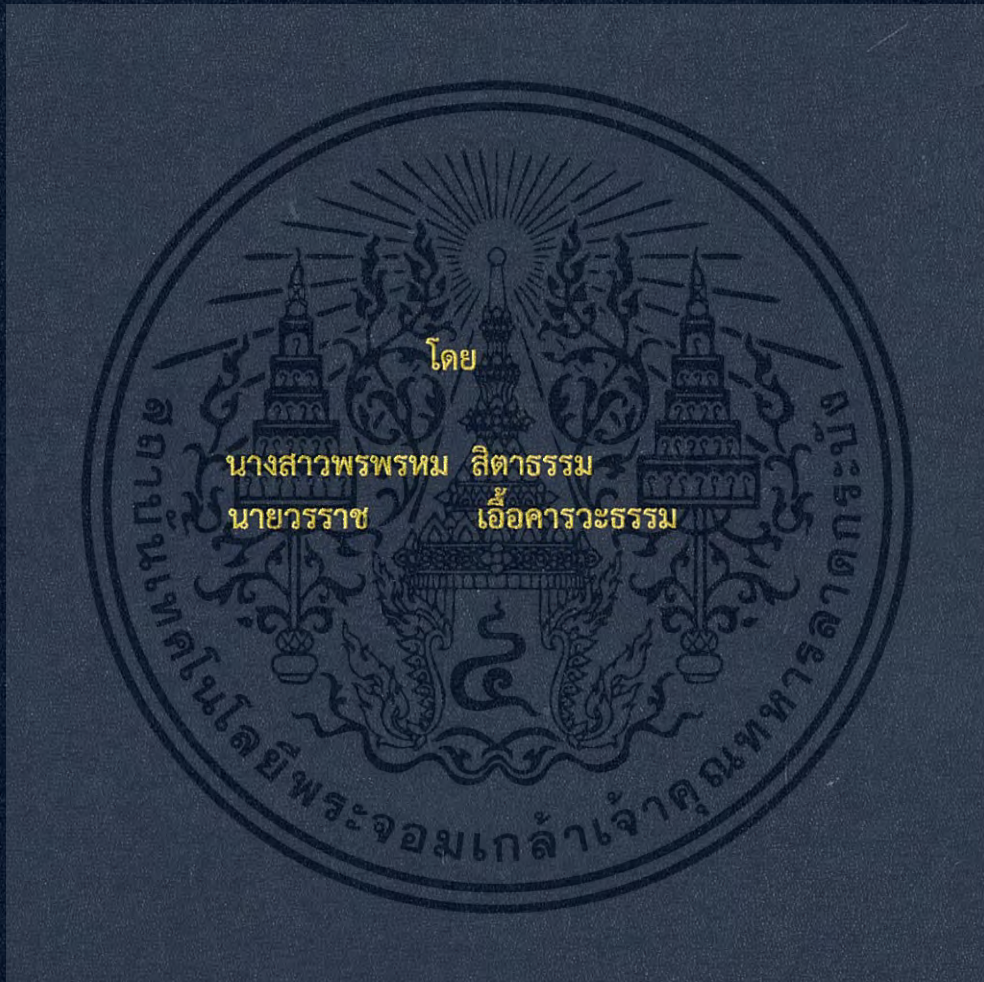
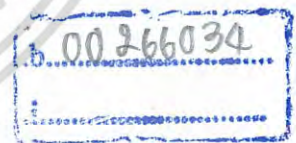


ตู้ควบคุมไฟฟ้าอัจฉริยะ
SMART CONSUMER UNIT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

ตู้ควบคุมไฟฟ้าอัจฉริยะ
SMART CONSUMER UNIT

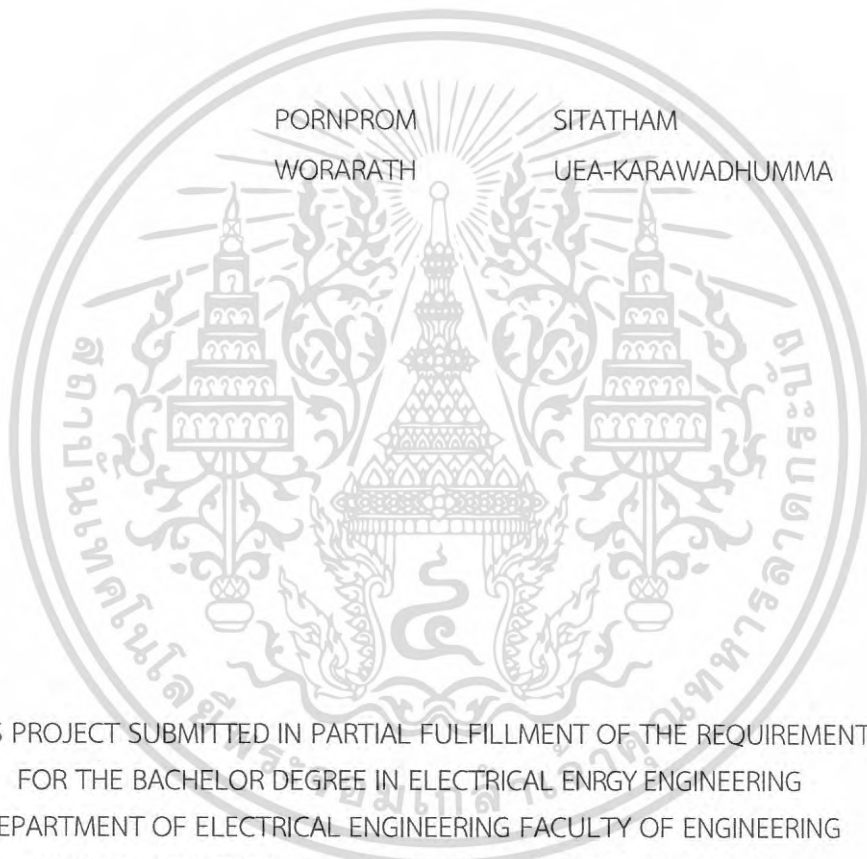


TB00222

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMART CONSUMER UNIT



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

2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2560

ผู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ
SMART CONSUMER UNIT



อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.สมภพ ผลไม้
ผศ.ชายชาญ โพธิสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ

ผู้จัดทำ

1. นางสาวพรพรหม สีตาธรรม
2. นายวรราช เอื้อคารวะธรรม



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. สมภพ ผลไม้)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชายชาญ โพธิ์สาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ

นางสาวพรพรหม	สิตาธรรม
นายวราช	เอื้อคารวะธรรม
ดร.สมภพ ผลไม้	อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ชายชาญ โภธิสาร	อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
ปการศึกษ 2560	

บทคัดย่อ

ปฏิญญาพันธบัตรนี้นำเสนอและอธิบายถึงการสร้างและขั้นตอนการทำงานของ ผู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ โดยที่ผู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะนี้จะทำให้ตู้คอนซูมเมอร์มีความสามารถมากกว่า ตู้คอนซูมเมอร์ที่มีใช้อยู่ทั่วไป ซึ่งการทำงานที่เพิ่มเข้ามานี้จะถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งรับ ข้อมูลกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณอนาล็อกและเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อนำมาคำนวณเป็นพลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และแสดงผลการคำนวณออกมาบนหน้าเว็บหรือบน โทรศัพท์มือถือ และไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ยังสามารถส่งข้อมูลที่วัดได้และคำนวณได้ ด้วยระบบสื่อสารแบบไร้สาย ทำให้ทราบค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของครัวเรือนได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

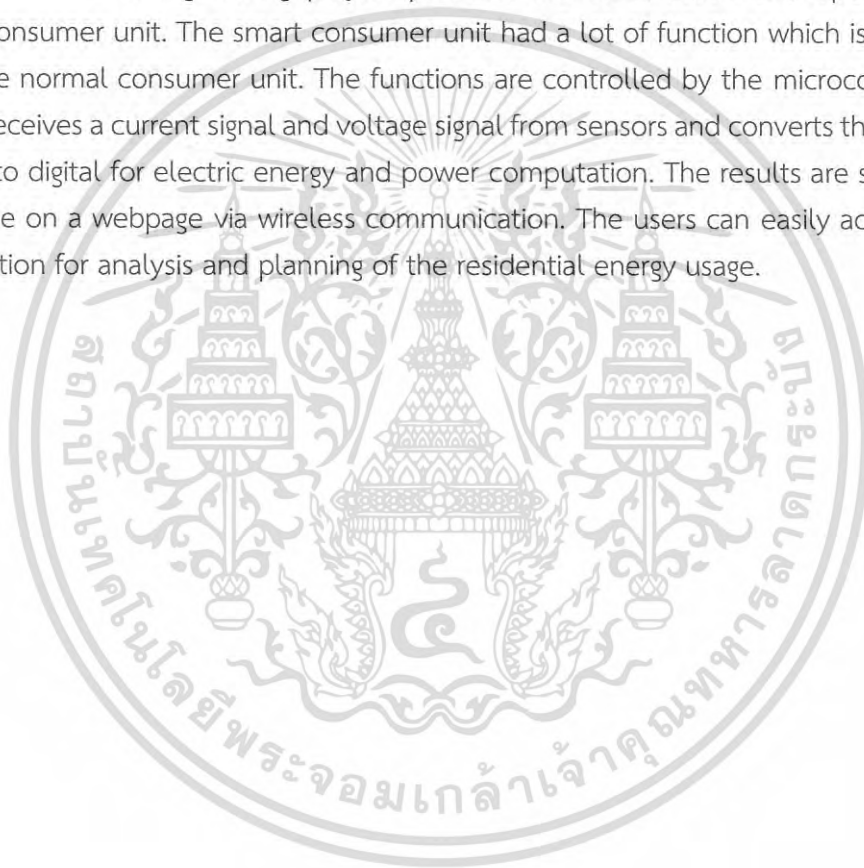
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMART CONSUMER UNIT

Miss Pornprom Sitatham
Mr. Worarath Uea-karawadhumma
Dr. Sompob Polmai Advisor
Asst.Prof. Chaichan Pothisarn Co-Advisor
2017

ABSTRACT

This engineering project presents the construction and operating of smart consumer unit. The smart consumer unit had a lot of function which is smarter than the normal consumer unit. The functions are controlled by the microcontroller, which receives a current signal and voltage signal from sensors and converts the analog signals to digital for electric energy and power computation. The results are shown in real time on a webpage via wireless communication. The users can easily access the information for analysis and planning of the residential energy usage.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จเรียบร้อยได้ด้วยความอนุเคราะห์ ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ทุนสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำโครงการ ขอขอบคุณ ดร.สมภพ ผลไม้และผศ.ชายชาญ โปธิสาร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ติดตามความก้าวหน้าในการทำโครงการ ให้คำปรึกษาระหว่างการทำโครงการ รวมไปถึงให้คำแนะนำในการเขียนรูปเล่มรายงาน

ขอขอบคุณผู้ร่วมทำโครงการที่ช่วยกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำโครงการ ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณนายกิตติโชติ สุนทรทวีทรัพย์ นายเอกบุรินทร์ ศรีตรัยและนายพันธธร เตชะมา รุ่นพี่ในห้องปฏิบัติการพื้นฐานอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้ความรู้ คำแนะนำและแนวคิดที่ดีตลอดการทำโครงการขอขอบคุณเพื่อนๆในห้องปฏิบัติการทุกคน ที่ให้คำปรึกษาต่างๆ

ขอขอบคุณนายรัฐพล คุ่มवंดี รุ่นพี่ในห้องปฏิบัติการพื้นฐานอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้คำปรึกษาเรื่องการเขียนโปรแกรม ตลอดจนถึงแนวคิดในการคำนวณและความรู้พื้นฐานของอิเล็กทรอนิกส์

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า	5
2.1.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ	5
2.1.2 กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน	6
2.1.3 โหลดไฟฟ้า	7
2.1.3.1 ตัวต้านทาน	7
2.1.3.2 ตัวเหนี่ยวนำ	8
2.1.3.3 ตัวเก็บประจุ	9
2.2.4 พลังงานไฟฟ้า	9
2.2 คอนซูเมอร์ยูนิต	10
2.3 ตัวควบคุมโหลดอัจฉริยะ	11
2.3.1 ช่องทางการสื่อสารไร้สาย(Wireless Communication)	11
2.3.2 การคิดค่าพลังงานไฟฟ้า	12
2.3.3 ส่วนประกอบของแผงวงจรไฟฟ้าอัจฉริยะ	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างตู้จำลองแผนวงจรไฟฟ้าอัจฉริยะ	15
3.1 การออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริง	15
3.1.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power Supply)	16
3.1.2 ส่วนตรวจจับสัญญาณ (Sensor)	16
3.1.2.1 ส่วนตรวจจับแรงดัน (Voltage Sensor)	17
3.1.2.2 ส่วนตรวจจับกระแสไฟฟ้า (current Sensor)	18
3.2.3 ส่วนควบคุมและประมวลผล (Control and processing)	19
3.3 ขั้นตอนการทำงานของตู้ควบคุมอัจฉริยะ	21
3.4 ภาพรวมการทำงานของตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ	21
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	23
4.1 การทดลองวงจรปรับสภาพสัญญาณและเซนเซอร์	23
4.1.1 Voltage sensor	23
4.1.2 current sensor	24
4.2 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์	26
4.3 การทดลองการวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้จริง	27
4.4 ผลการวัดที่แสดงบนหน้าเว็บไซต์	28
บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	29
5.1 สรุปผลการทดลอง	29
5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างดำเนินโครงการและข้อมูลเสนอแนะ	29
5.3 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง	30
5.4 แนวทางในการพัฒนา	30
เอกสารอ้างอิง	31
ภาคผนวก	32
ภาคผนวก ก ต้นแบบที่สร้างจริงในปริญญาานิพนธ์	33
ภาคผนวก ข เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญาานิพนธ์	36
ภาคผนวก ค ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญาานิพนธ์	40
ภาคผนวก ง โปรแกรม	52
ภาคผนวก จ บทความทางวิชาการ	60
ประวัติผู้เขียน	65

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เฟสเซอร์สามเหลี่ยมกำลัง	7
2.2 กำลังไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน	8
2.3 กำลังไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ	8
2.4 กำลังไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุ	9
2.5 ตู้คอนซูเมอร์ยูนิตที่ใช้ในปัจจุบัน	10
3.1 แผนผังแสดงการทำงานของตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ	15
3.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +12V -12V	16
3.3 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5V	16
3.4 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน	17
3.5 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน	17
3.6 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส	18
3.7 ลายวงจรตรวจจับสัญญาณกระแส	19
3.8 CC3200 LaunchPad EVM Overview	20
3.9 CC3200 Block Diagram	20
3.10 Diagram smart consumer unit	21
3.11 ภาพรวมการทำงาน	22
3.12 การทดสอบการทำงาน	22
4.1 วงจรปรับสภาพ Voltage sensor	23
4.2 ผลจากการ simulation Voltage sensor กราฟด้านบนคือ สัญญาณเอาต์พุต กราฟด้านล่างคือสัญญาณอินพุต	23
4.3 แสดงสัญญาณกระแสที่ได้จาก voltage sensor จาก Oscilloscope (กราฟด้านบนคือสัญญาณอินพุต กราฟด้านล่างคือสัญญาณเอาต์พุต)	24
4.4 ปรับสภาพ current sensor	24
4.5 ผลจากการ simulation current sensor กราฟด้านบนคือสัญญาณอินพุต กราฟด้านล่างคือสัญญาณเอาต์พุต	25
4.6 แสดงสัญญาณกระแสที่ได้จาก current sensor จาก Oscilloscope (กราฟด้านบนคือสัญญาณอินพุต กราฟด้านล่างคือสัญญาณเอาต์พุต)	25
4.7 การพล็อต x-y เพื่อดูความเป็นเชิงเส้นของ voltage sensor จาก Oscilloscope	26
4.8 การพล็อต x-y เพื่อดูความเป็นเชิงเส้นของ current sensor จาก Oscilloscope	26
4.9 การแสดงผลการทำงานของวัดและคำนวณบนหน้าเว็บ	28

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	2
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติแผงควบคุมไฟฟ้าแบบธรรมดาและแบบอัจฉริยะ	12
4.1 ตารางทดสอบการทำงาน วงจร A 1000W	27
4.2 ตารางทดสอบการทำงาน วงจร B 1500W	27



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผู้ควบคุมเมอร์ยูนิตจำเป็นต้องมีใช้ในทุกครัวเรือนเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานไฟฟ้าภายในบ้าน สามารถตัดกระแสไฟฟ้าเกินหรือกระแสไฟฟ้าลัดวงจรโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายในอุปกรณ์ไฟฟ้า เพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าและผู้ที่เข้ามาซ่อมบำรุง ซึ่งในการทำโครงการนี้จะทำให้ผู้ควบคุมเมอร์ยูนิตสามารถแสดงค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ทำให้รู้ถึงความผิดปกติของไฟฟ้าภายในบ้านที่ใช้งานภายในบ้านให้แก่ผู้ใช้โดยแสดงผลบนหน้าเว็บไซต์ ทั้งนี้จะทำให้ผู้ใช้ทราบถึงข้อมูลการใช้งานภายในบ้าน ทำให้มีการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าเพื่อให้ลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลงได้ จากการที่มีความต้องการที่จะใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยมากขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้ต้องมีมาตรการต่างๆ เข้ามาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและรู้ถึงคุณค่าของพลังงานไฟฟ้า การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าจึงเป็นวิธีการที่ใช้การบริหารจัดการที่มุ่งเน้นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า อย่างในปัจจุบันการหาพลังงานทดแทนอื่นที่ทดแทนพลังงานฟอสซิล เช่น พลังงานชีวมวล พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือก (Alternative Energy) ที่นอกเหนือจากพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ของแต่ละประเทศ เช่น ถ่านหินเป็นพลังงานทางเลือกในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) พลังงานทดแทนที่ได้จากแหล่งที่สามารถหมุนเวียนมาใช้ได้โดยไม่มีวันหมด มักเป็นพลังงานสะอาดและไม่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์[2] และมีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพลังงานมากขึ้น เพื่อลดการนำเข้าพลังงานฟอสซิลจากต่างประเทศ

อาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart grid Building) ที่ได้รับการออกแบบโดยใช้เทคนิคการก่อสร้างที่มีความก้าวหน้า มีการติดตั้งอุปกรณ์ ที่รับรู้ข้อมูลต่างๆของอาคารโดยข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปยังระบบประมวลผลกลาง บ้านอัจฉริยะ (Smart Home) การใช้เทคโนโลยีมาควบคุมอุปกรณ์ต่างๆภายในบ้าน เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้อยู่อาศัย มีระบบการจัดการด้วยระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งจะรวมถึงผู้ควบคุมโหนดอัจฉริยะ (Smart Consumer Unit)

