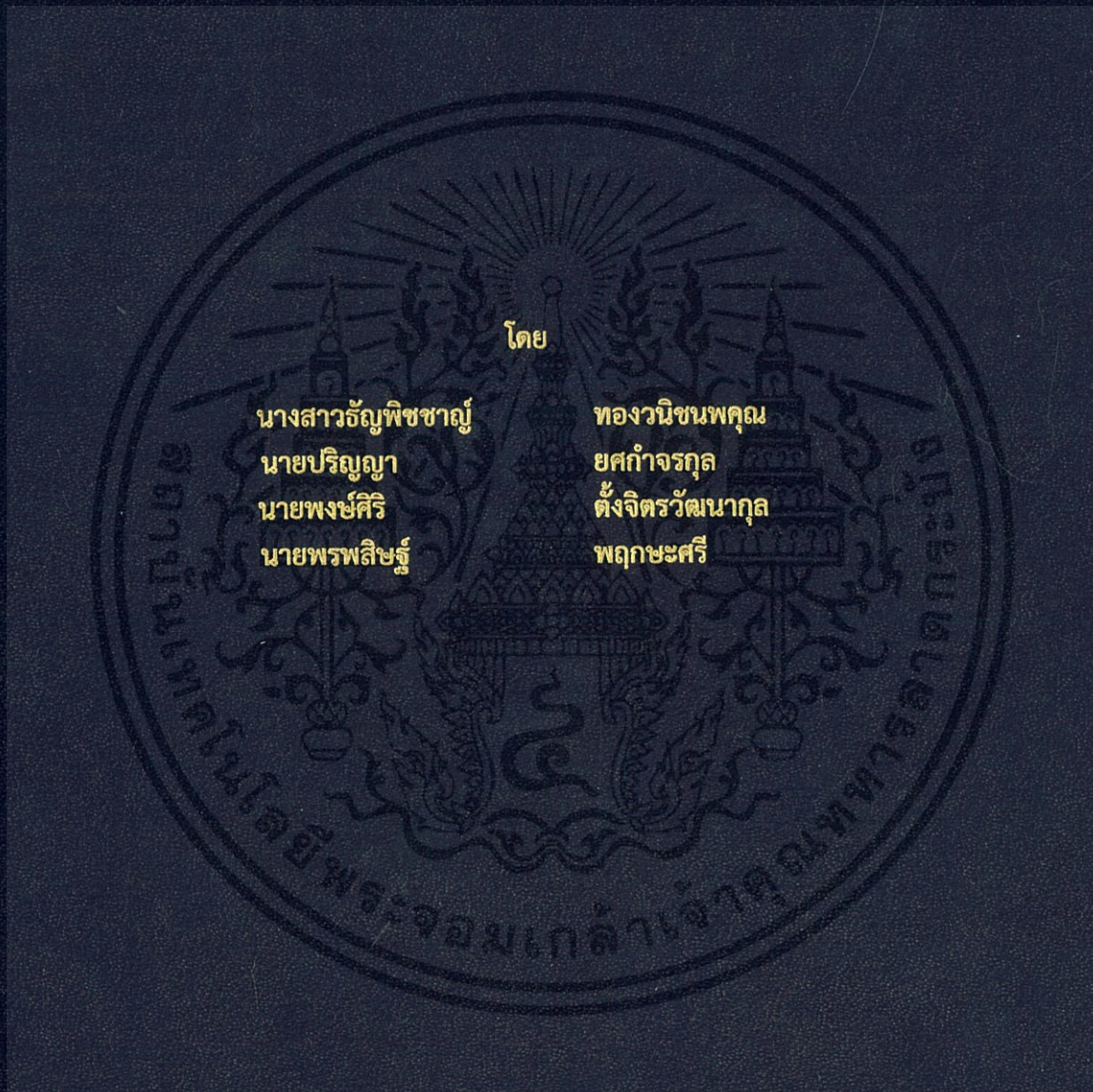


ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล  
ENERGY MONITORING SYSTEM IN HOSPITAL BUILDING



โดย

นางสาวธัญพิชชาญ์

นายปริญญา

นายพงษ์ศิริ

นายพรพลิชฐ์

ทองวนิชนพคุณ

ยศกัจจรกุล

ตั้งจิตรวฒนากุล

พฤกษ์ศรี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล  
ENERGY MONITORING SYSTEM IN HOSPITAL BUILDING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ENERGY MONITORING SYSTEM IN HOSPITAL BUILDING



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

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2561

ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล  
ENERGY MONITORING SYSTEM IN HOSPITAL BUILDING



อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. เปี่ยมภูมิ  
รศ. พิชิต

สถกพฤกษ์  
ลำยอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล

ผู้จัดทำ

1. นางสาว ธัญพิชชาญ์ ทองวณิชนพคุณ
2. นาย ปริณญา ยศกำจรกุล
3. นาย พงษ์ศิริ ตั้งจิตร์วัฒนากุล
4. นาย พรพลสิทธิ์ พลฤกษ์ศรี



  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมภูมิ สฤกษ์พฤกษ์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ พิชิต ล้ายอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาล

นางสาว ธัญพิชชาญ ทองวนิชนพคุณ  
นาย ปริญญา ยศกำจรกุล  
นาย พงษ์ศิริ ตั้งจิตรวัฒนากุล  
นาย พรพลิชฐ์ พฤกษ์ศรี  
ผศ.ดร. เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
รศ. พิชิต ล้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
ปีการศึกษา 2561

### บทคัดย่อ

ปริญญาณิชฉบับนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา โดยมีจุดประสงค์เพื่อวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงการศึกษาค่าของอุณหภูมิแวดล้อม เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า พิจารณาข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกับพฤติกรรมของระบบไฟฟ้าในภาวะปกติ (base line) ซึ่งการตรวจติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงพยาบาลจะใช้อุปกรณ์ที่ได้ทำการประกอบสร้างขึ้นมา โดยออกแบบให้สามารถอ่านข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูกบันทึกลงในไมโครเอสดีการ์ด (MicroSD Card) อีกทั้งยังสามารถส่งข้อมูลด้วยระบบอินเทอร์เน็ตของสิ่ง (Internet of Things : IoT) ไปเก็บข้อมูลลงบนฐานข้อมูลเชิงสปีค (ThingSpeak) ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจติดตามข้อมูลจากระยะไกลได้ เมื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมของระบบไฟฟ้าในภาวะปกติกับข้อมูลที่วัดได้ในแต่ละช่วงเวลา จึงทำให้ทราบได้ว่าการใช้ปริมาณไฟฟ้าในโรงพยาบาลมีระบบใดเกินความจำเป็น รวมถึงความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบ เพื่อที่จะสามารถแก้ไขระบบไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพและก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงสุดสำหรับอาคารโรงพยาบาล

## Energy Monitoring System in Hospital Building

Miss Thunpitcha	Tongvanichnoppakun
Mr.Parinya	Yotkamchornkun
Mr.Pongsiri	Tangjitwattanakul
Mr.Pornpasit	Pruksasri
Assistant.Prof.Dr.Piampoom	Sarikpruek Advisor
Assoc.Prof.Pichit	Lumyoung Co-Advisor

### ABSTRACT

This thesis is a study and analysis of electrical load behavior in the Burapha University Hospital. The objective is measuring an energy consumption considering ambient temperature. The collected data in normal condition considered as a base line of the energy consumption are used to compare with the energy consumption at different time intervals. Energy monitoring devices, which are designed and built for the energy monitoring system in hospital, are be able to measure 3-phase electrical parameters. All of data is collected into the MicroSD Card and send to the cloud database in the “ThingSpeak” platform, which can be remotely monitoring, via the Internet of Things (IoT) technology. By comparison of load behavior at normal condition with measurement data, it can present the abnormal energy consumption and system faults for improving the efficiency and stabilization of hospital building electrical system.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์ และรองศาสตราจารย์ พิเชิต ล้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ดร.सरर กลิ่นวิจิต หัวหน้าสำนักงานคณบดี มหาวิทยาลัยบูรพา ที่อนุญาตให้ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าไว้ประจำที่โรงพยาบาล จนมีปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมาได้ และขอขอบคุณคำแนะนำต่าง ๆ และแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นภายในโรงพยาบาล

ขอขอบพระคุณ คุณพพร กลิ่นวิจิต นักศึกษาปริญญาโท ห้องปฏิบัติการวิจัย เครื่องจักรกลไฟฟ้า (Electrical Machines Research Laboratory : EMRL) สำหรับข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่ได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ และคำแนะนำทั้งการประกอบอุปกรณ์ ตลอดจนการเขียนโปรแกรม

ขอขอบพระคุณ คุณภาวัต ท้าวฤทธิ์ เจ้าหน้าที่ช่างเทคนิคประจำโรงพยาบาล มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ทำให้การสำรวจโหลดภายในโรงพยาบาลแต่ละห้องอย่างละเอียดผ่านไปด้วยดี

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุน อีกทั้งเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการให้ยืมอุปกรณ์ ให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำโครงการครั้งนี้ สำเร็จได้ด้วยดี ตลอดจนบุคคลต่าง ๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมากที่คณะผู้จัดทำไม่สามารถกล่าวนามได้ทั้งหมด ณ ที่นี้ จึงขอกราบขอบพระคุณและขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	3
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	4
2.2 Arduino	6
2.2.1 Arduino Nano	7
2.3 Single Phase Voltage Sensor Module	8
2.4 หม้อแปลงกระแส	9
2.5 การเชื่อมต่อหม้อแปลงกระแสเข้ากับ Arduino	11
2.6 MicroSD Card	12
2.7 MicroSD Card Module	13
2.8 Real Time Clock Module	14
2.9 NodeMCU	15
2.10 ThingSpeak	17
2.11 การส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ I <sup>2</sup> C	18
2.12 การแจกแจงแบบปกติ	21
2.13 การวิเคราะห์การถดถอย	22
บทที่ 3 การออกแบบและประกอบสร้าง	24
3.1 การสำรวจอาคารโรงพยาบาล	24
3.1.1 แผนผังอาคาร	24
3.1.2 เวลาทำการของแต่ละแผนก	29
3.2 การเลือกตำแหน่งติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคาร โรงพยาบาล	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์การวัดปริมาณทางไฟฟ้า	30
3.3.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของอุปกรณ์การวัดปริมาณทางไฟฟ้า	30
3.3.2 การออกแบบวงจรในส่วนของการวัด	31
3.3.3 การออกแบบส่วนของการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และเก็บข้อมูล	33
3.3.3.1 ตัวอย่างการทดลองการสื่อสารข้อมูลแบบ UART	36
3.3.3.2 ตัวอย่างการทดลองการสื่อสารข้อมูลแบบ SPI	37
3.3.3.3 ตัวอย่างการทดลองการสื่อสารข้อมูลแบบ I <sup>2</sup> C	38
3.3.4 การออกแบบซอฟต์แวร์	43
3.3.5 การเปรียบเทียบค่า	44
3.3.6 การทดลองติดตั้งเครื่องมือวัด	49
<b>บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง</b>	<b>55</b>
4.1 ผลจากการติดตั้งอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า	55
4.1.1 ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า	55
4.1.2 ผลการทดสอบการบันทึกข้อมูลใน MicroSD Card	57
4.1.3 ผลการทดสอบการแสดงผลบนฐานข้อมูล ThingSpeak	60
4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	62
4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับภาระไฟฟ้าภายในโรงพยาบาล	62
4.2.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับภาระไฟฟ้าภายในโรงพยาบาล	62
4.2.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระไฟฟ้ากับเวลา	64
4.2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระไฟฟ้ากับวันในสัปดาห์	65
4.2.1.4 ภาระไฟฟ้าที่มีการใช้งานในรูปแบบสุม	67
4.2.2 การสร้างเบสไลน์	68
4.2.3 ตัวอย่างเบสไลน์จากการคำนวณ	71
4.2.3.1 เบสไลน์ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ	72
4.2.3.2 เบสไลน์ที่ไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ	77
4.2.4 การตรวจจับการใช้พลังงานที่ผิดปกติไปจากเบสไลน์	82
<b>บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงการ</b>	<b>84</b>
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	84
5.2 ปัญหาและข้อจำกัด	85
5.3 ข้อเสนอแนะ	85

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	87
ภาคผนวก ก เอกสารวิชาการ	89
ภาคผนวก ข โปสเตอร์	94
ภาคผนวก ค ตารางโหนดโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา	96
ภาคผนวก ง เอกสารข้อมูลของอุปกรณ์ต่าง ๆ (Datasheet)	116
ประวัติผู้เขียน	144



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

	หน้า
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	4
2.2 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์	4
2.3 อินเตอร์เฟซของโปรแกรม Arduino IDE	6
2.4 Pin Layout ของ Arduino Nano	7
2.5 Single Phase Voltage Sensor Module	8
2.6 วงจรภายในของ Single Phase Voltage Sensor Module	8
2.7 หม้อแปลงกระแสแบบทอรอยด์	9
2.8 B-H Curve ของแกนเหล็กชนิดหนึ่ง	10
2.9 วงจรแปลงสัญญาณกระแสจากหม้อแปลงกระแสไปเป็นแรงดันอนาล็อกสำหรับ Arduino	11
2.10 ส่วนประกอบใน MicroSD Card	12
2.11 MicroSD Card Module	13
2.12 วงจรภายในของ MicroSD Card Module	13
2.13 Real Time Clock Module DS3231	14
2.14 NodeMCU	15
2.15 Pin Layout ของ NodeMCU	15
2.16 ไดอะแกรมอธิบายการทำงานของระบบ IoT ด้วย ThingSpeak	17
2.17 I <sup>2</sup> C Interface Diagram	18
2.18 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I <sup>2</sup> C บัส	19
2.19 ลำดับการทำงานของ การสื่อสารแบบ I <sup>2</sup> C (Timing Diagram)	20
2.20 เส้นโค้งปกติ	21
2.21 Linear Regression	22
3.1 แผนผังอาคารโรงพยาบาล ชั้น 1	26
3.2 แผนผังอาคารโรงพยาบาล ชั้น 2	26
3.3 แผนผังอาคารโรงพยาบาล ชั้น 3	27
3.4 แผนผังอาคารโรงพยาบาล ชั้น 4	27
3.5 แผนผังอาคารโรงพยาบาล ชั้น 5	28
3.6 แผนผังอาคารโรงพยาบาล ชั้น 6	28
3.7 โครงสร้างของเครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้า	31
3.8 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าแบบแยกแกนรุ่น SCT024TS	31
3.9 Volt-Ampere Characteristic	32
3.10 Single Phase Voltage Module 3 ตัวสำหรับไฟฟ้า 3 เฟส	33
3.11 Schematic Diagram ของวงจรในส่วนของการวัด	34
3.12 แผ่นวงจร PCB ในส่วนของการวัด	35

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
3.13 โปรแกรมในการสื่อสารข้อมูลและหน้าจอ Serial Monitor (12 ค่า, 115200 baud)	36
3.14 เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลทั้งหมดวัดจาก Logic Analyzer (12 ค่า, 115200 baud)	36
3.15 โปรแกรมในการสื่อสารข้อมูลและหน้าจอ Serial Monitor (5 Slave, 12 ค่า, CLK 4 MHz, Delay 12 $\mu$ s)	37
3.16 เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลทั้งหมดวัดจาก Logic Analyzer (5 Slave, 12 ค่า, CLK 4 MHz, Delay 12 $\mu$ s)	37
3.17 โปรแกรมในการสื่อสารข้อมูลและหน้าจอ Serial Monitor (5 Slave, 12 ค่า, CLK 400 kHz)	38
3.18 เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลทั้งหมดวัดจาก Logic Analyzer (5 Slave, 12 ค่า, CLK 400 kHz)	38
3.19 Schematic Diagram ของวงจรในส่วนของการสื่อสาร	41
3.20 แผ่นวงจร PCB ในส่วนของการสื่อสาร	42
3.21 การทำงานของโปรแกรม	43
3.22 ภาระไฟฟ้าชนิดตัวต้านทาน	44
3.23 ภาระไฟฟ้าชนิดตัวเหนี่ยวนำ	44
3.24 ค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่าง ๆ ที่อ่านได้จากอุปกรณ์ในการวัดที่ประกอบสร้างขึ้นมา	45
3.25 ค่าแรงดันและกระแสในแต่ละเฟสที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน	45
3.26 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและตัวประกอบกำลังในแต่ละเฟสที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน	45
3.27 ส่วนประกอบทั้งหมดภายในอุปกรณ์การวัด	49
3.28 วงจรแหล่งจ่ายและวงจรบัล $I^2C$	49
3.29 การต่อหม้อแปลงกระแสเข้ากับวงจรย่อย	50
3.30 การต่อวัดแรงดันไฟฟ้า	50
3.31 ค่าของแรงดันในแต่ละเฟสเทียบกับเวลา	51
3.32 ค่าของกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสเทียบกับเวลา	51
3.33 ค่าของตัวประกอบกำลังในแต่ละเฟสเทียบกับเวลา	52
3.34 ข้อมูลแรงดันเฟส A จาก ThingSpeak	52
3.35 ข้อมูลแรงดันเฟส B จาก ThingSpeak	53
3.36 ข้อมูลแรงดันเฟส C จาก ThingSpeak	53
3.37 ข้อมูลกระแสเฟส A จาก ThingSpeak	53
3.38 ข้อมูลกระแสเฟส B จาก ThingSpeak	54
3.39 ข้อมูลกระแสเฟส C จาก ThingSpeak	54
4.1 ตู้ MDB ที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์	55
4.2 ก่อนติดตั้งหม้อแปลงกระแส	56

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.3 การติดตั้งหม้อแปลงกระแส	56
4.4 อุปกรณ์ติดตั้งสมบรูณ์ภายในตู้ MDB	56
4.5 กำลังไฟฟ้าของวงจรย่อยที่ 1 เฟส A (โรงอาหาร)	58
4.6 กำลังไฟฟ้าของวงจรย่อยที่ 2 เฟส A (ร้านสะดวกซื้อ)	58
4.7 กำลังไฟฟ้าของวงจรย่อยที่ 3 เฟส A (เครื่อง CT Scan)	59
4.8 กำลังไฟฟ้าของวงจรย่อยที่ 4 เฟส A (เครื่อง X-ray)	59
4.9 กำลังไฟฟ้าของวงจรย่อยที่ 5 เฟส A (เครื่อง CT Scan)	59
4.10 แรงดันไฟฟ้าเฟส A บน ThingSpeak	60
4.11 กระแสไฟฟ้าเฟส A บน ThingSpeak	60
4.12 กำลังไฟฟ้าเฟส A บน ThingSpeak	61
4.13 อุณหภูมิภายในเครื่องมือวัดบน ThingSpeak	61
4.14 อุณหภูมิในวันอังคารจำนวน 3 สัปดาห์	62
4.15 เส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของวงจรย่อย LP5 ในวันอังคารจำนวน 3 สัปดาห์	62
4.16 เส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของวงจรย่อย LP1A ในวันอังคารจำนวน 3 สัปดาห์	63
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยใน 1 วันของภาระไฟฟ้าในชั้น 5	63
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยใน 1 วันของภาระไฟฟ้าใน LP1A	64
4.19 กำลังไฟฟ้าช่วงเวลาเปิดทำการ พักเที่ยง และปิดทำการของโรงพยาบาล	64
4.20 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของโรงอาหาร (CB1) วันจันทร์กับวันเสาร์	65
4.21 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ (CB2) วันจันทร์กับวันเสาร์	65
4.22 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่อง CT-scans (CB3) วันจันทร์กับวันเสาร์	65
4.23 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่อง X-ray (CB4) วันจันทร์กับวันเสาร์	66
4.24 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่อง CT Scans (CB5) วันจันทร์กับวันเสาร์	66
4.25 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของวันจันทร์ถึงศุกร์กับวันเสาร์และอาทิตย์ของภาระไฟฟ้าในชั้น 5	66
4.26 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่อง X-ray ในวันจันทร์ของ 4 สัปดาห์	67
4.27 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่อง CT Scans ในวันจันทร์ของ 4 สัปดาห์	67
4.28 ตัวอย่างเส้นค่าเฉลี่ยของข้อมูลกำลังไฟฟ้าใน 1 วัน	68

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.29 ตัวอย่างเบสไลน์จากการเฉลี่ยเส้นค่าเฉลี่ยในวันพฤหัสบดีของหลาย ๆ สัปดาห์	68
4.30 สมการเชิงเส้นและจุดข้อมูลของอุณหภูมิแวดล้อมและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 1 วัน	69
4.32 Histogram ของผลต่างระหว่างเส้นค่าเฉลี่ยและข้อมูลจริงและเส้นโค้ง Normal Distribution	70
4.33 ตัวอย่างเบสไลน์ในวันพฤหัสบดี	71
4.34 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 4 กุมภาพันธ์ 2019	72
4.35 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 4 มีนาคม 2019	72
4.36 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 11 มีนาคม 2019	72
4.37 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันอังคารที่ 5 กุมภาพันธ์ 2019	73
4.38 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันอังคารที่ 5 มีนาคม 2019	73
4.39 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันอังคารที่ 12 มีนาคม 2019	73
4.40 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพุธที่ 6 กุมภาพันธ์ 2019	74
4.41 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพุธที่ 6 มีนาคม 2019	74
4.42 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพุธที่ 13 มีนาคม 2019	74
4.43 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพฤหัสบดีที่ 7 กุมภาพันธ์ 2019	75
4.44 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพฤหัสบดีที่ 7 มีนาคม 2019	75
4.45 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพฤหัสบดีที่ 14 มีนาคม 2019	75
4.46 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันศุกร์ที่ 8 กุมภาพันธ์ 2019	76
4.47 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันศุกร์ที่ 8 มีนาคม 2019	76
4.48 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันศุกร์ที่ 15 มีนาคม 2019	76
4.49 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 4 กุมภาพันธ์ 2019	77
4.50 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 11 กุมภาพันธ์ 2019	77
4.51 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 4 มีนาคม 2019	77
4.52 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันอังคารที่ 12 กุมภาพันธ์ 2019	78
4.53 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันอังคารที่ 5 มีนาคม 2019	78
4.54 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันอังคารที่ 12 มีนาคม 2019	78
4.55 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพุธที่ 27 กุมภาพันธ์ 2019	79
4.56 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพุธที่ 6 มีนาคม 2019	79
4.57 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพุธที่ 13 มีนาคม 2019	79
4.58 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพฤหัสบดีที่ 14 กุมภาพันธ์ 2019	80
4.59 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพฤหัสบดีที่ 28 กุมภาพันธ์ 2019	80
4.60 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพฤหัสบดีที่ 14 มีนาคม 2019	80
4.61 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันศุกร์ที่ 15 กุมภาพันธ์ 2019	81
4.62 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันศุกร์ที่ 22 กุมภาพันธ์ 2019	81

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
4.63 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันศุกร์ที่ 8 มีนาคม 2019	81
4.64 ความผิดปกติของกำลังไฟฟ้าในช่วง 12:00:00 AM ถึง 12:00:00 PM	82
4.65 ความผิดปกติของกำลังไฟฟ้าในช่วง 12:00:00 AM ถึง 12:00:00 PM	82
4.66 ความผิดปกติของภาระไฟฟ้าแสงสว่าง	83



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 เวลาทำการของแต่ละแผนก	29
3.2 เปรียบเทียบเวลาในการใช้ส่งข้อมูลของการสื่อสารในแต่ละแบบ	39
3.3 เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลและความถูกต้องของข้อมูลในการสื่อสารแบบ UART	39
3.4 เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลและความถูกต้องของข้อมูลในการสื่อสารแบบ SPI	40
3.5 เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลและความถูกต้องของข้อมูลในการสื่อสารแบบ I <sup>2</sup> C	40
3.6 การเปรียบเทียบแรงดันในทั้งสามเฟส	46
3.7 ตารางการเปรียบเทียบกระแสในทั้งสามเฟส	47
3.8 การเปรียบเทียบค่าตัวประกอบกำลังในทั้งสามเฟส	48
3.9 การเปรียบเทียบค่ากระแสที่มีค่าสูง	48
4.1 ข้อมูลบางส่วนของแรงดันไฟฟ้าจาก MicroSD Card	57
4.2 ข้อมูลบางส่วนของกระแสไฟฟ้าจาก MicroSD Card	57
4.3 ตารางแสดงข้อมูลบางส่วนของตัวประกอบไฟฟ้าจาก MicroSD Card	57
4.4 ข้อมูลบางส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงจาก MicroSD Card	58
4.5 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของวันพฤหัสบดี	69

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานไฟฟ้านับเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ อีกทั้งมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศและจำเป็นที่ต้องใช้ในชีวิตประจำวันหลากหลายรูปแบบ เช่น ด้านคมนาคม ด้านการสื่อสาร ด้านการแพทย์ ด้านเกษตรกรรม และด้านคุณภาพชีวิต เป็นต้น และเนื่องจากการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจเพิ่มสูงขึ้นในทุก ๆ ปี รวมถึงจำนวนประชากรในประเทศที่เพิ่มขึ้น จากผลสำรวจในปี พ.ศ.2560 มีจำนวนประชากรถึง 68.1 ล้านคน (ข้อมูลจากเว็บไซต์วิกิพีเดีย) ส่งผลให้สถานที่พักอาศัยและสิ่งอำนวยความสะดวกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และการพัฒนาประเทศในด้านต่าง ๆ ของภาครัฐ ส่งผลให้ระบบสาธารณสุขอุปโภคขั้นพื้นฐาน อันได้แก่ พลังงานไฟฟ้า น้ำ เชื้อเพลิง มีความจำเป็นมากยิ่งขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี และด้วยทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่ในประเทศอย่างจำกัดจึงต้องมีการนำเข้าน้ำมันดิบ น้ำมันสำเร็จรูป ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติ นอกจากนี้ยังต้องซื้อพลังงานไฟฟ้าจากต่างประเทศ ประกอบกับปริมาณพลังงานสำรองที่เหลืออยู่ในโลกมีปริมาณลดน้อยลง และหากยังมีการใช้เชื้อเพลิงจำนวนมากและไม่มีการหาเพิ่ม ปริมาณพลังงานจะหมดสิ้นไปในที่สุด และด้วยเหตุที่ประเทศไทยมีทรัพยากรธรรมชาติที่นำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าน้อย ดังนั้นประชากรในประเทศควรมีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานซึ่งอาจทำได้โดยการสร้างพฤติกรรมประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ใช่พลังงานฟุ่มเฟือยเกินความจำเป็น แต่การกระทำในระยะเวลานั้นนั้นทำได้ยาก จึงต้องเริ่มต้นพัฒนาให้เร็วที่สุด เพื่อความมั่นคงของไฟฟ้าในอนาคตอันก่อให้เกิดเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าของประเทศไทย

นอกจากนี้แล้วในการจ่ายไฟฟ้าให้แก่ภาระไฟฟ้า ถ้าหากทราบเวลาใดควรจ่ายพลังงานเท่าใดเป็นเรื่องที่ดี เพราะหากมีการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลและพิจารณาว่าการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลาเป็นเท่าใดได้แล้วและมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างไร ส่งผลให้ทราบได้ว่าการผลิตไฟฟ้าหรือการนำเข้ควรมีกำลังไฟฟ้าสำรองในอนาคตเท่าใด อีกทั้งเมื่อทราบภาระไฟฟ้ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างไร ก็ยังส่งผลให้ทราบได้อีกว่าภาระไฟฟ้าใดใช้ไฟเกินความจำเป็น มีแนวทางแก้ไขอย่างไร และสามารถควบคุมภาระไฟฟ้าให้ทำงานตามที่ต้องการได้หรือไม่ ประกอบกับหากผู้ใช้ไฟฟ้าร่วมมือปฏิบัติตามนโยบายประหยัดพลังงานของภาครัฐอย่างดี ทั้งในภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม มีจิตสำนึกในการประหยัดพลังงาน ร่วมกันลดใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงการใช้ไฟฟ้าสูงสุด รวมถึงการก่อสร้างอาคารในอนาคตก็ควรค่าถึงมาตรฐานการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงานทั้งหมด ซึ่งหากปฏิบัติได้ทั้งหมดนี้ จะทำให้ระบบไฟฟ้าไทยมีความมั่นคงมากยิ่งขึ้น

สำหรับการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารต่าง ๆ จะมีส่วนที่จำเป็นต้องใช้และไม่สามารถลดการใช้ได้ ยกตัวอย่างเช่น อาคารโรงพยาบาล ที่มีบางแผนกจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าตลอดเวลา เช่น แผนกฉุกเฉินที่ต้องมีความพร้อมตลอด 24 ชั่วโมง การวิเคราะห์อาคารผู้ป่วยที่ต้องใช้แสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้าทางการแพทย์ในการตรวจรักษาโรค หรือการผ่าตัดซึ่งจะขาดไฟฟ้าไปไม่ได้ จะเห็นได้ว่าภายในอาคารโรงพยาบาลจึงมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก และต้องการความมั่นคงในระบบไฟฟ้า ซึ่งถ้าหากวิเคราะห์ได้ว่าอาคารโรงพยาบาลต้องการใช้พลังงานเท่าใด ก็สามารถนำไปวิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้าพื้นฐาน (Base line) ได้ ทำให้สามารถพิจารณาได้ว่าในช่วงเวลาของวันต้องการใช้

พลังงานเท่าใด รวมถึงในช่วงสุดสัปดาห์และในแต่ละเดือนต้องการใช้พลังงานแตกต่างกันเท่าใด ซึ่งข้อมูลนี้อาจเป็นประโยชน์ต่อผู้สังเกตการณ์พลังงานได้ นอกจากนี้ยังศึกษาปัจจัยทางอุณหภูมิ แวดล้อมที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน และในอนาคตอาจพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมอื่น เช่น จำนวนคนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้น จึงต้องเปิดเครื่องปรับอากาศมากขึ้น ก็สามารถควบคุมภาระไฟฟ้าให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดได้โดยการพิจารณาจากข้อมูลว่า เวลาใดที่มีผู้ใช้บริการมาก ก็ค่อยๆ เพิ่มกำลังการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นผลดีกว่าการที่เพิ่มกำลังไฟฟ้าแบบทันทีทันใด ตลอดจนการควบคุมระบบแสงสว่างด้วย

จากความสำคัญเรื่องการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้างานดังกล่าว คณะผู้จัดทำจึงจัดทำระบบติดตามและวัดพลังงานไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาลที่จะทำการวัดปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวัน ซึ่งจะทำให้การเก็บข้อมูลตลอดเวลา นับจากเริ่มการติดตั้ง เมื่อครบหนึ่งสัปดาห์จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ว่าในแต่ละวันมีการใช้พลังงานแตกต่างกันอย่างไร และเมื่อเก็บข้อมูลครบตามช่วงเวลาที่ต้องการ ก็นำข้อมูลมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบ ซึ่งการกระทำเช่นนี้จะทำให้เห็นได้ว่าความต้องการไฟฟ้าพื้นฐานเป็นอย่างไรและสามารถนำไปประยุกต์เพื่อควบคุมโหลดดังที่กล่าวข้างต้นได้ในอนาคต

ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาลจะประกอบด้วยอุปกรณ์การวัดปริมาณทางไฟฟ้า โดยนำอาดุยโน (Arduino) มาประยุกต์ในการสร้างอุปกรณ์ติดตามพลังงานไฟฟ้า เนื่องจาก Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานง่าย สามารถพัฒนาต่อยอดได้ เพื่อรับค่าและประมวลผลข้อมูลแล้วนำมาหาความต้องการไฟฟ้าปกติเทียบกับเวลา แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริง ณ แต่ละช่วงเวลา เพื่อตรวจสอบว่าภาระไฟฟ้าทำงานในสภาวะปกติหรือไม่ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ในรูปแบบความแตกต่างในแต่ละช่วงเวลาและตรวจพบความผิดปกติของระบบที่เกิดขึ้น แล้วจึงแจ้งเตือนเพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาได้ทัน่วงที ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาลมีความมั่นคง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อออกแบบและสร้างระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล
2. เพื่อหาความต้องการไฟฟ้าปกติเทียบกับเวลา
3. เพื่อตรวจสอบความผิดปกติในระบบที่อาจเกิดขึ้น
4. เพื่อส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาต่อยอดโครงการเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

## 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

ติดตั้งที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี โดยติดตั้งอุปกรณ์ติดตามพลังงานไฟฟ้าในห้องไฟฟ้า ที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker : CB) ของเครื่องซีทีสแกน (CT Scan) และเครื่องเอกซเรย์ในตู้สวิตช์ประธาน (Main Distribution Board : MDB) และการวิเคราะห์การใช้พลังงานจะนำข้อมูลลงจรรยาอย่ที่ตำแหน่งของภาระไฟฟ้าในชั้น 5 (LP5) และภาระไฟฟ้าแสงสว่างในชั้น 1 (LP1A) มาประกอบการวิเคราะห์

#### 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

นำข้อมูลจากการวัดกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ผ่านหม้อแปลงกระแสและหม้อแปลงแรงดัน และใช้ Arduino Nano เป็นตัวไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) ในการรับค่าและประมวลผลข้อมูลเพื่อนำมาเป็นเกณฑ์ในการหาความต้องการไฟฟ้าปกติเทียบกับเวลาควบคู่กับการนำข้อมูลอุณหภูมิแวดล้อมมาเปรียบเทียบ เพื่อให้ทราบว่าอุณหภูมิมีผลอย่างไรต่อภาระไฟฟ้าในเวลานั้น โดยระบบถูกออกแบบให้มีการบันทึกข้อมูลลงในไมโครเอสดีการ์ด (MicroSD Card) และส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตโดยส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล ThingSpeak ทำให้มีความสะดวกในการรับส่งข้อมูลระยะไกล แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริง ณ เวลานั้น เพื่อตรวจสอบว่า ณ เวลานั้น ภาระไฟฟ้าทำงานในสภาวะปกติหรือไม่ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ในรูปแบบความแตกต่างในแต่ละช่วงเวลาและตรวจพบความผิดปกติของระบบที่เกิดขึ้นแล้วแก้ไขปัญหาค้นหาที่

#### 1.5 แผนการดำเนินโครงการ

กิจกรรม	2561					2562		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาหัวข้อโครงการ								
ศึกษาระบบตรวจติดตามการใช้พลังงาน								
จัดเตรียมอุปกรณ์								
จัดทำเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า								
ติดตั้ง ณ โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา								
เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล								
สรุปผลข้อมูล								
จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์								

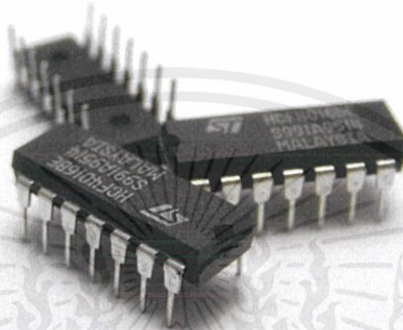
#### 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. ได้ออกแบบและสร้างระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล
2. ได้รับข้อมูลความต้องการไฟฟ้าปกติเทียบกับเวลา
3. สามารถตรวจสอบความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในระบบได้
4. สามารถต่อยอดโครงการแล้วนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

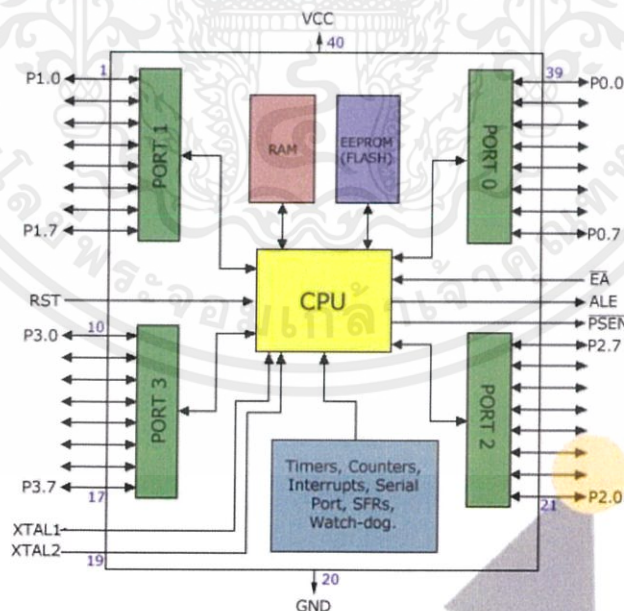
ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กที่สามารถทำงานได้ในรูปแบบของคอมพิวเตอร์ โดยมีการรวมส่วนประกอบหลักของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ในอุปกรณ์ตัวเดียวกัน คือ ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ตเข้าไว้ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

(รูปจาก [www.turbofuture.com/misc/What-is-an-Arduino-Programming-Microcontrollers](http://www.turbofuture.com/misc/What-is-an-Arduino-Programming-Microcontrollers))

ส่วนประกอบและหน้าที่ของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์

(รูปจาก [www.elprojects.blogspot.com/2010/06/microcontroller-at89s52-description.html](http://www.elprojects.blogspot.com/2010/06/microcontroller-at89s52-description.html))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (Central Processing Unit หรือ CPU) มีหน้าที่นำข้อมูลจากอุปกรณ์ที่รับส่งข้อมูลมาทำงานในระบบ พร้อมทั้งการประมวลผลข้อมูลตามการออกแบบของโปรแกรมที่เขียนไว้เพื่อรับคำสั่ง และส่งผลลัพธ์ออกไปยังหน่วยแสดงผล ซึ่งมองได้ว่าซีพียูเป็นศูนย์กลางของระบบเพื่อที่จะทำการควบคุมระบบทั้งหมดในตัวคอมพิวเตอร์

2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือหน่วยความจำเฉพาะสำหรับเก็บค่าจากโปรแกรมหลัก (Program Memory) ยกตัวอย่างเช่น Flash Memory โดยรูปแบบการทำงานของหน่วยความจำนี้เป็นหน่วยความจำที่อ่านและเขียนได้ด้วยระบบไฟฟ้า จากลักษณะการทำงานสามารถเปรียบได้กับฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยคุณสมบัติของฮาร์ดดิสก์นั้นสามารถที่จะรักษาข้อมูลไว้ในระบบตลอดแม้จะไม่มีกระแสไฟเลี้ยงให้แก่ตัวอุปกรณ์ก็ตาม

หน่วยความจำรูปแบบที่สองคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) จะเปรียบเสมือนการทดกระดาชของการคำนวณในระบบ และเป็นที่พักชั่วคราวของข้อมูลเมื่อระบบมีการทำงาน ซึ่งจะต่างกับหน่วยความจำแบบที่หนึ่งโดยที่จะไม่สามารถเก็บข้อมูลไว้ได้หรือข้อมูลจะหายไปในขณะที่ไม่มีไฟเลี้ยง คล้ายคลึงกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ยุคใหม่ หน่วยความจำข้อมูลสามารถมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรมและอี-อีพรอม (Erasable Electrically Read-Only Memory หรือเรียกว่า EEPROM) ซึ่งข้อมูลที่เป็นหน่วยความจำแรมจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง แต่อีอีพรอมสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยงก็ตาม ซึ่งในอดีตเป็นหน่วยความจำโปรแกรมแบบ EPROM หรือหน่วยความจำที่สามารถถูกลบด้วยแสง

3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกหรือเรียกว่าพอร์ต (Port) แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) โดย 2 ลักษณะนี้จะนำไปใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง พอร์ตอินพุตจะทำหน้าที่ในการรับสัญญาณเพื่อนำไปประมวลผลและส่งต่อไปแสดงผลที่พอร์ตเอาต์พุต

4. ช่องทางเดินของสัญญาณหรือเรียกว่าบัส (BUS) เป็นจุดที่มีการแลกเปลี่ยนสัญญาณของข้อมูลระหว่าง 3 ส่วนหลัก คือ ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต ซึ่งจะมีลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งช่องทางเดินเป็น 3 บัส คือ บัสข้อมูล (Data Bus) บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นมีการกำหนดให้ขึ้นอยู่กับกำหนดจังหวะในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ การทำงานจะมีการทำงานที่ถี่ขึ้นเมื่อสัญญาณนาฬิกามีความถี่ที่สูง แสดงถึงการที่ตัวอุปกรณ์จะมีการตอบสนองจากความถี่สูงให้มีความเร็วในการประมวลผลที่สูงขึ้นสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น

## 2.2 Arduino

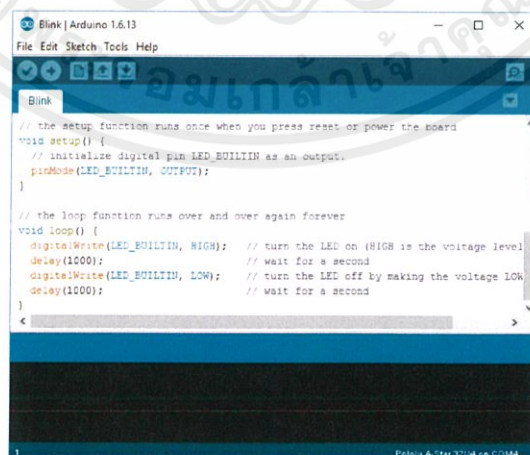
Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่ถูกพัฒนาแบบ Open Source ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software โดยตัวบอร์ด Arduino นั้น ถูกออกแบบมาให้ง่ายต่อการใช้งานจึงเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับผู้เริ่มศึกษาในเบื้องต้น โดยไม่ว่าจะเป็นผู้ใช้งานที่ฝึกฝนมานานหรือเป็นผู้ใช้งานเบื้องต้นก็สามารถดัดแปลงเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาต่อยอดโปรแกรมที่ควบคุมบอร์ดอาควินได้ด้วยตัวผู้ใช้งานเอง ผู้ใช้งานสามารถพัฒนางจรจากการเชื่อมต่ออุปกรณ์หรือวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกอย่างสะดวกโดยผ่านการต่อเชื่อมเข้ากับจุดที่ขาอินพุตและเอาต์พุต เพื่อเป็นการประยุกต์ใช้ตัวบอร์ดอีกชั้นหนึ่ง

### จุดเด่นของบอร์ด Arduino

1. ผู้เริ่มต้นสามารถศึกษาใช้งานได้ เพราะการควบคุมระบบมีความง่ายทั้งโปรแกรมและบอร์ด
2. Arduino Community มีกลุ่มร่วมพัฒนาที่มีความเหนียวแน่นและแข็งแรง
3. Open Hardware ทำให้ผู้ใช้งานสามารถนำบอร์ด Arduino ใช้งานเพื่อต่อยอดได้หลายรูปแบบ
4. Cross Platform สามารถนำไปพัฒนาโปรแกรมของระบบปฏิบัติการ OS ใดก็ได้
5. เป็นอุปกรณ์ที่มีราคาไม่แพง

### การเขียนโปรแกรมบน Arduino

ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมของ Arduino มีความคล้ายคลึงกับภาษา C++ โดยเป็นภาษาที่ง่ายต่อการที่จะนำไปพัฒนาต่อยอดของผู้ใช้งาน โดยมีโปรแกรมที่สร้างขึ้นสำหรับผู้ใช้งานที่มีการพัฒนาให้นำมาใช้ได้โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายใด ๆ ซึ่งใช้ชื่อโปรแกรมว่า Arduino IDE ซึ่งสามารถใช้กับ Arduino ได้ครบทุกรุ่น รวมถึงยังมีไลบรารี (library) มากมายที่นำไปประกอบการต่อยอดของผู้ใช้งานตามรูปแบบที่ผู้ใช้งานต้องการ ยกตัวอย่างเช่น การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ก็จะมีไลบรารีที่เหมาะสมคือ EnergyMonitor ทำให้การ Sampling หรือการดึงค่าตัวอย่างข้อมูลเป็นไปอย่างง่าย ตัวอย่างอินเตอร์เฟซของโปรแกรม Arduino IDE แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



```

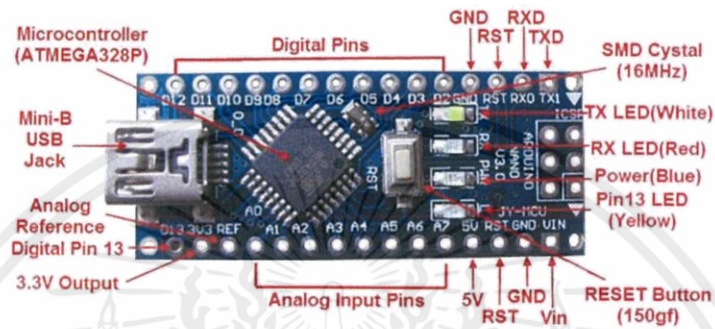
Blink | Arduino 1.6.13
File Edit Sketch Tools Help
Blink
// the setup function runs once when you press reset or power the board
void setup() {
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output.
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
}

// the loop function runs over and over again forever
void loop() {
  digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000); // wait for a second
  digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000); // wait for a second
}
  
```

รูปที่ 2.3 อินเตอร์เฟซของโปรแกรม Arduino IDE

## 2.2.1 Arduino Nano

Arduino Nano ตามความหมายของคำว่า Nano แล้วจึงสื่อได้ว่า Arduino Nano เป็น Arduino ที่มีขนาดเล็กและราคาไม่แพง โดยมีลักษณะที่มีขาเป็นรูปแบบตัวผู้จำนวน 22 ขา เป็น Digital Input/Output และ 8 ขาเป็น Analog Input ซึ่งเป็นจำนวนที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และสามารถนำไปใช้ต่อกับ PCB ได้โดยตรง โดยใช้สายตัวเชื่อมหรือสายจัมเปอร์ต่อระหว่างจุดสองจุด อีกทั้งยังสะดวกในการประหยัดพื้นที่และสามารถใช้พร้อม ๆ กันได้หลายตัวประกอบกันเป็นระบบตามต้องการ ตัวอย่าง Arduino Nano พร้อม Pin Layout แสดงได้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 Pin Layout ของ Arduino Nano

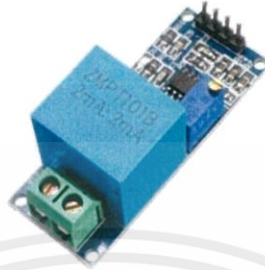
(รูปจาก [www.robotinc.asia/Arduino/ArduinoNANO.html](http://www.robotinc.asia/Arduino/ArduinoNANO.html))

### คุณสมบัติของ Arduino Nano

Microcontroller	: ATmega328
Architecture	: AVR
Operating Voltage	: 5 V
Flash Memory	: 32 KB of which 2 KB used by bootloader
SRAM	: 2 KB
Clock Speed	: 16 MHz
Analog IN Pins	: 8
EEPROM	: 1 KB
DC Current per I/O Pins	: 40 mA (I/O Pins)
Input Voltage	: 7-12 V
Digital I/O Pins	: 22 (6 of which are PWM)
PWM Output	: 6
Power Consumption	: 19 mA
PCB Size	: 18 x 45 mm
Weight	: 7 g

## 2.3 Single Phase Voltage Sensor Module

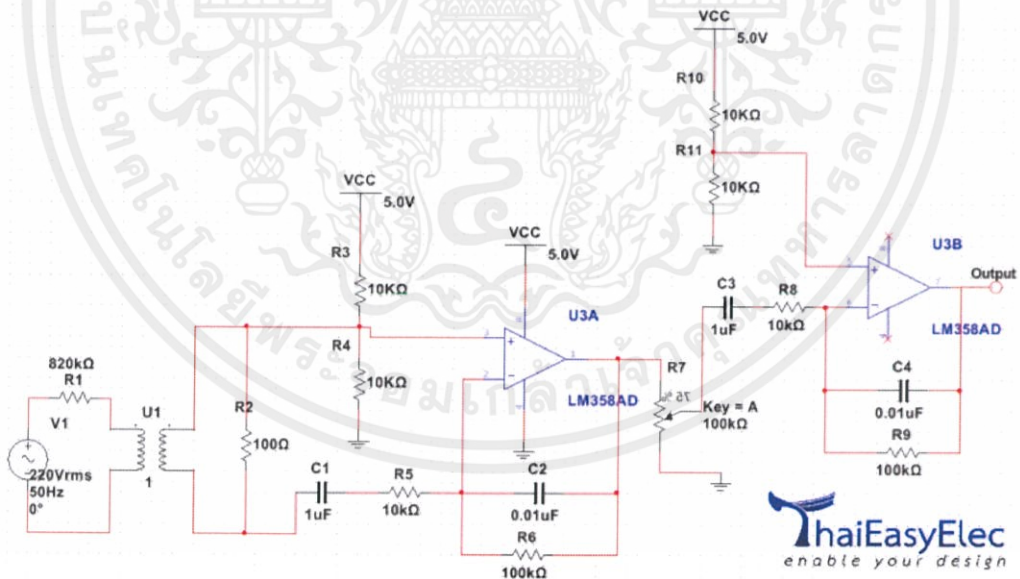
เป็นโมดูลที่ถูกออกแบบมาเพื่อวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 0-250 V หนึ่งเฟส แสดงได้ดังรูปที่ 2.5 โดยจะสามารถเชื่อมต่อกับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยไม่ต้องมีวงจรภายนอกเพิ่ม เนื่องจากมีวงจรภายในในการแปลงแรงดันกระแสสลับให้อยู่ในช่วง 0-5 V ที่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถใช้งานได้



รูปที่ 2.5 Single Phase Voltage Sensor Module

(รูปจาก [www.arduitronics.com/product/1457/single-phase-voltage-sensor-module](http://www.arduitronics.com/product/1457/single-phase-voltage-sensor-module))

โดยวงจรภายในแสดงดังรูปที่ 2.6 ซึ่งประกอบด้วยค่าตัวต้านทานขนาดสูงเพื่อลดแรงดันอินพุต จากนั้นจะผ่านหม้อแปลงแรงดัน ZMPT101B ที่มี Turn Ratio เท่ากับ 1 เพื่อแยกวงจรการวัดและวงจรกำลังออกจากกันและทำการยกแรงดันให้มีจุดเริ่มต้นเท่ากับ 2.5 Vdc และผ่านวงจรลดทอนแรงดันเพื่อให้มีแรงดันยอติงยอติงไม่เกิน 5 V เพื่อที่จะนำไปเชื่อมต่อกับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.6 วงจรภายในของ Single Phase Voltage Sensor Module

(รูปจาก [www.thaieasyelec.com/products/sensors/single-phase-voltage-sensor-1552-detail.html](http://www.thaieasyelec.com/products/sensors/single-phase-voltage-sensor-1552-detail.html))

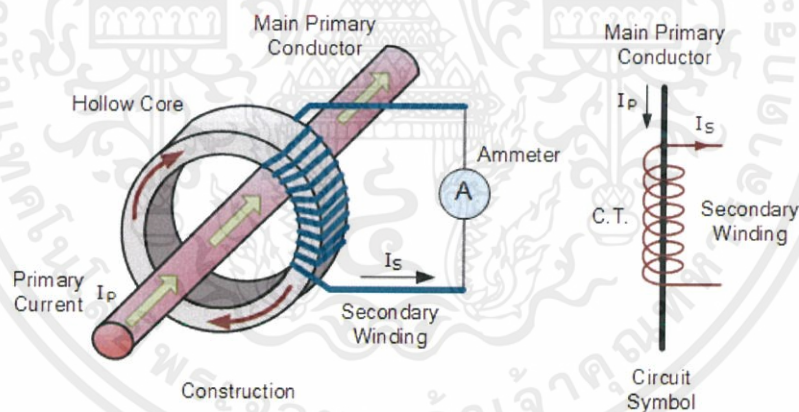
## 2.4 หม้อแปลงกระแส (Current Transformer)

หม้อแปลงกระแส (Current transformer) หรือเรียกว่า ซีที (CT) เป็นหม้อแปลงที่เปรียบเสมือนเครื่องมือวัดโดยถูกออกแบบมาเพื่อให้สร้างกระแสไฟฟ้าขึ้นที่ตำแหน่งทุติยภูมิโดยจะเป็นสัดส่วนกันกับกระแสทางด้านปฐมภูมิ หลักการของหม้อแปลงกระแสจะคล้ายคลึงกันกับหม้อแปลงแรงดัน โดยขดลวดด้านปฐมภูมิและขดลวดด้านทุติยภูมิจะมีจำนวนรอบที่ต่ำและสูงตามลำดับ จะทำการลดทอนกระแสปฐมภูมิลงมาเพื่อที่ได้กระแสแล้วนำไปเข้าตัววัดกระแสหรือแอมมิเตอร์ได้อย่างปลอดภัยโดยจะมีอัตราส่วนของหม้อแปลงกระแสแต่ละชนิดเพื่อเหมาะแก่การนำไปใช้ สามารถแบ่งหม้อแปลงกระแสได้เป็น 3 ประเภทหลัก ๆ คือ

1. Wound Current Transformer – จะเป็นลักษณะการใช้อัตราส่วนของหม้อแปลงกระแส หรือ Turn Ratio กับขดลวดด้านทุติยภูมิ พร้อมทั้งต่อขดลวดด้านปฐมภูมิกับตัวนำที่เราต้องการวัดค่ากระแส

2. Toroidal Current Transformer – หม้อแปลงกระแสชนิดนี้จะใช้ตัวนำกระแสที่ต้องการวัดมาลอดผ่านรูของหม้อแปลงกระแสแบบทอรอยด์ โดยจะไม่มีขดลวดฝั่งปฐมภูมิ ซึ่งบางชนิดจะสามารถแยกแกนเหล็กทอรอยด์ได้ แสดงถึงการที่สามารถวัดค่าได้โดยไม่ต้องทำการถอดสายตัวนำเลยเพื่อที่จะมาลอดผ่านรูแบบทั่วไป ดังรูปที่ 2.7

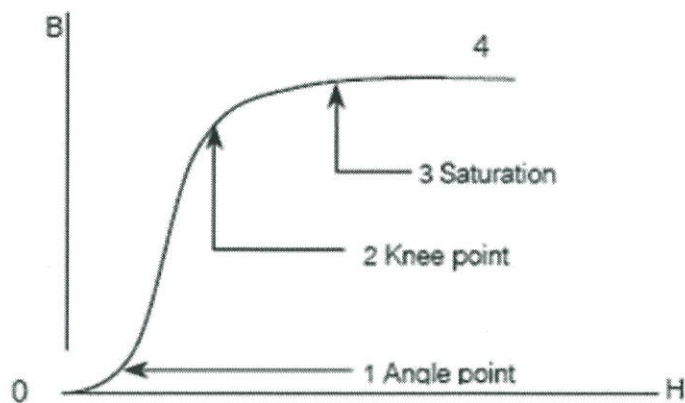
3. Bar-Type Current Transformer – ขดลวดปฐมภูมิสำหรับหม้อแปลงชนิดนี้จะใช้ตัวนำที่ต้องการวัดกระแสมาเป็นด้านปฐมภูมิแทน ส่งผลให้จำนวนรอบของปฐมภูมิมียค่าเท่ากับหนึ่ง



รูปที่ 2.7 หม้อแปลงกระแสแบบทอรอยด์

(รูปจาก [www.electronics-tutorials.ws/transformer/current-transformer.html](http://www.electronics-tutorials.ws/transformer/current-transformer.html))

