก็คือวัตต์-ชั่วโมง หรือ ยูนิต์ คือหน่วยที่ใช้บอกขนาดหรือปริมาณของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานพลังงานไฟฟ้า โดยปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดขึ้นอยู่กับกำลังและเวลาที่ใช้ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\text{พลังงาน} = \text{กำลัง} \times \text{เวลา} \quad (2.4)$$

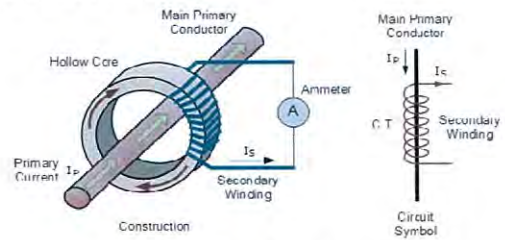
2.4 ระดับชั้นหรือคลาสของเครื่องมือวัด

เครื่องมือวัดที่ผลิตขึ้นมาใช้งานจะต้องมีความแม่นยำระบุไว้เป็นตัวเลข ซึ่งบ่งบอกถึงความถูกต้องที่เชิงตรงของเครื่องมือวัดนั้นแบ่งระดับชั้นของเครื่องวัดไฟฟ้าตามมาตรฐานของอุตสาหกรรม(IEC)ไว้ทั้งหมด 8 ระดับชั้น 4

2.5 หลักการการเหนี่ยวนำของหม้อแปลงกระแส

หลักการการทำงานของหม้อแปลงกระแสคือ ขดลวดปฐมภูมิต่ออนุกรมกับโหลดของวงจรทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นทางด้านขดลวดปฐมภูมิไปเหนี่ยวนำ ให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นทางด้านขดลวดทุติย

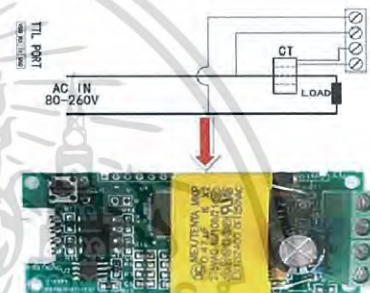
ภูมิทำให้เข็มของของแอมมิเตอร์เกิดการขยับเบนค่าที่อ่านได้ทางด้านขดลวดทุติยภูมิสามารถนำไปคำนวณได้



รูปที่ 2.2 Current Transformer

2.6 โมดูล PZEM-004t

PZEM-004t เป็นมิเตอร์วัดพลังงาน โดยสามารถวัดค่าทางไฟฟ้าได้แก่ แรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้าจริง พลังงาน



รูปที่ 2.3 PZEM-004t

2.7 Arduino

ใช้ในการรับและส่งข้อมูลและประมวลผลข้อมูลที่ต้องการ



รูปที่ 2.5 Arduino Uno R3

2.8 SPI

SPI หรือ Serial Peripheral Interface เป็นวิธีการสื่อสารอนุกรมแบบ Synchronous ซึ่งทำงานในรูปแบบที่ให้อุปกรณ์ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็น Master เป็นตัวควบคุมการรับส่งข้อมูล โดยในที่นี้คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และอีกตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็น Slave คืออุปกรณ์ที่รอรับคำสั่งจาก Master โดย Slave มีได้มากกว่า 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 NodeMCU Development Kit V1.0 (V2)

NodeMCU Development Kit V1.0 (V2) เป็นบอร์ดที่ใช้เชื่อมต่อกับ wifi และส่งข้อมูลขึ้นบนอินเทอร์เน็ต

2.10 เอสดี การ์ด (SD Card)

SD Card มาจากชื่อเต็มว่า Secure Digital Card หมายถึงการ์ดหน่วยความจำจัดเก็บข้อมูล

