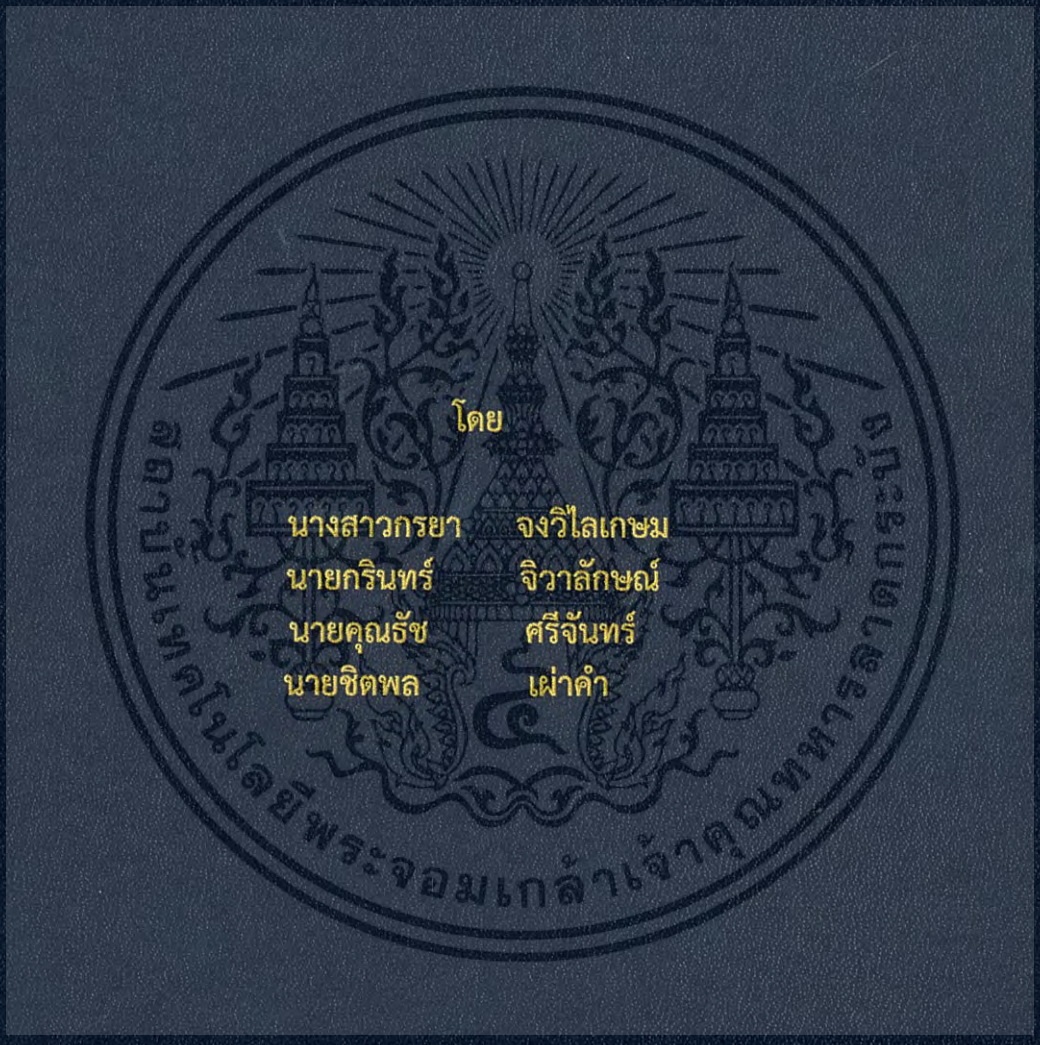
การแสดงค่าไฟ ณ เวลาจริงเพื่อการจัดการพลังงานภายในที่อยู่อาศัย ด้วยชุดแสดงผลอัจฉริยะ

REAL-TIME ENERGY PRICE FOR ENERGY MANAGEMENT IN RESIDENT VIA SMART MONITORING UNIT



โดย

นางสาวกรยา จงวิไลเกษม
นายกรินทร์ จิวาลักษณ์
นายคุณธัช ศรีจันทร์
นายชิตพล เผ่าคำ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การแสดงค่าไฟ ณ เวลาจริงเพื่อการจัดการพลังงานภายในที่อยู่อาศัย ด้วยชุดแสดงผลอัจฉริยะ

REAL-TIME ENERGY PRICE FOR ENERGY MANAGEMENT IN RESIDENT VIA SMART MONITORING UNIT

โดย

นางสาวกรยา จงวิไลเกษม

นายกรินทร์ จิวาลักษณ์

นายคุณธัช ศรีจันทร์

นายชิตพล เผ่าคำ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REAL-TIME ENERGY PRICE FOR ENERGY MANAGEMENT IN RESIDENT VIA SMART MONITORING UNIT

KORRAYA JONGVILAIKASEM
KARIN JIVALUK
KHUNNATOUCH SRICHAN
CHIDTAPHON PHAOKHAM

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

การแสดงค่าไฟ ณ เวลาจริงเพื่อการจัดการพลังงานภายในที่อยู่อาศัย ด้วยชุดแสดงผลอัจฉริยะ

Real-time Energy Price for Energy Management in Resident via Smart Monitoring Unit

โดย

นางสาวกรยา จงวิไลเกษม

นายกรินทร์ จิวาลักษณ์

นายคุณธัช ศรีจันทร์

นายชิตพล เผ่าคำ

b.00266087

TB0024a

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อรรถพล เจ่าพิทักษ์กุล

ดร.ปรารถนา แก้วเพชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การแสดงค่าไฟ ณ เวลาจริงเพื่อการจัดการพลังงานภายในที่อยู่อาศัยด้วยชุดแสดงผลอัจฉริยะ

ผู้จัดทำ

1. นางสาวกรยา จงวิไลเกษม
2. นายกรินทร์ จิวาลักษณ์
3. นายคุณธัช ศรีจันทร์
4. นายชิตพล เผ่าคำ

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถพล เจ่าพิทักษ์กุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.ปรารถนา แก้วเพชร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดงค่าไฟ ณ เวลาจริงเพื่อการจัดการพลังงานภายในที่อยู่อาศัย ด้วยชุดแสดงผลอัจฉริยะ

นางสาวกรยา จงวิไลเกษม
นายกรินทร์ จิวาลักษณ์
นายคุณธัช ศรีจันทร์
นายชิตพล เผ่าคำ
รศ.ดร.อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล
ดร.ปรารถนา แก้วเพชร
ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า และรายละเอียดต่าง ๆ ของภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยเพื่อสร้างชุดแสดงผลอัจฉริยะโดยใช้บอร์ด Arduino Mega เป็นพื้นฐานสำหรับการคำนวณ ชุดแสดงผลอัจฉริยะมีการคำนวณการใช้พลังงาน และแสดงผลข้อมูล ณ เวลาจริงในช่วงเวลานั้นผ่านทางอุปกรณ์สื่อสาร โดยสามารถแสดงผลการคิดอัตราค่าไฟฟ้าทั้ง 2 อัตรา คือ อัตราค่าไฟแบบปกติ และอัตราค่าไฟแบบตามช่วงเวลาการใช้

ในการทดลองทำการเชื่อมต่อชุดแสดงผลอัจฉริยะกับภาระไฟฟ้า เช่น หลอดไฟ, ตู้เย็น และเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น ซึ่งชุดแสดงผลอัจฉริยะมีการคำนวณผลค่าตัวแปรทางไฟฟ้า ณ เวลาจริงในช่วงเวลานั้น โดยมีตัวอย่างตัวแปรทางไฟฟ้าที่ทำการคำนวณ เช่น แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งผลจากชุดแสดงผลอัจฉริยะได้ถูกเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลที่ได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะนั้นมีค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้ในขอบเขตที่กำหนดเมื่อทำการเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Real-time Energy Price for Energy Management in Resident via Smart Monitoring Unit

Miss Korraya	Jongvilaikasem	
Mr.Karin	Jivaluk	
Mr.Khunnatouch	Srichan	
Mr.Chidtaphon	Phaokham	
Assoc.Prof.Dr.Atthapol	Ngaopitakkul	Supervisor
Dr.Prattana	Kaewpet	Co-Supervisor

Abstract

This project studies electrical usage behavior of the occupancy and load profile in residential building in order to build the Smart Monitoring Unit using Arduino Mega board as base for computation. The proposed unit will calculate energy usage and display real time data on the communication device with both normal and TOU rate.

The experimental has been done by connecting monitoring unit to common load in residence such as lamp, refrigerator and air-conditioner, etc. The unit measured real time electrical parameter such as voltage, current, electrical energy, electrical power and energy cost, etc. The results are compared to the standard instrument in order to evaluate the performance of proposed unit. The result shows that proposed unit can achieve satisfy result with acceptable margin of error compared to standard instrument.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานการแสดงค่าไฟ ณ เวลาจริงเพื่อการจัดการพลังงานภายในที่อยู่อาศัย ด้วยชุดแสดงผลอัจฉริยะนี้ ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ และสนับสนุนจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล และ ดร.ปรารถนา แก้วเพชร ที่คอยสนับสนุนมาโดยตลอด ไม่ว่าจะเป็นการให้คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ในโครงงานนี้ตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จ ทางคณะผู้จัดทำโครงงานจึงต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้สถานที่ในการทดลอง, พัฒนา, แก้ไขโครงงานนี้ และให้ความช่วยในด้านอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จไปได้อย่างราบรื่น

ขอขอบคุณ รุ่นพี่นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ให้ความช่วยเหลือไม่ว่าจะเป็นคำแนะนำในการทดลอง, การใช้อุปกรณ์ รวมถึงให้คำปรึกษา และขอขอบคุณเพื่อนทุกคนไม่ว่าจะเป็นภาควิชาเดียวกันที่ให้คำแนะนำ หรือต่างภาควิชาที่ให้ความรู้ใหม่ ๆ และคอยให้ช่วยเหลือในการพัฒนาโครงงานนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่คอยสนับสนุนมาตั้งแต่เริ่มต้นในทุก ๆ ด้านที่สามารถช่วยได้อย่างเต็มที่ ทำให้โครงงานนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	14
1.3 ขอบเขต และข้อกำหนดโครงงาน	15
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	15
1.5 แผนการดำเนินงาน	16
1.6 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย	17
1.6.1 ประโยชน์ด้านพลังงาน และสังคม	17
1.6.2 ประโยชน์ด้านวิศวกรรม	17
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์	17
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	18
2.1 ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า	18
2.1.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ	18
2.1.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย	19
2.1.3 กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน	19
2.2 แผงสวิสซ์แรงต่ำ	21
2.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์	23
2.3.1 ชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ	23
2.4 ระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้าน	25
2.5 ระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง	26
2.5.1 กลุ่มของระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง	27
2.5.2 ส่วนสำคัญของระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง	27
2.5.3 เทคโนโลยีการสื่อสารสำหรับอุปกรณ์ระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง	27
2.6 การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับ Arduino ด้วยพอร์ตอนุกรม	30
2.6.1 SPI (Serial Peripheral Interface)	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.2 I2C (Inter-IC Communication)	32
บทที่ 3 การออกแบบชุดแสดงผลอัจฉริยะ	35
3.1 ชุดแสดงผลอัจฉริยะสำหรับระบบจัดสรรพลังงาน	35
3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ และอุปกรณ์	36
3.2.1 โมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า	36
3.2.2 ส่วนประมวลผล	37
3.2.3 ชุดเก็บข้อมูล	37
3.2.4 โมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สาย	38
3.2.5 การออกแบบซอฟต์แวร์	38
3.3 การออกแบบ และติดตั้งชุดแสดงผลอัจฉริยะภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า	39
บทที่ 4 ผลการทดลอง	44
4.1 ภาระไฟฟ้าสำหรับการทดลอง	44
4.2 ระบบไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย	45
4.3 ตู้ควบคุมไฟฟ้า	45
4.4 การติดตั้งชุดทดลองเข้ากับระบบ	46
4.5 การวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II และ Chauvin Arnoux CA 8335	47
4.5.1 การวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากวงจรย่อย 3 วงจร	50
4.5.2 การวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากวงจรหลัก	55
4.6 การคิดค่าไฟฟ้าในอัตราปกติ และอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)	63
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาที่พบ และแนวทางพัฒนาโครงงาน	66
5.1 สรุปผลการวิจัย	66
5.2 ปัญหาที่พบ	67
5.3 แนวทางการพัฒนา	67
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก อัตราค่าไฟฟ้า	74
ภาคผนวก ข การแสดงผลผ่านเว็บไซต์	86
ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการ	89
ประวัติผู้เขียน	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1.1	ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านส่งข้อมูลด้วยระบบไร้สาย	4
1.2	ระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน	14
2.1	วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	18
2.2	สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า	20
2.3	ตู้ควบคุมไฟฟ้า	22
2.4	รายละเอียดภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า	22
2.5	โมลเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์	23
2.6	แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์	24
2.7	มิเนียเจอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์	24
2.8	เอิร์ทลีคเซอร์กิตเบรกเกอร์	25
2.9	แผนผังการเชื่อมต่อช่องทางหลาย ๆ ตัวเข้ากับ Local Network	27
2.10	การส่งสัญญาณเริ่ม (Start) และหยุด (Stop)	31
2.11	ตัวอย่างการสื่อสารแบบ SPI โดยมีสายสัญญาณ 4 เส้น	32
3.1	บล็อกไดอะแกรมการทำงานของตู้ควบคุมไฟฟ้า และระบบแสดงผล	36
3.2	ผังกระบวนการทำงานของชุดแสดงผลอัจฉริยะ	38
3.3	การออกแบบชุดแสดงผลอัจฉริยะ	41
3.4	ชุดแสดงผลอัจฉริยะภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า	42
3.5	การส่งข้อมูลของชุดแสดงผลอัจฉริยะ	43
4.1	ภาระไฟฟ้าในการทดลองเพื่อจำลองระบบภายในบ้าน	44
4.2	วงจรแผงควบคุมไฟฟ้า	45
4.3	แผนภาพเส้นเดียวของวงจรทดสอบ	46
4.4	การติดตั้งชุดทดลองเข้ากับชุดภาระไฟฟ้า	46
4.5	กราฟตัวแปรทางไฟฟ้าของวงจรที่ 1 วงจรเครื่องปรับอากาศ จากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335	51
4.6	กราฟตัวแปรทางไฟฟ้าของวงจรที่ 2 วงจรเต้ารับ จากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

4.7 กราฟตัวแปรทางไฟฟ้าของวงจรที่ 3 วงจรภาระไฟฟ้าแสงสว่าง จากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 54

4.8 กราฟตัวแปรทางไฟฟ้าของวงจรหลัก จากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II 60

4.9 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรทางไฟฟ้าในวงจรหลัก จากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II 62

4.10 กราฟค่าไฟฟ้าจากเครื่องมือวัด 3 ชนิด 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งประเทศปี พ.ศ. 2545 – 2559	2
1.2	การใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัย ปี พ.ศ. 2546 - 2559	3
1.3	ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
3.1	ข้อมูล Arduino Mega	37
4.1	ภาระไฟฟ้าในการทดลอง	44
4.2	การเปิด–ปิด ภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย ตลอด 24 ชั่วโมง	48
4.3	ค่าตัวแปรทางไฟฟ้าที่วัดจากวงจรหลัก	55
4.4	ค่าไฟฟ้าจากเครื่องมือวัด ชุดแสดงผลอัจฉริยะ, Fluke และ Chauvin Arnoux	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าทั่วโลกมีค่ามากขึ้น ทำให้พลังงานมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิต ทั้งในด้านเศรษฐกิจ การขนส่ง สังคม การสื่อสาร การแพทย์ และด้านเกษตรกรรม ซึ่งพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ต้องใช้เชื้อเพลิงในการผลิตโดยเชื้อเพลิงที่ใช้ล้วนเป็นทรัพยากรธรรมชาติและบางชนิดเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน เป็นต้น ดังนั้นการจัดการพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งที่หลายหน่วยงานทั่วโลก รวมไปถึงผู้ใช้ไฟฟ้าในภาคส่วนต่าง ๆ ต้องให้ความใส่ใจในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัด และมีประสิทธิภาพเพื่อความยั่งยืนสืบไป เพื่อที่จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และเมื่อมีการลดการใช้พลังงานเกิดขึ้นก็ส่งผลโดยตรงให้ค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานนั้นลดลงด้วย ไม่ว่าจะเป็นสถานที่ประกอบการใหญ่ ๆ ภาครัฐ หรือภาคเอกชน

สำหรับประเทศไทย การใช้พลังงานภายในประเทศมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในสัดส่วนที่สูงที่สุด เพราะพลังงานหมุนเวียนล้วนมีขีดจำกัดด้านประสิทธิภาพที่ต่ำไม่สามารถทำงานได้ตลอดเวลา จึงต้องเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าให้มากขึ้นเพื่อรองรับการใช้งานในอนาคต

ทิศทางของนโยบายด้านพลังงานของไทย มุ่งเน้นในการสร้างความมั่นคงทางพลังงานพัฒนาด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และสนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียนให้มากขึ้น โดยมีเป้าหมายหลัก คือ สร้างความมั่นคงทางพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ภายใต้ราคาที่เหมาะสมสอดคล้องกับต้นทุน และส่งเสริมให้เกิดการสร้างรายได้ให้แก่ประเทศ [1]

สำหรับประเทศไทยในปี พ.ศ.2558 พบว่าการนำเข้าพลังงานขั้นต้น (สุทธิ) อยู่ที่ระดับ 1,251 พันบาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 6.8 จากปีก่อน การนำเข้า (สุทธิ) พลังงานเกือบทุกประเภทเพิ่มขึ้น ประเทศไทยจึงมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น จึงนำเข้าไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าหงสา ประเทศลาว ส่วนการนำเข้าก๊าซธรรมชาติจากแหล่งซอติก้า ประเทศพม่า และมีการนำเข้าก๊าซธรรมชาติเหลวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การนำเข้าพลังงานขั้นต้น (สุทธิ) คิดเป็นร้อยละ 60 ของการใช้พลังงาน [2] ซึ่งปีนี้ประเทศไทยใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 174,833 GWh เพิ่มขึ้นร้อยละ 3.6 เมื่อเทียบกับปี 2557 เนื่องจากการขยายตัวทางเศรษฐกิจ การท่องเที่ยว และสิ่งอำนวยความสะดวกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งแบ่งเป็นการไฟฟ้านครหลวง 29%, ภาคกลาง 37%, ภาคใต้ 12%, ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 11% และภาคเหนือ 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี 2559 ประเทศไทยใช้พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 182,847 GWh เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.6 จากปี 2558 โดยเพิ่มขึ้นในทุกสาขาเศรษฐกิจ ยกเว้น ภาคเกษตรกรรมที่มีการใช้ไฟฟ้าลดลง ร้อยละ 30.9 เนื่องจากสภาวะภัยแล้ง [3]

ตารางที่ 1.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งประเทศปี พ.ศ. 2545 – 2559 [3]

ปี	บ้านอยู่อาศัย	กิจการขนาดเล็ก	กิจการขนาดกลาง	กิจการขนาดใหญ่	องค์กรไม่แสวงหากำไร	การเกษตร	อื่น ๆ	ไฟไม่คิดมูลค่า	สุทธิ
2546	23,330	10,343	15,767	51,845	3,701	228	690	1,084	106,987
2547	24,538	11,033	16,976	56,443	3,814	251	862	1,184	115,101
2548	25,482	11,894	47,781	59,669	3,848	249	1,052	1,264	121,240
2549	26,847	12,558	19,097	62,432	3,979	240	1,189	1,536	127,879
2550	27,938	13,207	19,991	64,553	4,230	268	1,304	1,623	133,113
2551	28,619	13,730	21,052	64,148	4,392	281	1,449	1,777	135,520
2552	30,257	14,342	21,347	60,880	4,677	318	1,517	1,843	135,181
2553	33,214	15,556	22,995	68,038	5,049	335	2,046	2,067	149,301
2554	32,799	15,446	23,660	67,942	4,888	297	1,655	2,168	148,855
2555	36,447	17,013	27,088	72,336	3,799	377	2,527	2,191	161,779
2556	37,657	18,374	30,413	72,536	149	354	2,479	2,379	164,341
2557	38,993	18,807	31,362	73,782	152	414	2,592	2,582	168,685
2558	41,286	19,768	33,219	74,773	179	387	2,478	2,743	174,833
2559	43,932	20,707	29,645	73,499	201	267	3,967	2,963	182,847

หมายเหตุ หน่วย : กิกะวัตต์ชั่วโมง

จากตารางที่ 1.1 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละปี ในภาคอุตสาหกรรม ใช้พลังงานไฟฟ้าอันดับ 1 ซึ่งปี 2559 เพิ่มขึ้นจากปี 2558 ร้อยละ 3.4 เนื่องจากการผลิตที่เพิ่มขึ้น สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าอันดับ 2 คือ ภาคครัวเรือน (บ้านอยู่อาศัย) ในปี 2559 เพิ่มขึ้น ร้อยละ 6.4 จากปี 2558, ภาคธุรกิจเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.1 ตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจ และการท่องเที่ยว องค์กรที่ไม่แสวงหากำไร เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.4 ไฟไม่คิดมูลค่า เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.0 และสาขาเศรษฐกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่น ๆ เพิ่มขึ้นร้อยละ 4.7 [3] ซึ่งสามารถแยกการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 การใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัย ปี พ.ศ. 2546 - 2559 [3]

ปี	ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 (บ้านอยู่อาศัย)			% อัตราการเปลี่ยนแปลงในการใช้ไฟฟ้า
	< 150 kWh	> 150 kWh	รวม (GWh)	
2546	7,039	16,291	23,330	6.22
2547	7,311	17,227	24,538	5.18
2548	7,502	17,980	25,482	3.85
2549	7,696	19,151	26,847	5.36
2550	7,744	20,194	27,938	4.06
2551	7,804	20,887	28,691	2.70
2552	8,343	21,913	30,257	5.46
2553	8,536	24,677	33,214	9.77
2554	8,601	24,198	32,799	-1.25
2555	8,773	27,674	36,447	11.12
2556	8,549	29,108	37,657	3.32
2557	8,703	30,290	38,993	3.55
2558	8,656	32,630	41,286	5.88
2559	8,555	35,377	43,932	6.4

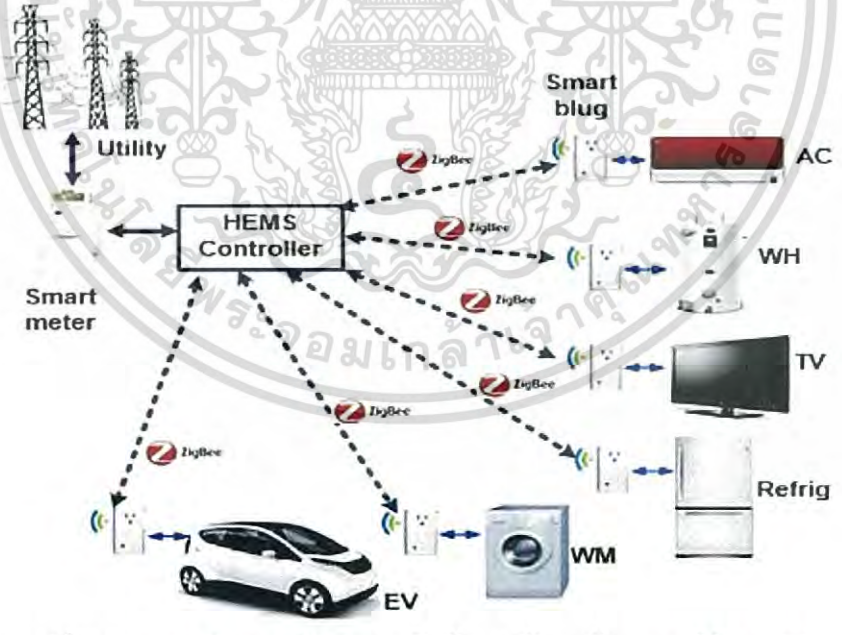
หมายเหตุ หน่วย : กิกะวัตต์ชั่วโมง

เห็นได้ว่าพลังงานที่ใช้สำหรับบ้านอยู่อาศัยมากเป็นอันดับ 2 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคตเนื่องมาจากค่านิยมของคนในสังคมสำหรับการใช้งานสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ถือว่าเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ทำให้มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น ซึ่งสิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านี้ล้วนใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ส่งผลให้มีการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น จากเหตุผลที่กล่าวมานี้ทำให้ค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น การลดการใช้พลังงานภายในบ้านอยู่อาศัยจึงเป็นสิ่งควรทำเป็นอันดับแรก เพราะเป็นสิ่งที่ใกล้ตัวมากที่สุด และจำนวนบ้านอยู่อาศัยในประเทศไทยมีจำนวนมากขึ้น หากทุกบ้านใส่ใจในการประหยัดพลังงานทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง จึงต้องมีการหาวิธีเพื่อที่จะลดการใช้พลังงานเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในบ้านอยู่อาศัย ซึ่งมีหลายวิธีที่ปฏิบัติได้ง่าย ๆ เช่น การเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน ลดการใช้สิ่งอำนวยความสะดวกที่เกินจำเป็น การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า เป็นต้น ทำให้สามารถลดการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายลงได้

งานวิจัย และบทความทางวิชาการ กล่าวถึงระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน (Home Energy Management : HEMS) [4] รวมทั้งระบบไร้สายแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน โดยมีวัตถุประสงค์ คือ ลดการใช้พลังงานที่มีการนำไปใช้ในรูปแบบต่าง ๆ และสามารถพัฒนาอุปกรณ์ไฟฟ้า ให้สามารถใช้งานได้เกิดโยชน์สูงสุด อาทิ งานวิจัยเกี่ยวกับเต้ารับอัจฉริยะ ซึ่งสามารถตรวจวัดการใช้พลังงานภายในบ้านโดยเชื่อมต่อกับเต้ารับ [5] เต้ารับอัจฉริยะนี้ใช้ระบบเครือข่ายไร้สาย (Zigbee) เพื่อทำงานร่วมกับระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน โดยผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเข้าถึงข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้า ณ เวลานั้น ๆ ได้ และสามารถเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับเต้ารับนี้ผ่านระบบเครือข่ายไร้สายนี้ได้อย่างสะดวก



รูปที่ 1.1 ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านส่งข้อมูลด้วยระบบไร้สาย [5]

จากรูปที่ 1.1 อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เชื่อมต่อกับเต้ารับไฟฟ้าอัจฉริยะ โดยเต้ารับนี้ ส่งข้อมูลผ่านระบบไร้สาย (Zigbee) ไปยังระบบควบคุม จัดการพลังงาน และส่งข้อมูลไปยังมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ งานวิจัย [6] ผู้ใช้สามารถเรียกดูข้อมูลของเต้ารับอัจฉริยะที่ถูกบันทึกไว้ได้บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบแอนดรอยด์ งานวิจัย [7] เครื่องพิมพ์สำหรับระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS) เป็นเครื่องพิมพ์ที่พิมพ์ข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้าน สามารถบอกสัญญาณความผิดพลาดของเครื่องใช้ไฟฟ้า ข้อมูลการประหยัดค่าไฟฟ้า คูปองของร้านค้าที่อยู่บริเวณใกล้เคียง แผนที่สำหรับร้านซ่อม และข้อมูลอื่น ๆ งานวิจัย [8] ตัวควบคุมความร้อน และติดต่อสื่อสารด้วยระบบไร้สาย สามารถควบคุมเครื่องใช้ระยะไกล ตัวควบคุมความร้อนอัจฉริยะนี้จะมีการปรับการทำงานให้เหมาะสมอยู่ตลอด ซึ่งจะรับข้อมูลที่ถูกส่งมาจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เพื่อการประมวลผล เช่น เซ็นเซอร์แสดงสถานะ, ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยา และอื่น ๆ โดยทั่วไปตัวควบคุมความร้อนอัจฉริยะอยู่บนพื้นฐานของการควบคุมขั้นสูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบทำความร้อนซึ่งขึ้นอยู่กับบริบทต่าง ๆ เช่น การเข้าออกที่อยู่อาศัย, กิจกรรมของผู้อยู่อาศัย, สภาพอากาศ และความร้อน

งานวิจัยเกี่ยวกับมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ มีความสามารถวัดกำลังไฟฟ้า ตรวจวัดพลังงาน และแสดงค่าพื้นฐานทางไฟฟ้าทั้งหมดแก่ผู้ใช้งาน โดยงานวิจัย [9] มิเตอร์อัจฉริยะประกอบด้วยส่วนของการวัดกำลังไฟฟ้า และส่วนของการเก็บข้อมูลมีการติดต่อสื่อสารกับส่วนของผู้ใช้งานด้วยระบบเครือข่ายไร้สาย (Zigbee) ซึ่งแสดงค่าพื้นฐานทางไฟฟ้าทั้งหมด ควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับเต้ารับ และยังสามารถเข้าถึงข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าจากระยะไกล งานวิจัย [10] มิเตอร์อัจฉริยะ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ในการประมวลผล สามารถจดจำ และแยกแยะกิจกรรมเบื้องต้นของการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าได้ งานวิจัย [11] ระบบใช้เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าแบบฮอลล์สามารถแจ้งเตือนผู้ใช้เกี่ยวกับการใช้พลังงาน ข้อมูลถูกส่งผ่านเครือข่ายไร้สาย และเก็บไว้ในเซิร์ฟเวอร์ส่วนกลาง ในการทำงานนั้น มีการแจ้งเตือนให้กับผู้ใช้เมื่อถึงวันครบกำหนดที่ต้องชำระเงิน หากผู้ใช้ไม่สามารถชำระเงินภายในเวลาที่ระบุไว้การเชื่อมต่อไฟฟ้าจะถูกตัด ระบบทั้งหมดนี้ทำงานบนพื้นฐานของระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (IoTs) ช่วยให้สามารถเข้าถึงอุปกรณ์ได้จากระยะไกล และข้อมูลถูกเก็บไว้ในระบบคลาวด์ เฉพาะข้อมูลของผู้ใช้ที่ผ่านการรับรองเท่านั้นที่ถูกเก็บไว้ ซึ่งผู้ใช้แต่ละรายสามารถตรวจสอบการใช้พลังงานได้ งานวิจัย [12] มิเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส ใช้ Arduino Mega ทำการศึกษาวิธีการลดปัญหาผลต่างระหว่างเวลา ซึ่งเป็นปัจจัยให้เกิดความคลาดเคลื่อน งานวิจัย [13] ระบบการจัดการวัดพลังงานอัจฉริยะแบบใหม่สำหรับระบบการวัด และเรียกเก็บเงินอัตโนมัติ โดย Arduino ส่งข้อมูล เช่น พลังงานที่ใช้ไปเป็นกิโลวัตต์, ค่าบริการ, บริการรักษาความปลอดภัย ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ (GSM) ซึ่งสามารถวัด และเรียกเก็บเงินได้ งานวิจัย [14] การพัฒนามิเตอร์ร่วมกับระบบจัดสรรพลังงานภายในบ้าน เข้ากับโครงสร้างพื้นฐานระบบวัดอัจฉริยะขั้นสูง มีการวัดคุณสมบัติหลายอย่างโดยมิเตอร์ไฟฟ้า รวมความผิดเพี้ยนของฮาร์มอนิก (THD) งานวิจัย [15] มิเตอร์อัจฉริยะนี้มีการสื่อสารสองทางกับผู้ใช้ และตัวอุปกรณ์ พิจารณาจากการใช้งานในรุ่นแรก ๆ ของอินเดีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้งานมาตรวัดอัจฉริยะแบบระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (GPRS) ซึ่งมีอยู่ในตัวแสดงผลโดยวัด และคำนวณการใช้งานของพลังงาน เก็บข้อมูลบนระบบคลาวด์ มีการวิเคราะห์การจัดลำดับการใช้ภาระไฟฟ้าอัจฉริยะร่วมกับระบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) งานวิจัย [16] ตรวจวัด และวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระยะยาว ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลการประหยัดพลังงาน และคุณภาพทางไฟฟ้า งานวิจัย [17] และ [18] ตรวจสอบ และวิเคราะห์พลังงาน โดยการจัดการผ่านตัวควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) งานวิจัย [19] ตรวจสอบ จัดการพลังงานของระบบไฟฟ้า 1 เฟส โดยผ่านระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (IoTs) และมีแอปพลิเคชันสำหรับสั่งการเครื่องใช้ไฟฟ้า งานวิจัย [20] วัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าของระบบ ซึ่งระบบเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน และแบตเตอรี่ งานวิจัย [21] และ [22] มิเตอร์วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า และแสงสว่าง โดยผู้ใช้สามารถทราบค่าใช้จ่าย ระบบสามารถเรียกเก็บเงินผ่านระบบไร้สาย

งานวิจัย [23] ระบบการตรวจวัดพลังงานภายในบ้านมีหลักเกณฑ์สำคัญในการจัดการพลังงานภายในบ้าน และสร้างแอปพลิเคชันในการทำนายค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถสร้างแอปพลิเคชันตามความต้องการของตัวเองได้ (API) เพื่อคาดการณ์ค่าไฟฟ้าของผู้ใช้โดยรายงานไปยังผู้ใช้ทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ทุกวัน งานวิจัย [24] แอปพลิเคชันการทำนายภาระไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS)