ผู้ควบคุมโหนดอัจฉริยะ (Smart Consumer Unit) จะสามารถแสดงผลการใช้ไฟฟ้าและรวมไปถึงการรับ-ส่งข้อมูล โดยที่การแสดงผลการใช้งานบนหน้าเว็บไซต์ ในอนาคตอันใกล้นี้สามารถนำไปใช้ในบ้านอัจฉริยะ (Smart Home) การใช้เทคโนโลยีมาควบคุมอุปกรณ์ต่างๆภายในบ้าน เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้อยู่อาศัย มีระบบการจัดการด้วยระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งจะรวมถึงผู้ควบคุมโหนดอัจฉริยะ (Smart Consumer Unit)

1.5 แผนการดำเนินงาน

ทางผู้จัดทำได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทำความเข้าใจในทฤษฎี ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ โดยมีทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ พร้อมทั้งดำเนินงานในส่วนของการออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานโดยมีระยะดำเนินการตั้งแต่ สิงหาคม 2560 ถึง มีนาคม 2561 รวมเป็นระยะเวลา 8 เดือน โดยมีแผนการดำเนินงานโครงการดังนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	2560					2561				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	←————→		←-----→							
2.ออกแบบและจัดสร้างแผงวงจรไฟฟ้าอัจฉริยะ				←————→		←————→				
3.เขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์						←————→		←-----→		
4.ปรับแต่งการทำงานของอุปกรณ์						←————→		←-----→		
5.ทำการทดลองและบันทึกผลการทำงาน							←————→		←-----→	
6.สรุปผลงานวิจัยนำเสนอผลงาน								←-----→		
7.จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์										←-----→

←————→ ปฏิบัติจริง ←-----→ ชั้นวางแผน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถออกแบบตู้คอนซูมเมอร์ได้เป็นอย่างดี
2. ทราบถึงคุณสมบัติของตัวตรวจจับแรงดันและตัวตรวจจับกระแส
3. สามารถเขียนโปรแกรมและการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของตู้ควบคุมโหนดอัจฉริยะเพื่อการใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทที่ 2 จะเป็นการนำเสนอทฤษฎีกำลังไฟฟ้า หลักการทำงานของตู้คอนซูมเมอร์แบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ซึ่งมีขีดจำกัดในการทำงานเพียงป้องกันการเกิดกระแสเกินหรือลัดวงจรเท่านั้น โดยไม่ทราบค่ากระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้า ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการค้นคว้าและรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการสร้างตู้คอนซูมเมอร์อัจฉริยะที่มีความสามารถมากกว่าตู้คอนซูมเมอร์แบบธรรมดา โดยอาศัยการประมวลผลเชิงดิจิทัลและส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งกล่าวไว้ในบทนี้

2.1 ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า

การหาปริมาณทางไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ มีดังนี้ กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน โหลดไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า โดยกำลังไฟฟ้ามาจากการถ่ายโอนพลังงานหรือการสูญเสียพลังงานไปกับโหลดเป็นตัวแสดงปริมาณของงานที่ทำในช่วงเวลาที่กำหนด โดยมีสมการดังนี้

$$p = \frac{w}{t} \quad (2.1)$$

โดยที่

p คือ กำลังไฟฟ้า (W)
 w คือ งาน (J)
 t คือ เวลา (s)

สำหรับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ กำลังไฟฟ้าเกิดจากผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้า (Voltage) กับกระแสไฟฟ้า (Current) มีสมการดังนี้

$$p = vi \quad (2.2)$$

โดยที่

v คือ แรงดันไฟฟ้า (V)
 i คือ กระแสไฟฟ้า (A)

2.1.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ คือ กำลังไฟฟ้าที่ตกคร่อมโหลดในขณะนั้นเป็นฟังก์ชันเวลาเกิดมาจากผลคูณของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยกำหนดให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลดลักษณะดังนี้ [4]

$$v(t) = \sqrt{2}|V| \cos(\omega t - \varphi) \quad (2.3)$$

$$i(t) = \sqrt{2}|I| \cos(\omega t - \varphi) \quad (2.4)$$

โดยที่	V	คือ	ค่าประสิทธิผลของแรงดันไฟฟ้า (V)
	I	คือ	ค่าประสิทธิผลของกระแสไฟฟ้า (A)
	ω	คือ	ความถี่เชิงมุมของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ (rad/s)
	φ	คือ	มุมต่างเฟสระหว่างสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า (rad)

จากสมการที่ 2.3 และ 2.4 สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าชั่วขณะที่ตกคร่อมโหลดได้จากสมการ ดังนี้

$$\begin{aligned} p(t) &= 2|V||I| \cos(\omega t) \cos(\omega t - \varphi) \\ &= 2|V||I| \cos(\varphi) [1 + \cos(2\omega t)] + |V||I| \sin(\varphi) \sin(2\omega t) \\ p(t) &= P[1 + \cos(2\omega t)] + Q \sin(2\omega t) \end{aligned} \quad (2.5)$$

โดยที่	$p(t)$	คือ	กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ (VA)
	P	คือ	กำลังไฟฟ้าจริง (W)
	Q	คือ	กำลังไฟฟ้าเสมือน (Var)

เมื่อพิจารณาสมการกำลังไฟฟ้าชั่วขณะในเทอมของคาบเวลา (T) จะมีเพียงเทอมแรกของสมการที่(2.4) $P[1 + \cos(2\omega t)]$ เท่านั้นที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์ โดยมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเพียงทิศทางเดียว โดยอาจเรียกกำลังไฟฟ้า P นี้ว่า “กำลังไฟฟ้าจริง (Active power)”

$$P = |V||I| \cos(\varphi) \quad (2.6)$$

ส่วนของเทอมที่สองของสมการที่ (2.5) $Q \sin(2\omega t)$ เมื่อพิจารณาในเทอมของคาบเวลา (T) จะมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสองทิศทาง โดยเรียกขนาดของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า Q นี้ว่า “กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive power)”

$$Q = |V||I| \sin(\varphi) \quad (2.7)$$

ตามข้อกำหนดของ IEC (International Electrotechnical Commission) กำหนดให้ตัวเก็บประจุจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนให้กับระบบส่วนตัวเหนี่ยวนำดึงกำลังไฟฟ้าเสมือนจากระบบหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตัวเหนี่ยวนำดึงจากระบบจะมีเครื่องหมายบวกและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ตัวเก็บประจุจ่ายให้กับระบบจะมีเครื่องหมายลบ [5]

2.1.2 กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน

กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนเกิดจากผลคูณของสัญญาณเฟสเซอร์แรงดันไฟฟ้า ($V = |V|\angle\alpha$) และเฟสเซอร์กระแสไฟฟ้า ($I = |I|\angle\beta$) ดังรูปที่ 2.2 โดดมุมต่างเฟสแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า คือ $\varphi = \alpha - \beta$ สามารถกำลังเชิงซ้อนได้จากสมการ ดังนี้

$$\begin{aligned} S &= VI^* \\ &= |V||I| \angle (\alpha - \beta) \\ &= |V||I| \angle \varphi \end{aligned} \quad (2.8)$$

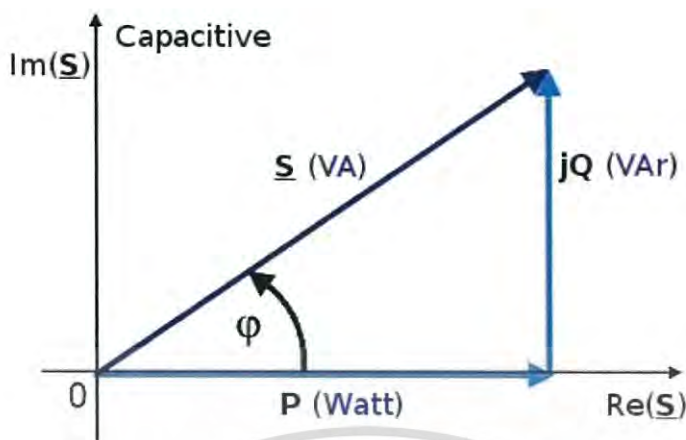
โดยที่	S	คือ	กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA)
	V	คือ	เฟสเซอร์แรงดันไฟฟ้า (V)
	I	คือ	เฟสเซอร์ไฟฟ้ากระแสไฟฟ้า (A)
	α	คือ	มุมเฟสเซอร์แรงดันไฟฟ้า (rad)
	β	คือ	มุมเฟสเซอร์กระแสไฟฟ้า (rad)

โดยขนาดของกำลังไฟฟ้าปรากฏมีความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนดังสมการ

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.9)$$

ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าเสมือนเป็นเฟสเซอร์ โดยอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าจริงต่อกำลังไฟฟ้าปรากฏ ($\cos(\varphi)$) เรียกว่า “ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power factor)” ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้านั้นๆ กล่าวคือ “เมื่อตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับหนึ่ง คือระบบมีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง ไปยังโหลดอย่างเต็มที่” และ “เมื่อตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ คือระบบไฟฟ้าไม่มีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงไปยังโหลด” โดยสามารถแสดงสมการตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \cos(\varphi) &= \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \\ &= \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right)\right) \end{aligned} \quad (2.10)$$



รูปที่ 2.1 เฟสเซอร์สามเหลี่ยมกำลัง

2.1.3 โหลดไฟฟ้า

โหลดของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับสามารถแบ่งตามคุณลักษณะทางไฟฟ้าได้ 3 แบบ คือ ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ ซึ่งคุณลักษณะทางไฟฟ้าของโหลดทั้งสามจะมีผลกับ กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

2.1.3.1 ตัวต้านทาน

ตัวต้านทาน คือ พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมี มุมเฟสตรงกับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม ดังรูปที่ 2.2 โดยตามกฎของโอห์ม (Ohm's law) สามารถ อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน กระแสไฟฟ้าและความต้านทาน ได้ ดังนี้

$$v_R = i_R \cdot R \quad (2.11)$$

โดยที่

v_R	คือ	แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน (V)
i_R	คือ	กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทาน (A)
R	คือ	ความต้านทาน (Ω)

และสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ตกคร่อมตัวต้านทานได้จาก

$$P_R = i_R^2 = \frac{v_R^2}{R} \quad (2.12)$$

โดยที่ P_R คือ กำลังไฟฟ้าจริงตกคร่อมตัวต้านทาน (W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

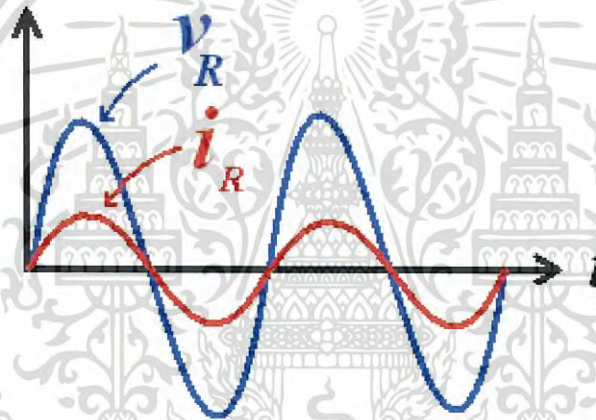
2.1.3.2 ตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำ คือ พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติทำให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านมีมุมเฟสล่าช้าหลังแรงดันไฟฟ้าอยู่ 90 องศา ดังรูปที่ 2.3 โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าความเหนี่ยวนำ ดังนี้

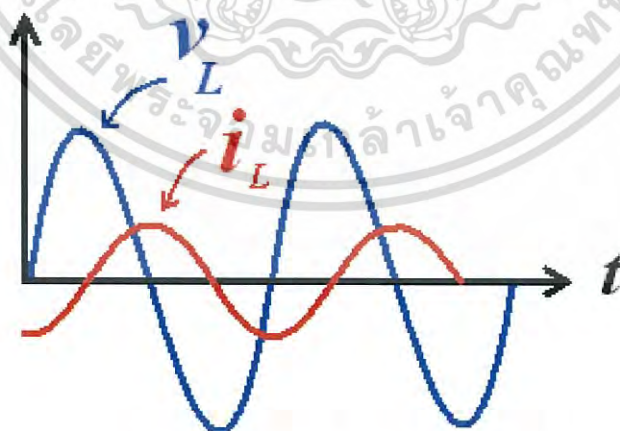
$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.13)$$

โดยที่ v_L คือ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (V)
 i_L คือ กระแสไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (A)
 L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ (H)

โดยเมื่อพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งคาบมีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.2 กำลังไฟฟ้าตกคร่อมตัวต้านทาน



รูปที่ 2.3 กำลังไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

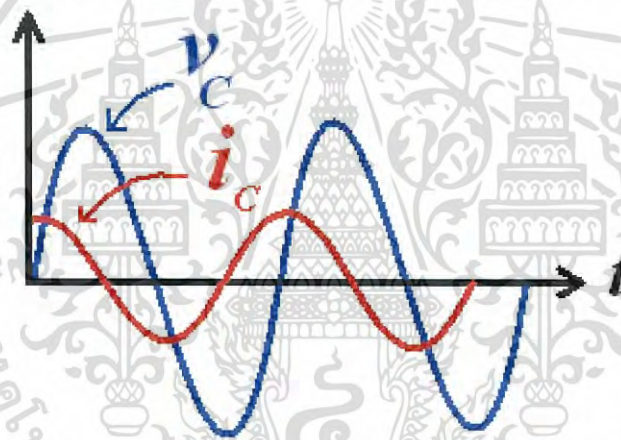
2.1.3.3 ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุ คือ พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติทำให้กระแสไฟฟ้าที่ผ่านมีมุมเฟสหน้าหน้าแรงดันไฟฟ้าอยู่ 90 องศา ดังรูปที่ 2.4 โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าค่าความจุไฟฟ้า ดังนี้

$$i_c = C \frac{dv_c}{dt} \quad (2.14)$$

โดยที่	v_c	คือ	แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V)
	i_c	คือ	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ (A)
	C	คือ	ค่าความจุไฟฟ้า (F)

โดยเมื่อพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ยในช่วงเวลาหนึ่งคาบมีค่าเท่ากับศูนย์



รูปที่ 2.4 กำลังไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุ

2.1.4 พลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้า คือ ปริมาณกำลังงานไฟฟ้าที่ได้ใช้ไปหรือสูญเสียไปในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ถูกใช้ในการคิดอัตราค่าไฟฟ้าโดยมีสมการ ดังนี้

$$\text{Energy(kWh)} = P(\text{kW}) \times t(\text{Hours}) \quad (2.15)$$

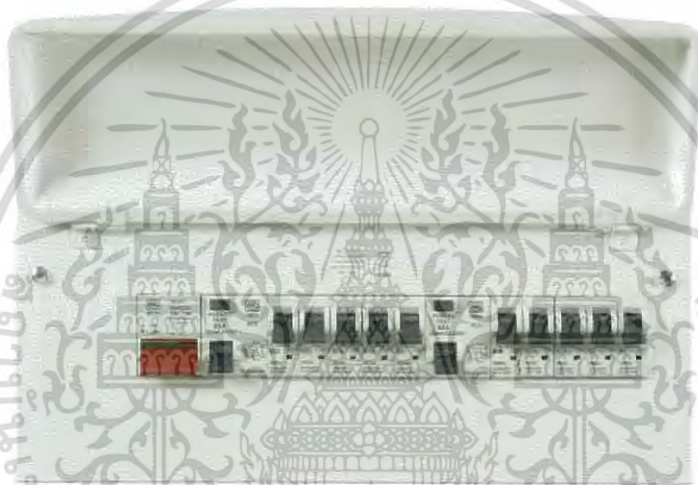
โดยที่จำนวนพลังงานไฟฟ้าจำนวน 1 กิโลวัตต์ชั่วโมง เรียกว่า “หน่วยไฟฟ้า (Unit)”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คอนซูมเมอร์ยูนิต

ตู้คอนซูมเมอร์ยูนิต หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า ตู้ไฟหรือกล่องไฟ เป็นจุดรวมการติดตั้ง อุปกรณ์ควบคุมและป้องกันอันตรายต่างๆ จากไฟฟ้าอย่างเป็นระเบียบและง่ายต่อการจัดการ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์หลัก เซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อย อุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วไฟดูด

ระบบการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ภายในตู้คอนซูมเมอร์ยูนิตจะแบ่งเป็นสองระบบหลักๆ คือระบบ Bolt on และระบบ Plug on ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการติดตั้งในระบบที่ต่างกันนั้นจะไม่สามารถนำมาติดตั้งร่วมกันได้โดยระบบ Plug on จะใช้ระยะเวลาการติดตั้งน้อยกว่า แต่ระบบ Bolt on จุดเด่นในด้านความคงทนในการใช้งานมากกว่าตู้คอนซูมเมอร์ยูนิต ส่วนใหญ่จะเหล็กในด้านความแข็งแรงและไม่เกิดสนิม นอกจากนี้พลาสติกที่นำมาผลิตตู้คอนซูมเมอร์ยูนิตจะต้องเป็นพลาสติกทนความร้อนและไม่ลามไฟ ตามมาตรฐาน IEC ด้วย



รูปที่ 2.5 ตู้คอนซูมเมอร์ยูนิตที่ใช้ในปัจจุบัน

การเดินสายไฟในตู้คอนซูมเมอร์ยูนิต สายไฟด้านขาเข้าของตู้คอนซูมเมอร์ยูนิตนั้น ในระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟสจะมีทั้งหมดสามสายคือ 1. สายไลน์ (Line) 2. สายนิวทรัล (Neutral) 3. สายดิน (Ground / Earth) โดยสายไลน์จะถูกต่อเข้าโดยตรงจากมิเตอร์ถึงเซอร์กิตเบรกเกอร์เมน สายนิวทรัลจะต้องต่อจากมิเตอร์เข้าเทอมินอลกราวด์ในตู้คอนซูมเมอร์ยูนิตก่อนแล้วจึงค่อยต่อเข้ากับเมนเบรกเกอร์ได้ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้า ส่วนสายดินนั้นจะต่อตรงมาจากหลักดินที่บ้านมายังเทอมินอลกราวด์ในตู้คอนซูมเมอร์ยูนิต

การเดินสายไฟที่ถูกต้องนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญมาก โดยจะต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าสายเส้นใด คือสายไลน์ และสายเส้นใดคือสายนิวทรัล เพื่อป้องกันการลัดวงจรเมื่อต่อสายนิวทรัลเข้ากับเทอมินอลกราวด์ก่อนต่อเข้าเซอร์กิตเบรกเกอร์หลักและเซอร์กิตเบรกเกอร์ย่อยและที่สำคัญไม่ยิ่งหย่อนกว่ากันคือการต่อสายดินที่ถูกต้อง การต่อสายดินที่ถูกต้องจะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปลอดภัยจากไฟรั่ว ไฟดูด การตรวจสอบหาวงจรที่มีปัญหาไฟรั่ว ถ้าหากพบว่าอุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วไฟดูดในตู้คอนซูมเมอร์ยูนิตเกิดการทริป (Trip) จะมีวิธีตรวจสอบเบื้องต้นเพื่อหาจุดที่มีไฟฟารั่วได้ โดยเริ่มแรกให้ทำการปิด (off) เบรกเกอร์ย่อยทุกตัวที่ต่อผ่านอุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วไฟดูด หลังจากนั้นให้เปิด (on) อุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วไฟดูด และให้ทยอยเปิด (on) เบรกเกอร์ย่อยทีละตัว เพื่อทดสอบดูว่าเบรกเกอร์ย่อยวงจรใดที่เมื่อเปิดแล้วทำให้อุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วไฟดูดทริปลงจากนั้นเพื่อความปลอดภัยให้ปิดการใช้งานเฉพาะวงจรที่มีปัญหาดังกล่าวไว้และทำการติดต่อช่างผู้เชี่ยวชาญเพื่อทำการตรวจสอบ หาสาเหตุ และทำการแก้ไขให้เรียบร้อยต่อไป