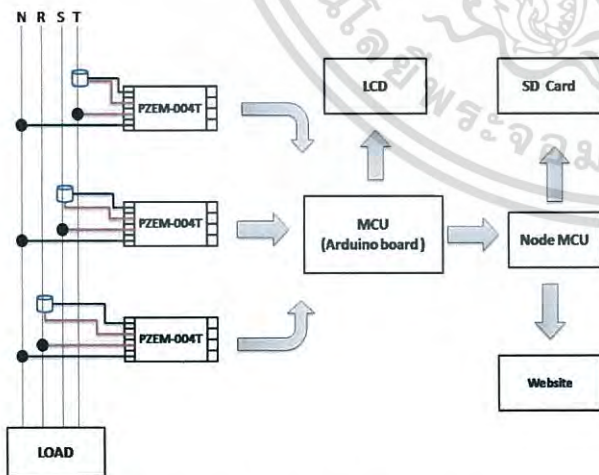
3. การออกแบบและประกอบสร้าง

3.1 รูปแบบการทำงาน

รูปแบบการวัดไฟฟ้าระบบไฟฟ้าสามเฟสจากโหลด จะเลือกใช้การวัดและคำนวณแบบต่อเฟสโดยการ ใช้โมดูล PZEM-004T และ Arduino Uno R3 และกำหนดให้มีการจัดเก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ไ้ใช้ในแต่ละเดือนเพื่อใช้ในการจัดการปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และยังสามารถส่งข้อมูลที่ไ้จากการวัดและการคำนวณกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไร้สายแบบ WIFI เพื่อไปแสดงผลบนเว็บไซต์ โดยทั้งนี้ข้อมูลของกำลังไฟฟ้าที่ไ้ทั้งหมดจะถูกส่งเข้าไปจัดเก็บในหน่วยความจำของ SD Card จึงทำให้มีข้อมูลการใช้ไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรม

3.2 การออกแบบโครงสร้างของระบบติดตามการใช้ไฟฟ้า

ระบบการติดตามการใช้ไฟฟ้าโดยการสร้างเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าสามเฟสมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.1 โดยใช้โมดูลวัดพลังงานไฟฟ้า 3 ตัวใช้สำหรับวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส โดยโมดูลแต่ละตัวจะคำนวณพลังงานต่อเฟส



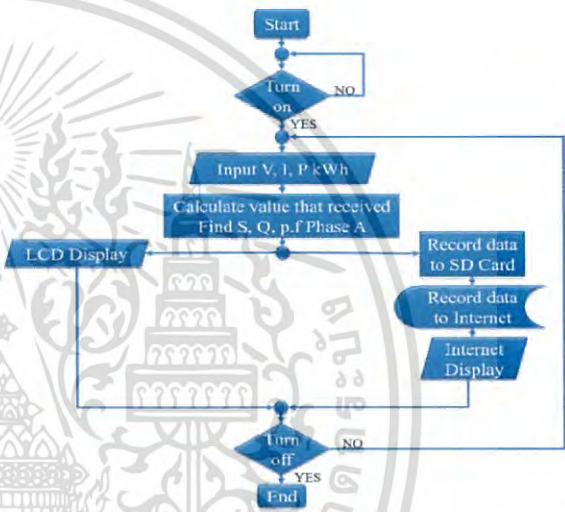
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องวัดไฟฟ้าสามเฟส

3.3 การออกแบบในส่วนของซอฟต์แวร์

การเขียนคำสั่งให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงานระหว่างอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบติดตามการใช้ไฟฟ้าโดยใช้การเขียนคำสั่งลงบนโปรแกรม Arduino IDE แล้วอัปโหลดลงบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.4 หลักการทำงานของระบบติดตามการใช้ไฟฟ้า

การทำงานของโปรแกรมเครื่องวัดไฟฟ้า 3 เฟส สามารถแบ่งการทำงานเป็นกระบวนการต่าง ๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 3.9 Flowchart การทำงานของระบบติดตามการใช้ไฟฟ้าสามเฟส

3.5 การประกอบสร้างเครื่องวัด

จากการออกแบบเครื่องมือวัดดังกล่าว ถูกนำมาประกอบสร้างได้ดังรูป

ที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ลักษณะภายนอกของกล่องเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การทดสอบและผลการทดสอบเครื่องมือวัด

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความแม่นยำและทดสอบหาค่าความเที่ยงตรงของการวัดของเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟสนี้ จะใช้เครื่องวัด Power meter Px110-single phase เป็นอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิงการวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าต่าง ๆ โดยจะทำการทดสอบเปรียบเทียบความแม่นยำในการวัดจากโหลด RL โหลดมอเตอร์

4.2 ขั้นตอนการทดลอง

ต้องจรรยาบรรณการทดลองทำการต่อวงจรตามรูปที่ 4.3-4.6 และทำการวัดค่าตามรูปแบบโหลดที่กำหนดไว้บนตาราง



รูปที่ 4.7 การต่อวงจรทดสอบ

4.3 ผลการทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือวัด โดยไม่มีโหลด

