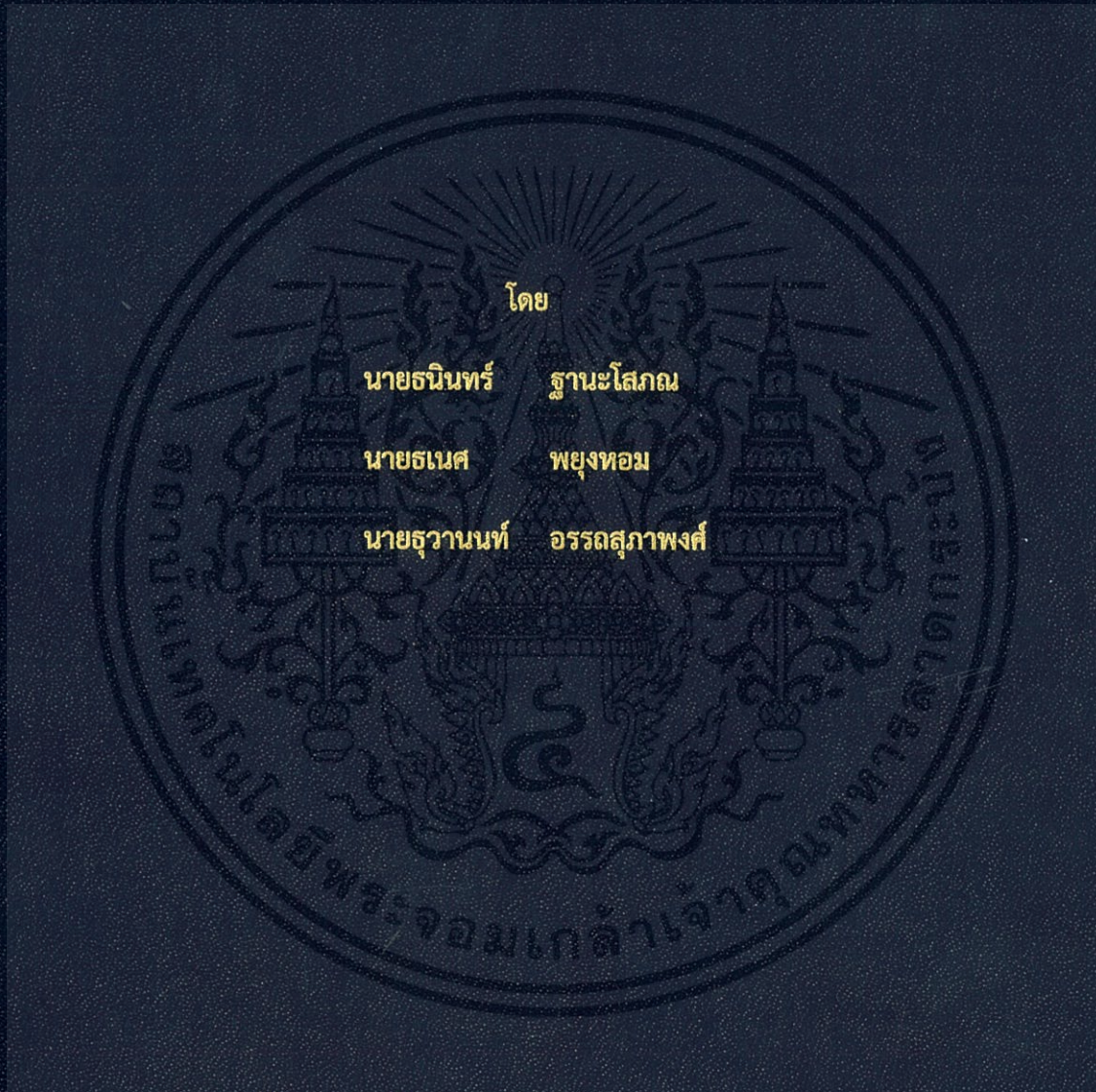


การวัดและควบคุมการใช้ไฟฟ้าอย่างชาญฉลาด

SMART ELECTRIC ENERGY METERING WITH DEMAND CONTROL



โดย

นายณินทร์ สุวานะโสภณ

นายเนศ พยุ่งหอม

นายสุวานนท์ อรรถสุภาพงศ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

การวัดและควบคุมการใช้ไฟฟ้าอย่างชาญฉลาด

SMART ELECTRIC ENERGY METERING WITH DEMAND CONTROL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

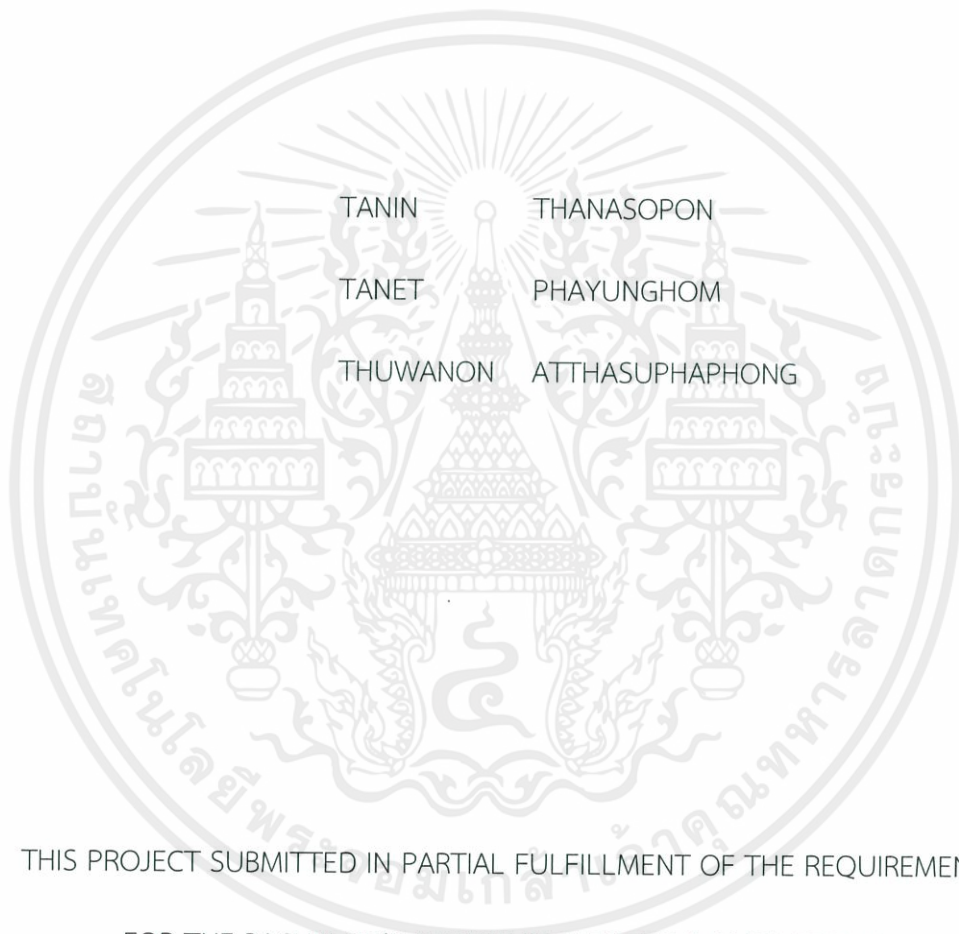
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMART ELECTRIC ENERGY METERING WITH DEMAND CONTROL



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR'S DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2561

การวัดและการควบคุมการใช้ไฟฟ้าอย่างชาญฉลาด

SMART ELECTRIC ENERGY METERING WITH DEMAND CONTROL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2561

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้ากุณฑลทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวัดและการควบคุมการใช้ไฟฟ้าอย่างชาญฉลาด

ผู้จัดทำ

1. นายณินทร์ ฐานะโสภณ
2. นายณยศ พยุห้อม
3. นายฐานนท์ อรรถสุภาพงศ์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.สมภาพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดและควบคุมการใช้ไฟฟ้าอย่างชาญฉลาด

นายธนินทร์ ฐานะโสภณ

นายธนศ พยุ่งหอม

นายจรวานนท์ อรรถสุภาพงศ์

รศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตนสัจจา อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สมภพ ผลไม้

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง โดยจะแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้า ณ ขณะนั้นผ่านทางเว็บหรือแอปพลิเคชัน ทั้งยังสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเพื่อป้องกันการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ และเราได้ทำระบบวิเคราะห์แยกชนิดโหลดทางไฟฟ้าเพื่อแสดงค่าไฟของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดเพื่อเฝ้าระวังเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานมาก โดยทั้งหมดนี้จะทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบทั้งทางด้านจิตใจในการติดตามค่าไฟ และทางด้านการปิดหรือเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำได้อย่างสะดวกรวดเร็ว ง่ายต่อการประหยัดพลังงาน

Smart Electric Energy Metering with Demand Control

Mr.TANIN THANASOPON

Mr.TANET PHAYUNGHOM

Mr.TUWANON ATTHASUPHAPHONG

Prof.Dr.Supat Kittiratsatcha Advisor

Dr.Sobpob Polmai Advisor

ABSTRACT

In this project, we investigate a problem in energy-wasting. The smart meter that illustrates the real-time electrical bill will aware the consumer to reduce energy. In addition, we also have an air conditioner and lighting control system that can be controlled via web application. Reducing energy consumption system is more useful with our load type analyzer. The load classification will help the consumer to aware of the appliance that consumes a lot of energy.

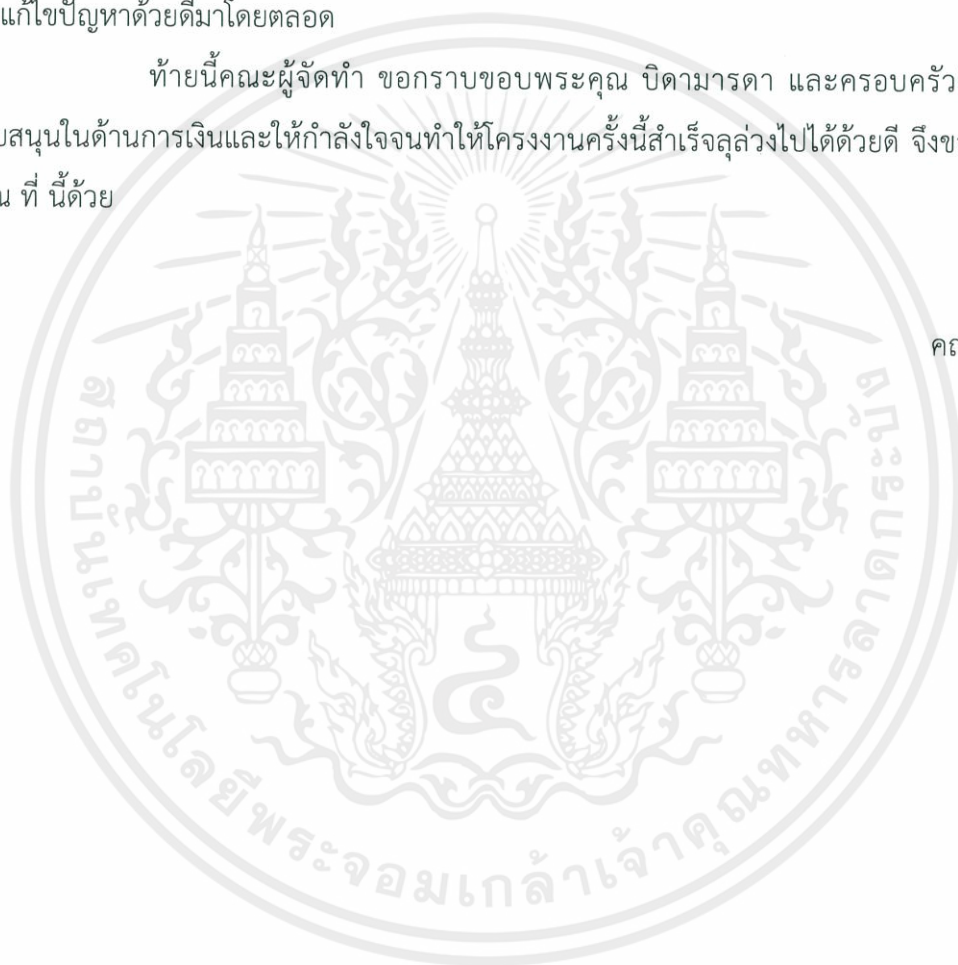
กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา และ ดร.สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด จัดหาอุปกรณ์ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอดจนปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ในห้องปฏิบัติการโครงการที่คอยช่วยเหลือทางด้านอุปกรณ์และการแก้ไขปัญหาด้วยดีมาโดยตลอด

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจจนทำให้โครงการครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่ นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand Site Management)	4
2.2 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า	8
2.3 STPM10 Energy Metering IC	9
2.4 ESP32	10
2.5 Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)	12
2.6 Infrared Communication	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างอุปกรณ์	15
3.1 ระบบการวัดและการควบคุมการใช้ไฟฟ้า	15
3.1.1 Hardware Layer	15
3.1.2 Network/Cloud Layer	16
3.1.3 Application Layer	16
3.2 การออกแบบส่วนมาตรวัดไฟฟ้าอัจฉริยะ	17
3.2.1 ชั้นที่ 1 ส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า	17
3.2.2 ชั้นที่ 1 ส่วนควบคุมและประมวลผล	19
3.2.3 ชั้นที่ 2 ส่วนแสดงผล	21
3.3 การออกแบบระบบควบคุมแสงสว่าง	22
3.3.1 ส่วนรับข้อมูล	22
3.3.2 ส่วนควบคุมแสงสว่าง	23
3.4 การออกแบบวงจรตัวรับอัจฉริยะ	24
3.5 การออกแบบระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศ	25
3.6 การออกแบบ Smart Application สำหรับ Demand Control	26
3.7 การออกแบบ Load types analyzer	27
บทที่ 4 การทดสอบและประเมินผล	30
4.1 การทดสอบรับสัญญาณและส่งสัญญาณอินฟราเรดจากรีโมทชนิดต่างๆ	30
4.1.1 ทดสอบการรับสัญญาณอินฟราเรด โดยกดแต่ละโหมตของพัดลมไอน้ำ	30
4.1.2 ทดสอบการส่งสัญญาณอินฟราเรด จากอินฟาเรดโมดูล	32
4.2 การทดลองวัดค่าทางไฟฟ้า ที่โหมตต่างๆของพัดลมไอน้ำ	34
4.3 การทดลองวัดค่าทางไฟฟ้า ที่ระดับต่างๆของหลอดไฟ	37
4.4 การทดลองวัดค่าทางไฟฟ้า ทั้งชนิด Resistive load และ Inductive load	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

โดยใช้STPM10 เทียบกับ POWER QUALITY ANALYZER PW3198

4.3.1 Resistive load	40
4.3.2 Resistive load + Inductive load	41
บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	42
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก	45
ประวัติผู้เขียน	97



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Peak Clipping	5
2.2 Valley Filling	6
2.3 Load Shifting	6
2.4 Strategic Conservation	7
2.5 Strategic Load Growth	7
2.6 รูปคลื่นแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้า	8
2.7 วงจรภายในของ STPM10	9
2.8 แผนภาพการคำนวณพลังงานจริง	10
2.9 บอร์ด ESP32	10
2.10 รูปแบบการสื่อสาร MQTT	12
2.11 Pulse Distance Encoding	13
2.12 Pulse Length Encoding	13
2.13 Manchester Encoding	14
3.1 แผนภาพองค์ประกอบของระบบ	15
3.2 แผนผังวงจรส่วนที่เชื่อมต่อกับชิป STPM10	17
3.3 แผนผังวงจรส่วนจ่ายไฟเลี้ยงและส่วนวัดแรงดันไฟฟ้า	18
3.4 ส่วนวัดกระแสไฟฟ้า	18
3.5 ส่วนส่งข้อมูลและรับคำสั่ง	19
3.6 ส่วนรับข้อมูลจาก STPM10	19

รูปที่	หน้า
3.7 ส่วนรับข้อมูลจากชั้นที่ 1	20
3.8 ส่วนจ่ายไฟเลี้ยง	20
3.9 ส่วนส่งข้อมูลและแสดงผล	21
3.10 หน้าจอ TFT LCD	21
3.11 หน้าจอ TFT LCD เมื่อประกอบเข้ากับ Arduino Uno	22
3.12 รูปแบบการรับส่งข้อมูล	22
3.13 วงจรควบคุมระบบแสงสว่างด้วย Wi-Fi	23
3.14 วงจรไฟเลี้ยง	23
3.15 วงจรควบคุมเต้ารับไฟฟ้า	24
3.16 วงจรควบคุมเครื่องปรับอากาศ	25
3.17 แผนการควบคุมโหลดภายในห้อง	26
3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงกับความเข้มแสงต่างๆ	29
3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเสมือนกับความเข้มแสงต่างๆ	29
4.1 กราฟแสดงค่าพลังงานที่วัดได้โดยใช้ STPM10 ของ Resistive load	40
4.2 กราฟแสดงค่าพลังงานที่วัดได้โดยใช้ PW3198 ของ Resistive load	40
4.3 กราฟแสดงค่าพลังงานที่วัดได้โดยใช้ STPM10 ของ Resistive load + Inductive load	41
4.4 กราฟแสดงค่าพลังงานที่วัดได้โดยใช้ PW3198 ของ Resistive load + Inductive load	41

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	3
3.1 แสดงการหาสมการของกำลังไฟฟ้าจริง(Real Power)ที่โหลดต่างๆ	27
3.2 แสดงการหาสมการของกำลังไฟฟ้าปรากฏ(Apparent Power)ที่โหลดต่างๆ	27
3.3 แสดงการหาสมการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ความเข้มแสงต่างๆ	28
4.1 ผลการทดลองวัดค่าทางไฟฟ้าของพัลลัมไอน้ำครั้งที่ 1	34
4.2 การทดลองวัดกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของพัลลัมไอน้ำครั้งที่ 2	35
4.3 การทดลองวัดกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของพัลลัมไอน้ำครั้งที่ 3	36
4.4 ผลการทดลองวัดค่าทางไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ ครั้งที่ 1	37
4.5 ผลการทดลองวัดค่าทางไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ ครั้งที่ 2	38
4.6 ผลการทดลองวัดค่าทางไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ ครั้งที่ 3	39

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นสูง เนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น และแต่ละบ้านก็มีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่ออำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน ดังนั้น ไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้เลยสำหรับการใช้ชีวิตในแต่ละวัน ซึ่งภาพรวมของการใช้ไฟฟ้าในบ้านของคนไทยนั้นคิดเป็นภาพรวมแล้วประมาณ 22% หรือ 1 ใน 5 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ส่วนกลุ่มที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดในประเทศคือ โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีการใช้ไฟฟ้ามากถึง 40% ของการใช้ทั้งหมด จากการสำรวจของกลุ่มคณะเศรษฐศาสตร์ โดยทางด้านมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จากครัวเรือนทั่วประเทศไทยจำนวนกว่า 2,000 ครัวเรือนในปี 2556 [1] เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนที่ใช้พลังงานมากที่สุดคือ เครื่องปรับอากาศ มีปริมาณการใช้งาน 42% สำหรับบ้านที่ใช้ไฟน้อยกว่า 150 หน่วย และที่ใช้พลังงานรองลงมาคือระบบแสงสว่าง มีปริมาณการใช้เป็น 15% แต่ในปัจจุบันก็ได้มีการทำให้ประหยัดการใช้พลังงานโดยเปลี่ยนเป็นการใช้หลอด LED แทนหลอดเผาไส้หรือฮาโลเจน ซึ่งหลอดไฟ LED มีประสิทธิภาพและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า แต่พฤติกรรมการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าของผู้คนก็ยังเป็นปัญหาในการลดการใช้พลังงาน เช่น เปิดเครื่องปรับอากาศทิ้งไว้ในห้องที่ไม่มีคนอยู่ ซึ่งเราจะเข้ามาแก้ไขปัญหานี้ให้ดีขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและชาญฉลาด

เนื่องจากในปัจจุบันระบบบ้านอัจฉริยะและเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย ได้เข้ามามีบทบาทให้เห็นในครัวเรือนมากขึ้น โดยส่วนมากจะเป็นการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันหรือเว็บเบราว์เซอร์ เพียงจะเป็นแค่การ เปิด-ปิด หรือ ลดระดับความแรงของเครื่องใช้ไฟฟ้า ผ่านผู้ใช้งานโดยตรง ซึ่งจะยังไม่ค่อยมีระบบที่ช่วยให้ประหยัดพลังงานและวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ เราจึงสร้างมิเตอร์อัจฉริยะที่สามารถวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟในแต่ละชั่วโมง ของผู้ใช้ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ตระหนักถึงการใช้ไฟฟ้าที่มากเกินไปและมีมิเตอร์นี้ยังสามารถควบคุมการใช้งานผ่านแอปพลิเคชันและเว็บเบราว์เซอร์ได้หรือผ่านการควบคุมอัตโนมัติโดยผ่านระบบบ้านอัจฉริยะ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองในครัวเรือน
2. เพื่อออกแบบมิเตอร์วัดไฟฟ้า ที่แม่นยำตรงตามมาตรฐานมิเตอร์ไฟฟ้า
3. เพื่อศึกษาการควบคุมเครื่องปรับอากาศและระบบแสงสว่าง ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
4. เพื่อศึกษาการเขียนเว็บเซิร์ฟเวอร์เพื่อรองรับการทำงานต่าง ๆ

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ออกแบบและสร้างส่วนของมิเตอร์ไฟฟ้า ให้วัดได้ตรงตามมาตรฐานมิเตอร์ไฟฟ้า
2. ออกแบบและสร้างส่วนการควบคุมเครื่องปรับอากาศ ด้วยวิธีล็อกสัญญาณอินฟราเรด
3. ออกแบบและสร้างส่วนการควบคุมระบบแสงสว่าง โดยควบคุมผ่านสัญญาณ Wi-Fi
4. ออกแบบและสร้างส่วนการควบคุมการเปิด-ปิด ของเต้ารับไฟฟ้า
5. กำหนดหน้าตาเว็บไซต์และสร้างเซิร์ฟเวอร์เพื่อรองรับข้อมูลและคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์
6. ออกแบบระบบบ้านอัจฉริยะที่ช่วยให้ประหยัดการใช้ไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับมาตรฐานมิเตอร์ไฟฟ้า
2. ศึกษาโปรโตคอลการส่งสัญญาณอินฟราเรด เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
3. ศึกษาโปรโตคอลDMX512 เพื่อควบคุมการทำงานระบบแสงสว่าง
4. ศึกษาและทำการเขียนแผ่น Printed Circuit Board
5. เขียนโปรแกรมการควบคุมระบบต่างๆผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์
6. ทดสอบระบบควบคุมแสงสว่างและเครื่องปรับอากาศ ผ่านหน้าเว็บเบราว์เซอร์
7. ออกแบบระบบบ้านอัจฉริยะ โดยกำหนดเงื่อนไขต่างๆ โดยใช้เซนเซอร์รับข้อมูลสภาพแวดล้อม
8. ทดสอบระบบบ้านอัจฉริยะ
9. สรุปผลการทดลอง
10. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.5 แผนการดำเนินงานโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน							
	ภาคเรียนที่ 1					ภาคเรียนที่ 2		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษามาตรฐานมิเตอร์ไฟฟ้าและสร้างวงจรมิเตอร์ไฟฟ้า	←→		→					
2.ศึกษาและสร้างวงจรการควบคุมเครื่องปรับอากาศ		←→		→				
3.ศึกษาและสร้างวงจรการควบคุมระบบแสงสว่าง				←→		→		
4.สร้างเซิร์ฟเวอร์และกำหนดหน้าตาเว็บไซต์						←→		←→
5.สร้างส่วนมิเตอร์ไฟฟ้า						←→		←→
6.สร้างส่วนการควบคุมเครื่องปรับอากาศ แสงสว่าง และเต้ารับไฟฟ้า						←→		←→
7.ทดสอบระบบทั้งหมด							←→	←→
8.จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์							←→	←→

←→ ระยะเวลาของแผนการ

←-----→ ระยะเวลาทำงานจริง

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. สร้างอุปกรณ์วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยให้เกิดการตระหนักรู้ถึงการใช้จ่ายพลังงานที่สิ้นเปลือง
2. สร้างอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านอินเทอร์เน็ต
3. สามารถพัฒนาต่อยอดระบบอัจฉริยะสำหรับบ้านเข้ากับผู้ค้ารายใหญ่ในปัจจุบันได้
4. สามารถควบคุมปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าให้น้อยลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า(Demand Site Management)

การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand-Side Management : DSM) หรือ การส่งเสริมการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ (Promotion of Electricity Energy Efficiency) [2] ในความหมายกว้างเป็นแนวทางที่เกิดขึ้นและ แพร่หลายในประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อโลกประสบวิกฤตการณ์พลังงานในช่วงทศวรรษ 1970 ทำให้ทั่วโลกได้ ตระหนักว่า การผลิตเพื่อสนองความต้องการใช้พลังงานเพียงทางเดียว ย่อมก่อให้เกิดปัญหาหลายประการติดตามมา เช่น ทรัพยากรพลังงานที่นับวันจะหมดไป ปัญหาสิ่งแวดล้อมจากมลภาวะที่เกิดจากการเผาผลาญพลังงานเพื่อผลิตไฟฟ้า เป็นต้น แนวคิดการส่งเสริมให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจึงได้รับการเผยแพร่และคิดค้นวิจัย ไปสู่ การปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรมและจริงจัง อาจกล่าวได้ว่า DSM เป็นทางเลือกเพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่งสำหรับการวางแผน พัฒนาการผลิต ส่ง และจำหน่ายไฟฟ้า

ในระดับกว้าง เป้าหมายของ DSM คือการใช้ทรัพยากรพลังงานอย่างเหมาะสม (optimizing energy resources) โดยมีวัตถุประสงค์หลักที่การลดต้นทุนรวมของสังคม และในวัตถุประสงค์ที่กว้างไปกว่านั้นคือ การ ปรับปรุงแก้ไขสภาพแวดล้อมและเพิ่มความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจ ซึ่งบางครั้งวัตถุประสงค์เหล่านี้ก็ นำมาใช้ในการพิจารณาด้วย

ในระดับแคบลงมา คือในระดับองค์กรหรืออุตสาหกรรมไฟฟ้า DSM สามารถใช้เพื่อวัตถุประสงค์บางอย่าง เป็นการเฉพาะ โดยทั่วไปคือเพื่อหลีกเลี่ยงหรือชะลอการสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ ออกไป โดยเป็นทางเลือกที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า ในเวลาที่ข้อจำกัดทางการผลิตเป็นเรื่องเร่งด่วนยังสามารถใช้ DSM เพื่อดำรงความสามารถของระบบ (หลีกเลี่ยงการ brownouts) หรือทำให้กำลังผลิตของระบบสามารถให้บริการต่อผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ได้มากขึ้น

นิยามของ DSM ที่สั้นและได้ความหมายครอบคลุมก็คือ “กิจกรรม หรือโปรแกรมที่จัดวางหรือออกแบบ (design) โดยตั้งใจให้มีผลต่อเวลาและปริมาณการใช้ไฟฟ้า เพื่อให้การใช้ไฟฟ้าเป็นไปอย่างเหมาะสม คือใช้ ทรัพยากรพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยผู้ใช้ไฟฟ้ายังคงได้รับประโยชน์หรือความพึงพอใจเท่าเดิมหรือมากกว่า”

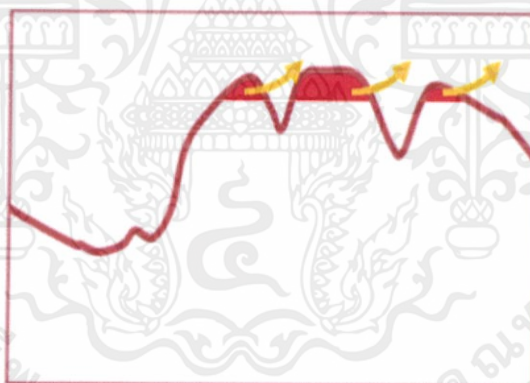
Key words ของนิยามก็คือ เวลา และ/หรือปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรม ซึ่งทำให้เรา แบ่งโครงการ DSM เป็น 2 ลักษณะ คือ

- โครงการอนุรักษ์พลังงาน หรือประหยัดพลังงาน (Energy conservation หรือ energy saving programs)
- โครงการเพื่อจัดการความต้องการไฟฟ้า (Load Management หรือในบริบทของ smart grid เรียกว่า Demand response programs)

โครงการทั้ง 2 ลักษณะนี้มีมาตรการที่ส่งเสริมและสนับสนุนผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มเป้าหมายให้ปรับปรุงแนวทางให้ สอดคล้องกับความต้องการหรือวัตถุประสงค์ของกิจกรรมไฟฟ้า เช่น เพิ่มความมั่นคงของระบบ เลื่อนการก่อสร้าง โรงไฟฟ้าหรือการขยายระบบส่ง รวมทั้งลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

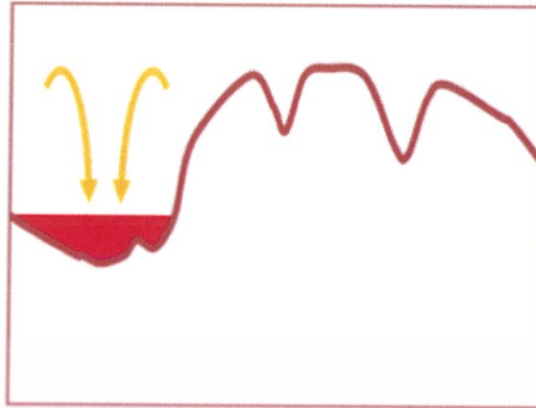
ทั้งนี้ถ้าพิจารณาจากวัตถุประสงค์ในการจัดการ load หรือความต้องการไฟฟ้า โดยพิจารณาจากแผนภาพ แสดง load curve ก็จะเข้าใจได้ง่ายขึ้น ดังนี้