2.3 ผู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ

ผู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ คือ แผงวงจรไฟฟ้าที่สามารถคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ โดยจะทำการวัดปริมาณทางไฟฟ้าหลายอย่างเช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และมีการนำส่งข้อมูลให้ผู้ใช้งานผ่านระบบสื่อสารไร้สาย

สาเหตุในการพัฒนาแผงวงจรไฟฟ้าอัจฉริยะ

1. เพื่อนำไปทดแทนตู้คอนซูมเมอร์แบบเก่าที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปซึ่งจะสามารถตัดต่อวงจรไฟฟ้าตามชนิดของโหลดที่ได้ติดตั้งไว้เพียงเท่านั้น
2. เพื่อพัฒนาความสามารถในการวัดข้อมูลทางไฟฟ้าเส้นแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง
3. เพื่อพัฒนาความสามารถในการสื่อสารและส่งผ่านข้อมูลผ่านระบบสื่อสารไร้สาย Wireless
4. เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต

2.3.1 ช่องทางการสื่อสารไร้สาย(Wireless Communication)

- บลูทูธ (Bluetooth) อุปกรณ์สื่อสารแบบสองทิศทาง ขนาดเล็ก ราคาถูก ใช้งานง่าย และใช้พลังงานต่ำโดยสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-Range Radio Links) ระยะทางการติดต่อสื่อสารประมาณ 10 เมตร
- รังสีอินฟราเรด (Infrared Data Association) อุปกรณ์สื่อสารแบบสองทิศทาง ขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ ระยะทางการติดต่อสื่อสารประมาณ 1 เมตร โดยห้ามมีสิ่งกีดขวาง
- Zigbee อุปกรณ์สื่อสารไร้สายทั้งแบบทางเดียวและสองทิศทาง อัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ สามารถสร้างเป็นโครงข่ายตรวจจับไร้สาย (Wireless Sensor Network)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN : WLAN) หรือเรียก WiFi อุปกรณ์สื่อสารแบบสองทิศทาง โดยมาตรฐาน IEEE802.11 สามารถเข้าถึงระบบ Ethernet ได้ผ่านจุด Access point ปัจจุบันเป็นที่นิยมสูง มีราคาถูก ใช้งานง่าย อัตราการรับส่งข้อมูลสูง ไม่จำเป็นต้องอยู่กับที่ สามารถเคลื่อนย้ายไปไหนก็ได้ภายในรัศมีของการกระจายสัญญาณ
- Power Line Communication (PLC) การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า เชื่อมต่อผ่านอแดปเตอร์ ติดตั้งง่าย มีอัตราการรับส่งข้อมูลสูง แต่อาจได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นบนสายไฟฟ้า

จากคุณสมบัติของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายประเภทต่างๆ ที่กล่าวไปแล้วข้างต้น จะเห็นว่า ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) หรือ Wi-Fi มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้งาน เป็นอุปกรณ์สื่อสารไร้สายสำหรับผู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ เนื่องจาก WiFi เป็นอุปกรณ์ที่ใช้งานง่าย ราคาถูก อีกทั้งใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถเชื่อมต่อข้อมูลได้ทั้ง โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ ทำให้ผู้ใช้เกิดความสะดวกและง่ายต่อการเข้าถึงข้อมูลการใช้งานมากขึ้น

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติผู้ควบคุมโหลดแบบธรรมดาและแบบอัจฉริยะ

ความสามารถในการทำงาน	ผู้ควบคุมโหลดแบบธรรมดา	ผู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ
วัดค่าทางไฟฟ้า	✗	✓
แสดงข้อมูลการใช้งานผ่านหน้าจอแสดงผล	✗	✓
ส่งข้อมูลการใช้พลังงานผ่านระบบไร้สาย	✗	✓
ป้องกันเมื่อเกิดกระแสเกินหรือไฟฟ้ารั่ววงจร	✓	✓

2.3.2 การคิดค่าพลังงานไฟฟ้า

เนื่องจากการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริงที่โหลดจะเก็บค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามาในรูปของสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณจะถูกแปลงให้เป็นดิจิทัลด้วยชุดคำสั่งในไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นวิธีการคำนวณกำลังไฟฟ้าจริง และหน่วยพลังงานที่ใช้จริงจะเป็นวิธีการบวกสะสมซึ่งจะได้ออกมาอยู่ในรูปของยูนิทที่หรือในหน่วยของ kWh

วิธีการบวกสะสม

วิธีการบวกสะสมทำโดยการนำค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่สุ่มตัวอย่างให้มาคูณกันโดยตรงเนื่องจากกำลังไฟฟ้าจริงที่เกิดขึ้นนั้น เมื่อพิจารณาจากสมการกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ $p(t)$ ในเทอมของคาบเวลา สมการที่ 2.5 พบว่ากำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ย P จะมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ส่วนกำลังไฟฟ้าเสมือน Q จะมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการบวกสะสมเพื่อที่จะนำมาคำนวณเป็นหน่วยพลังงานที่ใช้จริง จะทำโดยการนำค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างมาคูณกัน จากนั้นจะได้เป็นกำลังไฟฟ้าจริงที่เกิดขึ้นในขณะนั้น เมื่อพิจารณาจากสมการกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ $p(t)$ ในเทอมของคาบเวลา สมการที่ 2.5 พบว่ากำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ย P จะมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ส่วนกำลังไฟฟ้าเสมือน Q จะมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

$$W(k) = \frac{1}{1000 \times 3600} \sum_{n=1}^{100} \frac{v[n] \cdot i[n]}{f_s} + W(k-1) \quad (2.16)$$

โดยที่	$v[n]$	คือ	แรงดันไฟฟ้าที่สุ่มได้ครั้งที่ n (V)
	$i[n]$	คือ	กระแสไฟฟ้าที่สุ่มได้ครั้งที่ n (A)
	f_s	คือ	ความถี่การสุ่มตัวอย่าง (Hz)
	$W(k)$	คือ	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh)
	$W(k-1)$	คือ	ค่าพลังงานไฟฟ้าของในอดีต (kWh)

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าแบบบวกสะสมนี้ มีข้อดีสำหรับการนำมาใช้จริงในไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบบวกสะสม สามารถทำได้แบบเรียลไทม์คือ ไม่ต้องเก็บค่าข้อมูลไว้ล่วงหน้าเพื่อนำมาประมวลผลเหมือนกับการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีแปลงฟูริเยร์ ซึ่งทำให้การบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าของวิธีการบวกสะสมไม่มีการหยุดชะงักเหมือนกับวิธีการแปลงฟูริเยร์นั่นเอง

การคำนวณพลังงานไฟฟ้าแบบบวกสะสมนี้ มีข้อดีสำหรับการนำมาใช้จริงในไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบบวกสะสม สามารถทำได้แบบเรียลไทม์คือ ไม่ต้องเก็บค่าข้อมูลไว้ล่วงหน้าเพื่อนำมาประมวลผลเหมือนกับการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีแปลงฟูริเยร์ ซึ่งทำให้การบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าของวิธีการบวกสะสมไม่มีการหยุดชะงักเหมือนกับวิธีการแปลงฟูริเยร์นั่นเอง

2.3.3 ส่วนประกอบของแผงวงจรไฟฟ้าอัจฉริยะ

1. ชุดตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Voltage Sensor) มีหน้าที่ตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเพื่อนำไปในหน่วยประมวลผลในหน่วยประมวลผลกลาง
2. ชุดตรวจจับสัญญาณกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) มีหน้าที่ตรวจจับสัญญาณกระแสไฟฟ้าเพื่อนำไปในหน่วยประมวลผลในหน่วยประมวลผลกลาง
3. หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit) มีหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของผู้ควบคุมโหนดอัจฉริยะ เช่น การเชื่อมต่อไวไฟและการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า เป็นต้น
4. แหล่งจ่ายไฟตรง (DC Supply) มีหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงให้กับผู้ควบคุมโหนดอัจฉริยะ

ในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เบรกเกอร์ (Breaker) อุปกรณ์ป้องกันกระแสลัดวงจร โดยทำหน้าที่เป็นสวิตช์สำหรับเปิดปิดวงจรไฟฟ้าแรงต่ำในสภาวะปกติและจะเปิดวงจรโดยอัตโนมัติเมื่อเกิดภาวะผิดปกติขึ้น อันเนื่องมาจากการใช้กำลังเกินหรือลัดวงจร หลังจากทำการแก้ไขสิ่งผิดปกติบกพร่องเรียบร้อยแล้ว สามารถใช้งานต่อได้อีก

6. สายไฟ (wire) มีหน้าที่สำหรับนำพลังงานไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายไฟไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ

7. บัสบาร์ (Busbar) ทำหน้าที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างสายประธานกับสายป้อน บัสบาร์

8. กล่อง (Box) มีหน้าที่ป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ภายในกล่อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

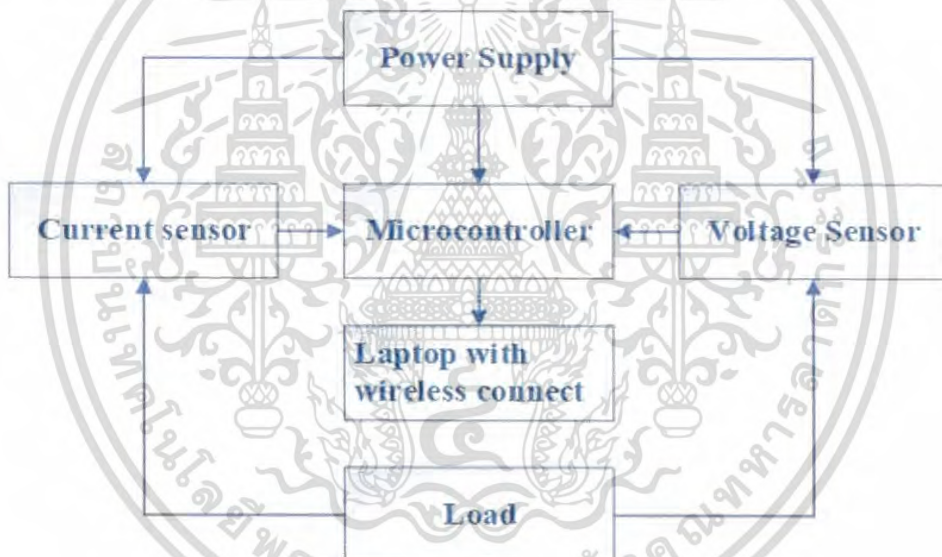
บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ

ในบทนำจะเป็นการพูดถึงการออกแบบเพื่อที่จะสร้างเป็นตู้จำลองแผงวงจรไฟฟ้าอัจฉริยะที่จะถูกนำไปติดตั้งในบ้าน โดยในการออกแบบครั้งนี้ได้คำนึงไปถึงมาตรฐานของการออกแบบวงจรไฟฟ้าตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ภายในตู้จะเป็นการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) วงจรตรวจจับสัญญาณ ที่มีทั้งวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า และวงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้า มาประยุกต์ใช้ โดยที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้นำมาใช้นั้นจะมีการส่งข้อมูลทางหน้าเว็บของตัวเอง โดยที่ข้อมูลจะถูกส่งไปทาง Wireless โดยที่ผู้ใช้งานจะสามารถดูข้อมูลได้แบบเรียลไทม์

3.1 การออกแบบและจัดสร้างชิ้นงานจริง

ในการออกแบบและจัดสร้างเครื่องต้นแบบของแผงวงจรไฟฟ้าอัจฉริยะ จะสามารถแสดงการทำงาน ได้ดังรูปที่ 3.1

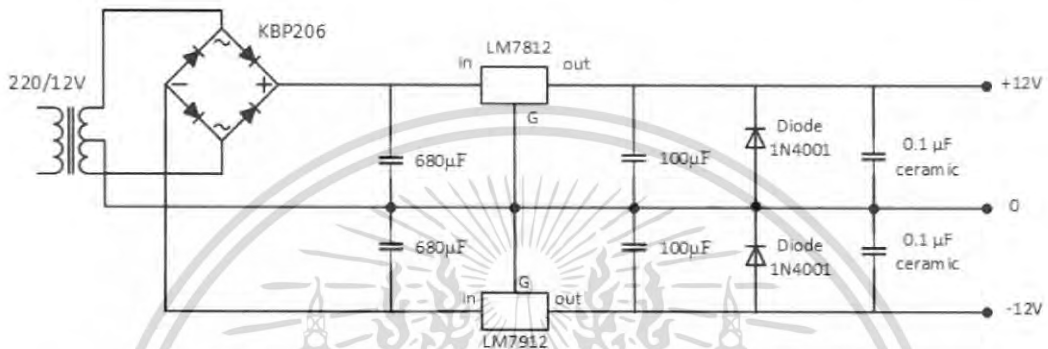


รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการทำงานของตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ

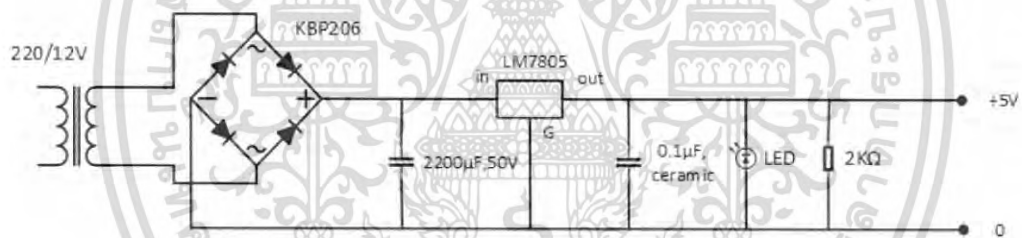
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Power Supply)

เนื่องจากจะต้องมีแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่เป็นแรงดันไฟตรง 5V +12 V -12 V โดยในการสร้างแหล่งจ่ายไฟตรงนี้จะใช้หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V เพื่อลดระดับแรงดันลงมาเพื่อนำไปใช้งานในส่วนต่างๆ และเมื่อได้ทำการลดระดับแรงดันที่เป็นไฟสลับแล้ว จำเป็นจะต้องทำการปรับให้เป็นแรงดันไฟตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแส (IC KBP206) ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ ต่อจากนั้นจะต่อกับวงจรรักษาระดับแรงดันที่ใช้ IC LM7812 และ IC LM7912 (voltage regulator) โดยตัวเก็บประจุที่ได้นำใส่เข้าไปเพิ่มนี้จะต้องคำนึงถึงพิกัดด้วยเพื่อที่จะให้ระลอกคลื่นลดลง (Ripple)



รูปที่ 3.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +12V -12V



รูปที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5V

3.2.2 วงจรตรวจจับสัญญาณ (Sensor)

วงจรตรวจจับสัญญาณจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน (Voltage Sensor) และวงจรตรวจจับสัญญาณกระแส (Current Sensor)

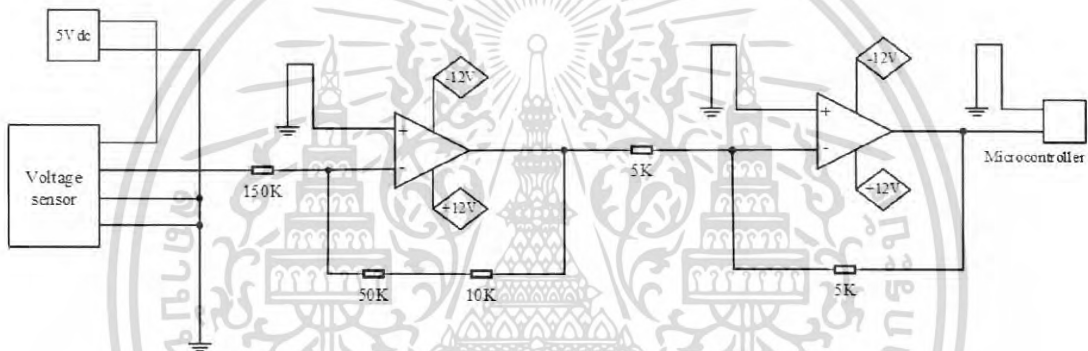
เนื่องจากสัญญาณที่ได้ทำการตรวจวัดจะมีทั้งค่าที่เป็นบวกและลบ ซึ่งถ้านำค่าที่ได้ขึ้นไปคำนวณและประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะส่งผลให้เสียหายได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบวงจรปรับสภาพสัญญาณ (Signal conditioning)

การออกแบบวงจรปรับสภาพสัญญาณสามารถทำได้ทั้งในวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและวงจรตรวจจับสัญญาณกระแสไฟฟ้า ซึ่งในการออกแบบนี้จะเป็นการนำออปแอมป์ (Operation Amplifier) เพื่อตรวจจับสัญญาณที่มีทั้งซิกบวกและซิกลบ

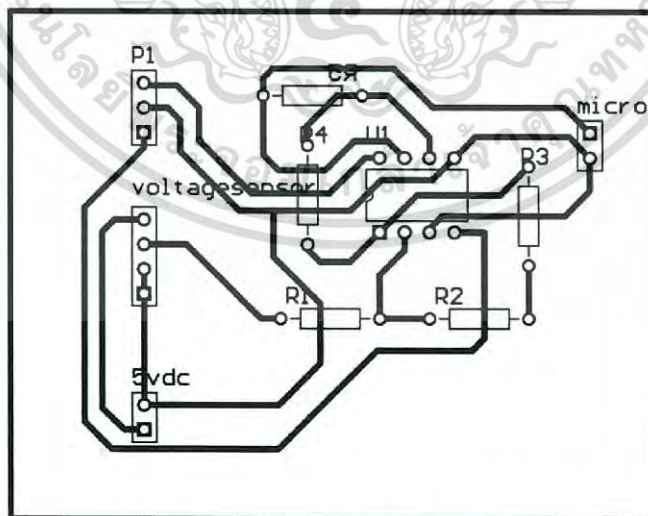
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.1 วงจรตรวจจับแรงดัน (Voltage Sensor)