การที่จะทำให้กระแสทางด้านปฐมภูมิกับกระแสด้านทุติยภูมิสัมพันธ์กันได้นั้นจะต้องใช้องค์ประกอบที่เหมาะสม โดยแกนเหล็กที่มีความเป็นเชิงเส้นของ B-H Curve สูง และไม่อิ่มตัวที่กระแสพิกัดจะถูกเลือกมาใช้เป็นองค์ประกอบเครื่องมือที่เป็นหม้อแปลงกระแส แสดงถึงความง่ายในการปรับค่าเมื่อได้ความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงเส้นกันเพราะแกนเหล็กที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่นในรูปที่ 2.8 ตำแหน่งที่ไม่เกินจุดที่ 2 (Knee point) และไม่ต่ำกว่าจุดที่ 1 (Angle point) เป็นตำแหน่งที่ควรใช้หม้อแปลงกระแสพิกัด



รูปที่ 2.8 B-H Curve ของแกนเหล็กชนิดหนึ่ง

(รูปจาก [www.nongcom-electrical.blogspot.com/2015/08/current-transformer-ct.html](http://www.nongcom-electrical.blogspot.com/2015/08/current-transformer-ct.html))

ในการคำนวณกระแสของหม้อแปลงกระแสก็จะใช้สมการเดียวกันกับหม้อแปลงชนิดอื่น ๆ ก็คือ

$$\text{Turn Ratio} = \frac{n_p}{n_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2.1)$$

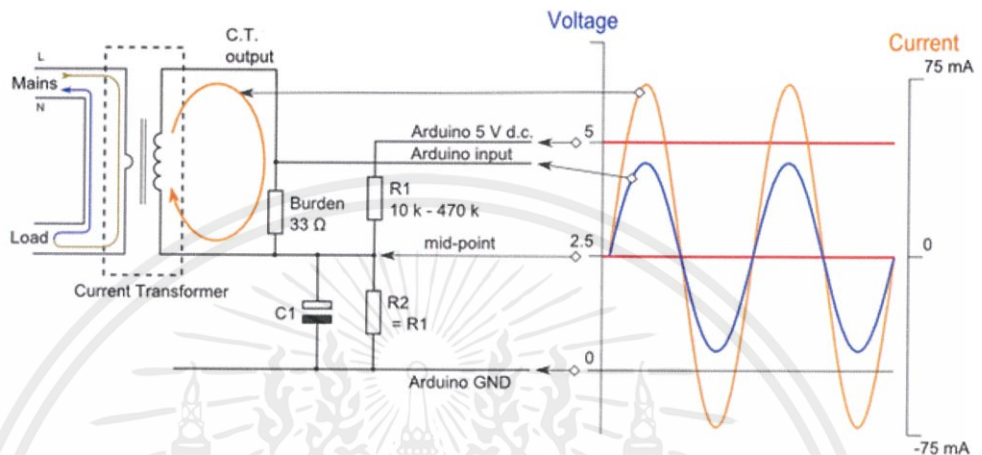
ดังนั้นจะสามารถคำนวณหากระแสทางด้านทุติยภูมิได้ดังนี้

$$I_s = \frac{I_p n_p}{n_s} \quad (2.2)$$

ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่ากระแสทางด้านทุติยภูมินั้นจะสามารถเพิ่มและลดได้ด้วยการเปลี่ยนจำนวนรอบหรือ Turn Ratio ของหม้อแปลง โดยหม้อแปลงกระแสมีข้อควรระวังในการใช้ก็คือ ห้ามเปิดวงจรทางด้านทุติยภูมิเอาไว้ เนื่องจากจะทำให้หม้อแปลงกระแสมีตัวจนทำให้เกิดแรงดันสูงทางด้านทุติยภูมิ

## 2.5 การเชื่อมต่อหม้อแปลงกระแสเข้ากับ Arduino

เนื่องจาก Analog Input Port ของ Arduino รับแรงดันไฟฟ้าได้ 0-5 V ดังนั้นหากต้องการรับค่ากระแสจากหม้อแปลงกระแสจะต้องทำการแปลงกระแสจากหม้อแปลงกระแสเป็นแรงดันในย่าน 0-5 V เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับค่าไปประมวลผลได้ โดยวงจรในการแปลงค่ากระแสของหม้อแปลงกระแสเป็นแรงดันจะเป็นไปตามรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 วงจรแปลงสัญญาณกระแสจากหม้อแปลงกระแสไปเป็นแรงดันอนาล็อกสำหรับ Arduino

(รูปจาก [www.learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/interface-with-arduino](http://www.learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/interface-with-arduino))

โดยวงจรจะทำการแปลงค่ากระแสเป็นแรงดันด้วยตัวต้านทานเบอร์เต็น (Burden Resistor) ซึ่งจะมีค่าขึ้นอยู่กับพิกัดกระแสของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า โดยแรงดันที่เราต้องการจะต้องอยู่ในย่าน 0-5 V จึงหมายความว่าต้องใช้ตัวต้านทานที่ทำให้ค่ากระแสจากยอดถึงยอดแปลงออกมาได้ 5 V ซึ่งหากใช้หม้อแปลงกระแสที่เต็มพิกัด จะสามารถคำนวณค่าตัวต้านทานเบอร์เต็นได้ดังนี้

$$\text{Secondary Current (Peak to Peak)} = 2 \times \text{RMS Current} \times \sqrt{2} \quad (2.3)$$

จากกฎของโอห์มจะได้ว่า

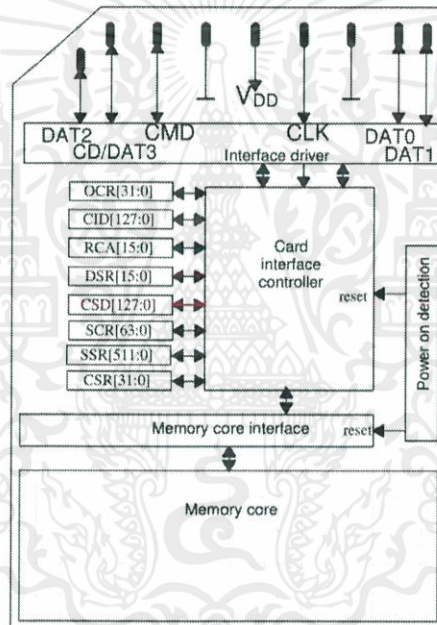
$$\text{Burden Resistor} = \frac{5}{\text{Secondary Current (Peak to Peak)}} = \frac{5}{2 \times \text{RMS Current} \times \sqrt{2}} \quad (2.4)$$

## 2.6 MicroSD Card

MicroSD Card คือ อุปกรณ์ในการจัดเก็บข้อมูลแบบ NAND Flash Memory ที่มีการนำไปใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หลายอย่าง เช่น กล้องดิจิทัล โทรศัพท์มือถือ เป็นต้น MicroSD Card จะมีราคาที่ย่อมเยาขึ้น เมื่อเทียบกับหน่วยความจำอื่น ๆ และในปัจจุบันยังมีการพัฒนา MicroSD Card ให้ดีขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องของความเร็วในการบันทึก

ใน MicroSD Card จะประกอบด้วยส่วนสำคัญดังรูปที่ 2.10 ดังนี้

1. Interface Driver – จะเป็นจุดที่เชื่อมต่อกับวงจรภายนอก ทำหน้าที่ตั้งค่าโหมดที่เหมาะสมและทำการปรับตั้งค่าแรงดันที่เหมาะสมรวมถึงค่าต่าง ๆ ที่ต้องการในการเชื่อมต่อ
2. Card Interface Controller – ทำหน้าที่ประมวลผลคำสั่งที่ผู้ใช้ทำการส่งเข้าไปและทำการอ่านหรือเขียนค่าลงใน Memory Core ผ่าน Memory Core Interface
3. Memory Core – เป็นส่วนที่เก็บข้อมูลเอาไว้ โดยปกติจะเป็น NAND Flash Memory

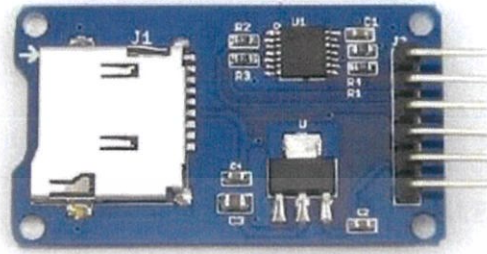


รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบใน MicroSD Card

(รูปจาก [www.vishnumaiea.in/projects/hardware/interfacing-catalex-micro-sd-card-module](http://www.vishnumaiea.in/projects/hardware/interfacing-catalex-micro-sd-card-module))

## 2.7 MicroSD Card Module

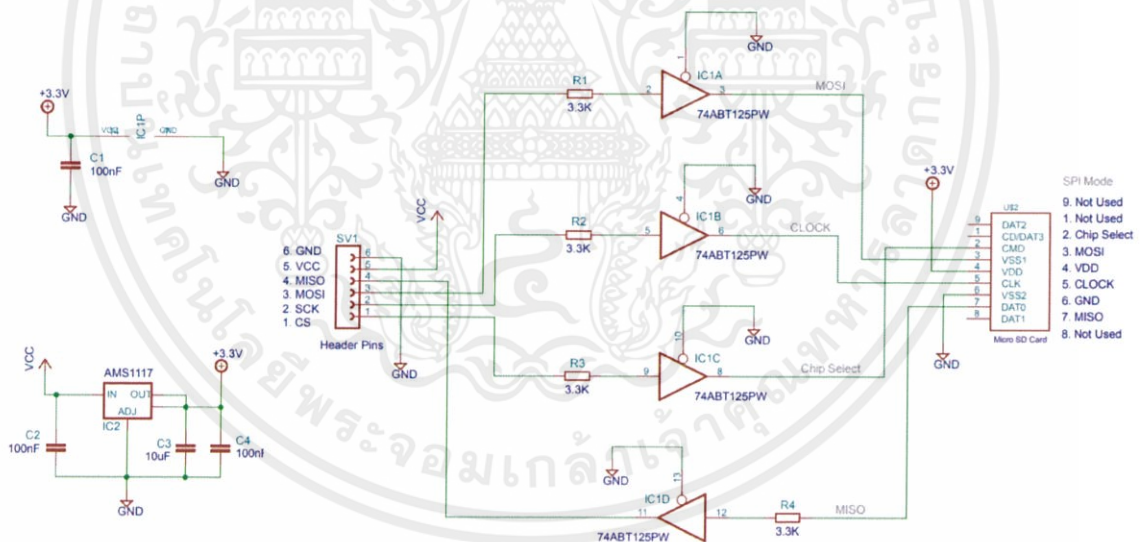
เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเขียนคำสั่งไปยัง MicroSD Card ได้ด้วยโปรโตคอลแบบ Serial Peripheral Interface (SPI) แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 MicroSD Card Module

(รูปจาก [www.vishnumaiea.in/projects/hardware/interfacing-catalex-micro-sd-card-module](http://www.vishnumaiea.in/projects/hardware/interfacing-catalex-micro-sd-card-module))

เนื่องจากวงจรภายในของ MicroSD Card จะทำงานด้วยแรงดัน 3.3 V วงจรภายในจึงประกอบด้วย 5 to 3.3 V Logic Shifter ในการลดระดับแรงดันจากไมโครคอนโทรลเลอร์ให้เหลือ 3.3 V แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรภายในของ MicroSD Card Module

(รูปจาก [www.vishnumaiea.in/projects/hardware/interfacing-catalex-micro-sd-card-module](http://www.vishnumaiea.in/projects/hardware/interfacing-catalex-micro-sd-card-module))

## 2.8 Real Time Clock Module (RTC)

Real Time Clock (RTC) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หลักการจับสัญญาณนาฬิกาที่ได้รับมาจาก Crystal โดยใช้ค่าเวลาที่ได้มาจริง ๆ พร้อมกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลทางเวลาที่เก็บข้อมูลได้โดยไม่ต้องตั้งเวลาใหม่เนื่องจากข้อมูลหายไปจากการหยุดจ่ายไฟเลี้ยง เนื่องจากตัวอุปกรณ์ที่สามารถรักษาข้อมูลเดิมไว้ได้ในขณะไฟเลี้ยงเรียกว่าตัว RTC โดยโมดูล RTC จำเป็นอย่างยิ่งในการบันทึกเวลา (Time Stamp) โดยจะใช้วิธีการส่งข้อมูลที่รับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรงด้วยโปรโตคอลแบบ I<sup>2</sup>C ซึ่งเป็นรูปแบบการส่งที่ข้อมูลที่ไม่ซ้ำเกินไปเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่น แต่มีความแม่นยำและถูกต้องของข้อมูลที่ได้ทำการรับส่ง ยกตัวอย่างเช่น SD Card หรืออุปกรณ์ Data Logger แสดง Real Time Clock Module ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 Real Time Clock Module DS3231

(รูปจาก [www.potentiallabs.com/cart/buy-ds3231-rtc-module-hyderabad-online-india](http://www.potentiallabs.com/cart/buy-ds3231-rtc-module-hyderabad-online-india))



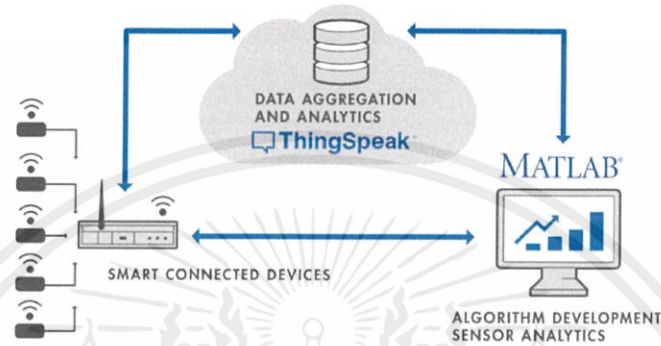
### คุณสมบัติของ NodeMCU

- Wi-Fi Module – ESP-12E module similar to ESP-12 module but with 6 extra GPIOs.
- USB – micro USB port for power, programming and debugging
- Headers – 2x 2.54mm 15-pin header with access to GPIOs, SPI, UART, ADC, and power pins
- Misc – Reset and Flash buttons
- Power – 5V via micro USB port
- Dimensions – 49 x 24.5 x 13 mm



## 2.10 ThingSpeak

ThingSpeak คือผู้ให้บริการ Cloud ชนิดหนึ่ง ที่อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถส่งค่าต่าง ๆ ขึ้นเพื่อไปเก็บในพื้นที่บนเว็บไซต์ที่เปิดให้ผู้ให้บริการ โดยจะมีอินเตอร์เฟซต่าง ๆ ให้ใช้งาน เช่น การแสดงข้อมูลเป็นกราฟ เป็นต้น และยังเปิดให้สามารถเข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ได้จากเว็บเบราว์เซอร์ทั่วไป จึงนับเป็นการเข้าถึงข้อมูลในรูปแบบ IoT (Internet of Things) แสดงไดอะแกรมอธิบายการทำงานของระบบ IoT ด้วย ThingSpeak ดังรูปที่ 2.16



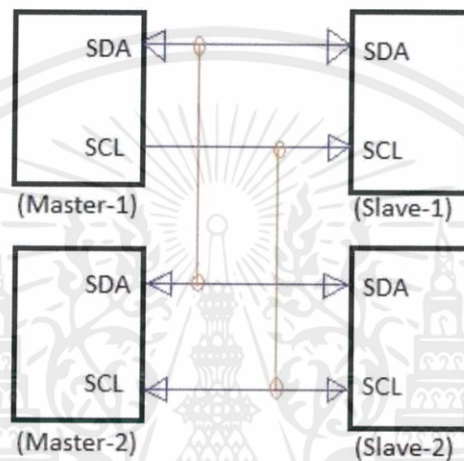
รูปที่ 2.16 ไดอะแกรมอธิบายการทำงานของระบบ IoT ด้วย ThingSpeak  
(รูปจาก [www.thingspeak.com/pages/learn\\_m](http://www.thingspeak.com/pages/learn_m))

### คุณสมบัติที่สำคัญของ ThingSpeak

1. ง่ายต่อการตั้งค่าให้อุปกรณ์ข้อมูลไปยัง ThingSpeak ด้วยการใช้โปรโตคอล IoT ที่เป็นที่ยอมรับ
2. แสดงค่าข้อมูลที่ได้รับมาจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ในเวลาเรียลไทม์ (Real-Time)
3. สามารถรวบรวมข้อมูลที่ต้องการจากบุคคลที่สามได้
4. สามารถใช้ MATLAB ในการวิเคราะห์ข้อมูล IoT ได้
5. สามารถตั้งค่าการวิเคราะห์ข้อมูลอัตโนมัติตามตารางเวลาหรือเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้
6. สามารถใช้งานระบบ IoT ได้โดยไม่ต้องทำการตั้งค่าเซิร์ฟเวอร์หรือการสร้างเว็บไซต์
7. สามารถจัดการกับข้อมูลและสื่อสารผ่านบริการของบุคคลที่สามเช่น Twitter ได้

## 2.11 การส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ I<sup>2</sup>C

Inter-Integrated Circuit หรือที่เรียกกันว่า I<sup>2</sup>C ใช้กันในหลากหลายอุปกรณ์ เช่น เครื่องบันทึกเสียง โทรศัพท์มือถือ รวมถึงหน่วยความจำอย่าง EEPROM โดยมีเป้าหมายเพื่อเป็นรูปแบบการรับส่งข้อมูลระหว่าง Arduino โดยจะมีความเร็วที่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลไม่สูงมากหรือต่ำ ๆ โดยจุดเด่นของการส่งข้อมูลแบบ I<sup>2</sup>C คือ สามารถใช้สายสัญญาณเพียงสองเส้นในการรับส่งข้อมูลที่เชื่อมต่อกันเป็นระบบระหว่างบัสได้ในจำนวนมาก แสดงได้ดังรูปที่ 2.17 ทำให้การรับส่งข้อมูลในรูปแบบนี้เป็นที่นิยมเป็นอย่างมากจากการที่สามารถลดสายสัญญาณและขนาดลงได้ มักใช้ในระบบสมองกลฝังตัวเล็ก ๆ

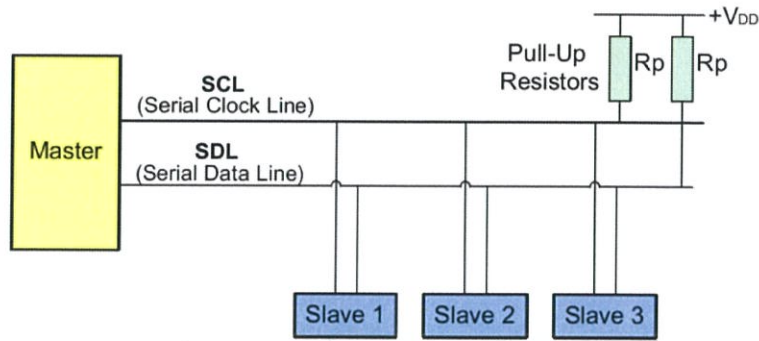


รูปที่ 2.17 I<sup>2</sup>C Interface Diagram

(รูปจาก [www.rfwireless-world.com/Terminology/UART-vs-SPI-vs-I2C.html](http://www.rfwireless-world.com/Terminology/UART-vs-SPI-vs-I2C.html))

สายส่งดิจิทัลแบบ Bidirectional Open-drain line ที่ถูกใช้ในการสื่อสาร I<sup>2</sup>C ซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลได้ในเส้นเดียวกัน จำนวน 2 ชุด คือ Serial Data Line (SDA) ใช้ทำหน้าที่ส่งข้อมูลและ Serial Clock Line (SCL) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณนาฬิกา โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาใน SCL จะมีผลต่อความเร็วในการรับส่งข้อมูล

หลักการทำงานจะเริ่มต้นโดยอุปกรณ์ Master จะทำการประมวลผลเพื่อระบุว่าการที่ต้องการที่จะอ่านข้อมูลหรือรับข้อมูลไปยังอุปกรณ์ Slave โดย Address 7 บิตหรือ 10 บิต จะถูกนำมาใช้ในการระบุอุปกรณ์ Slave ที่ต้องการจะสื่อสาร ซึ่งจะกำหนดมาแต่ต้นแล้วในลักษณะสองอย่าง คือ ระบุใน Datasheet ของผู้ผลิต และกำหนดโดยผู้ใช้งานเองโดยสามารถกำหนดได้ทั้ง Hardware หรือ Software ตามเป้าหมาย



รูปที่ 2.18 การเชื่อมต่ออุปกรณ์แบบ I<sup>2</sup>C บัส

(รูปจาก [www.aimagin.com/blog/การใช้งานพอร์ตสื่อสาร-i2c/?lang=th](http://www.aimagin.com/blog/การใช้งานพอร์ตสื่อสาร-i2c/?lang=th))

การสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C มีรูปแบบดังรูปที่ 2.18 และมีลำดับการทำงาน (Timing Diagram) ดังรูปที่ 2.19 ดังนี้

1. อุปกรณ์ทุกตัวในระบบจะมีแรงดันระดับสูงเมื่อยังไม่เริ่มทำงาน
2. เมื่อระบบเริ่มทำงานจะส่งข้อมูล SCL ยังรักษาระดับแรงดันที่มีค่าสูงหรือ H อยู่ แต่ SDA จะลดลงไปที่ระดับแรงดันที่มีค่าศูนย์หรือ L ซึ่ง SCL จะค้างที่ H เป็นเวลา 0.6 ไมโครวินาที ( $t_{HDSTA}$  : Hold Time to Start Condition) Master จะมีการสั่งการหลังจากที่เกิดผลของระดับแรงดันที่กล่าวมา โดยเมื่อผ่านช่วงเวลาดังกล่าวไป Master จะสั่งระบบ โดยไม่ทราบว่าสั่ง Slave ตัวไหนเพราะอาจจะ Slave หลายตัวต่ออยู่บนบัส
3. ขณะนั้น SCL จะลงไปที่ค่าศูนย์หรือ L ซึ่ง SDA จะทำการกำหนดค่าบิตแรก โดยกำหนดให้ Master ส่งค่าบิตแรกไปพร้อมกับสัญญาณ Clock พร้อมทั้ง IC ที่เป็น Slave บนบัส นั้นจะทำการเริ่มอ่านค่าในจังหวะที่ช่วง SCL เปลี่ยนค่าแรงดันกลับไปเป็น H โดยการทำงานบิตแรก ของ SDA จะเริ่มทำงานในช่วงระหว่างที่รอสัญญาณขาขึ้นของ Clock แรก 1.3 ไมโครวินาที
4. โดยระบบจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงบิตที่ 7 ซึ่ง 7 บิตที่ส่งไปเป็นการส่งเพื่อส่งค่า Address ของ IC ที่ต้องการจะติดต่อด้วย และเมื่อถึงบิตต่อไปซึ่งคือบิตที่ 8 จะมีการระบุว่าจะสั่งให้ Slave รอคำสั่ง โดยเป็นการระบุโดยการส่งด้วย SDA ที่ H หรือแรงดันสูงหรือจะรออ่านค่าที่ส่งมาจาก Slave อีกทางหนึ่งซึ่งเป็นการอ่านที่ระบุค่าโดย SDA ที่ L ซึ่งมีค่าแรงดันต่ำ (Read ระบุค่า โดย SDA เป็น L)
5. การตอบรับจาก Slave เป็นบิตที่ 9 ซึ่งจะมี Address ตรงกับค่าที่ Master ส่งไป โดยเมื่อมีการตอบรับคำสั่งจาก Slave ซึ่งเรียกว่า Acknowledge ซึ่งเป็นการตอบรับผ่านการดึงสัญญาณ SDA ลงที่ค่าต่ำ L ก็หมายความว่า Slave พร้อมจะสื่อสารด้วย แต่ถ้าหาก SDA นั้นยังคงเป็นค่าที่สูงหรือ H จะหมายความว่า ไม่มี Slave ตัวใดที่พร้อมจะสื่อสารกับตัว Master หรือเรียกว่า Not Acknowledge
6. จากการที่มีการตอบรับที่จะสื่อสารของ Slave หรือ Acknowledge แล้ว จะถูกมองเป็นช่วงเวลา SCL ถูกดึงให้เปลี่ยนค่าเป็นต่ำ L เป็นช่วงเวลาสั้น ๆ และจะถูกปล่อยว่าง โดยเกิดก่อนที่ Slave ที่ติดต่อด้วยจะเริ่มส่งค่าบิตแรกมายัง SDA
7. จากนั้นสัญญาณบนสาย SDA จะถูกอ่านค่าโดยการที่สัญญาณ SCL จาก Master จะปล่อยออกมา ในจังหวะที่ SCL เป็นค่าแรงดันสูง H และจะรับค่าเรื่อย ๆ มีข้อมูลครบทั้ง 8 บิตแรกโดยเป็นจังหวะของสัญญาณ SCL

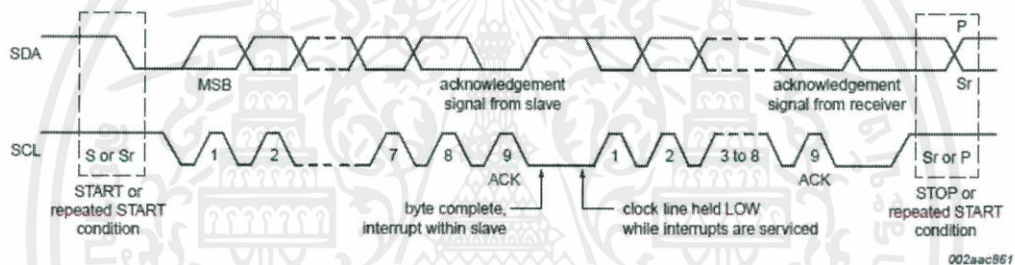
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. Master จะตอบสนองโดยให้สัญญาณว่ามี Slave ที่จะสื่อสารด้วยหรือ Acknowledge โดยดึงสัญญาณเป็นค่าแรงดันต่ำ L เพื่อแสดงถึงการที่ Master พร้อมรับการสื่อสารจาก Slave อีก 8 บิตต่อไปเมื่อพิจารณาว่าข้อมูลที่รับมาจาก Slave เป็นข้อมูลที่มืทั้งหมด 16 บิต

9. หลังจากนั้นจะกลับไปอ่านข้อมูลอีกครั้งดังข้อที่ 6 โดยจะอ่านข้อมูลที่รับจนมีจำนวนครบ 9 ถึง 16 บิต

10. Slave จะไม่ทำการส่งข้อมูลต่อแล้วเมื่อการรับข้อมูลครบถึงบิตที่ 9 จากการ Acknowledge เนื่องมาจากมีข้อมูลครบ 16 บิตแล้ว โดยสาย SDA จะถูกเปลี่ยนค่าเป็น H เมื่อ Slave ไม่มีการตอบสนองใดต่อ

11. การส่งสัญญาณที่เป็นขาขึ้นในสาย SDA รวมทั้งการส่งสัญญาณในสาย SCL เป็นถูกเปลี่ยนค่าเป็นค่าแรงดันสูง H โดยเป็นการสร้างคำสั่งจากตัว Master ให้หยุดเนื่องจากมีข้อมูลครบ 16 บิตแล้วจากนั้น ซึ่งคือ Stop bit ซึ่งหมายความว่าส่งข้อมูลครบไบต์แรก จาก Address ที่ Master ต้องการสื่อสารกับตัว Slave

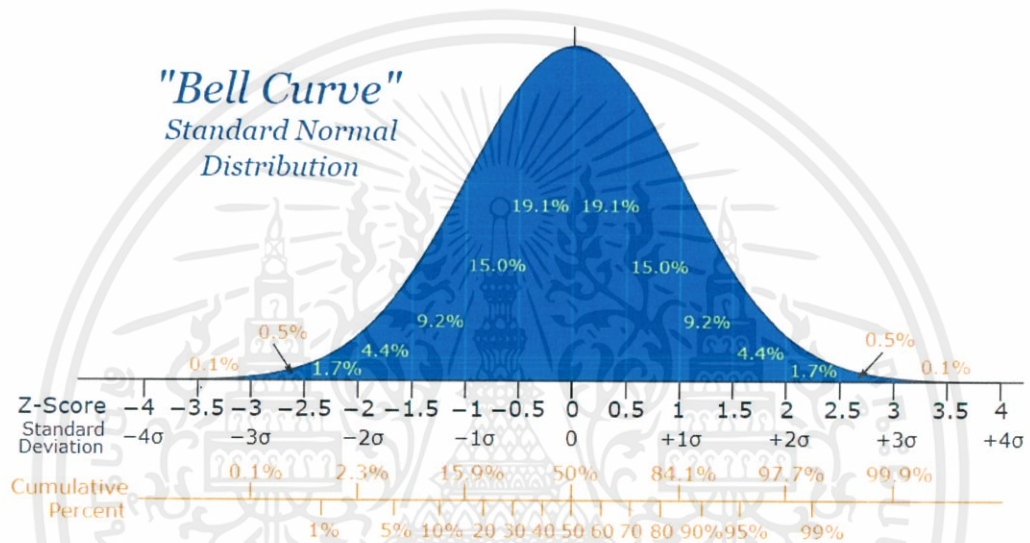


รูปที่ 2.19 ลำดับการทำงานของการสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C (Timing Diagram)

(รูปจาก [www.arduitronics.com/article/47/i2c-communication-case-study-of-gy-30-ambient-light-sensor](http://www.arduitronics.com/article/47/i2c-communication-case-study-of-gy-30-ambient-light-sensor))

## 2.12 การแจกแจงแบบปกติ

การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การแจกแจงแบบเกาส์หรือการแจกแจงแบบเกาส์เซียน (Gaussian Distribution) ซึ่งเป็นการแจกแจงความถี่ของค่าที่วัดเป็นปกติ การแจกแจงแบบนี้มีการนำไปใช้มากที่สุดในการจัดการข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการทางสถิติกับข้อมูลชนิดต่อเนื่อง เช่น ผลคะแนน รายได้ และช่วงเวลาของสิ่งต่าง ๆ เป็นต้น เนื่องจากข้อมูลต่อเนื่องของสิ่งต่าง ๆ ดังกล่าวนี้นี้ ส่วนใหญ่จะมีค่าเฉลี่ยอยู่กลาง ๆ โดยมีจำนวนไม่มากที่มีค่าสูงหรือมีค่าต่ำกว่าค่ากลาง ๆ เมื่อนำค่าทั้งหมดไปเขียนลงกราฟ จะได้เส้นที่มีจุดสูงสุดอยู่ตรงกลาง โดยมีเส้นโค้งทั้งสองข้างลาดลง คล้ายกับรูปประฆังคว่ำ ซึ่งเรียกว่าเส้นโค้งปกติ (Normal Curve) ที่เกิดจากข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 เส้นโค้งปกติ

(รูปจาก [www.mathsisfun.com/data/standard-normal-distribution.html](http://www.mathsisfun.com/data/standard-normal-distribution.html))

### คุณสมบัติของเส้นโค้งปกติ

1. เป็นเส้นโค้งปกติสมมาตร
2. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $\mu$  และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ  $\sigma$
3. พื้นที่ใต้เส้นโค้งปกติเท่ากับ 1 หรือ 100%
4. ค่าเฉลี่ยเลขคณิต มัชยฐาน และฐานนิยมมีค่าเท่ากับและอยู่ตรงกลางของกราฟ
5. ปลายหางทั้งสองข้างของโค้งปกติจะเข้าใกล้แกนนอน แต่จะไม่ตัดแกนนอน และพื้นที่ระหว่างแกนนอนกับเส้นโค้งปกติ จะมีค่าใกล้ศูนย์เมื่ออยู่ห่างจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตไปมาก ๆ

### 2.13 การวิเคราะห์การถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอย (Linear Regression) เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ซึ่งได้แก่ตัวประมาณการ (Predictor, X) และตัวตอบสนอง (Response, Y) โดยเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear) ทั้งนี้ในขั้นตอนการทำ Regression ต้องมีการเก็บจำนวน Sample Space จำนวนมากพอ เพื่อนำมาหาสมการความสัมพันธ์ โดย

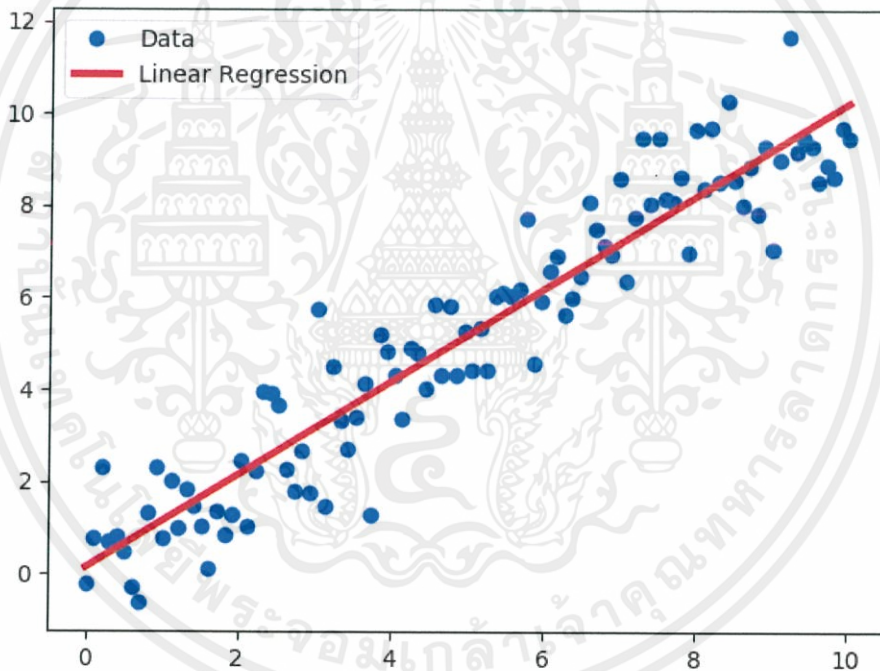
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + e \quad (2.5)$$

$\beta_0$  = จุดตัดแกน

$\beta_1$  = ความชันของเส้นตรง

e = error

จากกราฟในรูปที่ 2.21 จะเห็นได้ว่ามีจุดหลายจุด นั่นคือ จุดที่บ่งบอกว่า เมื่อ X มีค่าจำนวนหนึ่ง จะส่งผลให้ Y มีค่าจำนวนหนึ่ง ดังนั้น จำนวนจุดจึงมีผลสำคัญต่อการทำ Regression



รูปที่ 2.21 Linear Regression

(รูปจาก [www.medium.com/coinmonks/linear-regression-with-tensorflow-canned-estimators-6cc4ffddd14f](https://www.medium.com/coinmonks/linear-regression-with-tensorflow-canned-estimators-6cc4ffddd14f))

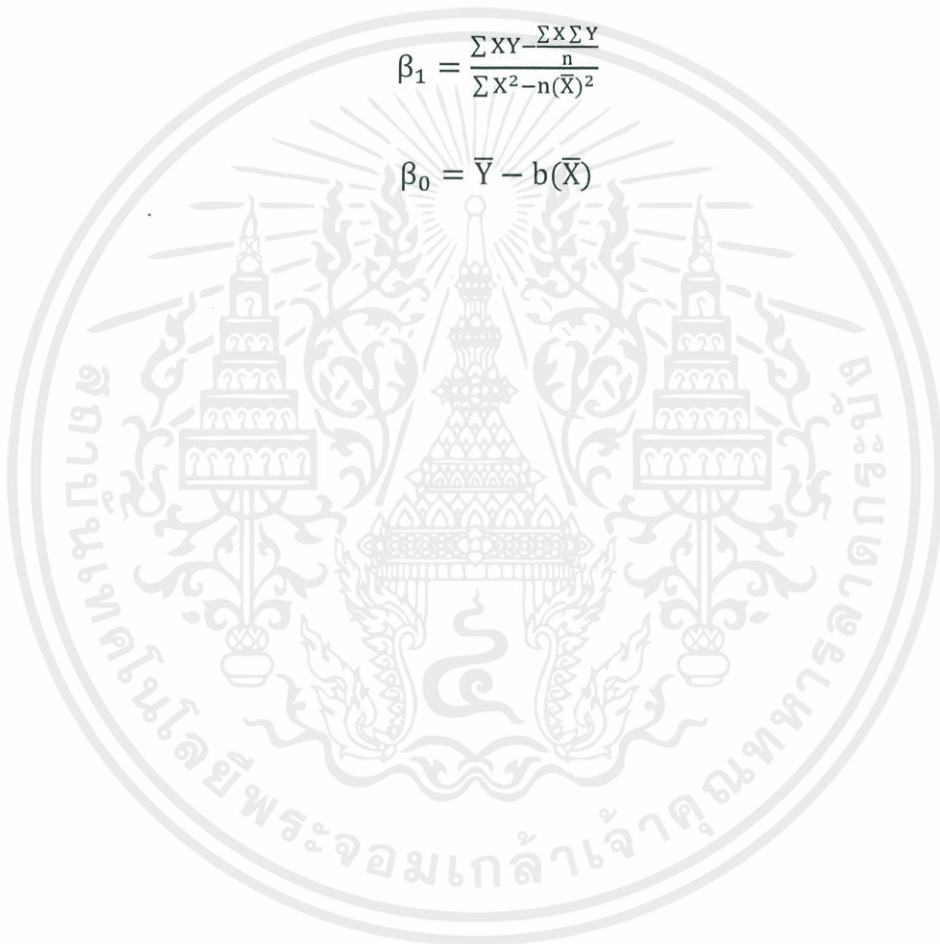
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ขั้นตอนการทำ Linear Regression

1. เตรียมข้อมูล X,Y โดย ค่าที่ต้องการหาจะเป็นคำตอบในอนาคตคือตัวแปรตาม Y ส่วนค่าที่ต้องใส่ในสมการ (Model) เพื่อให้เห็นคำตอบคือตัวแปรต้น
2. นำข้อมูล X,Y มาทำการ Scatter plot จะทำให้พบว่า การเรียงตัวของจุดข้อมูลมีลักษณะเป็นเส้นตรง และแนวของจุดนั้นมีความชันทำมุมกับแกน X มากพอประมาณ แสดงว่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต้นมีค่ามากกว่า 0 (ความชัน>0) ซึ่งสามารถพิสูจน์ด้วย Regression analysis ได้
3. หาค่าผลรวม ค่าเฉลี่ย ผลคูณ ผลรวมของการคูณกันของตัวแปรต้นและตัวแปรตาม และค่ายกกำลังสองของตัวแปรต้น
4. คำนวณหาค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรต้นในสมการ โดยนำค่าที่ได้จากข้อ 3. ใส่ในสมการ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ

$$\beta_1 = \frac{\sum XY - \frac{\sum X \sum Y}{n}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}} \quad (2.6)$$

$$\beta_0 = \bar{Y} - b(\bar{X}) \quad (2.7)$$



## บทที่ 3

### การออกแบบและประกอบสร้าง

#### 3.1 การสำรวจอาคารโรงพยาบาล

##### 3.1.1 แผนผังอาคาร

โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา มีทั้งหมด 6 ชั้น โดยแต่ละชั้นมีห้องต่าง ๆ ดังนี้

##### ชั้น 1

- ห้องเก็บเงิน
- ห้องจ่ายกลาง
- ห้องซักฟอก
- ห้องปฏิบัติการทางการแพทย์
- ห้องปัม
- ห้องประชาสัมพันธ์
- แผนกผู้ป่วยนอก
- ห้องไฟฟ้า
- ห้องเภสัชกรรม
- ห้องเวชทะเบียน
- ศูนย์สิทธิผู้ป่วย
- ห้องให้นม
- ห้องอุปกรณ์อบ/ฆ่าเชื้อ
- แผนกอายุรกรรม
- ห้อง CT Scan
- ห้อง Ultrasound
- ห้อง X-Ray

##### ชั้น 2

- แผนกจักษุ
- แผนกทันตกรรม
- ห้องผ่าตัด
- ศูนย์สร้างเสริมสุขภาพ
- ห้อง ICU, HDU

##### ชั้น 3

- ศูนย์กุมารเวช
- ห้องคลอด
- หอผู้ป่วยกุมารเวช
- หอผู้ป่วยทารกแรกเกิด (SNB)
- หอผู้ป่วยสูติกรรม
- หอผู้ป่วยอายุรกรรมหญิง

ชั้น 4

- แผนกจิตเวชเด็กและวัยรุ่น
- นวดแผนไทย
- ศูนย์ดูแลผู้สูงอายุ
- หอผู้ป่วยศัลยกรรมชาย
- หอผู้ป่วยศัลยกรรมหญิง
- หอผู้ป่วยอายุรกรรมชาย

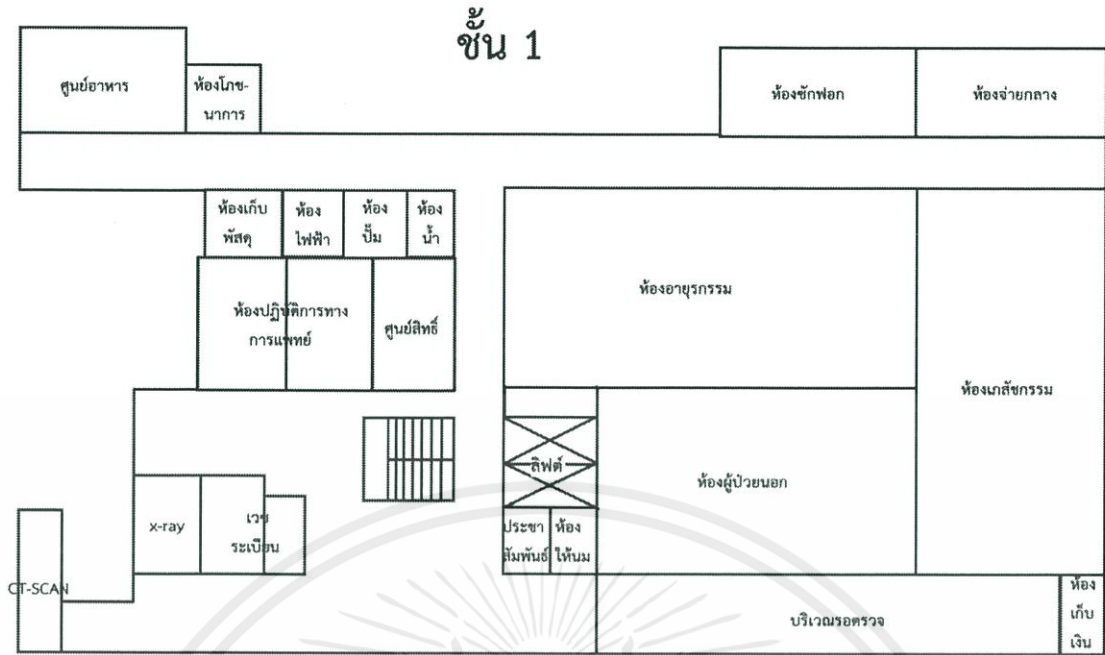
ชั้น 5

- ห้องจิตแสนสุข
- ห้องจิตเวช
- ฝ่ายบริการพยาบาล
- ห้องพักผู้ป่วย 501-517
- แผนกกายภาพบำบัด
- ห้องกิจกรรมบำบัด
- ศูนย์ข้อมูล
- แผนกเวชศาสตร์ชุมชน
- Ward 5

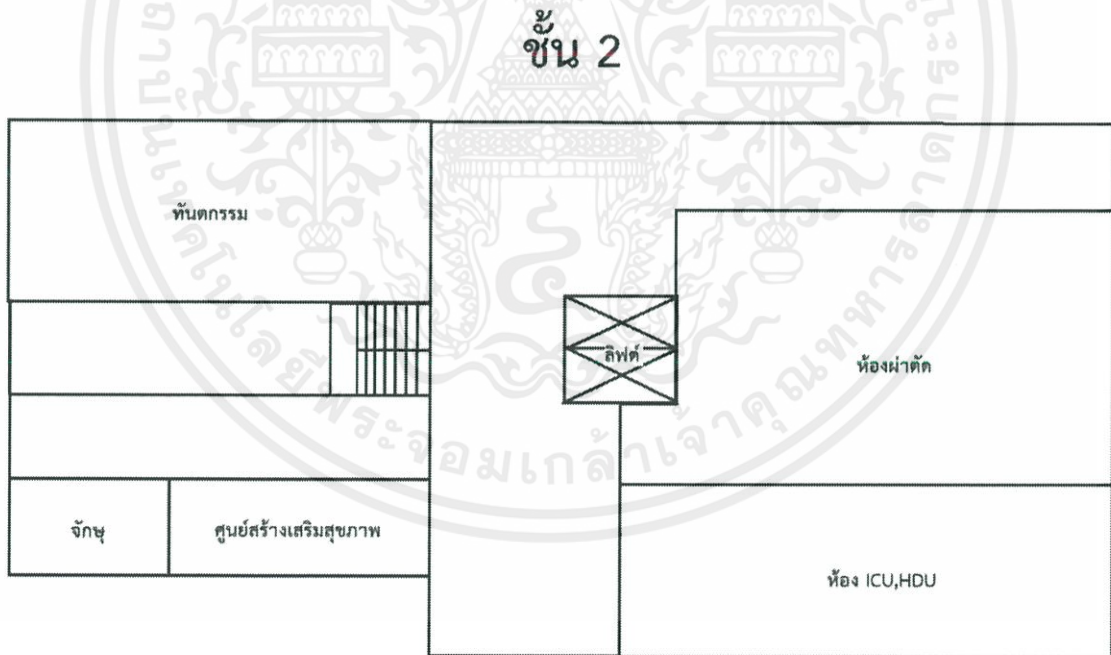
ชั้น 6

- ห้องเก็บพัสดุ
- ห้องช่าง
- ห้องสำนักงานพัสดุ
- ห้องพักผู้ป่วย 601-617
- Ward 6

แสดงแผนผังอาคารโรงพยาบาล ดังรูปที่ 3.1 ถึง 3.6

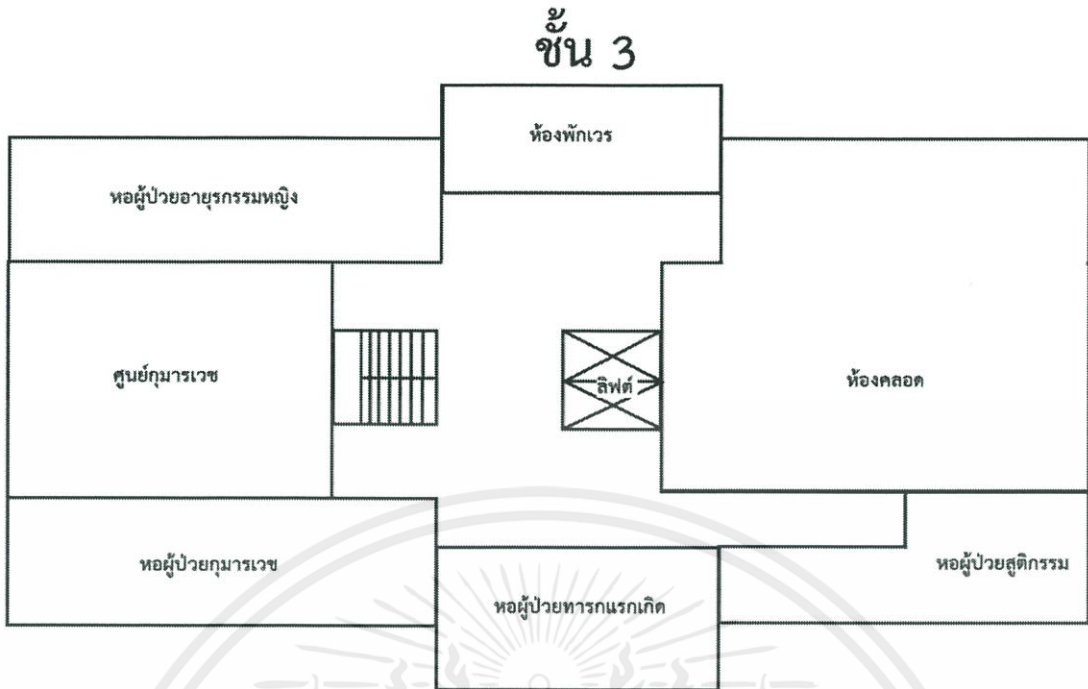


รูปที่ 3.1 แผนผังอาคารโรงพยาบาล ชั้น 1

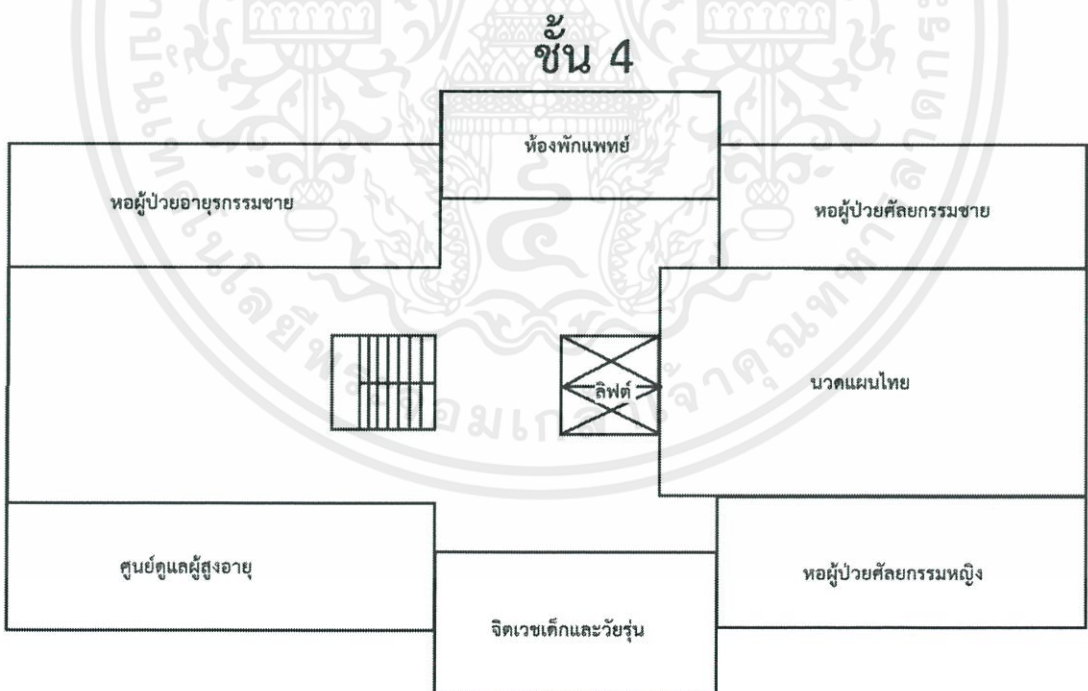


รูปที่ 3.2 แผนผังอาคารโรงพยาบาล ชั้น 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



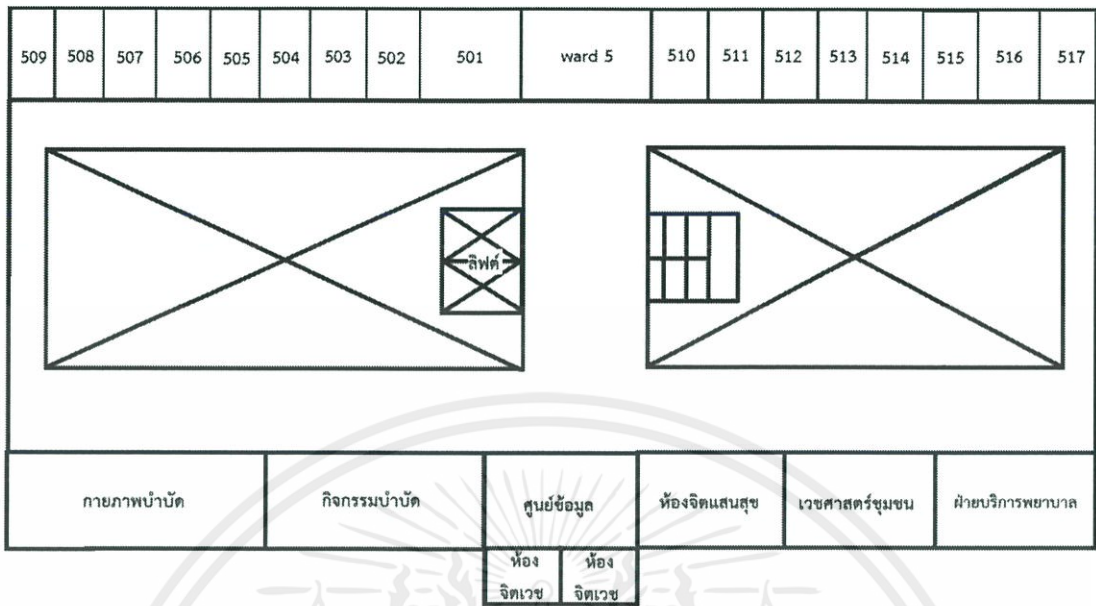
รูปที่ 3.3 แผนผังอาคารโรงพยาบาล ชั้น 3



รูปที่ 3.4 แผนผังอาคารโรงพยาบาล ชั้น 4

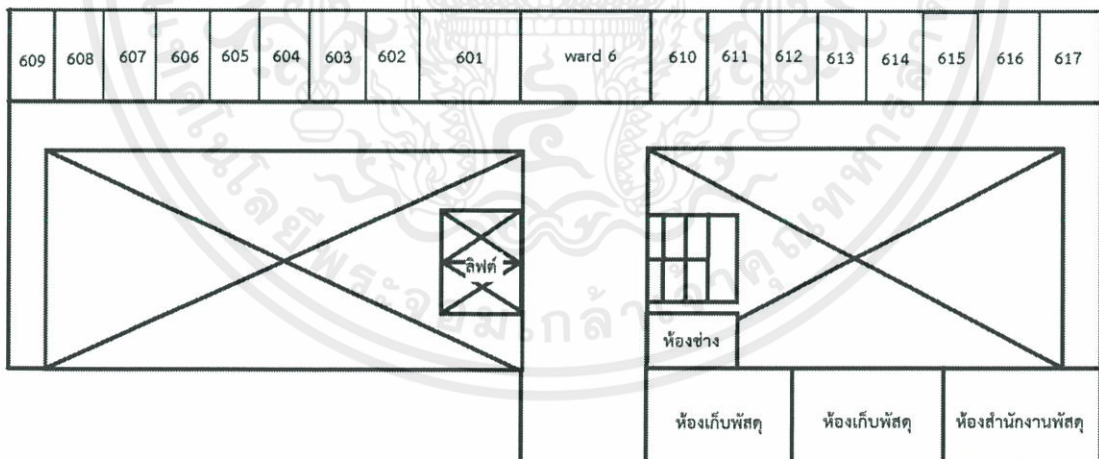
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ชั้น 5



รูปที่ 3.5 แผนผังอาคารโรงพยาบาล ชั้น 5

## ชั้น 6



รูปที่ 3.6 แผนผังอาคารโรงพยาบาล ชั้น 6

## 3.1.2 เวลาทำการของแต่ละแผนก

เวลาทำการของแผนกต่าง ๆ ในอาคารโรงพยาบาล แสดงดังตารางที่ 3.1  
ตารางที่ 3.1 เวลาทำการของแต่ละแผนก