1. Peak Clipping คือ มาตรการ DSM เพื่อจัดการให้ความต้องการ ไฟฟ้าสูงสุดลดลง (Reduction of peak load) วิธีการทั่วไป คือ การควบคุมเวลาและปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง เช่น การสื่อสารโดยตรงให้ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง เดินเครื่องจ่ายไฟฟ้าเข้าใช้งาน แทนการใช้ไฟฟ้าจากระบบ หรือ ที่ กฟผ. เรียกว่า Peak Cut



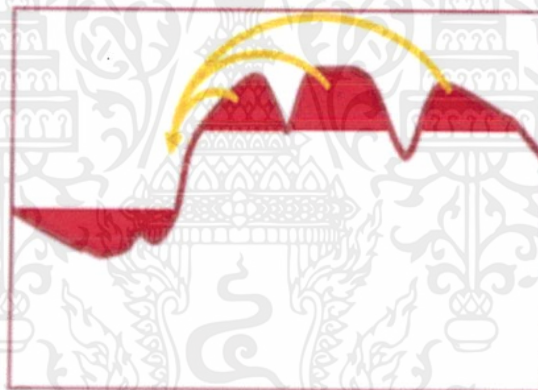
รูปที่ 2.1 Peak Clipping

2. Valley Filling คือ การเพิ่มความต้องการในช่วง off-peak ถ้าหาก ต้นทุนหน่วยสุดท้าย (marginal cost) ต่ำกว่าราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย การใช้วิธีการเพิ่มปริมาณจำหน่าย ก็จะทำให้ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำลงได้ วิธีการที่นิยมใช้สำหรับเป้าหมายนี้ก็คือ ส่งเสริมการใช้เทคโนโลยี การกักเก็บพลังงาน (Energy Storage) ในช่วงที่มีต้นทุนต่ำเช่น เวลากลางคืน ใช้ไฟฟ้าทำความเย็นแล้วกักเก็บไว้ด้วยเทคโนโลยีต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในช่วงกลางวัน หรือช่วง peak นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการส่งเสริมการใช้รถยนต์ไฟฟ้าเพื่อรักษา สิ่งแวดล้อม ก็เป็นการเพิ่มความต้องการไฟฟ้าช่วง off-peak ได้



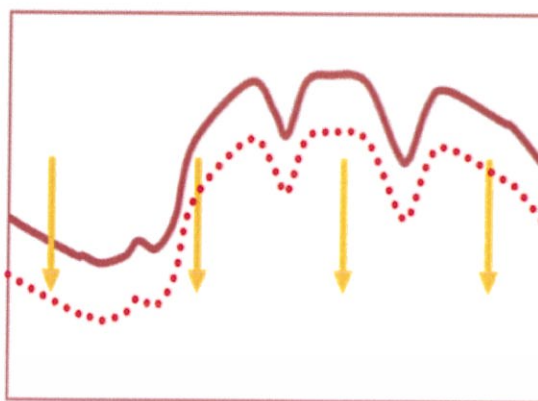
รูปที่ 2.2 Valley Filling

3. Load Shifting คือ เลื่อนการใช้ไฟฟ้าจากช่วง peak มาสู่ off-peak เป็นการเลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้าโดยผู้ใช้งาน ซึ่งผู้ใช้งาน คำนวณความคุ้มค่าเพราะต้องลงทุนหรือมีค่าใช้จ่ายในการเลื่อน เวลาการใช้ ซึ่งบางครั้งการใช้ค่าไฟฟ้าแบบพิเศษที่สะท้อนต้นทุน ตามช่วงเวลา ก็เป็นแรงจูงใจที่ดี



รูปที่ 2.3 Load Shifting

4. Strategic Conservation คือ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานซึ่ง ช่วยลดการใช้ไฟฟ้าทุกช่วงเวลา ซึ่งการส่งเสริมการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า ประสิทธิภาพสูง ดังที่ กฟผ. ดำเนินการฉลากประสิทธิภาพอุปกรณ์ เบอร์ 5 เป็นตัวอย่างการอนุรักษ์พลังงานในวัตถุประสงค์นี้ ซึ่งใช้กัน ทั่วโลกและมีต้นทุนต่ำ



รูปที่ 2.4 Strategic Conservation

5. Strategic Load Growth คือ การเพิ่ม energy sale นอกเหนือจากวิธี valley filling ทำได้โดยเพิ่มหรือส่งเสริมการใช้ ไฟฟ้าแทนเชื้อเพลิงอื่น เช่น การใช้เตาไฟฟ้าในการหุงต้มอาหาร แทนเตาแก๊ส



รูปที่ 2.5 Strategic Load Growth

โดยสรุป DSM ย่อมเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมไฟฟ้า เพราะสามารถนำ DSM มาเป็นเครื่องมือในการจัดการ ความต้องการไฟฟ้าได้ในลักษณะต่าง ๆ โดยไม่จำเป็นต้องเป็นการลดการใช้ไฟฟ้าเสมอไป เพราะการพยายามเลื่อน เวลาการใช้ไฟฟ้าจาก peak ไปสู่ off-peak period นั้น ในที่สุดอาจเป็นการเพิ่มการใช้ไฟฟ้าก็ได้ ดังเช่น ส่งเสริม การใช้รถยนต์ไฟฟ้า (electric car) ทำให้มีการชาร์จแบตเตอรี่ช่วงกลางคืนเพื่อเป็นเชื้อเพลิงจอร์รถยนต์ที่ใช้ในเวลา การวัน หรือการส่งเสริมการใช้เตาไฟฟ้า (Induction cooker) แทนเตาแก๊ส เป็นต้น อย่างไรก็ตาม กลยุทธ์เหล่านี้ เป็นประโยชน์ในการจัดสรรทรัพยากรพลังงานของประเทศ ให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมสำหรับสภาวะหรือเงื่อนไขของแต่ละระบบเศรษฐกิจ แต่ประโยชน์ที่ได้ร่วมกันแน่นอนก็คือ การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือลด ภาวะโลกร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ กฟผ. การดำเนินงาน DSM ที่เป็นหลักมาเกือบ 20 ปี ยังเป็นเรื่องของการอนุรักษ์พลังงานหรือ strategic conservation โดยผ่านกระบวนการติดฉลากเบอร์ 5 (Standard Labelling) สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ (ส่วนมากเป็นอุปกรณ์ในที่อยู่อาศัย) ซึ่งประสบผลสำเร็จด้วยดี แต่ กฟผ. ก็ยังมีโอกาส (Potential) อีกมากในการ เก็บเกี่ยวประโยชน์จากงาน DSM ด้วยกลยุทธ์ peak clipping, load shifting, valley filling หรือแม้แต่ strategic load growth ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของหน่วยงาน DSM ที่จะนำเสนอ และดำเนินการเชิงรุกเพื่อประโยชน์ของ กฟผ. และประเทศชาติต่อไป

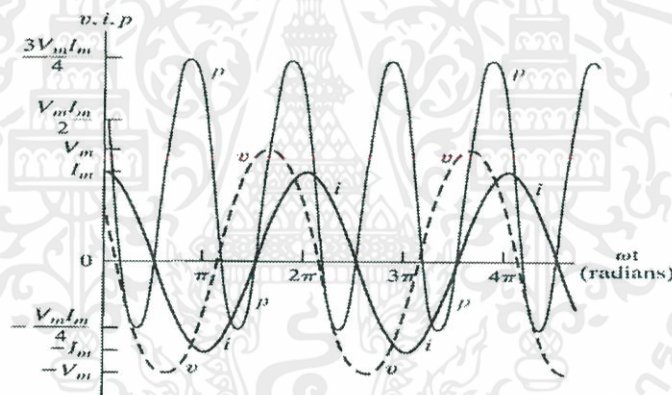
2.2 กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ Instantaneous Power

$$p(t) = v(t) * i(t)$$

เมื่อ $v(t)$ คือ แรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ $v(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v)$

$i(t)$ คือ กระแสไฟฟ้าชั่วขณะ $i(t) = I_m \cos(t + \theta_i)$



รูปที่ 2.6 รูปคลื่นแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้า

$$p(t) = v(t) * i(t)$$

$$p(t) = V_m I_m \cos(\omega t + \theta_v - \theta_i) \cos(\omega t)$$

$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i) + \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i) \cos(2\omega t) - \frac{V_m I_m}{2} \sin(\theta_v - \theta_i) \sin(2\omega t)$$

กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power)

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} p(t) dt = \frac{V_m I_m}{2} \cos(\theta_v - \theta_i)$$

กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q = \frac{V_m I_m}{2} \sin(\theta_v - \theta_i)$$

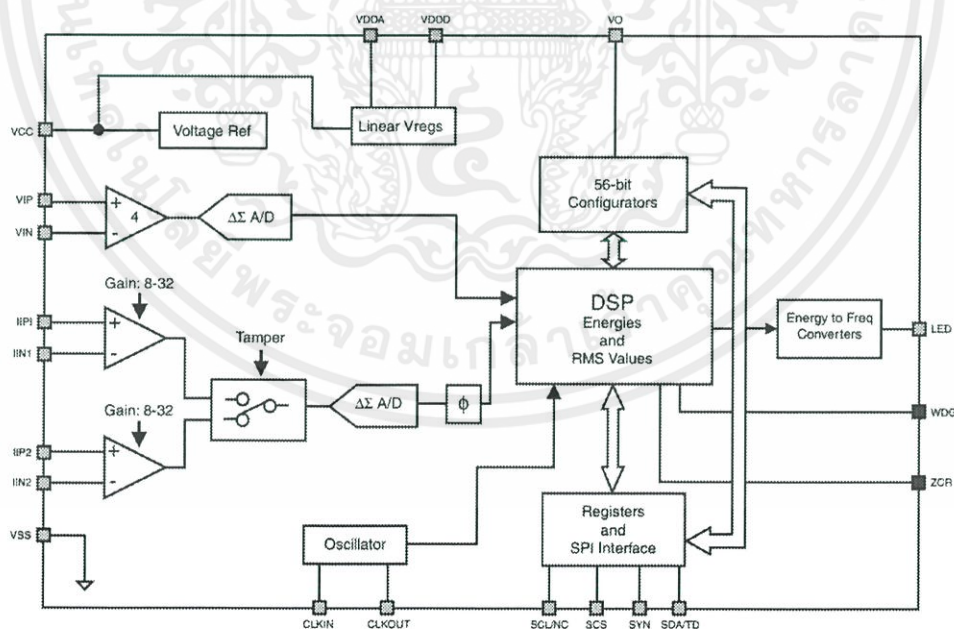
กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power)

$$S = P + jQ$$

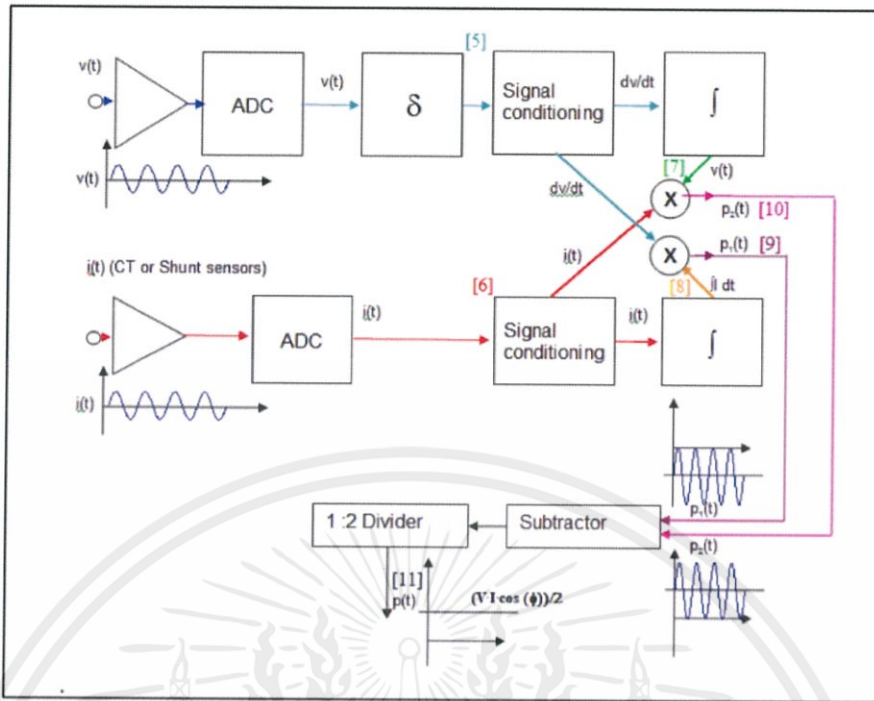
2.3 STPM10 Energy Metering IC

STPM10 เป็น IC สำหรับวัดพลังงานไฟฟ้า ถูกออกแบบให้ใช้งานเป็นส่วนต่อขยาย (Peripheral) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ มี SPI Interface สำหรับสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านชุดคำสั่งเฉพาะ เพื่อการตั้งค่า การปรับเทียบ (Calibrate) และการอ่านค่าพลังงานไฟฟ้า คุณลักษณะสำคัญ

- วัดพลังงานจริง เสมือน และ ปรากฏ (Active, reactive, apparent energies)
- วัดค่า RMS ของแรงดันและกระแส
- วัดความถี่
- ระบบตัวจับการรบกวนที่สายไลน์และ นิวทรัล
- รองรับมาตรฐาน IEC62052-11, IEC62053-2X
- ความผิดพลาดน้อยกว่า 0.1% ใน 1000:1 range



รูปที่ 2.7 วงจรภายในของ STPM10



รูปที่ 2.8 แผนภาพการคำนวณพลังงานจริง

2.4 ESP32

DOIT ESP32 DEVKIT V1 PINOUT

Pin	Function	Color
pin1	VDD 3V3	Red
pin2	GND	Black
pin3	GP1015 (I2C_SDA) / I2C_SDA / I2C_SDA	Blue
pin4	GP102	Blue
pin5	GP104 (I2C_SCL) / I2C_SCL / I2C_SCL	Blue
pin6	GP106 (I2C_ADDR) / I2C_ADDR / I2C_ADDR	Blue
pin7	GP107	Blue
pin8	GP108	Blue
pin9	GP109	Blue
pin10	GP110	Blue
pin11	GP111	Blue
pin12	GP112	Blue
pin13	GP113	Blue
pin14	GP114	Blue
pin15	GP115	Blue
pin16	GP116	Blue
pin17	GP117	Blue
pin18	GP118	Blue
pin19	GP119	Blue
pin20	GP120	Blue
pin21	GP121	Blue
pin22	GP122	Blue
pin23	GP123	Blue
pin24	GP124	Blue
pin25	GP125	Blue
pin26	GP126	Blue
pin27	GP127	Blue
pin28	GP128	Blue
pin29	GP129	Blue
pin30	GP130	Blue
pin31	GP131	Blue
pin32	GP132	Blue
pin33	GP133	Blue
pin34	GP134	Blue
pin35	GP135	Blue
pin36	GP136	Blue
pin37	GP137	Blue
pin38	GP138	Blue
pin39	GP139	Blue

รูปที่ 2.9 บอร์ด ESP32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ Microcontroller จากบริษัท Espressif ที่เน้นการนำไปใช้ในด้าน IoT โดยในตัว Esp32 นั้น สามารถ ใช้ โมดูล WIFI และ Bluetooth และ ประหยัดพลังงาน จึงเหมาะกับการนำไปใช้งานในหลากหลายรูปแบบ และ ระบบ Standalone สามารถอยู่ได้หลากหลายภูมิภาคโดยทนอุณหภูมิตั้งแต่ -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส

Features

WIFI

- 802.11 b/g/n
- (2.4 GHz), up to 150 Mbps

Bluetooth

- Compliant with Bluetooth v4.2 BR/EDR

CPU and Memory

- Xtensa® 32-bit microprocessor(s)
- 80MHz clock frequency, up to 160 MHz
- 448 KB ROM
- 520 KB SRAM
- 16 KB SRAM in RTC

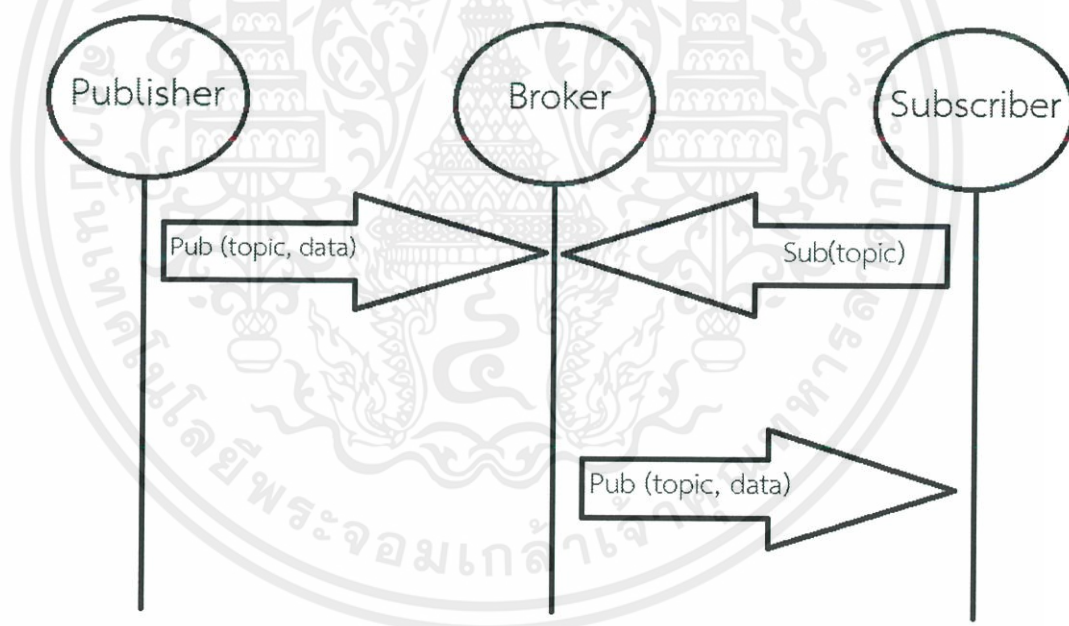
Peripheral Interfaces

- 34 programmable GPIOs
- 12-bit SAR ADC up to 18 channels
- 2x 8-bit DAC
- 10 touch sensors
- x SPI
- x I²S
- x I²C
- 2 x LED PWM up to 16 channels
- 2 x UART

2.5 Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

เป็น Protocol ที่ออกแบบมาเพื่อการเชื่อมต่อแบบ M2M (machine-to-machine) คืออุปกรณ์กับอุปกรณ์ ออกแบบมาเพื่อเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) คือเทคโนโลยีที่อินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ รถยนต์ โทรศัพท์ ตู้เย็น เข้ากับอินเทอร์เน็ตทำให้สามารถเชื่อมโยงสื่อสารกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะทำให้สามารถ ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ตจากระยะไกลได้

เนื่องจากโปรโตคอลตัวนี้มีขนาดข้อมูลที่ส่งต่ำมาก จึงออกแบบมาเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก การรับส่งข้อมูลในเครือข่ายที่มีขนาดเล็ก แบนวิธต่ำ ใช้หลักการแบบ publisher / subscriber คล้ายกับหลักการที่ใช้ใน Web Service ที่ต้องใช้ Web Server เป็นตัวกลางระหว่างคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ แต่ MQTT จะใช้ตัวกลางที่เรียกว่า Broker เพื่อทำหน้าที่จัดการคิว รับ - ส่ง ข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ และทั้งในส่วนที่เป็น Publisher และ Subscriber ดังภาพ



รูปที่ 2.10 รูปแบบการสื่อสาร MQTT

2.6 Infrared Communication

การควบคุมอุปกรณ์ด้วยสัญญาณอินฟราเรดเป็นการควบคุมที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยจะส่งและรับแสงอินฟราเรดไปยังอุปกรณ์ที่มีตัวรับหรือตัวส่งสัญญาณอินฟราเรดภายในระยะทางที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

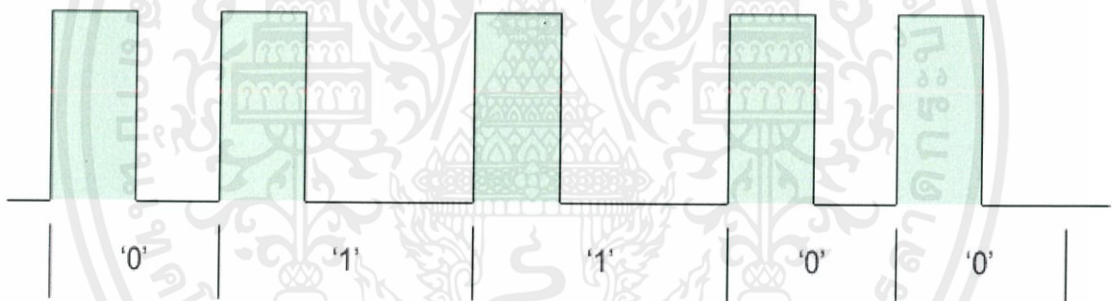
ข้อดีที่ใช้แสงอินฟราเรดในการสื่อสารมี 2 ข้อ หลักๆ คือ

1. Diode ที่ใช้ปล่อยแสงอินฟราเรดมีราคาถูกและใช้งานง่าย
2. แสงอินฟราเรดเป็นแสงที่มองไม่เห็นแต่สามารถตรวจจับได้

Modulation and Methods of Encoding เพื่อให้แน่ใจว่าสัญญาณอินฟราเรดนั้นถูกส่งไปยังอุปกรณ์ที่เราต้องการอย่างแม่นยำ จึงต้องใช้การ modulation การควบคุมด้วยสัญญาณอินฟราเรดนั้นจะใช้ Pulse Code Modulation (PCM) ซึ่งพาหะในการ Modulation จะมีความถี่อยู่ในช่วง 30kHz to 58kHz ส่วนในการส่งข้อมูลจะให้หลอด LED เปิดและปิดด้วยความถี่ของ carrier modulation และตัวรับจะนำ สัญญาณที่ได้รับมาจับเอาเฉพาะสัญญาณข้อมูลที่ต้องการ

ในการอ่านข้อมูลขณะที่ LED ไม่ส่องแสงจะเรียกช่วงนั้นว่า space ถ้า LED ส่องแสงจะเรียกช่วงนั้นว่า mark โดย space คือ High logic และ mark คือ Low logic แต่การตีความข้อมูลนั้นจะไม่ได้ใช้ logic High หรือ Low ของ space และ mark แต่จะมีการตีความข้อมูลอยู่หลายรูปแบบ เช่น

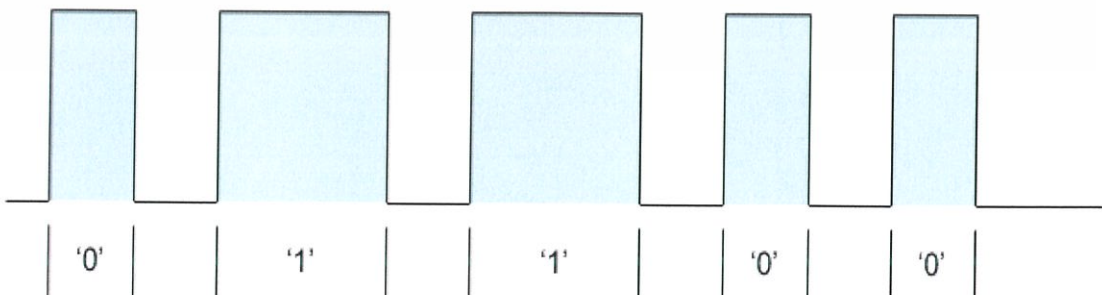
Pulse Distance Encoding



รูปที่ 2.11 Pulse Distance Encoding

รูปแบบนี้ช่วง mark จะมีช่วงเท่าเดิมแต่ space จะต่างกันไปในการตีความให้เป็น 0 หรือ 1 ดังรูป โดย ถ้า space มีความกว้างเท่ากับ mark จะมีตรรกะเป็น 0 และ ถ้า space มีความกว้างประมาณ 3 เท่า จะมีตรรกะเป็น 1

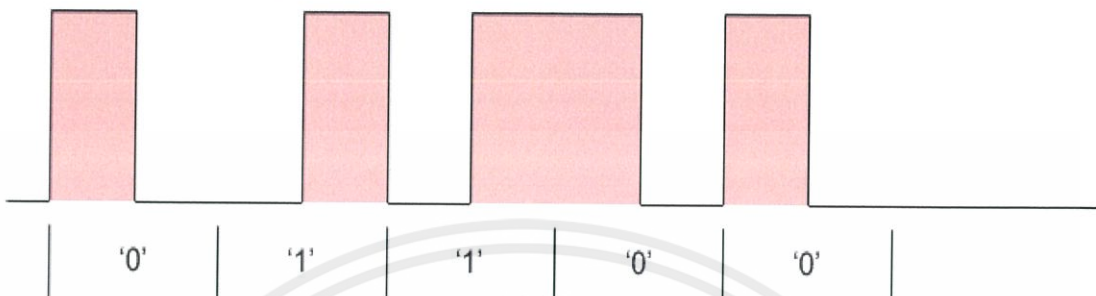
Pulse Length Encoding



รูปที่ 2.12 Pulse Length Encoding

รูปแบบนี้ จะเป็น 0 หรือ 1 ขึ้นอยู่กับ ช่วงกว้างของ mark ถ้า mark แคบจะมี ตรรกะเป็น 0 ถ้ากว้างจะเป็น 1

Manchester Encoding



รูปที่ 2.13 Manchester Encoding

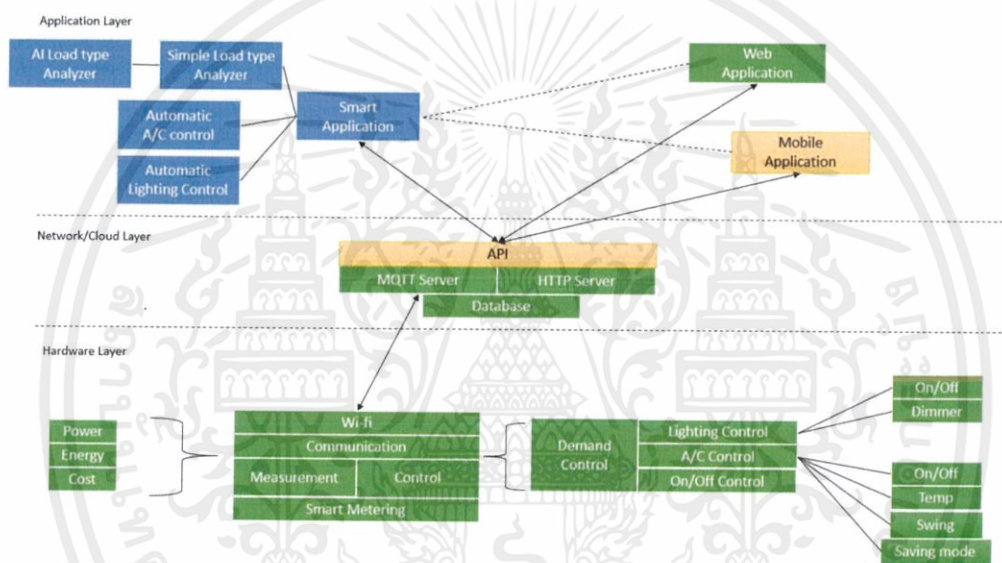
รูปแบบนี้การตีความให้เป็น 0 หรือ 1 จะมีความถี่ในการอ่านเท่ากันและช่วงกว้างของ space และ mark มีขนาดเท่ากัน โดยจะเป็น 1 เมื่อครึ่งแรกของคาบเป็น mark เป็น 0 เมื่อช่วงแรกของคาบเป็น space ดังรูป

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้างอุปกรณ์

3.1 ระบบการวัดและการควบคุมการใช้ไฟฟ้า

ระบบการวัดและการควบคุมการใช้ไฟฟ้าแบ่งออกเป็นสามส่วนได้แก่ ส่วนอุปกรณ์ (Hardware Layer) ส่วนการเชื่อมต่อ (Network/Cloud Layer) และส่วนการควบคุม (Application Layer) โดยแต่ละส่วนทำงานร่วมกันเป็นระบบหรือแพลตฟอร์มที่มีวัตถุประสงค์เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 3.1 แผนภาพองค์ประกอบของระบบ

3.1.1 Hardware Layer ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่มีหน้าที่

- วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยวัดค่า แรงดัน (V) กระแส (A) คำนวณค่ากำลังไฟฟ้า (W, Var, VA) และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไป (Unit, kWh) โดยรองรับมาตรฐาน IEC62052-11 และ IEC62053-2x โดยเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง 6 เดือน
- ควบคุมการทำงานของระบบแสงสว่าง
 - ควบคุมการเปิด - ปิด
 - ควบคุมการปรับหรี่
- ควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศ
 - ควบคุมการเปิด - ปิด
 - ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศตามโหมดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 Network/Cloud Layer เป็นส่วน Server สำหรับรองรับการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ใน Hardware Layer กับอุปกรณ์ใน Application Layer ประกอบด้วย