ในส่วนนี้จะเป็นการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้ประมวลผลในไมโครคอนโทรลเลอร์ในโครงการนี้เลือกใช้ IC EFDV434 (Single Phase Voltage Sensor Module) เพื่อวัดแรงดันจากทางด้านอินพุท 220 V และจาก IC EFDV434 จะมีเอาต์พุทเป็นแรงดันขนาด 0-5 V และมี DC offset อยู่ที่ 2.5 V จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังวงจรปรับสภาพสัญญาณของแรงดัน โดยในวงจรนี้จะเลือกใช้ออปแอมป์เบอร์ LM358 มาใช้งาน ชั้นแรกสัญญาณจะถูกลดขนาดลงด้วยการต่อออปแอมป์แบบวงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) ที่มี $Gain = \frac{R_o}{R_i} = \frac{60\text{ k}\Omega}{150\text{ k}\Omega}$ จากนั้นสัญญาณจะถูกนำไปกลับเฟสอีกครั้งด้วยการต่อออปแอมป์แบบเดิม แต่จะมี $Gain = 1$ แทน จากนั้นสัญญาณจะถูกนำไปประมวลผลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยวงจรตรวจจับแรงดันในที่นี้ถูกออกแบบให้สามารถวัดแรงดันกระแสสลับฝั่งขาเข้าได้ 220 V ที่มีความถี่ 50 Hz และมีแรงดันฝั่งขาออกอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1.45 V



รูปที่ 3.4 วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน

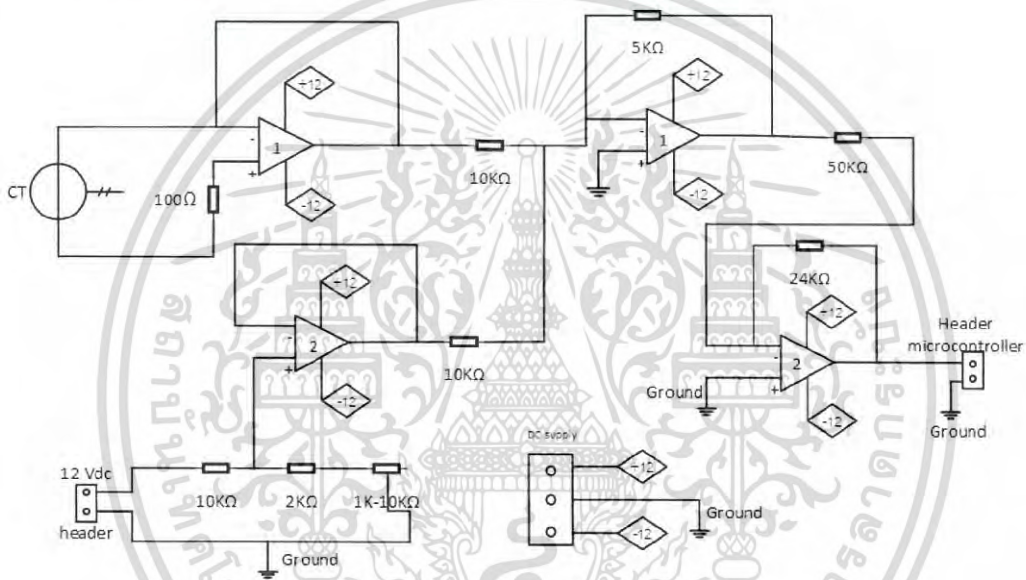


รูปที่ 3.5 ลายวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

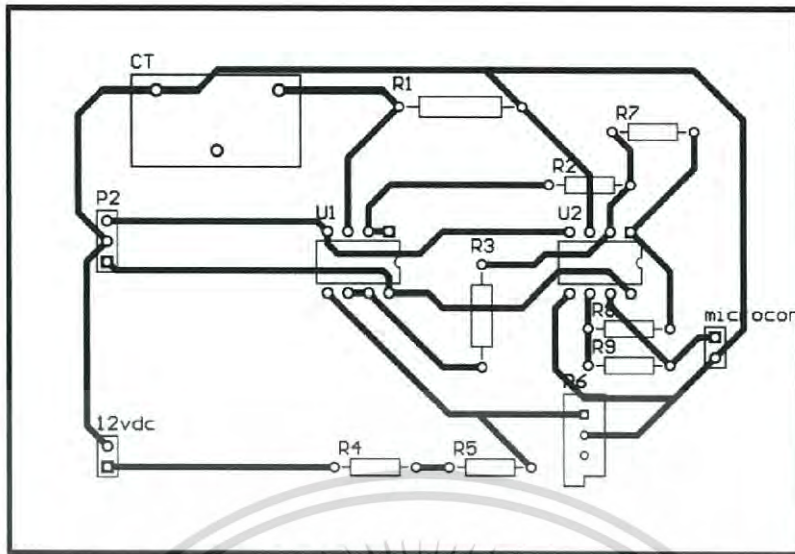
3.2.2.2 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส (Current Sensor)

โดยวงจรตรวจจับสัญญาณกระแสจะเลือกใช้ Current Transformer ที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่ด้านทุติยภูมิ สัญญาณจาก Current Transformer ที่ด้านทุติยภูมิ จะถูกส่งไปยังออปแอมป์เบอร์ LM358 ที่เป็นการต่อแบบวงจรตามแรงดัน (Voltage Follower) เพื่อเป็นการบัฟเฟอร์สัญญาณและทำให้ภายในวงจรปรับสภาพสัญญาณมีแต่แรงดัน ต่อมาจะมีการยกระดับแรงดัน 3 Vdc โดยสามารถทำได้จากการต่อวงจรแบ่งแรงดัน (voltage divider) เพื่อนำแรงดันขนาด 3 Vdc มาใช้งาน จากนั้นสัญญาณจะถูกนำมาลดขนาดลงด้วย วัตต์ได้นั้นมาเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณขนาดเล็กลงด้วย $Gain = \frac{R_o}{R_i} = \frac{24\text{ k}\Omega}{50\text{ k}\Omega}$ เพื่อให้สัญญาณอยู่ในช่วง 0 ถึง 1.45 V เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ไม่โคครคอนโทรลเลอร์รับได้นั้นมีค่าเท่ากับ 1.45 V และอีกทั้งวงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้านี้ถูกออกแบบให้สามารถวัดกระแสไฟฟ้าสลับด้านขาเข้าสูงสุด 20 A



รูปที่ 3.6 วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ลายวงจรตรวจจับสัญญาณกระแส

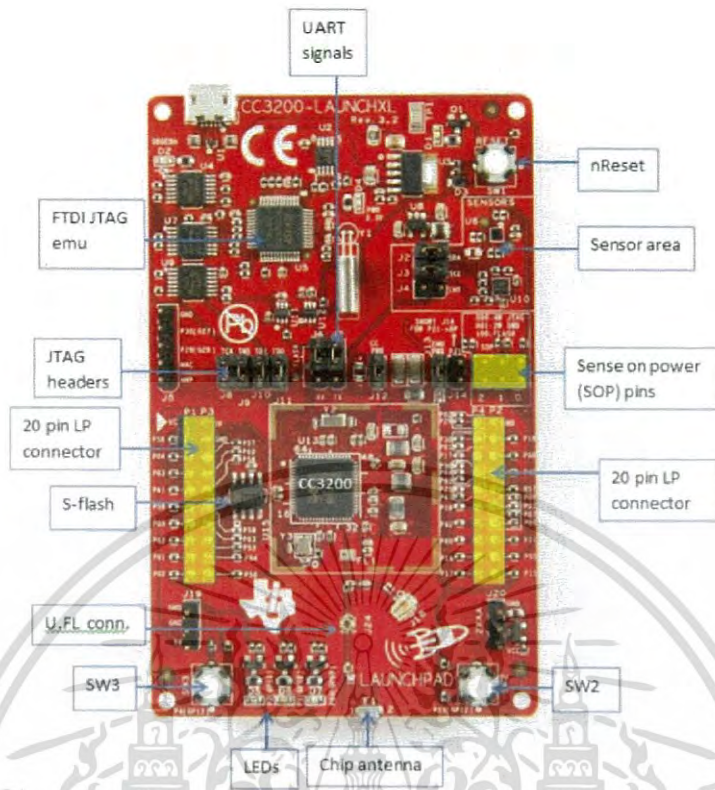
3.2.3 ส่วนควบคุมและประมวลผล (Control and processing)

ในส่วนควบคุมและประมวลผลนี้ โครงการนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ CC3200-LAUNCHXL ของ Texas Instrument ในการประมวลผล ซึ่งเป็น MCU แบบไร้สายที่รวมไมโครคอนโทรลเลอร์ประสิทธิภาพสูง ARM® Cortex™-M4 MCU บนชิป Wi-fi อินเทอร์เน็ต และระบบความปลอดภัยสูง สามารถใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน IoT ด้วย IC ตัวเดียว โดยมีโมดูลต่างๆ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบด้วย

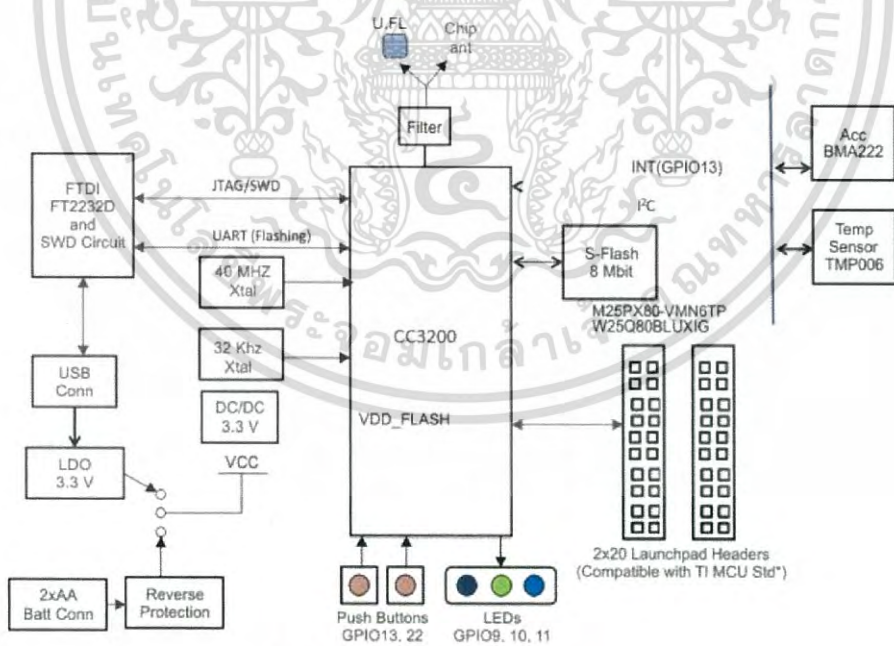
- WiFi Development Board
- CC3200 Single Chip Wireless MCU
- 40-pin BoosterPack Headers
- MicroUSB connector for power and debug
- FTD based JTAG emulation with serial port for Flash programming
- 8mbit/1MB external Serial flash
- TWO buttons and three LEDs
- On-board accelerometer and temperature sensor
- On-board chip antenna and U. FL Connector
- Application dedicated, integrated, memory 256 KB RAM

ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่รับสัญญาณอนาล็อกและแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลของแรงดันและกระแส เพื่อนำไปคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าจริง ค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ และค่าพลังงานไฟฟ้า หลังจากนั้นจะนำค่าที่คำนวณได้ไปประมวลผลแล้วแสดงค่าที่หน้าเว็บที่ผู้ใช้ผ่านกรลือกอินส่วนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 CC3200 LaunchPad EVM Overview



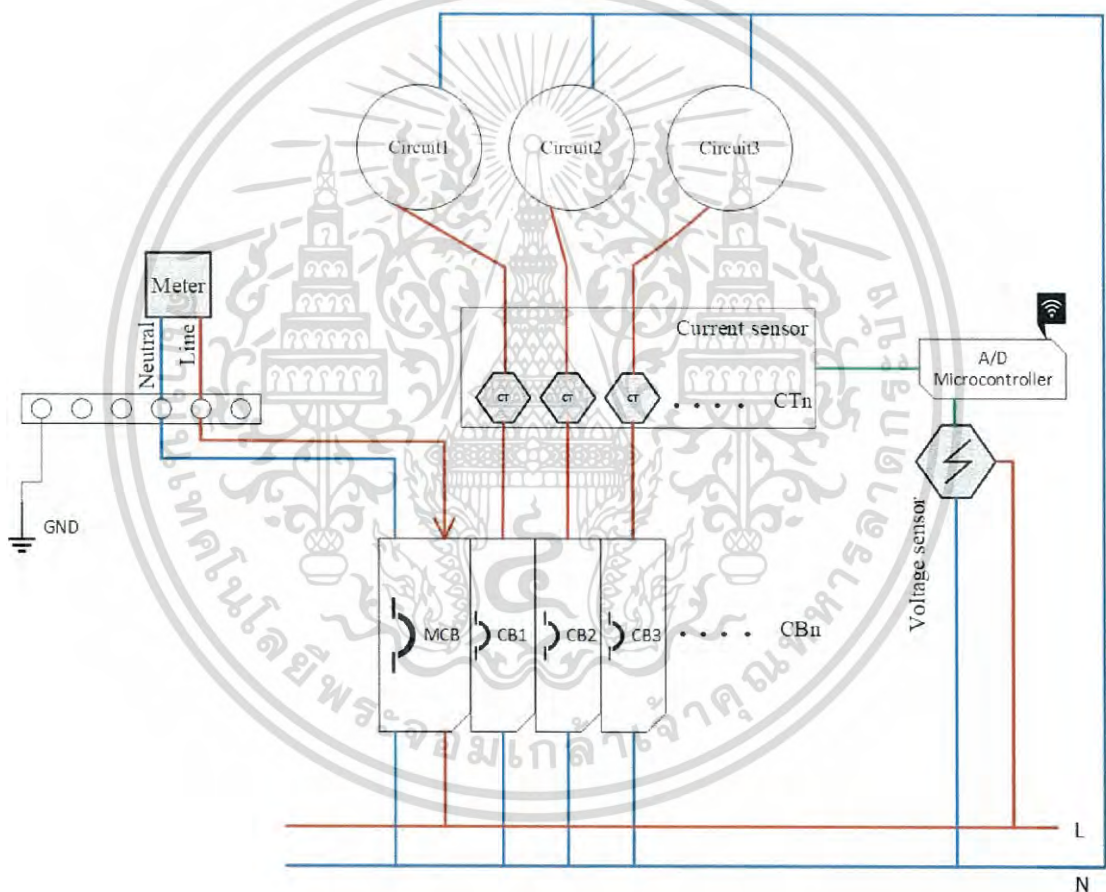
รูปที่ 3.9 CC3200 Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทำงานของตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ

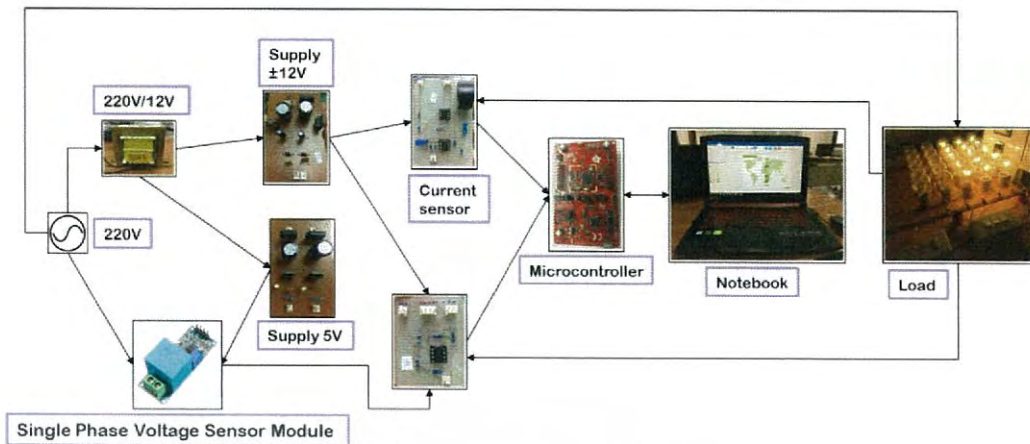
สำหรับการทำงานของตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ จะมีขั้นตอนดังรูปที่ 3.1 คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ cc3200 ซึ่งจะทำกรับค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันมาจาก current sensor และ voltage sensor ตามลำดับ โดยที่สัญญาณที่รับเข้ามานั้นจะเป็นสัญญาณอนาล็อกจึงต้องทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นดิจิตอล โดยภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นั้นจะมีช่องรับสัญญาณอนาล็อกและเปลี่ยนให้เป็นดิจิตอล (ADC) จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณเสร็จสิ้นจะทำการแสดงผลข้อมูลที่วัดได้และคำนวณได้ ส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ไปยังหน้าเว็บเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทุกอย่างง่ายดาย

3.4 ภาพรวมการทำงานของตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ

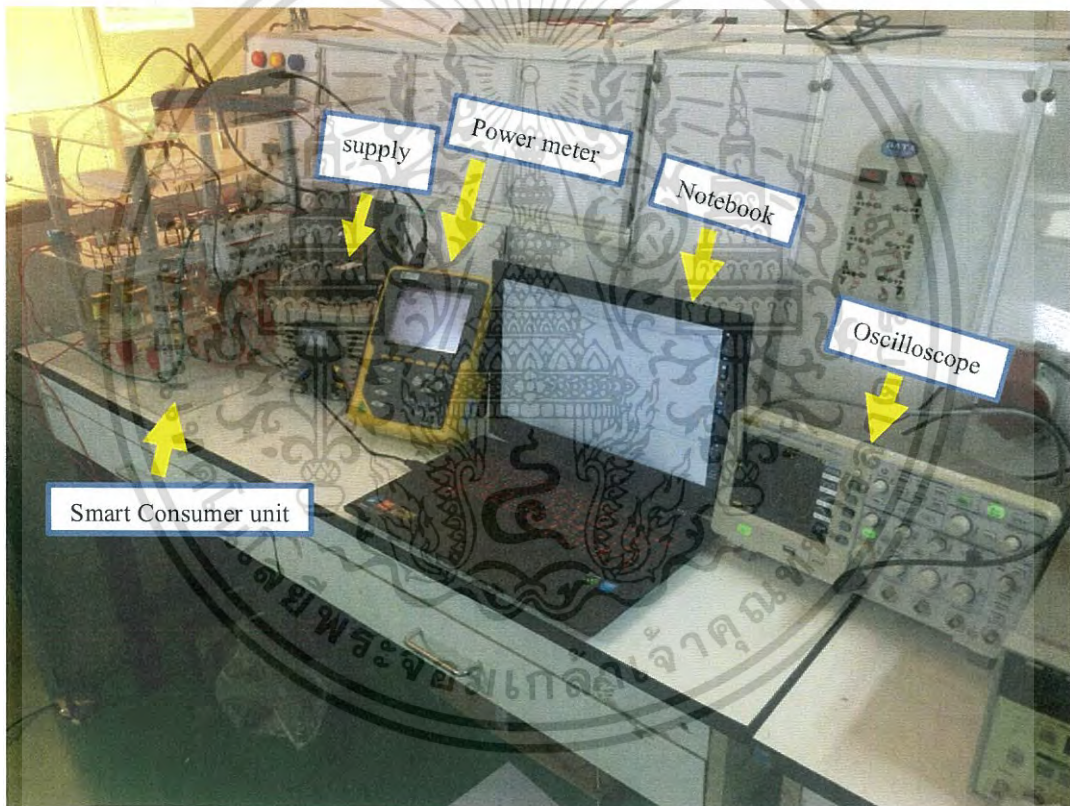


รูปที่ 3.10 Diagram smart consumer unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ภาพรวมการทำงาน