เป็นการทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดัน โดยไม่มีโหลด โดยใช้ Variac จ่ายแรงดันตั้งแต่ระดับแรงดัน 100 V ไปจนถึง 220 V โดยค่าแรงดันที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดเฟส S และ T โดยภาพรวมมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดที่ใช้อ้างอิง ซึ่งจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 0.2554 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.1 การทดสอบความแม่นยำของการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของเฟส R

| รูปแบบโหลดกรณี | ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) (ค่าอ้างอิง) | ค่าแรงดันไฟฟ้า (V) จากเครื่องมือวัด (Phase R) | | | | Error (%) |
|----------------|---------------------------------|---|-------|-------|---------|-----------|
| | | 1 | 2 | 3 | เฉลี่ย | |
| 1 | 100.30 | 100.2 | 100.3 | 100.2 | 100.233 | 0.066 |
| 2 | 110.20 | 110.0 | 110.2 | 110.1 | 110.100 | 0.090 |
| 3 | 120.70 | 120.6 | 120.7 | 120.9 | 120.733 | 0.027 |
| 4 | 130.50 | 130.3 | 130.1 | 130.1 | 130.166 | 0.255 |

| | | | | | | |
|----|--------|-------|-------|-------|----------|--------|
| 5 | 140.30 | 140.1 | 140.3 | 140.4 | 140.266 | 0.023 |
| 6 | 150.20 | 150.2 | 150.3 | 150.4 | 150.300 | 0.066 |
| 7 | 160.40 | 160.2 | 160.0 | 159.8 | 160.000 | 0.249 |
| 8 | 170.40 | 170.6 | 170.5 | 170.7 | 170.600 | 0.117 |
| 9 | 180.30 | 180.3 | 180.4 | 180.4 | 180.366 | 0.037 |
| 10 | 190.60 | 190.5 | 190.6 | 190.7 | 190.600 | 0.000 |
| 11 | 200.60 | 200.1 | 200.3 | 200.3 | 200.233 | 0.182 |
| 12 | 210.30 | 210.3 | 210.4 | 210.4 | 210.366 | 0.031 |
| 13 | 220.50 | 220. | 220.9 | 220.3 | 220.5667 | 0.0302 |

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดลองสรุปได้ว่าเครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟสสามารถวัดค่าบันทึกค่า และแสดงค่าปริมาณต่างๆทางไฟฟ้าได้ อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ท เพื่อให้ผู้ใช้สามารถรับรู้ถึง พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตัวผู้ใช้อย่าง ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการวางแผนการประหยัดพลังงาน ดังนั้นโครงการวิจัยนี้สามารถที่จะนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบสร้างระบบติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก สำหรับการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าในอุตสาหกรรม SME ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชาติ มานพ รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ จิรวิภากรและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรุช จิรสวรรณกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำ จนการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, “แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2559,” ใน กระทรวงพลังงาน, 2558, pp. 1-20.
- [2] ชนิกันต์ หอมมาลัย ชวิน หลุหรรษพงศ์ และชัชชล กระด้ายทอง, “การศึกษาและพัฒนาระบบตรวจวัดคุณภาพแบตเตอรี่ โดยสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ที่เสื่อมสภาพได้,” ใน ปรินญานินพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

ข้อมูลโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PZEM-004T Module

1. Description

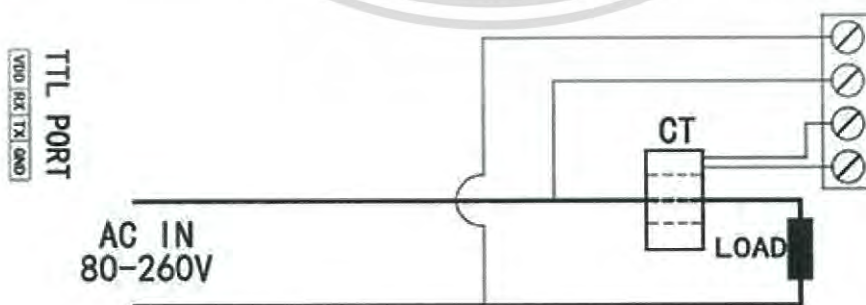
AC multifunction power monitoring communications module, Measure voltage, current, power, power, maximum 100A.

2. Function

1. Electrical parameter measurement function (voltage, current, active power, power).
2. The power button clear function.
3. Power-down data storage function (cumulative power down before saving).
4. PC PC display function (display voltage, current, active power, power).
5. The serial communication function (comes with TTL serial interface, through various terminals to communicate with the adapter plate, read, and set the parameters).

3. Precautions

1. This module is suitable for indoor, not outdoor use.
2. applied load should not exceed the rated power.
3. The wiring can not be wrong.