- HTTP Server
- MQTT Server
- MySQL Database

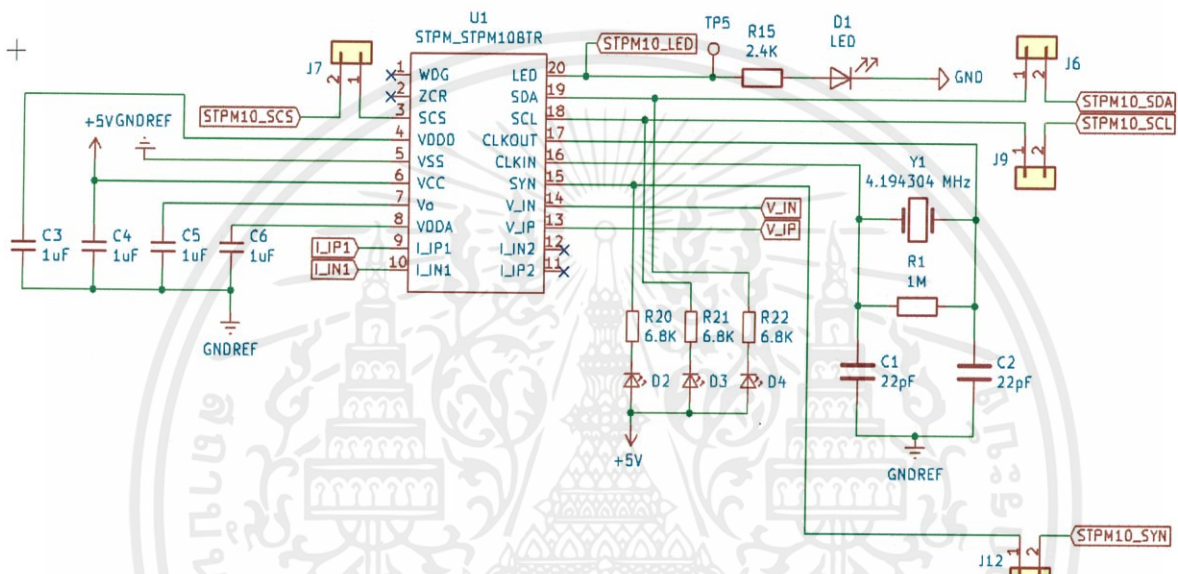
นอกจากนี้ยังมี API (Application Programming Interface) รองรับการใช้งานเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ใน Hardware Layer

3.1.3 Application Layer เป็นส่วนของการทำงานหรือโปรแกรมที่สร้างอยู่บนฐานของ Hardware Layer และ Network Layer เพื่อการแสดงผลการวัดค่าไฟฟ้าและควบคุมการทำงานของโหลดไฟฟ้า โดยมีสองส่วนประกอบใหญ่ ๆ คือ

- Web Application และ Mobile Application เพื่อรองรับการใช้งานผ่าน Computer และ Smartphone
- Smart Application หรือ โปรแกรมการควบคุมโหลดไฟฟ้าแบบอัจฉริยะ โดยอาจเป็นทำงานแบบอัตโนมัติเช่น สั่งปิดไฟหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อไม่มีคนใช้ จนไปถึงการใช้ AI (Artificial Intelligent) สั่งควบคุมโหลด

3.2 การออกแบบส่วนมาตรวัดไฟฟ้าอัจฉริยะ

ในการออกแบบส่วนของมิเตอร์ไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้และส่งข้อมูลการใช้ไฟฟ้าไปเก็บไว้ใน Server บน Internet โดยมีข้อกำหนดที่สำคัญคือ ต้องสามารถวัดได้แม่นยำตรงตามมาตรฐานมิเตอร์ไฟฟ้า IEC [5] เราจึงเลือกใช้ IC (Integrated Circuit) STM10BTR ในการวัด ซึ่งรองรับมาตรฐาน IEC และออกแบบวงจรมิเตอร์โดยตามคำแนะนำจาก Application Note [3] ของบริษัทSTMicroelectronics โดยออกแบบเป็น 2 ชั้น



รูปที่ 3.2 แผนผังวงจรส่วนที่เชื่อมต่อกับชิป STPM10

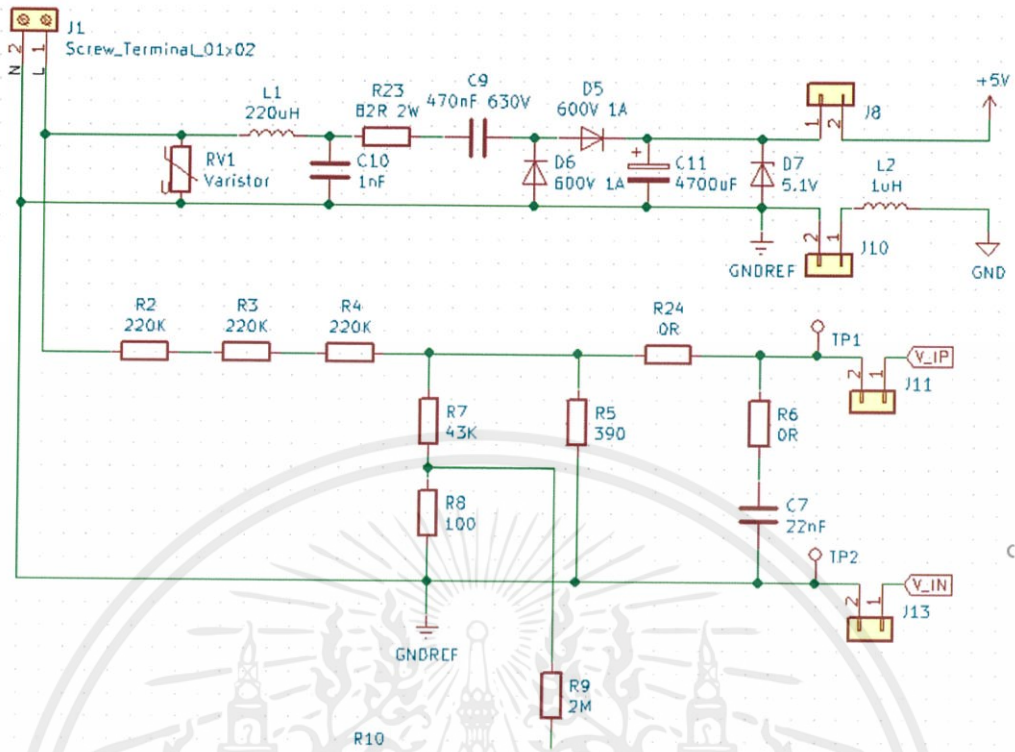
3.2.1 ชั้นที่ 1 ส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า ประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ

1.) ส่วนจ่ายไฟเลี้ยง ประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่

- 1.1) Varistor สำหรับ Surge protection
- 1.2) capacitive power supply เพื่อแปลงแรงดัน AC-DC
- 1.3) EMC Filter เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน

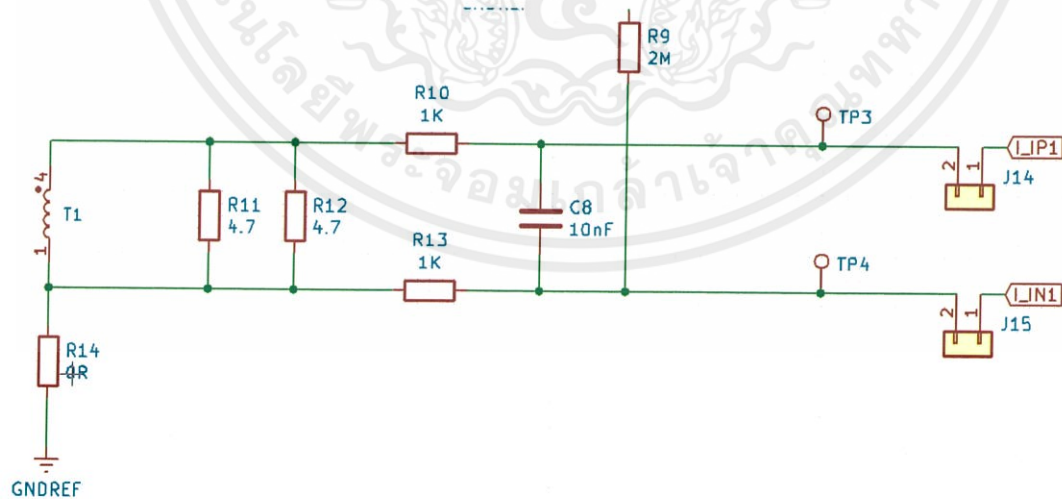
2.) ส่วนวัดแรงดันไฟฟ้า หน้าที่วัดแรงดันไฟฟ้า โดยใช้วงจรแบ่งแรงดัน เพื่อลดระดับ

แรงดันจาก 220 VAC เป็น 0.3 VAC เพื่อให้ชิป STM10BTR วัดได้โดยไม่เกิดความเสียหาย



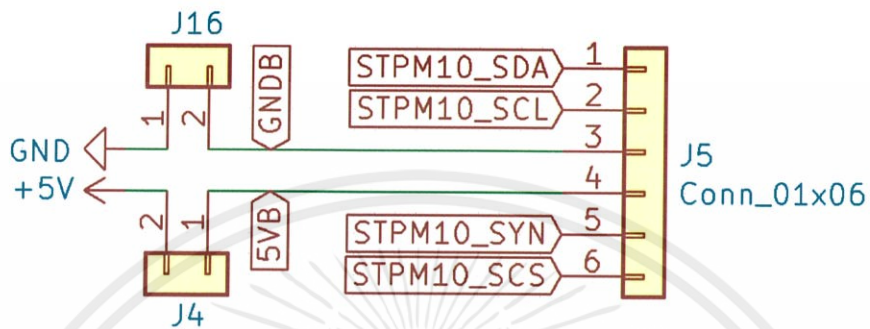
รูปที่ 3.3 แผนผังวงจรส่วนจ่ายไฟเลี้ยงและส่วนวัดแรงดันไฟฟ้า

3.) ส่วนวัดกระแสไฟฟ้า ทำหน้าที่วัดกระแสไฟฟ้า โดยใช้หม้อแปลงกระแส (Current Transformer) ที่มีอัตราส่วน 1:2000 ทำให้ลดกระแส เพื่อให้เกิดแรงดันเข้าชิป STPM10BTR เพียง 0.3 V



รูปที่ 3.4 ส่วนวัดกระแสไฟฟ้า

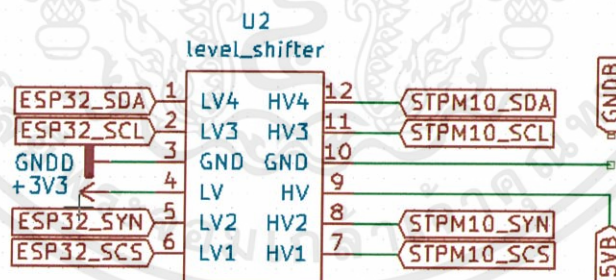
4.) ส่วนส่งข้อมูลและรับคำสั่ง จะส่งข้อมูลผ่าน SPI bus ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เพื่อคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าและเก็บข้อมูลไว้ใน SD card โดยจะเชื่อมกันโดยต่อ pin header สองชั้นเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.5 ส่วนส่งข้อมูลและรับคำสั่ง

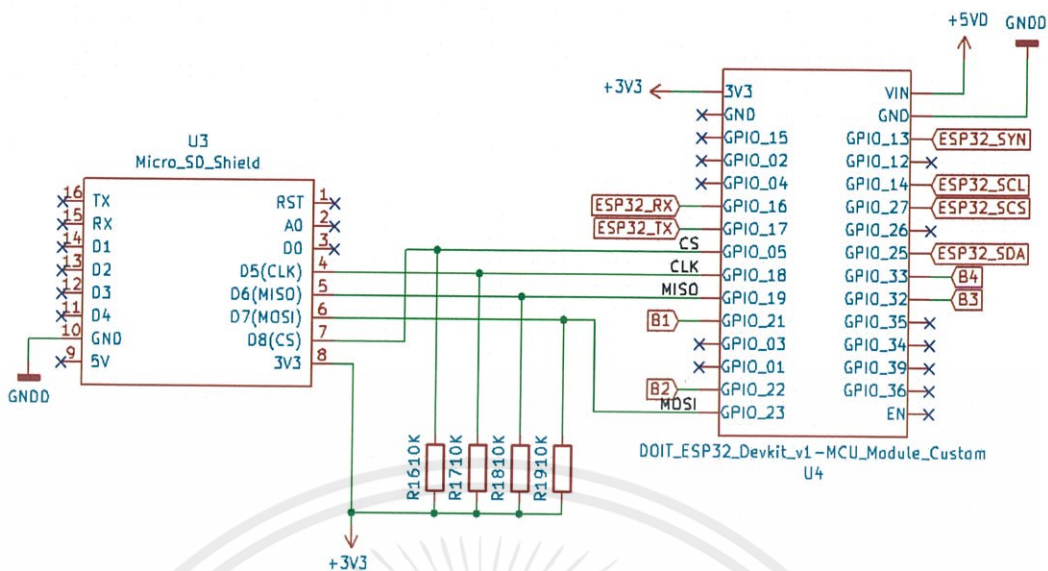
3.2.2 ชั้นที่ 1 ส่วนควบคุมและประมวลผล ประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ

1.) ส่วนรับข้อมูลจาก STPM10 โดยจะใช้ Logic level shifter เพื่อลดระดับแรงดันของสัญญาณข้อมูลจาก 5 V เป็น 3.3 V เพื่อให้ ESP32 สามารถอ่านข้อมูลได้



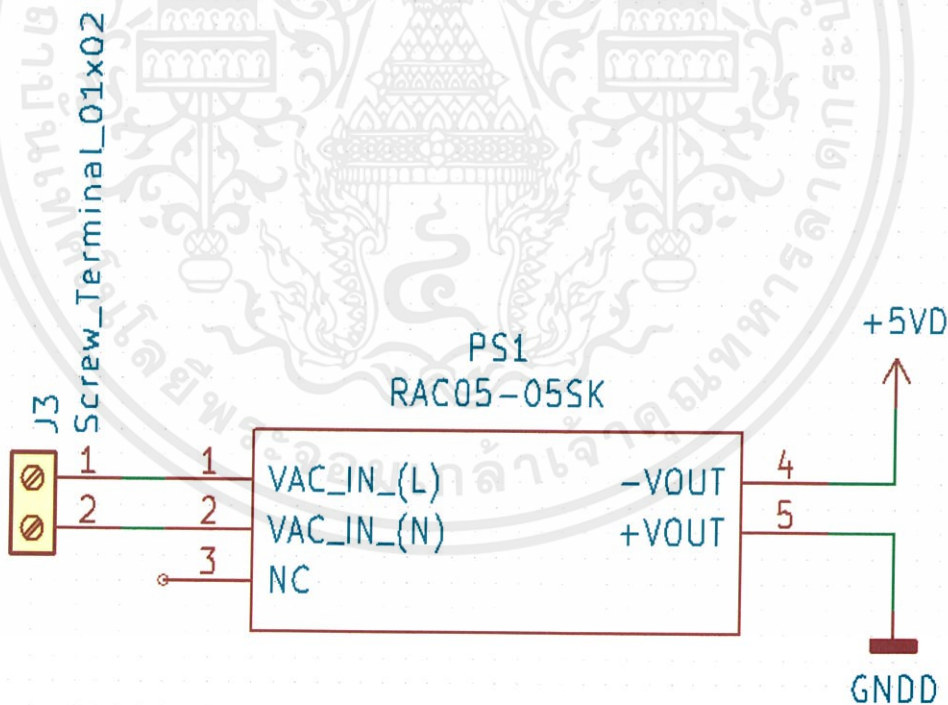
รูปที่ 3.6 ส่วนรับข้อมูลจาก STPM10

2.) ส่วนประมวลผลและเก็บข้อมูล ใช้ ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก อ่านค่าจาก STPM10BTR ผ่าน SPI เพื่อคำนวณ และเก็บข้อมูลลงใน SD card แล้วจึงส่งผลขึ้น Cloud server โดยตัว ESP32 นี้จะรองรับการใช้ Wi-Fi ซึ่งเราจะให้ทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบ Wi-Fi ของผู้ใช้ที่มีอยู่แล้ว



รูปที่ 3.7 ส่วนประมวลผลและเก็บข้อมูล

3.) ส่วนจ่ายไฟเลี้ยงให้ ESP32 โดยใช้ AC/DC module

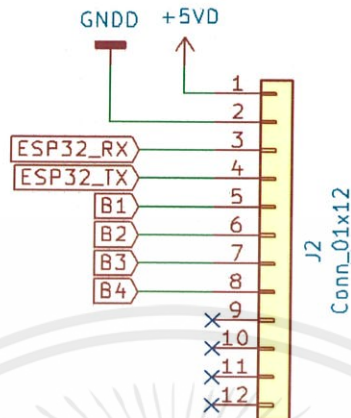


รูปที่ 3.8 ส่วนจ่ายไฟเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) ส่วนส่งข้อมูลเพื่อแสดงผล ส่งข้อมูลให้Arduino/Uno เพื่อแสดงผลขึ้นหน้าจอ

LCD



รูปที่ 3.9 ส่วนส่งข้อมูลเพื่อแสดงผล

3.2.3 ชั้นที่ 2 ส่วนแสดงผล ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1.) ส่วนควบคุมการแสดงผลและหน้าจอ จะแสดงผลข้อมูลผ่าน I2C bus โดย Arduino จะรับคำสั่งการแสดงผลข้อมูลจาก ESP32 เพื่อการควบคุมจอ OLED ที่ง่ายขึ้น เนื่องจาก Arduino มี Library ที่รองรับการควบคุมจอ OLED ที่สะดวกและใช้งานง่าย



รูปที่ 3.10 หน้าจอ TFT LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

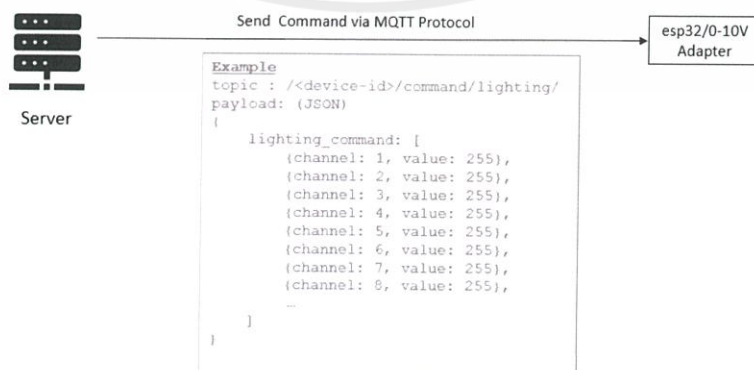


รูปที่ 3.11 หน้าจอ TFT LCD เมื่อประกอบเข้ากับ Arduino Uno

3.3 การออกแบบระบบควบคุมแสงสว่าง

ระบบควบคุมแสงสว่างจะทำหน้าที่เปิดปิดไฟรวมทั้งควบคุมระดับแสงตามที่ต้องการ และสามารถปรับความสว่างให้เหมาะสมกับกิจกรรมที่ทำเพื่อลดพลังงานได้ โดยมีการออกแบบให้รองรับ การควบคุมผ่านระบบไร้สาย (Wi-Fi) โดยทั้งสองแบบสามารถสั่งการผ่าน อินเทอร์เน็ต และสามารถตั้งค่าโหมดที่เราต้องการได้ แบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ

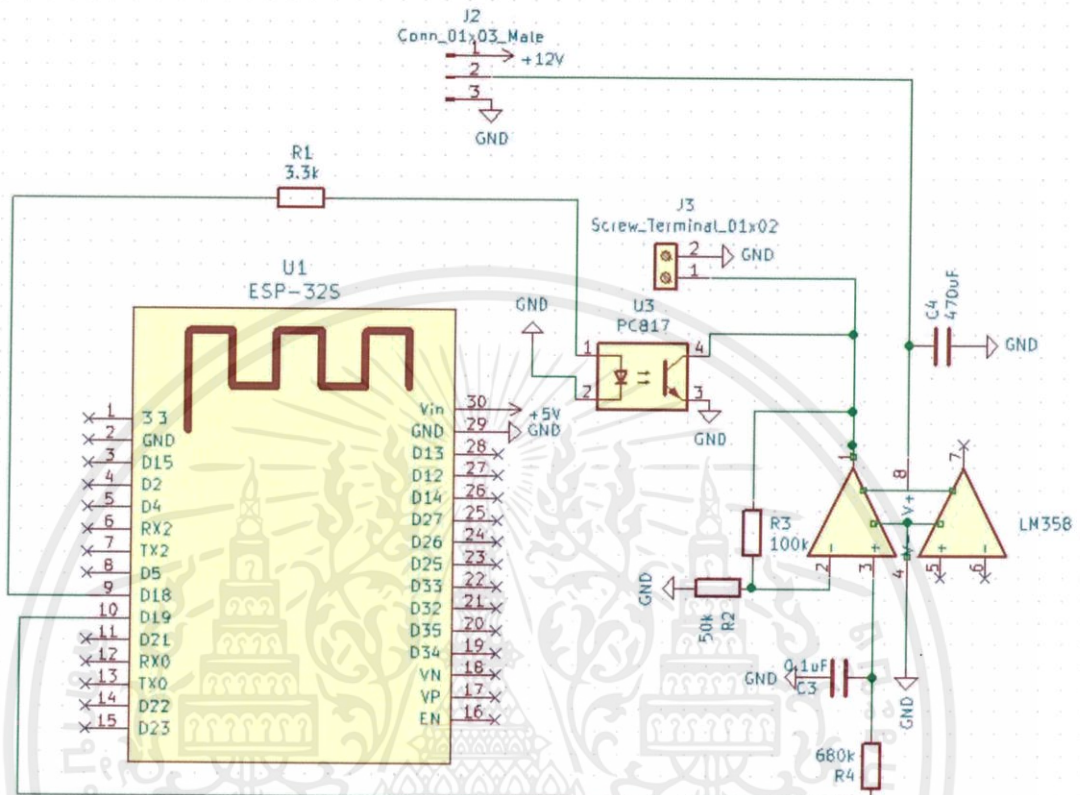
3.3.1. ส่วนรับข้อมูล ในส่วนของการควบคุมระบบแสงสว่างแบบไร้สายนั้นจะรับข้อมูลคำสั่งจาก Server ผ่าน MQTT Protocol



รูปที่ 3.12 รูปแบบการรับส่งข้อมูล

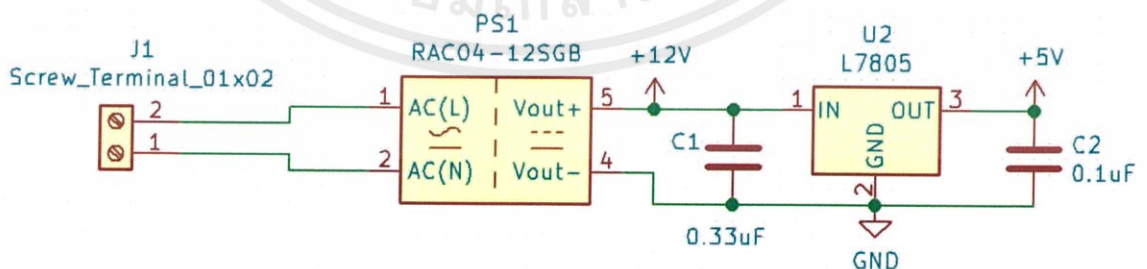
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2. ส่วนควบคุมแสงสว่าง เมื่อได้รับข้อมูลแล้ว Microcontroller จะนำมาส่งต่อให้ operational amplifier เพื่อเพิ่มระดับแรงดันสัญญาณ จาก 0 – 3.3 V เป็น 0 – 10 V แล้วจึงส่งให้ LED Driver ที่ควบคุมแสงสว่างแบบ 0 – 10 V ดังภาพที่ 3.2.2



รูปที่ 3.13 วงจรควบคุมระบบแสงสว่างด้วย Wi-Fi

โดยไฟเลี้ยงของวงจรมันเราจะใช้ 220 VAC to 12 VDC Converter เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้ operational amplifier จากนั้นใช้ Regulator เพื่อแปลงจาก 12 VDC เป็น 5 VDC เพื่อจ่ายให้ ESP32

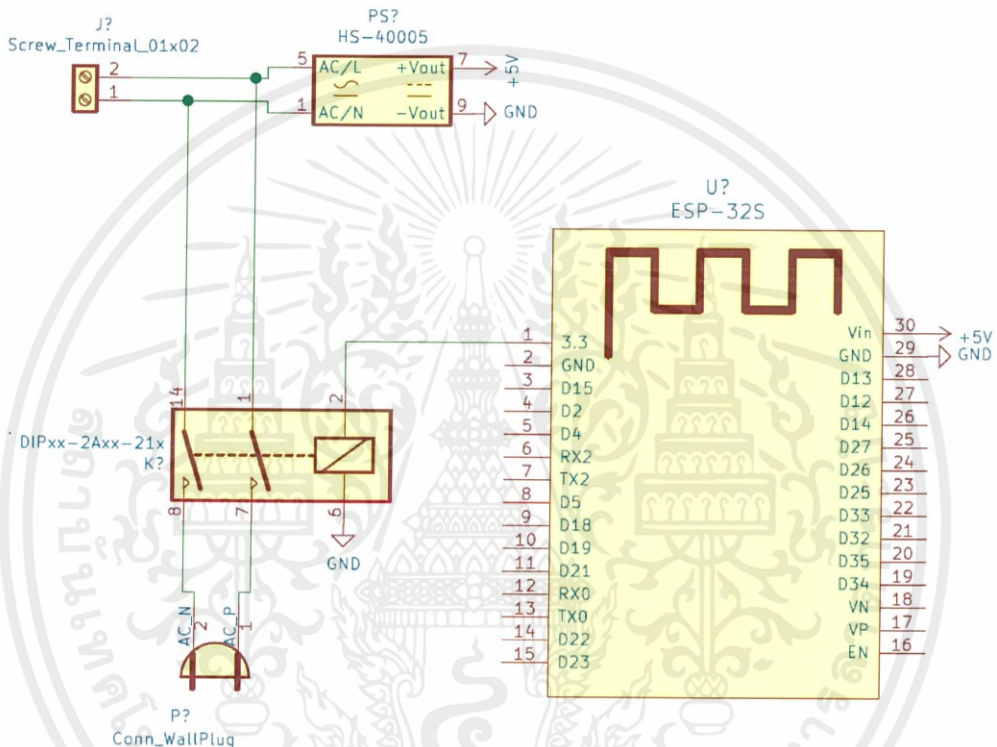


รูปที่ 3.14 วงจรไฟเลี้ยง

3.4 การออกแบบวงจรตัวรับอัจฉริยะ

ตัวตัวรับออกแบบมาเพื่อให้สั่งเปิดปิดอุปกรณ์ที่ต่อกับตัวรับนั้น ๆ เปรียบเสมือนกับการถอดปลั๊ก ทำให้เราสามารถตรวจสอบหรือตั้งเวลาการเปิดปิดได้

โดยในการออกแบบนั้นจะใช้ รีเลย์ ที่สามารถปิด/เปิดสวิตช์ ได้สองทาง เพื่อให้ตัดทั้ง Line และ Neutral เพื่อป้องกันการแตะโดนช่อง Line ส่วนตัวสั่งการเราก็ใช้ ESP32 ทำให้สามารถสั่งการผ่าน อินเทอร์เน็ตได้



รูปที่ 3.15 วงจรควบคุมตัวรับไฟฟ้า

3.6 การออกแบบ Smart Application สำหรับ Demand Control

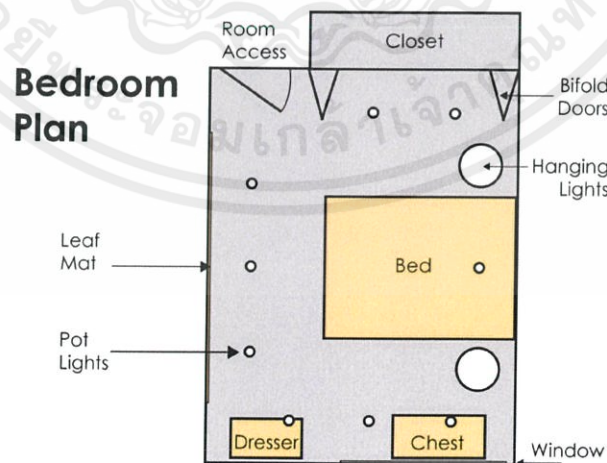
ออกแบบโดยใช้หลัก Strategic Conservation คือ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่ง ช่วยลดการใช้ไฟฟ้าทุกช่วงเวลา โดยจะลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าตามเงื่อนไขต่างๆดังนี้

ระบบแสงสว่าง

- ปิดไฟอัตโนมัติ เมื่อไม่มีผู้คนภายในห้อง
- ปรับความสว่างของแสงโดย ปรับให้เหมาะสมกับกิจกรรม
 - การทำงาน 1000 ลักซ์
 - การอ่านหนังสือ 500 ลักซ์
 - การพักผ่อน 120 ลักซ์
 - โหมดทั่วไป ... ลักซ์
- การปรับแสงสว่างตามรูปแบบที่ผู้ใช้กำหนด
- การควบคุมโดยใช้ ปัญญาประดิษฐ์(AI)

ระบบปรับอากาศ

- ปิดเครื่องปรับอากาศอัตโนมัติ เมื่อไม่มีผู้คนภายในห้อง
- แจ้งเตือนผู้ใช้งาน เมื่อมีการใช้เครื่องปรับอากาศเกินที่ผู้ใช้กำหนดไว้
- ปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศอัตโนมัติ เมื่อผู้ใช้นอนหลับ
- แจ้งเตือนผู้ใช้งาน เมื่ออุณหภูมิภายนอกต่ำกว่าอุณหภูมิภายในห้อง
- การควบคุมโดยใช้ ปัญญาประดิษฐ์(AI)



รูปที่ 3.17 แผนการควบคุมโหนดภายในห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การออกแบบ Load type analyzer