รูปที่ 3.12 การทดสอบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

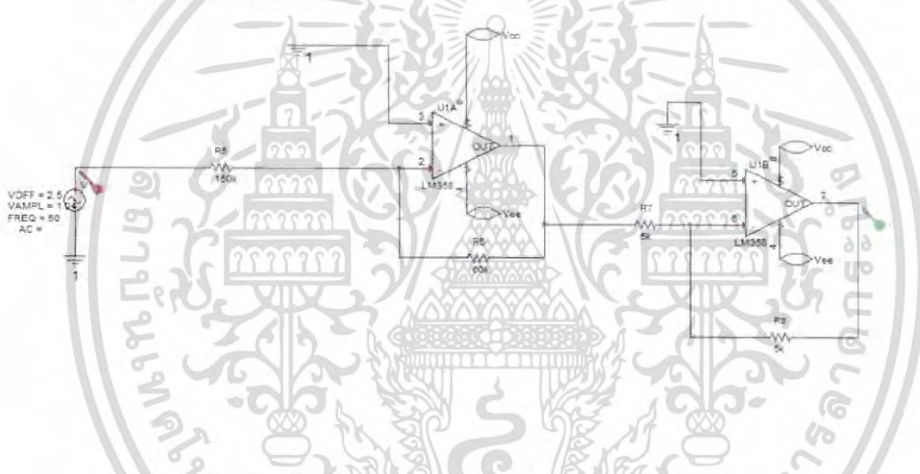
การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองวงจรตรวจจับสัญญาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า และการทดลองการวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้จริง ซึ่งจะเปรียบเทียบกับการวัดจริงและการวัดจาก Oscilloscope โดยการทดลองจะทดสอบกับโหลดทางไฟฟ้าที่เป็นโหลดไส้ จำนวนทั้งสิ้น 25 โหลด ซึ่งการทดสอบนี้จะทำให้ทราบถึงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่างๆ

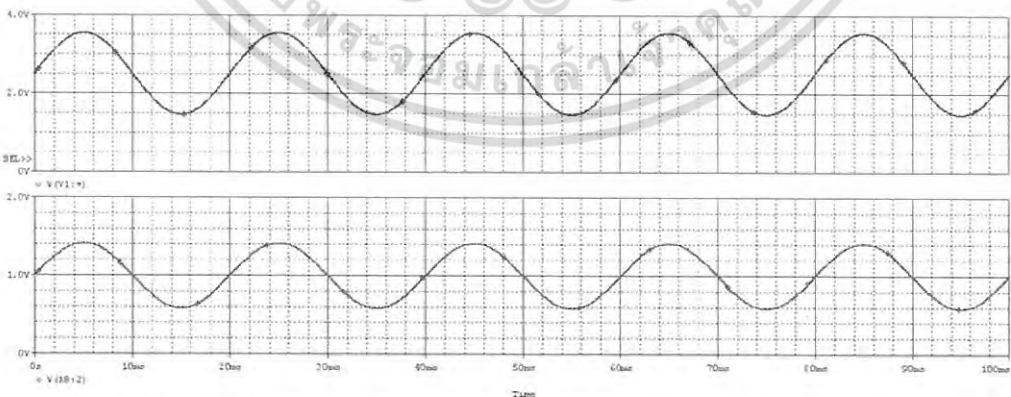
4.1 การทดลองวงจรปรับสภาพสัญญาณและเซนเซอร์

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนทดลองวงจรปรับสภาพสัญญาณและเซนเซอร์โดยเริ่มจากการทำ simulation ในโปรแกรมและทดสอบกับอุปกรณ์จริง

4.1.1 Voltage sensor

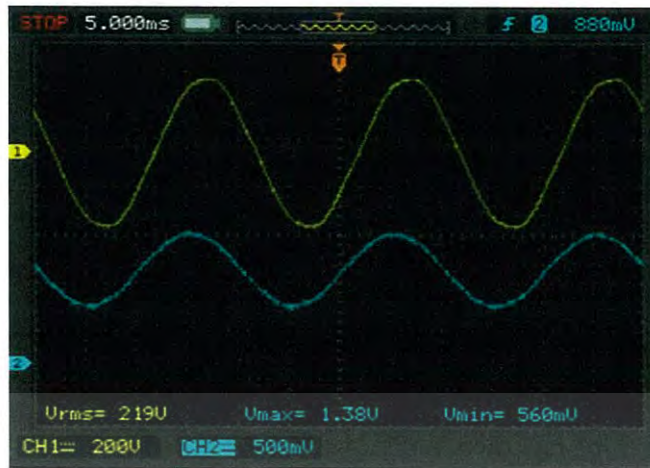


รูปที่ 4.1 วงจรปรับสภาพ Voltage sensor



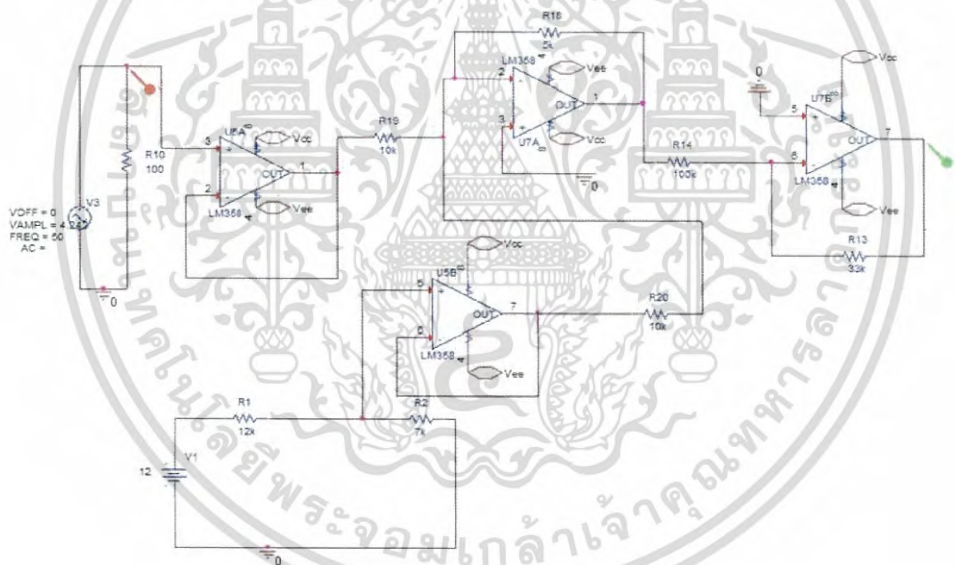
รูปที่ 4.2 ผลจากการ simulation Voltage sensor กราฟด้านบนคือ สัญญาณเอาท์พุท กราฟด้านล่างคือ สัญญาณอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



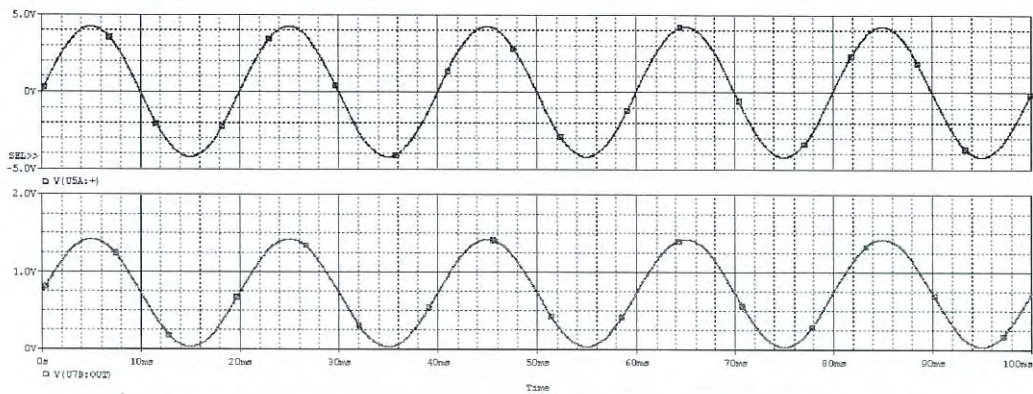
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณแรงดันที่ได้จาก voltage sensor จาก Oscilloscope
(กราฟด้านบนคือสัญญาณอินพุต กราฟด้านล่างคือสัญญาณเอาต์พุต)

4.1.2 current sensor

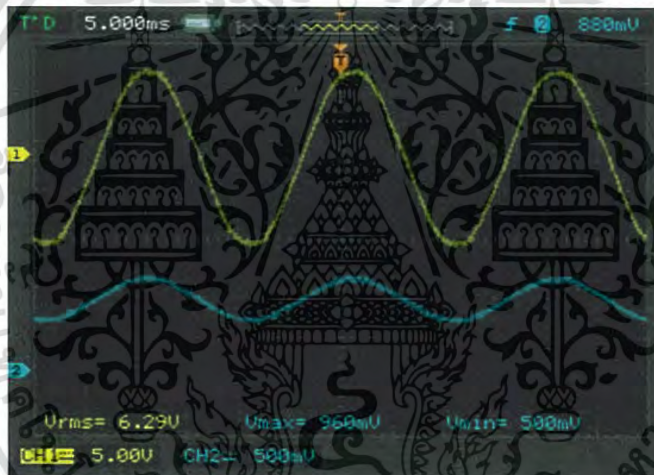


รูปที่ 4.4 วงจรปรับสภาพ current sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลจากการ simulation current sensor กราฟด้านบนคือสัญญาณอินพุท
กราฟด้านล่างคือสัญญาณเอาต์พุท

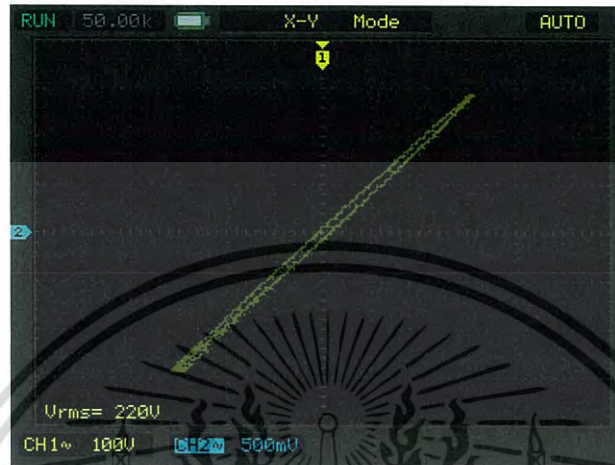


รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณกระแสที่ได้จาก current sensor จาก Oscilloscope
(กราฟด้านบนคือสัญญาณอินพุท กราฟด้านล่างคือสัญญาณเอาต์พุท)

จากการทดลองวงจรปรับสภาพสัญญาณและเซนเซอร์ สามารถลดขนาดสัญญาณให้มีขนาดไม่เกินที่พิกัดแรงดันตามที่ต้องการ เพื่อลดความเสียหายต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

4.2 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์

ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบความความน่าเชื่อถือของวงจรที่ออกแบบไว้ โดยจะเป็นการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์ โดยทำการพล็อตแบบ x-y ที่ Oscilloscope โดยให้สัญญาณอินพุตเป็นแกน x หรือ channel 1 และให้เอาต์พุตเป็นแกน y หรือ channel 2



รูปที่ 4.7 การพล็อต x-y เพื่อดูความเป็นเชิงเส้นของ voltage sensor จาก Oscilloscope



รูปที่ 4.8 การพล็อต x-y เพื่อดูความเป็นเชิงเส้นของ current sensor จาก Oscilloscope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองการวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้จริง

ในส่วนนี้จะเป็นการทดลองเก็บผลการทดลอง โดยผู้ทดลองได้เก็บผล มา 3 ครั้ง และทำการหาเป็นค่าเฉลี่ย และนำมาหาค่าความคลาดเคลื่อน โดยผู้ทดลองได้ใช้ข้อมูลจาก Power & Quality analyser Chauvin Arnoux C.A 8335 เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการหาร้อยละความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 4.1 ตารางทดสอบการทำงาน วงจร A 1000W

วงจร A 1000 W		ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2	ทดสอบครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
แรงดันไฟฟ้า (V)	Meter	220.08	220.07	221.7	220.62	Ref.
	Oscilloscope	219	218	219	218.67	0.8839
	Program	221.60	221.11	221.41	221.37	0.3399
กระแสไฟฟ้า (A)	Meter	4.38	4.38	4.39	4.38	Ref.
	Oscilloscope	4.40	4.39	4.40	4.40	0.4566
	Program	4.34	4.35	4.36	4.35	0.6849
กำลังไฟฟ้า (W)	Meter	956.8	955.7	955.9	956.133	Ref.
	Program	961.25	958.40	963.87	961.173	0.5244
พลังงานไฟฟ้า (Wh)	Meter	324.4	325.6	325.1	325.03	Ref.
	Program	319.02	320.79	320.62	320.14	1.504

**หมายเหตุ การทดลองวัดปริมาณหน่วยไฟฟ้า (E) ที่ใช้จริงใช้การจับเวลาการใช้งานโหลดที่ 20 นาที

ตารางที่ 4.2 ตารางทดสอบการทำงาน วงจร B 1500W

วงจร B 1500 W		ทดสอบครั้งที่ 1	ทดสอบครั้งที่ 2	ทดสอบครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	% ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย
แรงดันไฟฟ้า (V)	Meter	220.08	221.4	219.9	220.46	Ref.
	Oscilloscope	219	219	217	218.333	0.9648
	Program	221.6	221.11	221.41	221.37	0.4127
กระแสไฟฟ้า (A)	Meter	6.41	6.45	6.44	6.447	Ref.
	Oscilloscope	6.44	6.47	6.46	6.473	0.4033
	Program	6.43	6.44	6.43	6.433	0.1087
กำลังไฟฟ้า (W)	Meter	1405	1408	1406	1406.33	Ref.
	Program	1399.0	1406.20	1400.01	1401.74	0.3964
พลังงานไฟฟ้า (Wh)	Meter	476.2	500.35	508.26	494.94	Ref.
	Program	474.63	498.55	507.45	493.54	0.2829

**หมายเหตุ การทดลองวัดปริมาณหน่วยไฟฟ้า (E) ที่ใช้จริงใช้การจับเวลาการใช้งานโหลดที่ 20 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการวัดที่แสดงบนหน้าเว็บไซต์

Total Energy		Total Power	
181		2190	
Power No.1	Volt No.1	Current No.1	Energy No.1
860	219	4	84
Power No.2	Volt No.2	Current No.2	Energy No.2
1329	219	6	96
Power No.3	Volt No.3	Current No.3	Energy No.3
0	0	0	0

รูปที่ 4.9 การแสดงผลการวัดและคำนวณบนหน้าเว็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านแนวทางใหม่ ที่เรียกว่า “Smart Home” ซึ่งจะมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ไฟฟ้า โดยอาศัย Smart consumer Unit เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้ากับผู้ใช้งานซึ่งคณะผู้จัดทำโครงการได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับข้อมูล Smart consumer unit เพื่อนำมาทดแทน consumer Unit ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยสามารถบันทึกและแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ไป โดยใช้เทคนิคการคำนวณแบบบวกสะสม สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์และ Smartphone ด้วยระบบสื่อสารไร้สาย Wifi เพื่อแสดงค่าปริมาณทางไฟฟ้าในขณะตารางหรือเป็นตัวเลขเพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถทราบถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานของตนเอง และสามารถลดพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองลงซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้

สำหรับในปฏิยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการออกแบบและจัดสร้าง Smart consumer unit แบบ 1 เฟส ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 10 เอร์เซ็นต์ ที่กระแสไฟฟ้า 10(20) แอม โปรแกรมการรับค่า ผ่านทอง ADC โปรแกรมการคำนวณพลังงานไฟฟ้า โปรแกรมการส่งข้อมูลการทดลองวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยค่าที่ทำการวัดจะถูกเปรียบเทียบกับค่าคำนวณทางทฤษฎีและการวัดจริง จากการทดลองพบว่า Smart consumer unit สามารถวัดค่าและแสดงผลค่าประมาณทำให้ผ่านเว็บเพจที่ได้จัดสร้างขึ้นโดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าปริมาณทางไฟฟ้าแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า Smart consumer ชนิดสามารถบันทึกและแสดงค่าปริมาณทางไฟฟ้าได้ให้ใช้งานสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลข้อมูลบนเว็บเพจเลือกโปรแกรมที่จะสร้างขึ้นผ่านทางระบบไร้สาย Wifi ให้เพื่อนในฟ้าสามารถสร้างพฤติกรรมในการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเองและลดพฤติกรรมการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองลงได้ ดังนั้นของงานวิจัยนี้ที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางที่จะติดตั้ง Smart consumer unit กับ Smart Home ในอนาคต

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างดำเนินโครงการและข้อมูลเสนอแนะ

เนื่องจากการทำโครงการนี้มีสมาชิกมีทั้งหมด 2 คน ทำให้เกิดความล่าช้าในการดำเนินการ ส่งผลให้ทำการทดลองได้ล่าช้าและมีการตรวจสอบความถูกต้องได้ไม่มากพอ อีกทั้งยังพบปัญหาในเรื่องของวงจรปรับสภาพสัญญาณแรงดัน กล่าวคือที่การทำงานที่พิกัดวงจรปรับสภาพสัญญาณแรงดัน (220-230V) วงจรสามารถทำงานได้ตามปกติ แต่ที่แรงดันอยู่ในช่วง 90-150 V วงจรปรับสภาพสัญญาณยังคงให้สัญญาณผิดเพี้ยนจนไม่สามารถนำมาคำนวณต่อได้ ปัญหาต่อมาคือเรื่องโปรแกรมการคำนวณการแสะไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้จริงไม่สามารถวัดกับโพลดที่หลากหลายได้ เพราะยังมีข้อจำกัดในการเขียนโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

จากการดำเนินการทดลองตลอดโครงการวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะและข้อควรระวังในการพัฒนาและการใช้ Smart consumer unit ดังต่อไปนี้

5.2.1 การออกแบบ Smart consumer unit

1. ในการออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ควรเลือกอุปกรณ์ที่มีค่าความผิดพลาดต่ำ เพราะหากมีความผิดพลาดเกิดขึ้นจะส่งผลถึงความสามารถในการวัดปริมาณทางไฟฟ้าต่างๆ Smart consumer unit

2. สัญญาณที่วัดได้และจะถูกนำไปใช้ประมวลผลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ จำเป็นจะต้องมีการปรับสภาพสัญญาณเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Micro Controller เมื่อเกิดการใช้งานเกินพิกัดที่ตั้งไว้