งานวิจัย [25] เสนอขั้นตอนการจัดตารางเวลาการจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS) เพื่อลดต้นทุนการใช้พลังงานโดยใช้ราคา ณ เวลาจริง อัลกอริธึมที่เสนอทำงานในสามขั้นตอน ได้แก่ การตรวจสอบแบบ ณ เวลาจริง (RTM) การตั้งเวลาแบบสุ่ม (STS) และการควบคุมแบบ ณ เวลาจริง วัตถุประสงค์เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการใช้พลังงานในบ้านลดลง

[26] ระบบตรวจวัดพลังงานภายในบ้าน และการประหยัดภายในบ้านด้วยระบบการควบคุมกำกับดูแล และเก็บข้อมูล (SCADA) ระบบสามารถแสดงผลการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ที่ใช้งาน และแจ้งเตือนเมื่อมีการใช้งานที่สิ้นเปลือง

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจวัดพลังงานที่เกี่ยวกับระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (IoTs) งานวิจัย [27] และ [28] มีการตรวจวัดพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า อัพโหลดไปยังเซิร์ฟเวอร์ ระบบตรวจวัดพลังงาน คำนวณกำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ แสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ตรวจสอบพลังงานภายในที่อยู่อาศัย และผู้ใช้สามารถตรวจสอบค่าไฟฟ้าที่ใช้ได้ สามารถควบคุมต้นทุนการใช้พลังงานโดยการตรวจวัดอย่างชาญฉลาดเกี่ยวกับสภาวะของระบบไฟฟ้าในครัวเรือน และเพื่อความปลอดภัย งานวิจัย [29] เป็นระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS) ซึ่งวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าและประวัติการใช้งานของเครื่องใช้ในครัวเรือนผ่านทางเทคโนโลยีการจดจำบริบท วิธีการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม และการวิเคราะห์ทางสถิติ [30] แอปพลิเคชันในการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าระยะไกล งานวิจัย [31] การตรวจวัดพลังงาน โดยใช้ระบบคลาวด์ ระบบสามารถคำนวณ ตรวจวัด การจัดการรวบรวมข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต ควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ผ่านโทรศัพท์มือถือ พลังงานไฟฟ้าที่เหลือจากบ้านหลังหนึ่งสามารถให้ผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นที่ต้องการ นอกจากนี้ยังมีการรายงานค่าใช้จ่ายในการผลิตเป็นรายวัน รายเดือน และรายปีในหน่วยกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ดังนั้นจึงเป็นประโยชน์ต่อผู้คนในการใช้พลังงาน และสามารถประหยัดค่าใช้จ่าย งานวิจัย [32] ระบบตรวจวัดพลังงานภายในบ้านด้วยโทรศัพท์มือถือ การติดตามการใช้พลังงานสำหรับการทำงานของแต่ละเครื่อง งานวิจัย [33] เสนอการออกแบบ และติดตั้งระบบตรวจสอบ จัดการพลังงานภายในอาคารด้วยเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (WSNs) ใช้เป็นระบบที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างโหนดเซ็นเซอร์ซึ่งในแต่ละโหนดสามารถตรวจวัดและควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า

งานวิจัย [34] ศึกษาควบคุมพลังงาน และลดค่าใช้จ่ายภายในบ้านแบบอัตโนมัติโดยการจัดลำดับการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสำหรับบ้านอัจฉริยะ

งานวิจัย และบทความข้างต้นเกี่ยวกับการจัดการพลังงานไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าด้านผู้ใช้ไฟฟ้า สามารถคำนวณ และคิดค่าไฟฟ้า 2 แบบ คือ อัตราปกติตามปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และอัตราการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) [35] โดยพลังงานไฟฟ้ามีราคาต่อหน่วยสูงในช่วงที่ระบบมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (On Peak) และช่วงที่ระบบมีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำจะมีราคาต่อหน่วยที่ต่ำ (Off Peak) ค่าพลังงานไฟฟ้ามีราคาลดลงเนื่องจากการไฟฟ้าสามารถเลือกผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงที่มีราคาต่ำ ดังนั้นอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) สามารถสะท้อนต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ การคิดอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) เหมาะกับผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย และกิจการขนาดเล็ก ซึ่งสามารถช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ในแต่ละเดือน

การคิดค่าพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) สามารถหาจุดคืนทุนสำหรับการติดตั้งระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ การจัดการพลังงานที่เหมาะสมสำหรับบ้านอัจฉริยะ ระบบการจัดการพลังงานภายในบ้านอัจฉริยะ (SHEMS) ตามการกำหนดราคาเวลาในการใช้งาน (TOU) เครื่องใช้ไฟฟ้า และแหล่งพลังงานหลายชนิดมีการประสานกันเพื่อประโยชน์ทางเศรษฐกิจในการพิจารณาประสบการณ์ของผู้ใช้ โมเดลได้รับการปรับปรุง และพิจารณามูลค่าพลังงานที่เก็บไว้ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าสามารถประหยัดเงินได้มากกว่า 31% ซึ่งรวมถึงการประหยัด นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ลักษณะการดำเนินงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า และข้อดีของระบบการจัดการพลังงานภายในบ้านอัจฉริยะในการประหยัดพลังงาน ลดการปล่อยก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรือนกระจก ผลกระทบของความแตกต่างของความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (On Peak) และความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ (Off Peak) [36]

ตารางที่ 1.3 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	รูปแบบการใช้งาน	วิธีการ	ข้อมูลเพิ่มเติม
[5]	เต้ารับอัจฉริยะ	วัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านที่เชื่อมต่อกับเต้ารับอัจฉริยะ	เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายไร้สาย (Zigbee) และสามารถเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับเต้ารับนี้ผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย
[6]			ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino และโมดูลอีเธอร์เน็ต ผู้ใช้สามารถเรียกดูข้อมูลที่เก็บไว้บนเซิร์ฟเวอร์ได้ผ่านระบบแอนดรอยด์
[7]	เครื่องพิมพ์สำหรับจัดการ และจัดส่งข้อมูลภายในบ้าน	พิมพ์ข้อมูลเกี่ยวกับพลังงานที่ใช้ภายในบ้าน และแสดงความผิดพลาดของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านในรูปแบบกระดาษ	ประยุกต์กับการแสดงข้อมูลเพิ่มเติม เช่น ร้านสำหรับซ่อมเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือคูปองร้านค้าที่อยู่บริเวณใกล้เคียง
[8]	เครื่องทำความร้อนอัจฉริยะ	ปรับความร้อนให้เหมาะสมอยู่ตลอด	ติดต่อสื่อสารผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย และสามารถควบคุมระยะไกล
[9]	มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ	วัดกำลังไฟฟ้า และแสดงค่าพื้นฐานทางไฟฟ้าทั้งหมดแก่ผู้ใช้งาน	เชื่อมต่อโทรศัพท์มือถือกับเครือข่ายไร้สาย (Zigbee) และมีการทำงานร่วมกับเต้ารับอัจฉริยะ
[10]			ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ในการประมวลผล สามารถจดจำและแยกแยะกิจกรรมเบื้องต้นของการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 (ต่อ) ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	รูปแบบการใช้งาน	วิธีการ	ข้อมูลเพิ่มเติม
[11]	มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ	วัดกำลังไฟฟ้า และแสดงค่าพื้นฐานทางไฟฟ้าทั้งหมดแก่ผู้ใช้งาน	แจ้งเตือนผู้ใช้เกี่ยวกับการใช้พลังงาน ข้อมูลถูกส่งผ่านเครือข่ายไร้สาย และเก็บไว้ในเซิร์ฟเวอร์ส่วนกลาง
[12]			ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega ในการตรวจวัดพลังงาน
[13]			มีการรวม Arduino และระบบ GSM Short Message Service (SMS) สามารถให้การบริการที่จำเป็นทั้งหมดจากระยะไกลสำหรับการวัด และเรียกเก็บเงินผ่านเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ
[14]			-
[15]			เก็บข้อมูลบนระบบคลาวด์ และสามารถคำนวณค่าไฟฟ้าแบบช่วงเวลาการใช้งาน และสามารถแสดงกราฟข้อมูลต่าง ๆ
[16]		ตรวจวัด และวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระยะยาว ซึ่งสามารถแสดงข้อมูลการประหยัดพลังงาน และคุณภาพทางไฟฟ้า	มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่านไวไฟซึ่งสามารถเข้าถึงได้จากเว็บเบราว์เซอร์ต่าง ๆ และจากแอปพลิเคชันซึ่งมีระบบฐานข้อมูลที่มีความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 (ต่อ) ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	รูปแบบการใช้งาน	วิธีการ	ข้อมูลเพิ่มเติม
[17]	มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ	ตรวจสอบ, วิเคราะห์ภาระไฟฟ้าภายใต้ระบบมิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ	วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบวิเคราะห์ผลด้วยตัวควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) ซึ่งเป็นการจัดส่งข้อมูลสำหรับการตรวจสอบ และควบคุมระยะไกลของเครื่องวัด
[18]		วัดปริมาณแบบอัจฉริยะสำหรับการกำหนดค่าโดยใช้กรอบการจำลองแบบตัวควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถใช้โปรแกรมได้ (PLC) ซึ่งรวมเอามาตรฐาน DLMS / COSEM และ PRIME	ระบบควบคุมพลังงาน (Smart Grid) ใช้ตัวควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ ในการสื่อสารเพื่อวิเคราะห์ผล และผู้ใช้สามารถใช้แอปพลิเคชันตรวจสอบข้อมูล
[19]		ตรวจสอบ และการจัดการพลังงานของระบบไฟฟ้า 1 เฟส ผ่านระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (Internet of Things : IoTs) ส่งข้อมูลโดยอัตโนมัติเพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถอ่านมิเตอร์วัดพลังงานได้ตลอดเวลา	ระบบประกอบด้วยเครื่องวัดพลังงานดิจิทัลโมดูล ESP8266 WiFi และแอปพลิเคชันสำหรับระบบการจัดการพลังงาน
[20]		วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้บริโภค และรายงานโดยอัตโนมัติไปยังผู้ใช้งาน	ให้บริการระบบศึกษาผ่านแหล่งพลังงานทดแทน (RES) และแบตเตอรี่แบบชาร์จไฟ (RB)
[21]		มิเตอร์อัจฉริยะเป็นอุปกรณ์ช่วยในการเชื่อมต่อข้อมูลกับอุปกรณ์อัจฉริยะ และตัวควบคุมความร้อน เชื่อมต่อแบบไร้สาย	เรียกเก็บเงินระยะไกลอัตโนมัติ และการคำนวณค่าใช้จ่ายราคาไฟฟ้าแบบตลอดเวลา ถูกเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 (ต่อ) ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	รูปแบบการใช้งาน	วิธีการ	ข้อมูลเพิ่มเติม
[22]	มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ	ควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าเก็บเงิน ระบบไฟฟ้าประกอบด้วยหน่วยวัดแสง ติดต่อสื่อสารระหว่างหน่วยวัดแสงกับโมดูลอินเทอร์เฟซผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งและรับข้อมูลระหว่างโปรแกรมอรรถประโยชน์กับหน่วยวัดแสงที่ติดตั้งในบ้าน	มีแอปพลิเคชันแอนดรอยด์ ที่ใช้งานได้ง่ายสำหรับผู้ใช้รวมถึงเว็บไซต์และฐานข้อมูลสำหรับบริษัท ผู้จัดจำหน่ายไฟฟ้า
[23]	แอปพลิเคชันทำนายค่าไฟฟ้า	ทำนายค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ และรายงานข้อมูลไปยังผู้ใช้ผ่านจดหมายอิเล็กทรอนิกส์	ผู้ใช้สามารถปรับแต่งแอปพลิเคชันได้ตามความต้องการ
[24]	แอปพลิเคชันการทำนายภาระไฟฟ้าสำหรับการจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS)	ใช้วิธีการเชิงตัวเลขเพื่อทำนายความต้องการในการใช้งานภาระไฟฟ้า และกำหนดตารางการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า	-
[25]	การจัดการพลังงานภายในบ้าน	กำหนดตารางเวลาการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อลดต้นทุนในการใช้พลังงาน	-
[26]	ระบบการควบคุมกำกับดูแล และเก็บข้อมูล (SCADA) สำหรับระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน	จัดสรรเพื่อลดการใช้พลังงานภายในบ้าน และแจ้งเตือนผู้ใช้ถึงการใช้พลังงานที่สิ้นเปลือง	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 (ต่อ) ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	รูปแบบการใช้งาน	วิธีการ	ข้อมูลเพิ่มเติม
[27]	ระบบตรวจวัดพลังงานบนพื้นฐานของระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (IoTs)	ตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน	ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ในการประมวลผล แสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ และควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบ
[28]		ตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน หรือสำนักงาน	สามารถเข้าสู่ระบบเพื่อดูการใช้พลังงานของแต่ละห้องผ่านระบบแอนดรอยด์ที่มีการเชื่อมต่อด้วยไวไฟ
[29]	ระบบตรวจวัดพลังงานบนพื้นฐานของระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (IoTs)	ระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS) ซึ่งวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้า และประวัติการใช้งานของเครื่องใช้ในครัวเรือนผ่านทางเทคโนโลยีการจดจำบริบท, วิธีการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม และการวิเคราะห์ทางสถิติ	มีระบบการจัดการแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จได้จากพลังงานทดแทน และระบบไฟฟ้าหลัก
[30]		การตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าอัตโนมัติ ผ่านระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (IoTs) และประมวลผลข้อมูลแบบตลอดเวลา	ใช้เซ็นเซอร์ แอปพลิเคชันในการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าระยะไกล
[31]		ตรวจวัดพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านโดยมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์	เชื่อมต่อกับระบบคลาวด์สามารถดูข้อมูลผ่านโทรศัพท์มือถือ และสามารถบริหารจัดการในการใช้พลังงานระหว่างบ้านแต่ละหลังที่อยู่ในระบบเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

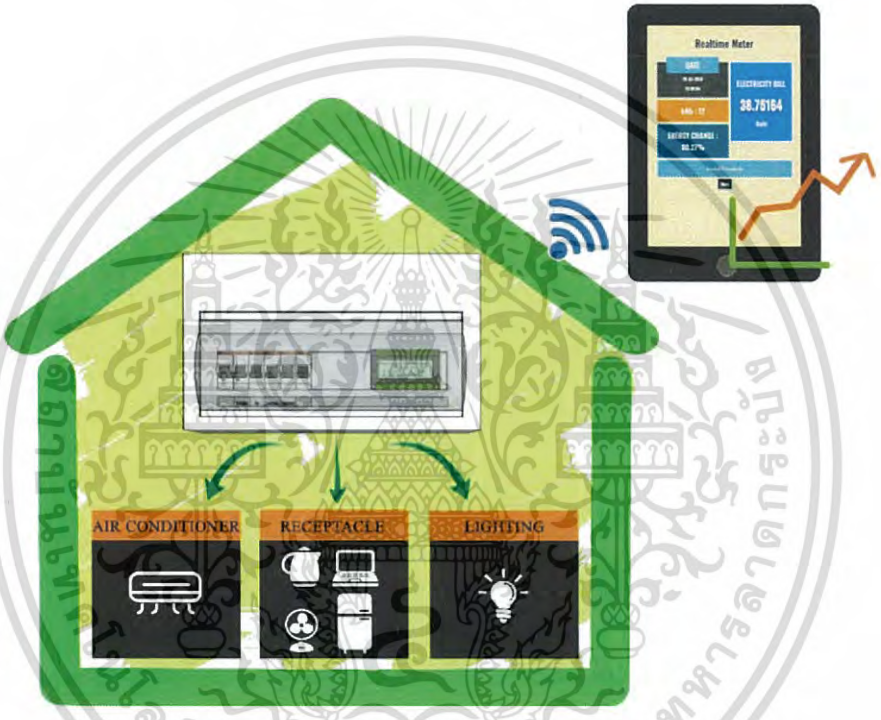
ตารางที่ 1.3 (ต่อ) ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	รูปแบบการใช้งาน	วิธีการ	ข้อมูลเพิ่มเติม
[32]	ระบบตรวจวัดพลังงานด้วยโทรศัพท์มือถือ	ผู้ใช้สามารถตรวจวัดพลังงานควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในบ้าน	สามารถควบคุมการทำงานของระบบผ่านเครือข่ายไร้สาย (Zigbee)
[33]	การจัดการพลังงานในอาคารด้วยระบบเซ็นเซอร์ไร้สาย	เป็นระบบที่มีการเชื่อมต่อกันระหว่างโหนดเซ็นเซอร์ซึ่งในแต่ละโหนดสามารถตรวจวัด และควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า	ระบบเครือข่ายไร้สาย (Zigbee) และไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino
[34]	เทคนิคการจัดสรรพลังงาน และระบบอัตโนมัติสำหรับบ้านอัจฉริยะ	ระบบสามารถควบคุมพลังงานและลดค่าใช้จ่ายภายในบ้านแบบอัตโนมัติโดยการจัดลำดับการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด	ระบบสามารถเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไร้สายได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ไวไฟ หรือเครือข่ายไร้สาย (Zigbee)

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น เห็นได้ว่าการจัดสรรพลังงานเป็นสิ่งที่สำคัญ และจำเป็นในอนาคต เนื่องจากความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ปริญญานิพนธ์นี้มุ่งเน้นไปในส่วนของการประหยัดพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และประหยัดค่าใช้จ่ายภายในบ้าน โดยที่ผู้ใช้สามารถบริหารจัดการในการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยตนเองด้วยหลักจิตวิทยา เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าทราบค่าไฟฟ้า และพลังงานที่ใช้อย่างสะดวกรวดเร็ว ซึ่งทำให้ทราบว่าปัจจุบันได้ใช้ปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าไฟฟ้า ณ ขณะนั้น หากมีค่าที่สูงขึ้นทำให้เกิดความต้องการที่ลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ซึ่งผู้ใช้ทำการประหยัดพลังงานเองโดยการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อเวลาที่ต้องใช้งานจริง ๆ และใช้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อไม่ให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน อีกทั้งยังช่วยให้บริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านได้สะดวกเนื่องจากการเข้าถึง เข้าใจง่าย ไม่ว่าจะเป็นระบบสั่งการผ่านโทรศัพท์มือถือทำให้ผู้ใช้ไม่มองว่าเป็นเรื่องยุ่งยาก ในการประหยัดพลังงานนี้จะมุ่งเน้นไปที่ชุดแสดงผลอัจฉริยะ สามารถวัดพลังงานไฟฟ้าภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า (consumer unit) โดยทั่วไปตู้ควบคุมไฟฟ้าสามารถควบคุมไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในบ้าน มีเบรกเกอร์ของวงจรต่าง ๆ และเบรกเกอร์หลักซึ่งสามารถทำงานตัดต่อวงจร แต่ไม่สามารถทราบค่าพื้นฐานทางไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ การที่จะสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทราบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปจะต้องไปดูที่มิเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวเท่านั้น จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้ทำการออกแบบชุดวัดพลังงาน แสดงผลค่าพื้นฐานทางไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และค่าไฟฟ้า ซึ่งให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นปัจจุบัน เข้าใจง่ายซึ่งทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถบริหารจัดการในการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างสะดวก ชุดแสดงผลอัจฉริยะภายในตู้ควบคุมไฟฟ้านี้จะทำให้ผู้ใช้เข้าใจถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดโดยดูจากค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ ที่วัดได้จากวงจรย่อยนั้น ๆ เมื่อผู้ใช้ทราบถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้สามารถบริหาร จัดการพลังงานภายในบ้านได้ง่ายขึ้น โดยผ่านจอแสดงผล และทางอินเทอร์เน็ต ดังรูป 1.2



รูปที่ 1.2 ระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 ศึกษาการใช้พลังงานภายในบ้านอยู่อาศัย เพื่อการจัดสรรพลังงานให้มีประสิทธิภาพ และใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2.2 สร้างชุดแสดงผลอัจฉริยะ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบพลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้า ณ เวลานั้น ๆ ได้ รวมถึงหันมาใส่ใจในเรื่องการใช้พลังงาน

1.2.3 เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้งานนำไปสู่ความยั่งยืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขต และข้อกำหนดโครงงาน

งานวิจัยนี้จัดทำชุดแสดงผลอัจฉริยะเพื่อระบบจัดการพลังงาน สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 (บ้านอยู่อาศัย) หรือผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 2 (ธุรกิจขนาดเล็ก) โดยตู้ควบคุมไฟฟ้าอัจฉริยะออกแบบสำหรับระบบ 1 เฟส มีความสามารถที่ทำการวัด และแสดงค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ อย่างถูกต้องแม่นยำ และรวดเร็ว โดยภาระไฟฟ้าเป็นการจำลองภาระที่ใช้กันทั่วไปภายในบ้านพักที่อยู่อาศัย ซึ่งเมื่อทำการวัด เครื่องวัดสามารถทำงานโดยมีความเคลื่อนน้อยกว่า 2.5 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานผลิตอุตสาหกรรม มาตรพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ มอก. 2543-2555 และประมวลผลเพื่อคำนวณค่าตัวแปรต่าง ๆ จะแสดงค่าออกทางหน้าจอแสดงผลโดยแสดงผลทางผลค่าต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้า และค่าไฟฟ้า ณ เวลานั้น

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 วางแผนการดำเนินงาน

1.4.2 ศึกษาทฤษฎี การคำนวณ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.3 ออกแบบซอฟต์แวร์การทำงาน

1.4.4 ออกแบบ และจัดทำชุดทดลอง โดยการวิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการใช้งาน อาทิ ขนาดของอุปกรณ์ ย่านการทำงานของอุปกรณ์ ความคุ้มค่าต่อราคา และความสะดวกในการใช้งาน

1.4.5 ทดลอง และวัดผลจากชุดทดลอง โดยการเปรียบเทียบการประมวลผลของซอฟต์แวร์ที่เทียบผลการทดลองกับเครื่องวัดที่ได้มาตรฐาน รวมถึงการนำชุดทดลองมาทดสอบกับภาระไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ เพื่อความสะดวก และรวดเร็วในการเก็บข้อมูล

1.4.6 จัดทำเครื่องต้นแบบของตู้ควบคุมไฟฟ้าอัจฉริยะสำหรับการติดตั้งจริง โดยใช้ต้นแบบจากชุดทดลอง

1.4.7 ทำระบบแสดงผลอัจฉริยะของตู้ควบคุมไฟฟ้าอัจฉริยะที่สามารถแสดงข้อมูลระบบผ่านระบบออนไลน์ และแสดงข้อมูลต่าง ๆ ของระบบ

1.4.8 วิเคราะห์ผลการทำงานของตู้ควบคุมไฟฟ้าอัจฉริยะ และทำการปรับแก้จุดที่บกพร่อง

1.4.9 สรุปผลการทำโครงงาน และจัดทำรูปเล่มโครงงานปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	พ.ศ. 2560																พ.ศ. 2561															
	ส.ค.				ก.ย.				ต.ค.				พ.ย.				ม.ค.				ก.พ.				มี.ค.				เม.ย.			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1) วางแผนการดำเนินงาน	←→		⇢																													
2) ศึกษาทฤษฎี การคำนวณ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง			←→		⇢																											
3) ออกแบบซอฟต์แวร์การทำงาน					←→		⇢																									
4) ออกแบบ และจัดทำชุดทดลอง							←→		⇢																							
5) ทดลอง และวัดผลชุดทดลอง									←→			⇢																				
6) จัดทำเครื่องต้นแบบ											←→		⇢																			
7) ทำระบบแสดงผลอัจฉริยะ													←→		⇢																	
8) วิเคราะห์ผลการทำงาน																	←→			⇢												
9) สรุปผลการทำโครงงาน																					←→			⇢								

←→ แผนงานที่ปฏิบัติจริง ⇢ แผนงานที่กำหนดไว้

1.6 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

ประโยชน์ที่ได้จากการทดลองสามารถแบ่งออกเป็น 2 ด้าน คือ

1.6.1 ประโยชน์ด้านพลังงาน และสังคม

1.6.1.1 การใช้พลังงานโดยรวมของระบบลดลง นำไปสู่การลดลงของการนำเข้าเชื้อเพลิง และการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในการผลิตพลังงานไฟฟ้า

1.6.1.2 ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถทราบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และค่าไฟฟ้า ณ เวลาจริง

1.6.1.3 ผู้ใช้สามารถตรวจสอบข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ค่าไฟฟ้าผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย

1.6.2 ประโยชน์ด้านวิศวกรรม

1.6.2.1 สามารถตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้า

1.6.2.2 สามารถใช้เป็นต้นแบบในการผลิตเพื่อใช้จริงติดตั้งตามบ้านอยู่อาศัย

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วยเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ และการสร้างเครื่องต้นแบบ ตู้ควบคุมไฟฟ้าอัจฉริยะซึ่งสามารถแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงที่มา และความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต รวมถึงแผนการดำเนินงานของโครงงาน

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโครงงานนี้ อาทิ ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า และส่วนประกอบของชุดแสดงผลอัจฉริยะ

บทที่ 3 การออกแบบ กล่าวถึงการออกแบบ และอุปกรณ์ รวมถึงการออกแบบซอฟต์แวร์ประมวลผลของชุดแสดงผลอัจฉริยะ และสร้างเครื่องต้นแบบที่สามารถนำไปติดตั้งในงานตามบ้านอยู่อาศัย

บทที่ 4 การทดลอง และการแสดงผล กล่าวถึงวิธีทำการทดลอง และพฤติกรรมของภาระไฟฟ้าแต่ละชนิด

บทที่ 5 บทสรุป ปัญหาที่พบ และแนวทางพัฒนาโครงงาน กล่าวถึงบทสรุปของโครงงานวิจัยนี้ และกล่าวถึงปัญหาที่พบ วิธีการปรับปรุงแก้ไข รวมถึงแนวทางในการพัฒนาโครงงานนี้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงเรื่องทฤษฎีกำลังไฟฟ้า ซึ่งใช้ในการคิดคำนวณค่าไฟฟ้า แสดงผลออกผ่านหน้าจอแสดงผล แผงสวิตช์แรงดันต่ำ และตู้ควบคุมไฟฟ้า รวมถึงวิธีการรับส่งข้อมูลผ่านทางระบบไร้สาย ทางผู้จัดทำได้รวบรวมจากทฤษฎี งานวิจัย และบทความที่เกี่ยวข้องจากสถานที่ต่าง ๆ ซึ่งได้กล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องไว้ดังนี้

2.1 ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า

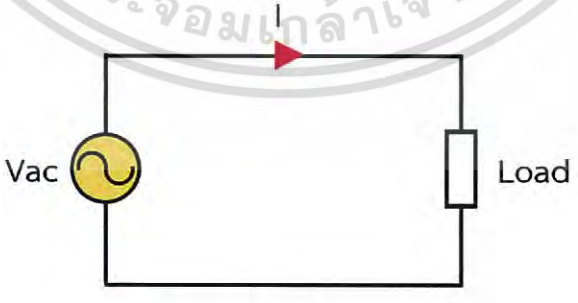
กำลังไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ในการเปลี่ยนแปลงเป็นรูปแบบพลังงานต่าง ๆ เช่น พลังงานแสงสว่าง พลังงานความร้อน พลังงานทางกล เป็นต้น มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าแสดงได้ดังสมการดังนี้

$$p = \frac{w}{t} \tag{2.1}$$

เมื่อ p คือ กำลังไฟฟ้า (W)
w คือ พลังงาน (J)
t คือ เวลา (s)

2.1.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (Instantaneous Power)

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ เกิดจากผลคูณของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมภาระไฟฟ้า ณ ขณะนั้น และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านภาระไฟฟ้า ณ ขณะนั้น โดยอยู่ในรูปของฟังก์ชันเวลา แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูปที่ 2.1 จะได้สมการกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ โดยอยู่ในรูปของฟังก์ชันเวลาได้ดังนี้

$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2}[cos(\theta_v - \theta_i) + cos(2\omega t + \theta_v + \theta_i)] \tag{2.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ V_m คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V)

I_m คือ ขนาดกระแสไฟฟ้าสูงสุด (A)

θ_v คือ มุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า (rad)

θ_i คือ มุมเฟสของกระแสไฟฟ้า (rad)

ω คือ ความถี่เชิงมุม (rad/s)

2.1.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power)

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย สามารถคำนวณหาค่าได้จากการอินทิเกรตตลอดคาบเวลาของกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ ซึ่งอยู่ในรูปฟังก์ชันของเวลา แล้วหารด้วยคาบของเวลา แสดงได้สมการดังนี้

$$P_{avg} = \frac{1}{T}\int_{t_0}^{t_0+T} p(t)dt \tag{2.3}$$

เมื่อ P_{avg} คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (W)

T คือ คาบเวลา

t_0 คือ เวลา ณ ขณะใด ๆ

จากสมการที่ 2.3 ได้สมการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้ดังนี้

$$P_{avg} = \frac{V_m I_m}{2}\cos(\theta_v - \theta_i) \tag{2.4}$$

เมื่อรูปคลื่นสัญญาณของแรงดันไฟฟ้า และรูปคลื่นสัญญาณของกระแสไฟฟ้าที่ได้เป็นรูปคลื่นสัญญาณไซนูซอยด์ พบว่าค่าขนาดสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า และค่าขนาดสูงสุดของกระแสไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับค่าประสิทธิผล (rms) แสดงได้สมการดังนี้

$$V_m = \sqrt{2}V_{rms} \tag{2.5}$$

$$I_m = \sqrt{2}I_{rms} \tag{2.6}$$

เมื่อจัดรูปสมการที่ 2.10 ให้อยู่ในรูปค่าประสิทธิผล (rms) แสดงได้สมการดังนี้

$$P_{avg} = V_{rms}I_{rms}\cos(\theta_v - \theta_i) \tag{2.7}$$

2.1.3 กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (Complex Power)

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน สามารถคำนวณได้จากผลคูณระหว่างเฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าและเฟสเซอร์ของกระแสไฟฟ้า แสดงสมการกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนได้ดังนี้

$$S = V_{rms}I_{rms}\cos(\theta_v - \theta_i) + jV_{rms}I_{rms}\sin(\theta_v - \theta_i) \tag{2.8}$$

หรือ

$$S = P + jQ \tag{2.9}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ P คือ ส่วนจริงของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน มีค่า $V_{rms}I_{rms}\cos(\theta_v - \theta_i)$

Q คือ ส่วนจินตภาพของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน มีค่า $V_{rms}I_{rms}\sin(\theta_v - \theta_i)$

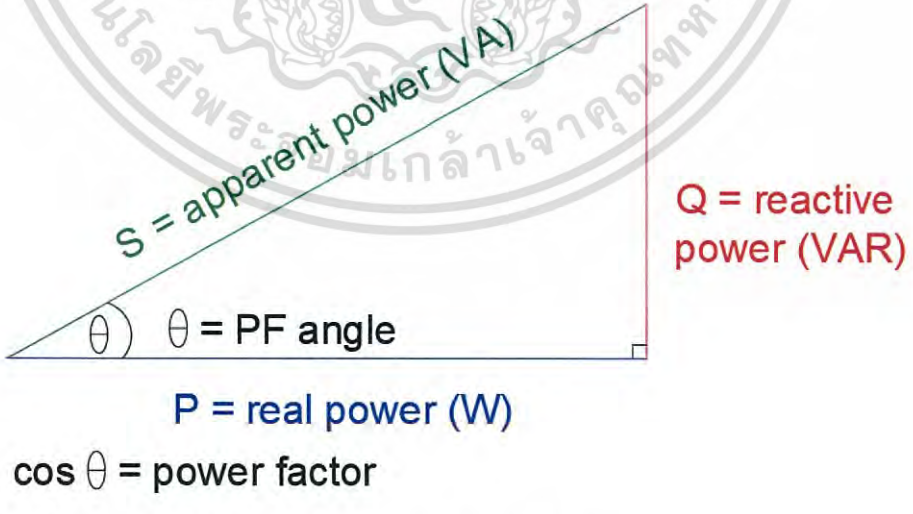
กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power : P) คือ พลังงานที่ภาระไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบพลังงานอื่นได้โดยผ่านภาระไฟฟ้า เช่น พลังงานความร้อน พลังงานกล พลังงานแสงสว่าง เป็นต้น มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power : Q) คือ พลังงานที่ภาระไฟฟ้าไม่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในรูปแบบพลังงานอื่น ๆ ได้ แต่ภาระไฟฟ้าที่ต้องทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เช่น หม้อแปลง มอเตอร์ เป็นต้น ต้องใช้กำลังไฟฟ้าเสมือนนี้สร้างสนามแม่เหล็ก มีหน่วยเป็นวาร์ (VAR)

กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power : S) คือ กำลังงานที่แหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าต้องจ่ายให้กับภาระไฟฟ้าต่าง ๆ และมีขนาดเท่ากับผลคูณของกระแสไฟฟ้าในวงจรกับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็น โวลต์-แอมป์ (VA)

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor : PF) คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าจริง (P) ต่อกำลังไฟฟ้าเสมือน (S) โดยแสดงค่าอยู่ในรูป $\cos(\theta_v - \theta_i)$ และมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นอยู่กับชนิดของภาระไฟฟ้า

โดยความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าเสมือน และกำลังไฟฟ้าปรากฏสามารถอธิบายได้ด้วยรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีสมการคือ

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.10)$$

จากรูปสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า พบว่าถ้ากำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) เป็นค่าบวก แสดงว่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) เป็นแบบล้าหลัง (Lagging) และเกิดจากภาระไฟฟ้าประเภทตัวเหนี่ยวนำ ถ้ากำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) เป็นค่าลบ แสดงว่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) เป็นแบบนำหน้า (Leading) และเกิดจากภาระไฟฟ้าประเภทตัวเก็บประจุ แต่ถ้ากำลังไฟฟ้าเสมือน (Q) มีค่าเท่ากับศูนย์ แสดงว่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) มีค่าเท่ากับ 1 และเกิดจากภาระไฟฟ้าประเภทความต้านทาน

2.2 แผงสวิตช์แรงต่ำ

แผงสวิตช์แรงต่ำ หมายถึง แผงที่ทำหน้าที่รับไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายต้นทาง และจ่ายไฟฟ้าสู่วงจรย่อย หรือภาระไฟฟ้าต่าง ๆ โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

1. โครงตู้ (Enclosure)
2. บัสบาร์ (Bus Bar)
3. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)
4. เครื่องวัดไฟฟ้า (Meter)
5. อุปกรณ์ประกอบ (Accessories)

แผงสวิตช์ (Switch Board)

แผงสวิตช์ (Switch Board) หมายถึง บอร์ดจ่ายไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่รับไฟฟ้ามาจากการไฟฟ้า หรือหม้อแปลงด้านแรงดันต่ำ เพื่อไปจ่ายภาระไฟฟ้า (Load) ต่าง ๆ บางครั้งเรียก Main Distribution Board (MDB) หรือ Main Distribution Panel (MDP)

โครงตู้สวิตช์บอร์ด (Enclosure)

โครงตู้สวิตช์บอร์ด (Enclosure) หมายถึง โครงตู้สวิตช์บอร์ดผลิตจากอิเล็กโตรกัลวาไนซ์ (Electro Galvanized : EG) ใช้สำหรับผลิตตู้ที่ใช้ภายนอกแล้วผ่านกระบวนการพ่นสี โดยมีเนื้อสีเป็นสารจำพวกอีพอกซี่ (Epoxy) (กรณี ใช้งานในร่ม) และโพลีเอสเตอร์ (Polyester) (กรณีใช้งานกลางแจ้ง) ซึ่งโครงตู้ และสีเคลือบผิวตู้ ต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ เช่น มีความทนทานต่อการรับแสง ทนทานต่อการกัดกร่อน และทนทานต่อความร้อน

แผงย่อย (Panel Board) [37]

แผงย่อย (Panel Board) หมายถึง แผงเดี่ยว หรือกลุ่มของแผงเดี่ยว ที่ออกแบบให้รวมกันเป็นแผงเดียวประกอบด้วยบัสบาร์อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินอัตโนมัติซึ่งเป็นแผงที่ได้ออกแบบให้ติดตั้งไว้ในตู้ หรือกล่องคัตเอาท์ตั้งบนผนังซึ่งสามารถเข้าถึงได้ทางด้านหน้าเท่านั้น

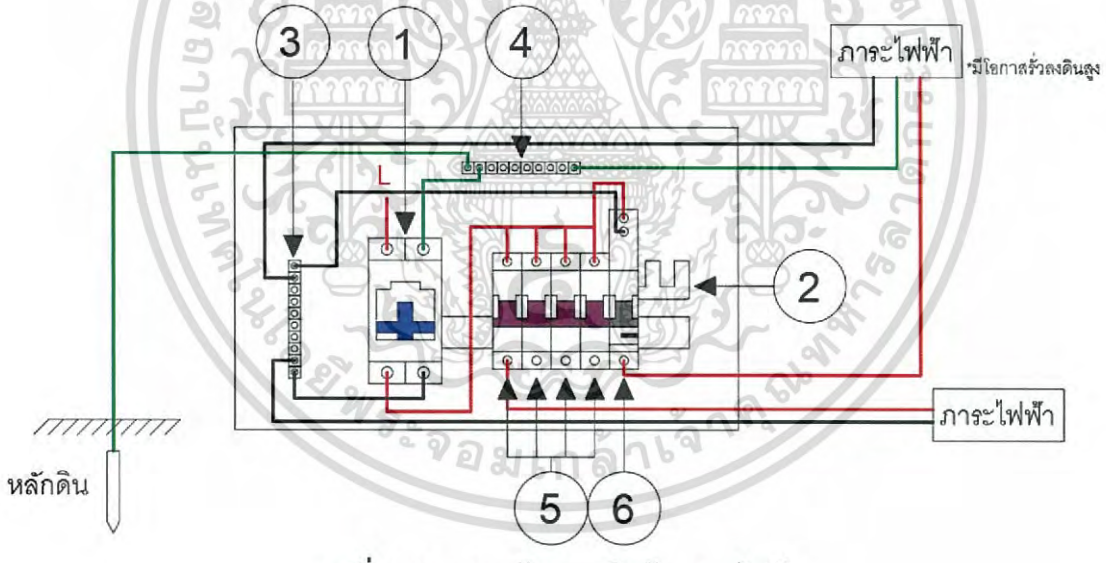
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตู้ควบคุมไฟฟ้า (Consumer Unit) [38]

ตู้ควบคุมไฟฟ้า เป็นจุดรวมการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า สามารถป้องกันอันตรายต่าง ๆ และง่ายต่อการจัดการ โดยทั่วไปประกอบด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์เมน อุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วไฟดูด และเซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อย

รูปที่ 2.3 ตู้ควบคุมไฟฟ้า [39]

โครงสร้างภายในของตู้ควบคุมไฟฟ้า



รูปที่ 2.4 รายละเอียดภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า

1 คือ Main Circuit Breaker 2 Pole

2 คือ Bus bar

3 คือ Neutral Lug (N)

4 คือ Ground bar (G)

5 คือ Miniature Circuit Breaker 1 Pole สำหรับวงจรย่อย

6 คือ Earth leakage Miniature Circuit Breaker 1 Pole (อาจจะมีหรือไม่มีก็ได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

เซอร์กิตเบรกเกอร์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปิด-ปิดวงจรไฟฟ้าแบบไม่อัตโนมัติซึ่งสามารถเปิด หรือปิดวงจรได้ด้วยมือ และเป็นอุปกรณ์ป้องกันด้วยภายในตัว โดยในเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละตัวจะมีพิกัดกระแสระบุไว้ ถ้าหากมีกระแสไหลในวงจรนั้นเกินกว่าค่าที่พิกัดระบุเอาไว้ เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำการเปิดวงจรโดยอัตโนมัติเพื่อป้องกันความเสียหายของสายไฟที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงกว่าพิกัดของสายไฟที่ติดตั้งไว้ โดยในส่วนนี้จะอธิบายเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำที่ใช้กันตามบ้านเรือนทั่วไป ซึ่งใช้กับแรงดันที่ต่ำกว่า 1 กิโลโวลต์

2.3.1 ชนิดของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงดันต่ำ

1. โมลเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Mold case circuit breaker) หมายถึง เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ถูกห่อหุ้มมิดชิดโดยโมลด์ 2 ส่วน มักทำด้วยพีโนลิก ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าสามารถทนแรงดันใช้งานได้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้ มีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิด-ปิดด้วยมือและเปิดวงจรโดยอัตโนมัติ เมื่อมีกระแสไหลเกิน หรือเกิดลัดวงจร เพื่อป้องกันความเสียหายของสายไฟฟ้า โดยเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นเซอร์กิตเบรกเกอร์จะอยู่ในภาวะตัดการทำงานจากกระแสเกิน (Trip) ซึ่งตำแหน่งของคันโยกอยู่กึ่งกลาง ระหว่างตำแหน่งเปิด และตำแหน่งปิด หลังจากนั้นใช้งานวงจรนั้นได้ปกติโดยต้องรีเซ็ทใหม่โดยการกดคันโยกลงให้อยู่ในตำแหน่งปิดก่อน แล้วจึงโยกคันโยกขึ้นไปที่ตำแหน่งเปิดเพื่อใช้งานตามปกติ การทำงานลักษณะแบบนี้เรียกว่าควิกเมก (Quick make) , ควิกเบรก (Quick break)

รูปที่ 2.5 โมลเคสเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Mold case circuit breaker) [40]

2. แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Air Circuit Breaker) เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้กับพิกัดแรงดันที่ต่ำกว่า 1 กิโลโวลต์ มีขนาดใหญ่เหมาะกับการใช้สำหรับเป็น เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยทั่วไปมีพิกัดกระแสตั้งแต่ 225-6300 แอมป์ และมีอินเตอร์รัปติงคาปาซิตี (Interrupting Capacity) ตั้งแต่ 35-150 กิโลแอมป์ โครงสร้างทั่วไปทำด้วยเหล็กมีช่องดับอาร์ก (Arcing Chamber) ที่ใหญ่โตแข็งแรง เพื่อให้สามารถรับกระแสลัดวงจรจำนวนมากได้ มักใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตรวจจับ และวิเคราะห์กระแสเพื่อสั่งปลดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 แอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Air Circuit Breaker) [41]

3. มิเนียเจอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Miniature Circuit Breaker) เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ขนาดเล็ก ใช้ติดตั้งเป็นอุปกรณ์ป้องกันร่วมกับแผงจ่ายไฟฟ้าย่อย หรือแผงจ่ายไฟฟ้าประจำห้องพักอาศัย โดยมีพิกัดติดตั้งที่แน่นอนไม่สามารถปรับตั้งได้ มีทั้งแบบ 1 ขั้ว, 2 ขั้ว และ 3 ขั้ว มีกลไกการปลดวงจรโดยอาศัยความร้อน และการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก

รูปที่ 2.7 มิเนียเจอร์เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Miniature Circuit Breaker) [42]

4. เอิร์ทลีคเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Earth Leakage Circuit Breaker) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทอุปกรณ์ป้องกันไฟดูด มีหน้าที่ตรวจจับกระแสไฟรั่วลงดิน โดยมีความแตกต่างกับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่กล่าวมาข้างต้น โดยที่ เอิร์ทลีคเซอร์กิตเบรกเกอร์มีปุ่มเทส (Test) เพื่อทดสอบการทำงานของตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำได้โดยการโยกคันโยกให้อยู่ในตำแหน่งปิดวงจร และเมื่อกดปุ่มเทส ถ้าเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานได้ปกติ คันโยกเปลี่ยนมาอยู่ที่ตำแหน่งเปิดวงจรทันทีที่กดปุ่มเทส โดยถ้าไม่มีการจ่ายไฟฟ้าเข้ามาที่ตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ การกดปุ่มเทสไม่ส่งผลใด ๆ กับเซอร์กิตเบรกเกอร์ เนื่องจากหลักการของปุ่มเทส คือ การลัดวงจร จึงไม่ควรทำการเทสต่อเนื่องซ้ำ ๆ หลายครั้ง เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์เสียหายเพราะตัวเซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้มีค่าทนกระแสลัดวงจรฉับพลันแค่ 1.5 กิโลแอมป์เท่านั้น ในเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่กล่าวมาข้างต้นจะไม่มีปุ่มนี้ และหน้าที่ของเอิร์ทลีคเซอร์กิตเบรกเกอร์ คือ ตัดไฟเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้ารั่วไหลลงดินถึงค่าที่ตรวจจับได้ และตัดไฟเมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจรในระบบ แต่จะไม่ตัดวงจรในกรณีที่ใช้กระแสเกินกว่าที่พิกัดตัวเครื่องระบุ หลักการทำงานของ เอิร์ทลีคเซอร์กิตเบรกเกอร์ คือ การเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าระหว่างสายไฟ 2 สาย คือ กระแสไหลเข้าต้องเท่ากับกระแสไหลออก หากมีกระแสรั่วออกจากระบบ เครื่องสามารถตรวจจับได้และปลดวงจรออกทันที โดยมีค่าตรวจจับกระแสไฟรั่ว มีหน่วยเป็นมิลลิแอมป์ ตามท้องตลาดมีให้เลือกอยู่แค่ 2 ขนาดคือ 15 มิลลิแอมป์ และ 30 มิลลิแอมป์ มีค่าความเร็วในการตัดวงจรอยู่ที่ประมาณ 0.01 - 0.04 วินาที ซึ่งควรคำนึงถึงเวลาที่ใช้ตัดวงจรด้วย

รูปที่ 2.8 เอิร์ทลีคเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Earth Leakage Circuit Breaker) [43]

2.4 ระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้าน

ระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้าน (Home Energy Management System : HEMS) เป็นระบบที่เชื่อมโยงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเข้าด้วยกัน โดยสามารถแสดงค่าของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ โดยสามารถรับค่าที่ไม่ใช่ค่าทางไฟฟ้า เช่น อุณหภูมิ สภาพอากาศได้ โดยส่วนมาก เป็นพลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้า ณ ช่วงเวลานั้น โดยระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้านสามารถเสนอวิธีการประหยัดพลังงานลงได้จากการวิเคราะห์การใช้งานของผู้ใช้ และยังสามารถควบคุมการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ในอนาคตอันใกล้ การติดตั้งอุปกรณ์ด้านพลังงานทดแทน เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา แบตเตอรี่ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความสามารถในการดำเนินการตอบสนองด้านภาระไฟฟ้า เป็นต้น ระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้านจะเชื่อมโยงระบบพลังงานทดแทนเข้ากับระบบเดิม เพื่อทำให้การใช้งานพลังงานเกิดประสิทธิภาพสูงสุด เช่น กรณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ เวลากลางวันระบบพลังงานแสงอาทิตย์จะมีการชาร์จแบตเตอรี่ไว้ เมื่อถึงช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยสูง ระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้านสั่งให้แบตเตอรี่จ่ายไฟเข้าสู่ระบบในบ้านเพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากระบบหลัก ส่งผลให้ค่าไฟฟ้าลดลง

นอกจากนั้นระบบบริหารจัดการพลังงานในบ้านยังสามารถควบคุมการเปิด-ปิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้จากโทรศัพท์มือถือ ทำให้สามารถควบคุมระบบได้จากที่ใดก็ได้โดยสั่งการผ่านโทรศัพท์มือถือ เช่น การปิดแสงสว่างผ่านมือถือเมื่อลืมปิด และสามารถติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ เช่น เซ็นเซอร์จับการเคลื่อนไหวเมื่อไม่มีคนอยู่ในบริเวณนั้นจะทำการปิดแสงสว่าง ถ้าหากผู้ใช้งานสามารถทราบถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในอุปกรณ์ต่าง ๆ และสามารถควบคุมได้จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้งานเพื่อลดการใช้พลังงานได้

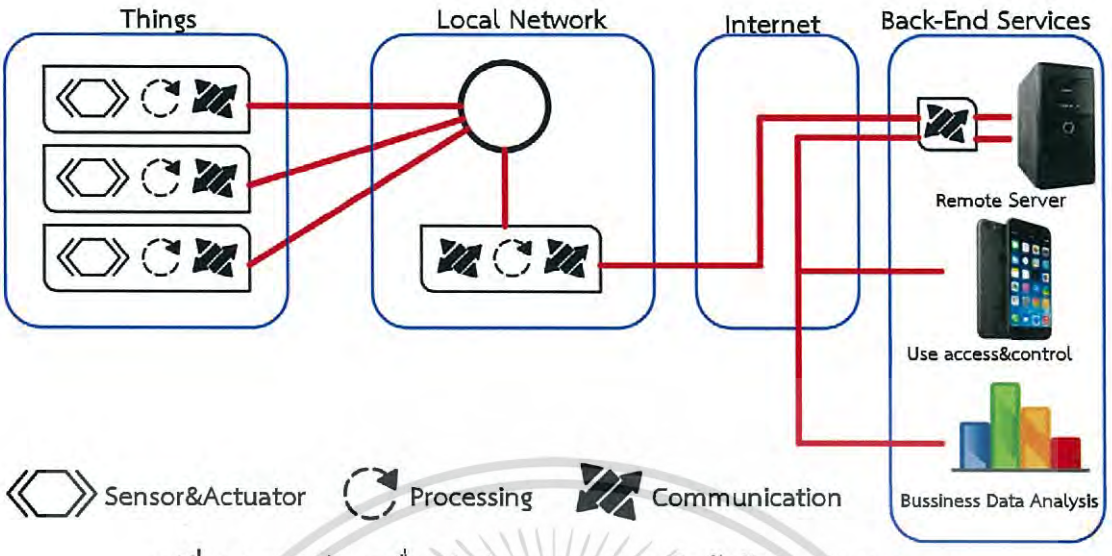
2.5 ระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (Internet of Thing : IoTs)

ระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (Internet of Things) คือ เทคโนโลยีที่มนุษย์นำมาใช้ในการควบคุม สั่งการ อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ถูกเชื่อมโยงกับระบบอินเทอร์เน็ต เช่น การสั่งเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน การควบคุมอุณหภูมิภายในบ้าน เป็นต้น ถึงแม้ว่าระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (Internet of thing) จะมีประโยชน์มากมายหลายแบบ แต่ก็มาพร้อมกับความเสี่ยงเช่นกันเพราะหากระบบรักษาความปลอดภัยไม่ดีพอก็เป็นการเปิดโอกาสให้พวกมิจฉาชีพสามารถทำการโจรกรรมข้อมูลส่วนตัวของผู้ใช้งานไปใช้ในทางที่ไม่ดีได้ ดังนั้นในการพัฒนาระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (Internet of Things) ต้องมีการพัฒนาระบบรักษาความปลอดภัยเพิ่มเติมเข้าไปด้วย เพื่อให้ระบบมีความน่าเชื่อถือและปลอดภัยขึ้น

เครือข่ายตรวจวัดสัญญาณไร้สาย (Wireless Sensor Network : WSN)

ปัจจัยสำคัญในการสื่อสารสำหรับระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (Internet of Thing) ไม่ได้ใช้แค่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ยังมีจุดตรวจวัดสัญญาณต่าง ๆ จำนวนมากมาทำให้เกิดเครือข่ายตรวจวัดสัญญาณไร้สาย (Wireless Sensor Network) ให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เชื่อมต่อเข้ามาได้ โดยเครือข่ายตรวจวัดสัญญาณไร้สาย (Wireless Sensor Network) สามารถตรวจวัดปรากฏการณ์ทางกายภาพได้ เช่น แสง, อุณหภูมิ และความดัน เป็นต้น เพื่อส่งค่าที่ตรวจจับได้ไปยังอุปกรณ์ว่าให้ทำงาน หรือสั่งงานอื่น ๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แผนผังการเชื่อมต่อช่องทางหลาย ๆ ตัวเข้ากับ Local Network

2.5.1 กลุ่มของระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง

แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามตลาดการใช้งาน ได้ดังนี้

- ระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง เชิงอุตสาหกรรม แบ่งจากเครือข่ายท้องถิ่น (local network) ที่มีเทคโนโลยีที่แตกต่างกันในโครงข่ายจุดตรวจวัดสัญญาณ โดยอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง กลุ่มนี้จะเชื่อมต่อแบบ IP network เพื่อเข้าระบบอินเทอร์เน็ต
- ระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง เชิงพาณิชย์ แบ่งจากการสื่อสารท้องถิ่น (local communication) ที่เป็น บลูทูธ หรืออีเธอร์เน็ต โดยอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง กลุ่มนี้จะสื่อสารแค่ภายในกลุ่มตรวจวัดสัญญาณเท่านั้น

2.5.2 ส่วนสำคัญของระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง

- ตัวอุปกรณ์ที่ใช้ระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง จะต้องมีหมายเลขระบุเพื่อใช้ในการสื่อสาร เป็นเหมือนบ้านเลขที่นั่นเอง และเนื่องจากจะผลิตอุปกรณ์จำนวนมากจำเป็นต้องใช้ IPv6 เพื่อทำให้หมายเลขของแต่ละตัวไม่ซ้ำกัน และใช้ได้
- เครือข่ายระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง ที่เป็น LAN, PAN, และBody Area Network (BAN) หรือการสื่อสารของตัวเซ็นเซอร์กับร่างกายของมนุษย์

2.5.3 เทคโนโลยีการสื่อสารสำหรับอุปกรณ์ระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง

- บลูทูธ (Bluetooth)

ในปัจจุบันมีการใช้งานบลูทูธเพื่อให้ง่ายต่อการส่งข้อมูลเมื่อเปรียบเทียบกับการส่งค่าข้อมูลในอดีตซึ่งมีการส่งข้อมูลแบบการจับคู่ (Pairing) และการส่งข้อมูลโดยใช้บลูทูธมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มคุณสมบัติ บลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth Low Energy : BLE) ซึ่งออกแบบมาเพื่อเน้นในการประหยัดพลังงาน ดังนั้นบลูทูธจึงเป็นอุปกรณ์ต้นแบบที่สำคัญสำหรับงานระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (IoT Application)

Standard : Bluetooth 4.2 core specification
Frequency : 2.4 GHz (ISM)
Range : 50–150m (Smart/BLE)
Data Rates : 1Mbps (Smart/BLE)

- ซิกบี (Zigbee)

ซิกบีทำงานภายใต้มาตรฐาน IEEE802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ออกแบบมาสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) โดยเฉพาะ ซึ่งเน้นที่เรื่องของประหยัดพลังงาน และเครือข่ายแบบเชื่อมต่อแบบเมช (Mesh Network), โปรไฟล์ (Profile) และความปลอดภัยระหว่างการสื่อสาร โดยซิกบีเหมาะสมสำหรับการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ที่เน้นเรื่องการประหยัดพลังงาน และมีการใช้งานในเชิงอุตสาหกรรมมาก

Standard : Zigbee 3.0 based on IEEE802.15.4
Frequency : 2.4 GHz (ISM) , Sub-GHz
Range : 10–100m
Data Rates : 250kbps

- ซี-เวฟ (Z-Wave)

ซี-เวฟเป็นอุปกรณ์ที่เน้นด้านการประหยัดพลังงาน มีเสถียรภาพในการสื่อสาร และทำงานในช่วงคลื่นความถี่ที่ต่ำกว่า 1 GHz เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่คลื่นความถี่ 2.4 GHz ซึ่งซี-เวฟได้ออกแบบมาเพื่องานทางด้านบ้านอัตโนมัติ (Home Automation) โดยมีตัวต้นแบบไม่ซับซ้อนเหมือนซิกบีซึ่งทำให้ง่ายต่อการออกแบบ และพัฒนา แต่ซี-เวฟมีข้อจำกัดด้านฮาร์ดแวร์

Standard : Z-Wave alliance ZAD12837/ ITU-T G.9959
Frequency : 900MHz (ISM)
Range : 30m
Data Rates : 9.6/40/100kbit/s

- 6 LowPAN (IPv6 Low-power wireless Poresonal Area Network)

6LowPAN เป็นต้นแบบแหล่งพลังงานภายนอก (Open Source Protocol) และได้ออกแบบภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งใช้ทำเครือข่ายเมชได้ (Mesh Network) และสามารถนำไปใช้กับอุปกรณ์กำลังไฟฟ้าต่ำได้หลายแบบรวมทั้งสามารถใช้โพรโตคอลเลเยอร์ของระบบอินเทอร์เน็ตเช่น HTTP, MQTT, CoAP หรือ Websockets ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard : RFC6282

Frequency : ตามอุปกรณ์ที่นำไปใช้งาน เช่น Bluetooth 2.4 GHz หรือ Low-Power RF เป็นต้น

- เธรด (Thread)

เธรดถูกออกแบบมาสำหรับบ้านโดยเฉพาะ มีการใช้งานบน 6LowPAN อีกที และมีตัวต้นแบบหลักคือ UDP (User Datagram Protocol) โดยสามารถซ่อมเครือข่ายระหว่างอุปกรณ์ได้ ซึ่งในการใช้งานเธรดได้เน้นเรื่องความปลอดภัย ความง่ายในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์

Standard : Thread base on IEEE 802.15.4

Frequency : 2.4 GHz

- ไวไฟ (WiFi)

ไวไฟ คือ ระบบเครือข่ายสัญญาณไร้สายที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากสามารถรับส่งข้อมูลได้ในปริมาณที่มากมาย แต่มีข้อเสีย คือ ใช้พลังงานที่เยอะ

Standard : IEEE 802.11n

Frequency : 2.4 GHz และ 5GHz

Range : ประมาณ 50m ขึ้นอยู่กับกำลังส่งของอุปกรณ์

Data Rates : 600 Mbps แต่ส่งจริงอยู่ที่ 150–200Mbps ขึ้นอยู่กับจำนวนเสารับส่ง, ช่องสัญญาณ

- เซลลูลาร์ (Cellular)

เซลลูลาร์มีจุดเด่นเรื่องระยะทางในการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย GSM/3G/4G โดยสามารถรับส่งข้อมูลที่มีปริมาณมาก หรือมีระยะทางระหว่างอุปกรณ์ที่อยู่ไกลกันก็สามารถรับส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้พลังงานมาก และเสียค่าบริการในการใช้งานด้วย

Standard : GSM/GPRS/EDGE (2G), UMTS/HSPA(3G), LTE (4G)

Frequency : 900/1800/1900/2100MHz

- NFC (Near Field Communication)

NFC ถูกออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับอุปกรณ์ 2 ตัว ใช้รับส่งข้อมูลที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน มีความซับซ้อนน้อยที่สุดในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ 2 ตัว เพียงแค่นำอุปกรณ์ 2 ตัว มาวางใกล้เคียงกันก็สามารถรับส่งข้อมูลได้ ในปัจจุบัน NFC นำมาประยุกต์ใช้กับธุรกรรมทางด้านการเงิน การเข้าถึงดิจิทัลคอนเทนต์ เช่น การแตะโหลด URL จากอุปกรณ์อื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard : ISO/IEC 18000–3

Frequency : 13.56MHz (ISM)

Range : 10cm

Data Rates :100–420kbps

- LoRaWAN (Low Power Wide Area Network)

ในปัจจุบัน LoRaWAN กำลังเป็นที่นิยมสำหรับการใช้งานแอปพลิเคชันระบบโครงข่ายของสรรพสิ่ง (IoTs Application) ถูกออกแบบให้สามารถใช้รับส่งข้อมูลที่มีระยะทางไกลระหว่างโหนด และเกทเวย์ แต่ยังสามารถประหยัดพลังงานไว้ได้ โดยมีตัวการสื่อสารแบบสองทาง (Bi Directional)

Standard : LoRAWAn

Frequency : Various

Range : 2–5 Km (Urban), 15 Km (Suburban)

Data Rates : 0.3–50 kbps

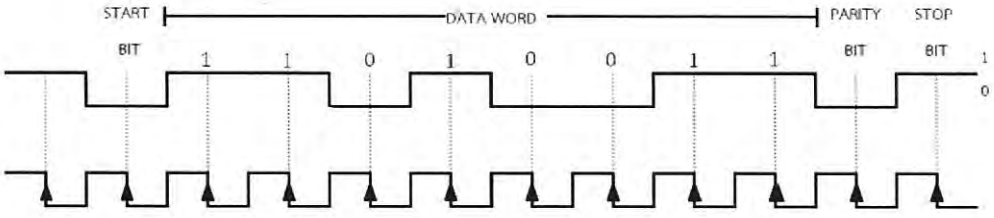
- NB-IoT (Narrow Band IoT)

NB-IoT ใช้สำหรับอุปกรณ์ประเภทที่เก็บข้อมูลได้น้อยที่ต้องการใช้เครือข่ายเดียวกันกับเครือข่ายเซลลูลาร์ได้ และจำเป็นต้องใช้พลังงานน้อย มีข้อดี คือ แบตเตอร์รี่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น และสามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกล ในปัจจุบันมีหน้าที่กำหนดสเปคทางด้านการสื่อสาร 3G/4G-LTE

2.6 การสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับ Arduino ด้วยพอร์ตอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรม คือ การส่งข้อมูลโดยใช้เทคนิคการเลื่อนข้อมูล (Shift Bit) ส่งไปที่ละบิตผ่านสายสัญญาณเส้นเดียว โดยการส่งข้อมูลแบบอนุกรมไม่มีการเชื่อมต่อสัญญาณนาฬิการะหว่างตัวรับ และตัวส่ง แต่อาศัยวิธีตั้งค่าความเร็วในการรับส่งสัญญาณให้เท่ากัน และส่งสัญญาณเริ่ม (Start) และหยุด (Stop) เพื่อบอกว่าเป็นส่วนต้นของข้อมูล (Start bit) หรือส่วนท้ายของข้อมูล (Stop bit) ซึ่งการสื่อสารแบบอนุกรมมีจำนวนสายที่ใช้ในการสื่อสารน้อย และสามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกล แต่ต้องใช้เวลาในการสื่อสารที่มากขึ้น และอาจทำให้เกิดความผิดพลาดของข้อมูลมากกว่าการสื่อสารแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การส่งสัญญาณเริ่ม (Start) และหยุด (Stop)

รูปแบบข้อมูลที่ส่งผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม จะมีการเพิ่มส่วนต้นของข้อมูล (Start bit) และส่วนท้ายของข้อมูล (Stop bit) เพิ่มเติมจากข้อมูลเดิม โดย

1. บิตเริ่มต้น (Start bit) มีขนาด 1 บิต เป็นลอจิก LOW
2. บิตข้อมูล (Data bit) 8 บิต ข้อมูลที่จะส่ง
3. บิตภาวะคู่ หรือคี่ (Parity bit) มีขนาด 1 บิต ใช้ตรวจสอบข้อมูล ถ้าข้อมูลที่ได้รับไม่สมบูรณ์ สามารถนำเข้าค่ามาตรวจสอบกับบิตภาวะคู่ หรือคี่ แสดงผลได้ค่าไม่ตรงกัน
4. บิตหยุด (Stop bit) เป็นการระบุถึงขอบเขตของการสิ้นสุดข้อมูล เป็นลอจิก HIGH

รูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

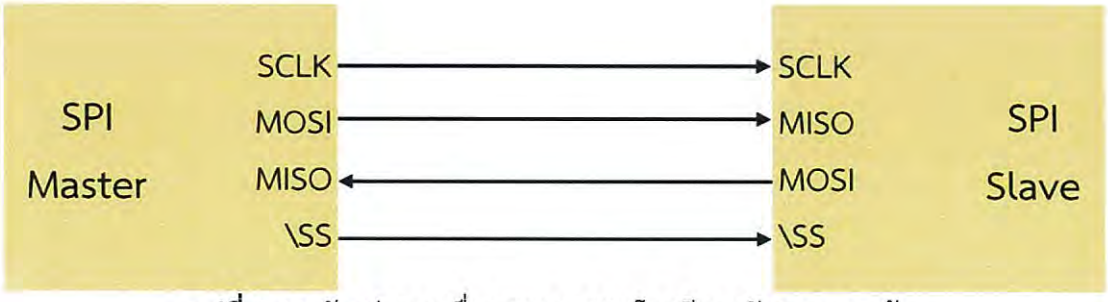
- การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous) คือการส่งข้อมูลหลาย ๆ ไบต์ภายในครั้งเดียว และมีสัญญาณนาฬิกาที่ช่วยให้การทำงานของตัวส่ง และตัวรับสอดคล้องกัน โดยอาจเข้ารหัสอยู่ในชุดของข้อมูลนั้น หรือแยกอิสระออกเป็นสายต่างหากก็ได้

- การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) คือรูปแบบการสื่อสารเป็นการรับ และส่งข้อมูลครั้งละ 1 ไบต์ การสื่อสารแบบนี้ใช้มากในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์พีซี

2.6.1 SPI (Serial Peripheral Interface)

SPI (Serial Peripheral Interface) เป็นการส่งข้อมูลในรูปแบบซิงโครนัส โดยสามารถส่งข้อมูลได้ในรูปแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) ซึ่งสามารถรับ และส่งข้อมูลทั้งสองทางได้ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยมีอุปกรณ์ด้านหนึ่งทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ (Master) และอุปกรณ์อีกด้านหนึ่งทำหน้าที่เป็นสเลฟ (Slave) มีตัวอย่างในการใช้การสื่อสารแบบ SPI คือ โมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล, โมดูลแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก และการติดต่อกับหน่วยความจำ EEPROM และ FLASH เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการสื่อสารแบบ SPI โดยมีสายสัญญาณ 4 เส้น

โดย

- SCLK (Serial Clock) ใช้ส่งสัญญาณนาฬิกาจากอุปกรณ์ Master ไปยังอุปกรณ์ Slave เพื่อกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล
- MOSI (Master Out Slave In) ใช้ส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ Master ไปยังอุปกรณ์ Slave
- MISO (Master In Slave Out) ใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ Slave
- \SS (Slave Select) หรือ ขา CS (Chip Select) ใช้ส่งสัญญาณ Low ไปยังอุปกรณ์ Slave ที่ต้องการรับส่งข้อมูล

2.6.2 I2C (Inter-IC Communication)

I2C (Inter-IC Communication) เป็นการส่งข้อมูลในรูปแบบซิงโครนัสด้วยสายสัญญาณเพียง 2 เส้น คือ สายข้อมูลอนุกรม (Serial Data line : SDA) และสายสัญญาณนาฬิกา (Serial Clock Line : SCL) โดยสามารถแบ่งโหมดการทำงานตามความเร็วได้ดังนี้

- Normal Mode : 100Kbps
- Fast Mode : 400Kbps
- Fast Mode Plus : 1Mbps
- High Speed Mode : 3.4 Mbps