4. Specifications

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Working voltage: 80 ~ 260VAC

2. Test Voltage: 80 ~ 260VAC

2. Rated power: 100A / 22000W

3. Operating frequency: 45-65Hz

4. Measurement accuracy: 1.0

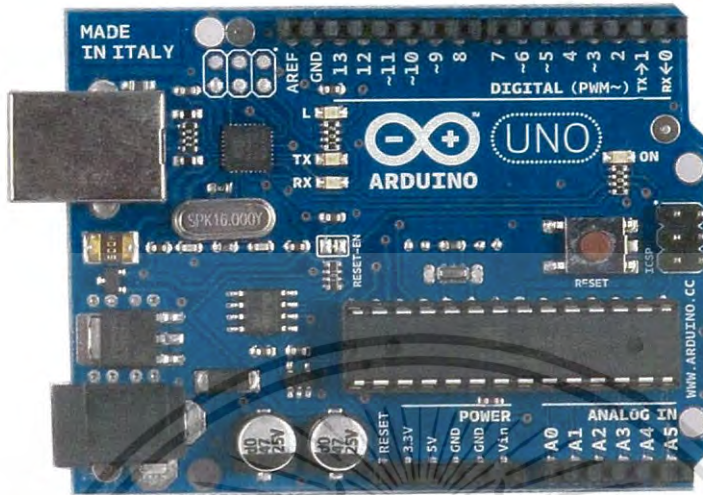


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino UNO



Product Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

Index

Technical Specifications

Page 2

How to use Arduino
Programming Environment, Basic Tutorials

Page 6

Terms & Conditions

Page 7

Environmental Policies
half sqm of green via Impatto Zero®

Page 7



radiospares

RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ให้นำไปใช้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ในด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical Specification



EAGLE files: [arduino-duemilanove-uno-design.zip](#) Schematic: [arduino-uno-schematic.pdf](#)

Summary

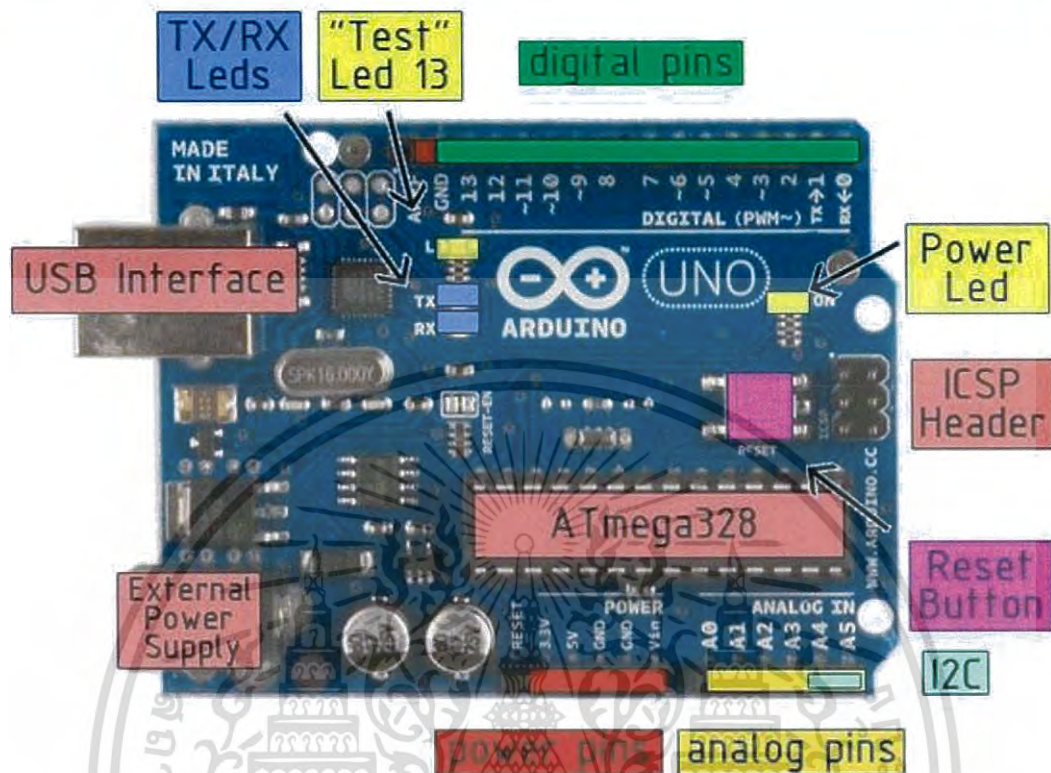
| | |
|-----------------------------|--|
| Microcontroller | ATmega328 |
| Operating Voltage | 5V |
| Input Voltage (recommended) | 7-12V |
| Input Voltage (limits) | 6-20V |
| Digital I/O Pins | 14 (of which 6 provide PWM output) |
| Analog Input Pins | 6 |
| DC Current per I/O Pin | 40 mA |
| DC Current for 3.3V Pin | 50 mA |
| Flash Memory | 32 KB of which 0.5 KB used by bootloader |
| SRAM | 2 KB |
| EEPROM | 1 KB |
| Clock Speed | 16 MHz |



radiospares **RADIONICS**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** The regulated power supply used to power the microcontroller and other components on the board. This can come either from VIN via an on-board regulator, or be supplied by USB or another regulated 5V supply.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.