3. ในการออกแบบ Smart consumer unit ควรเลือก Micro Controller ที่เหมาะสมกับการใช้งาน เพราะหากมีความเร็วในการประมวลผลไม่เพียงพอ หรือมีพื้นที่ความเป็นธรรมไม่ให้เพียงพอจะทำให้ Smart consumer unit ไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

5.2.2 การออกแบบโปรแกรม

ในการเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จำเป็นจะต้องเขียนให้รองรับกับการใช้งานโหลดทางไฟฟ้าให้เหมาะสมและพร้อมที่จะคำนวณปริมาณทางไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง

5.4 แนวทางในการพัฒนา

โครงการวิจัยนี้สามารถนำการพัฒนาเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการทำงานของ Smart consumer unit ให้มีประสิทธิภาพและรองรับการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้นในอนาคตได้ ดังต่อไปนี้

1. เลือกใช้อุปกรณ์ที่ใช้จัดสร้างทำ Smart consumer unit ที่มีราคาถูกเพื่อให้ Smart consumer unit สามารถนำผลิตเป็นเชิงพาณิชย์และนำมาใช้ได้จริง

2. ปรับเปลี่ยนวงจรรับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า ให้มีความแม่นยำและยืดหยุ่นเพื่อรองรับโหลดทางไฟฟ้าที่มีความหลากหลายมากในปัจจุบัน

3. พัฒนาฟังก์ชันการทำงานของ Smart consumer unit ด้วยการเขียนโปรแกรมเพิ่มขีดความสามารถให้กับ Smart consumer unit โดยจะสามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้าได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] MUHAMMAD H. RASHID, POWER ELECTRONICS HANDBOOK, University of Florida University of West Florida Joint Program and Computer Engineering University of West Florida Pensacola, Florida, 2001
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. รู้เท่าทันสถานการณ์พลังงาน. รู้'รักษ์พลังงาน. หน้า6-14
- [3] กองพัฒนาระบบสารสนเทศด้านบริการลูกค้า. (2560). ประมาณค่าไฟฟ้า. กองอัตราและธุรกิจการไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. แหล่งข้อมูล:
<https://www.pea.co.th/webapplications/CheckRate/checkrate.html>
- [4] นายธีรพัฒน์ เป็นสุข, นพรัตน์ กิจก้องขจร, นรุตย์ ไพศาลธนกิตติ, นฤตล ตติยวัฒน์ชัย, “มิเตอร์อัจฉริยะสำหรับบ้านสมัยใหม่”, ปรินญาณิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2553
- [5] รศ.ดร.วีระเชษ ชันเงินและวุฒิพล ธาธาธีรเศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. 2557. ครั้งที่ 14. กรุงเทพมหานคร. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง.
- [6] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2557. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556. ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: บริษัท โกลบอล กราฟฟิค จำกัด. หน้า 2-1 ถึง 2-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


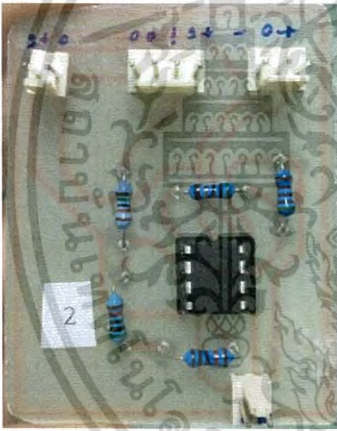
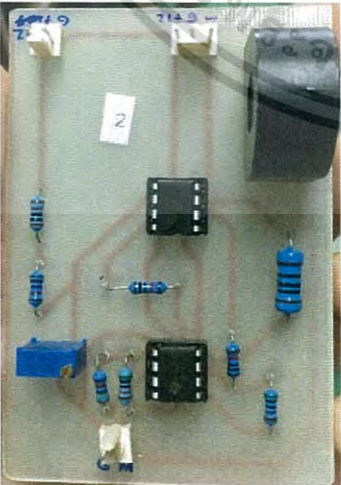


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นแบบที่สร้างจริงในปริญญาโท

ต้นแบบ	รายละเอียด
	<p>ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ CC3200-LAUNCHXL</p>
	<p>วงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน</p>
	<p>วงจรตรวจจับสัญญาณกระแส</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นแบบที่สร้างจริงในปริญญานิพนธ์ (ต่อ)




ต้นแบบ	รายละเอียด
	<p>แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 V</p>
	<p>แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 V</p>
	<p>ชุดโพลด</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์

รายการ	รายละเอียด
	Multimeter
	Digital Oscilloscope (Rigol DS 1054)
	Variac 1 phase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญาโท(ต่อ)

รายการ	รายละเอียด
	Current Clamp Ammeter
	Transformer 220V/12V
	คอมพิวเตอร์แบบพกพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญาโท(ต่อ)

รายการ	รายละเอียด
	<p>Power meter</p>



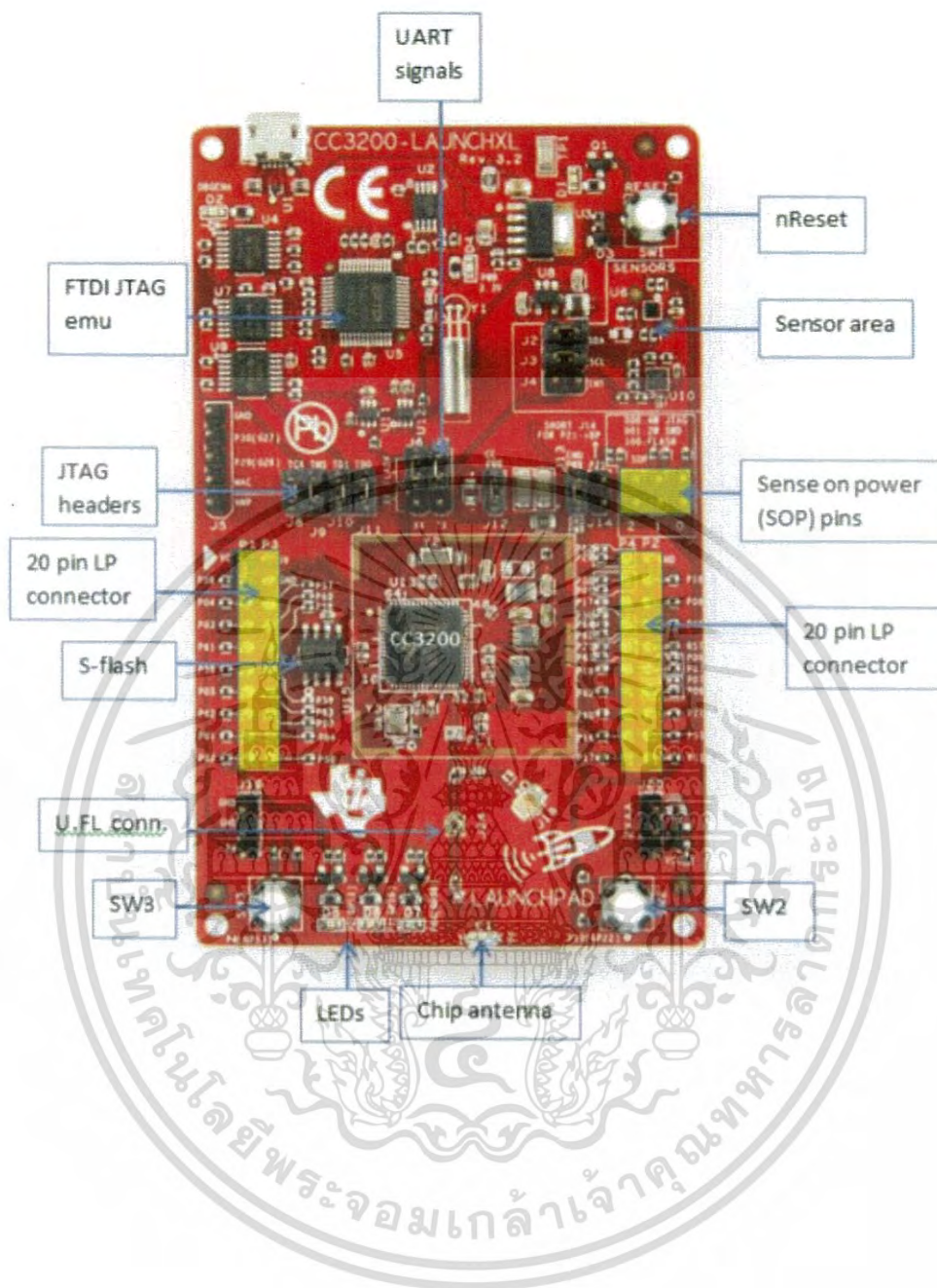
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.1 Overview

The CC3200 provides a general purpose, multi-channel Analog-to-Digital Converter (ADC). Each of the ADC channels supports 12-bit conversion resolution with sampling periodicity of 16 μ S (62.5 Ksps/channel). Each channel has an associated FIFO and DMA. For detailed electrical characteristics of the ADC, refer to the CC3200 data sheet ([SWAS032](#)).

13.2 Key Features

- Total of 8 channels
 - 4 external analog input channels for user applications
 - 4 internal channels reserved for SimpleLink subsystem (network and Wi-Fi).
- 12-bit resolution
- Fixed sampling rate of 16 μ s per channel. Equivalent to 62.5K samples/sec per channel
- Fixed round-robin sampling across all channels
- Samples are uniformly spaced and interleaved. Multiple user channels can be combined together to realize higher sampling rate. For example, all four channels can be shorted together to get an aggregate sampling rate of 250K samples/sec.
- DMA interface to transfer data to the application RAM; dedicated DMA channel for each channel
- Capability to timestamp ADC samples using 17-bit timer running on a 40-MHz clock. The user can read the timestamp along with the sample from the FIFO registers. Each sample in the FIFO contains actual data and a timestamp.

Figure 13-1 shows the architecture of the ADC module in the CC3200.

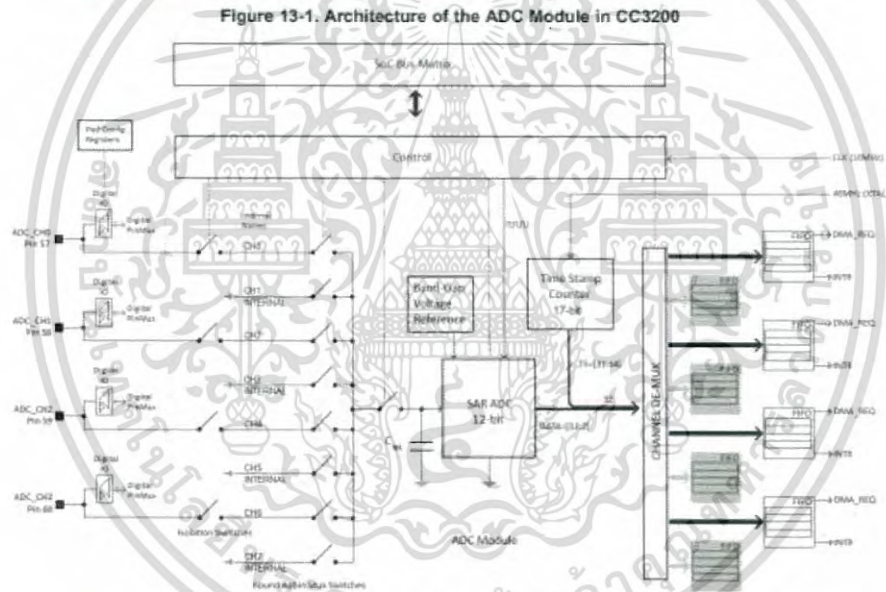
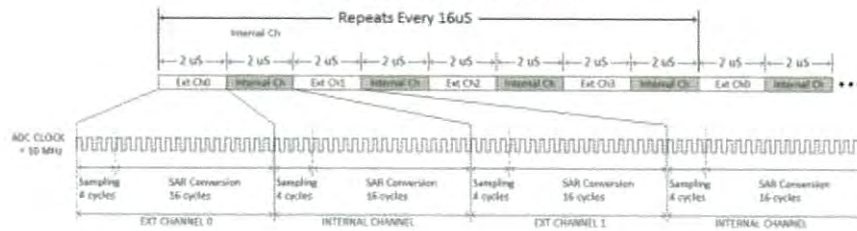


Figure 13-2 shows the round-robin operation of the ADC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 13-2. Operation of the ADC



13.3 ADC Register Mapping

Naming convention for ADC registers: The CC3200 ADC module supports a total of 8 analog input channels: CH0 to CH7. Each of these channels are sampled at a fixed rate of 16 µs in a fixed round-robin fashion. See Figure 13-2.

Out of these, the four channels (even) are available for application processor: CH0, CH2, CH4, CH6.

In the chip pin-mux description, these are referred to as ADC_CH0 to ADC_CH3. Table 13-1 shows the name aliasing and the convention followed in register description in the following section of this chapter.

Table 13-1: ADC Registers

Pin Number	ADC Channel Name Alias in Pin Mux	Channel Name Used in ADC Module Register Description
57	ADC_CH0	CH0
58	ADC_CH1	CH2
59	ADC_CH2	CH4
60	ADC_CH3	CH6
N/A	N/A (Used internal to SoC)	CH1
N/A	N/A (Used internal to SoC)	CH3
N/A	N/A (Used internal to SoC)	CH5
N/A	N/A (Used internal to SoC)	CH7

The remaining channels (odd) are used for monitoring various internal levels by the SimpleLink subsystem in CC3200 SoC. Register bits and functions related to these internal channels are marked as reserved in the register description. These bits must not be modified by application code to ensure proper functioning of the system.

13.4 ADC_MODULE Registers

Table 13-2 lists the memory-mapped registers for the ADC_MODULE. All register offset addresses not listed in Table 13-2 should be considered as reserved locations and the register contents should not be modified.

Table 13-2. ADC_MODULE Registers

Offset	Acronym	Register Name	Section
0h	ADC_CTRL	ADC control register	Section 13.4.1.1
24h	ADC_CH0_IRQ_EN	Channel 0 interrupt enable register	Section 13.4.1.2
2Ch	ADC_CH2_IRQ_EN	Channel 2 interrupt enable register	Section 13.4.1.3
34h	ADC_CH4_IRQ_EN	Channel 4 interrupt enable register	Section 13.4.1.4
3Ch	ADC_CH6_IRQ_EN	Channel 6 interrupt enable register	Section 13.4.1.5
44h	ADC_CH0_IRQ_STATUS	Channel 0 interrupt status register	Section 13.4.1.6
4Ch	ADC_CH2_IRQ_STATUS	Channel 2 interrupt status register	Section 13.4.1.7
54h	ADC_CH4_IRQ_STATUS	Channel 4 interrupt status register	Section 13.4.1.8
5Ch	ADC_CH6_IRQ_STATUS	Channel 6 interrupt status register	Section 13.4.1.9
64h	ADC_DMA_MODE_EN	DMA mode enable register	Section 13.4.1.10
68h	ADC_TIMER_CONFIGURATION	ADC timer configuration register	Section 13.4.1.11
70h	ADC_TIMER_CURRENT_COUNT	ADC timer current count register	Section 13.4.1.12
74h	CHANNEL0FIFODATA	CH0 FIFO DATA register	Section 13.4.1.13
7Ch	CHANNEL2FIFODATA	CH2 FIFO DATA register	Section 13.4.1.14
84h	CHANNEL4FIFODATA	CH4 FIFO DATA register	Section 13.4.1.15
8Ch	CHANNEL6FIFODATA	CH6 FIFO DATA register	Section 13.4.1.16
94h	ADC_CH0_FIFO_LVL	Channel 0 interrupt status register	Section 13.4.1.17
9Ch	ADC_CH2_FIFO_LVL	Channel 2 interrupt status register	Section 13.4.1.18
A4h	ADC_CH4_FIFO_LVL	Channel 4 interrupt status register	Section 13.4.1.19
ACh	ADC_CH6_FIFO_LVL	Channel 6 interrupt status register	Section 13.4.1.20
B8h	ADC_CH_ENABLE	ADC enable register for application channels	Section 13.4.1.21

13.4.1 ADC Register Description

The remainder of this section lists and describes the ADC registers, in numerical order by address offset.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC1020 • 20 Amp Current Transformer

Low Cost 50/60Hz Current Transformers

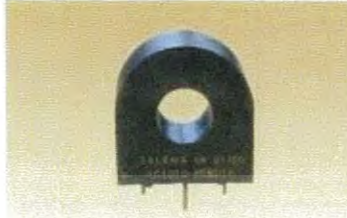
Applications

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



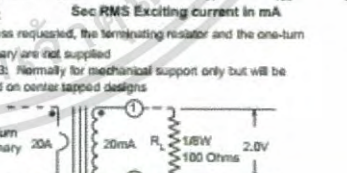
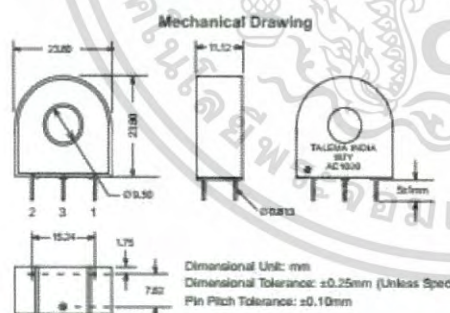
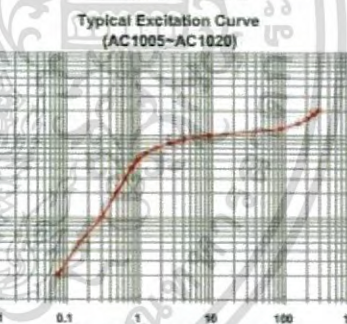
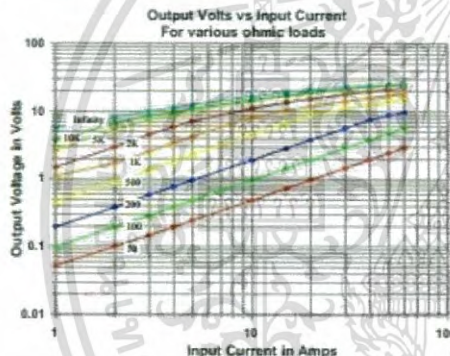
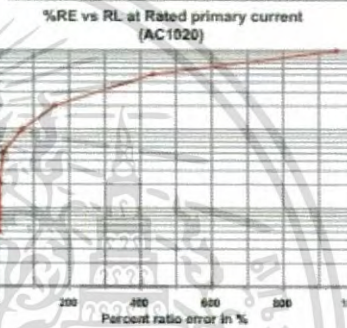
Features

- Competitive pricing due to high volume production
- Confirms to UL94V-0
- Manufactured in an ISO 9001:2008, ISO/TS 16949:2009 and ISO14001:2004 certified facility
- Fully RoHS & REACH Compliant



Environmental Specifications	
Storage Temperature	-55° to +130°C
Insulation Resistance	100 megohms min.