หลักการของบัส I2C

เนื่องจากบัส I2C ประกอบด้วย 2 สาย คือ สายข้อมูลอนุกรม และสายสัญญาณนาฬิกาทำให้สามารถต่ออุปกรณ์บนบัส I2C ได้หลายแบบ ดังนั้นต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อสื่อสารเพื่อแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ตัวใดกำลังติดต่อสื่อสารกัน และอุปกรณ์ตัวใดทำหน้าที่เป็นตัวส่ง (Transmitter) และอุปกรณ์ตัวใดทำหน้าที่เป็นตัวรับ (Receiver) เพื่อให้ผู้ใช้งานได้รับทราบ โดยมีอุปกรณ์บางตัวบนบัส I2C ทำหน้าที่เป็นได้ทั้งตัวส่ง และตัวรับ โดยอุปกรณ์บางตัวทำหน้าที่เป็นตัวรับอย่างเดียว แต่ไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I2C ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I2C คือ

(1) การถ่ายทอดข้อมูลเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อบัสว่างเท่านั้น

(2) ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดความเปลี่ยนแปลงเด็ดขาด มิฉะนั้นส่งผลให้สัญญาณที่เกิดขึ้นได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

สถานะที่เกิดขึ้นได้บน I2C สามารถเกิดได้ทั้งหมด 5 สถานะ

1. บัสว่าง (Bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อ สถานะลอจิกบนสายข้อมูลอนุกรม และสายสัญญาณนาฬิกามีลอจิกสูงทั้งคู่ นั้นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

2. เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (Start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสายข้อมูลอนุกรม มีการเปลี่ยนแปลงลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สายสัญญาณนาฬิกามีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะนี้ว่า สภาวะเริ่มต้น (Start)

3. ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (Data valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นถัดจากสภาวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสายข้อมูลอนุกรม คือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสายสัญญาณนาฬิกามีลอจิกสูง สถานะที่สายข้อมูลอนุกรมต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น "0" หรือ "1" ข้อมูลอาจเกิดความเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สายสัญญาณนาฬิกาเป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สายสัญญาณนาฬิกามีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สายสัญญาณนาฬิกามีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลทำการแปลความหมายเป็นสภาวะหยุด หรือสภาวะเริ่มต้นได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดเกิดความผิดพลาดเกิดขึ้น

4. รับรู้ข้อมูล (Acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากการถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตเรียกว่า บิตรับรู้ (Acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูง หลังการส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์ทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างอิงในการติดต่อ หรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็ได้กำเนิดบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำเพื่อตอบสนองให้ทราบว่า ได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

5. หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (Stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสายข้อมูลอนุกรม มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สายสัญญาณนาฬิกามีสถานะลอจิกสูงเรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สภาวะหยุด(Stop)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการสื่อสาร SPI กับ I2C เป็นการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส เหมาะสำหรับการสื่อสารข้อมูลความเร็วต่ำ เช่น หน่วยความจำ EEPROM หรือโมดูลนาฬิกาดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการสื่อสารแบบ SPI คือ สามารถสื่อสารแบบ Full Duplex กล่าวคือ สามารถรับ และส่งข้อมูลได้พร้อม ๆ กัน เพราะมีสายสัญญาณรับ และส่งข้อมูลโดยเฉพาะ รูปแบบการสื่อสารของ SPI ไม่ต้องกำหนด Address เพื่อระบุอุปกรณ์ที่ต้องการสื่อสารเหมือน I2C เนื่องจากใช้สายสัญญาณ SS เป็นตัวควบคุม จึงมีอัตราการรับส่งข้อมูลสูงกว่า I2C และเหมาะสำหรับการรับส่งข้อมูลแบบต่อเนื่อง หรือ Streaming อย่างไรก็ตาม หากมีอุปกรณ์สเลฟหลายตัวดังรูป การสื่อสารแบบ SPI ต้องใช้สายสัญญาณมากกว่า I2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบชุดแสดงผลอัจฉริยะ

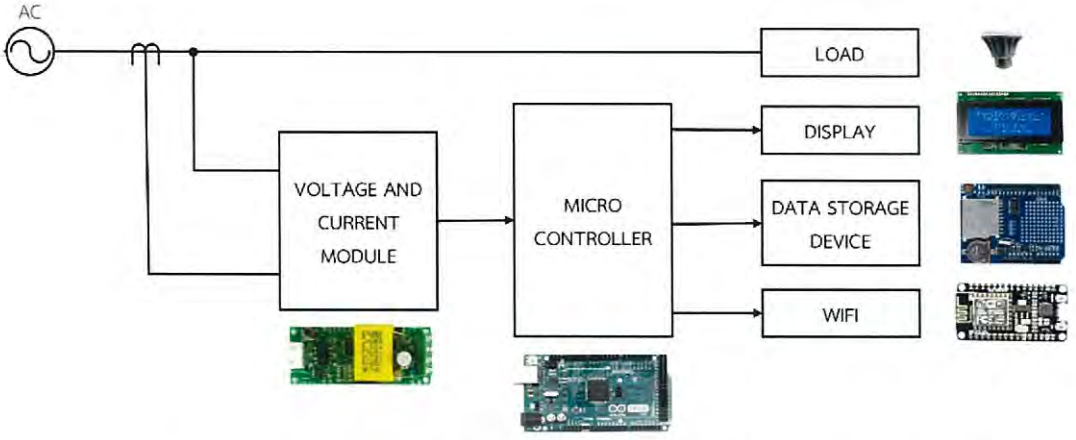
การออกแบบชุดแสดงผล และวัดพลังงานไฟฟ้าอัจฉริยะ สำหรับระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน เพื่อผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 (บ้านอยู่อาศัย) หรือผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 2 (ธุรกิจขนาดเล็ก) เนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของชุดแสดงผล และวัดพลังงานไฟฟ้าอัจฉริยะ คือ อ่านค่าทางไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถวัดค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ อาทิ แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้าจริง, ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้า รวมถึงคำนวณค่าไฟฟ้าทั้งแบบอัตราปกติ และแบบอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) โดยการแสดงผลเป็นระบบที่สามารถรายงาน ณ เวลาจริง (Real Time System) มีการสำรองข้อมูลลงบนอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (Secure Digital Card : SD card) อีกทั้งยังสามารถ อัพโหลดข้อมูลต่าง ๆ เก็บไว้ในฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต และสามารถแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และค่าไฟฟ้าผ่านทางเว็บไซต์เพื่อความสะดวกในการใช้งานของผู้ใช้งาน

3.1 ชุดแสดงผลอัจฉริยะสำหรับระบบจัดสรรพลังงาน

การออกแบบชุดแสดงผล และวัดพลังงานไฟฟ้าอัจฉริยะ ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ อาทิ ความสะดวกสบายในการใช้งาน สามารถรองรับการใช้งานภายในที่อยู่อาศัยได้เนื่องจากผู้ใช้ต้องสามารถเข้าถึง และใช้งานอุปกรณ์ได้ง่าย โปรแกรมประมวลผลทำงานรวดเร็ว และแม่นยำ ระบบออกแบบสำหรับการใช้งานในบ้านอยู่อาศัย หรือธุรกิจขนาดเล็กที่รับไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220-240 โวลต์, 50 เฮิรตซ์ รับค่าผ่านโมดูลอ่านค่าแรงดัน และกระแสไฟฟ้า นำข้อมูลจากเซ็นเซอร์เข้าสู่ชุดประมวลผล แล้วแสดงค่าออกทางจอแสดงผล, สำรองข้อมูลลงอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล และอัพโหลดข้อมูลไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย ดังรูปที่ 3.1

โครงสร้างของของชุดแสดงผลอัจฉริยะสำหรับระบบจัดการพลังงาน ดังรูปที่ 3.1 ประกอบด้วยส่วนสำคัญหลัก ๆ ดังนี้ 1.โมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า (Voltage and Current Module) 2.ส่วนประมวลผลข้อมูล (Microcontroller) 3.ส่วนแสดงผล (Display) 4.อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (Data Storage) 5.อุปกรณ์เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย (WIFI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของตู้ควบคุมไฟฟ้า และระบบแสดงผล

3.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ และอุปกรณ์

การวัดค่าต่าง ๆ ของชุดแสดงผลประกอบด้วย โมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และส่วนประมวลผล โดยการออกแบบคำนึงถึง

- การเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมเพื่อใช้กับวงจรภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า โดยคำนึงถึงขนาดที่เหมาะสม, ความทนทานในการใช้งาน, ระยะเวลาในการทำงาน และย่านการทำงานของเซ็นเซอร์
- ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลต้องรวดเร็ว และแม่นยำ
- มีความสามารถในการใช้งานติดต่อกับเป็นเวลานาน
- ออกแบบให้เครื่องวัดสามารถทำงาน โดยมีความเคลื่อนน้อยกว่า 2.5 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานผลิตอุตสาหกรรม มาตรพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ มอก. 2543-2555 [44]

3.2.1 โมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า (Voltage and Current Module)

โมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ที่เลือกใช้ คือ PZEM-004T ซึ่งมีย่านการใช้งานดังนี้ คือ แรงดันวัดได้ตั้งแต่ 80–260 V_{AC} และกระแสไฟฟ้าวัดได้ตั้งแต่ 0–100 A โดยโมดูลตัวนี้มีการสื่อสารแบบ TTL serial data communication interface ซึ่งโมดูลนี้ทำการวัดค่า, คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ในการส่งข้อมูลนั้นโมดูลรอรับคำขอจาก Arduino Mega แล้วจึงส่งค่าที่ต้องการกลับไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ส่วนประมวลผล

เลือกใช้ Arduino Mega เป็นอุปกรณ์ในการประมวลผล เนื่องจากมีการประมวลผลที่รวดเร็ว มีพอร์ตดิจิทัลอินพุท เอาท์พุท และพอร์ตแอนะล็อกอินพุทเพียงพอต่อความต้องการ รวมทั้งมีพอร์ต Serial UART 4 ชุด หรือ Hardware Serial ซึ่งใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์กล่าวคือใช้ในการส่งข้อมูลที่คำนวณได้ไปยังโมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สาย (Node MCU) รวมทั้งรับค่าวัน และเวลาจากโมดูลดังกล่าวซึ่งเป็นการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม นอกจากนั้นยังมีพอร์ตสำหรับรับส่งข้อมูลอีกชนิด คือ software serial ซึ่งสามารถเพิ่มช่องทางในการสื่อสารแบบอนุกรมเข้าไป ในที่นี้ใช้ในการรับค่าจากโมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ซึ่งเหมาะแก่การใช้งานหลายวงจร โดย Arduino Mega มีไมโครคอนโทรลเลอร์ภายใน คือ ATmega2560 และข้อมูลเบื้องต้นดังนี้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูล Arduino Mega

ชิปไอซีไมโครคอนโทรเลอร์	ATmega2560
แรงดันไฟฟ้า (Operating Voltage)	5 V
พอร์ตดิจิทัลอินพุท/เอาท์พุท	54 พอร์ต
พอร์ตแอนะล็อกอินพุท	16 พอร์ต
กระแสตรงสำหรับแต่ละพอร์ต	40 mA
กระแสตรงสำหรับขา 3.3 V	50 mA
สัญญาณนาฬิกา	16 MHz
หน่วยความจำแฟลต	256 kB
พื้นที่หน่วยความจำหลัก	96 kB

การประมวลผลของ Arduino Mega รับค่าจากโมดูลวัดแรงดัน และกระแสไฟฟ้า จากนั้นทำการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ข้อมูลถูกส่งไปเก็บที่การ์ดหน่วยความจำ (SD Card) ผ่านพอร์ต SPI และข้อมูลถูกส่งต่อไปยัง โมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สาย (Node MCU) เพื่ออัพโหลดข้อมูลขึ้นบนเว็บไซต์

3.2.3 ชุดเก็บข้อมูล (Data Logger Shield)

ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่ถูกออกแบบมาให้สวมบนบอร์ด Arduino ได้พอดี ประกอบด้วย ช่องเสียบการ์ดความจำ (SD Card), นาฬิกา (Real Time Clock : RTC) และช่องใส่ถ่านสำรองเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง เพื่อช่วยให้นาฬิกายังคงทำงานต่อไปได้ (RTC) อุปกรณ์นี้รับแรงดันไฟฟ้า 3.3 V รับกระแสสูงสุดได้ 25 mA

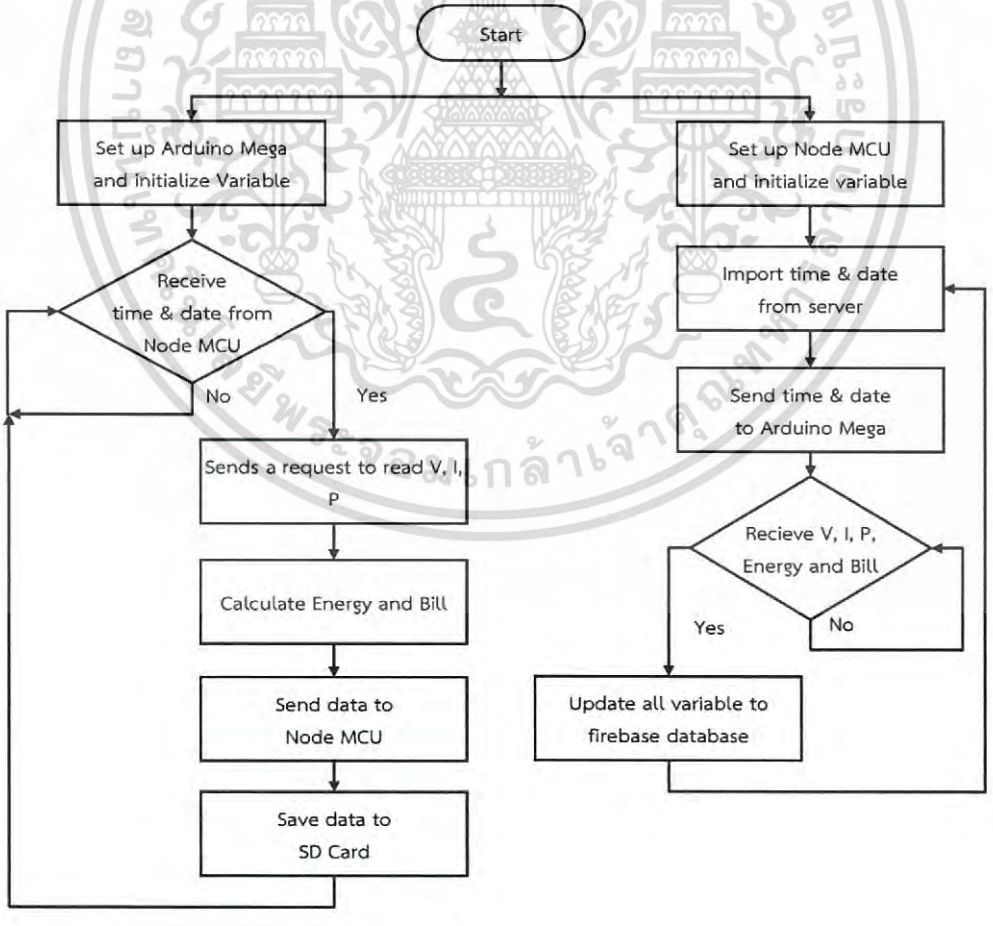
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 โมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สาย (Node MCU)

อุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ต โดยเป็นตัวอัพโหลดข้อมูลไปยังฐานข้อมูลสำหรับเว็บไซต์ (Web Server) รวมถึงสามารถควบคุมสั่งการ การทำงานของระบบผ่านอินเทอร์เน็ตไร้สาย โดยการทำงานจะดึงค่าวัน และเวลามาจากเซิร์ฟเวอร์ (Server) แล้วส่งไปยัง Arduino Mega จากนั้นรอรับค่าที่คำนวณแล้วมาแสดงผลออกทางจอแสดงผล จากนั้นอัพโหลดข้อมูลไปยังฐานข้อมูลสำหรับเว็บไซต์โดยโมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สายที่เลือกใช้ คือ ESP8266 ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.3-3.6 V รับกระแสสูงสุด คือ 200 mA ความถี่คริสตอล 40 MHz เหมาะแก่การนำไปใช้งานที่ต้องการส่งข้อมูลรวดเร็ว

3.2.5 การออกแบบซอฟต์แวร์

การออกแบบซอฟต์แวร์ประมวลผลจะคำนึงถึงความรวดเร็ว แม่นยำ และเที่ยงตรงของการประมวลผลเป็นหลัก เพื่อให้ได้ระบบที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้โปรแกรม Arduino ซึ่งใช้ภาษาซีเป็นพื้นฐานในการเขียนซอฟต์แวร์ และขั้นตอนการประมวลผลเป็นไปดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ผังกระบวนการทำงานของชุดแสดงผลอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 แสดงกระบวนการทำงานของชุดแสดงผลอัจฉริยะสำหรับระบบจัดการพลังงาน ในส่วนการทำงานของชุดประมวลผล (Arduino Mega) เริ่มต้นการทำงานโดยการประกาศตัวแปรต่าง ๆ รวมทั้งกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรเหล่านั้น จากนั้นรอรับค่าวันที่ และเวลาจากโมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สาย เมื่อรับค่าดังกล่าวทำการส่งคำสั่งเพื่อขอค่าทางไฟฟ้าไปยังโมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า เมื่อได้รับค่าจากโมดูลดังกล่าวทำการคำนวณค่าพลังงานที่ใช้และค่าไฟฟ้า จากนั้นจึงส่งตัวแปรทั้งหมดไปยังโมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สายแล้วเก็บค่าไว้ที่หน่วยเก็บข้อมูล (SD Card)

ในส่วนการทำงานของโมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สาย การทำงานเริ่มจากประกาศตัวแปรต่าง ๆ รวมทั้งกำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปรนั้น ๆ จากนั้นรับข้อมูลวันที่ และเวลาจากอินเทอร์เน็ตแล้วทำการส่งค่าไปยังชุดประมวลผล ทำการรับค่าพื้นฐานทางไฟฟ้ามาเก็บไว้ในตัวแปรต่าง ๆ จึงแสดงผลออกทางจอแสดงผล ขั้นตอนต่อไป คือ อัพโหลดข้อมูลต่าง ๆ ไปยังฐานข้อมูล

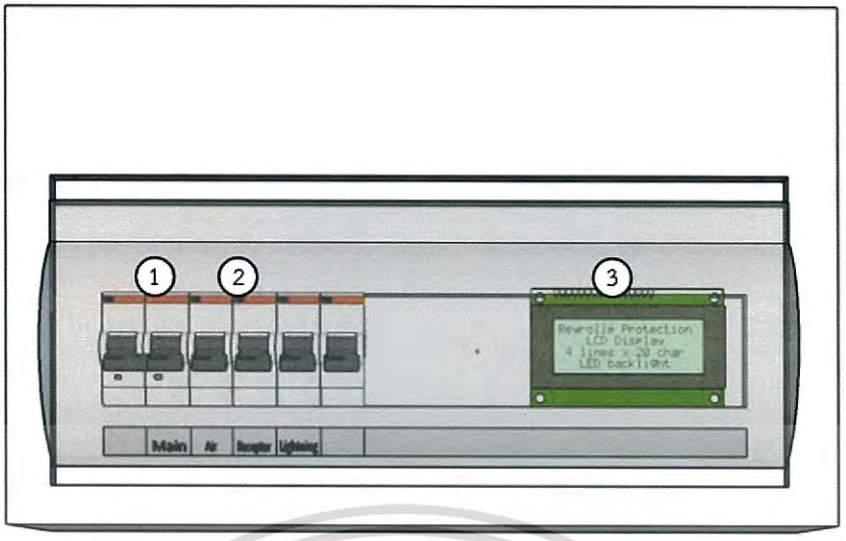
3.3 การออกแบบ และติดตั้งชุดแสดงผลอัจฉริยะภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า

ตู้ควบคุมไฟฟ้านี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ทางไฟฟ้า และอุปกรณ์สำหรับชุดแสดงผล ที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.2 การออกแบบ ออกแบบตู้ขนาด 33 ซม. (กว้าง) × 10 ซม. (ลึก) × 20 ซม. (สูง) ภาพการออกแบบแสดงในรูปที่ 3.3

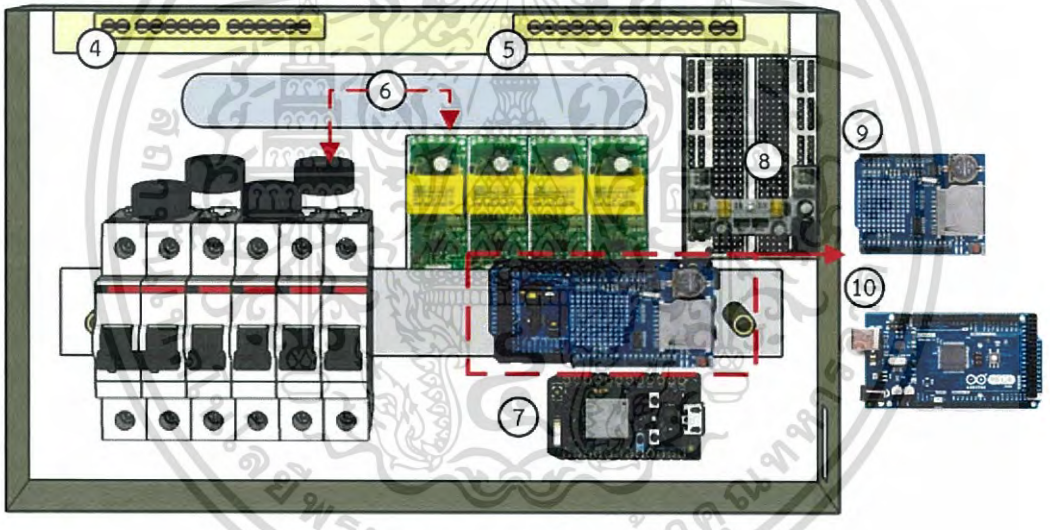
จากการเลือก และออกแบบชุดทดลองผลอัจฉริยะจึงทำการประกอบ และติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า เป็นดังรูปที่ 3.4

อุปกรณ์ภายในตู้ไฟฟ้าเป็นดังรูปที่ 3.5 โดยโมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าทั้งหมด 4 ตัว ได้แก่ วงจรหลัก, วงจรเครื่องปรับอากาศ, วงจรเต้ารับ และวงจรแสงสว่าง ค่าที่วัดจากโมดูล ถูกส่งไปยังชุดประมวลผลเพื่อคำนวณค่าต่าง ๆ เมื่อคำนวณข้อมูลเสร็จถูกส่งไปยังชุดเก็บข้อมูล (Data Logger Shield) เพื่อเก็บข้อมูลยังการ์ดหน่วยความจำ (SD Card) ข้อมูลจากชุดประมวลผลถูกส่งไปยังโมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สาย ซึ่งมีหน้าที่แสดงค่าไปยังจอแสดงผล และอัพโหลดไปยังเว็บไซต์เพื่อที่สามารถดูค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ ผ่านระบบไร้สาย และนำไปวัดค่าทางไฟฟ้า การใช้ไฟฟ้าภายใน 1 วันเทียบกับเครื่องวัดทางไฟฟ้าที่ได้มาตรฐานในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



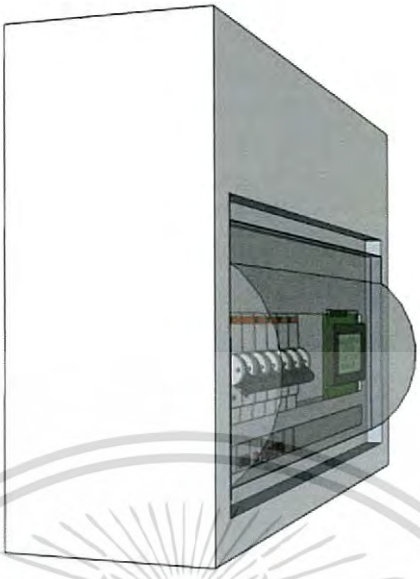
(ก) การออกแบบด้านหน้าชุดแสดงผลอัจฉริยะภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า



1. Main Circuit Breaker	2. Circuit Breaker 1 pole
3. LCD Screen	4. Ground Bar
5. Neutral Bar	6. Voltage and Current Module
7. Node MCU	8. Supply Module
9. Data Logger Shield	10. Arduino Mega

(ข) การออกแบบด้านในชุดแสดงผลอัจฉริยะภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

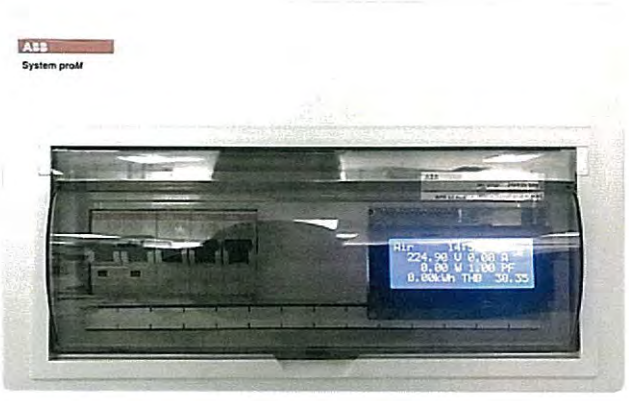


(ค) การออกแบบด้านข้างชุดแสดงผลอัจฉริยะภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า

(ง) การออกแบบด้านบนชุดแสดงผลอัจฉริยะภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า

รูปที่ 3.3 การออกแบบชุดแสดงผลอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



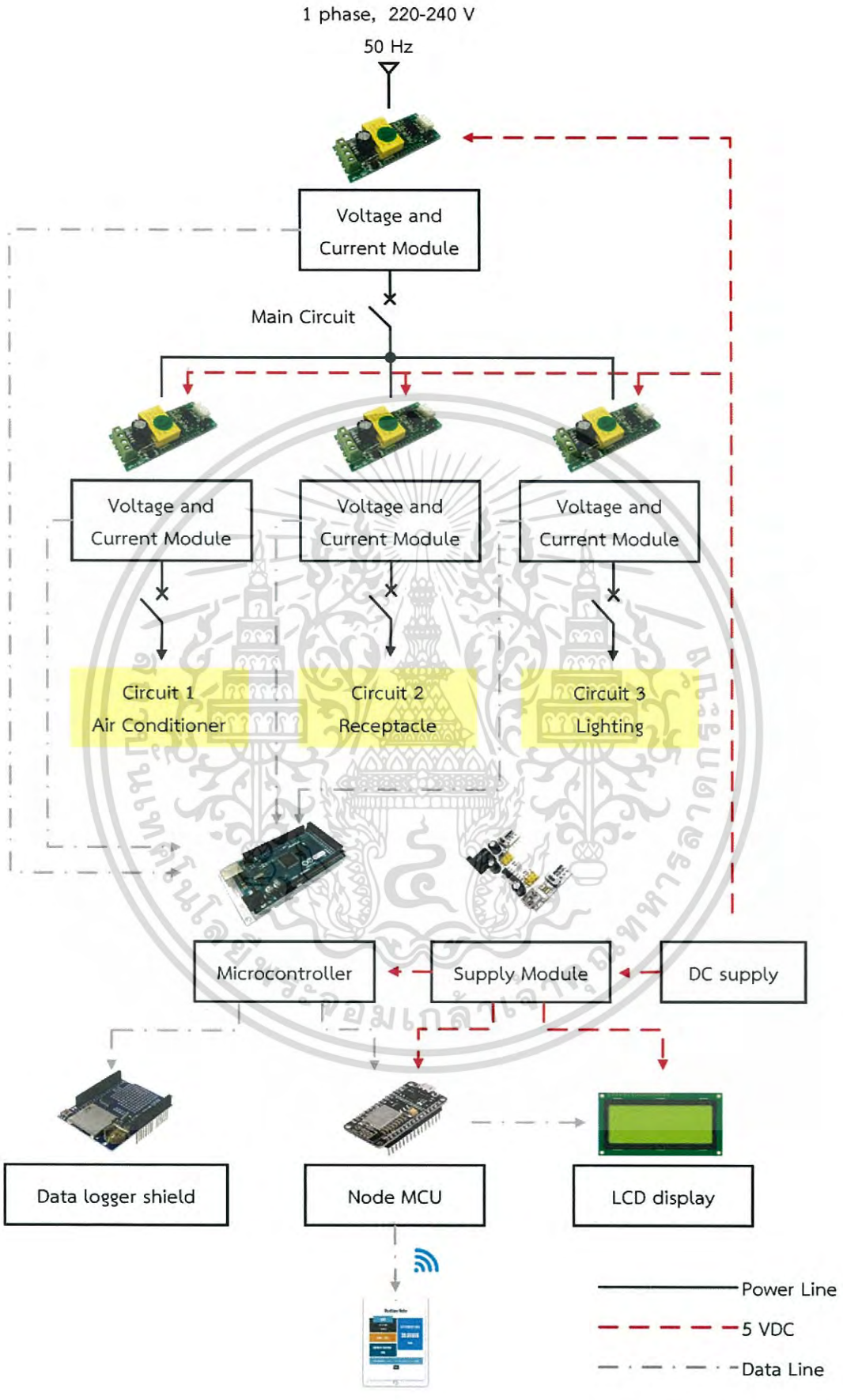
(ก) ด้านหน้าชุดแสดงผลอัจฉริยะภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า

(ข) ด้านข้างชุดแสดงผลอัจฉริยะภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า

(ค) ด้านบนชุดแสดงผลอัจฉริยะภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า

รูปที่ 3.4 ชุดแสดงผลอัจฉริยะภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การส่งข้อมูลของชุดแสดงผลอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์ในบทนี้ เป็นการทดสอบการทำงานของทำการวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าจากชุดแสดงผลอัจฉริยะ (Smart Monitoring Unit) เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II และ Chauvin Arnoux CA 8335 ซึ่งแสดงอัตราค่าไฟฟ้า 2 แบบ คือ อัตราค่าไฟฟ้าปกติ และอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

4.1 ภาระไฟฟ้าสำหรับการทดลอง

การทดสอบการประมวลผลของชุดแสดงผลอัจฉริยะ สำหรับบ้านอยู่อาศัย และธุรกิจขนาดเล็ก ซึ่งใช้ไฟฟ้าในระบบ 1 เฟส ภาระไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองเป็นภาระไฟฟ้าที่ใช้งานตามที่อยู่อาศัยที่ใช้งานในชีวิตประจำวัน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ภาระไฟฟ้าในการทดลอง

วงจรไฟฟ้าย่อย	อุปกรณ์ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	จำนวน
1.เครื่องปรับอากาศ	เครื่องปรับอากาศ ขนาด 13,000 BTU	1,500	1 เครื่อง
2.ภาระไฟฟ้าเต้ารับ	ตู้เย็น ขนาด 6.1 คิว	100	1 เครื่อง
	แล็ปท็อป	30	1 เครื่อง
	กาต้มน้ำ	700	1 เครื่อง
	พัดลม	46	1 เครื่อง
	โทรศัพท์มือถือ	10	1 เครื่อง
	เตารีด	1300	1 เครื่อง
3.แสงสว่าง	หลอดไดโอดเปล่งแสง ขั้ว E27	8	10 หลอด
	หลอดไดโอดเปล่งแสง ขั้ว E27	10.5	5 หลอด

(ก) เครื่องปรับอากาศ

(ข) แล็ปท็อป

(ค) ภาระไฟฟ้าแสงสว่าง

(ง) กาต้มน้ำ

(จ) ตู้เย็น

(ฉ) พัดลม

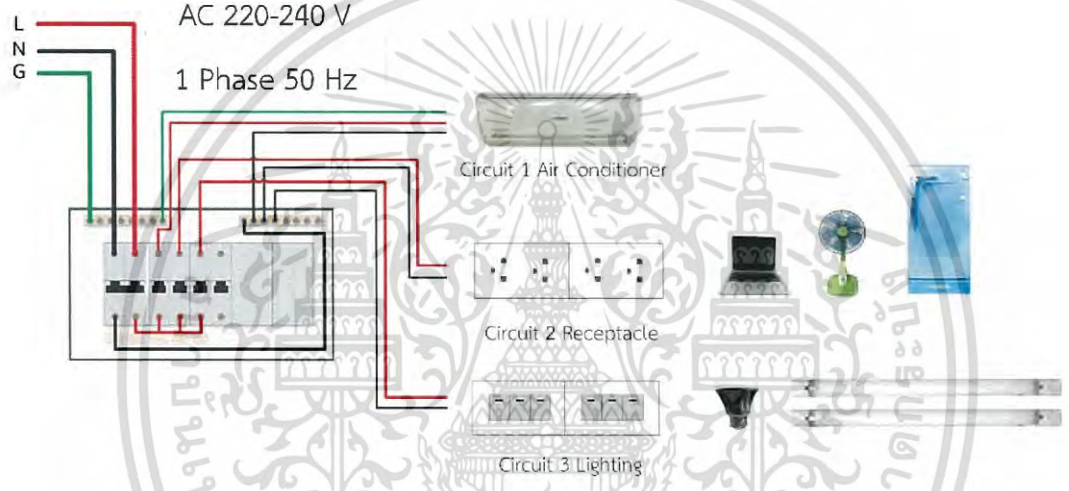
รูปที่ 4.1 ภาระไฟฟ้าในการทดลองเพื่อจำลองระบบภายในบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ระบบไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย

เนื่องจากชุดทดลองที่ออกแบบการใช้งานสำหรับที่อยู่อาศัยมีการใช้ภาระไฟฟ้าหลากหลายชนิด จึงได้ทำการออกแบบชุดทดลองระบบไฟฟ้าซึ่งเป็นการจำลองระบบไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย จากข้อมูลเบื้องต้นของภาระไฟฟ้าที่กล่าวข้างต้น จึงทำการออกแบบระบบไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยเพื่อการทดลอง โดยแบ่งวงจรไฟฟ้าย่อยภายในที่อยู่อาศัยเป็น 3 วงจรย่อย ดังนี้