ออกแบบโดยวัดค่าทางไฟฟ้า ที่โหลดแต่ละชนิดใช้ ในแต่ละโหมดที่เราสามารถทราบได้ว่าขณะนี้เปิดโหมดอะไรอยู่ โดยจะบันทึกค่าทางไฟฟ้าเก็บไว้ในฐานข้อมูลและจะเทียบกับค่าที่มิเตอร์อ่านค่าได้ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าขณะนี้โหมดไหนมีโหลดชนิดอะไรบ้างที่กำลังเปิดอยู่

3.7.1 การบันทึกค่าที่สถานะต่างๆของเครื่องปรับอากาศ

ตารางที่ 3.1 แสดงการหาสมการของกำลังไฟฟ้าจริง(Real Power)ที่โหมดต่างๆ

State	Cool	Sleep	Swing	Fan Speed	$\Delta P(\text{speed})$	$\Delta P(\text{swing})$	$\Delta P(\text{sleep})$	$\Delta P(\text{cool})$		
0	0	0	0	1	0				avg	ΔP
1	0	0	0	2	6.18333				speed 0-1	37.2833
2	0	0	0	3	10.3767				speed 1-2	6.02083
3	0	0	1	1	0	2.55			speed 2-3	10.2033
4	0	0	1	2	5.86667	2.23333			swing	2.62
5	0	0	1	3	10.6667	2.52333			sleep	5.79667
6	0	1	0	1			5.88667		cool	1.84667
7	1	0	0	1	0			1.75		
8	1	0	0	2	6.23333			1.8		
9	1	0	0	3	9.8			1.22333		
10	0	1	1	1		2.43	5.76667			
11	1	1	0	1			5.36667	1.23		
12	1	0	1	1	0	3.1		2.3		
13	1	0	1	2	5.8	2.66667		2.23333		
14	1	0	1	3	9.97	2.83667		1.53667		
15	1	1	1	1		3.9	6.16667	2.7		

ตารางที่ 3.2 แสดงการหาสมการของกำลังไฟฟ้าปรากฏ(Apparent Power)ที่โหมดต่างๆ

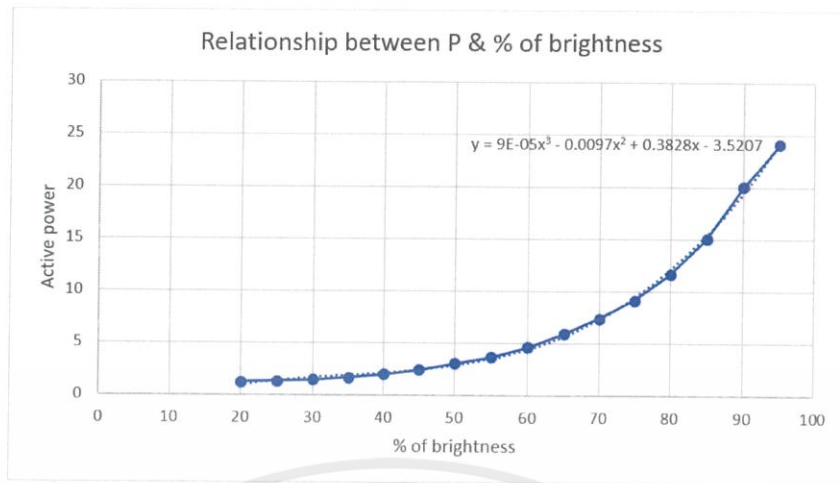
State	Cool	Sleep	Swing	Fan Speed	$\Delta S(\text{speed})$	$\Delta S(\text{swing})$	$\Delta S(\text{sleep})$	$\Delta S(\text{cool})$		
0	0	0	0	1	0				avg	ΔS
1	0	0	0	2	5.35				speed 0-1	40.4833
2	0	0	0	3	8.47333				speed 1-2	5.46583
3	0	0	1	1	0	1.47			speed 2-3	9.31917
4	0	0	1	2	5.28	1.4			swing	2.27042
5	0	0	1	3	9.7	2.62667			sleep	5.23333
6	0	1	0	1			4.82		cool	1.28208
7	1	0	0	1	0			0.41667		
8	1	0	0	2	5.73333			0.8		
9	1	0	0	3	9.13333			1.46		
10	0	1	1	1		1.83	5.18			
11	1	1	0	1			5.1	0.69667		
12	1	0	1	1	0	2.43333		1.38		
13	1	0	1	2	5.5	2.2		1.6		
14	1	0	1	3	9.97	3.03667		1.87		
15	1	1	1	1		3.16667	5.83333	2.03333		

3.7.2 การบันทึกค่าที่ระดับความเข้มแสงต่างๆของหลอด LED

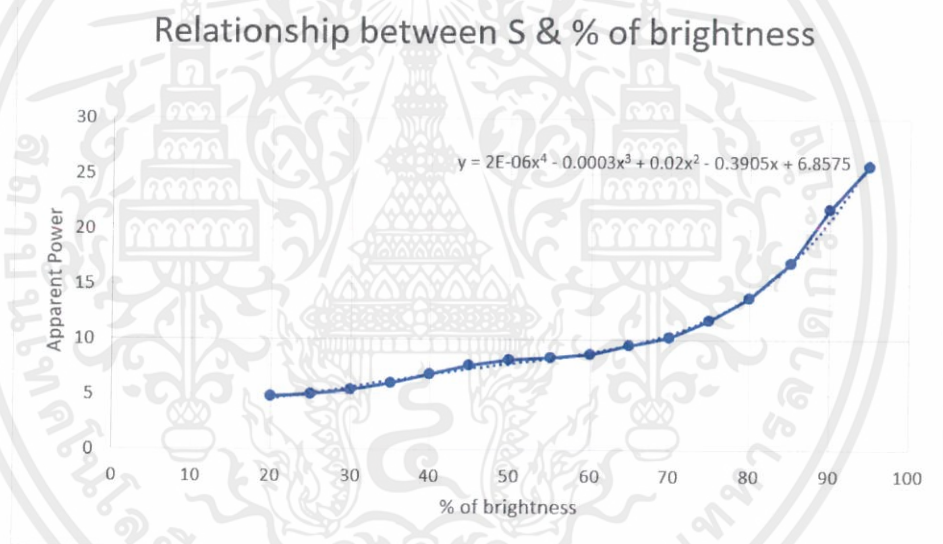
ตารางที่ 3.3 แสดงการหาสมการของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ความเข้มแสงต่างๆ

%	V v	IA	PW	Q VAR	S VA	pf
0	227.2	0.018	0.8	-4.2	4.2	
5	227.5	0.021	1.1	-4.6	4.7	
10	227.3	0.021	1.2	-4.6	4.7	
15	227.2	0.021	1.2	-4.6	4.8	
20	227.3	0.022	1.3	-4.8	4.9	
25	227.1	0.023	1.4	-5	5.2	0.27
30	227	0.024	1.5	-5.3	5.6	0.28
35	227.4	0.027	1.8	-5.7	6.2	0.3
40	227.4	0.031	2.1	-6.6	7	0.31
45	227.4	0.034	2.4	-7.3	7.7	0.31
50	227.3	0.036	3.1	-7.4	8.1	0.38
55	227.3	0.037	3.8	-7.5	8.4	0.45
60	227.3	0.039	4.7	-7.4	8.8	0.53
65	227.6	0.042	6.1	-7.5	9.7	0.63
70	227.4	0.045	7.5	-7	10.3	0.73
75	227	0.052	9.3	-7.4	11.9	0.78
80	227.4	0.061	11.8	-7.4	13.9	0.85
85	227.4	0.075	15.1	-7.8	17	0.89
90	227.1	0.095	20	-8.5	21.7	0.92
95	226.4	0.113	24.1	-9.1	25.7	0.94
100	227	0.113	24.1	-9	25.7	0.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงกับความเข้มแสงต่างๆ



รูปที่ 3.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเสมือนกับความเข้มแสงต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

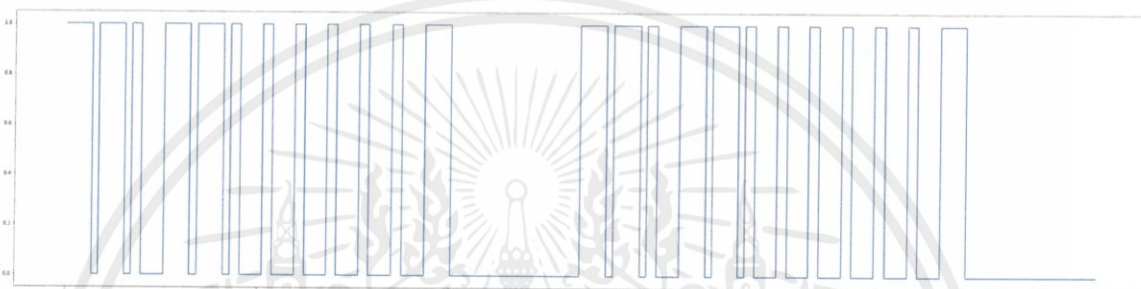
บทที่ 4

การทดสอบและประเมินผล

4.1 การทดสอบรับสัญญาณและส่งสัญญาณอินฟราเรดจากรีโมทชนิดต่างๆ

การทดลองที่ 4.1.1 : ทดสอบการรับสัญญาณอินฟราเรด โดยกดแต่ละโหมดของพัดลมไอน้ำ

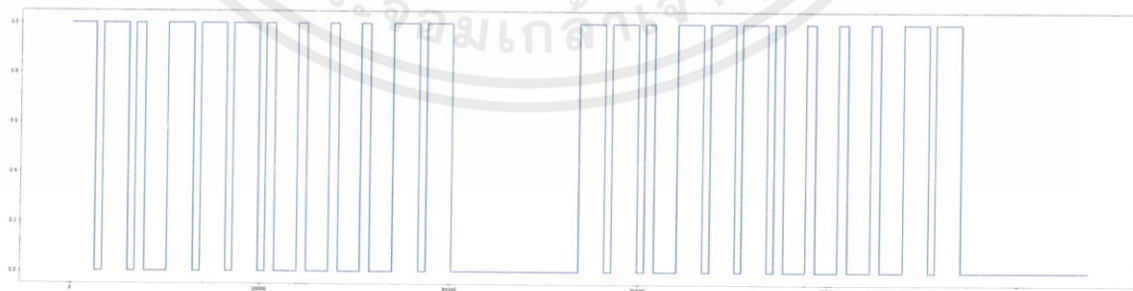
1) ON/OFF



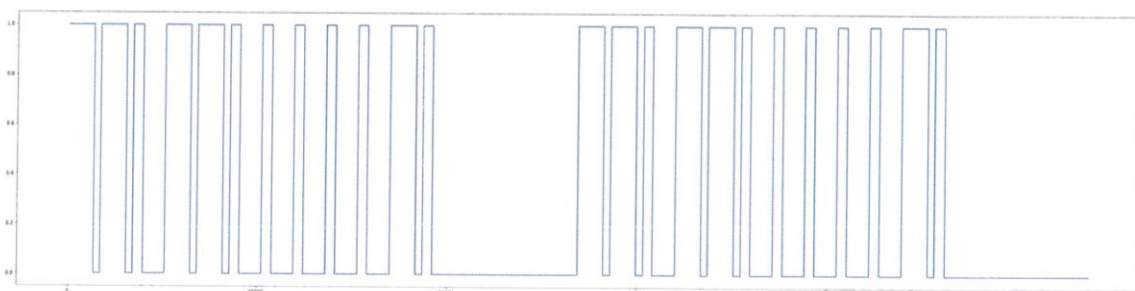
2) SPEED



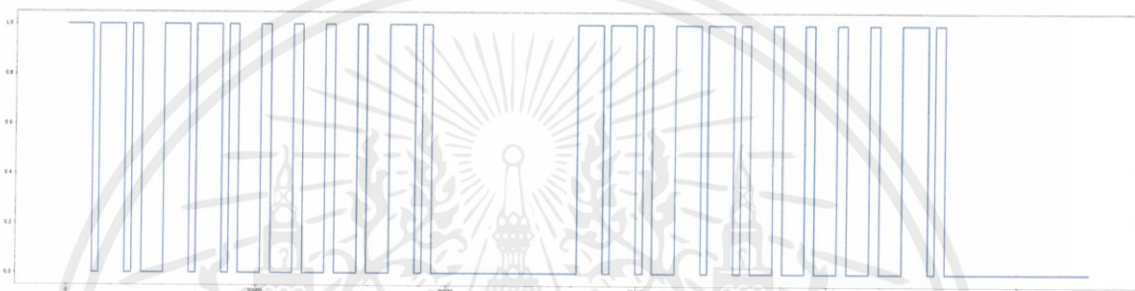
3) ION



4) EVAPORATOR



5) OSC. (SWING)



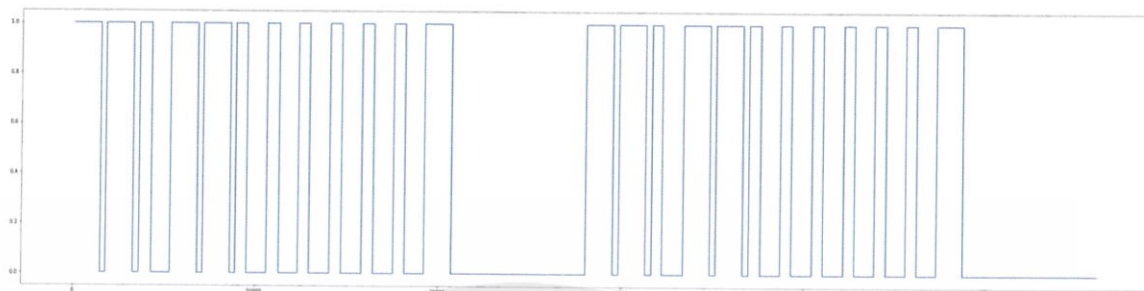
6) SLEEP



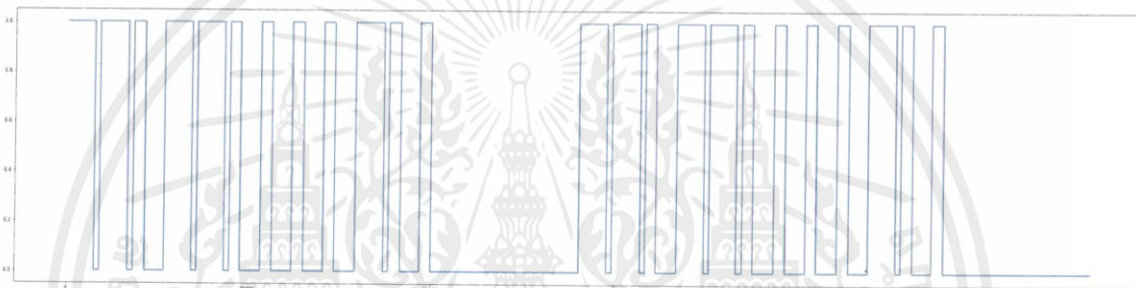
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 4.1.2 : ทดสอบการส่งสัญญาณอินฟราเรด จากอินฟราเรดโมดูล

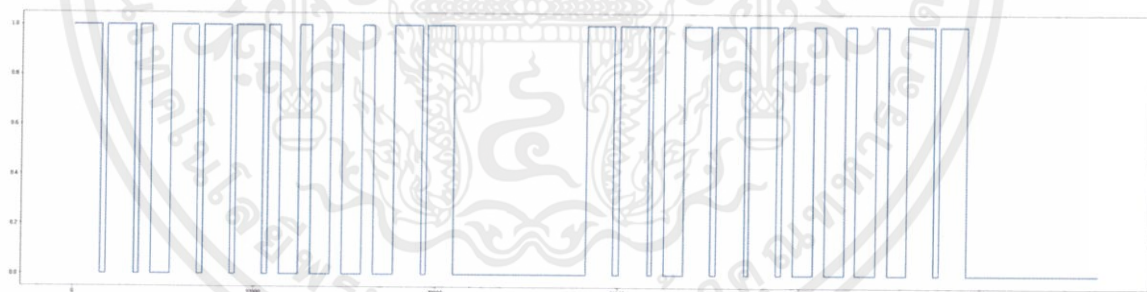
1) ON/OFF



2) SPEED

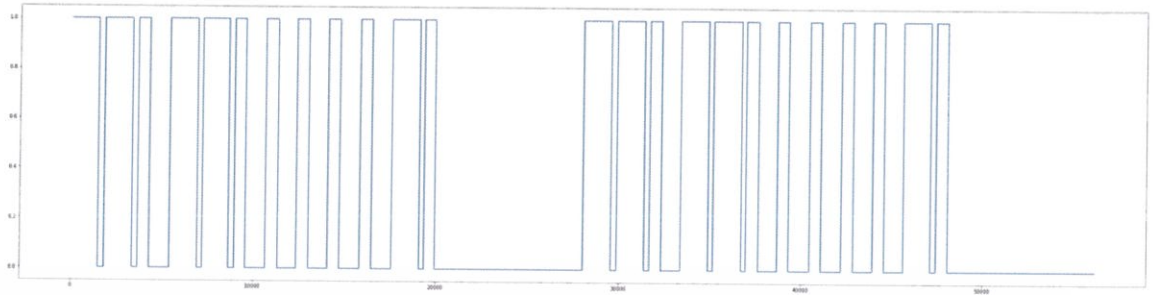


3) ION

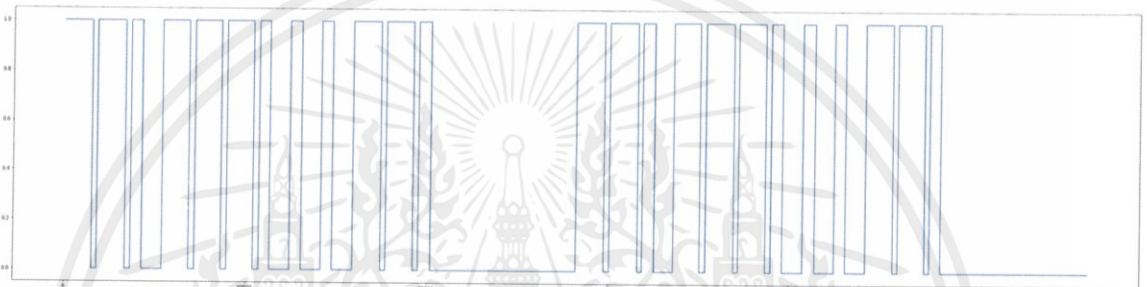


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

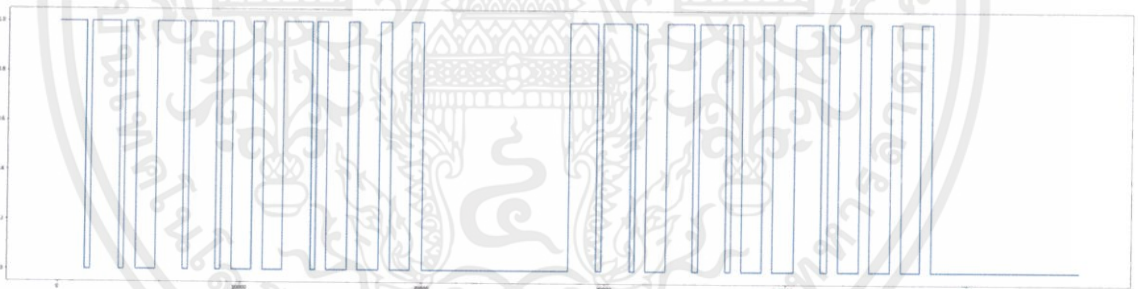
4) EVEPORTATOR



5) OSC.



6) SLEEP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองวัดค่าทางไฟฟ้า ที่โหมดต่างๆของพัดลมไอน้ำ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวัดค่าทางไฟฟ้าของพัดลมไอน้ำครั้งที่ 1

State	Cool	Sleep	Swing	Fan Speed	V (Volt)	I (Amp)	P (Watt)	S (var)
0	0	0	0	1	227	0.179	37.3	40.6
1	0	0	0	2	227	0.202	43.5	45.9
2	0	0	0	3	227	0.24	53.9	54.3
3	0	0	1	1	224.71	0.1866	39.79	41.93
4	0	0	1	2	225	0.213	46.2	47.7
5	0	0	1	3	225	0.253	56.3	56.9
6	0	1	0	1	225	0.202	43.2	45.3
7	1	0	0	1	223	0.184	39.1	40.9
8	1	0	0	2	223	0.209	45.3	46.6
9	1	0	0	3	223	0.25	55.1	55.8
10	0	1	1	1	223	0.212	45.7	47.2
11	1	1	0	1	223	0.201	42.6	44.8
12	1	0	1	1	223	0.194	42	43.2
13	1	0	1	2	223	0.219	48	48.9
14	1	0	1	3	223	0.265	58.2	59
15	1	1	1	1	223	0.22	48.3	49.2

ตารางที่ 4.2 การทดลองวัดกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของพัดลมไอน้ำครั้งที่ 2

State	Cool	Sleep	Swing	Fan Speed	V (Volt)	I (Amp)	P (Watt)	S (var)
0	0	0	0	1	227	0.1786	37.25	40.45
1	0	0	0	2	226	0.202	43.5	45.9
2	0	0	0	3	224.65	0.24	53.8	54.3
3	0	0	1	1	225	0.1873	39.96	42.08
4	0	0	1	2	225	0.209	45.5	47
5	0	0	1	3	225	0.253	56.4	56.9
6	0	1	0	1	224.79	0.2015	43.14	45.3
7	1	0	0	1	223	0.183	39	40.9
8	1	0	0	2	223	0.209	45.3	46.7
9	1	0	0	3	223	0.25	55.1	55.8
10	0	1	1	1	223	0.213	45.9	47.5
11	1	1	0	1	223	0.209	45.3	46.6
12	1	0	1	1	223	0.195	42.2	43.4
13	1	0	1	2	223	0.218	47.6	48.5
14	1	0	1	3	223.03	0.265	58.21	59.11
15	1	1	1	1	223	0.221	48.6	49.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การทดลองวัดกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของพัดลมไอน้ำครั้งที่ 3

State	Cool	Sleep	Swing	Fan Speed	V (Volt)	I (Amp)	P (Watt)	S (var)
0	0	0	0	1	226	0.179	37.3	40.4
1	0	0	0	2	227	0.202	43.4	45.7
2	0	0	0	3	226.43	0.2399	53.83	54.32
3	0	0	1	1	224.69	0.1863	39.75	41.85
4	0	0	1	2	225	0.209	45.4	47
5	0	0	1	3	225	0.254	56.4	57
6	0	1	0	1	224.89	0.2015	43.17	45.31
7	1	0	0	1	223	0.184	39	40.9
8	1	0	0	2	223	0.209	45.2	46.6
9	1	0	0	3	223	0.25	55	55.7
10	0	1	1	1	223	0.209	45.2	46.7
11	1	1	0	1	223	0.209	45.3	46.6
12	1	0	1	1	223	0.195	42.2	43.4
13	1	0	1	2	223	0.22	48.2	49.1
14	1	0	1	3	223	0.261	57.3	58.3
15	1	1	1	1	223	0.219	48	48.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองวัดค่าทางไฟฟ้า ที่ระดับต่างๆของหลอดไฟ

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวัดค่าทางไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ ครั้งที่ 1

%	V (Volt)	I (Amp)	P (Watt)	S (Volt)
0	225.8	0.017	0.4	3.8
5	225.8	0.02	1.1	4.7
10	225.4	0.021	1.1	4.7
15	225.8	0.021	1.1	4.7
20	226.3	0.021	1.3	4.8
25	225.6	0.023	1.4	5
30	225.8	0.024	1.5	5.4
35	225.8	0.026	1.7	5.9
40	226.1	0.03	2	6.7
45	225.9	0.034	2.5	7.6
50	226	0.037	3	8.2
55	226.1	0.037	3.6	8.3
60	225.8	0.038	4.6	8.7
65	225.5	0.042	5.8	9.5
70	224.7	0.045	7.3	10
75	225.2	0.052	9.1	11.6
80	225.4	0.061	11.5	13.6
85	225.2	0.075	15	16.8
90	226.2	0.097	20.1	21.8
95	226.3	0.114	24.1	25.7
100	226.2	0.114	24	25.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวัดค่าทางไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ ครั้งที่ 2

%	V (Volt)	I (Amp)	P (Watt)	S (Volt)
0	227.2	0.018	0.8	4.2
5	227.5	0.021	1.1	4.7
10	227.3	0.021	1.2	4.7
15	227.2	0.021	1.2	4.8
20	227.3	0.022	1.3	4.9
25	227.1	0.023	1.4	5.2
30	227	0.024	1.5	5.6
35	227.4	0.027	1.8	6.2
40	227.4	0.031	2.1	7
45	227.4	0.034	2.4	7.7
50	227.3	0.036	3.1	8.1
55	227.3	0.037	3.8	8.4
60	227.3	0.039	4.7	8.8
65	227.6	0.042	6.1	9.7
70	227.4	0.045	7.5	10.3
75	227	0.052	9.3	11.9
80	227.4	0.061	11.8	13.9
85	227.4	0.075	15.1	17
90	227.1	0.095	20	21.7
95	226.4	0.113	24.1	25.7
100	227	0.113	24.1	25.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

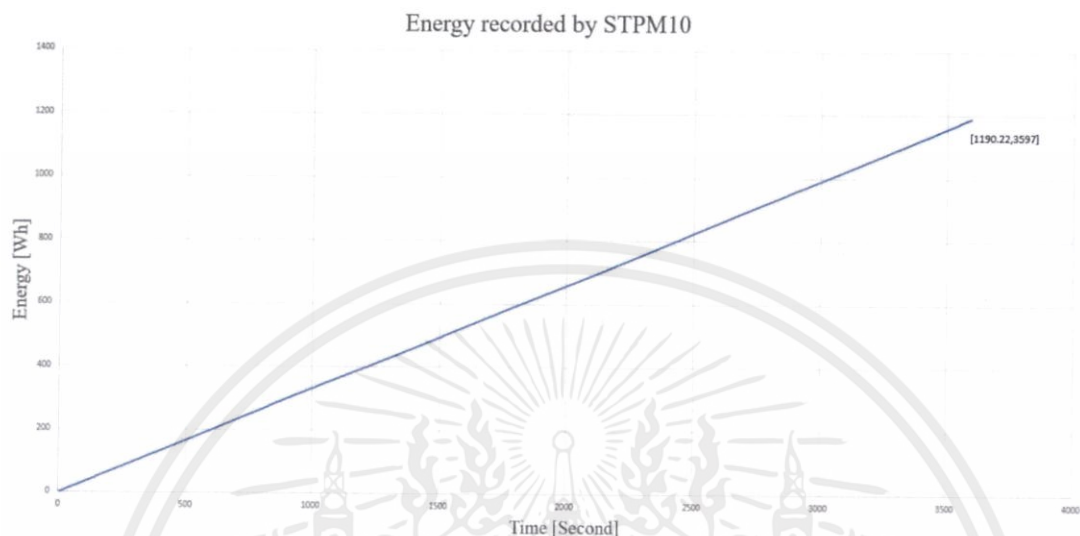
ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองวัดค่าทางไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ ครั้งที่ 3

%	V (Volt)	I (Amp)	P (Watt)	S (Volt)
0	227.2	0.018	0.7	4.1
5	227.5	0.017	0.4	3.8
10	227.3	0.017	0.4	3.8
15	227.2	0.021	1.1	4.6
20	227.3	0.021	1.2	4.8
25	227.1	0.022	1.3	5
30	227	0.023	1.5	5.3
35	227.4	0.026	1.7	5.9
40	227.4	0.03	2	6.8
45	227.4	0.034	2.5	7.6
50	227.3	0.037	3.1	8.3
55	227.3	0.037	3.7	8.3
60	227.3	0.039	4.6	8.7
65	227.6	0.042	6	9.4
70	227.4	0.045	7.4	10.2
75	227	0.053	9.1	11.7
80	227.4	0.061	11.7	13.8
85	227.4	0.075	15.1	17
90	227.1	0.097	20.2	21.9
95	226.4	0.114	24.1	25.7
100	227	0.114	24.1	25.7

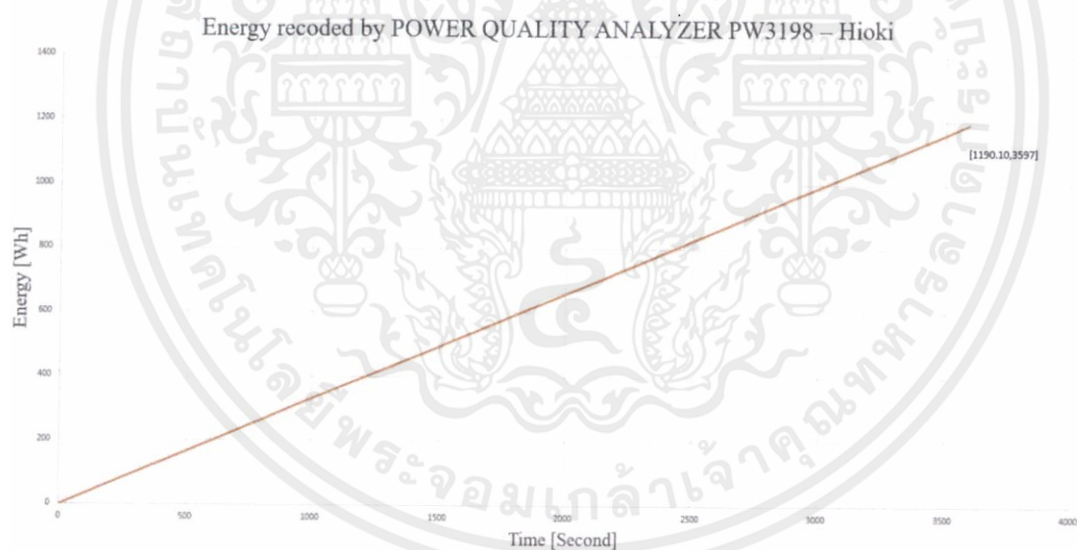
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองวัดค่าทางไฟฟ้า ทั้งชนิด Resistive load และ Inductive load โดยใช้STPM10 เทียบกับ POWER QUALITY ANALYZER PW3198 – Hioki