radiospares

RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Memory

The Atmega328 has 32 KB of flash memory for storing code (of which 0,5 KB is used for the bootloader); It has also 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip .
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.
- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication, which, although provided by the underlying hardware, is not currently included in the Arduino language.
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I²C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I²C (TWI) communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and Atmega328 ports](#).

Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega8U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '8U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, on Windows, an *.inf file is required..

The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins.

The ATmega328 also support I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. To use the SPI communication, please see the ATmega328 datasheet.

Programming

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เช่นนี้ทางบริษัทฯ
ไม่ว่ากรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega8U2 firmware source code is available. The ATmega8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2. You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader).

Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload.

This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

USB Overcurrent Protection

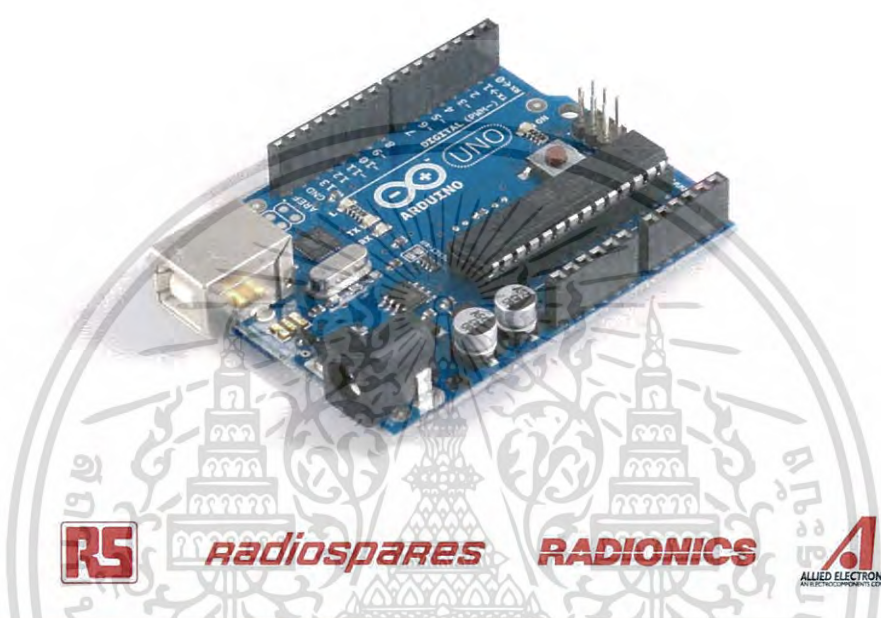
The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Three screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.



radiospares

RADIONICS



How to use Arduino



Arduino can sense the environment by receiving input from a variety of sensors and can affect its surroundings by controlling lights, motors, and other actuators. The microcontroller on the board is programmed using the [Arduino programming language](#) (based on [Wiring](#)) and the Arduino development environment (based on [Processing](#)). Arduino projects can be stand-alone or they can communicate with software on running on a computer (e.g. Flash, Processing, MaxMSP).

Arduino is a cross-platform program. You'll have to follow different instructions for your personal OS. Check on the [Arduino site](#) for the latest instructions. <http://arduino.cc/en/Guide/HomePage>

Linux Install

Windows Install

Mac Install

Once you have downloaded/unzipped the arduino IDE, you can Plug the Arduino to your PC via USB cable.