- วงจรไฟฟ้าย่อยที่ 1 ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ
- วงจรไฟฟ้าย่อยที่ 2 ได้แก่ ภาระไฟฟ้าเต้ารับ อาทิ กาต้มน้ำ, ตู้เย็น, พัดลม เป็นต้น
- วงจรไฟฟ้าย่อยที่ 3 ได้แก่ ภาระไฟฟ้าประเภทแสงสว่าง

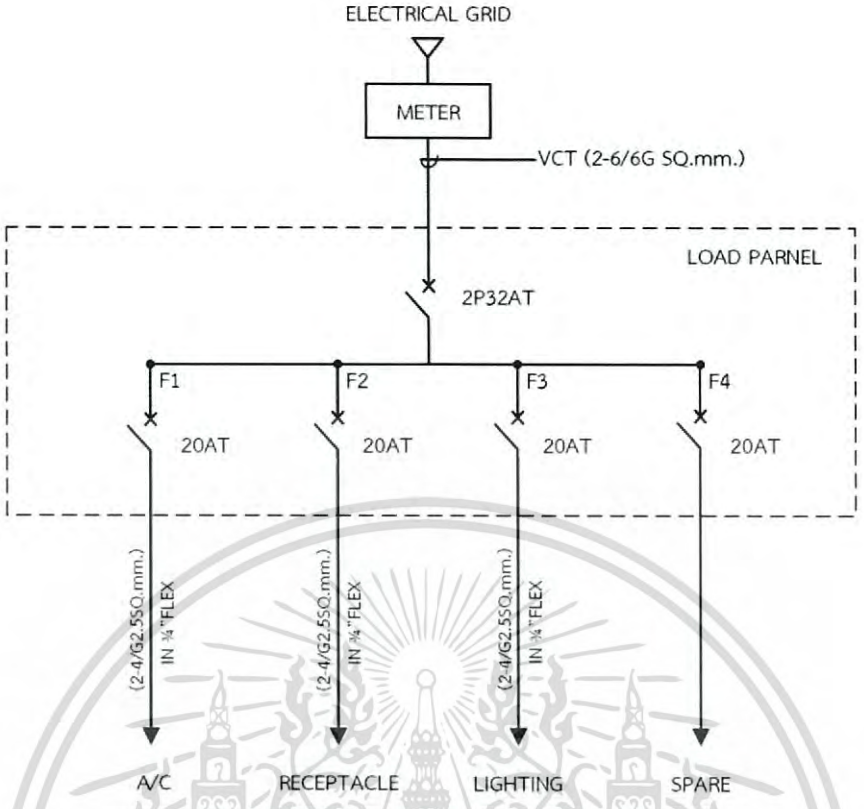


รูปที่ 4.2 วงจรแผงควบคุมไฟฟ้า

4.3 ตู้ควบคุมไฟฟ้า

ภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 อุปกรณ์ทางไฟฟ้า ประกอบด้วย เซอร์กิตเบรกเกอร์, บาร์นิวตรอน และบาร์กราวด์ ส่วนที่ 2 คือ อุปกรณ์ของชุดแสดงผล ประกอบด้วย โมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ไมโครคอนโทลเลอร์ อุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล (Data logger shield) และอุปกรณ์สำหรับส่งข้อมูลไปยังระบบอินเทอร์เน็ต (Node MCU) และแหล่งจ่ายไฟฟ้าเลี้ยงอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.3

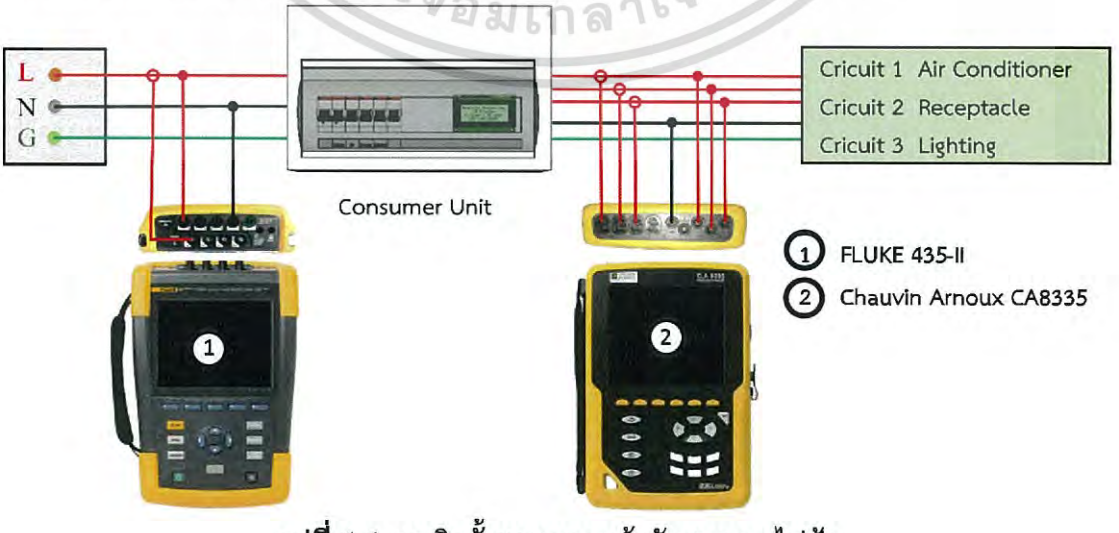
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แผนภาพเส้นเดียวของวงจรทดสอบ

4.4 การติดตั้งชุดทดลองเข้ากับระบบ

นำชุดทดลองมาทดสอบการทำงานโดยติดตั้งเพื่อวัดค่าของชุดภาระไฟฟ้า ซึ่งติดตั้งในระบบที่จำลองการใช้งานจริง โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 - 240 โวลต์ 1 เฟส ความถี่ 50 เฮิรตซ์ โดยต่อเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Chauvin Anoux CA8335), เครื่องวัดคุณภาพไฟฟ้า (Fluke 435 II) และชุดแสดงผลอัจฉริยะ ทำการวัดผลที่ตำแหน่งก่อนเข้าแผงควบคุมไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.1 เพื่อเปรียบเทียบค่าตัวแปรทางไฟฟ้าในการทดลอง



รูปที่ 4.4 การติดตั้งชุดทดลองเข้ากับชุดภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II และ Chauvin Arnoux CA 8335

การทดลองในหัวข้อนี้ได้ทำการวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้า ซึ่งมีค่าที่ทำการวัดคือ แรงดันไฟฟ้า (Voltage), กระแสไฟฟ้า (Current), กำลังไฟฟ้า (Power) และพลังงานไฟฟ้า (Energy) โดยทำการวัดจากเครื่องมือวัด 3 ชนิด คือ ชุดแสดงผลอัจฉริยะ, เครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II และ Chauvin Arnoux CA 8335 ในการทดลองนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากวงจรย่อย 3 วงจร และการวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากวงจรหลัก (Main Circuit) โดยได้ทำการจำลองลักษณะการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง

ในการจำลองลักษณะการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านนี้ ทำการทดลองวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้า โดยใช้เครื่องมือในการวัด 3 ชนิด คือ ชุดแสดงผลอัจฉริยะ, Fluke 435 II และ Chauvin Arnoux CA 8335 มีระยะเวลาในการทดสอบ 24 ชั่วโมง โดยเครื่องมือวัด Fluke 435 II ใช้สำหรับวัดวงจรหลัก (Main Circuit) และเครื่องมือวัด Chauvin Arnoux CA 8335 ใช้สำหรับวัดวงจรย่อยทั้ง 3 ตัว ซึ่งภายในระยะเวลาดังกล่าวทำการเปิด–ปิดการทำงานของภาระไฟฟ้าแต่ละชนิด โดยภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วย เครื่องปรับอากาศ, พัดลม, เตารีด, ตู้เย็น, แลปท็อป, กาต้มน้ำ, โทรทัศน์, โทรศัพท์มือถือ และหลอดไดโอดเปล่งแสง สามารถแสดงการเปิด–ปิดการทำงานของภาระไฟฟ้าแต่ละชนิดและค่าตัวแปรทางไฟฟ้าแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การเปิด–ปิด ภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยตลอด 24 ชั่วโมง

	00.00 - 00.30	00.30 - 01.00	01.00 - 01.30	01.30 - 02.00	02.00 - 02.30	02.30 - 03.00	03.00 - 03.30	03.30 - 04.00	04.00 - 04.30	04.30 - 05.00	05.00 - 05.30	05.30 - 06.00	06.00 - 06.30	06.30 - 07.00	07.00 - 07.30	07.30 - 08.00	08.00 - 08.30	08.30 - 09.00	09.00 - 09.30	09.30 - 10.00	10.00 - 10.30	10.30 - 11.00	11.00 - 11.30	11.30 - 12.00
Air Condition																								
LED																								
Fan																								
Iron																								
Refrigerator																								
Laptop																								
Smart Phone																								
Kettle																								
TV																								

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) การเปิด – ปิด ภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยตลอด 24 ชั่วโมง

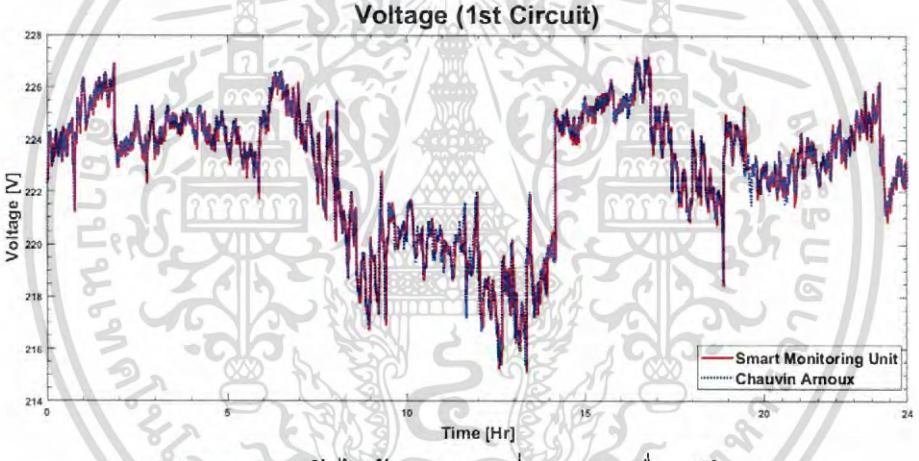
	12.00 - 12.30	12.30 - 13.00	13.00 - 13.30	13.30 - 14.00	14.00 - 14.30	14.30 - 15.00	15.00 - 15.30	15.30 - 16.00	16.00 - 16.30	16.30 - 17.00	17.00 - 17.30	17.30 - 18.00	18.00 - 18.30	18.30 - 19.00	19.00 - 19.30	19.30 - 20.00	20.00 - 20.30	20.30 - 21.00	21.00 - 21.30	21.30 - 22.00	22.00 - 22.30	22.30 - 23.00	23.00 - 23.30	23.30 - 00.00
Air Condition																								
LED																								
Fan																								
Iron																								
Refrigerator																								
Laptop																								
Smart Phone																								
Kettle																								
TV																								

4.5.1 การวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากวงจรย่อย 3 วงจร

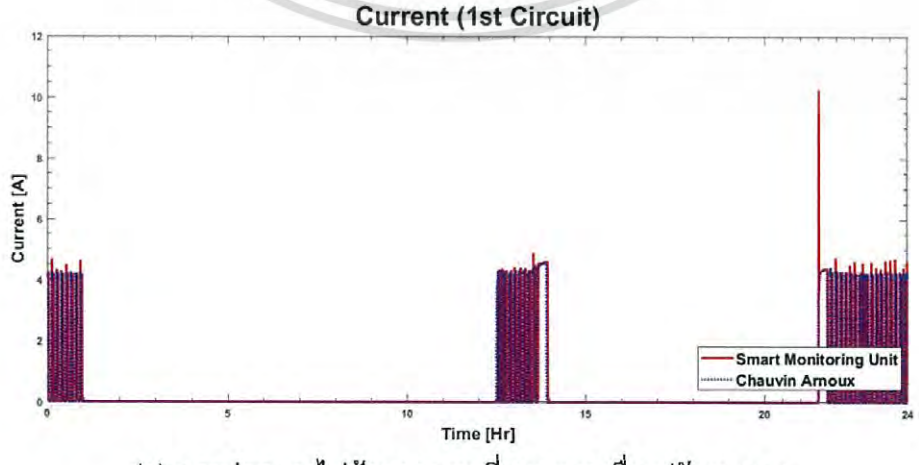
ในการวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากวงจรย่อยทั้ง 3 วงจร เป็นการเก็บข้อมูลของการวัดจากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 สาเหตุที่ใช้เครื่องมือวัดมาตรฐานประเภทเดียวในการเปรียบเทียบกับชุดแสดงผลอัจฉริยะ เนื่องจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน 1 เครื่องสามารถวัดวงจรไฟฟ้าได้เพียง 3 วงจรเท่านั้น ในส่วนของการวัดวงจรย่อยนี้จึงได้ใช้เครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับชุดแสดงผลอัจฉริยะ โดยแบ่งวงจรย่อยที่ทำการวัดออกเป็น 3 วงจรประกอบไปด้วย

1. วงจรของเครื่องปรับอากาศ ขนาด 13000 BTU
2. วงจรของเต้ารับ
3. วงจรของภาระไฟฟ้าแสงสว่าง คือ หลอดไดโอดเปล่งแสง ขนาด 8W จำนวน 5 หลอด และ หลอดไดโอเปล่งแสง ขนาด 10.5 W จำนวน 10 หลอด

โดยสามารถแสดงผลที่ได้จากการทดสอบตลอดเวลา 24 ชั่วโมงในรูปแบบเชิงกราฟได้ดังนี้

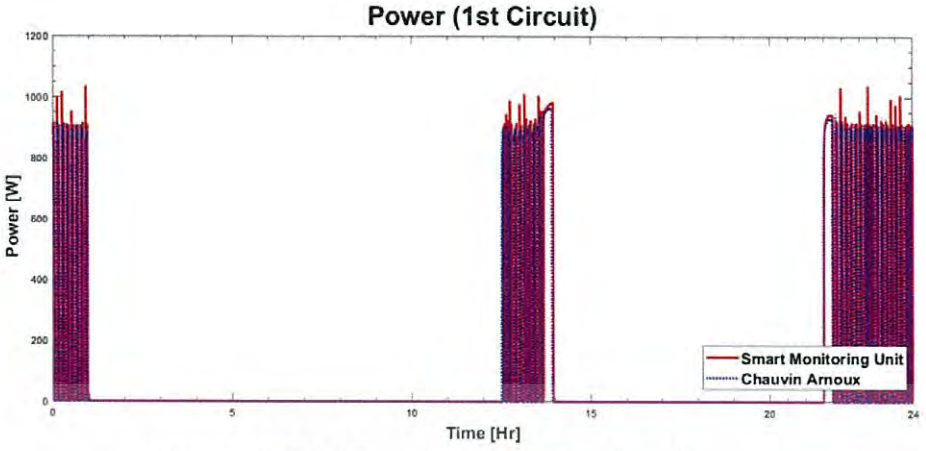


(ก) กราฟแรงดันไฟฟ้าของวงจรที่ 1 วงจรเครื่องปรับอากาศ

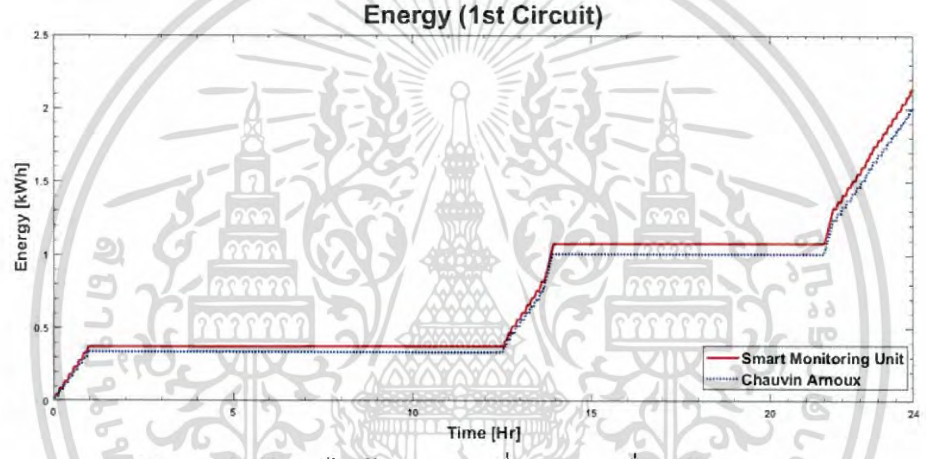


(ข) กราฟกระแสไฟฟ้าของวงจรที่ 1 วงจรเครื่องปรับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟกำลังไฟฟ้าของวงจรที่ 1 วงจรเครื่องปรับอากาศ

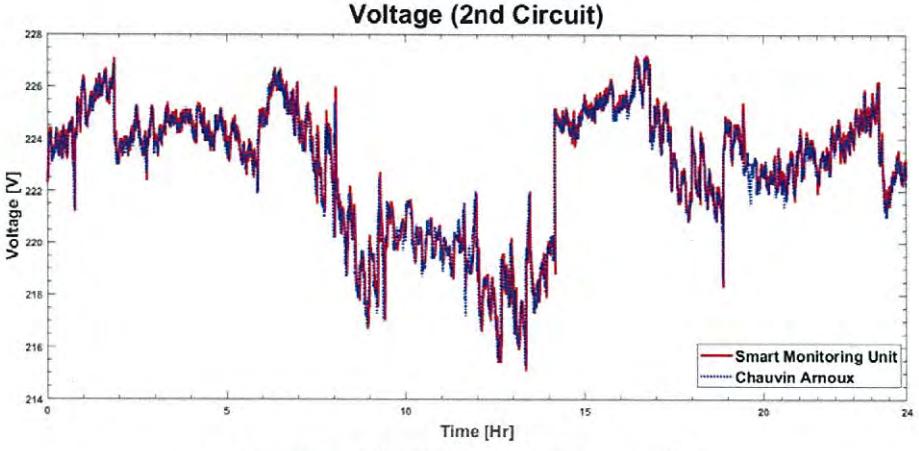


(ง) กราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรที่ 1 วงจรเครื่องปรับอากาศ

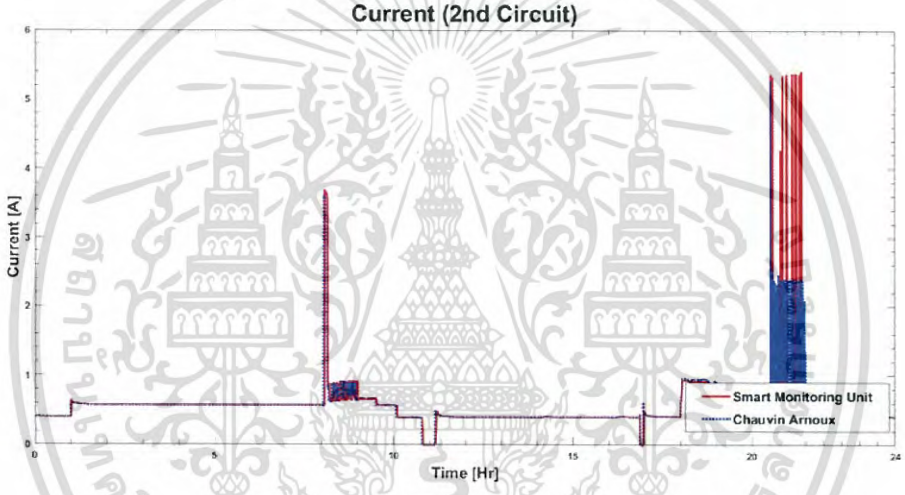
รูปที่ 4.5 กราฟตัวแปรทางไฟฟ้าของวงจรที่ 1 วงจรเครื่องปรับอากาศ จากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335

จากผลการทดลองของวงจรย่อยที่ 1 วงจรเครื่องปรับอากาศ โดยแสดงผลจากเครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิด คือ ชุดแสดงผลอัจฉริยะ (Smart Monitoring Unit) และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 แสดงผลในรูปแบบกราฟเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถวิเคราะห์ผลได้ว่า ลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้ามีลักษณะใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิด ซึ่งกราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรที่ 1 วงจรเครื่องปรับอากาศ ชุดแสดงผลอัจฉริยะมีค่าพลังงานไฟฟ้าคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 เท่ากับ 5.70% เมื่อทำการเปรียบเทียบจากค่าของเครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิดจากเวลาสุดท้ายที่ทำการทดลอง

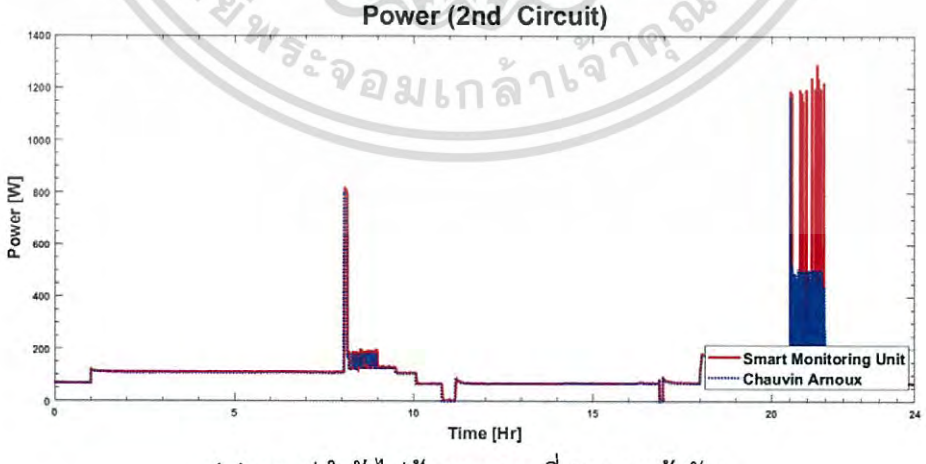
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กราฟแรงดันไฟฟ้าของวงจรที่ 2 วงจรเต้ารับ

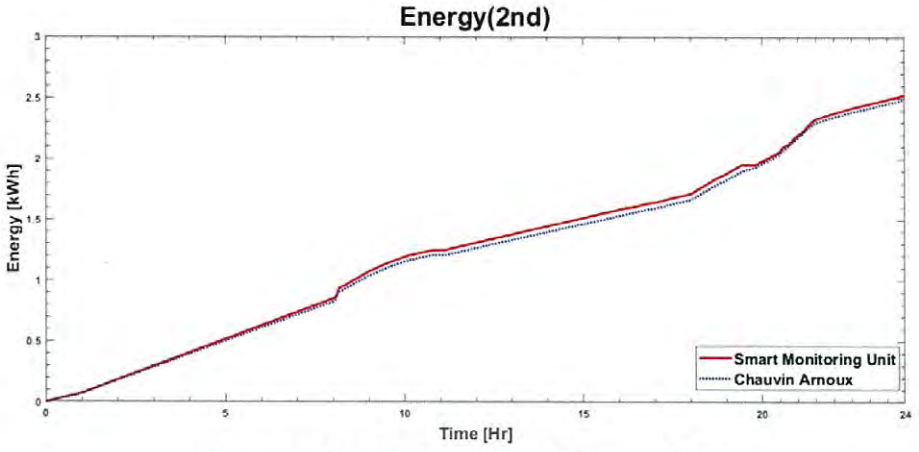


(ข) กราฟกระแสไฟฟ้าของวงจรที่ 2 วงจรเต้ารับ



(ค) กราฟกำลังไฟฟ้าของวงจรที่ 2 วงจรเต้ารับ

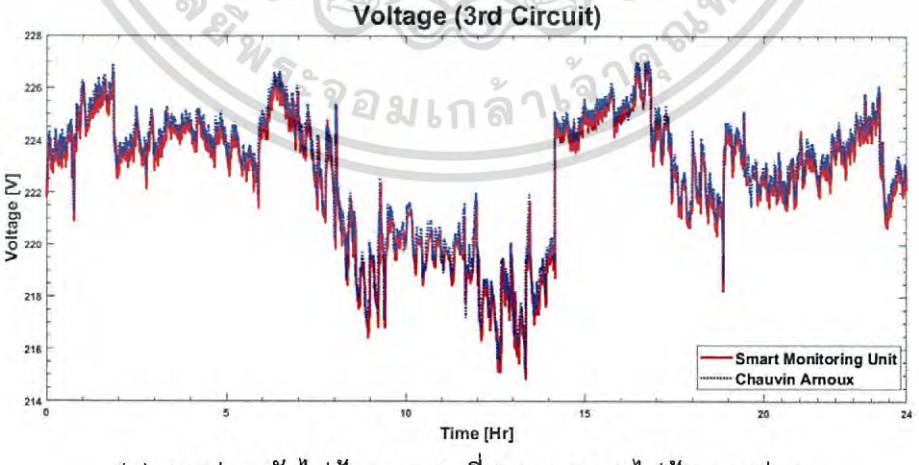
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง) กราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรที่ 2 วงจรเต้ารับ

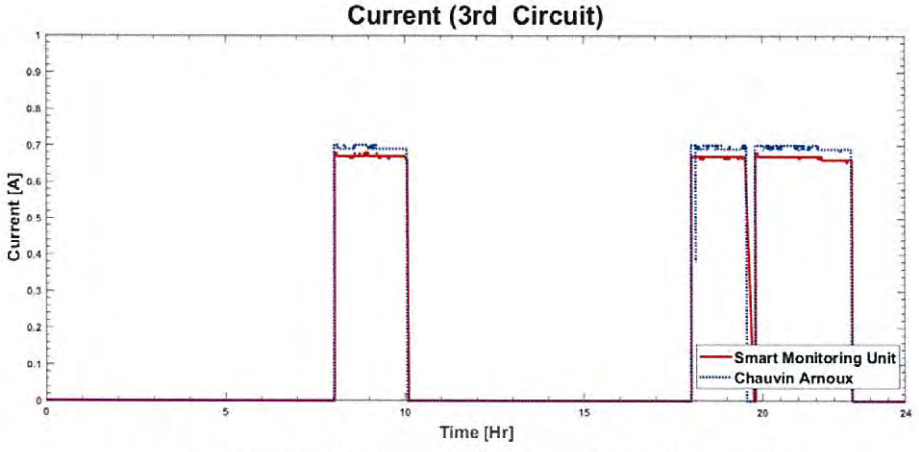
รูปที่ 4.6 กราฟตัวแปรทางไฟฟ้าของวงจรที่ 2 วงจรเต้ารับ จากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335

จากผลการทดลองของวงจรย่อยที่ 2 วงจรเต้ารับ โดยแสดงผลจากเครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิด คือ ชุดแสดงผลอัจฉริยะ (Smart Monitoring Unit) และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 แสดงผลในรูปแบบกราฟเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถวิเคราะห์ผลได้ว่า ลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า มีลักษณะใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิด ซึ่งกราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรที่ 2 วงจรเต้ารับ ชุดแสดงผลอัจฉริยะมีค่าพลังงานไฟฟ้าคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 เท่ากับ 1.39% เมื่อทำการเปรียบเทียบจากค่าของเครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิดจากเวลาสุดท้ายที่ทำการทดลอง

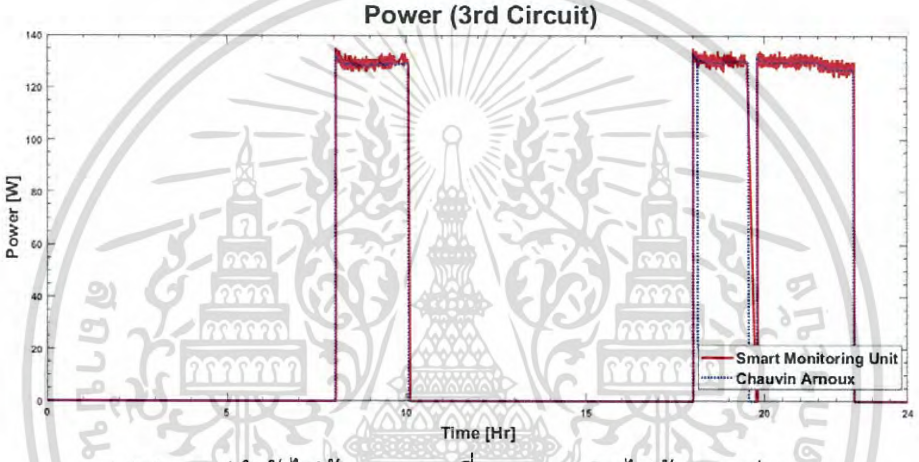


(ก) กราฟแรงดันไฟฟ้าของวงจรที่ 3 วงจรภาระไฟฟ้าแสงสว่าง

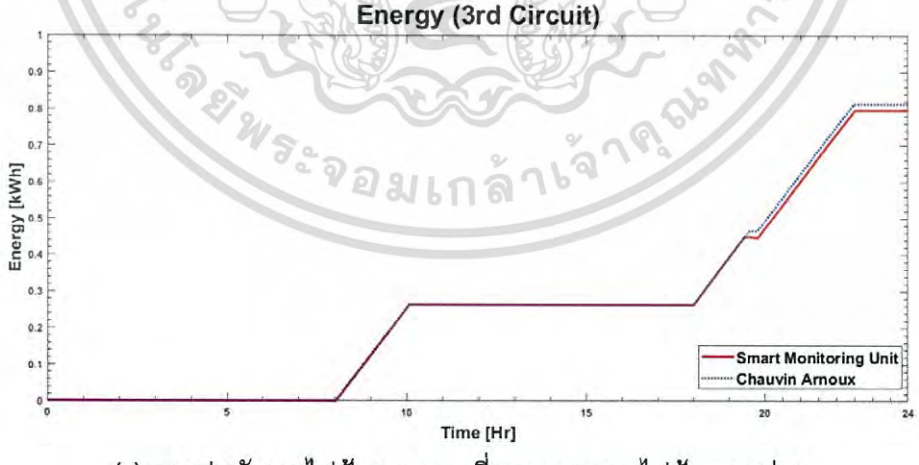
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) กราฟกระแสไฟฟ้าของวงจรที่ 3 วงจรภาระไฟฟ้าแสงสว่าง



(ค) กราฟกำลังไฟฟ้าของวงจรที่ 3 วงจรภาระไฟฟ้าแสงสว่าง



(ง) กราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรที่ 3 วงจรภาระไฟฟ้าแสงสว่าง

รูปที่ 4.7 กราฟตัวแปรทางไฟฟ้าของวงจรที่ 3 วงจรภาระไฟฟ้าแสงสว่าง จากชุดแสดงผลอัจฉริยะและเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองของวงจรย่อยที่ 3 วงจรภาระไฟฟ้าแสงสว่าง โดยแสดงผลจากเครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิด คือ ชุดแสดงผลอัจฉริยะ (Smart Monitoring Unit) และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 แสดงผลในรูปแบบกราฟเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถวิเคราะห์ผลได้ว่า ลักษณะกราฟแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้ามีลักษณะใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิด ซึ่งกราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรที่ 3 วงจรภาระไฟฟ้าแสงสว่าง ชุดแสดงผลอัจฉริยะมีค่าพลังงานไฟฟ้าคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 เท่ากับ 2.16% เมื่อทำการเปรียบเทียบจากค่าของเครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิดจากเวลาสุดท้ายที่ทำการทดลอง

จากกราฟแสดงผลการวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าทั้ง 4 ตัว คือ แรงดันไฟฟ้า (Voltage), กระแสไฟฟ้า (Current), กำลังไฟฟ้า (Power) และพลังงานไฟฟ้า (Energy) จากชุดแสดงผลอัจฉริยะและเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 ในวงจรย่อยทั้ง 3 วงจร สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ลักษณะเส้นกราฟจากเครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิดจากกราฟของค่าตัวแปรทางไฟฟ้ามีลักษณะใกล้เคียงกัน แสดงว่าค่าที่วัดได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะสามารถนำมาใช้ได้

4.5.2 การวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากวงจรหลัก (Main Circuit)

การวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากวงจรหลักวัดโดยชุดแสดงผลอัจฉริยะเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II สาเหตุที่ใช้เครื่องมือวัดมาตรฐานประเภทเดียวในการเปรียบเทียบกับ ชุดแสดงผลอัจฉริยะ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องวัด โดยสามารถแสดงผลที่ได้จากการทดสอบตลอดเวลา 24 ชั่วโมงในรูปแบบตารางบันทึกผล ซึ่งได้ทำการบันทึกผลค่าตัวแปรทุก ๆ 15 นาที และแสดงผลในรูปแบบเชิงกราฟได้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 ค่าตัวแปรทางไฟฟ้าที่วัดจากวงจรหลัก