4.3.1 Resistive load



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าพลังงานที่วัดได้โดยใช้ STPM10 ของ Resistive load

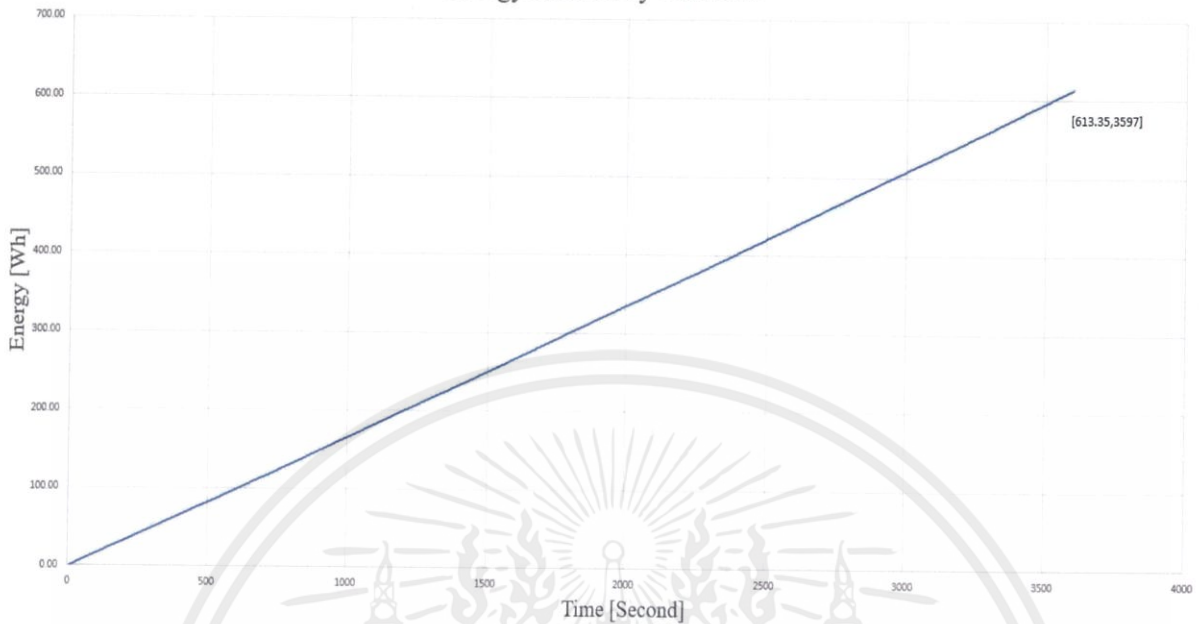


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าพลังงานที่วัดได้โดยใช้ PW3198 ของ Resistive load

จากการทดลอง พบว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้ STPM10 เทียบกับ POWER QUALITY ANALYZER PW3198 – Hioki มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็น 0.01%

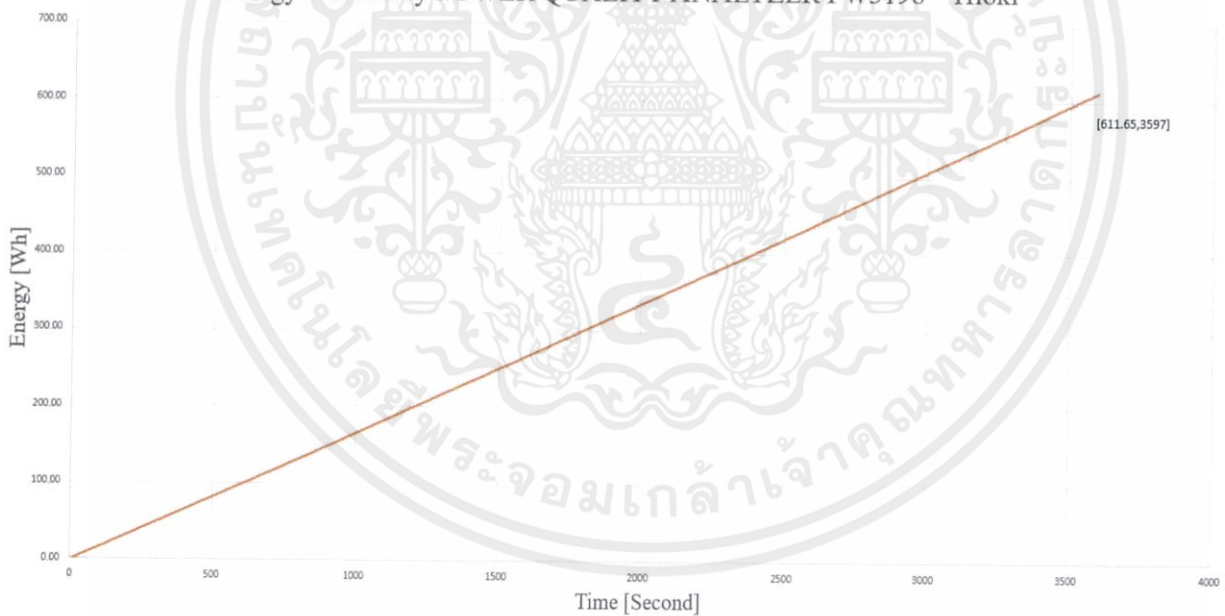
4.3.2 Resistive load + Inductive load

Energy recoded by STPM10



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าพลังงานที่วัดได้โดยใช้ STPM10 ของ Resistive load + Inductive load

Energy recoded by POWER QUALITY ANALYZER PW3198 – Hioki



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าพลังงานที่วัดได้โดยใช้ PW3198 ของ Resistive load + Inductive load

จากการทดลอง พบว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้ STPM10 เทียบกับ POWER QUALITY ANALYZER PW3198 – Hioki มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็น 0.27%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

เนื่องจากในปัจจุบันพบว่า อัตราการใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนมีการเพิ่มขึ้นสูงมาก โครงการวิจัยนี้จึงได้ออกแบบมาตรวัดไฟฟ้าและวงจรควบคุมโหลดต่าง ๆ โดยทำงานควบคู่กัน เพื่อที่จะลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้วิธีการ Strategic Conservation คือ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานซึ่ง ช่วยลดการใช้ไฟฟ้าทุกช่วงเวลาเป็นหลัก โดยให้ผู้ใช้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้าที่พึงพอใจ ในด้านของการทำงาน มาตรวัดไฟฟ้าจะทำการวัดและวิเคราะห์แยกชนิดโหลดตามการใช้งาน ทำให้รู้ถึงการใช้พลังงานของแต่ละเครื่องใช้ไฟฟ้า และควบคุมเพื่อลดการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าอย่างไม่จำเป็น โดยแสดงผลของการใช้ไฟฟ้าและควบคุมระบบต่าง ๆ บนเว็บแอปพลิเคชัน

5.2 ข้อเสนอแนะและปัญหาที่พบ

จากการดำเนินการทดลองตลอดโครงการวิจัย มีข้อเสนอแนะและปัญหาดังนี้

1. IC STPM10 BTR มีความยากในการใช้งาน และพบว่าสัญญาณรบกวนส่งผลให้การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า และความถี่ไฟฟ้า มีค่าผิดเพี้ยนไปกับค่าที่วัดได้
2. การออกแบบวงจร PCB ควรมีความระมัดระวังและรอบคอบในการออกแบบ เพราะใช้เวลาสั่งทำค่อนข้างนานและราคาแพง และอาจจะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บนวงจรที่ใช้
3. การติดตั้งมิเตอร์เข้ากับที่อาคาร ค่อนข้างยากและต้องมีความรู้ทางด้านวงจรไฟฟ้าพอสมควร เนื่องจากต้องมีการตัดต่อวงจรก่อนที่จะติดตั้งได้
4. อุปกรณ์ควบคุมต่างๆที่ใช้ ยังมีความปลอดภัยทางด้านข้อมูลต่ำ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ได้

5.3 แนวทางการพัฒนา

โครงการวิจัยนี้สามารถทำการพัฒนาและเพิ่มความสามารถการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าและควบคุมอัตราการใช้ไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น โดย

1. ใช้ machine learning ในการวิเคราะห์ข้อมูลของโหลดทางไฟฟ้าชนิดต่างๆภายในครัวเรือน เพื่อทำการจำแนกได้ละเอียดและแม่นยำกว่า
2. สร้างระบบป้องกันความปลอดภัยของผู้ใช้ทางด้านของข้อมูลที่ส่งขึ้นอินเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พัฒนาอินฟราเรดโมดูล โดยให้สามารถรองรับคำสั่งของรีโมตทุกชนิดทั้งเครื่องปรับอากาศและโทรทัศน์ หรืออุปกรณ์อินฟราเรดอื่นๆ
4. เพิ่มเซนเซอร์เข้ากับอุปกรณ์และสร้างเงื่อนไขการควบคุมที่ซับซ้อนมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

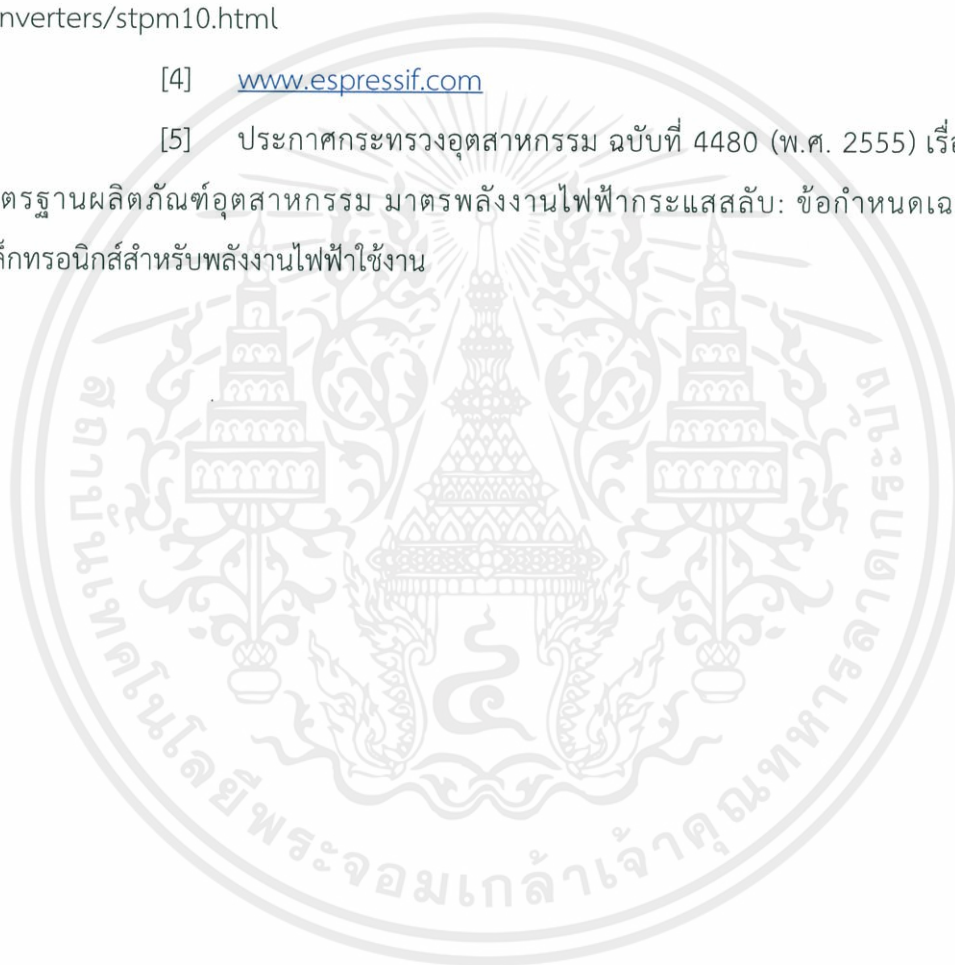
[1] จากการสำรวจของกลุ่มคณะเศรษฐศาสตร์ โดยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จากครัวเรือนทั่วประเทศไทยจำนวนกว่า 2,000 ครัวเรือนในปี 2556

[2] Electric Power Research Institute (EPRI), Principle and Practice of Demand-Side Management prepared by Barakat & Chamberlin, Inc. Research project 2342-16, August 1993

[3] Reference to application note <<https://www.st.com/en/data-converters/stpm10.html>

[4] www.espressif.com

[5] ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4480 (พ.ศ. 2555) เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มาตรฐานพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ: ข้อกำหนดเฉพาะมาตรฐานอิเล็กทรอนิกส์สำหรับพลังงานไฟฟ้าใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดและควบคุมการใช้ไฟฟ้าอย่างชาญฉลาด

Smart Electric Energy Metering with Demand Control

นายธนินทร์ ฐานะโสภณ, นายชเนต พยุ่งหอม, นายชวานนท์ อรรถสุภาพงศ์

รศ.ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา, ดร.สมภาพ ผลไม้

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทรศัพท์ : 02-329-8203 E-Mail : registrar@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลือง โดยจะแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้า ณ ขณะนั้นผ่านทางเว็บหรือแอปพลิเคชัน ทั้งยังสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเพื่อป้องกันการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ และเราได้ทำระบบวิเคราะห์แยกชนิดโหลดทางไฟฟ้าเพื่อแสดงค่าไฟของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดเพื่อเฝ้าระวังเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานมาก โดยทั้งหมดนี้จะทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบทั้งทางด้านจิตใจในการติดตามค่าไฟ และทางด้านการปิดหรือเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ง่ายต่อการประหยัดพลังงาน

ABSTRACT

In this project, we investigate a problem in energy-wasting. The smart meter that illustrates the real-time electrical bill will aware the consumer to reduce energy. In addition, we also have an air conditioner and lighting control system that can be controlled via web application. Reducing energy consumption system is more useful with our load type

analyzer. The load classification will help the consumer to aware of the appliance that consumes a lot of energy.

บทนำ

ในปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นสูง เนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้เลยสำหรับการใช้ชีวิตในแต่ละวัน จากการสำรวจของกลุ่มคณะเศรษฐศาสตร์ โดยทางด้านมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จากครัวเรือนทั่วประเทศไทยจำนวนกว่า 2,000 ครัวเรือนในปี 2556 [1] เครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนที่ใช้พลังงานมากที่สุดคือ เครื่องปรับอากาศ มีปริมาณการใช้งาน 42% และที่ใช้พลังงานรองลงมาคือระบบแสงสว่าง มีปริมาณการใช้เป็น 15% พฤติกรรมการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าของผู้คนก็ยังเป็นปัญหาในการลดการใช้พลังงาน เช่น เปิดเครื่องปรับอากาศทิ้งไว้ในห้องที่ไม่มีคนอยู่ ซึ่งเราจะเข้ามาแก้ไขปัญหานี้ให้ดีขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและชาญฉลาด

เนื่องจากในปัจจุบันระบบบ้านอัจฉริยะและเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย ได้เข้ามามีบทบาทให้เห็นในครัวเรือนมากขึ้น โดยส่วนมากจะเป็นการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่าน

แอปพลิเคชันหรือเว็บเบราว์เซอร์ เพียงจะเป็นแค่การ เปิด-ปิด หรือ ลดระดับความแรงของเครื่องใช้ไฟฟ้า ผ่านผู้ใช้งานโดยตรง ซึ่งจะยังไม่ค่อยมีระบบที่ช่วยให้ประหยัดพลังงานและวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ เราจึงสร้างมิเตอร์อัจฉริยะที่สามารถวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟในแต่ละชั่วโมง ของผู้ใช้ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ตระหนักถึงการใช้ไฟฟ้าที่มากเกินไปได้และมิเตอร์นี้ก็ยังสามารถควบคุมการใช้งานผ่านแอปพลิเคชันและเว็บเบราว์เซอร์ได้หรือผ่านการควบคุมอัตโนมัติโดยผ่านระบบบ้านอัจฉริยะ

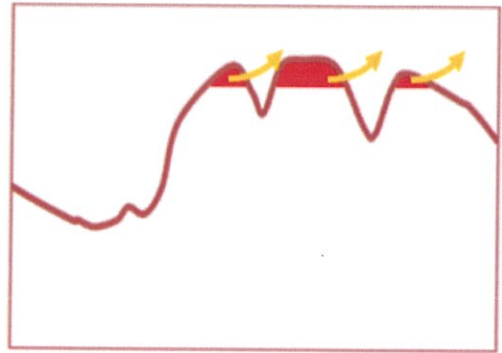
2. ทฤษฎี

2.1 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า(Demand Site Management)

นิยามของ DSM [2] ที่สั้นและได้ความหมายครอบคลุมก็คือ “กิจกรรม หรือ โปรแกรมที่จัดวางหรือออกแบบ (design) โดยตั้งใจให้มีผลต่อเวลาและปริมาณการใช้ไฟฟ้า เพื่อให้การใช้ไฟฟ้าเป็นไปอย่างเหมาะสม คือ ใช้ ทรัพยากรพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยผู้ใช้ไฟฟ้ายังคงได้รับประโยชน์หรือความพึงพอใจเท่าเดิมหรือมากกว่า”

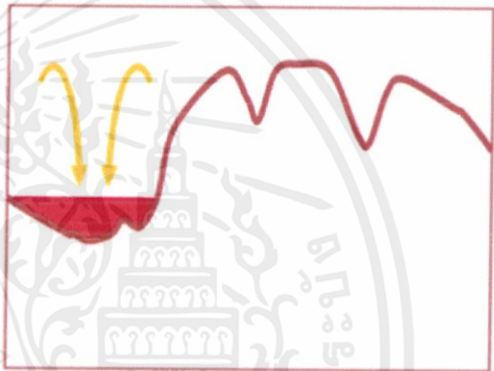
ทั้งนี้ ถ้าพิจารณาความต้องการไฟฟ้า โดยพิจารณาจากแผนภาพแสดง load curve ก็จะเข้าใจได้ง่ายขึ้น ดังนี้

1. Peak Clipping คือ มาตรการ DSM เพื่อจัดการให้ความต้องการ ไฟฟ้าสูงสุดลดลง (Reduction of peak load)



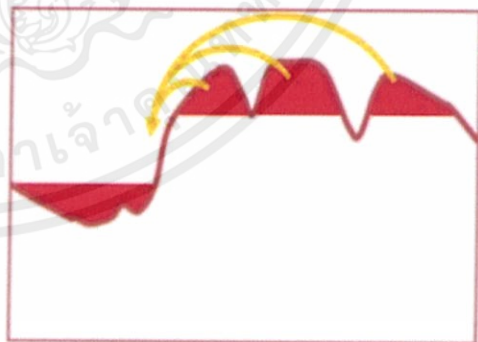
รูปที่ 2.1 Peak Clipping

2. Valley Filling คือ การเพิ่มความต้องการในช่วง off-peak



รูปที่ 2.2 Valley Filling

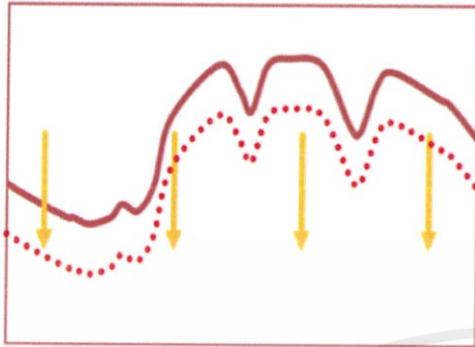
3. Load Shifting คือ เลื่อนการใช้ไฟฟ้าจากช่วง peak มาสู่ off-peak



รูปที่ 2.3 Load Shifting

4. Strategic Conservation คือ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานซึ่ง ช่วยลดการใช้ไฟฟ้าทุก

ช่วงเวลา ซึ่งการส่งเสริมการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า
ประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 2.4 Strategic Conservation

5. Strategic Load Growth คือ การเพิ่ม energy
sale



รูปที่ 2.5 Strategic Load Growth

2.2 STPM10 Energy Metering IC

STPM10 เป็น IC สำหรับวัดพลังงานไฟฟ้า ถูกออกแบบให้ใช้งานเป็นส่วนต่อขยาย (Peripheral) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ มี SPI Interface สำหรับสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านชุดคำสั่งเฉพาะ เพื่อการตั้งค่า การปรับเทียบ (Calibrate) และการอ่านค่าพลังงานไฟฟ้า [3]

คุณลักษณะสำคัญ

- วัดพลังงานจริง เสมือน และ ปรากฏ (Active, reactive, apparent energies)
- วัดค่า RMS ของแรงดันและกระแส
- วัดความถี่
- ระบบตัวจับการรบกวนที่สายไลน์และนิวทรัล
- รองรับมาตรฐาน IEC62052-11, IEC62053-2X
- ความผิดพลาดน้อยกว่า 0.1% ใน 1000:1 range

2.3 Message Queuing Telemetry Transport (MQTT)

เป็น Protocol ที่ออกแบบมาเพื่อการเชื่อมต่อแบบ M2M (machine-to-machine) คือ อุปกรณ์กับอุปกรณ์ ออกแบบมาเพื่อเทคโนโลยี IoT (Internet of Things) คือ เทคโนโลยีที่อินเทอร์เน็ตเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ รถยนต์ โทรศัพท์ตู้เย็น เข้ากับอินเทอร์เน็ตทำให้สามารถเชื่อมโยงสื่อสารกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้โดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ตจากระยะไกลได้

3. การออกแบบและการสร้างอุปกรณ์

3.1 ระบบการวัดและการควบคุมการใช้ไฟฟ้า

ระบบการวัดและการควบคุมการใช้ไฟฟ้าแบ่งออกเป็นสามส่วนได้แก่ ส่วนอุปกรณ์ (Hardware Layer) ส่วนการเชื่อมต่อ (Network/Cloud Layer) และส่วนการควบคุม (Application Layer) โดยแต่ละส่วนทำงานร่วมกันเป็นระบบหรือแพลตฟอร์มที่มีวัตถุประสงค์เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า

3.1.1 Hardware Layer ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่มีหน้าที่

- วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยวัดค่า แรงดัน (V) กระแส (A) คำนวณค่ากำลังไฟฟ้า (W, Var, VA) และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไป (Unit, kWh) โดยรองรับมาตรฐาน IEC62052-11 และ IEC62053-2x
- ควบคุมการทำงานของระบบแสงสว่าง
 - ควบคุมการเปิด – ปิด
 - ควบคุมการปรับหรี่
- ควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศ
 - ควบคุมการเปิด – ปิด
 - ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศตามโหมดต่างๆ

3.1.2 Network/Cloud Layer

เป็นส่วน Server สำหรับรองรับการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ใน Hardware Layer กับอุปกรณ์ใน Application Layer ประกอบด้วย

- HTTP Server
- MQTT Server
- MySQL Database

นอกจากนี้ ยังมี API (Application Programming Interface) รองรับการใช้งานเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ใน Hardware Layer

3.1.3 Application Layer

เป็นส่วนของการทำงานหรือโปรแกรมที่สร้างอยู่บนฐานของ Hardware Layer และ Network Layer เพื่อการแสดงผลการวัดค่าไฟฟ้าและควบคุมการทำงานของโหลดไฟฟ้าโดยมีสองส่วนประกอบใหญ่ ๆ คือ

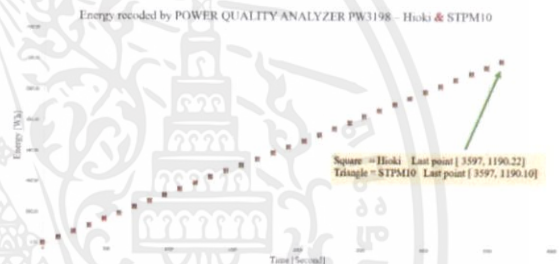
- Web Application และ Mobile Application เพื่อรองรับการใช้งานผ่าน Computer และ Smartphone

- Smart Application หรือ โปรแกรมการควบคุมโหลดไฟฟ้าแบบอัจฉริยะ โดยอาจเป็นทำงานแบบอัตโนมัติเช่น สั่งปิดไฟหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อไม่มีคนใช้ จนไปถึงการใช้ AI (Artificial Intelligent) สั่งควบคุมโหลด

4 การทดสอบและประเมินผล

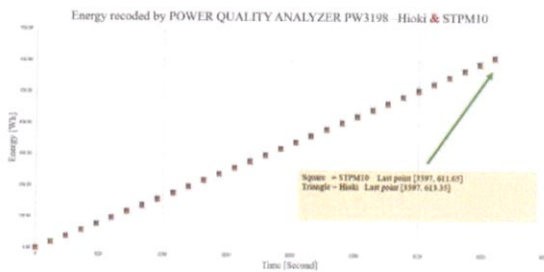
4.1 การทดลองวัดค่าทางไฟฟ้า ทั้งชนิด Resistive load และ Inductive load โดยใช้ STPM10 เทียบกับ POWER QUALITY ANALYZER PW3198 – Hioki

4.1.1 Resistive load



จากการทดลอง พบว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้ STPM10 เทียบกับ POWER QUALITY ANALYZER PW3198 – Hioki มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็น 0.01%

4.1.2 Resistive load + Inductive load 7. เอกสารอ้างอิง



จากการทดลอง พบว่าข้อมูลที่ได้อาจจากการวัดโดยใช้ STPM10 เทียบกับ POWER QUALITY ANALYZER PW3198 - Hioki มีความคลาดเคลื่อนคิดเป็น 0.27%

5. สรุป

เนื่องจากในปัจจุบันพบว่า อัตราการใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนมีการเพิ่มขึ้นสูงมากโครงการวิจัยนี้จึงได้ออกแบบมาตรวัดไฟฟ้าและวงจรควบคุมโหลดต่าง ๆ โดยทำงานควบคู่กัน เพื่อที่จะลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้วิธีการ Strategic Conservation คือ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานซึ่ง ช่วยลดการใช้ไฟฟ้าทุกช่วงเวลาเป็นหลัก โดยให้ผู้ใช้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้าที่พึงพอใจ ในด้านของการทำงาน มาตรวัดไฟฟ้าจะทำการวัดและวิเคราะห์แยกชนิดโหลดตาม

[1] จากการสำรวจของกลุ่มคณะเศรษฐศาสตร์ โดยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จากครัวเรือนทั่วประเทศไทยจำนวนกว่า 2,000 ครัวเรือนในปี 2556

[2] Electric Power Research Institute (EPRI), Principle and Practice of Demand-Side Management prepared by Barakat & Chamberlin, Inc. Research project 2342-16, August 1993

[3] Reference to application note <<https://www.st.com/en/data-converters/stpm10.html>>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PNP transistors

**BC327, BC327-16,
BC327-25, BC327-40****Amplifier Transistors**

PNP Silicon

Features

- These are Pb-Free Devices*

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEC}	-45	Vdc
Collector-Emitter Voltage	V_{CES}	-50	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{ESB}	-5.0	Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	-800	mAdc
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $T_A = 25^\circ\text{C}$	P_D	625 5.0	mW mW/°C
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $T_A = 25^\circ\text{C}$	P_D	1.5 12	W mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150	°C

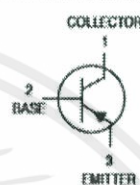
THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.



ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

MARKING DIAGRAM



BCxxx = Device Code
A = Assembly Location
Y = Year
WW = Work Week
• = Pb-Free Package

(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering, marking, and shipping information in the package dimensions section on page 4 of this data sheet.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

BC327, BC327-16, BC327-25, BC327-40

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	
OFF CHARACTERISTICS						
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = -10\text{ mA}$, $I_B = 0$)	$V_{(BR)CEO}$	-45	-	-	Vdc	
Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = -100\text{ }\mu\text{A}$, $I_E = 0$)	$V_{(BR)CES}$	-50	-	-	Vdc	
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = -10\text{ }\mu\text{A}$, $I_C = 0$)	$V_{(BR)ES0}$	-5.0	-	-	Vdc	
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = -30\text{ V}$, $I_E = 0$)	I_{CBO}	-	-	-100	nAdc	
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = -45\text{ V}$, $V_{BE} = 0$)	I_{CES}	-	-	-100	nAdc	
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = -4.0\text{ V}$, $I_C = 0$)	I_{ES0}	-	-	-100	nAdc	
ON CHARACTERISTICS						
DC Current Gain ($I_C = -100\text{ mA}$, $V_{CE} = -1.0\text{ V}$)	h_{FE}	BC327 BC327-16 BC327-25 BC327-40	100	-	630	-
($I_C = -300\text{ mA}$, $V_{CE} = -1.0\text{ V}$)			100	-	250	-
			160	-	400	-
			250	-	630	-
			40	-	-	-
Base-Emitter On Voltage ($I_C = -300\text{ mA}$, $V_{CE} = -1.0\text{ V}$)	$V_{BE(on)}$	-	-	-1.2	Vdc	
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = -500\text{ mA}$, $I_E = -50\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	-	-	-0.7	Vdc	
SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS						
Output Capacitance ($V_{CB} = -10\text{ V}$, $I_E = 0$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	C_{ob}	-	11	-	pF	
Current-Gain - Bandwidth Product ($I_C = -10\text{ mA}$, $V_{CE} = -5.0\text{ V}$, $f = 100\text{ MHz}$)	f_T	-	260	-	MHz	

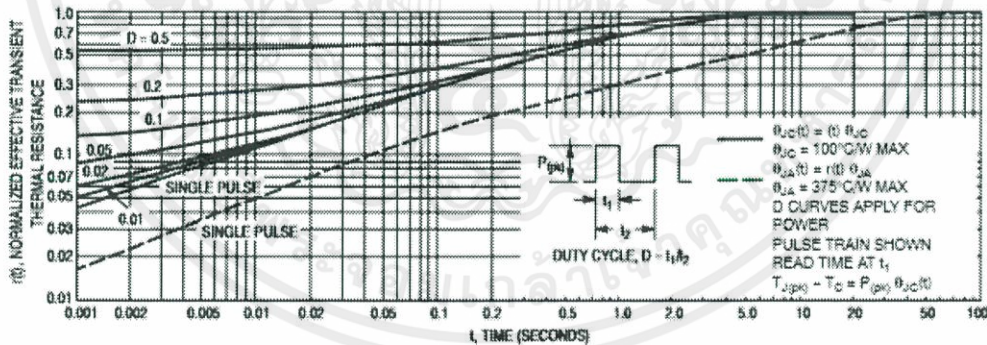


Figure 1. Thermal Response

<http://onsemi.com>

2

BC327, BC327-16, BC327-25, BC327-40

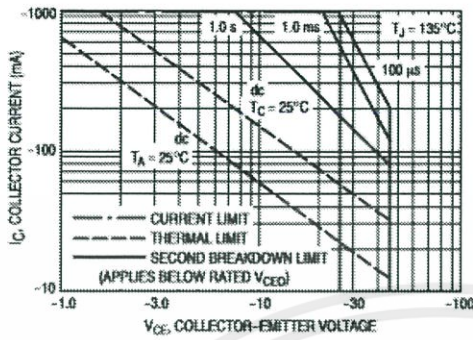


Figure 2. Active Region - Safe Operating Area

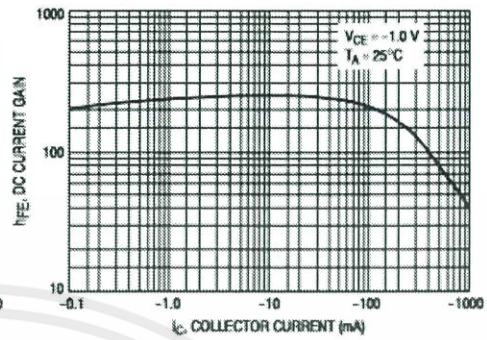


Figure 3. DC Current Gain

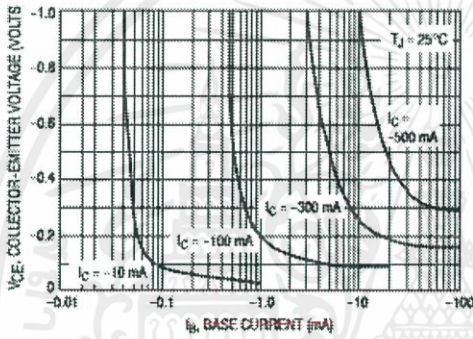


Figure 4. Saturation Region

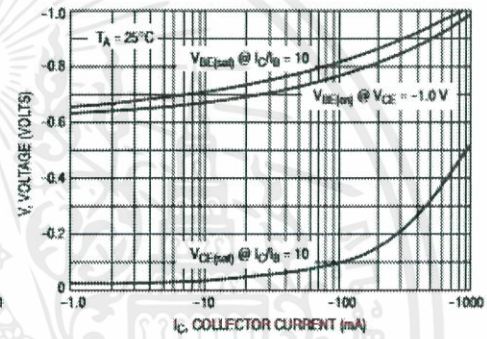


Figure 5. "On" Voltages

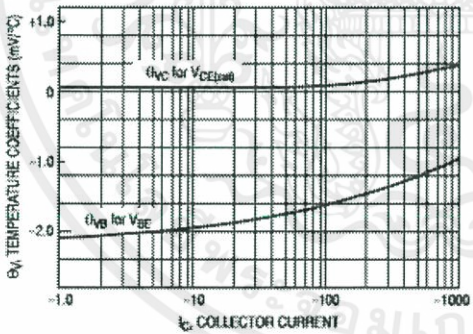


Figure 6. Temperature Coefficients

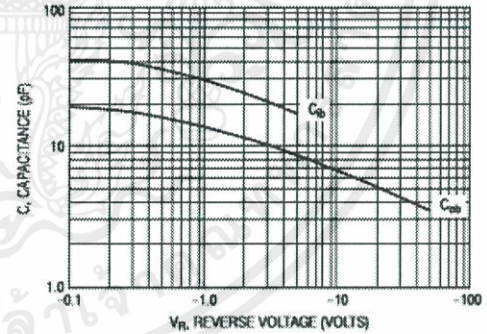


Figure 7. Capacitances

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Infrared transmitter

EVERLIGHT**Technical Data Sheet****5mm Infrared LED , T-1 3/4****Features**

- High reliability
- High radiant intensity
- Peak wavelength $\lambda_p=940\text{nm}$
- 2.54mm Lead spacing
- Low forward voltage
- Pb free
- The product itself will remain within RoHS compliant version.

Descriptions

- EVERLIGHT'S Infrared Emitting Diode(IR333-A) is a high intensity diode , molded in a blue transparent plastic package.
- The device is spectrally matched with phototransistor , photodiode and infrared receiver module.

Applications

- Free air transmission system
- Infrared remote control units with high power requirement
- Smoke detector
- Infrared applied system

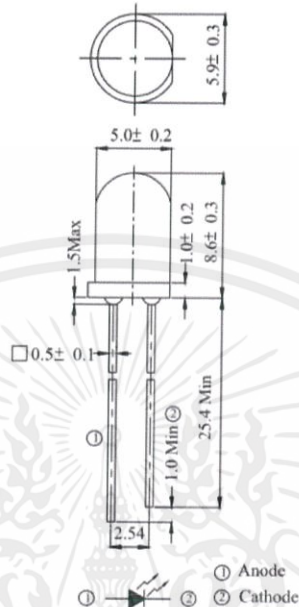
IR333-A**Device Selection Guide**

LED Part No.	Chip	Lens Color
	Material	
IR	GaAlAs	Blue



IR333-A

Package Dimensions



- Notes:** 1. All dimensions are in millimeters
2. Tolerances unless dimensions $\pm 0.25\text{mm}$

Absolute Maximum Ratings ($T_a=25^\circ\text{C}$)

Parameter	Symbol	Rating	Units
Continuous Forward Current	I_F	100	mA
Peak Forward Current	I_{FP}	1.0	A
Reverse Voltage	V_R	5	V
Operating Temperature	T_{opr}	-40 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature	T_{stg}	-40 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature	T_{sol}	260	$^\circ\text{C}$
Power Dissipation at (or below) 25 $^\circ\text{C}$ Free Air Temperature	P_d	150	mW

Notes: *1: I_{FP} Conditions--Pulse Width $\leq 100 \mu\text{s}$ and Duty $\leq 1\%$.

*2: Soldering time ≤ 5 seconds.

Electro-Optical Characteristics (Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
Radiant Intensity	Ee	I _F =20mA	7.8	20	--	mW/sr
		I _F =100mA Pulse Width ≤ 100 μs ,Duty ≤ 1%	--	85	--	
		I _F =1A Pulse Width ≤ 100 μs ,Duty ≤ 1%.	--	750	--	
Peak Wavelength	λ _p	I _F =20mA	--	940	--	nm
Spectral Bandwidth	Δλ	I _F =20mA	--	45	--	nm
Forward Voltage	V _F	I _F =20mA	--	1.2	1.5	V
		I _F =100mA Pulse Width ≤ 100 μs ,Duty ≤ 1%	--	1.4	1.8	
		I _F =1A Pulse Width ≤ 100 μs ,Duty ≤ 1%.	--	2.6	4.0	
Reverse Current	I _R	V _R =5V	--	--	10	μA
View Angle	2θ 1/2	I _F =20mA	--	20	--	deg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Electro-Optical Characteristics Curves

Fig.1 Forward Current vs. Ambient Temperature

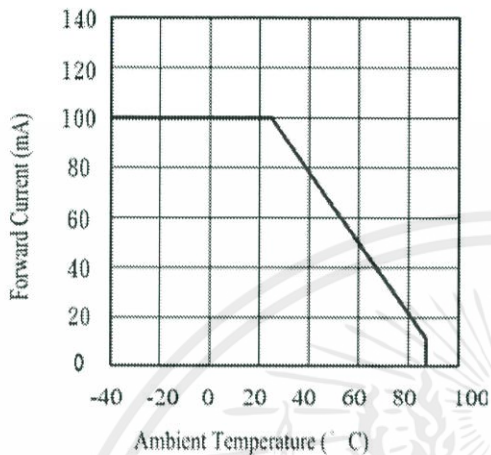


Fig.2 Spectral Distribution

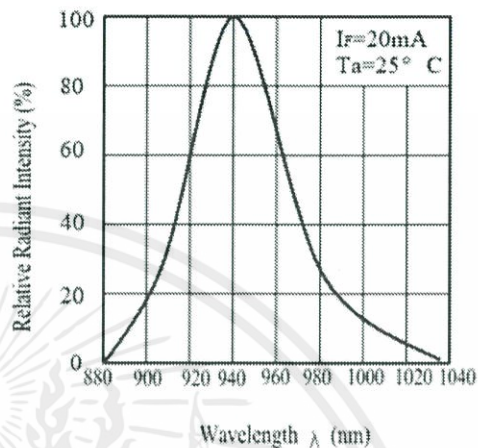


Fig.3 Peak Emission Wavelength vs. Ambient Temperature

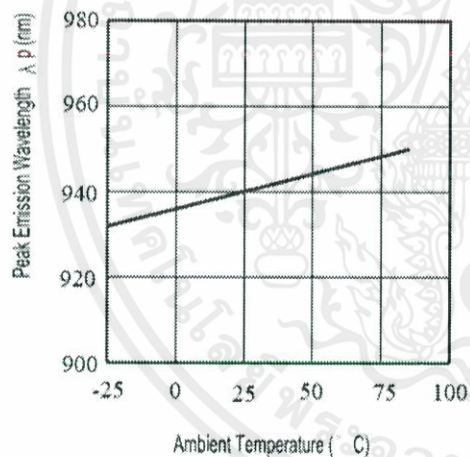
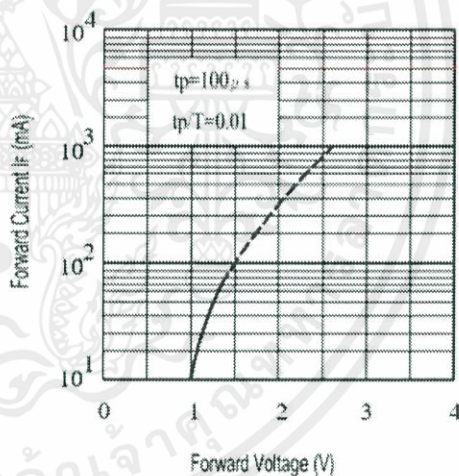


Fig.4 Forward Current vs. Forward Voltage



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Electro-Optical Characteristics Curves

Fig.5 Relative Intensity vs.
Forward Current

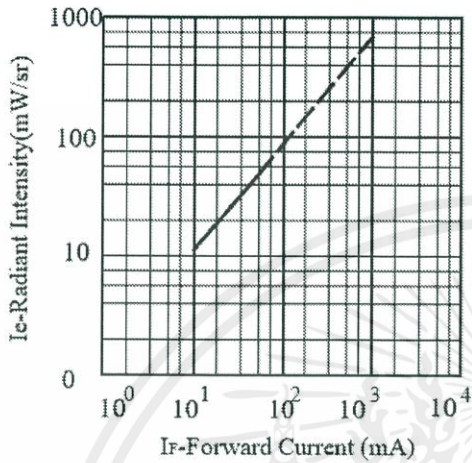


Fig.6 Relative Radiant Intensity vs.
Angular Displacement

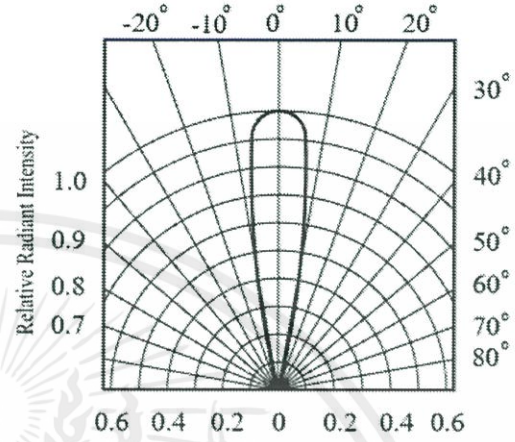


Fig.7 Relative Intensity vs.
Ambient Temperature($^\circ$ C)

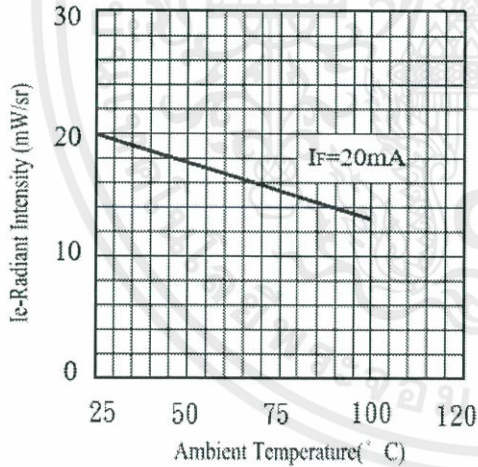
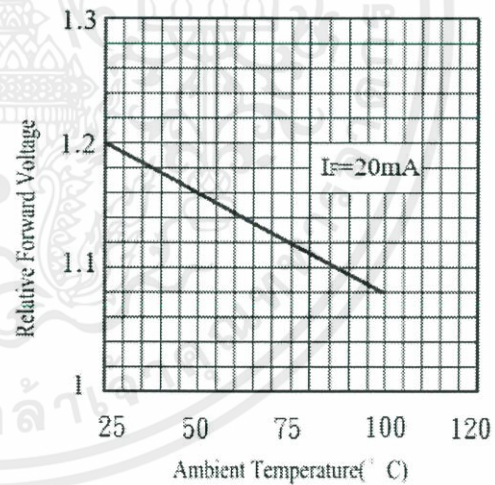


Fig.8 Forward Voltage vs.
Ambient Temperature($^\circ$ C)



Temperature and Humidity sensor

SENSIRION
THE SENSOR COMPANY

Datasheet SHT3x-DIS

Humidity and Temperature Sensor

- Fully calibrated, linearized, and temperature compensated digital output
- Wide supply voltage range, from 2.4 to 5.5 V
- I2C Interface with communication speeds up to 1 MHz and two user selectable addresses
- Typical accuracy of $\pm 2\%RH$ and $\pm 0.3^{\circ}C$
- Very fast start-up and measurement time
- Tiny 8-Pin DFN package



Product Summary

SHT3x-DIS is the next generation of Sensirion's temperature and humidity sensors. It builds on a new CMOSens[®] sensor chip that is at the heart of Sensirion's new humidity and temperature platform. The SHT3x-DIS has increased intelligence, reliability and improved accuracy specifications compared to its predecessor. Its functionality includes enhanced signal processing, two distinctive and user selectable I2C addresses and

communication speeds of up to 1 MHz. The DFN package has a footprint of 2.5 x 2.5 mm while keeping a height of 0.9 mm. This allows for integration of the SHT3x-DIS into a great variety of applications. Additionally, the wide supply voltage range of 2.4 to 5.5 V guarantees compatibility with diverse assembly situations. All in all, the SHT3x-DIS incorporates 15 years of knowledge of Sensirion, the leader in the humidity sensor industry.

Benefits of Sensirion's CMOSens[®] Technology

- High reliability and long-term stability
- Industry-proven technology with a track record of more than 15 years
- Designed for mass production
- High process capability
- Low signal noise

Content

1	Sensor Performance.....	2
2	Specifications.....	5
3	Pin Assignment.....	7
4	Operation and Communication.....	9
5	Packaging.....	16
6	Shipping Package.....	18
7	Quality.....	19
8	Ordering Information.....	19
9	Further Information.....	19

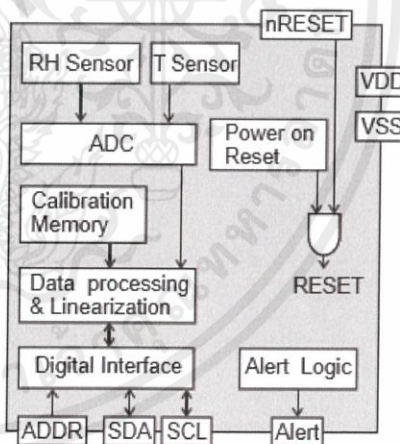


Figure 1 Functional block diagram of the SHT3x-DIS. The sensor signals for humidity and temperature are factory calibrated, linearized and compensated for temperature and supply voltage dependencies.

1 Sensor Performance

1.1 Humidity Sensor Performance

Parameter	Conditions	Value	Units
SHT30 Accuracy tolerance ¹	Typ.	±3	%RH
	Max.	Figure 2	%RH
SHT31 Accuracy tolerance ¹	Typ.	±2	%RH
	Max.	Figure 4	%RH
Repeatability ²	Low	0.2	%RH
	Medium	0.15	%RH
	High	0.07	%RH
Resolution	Typ.	0.01	%RH
Hysteresis	at 25°C	±0.8	%RH
Specified range ³	extended ⁴	0 to 100	%RH
Response time ⁵	$\tau_{63\%}$	8 ⁶	s
Long-term drift	Typ. ⁷	<0.25	%RH/yr

Table 1 Humidity sensor specification

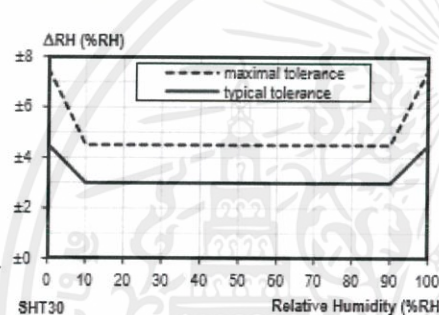


Figure 2 Tolerance of RH at 25°C for SHT30

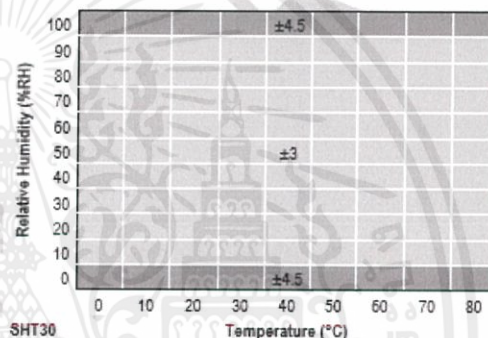


Figure 3 Typical tolerance of RH over T for SHT30

¹ For definition of typical and maximum accuracy tolerance, please refer to the document "Sensorium Humidity Sensor Specification Statement".

² The stated repeatability is 3 times the standard deviation (3σ) of multiple consecutive measurements at the stated repeatability and at constant ambient conditions. It is a measure for the noise on the physical sensor output.

³ Specified range refers to the range for which the humidity or temperature sensor specification is guaranteed.

⁴ For details about recommended humidity and temperature operating range, please refer to section 1.3.

⁵ Time for achieving 63% of a humidity step function, valid at 25°C and 1m/s airflow. Humidity response time in the application depends on the design-in of the sensor.

⁶ With activated ART function (see section 4.7) the response time can be improved by a factor of 2.

⁷ Typical value for operation in normal RH/T operating range, see section 1.3. Maximum value is < 0.5 %RH/yr. Value may be higher in environments with vaporized solvents, out-gassing tapes, adhesives, packaging materials, etc. For more details please refer to Handling Instructions.

Datasheet SHT3x-DIS

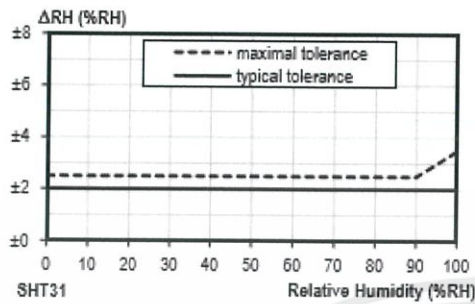
SENSIRION
 THE SENSOR COMPANY


Figure 4 Tolerance of RH at 25°C for SHT31

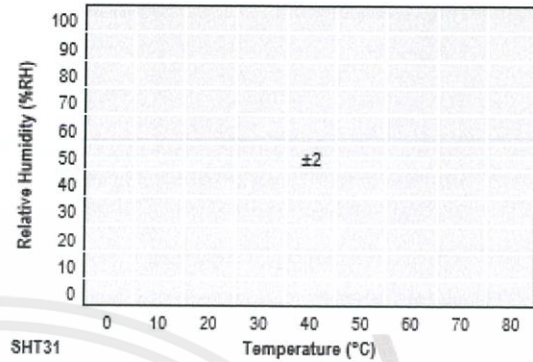


Figure 5 Typical tolerance of RH over T for SHT31

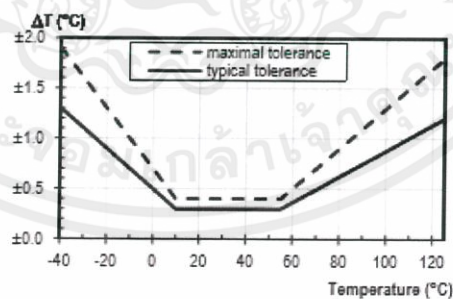
Datasheet SHT3x-DIS

SENSIRION
 THE SENSOR COMPANY

1.2 Temperature Sensor Performance

Parameter	Condition	Value	Units
Accuracy tolerance ¹	Typ. 10 to +55	±0.3	°C
	Low	0.16	°C
Repeatability ²	Medium	0.07	°C
	High	0.04	°C
Resolution	Typ.	0.015	°C
Specified Range	-	-40 to 125	°C
Response time ³	τ _{0.1%}	>2	s
Long Term Drift	max	<0.03	°C/yr

Table 2 Temperature sensor specification



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Relay

**RELAY
MODULES**

JULY 2017

www.einstronic.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RELAY MODULE

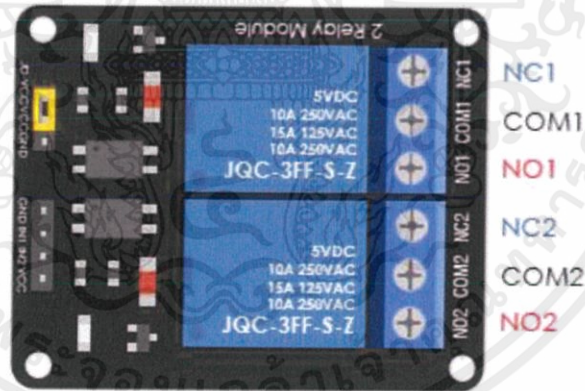
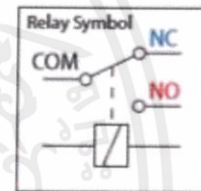
2-Channel Relay Module



Features

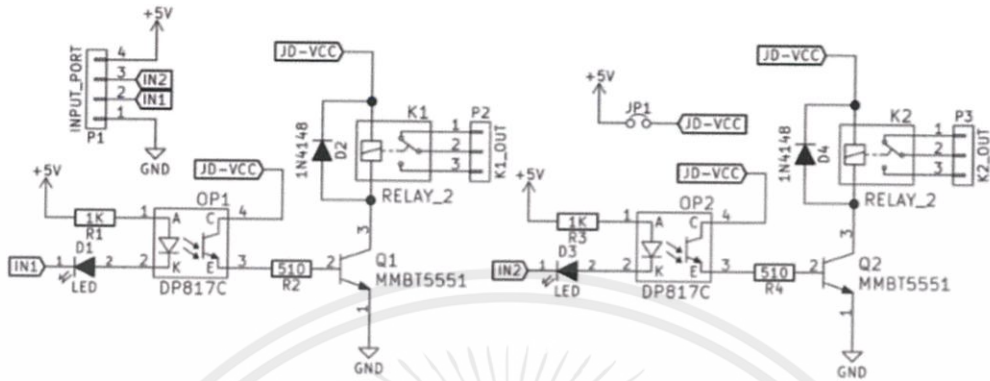
- ▶ 2 Channels of relay drive
- ▶ Opto-isolator driven relay
- ▶ 5V Operated
- ▶ Built-in indicator LEDs for each channel
- ▶ Equipped with 250V 10A relay
- ▶ SPDT Configuration for all relay channels

PINOUT DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2-Channel Relay Module



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Power supply

Features

- Universal input 85-305VAC
- 4W PCB mount package
- <75mW No load power consumption
- Ultra low profile, compact size
- -40°C to +85°C Operating temperature
- Continuous SCP, OCP, OVP
- IEC/EN/UL60950 & EN60335-1 certified, EN55032 Class A

Regulated Converter

RECOM
AC/DC Converter

RAC04-GA

Description

The RAC04-GA series are low cost AC/DC power supplies, ideal for PCB mounted, compact, board level industrial applications. They feature universal AC input voltage range, regulated and short-circuit-proof isolated DC outputs, low standby power consumption and -40°C to +85°C operating temperature range. The RAC04-GA have a built-in Class A / FCC Part 15 EMC filter, are certified to IEC/EN/UL60950-1 and EN60335 and are pending to IEC/EN/UL62368 and EN61558 safety standards and come with a three year warranty.

**4 Watt
Single
Output
EMC Class A**



Selection Guide

Part Number	Input Voltage Range [VAC]	Output Voltage [VDC]	Output Current [mA]	Efficiency typ ⁽¹⁾ [%]	Max. Capacitive Load ⁽²⁾ [µF]
RAC04-05SGA	85-305	5	800	72	1500
RAC04-12SGA	85-305	12	330	78	500
RAC04-24SGA	85-305	24	170	80	150
On Request					
RAC04-3.3SGA	85-305	3.3	1210	70	2000
RAC04-09SGA	85-305	9	440	77	1000
RAC04-15SGA	85-305	15	270	78	200

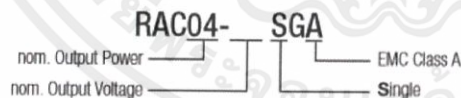
Notes:

- Note1: Efficiency is tested at 230VAC and full load at +25°C ambient
 Note2: Max. Cap. Load is tested at nominal input and full resistive load



UL60950-1 certified
 IEC/EN60950-1 certified
 UL62368-1 certified
 IEC/EN62368-1 certified
 EN61558-1 certified
 EN61558-2-16 certified
 EN60335-1 certified
 CB Report

Model Numbering



Ordering Examples:

RAC04-12SGA 12Vout Single Output EMC Class A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specifications (measured @ T_{amb} = 25°C, nom. V_{in} , full load and after warm-up unless otherwise stated)

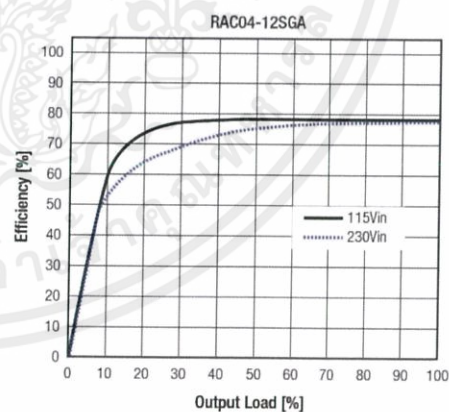
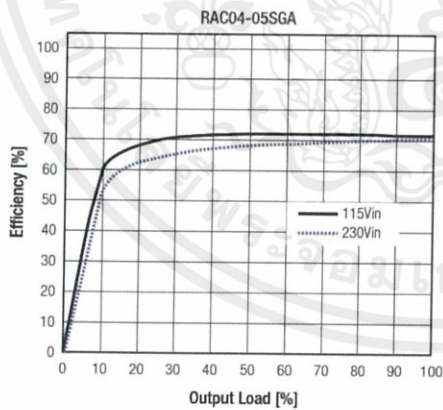
BASIC CHARACTERISTICS					
Parameter	Condition		Min.	Typ.	Max.
Internal Input Filter			Pi-type		
Input Voltage Range ^(3,4)			85VAC 120VDC		305VAC 430VDC
Input Current	115VAC 230VAC			85mA 55mA	
Inrush Current	cold start at 25°C	115VAC 230VAC			10A 20A
No load Power Consumption					75mW
Input Frequency Range	AC Input		45Hz		65Hz
Minimum Load			0%		
Power Factor	115VAC 230VAC			0.55 0.42	
Start-up Time	115VAC, 230VAC			30ms	1s
Hold-up time	115VAC 230VAC			5ms 40ms	
Internal Operating Frequency	100% load at nominal V_{in}			65kHz	
Output Ripple and Noise ⁽⁵⁾	20MHz BW	0°C to 85 °C	5Vout		100mVp-p
			12Vout		150mVp-p
		-30 °C to 0 °C	24Vout		240mVp-p
			5Vout		200mVp-p
		12Vout		250mVp-p	
		24Vout		300mVp-p	

Notes:

Note3: The products were submitted for safety files at AC-Input operation

Note4: Refer to line derating graph on page 4

 Note5: Measurements are made with a 12" twisted pair-wire with a 0.1 μ F and 10 μ F parallel capacitor across output (low ESR)

Efficiency vs. Load


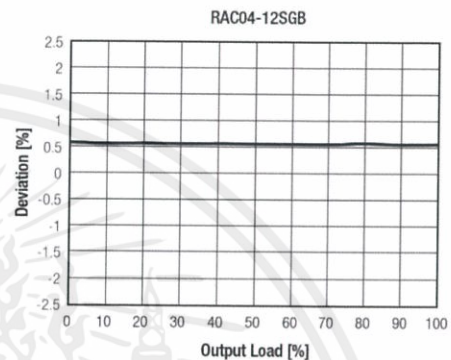
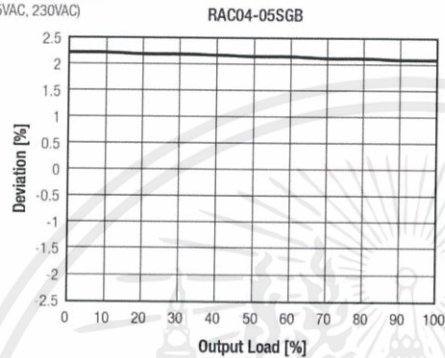
Specifications (measured @ $T_a = 25^\circ\text{C}$, nom. V_{in} , full load and after warm-up unless otherwise stated)

REGULATIONS

Parameter	Condition	Value
Output Accuracy		$\pm 2.5\%$ max.
Line Regulation	low line to high line	$\pm 0.5\%$ max.
Load Regulation	10% to 100% load	0.5% max.