ชั้น	แผนก	วันทำการ	เวลาทำการ
1	ศูนย์โสตพัฒนา	จันทร์-พฤหัสบดี	09.00-16.00
		ศุกร์	09.00-12.00
	ศูนย์สุขภาพเด็กดี	พุธ-พฤหัสบดี	13.00-15.30
	งานบริการข้อมูลยา	จันทร์-ศุกร์	08.00-16.00
	งานรังสีวิทยาและเวชศาสตร์นิวเคลียร์ (X-ray)	ทุกวัน	08.00-16.00
	ผู้ป่วยนอก	ทุกวัน	08.00-16.00
	อายุรกรรม	ทุกวัน	08.00-16.00
	ห้องเภสัชกรรม	ทุกวัน	24 ชั่วโมง
	จ่ายกลาง	ทุกวัน	08.00-16.00
	ซักฟอก	ทุกวัน	08.00-23.00
	ปฏิบัติการ	ทุกวัน	24 ชั่วโมง
	CT-Scan	ทุกวัน	24 ชั่วโมง
	เวชระเบียน	ทุกวัน	24 ชั่วโมง
2	จักษุ	จันทร์-ศุกร์	09.00-12.00
	ศูนย์สร้างเสริมสุขภาพ	จันทร์-ศุกร์	08.00-16.00
	คลินิกโรคจากการทำงาน	อังคาร	13.00-15.00
	ศูนย์สุขภาพชาย	พุธ	13.00-15.00
	ไตเทียม	จันทร์	06.00-22.00
		อังคาร-เสาร์	06.00-18.00
	ล้างไตทางช่องท้อง	จันทร์-ศุกร์	08.00-16.00
3	ศูนย์โรคภูมิแพ้	อังคาร	13.00-16.00
4	งานนัดแผนไทย	จันทร์-ศุกร์	08.30-18.00
		เสาร์-อาทิตย์	09.00-15.30
	ศูนย์ดูแลผู้สูงอายุ	จันทร์-ศุกร์	08.00-16.00
5	งานตรวจเวชศาสตร์ฟื้นฟู	จันทร์-พฤหัสบดี	08.00-12.00
	งานตรวจคลื่นไฟฟ้าวินิจฉัย	ศุกร์	08.00-12.00
	งานกิจกรรมบำบัด	จันทร์-ศุกร์	08.30-16.30
	งานกายภาพบำบัด	จันทร์-ศุกร์	08.00-16.00
			16.00-20.00
	คลินิกเพื่อนใจวัยใส	อังคาร	08.00-16.00
	ศูนย์ข้อมูล	จันทร์-ศุกร์	08.00-16.00
จิตเวช	จันทร์-ศุกร์	08.00-16.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น	แผนก	วันทำการ	เวลาทำการ
5	จิตแสนสุข	จันทร์-ศุกร์	08.00-16.00
	เวชศาสตร์ชุมชน	จันทร์-ศุกร์	08.00-16.00
	ฝ่ายบริการพยาบาล	จันทร์-ศุกร์	08.00-16.00

### 3.2 การเลือกตำแหน่งติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล

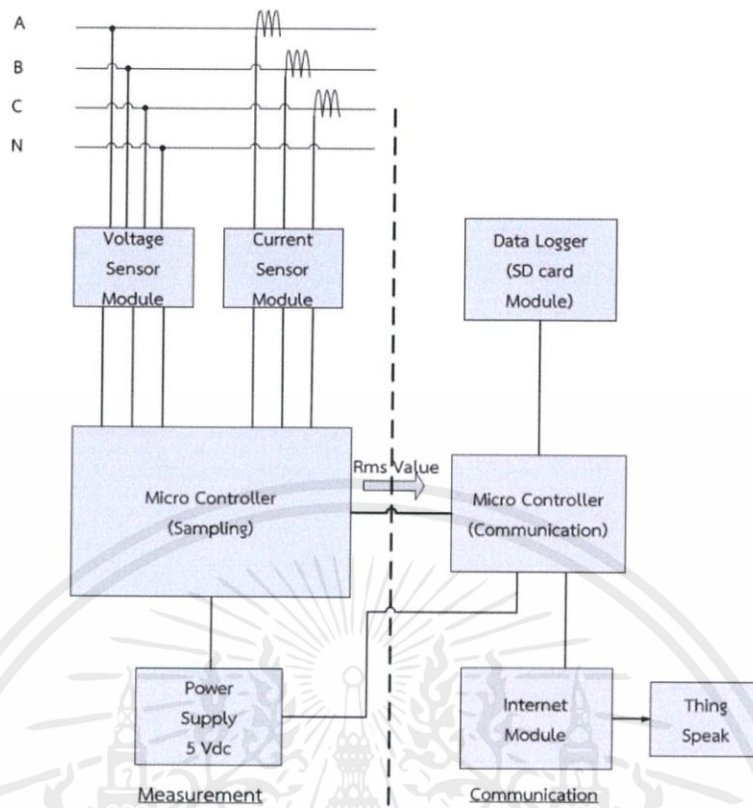
การติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาลในส่วนของเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าจะเลือกติดตั้งที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker : CB) ของเครื่องซีทีสแกน (CT Scan) และเครื่องเอกซเรย์ในตู้สวิตช์ประธาน (Main Distribution Board : MDB) เนื่องจากเป็นการติดตั้งเสริมกันระหว่างมิเตอร์ 2 กลุ่ม เพื่อให้ได้ข้อมูลครบถ้วนกับทุก CB ของโรงพยาบาล โดยเลือกหม้อแปลงกระแสที่พิกัด 400/0.1 A แต่เลือกพิกัดที่ต้องการวัดเท่ากับ 100, 160, 250 A

### 3.3 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์การวัดปริมาณทางไฟฟ้า

ผู้จัดทำปริญญาพนธ์ได้ออกแบบอุปกรณ์การวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่สามารถเก็บข้อมูลและสามารถเข้าถึงข้อมูลด้วยอินเทอร์เน็ต โดยออกแบบเป็นอุปกรณ์ที่สามารถวัดได้ 5 วงจรย่อย ซึ่งจะเป็นวงจรของเครื่อง CT Scan และเครื่องเอกซเรย์ภายในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา โดยจะทำการบันทึกค่าในทุก ๆ 1 วินาที สำหรับการบันทึกค่าใส่ MicroSD Card และบันทึกค่าทุก ๆ 1 วินาที ผ่านอินเทอร์เน็ต โดยใช้ฐานข้อมูล ThingSpeak เป็น Database สำหรับเก็บข้อมูล

#### 3.3.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของอุปกรณ์การวัดปริมาณทางไฟฟ้า

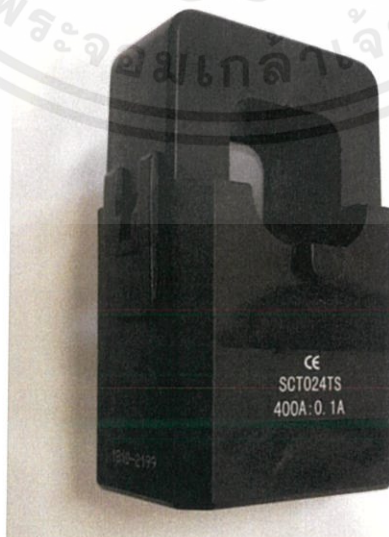
เครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่ได้ออกแบบนั้นประกอบไปด้วยส่วนของการวัดปริมาณทางไฟฟ้า ซึ่งจะวัดค่ากระแสและแรงดันของวงจร โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการดึงค่าตัวอย่างข้อมูล (Sampling) และนำมาคำนวณเป็นค่ายังผล (RMS) ซึ่งจะสามารถทราบค่ากำลังไฟฟ้าจริง, กำลังไฟฟ้าปรากฏ, กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ และตัวประกอบกำลังจากการคำนวณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจะส่งข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้าไปยังส่วนของการสื่อสารข้อมูลและบันทึกข้อมูลซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อีกหนึ่งตัวในการควบคุม โดยจะประกอบด้วยการบันทึกข้อมูลด้วย SD Card และการส่งข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตไปยัง ThingSpeak ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีโมดูลอินเทอร์เน็ต โดยโครงสร้างของเครื่องมือวัดจะแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของเครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้า

### 3.3.2 การออกแบบวงจรในส่วนของการวัด

การวัดกระแสไฟฟ้านั้นจะเลือกใช้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าแบบแยกแกน เพื่อที่จะ  
 ทำให้สามารถติดตั้งเครื่องมือวัดได้โดยไม่ต้องทำการแก้สายหรือเปิดวงจร โดยจะเลือกใช้หม้อแปลง  
 กระแสไฟฟ้าที่มีความเป็นเชิงเส้นสูงเพื่อให้การปรับเทียบค่าในการวัดเป็นไปได้ง่าย โดยพิกัดที่  
 ต้องการวัดคือ 100, 160, 250 A ซึ่งจะเลือกใช้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าแบบแยกแกนรุ่น SCT024TS  
 ยี่ห้อ YHDC ดังแสดงในรูปที่ 3.8



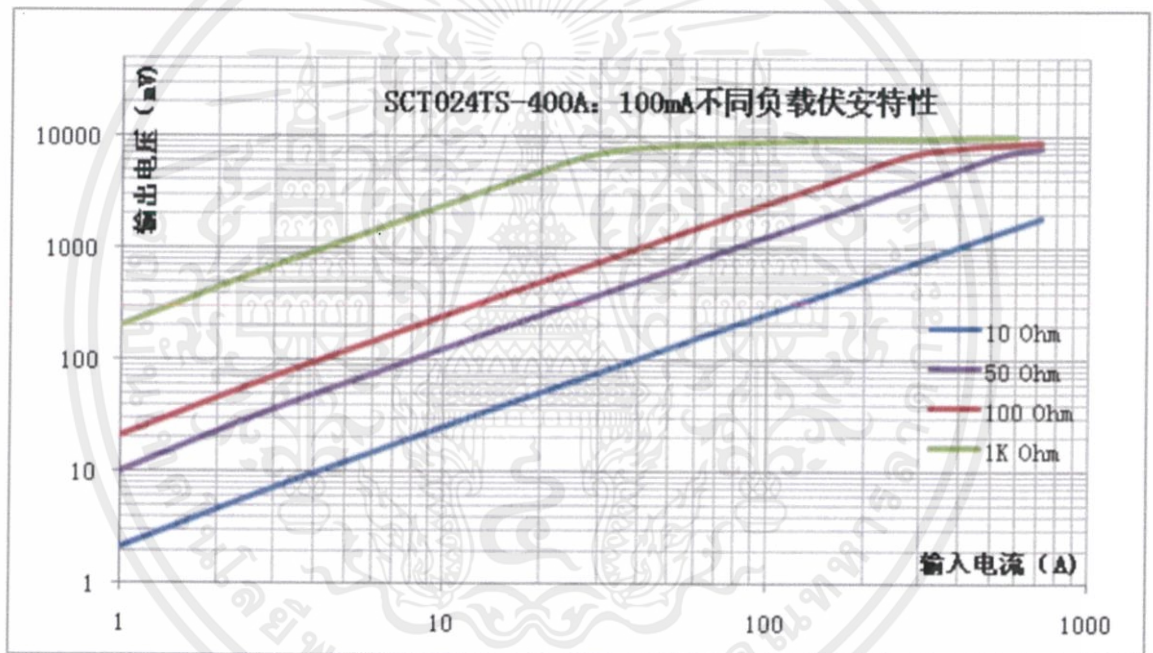
รูปที่ 3.8 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าแบบแยกแกนรุ่น SCT024TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยหม้อแปลงกระแสรุ่นนี้จะมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

- Rated Input : 400 A
- Max Input : 480 A
- Rated Output : 0.1 A
- Turns Ratio : 1:4000
- Accuracy : 0.5/1 %
- Linearity :  $\leq 0.2\%$
- Phase Error :  $+0.5\pm 0.5^\circ$
- Weight : 204 g

และจะมี Volt-Ampere Characteristic ที่ค่าความต้านทาน Burden ต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 Volt-Ampere Characteristic

โดยเอาท์พุทของหม้อแปลงกระแส นั้น จะได้ออกมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีขนาด 0.1 A (RMS) ที่พิกัด ทำการออกแบบวงจรที่ใช้ในการแปลงรูปคลื่นไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีค่า 0-5 V เพื่อที่จะให้ Analog Input Port ของ Arduino สามารถรับค่าได้ โดยจะใช้วงจรดังรูปที่ 2.9 ในการแปลงค่า โดยเมื่อใช้หม้อแปลงที่มีพิกัด 400/0.1 A จะสามารถคำนวณค่าความต้านทาน Burden ได้ดังนี้

$$\text{Burden Resistor} = \frac{5}{\text{Secondary Current (Peak to Peak)}} \quad (3.1)$$

$$= \frac{5}{2 \times \text{RMS Current} \times \sqrt{2}} \quad (3.2)$$

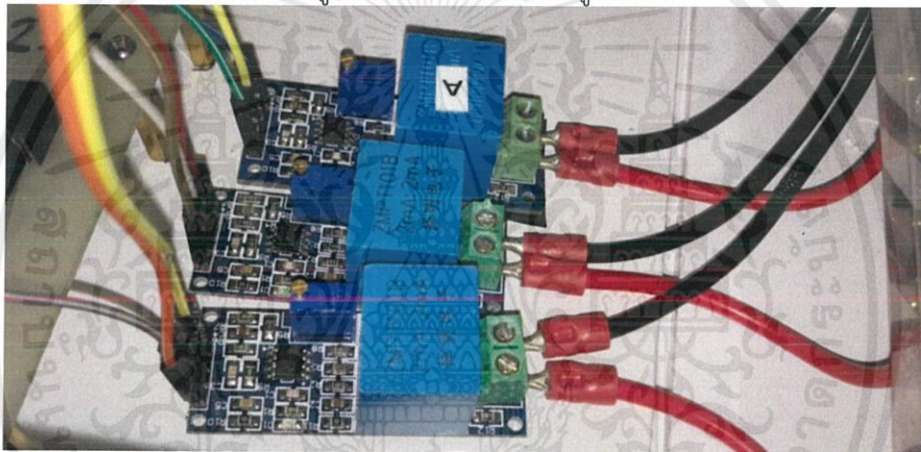
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแส RMS ของด้าน Secondary ที่พิกัดวงจร 100 A จะเท่ากับ 0.025 A ซึ่งจะได้ ค่าความต้านทาน Burden เท่ากับ 70.7 โอห์ม ดังนั้นจะเลือกค่าความต้านทานมาตรฐานเท่ากับ 68 โอห์ม

กระแส RMS ของด้าน Secondary ที่พิกัดวงจร 160 A จะเท่ากับ 0.04 A ซึ่งจะได้ ค่าความต้านทาน Burden เท่ากับ 44.2 โอห์ม ดังนั้นจะเลือกค่าความต้านทานมาตรฐานเท่ากับ 33 โอห์ม

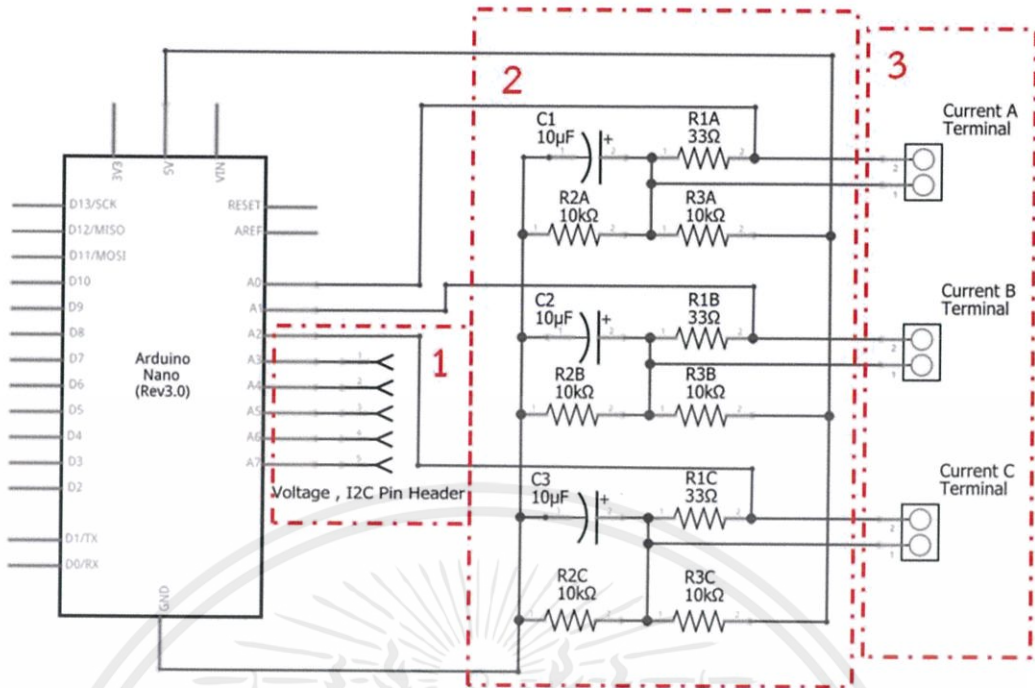
กระแส RMS ของด้าน Secondary ที่พิกัดวงจร 250 A จะเท่ากับ 0.0625 A ซึ่งจะได้ ค่าความต้านทาน Burden เท่ากับ 28.28 โอห์ม ดังนั้นจะเลือกค่าความต้านทานมาตรฐานเท่ากับ 18 โอห์ม

ในส่วนของการวัดแรงดันไฟฟ้านั้นจะใช้โมดูลสำเร็จรูปที่สามารถแปลงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 0-250 Vac เป็นสัญญาณ 0-5 V ที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับ Analog Input Port ของ Arduino ได้โดยตรง ซึ่งโมดูลวัดแรงดันไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 Single Phase Voltage Module 3 ตัวสำหรับไฟฟ้า 3 เฟส

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมคือ Arduino Nano ซึ่งจะใช้ในการดึงค่าตัวอย่างข้อมูล เพื่อที่จะส่งค่าไปยังวงจรในส่วนของการสื่อสาร โดยในรูปที่ 3.11 แสดงถึง Schematic ของวงจรในส่วนของการวัด



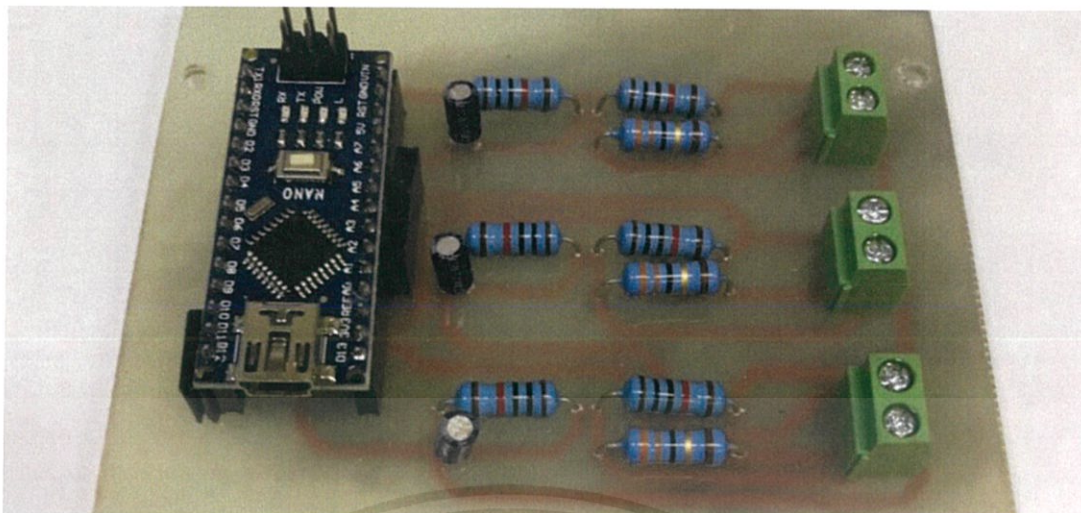
รูปที่ 3.11 Schematic Diagram ของวงจรในส่วนของการวัด

จากรูปที่ 3.11 ในวงจรส่วนที่หนึ่งนั้นจะเป็น Pin Header สำหรับต่อสายระหว่าง บัส I<sup>2</sup>C (ขา A4 ต่อเข้ากับบัส SDA และขา A5 ต่อเข้ากับบัส SCL และขา A3, A6 และ A7 จะ เชื่อมต่อกับสัญญาณแรงดันจาก Single Phase Voltage Sensor)

ในส่วนที่สองคือวงจรในการแปลงค่ากระแสที่ได้รับมาจากหม้อแปลงกระแสให้เป็น แรงดัน 0-5 V ที่สามารถต่อเข้ากับขา Analog Input Port ของ Arduino ซึ่งจะประกอบด้วยตัว ต้านทานขนาดเท่ากัน 2 ตัว (R2 และ R3) เพื่อที่จะแบ่งแรงดัน 5 V ให้เป็น 2.5 V และมีตัวเก็บประจุ ต่อขนานเพื่อคงระดับแรงดันไว้ที่ 2.5 V จากนั้นจะต่อค่าความต้านทาน Burden ที่ได้คำนวณมาเข้า กับจุดแรงดัน 2.5 V เพื่อที่จะใช้เป็นแรงดันอ้างอิง ซึ่งจะได้สัญญาณแรงดันที่เป็นกระแสสลับที่มีค่า ยอดอยู่ระหว่าง 0-5 V นำสัญญาณนั้นไปเชื่อมต่อเข้ากับค่า Analog Input Port (A0-A2) ของ Arduino

ในส่วนที่สามจะเป็นเทอมินอลที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อสายจากหม้อแปลงกระแสเข้าสู่ ความต้านทาน Burden

จากนั้นทำการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board : PCB) โดยแผ่นวงจร PCB ที่ได้ประกอบสร้างขึ้นจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผ่นวงจร PCB ในส่วนของการวัด

### 3.3.3 การออกแบบส่วนของการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และเก็บข้อมูล

ในส่วนของการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะมีวงจรในส่วนของการวัด 5 วงจร (5 Slave) และวงจรในส่วนของการสื่อสาร 1 วงจร (1 Master) โดยวงจรในส่วนของการวัดจะส่งข้อมูลจำนวน 12 ค่า ซึ่งจะประกอบด้วย ค่าแรงดันไฟฟ้าของทั้งสามเฟส, ค่ากระแสไฟฟ้าของทั้งสามเฟส, กำลังไฟฟ้าจริงทั้งของสามเฟส และค่าตัวประกอบกำลังของทั้งสามเฟส ซึ่งจะเป็นข้อมูลแบบทศนิยมที่ใช้มาตรฐาน IEEE 754 Floating Point (Single Precision) ซึ่งจะใช้ขนาด 32 บิต หรือ 4 ไบต์ ดังนั้นวงจรในส่วนของการสื่อสารจะต้องรับข้อมูลจากในส่วนของการวัดทั้งหมดเป็นจำนวน 240 ไบต์ โดยจะต้องใช้เวลาไม่เกินคาบเวลาของการเก็บข้อมูล ซึ่งการเก็บข้อมูลนี้จะเก็บข้อมูลทุก ๆ 100 ms ดังนั้นจึงจะต้องเลือกใช้รูปแบบการสื่อสารที่มีความเร็วเพียงพอ และสามารถสื่อสารข้อมูลจำนวนมากได้อย่างถูกต้อง โดยการสื่อสารข้อมูลระหว่าง Arduino จะมีอยู่สามแบบหลัก ๆ คือ UART, I2C และ SPI โดยการสื่อสารแต่ละแบบก็จะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป จึงต้องเลือกวิธีการสื่อสารให้มีความเหมาะสมกับงานที่ต้องการ ซึ่งได้ทำการทดลองแล้วได้ผลดังนี้





### 3.3.3.3 ตัวอย่างการสื่อสารข้อมูลแบบ I<sup>2</sup>C

Slave : 5 ตัว                      จำนวนข้อมูล : 12 ค่า (48 bytes)                      ความถี่ Clock : 400 kHz  
 การปรับค่าต่าง ๆ และความถูกต้องของข้อมูลเป็นไปตามตามรูปที่ 3.17

```

delay(100);

Wire.requestFrom(10,48);
while (Wire.available()) {
  I2C_readAnything (data);
}

Wire.requestFrom(9,48);
while (Wire.available()) {
  I2C_readAnything (data1);
}

Wire.requestFrom(8,48);
while (Wire.available()) {
  I2C_readAnything (data2);
}

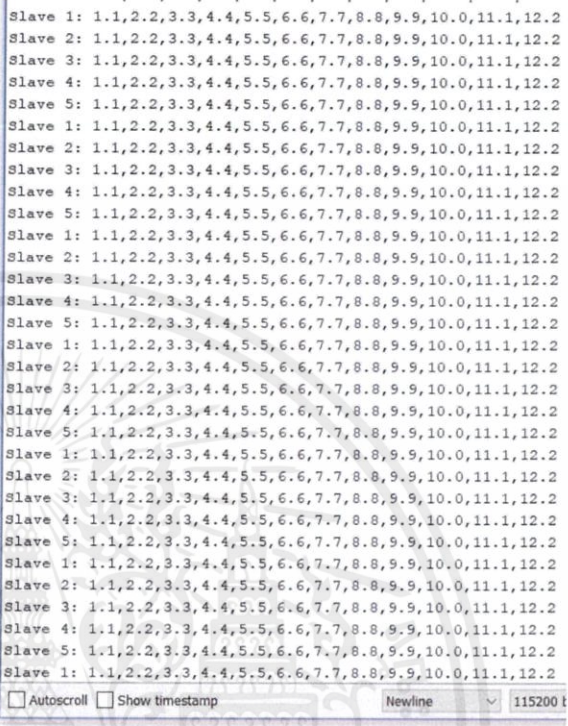
Wire.requestFrom(7,48);
while (Wire.available()) {
  I2C_readAnything (data3);
}

Wire.requestFrom(6,48);
while (Wire.available()) {
  I2C_readAnything (data4);
}

dataprint(0);
dataprint(1);
dataprint(2);
dataprint(3);
dataprint(4);
}

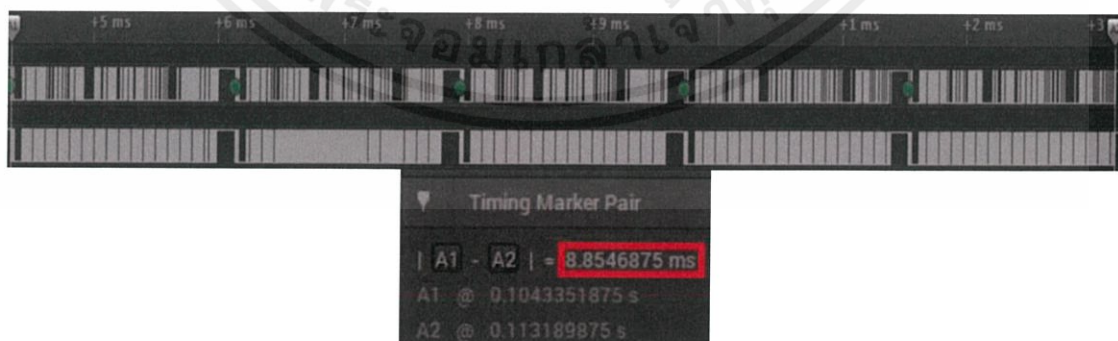
void dataprint (int a){
  if (a==0){
    Serial.print("Slave 1: ");
    for(int i=0;i<=11;i++){

```



รูปที่ 3.17 โปรแกรมในการสื่อสารข้อมูลและหน้าจอ Serial Monitor  
 (5 Slave, 12 ค่า, CLK 400 kHz)

พบว่าข้อมูลมีความถูกต้อง 100% เมื่อส่งข้อมูลจำนวน 12 ค่า จาก 5 Slave ด้วย  
 ความถี่ Clock : 400 kHz และใช้ Logic Analyzer วัดค่าเวลาที่ใช้ในการส่งทั้งหมดจะได้ดังรูปที่  
 3.18



รูปที่ 3.18 เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลทั้งหมดวัดจาก Logic Analyzer  
 (5 Slave, 12 ค่า, CLK 400 kHz)

จากรูปที่ 3.18 พบว่าเมื่อส่งข้อมูลจำนวน 12 ค่า จาก 5 Slave ด้วย Clock 400  
 kHz จะใช้เวลา 8.854 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองข้างต้น สามารถเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจำนวน 12 คำ ของการสื่อสารในแต่ละแบบที่เร็วที่สุดและข้อมูลถูกต้องได้ดังตารางที่ 3.2 ดังนี้

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบเวลาในการใช้ส่งข้อมูลของการสื่อสารในแต่ละแบบ

จำนวน Slave	รูปแบบการสื่อสาร	เวลาที่ใช้ (ms)
1 Slave	UART	4.358
	SPI	1.027
	I2C	1.468
5 Slave	SPI	5.183
	I2C	8.854

พบว่า การสื่อสารข้อมูลแบบ SPI จะใช้เวลาในการส่งข้อมูลน้อยที่สุด รองลงมาเป็น I<sup>2</sup>C และการส่งข้อมูลแบบ UART จะช้าที่สุด และส่งข้อมูลได้เพียง 1 Slave นอกจากนี้แล้ว เมื่อศึกษารูปแบบการสื่อสารข้อมูลแบบ UART เพิ่มเติม พบว่า ได้ผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลและความถูกต้องของข้อมูลในการสื่อสารแบบ UART

UART	baud rate	เวลาที่ใช้ (ms)	ความถูกต้อง
12 คำ	57600	8.575	Good
	115200	4.358	Good
24 คำ	115200	8.729	Bad

จากตารางที่ 3.3 พบว่า เวลาที่ใช้การส่งข้อมูลจะแปรผันตรงกับจำนวนข้อมูลที่ถูกรับและส่ง และ baud rate ที่ใช้ในการส่งข้อมูล และข้อมูลจะมีความผิดพลาดมากขึ้นเมื่อมีจำนวนข้อมูลมากขึ้น

เมื่อศึกษารูปแบบการสื่อสารข้อมูลแบบ SPI เพิ่มเติม พบว่า ได้ผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลและความถูกต้องของข้อมูลในการสื่อสารแบบ SPI

SPI	ความถี่ Clock	Delay (us)	เวลาที่ใช้ (ms)	ความถูกต้อง
1 Slave 12 คำ	2 MHz	6	0.739	Bad
		12	1.138	Good
	4 MHz	6	0.595	Bad
		12	1.027	Good
	8 MHz	6	N/A	N/A
		12	N/A	N/A
1 Slave 24 คำ	4 MHz	12	2.05	Good
5 Slave 12 คำ	2 MHz	6	3.734	Bad
		12	5.902	Good
	4 MHz	6	3.01	Bad
		12	5.1833	Good
	8 MHz	6	N/A	N/A
		12	N/A	N/A

จากตารางที่ 3.4 พบว่า เวลาที่ใช้การส่งข้อมูลจะแปรผันตรงกับจำนวนข้อมูลที่ถูกรับส่ง, Delay และ จำนวน Slave ที่ใช้ในการส่งข้อมูล แต่จะแปรผกผันกับความถี่ Clock โดยข้อมูลจะมีความผิดพลาดหากใช้ Delay ในการส่ง 6  $\mu$ s และไม่สามารถใช้งานความถี่สัญญาณนาฬิกาที่ 8 MHz ได้

เมื่อศึกษารูปแบบการสื่อสารข้อมูลแบบ I<sup>2</sup>C เพิ่มเติม พบว่าได้ผลการทดลองเป็นไปตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลและความถูกต้องของข้อมูลในการสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C

I <sup>2</sup> C	ความถี่ Clock	เวลาที่ใช้ (ms)	ความถูกต้อง
1 Slave 12 คำ	100kHz	4.758	Good
	400kHz	1.468	Good
1 Slave 24 คำ	400kHz	2.903	Good
5 Slave 12 คำ	100kHz	24.349	Good
	400kHz	8.854	Good

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

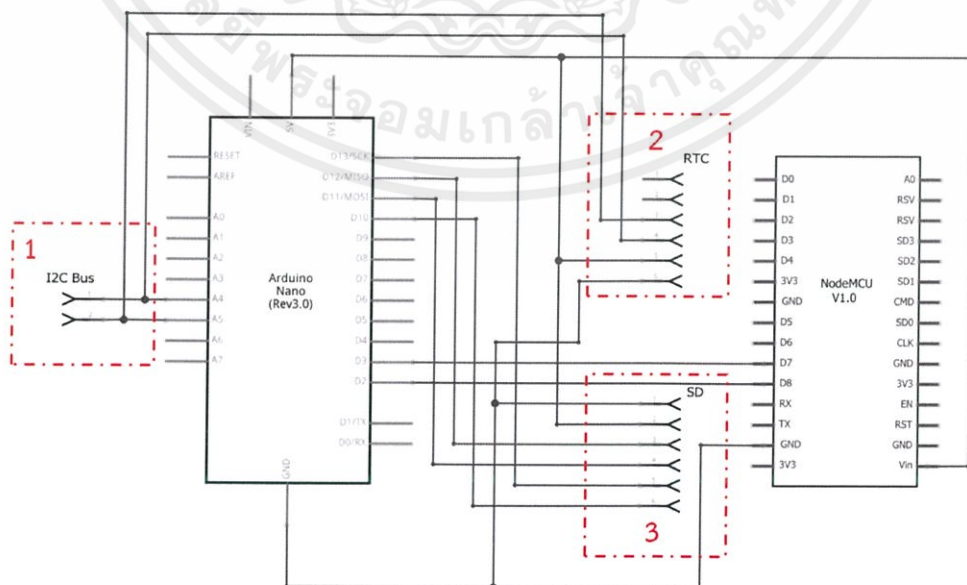
จากตารางที่ 3.5 พบว่า เวลาที่ใช้การส่งข้อมูลจะแปรผันตรงกับจำนวนข้อมูลที่ถูกส่งและจำนวน Slave ที่ใช้ในการส่งข้อมูล แต่จะแปรผกผันกับความถี่ Clock โดยข้อมูลที่ได้จากการส่งแบบ I<sup>2</sup>C จะถูกต้องทั้งหมด ไม่ขึ้นอยู่กัตัวแปรใด ๆ

จากผลการทดลองการสื่อสารข้อมูลแบบต่าง ๆ พบว่า การสื่อสารแบบ UART นั้นไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากสามารถสื่อสารข้อมูลระหว่างกันได้เพียง 2 ตัว แต่การสื่อสารแบบ SPI และ I<sup>2</sup>C นั้นสามารถนำมาใช้กับวงจรของการสื่อสารนี้ที่ต้องการสื่อสารข้อมูลตัวเลขทศนิยม จำนวน 12 ค่า จาก 5 Slave โดยต้องการความถี่ในการเก็บข้อมูล 10 ครั้งต่อวินาที (คาบเวลา 100 ms) ซึ่งการสื่อสารแบบ SPI จะใช้เวลาในการส่งข้อมูล 12 ค่า จาก 5 Slave ทั้งหมด 5.183 ms และการสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C จะใช้เวลา 8.854 ms ซึ่งเพียงพอต่อการเก็บข้อมูล 10 ครั้งต่อวินาที ทั้งสองรูปแบบดังนั้น จึงเลือกใช้การสื่อสารข้อมูลแบบ I<sup>2</sup>C ที่มีความสะดวกต่อการใช้งานมากกว่า และมีความถูกต้องของข้อมูลสูงกว่า

ในส่วนของการเก็บข้อมูลจะประกอบด้วย SD Card Module และ Real Time Clock Module ซึ่งทำการบันทึกค่าเวลาไปพร้อม ๆ กับข้อมูลที่ได้รับมาจากวงจรการสื่อสารต่าง ๆ โดย SD Card Module จะทำการเชื่อมต่อแบบ SPI ซึ่งจะต้องทำการเชื่อมต่อขา MISO, MOSI, SCK, CS เข้ากับ Arduino Nano ส่วน Real Time Clock Module จะทำการเชื่อมต่อแบบ I<sup>2</sup>C ซึ่งจะต้องทำการเชื่อมต่อขา SCL, SDA เข้ากับ Arduino Nano

และในการส่งข้อมูลไปยังอินเทอร์เน็ต จะใช้ NodeMCU ซึ่งเป็น Wi-Fi Module ที่สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ โดย NodeMCU จะทำการรับค่าจาก Master โดยใช้วิธีการสื่อสารแบบ UART เนื่องจาก NodeMCU จะไม่รองรับการสื่อสารแบบอื่น ๆ และทำการส่งค่าไปยัง ThingSpeak ผ่าน Wi-Fi

เมื่อรวมวงจรทุกส่วนเข้าด้วยกันแล้วจะได้วงจรในส่วนของการสื่อสารซึ่งจะแสดง Schematic Diagram ของวงจรได้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 Schematic Diagram ของวงจรในส่วนของการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

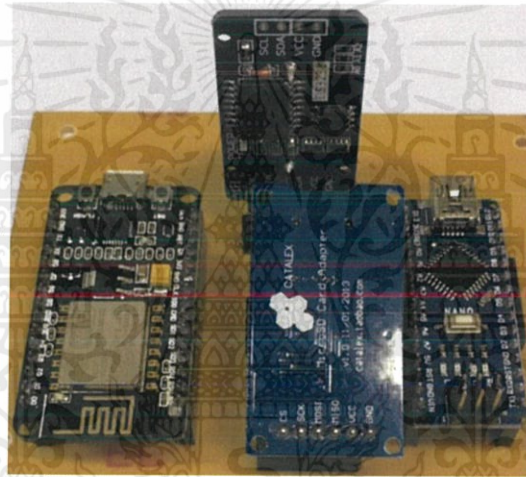
จากรูปที่ 3.19 ในส่วนที่หนึ่งของวงจรคือ Pin Header ซึ่งเป็นตัวเชื่อมต่อบัส I<sup>2</sup>C จาก Arduino ตัวที่เป็น Master เข้ากับวงจรในส่วนอื่น ๆ ทั้งหมด

ในส่วนที่สองของวงจรจะเป็น Pin Header ที่จะเชื่อมต่อเข้ากับ Real Time Clock Module ซึ่งจะใช้การสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C ดังนั้นจะต้องต่อเข้ากับบัส I<sup>2</sup>C และเชื่อมต่อจุดจ่ายไฟ 5 V และจุดกราวด์ให้กับโมดูล

ในส่วนที่สามของวงจรจะเป็น Pin Header ที่จะเชื่อมต่อเข้ากับ MicroSD Card Module ซึ่งจะใช้การสื่อสารแบบ SPI ดังนั้นจะต้องต่อวงจรเข้ากับขา MISO, MOSI, SCK และ CS ของ Arduino และเชื่อมต่อจุด 5 V และกราวด์ให้กับโมดูล

และตัว Arduino จะเชื่อมขา Digital I/O ที่ขา D2 และ D3 เข้ากับ NodeMCU ที่ขา D7 และ D8 เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลแบบ UART

จากนั้นทำการสร้างแผ่นวงจร PCB ของวงจรในส่วนของการสื่อสารขึ้นมา โดยแผ่นวงจร PCB ที่ได้ประกอบสร้างขึ้นจะแสดงได้ดังรูปที่ 3.20

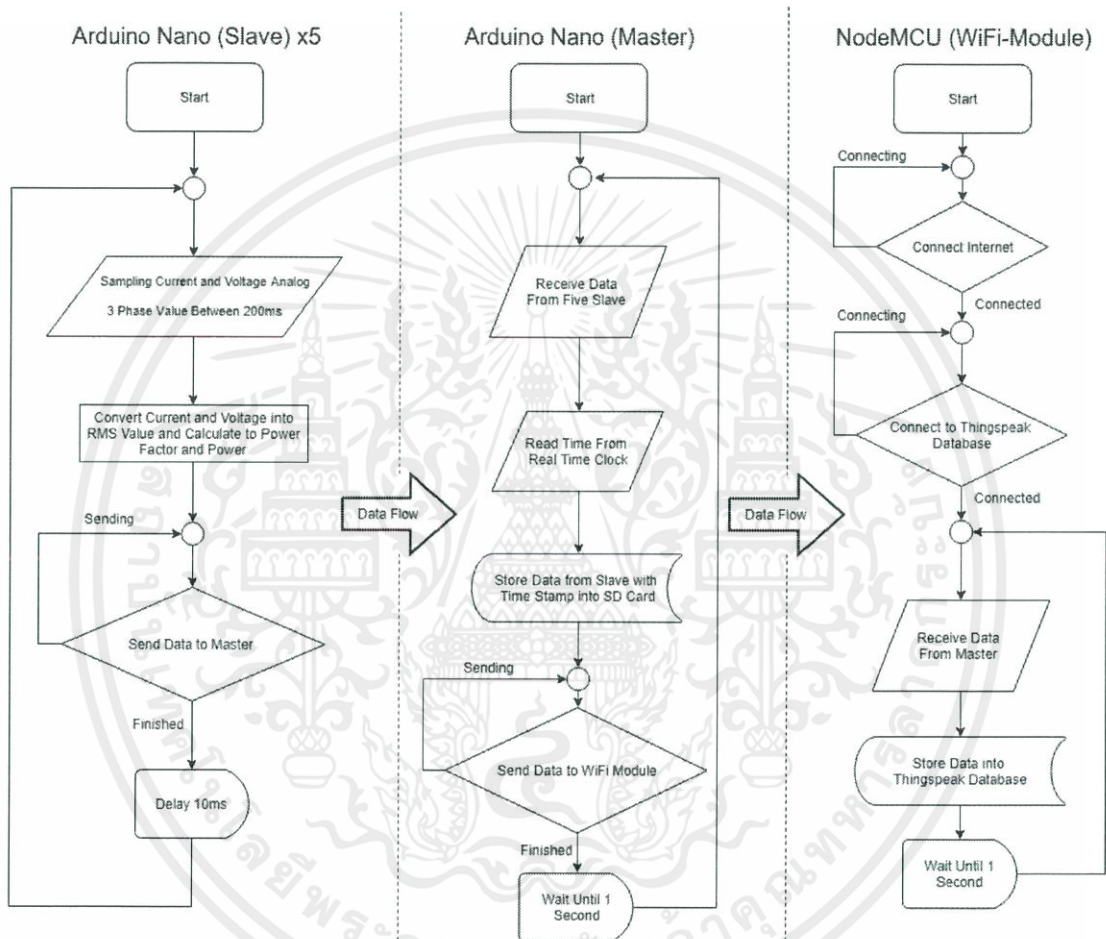


รูปที่ 3.20 แผ่นวงจร PCB ในส่วนของการสื่อสาร

### 3.3.4 การออกแบบซอฟต์แวร์

โปรแกรมสำหรับการดึงค่าตัวอย่างข้อมูลนั้นจะใช้ Arduino IDE ในการออกแบบโปรแกรม ซึ่งใน Arduino IDE นี้จะมีไลบรารีสำเร็จรูปที่จะสามารถทำการดึงค่าตัวอย่างข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าและทำการแปลงเป็นค่า RMS ได้ รวมไปถึงสามารถคำนวณค่าตัวประกอบกำลัง และค่าอื่น ๆ ออกมาได้อีกด้วย โดยไลบรารีมีชื่อ OpenEnergyMonitor หรือ “EmonLib”

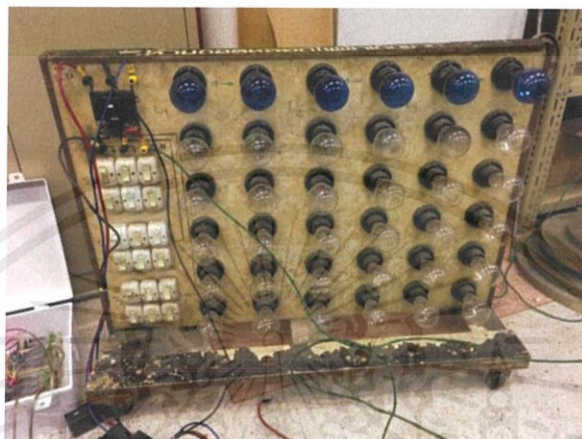
โดยหลักการทำงานของโปรแกรมทั้งหมด จะเป็นไปตาม Flowchart ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 การทำงานของโปรแกรม

### 3.3.5 การปรับเทียบค่า

การปรับเทียบเครื่องวัดเครื่องมือวัดที่ได้ประกอบสร้างขึ้นมานั้นจะทำได้โดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส เข้ากับโหลดไส้ 1 เฟส จำนวน 3 ชุด ซึ่งเปรียบเสมือนภาระไฟฟ้าชนิดตัวต้านทานเพื่อปรับเทียบกระแสและแรงดัน และต่อขนานเข้ากับบัลลาสต์ซึ่งจะทำหน้าที่เสมือนภาระไฟฟ้าชนิดตัวเหนี่ยวนำเพื่อปรับเทียบค่าตัวประกอบกำลัง ภาระไฟฟ้าชนิดตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำแสดงได้ดังรูปที่ 3.22 และ รูปที่ 3.23 ตามลำดับ



รูปที่ 3.22 ภาระไฟฟ้าชนิดตัวต้านทาน



รูปที่ 3.23 ภาระไฟฟ้าชนิดตัวเหนี่ยวนำ

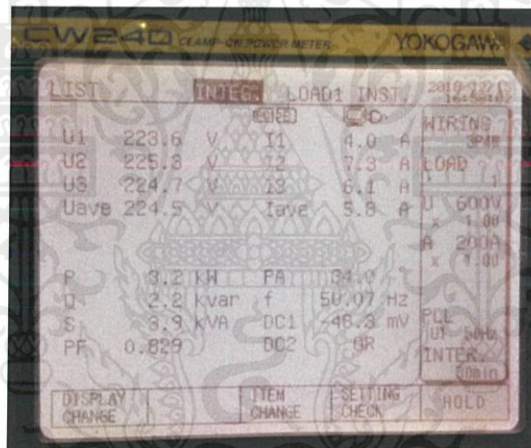
โดยค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องมือวัดที่ประกอบสร้างขึ้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน รุ่น YOGOKAWA CW240 โดยแสดงตัวอย่างค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดที่ประกอบสร้างขึ้นดังรูปที่ 3.24

1	2	3	4
223.25,224.54,224.65	3.84,7.07,5.85	0.82,0.86,0.77	703.86,1360.46,1012.45
223.28,225.21,224.78	3.85,7.11,5.87	0.82,0.85,0.77	715.94,1356.81,1016.58
224.33,226.11,224.75	3.98,7.14,5.87	0.82,0.85,0.77	732.03,1375.89,1020.37
224.40,225.00,224.66	3.96,7.14,5.93	0.82,0.86,0.78	731.63,1375.20,1025.47
223.47,225.96,224.54	3.93,7.18,5.93	0.82,0.86,0.77	724.03,1389.21,1030.15
223.46,224.99,224.60	3.90,7.17,5.93	0.83,0.86,0.77	721.92,1383.34,1029.27
224.38,224.92,224.76	3.98,7.15,5.94	0.83,0.85,0.78	742.93,1375.58,1037.07
223.38,225.15,225.71	3.95,7.16,5.98	0.83,0.86,0.78	731.98,1380.09,1050.30
223.52,224.67,224.66	3.97,7.19,5.96	0.83,0.86,0.78	733.58,1391.50,1041.72
223.60,225.15,224.64	3.98,7.20,5.96	0.83,0.86,0.78	736.76,1389.33,1044.10
224.46,225.08,225.00	4.05,7.22,5.97	0.83,0.86,0.78	755.87,1391.26,1042.29
223.53,225.20,224.99	4.01,7.23,5.99	0.83,0.86,0.78	742.61,1397.13,1051.10
223.51,225.21,224.57	4.04,7.23,6.00	0.84,0.86,0.78	754.84,1401.80,1053.55
223.64,225.09,224.72	4.06,7.26,6.02	0.83,0.86,0.78	757.56,1402.07,1063.11
223.66,225.95,224.66	4.07,7.34,6.06	0.83,0.86,0.78	758.64,1422.73,1063.18

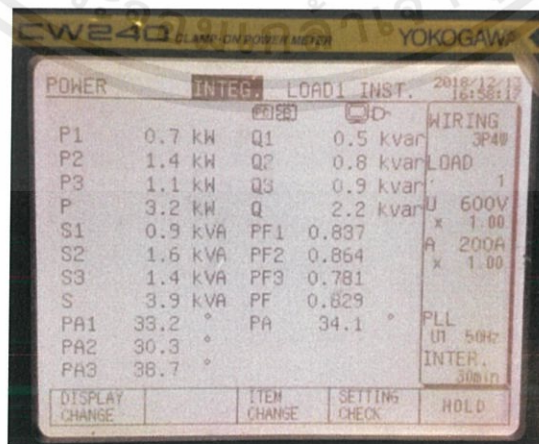
รูปที่ 3.24 ค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่าง ๆ ที่อ่านได้จากอุปกรณ์ในการวัดที่ประกอบสร้างขึ้นมา

จากรูปที่ 3.24 ในส่วนที่ 1 คือปริมาณแรงดันไฟฟ้าในเฟส A,B,C ตามลำดับ ในส่วนที่ 2 คือปริมาณกระแสไฟฟ้าในเฟส A,B,C ตามลำดับ ในส่วนที่ 3 คือค่าตัวประกอบกำลังในเฟส A,B,C ตามลำดับ และในส่วนที่ 4 คือค่ากำลังไฟฟ้าจริงในเฟส A,B,C ตามลำดับ

และแสดงค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ามาตรฐานได้ดังรูปที่ 3.25 และรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.25 ค่าแรงดันและกระแสในแต่ละเฟสที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน



รูปที่ 3.26 ค่ากำลังไฟฟ้าจริงและตัวประกอบกำลังในแต่ละเฟสที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ได้ทำการเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ แล้วทำการทดลองเปลี่ยนระดับแรงดันและกระแสรวมไปถึงค่าตัวประกอบกำลังเพื่อทดสอบว่าค่าปริมาณต่าง ๆ ที่เครื่องมือวัดที่ประกอบสร้างขึ้นมาวัดจะมีความคลาดเคลื่อนอย่างไร

ทำการเปรียบเทียบค่าแรงดันตั้งแต่ 20-220 V แสดงได้ดังตารางที่ 3.6 โดยคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \left| \frac{\text{ค่าจากการวัด} - \text{ค่าที่ยอมรับ}}{\text{ค่าที่ยอมรับ}} \right| \times 100 \%$$

ตารางที่ 3.6 การเปรียบเทียบแรงดันในทั้งสามเฟส

ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน			ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่ประกอบสร้างขึ้นมา			ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน		
Va (V)	Vb (V)	Vc (V)	Va (V)	Vb (V)	Vc (V)	Va (%)	Vb (%)	Vc (%)
20.9	20.8	20.9	20.9	20.9	20.9	0	0.5	0
41	40.8	40.9	41.2	40.5	41.0	0.5	0.7	0.2
61.5	60.5	61.5	61.8	60.8	61.5	0.5	0.5	0
81.2	80.4	81.1	81.7	80.6	80.6	0.6	0.2	0.6
102.2	100.9	101.3	102.9	100.6	100.5	0.7	0.3	0.8
122	121.5	122.3	123.3	121.9	121.9	0.1	0.3	0.3
142.8	141.3	142.2	143.9	141.4	141.6	0.8	0.1	0.4
162.4	160.7	162.9	163.9	161.1	161.2	0.9	0.2	1.0
182.7	180.6	181.8	184.5	181.5	181.3	1.0	0.5	0.3
200.3	201.4	202.7	203.8	200.1	200.2	1.7	0.6	1.2
223	220.6	222.3	225.1	220.7	221.5	0.9	0.1	0.4

จะพบว่าแรงดันที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่ประกอบสร้างขึ้นมาจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 1.7% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ (ไม่เกิน 5%)

และจะทำการเปรียบเทียบค่ากระแสไปพร้อมกับแรงดันซึ่งจะได้ค่าจากการเปรียบเทียบเป็นไปตามตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ตารางการเปรียบเทียบกระแสในทั้งสามเฟส

ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน			ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่ประกอบสร้างขึ้น			ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน		
la (A)	lb (A)	lc (A)	la (A)	lb (A)	lc (A)	la (%)	lb (%)	lc (%)
1.4	1.3	1.2	1.4	1.3	1.3	0	0.	8.3
1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	0	0	5.6
2.2	2.2	2.3	2.2	2.1	2.3	0	4.5	0
2.6	2.6	2.6	2.7	2.6	2.7	3.8	0	3.8
2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	3.0	3.5	3.5	3.5
3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.1	3.1	0
3.5	3.5	3.6	3.7	3.6	3.6	5.7	2.8	0
3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	3.9	2.7	0	2.7
4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.2	0	0	2.4
4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.4	0	0	2.3
4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	0	0	0

จะพบว่าค่ากระแสที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่ประกอบสร้างขึ้นจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 8.3% ซึ่งเกิดจากการที่อุปกรณ์ในการวัดออกแบบมาเพื่อใช้งานในย่านกระแสที่สูง จึงทำให้ความคลาดเคลื่อนมากในย่านกระแสต่ำ

จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าตัวประกอบกำลังจากการเปิดปิดโหลดตัวเหนี่ยวนำ พบว่าค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบจะเป็นไปตามตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การเปรียบเทียบค่าตัวประกอบกำลังในทั้งสามเฟส

ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน			ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่ประกอบสร้างขึ้น			ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน		
PFa	PFb	PFc	Pfa	PFb	PFc	PFa (%)	PFb (%)	PFc (%)
1.000	1.000	1.000	1.010	1.050	1.040	1.000	5.000	4.000
0.900	0.900	0.900	0.910	0.920	0.910	1.111	2.222	1.111
0.800	0.800	0.800	0.810	0.820	0.810	1.250	2.500	1.250
0.720	0.720	0.720	0.710	0.710	0.700	1.389	1.389	2.778
0.460	0.460	0.460	0.440	0.440	0.450	4.347	4.347	2.174

จะพบว่าค่าตัวประกอบกำลังที่วัดได้จากอุปกรณ์ที่ประกอบสร้างขึ้นจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ 5% ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

จากนั้นทำการทดลองเปรียบเทียบค่ากระแสในช่วงย่านที่สูงขึ้นเพื่อทดสอบว่าหม้อแปลงกระแสสามารถทำงานในย่านกระแสที่สูงได้หรือไม่ เนื่องจากโหลดที่ทำการทดลองเปรียบเทียบจะสามารถรับกระแสได้สูงสุด 4.7 A ดังนั้นจึงใช้การพันสายไฟผ่านหม้อแปลงกระแสเพื่อเพิ่มจำนวนรอบ ซึ่งสามารถพันได้ทั้งหมด 15 รอบ จึงได้กระแสสูงสุดที่ทดสอบได้เป็น 70 A ซึ่งจะสามารถแสดงตารางการเปรียบเทียบได้ดังนี้

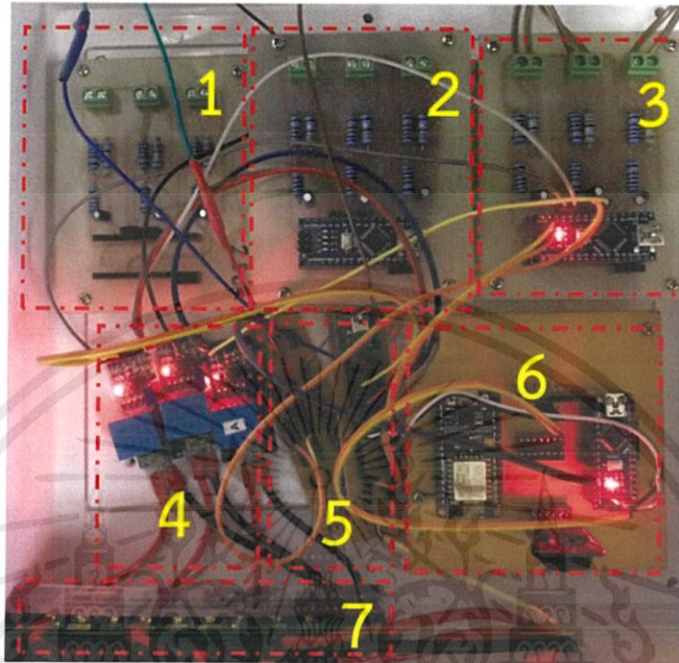
ตารางที่ 3.9 การเปรียบเทียบค่ากระแสที่มีค่าสูง

ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้ามาตรฐาน (A)	ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ที่ประกอบสร้างขึ้น (A)	ความผิดพลาด (%)
10.2	10.3	1.0
20.4	20.3	0.5
30.3	30.5	0.7
40.1	40.2	0.3
50.1	50.2	0.2
60.1	60.2	0.2
70.4	70.4	0

ซึ่งจะพบว่าหม้อแปลงกระแสจะสามารถทำงานในย่านกระแสไฟฟ้า 70 A ได้ จึงตั้งสมมุติฐานไว้ว่าหม้อแปลงจะสามารถทำงานได้ถึงพิกัดสูงสุดในการติดตั้งที่วงจร (250 A)

### 3.3.6 การทดลองติดตั้งเครื่องมือวัด

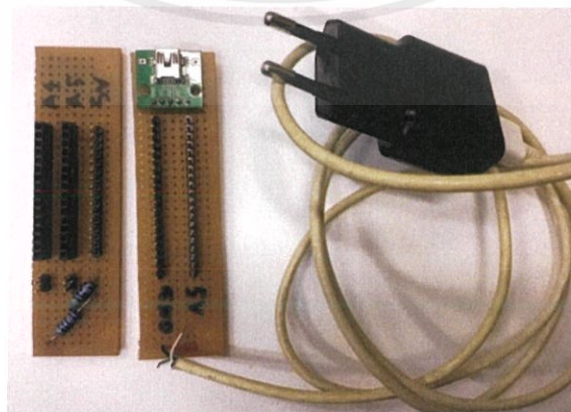
ทำการรวมวงจรในการวัดทั้ง 5 วงจรและวงจรในการสื่อสารเข้าด้วยกันบรรจุนใส่ในกล่องกันน้ำซึ่งจะจัดเรียงได้ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 ส่วนประกอบทั้งหมดภายในอุปกรณ์การวัด

ส่วนที่ 1, 2 และ 3 จะเป็นวงจรในส่วนของการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า (Slave) ซึ่งจะวางซ้อนกัน มีจำนวนวงจรทั้งหมด 5 วงจร โดยทุกวงจรจะรับค่าแรงดันมาจาก Single Phase Voltage Sensor ในส่วนที่ 4

ในส่วนที่ 5 นั้นจะประกอบไปด้วยแผ่น PCB สำเร็จรูป 2 แผ่น ซึ่งถูกใช้ให้เป็นบัสไฟเลี้ยง 1 แผ่น ประกอบด้วย Pin Header 16 ขา สำหรับจ่ายไฟเลี้ยง 5 V และกราวด์ ซึ่งรับไฟฟ้าจากอแดปเตอร์โทรศัพท์มือถือที่มีพิกัด 5V DC , 1.55 A และอีกแผ่นหนึ่งจะใช้เป็นบัส I<sup>2</sup>C ซึ่งจะประกอบด้วย Pin Header 16 ขา ซึ่งจะใช้เป็นบัส SDA และ SCL ของการสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C ซึ่งจะมีการต่อแต่ละบัสเข้ากับค่าความต้านทาน Pull-Up ด้วย ซึ่งจะแสดงวงจรในส่วนที่ 5 ได้ดังรูปที่ 3.28



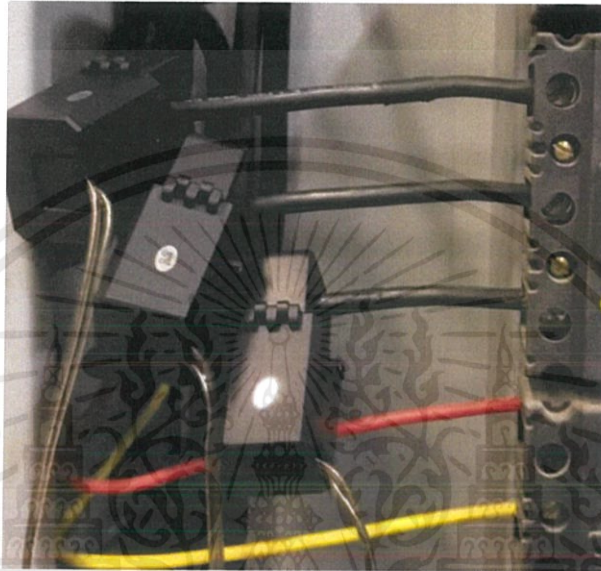
รูปที่ 3.28 วงจรแหล่งจ่ายและวงจรบัส I<sup>2</sup>C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนที่ 6 เป็นวงจรในส่วนของการสื่อสาร ซึ่งจะรับไฟเลี้ยงรวมถึงข้อมูลจากบัส I<sup>2</sup>C มาจากส่วนที่ 5 อีกด้วย

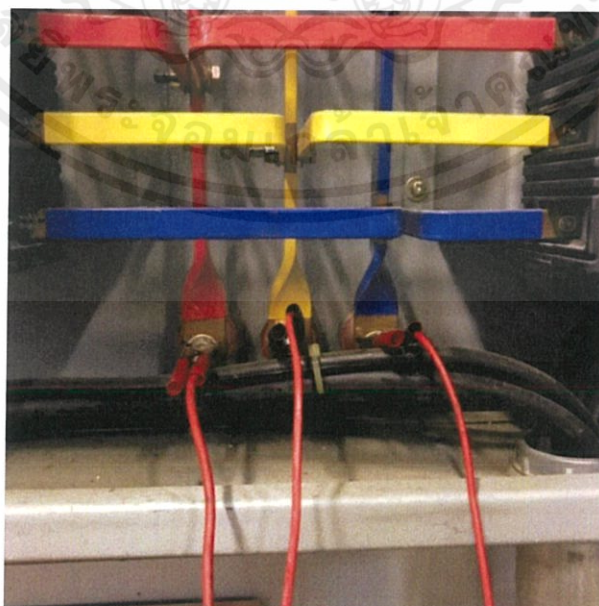
ในส่วนที่ 7 เป็น Terminal สำหรับต่อแรงดันที่ต้องการวัดเข้าสู่ Single Phase Voltage Sensor ในแต่ละตัว

ทำการทดลองต่อวงจรการวัดเข้ากับวงจรของเครื่องปรับอากาศภายในห้องปฏิบัติการ โดยการต่อหม้อแปลงกระแสจะแสดงดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 การต่อหม้อแปลงกระแสเข้ากับวงจรย่อย

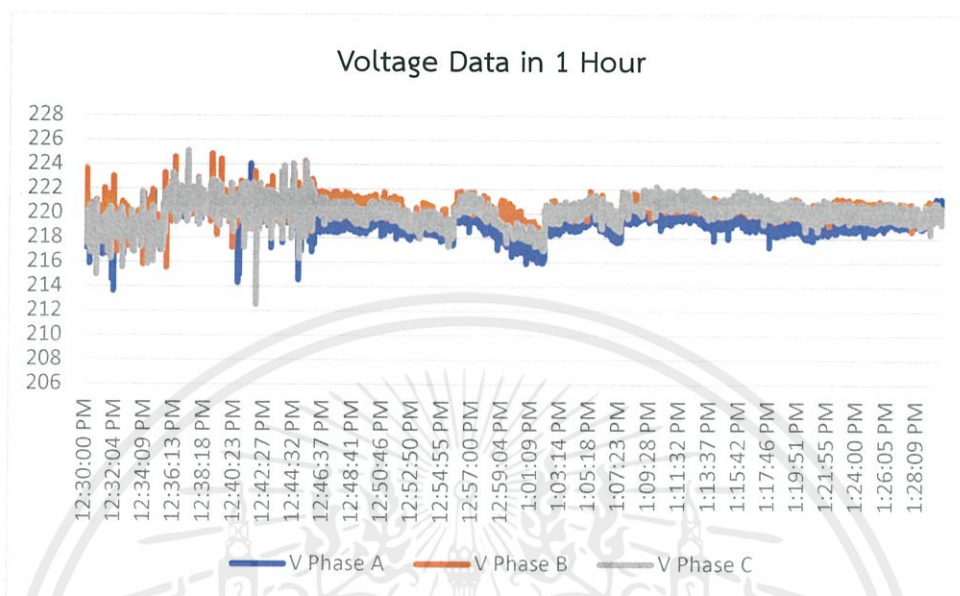
และทำการต่อสายในการวัดแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟสเข้ากับ Terminal ภายในอุปกรณ์การวัด (ส่วนที่ 7 ในรูปที่ 3.27) โดยจะดึงแรงดันไฟฟ้ามาจากบัสบาร์ในแผงควบคุมไฟฟ้าดังรูปที่ 3.30



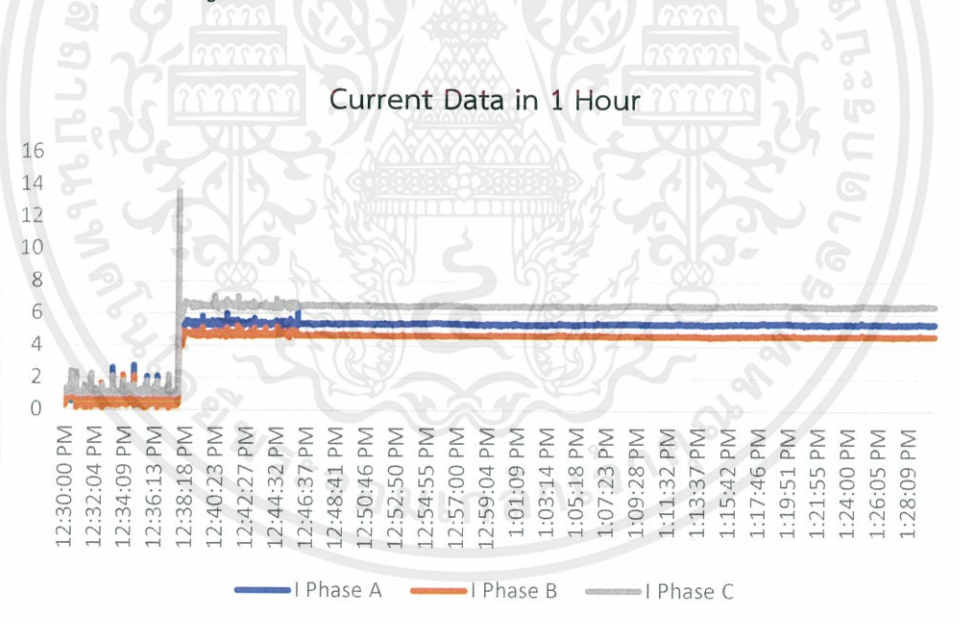
รูปที่ 3.30 การต่อวัดแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการทดลองเปิดอุปกรณ์ในการวัดทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อทำการทดสอบวงจรในการเก็บข้อมูลเข้ากับ MicroSD Card จากนั้นนำค่าที่เก็บได้จาก MicroSD Card มาพล็อตกราฟเทียบกับเวลาจะได้ผลดังรูปที่ 3.31 ถึงรูปที่ 3.33

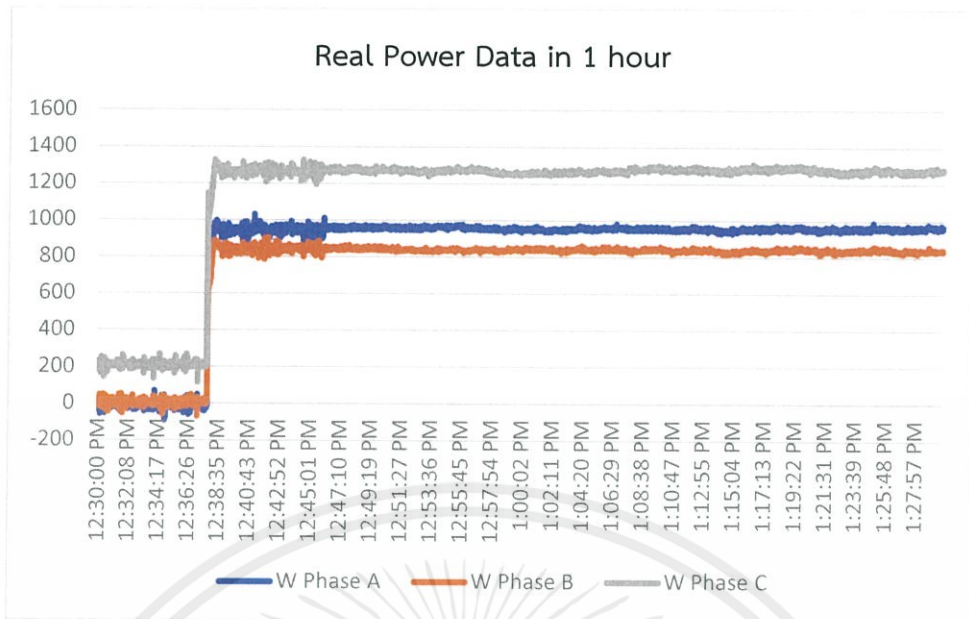


รูปที่ 3.31 ค่าของแรงดันในแต่ละเฟสเทียบกับเวลา



รูปที่ 3.32 ค่าของกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสเทียบกับเวลา

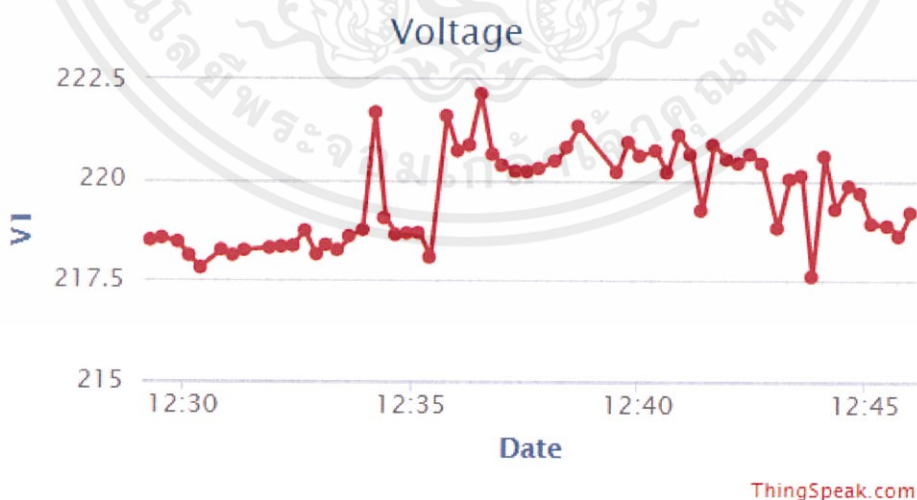
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



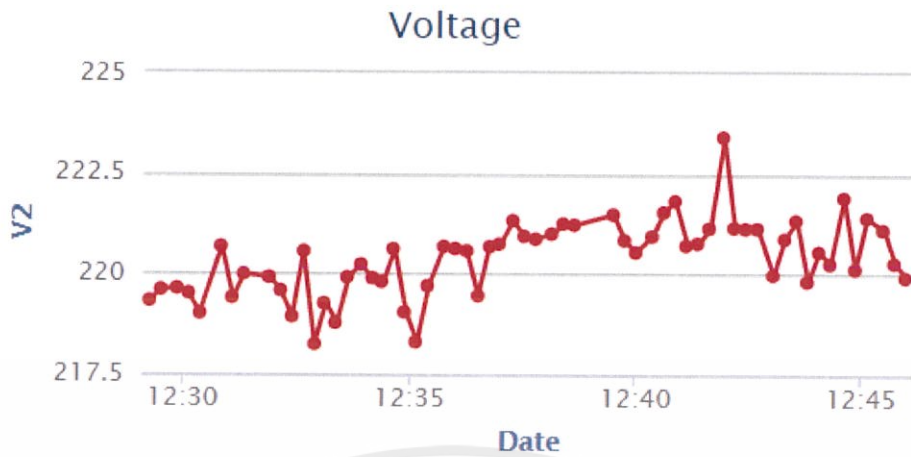
รูปที่ 3.33 ค่าของตัวประกอบกำลังในแต่ละเฟสเทียบกับเวลา

จากข้อมูลที่เก็บมาได้พบว่าอุปกรณ์การวัดที่ได้ออกแบบมานั้นใช้งานกับเครื่องปรับอากาศได้ โดยจะสังเกตเห็นว่าในช่วงเวลาประมาณ 12.30 PM ถึง 12.38 PM จะเป็นช่วงที่แอร์คอมเพรสเซอร์ตัด ซึ่งจะทำให้ค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าของวงจรมีค่าต่ำ และในช่วงเวลาที่ 12.38 PM ถึง 13.30 PM จะเป็นช่วงเวลาที่แอร์คอมเพรสเซอร์ทำงาน ซึ่งจะส่งผลให้มีค่ากระแสและกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ส่วนค่าแรงดันไฟฟ้าจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 220 V และมีการแกว่งของแรงดันเล็กน้อย

ในส่วนของการส่งค่าไปยัง ThingSpeak พบว่าจะได้ค่าของข้อมูลเทียบกับเวลาดังรูปที่ 3.34 ถึงรูปที่ 3.39

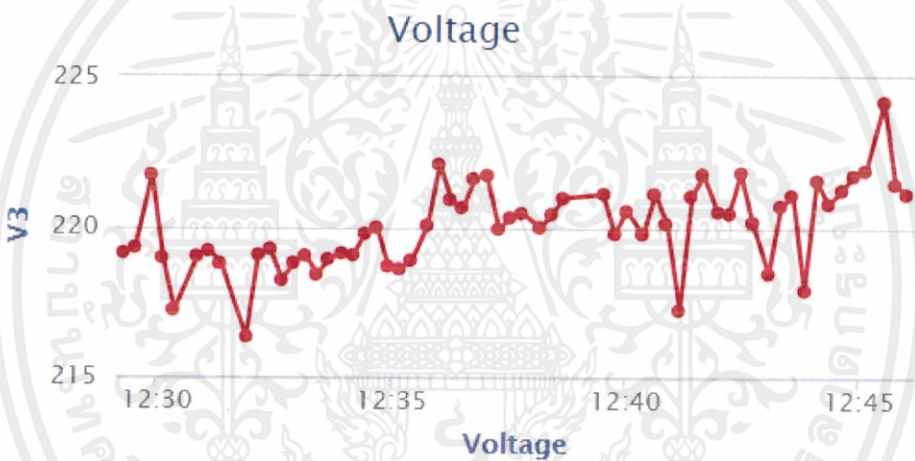


รูปที่ 3.34 ข้อมูลแรงดันเฟส A จาก ThingSpeak



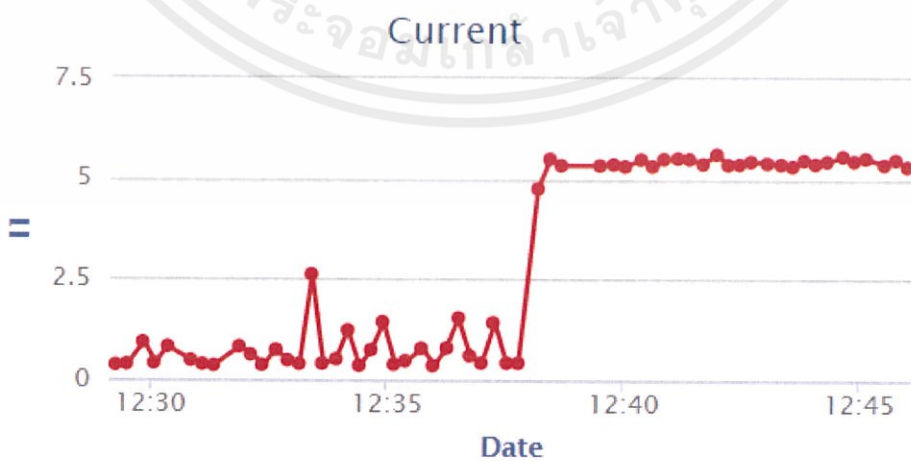
ThingSpeak.com

รูปที่ 3.35 ข้อมูลแรงดันเฟส B จาก ThingSpeak



ThingSpeak.com

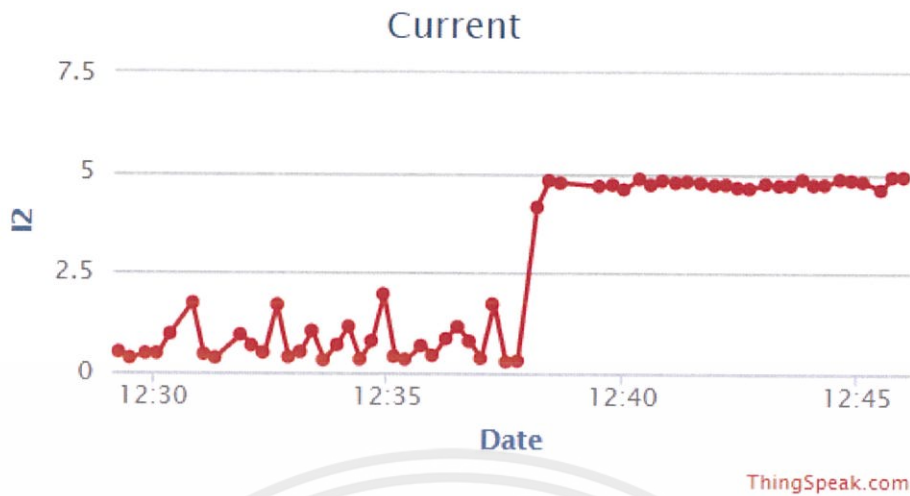
รูปที่ 3.36 ข้อมูลแรงดันเฟส C จาก ThingSpeak



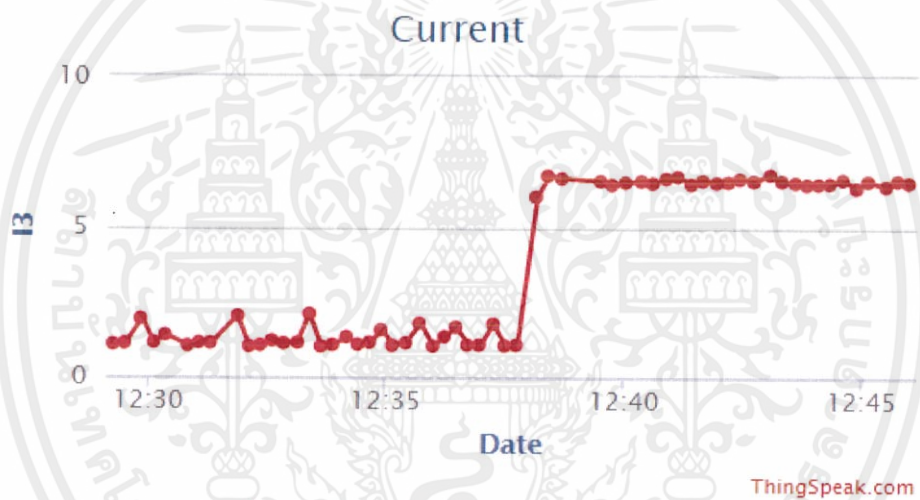
ThingSpeak.com

รูปที่ 3.37 ข้อมูลกระแสเฟส A จาก ThingSpeak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.38 ข้อมูลกระแสเฟส B จาก ThingSpeak



รูปที่ 3.39 ข้อมูลกระแสเฟส C จาก ThingSpeak

พบว่าข้อมูลจาก ThingSpeak จะมีความถี่ในการเก็บข้อมูลน้อยกว่าที่เก็บใน MicroSD Card เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของ ThingSpeak แบบไม่เสียค่าใช้จ่าย และยังมีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนชนิดข้อมูล ซึ่งจะสามารถแสดงผลข้อมูลได้เพียง 8 ชนิดเท่านั้น จึงได้เลือกแสดงผลเพียงแค่แรงดันและกระแสในแต่ละเฟสเท่านั้น

ในส่วนของการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างที่เก็บใน MicroSD Card และจากฐานข้อมูล ThingSpeak พบว่าข้อมูลจาก MicroSD Card และ ฐานข้อมูล ThingSpeak จะมีค่าตรงกันที่เวลาเดียวกัน

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 ผลจากการติดตั้งอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า

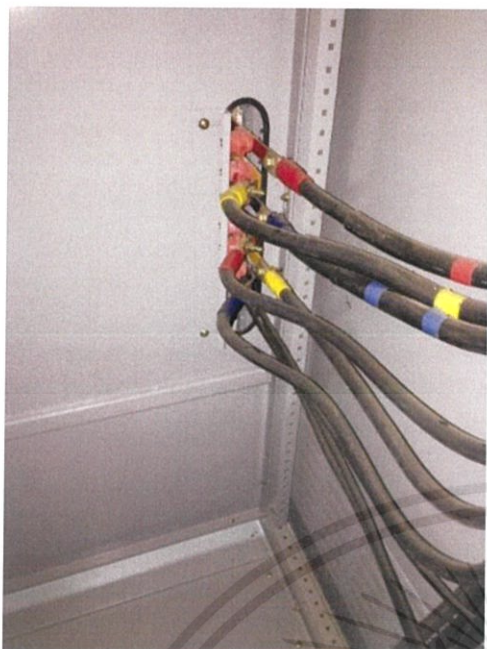
วงจรย่อยที่ทำการติดตั้งเป็นวงจรย่อยภายในตู้ MDB ใหม่ โดยทางโรงพยาบาลได้เพิ่มตู้ดังกล่าวขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับวงจรย่อยที่ครอบคลุมโรงอาหาร (CB1), ร้านสะดวกซื้อ (CB2), เครื่อง CT Scans (CB3 และ CB5) และเครื่อง X-ray (CB4) รวมทั้งหมดเป็นจำนวน 5 วงจรย่อย ซึ่งการติดตั้งนี้เป็นการติดตั้งควบคู่กับอุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้าเดิมที่มีการติดตั้งโดยนักศึกษาปริญญาโทเพื่อให้ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพาแห่งนี้มีความครบถ้วนสมบูรณ์ที่สุด ส่วนการวิเคราะห์การใช้พลังงานจะนำข้อมูลวงจรย่อยที่ตำแหน่งของภาระไฟฟ้าในชั้น 5 (LP5) และภาระไฟฟ้าแสงสว่างในชั้น 1 (LP1A) ซึ่งมีลักษณะการใช้พลังงานในเชิงอาคารธุรกิจโรงพยาบาลมาประกอบการวิเคราะห์

#### 4.1.1 ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า

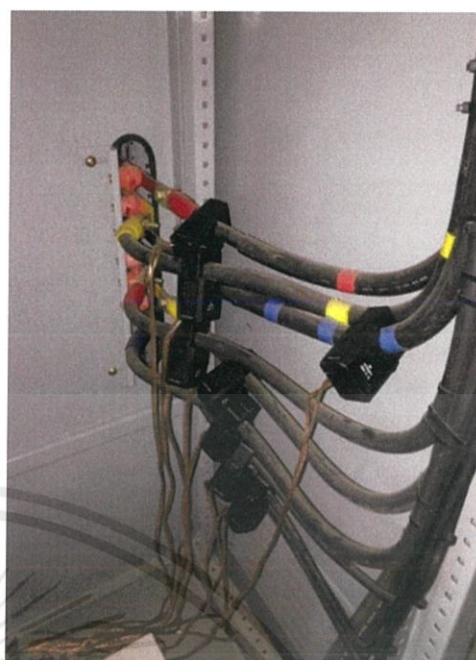
อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าจะถูกติดตั้ง ณ ตำแหน่งที่เป็นจุดรวมระบบไฟฟ้า (MDB) ของโรงพยาบาล ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งทำการติดตั้งไว้หลังตู้ MDB โดยที่หม้อแปลงกระแสจะถูกคล้องอยู่กับสายไฟทุกเส้นที่ออกจากวงจรย่อยทั้ง 5 วงจรตามที่กำหนดดังรูปที่ 4.2 ถึง 4.3 และทำการต่อสายเข้าที่บัสบาร์เพื่อทำการวัดแรงดัน หลังจากนั้นทำการต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ด้วยเครื่องสำรองไฟฟ้า (UPS) เพื่อป้องกันการขาดหายของข้อมูลเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ



รูปที่ 4.1 ตู้ MDB ที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์



รูปที่ 4.2 ก่อนติดตั้งหม้อแปลงกระแส



รูปที่ 4.3 การติดตั้งหม้อแปลงกระแส

ส่วนประกอบที่มีขนาดเล็กจะถูกปิดมิดชิดภายในกล่องอุปกรณ์และวางอยู่ภายในตู้ MDB โดยมีสายต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ายื่นออกมาด้านนอกตู้ MDB ไปยังเครื่องสำรองไฟฟ้า โดยได้แสดงการติดตั้งอุปกรณ์อย่างสมบูรณ์ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ติดตั้งสมบูรณ์ภายในตู้ MDB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 ผลการทดสอบการบันทึกข้อมูลใน MicroSD Card

ข้อมูลจาก MicroSD Card จากอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าจะบันทึกข้อมูลของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง ตัวประกอบไฟฟ้า ของทั้ง 3 เฟส ซึ่งสามารถเปิดไฟล์ข้อมูลได้ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel โดยแสดงผลข้อมูลบางส่วนได้ดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.4

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลบางส่วน of แรงดันไฟฟ้าจาก MicroSD Card

เวลา	วัน/เดือน/ปี	แรงดันเฟส A (V)	แรงดันเฟส B (V)	แรงดันเฟส C (V)
10.25.00 AM	15.02.2019	231.1	219.5	228.9
10.25.01 AM	15.02.2019	233.3	220.5	227.3
10.25.02 AM	15.02.2019	232.3	220.2	226.7
10.25.03 AM	15.02.2019	230.7	220.0	226.0
10.25.04 AM	15.02.2019	233.3	222.3	226.4

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลบางส่วน of กระแสไฟฟ้าจาก MicroSD Card

เวลา	วัน/เดือน/ปี	กระแสไฟฟ้าเฟส A (A)	กระแสไฟฟ้าเฟส B (A)	กระแสไฟฟ้าเฟส C (A)
10.25.00 AM	15.02.2019	28.4	26.1	31.8
10.25.01 AM	15.02.2019	28.9	26.0	31.6
10.25.02 AM	15.02.2019	28.8	26.3	31.7
10.25.03 AM	15.02.2019	28.8	26.1	31.5
10.25.04 AM	15.02.2019	29.1	26.4	31.5

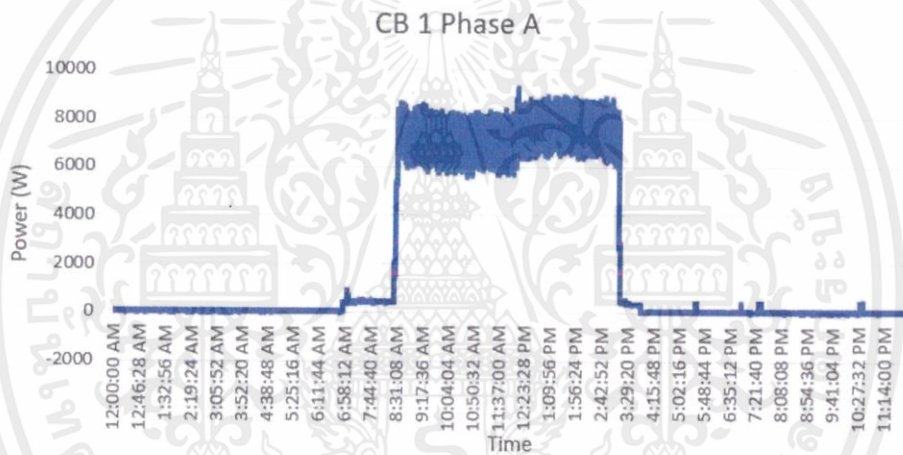
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงข้อมูลบางส่วน of ตัวประกอบไฟฟ้าจาก MicroSD Card

เวลา	วัน/เดือน/ปี	ตัวประกอบไฟฟ้าเฟส A	ตัวประกอบไฟฟ้าเฟส B	ตัวประกอบไฟฟ้าเฟส C
10.25.00 AM	15.02.2019	0.940	0.840	0.900
10.25.01 AM	15.02.2019	0.940	0.840	0.900
10.25.02 AM	15.02.2019	0.940	0.840	0.900
10.25.03 AM	15.02.2019	0.940	0.840	0.900
10.25.04 AM	15.02.2019	0.950	0.840	0.900

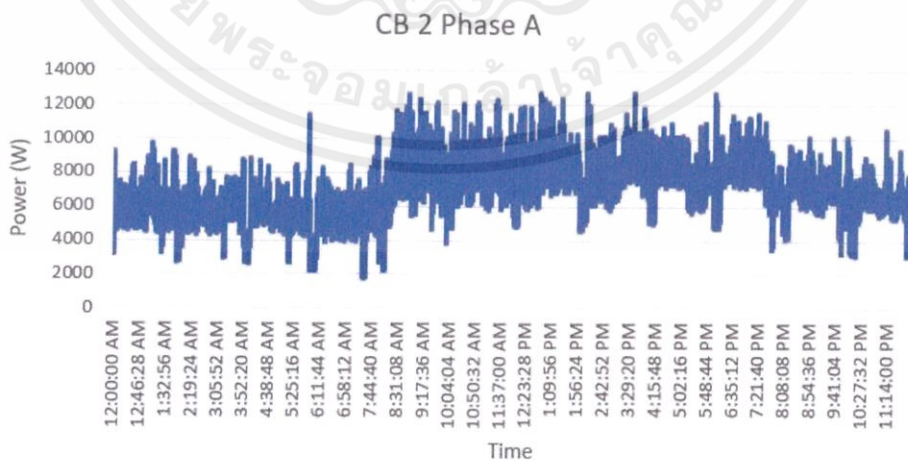
ตารางที่ 4.4 ข้อมูลบางส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงจาก MicroSD Card

เวลา	วัน/เดือน/ปี	กำลังไฟฟ้าจริง เฟส A (W)	กำลังไฟฟ้าจริง B (W)	กำลังไฟฟ้าจริง เฟส C (W)
10.25.00 AM	15.02.2019	6178.8	4823.1	6557.9
10.25.01 AM	15.02.2019	6363.8	4812.9	6481.2
10.25.02 AM	15.02.2019	6290.3	4874.9	6476.3
10.25.03 AM	15.02.2019	6251.8	4840.6	6441.0
10.25.04 AM	15.02.2019	6407.3	4946.1	6406.0

เมื่อนำข้อมูลของแต่ละวงจรย่อยมาแสดงในรูปของกราฟ จะสามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงตามการใช้งานของภาระไฟฟ้าช่วงเวลานั้น ๆ ดังแสดงข้อมูลบางส่วนดังรูปที่ 4.5 ถึง 4.9

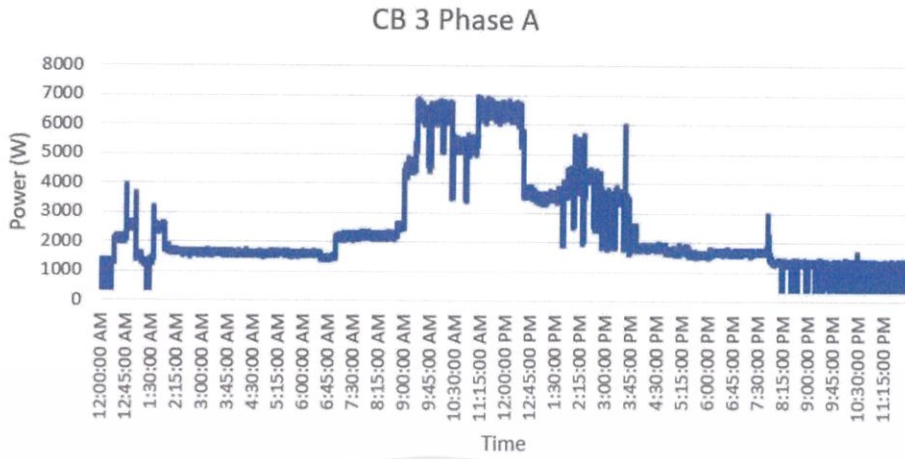


รูปที่ 4.5 กำลังไฟฟ้าของวงจรย่อยที่ 1 เฟส A (โรงอาหาร)

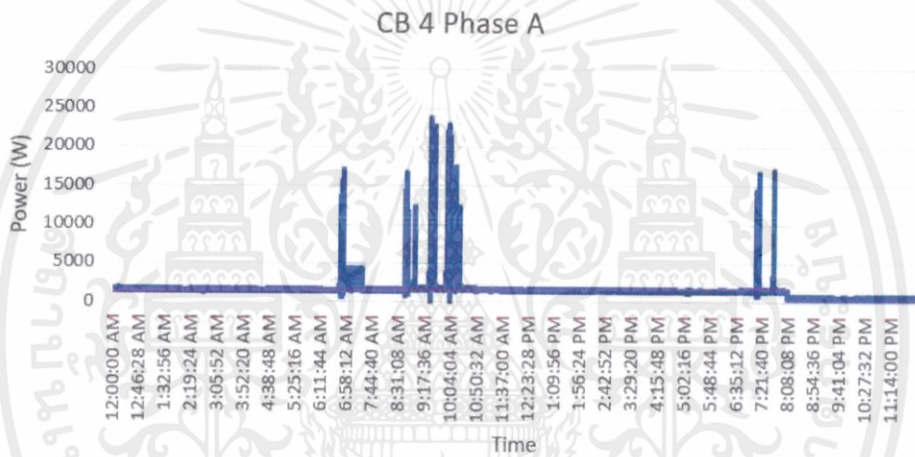


รูปที่ 4.6 กำลังไฟฟ้าของวงจรย่อยที่ 2 เฟส A (ร้านสะดวกซื้อ)

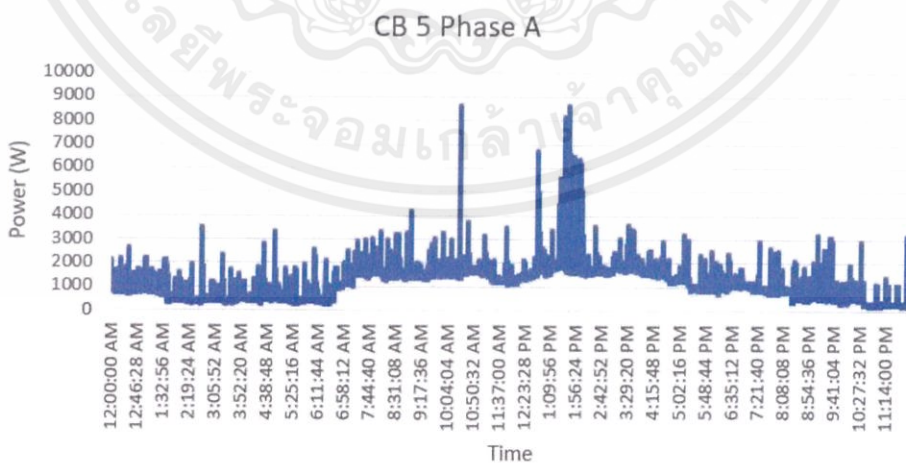
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กำลังไฟฟ้าของวงจรร้อยที่ 3 เฟส A (เครื่อง CT Scan)



รูปที่ 4.8 กำลังไฟฟ้าของวงจรร้อยที่ 4 เฟส A (เครื่อง X-ray)

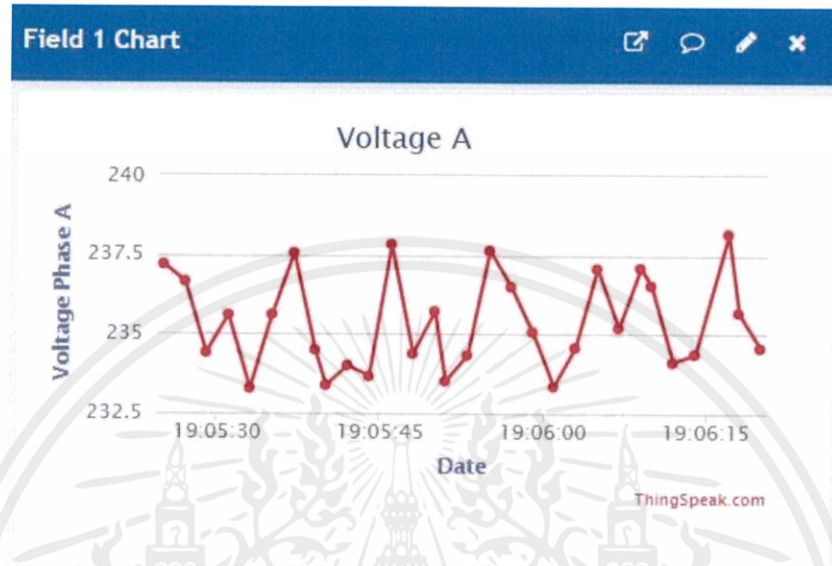


รูปที่ 4.9 กำลังไฟฟ้าของวงจรร้อยที่ 5 เฟส A (เครื่อง CT Scan)

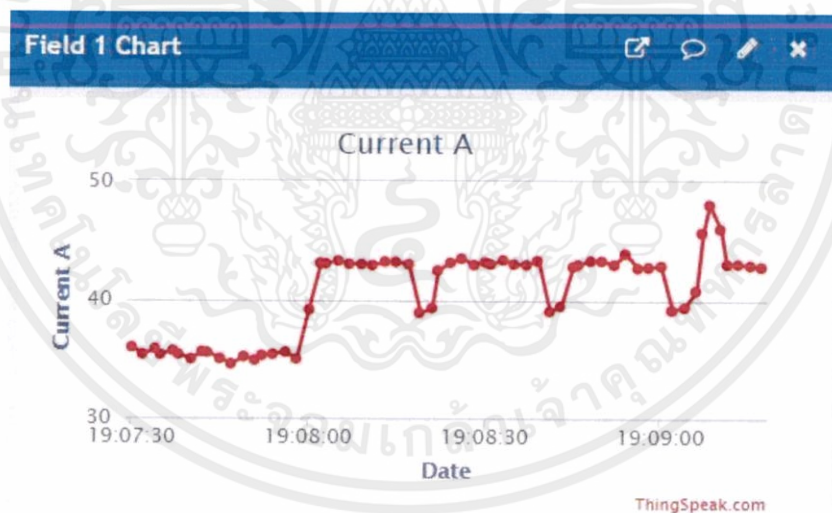
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 ผลการทดสอบการแสดงผลบนฐานข้อมูล ThingSpeak

ฐานข้อมูล ThingSpeak จะแสดงผลในรูปแบบของกราฟข้อมูลเทียบกับเวลา โดยแสดงค่าของ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริงและอุณหภูมิของเฟสที่กำหนด สามารถแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้โดยมีตัวอย่างดังรูปที่ 4.10 ถึง 4.13



รูปที่ 4.10 แรงดันไฟฟ้าเฟส A บน ThingSpeak

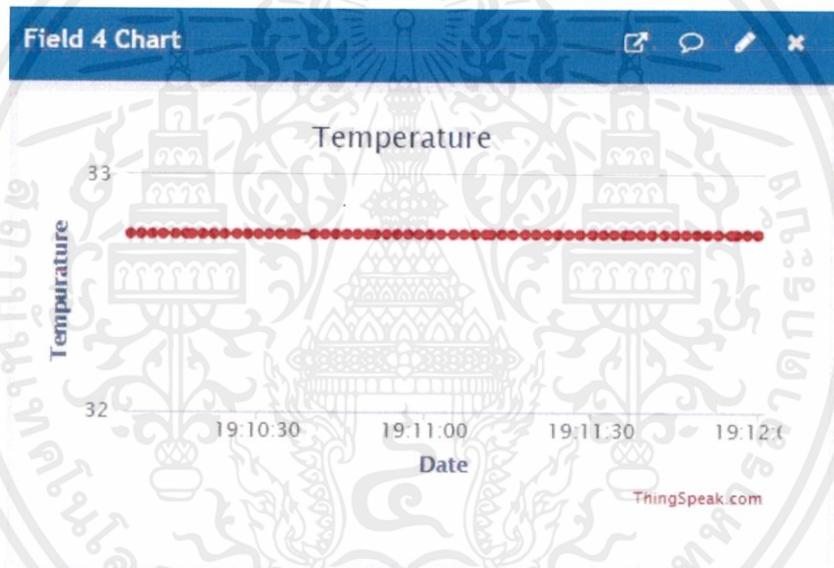


รูปที่ 4.11 กระแสไฟฟ้าเฟส A บน ThingSpeak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กำลังไฟฟ้าจริงเฟส A บน ThingSpeak



รูปที่ 4.13 อุณหภูมิภายในเครื่องมือวัดบน ThingSpeak

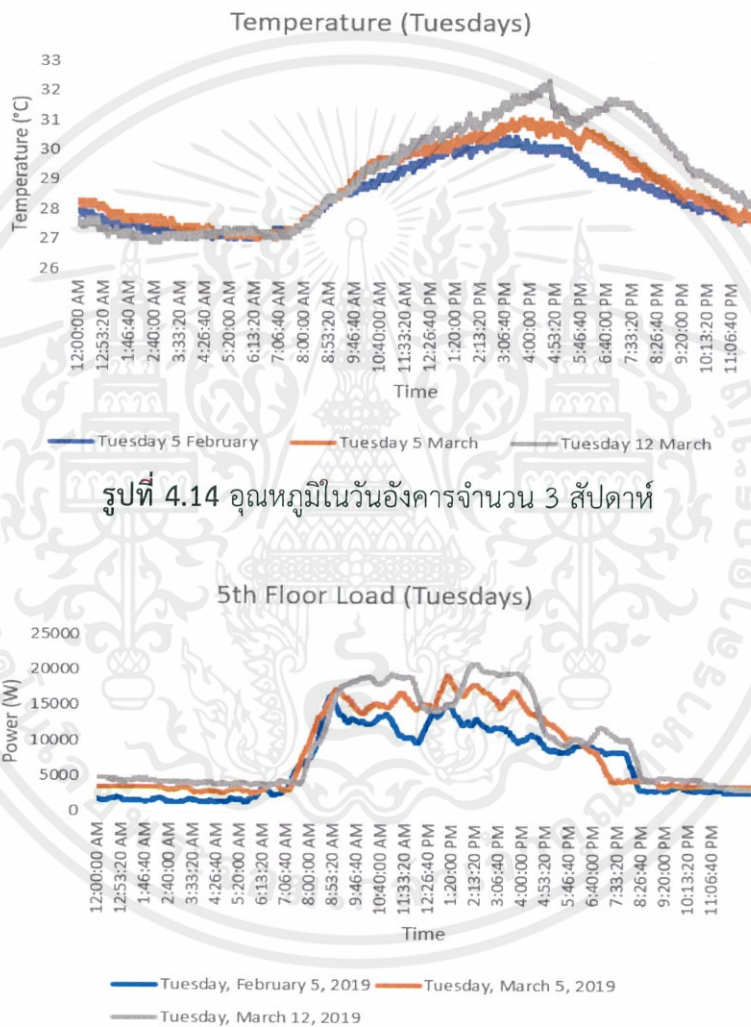
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

### 4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับภาระไฟฟ้าภายในโรงพยาบาล

#### 4.2.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระไฟฟ้ากับอุณหภูมิแวดล้อม

วงจรย่อยที่ตำแหน่ง LP5 เป็นวงจรย่อยที่ประกอบด้วยภาระไฟฟ้าชนิดเครื่องปรับอากาศ พัดลม และอื่น ๆ ซึ่งภาระไฟฟ้าชนิดนี้จะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิแวดล้อม โดยหากมีอุณหภูมิแวดล้อมที่สูงขึ้นจะส่งผลให้มีการใช้งานภาระไฟฟ้ามากขึ้น ตัวอย่างของอุณหภูมิดังรูปที่ 4.14 และตัวอย่างของเส้นค่าเฉลี่ย (Moving Average) ของกำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.15

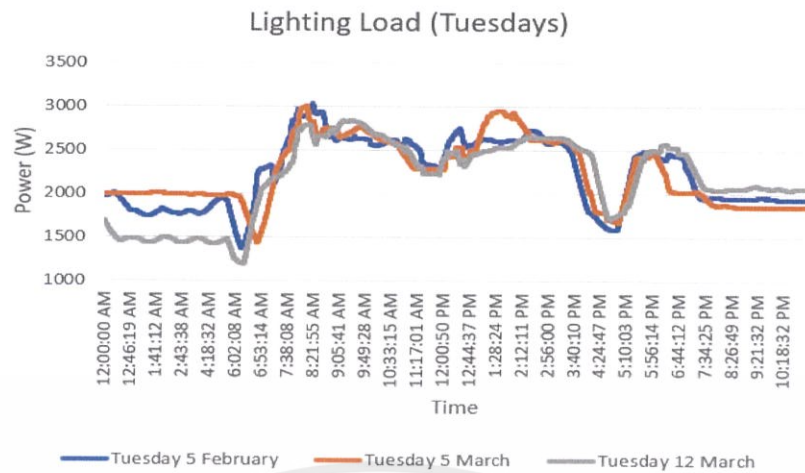


รูปที่ 4.14 อุณหภูมิในวันอังคารจำนวน 3 สัปดาห์

รูปที่ 4.15 เส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของวงจรย่อย LP5 ในวันอังคารจำนวน 3 สัปดาห์

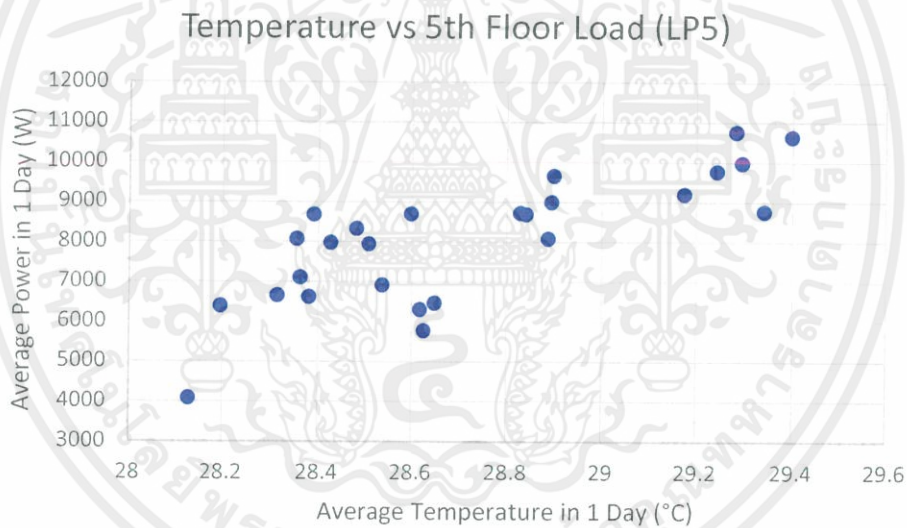
จะพบว่าในวันที่ 12 มีนาคมมีการใช้งานภาระไฟฟ้ามากที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิแวดล้อมที่มีค่ามากที่สุด และในส่วนของวันที่ 5 กุมภาพันธ์จะมีการใช้งานภาระไฟฟ้าน้อยที่สุดซึ่งสัมพันธ์กับอุณหภูมิแวดล้อมที่มีค่าน้อยที่สุดเช่นกัน

แต่ในส่วนของภาระไฟฟ้าชนิดแสงสว่าง (LP1A) จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งจะมีรูปแบบการใช้งานภาระไฟฟ้าตายตัวในแต่ละวัน



รูปที่ 4.16 เส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของวงจรร้อย LP1A ในวันอังคารจำนวน 3 สัปดาห์

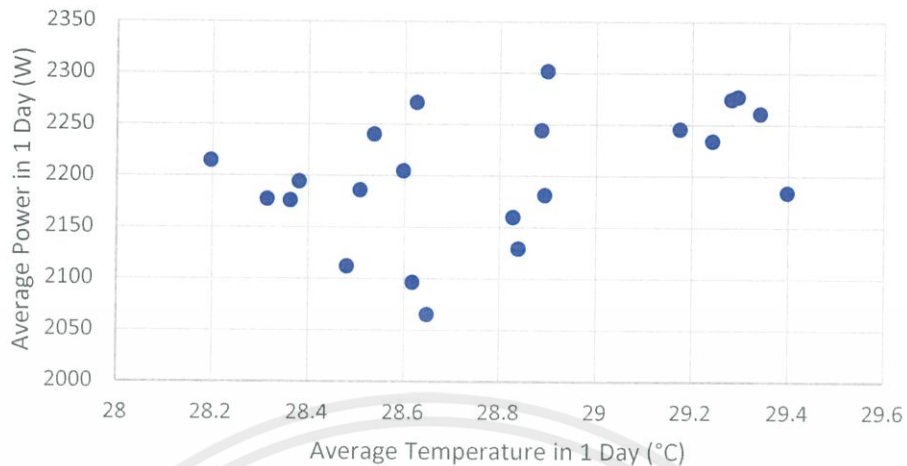
เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ใน 1 วันและค่าอุณหภูมิเฉลี่ยใน 1 วันของหกสัปดาห์ของภาระไฟฟ้าทั้งสองชนิดมาพล็อตหาความสัมพันธ์ พบว่ามีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.17 และ 4.18



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยใน 1 วันของภาระไฟฟ้าในชั้น 5

จากรูปที่ 4.17 จะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและอุณหภูมิจะเป็นไปในเชิงเส้น ซึ่งระหว่างสองตัวแปรนี้จะมีค่า Correlation Coefficient เท่ากับ 0.7833 ซึ่งจะสามารถบอกได้ว่าข้อมูลของกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกันเป็นเชิงเส้น จึงสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิจะมีผลต่อการใช้งานภาระไฟฟ้าภายในชั้น 5

### Temperature vs Lighting Load (LP1A)

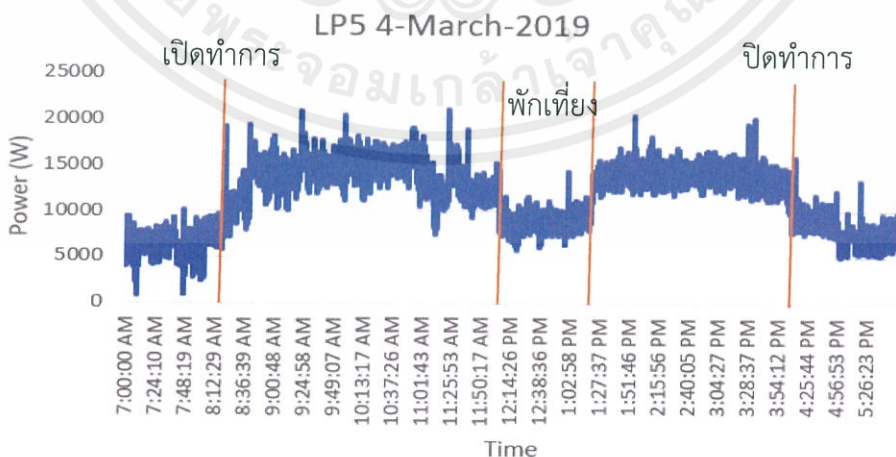


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและอุณหภูมิเฉลี่ยใน 1 วันของภาระไฟฟ้าใน LP1A

จากรูปที่ 4.18 จะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและอุณหภูมิจะเป็นไม่สัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น ซึ่งระหว่างสองตัวแปรนี้จะมีค่า Correlation Coefficient เท่ากับ 0.4133 ซึ่งจะสามารถบอกได้ว่าข้อมูลของกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิจึงมีความสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้นค่อนข้างน้อย จึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้งานภาระไฟฟ้าชนิดแสงสว่างจะไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อม