Time	Voltage (V)		Current (A)		Power (W)		Energy (kWh)	
	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit
00.00 – 00.15	223.57	223.86	2.01	1.70	419.40	369.71	0.11	0.10
00.15 – 00.30	223.94	223.99	2.00	1.64	418.01	367.09	0.21	0.20
00.30 – 00.45	224.22	224.07	1.99	2.08	416.59	446.47	0.32	0.31
00.45 – 01.00	224.46	224.89	1.98	2.03	415.60	439.87	0.42	0.42
01.00 – 01.15	225.42	225.44	0.57	0.52	117.98	113.47	0.45	0.45
01.15 – 01.30	225.80	225.97	0.53	0.53	112.81	115.59	0.48	0.48
01.30 – 01.45	226.06	226.12	0.52	0.52	110.77	113.73	0.50	0.51
01.45 – 02.00	225.28	225.12	0.52	0.52	110.41	113.00	0.53	0.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ค่าตัวแปรทางไฟฟ้าที่วัดจากวงจรหลัก

Time	Voltage (V)		Current (A)		Power (W)		Energy (kWh)	
	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit
02.00 – 02.15	223.75	223.86	0.52	0.52	109.75	112.32	0.56	0.56
02.15 – 02.30	224.08	224.34	0.52	0.52	109.82	112.62	0.59	0.59
02.30 – 02.45	224.26	224.21	0.52	0.52	109.85	112.68	0.61	0.62
02.45 – 03.00	224.27	224.11	0.52	0.52	109.90	112.54	0.64	0.65
03.00 – 03.15	224.07	224.07	0.52	0.52	109.85	112.59	0.67	0.68
03.15 – 03.30	224.73	224.83	0.52	0.52	109.96	112.50	0.70	0.70
03.30 – 03.45	224.74	224.76	0.52	0.52	110.00	112.56	0.72	0.73
03.45 – 04.00	224.86	224.95	0.52	0.52	110.00	112.33	0.75	0.76
04.00 – 04.15	224.63	224.70	0.52	0.52	109.91	112.44	0.78	0.79
04.15 – 04.30	224.75	224.70	0.52	0.52	109.98	112.45	0.81	0.82
04.30 – 04.45	224.18	224.29	0.52	0.52	109.76	112.34	0.83	0.84
04.45 – 05.00	224.65	224.64	0.52	0.52	109.97	112.17	0.86	0.87
05.00 - 05.15	224.06	224.19	0.52	0.52	109.73	112.11	0.89	0.90
05.15 – 05.30	223.90	223.90	0.52	0.52	109.58	112.17	0.92	0.93
05.30 – 05.45	223.56	223.58	0.52	0.52	109.41	111.86	0.94	0.96
05.45 – 06.00	223.46	223.64	0.52	0.52	109.47	111.78	0.97	0.98
06.00 – 06.15	225.06	225.22	0.52	0.52	109.95	112.63	1.00	1.01
06.15 – 06.30	226.29	226.33	0.52	0.52	110.47	113.48	1.03	1.04
06.30 – 06.45	226.05	226.04	0.52	0.52	110.49	113.26	1.05	1.07
06.45 – 07.00	225.25	225.38	0.52	0.52	110.13	112.50	1.08	1.10
07.00 – 07.15	224.56	224.58	0.52	0.52	109.92	112.00	1.11	1.13
07.15 – 07.30	224.30	224.24	0.52	0.52	109.89	112.38	1.14	1.15
07.30 – 07.45	222.79	222.82	0.52	0.52	109.40	111.78	1.16	1.18
07.45 – 08.00	223.39	223.40	0.52	0.52	109.64	112.31	1.19	1.21
08.00 – 08.15	222.21	221.98	2.04	1.97	443.44	434.06	1.30	1.33
08.15 – 08.30	220.69	220.82	1.33	1.35	280.64	290.71	1.37	1.40
08.30 – 08.45	219.90	219.78	1.40	1.40	294.20	299.49	1.45	1.48
08.45 – 09.00	218.54	218.40	1.40	1.40	292.78	296.70	1.52	1.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ค่าตัวแปรทางไฟฟ้าที่วัดจากวงจรหลัก

Time	Voltage (V)		Current (A)		Power (W)		Energy (kWh)	
	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit
09.00 – 09.15	219.02	219.14	1.25	1.22	258.87	263.26	1.59	1.62
09.15 – 09.30	220.19	220.29	1.22	1.22	254.74	262.83	1.65	1.68
09.30 – 09.45	220.95	221.23	1.12	1.12	238.04	242.43	1.71	1.74
09.45 – 10.00	220.48	220.46	1.10	1.11	234.13	241.22	1.77	1.81
10.00 – 10.15	221.10	221.11	0.68	0.62	141.78	134.50	1.80	1.83
10.15 – 10.30	220.21	220.06	0.34	0.33	67.68	69.13	1.82	1.85
10.30 – 10.45	220.07	220.19	0.34	0.33	67.73	70.00	1.84	1.87
10.45 – 11.00	220.29	220.38	0.22	0.20	24.69	22.75	1.84	1.87
11.00 – 11.15	219.92	220.03	0.23	0.24	23.66	33.11	1.85	1.88
11.15 – 11.30	219.90	220.03	0.37	0.36	73.64	74.75	1.87	1.90
11.30 – 11.45	220.07	219.96	0.35	0.34	69.97	71.25	1.88	1.92
11.45 – 12.00	220.03	220.36	0.35	0.34	68.93	69.93	1.90	1.94
12.00 – 12.15	218.47	218.37	0.35	0.34	68.36	70.05	1.92	1.95
12.15 – 12.30	218.21	218.25	0.35	0.34	68.85	70.73	1.94	1.97
12.30 – 12.45	217.23	217.39	2.03	2.30	410.04	488.52	2.04	2.08
12.45 – 13.00	218.78	218.81	2.04	2.19	416.37	464.02	2.14	2.19
13.00 – 13.15	217.42	217.37	2.06	1.83	417.37	385.25	2.25	2.30
13.15 – 13.30	218.49	218.67	2.07	2.18	421.98	461.60	2.36	2.41
13.30 – 13.45	218.66	218.40	2.42	2.63	496.04	554.67	2.48	2.55
13.45 – 14.00	219.03	219.06	4.21	4.05	887.40	861.09	2.70	2.77
14.00 – 14.15	220.74	222.39	0.34	0.34	69.10	71.67	2.72	2.78
14.15 – 14.30	224.67	224.78	0.35	0.34	71.58	73.10	2.74	2.80
14.30 – 14.45	224.66	224.69	0.34	0.34	70.81	72.60	2.76	2.82
14.45 – 15.00	224.61	224.75	0.34	0.34	70.62	72.38	2.77	2.84
15.00 – 15.15	225.23	225.34	0.34	0.34	70.38	72.30	2.79	2.86
15.15 – 15.30	225.32	225.48	0.34	0.34	70.22	71.95	2.81	2.87
15.30 – 15.45	225.58	225.79	0.34	0.33	70.26	71.72	2.83	2.89
15.45 – 16.00	225.48	225.47	0.34	0.33	70.11	71.79	2.84	2.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ค่าตัวแปรทางไฟฟ้าที่วัดจากวงจรหลัก

Time	Voltage (V)		Current (A)		Power (W)		Energy (kWh)	
	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit
16.00 – 16.15	225.42	225.56	0.34	0.33	70.11	71.53	2.86	2.93
16.15 – 16.30	225.92	226.62	0.35	0.34	72.31	74.03	2.88	2.94
16.30 – 16.45	226.38	226.52	0.34	0.34	71.41	72.88	2.90	2.96
16.45 – 17.00	225.62	225.40	0.35	0.27	49.80	50.57	2.91	2.97
17.00 – 17.15	224.60	224.60	0.38	0.37	76.53	79.33	2.93	2.99
17.15 – 17.30	224.32	223.86	0.35	0.35	73.67	75.12	2.95	3.01
17.30 – 17.45	222.63	222.64	0.35	0.35	72.29	73.81	2.97	3.03
17.45 – 18.00	221.97	221.96	0.35	0.35	71.62	73.14	2.98	3.04
18.00 – 18.15	222.80	222.77	1.24	1.40	255.49	299.41	3.05	3.12
18.15 – 18.30	222.82	222.97	1.47	1.47	300.10	308.57	3.12	3.20
18.30 – 18.45	221.95	221.88	1.48	1.47	299.00	306.12	3.20	3.27
18.45 – 19.00	222.34	222.75	1.27	1.27	264.51	272.98	3.26	3.34
19.00 – 19.15	224.19	224.31	1.42	1.41	293.45	301.12	3.34	3.42
19.15 – 19.30	224.14	224.23	1.42	1.41	292.79	299.19	3.41	3.47
19.30 – 19.45	222.78	223.03	0.68	0.93	142.99	202.00	3.45	3.47
19.45 – 20.00	222.77	222.79	0.99	1.17	197.75	249.73	3.50	3.52
20.00 – 20.15	222.70	222.74	1.34	1.33	278.13	285.18	3.57	3.59
20.15 – 20.30	222.67	222.75	1.41	1.41	291.13	298.53	3.64	3.67
20.30 – 20.45	222.56	222.57	1.96	1.87	392.47	378.45	3.74	3.76
20.45 – 21.00	222.93	223.12	1.98	2.11	391.24	422.07	3.84	3.87
21.00 – 21.15	223.59	223.67	1.96	1.81	389.86	386.35	3.93	3.97
21.15 – 21.30	223.74	223.63	1.95	1.60	386.22	368.18	4.03	4.06
21.30 – 21.45	223.10	223.12	4.36	4.76	938.07	1056.26	4.26	4.33
21.45 – 22.00	223.56	223.75	2.80	2.34	597.25	522.14	4.41	4.46
22.00 – 22.15	224.15	224.14	2.64	2.56	561.11	561.93	4.55	4.60
22.15 – 22.30	223.92	223.97	2.63	2.76	559.25	601.57	4.69	4.74
22.30 – 22.45	224.60	224.76	2.12	1.91	441.84	418.16	4.80	4.85
22.45 – 23.00	224.94	224.93	2.01	2.12	419.02	472.98	4.91	4.97

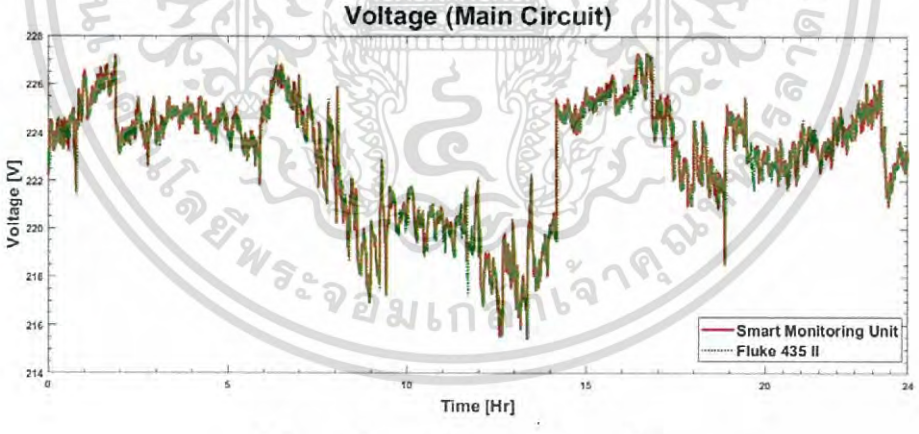
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) ค่าตัวแปรทางไฟฟ้าที่วัดจากวงจรหลัก

Time	Voltage (V)		Current (A)		Power (W)		Energy (kWh)	
	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit
23.00 – 23.15	225.21	225.45	2.02	1.98	421.78	426.96	5.02	5.07
23.15 – 23.30	223.04	222.84	2.03	1.85	420.54	398.51	5.12	5.18
23.30 – 23.45	222.22	222.45	2.03	1.84	421.19	394.10	5.23	5.29
23.45 – 00.00	222.99	222.99	2.03	1.73	421.19	370.40	5.33	5.40

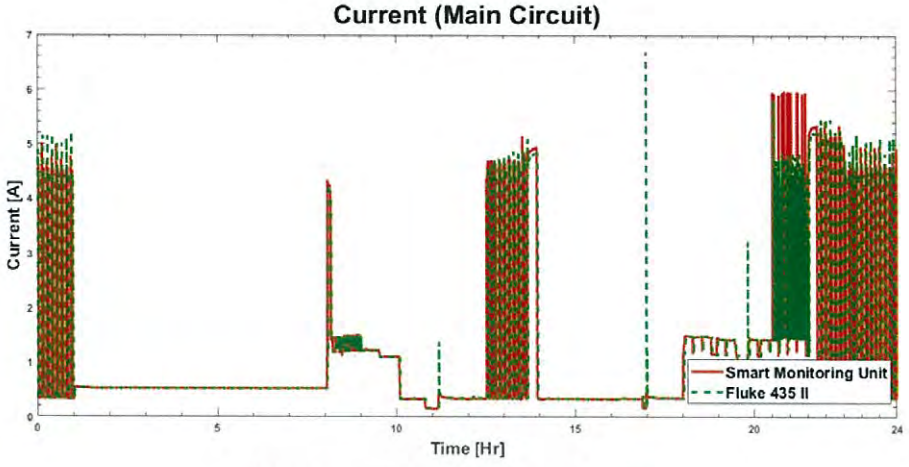
จากผลการทดสอบวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าของวงจรหลัก (Main Circuit) โดยใช้เครื่องมือวัด 2 ชนิด คือ ชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II สามารถวิเคราะห์ผลจากตารางที่ 4.3 พบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน 0.06%, กระแสไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน 4.10%, กำลังไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน 4.70% และพลังงานไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน 1.69% ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้อยู่ในช่วงที่สามารถรับได้

โดยสามารถนำค่าที่ได้จากผลการทดสอบแสดงในรูปแบบเชิงกราฟได้ดังนี้

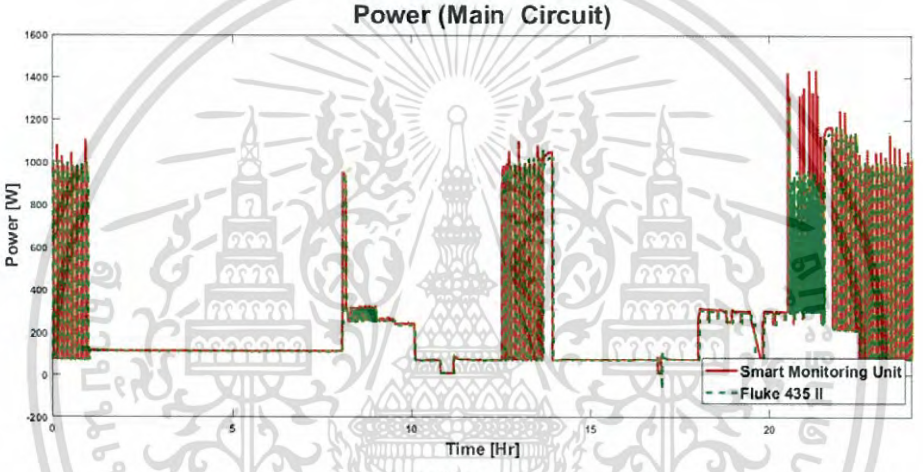


(ก) กราฟแรงดันไฟฟ้าของวงจรหลัก

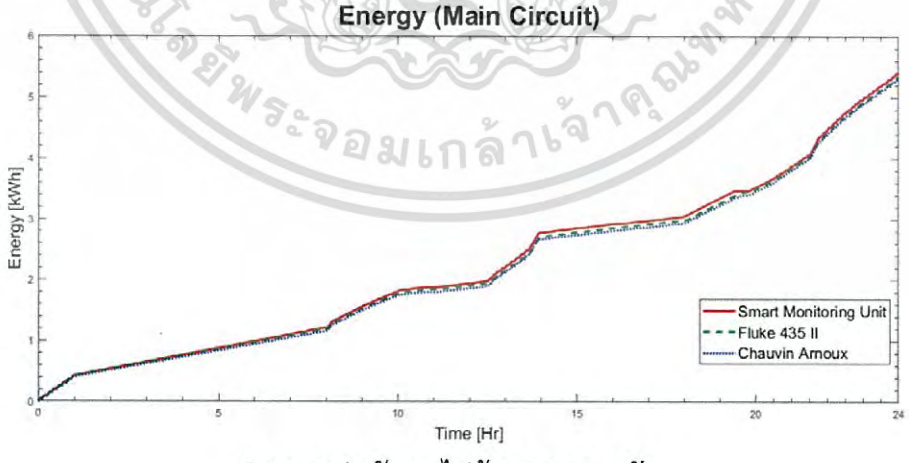
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) กราฟกระแสไฟฟ้าของวงจรหลัก



(ค) กราฟกำลังไฟฟ้าของวงจรหลัก

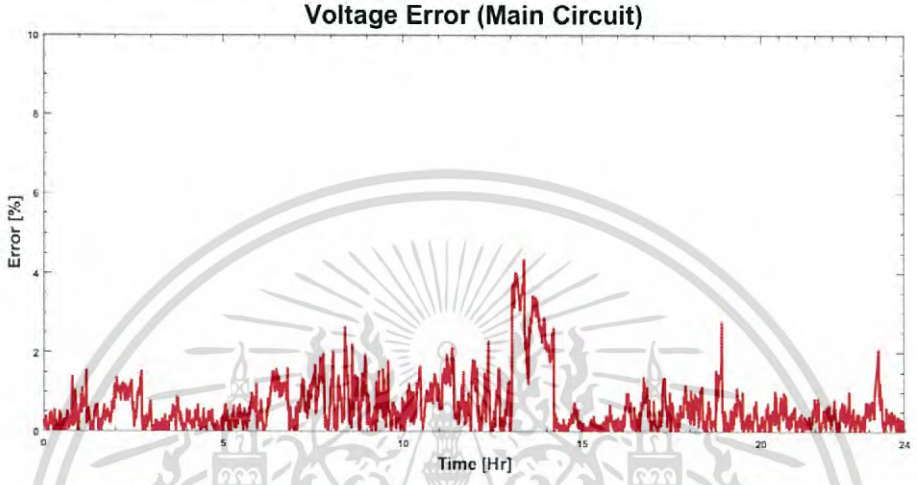


(ง) กราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรหลัก

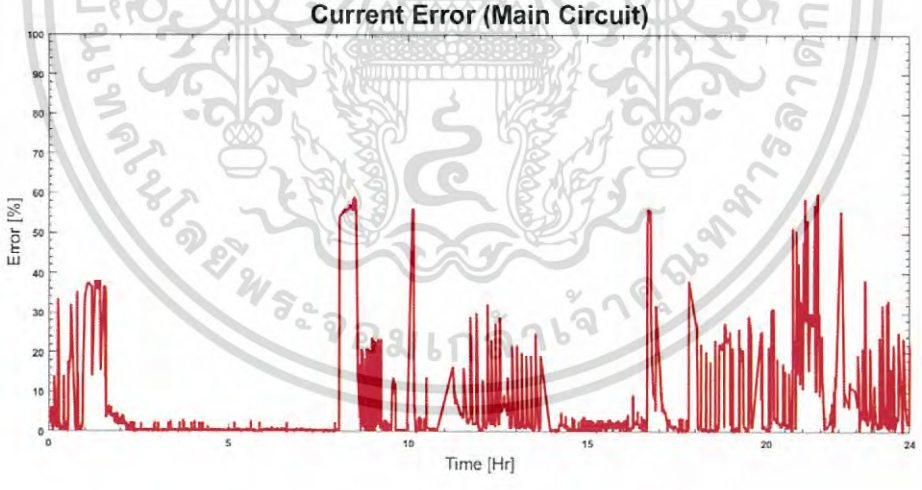
รูปที่ 4.8 กราฟตัวแปรทางไฟฟ้าของวงจรหลัก จากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟผลการทดลองที่แสดงการเปรียบเทียบค่าตัวแปรทางไฟฟ้า 4 ตัว คือ แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า จากเครื่องมือวัด 2 ชนิด คือ ชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II เมื่อทำการวัดตลอด 24 ชั่วโมง พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะใกล้เคียงกันตลอดเวลาที่ทำการทดลอง โดยค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างเครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิด สามารถแสดงได้ในรูปแบบเชิงกราฟ ดังนี้

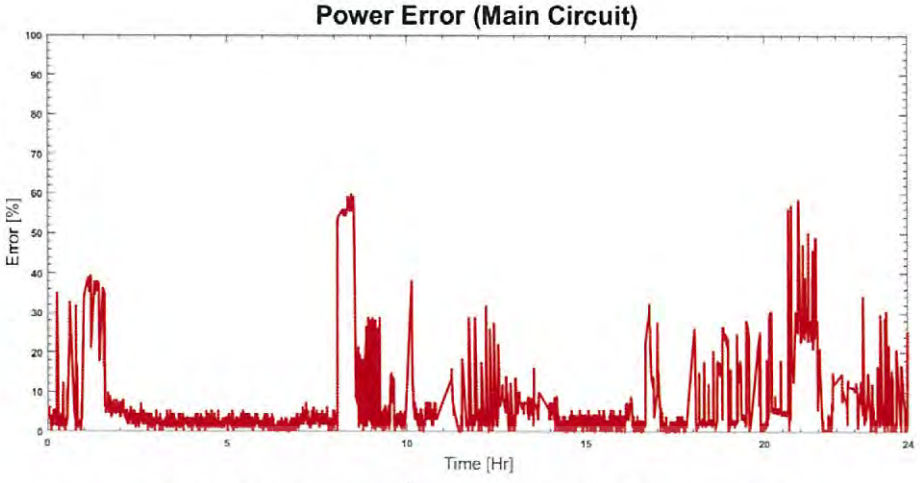


(ก) กราฟความคลาดเคลื่อนของค่าแรงดันไฟฟ้าในวงจรหลัก

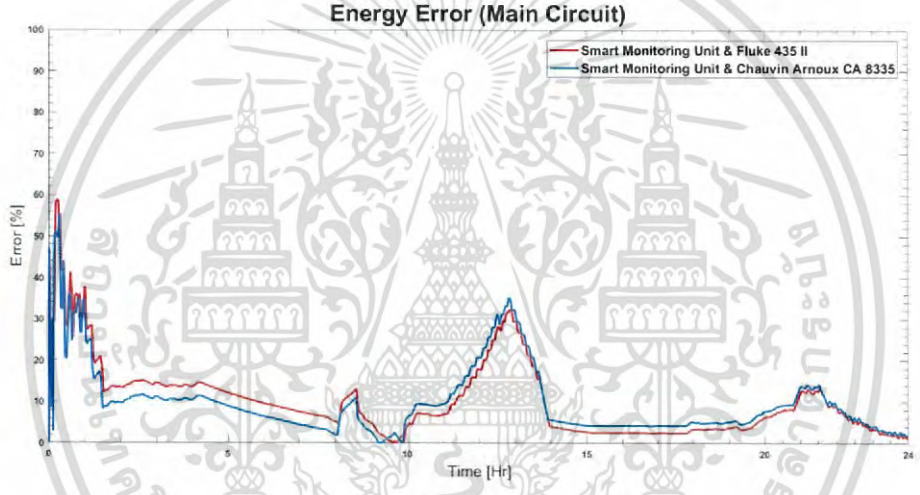


(ข) กราฟความคลาดเคลื่อนของค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค) กราฟความคลาดเคลื่อนของค่ากำลังไฟฟ้าในวงจรหลัก



(ง) กราฟความคลาดเคลื่อนของค่าพลังงานไฟฟ้าในวงจรหลัก

รูปที่ 4.9 กราฟค่าความคลาดเคลื่อนของตัวแปรทางไฟฟ้าในวงจรหลัก จากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II

จากรูปกราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของค่าตัวแปรทางไฟฟ้าในวงจรหลัก เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่าง ชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย ไม่เกิน 10% , ค่ากระแสไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงมากในบางช่วง แต่ไม่เกิน 60% และค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงในช่วงแรก ๆ และมีค่าลดลงในช่วงท้ายของการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การคิดค่าไฟฟ้าในอัตราปกติ และอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

ในส่วนของการคำนวณค่าไฟฟ้านี้ ได้ทำการคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ อัตราปกติ และอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) โดยใช้เครื่องมือในการวัด 3 ชนิด คือ ชุดแสดงผลอัจฉริยะ, Fluke 435 II และ Chauvin Arnoux CA 8335 ซึ่งการแสดงผลของค่าไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดชุดแสดงผลอัจฉริยะ แสดงผลได้โดยตรงสามารถสังเกตได้จากหน้าจอแสดงผลจากเครื่องมือวัด หรือผ่านทางหน้าเว็บไซต์ ส่วนการแสดงผลค่าไฟฟ้าจากเครื่องมือวัด Fluke 435 II และ Chauvin Arnoux CA 8335 ได้คำนวณมาจากสมการที่ 4.1

$$Electricity\ bill = Energy\ x\ Electricity\ per\ unit \tag{4.1}$$

โดย *Electricity bill* คือ ค่าไฟฟ้า มีหน่วย บาท

Energy คือ ค่าพลังงานไฟฟ้า มีหน่วย kWh

Electricity per unit คือ จำนวนหน่วยของไฟฟ้าที่ถูกใช้ มีหน่วย บาท/kWh

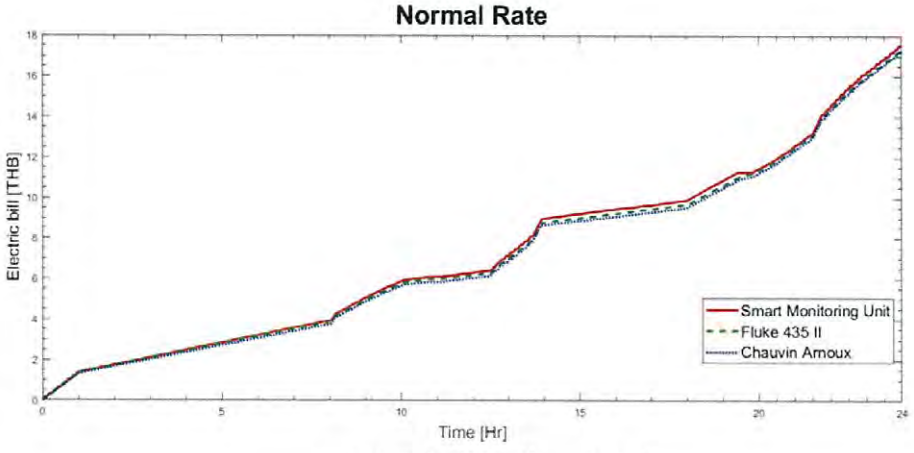
โดยวิธีคำนวณค่าไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 เป็นการคำนวณค่าไฟฟ้าโดยใช้ค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อยทั้ง 3 วงจร ซึ่งสามารถแสดงผลค่าไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดทั้ง 2 ชนิดได้ดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

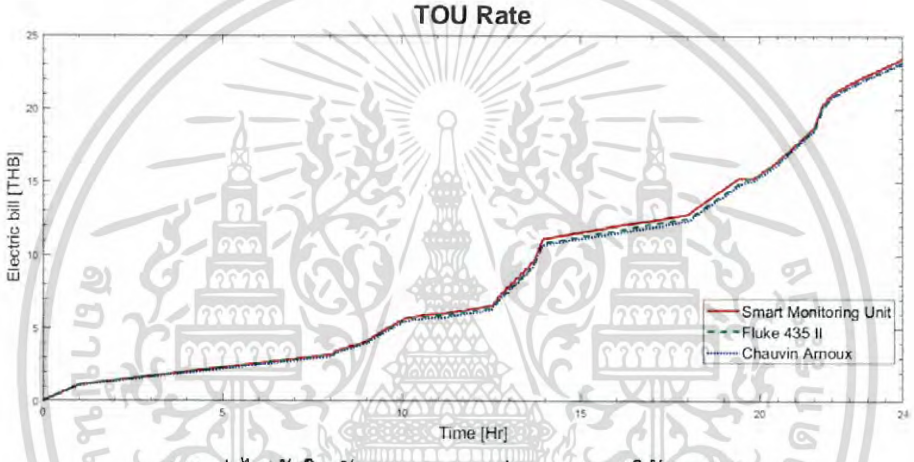
ตารางที่ 4.4 ค่าไฟฟ้าจากเครื่องมือวัด ชุดแสดงผลอัจฉริยะ, Fluke และ Chauvin Arnoux

Time	อัตราค่าไฟฟ้าแบบปกติ (บาท)			อัตราค่าไฟฟ้าแบบตามช่วงเวลาการใช้ (บาท)		
	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Chauvin Arnoux	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Chauvin Arnoux
00.00 – 01.00	1.37	1.37	1.31	1.11	1.11	1.06
01.00 – 02.00	1.74	1.73	1.66	1.41	1.40	1.35
02.00 – 03.00	2.11	2.09	2.01	1.71	1.69	1.63
03.00 – 04.00	2.47	2.44	2.36	2.01	1.98	1.91
04.00 – 05.00	2.84	2.80	2.71	2.30	2.27	2.20
05.00 – 06.00	3.20	3.15	3.05	2.60	2.56	2.48
06.00 – 07.00	3.57	3.51	3.40	2.89	2.85	2.76
07.00 – 08.00	3.93	3.87	3.75	3.19	3.14	3.04
08.00 – 09.00	5.04	4.94	4.84	4.10	4.01	3.93
09.00 – 10.00	5.87	5.74	5.64	5.57	5.44	5.35
10.00 – 11.00	6.09	5.98	5.84	5.96	5.88	5.72
11.00 – 12.00	6.29	6.18	6.03	6.33	6.22	6.06
12.00 – 13.00	7.12	6.96	6.82	7.81	7.63	7.47
13.00 – 14.00	8.98	8.78	8.65	11.13	10.87	10.73
14.00 – 15.00	9.22	9.01	8.87	11.56	11.27	11.13
15.00 – 16.00	9.45	9.24	9.09	11.97	11.68	11.52
16.00 – 17.00	9.65	9.45	9.29	12.31	12.06	11.88
17.00 – 18.00	9.89	9.69	9.53	12.75	12.49	12.30
18.00 – 19.00	10.86	10.60	10.47	14.48	14.12	13.99
19.00 – 20.00	11.44	11.36	11.23	15.52	15.47	15.33
20.00 – 21.00	12.56	12.46	12.34	17.52	17.44	17.33
21.00 – 22.00	14.48	14.32	14.27	20.92	20.76	20.74
22.00 – 23.00	16.14	15.95	15.88	22.27	22.08	22.05
23.00 – 00.00	17.54	17.32	17.25	23.41	23.20	23.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ค่าไฟฟ้าในอัตราค่าปกติ



(ข) ค่าไฟฟ้าในอัตราแบบตามช่วงเวลาการใช้ (TOU)

รูปที่ 4.10 กราฟค่าไฟฟ้าจากเครื่องมือวัด 3 ชนิด

จากผลการทดสอบการคำนวณค่าไฟฟ้าโดยใช้เครื่องมือวัด 3 ชนิด คือ ชุดแสดงผลอัจฉริยะ, Fluke 435 II และ Chauvin Arnoux CA 8335 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า

ในการคำนวณค่าไฟฟ้าในอัตราปกติ พบว่า ค่าไฟฟ้าที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะมีความคลาดเคลื่อน 1.24% เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II และค่าไฟฟ้าที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะมีความคลาดเคลื่อน 1.66% เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะ กับเครื่องมือวัดมาตรฐานทั้ง 2 ชนิด อยู่ในขอบเขตที่ไม่เกิน 2.5%

ในการคำนวณค่าไฟฟ้าในอัตราแบบตามช่วงเวลาการใช้ (TOU) พบว่า ค่าไฟฟ้าที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะมีความคลาดเคลื่อน 0.90% เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II และค่าไฟฟ้าที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะมีความคลาดเคลื่อน 1.03% เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะ กับเครื่องมือวัดมาตรฐานทั้ง 2 ชนิด อยู่ในขอบเขตที่ไม่เกิน 2.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหาที่พบ และแนวทางพัฒนาโครงงาน

5.1 สรุปผลการวิจัย

ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นการพัฒนาชุดแสดงผลอัจฉริยะ ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า เพื่อการจัดสรรพลังงานภายในบ้านอยู่อาศัย (ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1) หรือธุรกิจขนาดเล็ก ออกแบบสำหรับระบบไฟฟ้า 1 เฟส 220-240 โวลต์, 50 เฮิรตซ์ โดยตรวจวัดพลังงานจากตู้ควบคุมไฟฟ้า ผู้ใช้สามารถจัดสรรพลังงาน และลดการค่าใช้จ่ายโดยใช้หลักจิตวิทยา ซึ่งสามารถคำนวณค่าไฟฟ้าได้ทั้งแบบอัตราปกติ และอัตราตามช่วงเวลาการใช้ (TOU)

ชุดแสดงผลอัจฉริยะ ประกอบด้วย 1.โมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า 2.ส่วนประมวลผลข้อมูล 3.ชุดเก็บข้อมูล 4.โมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สาย 5.จอแสดงผล โดยอุปกรณ์ของชุดแสดงผลอัจฉริยะ ติดตั้งอยู่ในตู้ควบคุมไฟฟ้า (Consumer Unit) เมื่อข้อมูลถูกประมวลเรียบร้อยจะแสดงข้อมูลผ่านจอแสดงผลหน้าตู้ควบคุมไฟฟ้า และผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถตรวจสอบค่าพื้นฐานทางไฟฟ้า, การใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าผ่านทางเว็บไซต์ ณ เวลาจริง

การทดลองเป็นการศึกษาพฤติกรรมทางไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าแต่ละชนิด และจำลองการใช้งานภาระไฟฟ้าตามบ้านอยู่อาศัย ใช้เวลาการทดสอบ 24 ชั่วโมง ภาระไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ, ตู้เย็น, แล็ปท็อป, กาต้มน้ำ, พัดลม, โทรศัพท์มือถือ, เตารีด และหลอดไฟ โดยมีการเปลี่ยนแปลงของภาระไฟฟ้าตลอดช่วงเวลาเพื่อจำลองการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านตามจริง โดยเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าจากชุดแสดงอัจฉริยะ กับเครื่องวัดที่ได้มาตรฐาน คือ เครื่องวิเคราะห์การใช้พลังงาน แก้ไขคุณภาพไฟฟ้า Fluke 435 II และ Chauvin Arnoux CA8335 โดยการคำนวณค่าไฟฟ้าในอัตราปกติพบว่า ค่าไฟฟ้าที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะมีความคลาดเคลื่อน 1.24% เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II และ ค่าไฟฟ้าที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะมีความคลาดเคลื่อน 1.66% เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 และในการคำนวณค่าไฟฟ้าในอัตราแบบตามช่วงเวลาการใช้ (TOU) พบว่า ค่าไฟฟ้าที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะมีความคลาดเคลื่อน 0.90% เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II และ ค่าไฟฟ้าที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะมีความคลาดเคลื่อน 1.03% เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 ซึ่งมีความเคลื่อนน้อยกว่า 2.5 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานผลิตอุตสาหกรรม มาตรพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ มอก. 2543-2555 [44]

ความคลาดเคลื่อนของชุดแสดงผลอัจฉริยะเกิดจากประสิทธิภาพของอุปกรณ์ และสัญญาณรบกวนของชุดแสดงผลอัจฉริยะ แต่คลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถตรวจวัด แสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับภาระไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ และแต่ละช่วงกระแสไฟฟ้าในย่านที่สามารถทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาที่พบ

1. กระบวนการทำงานของชุดตรวจวัดพลังงาน และค่าไฟฟ้า ใช้เวลาในการแสดงผลนานพอสมควร
2. การทำงานของชุดตรวจวัดพลังงาน และค่าไฟฟ้า มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย
3. หากไม่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ทำให้ระบบไม่สามารถแสดงผลได้
4. การแสดงผลหน้าเว็บไซต์ค่อนข้างช้าเนื่องจากต้องดึงข้อมูลในหลายค่า

5.3 แนวทางการพัฒนา

1. เป็นพื้นฐานสำหรับปรับปรุง และพัฒนา เพื่อใช้ในการคิดค่าไฟฟ้า สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3-7
2. ควรมีการพัฒนาชุดตรวจวัดพลังงาน เพื่อให้ใช้เวลาในการแสดงผล ที่เร็วขึ้น
3. ปรับปรุงประสิทธิภาพ และความแม่นยำของชุดตรวจวัดพลังงานให้ดียิ่งขึ้น
4. ควรมีระบบรองรับการส่งผ่านข้อมูล เมื่อไม่มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต
5. ควรมีระบบป้องกัน หรือแจ้งเตือนเมื่ออุปกรณ์การวัดภายในเกิดปัญหา
6. พัฒนาระบบคำนวณเมื่อมีการปรับปรุงค่าไฟฟ้าประเภท 1 กับ 2 สามารถปรับปรุงแบบออนไลน์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. 2560. **แผนแม่บทพลังงาน.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/masterplan

[2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. 2560. **สถานการณ์พลังงานไทย ปี 2560.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.eppo.go.th/index.php/th/energy-information/energy-status/year?orders&orders[publishUp]=publishUp&issearch=1

[3] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. 2560. **รายงานสถิติพลังงานรายปี 2560.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา: https://drive.google.com/file/d/0B72dHL3q3jybU2JscXJsQi10elk/view

[4] T. Yashiro, S. Kobayashi, N. Koshizuka and K. Sakamura, **"A software HEMS framework for consumer electronics,"** 2013 IEEE 2nd Global Conference on Consumer Electronics

[5] M. S. Ahmed, A. Mohamed, R. Z. Homod, H. Shareef, A. H. Sabry and K. Bin Khalid, **"Smart plug prototype for monitoring electrical appliances in Home Energy Management System,"** 2015 IEEE Student Conference on Research and Development (SCOReD), Kuala Lumpur, 2015, pp. 32-36.