Blink led

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Now you're actually ready to "burn" your first program on the arduino board. To select "blink led", the physical translation of the well known programming "hello world", select

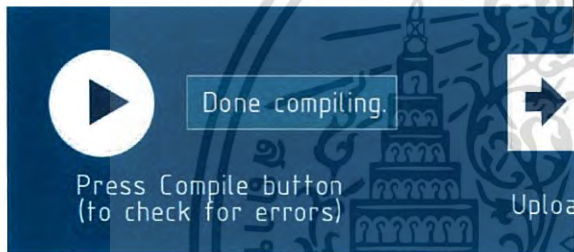
**File>Sketchbook>
Arduino-0017>Examples>
Digital>Blink**

Once you have your sketch you'll see something very close to the screenshot on the right. In **Tools>Board** select

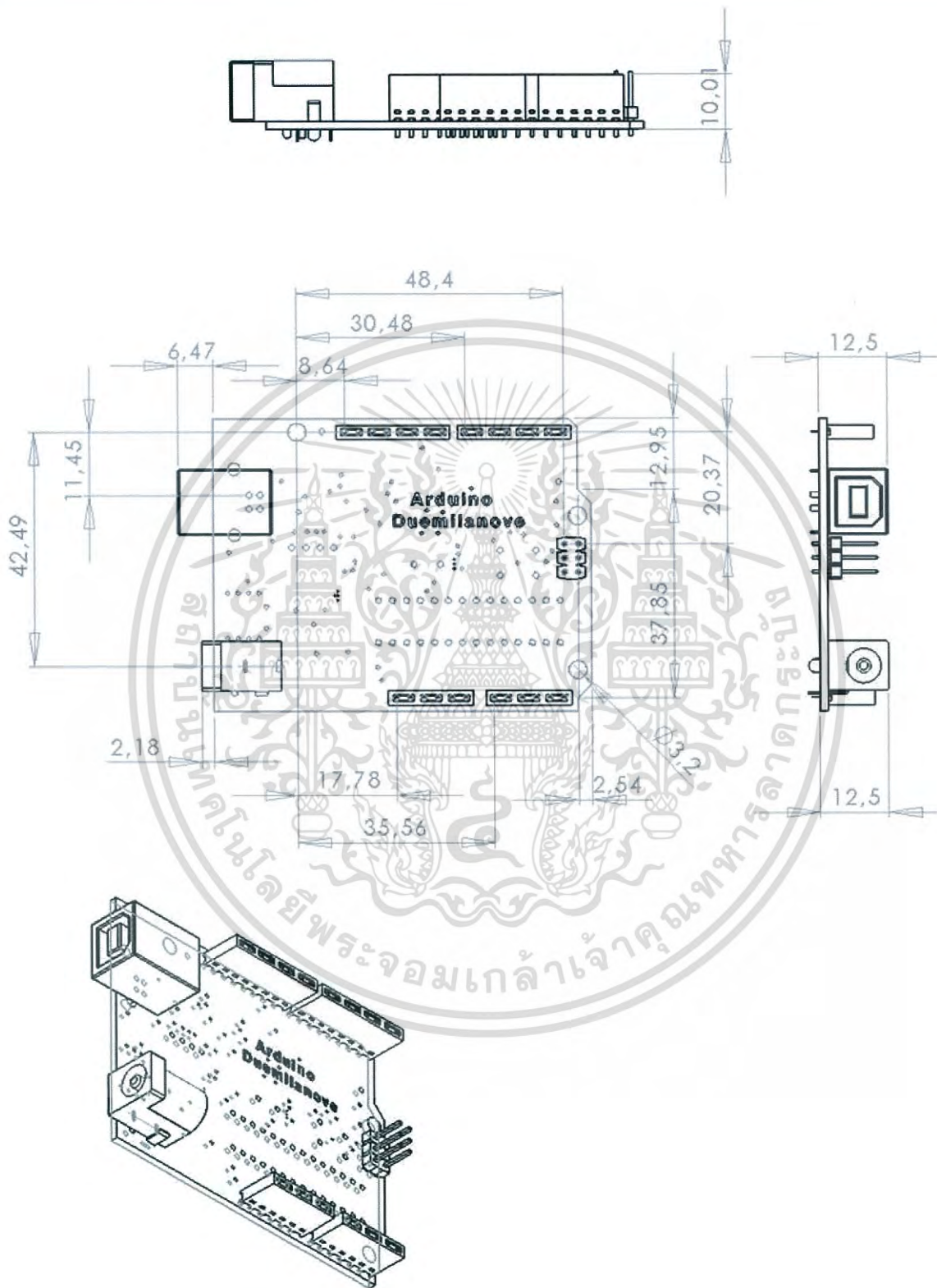
Now you have to go to **Tools>SerialPort** and select the right serial port, the one arduino is attached to.



```
Blink | Arduino 0017
File Edit Sketch Tools Help
Blink $
int ledPin = 13; // LED connected to digital pin 13
// The setup() method runs once, when the sketch starts
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output:
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}
// the loop() method runs over and over again,
// as long as the Arduino has power
void loop()
{
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW); // set the LED off
  delay(1000); // wait for a second
}
```



Dimensioned Drawing



radiospares

RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Terms & Conditions



Warranties

1.1 The producer warrants that its products will conform to the Specifications. This warranty lasts for one (1) years from the date of the sale. The producer shall not be liable for any defects that are caused by neglect, misuse or mistreatment by the Customer, including improper installation or testing, or for any products that have been altered or modified in any way by a Customer. Moreover, The producer shall not be liable for any defects that result from Customer's design, specifications or instructions for such products. Testing and other quality control techniques are used to the extent the producer deems necessary.