#### 4.2.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระไฟฟ้ากับเวลา

ภายในโรงพยาบาลจะมีแผนกต่าง ๆ ซึ่งจะมีเวลาทำการต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น ในชั้นที่ 5 ของโรงพยาบาลจะเป็นแผนกที่ทำงานในเวลา 8.00 น. ถึง 16.00 น. โดยมีช่วงพักเที่ยงตั้งแต่ 12.00 ถึง 13.00 น. จึงทำให้สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าตามเวลาได้อย่างชัดเจน ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.19

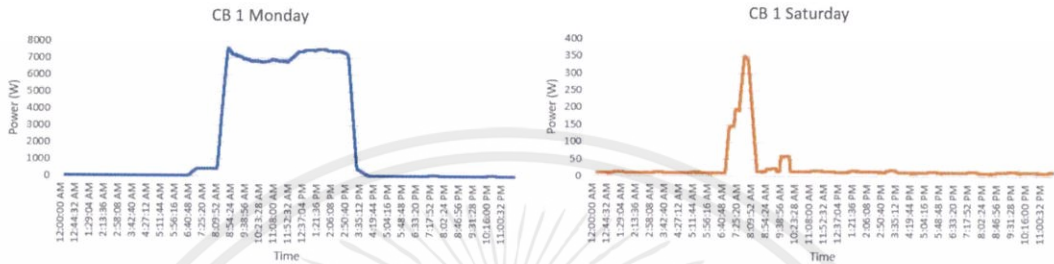


รูปที่ 4.19 กำลังไฟฟ้าช่วงเวลาเปิดทำการ พักเที่ยง และปิดทำการของโรงพยาบาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

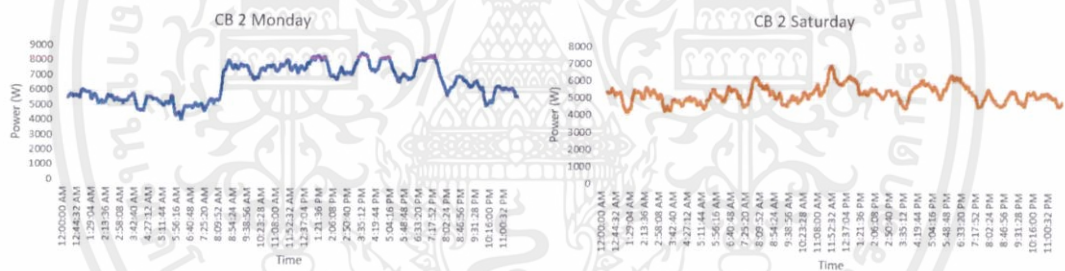
### 4.2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระไฟฟ้ากับวันในสัปดาห์

วันจันทร์ถึงวันศุกร์เป็นวันที่โรงพยาบาลเปิดทำการ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากวันเสาร์และวันอาทิตย์ซึ่งเป็นวันหยุดทำการ พบว่ามีความแตกต่างอย่างชัดเจน เว้นแต่ภาระไฟฟ้าบางชนิดจะต้องเปิดใช้ตลอด 24 ชั่วโมงในทุก ๆ วัน โดยมีการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างภาระไฟฟ้าวันจันทร์และวันเสาร์ของวงจรย่อยทั้ง 5 วงจรที่ทำการติดตั้ง แสดงดังรูปที่ 4.20 เป็นภาระไฟฟ้าของโรงอาหารที่มีการใช้งานแตกต่างกันในวันธรรมดาและวันหยุด



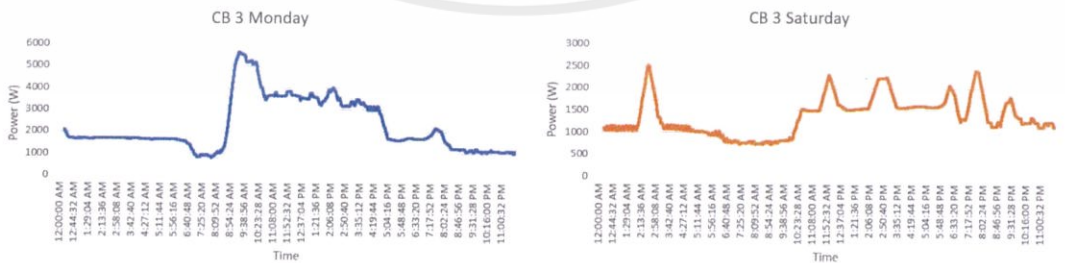
รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของโรงอาหาร (CB1) วันจันทร์กับวันเสาร์

ในรูปที่ 4.21 เป็นภาระไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อซึ่งมีการทำงานไม่แตกต่างกันในวันเสาร์อาทิตย์และยังทำงานตลอด 24 ชั่วโมง

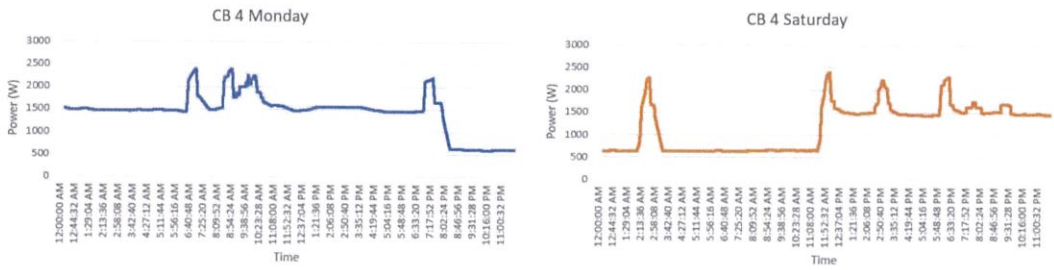


รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของร้านสะดวกซื้อ (CB2) วันจันทร์กับวันเสาร์

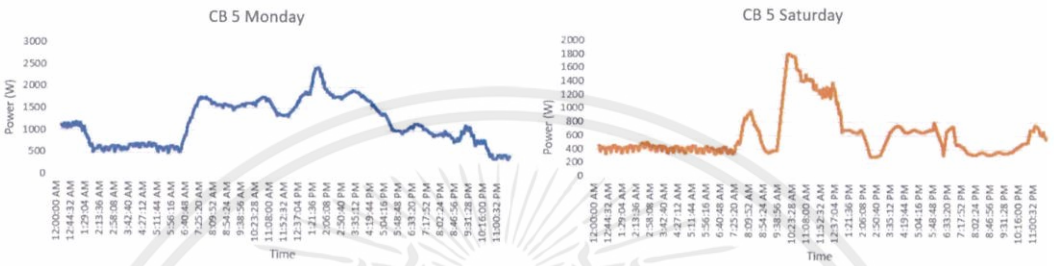
ในรูปที่ 4.22 ถึง 4.24 เป็นภาระไฟฟ้าที่ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง และไม่ปิดในวันเสาร์-อาทิตย์ ได้แก่ เครื่อง X-ray และ CT scans



รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่อง CT-scans (CB3) วันจันทร์กับวันเสาร์

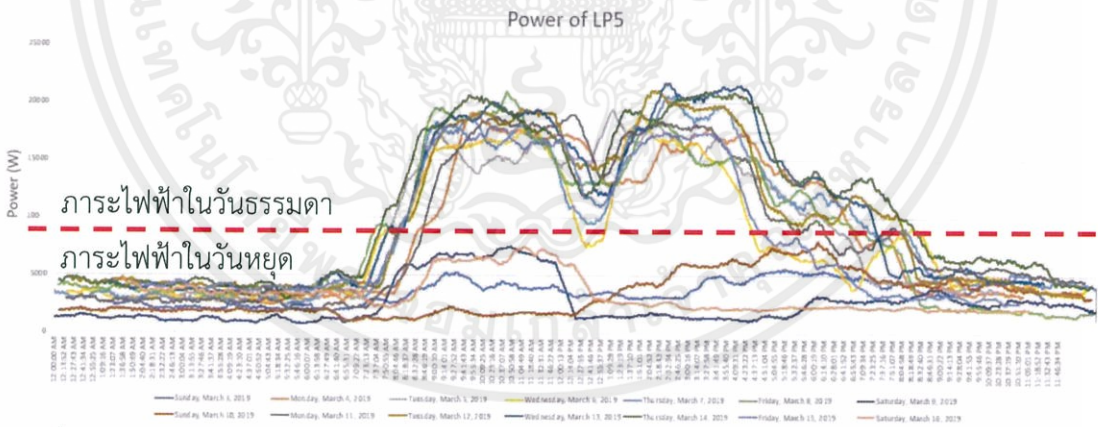


รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่อง X-ray (CB4) วันจันทร์กับวันเสาร์



รูปที่ 4.24 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่อง CT Scans (CB5) วันจันทร์กับวันเสาร์

เมื่อนำข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ได้ทำการบันทึกในวันจันทร์ถึงวันอาทิตย์ของภาระไฟฟ้าในชั้น 5 (LP5) มารวมกันเป็นเวลาสองอาทิตย์เพื่อสังเกตพฤติกรรมของภาระไฟฟ้า จะสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าในวันจันทร์ถึงวันศุกร์จะมีการใช้งานภาระไฟฟ้าสูงกว่าการใช้งานภาระไฟฟ้าในวันเสาร์และวันอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.25

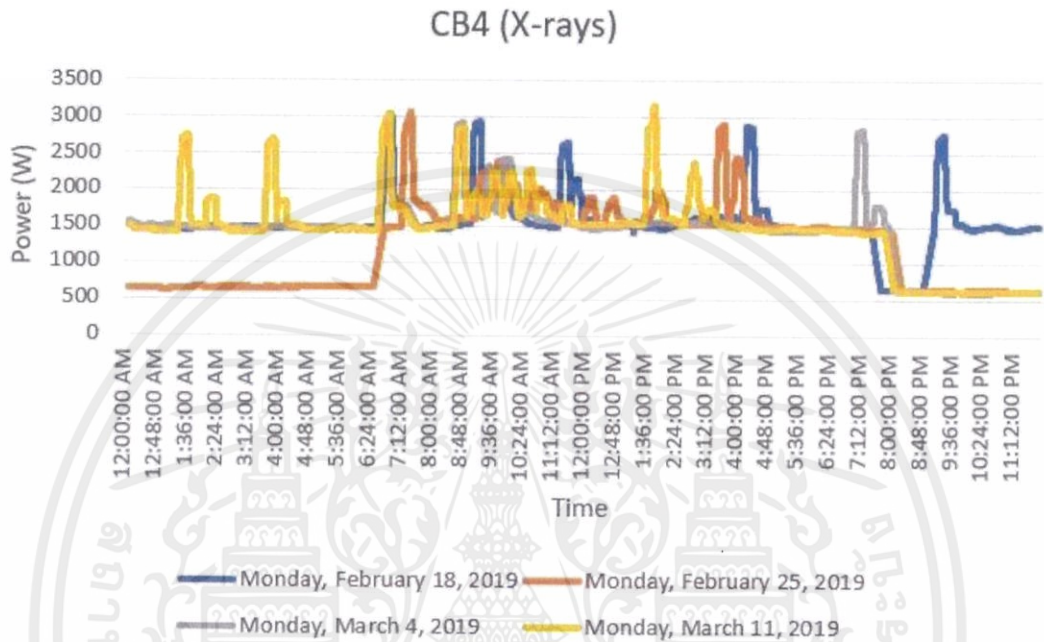


รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของวันจันทร์ถึงศุกร์กับวันเสาร์และอาทิตย์ของภาระไฟฟ้าในชั้น 5

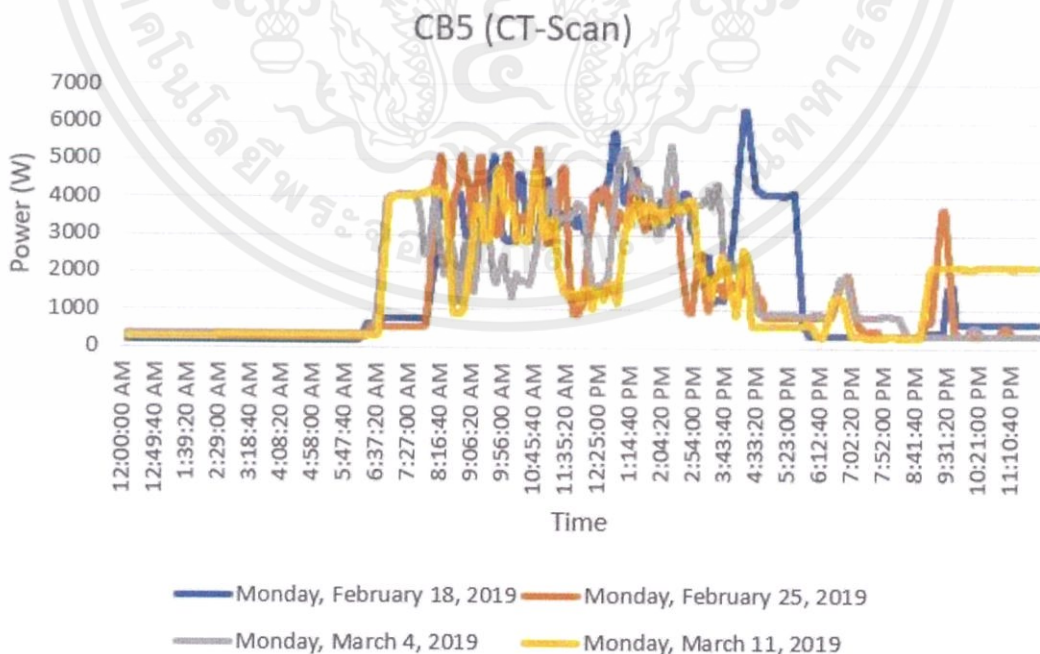
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1.4 ภาระไฟฟ้าที่มีการใช้งานแบบในรูปแบบสุ่ม

ภาระไฟฟ้าบางชนิด เช่น เครื่อง CT Scan และเครื่อง X-ray มีการใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งขนาดของกำลังไฟฟ้าจะไม่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและอุณหภูมิแวดล้อม แต่จะขึ้นอยู่กับภาระที่คนเข้ามาใช้งาน ซึ่งจะเกิดขึ้นแบบสุ่ม ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์หาเบสไลน์ของภาระไฟฟ้าชนิดนี้ได้ ตัวอย่างดังรูปที่ 4.26 และ 4.27



รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่อง X-ray ในวันจันทร์ของ 4 สัปดาห์

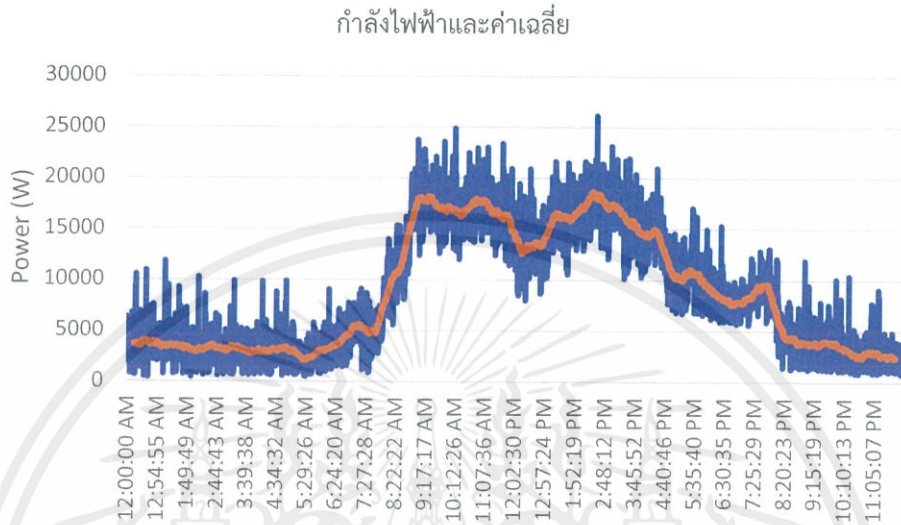


รูปที่ 4.27 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่อง CT Scans ในวันจันทร์ของ 4 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

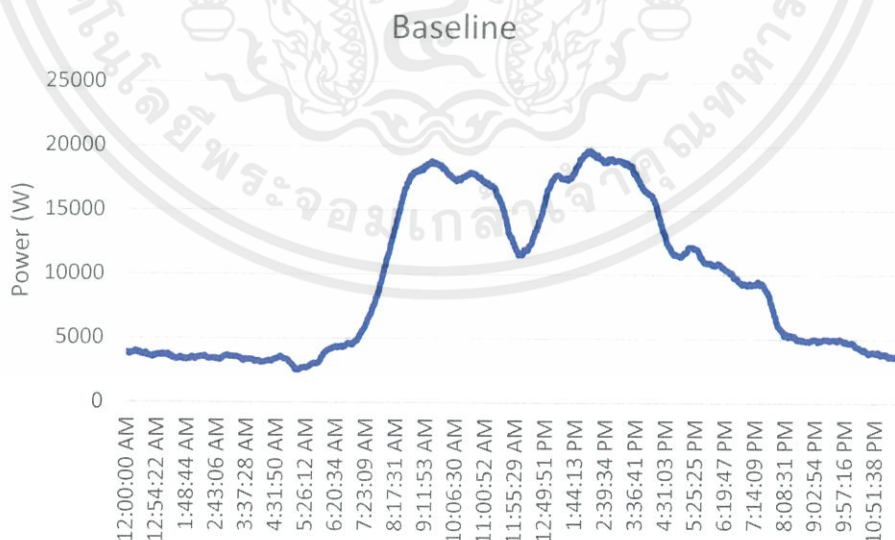
#### 4.2.2 การสร้างเบสไลน์

1. ใช้วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ในการสร้างเส้นค่าเฉลี่ย (Trendline) ซึ่งเป็นค่ากลางของข้อมูลกำลังไฟฟ้างดรูปที่ 4.28 โดยเส้นสีฟ้าจะเป็นข้อมูลกำลังไฟฟ้าใน 1 วัน และสีส้มคือเส้นค่าเฉลี่ยของข้อมูลกำลังไฟฟ้าใน 1 วัน



รูปที่ 4.28 ตัวอย่างเส้นค่าเฉลี่ยของข้อมูลกำลังไฟฟ้าใน 1 วัน

2. หาค่าเฉลี่ยของเส้นค่าเฉลี่ยจากข้อมูลในทุก ๆ วันเดียวกันของสัปดาห์ที่เก็บข้อมูลมาได้เพื่อใช้เป็น Baseline ตัวอย่างดังรูปที่ 4.29 ซึ่งจะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 1 วันเท่ากับ 9630.11 W



รูปที่ 4.29 ตัวอย่างเบสไลน์จากการเฉลี่ยเส้นค่าเฉลี่ยในวันพฤหัสบดีของหลาย ๆ สัปดาห์

3. ใช้ Linear Regression ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในแต่ละวันของสัปดาห์จากข้อมูลที่เก็บได้ ตัวอย่างเช่น ข้อมูลในวันพฤหัสบดี ดังตารางที่ 4.5

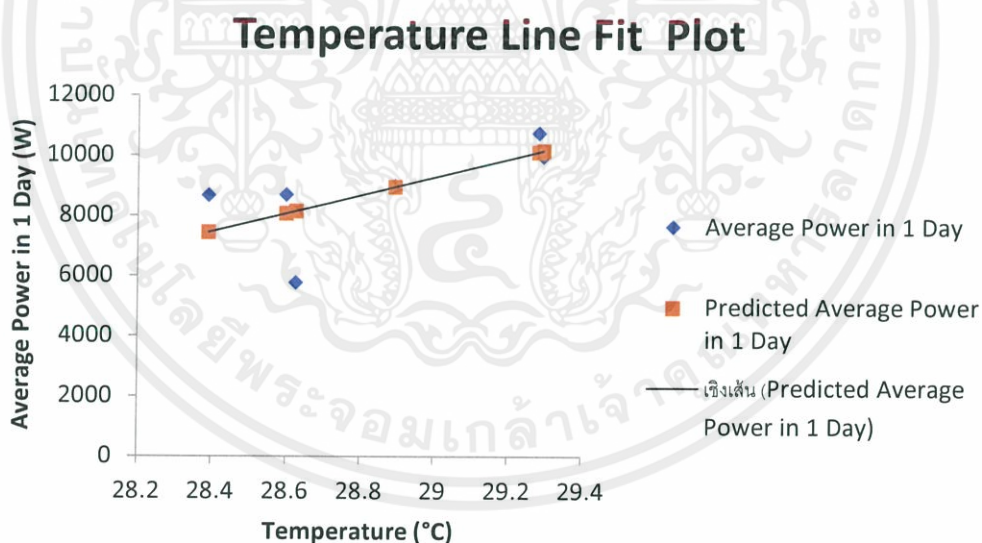
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของวันพฤหัสบดี

วันที่	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (W)
Thursday, February 7, 2019	28.39	8682.2
Thursday, February 14, 2019	29.29	9977.4
Thursday, February 21, 2019	28.62	5776.3
Thursday, February 28, 2019	28.59	8696.2
Thursday, March 7, 2019	28.89	8999.7
Thursday, March 14, 2019	29.28	10756.6

ซึ่งจะได้สมการเชิงเส้น

$$Y=2198.69X-53813.16 \quad (4.1)$$

โดยที่ Y คือตัวแปรกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยและ X คือตัวแปรอุณหภูมิเฉลี่ย ซึ่งสามารถนำมาพล็อตเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.30

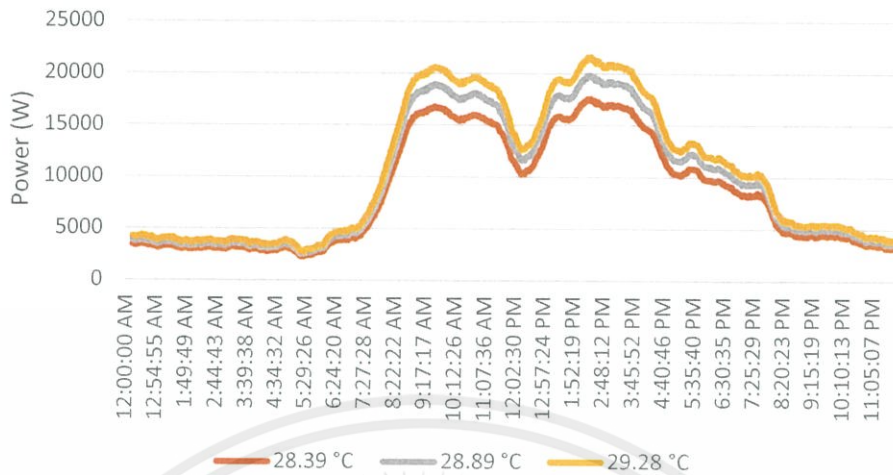


รูปที่ 4.30 สมการเชิงเส้นและจุดข้อมูลของอุณหภูมิแวดล้อมและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 1 วัน

4. ใช้สมการเชิงเส้นที่ได้มาจากการ Regression ในการเปลี่ยนแปลงระดับของ Baseline ตัวอย่างเช่นที่อุณหภูมิ 28.39°C จากสมการที่ได้คำนวณขึ้นมาจะมีค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 1 วันเท่ากับ 8607.72 W ดังนั้นจากเบสไลน์เดิมที่มีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 1 วันเท่ากับ 9630.11 W จะต้องลดค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 1 วันลง 10.62% เพื่อที่จะให้เบสไลน์นั้นเป็นเบสไลน์ของอุณหภูมิ 28.39°C ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของเบสไลน์เปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 4.31

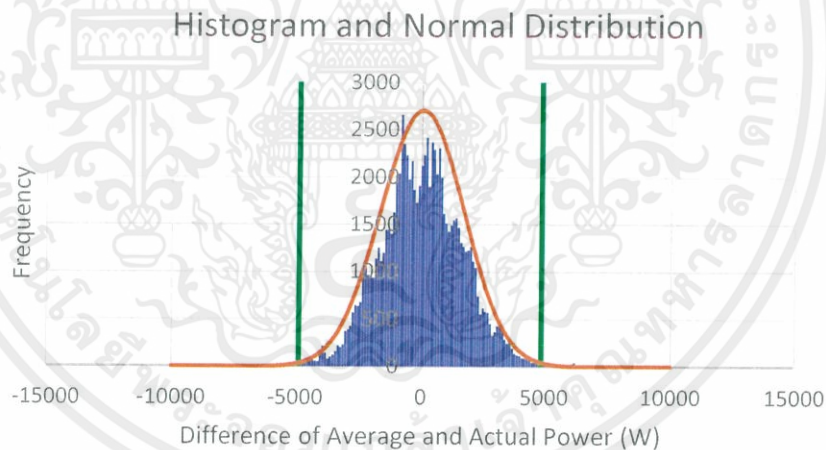
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Baseline at Different Temperature



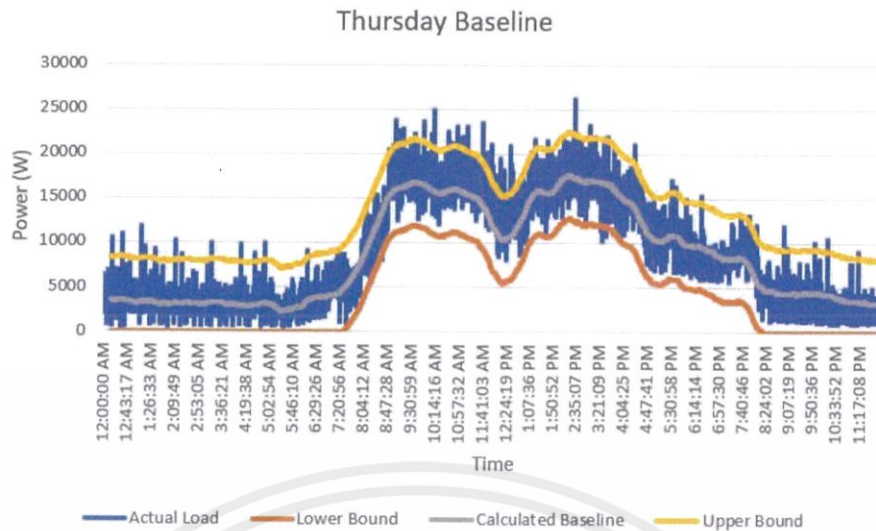
รูปที่ 4.31 เบสไลน์ที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ

5. จากนั้นทำการหาผลต่างระหว่างเส้นค่าเฉลี่ยกับค่ากำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาเดียวกันในเวลา 1 วัน ซึ่งมีเมื่อนำค่ามาพล็อตกราฟ Histogram จะพบว่ารูปร่างใกล้เคียงกับเส้นโค้ง Normal Distribution ดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 Histogram ของผลต่างระหว่างเส้นค่าเฉลี่ยและข้อมูลจริงและเส้นโค้ง Normal Distribution

6. ดังนั้นหากใช้ค่าเฉลี่ยบวกด้วยสามเท่าของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะได้ค่าขอบเขตบนที่มีโอกาสที่ข้อมูลจะสูงเกินขอบเขตประมาณ 0.13% ตามเส้นโค้ง Normal Distribution ในทางเดียวกันหากใช้ค่าเฉลี่ยลบด้วยสามเท่าของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะได้ค่าขอบเขตล่างที่มีโอกาสที่ข้อมูลจะอยู่ต่ำกว่าขอบเขตประมาณ 0.13% โดยค่าเฉลี่ยบวกลบด้วยสามเท่าของค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะแสดงได้ตั้งเส้นสีเขียวในรูปที่ 4.32 ซึ่งเมื่อรวมเส้นเบสไลน์และขอบเขตบนกับขอบเขตล่างจะได้กราฟเบสไลน์ดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 ตัวอย่างเบสไลน์ในวันพฤหัสบดี

#### 4.2.3 ตัวอย่างเบสไลน์จากการคำนวณ

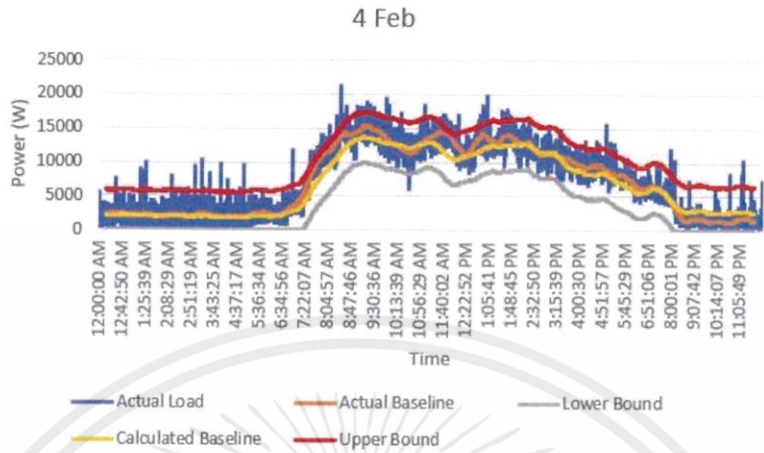
ผลการคำนวณหาเบสไลน์จะถูกแบ่งเป็นสองประเภท คือเบสไลน์ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อม และไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อม โดยหากขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแวดล้อม การคำนวณเบสไลน์จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของเบสไลน์เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแวดล้อมด้วย แต่ในส่วนของเบสไลน์ที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิแวดล้อม เส้นเบสไลน์จะมีค่าเฉลี่ยเท่าเดิมตลอดแต่จะเปลี่ยนแปลงเส้นขอบเขตบนและขอบเขตล่างตามข้อมูล โดยในการแสดงเบสไลน์จะประกอบด้วย

- เส้น Actual Load คือเส้นของกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานในวันนั้น
- เส้น Actual Baseline คือเส้นของค่าเฉลี่ยจากเส้น Actual Load
- เส้น Calculated Baseline คือเส้นของค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ทำนายขึ้นมาจากผลการคำนวณ ซึ่งควรมีลักษณะใกล้เคียงกับเส้น Actual Baseline
- เส้น Upper Bound คือเส้นขอบเขตบนซึ่งเส้น Actual Load ไม่ควรเกินเส้นนี้
- เส้น Lower Bound คือเส้นขอบเขตล่างซึ่งเส้น Actual Load ไม่ควรต่ำกว่าเส้นนี้

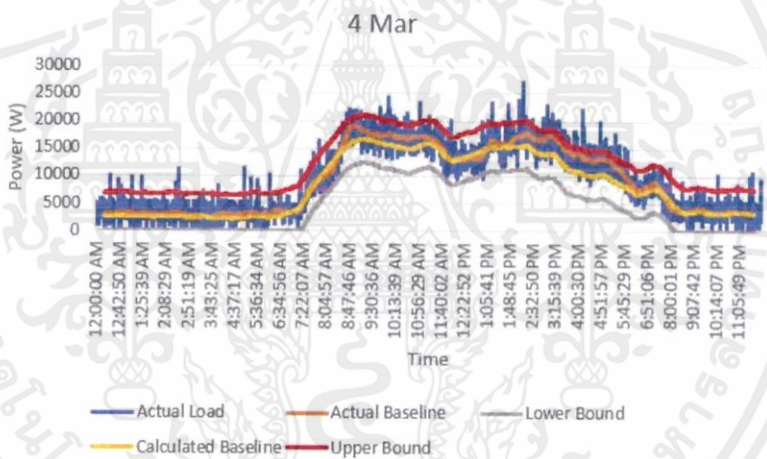
โดยการแสดงเบสไลน์ของภาระไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิแวดล้อม จะไม่แสดงเส้น Actual Baseline เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับเส้น Calculated Baseline

### 4.2.3.1 เบลไลน์ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (LP5)

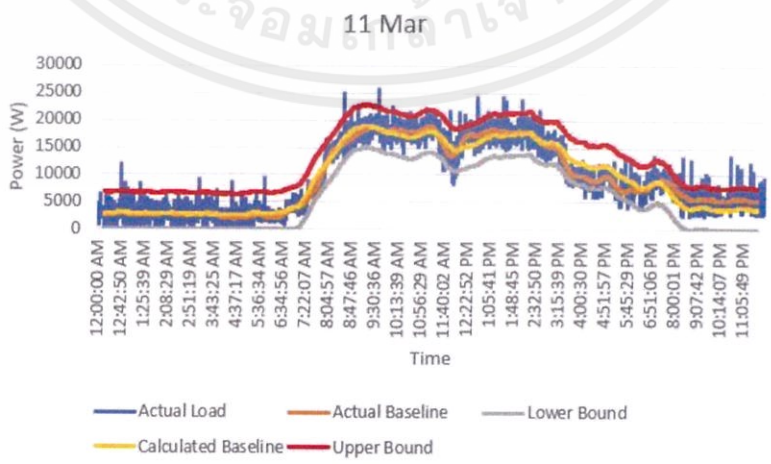
เบสไลน์ของกำลังไฟฟ้าของวันจันทร์จำนวน 3 สัปดาห์ จะเป็นไปตามรูปที่ 4.34 ถึง 4.36



รูปที่ 4.34 เบลไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 4 กุมภาพันธ์ 2019



รูปที่ 4.35 เบลไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 4 มีนาคม 2019

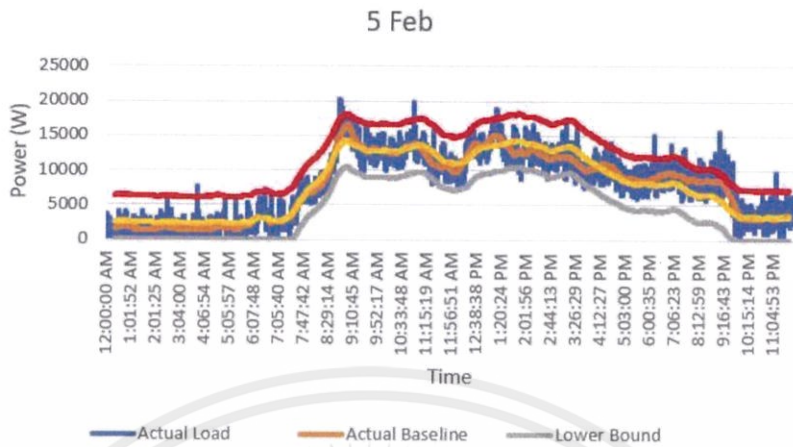


รูปที่ 4.36 เบลไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 11 มีนาคม 2019

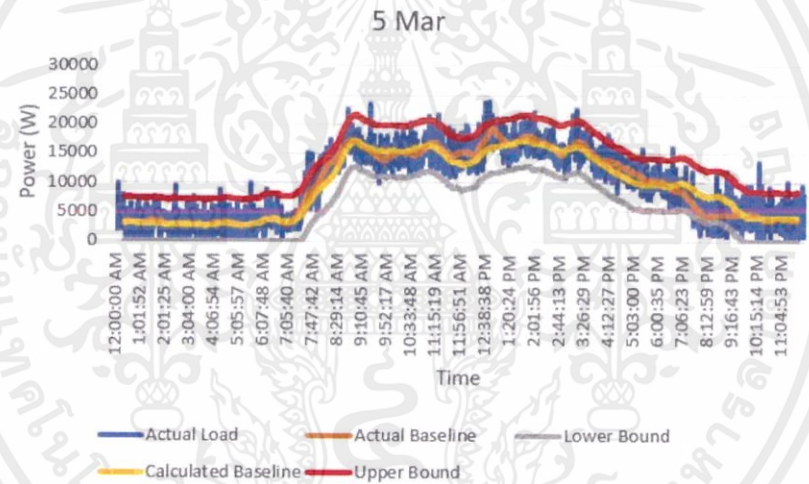
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบสไลน์ของกำลังไฟฟ้าของวันอังคารจำนวน 3 สัปดาห์ จะเป็นไปดังรูปที่ 4.37 ถึง

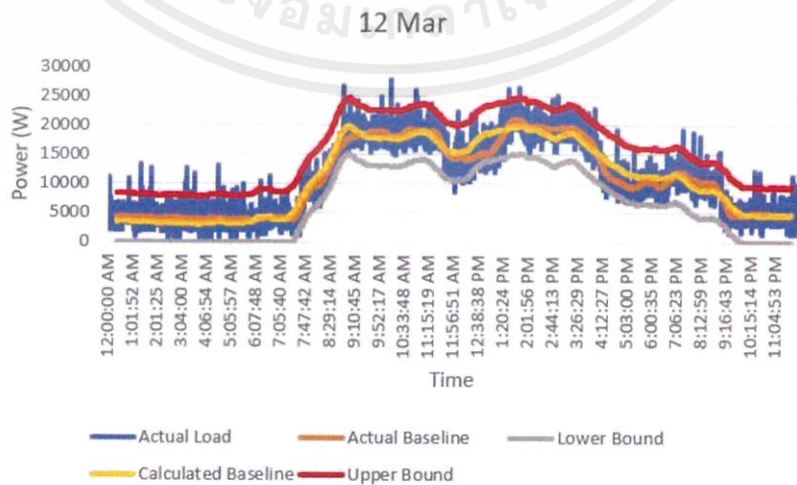
4.39



รูปที่ 4.37 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันอังคารที่ 5 กุมภาพันธ์ 2019



รูปที่ 4.38 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันอังคารที่ 5 มีนาคม 2019

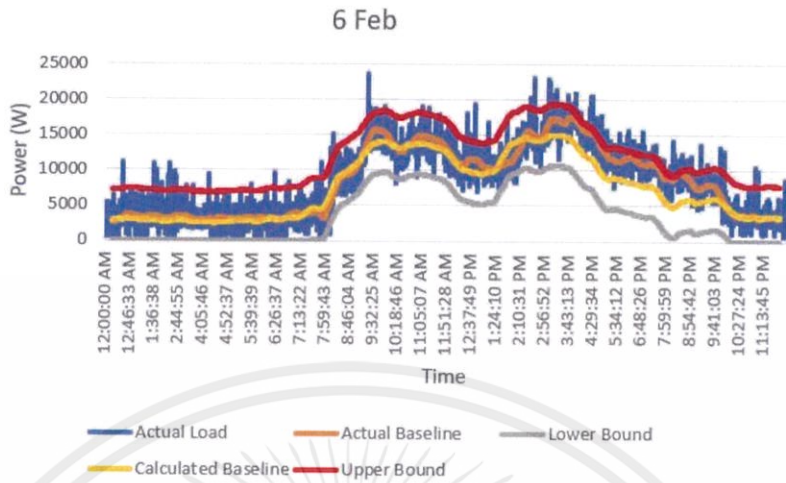


รูปที่ 4.39 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันอังคารที่ 12 มีนาคม 2019

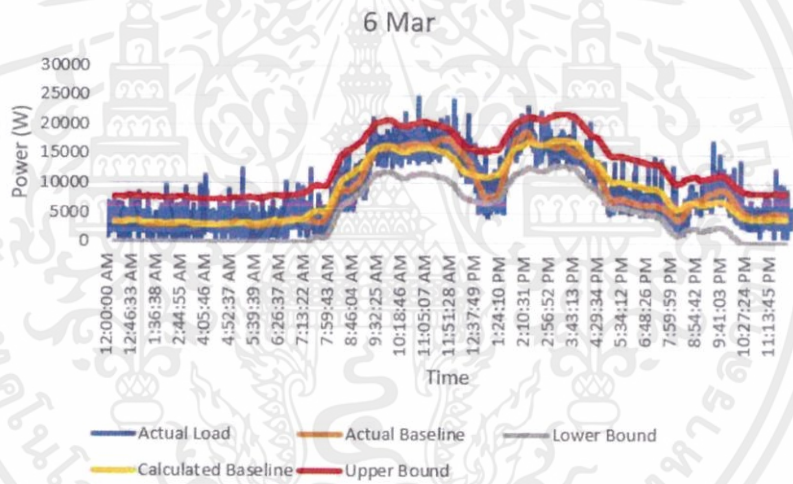
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบสไลน์ของกำลังไฟฟ้าของวันพุธจำนวน 3 สัปดาห์ จะเป็นไปดังรูปที่ 4.40 ถึง

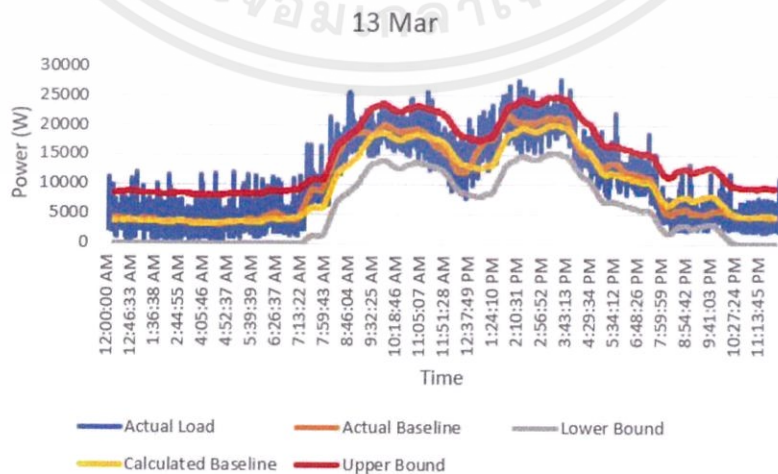
4.42



รูปที่ 4.40 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพุธที่ 6 กุมภาพันธ์ 2019



รูปที่ 4.41 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพุธที่ 6 มีนาคม 2019

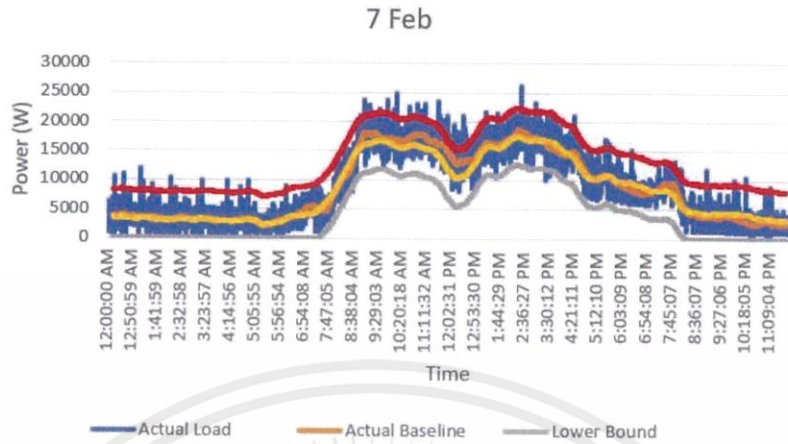


รูปที่ 4.42 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพุธที่ 13 มีนาคม 2019

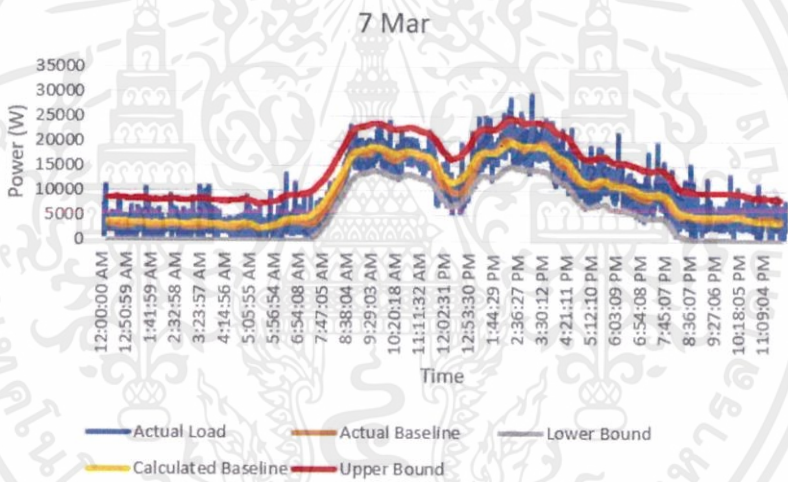
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบสไลน์ของกำลังไฟฟ้าของวันพฤหัสบดีจำนวน 3 สัปดาห์ จะเป็นไปดังรูปที่ 4.43

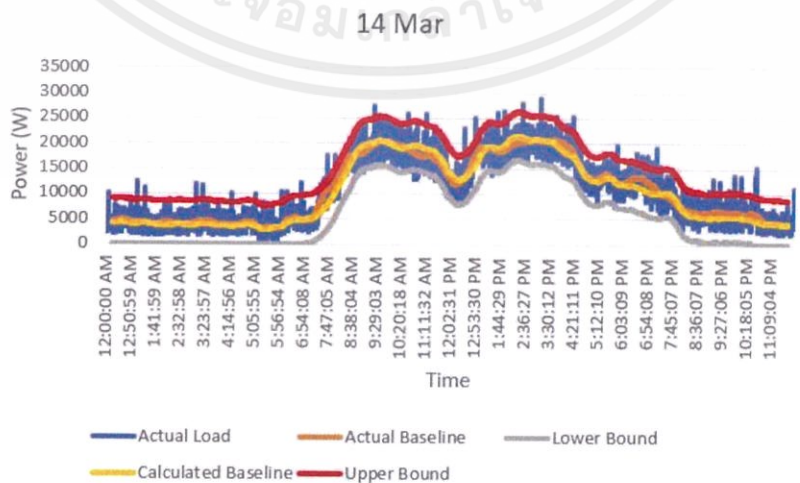
ถึง 4.45



รูปที่ 4.43 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพฤหัสบดีที่ 7 กุมภาพันธ์ 2019



รูปที่ 4.44 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพฤหัสบดีที่ 7 มีนาคม 2019

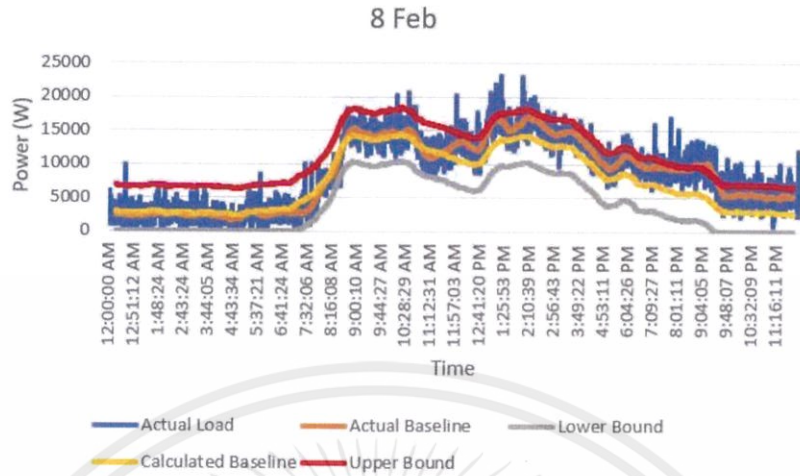


รูปที่ 4.45 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพฤหัสบดีที่ 14 มีนาคม 2019

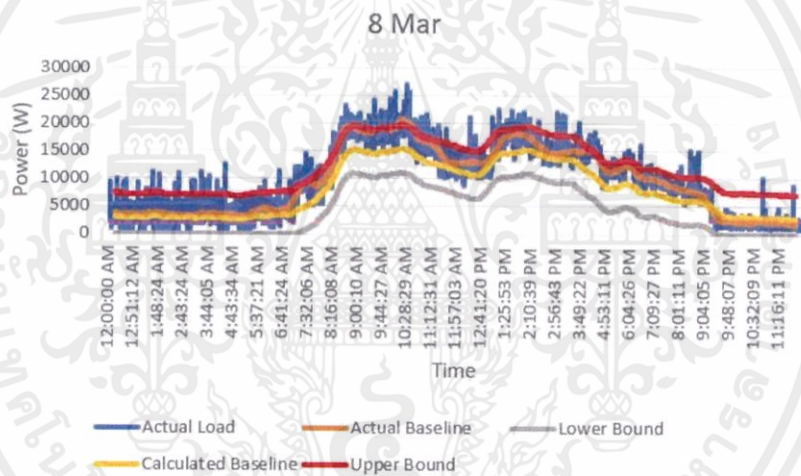
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบสไลน์ของกำลังไฟฟ้าของวันศุกร์จำนวน 3 สัปดาห์ จะเป็นไปดังรูปที่ 4.46 ถึง

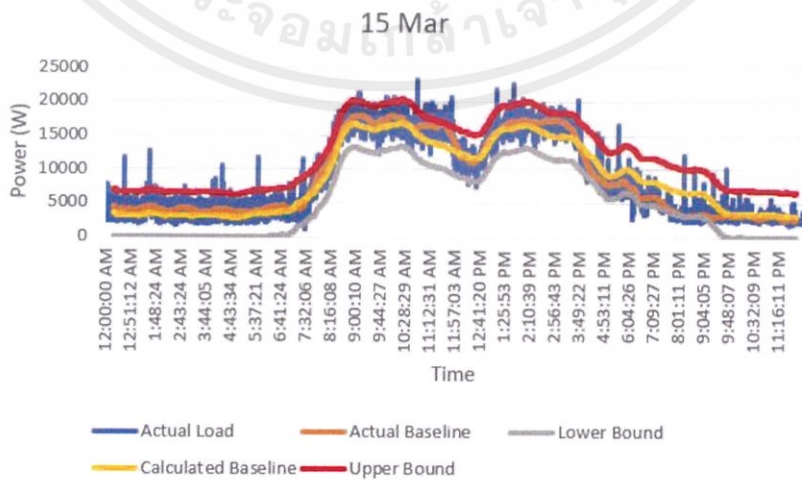
4.48



รูปที่ 4.46 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันศุกร์ที่ 8 กุมภาพันธ์ 2019



รูปที่ 4.47 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันศุกร์ที่ 8 มีนาคม 2019

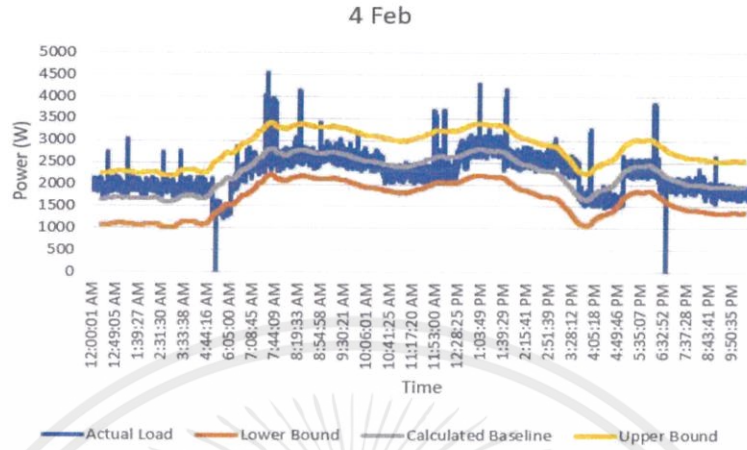


รูปที่ 4.48 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันศุกร์ที่ 15 มีนาคม 2019

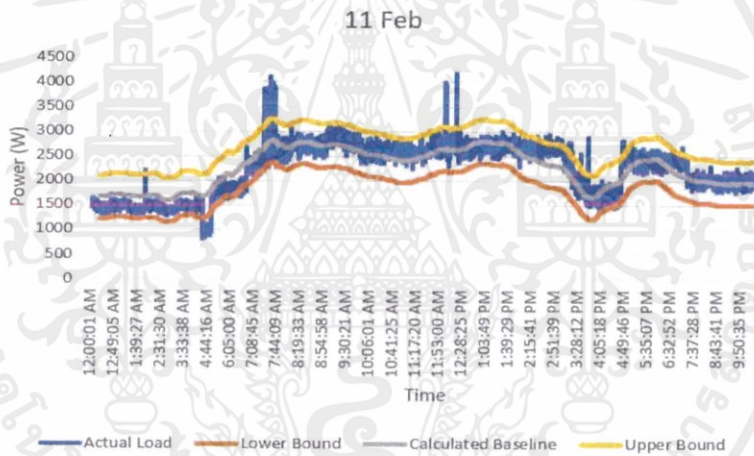
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3.2 เบลโลนที่ไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (Lighting Load ของ LP1A)

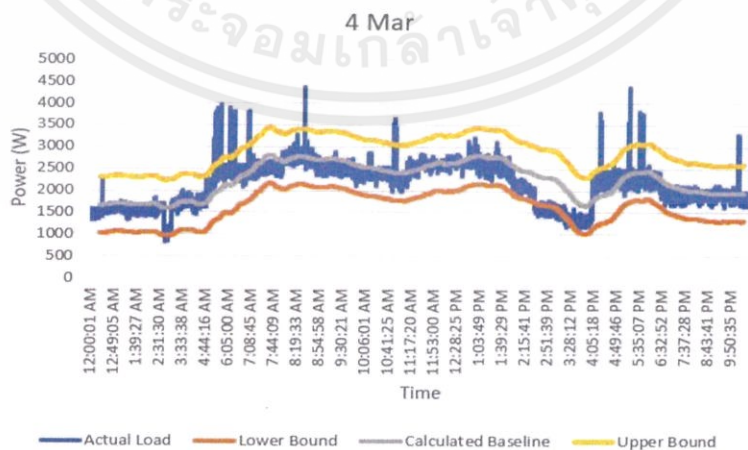
เบลโลนของกำลังไฟฟ้าของวันจันทร์จำนวน 3 สัปดาห์ จะเป็นไปดังรูปที่ 4.49 ถึง 4.51



รูปที่ 4.49 เบลโลนกำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 4 กุมภาพันธ์ 2019



รูปที่ 4.50 เบลโลนกำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 11 กุมภาพันธ์ 2019

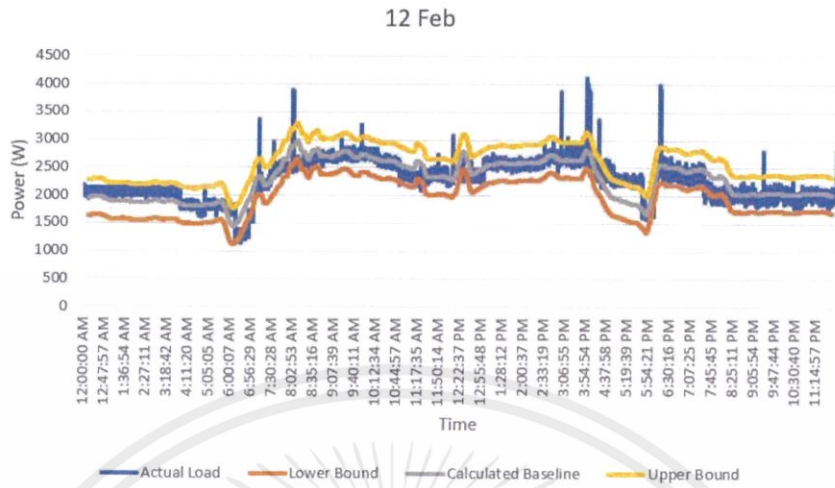


รูปที่ 4.51 เบลโลนกำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 4 มีนาคม 2019

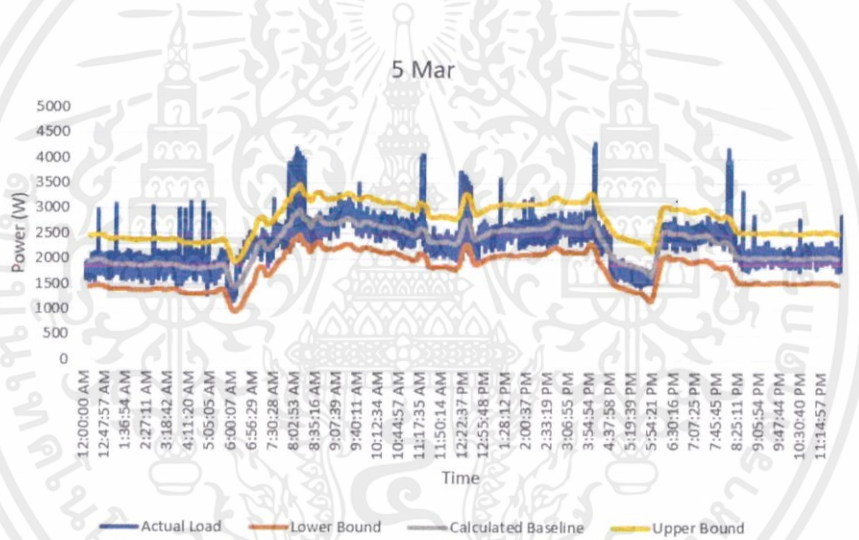
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบสไลน์ของกำลังไฟฟ้าของวันอังคารจำนวน 3 สัปดาห์ จะเป็นไปดังรูปที่ 4.52 ถึง