[6] Altaf Hamed Shajahan and A. Anand, **"Data acquisition and control using Arduino-Android platform: Smart plug,"** 2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability, Nagercoil, 2013, pp. 241-244.

[7] S. Owada, M. Karaki, H. Inazu, R. Tachikawa and M. Goto, **"Single button HEMS printer for tangible on-demand delivery of smart home information,"** 2016 IEEE 5th Global Conference on Consumer Electronics, Kyoto, 2016, pp. 1-3.

[8] A. Nacer, B. Marhic and L. Delahoche, **"Smart Home, Smart HEMS, Smart heating: An overview of the latest products and trends,"** 2017 6th International Conference on Systems and Control (ICSC), Batna, 2017, pp. 90-95.

[9] C. M. Lin and M. T. Chen, **"Design and implementation of a smart home energy saving system with active loading feature identification and power management,"** 2017 IEEE 3rd International Future Energy Electronics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Conference and ECCE Asia (IFEEC 2017 - ECCE Asia), Kaohsiung, 2017, pp. 739-742.

[10] P. Barsocchi, E. Ferro, F. Palumbo and F. Potortì, **"Smart meter led probe for real-time appliance load monitoring,"** IEEE SENSORS 2014 Proceedings, Valencia, 2014, pp. 1451-1454.

[11] J. P. Pawar, Amirthaganesh S., ArunKumar S. and Satiesh Kumar B., **"Real time energy measurement using smart meter,"** 2016 Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET), Coimbatore, 2016, pp. 1-5.

[12] N. Tamkittikhun, T. Tantidham and P. Intakot, **"AC power meter design based on Arduino: Multichannel single-phase approach,"** 2015 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC), Chiang Mai, 2015, pp. 1-5.

[13] M. M. Rahman, Noor-E-Jannat, M. O. Islam and M. S. Salakin, **"Arduino and GSM based smart energy meter for advanced metering and billing system,"** 2015 International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT), Dhaka, 2015, pp. 1-6.

[14] E. Rodriguez-Diaz, E. J. Palacios-Garcia, M. Savaghebi, J. C. Vasquez and J. M. Guerrero, **"Development and integration of a HEMS with an advanced smart metering infrastructure,"** 2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV, 2016, pp. 544-545.

[15] L. C. Saikia, H. Das, N. B. Dev Choudhury and T. Malakar, **"GPRS enabled smart energy meter with in-home display and application of time of use pricing,"** 2016 IEEE Annual India Conference (INDICON), Bangalore, 2016, pp. 1-5.

[16] N. L. Andrei, V. Tanasiev, M. Sanduleac and A. Badea, **"Smart metering platform as a solution for data analysis,"** 2017 International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM), Bucharest, Romania, 2017, pp. 495-499.

[17] S. Elakshumi and A. Ponraj, **"A server based load analysis of smart meter systems,"** 2017 International Conference on Nextgen Electronic Technologies: Silicon to Software (ICNETS2), Chennai, 2017, pp. 141-144.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[18] L. González-Sotres, C. Mateo, P. Frías, C. Rodíguez-Morcillo and J. Matanza, **"Replicability analysis of PLC PRIME networks for smart metering applications,"** 2017 IEEE Manchester PowerTech, Manchester, 2017, pp. 1-1.

[19] W. Hlaing, S. Thepphaeng, V. Nontaboot, N. Tangsunantham, T. Sangsuwan and C. Pira, **"Implementation of WiFi-based single phase smart meter for Internet of Things (IoT),"** 2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON), Pattaya, 2017, pp. 1-4.

[20] G. Giaconi, D. Gündüz and H. V. Poor, **"Smart Meter Privacy With Renewable Energy and an Energy Storage Device,"** in IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 13, no. 1, pp. 129-142, Jan. 2018.

[21] S. Shoaib, X. Chen and I. Llewellyn, **"Increasing the Effective Range of Smart Meter Home Area Network,"** in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 16, pp. 2898-2901, 2017.

[22] M. Aboelmaged, Y. Abdelghani and M. A. A. E. Ghany, **"Wireless IoT based metering system for energy efficient smart cites,"** 2017 29th International Conference on Microelectronics (ICM), Beirut, 2017, pp. 1-4.

[23] C. Chupong and B. Plangklang, **"Electricity bill forecasting application by home energy monitoring system,"** 2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON), Pattaya, Thailand, 2017, pp. 1-4.

[24] H. T. Yang, J. T. Liao and C. I. Lin, **"A load forecasting method for HEMS applications,"** 2013 IEEE Grenoble Conference, Grenoble, 2013, pp. 1-6.

[25] C. Vivekananthan, Y. Mishra and F. Li, **"Real-time price based home energy management scheduler,"** 2015 IEEE Power & Energy Society General Meeting, Denver, CO, 2015, pp. 1-1.

[26] S. Paramasivam, L. Thillainathan, H. Zeynal and N. Diana, **"Cost-effective and real-time SCADA home energy monitoring system,"** 2014 IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2014), Langkawi, 2014, pp. 585-590.

[27] S. Thakare, A. Shriyan, V. Thale, P. Yasarp and K. Unni, **"Implementation of an energy monitoring and control device based on IoT,"** 2016 IEEE Annual India Conference (INDICON), Bangalore, 2016, pp. 1-6.

[28] A. Sharma, A. Verma and M. Bhalla, **"WiFi home energy monitoring system,"** 2016 International Conference on Information Technology (InCITe) - The Next

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Generation IT Summit on the Theme - Internet of Things: Connect your Worlds, Noida, 2016, pp. 59-61.

[29] T. Y. Yang, C. S. Yang and T. W. Sung, **"An Intelligent Energy Management Scheme with Monitoring and Scheduling Approach for IoT Applications in Smart Home,"** 2015 Third International Conference on Robot, Vision and Signal Processing (RVSP), Kaohsiung, 2015, pp. 216-219.

[30] A. Berouine, F. Lachhab, Y. N. Malek, M. Bakhouya and R. Ouladsine, **"A smart metering platform using big data and IoT technologies,"** 2017 3rd International Conference of Cloud Computing Technologies and Applications (CloudTech), Rabat, Morocco, 2017, pp. 1-6.

[31] N. Jayapandian, A. M. J. M. Z. Rahman, U. Poornima and P. Padmavathy, **"Efficient online solar energy monitoring and electricity sharing in home using cloud system,"** 2015 Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IC-GET), Coimbatore, 2015, pp. 1-4.

[32] M. Uddin and T. Nadeem, **"EnergySniffer: Home energy monitoring system using smart phones,"** 2012 8th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Limassol, 2012, pp. 159-164.

[33] M. Abo-Zahhad, S. M. Ahmed, M. Farrag, M. F. A. Ahmed and A. Ali, **"Design and implementation of building energy monitoring and management system based on wireless sensor networks,"** 2015 Tenth International Conference on Computer Engineering & Systems (ICCES), Cairo, 2015, pp. 230-233.

[34] A. Basit, G. A. S. Sidhu, A. Mahmood and F. Gao, **"Efficient and Autonomous Energy Management Techniques for the Future Smart Homes,"** in IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 8, no. 2, pp. 917-926, March 2017.

[35] F. Wang, L. Zhou, H. Ren, X. Liu, M. Shafie-Khah and J. P. S. Catalão, **"Multi-objective optimization model of source-load-storage synergetic dispatch for building energy system based on TOU price demand response,"** 2017 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Cincinnati, OH, USA, 2017, pp. 1-10.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[36] Zhaoguang Pan, Hongbin Sun and Qinglai Guo, **"TOU-based optimal energy management for smart home,"** IEEE PES ISGT Europe 2013, Lyngby, 2013, pp. 1-5.

[37] วิศวกรรมอาคาร. 2553. **แผงสวิสซ์ไฟฟ้าแรงต่ำ.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา: https://thanettechnician.blogspot.com/2010/09/blog-post_17.html

[38] วีระชัย รัตนสมโชค. **Consumer Units และการติดตั้งเดินสายไฟ.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://new.abb.com/docs/librariesprovider74/lp-materials/revise1_consumer-unit และการติดตั้งเดินสายไฟ.pdf

[39] newave. **Schneider EZ9FS12MCUL 12 Way Flexible Load Amendment 3 Metal Consumer Unit.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://shop.newaveelec.co.uk/schneider-ez9fs12mcul-12-way-flexible-load-amendment-3-metal-consumer-unit-3133-p.asp

[40] Pd lighting. **เบรกเกอร์ไฟฟ้า/เบรคเกอร์.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.mdb-etechlight.com/article/item/3-เบรกเกอร์ไฟฟ้า-เบรคเกอร์.html

[41] ARION. **ARION WL AIR CIRCUIT BREAKERS AND SWITCH-DISCONNECTORS.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา: http://www.oez.com/products-profile/arion-wl11-air-circuit-breakers-and-switch-disconnectors

[42] Electrical Technology. **Type D MCB.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา: https://www.electricaltechnology.org/2016/02/mcb-miniature-circuit-breaker-types-construction-working-uses.html

[43] El-Pro-Cus. **Working Principle Of Earth Leakage Circuit Breaker(ELCB) And Its Advantage and Disadvantages.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา: https://www.elprocus.com/working-principle-of-earth-leakage-circuit-breaker-elcb/

[44] กระทรวงอุตสาหกรรม. **ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4480** . (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2556/E/006/17.PDF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

อัตราค่าไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราค่าไฟฟ้า

1. องค์ประกอบของค่าไฟฟ้า

➢ ค่าไฟฟ้าฐาน

ค่าไฟฟ้าฐาน คือค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการลงทุนของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (EGAT) การไฟฟ้านครหลวง (MEA) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) โดยสามารถแบ่งรายจ่ายได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. ต้นทุนในการก่อสร้างโรงไฟฟ้า ระบบสายส่ง และระบบจำหน่าย
2. ต้นทุนในการดำเนินงาน และการบำรุงรักษา
3. ต้นทุนค่าเชื้อเพลิง และค่าซื้อไฟฟ้าจากบริษัทเอกชน

ซึ่งการลงทุนในส่วนนี้จัดทำเพื่อรองรับความต้องการในการใช้ไฟฟ้าในอนาคต

➢ ค่าไฟฟ้าแปรผัน หรือ ค่า Ft

ค่าไฟฟ้าแปรผัน คือค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิง และค่าซื้อไฟฟ้าจากบริษัทเอกชน ที่สามารถเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น หรือลดลงได้ โดยจะทำการปรับเปลี่ยนค่าไฟฟ้าแปรผันทุก ๆ 4 เดือน โดยสามารถคำนวณการประมาณการของค่าไฟฟ้าแปรผันได้จากสมการที่ 1.1

$$F_t = FAC + AF \qquad (1.1)$$

โดย F_t คือ ค่าไฟฟ้าแปรผัน มีหน่วยเป็น สตางค์/หน่วย

FAC คือ ต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงไปจากฐาน (ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าบริษัทเอกชน ค่าซื้อไฟฟ้าจากต่างประเทศ และค่าใช้จ่ายตามนโยบายของรัฐ)

AF คือ ค่าสะสมของผลแตกต่างระหว่างค่าไฟฟ้าแปรผันที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่เรียกเก็บในรอบที่ผ่านมา และนำมาใช้ปรับปรุงค่าไฟฟ้าแปรผันในรอบนี้

➢ ค่าบริการรายเดือน

ค่าบริการรายเดือน คือ ค่าใช้จ่ายในการจดหน่วยไฟฟ้า ค่าจัดทำ และจัดส่งบิลค่าไฟฟ้า รวมทั้งการรับชำระเงินค่าไฟฟ้า และงานบริการลูกค้า

➢ ภาษีมูลค่าเพิ่ม

ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องจ่ายค่าภาษีมูลค่าเพิ่มตามที่กฎหมายกำหนด คือ ร้อยละ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ประเภทผู้ใช้ไฟ

การแบ่งประเภทผู้ใช้ไฟสามารถแบ่งออกได้ 8 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

เป็นการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย รวมทั้งบริเวณที่เกี่ยวข้อง เช่น วัด สำนักสงฆ์ และสถานประกอบศาสนกิจทางศาสนา โดยใช้เครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว โดยจะมีการแบ่งอัตราการคิดเป็น 2 แบบ คือ

ตารางที่ 2.1 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราปกติ ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	**ค่าบริการ** (บาท/เดือน)
ใช้พลังงานไฟฟ้า ไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน			8.19
5 หน่วยแรก	หน่วยที่ 0 - 5	0	
10 หน่วยต่อไป	หน่วยที่ 6 - 15	1.3576	
10 หน่วยต่อไป	หน่วยที่ 16 - 25	1.5445	
10 หน่วยต่อไป	หน่วยที่ 26 - 35	1.7968	
65 หน่วยต่อไป	หน่วยที่ 36 - 100	2.1800	
50 หน่วยต่อไป	หน่วยที่ 101 - 150	2.2734	
250 หน่วยต่อไป	หน่วยที่ 151 - 400	2.7781	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	หน่วยที่ 401 ขึ้นไป	2.9780	
ใช้พลังงานไฟฟ้า เกิน 150 หน่วยต่อเดือน			40.90
150 หน่วยแรก	หน่วยที่ 0 - 150	1.8047	
250 หน่วยต่อไป	หน่วยที่ 151 - 400	2.7781	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป	2.9780	

ตารางที่ 2.2 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		**ค่าบริการ** (บาท/เดือน)
	Peak	**Off Peak**	
แรงดัน 22-33 kV	3.6246	1.1914	228.17
แรงดันต่ำกว่า 22 kV	4.3093	1.2246	57.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

1. ช่วงเวลา Peak คือ ช่วงวันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 09.00 – 22.00 น.
   ช่วงเวลา Off Peak คือ ช่วงวันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 22.00 – 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน
2. ในที่อยู่อาศัยที่ติดตั้งเครื่องวัดที่ขนาดไม่เกิน 5 แอมป์ 220 โวลท์ จะใช้อัตราปกติในการคิดค่าไฟ แต่ถ้าหากมีการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในการคิดค่าไฟฟ้าในเดือนถัดไปจะใช้อัตรา TOU ในการคิดแทน ถ้า3เดือนถัดมาใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยติดต่อกัน3เดือน ในเดือนถัดไปจะกลับมาใช้อัตราปกติในการคิดค่าไฟฟ้า
3. ที่อยู่อาศัยที่ติดตั้งเครื่องวัดที่มีขนาดเกิน 5 แอมป์ 220 โวลท์ใช้อัตรา TOU ในการคิดค่าไฟโดยใช้อัตราTOU ต้องคำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 ถ้ามีการติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งเครื่องวัดไม่ได้วัดค่าไว้

ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

การใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ โดยมี ธุรกิจรวมกับบ้านอยู่อาศัย อุตสาหกรรม ราชการที่มีลักษณะเป็นอุตสาหกรรม รัฐวิสาหกิจ หรืออื่นๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการใช้พลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

ตารางที่ 2.3 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราปกติ ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	**ค่าบริการ** (บาท/เดือน)
แรงดัน 22-33 kV	2.4649	228.17
แรงดันต่ำกว่า 22 kV		40.90
- 150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 150)	1.8047	
- 250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	2.7781	
- เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	2.9780	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)
ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		**ค่าบริการ** (บาท/เดือน)
	Peak	**Off Peak**	
แรงดัน 22-33 kV	3.6246	1.1914	228.17
แรงดันต่ำกว่า 22 kV	4.3093	1.2246	57.95

หมายเหตุ

1. ช่วงเวลา Peak คือ ช่วงวันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 09.00 – 22.00 น.
   ช่วงเวลา Off Peak คือ ช่วงวันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 22.00 – 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน
2. อัตรา TOU ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งไม่ได้วัดรวมไว้ด้วย
3. ถ้าในเดือนใดมีการใช้พลังไฟฟ้าตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป จะถูกจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 3 - 5 แล้วแต่กรณี

ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

การใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ โดยมี อุตสาหกรรม ส่วนราชการที่มีลักษณะเป็นอุตสาหกรรม รัฐวิสาหกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป แต่ไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 3 เดือนเฉลี่ยไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

ตารางที่ 2.5 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราปกติ ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	**ค่าพลังงานไฟฟ้า** (บาท/หน่วย)
แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	175.70	1.6660
แรงดัน 22-33 kV	196.26	1.7034
แรงดันต่ำกว่า 22 kV	221.50	1.7314

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)
ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Peak	Off Peak	
แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	74.14	2.6136	1.1726	228.17
แรงดัน 22-33 kV	132.93	2.6950	1.1914	228.17
แรงดันต่ำกว่า 22 kV	210.00	2.8408	1.2246	228.17

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดใน 12 เดือนที่ผ่านมาจนถึงเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ

1. ช่วงเวลา Peak คือ ช่วงวันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 09.00 – 22.00 น.
   ช่วงเวลา Off Peak คือ ช่วงวันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 22.00 – 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน
2. อัตรา TOU ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งไม่ได้วัดรวมไว้ด้วย
3. อัตรา TOU จะบังคับใช้สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 เป็นครั้งแรก ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าเดือนตุลาคม 2543
4. ถ้าเดือนใดมีความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน จะใช้อัตราปกติในการคำนวณแทนอัตรา TOU

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 3 เดือนเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.7 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate : TOD) ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)
	Peak	Partial	Off Peak	
แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	224.30	29.91	0	1.6660
แรงดัน 22-33 kV	285.05	58.88	0	1.7034
แรงดันต่ำกว่า 22 kV	332.71	68.22	0	1.7314

หมายเหตุ

1. ช่วงเวลา Peak คือ เวลา 18.30 – 21.30 น. ของทุกวัน
   ช่วงเวลา Partial คือ เวลา 08.00 – 18.30 น. ของทุกวัน (ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าคิดเฉพาะส่วนที่เกิน Peak
   ช่วงเวลา Off Peak คือ เวลา 21.30 – 08.00 น. ของทุกวัน

ตารางที่ 2.8 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Peak	Off Peak	
แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	74.14	2.6136	1.1726	228.17
แรงดัน 22-33 kV	132.93	2.6950	1.1914	228.17
แรงดันต่ำกว่า 22 kV	210.00	2.8408	1.2246	228.17

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาจนถึงเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ

1. ช่วงเวลา Peak คือ ช่วงวันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 09.00 – 22.00 น.
   ช่วงเวลา Off Peak คือ ช่วงวันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 22.00 – 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน
2. อัตรา TOU เป็นอัตราบังคับสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ หรือผู้ใช้ไฟฟ้าเดิมที่เคยใช้ TOU แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เดือนที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปยังมีความต้องการใช้ไฟฟ้าไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ อีก ให้เปลี่ยนเป็นการคิดค่าไฟฟ้าตามตารางที่ 2.3 หรือ ตารางที่ 2.11 แทน

ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการโรงแรม และกิจการให้เช่าพักอาศัย ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

ตารางที่ 2.9 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)
ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	**ค่าพลังงานไฟฟ้า** (บาท/หน่วย)		**ค่าบริการ** (บาท/เดือน)
	Peak	Peak	Off Peak	
แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	74.14	2.6136	1.1726	228.17
แรงดัน 22-33 kV	132.93	2.6950	1.1914	228.17
แรงดันต่ำกว่า 22 kV	210.00	2.8408	1.2246	228.17

ตารางที่ 2.10 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราปกติ (สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ยังไม่ได้ติดมิเตอร์ TOU)
ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	**ค่าพลังงานไฟฟ้า** (บาท/หน่วย)
แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	220.56	1.666
แรงดัน 22-33 kV	256.07	1.7034
แรงดันต่ำกว่า 22 kV	276.64	1.7314

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือน นับถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ

1. ช่วงเวลา Peak คือ ช่วงวันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 09.00 – 22.00 น.
   ช่วงเวลา Off Peak คือ ช่วงวันจันทร์ – วันศุกร์ เวลา 22.00 – 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน
2. อัตรา TOU ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งไม่ได้วัดรวมไว้ด้วย
3. เดือนที่ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปก็ยังมีความต้องการไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ให้เปลี่ยนเป็นการคิดค่าไฟฟ้าตามตารางที่ 2.3

ประเภทที่ 6 ส่วนราชการ และองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร

การใช้ไฟฟ้าของหน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ หน่วยงานตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการส่วนท้องถิ่น ซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน รวมถึงองค์กรที่ไม่ใช่ส่วนราชการ แต่มีวัตถุประสงค์ในการให้บริการ โดยไม่คิดค่าตอบแทน แต่ไม่รวมหน่วยงานของรัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยราชการต่างประเทศ และสถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ โดยผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

ตารางที่ 2.11 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราปกติ ประเภทที่ 6 ส่วนราชการ และองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	**ค่าบริการ** (บาท/เดือน)
แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	1.9712	228.17
แรงดัน 22-33 kV	2.1412	228.17
แรงดันต่ำกว่า 22 kV		20.00
- 10 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 10)	1.3576	
- เกิน10 หน่วยขึ้นไป	2.4482	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.12 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) ประเภทที่ 6 ส่วนราชการ และองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	**ค่าพลังงานไฟฟ้า** (บาท/หน่วย)		**ค่าบริการ** (บาท/เดือน)
	Peak	**Peak**	**Off Peak**	
แรงดันตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไป	74.14	2.6136	1.1726	228.17
แรงดัน 22-33 kV	132.93	2.6950	1.1914	228.17
แรงดันต่ำกว่า 22 kV	210.00	2.8408	1.2246	228.17
Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 09.00 น. - 22.00 น. Off Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน				

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมานับถึงเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ

1. วัด สถานประกอบศาสนกิจ ที่คิดอัตราประเภทบ้านอยู่อาศัย หากมีการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 350 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปให้เปลี่ยนเป็นการคิดค่าไฟฟ้าตามตารางที่ 2.11 และเมื่อใดที่การใช้ไฟฟ้าไม่ถึง 350 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1
2. อัตรา TOU ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งไม่ได้วัดรวมไว้ด้วย

ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรของหน่วยราชการ สหกรณ์เพื่อการเกษตร กลุ่มเกษตรกรที่จดทะเบียนจัดตั้งกลุ่มเกษตรกร โดยผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

ตารางที่ 2.13 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราปกติ ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	**ค่าบริการ** (บาท/เดือน)
		115.16
100 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0-100)	0.6452	
เกิน 100 หน่วยขึ้นไป	1.7968	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 การคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU) ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Peak	Off Peak	
แรงดัน 22-33 kV	132.93	2.6950	1.1914	228.17
แรงดันต่ำกว่า 22 kV	210.00	2.8408	1.2246	228.17
Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 09.00 น. - 22.00 น. Off Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน				

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือน นับถึงปัจจุบัน

หมายเหตุ

กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งไม่ได้วัดรวมไว้ด้วย

ประเภทที่ 8 ไฟฟ้าชั่วคราว

สำหรับการใช้ไฟฟ้าของหน่วยราชการ หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ หน่วยงานตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ และ เอกชน เพื่องานก่อสร้าง ของสำนักงานทะเบียนส่วนท้องถิ่น และการใช้ไฟฟ้าที่ยังปฏิบัติไม่ถูกต้องตามระเบียบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

ตารางที่ 2.15 การคิดค่าไฟฟ้าประเภทที่ 8 ไฟฟ้าชั่วคราว

ค่าพลังงานไฟฟ้า (ทุกระดับแรงดัน)	หน่วยละ	4.3093	บาท

หมายเหตุ

ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้อัตราประเภทนี้ หากมีความประสงค์ขอเปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้าเป็นอย่างอื่น หรือการไฟฟ้าฯ ได้ตรวจพบว่า มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ไฟฟ้าแล้ว เช่น เพื่อประกอบธุรกิจ หรืออุตสาหกรรม หรือบ้านอยู่อาศัย และอื่น ๆ ต้องมีการยื่นคำร้องขอใช้ไฟฟ้าถาวรต่อการไฟฟ้าฯ ของท้องถิ่นนั้น ๆ พร้อมกับเดินสาย และติดตั้งอุปกรณ์ภายในให้เรียบร้อยถูกต้องตามมาตรฐาน และชำระเงินค่าธรรมเนียมการใช้ไฟฟ้าแบบไฟถาวรให้ครบถ้วน ตามหลักเกณฑ์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้า

1. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีการเรียกเก็บค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3, 4 และ 5 ที่มีตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแลค (Lag) เฉพาะเดือนที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าเสมือนเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าเสมือนเฉลี่ย ใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว โดยต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในอัตรากิโลวาร์ (KVAR) ละ 14.02 บาท (เศษของกิโลวาร์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไป คิดเป็น 1 กิโลวาร์)
2. อัตราข้างต้นเป็นอัตราที่ยังไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
3. หากค่าใช้จ่ายที่ไม่อยู่ในความควบคุมของการไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง โดยมีการปรับค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย ตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ ซึ่งอัตราการปรับค่า Ft แสดงอยู่ในใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

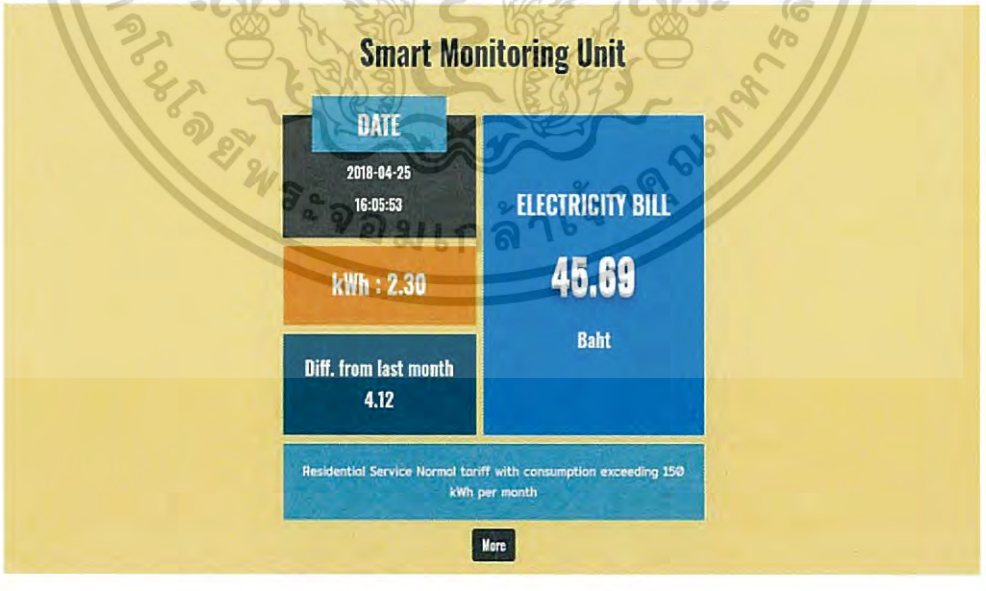
ภาคผนวก ข

การแสดงผลผ่านเว็บไซต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

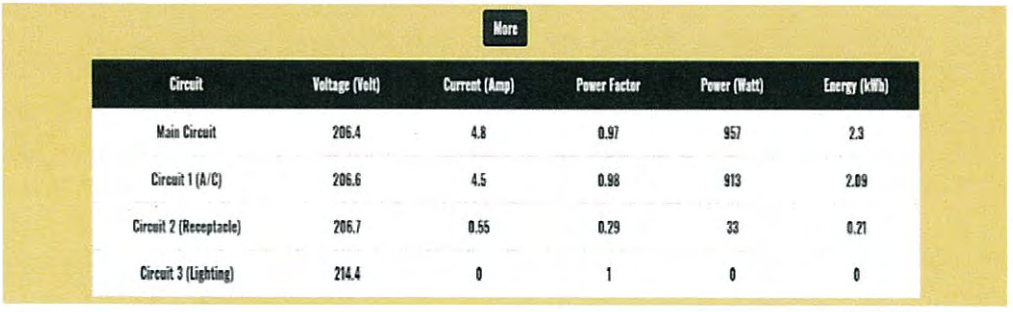
การแสดงผลผ่านเว็บไซต์

การออกแบบเว็บไซต์เพื่อการแสดงผลที่วัดได้จากอุปกรณ์ โดยการดึงข้อมูลมาแสดงหน้าเว็บไซต์ เมื่ออุปกรณ์คำนวณค่าต่าง ๆ แล้ว ค่าเหล่านั้นถูกส่งไปเก็บที่ฐานข้อมูล(Database) โดยโมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สาย (Node MCU) โดยในที่นี้ฐานข้อมูลที่นำมาเขียน คือ MongoDB จากนั้นต้องเขียนเซิร์ฟเวอร์เพื่อคำนวณ และประมวลผลค่าที่ต้องแสดงผลที่หน้าเว็บไซต์ และใช้รีแอค (React) ซึ่งมีการใช้ภาษาในการเขียน 3 ภาษา คือ HTML, CSS และ JavaScript สร้างหน้าเว็บไซต์ขึ้นมาเพื่อแสดงผล โดยหน้าเว็บไซต์แบ่งการแสดงเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนที่ 1 แสดงค่าที่ผู้ใช้ทั่วไปควรทราบ เช่น ค่าไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ เป็นต้น โดยส่วนนี้แสดงอยู่ในหน้าเว็บไซต์เมื่อเปิดขึ้นมา และส่วนที่ 2 แสดงค่า แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า เป็นต้น โดยค่าเหล่านี้แสดงเป็นตาราง โดยเมื่อเปิดเว็บไซต์ส่วนนี้ถูกซ่อนเอาไว้ แต่มีปุ่มกดเพื่อแสดงตารางนี้ออกมาถ้าหากผู้ใช้งานต้องการทราบ และส่วนที่ 3 ประกอบด้วยกราฟ 2 กราฟ กราฟแรก คือ กราฟแสดงค่าไฟฟ้าย้อนหลังของแต่ละเดือนซึ่งแสดงเป็นกราฟแท่ง และกราฟที่ 2 คือ กราฟการใช้พลังงานที่ใช้ใน 24 ชั่วโมงของแต่ละวัน ในส่วนนี้สามารถเลือกดูกราฟของวันที่ผ่านมาได้โดยเลือกวันที่ต้องการ ซึ่งกราฟนี้สามารถเลือกดูช่วงเวลาต่าง ๆ ของวันได้โดยมีขอบเขตคือ 1 ชั่วโมง เช่น เวลา 22.00 น. ถึง 23.00 น. เป็นต้น