Deviation vs. Load

(at 115VAC, 230VAC)


PROTECTIONS

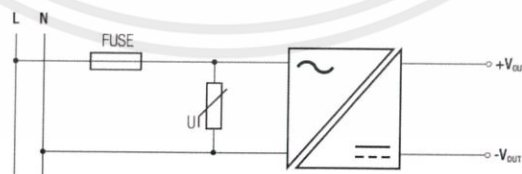
Parameter	Type	Value
Input Fuse ⁽⁶⁾	Internal	T1A slow blow type, 300V
Short Circuit Protection (SCP)	below 100m Ω	long-term mode, auto recovery
Over Voltage Protection (OVP)	5Vout	5.3V - 6.8V
	12Vout	12.6V - 16.2V
	24Vout	25.2V - 32.4V
Over Voltage Category		OVCII
Over Current Protection (OCP)	5Vout	0.91A - 2.2A
	12Vout	0.37A - 0.95A
	24Vout	0.19A - 0.45A
Class of Equipment		Class II
Isolation Voltage ⁽⁷⁾	I/P to O/P	rated for 1 minute
Isolation Resistance		10M Ω min.
Isolation Capacitance		800pF min. 1200pF max.
Insulation Grade		reinforced
Leakage Current	277VAC, 50Hz	0.1mA max.

Notes:

Note6: Refer to local wiring regulations if input over-current protection is also required.

Note7: For repeat Hi-Pot testing, reduce the time and/or the test voltage.

 Note8: For operation $\geq 230\text{VAC}$, an external MOV is recommended. The Varistor should comply with IEC61051-2, eg. EPCOS S14 series.

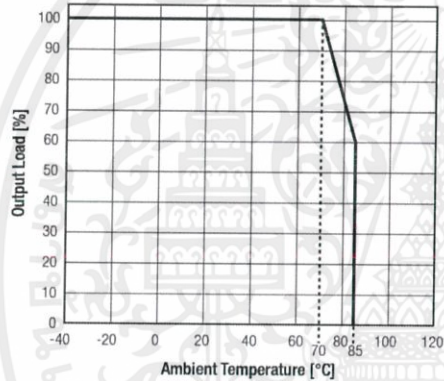
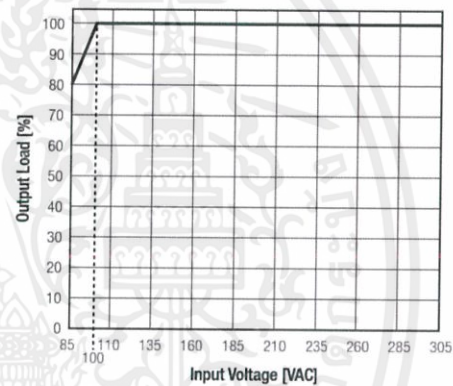
Protection Circuit


Specifications (measured @ T_{amb} : 25°C, nom. V_{in} , full load and after warm-up unless otherwise stated)

ENVIRONMENTAL			
Parameter	Condition	Value	
Operating Temperature Range	@ natural convection 0.1m/s	full load	-40°C to +70°C
		refer to derating graph	-40°C to +85°C
Maximum Case Temperature		+100°C	
Temperature Coefficient		0.03%/K	
Operating Altitude		3000m	
Operating Humidity	non-condensing	5% - 95% RH	
Pollution Degree		PD2	
Shock		20G/11ms pulse, 3 times at each x, y, z axes	
Vibration		10-150Hz, 2G 10min./1cycle, period 60min. along x,y,z axes for 6 cycles	
MTBF	according to MIL-HDBK-217F, G.B.	+25°C	100 x 10 ³ hours
		+70°C	17 x 10 ³ hours

Derating Graph

(@ Chamber and natural convection 0.1m/s)


Line Derating Graph

SAFETY AND CERTIFICATIONS

Certificate Type (Safety)	Report / File Number	Standard
Information Technology Equipment, General Requirements for Safety	E196683-A4	UL60950-1, 2nd Edition, 2014
Audio/video, information and communication technology equipment. Safety requirements		CAN/CSA C22.2 No. 60950-1-07, 2nd Edition, 2014
Information Technology Equipment, General Requirements for Safety	SA1703184S 001	UL62368-1, 2nd Edition
Information Technology Equipment, General Requirements for Safety (CB)		CAN/CSA C22.2 No 62368-1-14
Audio/video, information and communication technology equipment. Safety requirements	4787985921-	EN60950-1: 2006 + A2, 2013
Audio/video, information and communication technology equipment. Safety requirements (CB)		IEC60950-1, 2nd Edition: 2005 + AM2, 2013
Household and similar electrical appliances – Safety – Part 1: General requirements	211-600771-000	EN62368-1: 2014
Household and similar electrical appliances – Safety – Part 1: General requirements (CB)		IEC62368-1, 2nd Edition: 2014
		EN60335-1:2012 + A12:2017
		IEC60335-1:2010 5th Edition + A1:2013

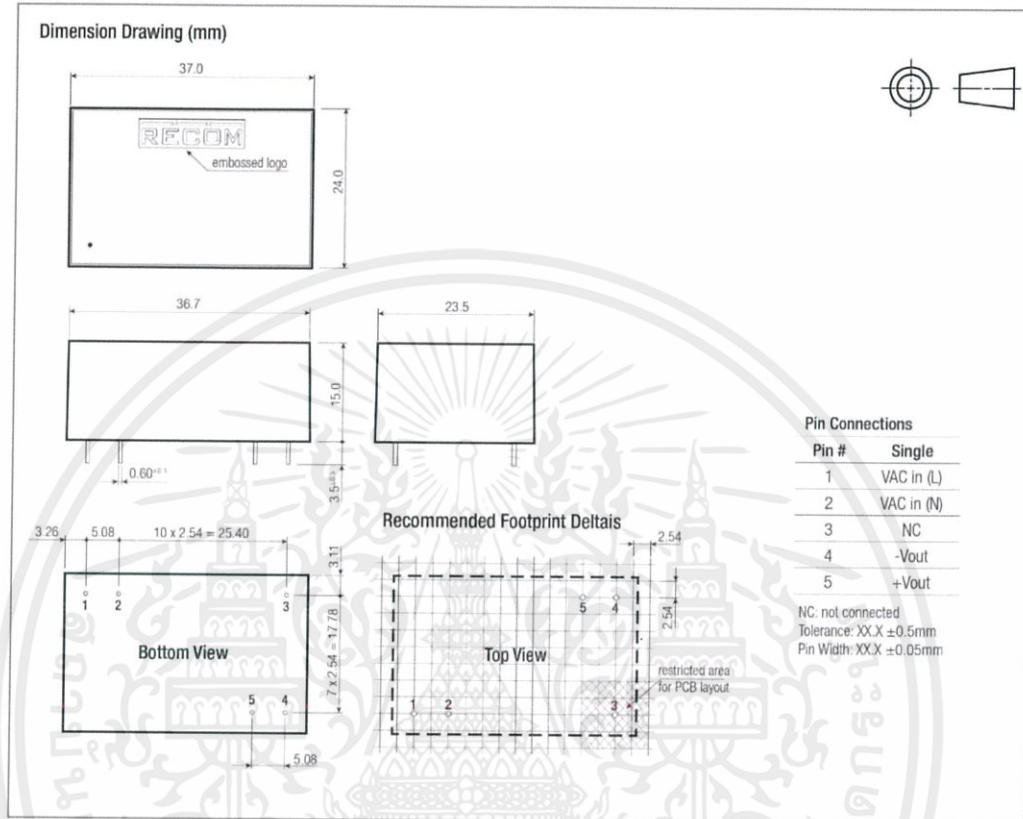
continued on next page

Specifications (measured @ $T_a = 25^\circ\text{C}$, nom. V_{in} , full load and after warm-up unless otherwise stated)

Certificate Type (Safety)	Report / File Number	Standard				
Safety of power transformers, power supplies, reactors and similar products for supply voltages up to 1100 V	SA 1709184L 02001	EN61558-1:2005 + A1:2009				
Safety of power transformers, power supplies, reactors and similar products for supply voltages up to 1100 V Part 2: Particular requirements		EN61558-2-16: 2009 + A1, 2013				
Safety of power transformers, power supplies, reactors and similar products for supply voltages up to 1100 V (CB)	211-600770-000	IEC61558-1:2005 2nd Edition + A1:2009				
Safety of power transformers, power supplies, reactors and similar products for supply voltages up to 1100 V Part 2: Particular requirements (CB)		IEC61558-2-16:2009 1st Edition + A1:2013				
Measurement methods for electromagnetic fields of household appliances and similar apparatus with regard to human exposure	SA1703184L 01001	EN62233:2008				
EAC	RU-AT.03.67361	TP TC 004/020, 2011				
RoHS 2+		RoHS 2011/65/EU + AM2015/863				
EMC Compliance	Condition	Standard / Criterion				
Information technology equipment - Radio disturbance characteristics - Limits and methods of measurement	EA1703184E 01001	EN55032: 2015, Class A				
Information technology equipment - Immunity characteristics - Limits and methods of measurement		EN55024:2010 + A1:2015				
Limitations on the amount of electromagnetic interference allowed from digital and electronic devices	EA1703184F 01001	47 CFR FCC Part 15 Subpart A: 2016				
ESD Electrostatic discharge immunity test	Air $\pm 8\text{kV}$, Contact $\pm 4\text{kV}$	EN61000-4-2: 2009, Criteria A				
Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test	3V/m	EN61000-4-3: 2006 + A2, 2010, Criteria A				
Fast Transient and Burst Immunity	AC Power Port $\pm 1\text{kV}$	EN61000-4-4: 2012, Criteria A				
Surge Immunity	AC Power Port L-N $\pm 1\text{kV}$	EN61000-4-5: 2014, Criteria B				
Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields	AC Power Port 3V	EN61000-4-6: 2014, Criteria A				
Voltage Dips and Interruption	Voltage Dips >95% Voltage Dips 30% Voltage Interruptions >95%	EN61000-4-11: 2004, Criteria A				
		EN61000-4-11: 2004, Criteria A				
		EN61000-4-11: 2004, Criteria C				
EMI Filtering according to EN60335-1 / EN55032 Class B Compliance						
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>CY1, CY2</th> <th>CX1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1nF, 2kV</td> <td>100nF, 2kV</td> </tr> </tbody> </table>			CY1, CY2	CX1	1nF, 2kV	100nF, 2kV
CY1, CY2	CX1					
1nF, 2kV	100nF, 2kV					

DIMENSION AND PHYSICAL CHARACTERISTICS		
Parameter	Type	Value
Material	case PCB	black plastic, (UL94V-0) FR4, (UL94V-0)
Dimension (LxWxH)		37.0 x 24.0 x 15.0mm
Weight		20g typ.

continued on next page

Specifications (measured @ $T_a = 25^\circ\text{C}$, nom. V_{in} , full load and after warm-up unless otherwise stated)


PACKAGING INFORMATION		
Parameter	Type	Value
Packaging Dimension (LxWxH)	tube	505.0 x 39.7 x 23.2mm
Packaging Quantity		20pcs
Storage Temperature Range		-40°C to +100°C
Storage Humidity	non-condensing	5% -95% RH max.

The product information and specifications may be subject to changes even without prior written notice. The product has been designed for various applications; its suitability lies in the responsibility of each customer. The products are not authorized for use in safety-critical applications without RECOM's explicit written consent. A safety-critical application is an application where a failure may reasonably be expected to endanger or cause loss of life, inflict bodily harm or damage property. The applicant shall indemnify and hold harmless RECOM, its affiliated companies and its representatives against any damage claims in connection with the unauthorized use of RECOM products in such safety-critical applications.

Photocoupler

SHARP

PC817XNNSZ0F

**PC817XNNSZ0F
Series**DIP 4pin
Photocoupler**■Description**

PC817XNNSZ0F Series contains an IRED optically coupled to a phototransistor. It is packaged in a 4-pin DIP. Input-output isolation voltage(rms) is 5kV. Collector-emitter voltage is 80V.

■Agency approvals/Compliance

1. Approved by UL file No. E64380 (as model No. PC817)
2. Approved by CSA file No. CA95323 (as model No. PC817)
3. Package resin : UL flammability grade (94V-0)

■Features

1. 4-pin DIP package
2. Double transfer mold package (Ideal for Flow Soldering)
3. High isolation voltage between input and output (Viso(rms) : 5kV)
4. High collector-emitter voltage(V_{CE0} : 80V)
5. Current transfer ratio (CTR : MIN. 50% at $I_F=5$ mA, $V_{CE}=5$ V)
6. RoHS directive compliant

■Applications

1. Programmable controllers
2. Facsimiles
3. Telephones

Notice The content of data sheet is subject to change without prior notice.

In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that may occur in equipment using any SHARP devices shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest device specification sheets before using any SHARP device.

Sheet No. OPI4004EN

■ Absolute maximum ratings

				Ta=25°C	
Parameter		Symbol	Rating	Unit	
Input	*1 Forward current	I_F	50	mA	
	*2 Peak forward current	I_{FM}	1	A	
	Reverse voltage	V_R	6	V	
	*1 Power dissipation	P	70	mW	
Output	Collector-emitter voltage	V_{CEO}	80	V	
	Emitter-collector voltage	V_{ECO}	6	V	
	Collector current	I_c	50	mA	
	*1 Collector power dissipation	P_c	150	mW	
*1 Total power dissipation	P_{tot}	200	mW		
Operating temperature		T_{opr}	-30 to +100	°C	
Storage temperature		T_{stg}	-55 to +125	°C	
*3 Isolation voltage	$V_{iso(max)}$	5	kV		
*4 Soldering temperature	T_{sol}	270	°C		

*1 The derating factors of absolute maximum ratings due to ambient temperature are shown in Fig. 1 to 4.

*2 Pulse width $\leq 100\mu s$, Duty ratio : 0.001 (Refer to Fig. 5)

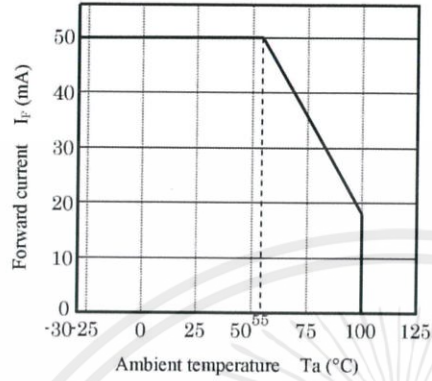
*3 AC for 1 min, 40 to 60%RH

*4 For 10 s

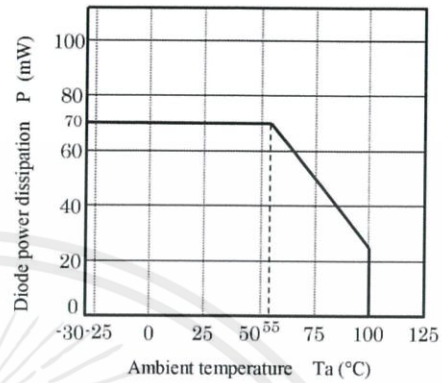
■ Electro-optical Characteristics

							Ta=25°C	
Parameter		Symbol	Condition	MIN.	TYP.	MAX.	Unit	
Input	Forward voltage	V_F	$I_F=20mA$	-	1.2	1.4	V	
	Peak forward voltage	V_{FM}	$I_{FM}=0.5A$	-	-	3.0	V	
	Reverse current	I_R	$V_R=4V$	-	-	10	μA	
	Terminal capacitance	C_T	$V=0, f=1kHz$	-	30	250	pF	
Output	Dark current	I_{CBO}	$V_{CE}=50V, I_F=0$	-	-	100	nA	
	Collector-emitter breakdown voltage	BV_{CEO}	$I_c=0.1mA, I_F=0$	80	-	-	V	
	Emitter-collector breakdown voltage	BV_{ECO}	$I_F=10\mu A, I_c=0$	6	-	-	V	
Transfer characteristics	Collector current	I_c	$I_F=5mA, V_{CE}=5V$	2.5	-	30	mA	
	Collector-emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_F=20mA, I_c=1mA$	-	0.1	0.2	V	
	Isolation resistance	R_{ISO}	DC500V 40 to 60%RH	5×10^{10}	10^{11}	-	Ω	
	Floating capacitance	C_f	$V=0, f=1MHz$	-	0.6	1.0	pF	
	Cut-off frequency	f_c	$V_{CE}=5V, I_c=2mA$ $R_l=100\Omega, -3dB$	-	80	-	kHz	
	Rise time	t_r	$V_{CE}=2V, I_c=2mA$	-	4	18	μs	
	Fall time	t_f	$R_l=100\Omega$	-	3	18	μs	

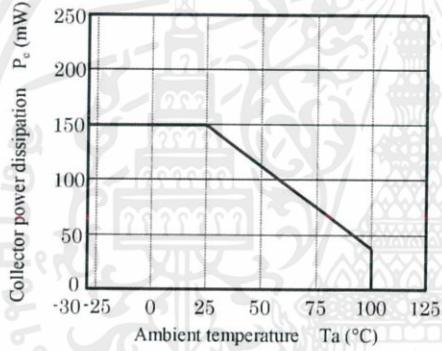
(Fig. 1)
Forward current vs. ambient temperature



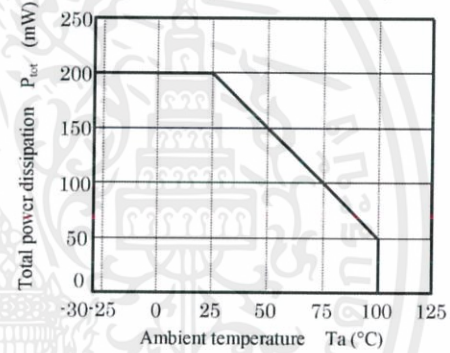
(Fig. 2)
Diode power dissipation vs. ambient temperature



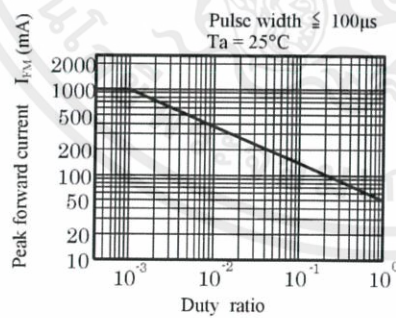
(Fig. 3)
Collector power dissipation vs. ambient temperature



(Fig. 4)
Total power dissipation vs. ambient temperature



(Fig. 5)
Peak forward current vs. duty ratio



LED Driver

eldoLED
your product | our drive

Datasheet
ECOdrive 361/S



Light
is our passion

30W 0-10V LED Driver with Smooth Dimming to 1%

ECOdrive

Programmable digital ECOdrive LED driver providing standard LED fixtures with the smoothest flicker-free dimming to 1% light output, delivering value to any application. The LED driver is compatible with the 0-10V lighting control protocol, and works seamlessly together with LED modules, controls and intelligent luminaire elements.

Product offering



ECOdrive 361/S

Part number (P/N)	EC0361S3
Product description	ECOdrive, 30W, 0-10V, 1 control channel, constant current, 1x 55V output, side feed, metal square

Features & benefits

Natural dimming	Dim to 1%, smooth brightness changes, excellent flicker performance, adaptable dimming curves, configurable minimum dimming level
Symbiosis	Seamless interoperability with LED modules, controls and in-luminaire intelligent devices
LEDcode	configurable design to work with most constant current LED modules and arrays, while providing a connection point to integrated peripheral controls
Programmable	Fine-tune your driver for any application
Performance	Universal input voltage range, low inrush current and total harmonic distortion (THD), high power factor and efficiency
Camera compatibility	Hybrid HydraDrive technology is proven to work in TV studios and security camera environments

© 2018 eldoLED. All rights reserved. V1.7 All content contained herein is subject to change without prior notice.
More product documentation and eldoLED's warranty and terms and conditions are available at www.eldoLED.com.

AcuityBrands®

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Programming tools

Programming interface	TOOLbox pro (TLU20504)
Programming cable set	TOOLbox pro to LED driver, programming cable, 5pcs (TLC03051)
Programming Hand-held, Touch-and-Go	PJ0050HH1
Programming jig	PJ0300S1
Programming software	FluxTool

Warranty

Warranty period	General Terms and Conditions
-----------------	------------------------------

Order number configurator



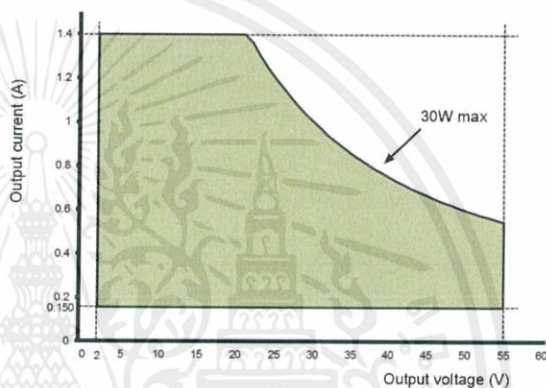
P/N	LED driver part number.
LED output current	Enter value in 1mA increments, e.g. "811" for 811mA
Dimming curve	"LOG" for logarithmic (default) "LIN" for linear "SLN" for soft-linear "SQU" for square
Minimum dimming level	Leave blank for default minimum dimming level of 1.0%. Specify in 0.1% increments, e.g. "10.5" for 10.5%.
Start-up performance	Enter "CA24" for improved start-up performance to comply with ENERGY STAR Luminaires v2.0 and the latest CA Title 24 standard, effective January 2017.

Input characteristics

Nominal input voltage range AC	120-250V (ENEC) 120-277V (UL)
Nominal input voltage range DC	120-250V
Maximum input current	0.35A @ 120V / 60Hz
Input frequency range	50 - 60Hz
Efficiency at full load	85%
Power factor at full load	> 0.9
THD at full load	< 20%
Maximum inrush current	30mA*s @ 277V / 60Hz
Surge protection	2kV differential mode (DM) 2kV common mode (CM)
Maximum standby power	< 0.5W

Output characteristics

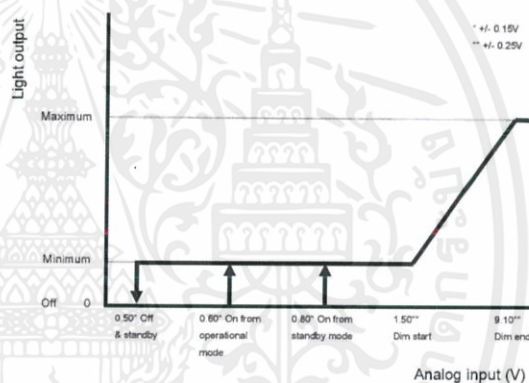
Maximum LED output power	30W
Number of LED outputs	1 (UL Class 2)
Programmable LED output current range	150 - 1,400mA
LED output type	Programmable in 1mA increments within specified current range
LED output current tolerance	+/- 5% at programmed LED output current
LED output voltage range	2 - 55V
Operating window	



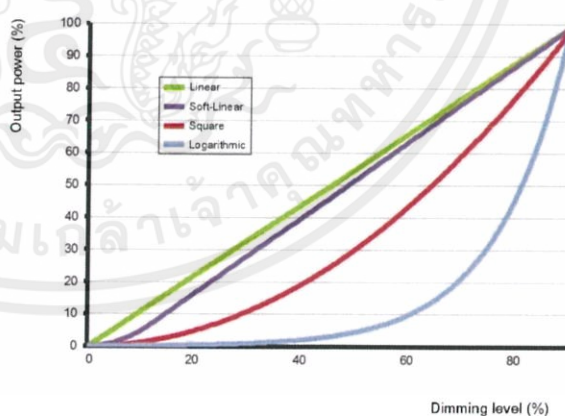
Control characteristics

Control channels	1
Control protocol	0-10V, LEDcode
Dimming range	100% - 1%
Dimming curve options	Logarithmic (default) Linear Soft-Linear Square
Dimming method	Hybrid HydraDrive
0-10V current draw	<2mA
0-10V isolation	to line voltage input: 1500V to LED output: 3750V

0-10V dimming chart



Dimming curves



Environmental conditions

Operating ambient temperature (Ta) range	-20 °C to +50 °C
Maximum operating case temperature (Tc max)	80 °C
Lifetime	50,000 hours at a maximum case temperature (Tc) of 75 °C
Type TL	@1400mA, Tref 54 °C, max 81 °C

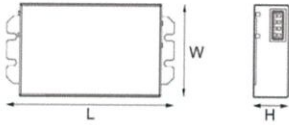
LED driver protection

Thermal	The LED output current is decreased whenever the internal LED driver temperature exceeds factory preset temperature. The LED output current is increased again once the internal LED driver temperature drops below this internal temperature threshold. If the internal LED driver temperature continues to increase, despite a decrease in output current, the LED driver will shut down.
LED output short circuit	The LED output current is cut off whenever the LED driver detects a short-circuit. The LED driver will attempt a restart every 400ms after a short-circuit is detected.
LED output overload	The LED driver decreases the LED output current sequentially, until it reaches its maximum rated power, whenever a load that exceeds the LED driver's maximum rated power is connected to the LED output.
Reverse polarity	The LED driver will not yield any current if the polarity of the load on the LED output is reversed. This situation will not damage the LED driver but may damage the LED load.

LED protection

Thermal protection LED	An external NTC thermistor, which is placed on a PCB near the LEDs, can be connected to the driver via the LEDcode/NTC terminals. The output current to the LEDs is then decreased by 75% whenever the NTC exceeds a maximum allowable temperature, which is specified by the user in the FluxTool software. The default NTC temperature limit is set to 70 °C.
Thermistor value	47kΩ
Suitable thermistors	leaded: Vishay, P/N 238164063473 screw: Vishay, P/N NTCASCWE3473J

LED driver mechanical details



Length (L)	typical: 130 mm / 5.12 in
Width (W)	typical: 72 mm / 2.83 in
Height (H)	typical: 28 mm / 1.10 in
3D files available on product web page	IGS
Weight	285.5 g

Packaging

Products per box	40 pcs
------------------	--------

Connector layout



Wiring specifications

Wire type	solid or stranded copper
Wire core cross section	0.5 - 1.5 mm ² AWG 20 - 16
Wire strip length	9.0 mm / 0.35 inch
Maximum remote mounting distance of LED load	AWG 20 (0.52 mm ²) - 14 m / 46 ft AWG 19 (0.65 mm ²) - 18 m / 59 ft AWG 18 (0.82 mm ²) - 22 m / 72 ft AWG 17 (1.04 mm ²) - 28 m / 92 ft AWG 16 (1.31 mm ²) - 36 m / 118 ft

opt-amp



LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

SNOSBT31 – JANUARY 2000 – REVISED DECEMBER 2014

LMx58-N Low-Power, Dual-Operational Amplifiers

1 Features

- Available in 8-Bump DSBGA Chip-Sized Package, (See AN-1112, SNVA009)
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100 dB
- Wide Bandwidth (Unity Gain): 1 MHz (Temperature Compensated)
- Wide Power Supply Range:
 - Single Supply: 3V to 32V
 - Or Dual Supplies: $\pm 1.5V$ to $\pm 16V$
- Very Low Supply Current Drain (500 μA)—Essentially Independent of Supply Voltage
- Low Input Offset Voltage: 2 mV
- Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground
- Differential Input Voltage Range Equal to the Power Supply Voltage
- Large Output Voltage Swing
- Unique Characteristics:
 - In the Linear Mode the Input Common-Mode Voltage Range Includes Ground and the Output Voltage Can Also Swing to Ground, even though Operated from Only a Single Power Supply Voltage.
 - The Unity Gain Cross Frequency is Temperature Compensated.
 - The Input Bias Current is also Temperature Compensated.
- Advantages:
 - Two Internally Compensated Op Amps
 - Eliminates Need for Dual Supplies
 - Allows Direct Sensing Near GND and V_{OUT} Also Goes to GND
 - Compatible with All Forms of Logic
 - Power Drain Suitable for Battery Operation

2 Applications

- Active Filters
- General Signal Conditioning and Amplification
- 4- to 20-mA Current Loop Transmitters

3 Description

The LM158 series consists 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 voltages. 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 amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op-amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard 3.3-V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional $\pm 15V$ power supplies.