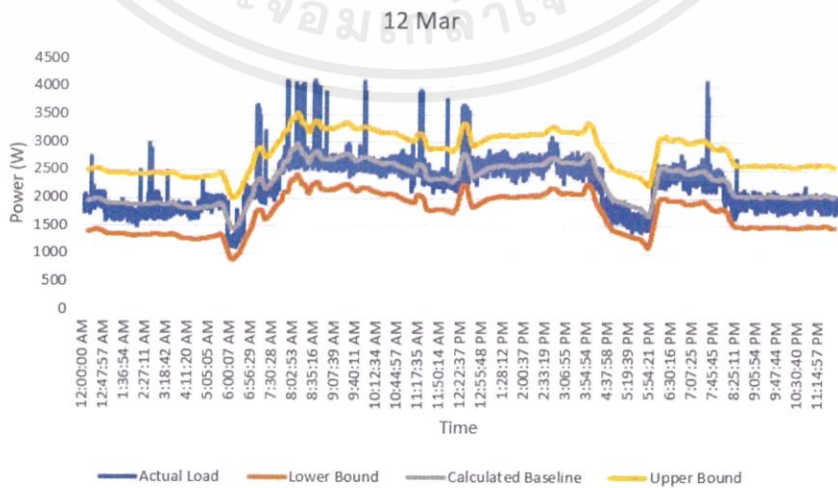
4.54



รูปที่ 4.52 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันอังคารที่ 12 กุมภาพันธ์ 2019



รูปที่ 4.53 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันอังคารที่ 5 มีนาคม 2019

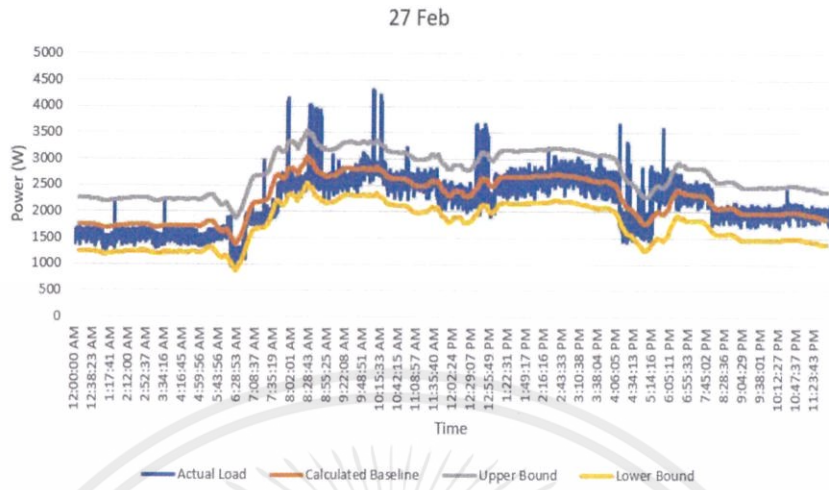


รูปที่ 4.54 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันอังคารที่ 12 มีนาคม 2019

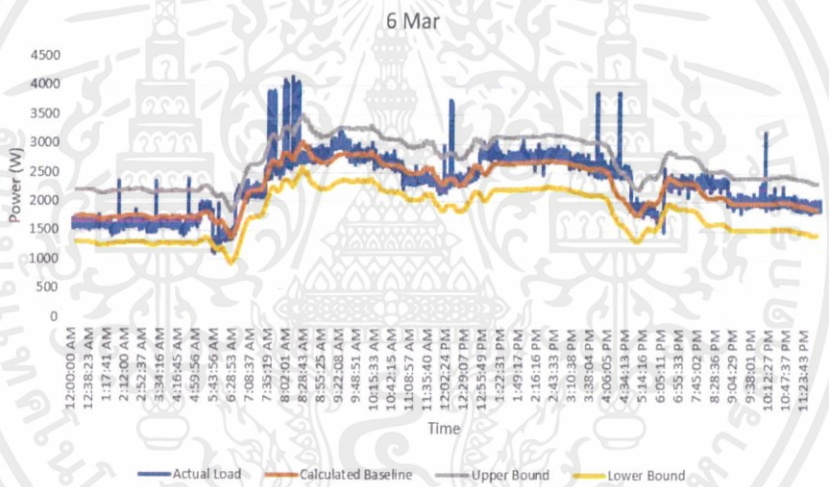
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบสไลน์ของกำลังไฟฟ้าของวันพุธจำนวน 3 สัปดาห์ จะเป็นไปดังรูปที่ 4.55 ถึง

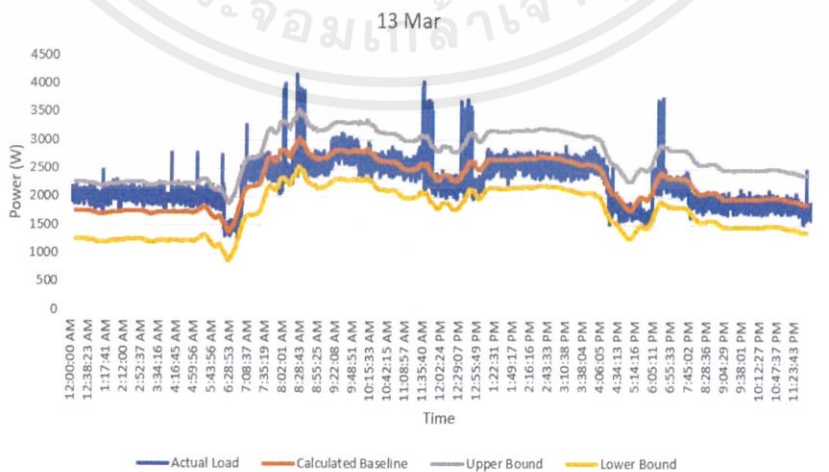
4.57



รูปที่ 4.55 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพุธที่ 27 กุมภาพันธ์ 2019



รูปที่ 4.56 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพุธที่ 6 มีนาคม 2019

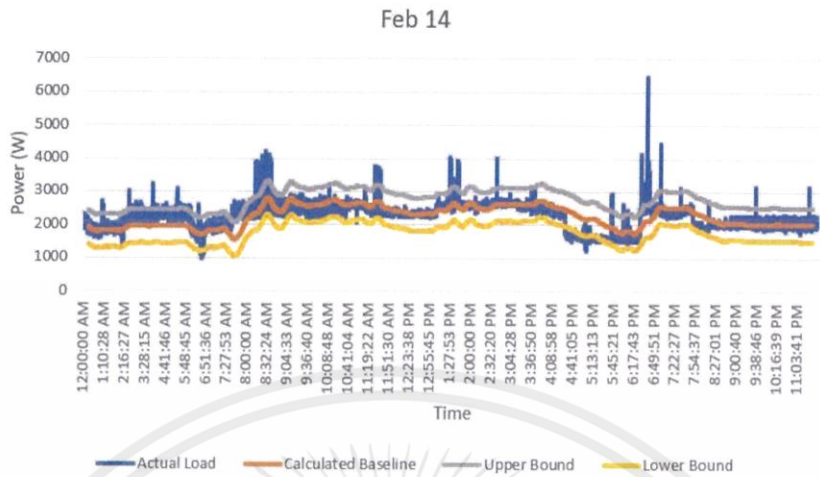


รูปที่ 4.57 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพุธที่ 13 มีนาคม 2019

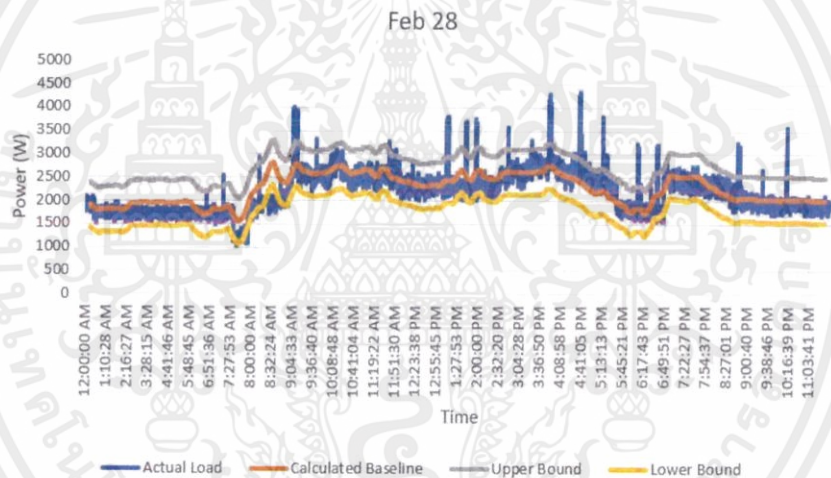
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบสไลน์ของกำลังไฟฟ้าของวันพฤหัสบดีจำนวน 3 สัปดาห์ จะเป็นไปดังรูปที่ 4.58

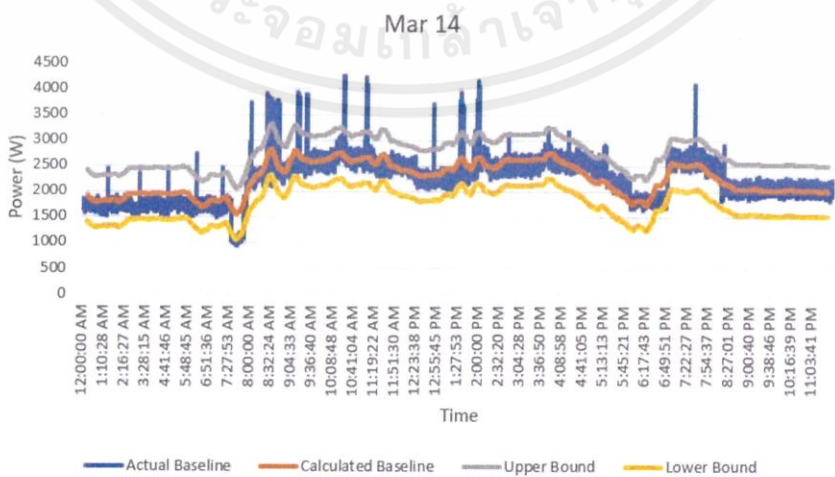
ถึง 4.60



รูปที่ 4.58 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพฤหัสบดีที่ 14 กุมภาพันธ์ 2019



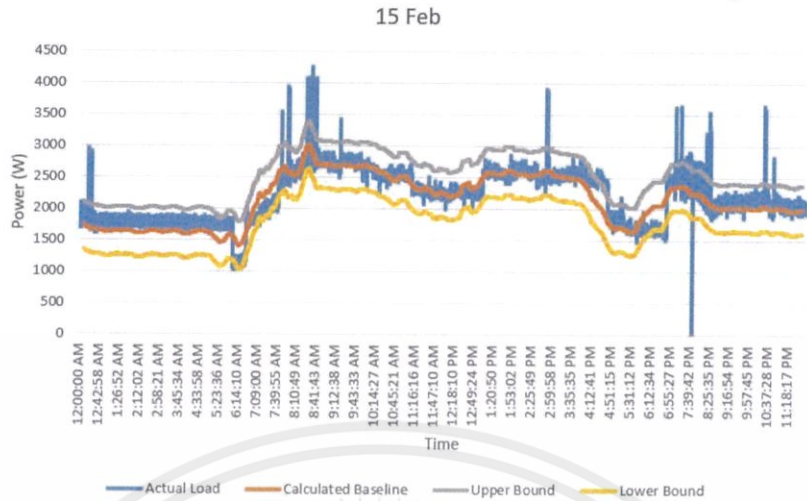
รูปที่ 4.59 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพฤหัสบดีที่ 28 กุมภาพันธ์ 2019



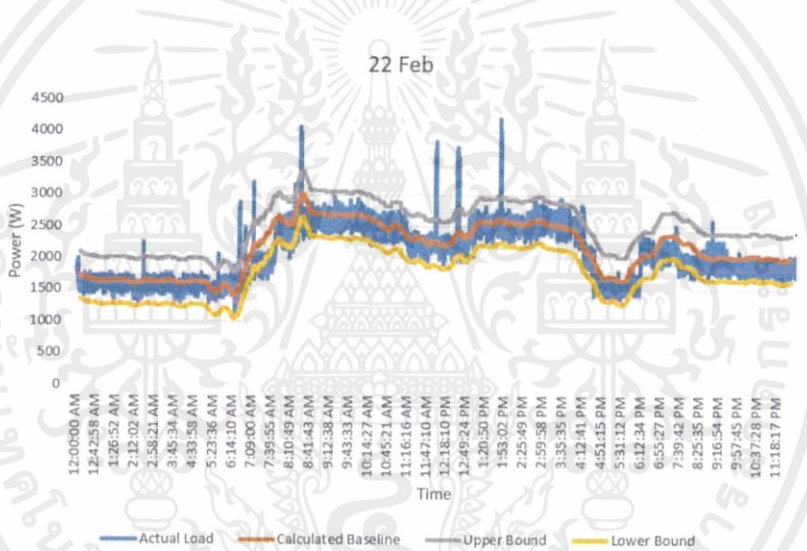
รูปที่ 4.60 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันพฤหัสบดีที่ 14 มีนาคม 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

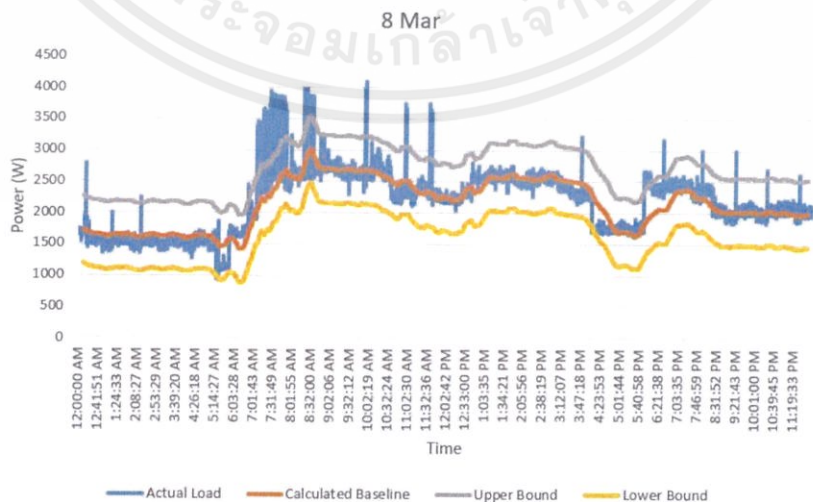
เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของวันศุกร์จำนวน 3 สัปดาห์ จะเป็นไปดังรูปที่ 4.61 ถึง 4.63



รูปที่ 4.61 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันศุกร์ที่ 15 กุมภาพันธ์ 2019



รูปที่ 4.62 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันศุกร์ที่ 22 กุมภาพันธ์ 2019

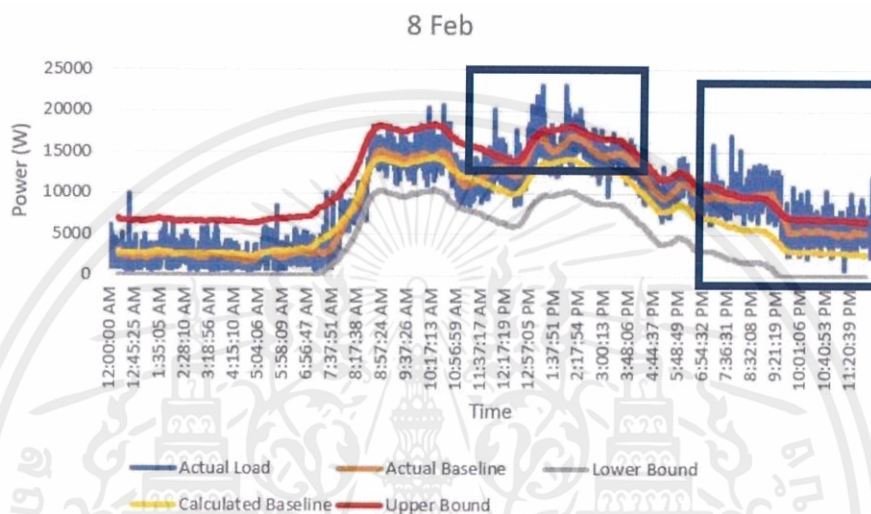


รูปที่ 4.63 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันศุกร์ที่ 8 มีนาคม 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

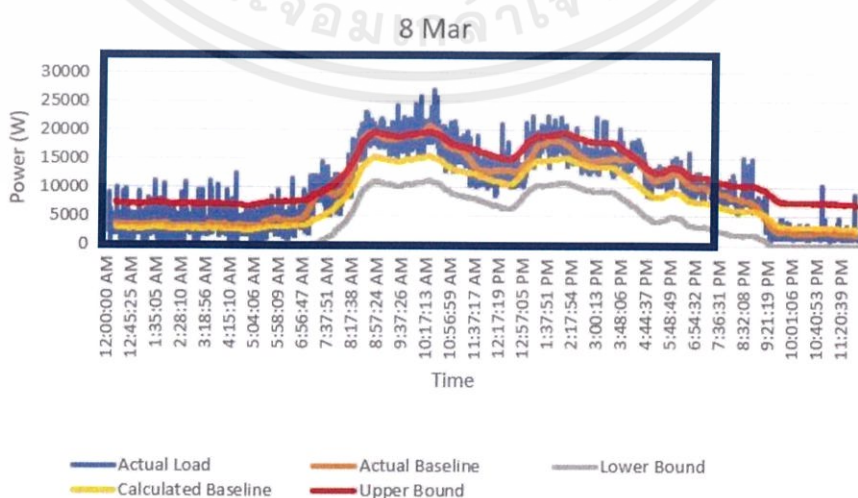
#### 4.2.4 การตรวจจัดการใช้พลังงานที่ผิดปกติไปจากเบสไลน์

จากการสร้างเบสไลน์ที่มีขอบเขตบนและล่างด้วยเส้นโค้ง Normal Distribution ของผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้า โดยมีขอบเขตที่ค่าเฉลี่ยบวกลบสามเท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน พบว่ามีโอกาสประมาณ 0.26% ในการที่จะมีข้อมูลที่เกินขอบเขต ดังนั้นจึงตั้งสมมุติฐานว่า หากการใช้งานของภาระไฟฟ้าเกินขอบเขตเกิดขึ้นเกิน 0.26% ของ 1 วัน ซึ่งคิดเป็นประมาณ 224 วินาที จะให้ระบบตรวจจับว่าเป็นการใช้งานที่ผิดปกติ ซึ่งตัวอย่างของการใช้งานที่ผิดปกติที่พบเห็นในเบสไลน์จะเป็นไปดังรูปที่ 4.64 ถึง 4.66



รูปที่ 4.64 ความผิดปกติของกำลังไฟฟ้าในช่วง 12:00:00 AM ถึง 12:00:00 PM

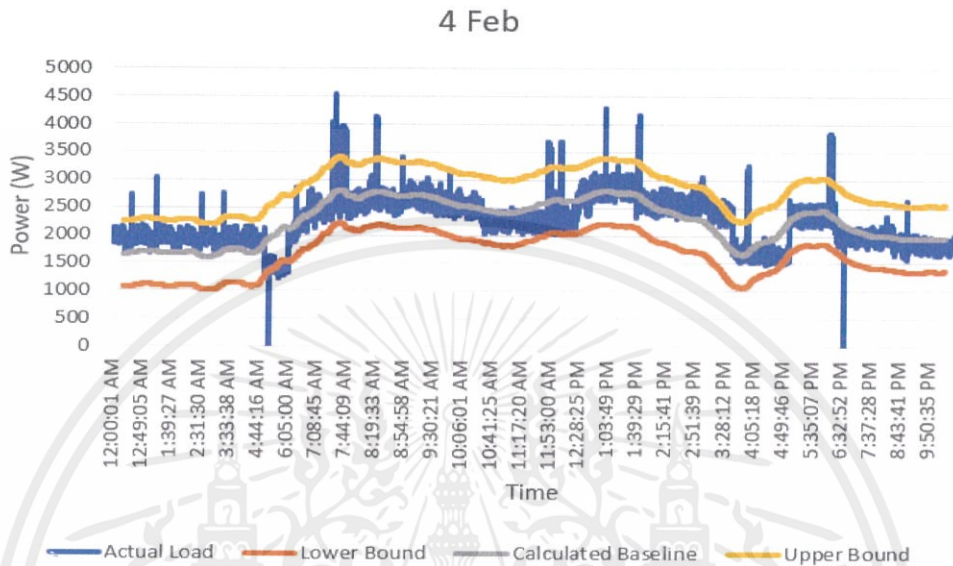
จากรูปที่ 4.64 สามารถสังเกตเห็นได้ว่าการใช้งานภาระไฟฟ้าเกินขอบเขตบนในช่วงเวลาประมาณ 7:18:53 PM ถึง 11:17:33 PM ที่เป็นเวลาปิดทำการของแผนกซึ่งไม่ควรจะมีการใช้งานภาระไฟฟ้าสูงดังกล่าว โดยการที่มีการใช้ภาระไฟฟ้าสูงอาจเกิดจากการลืมปิดภาระไฟฟ้าหลังปิดทำการ หรือมีการทำงานล่วงเวลา จึงควรมีการแจ้งเตือนให้ช่างเทคนิคตรวจสอบว่ามีการใช้ภาระไฟฟ้าจากสาเหตุใด



รูปที่ 4.65 ความผิดปกติของกำลังไฟฟ้าในช่วง 12:00:00 AM ถึง 12:00:00 PM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.65 สามารถสังเกตได้ว่าการใช้งานภาระไฟฟ้าเกินขอบเขตบนในระยะเวลาเกือบทั้งวัน เนื่องจากการใช้งานของภาระไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าเบสไลน์ที่ได้ทำการคำนวณมา ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น มีจำนวนคนเข้ามาใช้งานเยอะกว่าปกติ หรือมีความชื้นที่ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศทำงานหนัก จึงทำให้มีการใช้งานภาระไฟฟ้ามากกว่าที่ทำนาย



รูปที่ 4.66 ความผิดปกติของภาระไฟฟ้าแสงสว่าง

ในส่วนของโหนดแสงสว่าง (LP1A) จะพบว่าจะมีการใช้งานภาระไฟฟ้าเกินขอบเขตบนเป็นระยะเวลาดังนี้ เนื่องจากในวงจรร้อยแสงสว่างนั้นมีการติดตั้งตัวรับรวมอยู่ด้วย ซึ่งจะทำให้มีโอกาสการใช้งานภาระไฟฟ้าเกินขอบเขตบนเป็นระยะเวลาดังนี้ ดังรูปที่ 4.66

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินโครงการ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล ได้ดำเนินการออกแบบและประกอบสร้างระบบตรวจติดตาม และสามารถติดตั้งเข้ากับระบบการใช้ไฟฟ้าของอาคารพยาบาลได้ ซึ่งผลจากทดสอบและเก็บข้อมูล อุปกรณ์สามารถทำงานได้ถูกต้อง และสามารถสรุปผลการติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาลได้ดังนี้

- สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของการใช้ไฟฟ้าในอาคารพยาบาล ประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ได้ทั้งสามเฟส และสามารถส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล ThingSpeak รวมถึงการเก็บข้อมูลไว้ใน MicroSD Card

- จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาตั้งแต่วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2562 ถึง 18 มีนาคม 2562 ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ของลักษณะของภาระไฟฟ้ากับปัจจัยต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. ภาระไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับวัน-เวลาทำการ โดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิแวดล้อม เช่น ภาระไฟฟ้าชนิดแสงสว่าง ซึ่งได้ข้อสรุปจากการวิเคราะห์ภาระไฟฟ้าที่อยู่บริเวณชั้น 1 ของอาคาร เนื่องจากสามารถสังเกตถึงความแตกต่างระหว่างเวลาเปิด-ปิดได้ชัดเจน ซึ่งจะทำให้สามารถสร้างเบสไลน์ได้จากเวลาที่ใช้งานเท่านั้น

2. ภาระไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเช่นภาระไฟฟ้าชนิดเครื่องปรับอากาศ ซึ่งได้ข้อสรุปจากการวิเคราะห์ภาระไฟฟ้าที่อยู่บริเวณชั้น 5 ของอาคาร ซึ่งจะเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนเมื่ออุณหภูมิต่างกัน จึงทำให้สามารถสร้างเบสไลน์ที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิได้

3. ภาระไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างสุ่มโดยไม่ขึ้นกับปัจจัยข้างต้น เช่น เครื่อง CT Scan และเครื่อง X-ray ซึ่งจะมีการใช้งานที่ไม่สามารถระบุเวลาที่แน่นอนได้ โดยจะทำให้ไม่สามารถสร้างเบสไลน์ของโหลดชนิดนี้ได้

- จากปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้วิเคราะห์มานั้นจึงทำให้สามารถสร้างเบสไลน์ของภาระไฟฟ้าชนิดแสงสว่างที่ชั้น 1 (LP1A) และภาระไฟฟ้าที่ชั้น 5 (LP5) ได้ และสามารถตรวจสอบความผิดปกติของระบบหรือการใช้พลังงานเกินความจำเป็นได้

- โครงการสามารถต่อยอดเพื่อที่จะให้ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาลสามารถตรวจจับความผิดปกติของระบบหรือการใช้งานพลังงานเกิดความจำเป็นได้แบบ Real-time และสามารถนำไปติดตั้งอาคารอื่น ๆ ได้

ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานสำหรับอาคารโรงพยาบาล สามารถตรวจสอบสถานะและแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ตลอด 24 ชั่วโมง ผ่านทางอินเทอร์เน็ตบนฐานข้อมูล ThingSpeak ทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะการใช้ไฟฟ้าโดยไม่จำเป็นต้องอยู่ในสถานที่ทำงาน อีกทั้งยังทราบถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นและวางแผนบำรุงรักษาได้ทันท่วงที ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาและช่วยเพิ่มความมั่นคงแก่ระบบไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาลได้เป็นอย่างดี

## 5.2 ปัญหาและข้อจำกัด

จากการดำเนินโครงการระบบตรวจติดตามสำหรับการทำงานของอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา มีปัญหาและข้อจำกัดดังนี้

- เนื่องจากโรงพยาบาลได้มีการก่อสร้างมาแล้วเป็นเวลานาน ทำให้ข้อมูลการติดตั้งทางไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น ตารางโหลด เป็นข้อมูลที่เก่าเกินไปและไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ จึงทำให้การวิเคราะห์ลักษณะของภาระไฟฟ้าเป็นไปอย่างลำบาก เนื่องจากไม่ทราบว่าในวงจรย่อยที่ได้ทำการติดตั้งเครื่องนั้นมีภาระไฟฟ้าแบบใดและมีพิกัดเท่าใด

- มีการสูญหายของข้อมูลแบบ Real-time จาก ThingSpeak หากอินเทอร์เน็ตที่โรงพยาบาลมีความขัดข้อง นอกจากนี้ความเร็วของอินเทอร์เน็ตก็มีผลต่อความถี่ของการส่งข้อมูลขึ้นไปยังฐานข้อมูล ThingSpeak

- การเก็บข้อมูลนั้นใช้เวลาที่น้อยเกินไป เพื่อที่จะได้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการวิเคราะห์นั้น ควรจะติดตั้งเครื่องเก็บข้อมูลเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ปี

- สามารถคำนวณหาเบสไลน์ได้เฉพาะภาระไฟฟ้าที่มีเวลาเปิด-ปิดที่แน่นอน โดยจะไม่สามารถคำนวณเบสไลน์ของภาระไฟฟ้าที่มีการใช้งานแบบสุ่มได้

- ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ผลต่อภาระไฟฟ้าที่ไม่มีข้อมูลในการวิเคราะห์ เช่น จำนวนคนและความชื้น เป็นต้น

- เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งไว้ก่อนหน้า มีข้อมูลที่บกพร่องอยู่บ้างจึงทำให้การวิเคราะห์มีปัญหาเล็กน้อย

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินโครงการระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานของอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา สามารถปรับปรุงแก้ไข และพัฒนา เพื่อความสะดวกในการใช้งานและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้ดังนี้

- การติดตั้งในอาคารอื่น ๆ หากมีตารางโหลดที่ชัดเจนครบถ้วน จะทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีประสิทธิภาพและแม่นยำมากขึ้น

- เพิ่มความเสถียรและความเร็วของอินเทอร์เน็ต เช่น การต่อสาย LAN หรือการเพิ่ม Sim Card ที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้

- ควรจะติดตั้งเครื่องเก็บข้อมูลเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ปี เพื่อให้มีข้อมูลการใช้พลังงานทุกฤดูซึ่งมีความแตกต่างกันทางอุณหภูมิอย่างชัดเจน ทำให้การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

- ควรเพิ่มอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลจำนวนคนและความชื้น เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้า

- เพิ่มเสถียรภาพของเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าที่ติดตั้งไว้ก่อนหน้าเพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลได้ครบถ้วนสมบูรณ์

- พัฒนาระบบตรวจจับการใช้พลังงานให้สามารถตรวจสอบการใช้พลังงานที่ผิดปกติได้แบบ Real-time และสามารถแจ้งเตือนเมื่อเกิดความผิดปกติผ่านทาง Twitter ด้วย ThingSpeak

ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานภายในโรงพยาบาล ยังสามารถนำไปติดตั้งกับอาคารอื่น ๆ ได้ด้วยรูปแบบอุปกรณ์ที่ง่ายต่อการติดตั้ง และใช้งานได้ง่าย กล่องอุปกรณ์มีความเล็กกระทัดรัด ซึ่งสามารถทำให้อาคารที่ถูกติดตั้งสามารถสังเกตการใช้พลังงานได้อย่างสะดวก อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบความผิดปกติของระบบไฟฟ้าได้ จึงทำให้ตัวอาคารมีระบบไฟฟ้าที่มีความน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Muhammad Ahmed. *Microcontroller AT89S52 Description*. Retrieved from [www.elprojects.blogspot.com/2010/06/microcontroller-at89s52-description.html](http://www.elprojects.blogspot.com/2010/06/microcontroller-at89s52-description.html)
- [2] Robot Inc. *เริ่มต้นใช้งาน Arduino Nano V3.0*. สืบค้นจาก [www.robotinc.asia/Arduino/ArduinoNANO.html](http://www.robotinc.asia/Arduino/ArduinoNANO.html)
- [3] ThaiEasyElec. *Single Phase Voltage Sensor*. สืบค้นจาก [www.thaieasyelec.com/products/sensors/single-phase-voltage-sensor-1552-detail.html](http://www.thaieasyelec.com/products/sensors/single-phase-voltage-sensor-1552-detail.html)
- [4] Electronics Tutorials Team. *The Current Transformer*. Retrieved from [www.electronics-tutorials.ws/transformer/current-transformer.html](http://www.electronics-tutorials.ws/transformer/current-transformer.html)
- [5] Nongcom Electrical. *หม้อแปลงกระแส (Current Transformer)*. สืบค้นจาก [www.nongcom-electrical.blogspot.com/2015/08/current-transformer-ct.html](http://www.nongcom-electrical.blogspot.com/2015/08/current-transformer-ct.html)
- [6] OpenEnergyMonitor. *CT Sensors - Interfacing with an Arduino*. Retrieved from [www.learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/interface-with-arduino](http://www.learn.openenergymonitor.org/electricity-monitoring/ct-sensors/interface-with-arduino)
- [7] Vishnu M Aiea. *Interfacing Catalex Micro SD Card Module with Arduino*. Retrieved from [www.vishnumaiea.in/projects/hardware/interfacing-catalex-micro-sd-card-module](http://www.vishnumaiea.in/projects/hardware/interfacing-catalex-micro-sd-card-module)
- [8] Pradeep Singh. *NodeMCU Pinout*. Retrieved from [www.iotbytes.wordpress.com/nodemcu-pinout/](http://www.iotbytes.wordpress.com/nodemcu-pinout/)
- [9] ThingSpeak™. *Learn More About ThingSpeak*. Retrieved from [www.thingspeak.com/pages/learn\\_more](http://www.thingspeak.com/pages/learn_more)
- [10] RF Wireless World. *UART vs SPI vs I2C | Difference between UART, SPI and I2C*. Retrieved from [www.rfwireless-world.com/Terminology/UART-vs-SPI-vs-I2C.html](http://www.rfwireless-world.com/Terminology/UART-vs-SPI-vs-I2C.html)
- [11] Chaiyaporn Silawatchananai. *การใช้งานพอร์ตสื่อสาร I2C*. สืบค้นจาก [www.aimagin.com/blog/การใช้งานพอร์ตสื่อสาร-i2c/?lang=th](http://www.aimagin.com/blog/การใช้งานพอร์ตสื่อสาร-i2c/?lang=th)
- [12] Mountain A. *I2C Communication*. สืบค้นจาก [www.arduitronics.com/article/47/i2c-communication-case-study-of-gy-30-ambient-light-sensor](http://www.arduitronics.com/article/47/i2c-communication-case-study-of-gy-30-ambient-light-sensor)
- [13] มนต์ชัย เทียนทอง. “การแจกแจงทางสถิติ,” *สถิติและวิธีการวิจัยทางเทคโนโลยีสารสนเทศ*, หน้า 279-280.
- [14] Math Is Fun. *Normal Distribution*. Retrieved from [www.mathsisfun.com/data/standard-normal-distribution.html](http://www.mathsisfun.com/data/standard-normal-distribution.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [15] ฉลอง สี่แก้วสีว. 6.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ *Simple Linear Regression*. สืบค้นจาก [www.sites.google.com/site/mystatistics01/regression-correlation-analysis/simple-linear-regression-step](http://www.sites.google.com/site/mystatistics01/regression-correlation-analysis/simple-linear-regression-step)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล Energy Monitoring System in Hospital Building

ธัญพิชชาญ ทอวงนิชนพคุณ ปริญญา ยศกำจรกุล พงษ์ศิริ ตั้งจิตรวัดนากุล และ พรพสิษฐ์ พุกษะศรี  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

### บทคัดย่อ

บทความวิชาการฉบับนี้นำเสนอการศึกษาวเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา โดยมีจุดประสงค์เพื่อวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา รวมไปถึงการศึกษามูลของอุณหภูมิแวดล้อม เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า พิจารณาข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกับพฤติกรรมของระบบไฟฟ้าในภาวะปกติ (base line) ซึ่งการตรวจติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงพยาบาลจะใช้อุปกรณ์ที่ได้ทำการประกอบสร้างขึ้นมา โดยออกแบบให้สามารถอ่านข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูกบันทึกลงในไมโครเอสดีการ์ด (MicroSD Card) อีกทั้งยังสามารถส่งข้อมูลด้วยระบบอินเทอร์เน็ตของสิ่ง (Internet of Things : IoT) ไปเก็บข้อมูลลงบนฐานข้อมูลอิงส์ปิค (ThingSpeak) ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจติดตามข้อมูลจากระยะไกลได้ เมื่อเปรียบเทียบกับพฤติกรรมของระบบไฟฟ้าในภาวะปกติกับข้อมูลที่วัดได้ในแต่ละช่วงเวลา จึงทำให้ทราบได้ว่าการใช้ปริมาณไฟฟ้าในโรงพยาบาลมีระบบใดเกินความจำเป็น รวมถึงความบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นได้ในระบบ เพื่อที่จะสามารถแก้ไขระบบไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพและก่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงสุดสำหรับอาคารโรงพยาบาล

### Abstract

This article describes a study and analysis of electrical load behavior in the Burapha University Hospital. The objective is measuring an energy consumption considering ambient temperature. The collected data in normal condition considered as a base line of the energy consumption are used to compare with the energy consumption at different time intervals. Energy monitoring devices, which are designed and built for the energy monitoring system in hospital, are able to measure 3-phase electrical parameters. All measured data are collected into the MicroSD Card and send to the cloud database in the "ThingSpeak" platform, which can be remotely monitoring, via the Internet of Things (IoT) technology. By comparison of load behavior at normal condition with measured data, it can present the abnormal energy consumption and system faults for improving the efficiency and stabilization of hospital building electrical system.

### 1. บทนำ

ภายในอาคารโรงพยาบาลมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากและต้องการความมั่นคงในระบบไฟฟ้า ซึ่งถ้าหากวิเคราะห์ได้ว่าอาคารโรงพยาบาลต้องการใช้พลังงานเท่าใด ก็สามารถนำไปวิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้าพื้นฐาน (Base line) ได้ จึงออกแบบและสร้างระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาล สำหรับรับค่าและประมวลผลข้อมูล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาล นอกจากนี้ยังศึกษาผลของอุณหภูมิแวดล้อม เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาลจะประกอบด้วยอุปกรณ์การวัดปริมาณทางไฟฟ้า โดยนำอาควิน (Arduino) มาประยุกต์ในการสร้างอุปกรณ์ติดตามพลังงานไฟฟ้า เพื่อรับค่าและประมวลผลข้อมูลแล้วนำมาหาความต้องการไฟฟ้าปกติเทียบกับเวลา แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริง ณ แต่ละช่วงเวลา เพื่อตรวจสอบว่าภาระไฟฟ้าทำงานในสภาวะปกติหรือไม่ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ในรูปแบบความแตกต่างในแต่ละช่วงเวลาและตรวจพบความผิดปกติของระบบที่เกิดขึ้น แล้วจึงแจ้งเตือนเพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาได้ทันเวลาที่ ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาลมีความมั่นคง

#### 1.1 ขอบเขตการดำเนินงาน

ติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา จ.ชลบุรี โดยติดตั้งอุปกรณ์ติดตามพลังงานไฟฟ้าในห้องไฟฟ้า ที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker : CB) ของเครื่องซีทีสแกน (CT Scan) และเครื่องเอกซเรย์ในตู้สวิตช์ประธาน (Main Distribution Board : MDB) และการวิเคราะห์การใช้พลังงานจะนำข้อมูลลงจรรยาอยู่ที่ตำแหน่งของภาระไฟฟ้าในชั้น 5 (LP5) และภาระไฟฟ้าแสงสว่างในชั้น 1 (LP1A) มาประกอบการวิเคราะห์

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ในรูปแบบของคอมพิวเตอร์ โดยมีการรวมซีพียู หน่วยความจำ พอร์ต บัส และวงจรถ่ายสัญญาณอนาล็อกเข้าไว้ในตัว

#### 2.2 Arduino Nano

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่ถูกพัฒนาแบบ Open Source การควบคุมระบบมีความง่ายทั้งโปรแกรมและบอร์ด มีขนาดเล็ก ทำให้สะดวกในการประหยัดพื้นที่

#### 2.3 Single Phase Voltage Sensor Module

เป็นโมดูลที่ถูกออกแบบมาเพื่อวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 0-250 V หนึ่งเฟส โดยมีวงจรภายในในการแปลงแรงดันกระแสสลับให้อยู่ในช่วง 0 - 5 V ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถใช้งานได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 หม้อแปลงกระแส

เป็นหม้อแปลงที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้สร้างกระแสไฟฟ้าขึ้นที่ตำแหน่งหุติยภูมิ โดยจะทำการลดทอนกระแสปฐมภูมิลงมาเพื่อที่ได้กระแสแล้วนำไปเข้าตัววัดกระแสได้อย่างปลอดภัย โดยแกนเหล็กที่มีความเป็นเชิงเส้นของ B-H Curve สูง และไม่ม้วนตัวที่กระแสที่กักจะถูกเลือกมาใช้เป็นหม้อแปลงกระแสสำหรับกราวด์

## 2.5 การเชื่อมต่อหม้อแปลงกระแสเข้ากับ Arduino

Analog Input Port ของ Arduino รับแรงดันไฟฟ้าได้ 0-5 V ดังนั้นหากต้องการรับค่ากระแสจากหม้อแปลงกระแสจะต้องทำการแปลงกระแสจากหม้อแปลงกระแสเป็นแรงดันในย่าน 0-5 V เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับค่าไปประมวลผลได้

## 2.6 MicroSD Card Module

อุปกรณ์ที่ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเขียนคำสั่งไปยัง MicroSD Card ได้ด้วยโปรโตคอลแบบ SPI

## 2.7 Real Time Clock Module

อุปกรณ์ที่ใช้หลักการจับสัญญาณนาฬิกาที่ได้รับมาจาก Crystal โดยจะใช้วิธีการส่งข้อมูลที่ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์โดยตรงด้วยโปรโตคอลแบบ I<sup>2</sup>C

## 2.8 NodeMCU

แพลตฟอร์มหนึ่งที่ใช้ช่วยในการสร้างโปรเจกต์ Internet of Things (IoT) มาพร้อมกับโมดูล Wi-Fi ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการใช้เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต

## 2.9 ThingSpeak

ThingSpeak คือผู้ให้บริการ Cloud ชนิดหนึ่ง ที่อนุญาตให้ผู้ใช้สามารถส่งค่าต่าง ๆ ขึ้นเพื่อไปเก็บในพื้นที่บนเว็บไซต์ที่เปิดให้ผู้ใช้บริการ โดยจะมีอินเตอร์เฟซต่าง ๆ ให้ใช้งาน

## 2.11 การส่งข้อมูลด้วยรูปแบบ I<sup>2</sup>C

เป็นการสื่อสารข้อมูลที่มีความเร็วเหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลไม่สูงมาก สามารถใช้สายสัญญาณเพียงสองเส้น คือ สายสัญญาณข้อมูล (SDA) และสายสัญญาณนาฬิกา (SCL) ในการรับส่งข้อมูลที่เชื่อมต่อกันเป็นระบบระหว่างบัสได้ในจำนวนที่มาก

## 2.12 การแจกแจงแบบปกติ

เป็นการแจกแจงความถี่ของค่าที่วัดเป็นปกติ มีการนำไปใช้มากที่สุดในการจัดการข้อมูลเกี่ยวกับวิธีการทางสถิติกับข้อมูลชนิดต่อเนื่อง เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยอยู่กลาง ๆ โดยมีจำนวนไม่มากที่มีค่าสูงหรือมีค่าต่ำกว่าค่ากลาง ๆ เมื่อนำค่าทั้งหมดไปเขียนลงกราฟ จะได้เส้นที่มีจุดสูงสุดอยู่ตรงกลาง โดยมีเส้นโค้งทั้งสองข้างลาดลง คล้ายกับรูปประฆังคว่ำ ซึ่งเรียกว่าเส้นโค้งปกติ (Normal Curve)

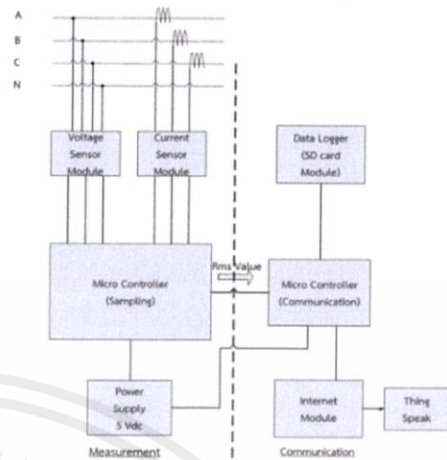
## 2.13 การวิเคราะห์การถดถอย

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ซึ่งได้แก่ตัวประมาณการ (Predictor,X) และตัวตอบสนอง (Response,Y) โดยเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear)

## 3. การออกแบบและการประกอบสร้าง

เครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้าที่ได้ออกแบบนั้นประกอบไปด้วยส่วนของการวัดปริมาณทางไฟฟ้า ซึ่งจะวัดค่ากระแสและแรงดันของวงจร โดยจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการดึงค่าตัวอย่างข้อมูล (Sampling) และนำมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยผล (RMS) จากนั้นจะส่งข้อมูลปริมาณทางไฟฟ้าไปยังส่วนของการสื่อสารข้อมูลและบันทึกข้อมูล โดยจะประกอบด้วย

การบันทึกข้อมูลด้วย SD Card และการส่งข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตไปยัง ThingSpeak โครงสร้างของเครื่องมือวัดจะแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องมือวัดปริมาณทางไฟฟ้า

การวัดกระแสไฟฟ้านั้นจะเลือกใช้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าแบบแยกแกน รุ่น SCT024TS ยี่ห้อ YHDC ที่มีความเป็นเชิงเส้นสูง โดยพิกัดที่ต้องการวัดคือ 100, 160, 250 A

ในส่วนของการวัดแรงดันไฟฟ้านั้นจะใช้โมดูลที่สามารถแปลงค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 0-250 V เป็นสัญญาณ 0-5 V ที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับ Analog Input Port ของ Arduino ได้โดยตรง

ในส่วนของการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมียังวงจรในส่วนของการวัด 5 วงจร (5 Slave) และวงจรในส่วนของการสื่อสาร 1 วงจร (1 Master) โดยวงจรในส่วนของการวัดจะส่งข้อมูลจำนวน 12 ค่า ซึ่งจะประกอบด้วย ค่าแรงดันไฟฟ้า, ค่ากระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าจริงและค่าตัวประกอบกำลัง ของทั้งสามเฟส ซึ่งจะเป็ข้อมูลแบบทศนิยมที่ใช้มาตรฐาน IEEE 754 Floating Point (Single Precision) ซึ่งใช้ขนาด 32 บิตหรือ 4 ไบต์ ดังนั้นวงจรในส่วนของการสื่อสารจะต้องรับข้อมูลจากในส่วนของการวัดทั้งหมดเป็นจำนวน 240 ไบต์ โดยต้องใช้เวลาดำเนินการเวลาของการเก็บข้อมูล ซึ่งการเก็บข้อมูลนี้จะเก็บข้อมูลทุก ๆ 100 ms ดังนั้นจึงเลือกใช้การสื่อสารข้อมูลแบบ I<sup>2</sup>C ที่มีความสะดวกต่อการใช้งานมากกว่า และมีความถูกต้องของข้อมูลสูงกว่า

ในส่วนของการเก็บข้อมูลจะประกอบด้วย SD Card Module และ Real Time Clock Module ซึ่งจะทำการบันทึกค่าเวลาไปพร้อม ๆ กับข้อมูลที่รับมาจากวงจรการสื่อสารต่าง ๆ ซึ่ง SD Card Module จะทำการเชื่อมต่อแบบ SPI ส่วน Real Time Clock Module จะทำการเชื่อมต่อแบบ I<sup>2</sup>C และส่วนในการส่งข้อมูลไปยังอินเทอร์เน็ต จะใช้ NodeMCU ซึ่งเป็น Wi-Fi Module ที่สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ โดย NodeMCU จะทำการรับค่าจาก Master โดยใช้วิธีการสื่อสารแบบ UART และทำการส่งค่าไปยัง ThingSpeak ผ่าน Wi-Fi

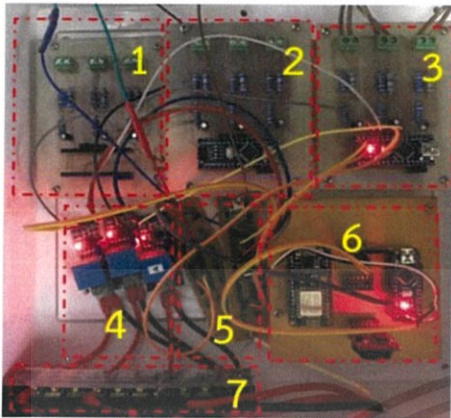
ทำการรวมวงจรในการวัดทั้ง 5 วงจรและวงจรในการสื่อสารเข้าด้วยกัน บรรจุใส่ในกล่องกันน้ำ ซึ่งจัดเรียงได้ดังรูปที่ 3.2

ส่วนที่ 1, 2 และ 3 เป็นวงจรในส่วนของการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า (Slave) ซึ่งวางซ้อนกัน มีจำนวนวงจรทั้งหมด 5 วงจร โดยทุกวงจรจะรับค่าแรงดันมาจาก Single Phase Voltage Sensor ในส่วนที่ 4

ส่วนที่ 5 ประกอบไปด้วยแผ่น PCB สำเร็จรูป 2 แผ่น ซึ่งถูกใช้ให้เป็นบัสไฟเลี้ยง 1 แผ่น ประกอบด้วย Pin Header 16 ขา สำหรับจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟเลี้ยง 5V และกราวด์ ซึ่งรับไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มือถือที่มีพิกัด 5V DC , 1.55 A และอีกแผ่นหนึ่งใช้เป็นบัส I<sup>2</sup>C ซึ่งจะประกอบด้วย Pin



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบทั้งหมดภายในอุปกรณ์การวัด

Header 16 ขา ซึ่งจะใช้เป็นบัส SDA และ SCL ของการสื่อสารแบบ I<sup>2</sup>C ซึ่งมีการต่อแต่ละบัสเข้ากับค่าความต้านทาน Pull-Up ด้วย ซึ่งจะแสดงวงจรในส่วนที่ 5 ได้ดังรูปที่ 3.3

ในส่วนที่ 6 จะเป็นวงจรในส่วนของการสื่อสาร ซึ่งรับไฟเลี้ยง รวมถึงข้อมูลจากบัส I<sup>2</sup>C มาจากส่วนที่ 5 อีกด้วย



รูปที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายและวงจรบัส I<sup>2</sup>C

ในส่วนที่ 7 จะเป็น Terminal สำหรับต่อแรงดันที่ต้องการวัดเข้าสู่ Single Phase Voltage Sensor ในแต่ละตัว

โปรแกรมสำหรับการดึงค่าตัวอย่างข้อมูลนั้นจะใช้ Arduino IDE ในการออกแบบโปรแกรม ซึ่งใน Arduino IDE นี้จะมีไลบรารีสำเร็จรูปที่สามารถทำการดึงค่าตัวอย่างข้อมูลแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าและทำการแปลงเป็นค่า RMS รวมไปถึงสามารถคำนวณค่าตัวประกอบกำลังและค่าอื่นๆ โดยไลบรารีชื่อ OpenEnergyMonitor หรือ "EmonLib"

#### 4. การทดสอบและผลการทดสอบ

##### 4.1 ผลจากการติดตั้งอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า

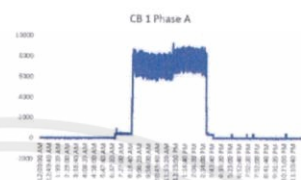
วงจรย่อยที่ทำการติดตั้งเป็นวงจรย่อยภายในตู้ MDB ใหม่ โดยทางโรงพยาบาลได้เพิ่มตู้ดังกล่าวขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับวงจรย่อยที่ครอบคลุมโรงอาหาร (CB1), ร้านสะดวกซื้อ (CB2), เครื่อง CT Scans (CB3 และ CB5) และเครื่อง X-ray (CB4) รวมทั้งหมดเป็นจำนวน 5 วงจรย่อย ซึ่งการติดตั้งนี้เป็นการติดตั้งควบคู่กับอุปกรณ์วัดพลังงานไฟฟ้าเดิมที่มีการติดตั้งโดยนักศึกษาปริญญาโทเพื่อให้ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพาแห่งนี้มีความครบถ้วนสมบูรณ์ที่สุด ส่วนการวิเคราะห์การใช้พลังงานจะนำข้อมูลวงจรย่อยที่ตำแหน่งของภาระไฟฟ้าในชั้น 5 (LP5) และภาระไฟฟ้าแสงสว่างในชั้น 1 (LP1A) ซึ่งมีลักษณะการใช้พลังงานในเชิงอาคารธุรกิจโรงพยาบาลมาประกอบการวิเคราะห์ โดยอุปกรณ์การวัดนั้นจะถูกติดตั้ง ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.2 และข้อมูลในแต่ละวงจรย่อยสามารถแสดงในรูปกราฟได้ดังรูปที่ 4.3 ส่วนข้อมูลบนฐานข้อมูล ThingSpeak แสดงผลในรูปกราฟข้อมูลเทียบกับเวลาดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.1 การติดตั้งหม้อแปลงกระแส



รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ติดตั้งสมบูรณ์



รูปที่ 4.3 กำลังไฟฟ้าของวงจรย่อยที่ 1 เฟส A (โรงอาหาร)



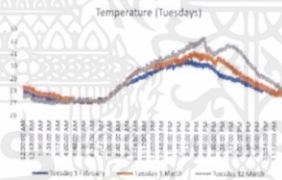
รูปที่ 4.4 แรงดันไฟฟ้าเฟส A บน ThingSpeak

##### 4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

###### 4.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับภาระไฟฟ้าในโรงพยาบาล

###### 4.2.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระไฟฟ้ากับอุณหภูมิแวดล้อม

วงจรย่อยที่ตำแหน่ง LP5 เป็นวงจรย่อยที่ประกอบด้วยภาระไฟฟ้าชนิดเครื่องปรับอากาศ พัดลม และอื่น ๆ ซึ่งภาระไฟฟ้าชนิดนี้จะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิแวดล้อม โดยอุณหภูมิแวดล้อมที่สูงขึ้นส่งผลให้มีการใช้งานภาระไฟฟ้ามากขึ้น ตัวอย่างของอุณหภูมิดังรูปที่ 4.5 และตัวอย่างของเส้นค่าเฉลี่ย (Moving Average) ของกำลังไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.6



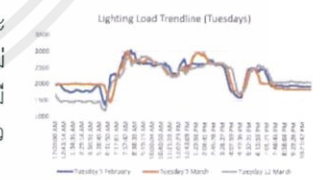
รูปที่ 4.5 อุณหภูมิในวันอังคารจำนวน 3 สัปดาห์



รูปที่ 4.6 เส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของวงจรย่อย LP5 วันอังคารจำนวน 3 สัปดาห์

แต่ในส่วนของภาระไฟฟ้าชนิดแสงสว่าง (LP1A) จะไม่เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ซึ่งจะมีรูปแบบการใช้งานภาระไฟฟ้าตายตัวในแต่ละวัน ดังรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.7 เส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของวงจรย่อย LP1A ในวันอังคารจำนวน 3 สัปดาห์



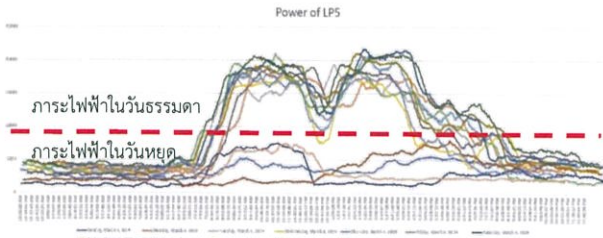
###### 4.2.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระไฟฟ้ากับเวลา

ในชั้น 5 ของโรงพยาบาลจะเป็นแผนกที่ทำงานในเวลา 8.00 น. ถึง 16.00 น. โดยมีช่วงพักเที่ยงตั้งแต่ 12.00 ถึง 13.00 น. จึงทำให้สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงภาระไฟฟ้าตามเวลาได้อย่างชัดเจน

###### 4.2.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระไฟฟ้ากับวันในสัปดาห์

ในวันจันทร์ถึงวันศุกร์จะมีการใช้งานภาระไฟฟ้าสูงกว่าวันเสาร์และวันอาทิตย์ ดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบเส้นค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของวันจันทร์ถึงศุกร์กับวันเสาร์และอาทิตย์ของภาระไฟฟ้าในชั้น 5

- สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ และส่งข้อมูลไปยัง ThingSpeak รวมถึงการเก็บข้อมูลไว้ใน MicroSD Card

- หากความสัมพันธ์ของลักษณะของภาระไฟฟ้ากับปัจจัยต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. ภาระไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับวัน-เวลาทำการ โดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิแวดล้อม สามารถสังเกตความแตกต่างระหว่างเวลาเปิด-ปิดได้ชัดเจน
2. ภาระไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ซึ่งเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนเมื่ออุณหภูมิต่างกัน
3. ภาระไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างสุ่มโดยไม่ขึ้นกับปัจจัยมีการใช้งานที่ไม่สามารถระบุเวลาที่แน่นอนได้ ไม่สามารถสร้างเบสไลน์ได้

- สามารถสร้างเบสไลน์ของภาระไฟฟ้า LP1A และ LP5 ได้ และสามารถตรวจสอบความผิดปกติของระบบหรือการใช้พลังงานเกินความจำเป็น

- โครงการสามารถต่อยอดเพื่อตรวจจับความผิดปกติของระบบ

- สามารถตรวจสอบสถานะและแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้ตลอด 24 ชั่วโมง ผ่านทางอินเทอร์เน็ตบนฐานข้อมูล ThingSpeak ทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสถานะการใช้ไฟฟ้าโดยไม่จำเป็นต้องอยู่ในสถานที่ทำงาน อีกทั้งยังทราบถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นและวางแผนบำรุงรักษาได้ทันเวลาที่ ซึ่งจะช่วยประหยัดเวลาและช่วยเพิ่มความมั่นคงแก่ระบบไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาลได้เป็นอย่างดี

**กิตติกรรมประกาศ**

บทความฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์ และรองศาสตราจารย์ พิชิต ล้ายอง อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ และได้กรุณาตรวจแก้ไขปัญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี ตลอดจนบุคคลต่างๆ ที่ให้ความช่วยเหลืออีกมาก จึงขอกราบขอบพระคุณและขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

**เอกสารอ้างอิง**

- [1] มนต์ชัย เทียนทอง. "การแจกแจงทางสถิติ," สถิติและวิธีการวิจัยทางเทคโนโลยีสารสนเทศ, หน้า 279-280.
- [2] ฉลอง สีก้าวสิว. 6.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ Simple Linear Regression. สืบค้นจาก [www.sites.google.com/site/mystatistics01/regression-correlation-analysis/simple-linear-regression-step](http://www.sites.google.com/site/mystatistics01/regression-correlation-analysis/simple-linear-regression-step)

**ประวัติผู้เขียน**



นางสาวัญญพิชชาญ ทองวนิชชนคุณ  
การศึกษาระดับมัธยมศึกษา : สาธิต ม.บูรพา  
การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายปริญญา ยศกำจรกุล  
การศึกษาระดับมัธยมศึกษา : เตรียมวิศวกรรมฯ พระนครเหนือ  
การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายพงษ์ศิริ ตั้งจิตวัฒนากุล  
การศึกษาระดับมัธยมศึกษา : บางมูลนากภูมิ  
การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายพรพิชษฐ์ พุกกะศรี  
การศึกษาระดับมัธยมศึกษา : เบญจมาชอุทิศ  
การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

**4.2.4 การตรวจจัดการใช้พลังงานที่ผิดปกติไปจากเบสไลน์**

จากการสร้างเบสไลน์ที่มีขอบเขตบนและล่างด้วยเส้นโค้งปกติพบว่ามีโอกาสประมาณ 0.26% ในการที่จะมีข้อมูลที่เกินขอบเขต คิดเป็นประมาณ 224 วินาที ของ 1 วัน ให้ระบบตรวจจับว่าเป็นการใช้งานผิดปกติ

**5. สรุปผลการดำเนินโครงการ**

โครงการนี้สามารถติดตั้งเข้ากับระบบการใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

**4.2.1.4 ภาระไฟฟ้าที่มีการใช้งานแบบในรูปแบบสุ่ม**

ภาระไฟฟ้าบางชนิด เช่น เครื่อง CT Scan และเครื่อง X-ray มีการใช้ขึ้นอยู่กับภาระที่มีคนเข้ามาใช้งาน จึงไม่สามารถหาเบสไลน์ได้

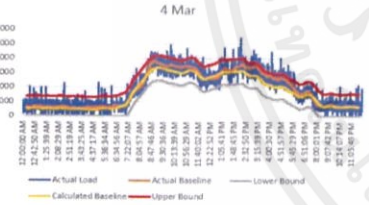
**4.2.2 การสร้างเบสไลน์**

ใช้วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ในการสร้างเส้นค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นค่ากลางของข้อมูลกำลังไฟฟ้า จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของเส้นค่าเฉลี่ยจากข้อมูลในวันเดียวกันของแต่ละสัปดาห์เพื่อใช้เป็นเบสไลน์ แล้วใช้ Linear Regression ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยกับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของแต่ละวันในสัปดาห์ ซึ่งจะได้สมการเชิงเส้นออกมาใช้ในการเปลี่ยนแปลงระดับของเบสไลน์ จากนั้นทำการหาผลต่างระหว่างเส้นค่าเฉลี่ยกับกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาเดียวกันใน 1 วัน เมื่อนำค่ามาสร้างกราฟ Histogram จะพบว่ารูปร่างใกล้เคียงกับเส้นโค้งปกติ ดังนั้นหากใช้ค่าเฉลี่ยบวกลบด้วยสามเท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จะได้ขอบเขตบนและล่าง

**4.2.3 ตัวอย่างเบสไลน์จากการคำนวณ**

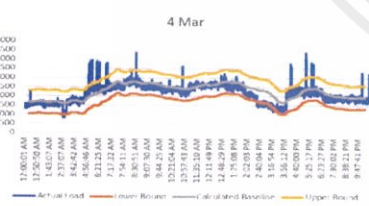
เบสไลน์ที่ขึ้นกับอุณหภูมิแวดล้อม จะทำให้ค่าเฉลี่ยของเบสไลน์เปลี่ยนแปลง แต่เบสไลน์ที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิแวดล้อม จะมีค่าเฉลี่ยเท่าเดิมตลอด แต่จะเปลี่ยนขอบเขตตามข้อมูล

**4.2.3.1 เบสไลน์ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (LP5) แสดงดังรูปที่ 4.9**



รูปที่ 4.9 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 4 มีนาคม 2019

**4.2.3.2 เบสไลน์ที่ไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (LP1A) แสดงดังรูปที่ 4.10**



รูปที่ 4.10 เบสไลน์กำลังไฟฟ้าของข้อมูลวันจันทร์ที่ 4 มีนาคม 2019



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ENERGY MONITORING SYSTEM IN HOSPITAL BUILDING

Ms. Thunpicha Tongvanichnoppakun, Mr. Parinya Yotkamhornkun, Mr. Pongsiri Tangjitwattanukul, Mr. Pornpasit Pruksasri Assistant.Prof.Dr. Piampoom Sarikpruek and Assoc.Prof. Pichit Lumyong

## Abstract

This thesis is a study and analysis of electrical load behavior in the Burapha University Hospital. The objective is measuring an energy consumption considering ambient temperature. The collected data in normal condition considered as a base line of the energy consumption are used to compare with the energy consumption at different time intervals. Energy monitoring devices, which are designed and built for the energy monitoring system in hospital, are able to measure 3-phase electrical parameters. All of data is collected into the MicroSD Card and send to the cloud database in the "ThingSpeak" platform, which can be remotely monitoring, via the Internet of Things (IoT) technology. By comparison of load behavior at normal condition with measurement data, it can present the abnormal energy consumption and system faults for improving the efficiency and stabilization of hospital building electrical system.