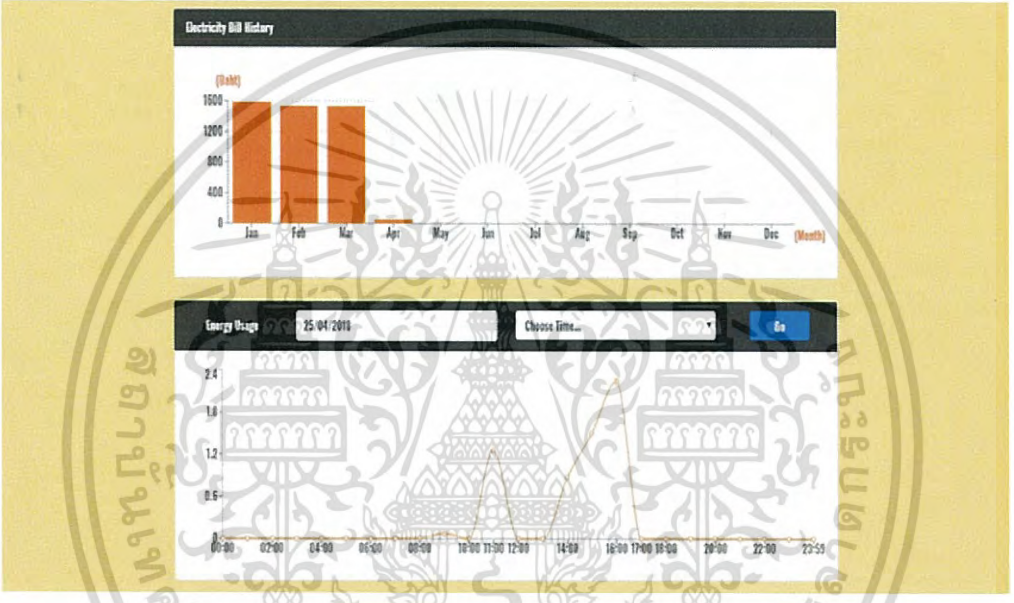


ส่วนที่ 1 : ค่าไฟฟ้า และพลังงานที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ส่วนที่ 2 : กดปุ่ม More เปิดตารางที่บอกค่าทางไฟฟ้าทุกอย่างที่อุปกรณ์วัดได้



ส่วนที่ 3 : กราฟของค่าไฟฟ้าในเดือนก่อน และกราฟการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแสดงค่าไฟ ณ เวลาจริงเพื่อการจัดการพลังงานภายในที่อยู่อาศัย ด้วยชุดแสดงผลอัจฉริยะ

Real-time Energy Price for Energy Management in Resident via Smart Monitoring Unit

นางสาวกรยา จงวิไลเกษม, นายกรินทร์ จิวาลักษณ์, นายคุณธัช ศรีจันทร์ และ นายชิตพล เผ่าคำ
รศ.ดร.อรรถพล เง่าพิทักษ์กุล และ ดร.ปรารถนา แก้วเพชร
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8331

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟและรายละเอียดต่าง ๆ ของภาระไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยเพื่อสร้างชุดแสดงผลอัจฉริยะโดยใช้บอร์ด Arduino Mega เป็นพื้นฐานสำหรับการคำนวณ โดยมีการเสนอการคำนวณการใช้พลังงาน และแสดงผลข้อมูล ณ เวลาจริงในช่วงเวลานั้นผ่านทางอุปกรณ์สื่อสาร โดยมีการแสดงผลการคิดอัตราค่าไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ คือ อัตราค่าไฟแบบปกติ และอัตราค่าไฟแบบตามช่วงเวลาการใช้ ในการทดลองทำการเชื่อมต่อชุดแสดงผลอัจฉริยะกับภาระไฟฟ้าที่ออกแบบมาให้ใกล้เคียงกับบ้านอยู่อาศัย เช่น หลอดไฟ, ตู้เย็น และเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น ซึ่งชุดแสดงผลอัจฉริยะมีการคำนวณผลค่าตัวแปรทางไฟฟ้า ณ เวลาจริง ในช่วงเวลานั้น โดยมีตัวอย่างตัวแปรทางไฟฟ้าที่ทำการคำนวณ เช่น แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งผลจากชุดแสดงผลอัจฉริยะได้ถูกเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะนั้นมีค่าความผิดพลาดที่สามารถยอมรับได้ในขอบเขตที่ไม่เกิน 2.5% เมื่อทำการเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน

Abstract

This project studies electrical usage behavior of the occupancy and load profile in residential building in order to build the Smart Monitoring Unit using Arduino Mega board as base for computation. The proposed unit will calculate energy usage and display real time data on the communication device with both normal and TOU rate. The experimental has been done by connecting monitoring unit to common load in residence such as lamp, refrigerator and air-conditioner, etc. The unit measured real time electrical parameter such as voltage, current, electrical energy, electrical power and energy cost, etc. The results are compared to the standard instrument in order to evaluate the performance of proposed unit. The result shows that proposed unit can achieve satisfy result with acceptable margin of error compared to standard instrument.

1.บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยมีค่ามากขึ้น[1] เพื่อที่จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด เมื่อมีการลดการใช้พลังงานเกิดขึ้นก็ส่งผลโดยตรงให้ค่าใช้จ่ายสำหรับพลังงานนั้นลดลงด้วย การลดการใช้พลังงานภายในบ้านอยู่อาศัยจึงเป็นสิ่งควรทำเป็นอันดับแรก เพราะเป็นสิ่งที่ใกล้ตัวมากที่สุด และจำนวนบ้านอยู่อาศัยในประเทศไทยมีจำนวนมากขึ้น จึงต้องมีการหาวิธีเพื่อที่จะลดการใช้พลังงานเพื่อการประหยัดค่าใช้จ่ายในบ้านอยู่อาศัย ซึ่งมีหลายวิธีที่ปฏิบัติได้ง่าย ๆ เช่น การเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าประหยัดพลังงาน ลดการใช้สิ่งอำนวยความสะดวกที่เกินจำเป็น การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า เป็นต้น สามารถลดการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายลงได้ ปริญญานิพนธ์นี้มุ่งเน้นไปในส่วนของการประหยัดพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และประหยัดค่าใช้จ่ายภายในบ้าน โดยที่ผู้ใช้สามารถบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยตนเองด้วยหลักจิตวิทยา เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าทราบค่าไฟฟ้า และพลังงานที่ใช้อย่างสะดวกรวดเร็ว ซึ่งทำให้ทราบว่าปัจจุบันได้ใช้ปริมาณการใช้ไฟฟ้า และค่าไฟฟ้า ณ ขณะนั้น หากมีค่าที่สูงขึ้นทำให้เกิดความต้องการที่ลดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ซึ่งผู้ใช้ทำการประหยัดพลังงานเองโดยการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อเวลาที่ต้องใช้งานจริง ๆ และใช้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อไม่ให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน อีกทั้งยังช่วยให้บริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านได้สะดวกเนื่องจากการเข้าถึง และเข้าใจง่าย ไม่ว่าจะเป็นระบบสั่งการผ่านโทรศัพท์มือถือ ทำให้ผู้ใช้ไม่มองว่าเป็นเรื่องยุ่งยาก ในการประหยัดพลังงานนี้จะมุ่งเน้นไปที่ชุดแสดงผลอัจฉริยะ สามารถวัดพลังงานไฟฟ้าภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า (Consumer Unit) โดยทั่วไปตู้ควบคุมไฟฟ้าสามารถควบคุมไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การออกแบบชุดทดลองอัจฉริยะ

2.1 ชุดแสดงผลอัจฉริยะสำหรับระบบจัดสรรพลังงาน

การออกแบบชุดแสดงผล และวัดพลังงานไฟฟ้าอัจฉริยะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ อาทิ ความสะดวกสบายในการใช้งาน สามารถรองรับการใช้งานภายในที่อยู่อาศัยได้เนื่องจากผู้ใช้ต้องสามารถเข้าถึง ใช้งานอุปกรณ์ได้ง่าย โปรแกรมประมวลผลทำงานรวดเร็ว และแม่นยำ โครงสร้างของของชุดแสดงผลอัจฉริยะสำหรับระบบจัดการพลังงาน

2.2 การออกแบบซอฟต์แวร์ และอุปกรณ์

ประกอบด้วยส่วนสำคัญหลัก ๆ ดังนี้ 1.โมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า (Voltage and Current Module) 2. ส่วนประมวลผลข้อมูล (Microcontroller) 3.ส่วนแสดงผล (Display) 4.อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (Data Storage) 5.อุปกรณ์เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย (WIFI)

2.2.1 โมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า (Voltage and Current Module)

โมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ที่เลือกใช้ คือ PZEM-004T ซึ่งมีย่านการใช้งานดังนี้ คือ แรงดันไฟฟ้าวัดได้ตั้งแต่ 80–260 V_{ac} และกระแสไฟฟ้าวัดได้ตั้งแต่ 0–100 A โดยโมดูลตัวนี้มีการสื่อสารแบบ TTL Serial Data Communication Interface ซึ่งโมดูลนี้ทำการวัดค่า, คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ในการส่งข้อมูลนั้นโมดูลรอรับคำขอจาก Arduino Mega แล้วจึงส่งค่าที่ต้องการกลับไป

2.2.2 ส่วนประมวลผล

Arduino Mega เป็นอุปกรณ์ในการประมวลผล เนื่องจากมีการประมวลผลที่รวดเร็ว มีพอร์ตอินพุท และเอาท์พุท เพียงพอต่อความต้องการ รวมทั้งมีพอร์ต Serial UART 4 ชุด หรือ Hardware Serial ซึ่งใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ นอกจากนั้นยังมีพอร์ตสำหรับรับส่งข้อมูลอีกชนิด คือ Software Serial ซึ่งสามารถเพิ่มช่องทางในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์

2.2.3 ชุดเก็บข้อมูล (Data Logger Shield)

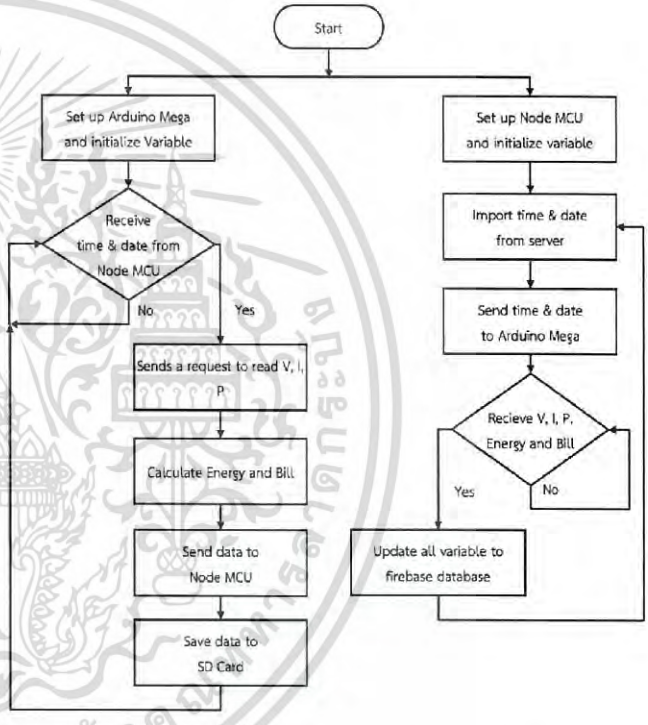
ชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลที่ถูกออกแบบมาให้สวมบนบอร์ด Arduino ได้พอดี ประกอบด้วย ช่องเสียบการ์ดความจำ (SD Card), นาฬิกา (Real time clock : RTC) และช่องใส่ถ่านสำรองเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง เพื่อช่วยให้นาฬิกายังคงทำงานต่อไปได้ (RTC) อุปกรณ์นี้รับแรงดันไฟฟ้า 3.3 V รับกระแสสูงสุดได้ 25 mA

2.2.4 โมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สาย (Node MCU)

อุปกรณ์สำหรับเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ต โดยเป็นตัวอัพโหลดข้อมูลไปยังฐานข้อมูลสำหรับเว็บไซต์ (Web Server) รวมถึงดาวน์โหลดค่าวัน และเวลามาจากเซิร์ฟเวอร์ (Server) โดยเป็นโมดูลที่ใช้ ESP8266 ในการทำงาน ซึ่งทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.3 V-3.6 V

2.2.5 การออกแบบซอฟต์แวร์

เพื่อให้ได้ระบบที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้โปรแกรม Arduino ซึ่งใช้ภาษาซีเป็นพื้นฐานในการเขียนซอฟต์แวร์ และขั้นตอนการประมวลผลเป็นไปดังรูป



รูปที่ 1 ผังกระบวนการทำงานของชุดแสดงผลอัจฉริยะ

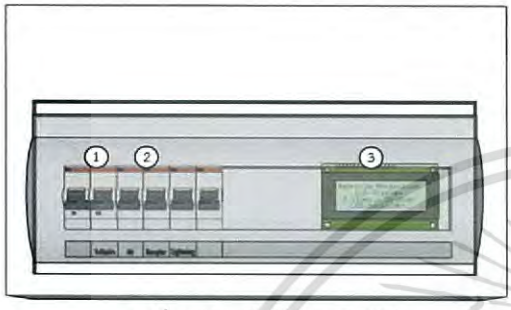
3. การออกแบบ และติดตั้งชุดแสดงผลอัจฉริยะภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า

อุปกรณ์ภายในตู้ไฟฟ้า ประกอบด้วย โมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ทั้งหมด 4 ตัว ได้แก่ วงจรหลัก, วงจรเครื่องปรับอากาศ, วงจรเต้ารับ และวงจรแสงสว่าง ค่าที่วัดจากโมดูลถูกส่งไปยังชุดประมวลผลเพื่อคำนวณค่าต่าง ๆ เมื่อคำนวณข้อมูลเสร็จถูกส่งไปยังชุดเก็บข้อมูล (Data Logger Shield) เพื่อเก็บข้อมูลยังการ์ดหน่วยความจำ (SD Card) ข้อมูลจากชุดประมวลผลถูกส่งไปยังโมดูลอินเทอร์เน็ตไร้สาย ซึ่งมีหน้าที่แสดงค่าไปยังจอแสดงผล และอัพโหลดไปยังเว็บไซต์ เพื่อที่สามารถดูค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ ผ่านระบบไร้สาย

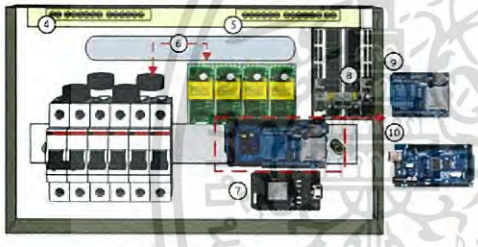
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 อุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า

1. Main Circuit Breaker 2. Circuit Breaker 1 pole
3. LCD Screen 4. Ground Bar
5. Neutral Bar 6. Voltage and Current Module
7. Node MCU 8. Supply Module
9. Data Logger Shield 10. Arduino Mega



รูปที่ 2 ด้านหน้าตู้ควบคุมไฟฟ้า



รูปที่ 3 ภายในตู้ควบคุมไฟฟ้า

4. ผลการทดลอง

การทดสอบการทำงานของทำการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าจากชุดแสดงผลอัจฉริยะ (Smart Monitoring Unit) เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II และ Chauvin Arnoux CA 8335 ซึ่งแสดงอัตราค่าไฟฟ้า 2 แบบ คือ อัตราค่าไฟฟ้าปกติ และอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

4.1 ภาระไฟฟ้าสำหรับการทดลอง

เป็นการจำลองภาระไฟฟ้าที่ใช้งานตามที่อยู่อาศัยที่ใช้งานในชีวิตประจำวัน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 1 ภาระไฟฟ้าในการทดลอง

วงจรไฟฟ้าย่อย	อุปกรณ์ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	จำนวน
1.เครื่องปรับอากาศ	เครื่องปรับอากาศ ขนาด 13,000 BTU	1,500	1
2.ภาระไฟฟ้าเต้ารับ	ตู้เย็น ขนาด 6.1 คิว	100	1
	แล็ปท็อป	30	1
	กาต้มน้ำ	700	1
	พัดลม	46	1
	โทรศัพท์มือถือ	10	1
	เตารีด	1300	1
3.แสงสว่าง	หลอดไดโอดเปล่งแสง ขั้ว E27	8	10
	หลอดไดโอดเปล่งแสง ขั้ว E27	10.5	5

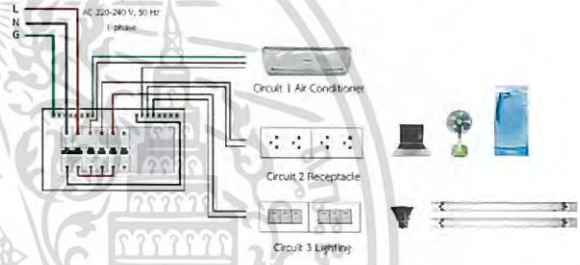
4.2 ระบบไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย

แบ่งวงจรไฟฟ้าย่อยในที่อยู่อาศัยเป็น 3 วงจรย่อย ดังนี้

วงจรไฟฟ้าย่อยที่ 1 ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ

วงจรไฟฟ้าย่อยที่ 2 ได้แก่ ภาระไฟฟ้าเต้ารับ

วงจรไฟฟ้าย่อยที่ 3 ได้แก่ ภาระไฟฟ้าประเภทแสงสว่าง



รูปที่ 4 วงจรแผงควบคุมไฟฟ้า

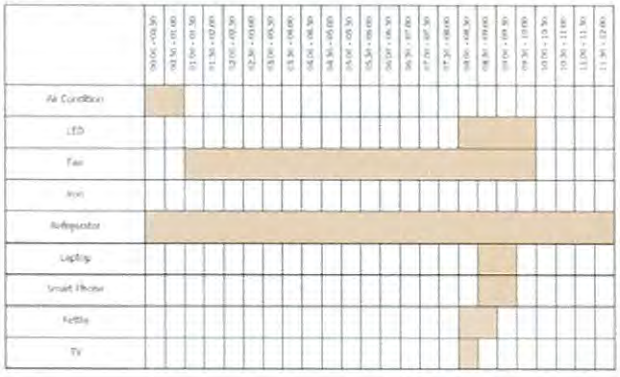
4.3 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน

การทดลองในหัวข้อนี้ได้ทำการวัดพลังงานไฟฟ้า (Energy) โดยทำการวัดจากเครื่องมือวัด 3 ชนิด คือ ชุดแสดงผลอัจฉริยะ, เครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II และ Chauvin Arnoux CA 8335 จำลองการใช้ภาระไฟฟ้าภายในบ้านเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยเครื่องมือวัด Fluke 435 II ใช้สำหรับวัดวงจรหลัก (Main Circuit) และเครื่องมือวัด Chauvin Arnoux CA 8335 ใช้สำหรับวัดวงจรย่อยทั้ง 3 ตัว ซึ่งภายในระยะเวลาดังกล่าวทำการเปิด–ปิดการทำงานของภาระไฟฟ้าแต่ละชนิด สามารถแสดงการเปิด–ปิดการทำงานของภาระไฟฟ้าแต่ละชนิดและค่าตัวแปรทางไฟฟ้าแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

รูปที่ 5 การติดตั้งชุดทดลองเข้ากับชุดภาระไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 การเปิด–ปิด ภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยตลอด 24 ชั่วโมง



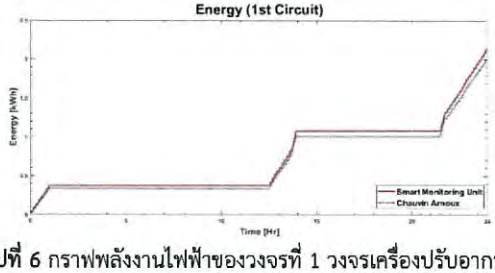
ตารางที่ 2 (ต่อ) การเปิด–ปิด ภาระไฟฟ้าที่ใช้ในการจำลองการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยตลอด 24 ชั่วโมง

4.4 การวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากวงจรย่อย

เป็นการวัดจากชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 จำนวน 3 วงจรประกอบด้วย

1. วงจรของเครื่องปรับอากาศ
2. วงจรของเต้ารับ
3. วงจรของภาระไฟฟ้าแสงสว่าง คือหลอดไดโอดเปล่งแสง ขนาด 8W จำนวน 5 หลอด และหลอดไดโอเปล่งแสง ขนาด 10.5 W จำนวน 10 หลอด

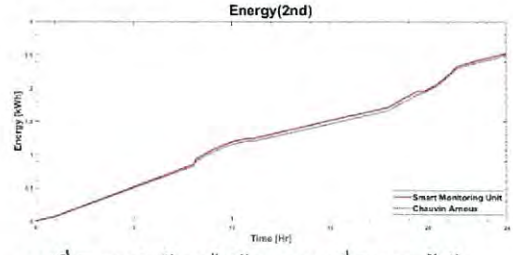
4.4.1 วงจรเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 6 กราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรที่ 1 วงจรเครื่องปรับอากาศ

จากรูปที่ 6 กราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรที่ 1 วงจรเครื่องปรับอากาศ ชุดแสดงผลอัจฉริยะมีค่าพลังงานไฟฟ้าคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 เท่ากับ 5.71%

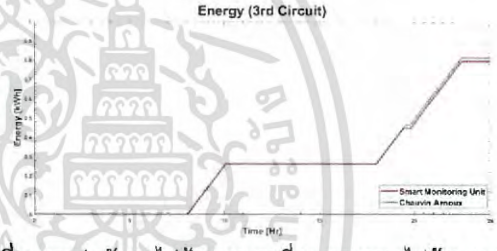
4.4.2 วงจรของเต้ารับ



รูปที่ 7 กราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรที่ 2 วงจรเต้ารับ

จากรูปที่ 7 กราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรที่ 2 วงจรเต้ารับ ชุดแสดงผลอัจฉริยะมีค่าพลังงานไฟฟ้าคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 เท่ากับ 1.39%

4.4.3 วงจรของโหลดแสงสว่าง



รูปที่ 8 กราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรที่ 3 วงจรภาระไฟฟ้าแสงสว่าง

จาก รูปที่ 8 กราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรที่ 3 วงจรภาระไฟฟ้าแสงสว่าง ชุดแสดงผลอัจฉริยะมีค่าพลังงานไฟฟ้าคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 เท่ากับ 2.16%

4.5 การวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากวงจรหลัก (Main Circuit)

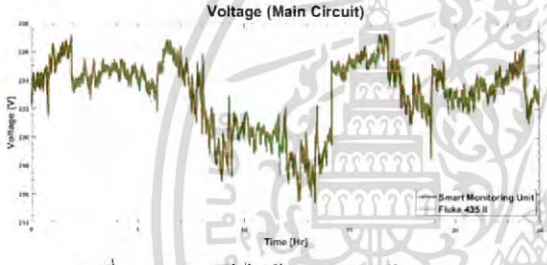
การวัดค่าตัวแปรทางไฟฟ้าจากวงจรหลักวัดโดยชุดแสดงผลอัจฉริยะเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II โดยสามารถแสดงผลที่ได้จากการทดสอบตลอดเวลา 24 ชั่วโมงในรูปแบบตารางบันทึกผล ซึ่งได้ทำการบันทึกผลค่าตัวแปรทุก ๆ 15 นาที และแสดงผลในรูปแบบเชิงกราฟ โดยมีตัวอย่างตาราง ตามตารางที่ 3 โดยสามารถวิเคราะห์ผลจากตารางเป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน 0.15%, กระแสไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน 5.71%, กำลังไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน 0.58% และพลังงานไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อน 1.26% ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้อยู่ในช่วงที่สามารถรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

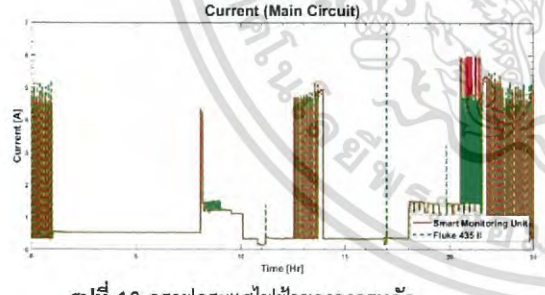
ตารางที่ 3 ตัวอย่างตารางค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่วัดจากวงจรหลัก

Time	Voltage (V)		Current (A)		Power (W)		Energy (kWh)	
	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit	Fluke 435 II	Smart Monitoring Unit
00.00 – 00.15	223.57	223.86	2.01	1.70	419.40	369.71	0.11	0.10
00.15 – 00.30	223.94	223.99	2.00	1.64	418.01	367.09	0.21	0.20
00.30 – 00.45	224.22	224.07	1.99	2.08	416.59	446.47	0.32	0.31
00.45 – 01.00	224.46	224.89	1.98	2.03	415.60	439.87	0.42	0.42
01.00 – 01.15	225.42	225.44	0.57	0.52	117.98	113.47	0.45	0.45
01.15 – 01.30	225.80	225.97	0.53	0.53	112.81	115.59	0.48	0.48
01.30 – 01.45	226.06	226.12	0.52	0.52	110.77	113.73	0.50	0.51
01.45 – 02.00	225.28	225.12	0.52	0.52	110.41	113.00	0.53	0.54
02.00 – 02.15	223.75	223.86	0.52	0.52	109.75	112.32	0.56	0.56
02.15 – 02.30	224.08	224.34	0.52	0.52	109.82	112.62	0.59	0.59
02.30 – 02.45	224.26	224.21	0.52	0.52	109.85	112.68	0.61	0.62
02.45 – 03.00	224.27	224.11	0.52	0.52	109.90	112.54	0.64	0.65
03.00 – 03.15	224.07	224.07	0.52	0.52	109.85	112.59	0.67	0.68
03.15 – 03.30	224.73	224.83	0.52	0.52	109.96	112.50	0.70	0.70

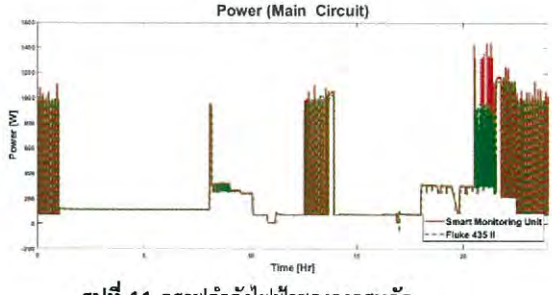
สามารถนำค่าที่ได้จากผลการทดสอบแสดงในรูปแบบเชิงกราฟได้ดังนี้



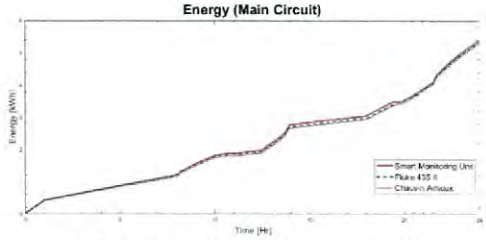
รูปที่ 9 กราฟแรงดันไฟฟ้าของวงจรหลัก



รูปที่ 10 กราฟกระแสไฟฟ้าของวงจรหลัก



รูปที่ 11 กราฟกำลังไฟฟ้าของวงจรหลัก

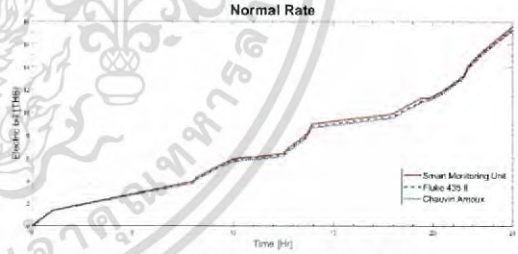


รูปที่ 12 กราฟพลังงานไฟฟ้าของวงจรหลัก

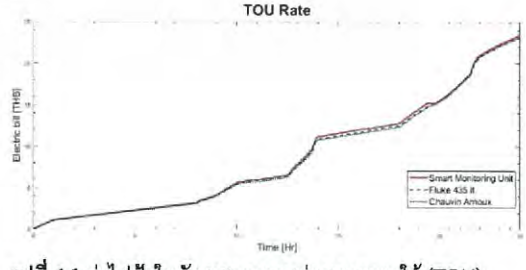
จากกราฟผลการทดลองที่แสดงการเปรียบเทียบค่าตัวแปรทาง จากเครื่องมือวัด 2 ชนิด คือ ชุดแสดงผลอัจฉริยะ และเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II เมื่อทำการวัดตลอด 24 ชั่วโมง พบว่าเส้นกราฟมีลักษณะใกล้เคียงกันตลอดเวลาที่ทำการทดลอง

4.6 การคิดค่าไฟฟ้าในอัตราปกติและอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

ในส่วนของการคำนวณค่าไฟฟ้านี้ ได้ทำการคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ อัตราปกติ และอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) โดยใช้เครื่องมือในการวัด 3 ชนิด คือ ชุดแสดงผลอัจฉริยะ, Fluke 435 II และ Chauvin Arnoux CA 8335 ซึ่งการแสดงผลของค่าไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดชุดแสดงผลอัจฉริยะได้โดยตรง ส่วนการแสดงผลค่าไฟฟ้าจากเครื่องมือวัด Fluke 435 II และ Chauvin Arnoux CA 8335 ได้จากการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ตามอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง สามารถแสดงผลค่าไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดทั้ง 3 ชนิดเป็นกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 13 ค่าไฟฟ้าในอัตราค่าปกติ



รูปที่ 14 ค่าไฟฟ้าในอัตราแบบตามช่วงเวลาการใช้ (TOU)

จากกราฟพบว่า ค่าไฟฟ้าที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะมีความคลาดเคลื่อน 1.25% เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II และค่าไฟฟ้าที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะมีความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.66% เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะ กับเครื่องมือวัดมาตรฐานทั้ง 2 ชนิด อยู่ในขอบเขตที่ไม่เกิน 2.5% ส่วนในการคำนวณค่าไฟฟ้าในอัตราแบบตามช่วงเวลาการใช้ (TOU) พบว่า ค่าไฟฟ้าที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะมีความคลาดเคลื่อน 0.90% เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Fluke 435 II และค่าไฟฟ้าที่ได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะมีความคลาดเคลื่อน 1.04% เมื่อเทียบกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน Chauvin Arnoux CA 8335 ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่วัดได้จากชุดแสดงผลอัจฉริยะ กับเครื่องมือวัดมาตรฐานทั้ง 2 ชนิด อยู่ในขอบเขตที่ไม่เกิน 2.5%

5. สรุป

จากการทดลองวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ซึ่งแสดงผลอัจฉริยะมีความเคลื่อนน้อยกว่า 2.5 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานผลิตอุตสาหกรรม มาตรพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ มอก. 2543-2555 [2] โดยความคลาดเคลื่อนของชุดแสดงผลอัจฉริยะเกิดจากประสิทธิภาพของอุปกรณ์ และสัญญาณรบกวนของชุดแสดงผลอัจฉริยะ แต่คลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถตรวจวัด แสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับภาระไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ และแต่ละช่วงกระแสไฟฟ้าในย่านที่สามารถทำงานได้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน. 2560. **รายงานสถิติพลังงานรายปี 2560.** (ออนไลน์). แหล่งที่มา: https://drive.google.com/file/d/0B72dHL3q3jybU2JscXJsQi10elk/view

[2] http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2556/E/006/17.PDF https://drive.google.com/file/d/0B72dHL3q3jybU2JscXJsQi10elk/view

[3] กระทรวงอุตสาหกรรม. **ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4480** . (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2556/E/006/17.PDF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวกรยา จงวิไลเกษม

เกิดวันที่ 1 ตุลาคม 2537

ที่อยู่ 154/3 ม.วรารมย์ ถ.ราษฎร์อุทิศ แสนแสบ มีนบุรี กรุงเทพมหานคร 10510

โทรศัพท์ 083-177-2287 Email : korraya.j@gmail.com

นายกรินทร์ จิวาลักษณ์

เกิดวันที่ 20 สิงหาคม 2538

ที่อยู่ 7/141 ถ.กาญจนาภิเษก แขวงคันนายาว เขตคันนายาว กรุงเทพมหานคร 10230

โทรศัพท์ 082-442-6606 Email : karin.jivaluk@gmail.com

นายคุณธัช ศรีจันทร์

เกิดวันที่ 29 กันยายน 2538

ที่อยู่ 115/9 ถ.นาวงประชาพัฒนา แขวงสีกัน เขตดอนเมือง กรุงเทพมหานคร 10210

โทรศัพท์ 097-030-7863 Email : rukawa-kaede@hotmail.com

นายชิตพล เผ่าคำ

เกิดวันที่ 24 สิงหาคม 2538

ที่อยู่ 141 ม.11 ต.เม็งราย อ.พญาเม็งราย จ.เชียงราย 57290

โทรศัพท์ 088-251-8790 Email : benz.chidtaphon@gmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้