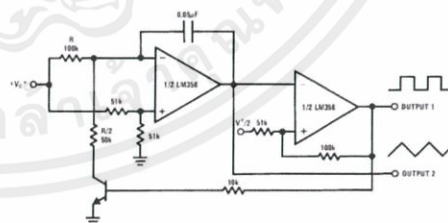
The LM358 and LM2904 are available in a chip sized package (8-Bump DSBGA) using TI's DSBGA package technology.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM158-N	TO-CAN (8)	9.08 mm x 9.09 mm
	CDIP (8)	10.16 mm x 6.502 mm
LM258-N	TO-CAN (8)	9.08 mm x 9.09 mm
	DSBGA (8)	1.31 mm x 1.31 mm
LM2904-N	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
	PDIP (8)	9.81 mm x 6.35 mm
	TO-CAN (8)	9.08 mm x 9.09 mm
LM358-N	DSBGA (8)	1.31 mm x 1.31 mm
	SOIC (8)	4.90 mm x 3.91 mm
	PDIP (8)	9.81 mm x 6.35 mm

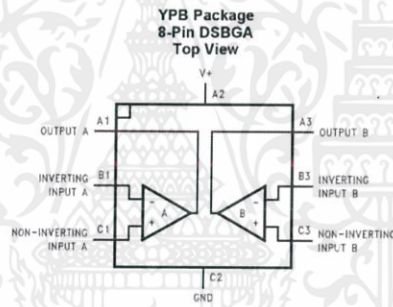
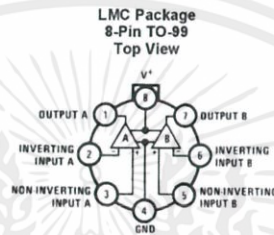
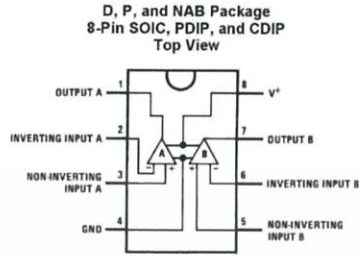
(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

Voltage Controlled Oscillator (VCO)



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

5 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

D/P/LMC NO.	PIN		TYPE	DESCRIPTION
	DSBGA NO.	NAME		
1	A1	OUTA	O	Output, Channel A
2	B1	-INA	I	Inverting Input, Channel A
3	C1	+INA	I	Non-Inverting Input, Channel A
4	C2	GND / V-	P	Ground for Single supply configurations; negative supply for dual supply configurations
5	C3	+INB	I	Output, Channel B
6	B3	-INB	I	Inverting Input, Channel B
7	A3	OUTB	O	Non-Inverting Input, Channel B
8	A2	V+	P	Positive Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

SNOSBT3I – JANUARY 2000 – REVISED DECEMBER 2014

www.ti.com

6 Specifications

6.1 Absolute Maximum Ratings

 See ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾.

		LM158, LM258, LM358, LM158A, LM258A, LM358A		LM2904		UNIT
		MIN	MAX	MIN	MAX	
Supply Voltage, V^+		32		26		V
Differential Input Voltage		32		26		V
Input Voltage		-0.3	32	-0.3	26	V
Power Dissipation ⁽⁴⁾	PDIP (P)	830		830		mW
	TO-99 (LMC)	550				mW
	SOIC (D)	530		530		mW
	DSBGA (YPB)	435				mW
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) ⁽⁵⁾	$V^+ \leq 15\text{ V}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$		Continuous		Continuou s	
Input Current ($V_{IN} < -0.3\text{V}$) ⁽⁶⁾		50		50		mA
Temperature		-55	125			$^\circ\text{C}$
	PDIP Package (P): Soldering (10 seconds)	260		260		$^\circ\text{C}$
	SOIC Package (D)	215		215		$^\circ\text{C}$
		Vapor Phase (60 seconds)	220		220	
Lead Temperature	PDIP (P): (Soldering, 10 seconds)	260		260		$^\circ\text{C}$
	TO-99 (LMC): (Soldering, 10 seconds)	300		300		$^\circ\text{C}$
Storage temperature, T_{stg}		-65	150	-65	150	$^\circ\text{C}$

- (1) *Absolute Maximum Ratings* indicate limits beyond which damage to the device may occur. *Recommended Operating Conditions* indicate conditions for which the device is intended to be functional, but specific performance is not ensured. For ensured specifications and the test conditions, see the Electrical Characteristics.
- (2) Refer to RETS158AX for LM158A military specifications and to RETS158X for LM158 military specifications.
- (3) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (4) For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a 125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 120°C/W for PDIP, 182°C/W for TO-99, 189°C/W for SOIC package, and 230°C/W for DSBGA, which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a $+150^\circ\text{C}$ maximum junction temperature. The dissipation is the total of both amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.
- (5) Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of +15 V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.
- (6) This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3 V (at 25°C).

6.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT
$V_{(ESD)}$	Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	± 250 V

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

6.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

	MIN	MAX	UNIT
Supply Voltage (V+ - V-) LM158, LM258, LM358	3 (±1.5)	32 (±16)	V
Supply Voltage (V+ - V-) LM2904	3 (±1.5)	26 (±13)	V
Operating Temperature: LM158	-55	125	°C
Operating Temperature: LM258	-25	85	°C
Operating Temperature: LM358	0	70	°C
Operating Temperature: LM2904	-40	85	°C

6.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾	LM158-N, LM258-N, LM358-N	LM158-N	LM2904-N, LM358-N			UNIT
	LMC	NAB	YPB	D	P	
	8 PINS					
R _{θJA} Junction-to-ambient thermal resistance	155	132	230	189	120	°C/W

(1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the *IC Package Thermal Metrics* application report, SPRA953.

6.5 Electrical Characteristics: LM158A, LM358A, LM158, LM258

V⁺ = +5.0 V, See⁽¹⁾, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM158A			LM358A			LM158, LM258			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See ⁽²⁾ , T _A = 25°C	1	2		2	3		2	5	mV	
Input Bias Current	I _{N(+)} or I _{N(-)} , T _A = 25°C, V _{CM} = 0 V, ⁽³⁾	20	50		45	100		45	150	nA	
Input Offset Current	I _{N(+)} - I _{N(-)} , V _{CM} = 0V, T _A = 25°C	2	10		5	30		3	30	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	V ⁺ = 30 V, ⁽⁴⁾ (LM2904, V ⁺ = 26V), T _A = 25°C	0	V ⁺ -1.5		0	V ⁺ -1.5		0	V ⁺ -1.5	V	
Supply Current	Over Full Temperature Range										
	R _L = ∞ on All Op Amps										
	V ⁺ = 30V (LM2904 V ⁺ = 26V)	1	2		1	2		1	2	mA	
	V ⁺ = 5V	0.5	1.2		0.5	1.2		0.5	1.2	mA	
Large Signal Voltage Gain	V ⁺ = 15 V, T _A = 25°C, R _L ≥ 2 kΩ, (For V _O = 1 V to 11 V)	50	100		25	100		50	100	V/mV	
Common-Mode Rejection Ratio	T _A = 25°C, V _{CM} = 0 V to V ⁺ -1.5 V	70	85		65	85		70	85	dB	
Power Supply Rejection Ratio	V ⁺ = 5 V to 30 V (LM2904, V ⁺ = 5 V to 26 V), T _A = 25°C	65	100		65	100		65	100	dB	

(1) These specifications are limited to -55°C ≤ T_A ≤ +125°C for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T_A ≤ 85°C, the LM358/LM358A temperature specifications are limited to 0°C ≤ T_A ≤ 70°C, and the LM2904 specifications are limited to -40°C ≤ T_A ≤ 85°C.

(2) V_O = 1.4 V, R_S = 0 Ω with V⁺ from 5 V to 30 V; and over the full input common-mode range (0 V to V⁺ -1.5 V) at 25°C. For LM2904, V⁺ from 5 V to 26 V.

(3) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

(4) The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is V⁺ -1.5 V (at 25°C), but either or both inputs can go to 32 V without damage (26 V for LM2904), independent of the magnitude of V⁺.


LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

SNOB31—JANUARY 2000—REVISED DECEMBER 2014

www.ti.com
Electrical Characteristics: LM158A, LM358A, LM158, LM258 (continued)
 $V^+ = +5.0\text{ V}$, See⁽¹⁾, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM158A			LM358A			LM158, LM258			UNIT		
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX			
Power Supply	$V^+ = 5\text{ V to }30\text{ V}$												
Rejection Ratio	(LM2904, $V^+ = 5\text{ V to }26\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	65	100		65	100		65	100		dB		
Amplifier-to-Amplifier Coupling	$f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred), See ⁽⁵⁾	-120			-120			-120			dB		
Output Current	Source $V_{IN}^+ = 1\text{ V}$, $V_{IN}^- = 0\text{ V}$, $V^+ = 15\text{ V}$, $V_O = 2\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		20	40		20	40		20	40	mA		
		Sink $V_{IN}^- = 1\text{ V}$, $V_{IN}^+ = 0\text{ V}$, $V^+ = 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_O = 2\text{ V}$		10	20		10	20		10		20	mA
			$V_{IN}^- = 1\text{ V}$, $V_{IN}^+ = 0\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_O = 200\text{ mV}$, $V^+ = 15\text{ V}$		12	50		12	50			12	
	Short Circuit to Ground	$T_A = 25^\circ\text{C}$, See ⁽⁶⁾ , $V^+ = 15\text{ V}$		40	60		40	60		40	60	mA	
	Input Offset Voltage	See ⁽²⁾			4			5			7	mV	
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$		7	15		7	20		7		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$		
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$			30			75			100	nA		
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$		10	200		10	300		10		$\text{pA}/^\circ\text{C}$		
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		40	100		40	200		40	300	nA		
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30\text{ V}$, See ⁽⁴⁾ (LM2904, $V^+ = 26\text{ V}$)	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V		
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15\text{ V}$		25			15			25		V/mV		
	$(V_O = 1\text{ V to }11\text{ V})$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$												
Output	V_{OH} , $V^+ = +30\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$		26			26			26		V		
Voltage	(LM2904, $V^+ = 26\text{ V}$) $R_L = 10\text{ k}\Omega$	27	28		27	28		27	28		V		
Swing	V_{OL} , $V^+ = 5\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$		5	20		5	20		5	20	mV		
Output Current	Source $V_{IN}^+ = +1\text{ V}$, $V_{IN}^- = 0\text{ V}$, $V^+ = 15\text{ V}$, $V_O = 2\text{ V}$		10	20		10	20		10	20	mA		
		Sink $V_{IN}^- = +1\text{ V}$, $V_{IN}^+ = 0\text{ V}$, $V^+ = 15\text{ V}$, $V_O = 2\text{ V}$		10	15		5	8		5		8	mA

(5) Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

(6) Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of +15 V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

6.6 Electrical Characteristics: LM358, LM2904
 $V^+ = +5.0\text{ V}$. See⁽¹⁾, unless otherwise stated

PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM358		LM2904		UNIT			
		MIN	TYP	MAX	MIN		TYP	MAX	
Input Offset Voltage	See ⁽²⁾ , $T_A = 25^\circ\text{C}$		2	7		2	7	mV	
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_{CM} = 0\text{ V}$, See ⁽³⁾		45	250		45	250	nA	
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		5	50		5	50	nA	
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30\text{ V}$, See ⁽⁴⁾ (LM2904, $V^+ = 26\text{ V}$), $T_A = 25^\circ\text{C}$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	V	
Supply Current	Over Full Temperature Range								
	$R_L = \infty$ on All Op Amps								
	$V^+ = 30\text{ V}$ (LM2904 $V^+ = 26\text{ V}$)		1	2		1	2	mA	
	$V^+ = 5\text{ V}$		0.5	1.2		0.5	1.2	mA	
Large Signal Voltage	$V^+ = 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$								
Gain	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, (For $V_O = 1\text{ V}$ to 11 V)	25	100		25	100		V/mV	
Common-Mode Rejection Ratio	$T_A = 25^\circ\text{C}$,								
	$V_{CM} = 0\text{ V}$ to $V^+ - 1.5\text{ V}$	65	85		50	70		dB	
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5\text{ V}$ to 30 V (LM2904, $V^+ = 5\text{ V}$ to 26 V), $T_A = 25^\circ\text{C}$	65	100		50	100		dB	
Amplifier-to-Amplifier Coupling	$f = 1\text{ kHz}$ to 20 kHz , $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Input Referred), See ⁽⁵⁾		-120			-120		dB	
Output Current	Source	$V_{IN^+} = 1\text{ V}$,							
		$V_{IN^-} = 0\text{ V}$,							
		$V^+ = 15\text{ V}$,	20	40		20	40		mA
	Sink	$V_O = 2\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$							
		$V_{IN^+} = 1\text{ V}$, $V_{IN^-} = 0\text{ V}$							
		$V^+ = 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$,	10	20		10	20		mA
	$V_O = 2\text{ V}$								
	$V_{IN^+} = 1\text{ V}$,								
	$V_{IN^-} = 0\text{ V}$								
	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_O = 200\text{ mV}$,	12	50		12	50		μA	
	$V^+ = 15\text{ V}$								
Short Circuit to Ground	$T_A = 25^\circ\text{C}$, See ⁽⁶⁾ , $V^+ = 15\text{ V}$		40	60		40	60	mA	
Input Offset Voltage	See ⁽²⁾			9			10	mV	
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\ \Omega$		7			7		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$			150		45	200	nA	
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\ \Omega$		10			10		$\text{pA}/^\circ\text{C}$	
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		40	500		40	500	nA	

- (1) These specifications are limited to $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$, the LM358/LM358A temperature specifications are limited to $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$, and the LM2904 specifications are limited to $-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$.
- (2) $V_O = 1.4\text{ V}$, $R_S = 0\ \Omega$ with V^+ from 5 V to 30 V , and over the full input common-mode range (0 V to $V^+ - 1.5\text{ V}$) at 25°C . For LM2904, V^+ from 5 V to 26 V .
- (3) The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
- (4) The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5\text{ V}$ (at 25°C), but either or both inputs can go to 32 V without damage (26 V for LM2904), independent of the magnitude of V^+ .
- (5) Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.
- (6) Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V^+ . At values of supply voltage in excess of $+15\text{ V}$, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

LM158-N, LM258-N, LM2904-N, LM358-N

SNOSBT3I – JANUARY 2000 – REVISED DECEMBER 2014

www.ti.com

Electrical Characteristics: LM358, LM2904 (continued) $V^+ = +5.0\text{ V}$, See⁽¹⁾, unless otherwise stated

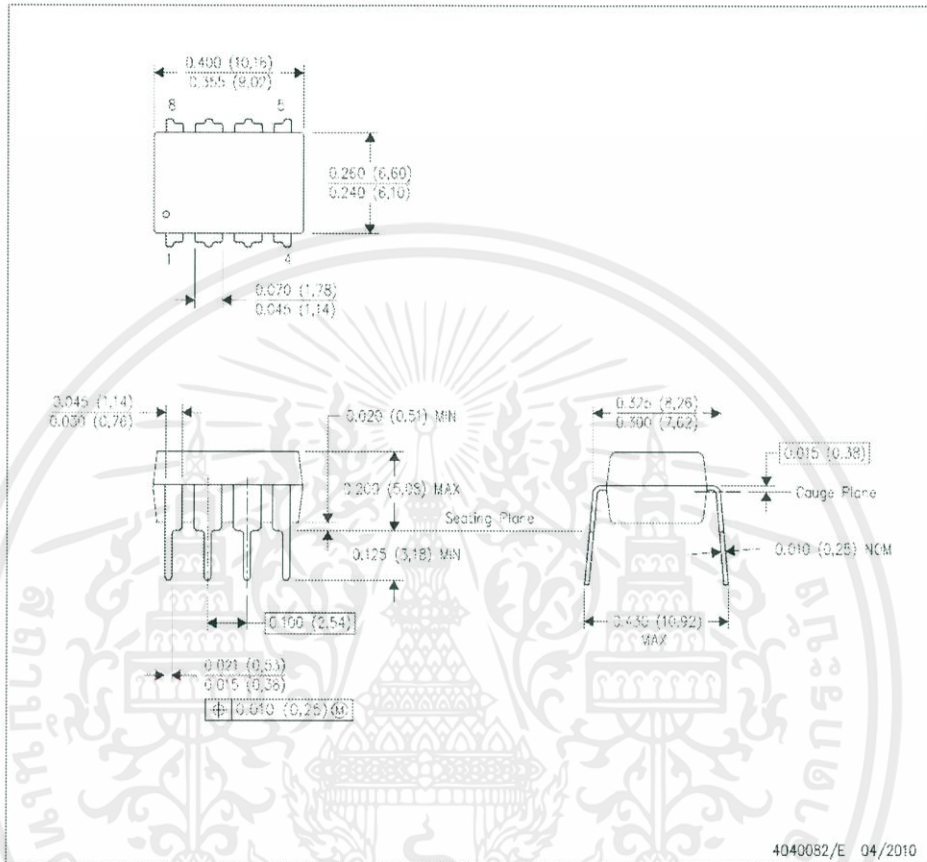
PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM358			LM2904			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30\text{ V}$, See ⁽⁴⁾ (LM2904, $V^+ = 26\text{ V}$)	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = +15\text{ V}$	15			15			V/mV
	($V_O = 1\text{ V to }11\text{ V}$) $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$							
Output Voltage	$V^+ = 30\text{ V}$ (LM2904, $V^+ = 26\text{ V}$)	26	27	28	22	23	24	V
Swing	V_{OH} $V^+ = 5\text{ V}$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$		5	20		5	100	mV
Output Current	Source $V_{IN}^+ = 1\text{ V}$, $V_{IN}^- = 0\text{ V}$, $V^+ = 15\text{ V}$, $V_O = 2\text{ V}$	10	20		10	20		mA
	Sink $V_{IN}^- = 1\text{ V}$, $V_{IN}^+ = 0\text{ V}$, $V^+ = 15\text{ V}$, $V_O = 2\text{ V}$	5	8		5	8		mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

P (R-PDIP-18)

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE



NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 B. This drawing is subject to change without notice.
 C. Falls within JEDEC MS-001 variation BA.

STPM10BTR

Pin configuration

STPM10

Pin	Symbol	Type ⁽¹⁾	Description
18	SCL	D I/O	SPI interface clock pin
19	SDA	D I/O	SPI interface data pin
20	LED	D O	Active energy pulsed output

Notes:

⁽¹⁾A: analog, D: digital, P: power.

STPM10

Electrical ratings

3 Electrical ratings

Table 3: Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	Value	Unit
V _{CC}	DC input voltage	-0.3 to 6	V
I _{FIN}	Current on any pin (sink/source)	± 150	mA
V _{ID}	Input voltage at digital pins (SCS, ZCR, WDG, SYN, SDA, SCL, LED)	-0.3 to V _{CC} + 0.3	V
V _{IA}	Input voltage at analog pins (IP1, IIN1, IIP2, IIN2, VIP, VIN)	-0.7 to 0.7	V
ESD	Human body model (all pins)	±3.5	kV
T _{CP}	Operating ambient temperature	-40 to 85	°C
T _J	Junction temperature	-40 to 150	°C
T _{STG}	Storage temperature range	-55 to 150	°C

Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. Functional operation under these conditions is not implied.

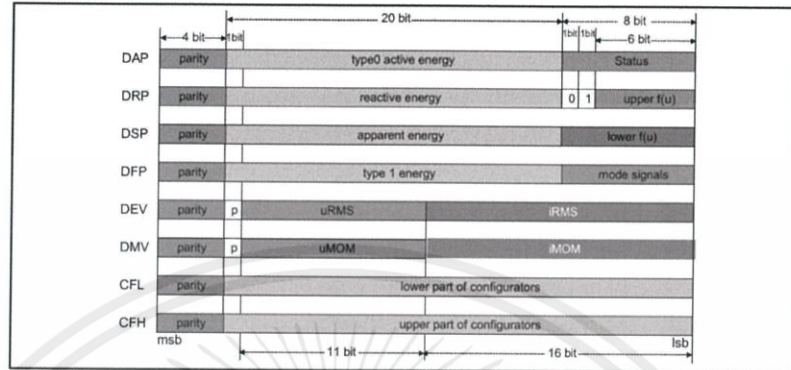
Table 4: Thermal data

Symbol	Parameter	Value	Unit
R _{thJA}	Thermal resistance junction-to-ambient	114.5 ⁽¹⁾	°C/W

Notes:

⁽¹⁾This value is based on a single-layer PCB, JEDEC standard test board.

Figure 21: STPM10 data record map



7.17 Configuration bits

All the configuration bits that control the operation of the device (CFL and CFH data records) can be written in a temporary way. The configuration bit values are written in the so-called volatile memory, which are simple latches that hold the configuration data until the power is on or until a reset condition occurs (both POR and remote reset). As indicated in the data records table, the configuration bits are 56. Each configuration bit can be written by sending a byte command to the STPM10 through its SPI interface. The procedure to write the configuration bits is described in [Section 7.19: "SPI interface"](#).

Table 11: Configuration bit map

Address		Name	Number of bits	Description ^(f)
6-bit binary	DEC			
000000	0		1	Reserved
000001	1	MDIV	1	Measurement frequency range selection: MDIV=0: 4.000 MHz to 4.194 MHz MDIV=1: 8.000 MHz to 8.192 MHz
000010	2	RC	1	Type of internal oscillator selection: RC = 0: crystal oscillator RC = 1: RC oscillator
000011	3		1	Reserved
000100	4		1	Reserved
000101	5	PST	1	Current channel sensor type and gain: if TMP=0 PST=0: primary is CT X8, secondary is not used, no tamper PST=1: primary is shunt X32, secondary is not used, no tamper
				if TMP=1 PST=0: primary is CT X8, secondary is CT X8, tamper PST=1: primary is CT X8, secondary is shunt X32, tamper

STPM10

Theory of operation

Address		Name	Number of bits	Description ⁽¹⁾
6-bit binary	DEC			
000110	6		1	Reserved
000111	7	TMP	1	Tamper enable
001000	8	FRS	1	Power calculation when BFR=1 FRS=0: energy accumulation is frozen, power is set to zero FRS=1: normal energy accumulation and power computation ($p=u \cdot i$)
001001	9	MSBF	1	Bit sequence output during record data reading selection: MSBF=0: MSB first MSBF=1: LSB first
001010	10	FUND	1	This bit swaps the information stored in the type0 (first 20 bits of DAP register) and type1 (first 20 bits of DFP register) active energy. FUND = 0: type 0 contains wide-band active energy, type1 contains fundamental active energy FUND = 1: type 0 contains fundamental active energy, type1 contains wideband active energy
001100	12	LTCH	2	No-load condition threshold as product between V_{RMS} and I_{RMS} : LTCH=0 800 LTCH=1 1600 LTCH=2 3200 LTCH=3 6400
001101	13	KMOT	2	Selection of pulses for LED: KMOT=0 type 0 active Energy KMOT=1 type 1 active Energy KMOT=2 reactive energy KMOT=3 apparent energy
001110	14			
001111	15			
010000	16		1	Reserved
010001	17		1	Reserved
010010	18	BGTC	2	Band-gap temperature compensation bits. See <i>Figure 17: "Band-gap temperature variation"</i>
010011	19			
010100	20	CPH	4	4-bit unsigned data for compensation of phase error, 0 ° to +0.576 °. 16 values are possible with a compensation step of 0.0384 °. When CPH=0 the compensation is 0 °, when CPH=15 the compensation is 0.576 °
010101	21			
010110	22			
010111	23			
011000	24	CHV	8	8-bit unsigned data for voltage channel calibration. 256 values are possible. When CHV is 0 the calibrator is at -12.5% of the nominal value. When CHV is 255 the calibrator is at +12.5%. The calibration step is then 0.098%
011001	25			
011010	26			
011011	27			
011100	28			
011101	29			



VAC VACUUMSCHMELZE		Specification / DATENBLATT		Item no.: T60404-E4622-X503													
K-No.: 22695 K-Nr.:		Current Transformer / Wechselstromwandler		Date: 09.12.2010 Datum:													
Customer: Typenelement / Standard Type		Customers part Kd. Sach Nr.:		Page 1 von 2 Seite of													
Mechanical outline (mm): Maßbild				General tolerances DIN ISO 2768-c Freimaßtoleranz													
				Connections: Anschlüsse: Dummy pins: no.2+3 Leerstifte Nr. 2+3													
Schematic diagram Anschlußschema:			Operational data/characteristic data (nominal values): Betriebsdaten/Charakteristische Daten (Richtwerte):														
			$R_{Cu2} = 114 \Omega$ Siehe Bemerkung 3) auf Seite 2 / see remark 3) on page 2 ambient temperature / Umgebungstemperatur: $-40^\circ\text{C} \dots +70^\circ\text{C}$ storage temperature / Lagertemperatur: $-40^\circ\text{C} \dots +80^\circ\text{C}$														
Inspection: (v: 100%-Test: AQL...: DIN ISO 2859-Teil1) Prüfung:																	
1) (AQL 1/54) M3014: $U_{p,eff} = 4,0 \text{ kV}$, 2 s, N2 to/gegen currentwinding ($\square 6,0\text{mm}$)/Durchsteckdorn 2) (AQL 0,25) M3011/1: $L_2 = 238 \text{ H} \pm 30\%$, $f = 50 \text{ Hz}$, $U_{AC,eff} = 500 \text{ mV}$ 3) (v) M3011/6 special measuring (current transformer measuring instrument N4): Sonderprüfung (Stromtrafoprüfgerät N4): Polarity / Turns ratio: Tolerance $\pm 1\%$ (± 20 turns) Polarität / Übersetzungsverhältnis: Toleranz (± 20 Wdg.) 4) (AQL 1/54) M3200: Mechanical test Mechanische Prüfung 5) (Fix05) M3290: Solderability test acc 1 Lötlbarkeitstest nach 1																	
See page 2 Siehe Seite 2																	
Applicable documents: Housing material, casting resin and wire UL – listed Weitere Vorschriften: Gehäusewerkstoff, Gießharz und Draht UL-gelistet																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>date</th> <th>name</th> <th>index</th> <th>amendment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>09.12.10</td> <td>Ert.</td> <td>81</td> <td>Remark 3) on page 2 implemented. Lapidary change</td> </tr> <tr> <td>29.04.09</td> <td>HL</td> <td>81</td> <td>Write error: Characteristic data, $R_B = 30 \Omega$ corrected into $R_B = 100 \Omega$.</td> </tr> </tbody> </table>						date	name	index	amendment	09.12.10	Ert.	81	Remark 3) on page 2 implemented. Lapidary change	29.04.09	HL	81	Write error: Characteristic data, $R_B = 30 \Omega$ corrected into $R_B = 100 \Omega$.
date	name	index	amendment														
09.12.10	Ert.	81	Remark 3) on page 2 implemented. Lapidary change														
29.04.09	HL	81	Write error: Characteristic data, $R_B = 30 \Omega$ corrected into $R_B = 100 \Omega$.														
Hrsg.: KB-E editor		Bearb.: HL designer		KB-PM B: Kei. check													
				freig.: Pe. released													

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Verwertung und Mitteilung ihres Inhalts nicht gestattet, soweit nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte für den Fall der Patenterteilung oder GM-Eintragung vorbehalten

Copying of this document, disclosing it to third parties or using the contents there for any purposes without express written authorization by use illegally forbidden. Any offenders are liable to pay all relevant damages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



SMART ELECTRIC ENERGY METERING WITH DEMAND CONTROL

Tanin T., Tanet P., Thuwanon A. and
Assoc.Prof.Dr.Supat K.

Abstract

In this project, we investigate a problem in energy-wasting. The smart meter that illustrates the real-time electrical bill will aware the consumer to reduce energy. In addition, We also have an air conditioner and lighting control system that can be controlled via web application. Reducing energy consumption system is more useful with our load type analyzer. The load classification will help the consumer to aware of the appliance that consumes a lot of energy.

Introduction

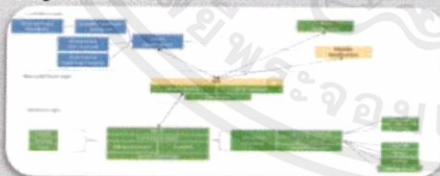
Nowadays, electricity usage is increasing. Caused by the increase in population and facilitates technological advancement and underpins a wide range of products and services that enhance our quality of life. According to the study from the Faculty of Economics, Thammasat University, 2,000 families were surveyed that The air conditioner was the leading energy consumer which is 42%, ahead of the lighting system.

The nature of the problem is energy-wasting such as, leave the air conditioning on when you are not at home or leaving the lights on. As the concept of smart homes become popular across the world, but most of the smart homes are just control the things via application or web browser. There is no any system that helps the customer reduce energy-wasting.

That's why we introduce the smart meter with control demand. It does not only measure the electricity usage of an appliance but also illustrates the cost for the consumer to aware the electricity the things by our smart system control.

Methodology

1. Design function of the smart meter.



2. Produce simple load type analyzer and test the smart meter with precision energy meter.



3. Build the control devices.

3.1 Lighting Control 3.2 A/C Control 3.3 On/Off Control



Results

Display the energy graph and control load on web.



Conclusion

The communication between electricity smart meters and households offer a number of opportunities for solutions intended at energy saving. Moreover, the control system that we have made will accommodate the consumer, it is obvious that smart meters are here to stay and smart metering will be a "way of life" in the future. We are currently building a prototype smart meter and control demand system, in which the reducing consumption and simple load type analyzer is the main target of our project. There are several limitations of the project. We highlight the main limitations that we have found:

- the noise signal impacts the voltage and current measurement circuit.
- need electrical knowledge to install the smart meter and control system.
- low network security.

The extension possibility of the project is the artificial intelligence can be integrated with the smart meter that will improve our present load type analyzer.

References

- [1] The Faculty of Economics, Thammasat University, 2,000 families in 2013
- [2] Electric Power Research Institute (EPRI), Principle and Practice of Demand-Side Management prepared by Barakat & Chamberlin, Inc. Research project 2342-16, August 1993
- [3] Reference to application note <https://www.st.com/en/data-converters/stpm10.html>



ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายณินทร์ ฐานะโสภณ

วัน เดือน ปี เกิด 28 มกราคม 2539

ที่อยู่ 46/30 ถนนรัชดา-รามอินทรา แขวงนวลจันทร์ เขตบึงกุ่ม กทม.

ประวัติการศึกษา

กศน. เขตบึงกุ่ม



ชื่อ-นามสกุล นายณศ พยุงหอม

วัน เดือน ปี เกิด 28 มีนาคม 2540

ที่อยู่ 88/21 ต.เขาสามยอต อ.เมือง จ.ลพบุรี 15000

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพิบูลวิทยาลัย



ชื่อ-นามสกุล นายรุวานนท์ อรรถสุภาพงศ์

วัน เดือน ปี เกิด 6 พฤศจิกายน 2539

ที่อยู่ 188/218 หมู่ 10 ต.สันนาเม็ง อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50210

ประวัติการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนมง

ฟอร์ตวิทยาลัย