1.2 If any products fail to conform to the warranty set forth above, the producer's sole liability shall be to replace such products. The producer's liability shall be limited to products that are determined by the producer not to conform to such warranty. If the producer elects to replace such products, the producer shall have a reasonable time to replacements. Replaced products shall be warranted for a new full warranty period.

1.3 EXCEPT AS SET FORTH ABOVE, PRODUCTS ARE PROVIDED "AS IS" AND "WITH ALL FAULTS." THE PRODUCER DISCLAIMS ALL OTHER WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, REGARDING PRODUCTS, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO, ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE

1.4 Customer agrees that prior to using any systems that include the producer products, Customer will test such systems and the functionality of the products as used in such systems. The producer may provide technical, applications or design advice, quality characterization, reliability data or other services. Customer acknowledges and agrees that providing these services shall not expand or otherwise alter the producer's warranties, as set forth above, and no additional obligations or liabilities shall arise from the producer providing such services.

1.5 The Arduino™ products are not authorized for use in safety-critical applications where a failure of the product would reasonably be expected to cause severe personal injury or death. Safety-Critical Applications include, without limitation, life support devices and systems, equipment or systems for the operation of nuclear facilities and weapons systems. Arduino™ products are neither designed nor intended for use in military or aerospace applications or environments and for automotive applications or environment. Customer acknowledges and agrees that any such use of Arduino™ products which is solely at the Customer's risk, and that Customer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

1.6 Customer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products and any use of Arduino™ products in Customer's applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by the producer.

Indemnification

The Customer acknowledges and agrees to defend, indemnify and hold harmless the producer from and against any and all third-party losses, damages, liabilities and expenses it incurs to the extent directly caused by: (i) an actual breach by a Customer of the representation and warranties made under this terms and conditions or (ii) the gross negligence or willful misconduct by the Customer.

Consequential Damages Waiver

In no event the producer shall be liable to the Customer or any third parties for any special, collateral, indirect, punitive, incidental, consequential or exemplary damages in connection with or arising out of the products provided hereunder, regardless of whether the producer has been advised of the possibility of such damages. This section will survive the termination of the warranty period.

Changes to specifications

The producer may make changes to specifications and product descriptions at any time, without notice. The Customer must not rely on the absence or characteristics of any features or instructions marked "reserved" or "undefined." The producer reserves these for future definition and shall have no responsibility whatsoever for conflicts or incompatibilities arising from future changes to them. The product information on the Web Site or Materials is subject to change without notice. Do not finalize a design with this information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The producer of Arduino™ has joined the Impatto Zero® policy of LifeGate.it. For each Arduino board produced is created / looked after half squared Km of Costa Rica's forest's.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

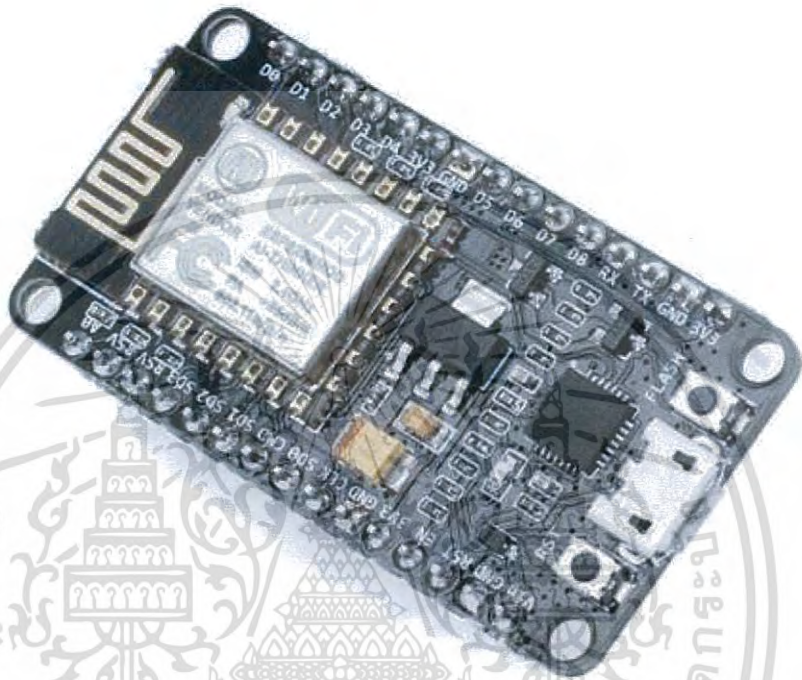


ภาคผนวก ง

Node MUC V2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NodeMCU v2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The NodeMCu is an open-source firmware and development kit that helps you to Prototype your IOT product within a few Lua script lines.

Features:

- Open-source
- Interactive
- Programmable
- Low cost
- Simple
- Smart
- WI-FI enabled

Arduino-like hardware IO

Advanced API for hardware IO, which can dramatically reduce the redundant work for configuring and manipulating hardware. Code like arduino, but interactively in Lua script.

Nodejs style network API

Event-driven API for network applicaitons, which facilitates developers writing code running on a 5mm*5mm sized MCU in Nodejs style. Greatly speed up your IOT application developing process.

Specification:

The Development Kit based on ESP8266, integates GPIO, PWM, IIC, 1-Wire and ADC all in one board.

Power your development in the fastest way combinating with NodeMCU Firmware!

- USB-TTL included, plug&play
- 10 GPIO, every GPIO can be PWM, I2C, 1-wire
- FCC CERTIFIED WI-FI module (Coming soon)
- PCB antenna

Document

[Schematic&PCB, Source Code, API Documents](#)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นางสาวจินตนา จันทร
วัน เดือน ปีเกิด 2 พฤษภาคม 2539
ที่อยู่ 3 หมู่ 2 หมู่บ้านทัพคล้าย ตำบลทัพหลวง
อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี 61140

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนบ้านไร่วิทยา จังหวัดอุทัยธานี

ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาระดับอุดมศึกษา
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท บิวคอน จำกัด
ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 29 กรกฎาคม 2560



ชื่อ-นามสกุล นางสาวจุฑาทิพย์ กวานหลวง
วัน เดือน ปีเกิด 21 มีนาคม 2538
ที่อยู่ 95 หมู่ 10 ตำบลนาถ่อน อำเภอธาตุพนม
จังหวัดนครพนม 48110

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
จากโรงเรียนเรณูนครวิทยานุกูล จังหวัดนครพนม

ปีการศึกษา 2560 สำเร็จการศึกษาระดับอุดมศึกษา
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท โล่ติ้ง แอนด์ อีควิปเมนต์ จำกัด (มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ-นามสกุล

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 29 กรกฎาคม 2560

วัน เดือน ปีเกิด

นางสาวนันทภรณ์ แสงเงิน

ที่อยู่

18 มีนาคม 2537

นครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา 30000

424 หมู่ 8 ตำบลหมื่นไหว อำเภอเมือง

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากโรงเรียนที่ปังกรวิทยาพัฒน์ (มัธยมวัดหัตถสาร
เกษตร) ในพระราชูปถัมภ์ฯ จังหวัดปทุมธานี

ปีการศึกษา 2560

สำเร็จการศึกษาระดับอุดมศึกษา

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

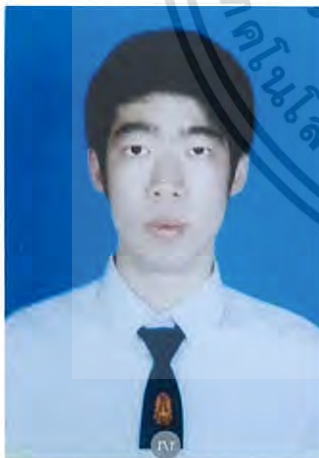
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

บริษัท เอ็ม อี ซี ที จำกัด

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 29 กรกฎาคม 2560



ชื่อ-นามสกุล

นายเนติวิทย์ สิทธินันท์วัฒน์

วัน เดือน ปีเกิด

23 พฤศจิกายน 2538

ที่อยู่

18/5 ซ.เจริญสุข ถ.เฉลิมพระเกียรติ ร.9 ต.บ้านโป่ง
อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2556

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากโรงเรียนพระปฐมวิทยาลัย จังหวัดนครปฐม

ปีการศึกษา 2560

สำเร็จการศึกษาระดับอุดมศึกษา

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน

บริษัท เอสซีจี จำกัด (สยามคราฟต์อุตสาหกรรม)

ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึง 29 กรกฎาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้