Electrical Specifications @ 20°C ambient	
Primary Current	20A nom., 60A max.
Turns Ratio	1000:1 nominal
Volt per Amp Ratio at 20A for 100 Ohms load	0.100 V/A
Volt per Amp Ratio at 2A for 100 Ohms load	0.097 V/A
DC Resistance at 20°C	41.8 Ohms
Dielectric Withstanding Voltage (Hi-pot)	4KVrms



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR®

www.fairchildsemi.com

LM2904, LM358/LM358A, LM258/ LM258A

Dual Operational Amplifier

Features

- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range:
LM258/LM258A, LM358/LM358A: 3V–32V (or $\pm 1.5V$ – 16V)
LM2904: 3V–26V (or $\pm 1.5V$ – 13V)
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V DC to $V_{cc} - 1.5V$ DC
- Power Drain Suitable for Battery Operation.

Description

The LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A consist of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltage. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP-AMP circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.

Internal Block Diagram



Rev. 1.0.3

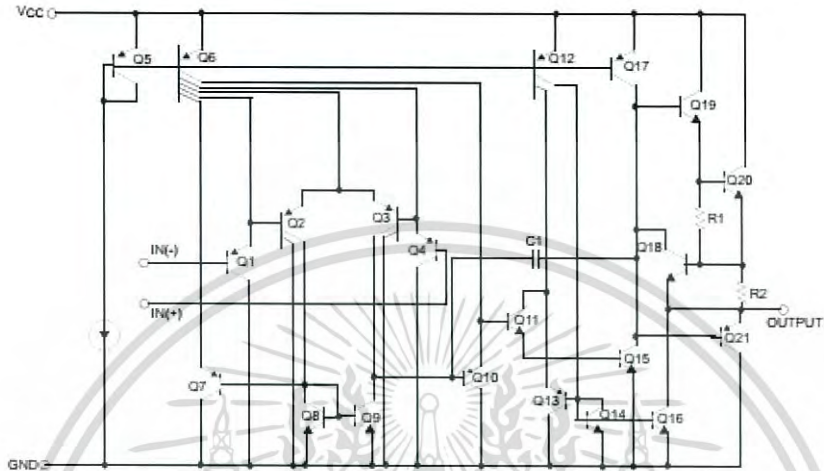
©2010 Fairchild Semiconductor Corporation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2904, LM358/LM358A, LM258/LM258A

Schematic Diagram

(One section only)

**Absolute Maximum Ratings**

Parameter	Symbol	LM258/LM258A	LM358/LM358A	LM2904	Unit
Supply Voltage	VCC	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 26	V
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	32	32	26	V
Input Voltage	V _I	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND VCC ≤ 15V, T _A = 25°C (One Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Operating Temperature Range	T _{OPR}	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(MAX)}	+150	+150	+150	°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics

(VCC = 5.0V, VEE = GND, TA = 25°C, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM258			LM358			LM2904			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
Input Offset Voltage	V _{IO}	V _{CM} = 0V to V _{CC} - 1.5V V _{O(P)} = 1.4V, R _S = 0Ω	-	2.9	5.0	-	2.9	7.0	-	2.9	7.0	mV
Input Offset Current	I _{IO}	-	-	3	30	-	5	50	-	5	50	nA
Input Bias Current	I _{BIAS}	-	-	45	150	-	45	250	-	45	250	nA
Input Voltage Range	V _{I(R)}	V _{CC} = 30V (LM2904, V _{CC} = 26V)	0	-	V _{CC} - 1.5	0	-	V _{CC} - 1.5	0	-	V _{CC} - 1.5	V
Supply Current	I _{CC}	R _L = ∞, V _{CC} = 30V (LM2904, V _{CC} = 26V)	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	-	0.8	2.0	mA
		R _L = ∞, V _{CC} = 5V	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	-	0.5	1.2	mA
Large Signal Voltage Gain	G _V	V _{CC} = 15V, R _L = 2kΩ V _{O(P)} = 1V to 11V	50	100	-	25	100	-	25	100	-	V/mV
Output Voltage Swing	V _{O(H)}	V _{CC} = 30V, R _L = 2kΩ	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
		V _{CC} = 26V for LM2904, R _L = 10kΩ	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	V _{O(L)}	V _{CC} = 5V, R _L = 10kΩ	-	5	20	-	5	20	-	5	20	mV
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	80	-	50	80	-	dB
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB
Channel Separation	CS	f = 1kHz to 20kHz (Note 1)	-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB
Short Circuit to GND	I _{SC}	-	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA
Output Current	I _{SOURCE}	V _{I(+)} = 1V, V _{I(-)} = 0V, V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	20	30	-	20	30	-	20	30	-	mA
	I _{SINK}	V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V, V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 2V	10	15	-	10	15	-	10	15	-	mA
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	V _{I(+)} = 0V, V _{I(-)} = 1V, V _{CC} = 15V, V _{O(P)} = 200mV	12	100	-	12	100	-	-	-	-	μA
		-	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	-	-	V _{CC}	V

Note:

1. This parameter, although guaranteed, is not 100% tested in production.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include "OOB_ComInclude.h"
/*****
//
//          MAIN FUNCTION
//
*****/

void main(void)
{
long lRetVal = -1;
// Board Initialization
BoardInit();
// Configure the pinmux settings for the peripherals exercised
PinMuxConfig();
// PinConfigSet(PIN_58,PIN_STRENGTH_2MA|PIN_STRENGTH_4MA,PIN_TYPE_STD_PD);
PinConfigSet(PIN_53,PIN_STRENGTH_2MA|PIN_STRENGTH_4MA,PIN_TYPE_STD_PD);
// Initialize Global Variables
InitializeAppVariables();
//Initial ADC
InitAdc();
/*Timer module is included for timer counter*/
Initial_TimerBase();
/*ADC module is included for read adc which use common with timer request*/
// UART Init
InitTerm();
DisplayBanner(APP_NAME);
//Initial_TimerBase();
// I2C Ini
lRetVal = I2C_IF_Open(I2C_MASTER_MODE_FST);
if(lRetVal < 0)
{
ERR_PRINT(lRetVal);
LOOP_FOREVER();
}
// Simplelinkspawntask
lRetVal = VStartSimpleLinkSpawnTask(SPAWN_TASK_PRIORITY);
if(lRetVal < 0)
{
ERR_PRINT(lRetVal);
LOOP_FOREVER();
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Create OOB Task
lRetVal = osi_TaskCreate(OOBTask, (signed char*)"OOBTask", \
                        OSI_STACK_SIZE, NULL, \
                        OOB_TASK_PRIORITY, NULL );

if(lRetVal < 0)
{
    ERR_PRINT(lRetVal);
    LOOP_FOREVER();
}
// Start OS Scheduler
osi_start();
}
/*
 * OOB_TimerA0A1.c
 * Created on: Nov 14, 2017
 * Author: RATTP
 */
#include "OOB_ComInclude.h"
int f=0;
int n;
void Initial_TimerBase (void)
{TimerAx.g_ulBase = TIMERA0_BASE;
/* Base address for second timer */
    TimerAx.g_ulRefBase = TIMERA1_BASE;
    Timer_IF_Init(PRCM_TIMER_A0,TimerAx.g_ulBase,TIMER_CFG_PERIODIC, TIMER_A,
0);
    Timer_IF_Init(PRCM_TIMER_A1,TimerAx.g_ulRefBase,TIMER_CFG_PERIODIC,
TIMER_A, 0);
/* Setup the interrupts for the timer timeouts.*/
    Timer_IF_IntSetup(TimerAx.g_ulBase, TIMER_A, TimerBaseIntHandler);
    Timer_IF_IntSetup(TimerAx.g_ulRefBase, TIMER_A, TimerRefIntHandler);
/* Turn on the timers feeding values in mSec*/
Timer_IF_Start(TimerAx.g_ulBase, TIMER_A, COUNTER_200us);    //200us
Timer_IF_Start(TimerAx.g_ulRefBase, TIMER_A, COUNTER_10000us);    //1000ms
}
void TimerBaseIntHandler(void)
    //Ver3.7@Reference_Code_EMS    //200us
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unsigned int Value;
    TimerAx.CounterTimerBase++;
/*****Section 1 for read ADC 3 Channel and record to buffer 100
value*****/
    while(1)
    {
        if(AdctValue.Flag1_ChannelSelected==60)           //60 means pin PIN_60
        {
            AdctValue.Flag1_ChannelSelected = 57;//Start at PIN58 to---> PIN60
            break;
        }
        SelectedAdcIOPort(AdctValue.Flag1_ChannelSelected);
        MAP_ADCCChannelEnable(ADC_BASE,AdctValue.Flag2_ChannelValue);
        AdctValue.Flag3_CounterReceive = 0;
        while(AdctValue.Flag3_CounterReceive < 15)
        {
            if(AdctValue.Flag3_CounterReceive == 14)
            {
                if(MAP_ADCFIFOLvlGet(ADC_BASE,
AdctValue.Flag2_ChannelValue))
            {
                Value = MAP_ADCFIFORead(ADC_BASE, AdctValue.Flag2_ChannelValue);
                AdcPortValue[AdctValue.Flag1_ChannelSelected-
0x39].Adc_Channel[AdctValue.Flag5_CounterValue] = Value;
            }
        }
        AdctValue.Flag3_CounterReceive++;
    }
    AdctValue.Flag1_ChannelSelected++;
}
    AdctValue.Flag5_CounterValue++;
/*****End of section 1*****/
/*****Section 2 for read ADC 3 Channel and record to buffer 100
value*****/
    if(AdctValue.Flag5_CounterValue == 100)
    {
        AdctValue.Flag5_CounterValue = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//Vrms
WiFiParametersUpdateValue.Voltage1=Calculate_RMS(VOLTAGE_CHANNEL1_58)*GAIN_V
OLTAGE;
//Irms
WiFiParametersUpdateValue.Current1=Calculate_RMS(CURRENT_CHANNEL1_59)*GAIN
_CURRENT1;
WiFiParametersUpdateValue.Current2=Calculate_RMS(CURRENT_CHANNEL2_60)*GAIN
_CURRENT2;
//Power
WiFiParametersUpdateValue.Power1 = Calculate_Power1(POWER_CHANNEL);
WiFiParametersUpdateValue.Power2 = Calculate_Power2(POWER_CHANNEL);
WiFiParametersUpdateValue.TotalPower=WiFiParametersUpdateValue.Power1+WiFiPa
rametersUpdateValue.Power2;
}
MAP_ADCIntClear(ADC_BASE, AdctValue.Flag2_ChannelValue,1);
//Interrupt clearing over flow counter timer
Timer_IF_InterruptClear(TimerAx.g_ulBase);
}
void TimerRefIntHandler(void)
//Ver3.7@Reference_Code_EMS//Base on 10ms
{
WiFiParametersUpdateValue.Power_Avg1[TimerAx.CounterTimerRef]=
Calculate_PowerAvg1(1);
WiFiParametersUpdateValue.Power_Avg2[TimerAx.CounterTimerRef]=
Calculate_PowerAvg2(1);
WiFiParametersUpdateValue.Energy1+=WiFiParametersUpdateValue.Power_Avg1[Time
rAx.CounterTimerRef]*2.77777e-5;//*0.01*1*ENERGY_TIME;
WiFiParametersUpdateValue.Energy2+=WiFiParametersUpdateValue.Power_Avg2[Time
rAx.CounterTimerRef]*2.77777e-5;//*0.01*1*ENERGY_TIME;
WiFiParametersUpdateValue.TotalEnergy=WiFiParametersUpdateValue.Energy1+WiFiPa
rametersUpdateValue.Energy2;

if((TimerAx.CounterBuffer25 % 600) == 0) // 60 s will be present value circuitA
{
UART_PRINT("\n\rTimer is %d min Energy1 = %f Whr
",(TimerAx.CounterBuffer25/600),WiFiParametersUpdateValue.Energy1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

UART_PRINT("\n\r Vrms1 = %f \n Irms1 = %f A \n Power1 = %f W
\n\r",WiFiParametersUpdateValue.Votage1,WiFiParametersUpdateValue.Current1,WiFiP
arametersUpdateValue.Power1);
}
// TimerAx.CounterBuffer25++;
if((TimerAx.CounterBuffer25 % 600) == 0) // 60 s will be present value circuit
{
UART_PRINT("\n\r Timer is %d min Energy2 = %f Whr
",(TimerAx.CounterBuffer25/600),WiFiParametersUpdateValue.Energy2);
UART_PRINT("\n\r Vrms2 = %f \n Irms2 = %f A \n Power2 = %f W
\n\r",WiFiParametersUpdateValue.Votage1,WiFiParametersUpdateValue.Current2,WiFiP
arametersUpdateValue.Power2);
}TimerAx.CounterBuffer25++;
if(TimerAx.CounterTimerRef==10)
{
TimerAx.CounterTimerRef=0;
}
TimerAx.CounterTimerRef++;
//GPIO_IF_LedToggle(MCU_ORANGE_LED_GPIO);
Timer_IF_InterruptClear(TimerAx.g_ulRefBase);
}

int fs = 5000;
int fg = 50;
float RMS_result ;
float Vrms_result;
float Irms1_result;
float Irms2_result;
float Calculate_RMS(int chanel)
{
float sum1 = 0;
float constant = fs/fg;
float v;
int n=0;
while(n < constant)
{
v=(( (float)((AdcPortValue[chanel].Adc_Channel[n] >> 2 ) & 0x0FFF)-1895)*1)/4096);
sum1 += pow(v,2);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

n++;
}
RMS_result = sqrt((1/constant)*sum1);
return RMS_result;
}

```

```
float Calculate_Power1(int chanel)
```

```

{
    float v,i,sum2 = 0;
    float constant = fs/fg;
    float Power_result;
    int n=0;
    while(n < constant)
    {
v=((( float)((AdcPortValue[0].Adc_Channel[n] >> 2 ) & 0x0FFF)-1895)*1)/4096);
i=((( float)((AdcPortValue[1].Adc_Channel[n] >> 2 ) & 0x0FFF)-1895)*1)/4096);
sum2 += v*i;
n++;
}
Power_result = (GAIN_POWER1)*((1/constant)*sum2);
return Power_result;
}

```

```
float Calculate_Power2(int chanel)
```

```

{
    float v,i,sum2 = 0;
    float constant = fs/fg;
    int n=0;
    float Power_result;
    while(n < constant)
    {
v=((( float)((AdcPortValue[0].Adc_Channel[n] >> 2 ) & 0x0FFF)-1895)*1)/4096);
i=((( float)((AdcPortValue[2].Adc_Channel[n] >> 2 ) & 0x0FFF)-1895)*1)/4096);
sum2 += v*i;
n++;
}
Power_result = (GAIN_POWER2)*((1/constant)*sum2);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

return Power_result;
}
float Calculate_PowerAvg1(int chanel)
{
float sum3;
float PowerAvg_result;
sum3 = (WiFiParametersUpdateValue.Votage1)*(WiFiParametersUpdateValue.Current1);
PowerAvg_result = GAIN_POWERAVERRAGE*(sum3);
return PowerAvg_result;
}
float Calculate_PowerAvg2(int chanel)
{
float sum3;
float PowerAvg_result;
sum3 = (WiFiParametersUpdateValue.Votage1)*(WiFiParametersUpdateValue.Current2);
PowerAvg_result = GAIN_POWERAVERRAGE*(sum3);
return PowerAvg_result;
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตู้ควบคุมไฟฟ้าอัจฉริยะ SMART CONSUMER UNIT

นางสาวพรพรม สิตาธรรม, นายวราช เอื้อคารวะธรรม

ดร.สมภพ ผลไม้, ผศ.ชายชาญ โพธิสาร

ภาควิศวกรรมไฟฟ้า หลักสูตรวิศวกรรมพลังงานไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ปฏิญญาพันธบัตรฉบับนี้นำเสนอและอธิบายถึงการสร้างและขั้นตอนการทำงานของตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ โดยที่ตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะนี้จะทำให้ตู้คอนซูมเมอร์มีความสามารถมากกว่าตู้คอนซูมเมอร์ที่มีข้ออยู่ทั่วไป ซึ่งการทำงานที่เพิ่มเข้ามานี้จะถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งรับข้อมูลกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณอนาล็อกและเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อนำมาคำนวณเป็นพลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และแสดงผลการคำนวณออกมาบนหน้าเว็บหรือบนโทรศัพท์มือถือ และไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ยังสามารถส่งข้อมูลที่วัดได้และคำนวณได้ ด้วยระบบสื่อสารแบบไร้สาย ทำให้ทราบค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริง ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าของครัวเรือนได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

Abstract

This engineering project presents the construction and operating of smart consumer unit. The smart consumer unit had a lot of function which is smarter than the normal consumer unit. The functions are controlled by the microcontroller, which receives a current signal and voltage signal from sensors and converts the analog signals to digital for electric energy and power computation. The results are shown in real time on a webpage via wireless communication. The users can easily access the information for analysis and planning of the residential energy usage.