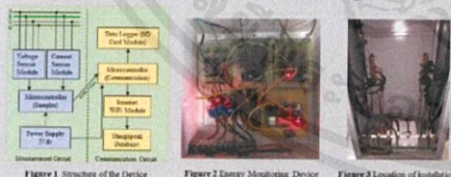
## Introduction

The hospital has high energy consumption and requires high stability of electrical system. Therefore, installation of energy monitoring systems can be used to gather and analyze energy consumption data to increase an efficiency of electrical system in hospital.

This thesis is a study of electrical load behavior with an environmental factors for create a base line of the energy consumption, which are used to compare with the energy consumption at different time intervals to present the abnormal energy consumption and system faults for improving the efficiency and stabilization of hospital building electrical system.

## Methodology

1. Create the energy monitoring device as shown in the figure 1 and 2.



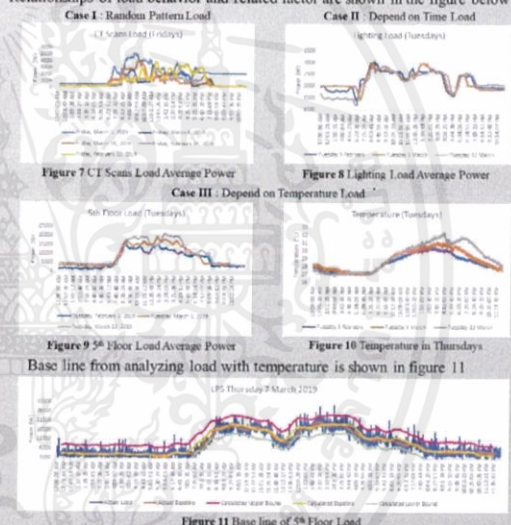
2. Install the device at MDB in electrical room as shown in figure 3 then gather data from SD Card as shown in figure 4 and 5 and show the data in real time from Thingspeak database as shown in figure 6.



3. Analyze the data of load behavior with related factors, such as temperature, working hours of the hospital, days of the week, etc. and create the baseline of load from these factors.

## Results

Relationships of load behavior and related factor are shown in the figure below



## Conclusion

- The first case, Energy consumption is random because these loads such as X-ray, CT Scans are randomly use. So it cannot create base line from load behavior but it can use the peak of load for creating upper bound to detect excessive energy consumption.
- The second case, lighting loads energy consumption are depend on working hours of the hospital. Therefore, baseline of these loads is the same on the same day of the week.
- The Third case, Energy consumption is depend on temperature by the load that relate to temperature such as air-conditioner. So the baseline of these load are varied on temperature.
- Created baseline in figure 10 can be used for detecting abnormal energy consumption. If loads are higher than upper bound or lower than lower bound it can alert to technicians in the hospital to examine the problem.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 1A ชั้น 1

1	แสงสว่างหน้าลิฟต์	2	เต้ารับคอม
3	แสงสว่างทางเดิน ห้องครัว	4	เต้ารับอัลตราชาวัน,ห้องบัตร
5	แสงสว่าง	6	เต้ารับ OPD ด้านหน้า
7	แสงสว่างห้องทำบัตร	8	เต้ารับห้องพักแพทย์ OPD
9	แสงสว่างห้องเอกซเรย์	10	เต้ารับห้องตรวจ OPD
11	แสงสว่างห้องตรวจ	12	เต้ารับห้องตรวจ OPD
13	แสงสว่างห้องพักแพทย์ OPD	14	เต้ารับห้องยา
15	แสงสว่างห้องพักแพทย์ OPD	16	เต้ารับ
17	แสงสว่างห้องพักแพทย์ OPD	18	ตู้เย็นห้องยา
19	แสงสว่างห้องพักแพทย์ OPD	20	ตู้เย็นห้องยา,พัฒลม
21	แสงสว่างห้องพักแพทย์ OPD	22	เต้ารับห้องปฏิบัติการ
23	แสงสว่างห้องพักแพทย์ OPD	24	พัฒลมห้องยา
25	แสงสว่าง	26	เต้ารับห้องปฏิบัติการ
27	เต้ารับตู้โทรศัพท์,เครื่องเสียง	28	แสงสว่างห้องปฏิบัติการ
29	แสงสว่างห้องทำบัตร	30	แสงสว่างห้อง Admittion
31	ว่าง	32	
33	ว่าง	34	
35	ว่าง	36	
37	ว่าง	38	
39	ว่าง	40	
41	ว่าง	42	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 1B ชั้น 1

1	พัตลมโคจร	2	เต้ารับ
3	พัตลมโคจร	4	เต้ารับ
5	พัตลมโคจร	6	เต้ารับ (ห้อง X-ray ล้างฟิล์ม)
7	พัตลมโคจร	8	แอร์ (ห้องบัตร)
9	พัตลมโคจร	10	เต้ารับ (ระเบียบแผนก OPD)
11	พัตลมโคจร	12	ว่าง
13	แอร์ (ห้องพักแพทย์ OPD)	14	เต้ารับ (ห้องยา)
15	พัตลมโคจร	16	เต้ารับ (ห้องยา)
17	แอร์	18	ว่าง
19	แอร์	20	ว่าง
21	แอร์	22	ว่าง
23	แอร์	24	แอร์จ่ายกลาง
25	แอร์ (X-ray)	26	ว่าง
27	แอร์ (X-ray)	28	เต้ารับโรงซัก,จ่ายกลาง
29	แอร์	30	เต้ารับโรงซัก,จ่ายกลาง
31	แอร์ บัตร1	32	] ปุ่มกำจัดน้ำเสีย
33	แอร์ บัตร2	34	
35	แอร์ (Zone X-ray)	36	
37	แอร์	38	] ปุ่มกำจัดน้ำเสีย
39	แอร์ (ครัว,ยา)	40	
41		42	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 1C ชั้น 1

1	]	2	
3	{	4	แอร์
5	]	6	
7	]	8	]
9	{	10	แอร์ (ห้องยา)
11	]	12	]
13	]	14	]
15	{	16	แอร์ (คลังยา)
17	]	18	]
19	]	20	]
21	{	22	แอร์
23	]	24	]
25	]	26	]
27	{	28	แอร์ (ห้องเก็บเงิน,จ่ายกลาง)
29	]	30	]
31	]	32	แอร์
33	{	34	แอร์
35	]	36	แอร์
37	]	38	แอร์
39	{	40	แอร์
41	]	42	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 1G ชั้น 1

1	แสงสว่าง	2	แสงสว่าง
3	แสงสว่าง	4	แสงสว่าง
5	แสงสว่าง	6	แสงสว่าง
7	แสงสว่าง	8	แสงสว่าง
9	แสงสว่าง	10	แสงสว่าง
11	แสงสว่าง	12	แสงสว่าง
13	แสงสว่าง	14	ATM
15	แสงสว่าง	16	ATM
17	แสงสว่าง	18	แสงสว่าง
19	แสงสว่าง	20	แสงสว่าง
21	แสงสว่าง	22	แสงสว่าง
23	แสงสว่าง	24	แสงสว่าง
25	แสงสว่างหน้าห้อง LAB	26	แสงสว่าง
27	แสงสว่าง	28	แสงสว่าง
29	Fire Alarm Control Panel	30	แสงสว่าง
31	แสงสว่างรอบอาคาร	32	] ปุ่มดูดควัน
33	แอร์	34	
35	แอร์	36	
37	แอร์	38	Alarm Pipeline

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โภชนาการ ชั้น 1

1	พัลลม	2	ว่าง
3	พัลลม	4	แสงสว่าง
5	พัลลม	6	แสงสว่าง
7	เต๋ารับ	8	แสงสว่าง
9	แอร์	10	แสงสว่าง
11	แอร์	12	ว่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 2A ชั้น 2

1	เต๋ารับ ICU	2	แสงสว่างห้องตู้เบรคเกอร์
3	ว่าง	4	แสงสว่าง
5	เต๋ารับ ICU	6	ว่าง
7	เต๋ารับ (ทันตกรรม)	8	แสงสว่าง
9	เต๋ารับ (ทันตกรรม,ห้องผ่าตัด)	10	แสงสว่าง , พัดลม
11	ว่าง	12	แสงสว่าง
13	เต๋ารับ	14	แสงสว่าง , พัดลม
15	เต๋ารับ	16	ว่าง
17	เต๋ารับ	18	แสงสว่าง
19	พัดลมดูดอากาศ	20	แสงสว่าง
21	แอร์	22	แสงสว่าง , พัดลม
23	แอร์	24	แสงสว่าง
25	อุปกรณ์ทำฟัน (ทันตกรรม)	26	แสงสว่าง
27	แอร์	28	แสงสว่าง
29	แอร์แผนกไตเทียม	30	แสงสว่าง
31	แอร์	32	แสงสว่าง
33	แอร์ห้องบัตร	34	แสงสว่าง
35		36	พัดลมโคจร
37	]	38	]
39	แอร์ทันตกรรม	40	แอร์ทันตกรรม
41	]	42	]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 2B ชั้น 2

1	พัดลมดูดอากาศ	2	พัดลมดูดอากาศ
3	พัดลมดูดอากาศ	4	พัดลมดูดอากาศ
5	พัดลมดูดอากาศ ICU	6	แอร์
7	} ใต้รับ (ทันตกรรม)	8	พัดลมดูดอากาศ
9		10	พัดลมดูดอากาศ
11		12	พัดลมดูดอากาศ
13	แอร์	14	แอร์การเงิน
15	แอร์	16	แอร์ห้องทันตกรรม
17	แอร์	18	} แอร์
19	แอร์	20	
21		22	
23	แอร์	24	
25	แอร์	26	} แอร์ 36000 BTU
27	แอร์ห้องธุรการ	28	
29	แอร์ห้องธุรการ	30	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 2G ชั้น 2

1	เต้ารับ	2	แสงสว่างหน้าแผนก OR
3	เต้ารับห้องตา	4	แสงสว่าง
5	เต้ารับ	6	แสงสว่าง
7	เต้ารับ	8	แสงสว่าง
9	เต้ารับ	10	แสงสว่าง
11	แสงสว่าง	12	แสงสว่าง
13	ห้องซักฟลายผ่าตัด	14	แสงสว่าง,เต้ารับห้องฟัน
15	แสงสว่าง ICU	16	แสงสว่าง
17	แสงสว่าง ICU	18	แสงสว่าง
19	แสงสว่าง OR	20	แสงสว่างบันได
21	แสงสว่าง OR	22	เต้ารับห้องฟัน
23	แสงสว่างหน้าแผนก OR	24	อุปกรณ์ทำฟันห้อง 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 3A ชั้น 3

1	แสงสว่าง	2	แสงสว่าง (ห้องคลอด)
3	แสงสว่าง	4	แสงสว่าง (ห้องคลอด)
5	แสงสว่าง	6	แสงสว่าง (304)
7	แสงสว่าง (ห้องน้ำ 303)	8	แสงสว่าง (304)
9	แสงสว่าง (ทางเดิน)	10	แสงสว่าง (304)
11	แสงสว่าง counter (303)	12	แสงสว่าง (ห้องคลอด)
13	แสงสว่าง (303)	14	แสงสว่าง (ห้องคลอด)
15	แสงสว่าง (ห้องฝากครรภ์)	16	ว่าง
17	แสงสว่าง (ห้องฝากครรภ์)	18	แสงสว่าง counter (304)
19	แสงสว่าง (ห้องคลอด)	20	แสงสว่าง, พัฒม (304)
21	แสงสว่าง (ห้องคลอด)	22	ว่าง
23	แสงสว่าง ( )	24	ว่าง
25	แสงสว่าง (ห้องคลอด)	26	ว่าง
27	ว่าง	28	เต้ารับ
29	ว่าง	30	เต้ารับ
31	แสงสว่าง	32	เต้ารับ
33	เต้ารับ (304)	34	เต้ารับ
35	เต้ารับ (304)	36	เต้ารับ 303
37	เต้ารับ	38	ว่าง
39	เต้ารับ	40	เต้ารับ (ห้องคลอด)
41	เต้ารับ	42	เต้ารับ (ห้องคลอด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 3B ชั้น 3

1	}		2	แอร์ (ห้องคลอด)	
3		แอร์ (ห้องเด็ก,303)	4	พัดลมดูดอากาศ (ห้องคลอด)	
5			6	พัดลมดูดอากาศ (ห้องเด็ก)	
7		แอร์ (ห้องเด็ก)	8	พัดลมดูดอากาศ (ห้องเด็ก)	
9		แอร์ (ห้องเด็ก)	10	พัดลมดูดอากาศ (ห้องฝากครรภ์)	
11		แอร์ (ห้องเด็ก)	12	พัดลมดูดอากาศ (ห้องคลอด)	
13		แอร์ (ห้องเด็ก)	14	พัดลมโฉบ (303)	
15		แอร์ (ห้องเด็ก)	16	พัดลมโฉบ (304)	
17		แอร์ (ห้องฝากครรภ์)	18	พัดลมโฉบ (ห้องคลอด)	
19		แอร์ (ห้องฝากครรภ์)	20	}	
21		แอร์ (ห้องฝากครรภ์)	22		ลิฟต์ขนของ (ห้องคลอด)
23		แอร์ (ห้องฝากครรภ์)	24		
25		แอร์ (ห้องฝากครรภ์)	26	}	
27		แอร์ (ห้องคลอด)	28		เครื่องล้างหมอน BEP PAN (ห้องคลอด)
29		แอร์ (ห้องคลอด)	30		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 3C ชั้น 3

1	พัฒลมดูตอากาศ (ห้องคลอด)	2	}
3	ว่าง	4	
5	แอร์ (ห้องคลอด)	6	}
7	เต้ารับ (ห้องประชุม)	8	
9	แอร์ (ห้องประชุม)	10	}
11	แอร์ (ห้องประชุม)	12	
13	แอร์ (ห้องคลอด)	14	แอร์ (ห้องคลอด)
15	แอร์ (ห้องคลอด)	16	แอร์ (ห้องคลอด)
17	แอร์ (ห้องคลอด)	18	แอร์ (ห้องคลอด)
19	แอร์ (ห้องคลอด)	20	แอร์ (ห้องคลอด)
21	แอร์ (ห้องคลอด)	22	แอร์ (ห้องคลอด)
23		24	แอร์ (ห้องคลอด)
25	(ศูนย์กุมารเวช)	26	แอร์ (ห้องคลอด)
27	(ศูนย์กุมารเวช)	28	
29	(ศูนย์กุมารเวช)	30	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 3G ชั้น 3

1	เต้ารับ (303)	2	แสงสว่าง (ห้องคลอด)
3	เต้ารับ (ห้องคลอด)	4	แสงสว่าง (ห้องคลอด)
5	เต้ารับ (ห้องคลอด)	6	แสงสว่าง (ห้องคลอด)
7	เต้ารับ (counter 304)	8	แสงสว่าง (304)
9	เต้ารับ (ห้องคลอด)	10	แสงสว่าง (ห้องคลอด)
11	Alarm pipeline	12	แสงสว่าง (ห้องเตรียมยา 304)
13	แสงสว่าง 304	14	แสงสว่าง (303)
15	ว่าง	16	แสงสว่าง (ห้องคลอด)
17	เต้ารับ (ห้องเด็กเล็ก)	18	แสงสว่าง (NICU)
19	(ICU เด็ก)	20	แสงสว่าง (ทางเดินหน้า lift)
21	(ว่าง)	22	แสงสว่าง (ห้องคลอด)
23	(ว่าง)	24	เต้ารับ (ห้องคลอด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 4A ชั้น 4

1	แสงสว่าง	2	แอร์ตัวใหม่
3	แสงสว่าง	4	แสงสว่างในห้องน้ำ 406
5	แสงสว่าง	6	ว่าง
7	ว่าง	8	แสงสว่างห้องน้ำหญิง
9	แสงสว่าง 403	10	แสงสว่างหน้าห้อง 406
11	แสงสว่างแถวใน 403	12	ว่าง
13	แสงสว่างโถงหน้าห้อง 403	14	แสงสว่างห้อง 406
15	แสงสว่าง	16	แสงสว่างห้อง 406
17	แสงสว่างหน้าห้อง 401	18	แอร์ห้องนวด
19	แสงสว่าง	20	แอร์ห้องนวด
21	ว่าง	22	แอร์ห้องนวด
23	แสงสว่าง	24	แอร์ห้องนวด
25	แสงสว่าง	26	
27	แสงสว่างในห้องควบคุม 404	28	
29	แสงสว่าง	30	แสงสว่างห้อง 406
31	ว่าง	32	ว่าง
33	ว่าง	34	ว่าง
35	ว่าง	36	ว่าง
37	ว่าง	38	แอร์ห้องผู้สูงอายุ
39	ว่าง	40	แอร์ห้องผู้สูงอายุ
41	ว่าง	42	แอร์ห้องผู้สูงอายุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 4B ชั้น 4

1	]	2	]
3	{ แอร์	4	{ แอร์
5	]	6	]
7	]	8	]
9	{ แอร์	10	{ แอร์
11	]	12	]
13	แอร์	14	เต้ารับ
15	แอร์	16	เต้ารับ
17	แอร์	18	เต้ารับ
19	แอร์	20	เต้ารับ
21	พัดลมโคจร	22	เต้ารับ
23	พัดลมโคจร	24	เต้ารับ
25	พัดลมโคจร	26	เต้ารับ
27	เครื่องล้างหม้อนอน	28	เต้ารับ
29	พัดลมโคจร	30	เต้ารับ
31	พัดลมโคจร (หอผู้ป่วยศัลยกรรมชาย)	32	เต้ารับ
33	เต้ารับ	34	เต้ารับ
35	เต้ารับ	36	เต้ารับ
37	เต้ารับ	38	เต้ารับ 406 ภายนอก
39	เต้ารับ	40	เต้ารับ
41	เต้ารับ	42	เต้ารับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 4G ชั้น 4

1	แสงสว่าง	2	แสงสว่างห้องเคาท์เตอร์ 404
3	แสงสว่าง 401	4	แสงสว่าง
5	แสงสว่าง 406	6	แสงสว่าง
7	แสงสว่างติดหน้าต่าง 403	8	แสงสว่าง
9	แสงสว่าง	10	แสงสว่าง
11	แสงสว่างหน้าลิฟต์	12	แสงสว่าง
13	เต้ารับฉุกเฉินเคาท์เตอร์ 403	14	แสงสว่าง
15	แสงสว่าง	16	แสงสว่าง
17	แสงสว่าง	18	แสงสว่าง
19	แสงสว่าง	20	แสงสว่าง
21	แสงสว่าง	22	แสงสว่าง
23	แสงสว่าง	24	แสงสว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 5 ชั้น 4

1	แสงสว่าง	2	แสงสว่าง,พัคลม
3	แสงสว่าง	4	แสงสว่าง,พัคลม
5	แสงสว่าง,พัคลม	6	แสงสว่าง,พัคลม
7	แสงสว่าง,พัคลม 512	8	แสงสว่าง,พัคลม
9	แสงสว่าง,พัคลม	10	แสงสว่าง,พัคลม
11	แสงสว่าง,พัคลม	12	แสงสว่าง,พัคลม
13	แสงสว่าง,พัคลม	14	เต้ารับ 506-509
15	เต้ารับ 510-513, พัคลมเพดาน 501	16	แอร์ห้องประชุม
17	แสงสว่าง,พัคลม	18	แสงสว่าง
19	แอร์กายภาพบำบัด	20	แสงสว่าง
21	แอร์กายภาพบำบัด	22	แสงสว่าง
23	แสงสว่าง 504-505	24	เต้ารับ
25	แสงสว่าง	26	เต้ารับ
27	แสงสว่าง	28	เต้ารับห้องเครื่องมือ
29	เต้ารับ 502-507	30	เต้ารับเคาท์เตอร์พยาบาลและห้อง ด้านหลัง
31	เต้ารับ 514-517	32	
33	เต้ารับ 519	34	แอร์ 520
35	เต้ารับ	36	แอร์ เคาท์เตอร์พยาบาล
37	แอร์	38	แอร์
39	แอร์ VIP 501	40	แอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 5G ชั้น 5

1	แสงสว่างทิศตะวันตก	2	แสงสว่างห้องหลังเคาท์เตอร์
3	แสงสว่าง	4	แสงสว่างหน้าห้องพิเศษ 501-509
5	แสงสว่างหน้าลิฟต์	6	เมนออก
7	แสงสว่างหน้าห้องพิเศษ 515-516	8	แสงสว่าง
9	แสงสว่าง	10	ว่าง
11	ว่าง	12	แสงสว่างเคาท์เตอร์

## New Load Center ชั้น 5

1	แอร์ (ห้อง 510)	2	แอร์ (ห้อง 502)
3	แอร์ (ห้อง 511)	4	แอร์ (ห้อง 503)
5	แอร์ (ห้อง 512)	6	แอร์ (ห้อง 504)
7	แอร์ (ห้อง 513)	8	แอร์ (ห้อง 505)
9	แอร์ (ห้อง 514)	10	แอร์ (ห้อง 506)
11	แอร์ (ห้อง 515)	12	แอร์ (ห้อง 507)
13	แอร์ (ห้อง 516)	14	แอร์ (ห้อง 508)
15	แอร์ (ห้อง 517)	16	แอร์ (ห้อง 509)
17	เครื่องต้มน้ำร้อนหลังเคาท์เตอร์	18	Alarm pipeline

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 6 ชั้น 6

1	แสงสว่าง	2	เต้ารับ
3	แสงสว่าง	4	เต้ารับ
5	แอร์ (เคาท์เตอร์พยาบาล)	6	เต้ารับ 613
7	แสงสว่าง,พัดลม	8	เต้ารับ 614
9	แสงสว่าง,พัดลม	10	เต้ารับ
11	แสงสว่าง,พัดลม	12	เต้ารับ
13	แสงสว่าง,พัดลม 610	14	เต้ารับห้องพักและ 601
15	แสงสว่าง,พัดลม	16	เมนออกเรียกพยาบาล
17	แสงสว่าง 617	18	เต้ารับ (ward 6)
19	สํารอง	20	เต้ารับ
21	แสงสว่าง	22	แอร์เคาท์เตอร์
23	แสงสว่าง	24	แอร์
25	แสงสว่าง,พัดลม	26	เต้ารับห้องพิเศษ
27	แสงสว่าง,พัดลม	28	แอร์
29	แสงสว่าง,พัดลม	30	แอร์
31	แสงสว่าง,พัดลม	32	พัดลมดูดอากาศห้องน้ำ
33	แสงสว่าง	34	แอร์ 601
35	แสงสว่าง	36	สํารอง
37	สํารอง	38	สํารอง
39	สํารอง	40	สํารอง
41	เต้ารับห้องช่าง	42	คลังพัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LP 6G ชั้น 6

1	แสงสว่าง (เคาท์เตอร์)	2	สำรอง (หน้าลิฟต์)
3	แสงสว่าง (หน้าลิฟต์)	4	สำรอง
5	แสงสว่าง (ห้องช่าง)	6	สำรอง
7	แสงสว่าง (หน้าห้องทิศตะวันออก)	8	สำรอง
9	แสงสว่าง (หน้าห้องทิศตะวันตก)	10	สำรอง
11	แสงสว่าง	12	สำรอง

## New Load Center ชั้น 6

1	แอร์ (ห้อง 610)	2	แอร์ (ห้อง 602)
3	แอร์ (ห้อง 611)	4	แอร์ (ห้อง 603)
5	แอร์ (ห้อง 612)	6	แอร์ (ห้อง 604)
7	แอร์ (ห้อง 613)	8	แอร์ (ห้อง 605)
9	แอร์ (ห้อง 614)	10	แอร์ (ห้อง 606)
11	แอร์ (ห้อง 615)	12	แอร์ (ห้อง 607)
13	แอร์ (ห้อง 616)	14	แอร์ (ห้อง 608)
15	แอร์ (ห้อง 617)	16	แอร์ (ห้อง 609)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# Technical Specification



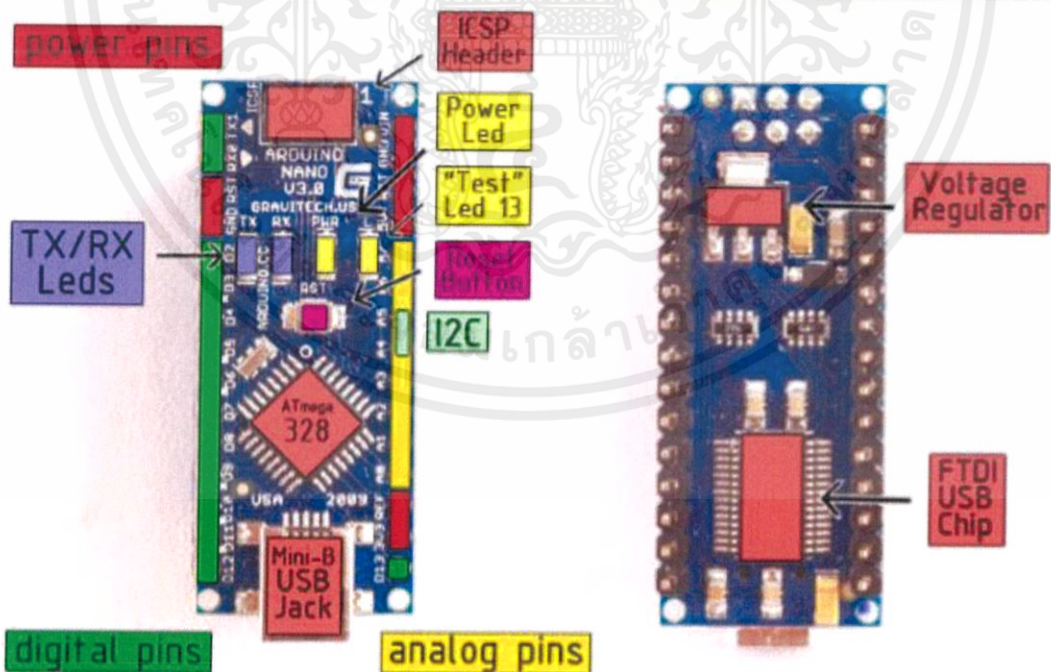
Arduino Nano 3.0 (ATmega328): [schematic](#), [Eagle files](#).

Arduino Nano 2.3 (ATmega168): [manual](#) (pdf), [Eagle files](#). *Note:* since the free version of Eagle does not handle more than 2 layers, and this version of the Nano is 4 layers, it is published here unrouted, so users can open and use it in the free version of Eagle.

## Summary

Microcontroller	Atmel ATmega168 or ATmega328
Operating Voltage (logic level)	5 V
Input Voltage (recommended)	7-12 V
Input Voltage (limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	8
DC Current per I/O Pin	40 mA
Flash Memory	16 KB (ATmega168) or 32 KB (ATmega328) of which 2 KB used by bootloader
SRAM	1 KB (ATmega168) or 2 KB (ATmega328)
EEPROM	512 bytes (ATmega168) or 1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz
Dimensions	0.73" x 1.70"

## the board



RADIOSPARES

RADIONICS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Power

The Arduino Nano can be powered via the Mini-B USB connection, 6-20V unregulated external power supply (pin 30), or 5V regulated external power supply (pin 27). The power source is automatically selected to the highest voltage source.

The FTDI FT232RL chip on the Nano is only powered if the board is being powered over USB. As a result, when running on external (non-USB) power, the 3.3V output (which is supplied by the FTDI chip) is not available and the RX and TX LEDs will flicker if digital pins 0 or 1 are high.

## Memory

The ATmega168 has 16 KB of flash memory for storing code (of which 2 KB is used for the bootloader); the ATmega328 has 32 KB, (also with 2 KB used for the bootloader). The ATmega168 has 1 KB of SRAM and 512 bytes of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)); the ATmega328 has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM.

## Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Nano 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 FTDI 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 Nano has 8 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 [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **I<sup>2</sup>C: 4 (SDA) and 5 (SCL).** Support I<sup>2</sup>C (TWI) communication using the [Wire library](#) (documentation on the Wiring website).

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 ATmega168 ports](#).



**radiospares RADIONICS**



## Communication

The Arduino Nano has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega168 and ATmega328 provide UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An FTDI FT232RL on the board channels this serial communication over USB and the [FTDI drivers](#) (included with the Arduino software) provide a virtual com port to software on the computer. 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 FTDI 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 Nano's digital pins.

The ATmega168 and 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 ATmega168 or ATmega328 datasheet.

## Programming

The Arduino Nano can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Diecimila, Duemilanove, or Nano w/ ATmega168" or "Arduino Duemilanove or Nano w/ ATmega328" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega168 or ATmega328 on the Arduino Nano 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.

## Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Nano 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 FT232RL is connected to the reset line of the ATmega168 or 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 Nano 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 Nano. 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.



**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'll need to install the FTDI Drivers to let your PC talk to the board. First **Plug the Arduino to your PC via USB cable**.

### Blink led

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 Arduino NANO and with the AtMEGA you're using (probably 328)

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

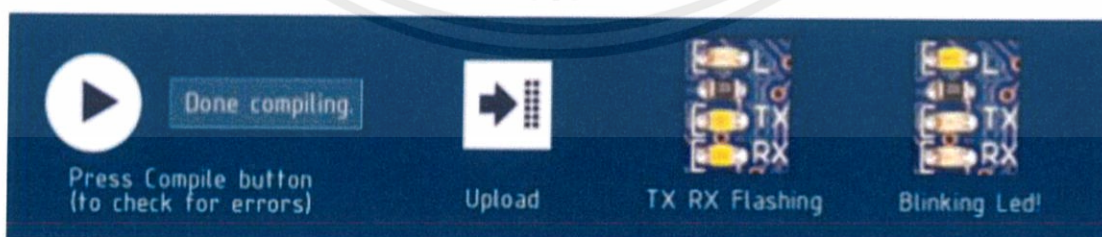
```

Sketch - Arduino 0017
File Edit Sketch Tools Help
Arduino
// The amount of time between each time the LED starts
// to blink (in seconds)
const int delayTime = 1000; // set delay to one second

// the pin that the LED is attached to
const int ledPin = 13; // set the LED pin

void setup() {
  // set the pin as an output
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

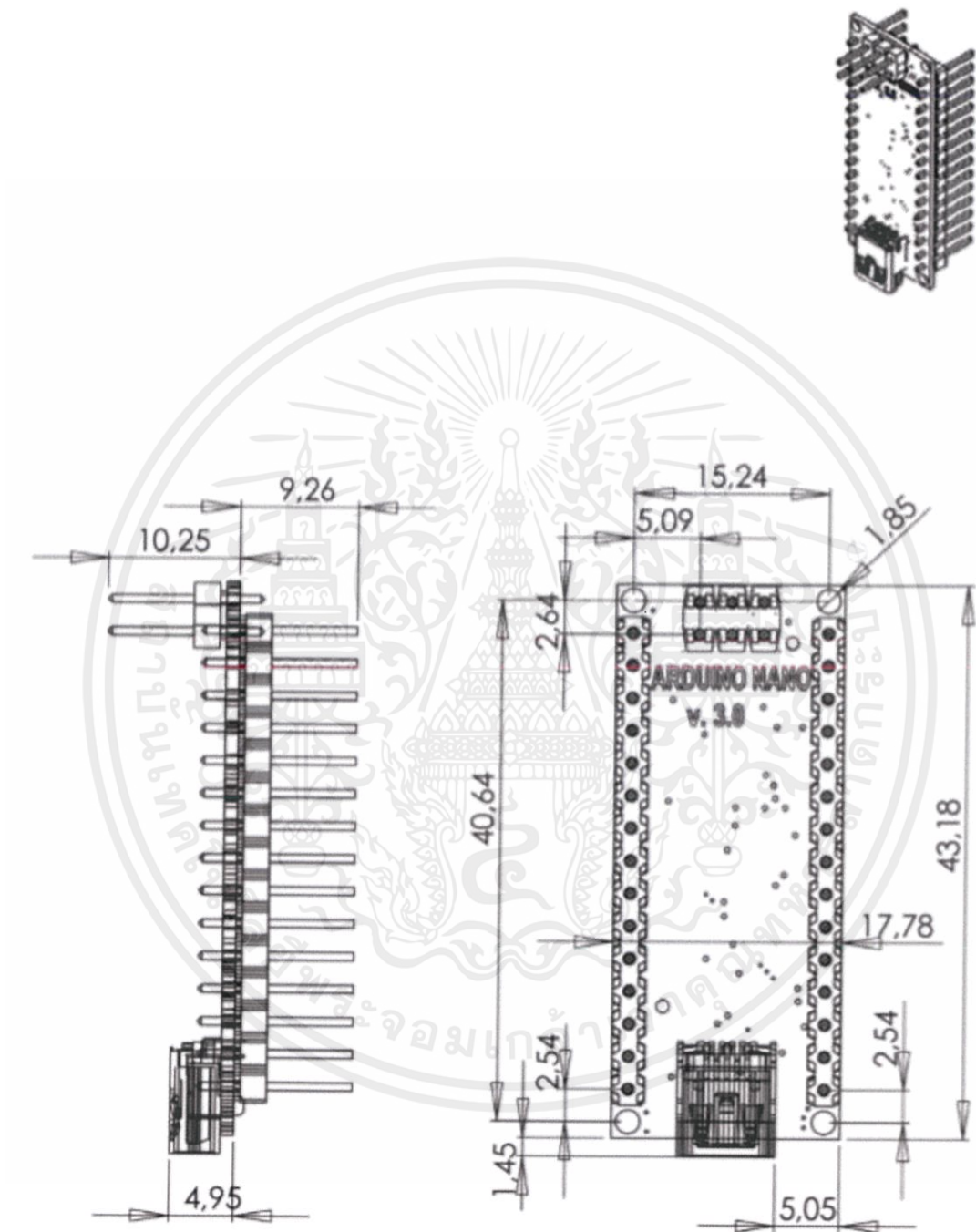
void loop() {
  digitalWrite(ledPin, HIGH); // set the LED on
  delay(delayTime);          // wait for a second
  digitalWrite(ledPin, LOW); // set the LED off
  delay(delayTime);          // wait for a second
}
  
```



**radiospares RADIONICS**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**radiospares RADIONICS**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ZMPT101B VOLTAGE TRANSFORMER

### Applications

- \* Sensing Overload Current
- \* Ground fault detection
- \* Metering
- \* Analog to Digital Circuits



Product Illustration

### Electrical Specification

Primary Current	2mA
Secondary Current	2mA
Turns Ratio	1000:1000
Phase Angle Error	$\leq 20'$ (50 $\Omega$ )
Current Range	0 ~ 3mA
Linearity	0.1%
Accuracy Class	0.2
Rated Burden	$\leq 200 \Omega$
Frequency Range	50 ~ 60Hz
Dielectric Level	3000VAC/min
DC Resistance at 20 $^{\circ}$ C	110 $\Omega$

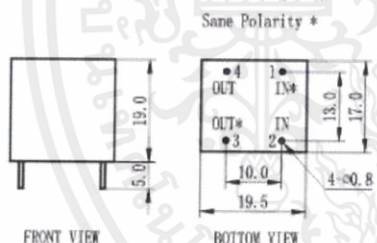
### Mechanical Specification

Cup	PBT
Encapsulant	Epoxy
Terminals	Pin $\phi 0.80$ mm
Tolerance	$\pm 0.2$ mm
Approx. Weight	13g
Case	Carton

### Environment Specification

Storage Temperature	-40 $^{\circ}$ C ~ +130 $^{\circ}$ C
Insulation Resistance	>100 M $\Omega$

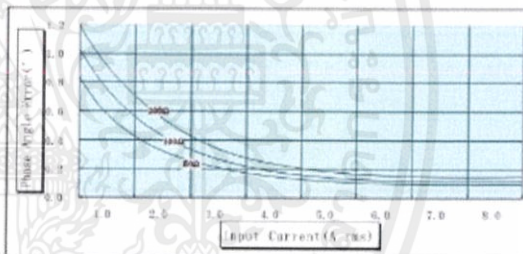
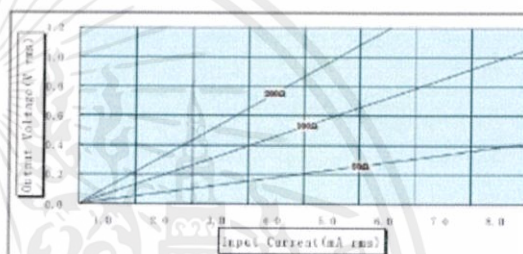
### Dimensions (mm)



### Label

TYFR.ZMPT101B  
RATIO:2mA/2mA  
NAN/DIG ZEMING

### Output Characteristic



**Description:** Micro Precision Voltage Transformers, with low price, small size and easy PCB mounting, are mainly used in electrical energy meters, household electrical equipment, industrial apparatuses, electrical testing equipment and relay protection, widely acclaimed as well.

# Split core current transformer



Model: SCT024TS

**Characteristic:**

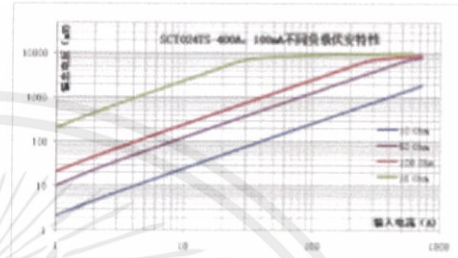
Hanging installation, Crimping terminal output, mechanical strength:  
Open and closed time not less than 1000(test when 25°C).



**Technical indicators:**

Hanging installation, Crimping terminal output  
Material of core: Silicon steel sheet  
Fire resistance property: UL94-V0  
Work voltage: 660V  
Work temperature: -25°C ~ +60°C  
Storage temperature: -30°C ~ +90°C  
Frequency range: 50Hz ~ 60Hz  
Dielectric strength: 3.5KV 50Hz 1min

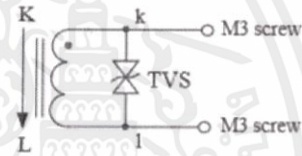
Characteristic curve in different load volt-ampere:



**Electric parameter:**

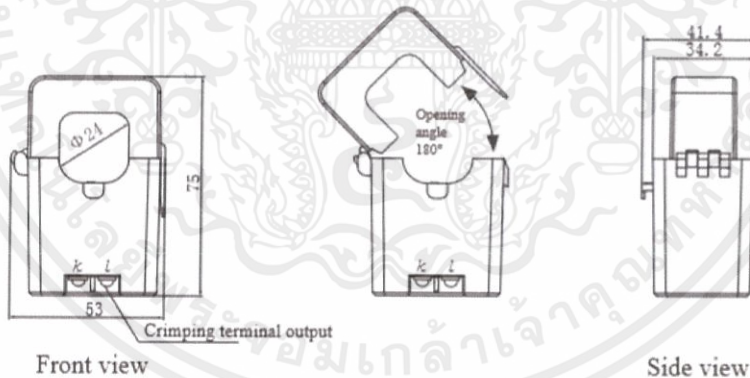
Rated input(rms)	400	A
Max. Input	480	A
Rated output	0.1	A
Turns ratio	1: 4000	
Accuracy	0.5 / 1	%
Linearity	≤ 0.2	%
Phase error	+0.5 ± 0.6°	
max.Sampling resistance	8	Ω
Weight	204	g

**Wiring diagram:**



TVS: Transient voltage suppressor, Current output type

**Outline size diagram(in mm):**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DS3231

Extremely Accurate I<sup>2</sup>C-Integrated  
RTC/TCXO/Crystal

## General Description

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I<sup>2</sup>C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SO package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I<sup>2</sup>C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of V<sub>CC</sub> to detect power failures, to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the RST pin is monitored as a pushbutton input for generating a  $\mu$ P reset.

## Benefits and Features

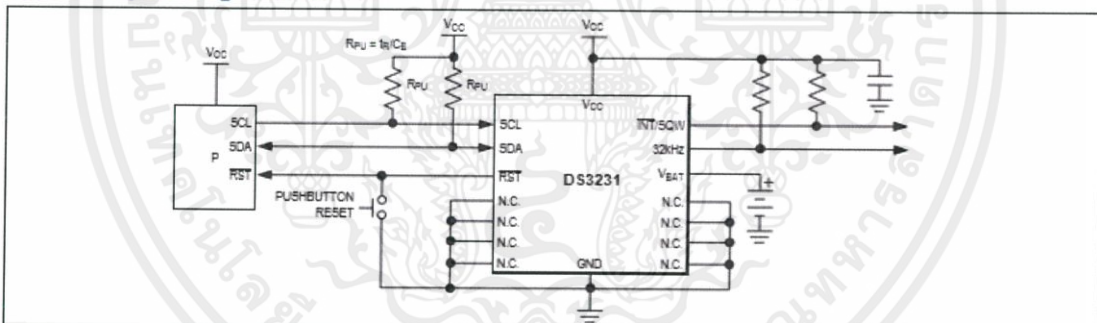
- Highly Accurate RTC Completely Manages All Timekeeping Functions
  - Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year, with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
  - Accuracy  $\pm 2$ ppm from 0°C to +40°C
  - Accuracy  $\pm 3.5$ ppm from -40°C to +85°C
  - Digital Temp Sensor Output:  $\pm 3^\circ\text{C}$  Accuracy
  - Register for Aging Trim
  - RST Output/Pushbutton Reset Debounce Input
  - Two Time-of-Day Alarms
  - Programmable Square-Wave Output Signal
- Simple Serial Interface Connects to Most Microcontrollers
  - Fast (400kHz) I<sup>2</sup>C Interface
- Battery-Backup Input for Continuous Timekeeping
  - Low Power Operation Extends Battery-Backup Run Time
  - 3.3V Operation
- Operating Temperature Ranges: Commercial (0°C to +70°C) and Industrial (-40°C to +85°C)
- Underwriters Laboratories® (UL) Recognized

## Applications

- Servers
- Telematics
- Utility Power Meters
- GPS

Ordering Information and Pin Configuration appear at end of data sheet.

## Typical Operating Circuit



Underwriters Laboratories is a registered certification mark of Underwriters Laboratories Inc.

## DS3231

Extremely Accurate I<sup>2</sup>C-Integrated  
RTC/TCXO/Crystal

## Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground ..... -0.3V to +6.0V  
 Junction-to-Ambient Thermal Resistance ( $\theta_{JA}$ ) (Note 1) 73°C/W  
 Junction-to-Case Thermal Resistance ( $\theta_{JC}$ ) (Note 1) ..... 23°C/W  
 Operating Temperature Range  
 DS3231S ..... 0°C to +70°C  
 DS3231SN ..... -40°C to +85°C

Junction Temperature ..... +125°C  
 Storage Temperature Range ..... -40°C to +85°C  
 Lead Temperature (soldering, 10s) ..... +260°C  
 Soldering Temperature (reflow, 2 times max) ..... +260°C  
 (see the *Handling, PCB Layout, and Assembly* section)

**Note 1:** Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to [www.maximintegrated.com/thermal-tutorial](http://www.maximintegrated.com/thermal-tutorial).