1. บทนำ

ตู้คอนซูมเมอร์ยูนิตจำเป็นต้องมีใช้ในทุกครัวเรือน เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานไฟฟ้าภายในบ้าน สามารถตัดกระแสไฟฟ้าเกินหรือกระแสไฟฟ้าลัดวงจรโดยอัตโนมัติ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายในอุปกรณ์ไฟฟ้า เพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าและผู้เข้ามาซ่อมบำรุง ซึ่งในการทำโครงการนี้จะทำให้ตู้คอนซูมเมอร์ยูนิตสามารถแสดงค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า ทำให้รู้ว่ามีคามผิดปกติของไฟฟ้าภายในบ้านที่ใช้งานภายในบ้านให้แก่ผู้ใช้โดยแสดงผลบนหน้าเว็บไซต์ ทั้งนี้จะทำให้ผู้ใช้ทราบถึงข้อมูลการใช้งานภายในบ้าน ทำให้มีการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลงได้ จากกรณีที่ความต้องการที่จะใช้ไฟฟ้าในประเทศไทยมากขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้ต้องมีมาตรการต่างๆ เข้ามาเพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและรู้ถึงคุณค่าของพลังงานไฟฟ้า การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าจึงเป็นวิธีการที่ใช้การบริหารจัดการที่มุ่งเน้นการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้า อย่างในปัจจุบันการหาพลังงานทดแทนอื่นที่ทดแทนพลังงานฟอสซิล เช่น พลังงานชีวมวล พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานทางเลือก (Alternative Energy) ที่นอกเหนือจากพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานการณ์ของแต่ละประเทศ เช่น ถ่านหิน เป็นพลังงานทางเลือกในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พลังงาน

หมุนเวียน (Renewable Energy) พลังงานทดแทนที่ได้จากแหล่งที่สามารถหมุนเวียนมาใช้ได้โดยไม่มีวันหมด มักเป็นพลังงานสะอาด และไม่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์[2] และมีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพลังงานมากขึ้น เพื่อลดการนำเข้าพลังงานฟอสซิลจากต่างประเทศ อาคารระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart grid Building) ที่ได้รับการออกแบบโดยใช้เทคนิคการก่อสร้างที่มีความก้าวหน้า มีการติดตั้งอุปกรณ์ ที่รับรู้ข้อมูลต่างๆของอาคารโดยข้อมูลนั้นจะถูกส่งไปยังระบบประมวลผลกลาง บ้านอัจฉริยะ (Smart Home) การใช้เทคโนโลยีมาควบคุมอุปกรณ์ต่างๆภายในบ้าน เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้อยู่อาศัย มีระบบการจัดการด้วยระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งจะรวมถึงตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ (Smart Consumer Unit)

ตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ (Smart Consumer Unit) จะสามารถแสดงผลการใช้ไฟฟ้าและรวมไปถึงการรับ-ส่งข้อมูล โดยที่การแสดงผลการใช้งานบนหน้าเว็บไซต์ ในอนาคตอันใกล้นี้สามารถนำไปใช้ในบ้านอัจฉริยะ (Smart Home) การใช้เทคโนโลยีมาควบคุมอุปกรณ์ต่างๆภายในบ้าน เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้อยู่อาศัย มีระบบการจัดการด้วยระบบคอมพิวเตอร์ซึ่งจะรวมถึงตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ (Smart Consumer Unit)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินการ จะมีการนำเสนอทฤษฎีกำลังไฟฟ้า หลักการทำงานของตู้คอนซูมเมอร์แบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป ซึ่งมีขีดจำกัดในการทำงานเพียงป้องกันการเกิดกระแสเกินหรือลัดวงจรเท่านั้น โดยไม่ทราบค่ากระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า และค่าพลังงานไฟฟ้า ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการค้นคว้าและรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการสร้างตู้คอนซูมเมอร์อัจฉริยะที่มีความสามารถมากกว่าตู้คอนซูมเมอร์แบบธรรมดา โดยอาศัยการประมวลผลเชิงดิจิทัลและส่งข้อมูลผ่านระบบสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งกล่าวไว้ดังนี้

2.1 ทฤษฎีกำลังไฟฟ้า

การหาปริมาณทางไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ มีดังนี้ กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน โหลดไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า โดยกำลังไฟฟ้ามาจากการถ่ายโอนพลังงานหรือการสูญเสียพลังงานไปกับโหลดเป็นตัวแสดงปริมาณของงานที่ทำได้ในช่วงเวลาที่กำหนด โดยมีสมการดังนี้

$$p=w/t \quad (2.1)$$

โดยที่

p	คือ	กำลังไฟฟ้า (W)
w	คือ	งาน (J)
t	คือ	เวลา (s)

สำหรับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ กำลังไฟฟ้าเกิดจากผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้า (Voltage) กับกระแสไฟฟ้า (Current) มีสมการดังนี้

$$p=vi \quad (2.2)$$

โดยที่

v	คือ	แรงดันไฟฟ้า (V)
i	คือ	กระแสไฟฟ้า (A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คอนซูมเมอร์ยูนิต

ตู้คอนซูมเมอร์ยูนิต หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า ตู้ไฟหรือกล่องไฟ เป็นจุดรวมการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมและป้องกันอันตรายต่างๆ จากไฟฟ้าอย่างเป็นระเบียบและง่ายต่อการจัดการโดยทั่วไปจะประกอบด้วยเซอร์กิตเบรกเกอร์เมน อุปกรณ์ป้องกันไฟรั่วไฟดูด ระบบการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันต่างๆ ภายในตู้คอนซูมเมอร์ยูนิตจะแบ่งเป็นสองระบบหลักๆ คือระบบ Bolt on และระบบ Plug on ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการติดตั้งในระบบที่ต่างกันนั้นจะไม่สามารถนำมาติดตั้งร่วมกันได้โดยระบบ Plug on จะใช้ระยะเวลาการติดตั้งน้อยกว่า แต่ระบบ Bolt on จุดเด่นในด้านความคงทนในการใช้งานมากกว่าตู้คอนซูมเมอร์ยูนิต ส่วนใหญ่จะเหล็กในด้านความเป็นฉนวนและไม่เกิดสนิม นอกจากนี้พลาสติกที่นำมาผลิตตู้คอนซูมเมอร์ยูนิตจะต้องเป็นพลาสติกทนความร้อนและไม่ลามไฟ ตามมาตรฐาน IEC ด้วย

2.4 ตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ

ตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ คือ แผงวงจรไฟฟ้าที่สามารถคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ โดยจะทำการวัดปริมาณทางไฟฟ้าหลายอย่างเช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และมีการนำส่งข้อมูลให้ผู้ใช้ผ่านระบบสื่อสารไร้สาย

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติตู้ควบคุมโหลดแบบธรรมดาและแบบอัจฉริยะ

ความสามารถในการทำงาน	แบบธรรมดา	แบบอัจฉริยะ
วัดค่าทางไฟฟ้า	✗	✓
แสดงข้อมูลการใช้งานผ่านหน้าจอแสดงผล	✗	✓
ส่งข้อมูลการใช้พลังงานผ่านระบบไร้สาย	✗	✓
ป้องกันเมื่อเกิดกระแสเกินหรือไฟฟ้ารั่ววงจร	✓	✓

2.4 วิธีการบวกสะสม

วิธีการบวกสะสมทำได้โดยการนำค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่สุ่มตัวอย่างให้มาคูณกันโดยตรงเนื่องจากกำลังไฟฟ้าจริงที่เกิดขึ้นนั้น เมื่อพิจารณาจากสมการกำลังไฟฟ้าชั่วขณะ $p(t)$ ในเทอมของคาบเวลา สมการที่ 2.5 พบว่ากำลังไฟฟ้าจริงเฉลี่ย P จะมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ส่วนกำลังไฟฟ้าเสมือน Q จะมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

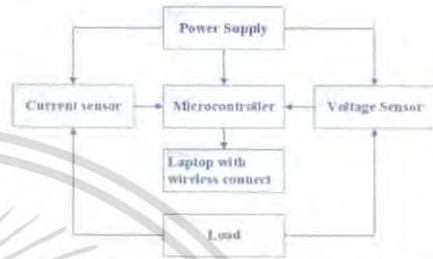
$$Energy = \frac{1}{1000 \times 3600} \sum_{n=1}^N \frac{v[n] \cdot i[n]}{f_s}$$

โดยที่

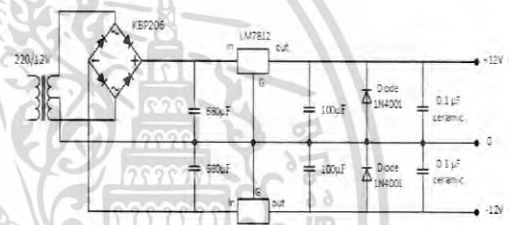
- $v[n]$ คือ แรงดันไฟฟ้าที่สุ่มได้ครั้งที่ n (V)
- $i[n]$ คือ กระแสไฟฟ้าที่สุ่มได้ครั้งที่ n (A)
- f_s คือ ความถี่การสุ่มตัวอย่าง (Hz)

3. การออกแบบการทดลอง

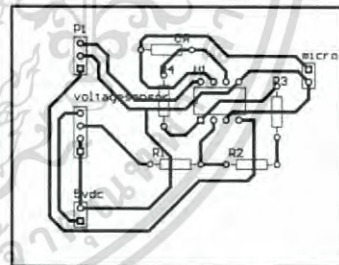
ในบทนำจะเป็นการพูดถึงการออกแบบเพื่อที่จะสร้างเป็นตู้จำลองแผงวงจรไฟฟ้าอัจฉริยะที่จะถูกนำไปติดตั้งในบ้าน โดยในการออกแบบครั้งนี้ได้คำนึงไปถึงมาตรฐานของการออกแบบวงจรไฟฟ้าตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ภายในตู้จะเป็นการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) วงจรตรวจจับสัญญาณ ที่มีทั้งวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้า และวงจรตรวจจับกระแสไฟฟ้า มาประยุกต์ใช้ โดยที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้นำมาใช้นั้นจะมีการส่งข้อมูลทางหน้าเว็บของตัวเอง โดยที่ข้อมูลจะถูกส่งไปทาง Wireless โดยที่ผู้ใช้งานจะสามารถดูข้อมูลได้แบบเรียลไทม์



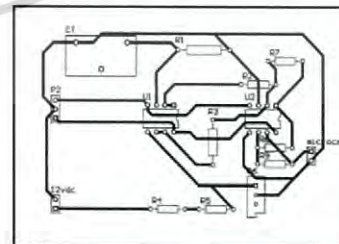
รูปที่ 1 แผนผังแสดงการทำงานของตู้ควบคุมโหลดอัจฉริยะ



รูปที่ 2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +12V -12V



รูปที่ 3 ลายวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดัน



รูปที่ 4 ลายวงจรตรวจจับสัญญาณกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



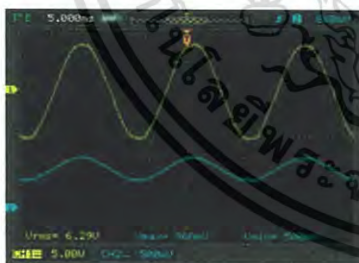
รูปที่ 5 CC3200 LaunchPad EVM Overview

4. การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองวงจรตรวจจับสัญญาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าและการทดลองการวัดกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้จริง ซึ่งจะเปรียบเทียบกับการวัดจริงและการวัดจาก Oscilloscope โดยการทดลองจะทดสอบกับโหลดทางไฟฟ้าที่เป็นหลอดไส้ จำนวนทั้งสิ้น 25 หลอด ซึ่งการทดสอบนี้จะทำให้ทราบถึงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่างๆ



รูปที่ 6 แสดงสัญญาณกระแสที่ได้จาก voltage sensor จาก Oscilloscope



รูปที่ 7 แสดงสัญญาณกระแสที่ได้จาก current sensor

ตารางที่ 2 ตารางทดสอบการทำงาน วงจร A 1000W

Circuit A 1000W		ค่าเฉลี่ย	%ความคลาดเคลื่อน
V	meter (V)	220.62	Ref.
	โพรแกรม (V)	218.67	0.8839
I	meter(A)	221.37	0.3399
	โพรแกรม(A)	4.38	Ref.
P	meter(W)	4.40	0.4566
	โพรแกรม(W)	4.35	0.6849
E	meter(Wh)	956.133	Ref.
	โพรแกรม(Wh)	961.173	0.5244

ตารางที่ 3 ตารางทดสอบการทำงาน วงจร B 1500W

Circuit B 1500W		ค่าเฉลี่ย	%ความคลาดเคลื่อน
V	meter (V)	220.46	Ref.
	โพรแกรม (V)	218.333	0.9648
I	meter(A)	221.37	0.4127
	โพรแกรม(A)	6.447	Ref.
P	meter(W)	6.473	0.4033
	โพรแกรม(W)	6.433	0.1087
E	meter(Wh)	1406.33	Ref.
	โพรแกรม(Wh)	1401.74	0.3964



รูปที่ 8 แสดงการใช้ไฟฟ้าบนโพรแกรม

5. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านแนวทางใหม่ ที่เรียกว่า “Smart Home” ซึ่งจะมุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ไฟฟ้า โดยอาศัย Smart consumer Unit เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ไฟฟ้ากับผู้ใช้งานซึ่งขณะผู้จัดทำโครงการได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับข้อมูล Smart consumer unit เพื่อนำมาทดแทน consumer Unit ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยสามารถบันทึกและแสดงค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ไป โดยใช้เทคนิคการคำนวณแบบบวกสะสม สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์และ Smartphone ด้วยระบบสื่อสารไร้สาย Wifi เพื่อแสดงค่าปริมาณทางไฟฟ้าในขณะตารางหรือเป็นตัวเลขเพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถทราบถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานของตนเอง และสามารถลดพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองลงซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถประหยัด ค่าใช้จ่ายได้

สำหรับในปริญญาโทฉบับนี้ได้ทำการออกแบบและจัดสร้าง Smart consumer unit แบบ 1 เฟส ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ 10 เอร์เซ็นต์ ที่กระแสไฟฟ้า 10(20) แอม โปรแกรมการรับค่า ผ่านห้อง ADC โปรแกรมการคำนวณพลังงานไฟฟ้า โปรแกรมการส่งข้อมูลการทดลองวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยค่าที่ทำการวัดจะถูกเปรียบเทียบกับ การคำนวณทางทฤษฎีและการวัดจริง จากการทดลองพบว่า Smart consumer unit สามารถวัดค่าและแสดงผลค่าประมาณ ทำให้ผ่านเว็บเพจที่ได้จัดสร้างขึ้นโดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าปริมาณทางไฟฟ้าแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นไม่เกิน 3 เอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า Smart consumer ชนิดสามารถบันทึกและแสดงค่าปริมาณทางไฟฟ้าได้ให้ ได้งานสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลข้อมูลบนเว็บเพจเลือกโปรแกรมที่จะสร้างขึ้นผ่านทางระบบไร้สาย Wifi ให้เพื่อนในฟ้าสามารถสร้างพฤติกรรมในการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเองและลดพฤติกรรมการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองลงได้ ดังนั้นของงานวิจัยนี้ที่สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางที่จะติดตั้ง Smart consumer unit กับ Smart Home ในอนาคต

5.2 ปัญหาที่พบในระหว่างดำเนินโครงการและข้อมูลเสนอแนะ

เนื่องจากการทำโครงงานนี้มีสมาชิกมีทั้งหมด 2 คน ทำให้เกิดความล่าช้าในการดำเนินการ ส่งผลให้ทำการทดลองได้ล่าช้าและมีการตรวจสอบความถูกต้องได้ไม่มากพอ อีกทั้งยังพบปัญหาในเรื่องของวงจรปรับสภาพสัญญาณแรงดัน กล่าวคือการทำงานที่พิกัดวงจรปรับสภาพสัญญาณแรงดัน (220-230V) วงจรสามารถทำงานได้ตามปกติ แต่ที่แรงดันอยู่ในช่วง 90-150 V วงจรปรับสภาพสัญญาณยังคงให้สัญญาณผิดเพี้ยนจนไม่สามารถนำมาคำนวณต่อได้ ปัญหาต่อมาคือเรื่องโปรแกรมการคำนวณการแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริง และปริมาณหน่วยไฟฟ้าที่ใช้จริงไม่สามารถวัดกับโหลดที่หลากหลายได้ เพราะยังมีข้อจำกัดในการเขียนโปรแกรม

5.3 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

จากการดำเนินการทดลองตลอดโครงงานวิจัยนี้มีข้อเสนอแนะและข้อควรระวังในการพัฒนาและการใช้ Smart consumer unit ดังต่อไปนี้

5.2.1 การออกแบบ Smart consumer unit

1. ในการออกแบบวงจรตรวจจับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ควรเลือกอุปกรณ์ที่มีค่าความผิดพลาดต่ำ เพราะหากมีความผิดพลาดเกิดขึ้นจะส่งผลถึงความสามารถในการวัดปริมาณทางไฟฟ้าต่างๆ Smart consumer unit

2. สัญญาณที่วัดได้และจะถูกนำไปใช้ประมวลผลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ จำเป็นจะต้องมีการปรับสภาพสัญญาณเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับ Micro Controller เมื่อเกิดการใช้งานเกินพิกัดที่ตั้งไว้

3. ในการออกแบบ Smart consumer unit ควรเลือก Micro Controller ที่เหมาะสมกับการใช้งาน เพราะหากมีความเร็วในการประมวลผลไม่เพียงพอ หรือมีพื้นที่ความถี่ไม่เพียงพอจะทำให้ Smart consumer unit ไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

5.2.2 การออกแบบโปรแกรม

ในการเขียนโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จำเป็นจะต้องเขียนให้รองรับกับการใช้งานโหลดทางไฟฟ้าให้เหมาะสมและพร้อมที่จะคำนวณปริมาณทางไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง

5.4 แนวทางในการพัฒนา

โครงงานวิจัยนี้สามารถนำการพัฒนาเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการทำงานของ Smart consumer unit ให้มีประสิทธิภาพและรองรับการใช้งานที่หลากหลายมากขึ้นในอนาคตได้ ดังต่อไปนี้

1. เลือกใช้อุปกรณ์ที่ใช้จัดสร้างทำ Smart consumer unit ที่มีราคาถูกเพื่อให้ Smart consumer unit สามารถนำผลผลิตเป็นเชิงพาณิชย์และนำมาใช้ได้จริง

2. ปรับเปลี่ยนวงจรรับสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้า ให้มีความแม่นยำและยืดหยุ่นเพื่อรองรับโหลดทางไฟฟ้าที่มีความหลากหลายมากในปัจจุบัน

3. พัฒนาระบบการทำงานของ Smart consumer unit ด้วยการเขียนโปรแกรมเพิ่มขีดความสามารถให้กับ Smart consumer unit โดยจะสามารถวัดปริมาณทางไฟฟ้าได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] MUHAMMAD H. RASHID, POWER ELECTRONICS HANDBOOK, University of Florida University of West Florida Joint Program and Computer Engineering University of West Florida Pensacola, Florida, 2001

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. รู้เท่าทันสถานการณ์พลังงาน. รั้วรั้วพลังงาน. หน้า 6-14

[3] กองพัฒนาระบบสารสนเทศด้านบริการลูกค้า. (2560). ประมาณค่าไฟฟ้า. กองอัตราและธุรกิจการไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. แหล่งข้อมูล: <https://www.pea.co.th/webapplications/CheckRate/checkrate.html>

[4] นายธีรวัฒน์ เป็นสุข, นพรัตน์ กิจก้องขจร, นรุตย์ไพศาลธนภิตติ, นฤตล ตติยวัฒน์ชัย, “มิเตอร์อัจฉริยะสำหรับบ้านสมัยใหม่”, ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2553

[5] รศ.ดร.วีระชัย ชื่นเงินและวุฒิพล ธาราธิระเศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. 2557. ครั้งที่ 14. กรุงเทพมหานคร. ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินตติ้ง.

[6] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2557. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556. ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: บริษัท โกบอล กราฟฟิค จำกัด. หน้า 2-1 ถึง 2-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นางสาว พรพรม สิตาธรรม รหัสนักศึกษา 57010841
วันเกิด 31 ตุลาคม พ.ศ. 2538
ที่อยู่ 88/1 ม.1 ต.บ้านแฮด อ.บ้านแฮด จ.ขอนแก่น 40110
มัธยมศึกษา โรงเรียนบ้านไผ่ ขอนแก่น
E-mail: tangmo_176@hotmail.com



นาย วรราช เอื้อคารวะธรรม รหัสนักศึกษา 57011112
วันเกิด 12 ตุลาคม พ.ศ. 2538
ที่อยู่ 148/1381 ถนนรามคำแหง 190 แขวงมีนบุรี เขตมีนบุรี
กรุงเทพฯ 10510
มัธยมศึกษา โรงเรียนพรตพิทยพยัต กรุงเทพฯ
E-mail: worarath.uea@gmail.com



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้