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## Recommended Operating Conditions

( $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ , unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	$V_{CC}$		2.3	3.3	5.5	V
	$V_{BAT}$		2.3	3.0	5.5	V
Logic 1 Input SDA, SCL	$V_{IH}$		0.7 x $V_{CC}$		$V_{CC} + 0.3$	V
Logic 0 Input SDA, SCL	$V_{IL}$		-0.3		0.3 x $V_{CC}$	V

## Electrical Characteristics

( $V_{CC} = 2.3V$  to  $5.5V$ ,  $V_{CC}$  = Active Supply (see Table 1),  $T_A = T_{MIN}$  to  $T_{MAX}$ , unless otherwise noted.) (Typical values are at  $V_{CC} = 3.3V$ ,  $V_{BAT} = 3.0V$ , and  $T_A = +25^\circ C$ , unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Supply Current	$I_{CCA}$	(Notes 4, 5)	$V_{CC} = 3.63V$		200	$\mu A$
			$V_{CC} = 5.5V$		300	
Standby Supply Current	$I_{CCS}$	I <sup>2</sup> C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off (Note 5)	$V_{CC} = 3.63V$		110	$\mu A$
			$V_{CC} = 5.5V$		170	
Temperature Conversion Current	$I_{CCSCONV}$	I <sup>2</sup> C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off	$V_{CC} = 3.63V$		575	$\mu A$
			$V_{CC} = 5.5V$		650	
Power-Fail Voltage	$V_{PF}$		2.45	2.575	2.70	V
Logic 0 Output, 32kHz, INT/SQW, SDA	$V_{OL}$	$I_{OL} = 3mA$			0.4	V
Logic 0 Output, RST	$V_{OL}$	$I_{OL} = 1mA$			0.4	V
Output Leakage Current 32kHz, INT/SQW, SDA	$I_{LO}$	Output high impedance	-1	0	+1	$\mu A$
Input Leakage SCL	$I_{LI}$		-1		+1	$\mu A$
RST Pin I/O Leakage	$I_{OL}$	RST high impedance (Note 6)	-200		+10	$\mu A$
$V_{BAT}$ Leakage Current ( $V_{CC}$ Active)	$I_{BATLKG}$			25	100	nA

DS3231

Extremely Accurate I<sup>2</sup>C-Integrated  
RTC/TCXO/Crystal**Electrical Characteristics (continued)**(V<sub>CC</sub> = 2.3V to 5.5V, V<sub>CC</sub> = Active Supply (see Table 1), T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.) (Typical values are at V<sub>CC</sub> = 3.3V, V<sub>BAT</sub> = 3.0V, and T<sub>A</sub> = +25°C, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Frequency	f <sub>OUT</sub>	V <sub>CC</sub> = 3.3V or V <sub>BAT</sub> = 3.3V		32.768			kHz
Frequency Stability vs. Temperature (Commercial)	Δf/f <sub>OUT</sub>	V <sub>CC</sub> = 3.3V or V <sub>BAT</sub> = 3.3V, aging offset = 00h	0°C to +40°C	±2			ppm
			>40°C to +70°C	±3.5			
Frequency Stability vs. Temperature (Industrial)	Δf/f <sub>OUT</sub>	V <sub>CC</sub> = 3.3V or V <sub>BAT</sub> = 3.3V, aging offset = 00h	-40°C to <0°C	±3.5			ppm
			0°C to +40°C	±2			
			>40°C to +85°C	±3.5			
Frequency Stability vs. Voltage	Δf/V			1			ppm/V
Trim Register Frequency Sensitivity per LSB	Δf/LSB	Specified at:	-40°C	0.7			ppm
			+25°C	0.1			
			+70°C	0.4			
			+85°C	0.8			
Temperature Accuracy	Temp	V <sub>CC</sub> = 3.3V or V <sub>BAT</sub> = 3.3V		-3		+3	°C
Crystal Aging	Δf/f <sub>O</sub>	After reflow, not production tested	First year	±1.0			ppm
			0–10 years	±5.0			

**Electrical Characteristics**(V<sub>CC</sub> = 0V, V<sub>BAT</sub> = 2.3V to 5.5V, T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.) (Note 2)

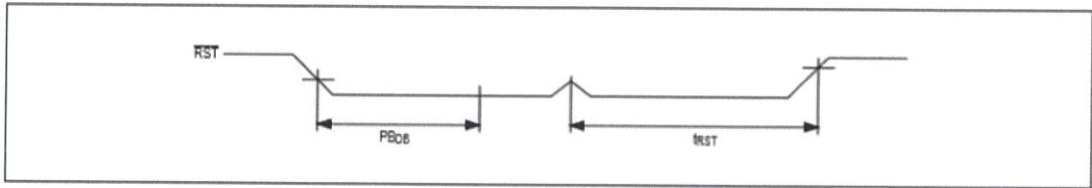
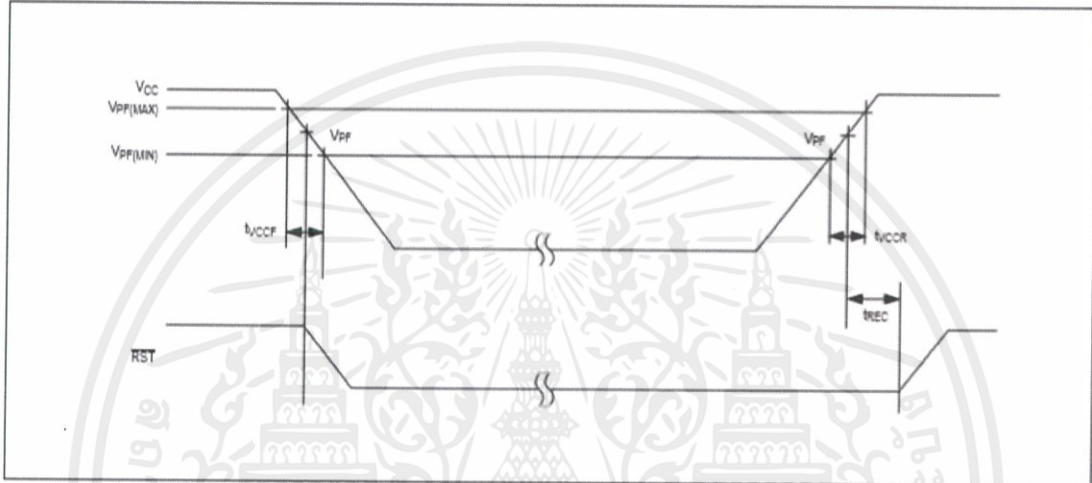
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS		MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Battery Current	I <sub>BATA</sub>	EOSC = 0, BBSQW = 0, SCL = 400kHz (Note 5)	V <sub>BAT</sub> = 3.63V	70			μA
			V <sub>BAT</sub> = 5.5V	150			
Timekeeping Battery Current	I <sub>BATT</sub>	EOSC = 0, BBSQW = 0, EN32kHz = 1, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V <sub>BAT</sub> (Note 5)	V <sub>BAT</sub> = 3.63V	0.84	3.0		μA
			V <sub>BAT</sub> = 5.5V	1.0	3.5		
Temperature Conversion Current	I <sub>BATTC</sub>	EOSC = 0, BBSQW = 0, SCL = SDA = 0V or SCL = SDA = V <sub>BAT</sub>	V <sub>BAT</sub> = 3.63V	575			μA
			V <sub>BAT</sub> = 5.5V	650			
Data-Retention Current	I <sub>BATTDR</sub>	EOSC = 1, SCL = SDA = 0V, +25°C		100			nA

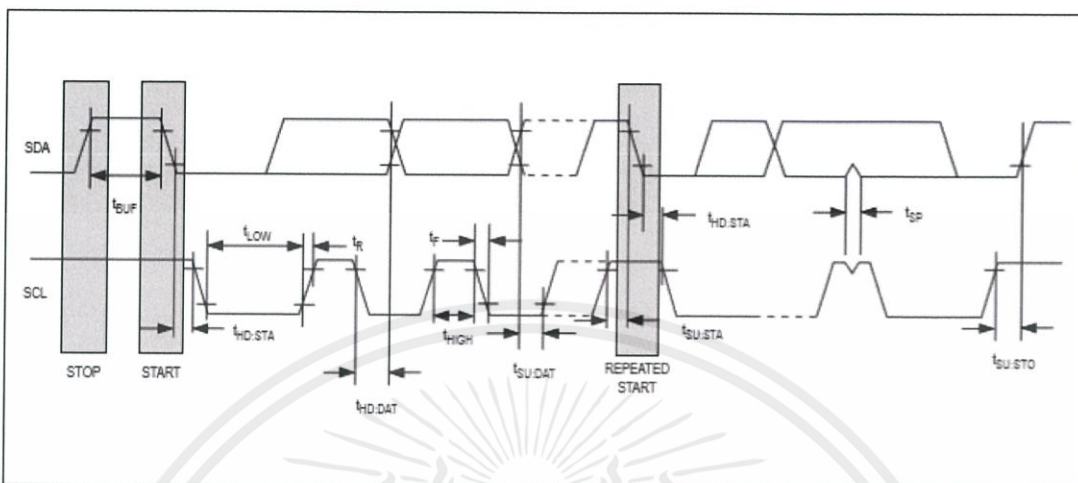
**AC Electrical Characteristics**(V<sub>CC</sub> = V<sub>CC(MIN)</sub> to V<sub>CC(MAX)</sub> or V<sub>BAT</sub> = V<sub>BAT(MIN)</sub> to V<sub>BAT(MAX)</sub>; V<sub>BAT</sub> > V<sub>CC</sub>; T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>, unless otherwise noted.) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
SCL Clock Frequency	f <sub>SCL</sub>	Fast mode	100		400	kHz
		Standard mode	0		100	
Bus Free Time Between STOP and START Conditions	t <sub>BUF</sub>	Fast mode	1.3			μs
		Standard mode	4.7			
Hold Time (Repeated) START Condition (Note 7)	t <sub>HD,STA</sub>	Fast mode	0.6			μs
		Standard mode	4.0			
Low Period of SCL Clock	t <sub>LOW</sub>	Fast mode	1.3			μs
		Standard mode	4.7			
High Period of SCL Clock	t <sub>HIGH</sub>	Fast mode	0.6			μs
		Standard mode	4.0			
Data Hold Time (Notes 8, 9)	t <sub>HD,DAT</sub>	Fast mode	0		0.9	μs
		Standard mode	0		0.9	
Data Setup Time (Note 10)	t <sub>SU,DAT</sub>	Fast mode	100			ns
		Standard mode	250			
START Setup Time	t <sub>SU,STA</sub>	Fast mode	0.6			μs
		Standard mode	4.7			
Rise Time of Both SDA and SCL Signals (Note 11)	t <sub>r</sub>	Fast mode	20 +		300	ns
		Standard mode	0.1C <sub>B</sub>		1000	
Fall Time of Both SDA and SCL Signals (Note 11)	t <sub>f</sub>	Fast mode	20 +		300	ns
		Standard mode	0.1C <sub>B</sub>		300	
Setup Time for STOP Condition	t <sub>SU,STO</sub>	Fast mode	0.6			μs
		Standard mode	4.7			
Capacitive Load for Each Bus Line	C <sub>B</sub>	(Note 11)			400	pF
Capacitance for SDA, SCL	C <sub>I/O</sub>			10		pF
Pulse Width of Spikes That Must Be Suppressed by the Input Filter	t <sub>SP</sub>			30		ns
Pushbutton Debounce	PB <sub>DB</sub>			250		ms
Reset Active Time	t <sub>RST</sub>			250		ms
Oscillator Stop Flag (OSF) Delay	t <sub>OSF</sub>	(Note 12)		100		ms
Temperature Conversion Time	t <sub>CONV</sub>			125	200	ms

**Power-Switch Characteristics**(T<sub>A</sub> = T<sub>MIN</sub> to T<sub>MAX</sub>)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V <sub>CC</sub> Fall Time; V <sub>PF(MAX)</sub> to V <sub>PF(MIN)</sub>	t <sub>VCCF</sub>		300			μs
V <sub>CC</sub> Rise Time; V <sub>PF(MIN)</sub> to V <sub>PF(MAX)</sub>	t <sub>VCCR</sub>		0			μs
Recovery at Power-Up	t <sub>REC</sub>	(Note 13)		250	300	ms

**Pushbutton Reset Timing****Power-Switch Timing**

Data Transfer on I<sup>2</sup>C Serial Bus

**WARNING:** Negative undershoots below -0.3V while the part is in battery-backed mode may cause loss of data.

**Note 2:** Limits at -40°C are guaranteed by design and not production tested.

**Note 3:** All voltages are referenced to ground.

**Note 4:**  $I_{CCA}$ —SCL clocking at max frequency = 400kHz.

**Note 5:** Current is the averaged input current, which includes the temperature conversion current.

**Note 6:** The RST pin has an internal 50k $\Omega$  (nominal) pullup resistor to  $V_{CC}$ .

**Note 7:** After this period, the first clock pulse is generated.

**Note 8:** A device must internally provide a hold time of at least 300ns for the SDA signal (referred to the  $V_{IH(MIN)}$  of the SCL signal) to bridge the undefined region of the falling edge of SCL.

**Note 9:** The maximum  $t_{HD.DAT}$  needs only to be met if the device does not stretch the low period ( $t_{LOW}$ ) of the SCL signal.

**Note 10:** A fast-mode device can be used in a standard-mode system, but the requirement  $t_{SU.DAT} \geq 250$ ns must then be met. This is automatically the case if the device does not stretch the low period of the SCL signal. If such a device does stretch the low period of the SCL signal, it must output the next data bit to the SDA line  $t_{R(MAX)} + t_{SU.DAT} = 1000 + 250 = 1250$ ns before the SCL line is released.

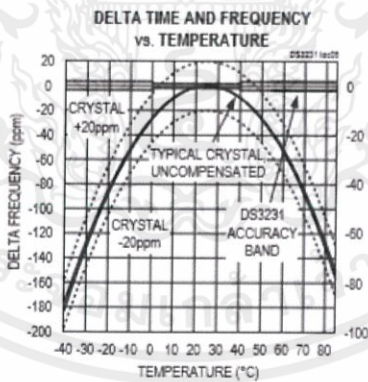
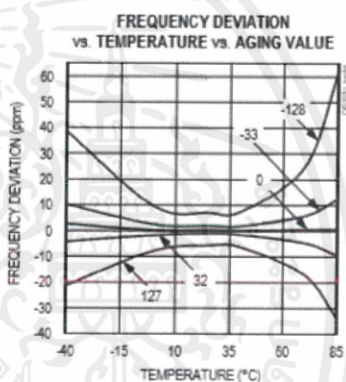
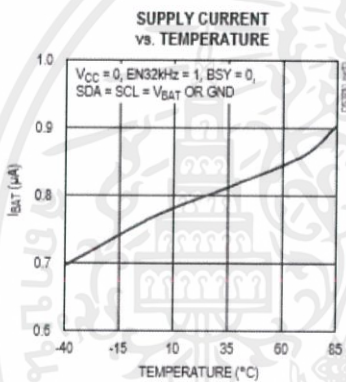
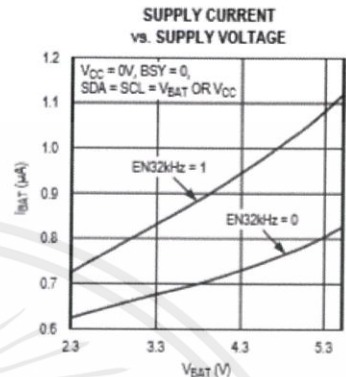
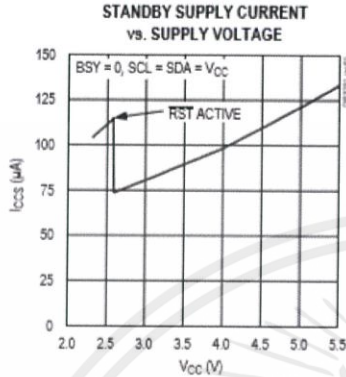
**Note 11:**  $C_B$ —total capacitance of one bus line in pF.

**Note 12:** The parameter  $t_{OSF}$  is the period of time the oscillator must be stopped for the OSF flag to be set over the voltage range of  $0.0V \leq V_{CC} \leq V_{CC(MAX)}$  and  $2.3V \leq V_{BAT} \leq 3.4V$ .

**Note 13:** This delay applies only if the oscillator is enabled and running. If the EOSC bit is a 1,  $t_{REC}$  is bypassed and RST immediately goes high. The state of RST does not affect the I<sup>2</sup>C interface, RTC, or TCXO.

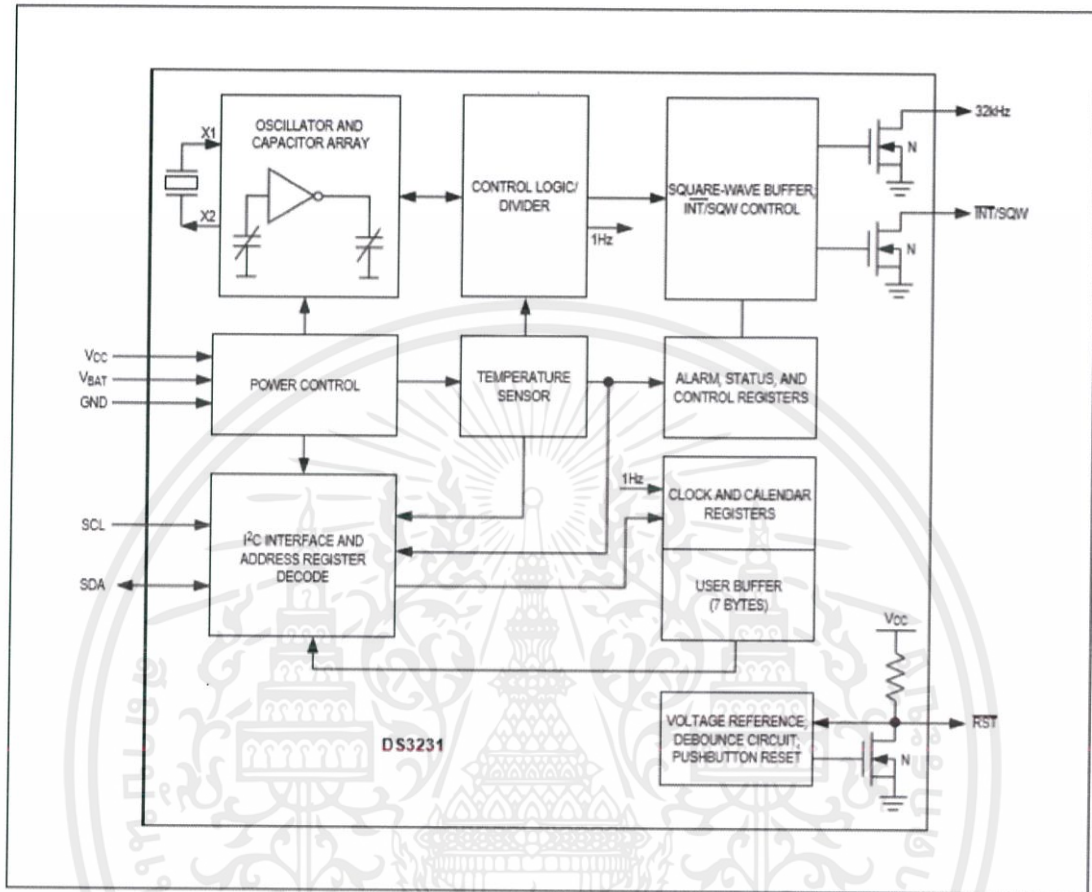
**Typical Operating Characteristics**

(V<sub>CC</sub> = +3.3V, T<sub>A</sub> = +25°C, unless otherwise noted.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Block Diagram



## Pin Description

PIN	NAME	FUNCTION
1	32kHz	32kHz Output. This open-drain pin requires an external pullup resistor. When enabled, the output operates on either power supply. It may be left open if not used.
2	V <sub>CC</sub>	DC Power Pin for Primary Power Supply. This pin should be decoupled using a 0.1μF to 1.0μF capacitor. If not used, connect to ground.
3	INT/SQW	Active-Low Interrupt or Square-Wave Output. This open-drain pin requires an external pullup resistor connected to a supply at 5.5V or less. This multifunction pin is determined by the state of the INTCN bit in the Control Register (0Eh). When INTCN is set to logic 0, this pin outputs a square wave and its frequency is determined by RS2 and RS1 bits. When INTCN is set to logic 1, then a match between the timekeeping registers and either of the alarm registers activates the INT/SQW pin (if the alarm is enabled). Because the INTCN bit is set to logic 1 when power is first applied, the pin defaults to an interrupt output with alarms disabled. The pullup voltage can be up to 5.5V, regardless of the voltage on V <sub>CC</sub> . If not used, this pin can be left unconnected.
4	RST	Active-Low Reset. This pin is an open-drain input/output. It indicates the status of V <sub>CC</sub> relative to the V <sub>PF</sub> specification. As V <sub>CC</sub> falls below V <sub>PF</sub> , the RST pin is driven low. When V <sub>CC</sub> exceeds V <sub>PF</sub> , for t <sub>RST</sub> , the RST pin is pulled high by the internal pullup resistor. The active-low, open-drain output is combined with a debounced pushbutton input function. This pin can be activated by a pushbutton reset request. It has an internal 50kΩ nominal value pullup resistor to V <sub>CC</sub> . No external pullup resistors should be connected. If the oscillator is disabled, t <sub>REC</sub> is bypassed and RST immediately goes high.
5–12	N.C.	No Connection. Must be connected to ground.
13	GND	Ground
14	V <sub>BAT</sub>	Backup Power-Supply Input. When using the device with the V <sub>BAT</sub> input as the primary power source, this pin should be decoupled using a 0.1μF to 1.0μF low-leakage capacitor. When using the device with the V <sub>BAT</sub> input as the backup power source, the capacitor is not required. If V <sub>BAT</sub> is not used, connect to ground. The device is UL recognized to ensure against reverse charging when used with a primary lithium battery. Go to <a href="http://www.maximintegrated.com/qa/info/ul">www.maximintegrated.com/qa/info/ul</a> .
15	SDA	Serial Data Input/Output. This pin is the data input/output for the I <sup>2</sup> C serial interface. This open-drain pin requires an external pullup resistor. The pullup voltage can be up to 5.5V, regardless of the voltage on V <sub>CC</sub> .
16	SCL	Serial Clock Input. This pin is the clock input for the I <sup>2</sup> C serial interface and is used to synchronize data movement on the serial interface. Up to 5.5V can be used for this pin, regardless of the voltage on V <sub>CC</sub> .

## Detailed Description

The DS3231 is a serial RTC driven by a temperature-compensated 32kHz crystal oscillator. The TCXO provides a stable and accurate reference clock, and maintains the RTC to within ±2 minutes per year accuracy from -40°C to +85°C. The TCXO frequency output is available at the 32kHz pin. The RTC is a low-power clock/calendar with two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output. The INT/SQW provides either an interrupt signal due to alarm conditions or a square-wave output. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap

year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. The internal registers are accessible through an I<sup>2</sup>C bus interface.

A temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the level of V<sub>CC</sub> to detect power failures and to automatically switch to the backup supply when necessary. The RST pin provides an external pushbutton function and acts as an indicator of a power-fail event.

## Operation

The block diagram shows the main elements of the DS3231. The eight blocks can be grouped into four functional groups: TCXO, power control, pushbutton function, and RTC. Their operations are described separately in the following sections.

### 32kHz TCXO

The temperature sensor, oscillator, and control logic form the TCXO. The controller reads the output of the on-chip temperature sensor and uses a lookup table to determine the capacitance required, adds the aging correction in AGE register, and then sets the capacitance selection registers. New values, including changes to the AGE register, are loaded only when a change in the temperature value occurs, or when a user-initiated temperature conversion is completed. Temperature conversion occurs on initial application of  $V_{CC}$  and once every 64 seconds afterwards.

### Power Control

This function is provided by a temperature-compensated voltage reference and a comparator circuit that monitors the  $V_{CC}$  level. When  $V_{CC}$  is greater than  $V_{PF}$ , the part is powered by  $V_{CC}$ . When  $V_{CC}$  is less than  $V_{PF}$  but greater than  $V_{BAT}$ , the DS3231 is powered by  $V_{CC}$ . If  $V_{CC}$  is less than  $V_{PF}$  and is less than  $V_{BAT}$ , the device is powered by  $V_{BAT}$ . See Table 1.

**Table 1. Power Control**

SUPPLY CONDITION	ACTIVE SUPPLY
$V_{CC} < V_{PF}, V_{CC} < V_{BAT}$	$V_{BAT}$
$V_{CC} < V_{PF}, V_{CC} > V_{BAT}$	$V_{CC}$
$V_{CC} > V_{PF}, V_{CC} < V_{BAT}$	$V_{CC}$
$V_{CC} > V_{PF}, V_{CC} > V_{BAT}$	$V_{CC}$

To preserve the battery, the first time  $V_{BAT}$  is applied to the device, the oscillator will not start up until  $V_{CC}$  exceeds  $V_{PF}$ , or until a valid I<sup>2</sup>C address is written to the part. Typical oscillator startup time is less than one second. Approximately 2 seconds after  $V_{CC}$  is applied, or a valid I<sup>2</sup>C address is written, the device makes a temperature measurement and applies the calculated correction to the oscillator. Once the oscillator is running, it continues to run as long as a valid power source is available ( $V_{CC}$  or  $V_{BAT}$ ), and the device continues to measure the temperature and correct the oscillator frequency every 64 seconds.

On the first application of power ( $V_{CC}$ ) or when a valid I<sup>2</sup>C address is written to the part ( $V_{BAT}$ ), the time and date registers are reset to 01/01/00 01 00:00:00 (DD/MM/YY DOW HH:MM:SS).

### $V_{BAT}$ Operation

There are several modes of operation that affect the amount of  $V_{BAT}$  current that is drawn. While the device

is powered by  $V_{BAT}$  and the serial interface is active, active battery current,  $I_{BATA}$ , is drawn. When the serial interface is inactive, timekeeping current ( $I_{BATT}$ ), which includes the averaged temperature conversion current,  $I_{BATTTC}$ , is used (refer to Application Note 3644: *Power Considerations for Accurate Real-Time Clocks* for details). Temperature conversion current,  $I_{BATTTC}$ , is specified since the system must be able to support the periodic higher current pulse and still maintain a valid voltage level. Data retention current,  $I_{BATDR}$ , is the current drawn by the part when the oscillator is stopped ( $EOSC = 1$ ). This mode can be used to minimize battery requirements for times when maintaining time and date information is not necessary, e.g., while the end system is waiting to be shipped to a customer.

### Pushbutton Reset Function

The DS3231 provides for a pushbutton switch to be connected to the RST output pin. When the DS3231 is not in a reset cycle, it continuously monitors the RST signal for a low going edge. If an edge transition is detected, the DS3231 debounces the switch by pulling the RST low. After the internal timer has expired ( $PB_{DB}$ ), the DS3231 continues to monitor the RST line. If the line is still low, the DS3231 continuously monitors the line looking for a rising edge. Upon detecting release, the DS3231 forces the RST pin low and holds it low for  $t_{RST}$ .

RST is also used to indicate a power-fail condition. When  $V_{CC}$  is lower than  $V_{PF}$ , an internal power-fail signal is generated, which forces the RST pin low. When  $V_{CC}$  returns to a level above  $V_{PF}$ , the RST pin is held low for approximately 250ms ( $t_{REC}$ ) to allow the power supply to stabilize. If the oscillator is not running (see the *Power Control* section) when  $V_{CC}$  is applied,  $t_{REC}$  is bypassed and RST immediately goes high. Assertion of the RST output, whether by pushbutton or power-fail detection, does not affect the internal operation of the DS3231.

### Real-Time Clock

With the clock source from the TCXO, the RTC provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator.

The clock provides two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output. The INT/SQW pin either generates an interrupt due to alarm condition or outputs a square-wave signal and the selection is controlled by the bit INTCN.

ADDRESS	BIT 7 MSB	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0 LSB	FUNCTION	RANGE	
00h	0	10 Seconds			Seconds				Seconds	00–59	
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00–59	
02h	0	12/24	AM/PM	10 Hour		Hour			Hours	1–12 + AM/PM 00–23	
03h	0	0	0	0	0	Day			Day	1–7	
04h	0	0	10 Date		Date			Date	Date	01–31	
05h	Century	0	0	10 Month		Month			Month/ Century	01–12 + Century	
06h	10 Year			Year						Year	00–99
07h	A1M1	10 Seconds			Seconds			Alarm 1 Seconds	Alarm 1 Seconds	00–59	
08h	A1M2	10 Minutes			Minutes			Alarm 1 Minutes	Alarm 1 Minutes	00–59	
09h	A1M3	12/24	AM/PM	10 Hour		Hour			Alarm 1 Hours	1–12 + AM/PM 00–23	
0Ah	A1M4	DY/DT	10 Date		Day			Alarm 1 Day	Alarm 1 Day	1–7	
0Bh	A2M2	10 Minutes			Minutes			Alarm 2 Minutes	Alarm 2 Minutes	00–59	
0Ch	A2M3	12/24	AM/PM	10 Hour		Hour			Alarm 2 Hours	1–12 + AM/PM 00–23	
0Dh	A2M4	DY/DT	10 Date		Day			Alarm 2 Day	Alarm 2 Day	1–7	
0Eh	EOSC	BBSQW	CONV	RS2	RS1	INTCN	A2IE	A1IE	Control	—	
0Fh	OSF	0	0	0	EN32kHz	BSY	A2F	A1F	Control/Status	—	
10h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	Aging Offset	—	
11h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	MSB of Temp	—	
12h	DATA	DATA	0	0	0	0	0	0	LSB of Temp	—	

Figure 1. Timekeeping Registers

**Note:** Unless otherwise specified, the registers' state is not defined when power is first applied.

### Address Map

Figure 1 shows the address map for the DS3231 timekeeping registers. During a multibyte access, when the address pointer reaches the end of the register space (12h), it wraps around to location 00h. On an I<sup>2</sup>C START or address pointer incrementing to location 00h, the current time is transferred to a second set of registers. The time information is read from these secondary registers, while the clock may continue to run. This eliminates the need to reread the registers in case the main registers update during a read.

### I<sup>2</sup>C Interface

The I<sup>2</sup>C interface is accessible whenever either V<sub>CC</sub> or V<sub>BAT</sub> is at a valid level. If a microcontroller connected

to the DS3231 resets because of a loss of V<sub>CC</sub> or other event, it is possible that the microcontroller and DS3231 I<sup>2</sup>C communications could become unsynchronized, e.g., the microcontroller resets while reading data from the DS3231. When the microcontroller resets, the DS3231 I<sup>2</sup>C interface may be placed into a known state by toggling SCL until SDA is observed to be at a high level. At that point the microcontroller should pull SDA low while SCL is high, generating a START condition.

### Clock and Calendar

The time and calendar information is obtained by reading the appropriate register bytes. Figure 1 illustrates the RTC registers. The time and calendar data are set or initialized by writing the appropriate register bytes. The contents of the time and calendar registers are in the binary-coded

decimal (BCD) format. The DS3231 can be run in either 12-hour or 24-hour mode. Bit 6 of the hours register is defined as the 12- or 24-hour mode select bit. When high, the 12-hour mode is selected. In the 12-hour mode, bit 5 is the AM/PM bit with logic-high being PM. In the 24-hour mode, bit 5 is the 20-hour bit (20–23 hours). The century bit (bit 7 of the month register) is toggled when the years register overflows from 99 to 00.

The day-of-week register increments at midnight. Values that correspond to the day of week are user-defined but must be sequential (i.e., if 1 equals Sunday, then 2 equals Monday, and so on). Illogical time and date entries result in undefined operation.

When reading or writing the time and date registers, secondary (user) buffers are used to prevent errors when the internal registers update. When reading the time and date registers, the user buffers are synchronized to the internal registers on any START and when the register pointer rolls over to zero. The time information is read from these secondary registers, while the clock continues to run. This eliminates the need to reread the registers in case the main registers update during a read.

The countdown chain is reset whenever the seconds register is written. Write transfers occur on the acknowledge from the DS3231. Once the countdown chain is reset, to avoid rollover issues the remaining time and date registers must be written within 1 second. The 1Hz square-wave output, if enabled, transitions high 500ms after the seconds data transfer, provided the oscillator is already running.

## Alarms

The DS3231 contains two time-of-day/date alarms. Alarm 1 can be set by writing to registers 07h to 0Ah. Alarm 2 can be set by writing to registers 0Bh to 0Dh. The alarms can be programmed (by the alarm enable and INTCN bits of the control register) to activate the INT/SQW output on an alarm match condition. Bit 7 of each of the time-of-day/date alarm registers are mask bits (Table 2). When all the mask bits for each alarm are logic 0, an alarm only occurs when the values in the timekeeping registers match the corresponding values stored in the time-of-day/date alarm registers. The alarms can also be programmed to repeat every second, minute, hour, day, or date. Table 2 shows the possible settings. Configurations not listed in the table will result in illogical operation.

The DY/DT bits (bit 6 of the alarm day/date registers) control whether the alarm value stored in bits 0 to 5 of that register reflects the day of the week or the date of the month. If DY/DT is written to logic 0, the alarm will be the result of a match with date of the month. If DY/DT is written to logic 1, the alarm will be the result of a match with day of the week.

When the RTC register values match alarm register settings, the corresponding Alarm Flag 'A1F' or 'A2F' bit is set to logic 1. If the corresponding Alarm Interrupt Enable 'A1IE' or 'A2IE' is also set to logic 1 and the INTCN bit is set to logic 1, the alarm condition will activate the INT/SQW signal. The match is tested on the once-per-second update of the time and date registers.

**Table 2. Alarm Mask Bits**

DY/DT	ALARM 1 REGISTER MASK BITS (BIT 7)				ALARM RATE
	A1M4	A1M3	A1M2	A1M1	
X	1	1	1	1	Alarm once per second
X	1	1	1	0	Alarm when seconds match
X	1	1	0	0	Alarm when minutes and seconds match
X	1	0	0	0	Alarm when hours, minutes, and seconds match
0	0	0	0	0	Alarm when date, hours, minutes, and seconds match
1	0	0	0	0	Alarm when day, hours, minutes, and seconds match
DY/DT	ALARM 2 REGISTER MASK BITS (BIT 7)			ALARM RATE	
	A2M4	A2M3	A2M2		
X	1	1	1	Alarm once per minute (00 seconds of every minute)	
X	1	1	0	Alarm when minutes match	
X	1	0	0	Alarm when hours and minutes match	
0	0	0	0	Alarm when date, hours, and minutes match	
1	0	0	0	Alarm when day, hours, and minutes match	

**Control Register (0Eh)**

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
NAME:	EOSC	BBSQW	CONV	RS2	RS1	INTCN	A2IE	A1IE
POR:	0	0	0	1	1	1	0	0

**Special-Purpose Registers**

The DS3231 has two additional registers (control and status) that control the real-time clock, alarms, and square-wave output.

**Control Register (0Eh)**

**Bit 7: Enable Oscillator (EOSC).** When set to logic 0, the oscillator is started. When set to logic 1, the oscillator is stopped when the DS3231 switches to  $V_{BAT}$ . This bit is clear (logic 0) when power is first applied. When the DS3231 is powered by  $V_{CC}$ , the oscillator is always on regardless of the status of the EOSC bit. When EOSC is disabled, all register data is static.

**Bit 6: Battery-Backed Square-Wave Enable (BBSQW).** When set to logic 1 with  $INTCN = 0$  and  $V_{CC} < V_{PF}$ , this bit enables the square wave. When BBSQW is logic 0, the INT/SQW pin goes high impedance when  $V_{CC} < V_{PF}$ . This bit is disabled (logic 0) when power is first applied.

**Bit 5: Convert Temperature (CONV).** Setting this bit to 1 forces the temperature sensor to convert the temperature into digital code and execute the TCXO algorithm to update the capacitance array to the oscillator. This can only happen when a conversion is not already in progress. The user should check the status bit BSY before forcing the controller to start a new TCXO execution. A user-initiated temperature conversion does not affect the internal 64-second update cycle.

A user-initiated temperature conversion does not affect the BSY bit for approximately 2ms. The CONV bit remains at a 1 from the time it is written until the conversion is finished, at which time both CONV and BSY go to 0. The CONV bit should be used when monitoring the status of a user-initiated conversion.

**Bits 4 and 3: Rate Select (RS2 and RS1).** These bits control the frequency of the square-wave output when

the square wave has been enabled. The following table shows the square-wave frequencies that can be selected with the RS bits. These bits are both set to logic 1 (8.192kHz) when power is first applied.

**SQUARE-WAVE OUTPUT FREQUENCY**

RS2	RS1	SQUARE-WAVE OUTPUT FREQUENCY
0	0	1Hz
0	1	1.024kHz
1	0	4.096kHz
1	1	8.192kHz

**Bit 2: Interrupt Control (INTCN).** This bit controls the INT/SQW signal. When the INTCN bit is set to logic 0, a square wave is output on the INT/SQW pin. When the INTCN bit is set to logic 1, then a match between the time-keeping registers and either of the alarm registers activates the INT/SQW output (if the alarm is also enabled). The corresponding alarm flag is always set regardless of the state of the INTCN bit. The INTCN bit is set to logic 1 when power is first applied.

**Bit 1: Alarm 2 Interrupt Enable (A2IE).** When set to logic 1, this bit permits the alarm 2 flag (A2F) bit in the status register to assert INT/SQW (when  $INTCN = 1$ ). When the A2IE bit is set to logic 0 or INTCN is set to logic 0, the A2F bit does not initiate an interrupt signal. The A2IE bit is disabled (logic 0) when power is first applied.

**Bit 0: Alarm 1 Interrupt Enable (A1IE).** When set to logic 1, this bit permits the alarm 1 flag (A1F) bit in the status register to assert INT/SQW (when  $INTCN = 1$ ). When the A1IE bit is set to logic 0 or INTCN is set to logic 0, the A1F bit does not initiate the INT/SQW signal. The A1IE bit is disabled (logic 0) when power is first applied.

**Status Register (0Fh)**

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
NAME:	OSF	0	0	0	EN32kHz	BSY	A2F	A1F
POR:	1	0	0	0	1	X	X	X

**Status Register (0Fh)**

**Bit 7: Oscillator Stop Flag (OSF).** A logic 1 in this bit indicates that the oscillator either is stopped or was stopped for some period and may be used to judge the validity of the timekeeping data. This bit is set to logic 1 any time that the oscillator stops. The following are examples of conditions that can cause the OSF bit to be set:

- 1) The first time power is applied.
- 2) The voltages present on both  $V_{CC}$  and  $V_{BAT}$  are insufficient to support oscillation.
- 3) The EOSC bit is turned off in battery-backed mode.
- 4) External influences on the crystal (i.e., noise, leakage, etc.).

This bit remains at logic 1 until written to logic 0.

**Bit 3: Enable 32kHz Output (EN32kHz).** This bit controls the status of the 32kHz pin. When set to logic 1, the 32kHz pin is enabled and outputs a 32.768kHz square-wave signal. When set to logic 0, the 32kHz pin goes to a high-impedance state. The initial power-up state of this bit is logic 1, and a 32.768kHz square-wave signal appears at the 32kHz pin after a power source is applied to the DS3231 (if the oscillator is running).

**Bit 2: Busy (BSY).** This bit indicates the device is busy executing TCXO functions. It goes to logic 1 when the conversion signal to the temperature sensor is asserted and then is cleared when the device is in the 1-minute idle state.

**Bit 1: Alarm 2 Flag (A2F).** A logic 1 in the alarm 2 flag bit indicates that the time matched the alarm 2 registers. If the A2IE bit is logic 1 and the INTCN bit is set to logic 1, the INT/SQW pin is also asserted. A2F is cleared when written to logic 0. This bit can only be written to logic 0. Attempting to write to logic 1 leaves the value unchanged.

**Bit 0: Alarm 1 Flag (A1F).** A logic 1 in the alarm 1 flag bit indicates that the time matched the alarm 1 registers. If the

A1IE bit is logic 1 and the INTCN bit is set to logic 1, the INT/SQW pin is also asserted. A1F is cleared when written to logic 0. This bit can only be written to logic 0. Attempting to write to logic 1 leaves the value unchanged.

**Aging Offset**

The aging offset register takes a user-provided value to add to or subtract from the codes in the capacitance array registers. The code is encoded in two's complement, with bit 7 representing the sign bit. One LSB represents one small capacitor to be switched in or out of the capacitance array at the crystal pins. The aging offset register capacitance value is added or subtracted from the capacitance value that the device calculates for each temperature compensation. The offset register is added to the capacitance array during a normal temperature conversion, if the temperature changes from the previous conversion, or during a manual user conversion (setting the CONV bit). To see the effects of the aging register on the 32kHz output frequency immediately, a manual conversion should be started after each aging register change.

Positive aging values add capacitance to the array, slowing the oscillator frequency. Negative values remove capacitance from the array, increasing the oscillator frequency.

The change in ppm per LSB is different at different temperatures. The frequency vs. temperature curve is shifted by the values used in this register. At +25°C, one LSB typically provides about 0.1ppm change in frequency.

Use of the aging register is not needed to achieve the accuracy as defined in the EC tables, but could be used to help compensate for aging at a given temperature. See the *Typical Operating Characteristics* section for a graph showing the effect of the register on accuracy over temperature.

**Aging Offset (10h)**

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
NAME:	Sign	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data
POR:	0	0	0	0	0	0	0	0

**Temperature Register (Upper Byte) (11h)**

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
NAME:	Sign	Data	Data	Data	Data	Data	Data	Data
POR:	0	0	0	0	0	0	0	0

**Temperature Register (Lower Byte) (12h)**

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
NAME:	Data	Data	0	0	0	0	0	0
POR:	0	0	0	0	0	0	0	0

**Temperature Registers (11h–12h)**

Temperature is represented as a 10-bit code with a resolution of 0.25°C and is accessible at location 11h and 12h. The temperature is encoded in two's complement format. The upper 8 bits, the integer portion, are at location 11h and the lower 2 bits, the fractional portion, are in the upper nibble at location 12h. For example, 00011001 01b = +25.25°C. Upon power reset, the registers are set to a default temperature of 0°C and the controller starts a temperature conversion. The temperature is read on initial application of V<sub>CC</sub> or I<sup>2</sup>C access on V<sub>BAT</sub> and once every 64 seconds afterwards. The temperature registers are updated after each user-initiated conversion and on every 64-second conversion. The temperature registers are read-only.

**I<sup>2</sup>C Serial Data Bus**

The DS3231 supports a bidirectional I<sup>2</sup>C bus and data transmission protocol. A device that sends data onto the bus is defined as a transmitter and a device receiving data is defined as a receiver. The device that controls the message is called a master. The devices that are controlled by the master are slaves. The bus must be controlled by a master device that generates the serial clock (SCL), controls the bus access, and generates the START and STOP conditions. The DS3231 operates as a slave on the I<sup>2</sup>C bus. Connections to the bus are made through the SCL input and open-drain SDA I/O lines. Within the bus specifications, a standard mode (100kHz maximum clock rate) and a fast mode (400kHz maximum clock rate) are defined. The DS3231 works in both modes.

The following bus protocol has been defined (Figure 2):

- Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.
- During data transfer, the data line must remain stable whenever the clock line is high. Changes in the data

line while the clock line is high are interpreted as control signals.

Accordingly, the following bus conditions have been defined:

**Bus not busy:** Both data and clock lines remain high.

**START data transfer:** A change in the state of the data line from high to low, while the clock line is high, defines a START condition.

**STOP data transfer:** A change in the state of the data line from low to high, while the clock line is high, defines a STOP condition.

**Data valid:** The state of the data line represents valid data when, after a START condition, the data line is stable for the duration of the high period of the clock signal. The data on the line must be changed during the low period of the clock signal. There is one clock pulse per bit of data.

Each data transfer is initiated with a START condition and terminated with a STOP condition. The number of data bytes transferred between the START and the STOP conditions is not limited, and is determined by the master device. The information is transferred byte-wise and each receiver acknowledges with a ninth bit.

**Acknowledge:** Each receiving device, when addressed, is obliged to generate an acknowledge after the reception of each byte. The master device must generate an extra clock pulse, which is associated with this acknowledge bit.

A device that acknowledges must pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse in such a way that the SDA line is stable low during the high period of the acknowledge-related clock pulse. Of course, setup and hold times must be taken into account. A master must signal an end of data to the slave by not generat-

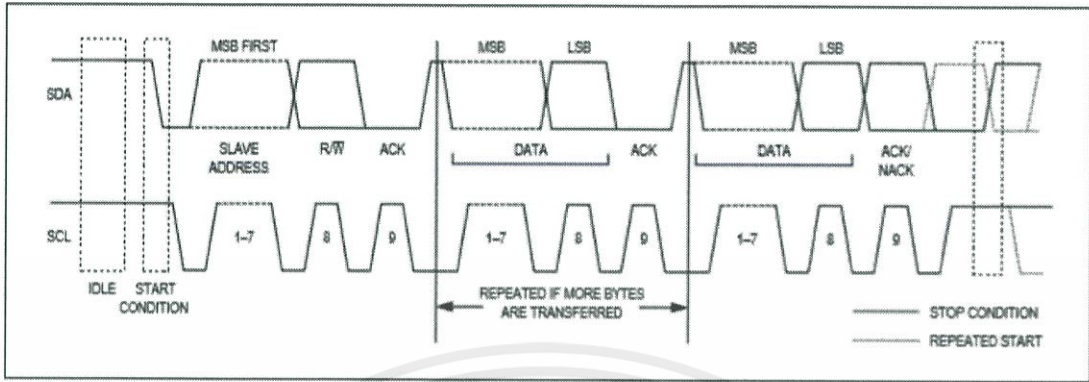


Figure 2. I<sup>2</sup>C Data Transfer Overview

ing an acknowledge bit on the last byte that has been clocked out of the slave. In this case, the slave must leave the data line high to enable the master to generate the STOP condition.

Figures 3 and 4 detail how data transfer is accomplished on the I<sup>2</sup>C bus. Depending upon the state of the R/W bit, two types of data transfer are possible:

**Data transfer from a master transmitter to a slave receiver.** The first byte transmitted by the master

is the slave address. Next follows a number of data bytes. The slave returns an acknowledge bit after each received byte. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.

**Data transfer from a slave transmitter to a master receiver.** The first byte (the slave address) is transmitted by the master. The slave then returns an acknowledge bit. Next follows a number of data bytes transmitted by the slave to the master. The master returns an acknowledge bit after all received bytes other than the

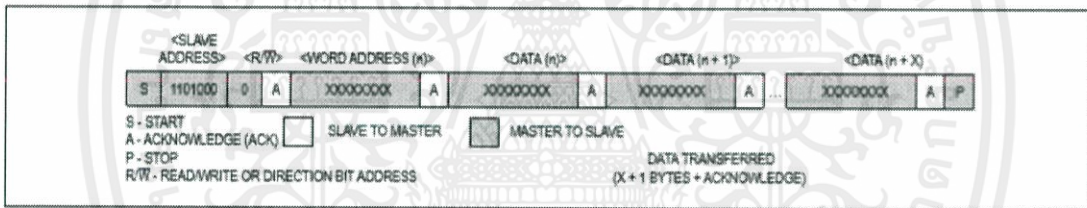


Figure 3. Data Write—Slave Receiver Mode

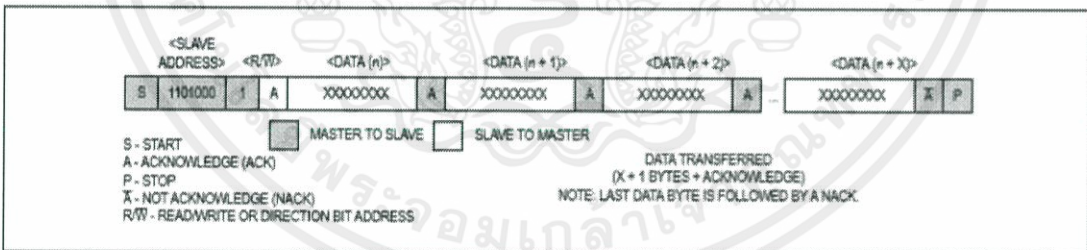


Figure 4. Data Read—Slave Transmitter Mode

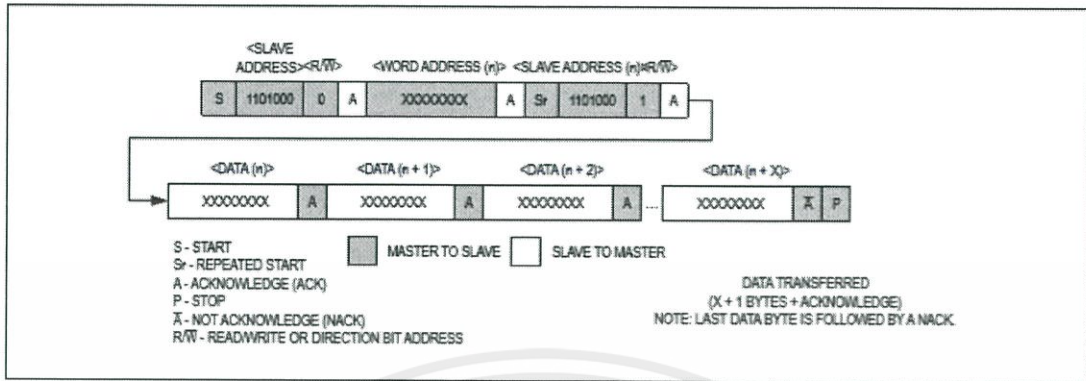


Figure 5. Data Write/Read (Write Pointer, Then Read)—Slave Receive and Transmit

last byte. At the end of the last received byte, a not acknowledge is returned.

The master device generates all the serial clock pulses and the START and STOP conditions. A transfer is ended with a STOP condition or with a repeated START condition. Since a repeated START condition is also the beginning of the next serial transfer, the bus will not be released. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.

The DS3231 can operate in the following two modes:

**Slave receiver mode (DS3231 write mode):** Serial data and clock are received through SDA and SCL. After each byte is received, an acknowledge bit is transmitted. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer. Address recognition is performed by hardware after reception of the slave address and direction bit. The slave address byte is the first byte received after the master generates the START condition. The slave address byte contains the 7-bit DS3231 address, which is 1101000, followed by the direction bit (R/W), which is 0 for a write. After receiving and decoding the slave address byte, the DS3231 outputs an acknowledge on SDA. After the DS3231 acknowledges the slave address + write bit, the master transmits a word address to the DS3231. This sets the register pointer on the DS3231, with the DS3231 acknowledging the

transfer. The master may then transmit zero or more bytes of data, with the DS3231 acknowledging each byte received. The register pointer increments after each data byte is transferred. The master generates a STOP condition to terminate the data write.

**Slave transmitter mode (DS3231 read mode):** The first byte is received and handled as in the slave receiver mode. However, in this mode, the direction bit indicates that the transfer direction is reversed. Serial data is transmitted on SDA by the DS3231 while the serial clock is input on SCL. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer. Address recognition is performed by hardware after reception of the slave address and direction bit. The slave address byte is the first byte received after the master generates a START condition. The slave address byte contains the 7-bit DS3231 address, which is 1101000, followed by the direction bit (R/W), which is 1 for a read. After receiving and decoding the slave address byte, the DS3231 outputs an acknowledge on SDA. The DS3231 then begins to transmit data starting with the register address pointed to by the register pointer. If the register pointer is not written to before the initiation of a read mode, the first address that is read is the last one stored in the register pointer. The DS3231 must receive a not acknowledge to end a read.

## DS3231

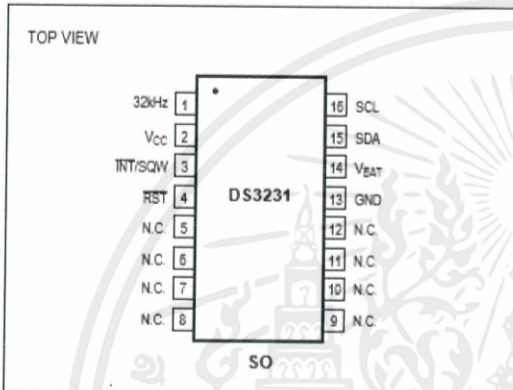
Extremely Accurate I<sup>2</sup>C-Integrated  
RTC/TCXO/Crystal**Handling, PCB Layout, and Assembly**

The DS3231 package contains a quartz tuning-fork crystal. Pick-and-place equipment can be used, but precautions should be taken to ensure that excessive shocks are avoided. Ultrasonic cleaning should be avoided to prevent damage to the crystal.

Avoid running signal traces under the package, unless a ground plane is placed between the package and the

signal line. All N.C. (no connect) pins must be connected to ground.

Moisture-sensitive packages are shipped from the factory dry packed. Handling instructions listed on the package label must be followed to prevent damage during reflow. Refer to the IPC/JEDEC J-STD-020 standard for moisture-sensitive device (MSD) classifications and reflow profiles. Exposure to reflow is limited to 2 times maximum.

**Pin Configuration****Chip Information**

SUBSTRATE CONNECTED TO GROUND  
PROCESS: CMOS

**Ordering Information**

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
DS3231S#	0°C to +70°C	16 SO
DS3231SN#	-40°C to +85°C	16 SO

#Denotes an RoHS-compliant device that may include lead (Pb) that is exempt under RoHS requirements. The lead finish is JESD97 category e3, and is compatible with both lead-based and lead-free soldering processes. A "#" anywhere on the top mark denotes an RoHS-compliant device.

**Package Information**

For the latest package outline information and land patterns (footprints), go to [www.maximintegrated.com/packages](http://www.maximintegrated.com/packages). Note that a "+", "#", or "-" in the package code indicates RoHS status only. Package drawings may show a different suffix character, but the drawing pertains to the package regardless of RoHS status.

PACKAGE TYPE	PACKAGE CODE	OUTLINE NO.	LAND PATTERN NO.
16 SO	W16#H2	21-0042	99-0107

## Revision History

REVISION NUMBER	REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
0	1/05	Initial release.	—
1	2/05	Changed Digital Temp Sensor Output from $\pm 2^{\circ}\text{C}$ to $\pm 3^{\circ}\text{C}$ .	1, 3
		Updated <i>Typical Operating Circuit</i> .	1
		Changed $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $+85^{\circ}\text{C}$ to $T_A = T_{\text{MIN}}$ to $T_{\text{MAX}}$ .	2, 3, 4
		Updated <i>Block Diagram</i> .	8
2	6/05	Added "UL Recognized" to Features; added lead-free packages and removed S from top mark info in <i>Ordering Information</i> table; added ground connections to the N.C. pin in the <i>Typical Operating Circuit</i> .	1
		Added "noncondensing" to operating temperature range; changed $V_{\text{PF}}$ MIN from 2.35V to 2.45V.	2
		Added aging offset specification.	3
		Relabeled TOC4.	7
		Added arrow showing input on X1 in the <i>Block Diagram</i> .	8
		Updated pin descriptions for $V_{\text{CC}}$ and $V_{\text{BAT}}$ .	9
		Added the I <sup>2</sup> C Interface section.	10
		<i>Figure 1</i> : Added sign bit to aging and temperature registers; added MSB and LSB.	11
		Corrected title for rate select bits frequency table.	13
		Added note that frequency stability over temperature spec is with aging offset register = 00h; changed bit 7 from Data to Sign (Crystal Aging Offset Register).	14
		Changed bit 7 from Data to Sign (Temperature Register); correct pin definitions in <i>I<sup>2</sup>C Serial Data Bus</i> section.	15
		Modified the <i>Handling</i> , <i>PC Board Layout</i> , and <i>Assembly</i> section to refer to J-STD-020 for reflow profiles for lead-free and leaded packages.	17
		3	11/05
4	10/06	Changed RST and UL bullets in <i>Features</i> .	1
		Changed EC condition " $V_{\text{CC}} > V_{\text{BAT}}$ " to " $V_{\text{CC}} = \text{Active Supply}$ (see Table 1)."	2, 3
		Modified Note 12 to correct $I_{\text{REC}}$ operation.	6
		Added various conditions text to TOCs 1, 2, and 3.	7
		Added text to pin descriptions for 32kHz, $V_{\text{CC}}$ , and RST.	9
		Table 1: Changed column heading "Powered By" to "Active Supply"; changed "applied" to "exceeds $V_{\text{PF}}$ " in the <i>Power Control</i> section.	10
5	4/08	Indicated BBSQW applies to both SQW and interrupts; simplified temp convert description (bit 5); added "output" to INT/SQW (bit 2).	13
		Changed the <i>Crystal Aging</i> section to the <i>Aging Offset</i> section; changed "this bit indicates" to "this bit controls" for the enable 32kHz output bit.	14
		Added Warning note to EC table notes; updated Note 12.	6
		Updated the <i>Typical Operating Characteristics</i> graphs.	7
		In the <i>Power Control</i> section, added information about the POR state of the time and date registers; in the <i>Real-Time Clock</i> section, added to the description of the RST function.	10
		In Figure 1, corrected the months date range for 04h from 00–31 to 01–31.	11

## Revision History (continued)

REVISION NUMBER	REVISION DATE	DESCRIPTION	PAGES CHANGED
6	10/08	Updated the <i>Typical Operating Circuit</i> .	1
		Removed the $V_{PU}$ parameter from the <i>Recommended DC Operating Conditions</i> table and added verbiage about the pullup to the <i>Pin Description</i> table for INT/SQW, SDA, and SCL.	2, 9
		Added the Delta Time and Frequency vs. Temperature graph in the <i>Typical Operating Characteristics</i> section.	7
		Updated the <i>Block Diagram</i> .	8
		Added the $V_{BAT}$ Operation section, improved some sections of text for the 32kHz TCXO and Pushbutton Reset Function sections.	10
		Added the register bit POR values to the register tables.	13, 14, 15
		Updated the <i>Aging Offset</i> and <i>Temperature Registers (11h–12h)</i> sections.	14, 15
		Updated the I <sup>2</sup> C timing diagrams (Figures 3, 4, and 5).	16, 17
7	3/10	Removed the "S" from the top mark in the <i>Ordering Information</i> table and the <i>Pin Configuration</i> to match the packaging engineering marking specification.	1, 18
8	7/10	Updated the <i>Typical Operating Circuit</i> ; removed the "Top Mark" column from the <i>Ordering Information</i> ; in the <i>Absolute Maximum Ratings</i> section, added the theta-JA and theta-JC thermal resistances and Note 1, and changed the soldering temperature to +260°C (lead(Pb)-free) and +240°C (leaded); updated the functional description of the $V_{BAT}$ pin in the <i>Pin Description</i> ; changed the timekeeping registers 02h, 09h, and 0Ch to "20 Hour" in Bit 5 of Figure 1; updated the BBSQW bit description in the <i>Control Register (0Eh)</i> section; added the land pattern no. to the <i>Package Information</i> table.	1, 2, 3, 4, 6, 9, 11, 12, 13, 18
9	1/13	Updated <i>Absolute Maximum Ratings</i> , and last paragraph in <i>Power Control</i> section	2, 10
10	3/15	Revised <i>Benefits and Features</i> section.	1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim Direct at 1-888-629-4642, or visit Maxim Integrated's website at [www.maximintegrated.com](http://www.maximintegrated.com).

Maxim Integrated cannot assume responsibility for use of any circuitry other than circuitry entirely embodied in a Maxim Integrated product. No circuit patent licenses are implied. Maxim Integrated reserves the right to change the circuitry and specifications without notice at any time. The parametric values (min and max limits) shown in the Electrical Characteristics table are guaranteed. Other parametric values quoted in this data sheet are provided for guidance.

Maxim Integrated and the Maxim Integrated logo are trademarks of Maxim Integrated Products, Inc. © 2015 Maxim Integrated Products, Inc. | 20

## ประวัติผู้เขียน



นางสาวธัญพิชชาญ์ ทองวนิชนพคุณ  
 การศึกษาระดับมัธยมศึกษา : สาธิต “พิบูลบำเพ็ญ” มหาวิทยาลัยบูรพา  
 การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายปริญญา ยศกัจกรกุล  
 การศึกษาระดับมัธยมศึกษา : เตรียมวิศวะฯ พระนครเหนือ  
 การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายพงษ์ศิริ ตั้งจิตวัฒนากุล  
 การศึกษาระดับมัธยมศึกษา : บางมูลนากภูมิ  
 การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



นายพรพสิษฐ์ พุกษะศรี  
 การศึกษาระดับมัธยมศึกษา : เบญจมาชุนติศ  
 การศึกษาระดับปริญญาตรี : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง