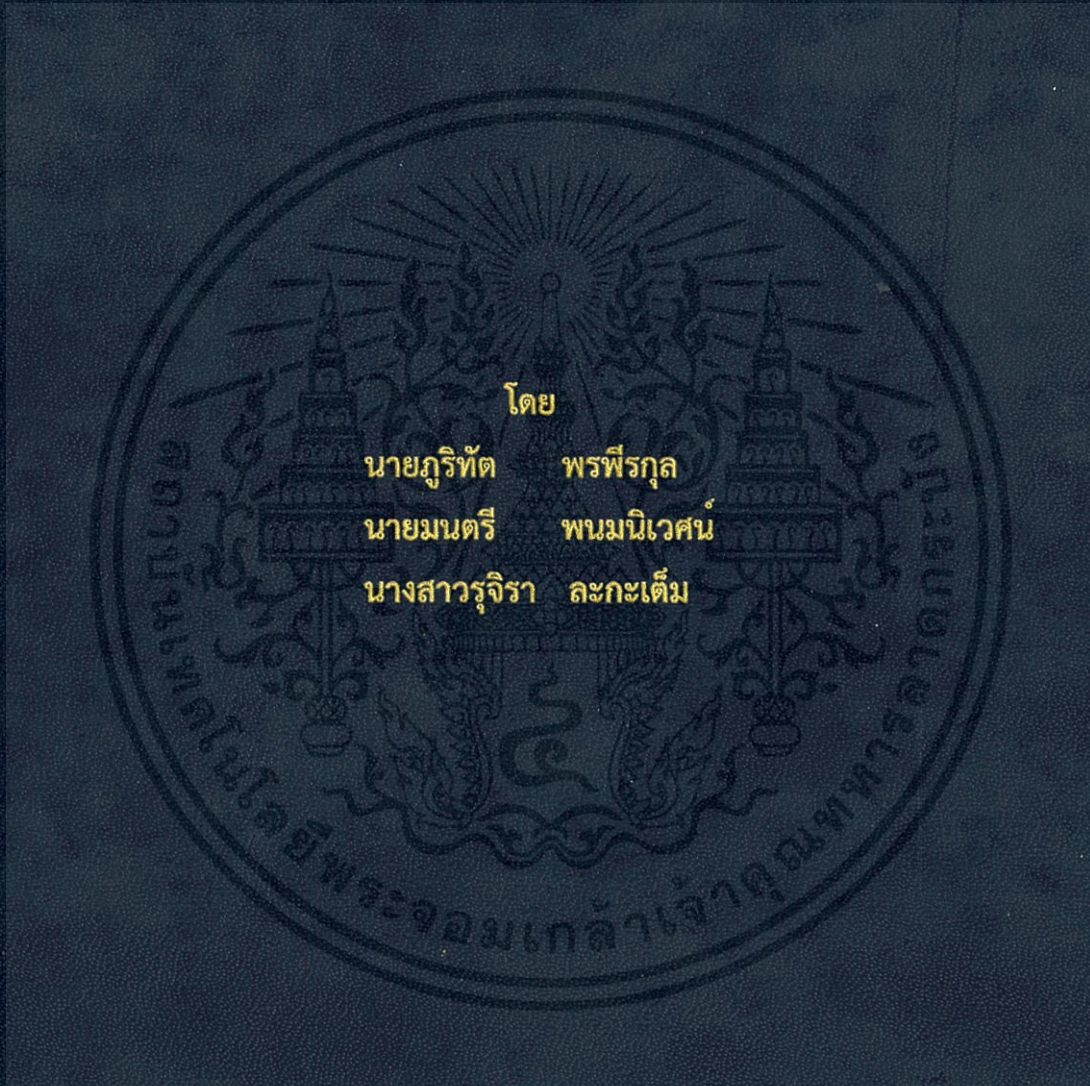


ระบบเครือข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์  
Smart Solar Street Lighting Network System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

ระบบเครือข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์  
Smart Solar Street Lighting Network System



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงปีการศึกษา 2557 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SMART SOLAR STREET LIGHTING NETWORK SYSTEM



A PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR  
THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2014

ปีการศึกษา 2557

ระบบเครือข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์  
Smart Solar Street Lighting Network System



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่ และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผศ.ดร.ชาวี ชมภูอินไหว  
ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบเครือข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

1. นาย ภูริทัต พรพิรุณกุล
2. นาย มนตรี พนมนิเวศน์
3. นางสาว รุจิรา ละกะเต็ม



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เซาว์ ชมภูอินไหว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาย ชมภูอินไหว)

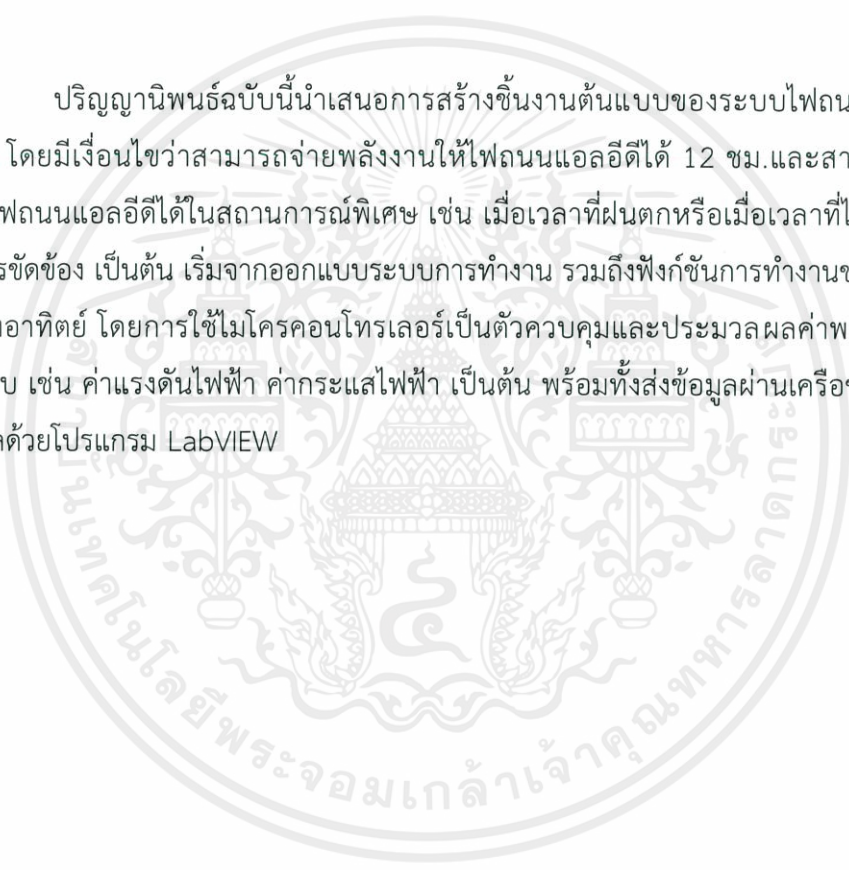
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ.....  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ระบบเครือข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

นาย ภูริทัต พรพิรุกุล  
นาย มนตรี พนมนิเวศน์  
นางสาว รุจิรา ละกะเต็ม  
ผศ.ดร. เซาว์ ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ.ดร. ชาย ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2557

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการสร้างขึ้นงานต้นแบบของระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีเงื่อนไขว่าสามารถจ่ายพลังงานให้ไฟถนนแอลอีดีได้ 12 ชม. และสามารถจ่ายพลังงานให้ไฟถนนแอลอีดีได้ในสถานการณ์พิเศษ เช่น เมื่อเวลาที่ฝนตกหรือเมื่อเวลาที่ไฟจากการไฟฟ้าเกิดการขัดข้อง เป็นต้น เริ่มจากออกแบบระบบการทำงาน รวมถึงฟังก์ชันการทำงานของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมและประมวลผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบ เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า เป็นต้น พร้อมทั้งส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย และรับข้อมูลด้วยโปรแกรม LabVIEW



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SMART SOLAR STREET LIGHTING NETWORK SYSTEM

Mr. Phurithat Pornpeerakul

Mr. Montri Phanomnivate

Miss Rujira Lakatem

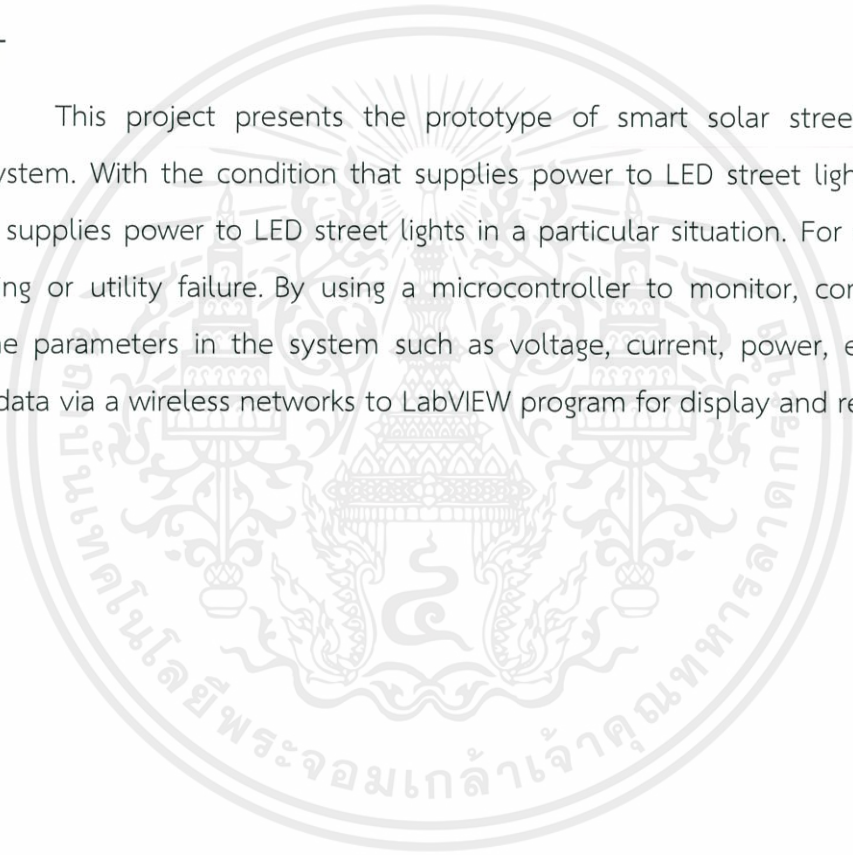
Assistant.Prof.Dr. Chow Chompoo-inwai Advisor

Assistant.Prof.Dr. Chai Chompoo-inwai Advisor

2015

## ABSTRACT

This project presents the prototype of smart solar street lighting network system. With the condition that supplies power to LED street lights for 12 hours and supplies power to LED street lights in a particular situation. For example, when raining or utility failure. By using a microcontroller to monitor, control and analyze the parameters in the system such as voltage, current, power, etc. Then send that data via a wireless networks to LabVIEW program for display and record.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินโหว และ ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินโหว อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาโดยตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคุณสุทธิพงศ์ บุญทากลาง (พี่มิก) ที่คอยให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ในห้องศูนย์วิจัยพลังงานและวิศวกรรมส่องสว่าง(ESIRC) ที่ให้คำปรึกษาและคอยช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนในคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่คอยให้ความช่วยเหลือ แลกเปลี่ยนข้อคิดเห็น และให้กำลังใจที่ตลอดมา

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจ อีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

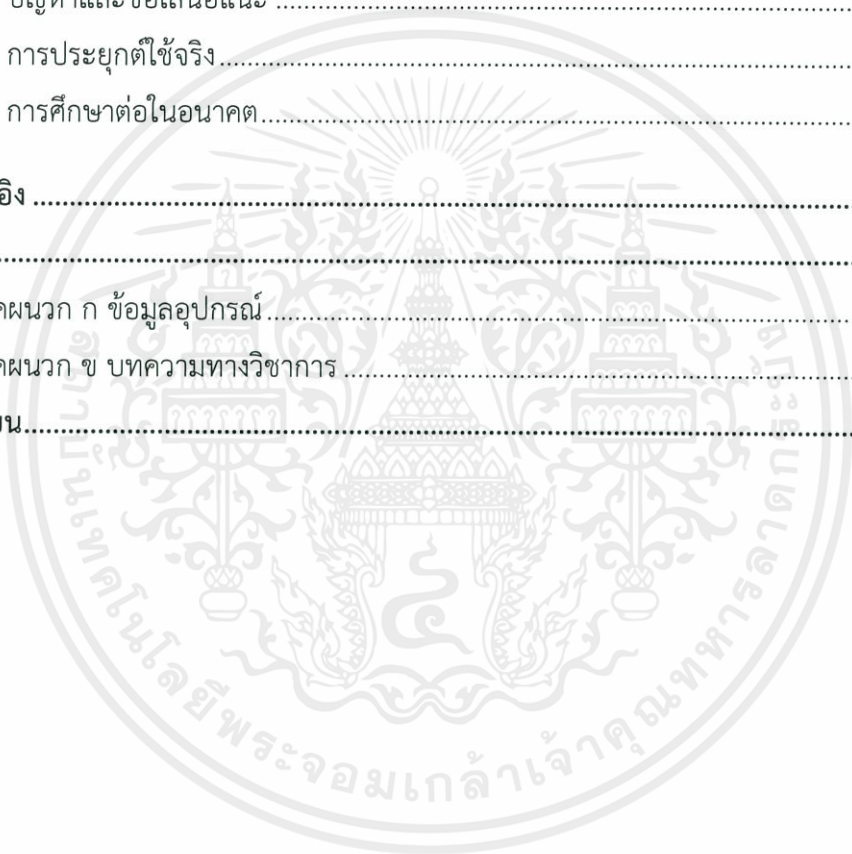
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ลำดับขั้นตอนการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3

บทที่ 2 ทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานทางไฟฟ้า.....	4
2.2 พลังงานแสงอาทิตย์.....	6
2.2.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย.....	6
2.2.2 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์.....	6
2.2.3 ส่วนประกอบของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.2.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.2.3.2 เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่.....	11
2.2.3.3 แบตเตอรี่.....	13
2.2.3.4 อินเวอร์เตอร์.....	15
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010.....	17
2.3.1 การใช้งานโมดูล Timer ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010.....	17
2.3.2 การใช้งานโมดูล ADC ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010.....	19
2.3.3 การใช้งานโมดูล UART ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010.....	20
2.4 ระบบเชื่อมโยงข้อมูล.....	21
2.4.1 ระบบเครือข่ายไร้สาย.....	22
2.4.2 ประโยชน์ของเครือข่ายระบบไร้สาย.....	22

2.4.3	รูปแบบการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไร้สาย .....	23
2.4.4	มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11.....	25
2.4.5	อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อเครือข่ายไร้สาย .....	27
2.5	โปรแกรม LabVIEW .....	28
<b>บทที่ 3</b>	<b>การออกแบบเชิงแนวคิด .....</b>	<b>32</b>
3.1	เงื่อนไขการทำงานของระบบ .....	33
3.2	การออกแบบชิ้นงานต้นแบบ .....	33
3.2.1	การคำนวณพิกัดของอุปกรณ์ .....	34
3.2.2	การออกแบบส่วนควบคุมของชุดต้นแบบ .....	36
3.2.3	การออกแบบส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า .....	36
3.2.4	การออกแบบส่วนแสดงผล .....	37
3.2.5	บอร์ดที่ใช้ในการทดลอง.....	37
3.3	การออกแบบระบบเครือข่าย .....	38
3.3.1	การออกแบบรูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สาย .....	38
3.3.2	การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สาย.....	38
<b>บทที่ 4</b>	<b>การสร้างชิ้นงานต้นแบบ .....</b>	<b>39</b>
4.1	การเลือกอุปกรณ์ในระบบ .....	39
4.2	การสร้างส่วนควบคุมของชุดต้นแบบ .....	39
4.2.1	ส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า.....	40
4.2.1.1	การสร้างส่วนวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ .....	40
4.2.1.2	การสร้างส่วนวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง.....	41
4.2.1.3	การสร้างส่วนวัดกระแส .....	41
4.2.2	ส่วนวัดแสง .....	42
4.2.3	ส่วนแสดงผล.....	42
4.2.4	ส่วนส่งข้อมูลและเก็บบันทึกข้อมูล .....	43
4.2.5	รีเลย์ตัดต่อวงจร.....	45
<b>บทที่ 5</b>	<b>การทดลองและผลการทดลอง.....</b>	<b>48</b>
5.1	การทดสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์.....	48
5.1.1	การทดสอบวัดวงจรแรงดันกระแสตรง.....	48
5.1.2	การทดสอบวัดวงจรแรงดันกระแสสลับ.....	50
5.2	การทดสอบการทำงานของชิ้นงานต้นแบบ .....	51

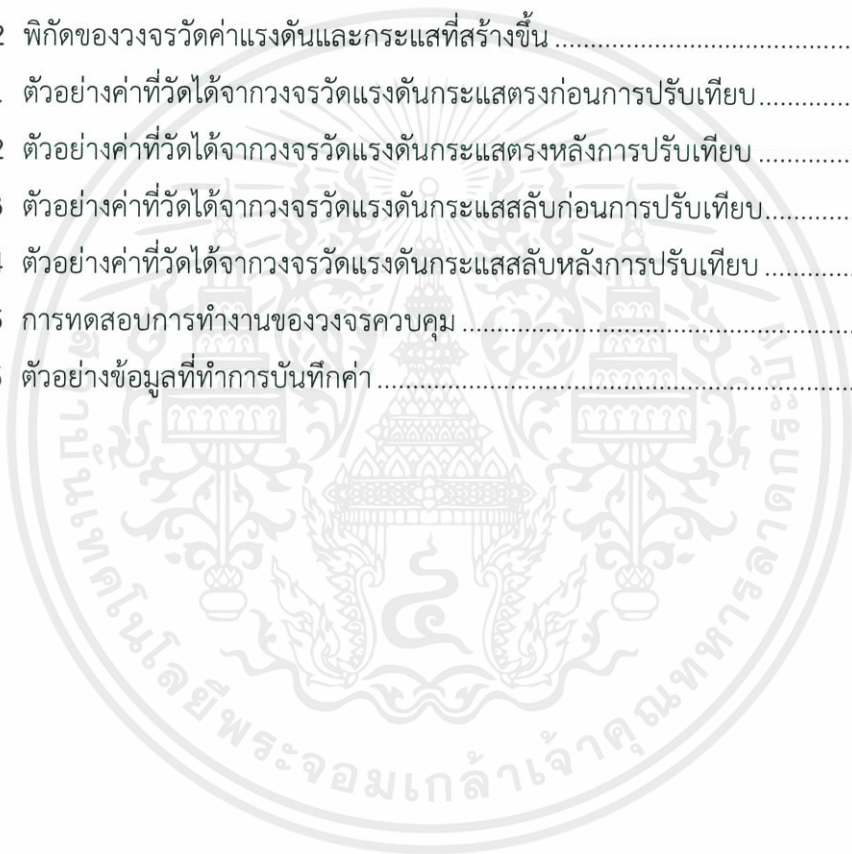
5.2.1 การทดสอบแบบเตอรี.....	51
5.2.2 การทดสอบวงจรควบคุมการทำงาน .....	52
5.2.3 การทดสอบส่วนแสดงผล .....	53
5.2.4 การทดสอบส่วนของการส่งข้อมูลเพื่อเก็บบันทึกข้อมูล .....	53
5.3 ประสิทธิภาพของระบบ.....	58
5.4 สรุปฟังก์ชันการทำงานของระบบ .....	58
<b>บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>59</b>
6.1 สรุปผลการทดลอง .....	59
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ .....	59
6.3 การประยุกต์ใช้จริง.....	60
6.4 การศึกษาต่อในอนาคต.....	61
เอกสารอ้างอิง .....	62
ภาคผนวก .....	64
ภาคผนวก ก ข้อมูลอุปกรณ์.....	65
ภาคผนวก ข บทความทางวิชาการ .....	118
ประวัติผู้เขียน.....	123



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด.....	9
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละยี่ห้อ .....	10
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของเครื่องควบคุมการประจุแต่ละยี่ห้อ .....	12
ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของแบตเตอรี่แต่ละยี่ห้อ .....	14
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของอินเวอร์เตอร์แต่ละยี่ห้อ .....	16
ตารางที่ 3.1 พิกัดของอุปกรณ์ที่ออกแบบ .....	35
ตารางที่ 4.1 ชนิดและพิกัดอุปกรณ์ที่เลือกใช้ .....	39
ตารางที่ 4.2 พิกัดของวงจรวัดค่าแรงดันและกระแสที่สร้างขึ้น .....	42
ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างค่าที่วัดได้จากวงจรวัดแรงดันกระแสตรงก่อนการปรับเทียบ.....	49
ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างค่าที่วัดได้จากวงจรวัดแรงดันกระแสตรงหลังการปรับเทียบ .....	49
ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างค่าที่วัดได้จากวงจรวัดแรงดันกระแสสลับก่อนการปรับเทียบ.....	50
ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างค่าที่วัดได้จากวงจรวัดแรงดันกระแสสลับหลังการปรับเทียบ .....	51
ตารางที่ 5.5 การทดสอบการทำงานของวงจรควบคุม .....	52
ตารางที่ 5.6 ตัวอย่างข้อมูลที่ทำกรบันทึกค่า .....	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ.....	6
รูปที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย .....	7
รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมสาน.....	7
รูปที่ 2.4 ระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
รูปที่ 2.5 โคโรสร้างของ dsPIC30F2010 .....	17
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบต่างๆ ของกระบวนการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	17
รูปที่ 2.7 การต่อตัวต้านทานแบ่งแรงดันเพื่อ Scaling.....	18
รูปที่ 2.8 ลักษณะการทำงานของ Timer ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30F.....	19
รูปที่ 2.9 รูปแบบการสื่อสารของ UART .....	21
รูปที่ 2.10 Peer-to-peer network.....	23
รูปที่ 2.11 Client/server (Infrastructure mode).....	23
รูปที่ 2.12 Multiple access points and roaming.....	24
รูปที่ 2.13 Use of an Extension Point.....	24
รูปที่ 2.14 The Use of Directional Antenna .....	25
รูปที่ 2.15 WLAN Adapters .....	27
รูปที่ 2.16 Wireless Access Point.....	27
รูปที่ 2.17 Outdoor Wireless Bridge.....	27
รูปที่ 2.18 หน้าจอแสดงผลโปรแกรม LabVIEW.....	29
รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรม LabVIEW.....	30
รูปที่ 3.1 แนวคิดการออกแบบระบบเครือข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ .....	32
รูปที่ 3.2 แนวคิดการออกแบบชิ้นงานต้นแบบ.....	33
รูปที่ 3.3 แนวคิดการออกส่วนควบคุมของชุดต้นแบบ .....	36
รูปที่ 3.4 แนวคิดการออกแบบส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า.....	36
รูปที่ 3.5 แนวคิดการออกแบบส่วนแสดงผล.....	37
รูปที่ 3.6 บอร์ดทดลอง Skit-dsPIC30F2010.....	37
รูปที่ 3.7 ส่วนควบคุมการส่งข้อมูล.....	38
รูปที่ 4.1 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ.....	40
รูปที่ 4.2 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่สร้างขึ้น.....	40
รูปที่ 4.3 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง.....	41
รูปที่ 4.4 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สร้างขึ้น .....	41

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 วงจรวัดกระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้น .....	41
รูปที่ 4.6 วงจรวัดแสง .....	42
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างจอแสดงผล .....	43
รูปที่ 4.8 สวิตช์กด, แอลอีดีไอโอดแสดงสถานะและโมดูล RTC.....	43
รูปที่ 4.9 โมดูล ET-WiFly GSX .....	43
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างหน้าแรกของจอร์รับค่าและแสดงผล LabVIEW .....	44
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างหน้าจอร์รับค่าและแสดงผลของโหลด .....	44
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างหน้าจอร์รับค่าและแสดงผลของแบตเตอรี่.....	45
รูปที่ 4.13 ตัวอย่างหน้าจอร์รับค่าและแสดงผลของเซลล์แสงอาทิตย์.....	45
รูปที่ 4.14 รีเลย์ตัดต่อวงจรในระบบ .....	46
รูปที่ 4.15 ชุดควบคุมของชิ้นงานต้นแบบ .....	46
รูปที่ 4.16 ภาพรวมของชิ้นงานต้นแบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์.....	47
รูปที่ 5.1 การทดลองเพื่อหาค่าปรับเทียบวงจรวัดแรงดันกระแสตรง.....	48
รูปที่ 5.3 วงจรทดสอบแบตเตอรี่.....	51
รูปที่ 5.4 วงจรทดสอบความถูกต้องของชิ้นงานต้นแบบ.....	52
รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการแสดงค่าบนจอ LCD.....	53
รูปที่ 5.6 ตัวอย่างหน้าจอร์รับค่าที่ส่งมา.....	53
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันโหลดกับกระแสโหลดในระยะเวลาหลังจากระบบ จ่ายไฟให้กับโหลด .....	55
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Power Factor กับเวลา.....	55
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่โหลดเทียบกับเวลา .....	56
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันแบตเตอรี่กับกระแสแบตเตอรี่ ในระยะเวลาจ่ายโหลด(กลางคืน) .....	56
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแบตเตอรี่กับเวลา ในระยะเวลาการประจุแบตเตอรี่ (กลางวัน) .....	57
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่โหลดใช้ไปกับเวลา .....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ระบบผลิตพลังงานด้วยแสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่เหมาะสมกับประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยต่อปีค่อนข้างสูง มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รวมประมาณ  $18.2 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$  หรือ  $5 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$  ซึ่งเหมาะสมสำหรับการติดตั้งระบบดังกล่าว โดยพลังงานที่ได้มานั้นจะถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่ และจะถูกนำมาจ่ายให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการใช้งานหรือที่เชื่อมต่อกับระบบ โดยผ่านอินเวอร์เตอร์หากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ

คณะผู้จัดทำได้เห็นความสำคัญในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จึงคิดที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ โดยการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟถนนที่เป็นโคมไฟถนนแอลอีดี (LED) ซึ่งมีข้อดีคือมีประสิทธิภาพสูง อายุการใช้งานนานกว่าโคมไฟถนนที่ใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบันและมีการตอบสนองสีที่ดี ส่วนข้อด้อยนั้นมีเพียงเล็กน้อยคือในเรื่องของราคาที่จะมีราคาแพงกว่าโคมไฟถนนที่ใช้อยู่ทั่วไปในปัจจุบัน โดยที่จะให้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานให้กับระบบไฟถนนได้ตลอดเวลาที่ต้องทำงาน หรือเป็นเวลา 12 ชั่วโมงในแต่ละวัน (18:00 น. ถึง 06:00 น.) รวมทั้งสามารถจ่ายได้ในสถานการณ์พิเศษ เช่น เมื่อเวลาที่ฝนตก เป็นต้น

โดยจะเริ่มจากการทำชิ้นงานต้นแบบหนึ่งชุด ที่ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์) อุปกรณ์ของระบบไฟถนน (โคมไฟถนนแอลอีดี) ส่วนควบคุมและประมวลผล และส่วนแสดงผล จากนั้นก็จะทำการเชื่อมโยงแต่ละชุดเข้าด้วยกันในรูปแบบเครือข่าย (Network) ผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย เพื่อควบคุมและเก็บผลข้อมูลของพลังงานในระบบ

โดยส่วนของการควบคุมและประมวลผลนั้นจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 เป็นตัวควบคุมเวลาการเปิด-ปิดโคมไฟถนนให้ทำงานในช่วงเวลาที่กำหนด และประมวลผลโดยรับค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเข้ามาผ่านตัวตรวจจับแรงดันและตัวตรวจจับกระแส โดยจะวัดค่าจาก 3 ตำแหน่ง ได้แก่ (1) เอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ (2) แบตเตอรี่ (3) เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ เมื่อประมวลผลแล้วจะส่งสัญญาณออกไปยัง (1) รีเลย์ เพื่อเลือกว่าจะรับพลังงานจากแบตเตอรี่หรือจากการไฟฟ้า และส่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่คำนวณได้ไปยัง (2) ส่วนแสดงผล ที่จะแสดงผ่านจอแสดงผลแอลซีดี (LCD Display) ที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องการแสดง เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้า, ค่ากระแสไฟฟ้า, ค่ากำลังไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้าที่ใช้, ระดับของแบตเตอรี่ เป็นต้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการทำงานร่วมกันของระบบพลังงานแสงอาทิตย์กับระบบไฟถนน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบการทำงาน รวมถึงฟังก์ชันการทำงานของระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ใช้เป็นตัวควบคุมและประมวลผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบ
- 1.2.4 เพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบของระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.2.5 เพื่อพัฒนาระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเชื่อมโยงเป็นระบบเครือข่าย

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ภาคเรียนที่ 1 ทำการศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของระบบ ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์, แบตเตอรี่, เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่, อินเวอร์เตอร์, ไฟถนนแอลอีดี รวมถึงศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง และศึกษาการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 เพื่อทดลองเขียนโปรแกรมการใช้งานที่จะใช้ในการควบคุม ประมวลผลและแสดงผลในระบบ

ภาคเรียนที่ 2 ออกแบบชิ้นงานต้นแบบ ทำการทดสอบแต่ละส่วนประกอบต่างๆที่ศึกษามาในภาคเรียนที่ 1 แล้วนำแต่ละส่วนมาประกอบกันเพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบ ทดลองเขียนโปรแกรมเพิ่มเติม และศึกษาระบบเครือข่ายเพื่อเชื่อมโยงแต่ละชุดเข้าด้วยกันให้เป็นระบบเครือข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน เริ่มต้นจากการศึกษาอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบต่างๆของระบบ ศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทดลองเขียนโปรแกรมการใช้งาน จากนั้นทำการออกแบบชิ้นงานต้นแบบ และทดสอบส่วนประกอบต่างๆของระบบเพื่อทำการประกอบชิ้นงานเพื่อใช้งานจริงแล้วนำมาทดสอบ และแก้ไขโปรแกรมการใช้งาน โดยมีแผนการดำเนินงานดังตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 1.1 แผนดำเนินงาน

ที่	การดำเนินงาน	เดือน											
		ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	
1	ศึกษาส่วนประกอบ ต่างๆของระบบและ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง												
2	ศึกษาการใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 แล้ว ทดลองเขียน โปรแกรมใช้งาน												
3	ออกแบบชิ้นงาน ต้นแบบ												
4	ทดสอบส่วนประกอบ ต่างๆของระบบ และ สร้างชิ้นงานต้นแบบ												
5	ทดสอบชิ้นงาน ต้นแบบ และแก้ไข โปรแกรมการใช้งาน												
6	ปริญญานิพนธ์ฉบับ สมบูรณ์												

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ระบบที่ทำการออกแบบสามารถนำไปใช้งานได้จริง
- 1.5.2 สามารถวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้อย่างถูกต้องและต่อเนื่อง
- 1.5.3 สามารถลดการใช้พลังงานจากการไฟฟ้าได้
- 1.5.4 ระบบที่ติดตั้งมีความเสถียรและมีประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎี หลักการ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีพื้นฐานทางไฟฟ้า

ในการศึกษาทฤษฎีและหลักการของพื้นฐานทางไฟฟ้าเพื่อนำค่าต่างๆ ไปใช้ในการแสดงบนจอมอนิเตอร์สิ่งที่ทำการศึกษาคือจะเป็นพวกค่าพารามิเตอร์ต่างๆอาทิเช่น กำลังไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้า, แรงดันประสิทธิผล, กระแสประสิทธิผล, ความถี่, และตัวประกอบกำลังรวมไปถึงค่าประสิทธิภาพของระบบโดยที่ค่าต่างๆเหล่านี้จะช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์และการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้คอมโพเนนต์แอลอีดี (LED) ได้ถูกต้องโดยความหมายของพารามิเตอร์ไฟฟ้าต่างๆข้างต้นจะอธิบายดังต่อไปนี้

- **แรงดันไฟฟ้า (Voltage: V)** หมายถึง งานที่ใช้ในการเคลื่อนที่ประจุผ่านอุปกรณ์ทางไฟฟ้า มีหน่วยเป็น (Joule/Coulomb) หรือ Volt ในการใช้งานจริงจะพิจารณาให้อยู่ในรูปแรงดันประสิทธิผล ( $V_{rms}$ ) [1]
- **กระแสไฟฟ้า (Current: I)** หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าต่อหน่วยเวลา (Coulomb/Second) หรือ Ampere ในการใช้งานจริงจะพิจารณาให้อยู่ในรูปกระแสประสิทธิผล ( $I_{rms}$ ) [1]
- **ความถี่ไฟฟ้า (Frequency: f)** หมายถึง จำนวนรอบที่เคลื่อนที่ได้ใน 1 วินาที เช่น ความถี่ 50 Hz คือ จำนวนรอบ 50 รอบที่เคลื่อนที่ไปใน 1 วินาทีหรือคลื่นไฟฟ้าจำนวน 1 รอบที่เคลื่อนที่ไปใน 1/50 วินาที (1/50 วินาที = 0.02 วินาที = 20 มิลลิวินาที) แสดงดังรูปที่ 2.3 [1]
- **กำลังไฟฟ้า (Power: W)** แบ่งออกเป็น 3 ส่วน
  - กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power: S) คือ ขนาดของผลรวมของเวกเตอร์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power: P) และกำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power: Q) หรือผลคูณระหว่างแรงดันประสิทธิผล และกระแสประสิทธิผล มีหน่วยเป็น โวลต์-แอมป์ (VA) [1]
  - กำลังไฟฟ้าจริง คือ พลังงาน (Joule) ที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายประจุ (Coulomb) ผ่านอุปกรณ์ทางไฟฟ้าในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt) [1]
  - กำลังไฟฟ้าเสมือน คือ พลังงานที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กเป็นกำลังไฟฟ้า ที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หรือกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป เช่น พลังงานที่ไหลผ่านแกนเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ผ่านช่องว่างอากาศของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction motor) เป็นต้น มีหน่วยเป็น โวลต์แอมป์รีแอกทิฟ (Var) [1]

โดยกำลังไฟฟ้าทั้งหมดนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.1, 2.2, และ 2.3 ตามลำดับ

$$S = V_{rms} \cdot I_{rms} = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.1)$$

$$P = V_{rms} \cdot I_{rms} \cos \theta \quad (2.2)$$

$$Q = V_{rms} \cdot I_{rms} \sin \theta \quad (2.3)$$

- ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor: PF) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าจริงกับค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ [1]

$$\text{Power Factor (PF)} = \frac{P}{S} \quad (2.4)$$

- พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) หมายถึง กำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปในช่วงระยะเวลาหนึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ชั่วโมง (Wh) โดยที่ 1 kWh มีค่าเท่ากับ 1 หน่วยพลังงานหรือเท่ากับ 3.6 MJ [2]

$$1 \text{ kWh} = [3600\text{s}] \cdot \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right] = 3600\text{kJ} = 3.6\text{MJ} \quad (2.5)$$

- ค่าประสิทธิภาพ (Efficiency) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าขาออก ( $P_{out}$ ) กับค่ากำลังไฟฟ้าขาเข้า ( $P_{in}$ ) [1]

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 พลังงานแสงอาทิตย์

### 2.2.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

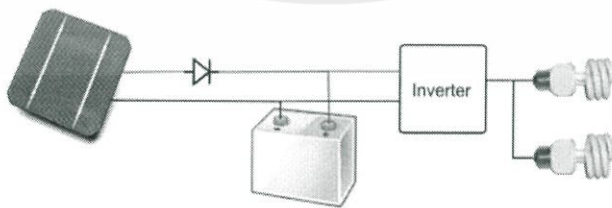
กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์และจัดทำแผนศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมของประเทศไทย โดยการวิเคราะห์ข้อมูล ดาวเทียมประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดภาคพื้นดิน พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 23 MJ/m<sup>2</sup>-day และเมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่า บริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี อุตรดิตถ์ และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อโยธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีที่ 19 ถึง 20 MJ/m<sup>2</sup>-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 11.0% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 35.6% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีในช่วง 18-19 MJ/m<sup>2</sup>-day จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ 18.0 MJ/m<sup>2</sup>-day [2]

### 2.2.2 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบ คือ

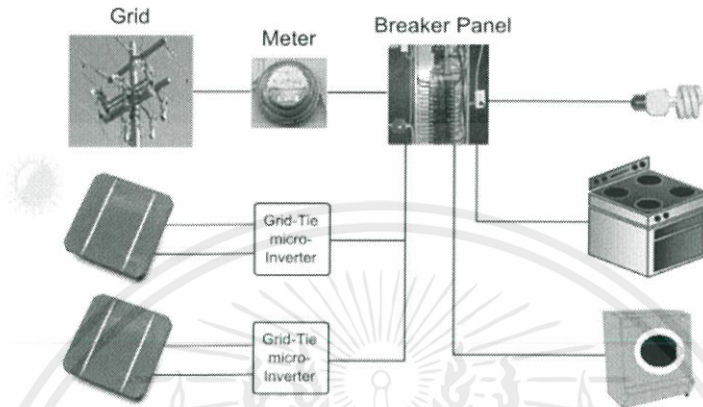
- เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วย เซลล์แสงอาทิตย์, อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่, แบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์ [3]



รูปที่ 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ [4]

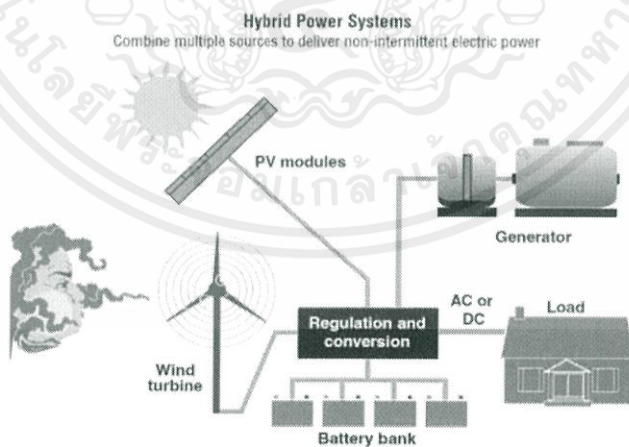
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า [3]



รูปที่ 2.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย [4]

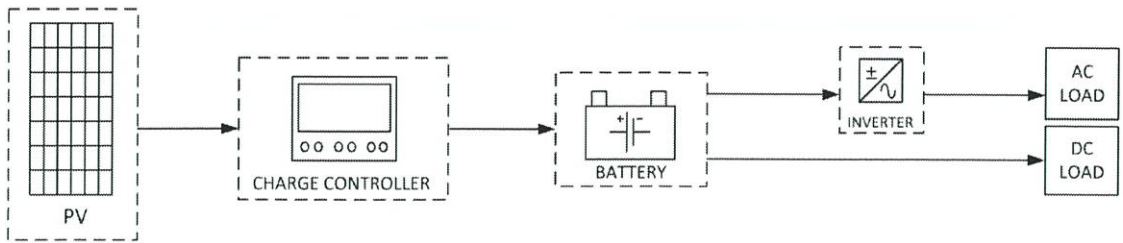
- เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรอกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ [3]



รูปที่ 2.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.3 ส่วนประกอบของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic)



รูปที่ 2.4 ระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์โดยตรง จะประกอบด้วย อุปกรณ์ต่างๆ อาทิ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุม การประจุแบตเตอรี่ เครื่องเปลี่ยนระบบไฟฟ้าและแบตเตอรี่ โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องมีการออกแบบ เพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานในบ้านพักอาศัย ซึ่งในการออกแบบระบบจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจใน อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อสามารถใช้งานได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพที่สุด ในการออกแบบระบบไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องใช้ส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน ได้แก่ (1) เซลล์แสงอาทิตย์ (2) เครื่องควบคุมประจุ (Charge Controller) (3) แบตเตอรี่ (Battery) (4) อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

### 2.2.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

ในตลาดโดยทั่วไปแล้วเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้มีอยู่ 3 ชนิดหลักๆคือ

- เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไวแสงมากที่สุด สามารถรับแสงที่อ่อนๆได้รวมทั้งแสงจากหลอดไฟฟ้าต่างๆ จึงทำงานได้ในพื้นที่ที่มีเมฆหมอกฝุ่นละอองมีฝนตกชุก สามารถทำงานภายใต้อุณหภูมิสูงได้ดี แต่ก็มีผลเสียคือประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำจึงทำให้ต้องใช้พื้นที่มากแผงนิยมนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เครื่องคิดเลขนาฬิกาหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กๆ เป็นต้น [2]

- เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Crystalline เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อยู่ในรูปของผลึกที่ทำให้เป็นแผ่นฟิล์มชั้นบางๆสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบ Mono crystalline หรือแผงชนิดผลึกเดี่ยวและแบบ Poly crystalline หรือผลึกผสมหรืออาจมีชื่อเป็นอย่างอื่น เช่น Single crystalline และ Multi crystalline เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานมากที่สุด แผงแบบ Mono crystalline จะมีประสิทธิภาพดีกว่าและราคาแพงกว่าแบบ Poly crystalline เล็กน้อย

ทั้งสองชนิดมีข้อดีคือหาอุปกรณ์ต่อพ่วงได้ง่าย มีราคาถูก อายุการใช้งานยาวนานกว่า 20 ปี ทนทาน ใช้พื้นที่น้อยกว่ามีน้ำหนักเบา แต่มีข้อจำกัดคือประสิทธิภาพการทำงานลดลงอย่างมาก เมื่อทำงานในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูง [2]

● เซลล์แสงอาทิตย์แบบ Super amorphous หรืออาจเรียกว่าเป็นแบบ Amorphous Triple Junction แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะรวมเอาข้อดีของทั้ง amorphous และ crystalline มาไว้ โดยมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ amorphous และสามารถใช้อุปกรณ์ต่อพ่วงร่วมกับแบบ crystalline บางชนิดยังมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถบิดตัวม้วนได้ เนื่องจากการปลูกเซลล์ทำบนฐานรองประเภทพลาสติก ทำให้มีน้ำหนักเบา การขนส่งสะดวก สามารถติดตั้งตามพื้นผิวของวัสดุต่างๆได้หลากหลาย แต่มีข้อเสียคือมีราคาแพงกว่าชนิดอื่นๆ 30 - 40% ในอนาคตเมื่อมีการแข่งขันทางตลาดที่สูงขึ้น ราคาจะถูกลงก็จะได้รับความนิยมนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายต่อไป [2]







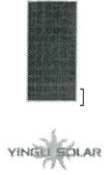

จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดได้ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด [2]

ชนิด	ประเภทวัสดุ	ประสิทธิภาพ (%)
Thin Film	Amorphous Silicon (a-Si)	4-9
	Cadmiutelluride (CdTe)	6-9
	Copper indium gallium selenide (Cis or CIGS)	9-10.5
	Organic cells	3-4
Mono-Crystalline Si	Sc-Si	10-16
Multi-Crystalline Si	mc-Si	10-14.5

โดยทางคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly crystalline เพราะมีราคาถูก อายุการใช้งานยาวนานและประสิทธิภาพดี โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละยี่ห้อ ได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละยี่ห้อ [5]









Brand	Type	$P_m$ (W)	$V_{oc}$ (V)	$I_{sc}$ (A)	%Module Eff	Price (Baht)
 CanadianSolar	Poly crystalline	300	44.6	8.87	15.63	8,640
 Hanwha	Poly crystalline	300	45.5	8.72	14.2	8,100
 LG Life's Good	Poly crystalline	300	39.8	9.98	18.3	13,200
 QCELLS	Poly crystalline	300	45.32	8.93	15.3	9,000
 SOLARTECH CENTER LUMINOUS PERFORMANCE	Poly crystalline	300	45.7	8.64	15.2	8,500
 Schutten	Poly crystalline	300	45.1	8.80	18.3	9,600
 YINGLI SOLAR	Poly crystalline	300	45.2	8.86	15.4	10,900
 SUNTECH BE UNLIMITED	Poly crystalline	300	44.4	8.83	15.5	9,900

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

2.2.3.2 เครื่องควบคุมการประจุ (Charge controller) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ประจุไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาประจุให้กับแบตเตอรี่ ซึ่งการประจุนี้นี้จะต้องไม่ให้มีการประจุมากเกินไป (Over charge) ซึ่งจะมีผลทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัด ทำให้เสื่อมสภาพเร็ว และเมื่อแบตเตอรี่มีประจุเต็มแล้วก็ต้องตัดการชาร์จทันที กระแสไฟฟ้าที่ชาร์จแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีรูปสัญญาณเป็นพัลส์ (Pulse) และมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงกว่าแบตเตอรี่ประมาณ 15 - 20% เนื่องจากมีค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการชาร์จแบตเตอรี่ ได้แก่ อุณหภูมิของแบตเตอรี่ ความไม่คงที่ของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่ป้อนให้ โดยเฉพาะจากแหล่งพลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากกังหันลมหรืออื่นๆ จึงต้องใช้อุปกรณ์ประมวลผล (Microcontroller) มาทำการประมวลผล และควบคุมการทำงานวงจรชาร์จประจุและใช้วงจร PWM (Pulse Width Modulation) มาสร้างรูปสัญญาณไฟฟ้าเพื่อให้การประจุแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่เครื่องควบคุมประจุแบบ MPPT จะมีราคาแพงกว่าแบบ PWM เพราะเครื่องควบคุมดังกล่าวมีการใช้วิธีที่ทำการควบคุมประจุให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งเปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของเครื่องควบคุมประจุแต่ละยี่ห้อ ดังตารางที่ 2.3



ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของเครื่องควบคุมการประจุประจุแต่ละยี่ห้อ [6]









Brand	Type	System Voltage (V)	Max. PV Input Current (A)	Max. Output Current (A)	Price (Baht)
 MORNINGSTAR World's Leading Solar Controllers & Inverters	PWM	12	30	30	3,750
 Blue Sky	MPPT	12	25	25	7,800
 www.morsec.com CE	PWM	12	30	30	-
 CNBOU 德优	MPPT	12	20	20	-
 www.mechbasep.com	PWM	12	30	30	1,390
 S-LARLAND	PWM	12	30	30	2,100
 BEIJING EPSOLAR TECHNOLOGY CO. LTD	MPPT	12	30	30	-
 SOLAR	PWM	12	30	30	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.3 แบตเตอรี่ (Battery) แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อใช้จัดเก็บพลังงานไฟฟ้ามีการพัฒนาให้มีความเหมาะสมในการใช้งาน โดยจะออกแบบให้สามารถจัดเก็บประจุได้มากๆ และจ่ายกระแสไฟฟ้าได้นานยิ่งขึ้นที่เรียกว่าเป็นแบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep Cycle Battery) โดยการออกแบบให้แผ่นธาตุตะกั่วมีความหนาเป็นพิเศษ เป็นผลทำให้ค่าความต้านทานภายในสูงสามารถจัดเก็บประจุไฟฟ้าได้สูง แต่จะจ่ายกระแสออกมาได้ไม่สูงมากนัก ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงๆ ในระยะเวลาสั้นๆ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูงจะเหมาะสำหรับรถไฟฟ้ารอกของ (Flock lift) เครื่องสำรองไฟ (Uninterruptible Power Supply: UPS) หรือการเก็บพลังงานสำรองจากแหล่งพลังงานทดแทนต่างๆ รวมทั้งพลังงานจากแสงอาทิตย์ด้วย แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง จะมีราคาขนาดและน้ำหนักที่ต่างกับแบตเตอรี่รถยนต์ (Vehicle battery) มากถึงแม้ว่ากำลังวัตต์ชั่วโมง (Watt Hour: Wh) หรือความจุของกระแสไฟฟ้าจะเท่ากันก็ตาม ในการใช้งานแบตเตอรี่ต่างๆ ให้ทนทาน จะต้องทราบข้อจำกัดทางด้านอุณหภูมิ และระดับความลึกในการคายประจุ (Depth of Discharge: DOD) ในระหว่างการทำงานด้วย ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ การใช้งานจนพลังงานไฟฟ้าหมดจะเป็นผลทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงอย่างมาก ดังนั้นการใช้งานจึงไม่ควรใช้ประจุไฟฟ้าที่ต่ำกว่าระดับ 60 เปอร์เซ็นต์ของความจุแบตเตอรี่และแบตเตอรี่ควรเก็บไว้ในที่อากาศเย็น ปกติอุณหภูมิไม่เกิน 25°C ในส่วนการประจุไฟฟ้าจะต้องไม่ประจุกระแสไฟฟ้าที่สูงเกินไป จะทำให้แบตเตอรี่ร้อนจัดทำให้เสื่อมสภาพเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งรวมถึงมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าแบตเตอรี่แบบอื่นๆ แบตเตอรี่ชนิดนี้ถูกออกแบบให้จ่ายประจุได้ที่ 45% ถึง 75% ของความจุแบตเตอรี่ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตและโครงสร้างของแบตเตอรี่ โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของแบตเตอรี่แต่ละยี่ห้อ ได้ดังตารางที่ 2.4

ข้อแตกต่างระหว่างแบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง กับ แบตเตอรี่รถยนต์ทั่วไปคือความสามารถในการจ่ายไฟที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ โดยที่แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของความจุไฟฟ้าที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ เช่น ถ้าแบตเตอรี่เก็บกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 1,000 วัตต์ จะสามารถนำกำลังไฟฟ้ามาใช้ได้ถึง 800 วัตต์ (80%) แต่ถ้าเป็นแบตเตอรี่รถยนต์ทั่วไปนำกำลังไฟฟ้ามาใช้ได้เพียง 200 วัตต์ (20%) เท่านั้น จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง 1 ลูก จะเทียบเท่ากับแบตเตอรี่รถยนต์ถึง 4 ลูก [3],[8]

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของแบตเตอรี่แต่ละยี่ห้อ [9], [10], [11]

Brand	Voltage (V) / capacity battery (AH)	Price (Bath)
 GLOBATT THE DRIVE WITHIN	12/100	4,400
 GLOBATT THE DRIVE WITHIN	12/100	4,200
 3K BATTERY	12/135	5,900
 YUASA SUPER LIGHT BATTERY	12/130	5,990
 NE BATTERY	12/100	5,100
 FB BATTERY	12/125	5,500
 VOLTA BATTERIES	12/115	5,800
 Trojan BATTERY COMPANY	12/115	5,430

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการนี้ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

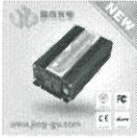


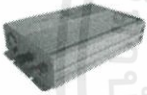



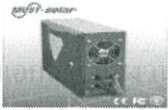
2.2.3.4 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า กระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V สำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในบ้าน โดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์จะออกแบบวงจรภายในโดยใช้วงจร Switching แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรง เป็นกระแสสลับ โดยมีสัญญาณความถี่ไฟฟ้า 50 Hz ในระบบที่มีขนาดเล็กๆ ผู้ผลิตอาจจะรวมวงจร อินเวอร์เตอร์เข้าเป็นชุดเดียวกับวงจรควบคุมการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Charger and Inverter) ใน การใช้งานต้องมีค่ากำลังงานที่สูงกว่ากำลังวัตต์ที่ใช้งาน 15 - 20% ทั้งนี้เนื่องจากอินเวอร์เตอร์จะมี ประสิทธิภาพประมาณ 80 - 85% เช่น กำลังวัตต์ที่ต้องการใช้งาน 800 วัตต์ ต้องใช้อินเวอร์เตอร์ ขนาด 1 กิโลวัตต์ เป็นต้น [3]

อินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้กันทั่วไปมี 2 แบบ คือ

- *Pure sine wave* คือ สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่มีรูปลักษณ์สัญญาณต่อเนื่อง เหมาะสำหรับนำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทุกชนิดโดยไม่ทำให้เกิดปัญหา และมี รูปร่างของคลื่นที่ผลิตได้เหมือนกับรูปคลื่นไฟฟ้าตามบ้านทุกประการ แต่มีราคาสูง กว่า Modified sine wave [12]
- *Modified sine wave* คือ สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกสร้างขึ้นมาโดยขบวนการ ทางดิจิทัล โดยสัญญาณที่ได้จะมีแรงดันและความถี่เท่ากับ Pure sine wave แต่รูปลักษณ์ไม่มีความต่อเนื่อง ดังนั้น Modified sine wave จะใช้ได้ดีกับ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีระบบแปลงไฟฟ้าเป็นกระแสตรง เช่น โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ เป็นต้น แต่ใช้ไม่ได้กับมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของอินเวอร์เตอร์แต่ละยี่ห้อ ได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติและราคาของอินเวอร์เตอร์แต่ละยี่ห้อ [10], [13]

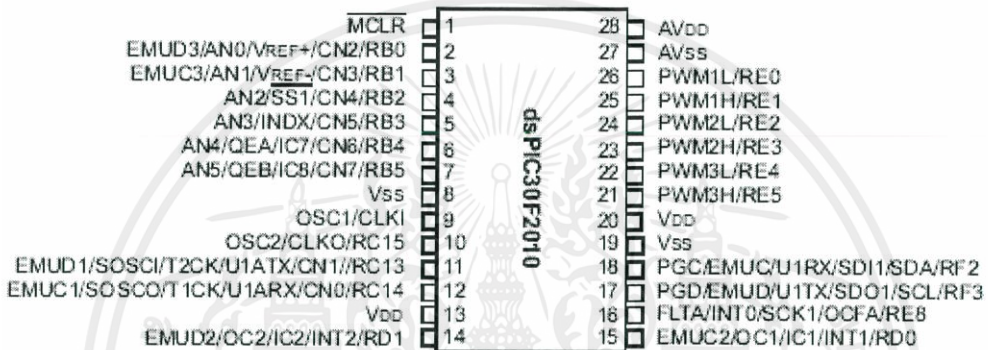
Brand	Type	Power (w)	Price (Bath)
	Pure sine wave	500	2,100
	Pure sine wave	500	-
	Pure sine wave	500	2,500
	Pure sine wave	500	3,000
	Pure sine wave	500	3,000
	Pure sine wave	500	-
	Pure sine wave	500	1,500
	Pure sine wave	500	2,700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับบริการเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

บริษัท Microchip ได้พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่ที่มีประมวผลในระดับ 16 บิต ออกมาให้ใช้งานนั่นคือ dsPIC หรือเรียกอีกชื่อว่า Digital Signal Controller หรือ DSC โดยจุดเด่นของ DSC คือการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลโดยเฉพาะด้านการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และสามารถประมวลผลข้อมูลได้สูงถึง 16 บิตอย่างแท้จริง นอกจากนั้นยังเพิ่มความเร็วในการประมวลผลเพื่อให้รองรับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณดิจิทัลได้ เพิ่มเติมความสามารถโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลให้มีความเร็วในการสุ่มสัญญาณเพิ่มขึ้น [14]

### 28-Pin SDIP and SOIC

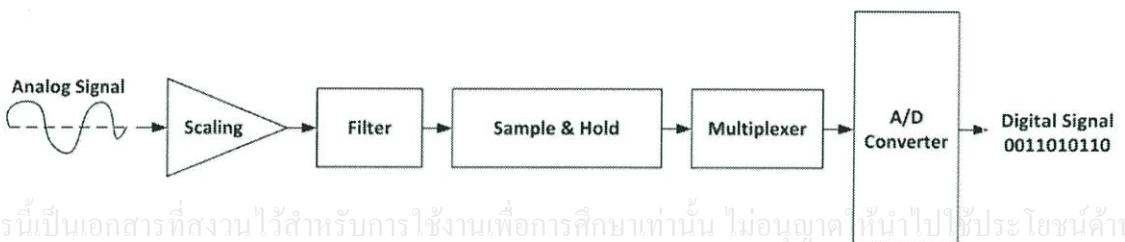


รูปที่ 2.5 โครงสร้าง dsPIC30F2010 [15]

ในการศึกษาโครงงาน ฟังก์ชันที่จะใช้งานแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

### 2.3.1 โมดูล ADC ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

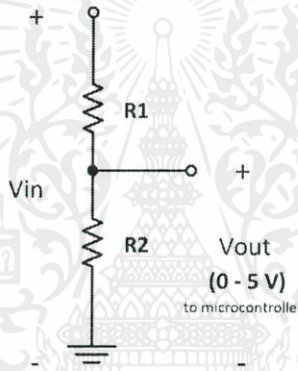
A/D Converter หรือ Analog to Digital Converter (ADC) เป็นโมดูลที่ทำหน้าที่รับสัญญาณอนาล็อกอินพุตจากภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 และนำสัญญาณอนาล็อกที่ได้ มาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้สามารถนำสัญญาณที่รับเข้ามาไปใช้ในการประมวลผลได้ ส่วนประกอบต่างๆของกระบวนการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ดังรูปที่ 2.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบต่างๆของกระบวนการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลนำไปใช้

กระบวนการเริ่มจากสัญญาณอนาล็อกอินพุต จะผ่านการ Scaling ก่อน เพื่อให้สัญญาณอนาล็อกอินพุตมีค่าต่ำสุด-สูงสุด อยู่ในย่านที่สามารถป้อนสัญญาณได้ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณอนาล็อกอินพุตมีค่า 0-50 V เราจะไม่สามารถป้อนสัญญาณอนาล็อกอินพุตดังกล่าว ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ได้ เราจะต้องทำการสเกล (Scale) ให้ค่าความต่างศักย์ต่ำลง ก่อนซึ่งค่าสูงสุดของสัญญาณอนาล็อกที่สามารถป้อนเข้าไปใน PIC ได้ก็คือ 5 V วิธีการง่าย ๆ ในการ Scaling ก็คือ การต่อตัวต้านแบ่งแรงดัน (Voltage divider) ยกตัวอย่างดังรูป 2.7 สัญญาณอนาล็อกอินพุตจะมีค่าเท่ากับ 0-5 V ซึ่งอยู่ในย่านที่สามารถป้อนเข้าไปให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ได้ ซึ่งต้องออกแบบค่าตัวต้านทาน R1 และ R2 ให้เหมาะสมตามหลักการการแบ่งแรงดัน สามารถคำนวณได้ตามความสัมพันธ์ ดังสมการ 2.7

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in} \quad (2.7)$$



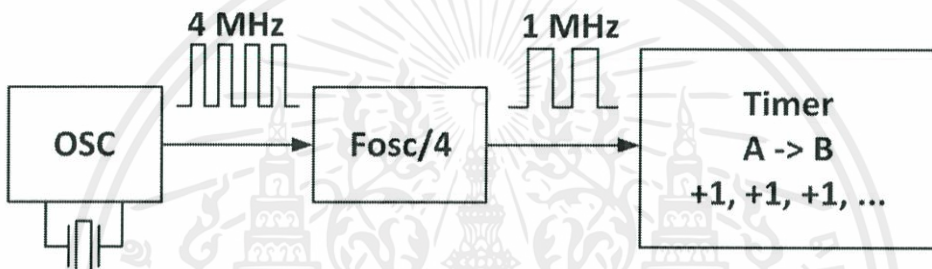
รูปที่ 2.7 การต่อตัวต้านทานแบ่งแรงดันเพื่อ Scaling

ถัดจากการ Scaling ขั้นตอนต่อไปก็คือ การ Filter เพื่อลดทอนสัญญาณในแถบความถี่ที่ไม่ต้องการออกไป ยกตัวอย่างเช่น Low-pass filter ก็จะลดทอนสัญญาณความถี่สูงๆออกไป หลังจากนั้นก็จะนำสัญญาณที่ได้มาผ่าน Sample & Hold เพื่อทำการ Sampling สัญญาณอนาล็อกอินพุต ให้เป็นสัญญาณแบบ Discrete รวมทั้งทำการ Hold ด้วย เพื่อให้ค่าของสัญญาณในช่วงระหว่างแต่ละ Sample มีค่าคงที่ตลอดเวลา

ขั้นตอนสุดท้ายก่อนเข้าสู่ A/D Converter ก็คือการ Multiplex เพราะว่าบางครั้งเราอาจจะไม่ได้รับสัญญาณอนาล็อกอินพุตเพียงแค่ช่องสัญญาณเดียว ทำให้ต้องทำการ Multiplex เพื่อเลือกช่องสัญญาณอนาล็อกอินพุตที่ต้องการป้อนเข้าสู่ A/D Converter จากนั้น A/D Converter จะทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกที่ป้อนมาเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วนำค่าสัญญาณดิจิทัลที่ได้ไปใช้งานต่อไป ทั้งนี้จำนวนบิตที่ได้จากการแปลงสัญญาณจะขึ้นอยู่กับค่าความละเอียด (Resolution) ของ A/D Converter ของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ [14]

### 2.3.2 การใช้งาน Timer ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

Timer คือ วงจรนับที่มีอยู่ภายในชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30F โดย วงจรนับจะทำการเพิ่มค่าทีละ 1 ไปเรื่อยๆจนกระทั่งมีค่ามากกว่าค่ามากที่สุดที่สามารถนับได้ แล้วจะรีเซตกลับไปเริ่มต้นนับรอบใหม่ แต่จะปรากฏ Overflow เพื่อบอกให้ทราบว่า Timer ทำการนับจนครบรอบแล้ว (มีค่ามากกว่าค่ามากที่สุดที่สามารถนับได้) สัญญาณอินพุตที่ใช้ป้อนเพื่อให้ Timer ทำการนับต่อต้องเป็นพัลส์ ซึ่งสัญญาณอาจจะเป็นพัลส์ที่ได้จากนาฬิกาคริสตอลที่ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือสัญญาณพัลส์จากภายนอกก็ได้ ถ้าเป็นอินพุตสัญญาณแบบแรกจะเรียกว่า Timer แต่ถ้าใช้สัญญาณอินพุตแบบที่สองจะเรียกว่า Counter ยกตัวอย่างกรณี Timer ขนาด 8 บิต ใช้สัญญาณอินพุตจากคริสตอลความถี่ 4 MHz จะมีลักษณะการทำงานดังรูป 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะการทำงานของ Timer ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30F

จากรูปจะเห็นได้ว่า สัญญาณนาฬิกาจากคริสตอลมีความถี่ 4 MHz แต่เนื่องจาก 1 แมกซ์ซินไซเคิลของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30F มีค่าเท่ากับ 4 พัลส์ของสัญญาณนาฬิกาจากคริสตอล ดังนั้นความถี่ที่ถูกป้อนให้กับอินพุต Timer คือความถี่ของสัญญาณนาฬิกาคริสตอลหารด้วย 4 ซึ่งก็คือ 1 MHz ทำให้ 1 พัลส์ที่ป้อนเป็นอินพุตให้กับ Timer มีคาบเวลาเท่ากับ  $1/1 \text{ MHz} = 1\mu\text{s}$  ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ทุกครั้งที่ Timer ทำการนับเพื่อเพิ่มค่าจากเดิมขึ้นมา 1 จะใช้ระยะเวลานาน  $1\mu\text{s}$  ถ้าเป็น Timer ขนาด 16 บิต ค่าที่นับได้สูงสุดก็คือ  $2^{16} = 65536$  ซึ่งเท่ากับระยะเวลาทั้งหมด  $256\mu\text{s}$  ไทเมอร์/เคาน์เตอร์หลักใน dsPIC30F มี 5 ตัวคือ ไทเมอร์ 1 ถึงไทเมอร์ 5 โดยแต่ละตัวมีขนาด 16 บิต สำหรับไทเมอร์ 2 และ 3 กับไทเมอร์ 4 และ 5 สามารถทำงานร่วมกันเป็นไทเมอร์ขนาด 32 บิต [14]

### 2.3.3 โมดูล UART ในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010

การสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอกสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

- การสื่อสารแบบขนาน (Parallel Communication) ทำได้โดยการส่งข้อมูลจากผู้ส่ง (Transmitter) ไปยังผู้รับ (Receiver) ออกมาทีละ 1 ไบต์หรือ 8 บิตซึ่งอาจมีบิตเพิ่มเติมสำหรับควบคุมการสื่อสาร ซึ่งมีข้อดีคือ อัตราการรับส่งข้อมูลสูง ตัวอย่างการใช้งาน STM32F4DISCOVERY กับ การสื่อสารแบบขนาน เช่น การเชื่อมต่อจอแสดงผล LCD การเชื่อมต่อกล้อง และการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำเสริม (External RAM Memory) ตัวกลางระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองเครื่องต้องใช้กลุ่มสายส่งเป็นจำนวนมาก (Bus) จึงไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องใช้อุปกรณ์ภายนอกเป็นจำนวนมาก

- การสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Communication) เป็นการรับส่งออกมาทีละบิต จึงมีความล่าช้ากว่าการสื่อสารแบบขนาน อย่างไรก็ตาม ตัวกลางสำหรับการสื่อสารอาจจะใช้สายส่งเพียงคู่เดียว จึงมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าและทำให้อุปกรณ์มีขนาดเล็ก นอกจากนี้ การสื่อสารแบบอนุกรมสามารถสื่อสารแบบเครือข่ายได้ จึงเป็นที่นิยมมากกว่า

การสื่อสารแบบอนุกรมสามารถแบ่งได้ 3 รูปแบบ

1. Simplex สามารถส่งข้อมูลได้อย่างเดียว สื่อสารแบบทางเดียว
2. Half-Duplex สามารถส่งและรับข้อมูลได้แต่ไม่สามารถส่งและรับได้ในเวลาเดียวกัน
3. Full-Duplex สามารถส่งและรับข้อมูลได้ในเวลาเดียวกัน

สามารถแบ่งตามลักษณะสัญญาณได้ 2 แบบ

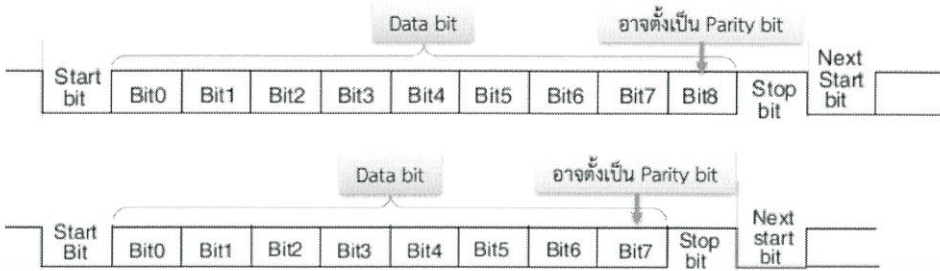
- การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous) ใช้สัญญาณนาฬิกาควบคุมการรับส่งสัญญาณ เช่น สายเคเบิลบอร์ดคอมพิวเตอร์ โดยจะมีสายสัญญาณเส้นหนึ่งเป็นสายสัญญาณนาฬิกา ส่วนอีกเส้นหนึ่งเป็นสายของข้อมูล (มักจะมีสายกราวด์ด้วย) การสื่อสารลักษณะนี้เหมาะสำหรับการทำงานในระยะใกล้ ข้อมูลที่จะส่งมีไม่มากนัก เพราะถ้าระยะไกลขึ้นทำให้สัญญาณนาฬิกามีปัญหา อีกทั้งยังต้องมีสายหลายเส้น ทำให้สิ้นเปลืองมาก

- การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ใช้สายข้อมูลเพียงตัวเดียว แต่จะใช้รูปแบบการส่งข้อมูลหรือ Bit Pattern เป็นตัวกำหนดว่าส่วนไหนเป็นส่วนเริ่มต้นข้อมูล ส่วนไหนเป็นตัวข้อมูล ส่วนไหนจะเป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และส่วนไหนเป็นส่วนปิดท้ายของข้อมูล โดยต้องกำหนดให้สัญญาณนาฬิกาเท่ากันทั้งภาคส่งและภาครับซึ่งจะมีอุปกรณ์พิเศษที่ชื่อว่า UART คอยควบคุมการรับและส่งข้อมูล

UART ย่อมาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter เป็นการเชื่อมต่อและสื่อสารข้อมูลอนุกรมกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์, RFID, GPS, Wifi Module เป็นต้น

ข้อดีของการใช้ Asynchronous คือสามารถสื่อสารแบบ Full duplex กล่าวคือสามารถรับและส่งข้อมูลระหว่าง Receiver และ Transmitter ได้ในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ ไม่ต้องใช้

สายสัญญาณ Clock เพื่อกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูล แต่มีการกำหนดรูปแบบ Format หรือ Protocol การรับส่งข้อมูลขึ้นมาแทน และอาศัยการกำหนดความเร็วของการรับส่งข้อมูลให้เท่ากัน



รูปที่ 2.9 รูปแบบการสื่อสารของ UART

### องค์ประกอบของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมที่นิยมใช้กับคอมพิวเตอร์นั้น เป็นการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส ต้องใช้สัญญาณเส้นเดียวทำหน้าที่ทั้งส่วนที่เป็นข้อมูลหรือส่วนที่ใช้ควบคุมการส่งข้อมูล ดังนั้น ข้อมูลที่อ่านได้แต่ละบิตจากการส่งแบบอนุกรม จึงถูกแยกแยะว่าใช้สำหรับวัตถุประสงค์ใด

1. Start Bit เป็นสถานะ Low ขนาด 1 บิต
2. Data Bit ขนาด 7-8 บิต
3. Parity Bit ผู้ใช้งานสามารถกำหนดชนิดของ Parity Bit แบบ Odd, Even หรือ None
4. Stop Bit มีจำนวน 0.5, 1, 1.5 หรือ 2 บิต

### 2.4 ระบบเชื่อมโยงข้อมูล

อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย มีหน้าที่เป็นตัวกลางการติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ จำแนกเป็น 4 ประเภทดังนี้

1. บลูทูธ (Bluetooth) เป็นอุปกรณ์สื่อสารแบบ 2 ทิศทาง ขนาดเล็ก ราคาถูก ใช้งานง่าย ใช้พลังงานต่ำ โดยสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุระยะสั้น ระยะทางการติดต่อประมาณ 10 เมตร
2. รังสีอินฟราเรด (Infrared) เป็นอุปกรณ์สื่อสารแบบ 2 ทิศทาง ขนาดเล็ก ใช้พลังงานต่ำ ระยะทางการติดต่อประมาณ 1 เมตร โดยห้ามมีสิ่งกีดขวาง
3. Zigbee เป็นอุปกรณ์สื่อสารไร้สายแบบทิศทางเดียวและ 2 ทิศทาง ใช้งานสำหรับการสื่อสารความเร็วต่ำ ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย อุปกรณ์ราคาถูก และมีคุณสมบัติการจัดการตัวเองได้ เป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ร่วมกันสื่อสารข้อมูลผ่านเซ็นเซอร์ขนาดเล็ก

4. ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless) เป็นอุปกรณ์สื่อสารแบบ 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน IEEE 802.11 สามารถเข้าถึงระบบ Ethernet ได้ ผ่านอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Access Point) ที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1 ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN Technology)

ระบบเครือข่ายไร้สาย (WLAN = Wireless Local Area Network) คือ ระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีรูปแบบในการสื่อสารแบบไม่ใช้สาย โดยเป็นการส่งคลื่นความถี่วิทยุในย่านวิทยุ RF และ คลื่นอินฟราเรด ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องผ่านอากาศ, ทะลุ กำแพง, เพดานหรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ โดยปราศจากความต้องการของการเดินสาย นอกจากนี้ระบบเครือข่ายไร้สายก็ยังมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกอย่างเหมือนกับระบบ LAN แบบใช้สาย

ที่สำคัญก็คือ การที่ไม่ต้องใช้สายทำให้การเคลื่อนย้ายการใช้งานทำได้โดยสะดวก ไม่เหมือนระบบ LAN แบบใช้สาย ที่ต้องใช้เวลาและการลงทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งาน เครื่องคอมพิวเตอร์ ปัจจุบันโลกของเราเป็นยุคแห่งการติดต่อสื่อสาร เทคโนโลยีต่างๆ เช่น โทรศัพท์มือถือ เป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำเนินธุรกิจและการใช้ชีวิตประจำวัน ความต้องการข้อมูลและการบริการต่างๆ มีความจำเป็นสำหรับนักธุรกิจ เทคโนโลยีที่สนองต่อความต้องการเหล่านั้นมีมากมาย เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องปาล์ม ได้ถูกนำมาใช้เป็นอย่างมาก [16]

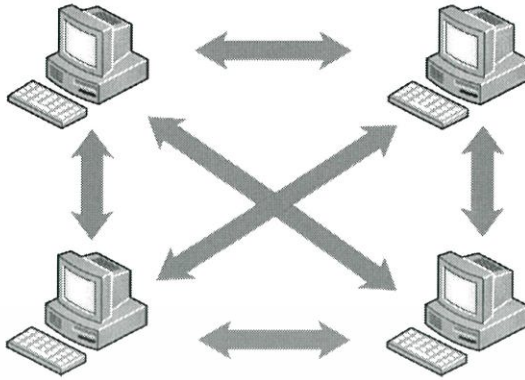
### 2.4.2 ประโยชน์ของระบบเครือข่ายไร้สาย

1. Mobility improves productivity & service มีความคล่องตัวสูง ดังนั้นไม่ว่าเราจะเคลื่อนที่ไปที่ไหน หรือเคลื่อนย้ายคอมพิวเตอร์ไปตำแหน่งใด ก็ยังมีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายตลอดเวลา トラบไต้ที่ยังอยู่ในระยะการส่งข้อมูล
2. Installation speed and simplicity สามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว เพราะไม่ต้องเสียเวลาติดตั้งสายเคเบิล และไม่รกรุงรัง
3. Installation flexibility สามารถขยายระบบเครือข่ายได้ง่าย เพราะเพียงแค่มีพีซีการ์ดมาต่อเข้ากับเน็ตบูคหรือพีซีก็เข้าสู่เครือข่ายได้ทันที
4. Reduced cost-of-ownership ลดค่าใช้จ่ายโดยรวม ที่ผู้ลงทุนต้องลงทุน ซึ่งมีราคาสูง เพราะในระยะยาวแล้วระบบเครือข่ายไร้สายไม่จำเป็นต้องเสียค่าบำรุงรักษาและการขยายเครือข่ายก็ลงทุนน้อยกว่าเดิมหลายเท่า เนื่องด้วยความง่ายในการติดตั้ง
5. Scalability เครือข่ายไร้สายทำให้องค์กรสามารถปรับขนาดและความเหมาะสมได้ง่ายไม่ยุ่งยาก เพราะสามารถโยกย้ายตำแหน่งการใช้งานโดยเฉพาะระบบที่มีการเชื่อมระหว่างจุดต่อจุด เช่น ระหว่างตึก เป็นต้น ระบบเครือข่ายไร้สาย เป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไม่มากนัก และมักจำกัดอยู่ในอาคารหลังเดียวหรืออาคารในละแวกเดียวกัน การใช้งานที่น่านสนใจที่สุดของเครือข่ายไร้สายก็คือ ความสะดวกสบายที่ไม่ต้องติดอยู่กับที่ ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้โดยที่ยังสื่อสารอยู่ในระบบเครือข่าย [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.3 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สาย

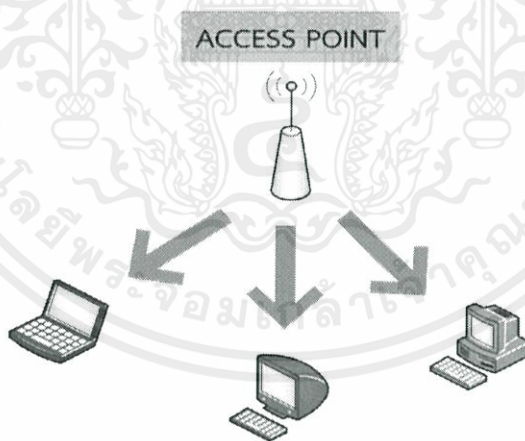
### 2.4.3.1 Peer-to-peer network



รูปที่ 2.10 Peer-to-peer network

รูปแบบการเชื่อมต่อแลนไร้สายแบบ Peer to Peer เป็นการเชื่อมต่อแบบโครงข่ายโดยตรงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องนั้นจะมีความเท่าเทียมกันสามารถทำงานของตนเองได้ และขอใช้บริการเครื่องอื่นได้ จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้งานเพื่อจุดประสงค์ด้านความเร็ว หรือติดตั้งได้โดยง่ายเมื่อไม่มีโครงสร้างพื้นฐานที่จะรองรับ ตัวอย่างเช่น ในศูนย์ประชุมหรือการประชุมที่จัดนอกสถานที่ [16]

### 2.4.3.2 Client/server (Infrastructure mode)

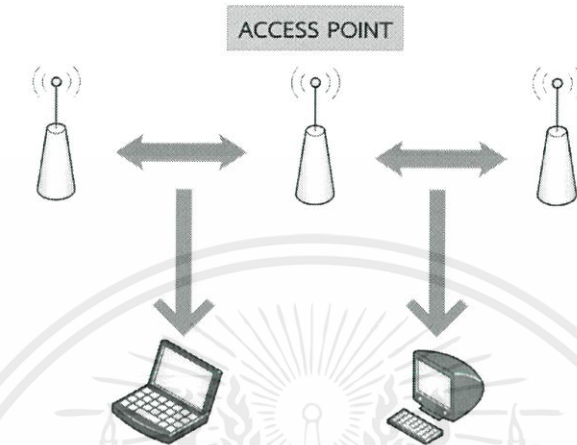


รูปที่ 2.11 Client/server (Infrastructure mode)

ระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Client/server หรือ Infrastructure mode เป็นลักษณะการรับส่งข้อมูลโดยอาศัย Access Point (AP) หรือเรียกว่า “Hot spot” ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่ายแบบใช้สายกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (client) โดยจะกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อรับ-ส่งข้อมูลเป็นรัศมีโดยรอบ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรัศมีของ AP จะกลายเป็นเครือข่ายกลุ่มเดียวกันทันที โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ จะสามารถติดต่อกัน หรือติดต่อกับ Server เพื่อแลกเปลี่ยนและค้นหาข้อมูลได้ โดยต้องติดต่อผ่าน AP เท่านั้น ซึ่ง AP 1 จุด สามารถ

ให้บริการเครื่องลูกข่ายได้ถึง 15-50 อุปกรณ์ ของเครื่องลูกข่าย เหมาะสำหรับการนำไปขยายเครือข่ายหรือใช้ร่วมกับระบบเครือข่ายแบบใช้สายเดิมในออฟฟิศ, ห้องสมุด หรือในห้องประชุม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มากขึ้น [16]

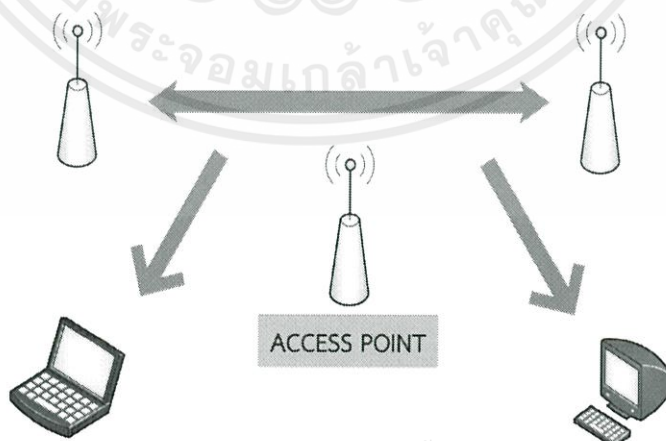
#### 2.4.3.3 Multiple access points and roaming



รูปที่ 2.12 Multiple access points and roaming

โดยทั่วไปแล้ว การเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ กับ Access Point ของเครือข่ายไร้สายจะอยู่ในรัศมีประมาณ 500 ฟุตภายในอาคาร และ 1000 ฟุตภายนอกอาคาร หากสถานที่ที่ติดตั้งมีขนาดกว้างมากๆ เช่น คลังสินค้า บริเวณภายในมหาวิทยาลัย สนามบิน จะต้องมีการเพิ่มจุดติดตั้ง AP ให้มากขึ้น เพื่อให้การรับส่งสัญญาณในบริเวณของเครือข่ายขนาดใหญ่ เป็นไปอย่างครอบคลุมทั่วถึง

#### 2.4.3.4 Use of an Extension Point

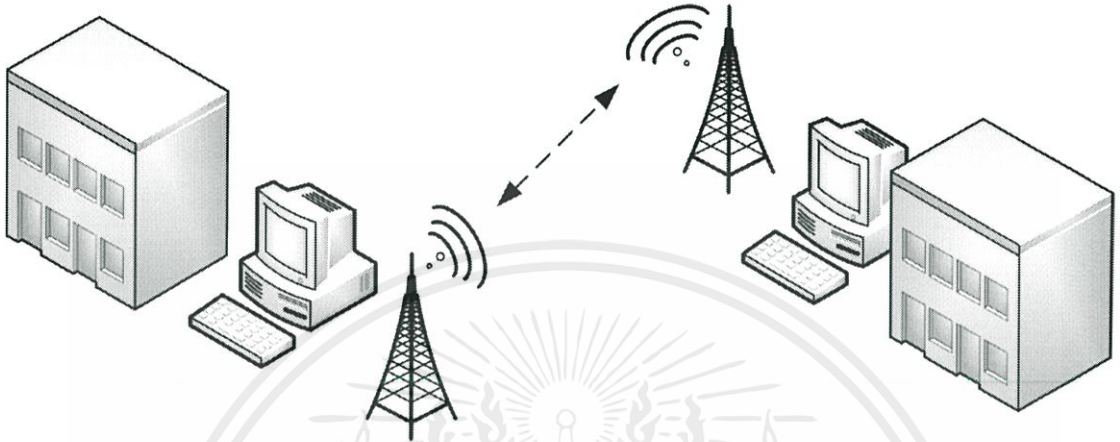


รูปที่ 2.13 Use of an Extension Point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่โครงสร้างของสถานที่ติดตั้งเครือข่ายแบบไร้สายมีปัญหาผู้ออกแบบระบบ อาจจะใช้ Extension Point ที่มีคุณสมบัติเหมือนกับ Access Point แต่ไม่ต้องผูกติดไว้กับเครือข่าย ไร้สาย เป็นส่วนที่ใช้เพิ่มเติมในการรับส่งสัญญาณ

2.4.3.5 The Use of Directional Antenna



รูปที่ 2.14 The Use of Directional Antenna

ระบบ LAN ไร้สายแบบนี้เป็นแบบใช้เสาอากาศในการรับส่งสัญญาณระหว่างอาคาร ที่อยู่ห่างกัน โดยการติดตั้งเสาอากาศที่แต่ละอาคาร เพื่อส่งและรับสัญญาณระหว่างกัน [16]

2.4.4 มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11

มาตรฐานเครือข่ายไร้สาย IEEE 802.11 ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ.2540 โดยสถาบัน IEEE (The Institute of Electronics and Electrical Engineers) ซึ่งมีข้อกำหนดระบุไว้ว่า ผลิตภัณฑ์เครือข่ายไร้สายในส่วนของ PHY Layer นั้นมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลที่มีความเร็ว 1, 2, 5.5, 11 และ 54 เมกะบิตต่อวินาที โดยมีสื่อส่งสัญญาณ 3 ประเภทให้เลือกใช้งานอันได้แก่ คลื่นวิทยุย่านความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์, 2.5 กิกะเฮิรตซ์ และคลื่นอินฟราเรด ส่วนในระดับชั้น MAC Layer นั้นได้กำหนดกลไกของการทำงานแบบ CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับ CSMA/CD (Collision Detection) ของมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งนิยมใช้งานบนระบบเครือข่าย LAN ไร้สาย โดยมีกลไกในการเข้ารหัสข้อมูลก่อนแพร่กระจายสัญญาณไปบนอากาศ พร้อมทั้งมีการตรวจสอบผู้ใช้งานอีกด้วย

เทคโนโลยีในการส่งสัญญาณมีอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ ประเภทที่ใช้สัญญาณคลื่น  
เอกสารความถี่วิทยุและประเภทที่ใช้สัญญาณอินฟราเรดในการติดต่อรับส่งข้อมูลญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.4.1 ประเภทที่ใช้สัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ

- **Narrow Band Technology** เป็นระบบวิทยุแบบความถี่แคบ เป็นการรับส่งความถี่ 902-928 MHz, 2.14-2.484 และ 5.725-5.850 MHz สัญญาณจะมีกำลังต่ำ (โดยทั่วไปประมาณ 1 มิลลิวัตต์) และใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างต้นทางกับปลายทางเพียง 1 คู่เท่านั้น

- **Spread Spectrum Technology** ระบบเครือข่ายไร้สายส่วนใหญ่นิยมใช้เทคนิค Spread Spectrum Technology ซึ่งใช้ความถี่ที่กว้างกว่า Narrow Band Technology ซึ่ง Spread Spectrum คือ ช่วงความถี่ระหว่าง 902-928 MHz และ 2.4-2.484 MHz โดยการส่งสัญญาณเทคนิค Spread Spectrum สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ Direct Sequence และ Frequency-Hopping

- **Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)** Direct Sequence Spread Spectrum เป็นเทคนิคที่ยังใช้คลื่นพาหะที่ต้องระบุความถี่ที่ใช้ โดยสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่าแบบ Narrow Band วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่มีการแทรกสอดรบกวนจากคลื่นวิทยุอื่น ๆ อย่างรุนแรง

- **Frequency - Hopping Spread Spectrum (FHSS)** การส่งสัญญาณรูปแบบนี้จะใช้ความถี่แคบพาหะเพียงความถี่เดียว (Narrow Band) โดยเน้นการนำไปใช้งาน ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดว่า ถ้าคำนึงถึงปัญหาทางด้านประสิทธิภาพและคลื่นรบกวนก็ควรใช้วิธี DSSS ถ้าต้องการใช้ Adapter ไร้สายขนาดเล็กและราคาไม่แพงสำหรับเครื่อง Notebook หรือเครื่อง PDA ก็ควรเลือกแบบ FHSS

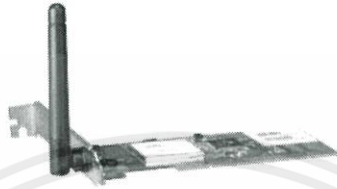
- **Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM)** เทคนิคนี้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลตามมาตรฐานใหม่ของระบบเครือข่ายไร้สาย คือ IEEE 802.11a และ 802.11g การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุแบบนี้เป็นการ Multiplex สัญญาณโดยช่องสัญญาณความถี่จะถูกแบ่งออกเป็นความถี่พาหะย่อย (subcarrier) หลายความถี่ โดยแต่ละความถี่พาหะย่อยจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทำให้มันเป็นอิสระต่อกัน ความถี่ที่คลื่นพาหะที่ตั้งฉากกันนั้นทำให้ไม่มีปัญหาการซ้อนทับของสัญญาณที่อยู่ติดกัน [16]

#### 2.4.4.2 ประเภทที่ใช้สัญญาณอินฟราเรดในการติดต่อรับส่งข้อมูล

อินฟราเรด (Infrared: IR) เป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในย่านความถี่ของแสงที่อยู่ต่ำกว่าแสงสีแดงที่ตาของคนเราจะไม่สามารถมองเห็น ถูกนำมาใช้เพื่อการสื่อสารที่ใช้ในระยะใกล้ ได้แก่ อุปกรณ์ควบคุมแบบไร้สาย (Wireless Remote Control) ที่ควบคุมเครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องเล่นวีดีโอ เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook คุณสมบัติเด่นของคลื่นอินฟราเรดและคลื่นสั้น คือ เดินทางเป็นแนวตรง ราคาถูก และง่ายต่อการผลิตใช้งาน แต่คลื่นประเภทนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้ [16]

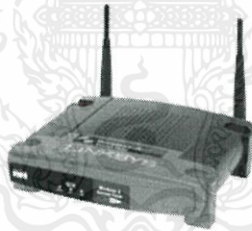
## 2.4.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อเครือข่ายไร้สาย

2.4.5.1 *WLAN Adapters* เป็น Adapter แบบไร้สายซึ่งทำหน้าที่พื้นฐานคล้ายๆ แบบใช้สาย มีหน้าที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงโครงข่ายได้ ในเครือข่าย LAN แบบใช้สาย, Adapter เป็นตัว Interface ระหว่าง OS ของระบบเครือข่ายและสายสัญญาณ ส่วนในเครือข่าย WLAN จะทำหน้าที่เป็น Interface ระหว่าง OS ของระบบเครือข่ายกับเสาอากาศ เพื่อจะสร้างการเชื่อมต่อไปยังโครงข่ายอื่นๆต่อไป [16]



รูปที่ 2.15 WLAN Adapters [16]

2.4.5.2 *Wireless Access Point* เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คล้าย Hub ของระบบ LAN แบบใช้สาย โดยที่จะรับเป็น Buffers และส่งข้อมูลระหว่าง WLAN ซึ่งตัว Access Point มันจะเชื่อมต่อกับ Backbone ของโครงข่ายใช้สายผ่านมาตรฐานเคเบิลแบบ Ethernet และสื่อสารกับอุปกรณ์ไร้สายผ่านเสาอากาศ รัศมีของการเชื่อมต่อกับ Access Point เรียกเป็น Microcell มีระยะอยู่ที่ 20 เมตรถึง 500 เมตร และ Access Point หนึ่งตัวสนับสนุนผู้ใช้งานได้ 15 ถึง 250 คน [16]



รูปที่ 2.16 Wireless Access Point [16]

2.4.5.3 *Outdoor Wireless Bridge* ใช้สำหรับเชื่อมต่อระบบเครือข่ายระหว่างอาคาร เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการลากสาย Fiber Optic ระหว่างอาคารมีราคาสูง โดยเฉพาะถ้ามีสิ่งก่อสร้างขวางกั้นอยู่ด้วย เช่น ทางด่วนหรือแม่น้ำลำคลอง WLAN Bridge จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากอัตรารับ-ส่งข้อมูลสูง และมีรัศมีการรับส่งหลายไมล์ แต่ต้องอยู่ในระดับสายตา



รูปที่ 2.17 Outdoor Wireless Bridge [16]

## 2.5 โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัด สำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทาง วิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือการจัดการในด้านการวัดและ เครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพโดยการใ้การใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาโค้ดรูปภาพ (Graphical programming) หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) และมีการต่อสายส่งค่าข้อมูล คล้ายกับการวาดโพลชาร์ตที่เข้าใจได้ง่าย สำหรับโปรแกรมประเภทตัวหนังสือ หรือเรียก อีกชื่อว่า Text Base จะมีปัญหาในการจัดการกับตำแหน่งการส่งผ่านข้อมูลตามอุปกรณ์เชื่อมต่อเช่น Port หรือ Card ต่างๆ รวมถึงการจัดวางตำแหน่งในหน่วยความจำเพื่อที่จะสามารถรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการ คำนวณและเก็บข้อมูลให้ได้ประโยชน์สูงสุด ปัญหาเหล่านี้ได้รับการแก้ไขใน LabVIEW โดยได้มีการ บรรจุโปรแกรมจำนวนมาก หรือ Libraries ไว้สำหรับจัดการกับปัญหาเหล่านั้น ไม่ว่าจะอุปกรณ์การ เชื่อมต่อจะเป็น DAQ (Data Acquisition) GPIB (General Purpose Interface Bus หรือก่อนหน้า นี้รู้จักกันในชื่อ Hewlett Packard Interface Bus, HP-IB) พอร์ตอนุกรม หรือ Serial Port เพื่อใช้ ติดต่อกับอุปกรณ์ที่ส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Instrument)

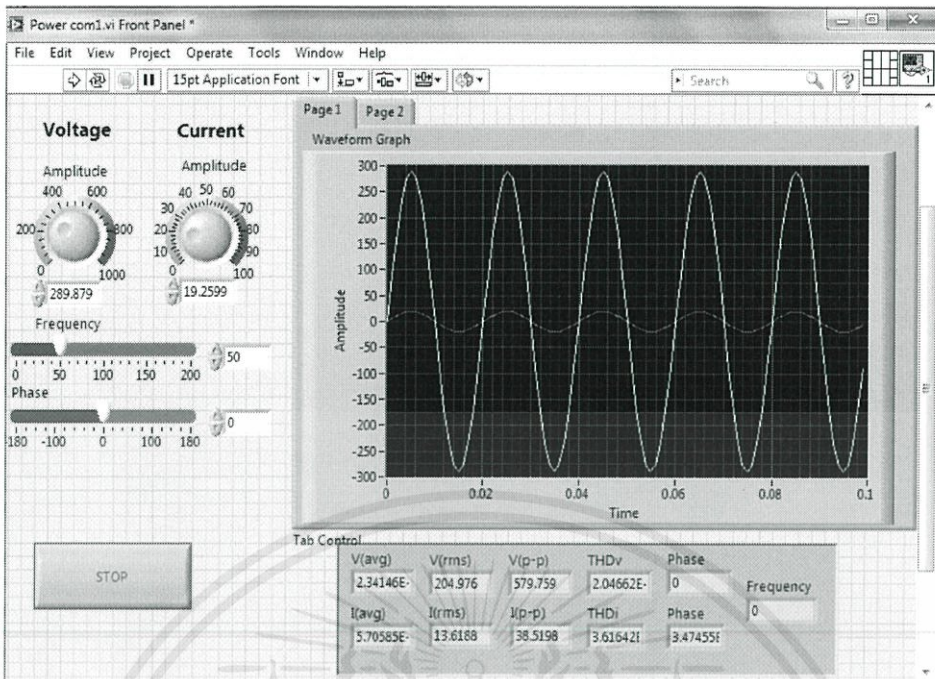
ซึ่งชุดพัฒนาจะมาพร้อมกับชุดฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์และวิศวกรรม สำหรับการวิเคราะห์ ประมวลผล และแสดงข้อมูล รวมถึงความสามารถต่างๆ ในการใช้งานร่วมกับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ อื่นๆ ได้ดี ทำให้ LabVIEW ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในแทบทุกส่วนของอุตสาหกรรมและการ วิจัยที่ต้องการระบบอัตโนมัติในการวัดและการควบคุม เช่น อุตสาหกรรมการผลิต อิเล็กทรอนิกส์ ยานยนต์ การทหารและอากาศยาน พลังงาน การสื่อสารและเครื่องมือแพทย์ เป็นต้น

### 2.5.1 ส่วนประกอบของโปรแกรม LabVIEW

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดย LabVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะ ลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้ใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ซึ่ง ภายในอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของฟังก์ชัน Subroutine และโปรแกรมหลัก เหมือนกับภาษาทั่วไป สำหรับ VI จะประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญสามส่วนโดยทั้งสามส่วนจะ ประกอบกันขึ้นมาเป็นอุปกรณ์เสมือนจริง ลักษณะและหน้าที่ของส่วนประกอบทั้งสามมีดังต่อไปนี้

#### *Front Panel*

เป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียก user interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัด ทั่วๆ ไป โดยทั่วไปจะประกอบด้วย สวิตช์ปิดเปิด ปุ่มบิด ปุ่มกด จอแสดงผลหรือแม้แต่ค่าที่ผู้ใช้ สามารถกำหนด ลักษณะของ หน้าจอแสดงผล แสดงในรูปแบบต่อไปนี้

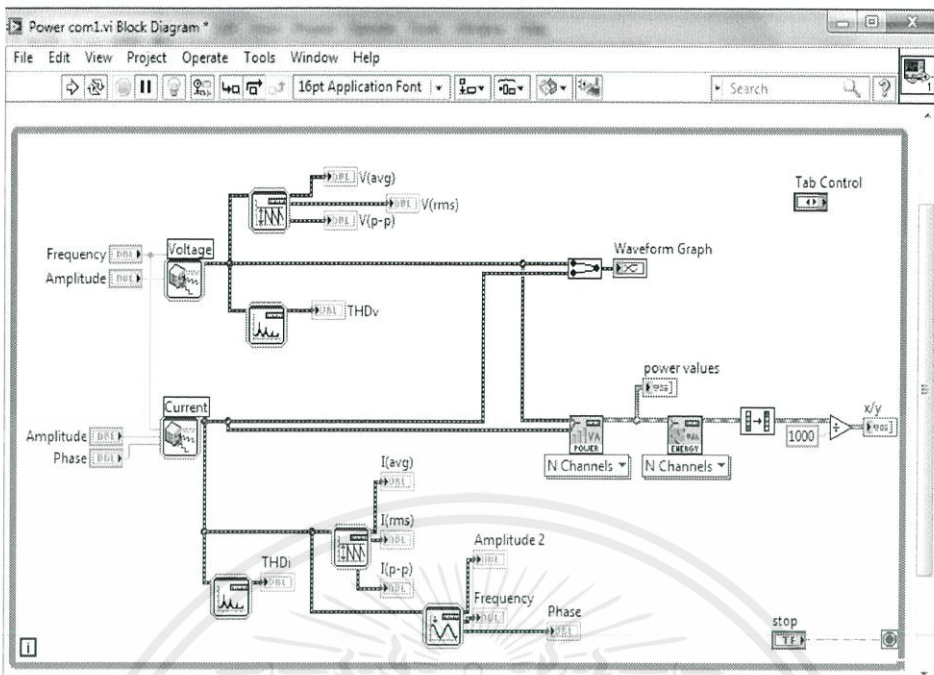


รูปที่ 2.18 หน้าจอแสดงผล

### Block Diagram

เปรียบเสมือนกับ Source Code หรือโปรแกรมของ LabVIEW ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปของภาษา G ซึ่งบล็อกไดอะแกรมนี้ ถือว่าเป็นโปรแกรมที่จะสามารถทำงานได้ทันที และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ LabVIEW จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้นโดยผู้ใช้งานสามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลา ทำให้การเขียนโปรแกรมสะดวกขึ้น

ส่วนประกอบภายในบล็อกไดอะแกรมนี้จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นในแต่ละส่วนเหล่านี้ ซึ่งจะปรากฏในรูปของบล็อกเมื่อได้รับการต่อสาย (wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่างบล็อกเหล่านั้น ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ และแสดงผลออกมาให้แก่ผู้ใช้



รูปที่ 2.19 บล็อกไดอะแกรม

Icon และ Connector

เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย Subroutine ในโปรแกรมปกติทั่วไป โดย icon จะหมายถึง block diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LabVIEW จะเรียก Subroutine นี้ว่า subVI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา G นี้ก็คือเราสามารถสร้าง VI ที่ละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ จากนั้นในภายหลังหากเราต้องการเราก็สามารถเขียนโปรแกรมอื่นขึ้นมาเพื่อเรียกใช้งาน VI ที่เราเคยสร้างขึ้นก่อนหน้านี้ทีละตัว ซึ่งทำให้ VI ที่เราเขียนขึ้นก่อนกลายเป็น subVI ไป การเขียนในลักษณะนี้เราเรียกว่า เขียนเป็น module นอกจากนี้ คำศัพท์ต่างๆที่ใช้กันใน LabVIEW ส่วนใหญ่จะแตกต่างจากที่ใช้ในภาษาการเขียนโปรแกรมตัวหนึ่งสื่อกๆไป ในหลายๆด้าน จึงสามารถสรุปคำศัพท์ที่พบใน LabVIEW ส่วนใหญ่ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.6 สรุปคำศัพท์ที่พบใน LabVIEW

LabVIEW	โปรแกรมพื้นฐาน	หน้าที่
VI	Program	ตัวโปรแกรมหลัก
Function	function	ฟังก์ชันสำเร็จรูปที่สร้างขึ้นมากับโปรแกรมนั้นเช่น sin, log เป็นต้น
SubVI	Subroutine	โปรแกรมน้อยที่ถูกเรียกใช้โดยโปรแกรมหลัก
Front Panel	user interface	ส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้
Block Diagram	Program code	การเขียนตามขั้นตอนของแต่ละโปรแกรมกำหนดขึ้น

### ขั้นตอนและกระบวนการในการวัด

ในงานด้านการวัดและเครื่องมือวัดทางวิศวกรรม จะประกอบด้วยขั้นตอนหรือกระบวนการวัดหลักๆ ตามลำดับ ดังนี้

1. Sensor - Transducer ทำหน้าที่เปลี่ยนปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือปริมาณต่างๆ ทางฟิสิกส์ให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้าที่สามารถตรวจจับได้ ไม่ว่าจะเป็น กระแส ความต่างศักย์ แรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือความต้านทานไฟฟ้า

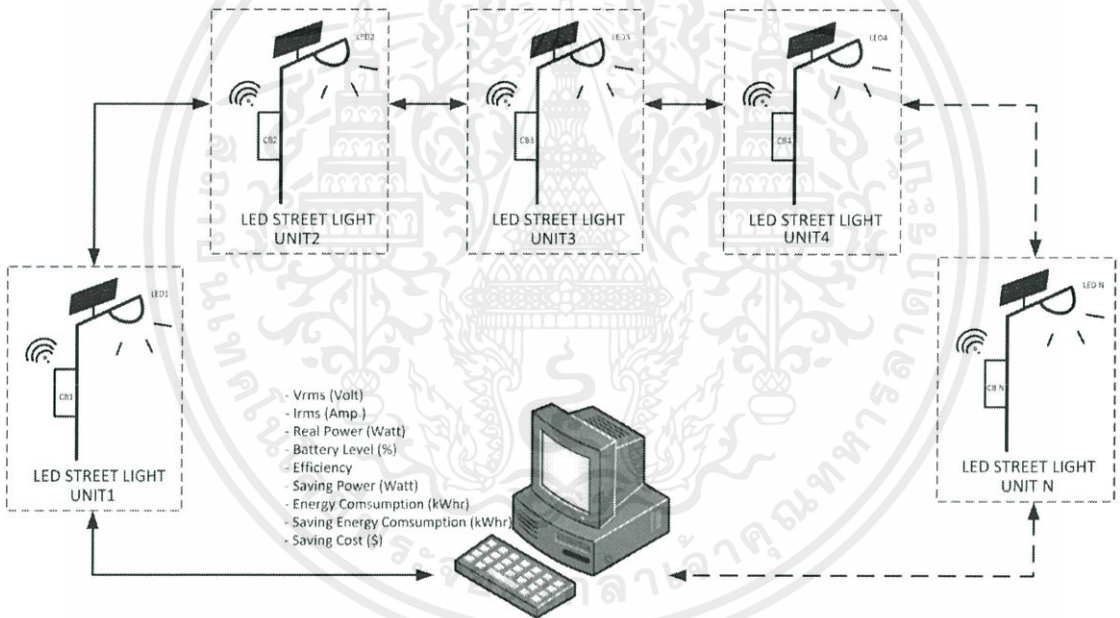
2. Signal Conditioner ทำหน้าที่ปรับแต่งปริมาณสัญญาณที่ได้จากขั้นที่ 1 ให้มีขนาดปริมาณหรือลักษณะที่เหมาะสม เพราะสัญญาณที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 นั้น อาจมีขนาดไม่เหมาะสมหรือมีสัญญาณรบกวนมากเกินไปที่จะนำไปวิเคราะห์ในทันทีได้

3. Data Acquisition ทำหน้าที่ประมวลผลความหมายหรือเปลี่ยนสัญญาณในลักษณะ Analog ให้มาอยู่ในรูปของ digital signal เพื่อประโยชน์ในการตีความหมายและใช้ในการควบคุมหน้าที่ของ DAQ boards อาจจะเป็นการอ่านสัญญาณ analog (A/D Conversion) การสร้างสัญญาณแอนนาลอก (D/A conversion) เขียนและอ่านสัญญาณ เพื่อเชื่อมต่อกับ Transducer

### บทที่ 3

#### การออกแบบเชิงแนวคิด

ระบบเครือข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ คือเครือข่ายของระบบที่ทำงานร่วมกันระหว่างระบบไฟถนนแอลอีดีและระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมและประมวลผลในการตัดสินใจว่าไฟถนนจะรับพลังงานจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์หรือรับจากการไฟฟ้า คำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบ และส่งค่าพารามิเตอร์นั้นๆของแต่ละชุดผ่านเครือข่ายไร้สายมายังจอแสดงผลหลัก เพื่อดูพฤติกรรมของการใช้พลังงานของระบบ ค่าพารามิเตอร์ที่จะแสดงบนจอแสดงผลหลักนั้นได้แก่ แรงดันประสิทธิผล, กระแสประสิทธิผล, กำลังไฟฟ้า, ค่าประจุของแบตเตอรี่, ประสิทธิภาพของระบบ, กำลังไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้, พลังงานไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ และค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แนวคิดการออกแบบระบบเครือข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

ในส่วนของการออกแบบระบบนั้น จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบชิ้นงานต้นแบบ และการออกแบบระบบเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 เงื่อนไขการทำงานของระบบ

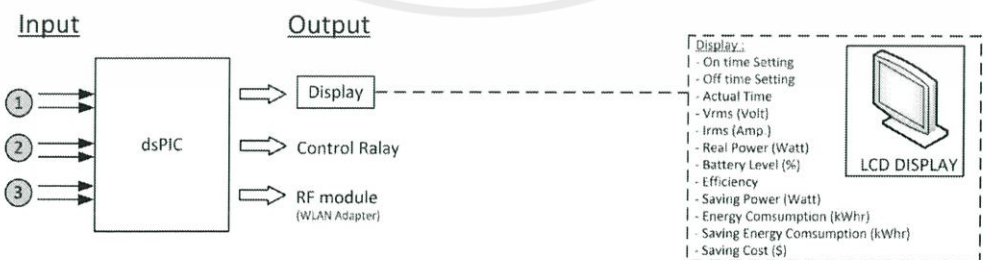
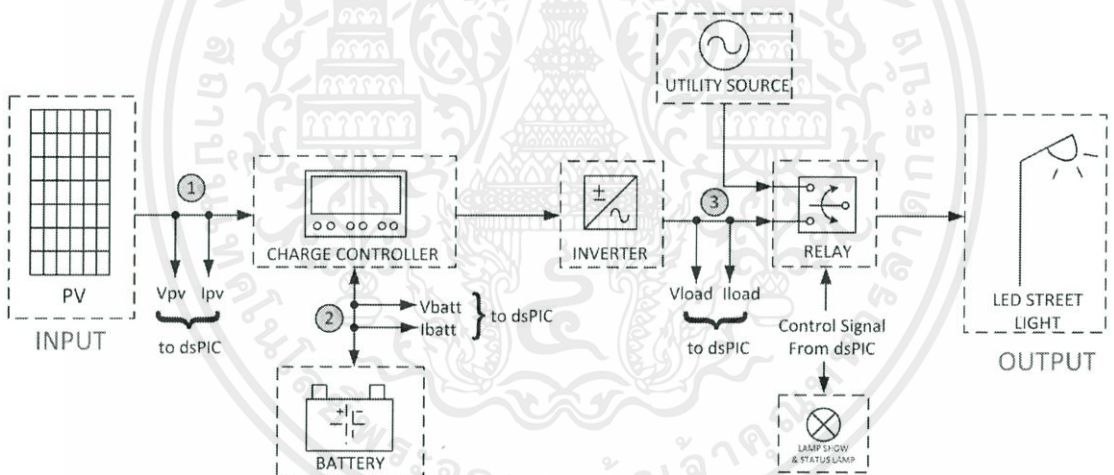
3.1.1 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานให้ไฟถนนแอลอีดีได้ 12 ชม.

3.1.2 ระบบพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานให้ไฟถนนแอลอีดีได้ในสถานการณ์พิเศษ เช่น เมื่อเวลาที่ฝนตก หรือเมื่อเวลาที่ไฟที่มาจากกริดไฟฟ้าเกิดการขัดข้อง

3.1.3 ระบบสามารถตรวจจับและเชื่อมโยงได้ทุกหน่วย

3.2 การออกแบบชิ้นงานต้นแบบ

ชิ้นงานต้นแบบ หมายถึง ชุดโคมไฟถนนแอลอีดี 1 ชุด ที่ประกอบไปด้วย (1) เซลล์แสงอาทิตย์ (2) เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (3) แบตเตอรี่ (4) อินเวอร์เตอร์ (5) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (6) โคมไฟแอลอีดี ดังแสดงในรูปที่ 3.2 สำหรับลำดับขั้นตอนการออกแบบนั้น จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน โดยเริ่มจาก (1) การหาพิกัดของอุปกรณ์ (2) การออกแบบส่วนควบคุม (3) การออกแบบส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า (4) การออกแบบส่วนแสดงผล ภายใต้เงื่อนไขการทำงานของระบบคือระบบต้องสามารถจ่ายพลังงานให้กับหลอดไฟถนนแอลอีดีเป็นเวลา 12 ชั่วโมง



รูปที่ 3.2 แนวคิดการออกแบบชิ้นงานต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.1 การคำนวณพิกัดของอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ต้องทำการคำนวณพิกัดคือ เซลล์แสงอาทิตย์, เครื่องควบคุมการประจุ แบตเตอรี่, แบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์

โคมไฟแอลอีดีที่ใช้มีพิกัด 55 วัตต์ ในแต่ละวันจะทำงานวันละ 12 ชั่วโมง คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการในแต่ละวันได้ดังนี้ ความต้องการพลังงานไฟฟ้า =  $55 \times 12 = 660$  Wh/วัน

กำหนดค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์มีค่าประมาณ 90%

กำหนดค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่มีค่าประมาณ 85%

กำหนดค่าประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมประจุมีค่าประมาณ 85%

#### • การเลือกขนาดเซลล์แสงอาทิตย์

จากจำนวนชั่วโมงที่ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์เต็มที่ในแต่ละวันมีค่าประมาณ 5 kWh/m<sup>2</sup>-day สามารถคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์จะต้องจ่ายให้กับเครื่องควบคุมประจุได้จากสมการ 3.1

$$P_{solar} = \frac{P_{load} \cdot T_{load}}{\eta_{batt} \cdot \eta_{charge} \cdot T_{sun}} \quad (3.1)$$

เมื่อ	$P_{solar}$	คือ	ขนาดกำลังผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)
	$P_{load}$	คือ	ค่ากำลังไฟฟ้าของโหลด มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)
	$T_{load}$	คือ	ระยะเวลาที่ต้องการใช้งานโหลด มีหน่วยเป็น ชั่วโมง (hr)
	$T_{sun}$	คือ	จำนวนชั่วโมงที่ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์เต็มที่ในแต่ละวัน มีหน่วยเป็น ชั่วโมง (hr)
	$\eta_{batt}$	คือ	ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง มีค่าเท่ากับ 0.85
	$\eta_{charge}$	คือ	ประสิทธิภาพของตัวควบคุมการประจุแบตเตอรี่ มีค่าเท่ากับ 0.85

จะสามารถหาขนาดกำลังผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ดังนี้

$$P_{solar} = \frac{55 \cdot 12}{0.85 \cdot 0.85 \cdot 5} = 182.70W$$

ทำการเผื่อขนาดกำลังผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ จะได้  $182.7 \times 1.25 = 228.38$  วัตต์

ดังนั้น พิกัดของเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าที่สูงกว่า 228.38 วัตต์ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเลือกขนาดแบตเตอรี่

คำนวณขนาดความจุของแบตเตอรี่ได้จาก สมการ 3.2

$$Ah = \frac{P_{load} \cdot T_{load}}{V_{batt} \cdot \eta_{batt} \cdot \eta_{inv}} \quad (3.2)$$

- เมื่อ Ah คือ ขนาดความจุของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น แอมป์-ชั่วโมง (Ah)
- $P_{load}$  คือ ค่ากำลังไฟฟ้าของโหลด มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)
- $T_{load}$  คือ ระยะเวลาที่ต้องการใช้งานโหลดมีหน่วยเป็น ชั่วโมง (Hr)
- $V_{batt}$  คือ แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
- $\eta_{batt}$  คือ ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง มีค่าเท่ากับ 0.8
- $\eta_{inv}$  คือ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ มีค่าเท่ากับ 0.9

จะสามารถหาความจุของแบตเตอรี่ได้ดังนี้

$$Ah = \frac{55 \cdot 12}{12 \cdot 0.85 \cdot 0.9} = 71.89 Ah$$

ดังนั้นแบตเตอรี่ที่ใช้ควรมีค่าความจุมากกว่าหรือเท่ากับ 71.89 แอมป์-ชั่วโมง

- การเลือกฟักัดเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่

การเลือกฟักัดตัวควบคุมการประจุแบตเตอรี่นั้นจะพิจารณาจากฟักัดกระแสสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ สมมติว่าแรงดันเปิดวงจร ( $V_{oc}$ ) ของเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 30 V จะได้ฟักัดกระแสเท่ากับ 7.61 ดังนั้นเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ควรมีฟักัด 12 V 10 A

- การเลือกฟักัดอินเวอร์เตอร์

เนื่องจากฟักัดโหลดมีเพียงแคโคมโพลนแอลอีดีที่มีฟักัดกำลังไฟฟ้า 55 วัตต์ ดังนั้นฟักัดของอินเวอร์เตอร์จะต้องมีฟักัดสูงกว่า 55 วัตต์

สรุปค่าฟักัดของอุปกรณ์ได้ดังตารางที่ 3.1

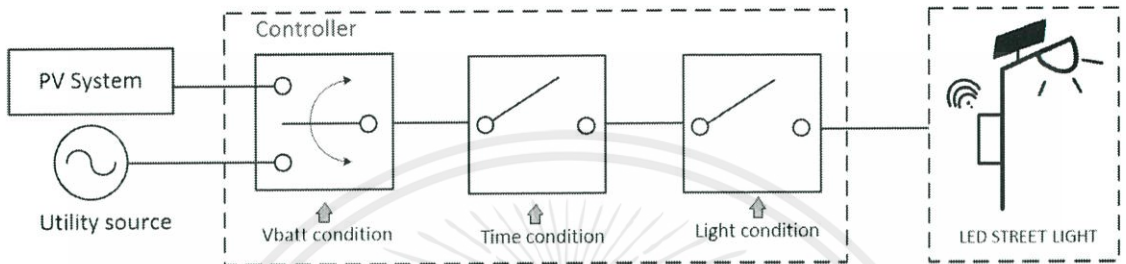
ตารางที่ 3.1 ฟักัดของอุปกรณ์ที่ออกแบบ

ที่	อุปกรณ์	ฟักัดของอุปกรณ์
1	เซลล์แสงอาทิตย์	228.38 W ขึ้นไป
2	แบตเตอรี่	71.89 Ah ขึ้นไป
3	เครื่องควบคุมการประจุ แบตเตอรี่	12 V 10 A (ฟักัดกระแสอินเวอร์เตอร์ขึ้นกับฟักัดกระแสสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์)
4	อินเวอร์เตอร์	55 W ขึ้นไป ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งาน เพื่อ (ฟักัดกระแสอินเวอร์เตอร์ขึ้นกับฟักัดกระแสสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์) ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึง 55 W ขึ้นไป ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 การออกแบบส่วนควบคุมของชุดต้นแบบ

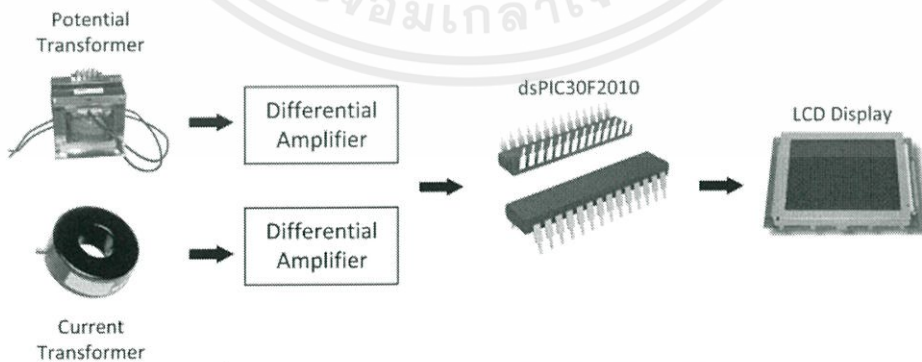
ส่วนควบคุมของชุดต้นแบบ จะทำหน้าที่ตรวจสอบเวลาที่ถูกต้องไว้เพื่อควบคุมเวลาการเปิด-ปิดโคมไฟให้ทำงานในช่วงเวลาที่กำหนดและทำการตรวจสอบสถานะของประจุในแบตเตอรี่ว่าสามารถจ่ายโหลดได้หรือไม่ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับแบตเตอรี่และเพื่อยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ หากมีค่าประจุต่ำกว่าระดับที่สามารถจ่ายให้ระบบ จะเปลี่ยนให้ระบบไปรับไฟจากการไฟฟ้า โดยมีแนวคิดการออกแบบดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แนวคิดการออกแบบส่วนควบคุมของชุดต้นแบบ

### 3.2.3 การออกแบบส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า

ส่วนของการวัดพลังงานไฟฟ้าแสดงดังรูป 3.4 จะใช้หลักการตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสโดยหม้อแปลงแรงดัน (PT) และหม้อแปลงกระแส (CT) โดยทำการสุ่มสัญญาณและแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้โมดูล A/D ขนาด 10 บิตภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 หลังจากนั้นนำข้อมูลมาประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆ และแสดงผลทางจอแสดงผลแอลซีดีต่อไป แต่เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถอ่านค่าข้อมูลอนาล็อกในช่วงลบได้ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับค่าออฟเซต (Offset) ใหม่ให้อยู่ในซีกบวกทั้งหมด โดยการใช้วงจรขยายสัญญาณแบบเปรียบเทียบสัญญาณ (Differential Amplifier)



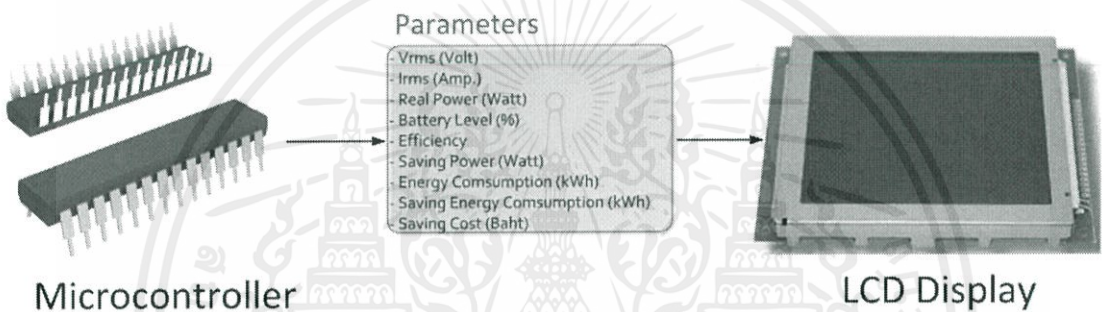
รูปที่ 3.4 แนวคิดการออกแบบส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้หรือการขงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าพารามิเตอร์ต่างๆนั้นจะมีลำดับขั้นตอน โดยเริ่มจากนำข้อมูลการสูญเสียสัญญาณกระแสและแรงดันที่รับเข้ามา มาทำการปรับค่าออฟเซตให้เป็นศูนย์เหมือนเดิม และทำการประมวลผลหาค่าแรงดันไฟฟ้าประสิทธิผล ( $V_{rms}$ ), กระแสไฟฟ้าประสิทธิผล ( $I_{rms}$ ), ค่ากำลังไฟฟ้าจริง (Real Power), ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) และค่าไฟฟ้า (Baht) ตามลำดับ

### 3.2.4 การออกแบบส่วนแสดงผล

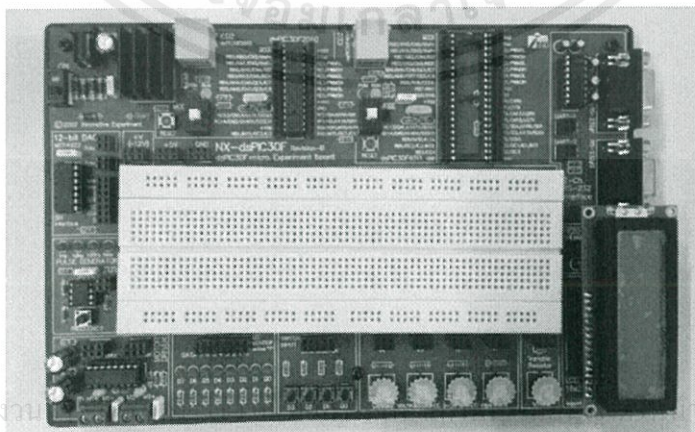
การแสดงค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าจะแสดงผลผ่านทางจอแสดงผลแอลซีดี ค่าพารามิเตอร์ที่สามารถแสดงผลได้คือ แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, ค่ากำลังไฟฟ้าจริง, ค่าประจุของแบตเตอรี่, ประสิทธิภาพของระบบ, ค่าพลังงานไฟฟ้า, ค่าไฟฟ้า, และค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ เมื่อติดตั้งระบบไฟถนนแอลอีดีพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แนวคิดการออกแบบส่วนแสดงผล

### 3.2.5 บอร์ดที่ใช้ในการศึกษาทดลอง

การสร้างแบบจำลองชิ้นงานก่อนการสร้างจริงถือเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อที่จะได้เห็นภาพการทำงานของแต่ละระบบที่เราพิจารณาข้างต้น โดยทางคณะผู้จัดทำได้ใช้บอร์ดการทดลองของ Skit-dsPIC30F2010 ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.6 บอร์ดการทดลอง Skit-dsPIC30F2010

### 3.3 การออกแบบระบบเครือข่าย

ในหัวข้อนี้จะเป็นการต่อยอดเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการทำงานของระบบจากชิ้นงานต้นแบบดังรูปที่แสดง 3.1 ข้างต้น

เนื่องจากการใช้งานจริงมีคอมพิวเตอร์จำนวนมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเชื่อมโยงแต่ละชุดเข้าด้วยกัน เพื่อดูพฤติกรรมของระบบว่ามีความผิดปกติหรือไม่ โดยพารามิเตอร์ต่างๆที่เกี่ยวข้องในระบบจะแสดงบนจอแสดงผลหลักและคอมพิวเตอร์แต่ละชุดก็จะมีจอแสดงผลย่อยด้วย ทางคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้การเชื่อมโยงแบบ เครือข่ายไร้สาย เนื่องจากการสื่อสารข้อมูลแบบไม่ใช้สายการที่ไม่ต้องใช้สายทำให้การเคลื่อนย้ายการใช้งานทำได้โดยสะดวก ทำให้ประหยัดเวลาในการติดตั้งและการลงทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ อีกทั้งสามารถขยายระบบเครือข่ายได้ง่าย เพราะเพียงแคมีพีซีการ์ดมาต่อเข้ากับโน้ตบุ๊ก หรือพีซี ก็เข้าสู่เครือข่ายได้ทันที

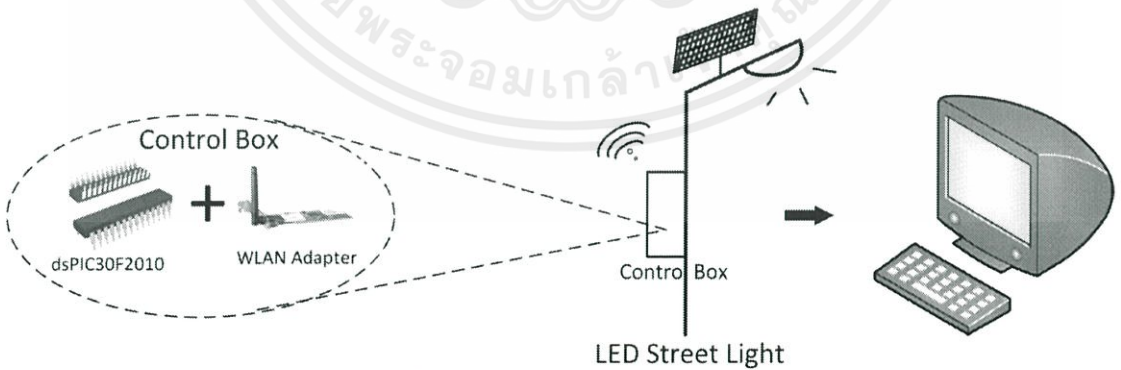
ในการออกแบบนั้นจะพิจารณา 2 ส่วนคือรูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สายและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดต่อเครือข่ายไร้สาย

#### 3.3.1 การออกแบบรูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สาย

การเชื่อมโยงข้อมูลนั้นจะเป็นแบบ Multiple access points ที่เป็นการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ กับ Access Point ของเครือข่ายไร้สายจะอยู่ในรัศมีประมาณ 500 ฟุตภายในอาคาร และ 1000 ฟุตภายนอกอาคาร แสดงรูปแบบการเชื่อมโยงได้ดังรูป 3.1

#### 3.3.2 การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สาย

อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารนั้นจะใช้ WLAN Adapter มีลักษณะดังรูปที่ 2.15 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้



รูปที่ 3.7 ส่วนควบคุมการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การสร้างชิ้นงานต้นแบบ

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอการออกแบบจริง โดยอ้างอิงจากแนวคิดที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3

#### 4.1 การเลือกอุปกรณ์ในระบบ

จากการที่ได้ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆในบทที่ 2 และคำนวณพิกัดอุปกรณ์ในบทที่ 3 ทำให้สามารถเลือกชนิดและพิกัดของอุปกรณ์ได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ชนิดและพิกัดของอุปกรณ์ที่เลือกใช้

ที่	อุปกรณ์	ชนิด	พิกัด
1	เซลล์แสงอาทิตย์	Polycrystalline Silicon Solar Cell	295 W
2	แบตเตอรี่	Deep Cycle Battery	75 Ah
3	เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่	True Sine Wave with MPPT Charger	500 W
4	อินเวอร์เตอร์		
5	โคมไฟถนน	LED	55 W

#### 4.2 การสร้างส่วนควบคุมของชุดต้นแบบ

ส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware) ที่สร้างขึ้นนั้นคือ ส่วนควบคุมของชุดต้นแบบ (Controller) สร้างขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ประกอบด้วย (1) ส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า (2) ส่วนวัดแสง (3) ส่วนแสดงผล (4) ส่วนส่งข้อมูลและเก็บบันทึกข้อมูล และ (5) รีเลย์ตัดต่อวงจร

##### เงื่อนไขของส่วนควบคุม

(1) ทำงานตามเงื่อนไขเวลา เปิด-ปิดโคมไฟถนนตามเงื่อนไขของเวลาที่กำหนดไว้ โดยในแต่ละวันจะกำหนดให้เวลาเปิดโคมไฟคือเวลา 18:00 น. และปิดในเวลา 6:00 น.

(2) ทำงานตามเงื่อนไขของความเข้มแสง โดยกำหนดให้ระบบเริ่มทำงานเมื่อความเข้มแสงต่ำกว่า 12 lux

(3) ทำงานตามเงื่อนไขของค่าประจุในแบตเตอรี่ โดยกำหนดให้สามารถทำงานได้เมื่อค่าประจุแบตเตอรี่มากกว่า 10.5 โวลต์ (คิดเป็น 70% ของประจุเต็มของแบตเตอรี่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

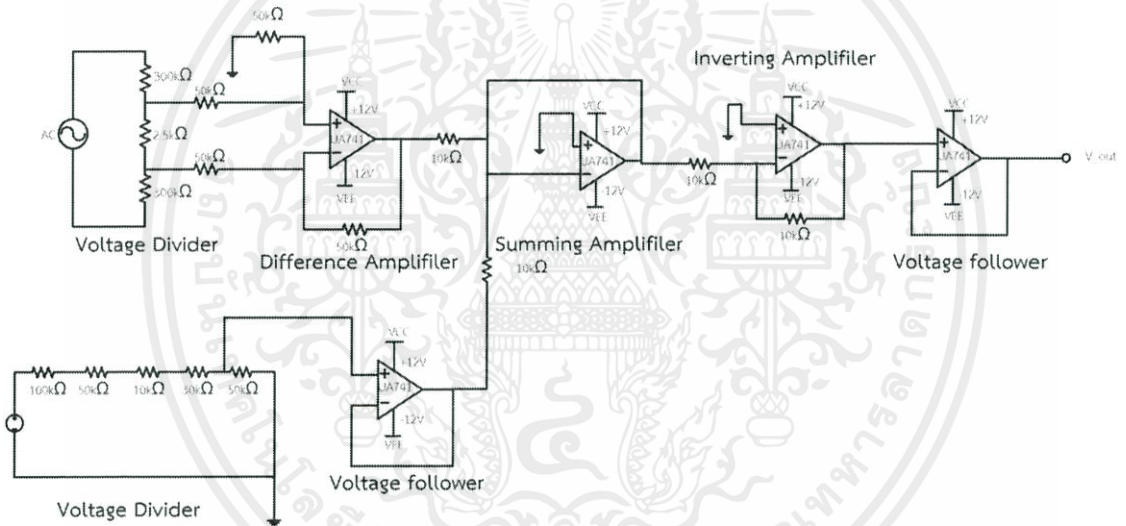
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.1 ส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า

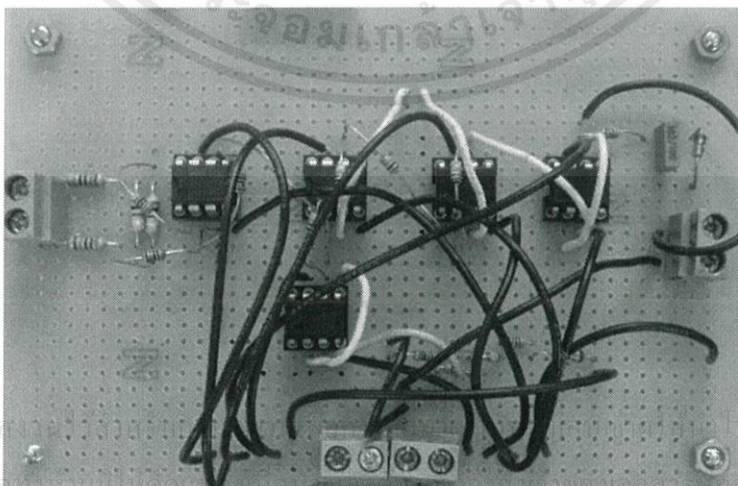
ส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า คือ ส่วนที่วัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากทั้ง 3 จุดตามที่ได้ ออกแบบไว้ เข้าไปในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการคำนวณและประมวลผลต่อไป จากทั้ง 3 จุดที่ทำการวัดนั้นมี 1 จุดที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ คือ ส่วนของโหลด และอีก 2 จุดเป็นไฟฟ้ากระแสตรง คือ ส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ ดังนั้นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นจะต้องวัดได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ

#### 4.2.1.1 การสร้างส่วนวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

สร้างโดยใช้หลักการของวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) และวงจรขยายแรงดัน (Amplifier) โดยคำนึงถึงแรงดันที่ไมโครคอนโทรลเลอร์รับได้เป็นหลัก คือแรงดันขาออกจากวงจรต้องไม่เกิน 5 V โดยออกแบบให้แรงดันขาเข้ารับได้สูงสุด  $400\text{ V}_{AC}$  วงจรที่ออกแบบ ดังรูปที่ 4.1 และวงจรที่สร้างขึ้น ดังรูปที่ 4.2



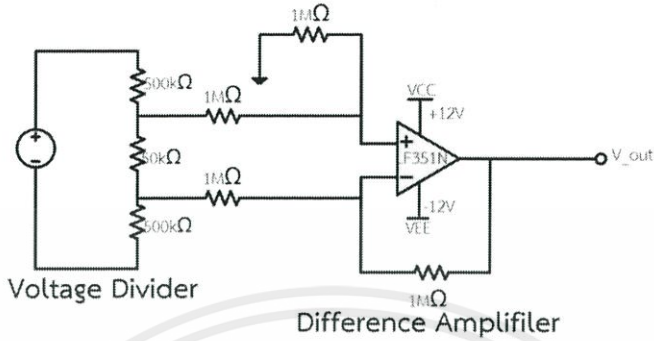
รูปที่ 4.1 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



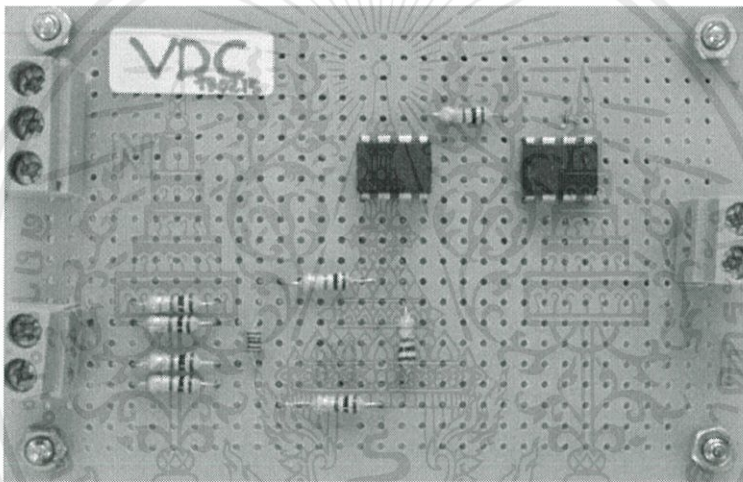
รูปที่ 4.2 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่สร้างขึ้น

#### 4.2.1.2 การสร้างส่วนวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

เช่นเดียวกับการวงจรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสร้างโดยใช้หลักการของวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) และวงจรขยายแรงดัน (Amplifier) โดยออกแบบให้แรงดันขาเข้ารับได้สูงสุด  $60 V_{DC}$  วงจรที่ออกแบบ ดังรูปที่ 4.3 และวงจรที่สร้างขึ้น ดังรูปที่ 4.4



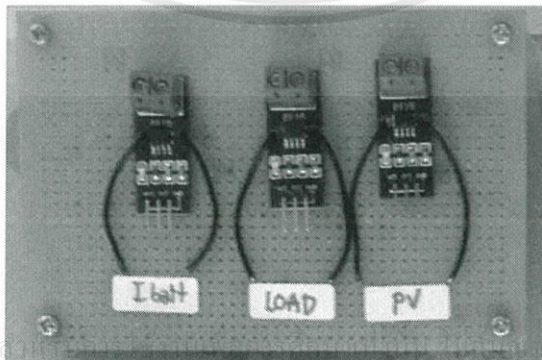
รูปที่ 4.3 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 4.4 วงจรวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สร้างขึ้น

#### 4.2.1.3 การสร้างส่วนวัดกระแส

สำหรับวงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้านั้น เลือกใช้เป็นโมดูลสำเร็จรูป วงจรดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 วงจรวัดกระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำซ้ำหรือดัดแปลงโดยไม่ได้รับอนุญาตของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

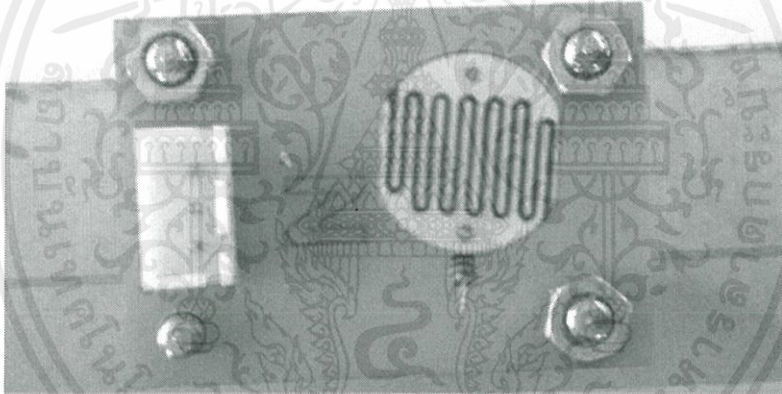
สรุปพิกัดของวงจรวัดค่าแรงดันและกระแสที่สร้างขึ้นได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 พิกัดของวงจรวัดค่าแรงดันและกระแสที่สร้างขึ้น

ที่	จุดที่วัดค่า	พิกัดแรงดันที่ออกแบบ	พิกัดกระแสที่ออกแบบ
1	เซลล์แสงอาทิตย์	60 Vdc	20 A
2	แบตเตอรี่	60 Vdc	30 A
3	โพลด	400 Vac	20 A

#### 4.2.2 ส่วนวัดแสง

แสง คือ พารามิเตอร์หนึ่งที่ทำกรวัดเข้ามาในไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผล โดยรับเข้ามาในรูปสัญญาณอนาล็อก แล้วทำการแปลงค่าผ่านโมดูล A/D เช่นเดียวกับค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า โดยเลือกใช้ LDR (Light Dependent Resistor) เป็นตัววัดแสง แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 วงจรวัดแสง

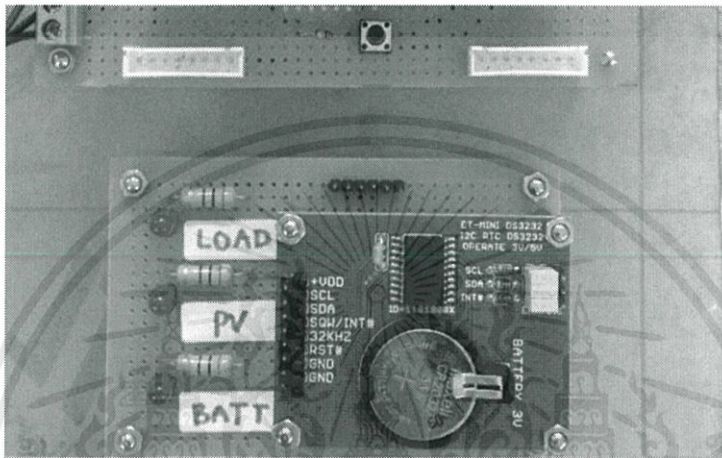
#### 4.2.3 ส่วนแสดงผล

ส่วนแสดงผลนั้นจะใช้เป็นจอแสดงผล LCD ขนาด 16x2 โดยแสดงวันที่และเวลาจริงโดยรับค่าจากโมดูล RTC (Real Time Clock) และค่าพารามิเตอร์ที่แสดงบนจอแสดงผลนั้นถูกประมวลผลและส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้า, ค่าตัวประกอบกำลัง, ค่าประจุแบตเตอรี่ โดยมีสวิตซ์ในการกดเพื่อเปลี่ยนหน้าจอดูค่าพารามิเตอร์แต่ละจุด โดยที่มีแอลอีดีไดโอดแสดงสถานะจุดที่ดูค่า แสดงตัวอย่างได้ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



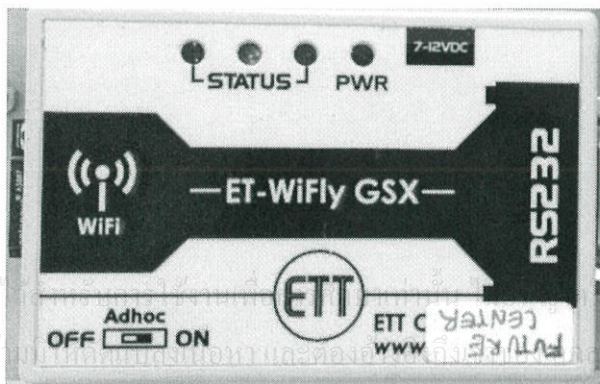
รูปที่ 4.7 ตัวอย่างจอแสดงผล



รูปที่ 4.8 สวิตช์กด, แอลอีดีไดโอดแสดงสถานะและโมดูล RTC

#### 4.2.4 ส่วนส่งข้อมูลและเก็บบันทึกข้อมูล

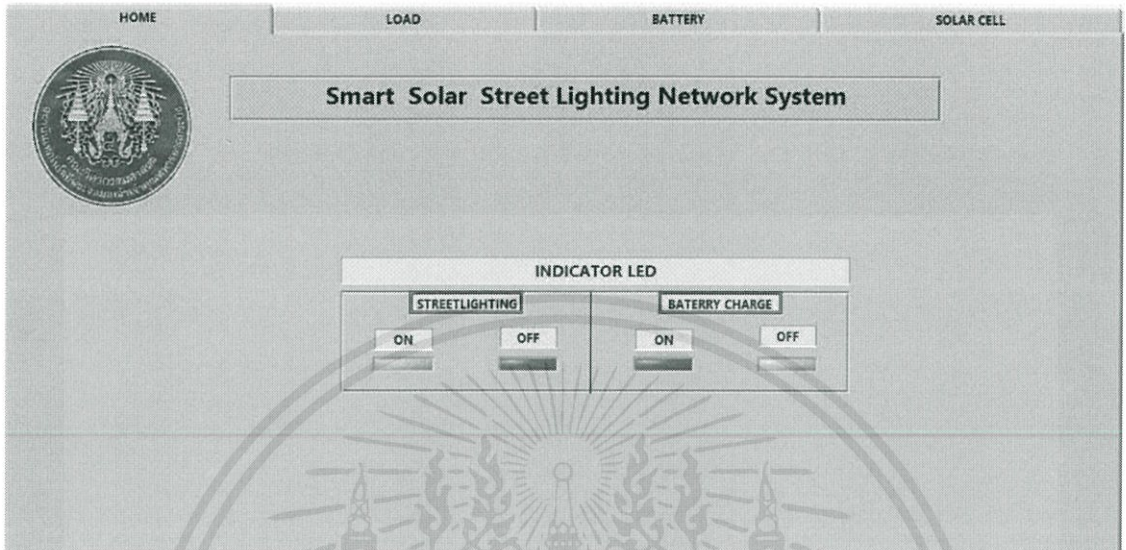
การเก็บบันทึกข้อมูลนั้นมีความสำคัญ เพราะทำให้เกิดความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูลและช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าเป็นไปได้ง่ายขึ้น รวมทั้งสามารถดูผลการใช้พลังงานหรือแนวโน้มการใช้พลังงานในอนาคตได้อีกด้วย จึงออกแบบให้สามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายมายังคอมพิวเตอร์เพื่อทำการเก็บบันทึกค่าพารามิเตอร์ โดยออกแบบให้ส่งข้อมูลผ่านโมดูล ET-WiFly GSX ที่เป็นโมดูลที่แปลงข้อมูลเพื่อติดต่อสื่อสารกับระบบ Wireless LAN และออกแบบให้บันทึกค่าพร้อมทั้งแสดงผลโดยโปรแกรม LabVIEW



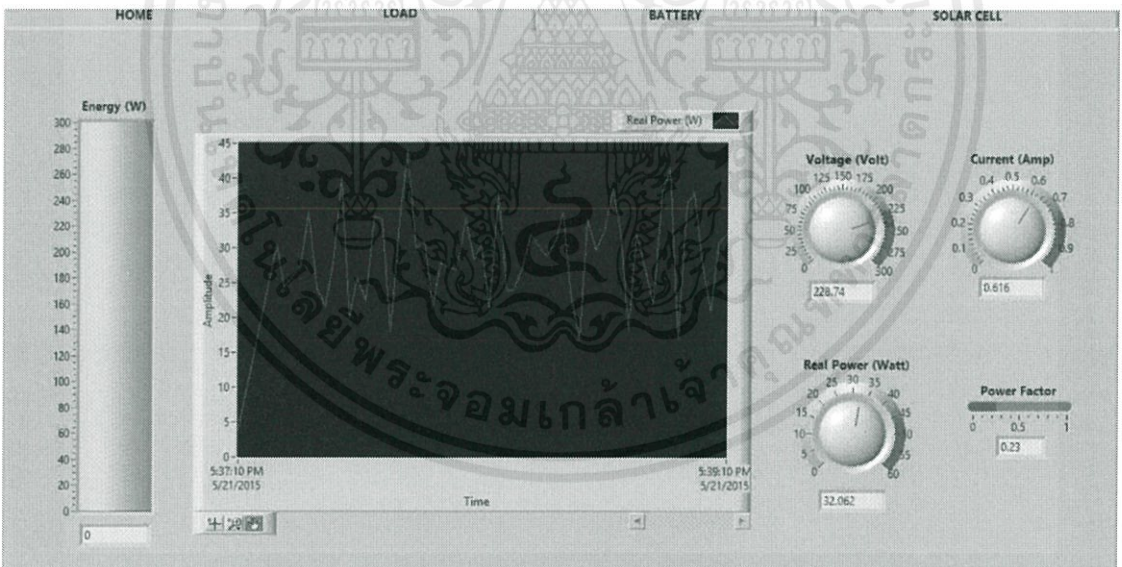
รูปที่ 4.9 โมดูล ET-WiFly GSX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง  
ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
การทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่หน้าจอแสดงผลที่โปรแกรม LabVIEW นั้นจะมีทั้งหมด 4 หน้าแยกตามจุดที่วัดค่า โดยหน้าแรกจะเป็นหน้าแสดงสถานะว่ามีการจ่ายไฟหรือชาร์จแบตเตอรี่ หน้าต่อไปแสดงค่าพารามิเตอร์ของโหลด, แบตเตอรี่ และเซลล์แสงอาทิตย์ตามลำดับ

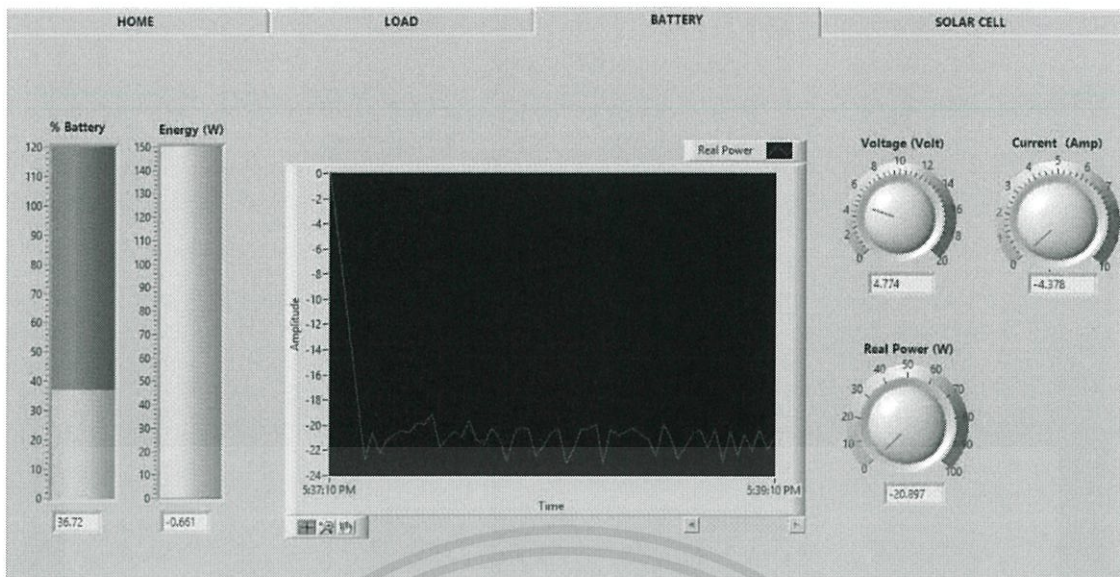


รูปที่ 4.10 ตัวอย่างหน้าแรกของจอร์รับค่าและแสดงผล LabVIEW

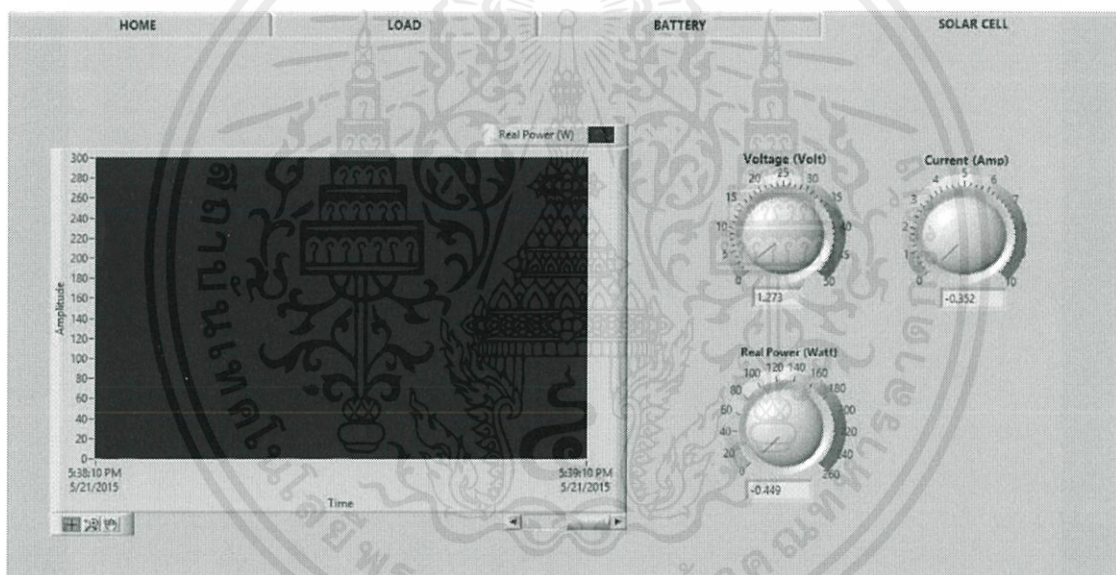


รูปที่ 4.11 ตัวอย่างหน้าจอร์รับค่าและแสดงผลของโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างหน้าจอรับค่าและแสดงผลของแบตเตอรี่

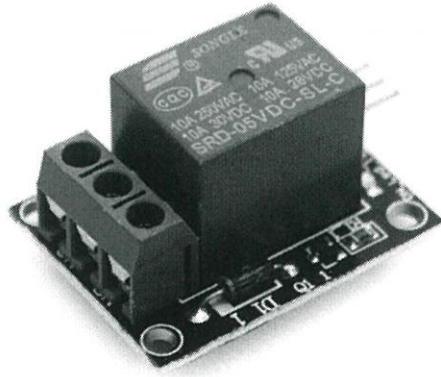


รูปที่ 4.13 ตัวอย่างหน้าจอรับค่าและแสดงผลของเซลล์แสงอาทิตย์

#### 4.2.5 รีเลย์ตัดต่อวงจร

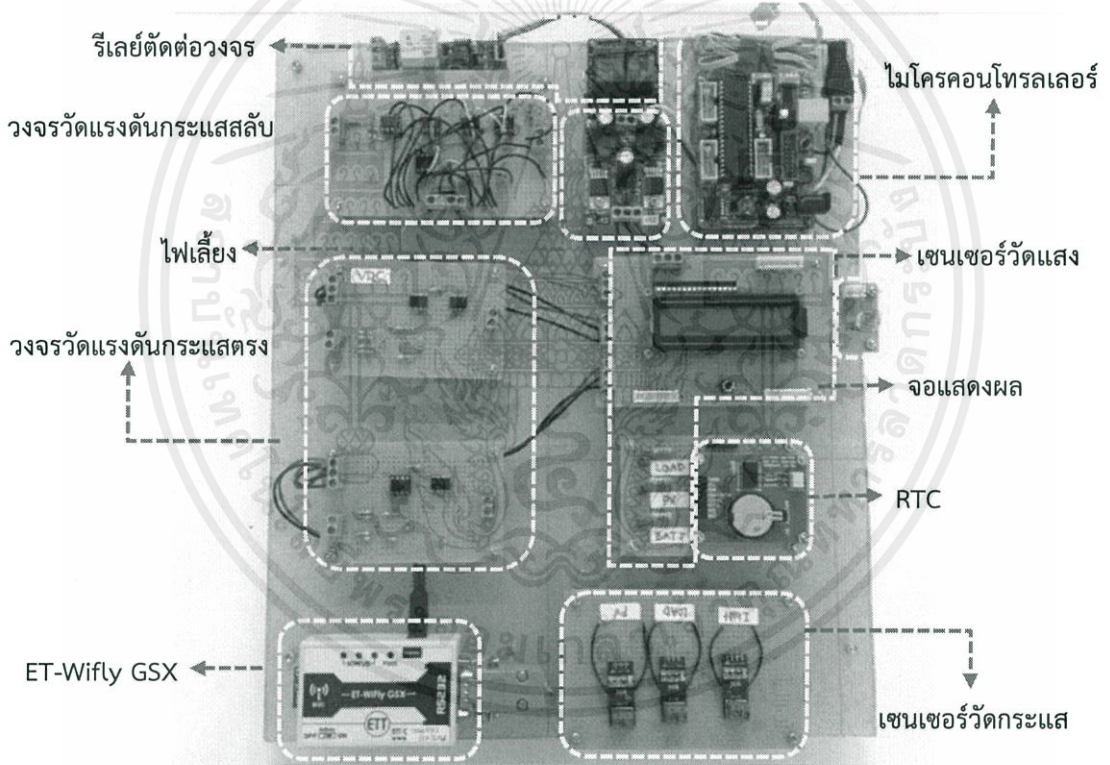
รีเลย์ มีหน้าที่ในการตัดต่อไฟฟ้าให้กับคอมโพทอนน โดยรับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ในระบบจะมีรีเลย์ 2 ตัวคือตัวหนึ่งทำหน้าที่ตัดต่อวงจรของระบบเพื่อจ่ายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้กับคอมโพทอนน ส่วนอีกตัวหนึ่งคือจะมีหน้าที่ตัดต่อไฟฟ้าจากการไฟฟ้าให้กับคอมโพทอนนในกรณีที่ระบบไม่สามารถจ่ายไฟให้คอมโพทอนนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 รีเลย์ตัดต่อวงจรในระบบ

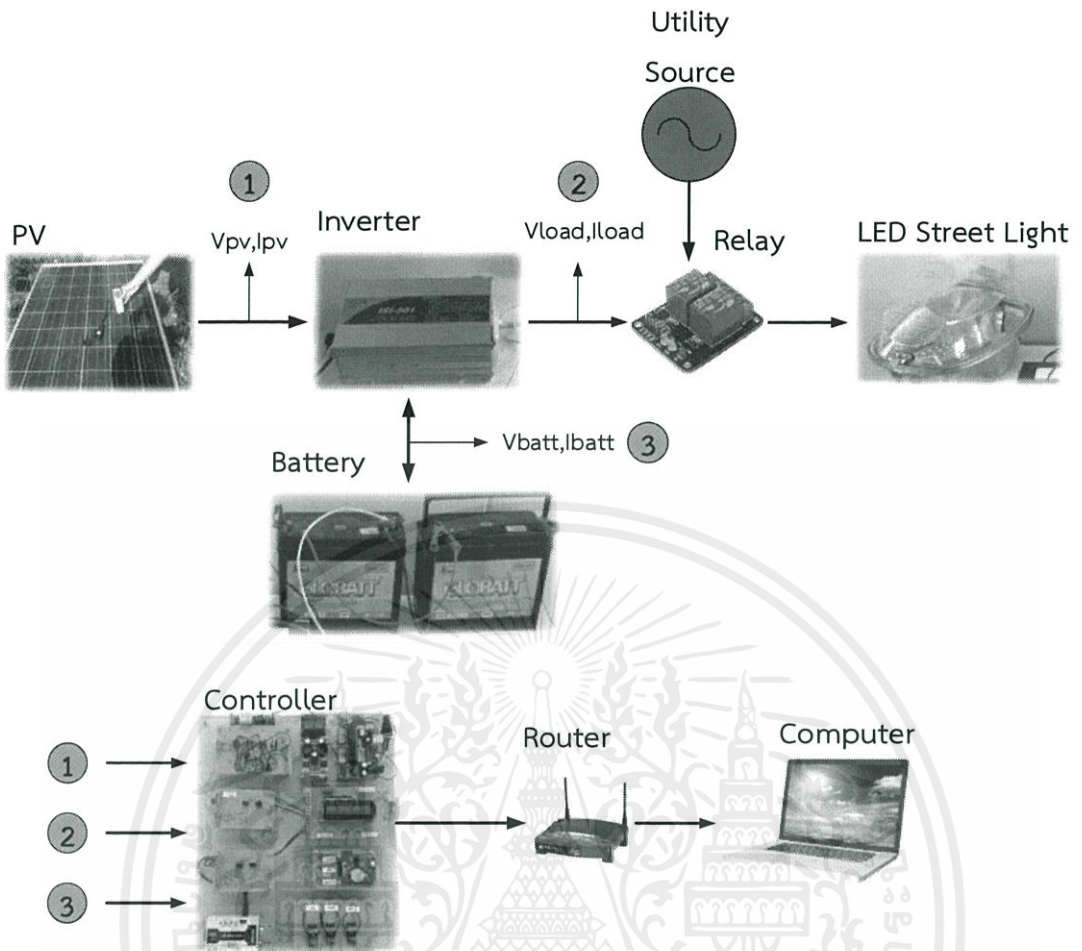
เมื่อนำแต่ละส่วนประกอบรวมกัน จะได้ชุดควบคุมของชิ้นงานต้นแบบดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ชุดควบคุมของชิ้นงานต้นแบบ

และเมื่อนำทุกส่วนมารวมกันจะได้ชิ้นงานต้นแบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ตามที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3 ดังรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ภาพรวมของชิ้นงานต้นแบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะแสดงถึงวิธีการทดลองและผลการทดลอง โดยจะเริ่มจากการทดลองเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของวงจรวัด หลังจากทำการปรับเทียบแล้วจะทำการทดสอบชิ้นงานต้นแบบภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดรวมทั้งตรวจสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่วัดได้

สำหรับการทดสอบชิ้นงานต้นแบบแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบหลักๆ คือ

1. การทดสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์
2. การทดสอบการทำงานของชิ้นงานต้นแบบ

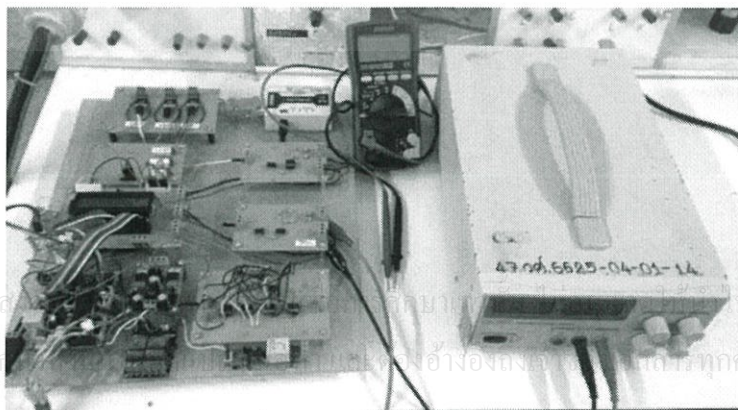
#### 5.1 การทดสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์

การทดสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์นั้นเป็นสิ่งที่ต้องทดสอบเป็นอันดับแรก เพราะค่าพารามิเตอร์ต่างๆนั้นสามารถบอกถึงพฤติกรรมของพลังงานในระบบได้ หากค่าพารามิเตอร์ไม่มีความถูกต้อง จะทำให้ทั้งระบบไม่มีความถูกต้องไปด้วย

เนื่องจากวงจรวัดแรงดันที่ออกแบบและประกอบขึ้นนั้นประกอบด้วยตัวต้านทาน ออปแอมป์ ตัวเก็บประจุและซีเนอร์ไอโอด ทำให้วงจรอาจจะมีค่าความคลาดเคลื่อน จึงต้องทำการทดลองเพื่อหาค่าแก้ไขกับอุปกรณ์วัดดังกล่าวก่อนนำไปทำการวัดค่าจริง สำหรับส่วนของเซนเซอร์วัดกระแสเป็นวงจรสำเร็จรูปทำให้ค่ามีความคลาดเคลื่อนน้อยมากอยู่ในช่วงที่รับได้ จึงไม่ต้องทำการปรับแก้

##### 5.1.1 การทดสอบวงจรวัดแรงดันกระแสตรง

ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 5.1 โดยการจ่ายแรงดัน ( $V_{DC}$ ) จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) ขึ้นทีละระดับ แล้ววัดค่าแรงดัน ( $V_A$ ) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่แรงดันที่วัดได้จากโวลต์มิเตอร์ จากนั้นทำการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนแล้วนำไปปรับเทียบ เพื่อให้ค่าแรงดันอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คือ  $\pm 5\%$



รูปที่ 5.1 การทดลองเพื่อหาค่าปรับเทียบวงจรวัดแรงดันกระแสตรง

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างค่าที่วัดได้จากวงจรวัดแรงดันกระแสตรงก่อนการปรับเทียบ

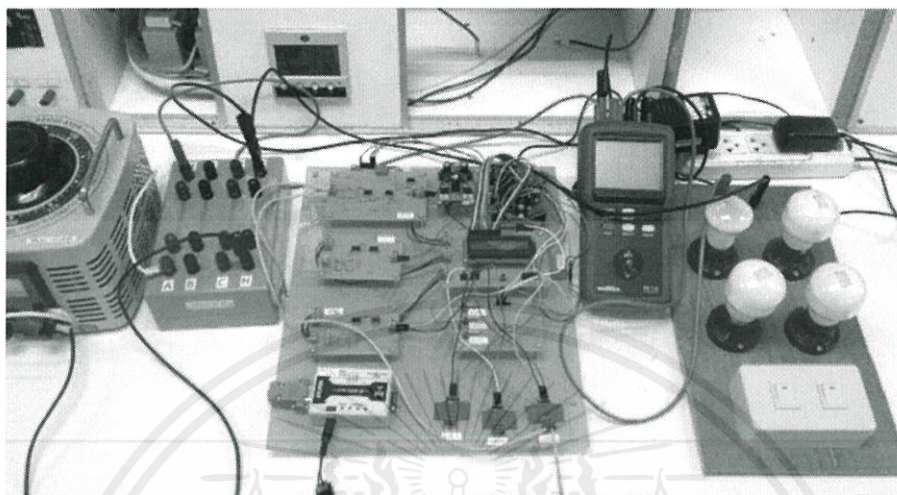
$V_{DC}$ (V)	$V_{REF}$ (V)	$V_A$ (V)					$V_{AVG}$ (V)	%ERROR
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5		
2.50	2.46	2.75	2.37	2.19	2.35	2.35	2.40	3.91
5.00	4.92	4.85	4.98	4.68	4.51	5.05	4.81	3.73
7.50	7.35	7.07	6.94	6.82	6.69	7.06	6.92	7.79
10.00	9.95	9.38	9.49	9.61	9.55	9.34	9.47	5.26
12.50	12.41	11.85	11.68	11.88	11.89	11.96	11.85	5.18
15.00	14.92	14.25	14.44	14.27	14.36	14.25	14.31	4.57
17.50	17.42	16.60	16.58	16.69	16.51	16.65	16.61	5.11
20.00	19.92	19.12	19.09	19.05	18.87	18.84	18.99	5.03
22.50	22.43	21.19	21.25	21.15	21.31	21.23	21.23	5.66
25.00	24.87	23.75	23.63	23.68	23.66	23.68	23.68	5.28
27.50	27.36	26.58	26.76	27.01	26.89	26.72	26.79	2.58
30.00	29.80	29.21	29.55	29.45	29.58	29.38	29.43	1.89

ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างค่าที่วัดได้จากวงจรวัดแรงดันกระแสตรงหลังการปรับเทียบ

$V_{DC}$ (V)	$V_{REF}$ (V)	$V_A$ (V)					$V_{AVG}$ (V)	%ERROR
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5		
2.50	2.47	2.75	2.37	2.29	2.35	2.45	2.43	3.16
5.00	4.92	4.74	4.90	4.92	5.10	4.81	4.89	2.15
7.50	7.43	7.18	7.37	7.22	7.29	7.44	7.30	2.64
10.00	9.96	9.59	9.96	9.75	10.03	9.97	9.86	1.41
12.50	12.40	12.13	12.28	12.46	12.11	12.18	12.23	2.14
15.00	14.90	14.52	14.93	14.67	14.79	14.63	14.71	1.95
17.50	17.38	17.36	17.02	17.08	17.25	17.02	17.15	2.02
20.00	19.92	19.39	19.69	19.72	19.84	19.93	19.71	1.43
22.50	22.37	21.84	22.19	22.34	22.26	22.22	22.17	1.47
25.00	24.87	24.30	24.82	24.97	24.65	24.85	24.72	1.13
27.50	27.32	27.08	27.26	26.91	27.11	27.28	27.13	1.35
30.00	29.81	29.75	29.87	30.05	29.96	29.69	29.86	0.45

### 5.1.2 การทดสอบวงจรวัดแรงดันกระแสสลับ

ส่วนของวงจรวัดแรงดันกระแสสลับนั้นทำการต่อวงจรดังรูปที่ 5.2 แล้วทำการปรับค่าแรงดัน ( $V_{AC}$ ) จากหม้อแปลงปรับแรงดัน ตั้งแต่ 0 ถึง 250 โวลต์ แล้วทำการเปรียบเทียบค่าแรงดัน ( $V_B$ ) และ คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน และนำไปปรับแก้เช่นเดียวกับวงจรวัดแรงดันกระแสตรง



รูปที่ 5.2 การทดลองเพื่อหาค่าเปรียบเทียบของวงจรวัดแรงดันกระแสสลับ

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างค่าที่วัดได้จากวงจรวัดแรงดันกระแสสลับก่อนการเปรียบเทียบ

$V_{AC}$ (V)	$V_{REF}$ (V)	$V_B$ (V)					$V_{AVG}$ (V)	%ERROR
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5		
25.00	24.99	23.23	23.87	23.11	23.27	23.25	23.35	6.62
50.00	50.03	48.53	48.55	48.91	48.32	48.46	48.55	2.89
75.00	74.87	73.50	73.98	73.65	73.34	73.28	73.55	1.93
100.00	100.01	98.54	98.78	98.77	98.32	98.54	98.59	1.41
125.00	124.80	124.10	124.12	123.76	123.89	123.77	123.93	0.86
150.00	149.56	148.23	148.33	148.55	148.43	148.32	148.37	1.09
175.00	175.13	173.41	173.45	173.55	173.32	173.33	173.41	0.91
200.00	200.10	198.59	198.39	198.87	198.20	198.31	198.47	0.76
225.00	224.67	223.11	233.21	223.41	223.37	233.56	227.33	1.04
250.00	249.86	248.28	247.92	248.33	248.17	248.32	248.20	0.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างค่าที่วัดได้จากวงจรวัดแรงดันกระแสกลับหลังการปรับเทียบ

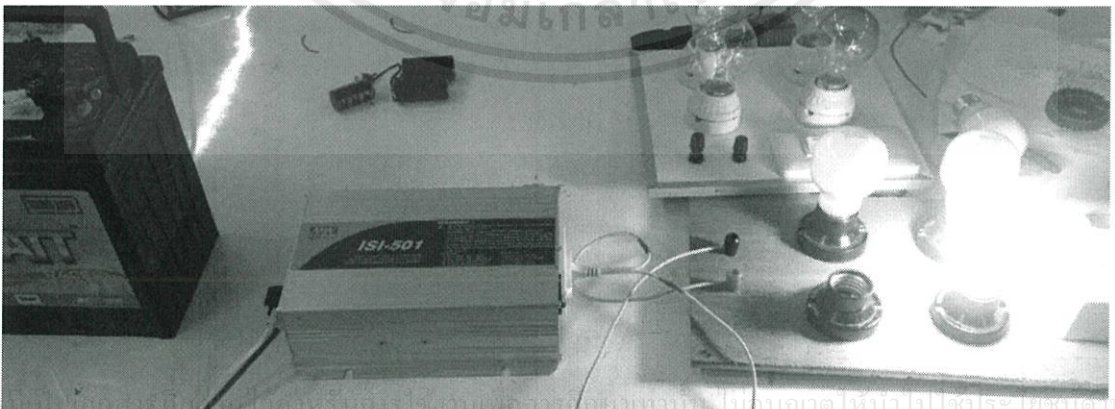
$V_{AC}$ (V)	$V_{REF}$ (V)	$V_B$ (V)					$V_{AVG}$ (V)	%ERROR
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่4	ครั้งที่5		
25.00	24.99	23.98	24.15	24.23	24.35	24.39	24.22	3.12
50.00	50.03	49.43	49.52	48.99	49.48	49.35	49.35	1.29
75.00	74.87	74.76	74.80	74.66	74.53	74.76	74.70	0.40
100.00	100.01	99.85	99.78	99.40	99.65	99.42	99.62	0.38
125.00	124.80	125.07	124.34	125.21	124.56	124.87	124.81	0.15
150.00	149.56	149.50	149.43	149.65	150.11	150.02	149.74	0.17
175.00	175.13	174.11	174.91	175.03	174.23	174.21	174.50	0.29
200.00	200.10	199.52	199.32	199.43	199.25	199.31	199.37	0.32
225.00	224.67	224.89	225.20	225.12	224.56	224.64	224.88	0.05
250.00	249.86	249.38	249.92	249.65	249.67	249.82	249.69	0.13

## 5.2 การทดสอบการทำงานของชิ้นงานต้นแบบ

การทดสอบการทำงานของชิ้นงานต้นแบบนี้จะทำการทดสอบว่าทุกส่วนที่ออกแบบและประกอบสร้างขึ้นมานั้น สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่ออกแบบไว้หรือไม่

### 5.2.1 การทดสอบแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ที่ได้ทำการออกแบบนั้นต้องสามารถจ่ายโหลดขนาด 55 W ได้ 12 ชั่วโมง จึงทำการทดสอบว่าแบตเตอรี่นั้นสามารถจ่ายได้จริงหรือไม่ โดยการทดลองจ่ายโหลดไฟขนาด 60 W พบว่าสามารถจ่ายได้ครบ 12 ชั่วโมง ดังนั้นขนาดของแบตเตอรี่ที่ทำการออกแบบจึงเพียงพอต่อการจ่ายโหลด



รูปที่ 5.3 วงจรทดสอบแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้หน้าไปโฆษณา ใช้นิตยสารการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.2 การทดสอบวงจรควบคุมการทำงาน

หลังจากทำการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนของพารามิเตอร์แล้ว ก็ทำการทดสอบหาความถูกต้องในการทำงานของวงจรควบคุมที่ออกแบบไว้ โดยแบ่งเป็น 3 เงื่อนไขการทดสอบ

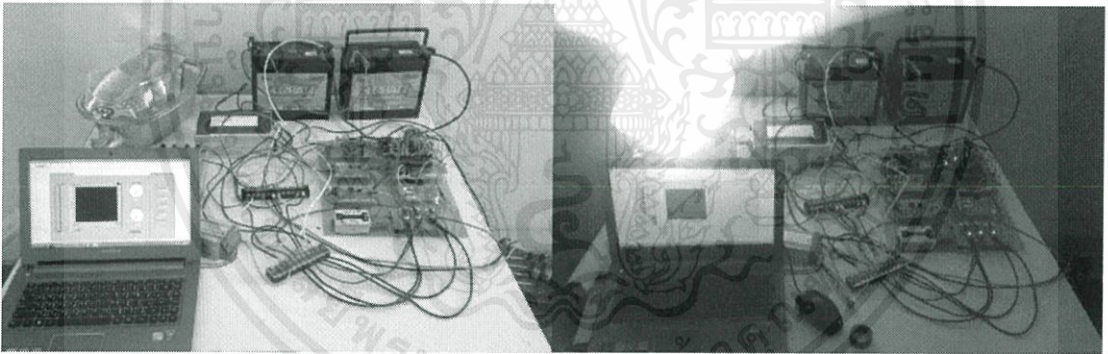
(1) ทำงานตามเงื่อนไขเวลา เปิด-ปิดคอมโพสิตตามเงื่อนไขของเวลาที่กำหนดไว้ โดยในแต่ละวันจะกำหนดให้เวลาเปิดคอมโพสิตคือเวลา 18:00 น. และปิดในเวลา 6:00 น.

(2) ทำงานตามเงื่อนไขของความเข้มแสง โดยกำหนดให้ระบบเริ่มทำงานเมื่อความเข้มแสงต่ำกว่า 12 lux

(3) ทำงานตามเงื่อนไขของค่าประจุในแบตเตอรี่ โดยกำหนดให้สามารถทำงานได้เมื่อค่าประจุแบตเตอรี่มากกว่า 10.5 โวลต์ (คิดเป็น 70% ของประจุเต็มของแบตเตอรี่)

ส่วนควบคุมนั้นจะทำการตรวจสอบเวลาและค่าความเข้มแสงไปพร้อมๆกัน หากเงื่อนไขใดเป็นจริงก่อนก็จะสั่งให้รีเลย์ตัดต่อระบบเพื่อจ่ายไฟให้กับคอมโพสิต แอลอีดี จากนั้นจะทำการตรวจสอบค่าประจุในแบตเตอรี่ว่าเพียงพอต่อการจ่ายให้กับระบบหรือไม่ หากไม่เพียงพอก็จะรีเลย์ให้ตัดไฟออกเพื่อรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแทน กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตรวจสอบอยู่ตลอดเวลา หากเงื่อนไขใดเป็นจริง ก็จะทำงานตามที่เงื่อนไขนั้นทันที

การทดลองนั้นจะทดลองโดยการต่อระบบทั้งหมดเข้าด้วยกันดังรูปที่ 5.4 โดยทำการทดสอบเงื่อนไขทั้ง 3 เงื่อนไขเป็นเวลา 3 วัน ได้ผลการทดสอบจะได้ตามตารางที่ 5.5



รูปที่ 5.4 วงจรทดสอบความถูกต้องของชิ้นงานต้นแบบ

ตารางที่ 5.5 การทดสอบการทำงานของวงจรควบคุม

เงื่อนไขที่กำหนด	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
เวลา	✓	✓	✓
แสง	✓	✓	✓
ค่าประจุแบตเตอรี่	✓	✓	✓

วันที่ 1 ระบบเริ่มทำงานเมื่อเวลา 18.45 น. ที่ความเข้มแสงประมาณ 10 lux

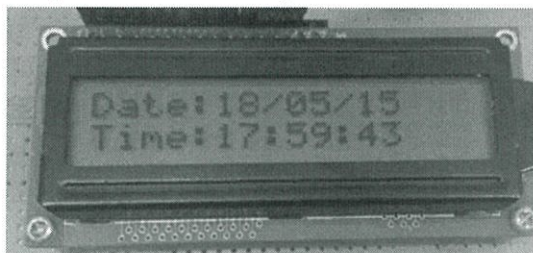
วันที่ 2 ระบบเริ่มทำงานเมื่อเวลา 18.40 น. ที่ความเข้มแสงประมาณ 10 lux

วันที่ 3 ระบบเริ่มทำงานเมื่อเวลา 18.38 น. ที่ความเข้มแสงประมาณ 10 lux

จากผลการทดสอบพบว่าวงจรควบคุมที่ได้ทำการออกแบบนั้นสามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด

### 5.2.3 การทดสอบส่วนแสดงผล

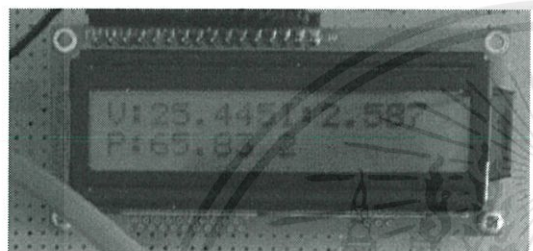
ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณและประมวลผลออกมานั้นจะถูกแสดงออกทางจอแอลซีดีที่แสดงผลได้อย่างถูกต้อง ทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ โดยมีจอแสดงผลอยู่ 4 หน้าจอ เลือกเปลี่ยนหน้าจอโดยการกดปุ่มสวิตช์ด้านล่างเพื่อดูค่าพารามิเตอร์ของส่วนอื่นๆ



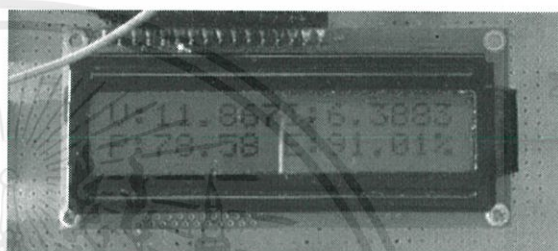
ก. หน้าจอแสดงวันและเวลา



ข. หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของโหลด



ค. หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์



ง. หน้าจอแสดงค่าพารามิเตอร์ของแบตเตอรี่

### รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการแสดงค่าบนจอ LCD

### 5.2.4 การทดสอบส่วนของการส่งข้อมูลเพื่อเก็บบันทึกข้อมูล

นอกจากการทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดได้แล้วมีการเพิ่มขีดความสามารถของระบบโดยการออกแบบให้สามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายมายังหน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อทำการเก็บบันทึก ทำให้เกิดความสะดวกและช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าเป็นไปได้ง่ายขึ้น โดยรับค่าและแสดงค่าที่รับมาด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยพารามิเตอร์ที่ส่ง มีทั้งหมด 14 ค่า ได้แก่

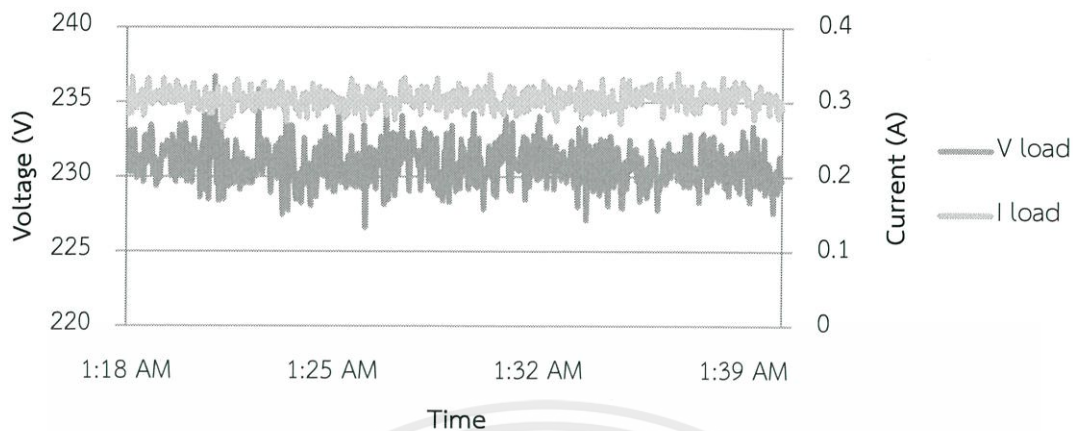
- |  |  |
|--|--|
| (1) วัน (Date) & เวลา (Time)                       | (8) กระแสที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I <sub>pv</sub> )    |
| (2) แรงดันที่โหลด (V <sub>load</sub> )             | (9) กำลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (P <sub>pv</sub> ) |
| (3) กระแสที่โหลด (I <sub>load</sub> )              | (10) แรงดันที่แบตเตอรี่ (V <sub>batt</sub> )         |
| (4) กำลังงานที่โหลด (P <sub>load</sub> )           | (11) กระแสที่แบตเตอรี่ (I <sub>batt</sub> )          |
| (5) พลังงานที่โหลด (E <sub>load</sub> )            | (12) กำลังงานที่แบตเตอรี่ (P <sub>batt</sub> )       |
| (6) ค่าตัวประกอบกำลังของโหลด (P.F.)                | (13) พลังงานที่แบตเตอรี่ (E <sub>batt</sub> )        |
| (7) แรงดันที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V <sub>pv</sub> ) | (14) ระดับของค่าประจุแบตเตอรี่ (%Batt)               |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ตัวอย่างข้อมูลที่ทำการบันทึกค่า

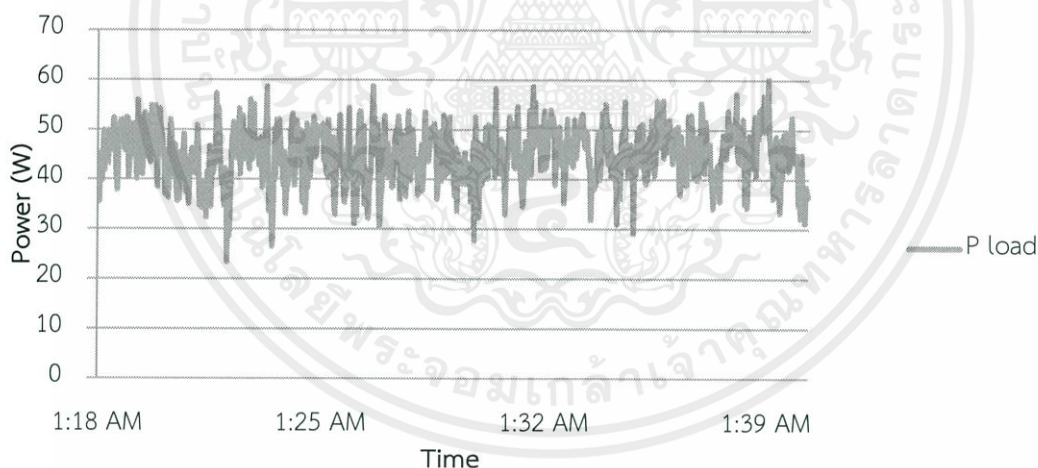
Day	Time	Load					Solar Cell			Battery				
		V(V)	I(A)	P(W)	E(W)	P.F.	V(V)	I(A)	P(W)	V(V)	I(A)	P(W)	E(W)	%
20/05/15	1:20:01	230.39	0.305	42.16	73.017	0.6	11.714	0.12	1.404	14.956	110.78	-3.683	55.079	-55.079
20/05/15	1:20:03	232.44	0.284	35.568	73.037	0.54	11.89	0.117	1.39	15.34	113.63	-3.684	56.517	-56.517
20/05/15	1:20:05	231.41	0.318	45.351	73.062	0.62	11.62	0.141	1.638	13.61	100.82	-3.71	50.5	-50.5
20/05/15	1:20:07	233.07	0.302	44.557	73.087	0.64	11.862	0.133	1.583	15.216	112.71	-3.719	56.588	-56.588
20/05/15	1:20:09	230.32	0.285	40.004	73.109	0.62	11.469	0.138	1.588	15.209	112.66	-3.727	56.684	-56.684
20/05/15	1:20:11	230.35	0.333	49.918	73.137	0.66	11.921	0.166	1.976	14.846	109.97	-3.689	54.764	-54.764
20/05/15	1:20:13	231.03	0.301	41.991	73.16	0.61	11.673	0.135	1.578	15.159	112.29	-3.72	56.384	-56.384
20/05/15	1:20:15	233.12	0.295	48.054	73.187	0.71	11.1	0.145	1.613	15.697	116.27	-3.696	58.021	-58.021
20/05/15	1:20:17	231.34	0.305	44.551	73.212	0.64	12.193	0.144	1.751	12.601	93.34	-3.699	46.616	-46.616
20/05/15	1:20:19	230.74	0.292	43.219	73.236	0.65	11.873	0.131	1.55	13.088	96.95	-3.689	48.286	-48.286
20/05/15	1:20:21	229.93	0.304	49.866	73.263	0.72	11.682	0.14	1.639	14.13	104.67	-3.66	51.723	-51.723
20/05/15	1:20:23	230.23	0.309	45.883	73.289	0.65	10.995	0.16	1.754	14.588	108.06	-3.706	54.057	-54.057
20/05/15	1:20:25	231.41	0.3	48.697	73.316	0.71	11.486	0.133	1.526	14.089	104.36	-3.75	52.835	-52.835
20/05/15	1:20:27	230.94	0.312	49.673	73.344	0.7	11.394	0.159	1.811	14.353	106.32	-3.693	53.002	-53.002
<b>Average</b>		<b>231.141</b>	<b>0.30333</b>	<b>44.7768</b>	<b>73.1649</b>	<b>0.64467</b>	<b>11.6391</b>	<b>0.1388</b>	<b>1.61367</b>	<b>14.5225</b>	<b>107.574</b>	<b>-3.7005</b>	<b>53.7423</b>	<b>-53.742</b>

ค่าที่เก็บบันทึกนั้นสามารถนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ต่างๆโดยการพล็อตกราฟดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันโหลด, กระแสไหลดกับเวลา  
ในช่วงเวลาหลังจากระบบจ่ายไฟให้กับโหลด

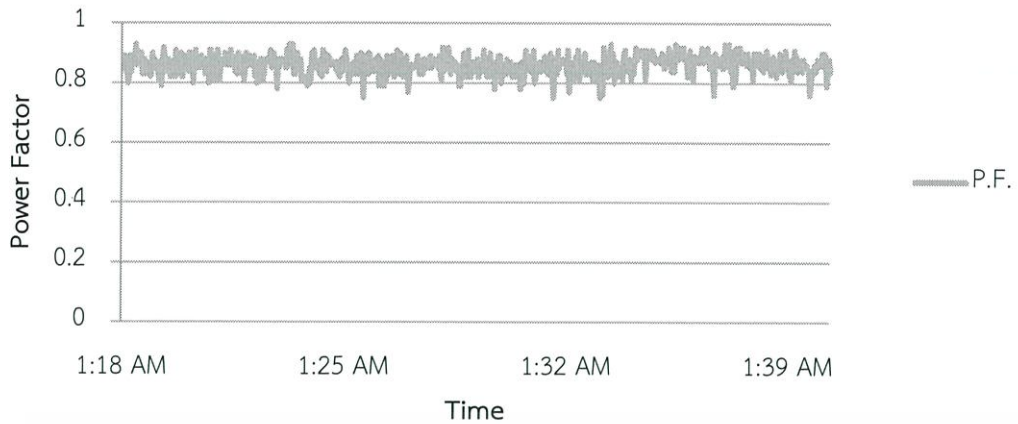
จากกราฟรูปที่ 5.7 อธิบายได้ว่า ค่ากระแสและแรงดันในช่วงเวลาที่ทำการจ่ายโหลด มีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาที่ทำการบันทึกค่า



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่โหลดเทียบกับเวลา  
ในช่วงเวลาหลังจากระบบจ่ายไฟให้กับโหลด

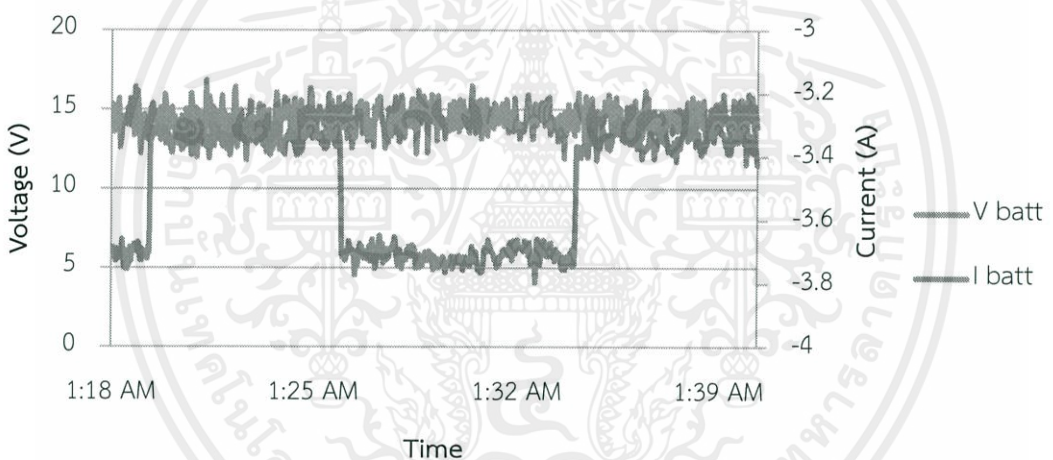
กราฟรูปที่ 5.8 อธิบายได้ว่า ค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดจะแกว่งอยู่ระหว่าง 40-55 W (โหลดแอลอีดีที่ใช้คือ 55 W)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Power Factor กับเวลา

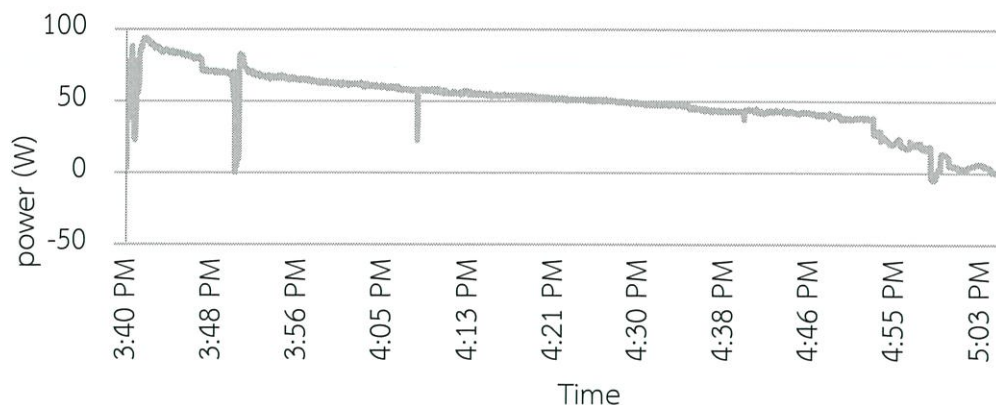
จากกราฟรูปที่ 5.9 อธิบายได้ว่า ค่าตัวประกอบกำลังมีค่าคงที่ประมาณ 0.8 ตลอดช่วงการจ่ายโหลด



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันแบตเตอรี่กับกระแสแบตเตอรี่ในช่วงเวลาจ่ายโหลด(กลางคืน)

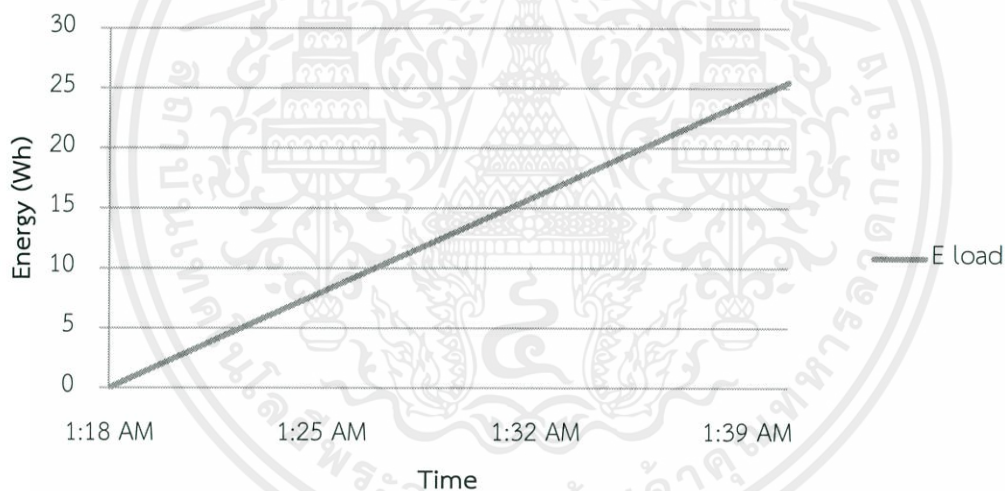
กราฟรูปที่ 5.10 จะเป็นกราฟแสดงการจ่ายกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ให้กับโหลดในช่วงเวลากลางคืนมีค่าอยู่ในช่วง -3.4 A ถึง -3.8 A (กระแสติดลบเพราะกำหนดให้การจ่ายกระแสเป็นค่าลบและการชาร์จกระแสเป็นค่าบวก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแบตเตอรี่กับเวลา  
ในช่วงเวลาการประจุแบตเตอรี่ (กลางวัน)

กราฟรูปที่ 5.11 เป็นกราฟที่ค่ากำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ได้รับในช่วงเวลากลางวันซึ่งมีความสอดคล้องกับรูปที่ 5.10 ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่โหลดใช้ไปกับเวลา

กราฟรูปที่ 5.12 เป็นกราฟแสดงถึงค่าพลังงานที่โหลดใช้ไปขณะที่แบตเตอรี่เป็นตัวจ่ายโหลด เป็นช่วงที่ระบบสามารถประหยัดไฟจากการไฟฟ้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.5 ประสิทธิภาพของระบบ

จากข้อมูลในตารางที่ 5.6 สามารถนำหาประสิทธิภาพของระบบได้จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.6 โดยที่  $P_{in} = P_{batt}$  และ  $P_{out} = P_{load}$

$$\eta = \frac{44.7768}{53.7423} \cdot 100\% = 83.32\%$$

จะได้ว่าระบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ย 83.32%

### 5.2.6 สรุปฟังก์ชันการทำงานของระบบ

1. ระบบสามารถจ่ายไฟให้กับโคมไฟถนน LED ได้ 12 ชั่วโมง
2. ระบบสามารถทำงานตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้ได้
3. ค่าพารามิเตอร์ที่วัดได้ ได้แก่ (1) แรงดันที่โหลด (Vload), (2) กระแสที่โหลด (Iload), (3) กำลังงานที่โหลด (Pload), (4) พลังงานที่โหลด (Eload), (5) ค่าตัวประกอบกำลังของโหลด (P.F.), (6) แรงดันที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Vpv), (7) กระแสที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Ipv), (8) กำลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Ppv), (9) แรงดันที่แบตเตอรี่ (Vbatt), (10) กระแสที่แบตเตอรี่ (Ibatt), (11) กำลังงานที่แบตเตอรี่ (Pbatt), (12) พลังงานที่แบตเตอรี่ (Ebatt), (13) ระดับของค่าประจุแบตเตอรี่ (%Batt)
4. สามารถแสดงผลของค่าพารามิเตอร์ออกทางจอแอลซีดีได้ของชุดควบคุมได้
5. ระบบสามารถส่งค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าผ่านระบบเครือข่ายไร้สายได้
6. สามารถวิเคราะห์และเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้
7. ระบบมีประสิทธิภาพมากกว่า 80%
8. ช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าในช่วงที่แบตเตอรี่จ่ายไฟฟ้าให้กับโหลด
9. ในอนาคตสามารถต่อยอดเป็นระบบเครือข่ายที่เป็นระบบใหญ่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าชิ้นงานต้นแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่ออกแบบไว้ นอกเหนือจากการทำงานพื้นฐานแล้ว ยังสามารถทำงานได้ในสภาวะพิเศษ เช่น ฝนตก, ไฟจากการไฟฟ้าขัดข้อง เป็นต้น รวมทั้งยังสามารถส่งข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆผ่านเครือข่ายไร้สาย ทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลดังกล่าวผ่านคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์มือถือได้ ซึ่งผลปรากฏว่าทำให้สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมในการทำงานของระบบโดยรวมได้และยังช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าในช่วงที่แบตเตอรี่จ่ายไฟฟ้าให้กับโหลด อาจเป็นแนวทางในการตัดสินใจเพื่อหันมาใช้พลังงานทางเลือกมากขึ้นอีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมและแรงจูงใจให้มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดมาใช้มากขึ้นอีกด้วย ซึ่งจากการทดลองสามารถเห็นแนวโน้มพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ จะได้ว่าการศึกษาเกี่ยวกับชุดโคมไฟถนนแอลอีดีพลังงานแสงอาทิตย์นี้ มีข้อดี คือ

1. ระบบสามารถทำงานได้ในสภาวะพิเศษต่างๆ เช่น ฝนตก, ไฟฟ้าขัดข้อง เป็นต้น
2. สามารถทราบค่าพารามิเตอร์ได้แบบเรียลไทม์
3. สามารถวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เพื่อดูแนวโน้มการทำงานของระบบได้
4. เป็นการนำพลังงานสะอาดจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์

#### 6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและแปรเปลี่ยนตามฤดูกาลซึ่งถือว่าเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เพราะถ้าในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำแบตเตอรี่จะชาร์จประจุไม่เพียงพอต่อการจ่ายไฟให้โคมไฟแอลอีดี ซึ่งทางผู้จัดทำก็ได้แก้ปัญหานี้โดยการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการตัดต่อของรีเลย์ให้สลับไปรับฟ้าจากการไฟฟ้า

การที่จะเลือกข้อมูลเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต้องพิจารณาถึงเงื่อนไขที่ใช้ในการทำงาน โดยมีขอบเขตการทำงาน คือ ต้องสามารถจ่ายไฟให้โคมไฟถนนแอลอีดีได้ถึง 12 ชั่วโมงและจะต้องทำงานในสภาวะผิดปกติที่กล่าวมาข้างต้นได้ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้มีขนาด 295 W และแบตเตอรี่ขนาด 75 AH โดยการศึกษาทดลองนั้นพบว่า ช่วงที่มีความเข้มแสงอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 15.00 น - 17.00 น. ( $950 \text{ W/m}^2$ ) โดยมีค่าใกล้เคียงกับพิกัดสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายได้ซึ่งอยู่ที่  $1000 \text{ W/m}^2$  ก็ทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การส่งข้อมูลผ่านระบบไร้สายนั้นควรใช้ตัวปล่อยสัญญาณไร้สายที่มีความเสถียรและต่อเนื่อง เพราะถ้าสัญญาณไร้สายเกิดขัดข้องจะส่งผลให้ข้อมูลที่ได้รับไม่มีความต่อเนื่องได้

3. การประยุกต์ใช้โปรแกรม LabVIEW ควรมีความเข้าใจเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างมีประสิทธิภาพ

4. การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรวางในตำแหน่งที่เหมาะสม เพราะจะทำให้การชาร์จประจุของแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพน้อย

5. การประกอบวงจรต้องมีความละเอียดรอบคอบเพราะระบบมีการเชื่อมต่อสายไฟหลายจุด ซึ่งถ้าหากเกิดข้อผิดพลาดก็อาจทำให้อุปกรณ์ที่ใช้วัดเสียหายและก็จะส่งผลให้การทำงานล่าช้าด้วย

6. การทดสอบค่าพารามิเตอร์ไม่ควรดูแอมพลิจูดเพียงอย่างเดียว แต่ควรพิจารณารูปคลื่นสัญญาณควบคู่ไปด้วย

7. การจ่ายไฟเลี้ยงให้อุปกรณ์ IC อิเล็กทรอนิกส์ควรคำนึงถึงการต่อให้ถูกขั้วเป็นหลัก เพราะจะทำให้อุปกรณ์ IC เกิดความเสียหายทันที

8. ควรเลือกไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีหน่วยความจำเพียงพอต่อการใช้งาน เพราะหน่วยความจำอาจจะเต็มได้

### 6.3 การนำไปประยุกต์ใช้จริง

เนื่องจากการติดตั้งโคมไฟถนนแอลอีดีโดยประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีเงื่อนไขการติดตั้งเพื่อใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ดังนี้

1. หาดำเนินการที่เหมาะสมในการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์
2. เสาคอมโคมไฟถนนแอลอีดีต้องรับน้ำหนักแบตเตอรี่และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้
3. ต้องมีแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างสม่ำเสมอเพราะอุปกรณ์นี้ถือเป็นหัวใจสำคัญของระบบ
4. สัญญาณไร้สายที่ใช้ควรเสถียรมากพอที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.4 การศึกษาต่อในอนาคต

เนื่องจากเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆในการทดลอง สถานที่ และเวลา ทำให้การทดลองเป็นไปได้โดยลำบากและยังได้ข้อสรุปไม่เป็นที่น่าพอใจ ดังนั้นหากมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคตจึงควรมีเงื่อนไขต่างๆดังนี้

1. ควรมีเวลาเก็บผลการทดลองให้มากกว่า 1 เดือนขึ้นไป เนื่องจากจะได้วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ได้แต่ละช่วงว่าสอดคล้องหรือไม่
2. ควรทำการศึกษาใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อที่จะได้ตอบสนองตามคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างแม่นยำ
3. ศึกษาและปรับปรุงวงจรควบคุมการทำงานของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ให้ดียิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Hayt, Kimmerly, and Durbin, **Engineering Circuit Analysis**, 8th Ed., New York, McGraw-Hill, 2012.
- [2] <http://tene.eppo.go.th/>
- [3] <http://www.leonics.co.th/>
- [4] <http://th.wikipedia.com>
- [5] <http://www.solartech-center.com/>
- [6] <http://www.clinicsolar.com/>
- [7] <http://www.solar-electric.com>
- [8] <http://www.solarturbinepower.com/>
- [9] <http://www.9solarcell.com/>
- [10] <http://www.mechashop.net/>
- [11] <http://www.solarturbinepower.com/>
- [12] <http://www.aimtechgen.com/>
- [13] <http://nk-marketing.tarad.com/>
- [14] นคร ภัคดีชาติ, ณ์ภูพล วงศ์สุนทรชัย, กฤษดา ใจเย็น, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, **คู่มือการทดลอง dsPIC Microcontroller เบื้องต้นด้วยโปรแกรมภาษา C และ MPLAB C30**, กรุงเทพฯ: บริษัท อินโนเวตีฟ แกเพอริเมนด์ จำกัด, ม.ป.ป.
- [15] <http://www.microchip.com/>
- [16] <http://www.cc.kmutt.ac.th/wireless/about.html>
- [17] กิจไพบุลย์ ชิวพันธ์ุศรี. (2557) “LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนาาระบบการวัดและควบคุม”. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน).
- [18] Herbert A. Wade, **Solar photovoltaic systems technical training manual**, France: The United Nations Educational, 2003.
- [19] Donald P. Leach, **Discrete and Integrated Circuit Electronics**, Santa Clara University, 1992.
- [20] อภิชาติ ศรีชาติ และ อรรจนา ศรีระวงศ์, “วัตต์มิเตอร์,” **ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยขอนแก่น**, 2547.
- [21] ธราด ดุลยพิจารณา และ นฤพนธ์ อินทสวัสดิ์, “เครื่องวิเคราะห์พลังงาน” **ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมระบบวัดคุมและเมคคาทรอนิกส์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร**, 2553.

- [22] <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11-standards-tutorial.php>
- [23] Hayt, Kimmerly, and Durbin, **Engineering Circuit Analysis**, 8th Ed., New York, McGraw-Hill, 2012.
- [24] [http://www.nstda.or.th/sciencevillages/udomsomboon/?attachment\\_id=318](http://www.nstda.or.th/sciencevillages/udomsomboon/?attachment_id=318)
- [25] <http://www.thaigoodview.com/library/contest2552/type1/science03/11/Electricity>
- [26] <http://www.civicsolar.com/>
- [27] <http://www.futurlec.com/Microchip/DSPIC30F2010.shtml>
- [28] <http://tene.eppo.go.th/>
- [29] Chow Chompoo-inwai and Suttipong.Boontaklang, "The Prototype of a Smart and Energy Saving LED Street Lighting System For Thailand's Rural Area," ICEE, 2012, pp.502-507.
- [30] สุทธิพงษ์ บุญทากลาง, "การออกแบบวงจรขับอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์ความถี่ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ โดยใช้ วงจรขยายกำลังคลาสเอฟที่ควบคุมโคมไมโครโปรเซสเซอร์," วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.
- [31] <http://www.ni.com/>
- [32] <http://culverson.com/>
- [33] <http://www.theengineeringprojects.com/>
- [34] <http://www.taltech.com/>
- [35] <http://www.electronics-tutorials.ws/>
- [36] <http://sim.okawa-denshi.jp/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

ข้อมูลอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



500W True Sine Wave DC-AC Inverter with MPPT Solar Charger **ISI-501 series**



**■ Features**

- True sine wave output (THD<3%)
- High surge power up to 1000W
- High efficiency up to 88%
- High frequency design
- Thermostatically controlled cooling fan
- Protections: Bat. low alarm / Bat. low shutdown / Over voltage / Over temp. / Output short / Input polarity reverse / Overload
- Built-in 500W MPPT solar charger, MPPT efficiency 98%(Typ.)
- Built-in remote ON-OFF control
- Built-in battery low relay contact
- LED indicator for operation status and battery capacity
- 3 years warranty

**■ Applications**

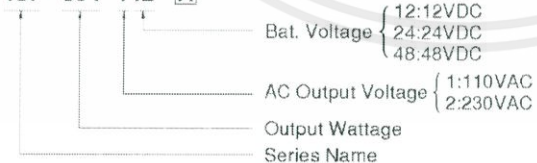
- Home appliance
- Power tools
- Portable equipment
- Yacht
- Vehicle

**■ Description**

ISI-501 series integrates a DC/AC True Sine Wave Inverter and a MPPT charger. This series is a high performance true sine wave DC/AC inverter which converts the DC electricity from a system consisting of batteries and solar panels. ISI-501 is not only a high frequency designed inverter but also fully digitally controlled by an advanced microprocessor. With true sine wave output, ISI-501 series can provide 500W continuously, 550W for 60 seconds, and 1000W for 30 AC-cycles. This series incorporates a MPPT solar charger, including the constant current and constant voltage charging characteristics.

**■ Model Encoding**

ISI - 501 - 112 - A



AC Output Receptacle

- A : TYPE A OUTLET
- B : TYPE B OUTLET
- C : TYPE C OUTLET
- D : TYPE D OUTLET
- E : TYPE E OUTLET
- F : TYPE F OUTLET
- U : TYPE U OUTLET

File Name: ISI-501-SP2L 2015.01.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


**500W True Sine Wave DC-AC Inverter with MPPT Solar Charger ISI-501 series**
**AC Output Receptacles(Optional)**

Receptacle type							
	TYPE-A Standard USA	TYPE-B Standard EUROPE	TYPE-C Optional AUSTRALIA	TYPE-D Optional U.K	TYPE-E Optional JAPAN	TYPE-F Optional GFCI	TYPE-U Optional UNIVERSAL
Certificate	<b>FC</b>	<b>CE</b>	<b>CE</b>	<b>CE</b>	<b>FC</b>	<b>FC</b>	Non

**SPECIFICATION**

MODEL		ISI-501-112□	ISI-501-124□	ISI-501-148□	ISI-501-212□	ISI-501-224□	ISI-501-248□		
OUTPUT	RATED POWER	450W	500W		450W	500W			
	MAXIMUM OUTPUT POWER (Typ.)	500W for 60 sec. /surge power 1000W for 30cycles (112, 212 models)			450W for 60 sec. /surge power 900W for 30 cycles				
	AC VOLTAGE	Factory setting set at 110VAC 100 / 110 / 115 / 120VAC selectable by setting button 5-W			200 / 220 / 230 / 240VAC selectable by setting button 5-W				
	FREQUENCY	Factory setting set at 110VAC 60 ± 0.1Hz / 50/60Hz selectable by setting button 5-W			50 ± 0.1Hz / 50/60Hz selectable by setting button 5-W				
INVERTER SECTION	WAVEFORM	True sine wave (THD < 3%) at rated input voltage							
	AC REGULATION (Typ.) Note 1	± 3%							
	FRONT PANEL INDICATOR	Fault and operation status, Charger status, Battery capacity							
	BAT. VOLTAGE	12V	24V	48V	12V	24V	48V		
	VOLTAGE RANGE Note 2,6	10.5 ~ 16VDC	21 ~ 30VDC	42 ~ 60VDC	10.5 ~ 16VDC	21 ~ 30VDC	42 ~ 60VDC		
	DC CURRENT (Typ.) Note 7	50A	30A	15A	59A	30A	15A		
	NO LOAD CURRENT DRAW (Typ.)	1.25A	0.69A	0.30A	1.25A	0.69A	0.30A		
	OFF MODE CURRENT DRAW (Typ.)	≤ 1mA							
	EFFICIENCY (Typ.) Note 2	95%	97%	97%	96%	98%	98%		
	OVER TEMPERATURE	Shut down output voltage, re-power on to recover							
OUTPUT PROTECTION	OUTPUT SHORT	Shut down output voltage, re-power on to recover 110% load for 60 sec							
	OVER LOAD (Typ.)	Protection type: Shut down output voltage, re-power on to recover							
	CHARGER CURRENT (Typ.)	30A	17A	8.5A	30A	17A	8.5A		
BATTERY SECTION	BATTERY TYPE	Open & sealed Lead Acid							
	FUSE	40A <sup>2</sup>	40A <sup>1</sup>	20A <sup>1</sup>	40A <sup>2</sup>	40A <sup>1</sup>	20A <sup>2</sup>		
	BAT. LOW ALARM Note 3	11.9V	22.5V	45V	11.9V	22.5V	45V		
	BAT. LOW SHUTDOWN Note 3	10.6V	21V	42V	10.6V	21V	42V		
	REVERSE POLARITY	By internal fuse open							
	MPPT CHARGER EFFICIENCY (Typ.)	95%							
MPPT / SOLAR SECTION	OPEN CIRCUIT VOLTAGE RANGE	35 ~ 50V	45 ~ 90V	90 ~ 100V	35 ~ 50V	45 ~ 90V	90 ~ 100V		
	MPPT RANGE	25 ~ 50V	30 ~ 90V	70 ~ 100V	25 ~ 50V	30 ~ 90V	70 ~ 100V		
	SOLAR INPUT CURRENT (Typ.)	11A	7A	4.5A	11A	7A	4.5A		
	SOLAR INPUT POWER (Typ.)	500W							
GENERAL SECTION	ENVIRONMENT	WORKING TEMP. Note 4	20 ~ +40°C @ 100% load, 0°C @ 50% load						
		WORKING HUMIDITY	20% ~ 90% RH non-condensing						
		STORAGE TEMP., HUMIDITY	-30 ~ +70°C / -20 ~ +158°F, 10 ~ 95% RH						
	SAFETY & EMC	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 0.5-10min./cycle, 60min. each along X, Y, Z axes						
		LVD	None						
		WITHSTAND VOLTAGE	Bat./IP-AC: O/P: 3.0kVAC / AD: O/P: PG: 1.5kVAC						
	OTHERS	ISOLATION RESISTANCE	Bat./IP-AC: O/P: Bat./IP-AC: O/P: FG: AC: O/P: FG: 100M ohms / 500VDC / 25.0 / 70% PH						
		EMC EMISSION	Compliance to FCC part 15 class B						
		EMC IMMUNITY	None						
		MTBF	57.6K hrs min. MIL-HDBK-217F (25°C)						
NOTE	DIMENSION	205*198*67mm (L*W*H)							
	PACKING	2.35Kg, 8pcs/15.1Kg (1/65CUFT)							

File Name: ISI-501-SPEC, 2016-01-10

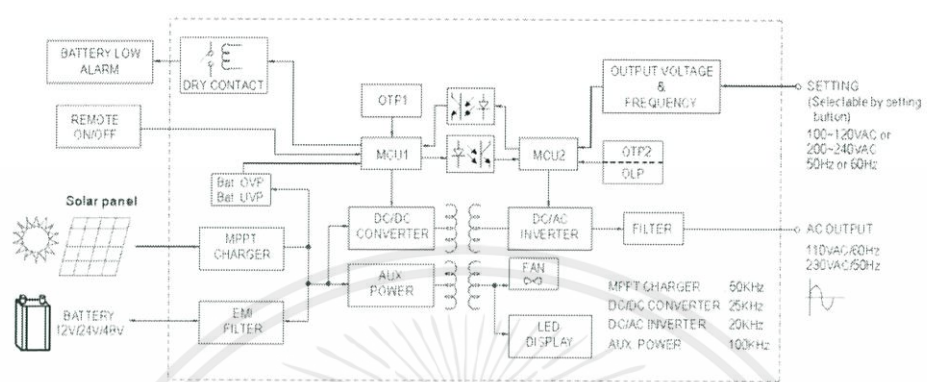
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



500W True Sine Wave DC-AC Inverter with MPPT Solar Charger

ISI-501 series

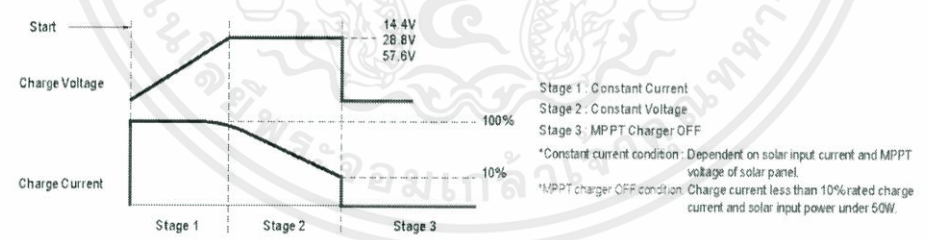
■ Block Diagram



■ Derating Curve



■ Charging Curve



File Name: ISI-501-SP-01 20150412

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



500W True Sine Wave DC-AC Inverter with MPPT Solar Charger

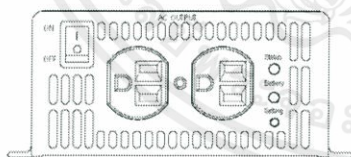
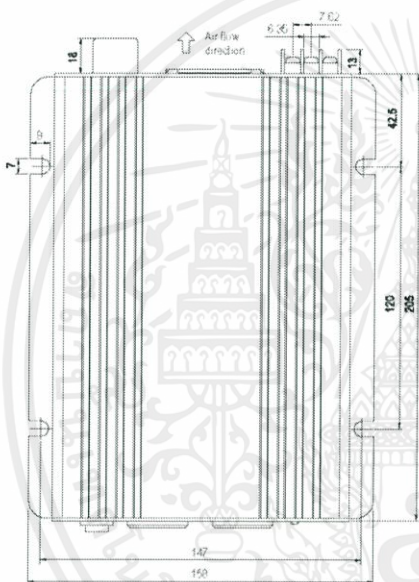
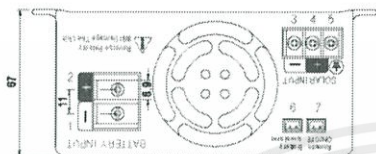
ISI-501 series

■ Mechanical Specification

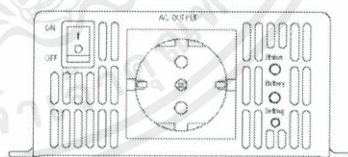
Case No 805 Unit:mm

Input Terminal Pin No. Assignment

Pin No.	Assignment	Pin No.	Assignment
1	Battery Input NEG (-)	5	FG 地
2	Battery Input POS (+)	6	Bat Low Alarm Connector
3	Solar Input NEG (-)	7	Remote ON/OFF Connector
4	Solar Input POS (+)		



Type-A

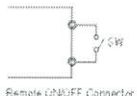


Type-B

■ Installation Manual

Please refer to : <http://www.meanswell.com/search/ISI-501/ISI-501-E.pdf>

■ Function Manual



Remote ON/OFF Connector

Remote ON/OFF Connector : JST B-XH or equivalent

Open	Normal work
Short	Remote off

Relay dry contact Contact Rating 1A @ 24VDC resistive



Bat Low Alarm Connector

Bat Low Alarm Connector : JST B-XH or equivalent

Open	Battery low
Short	Battery OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## User's Manual of MODULE ET-MINI DS3232 (I<sup>2</sup>C RTC 3V-5V)

### ET-MINI DS3232

Module ET-MINI DS3232 is Module Real Time Clock (RTC) that is used as Time Base in the format of clock, time, calendar, and thermometer. It is I<sup>2</sup>C Interface that uses 3.3V-5V Power Supply.

#### Specifications

- Run by 3.3V-5V Power Supply; has Battery Backup for timekeeping when user has removed Power Supply from Module.
- Be used as time that shows hours (24-Hour or 12-Hour), second, minute, day, date, month, year (validate up to 2099).
- Two programmable time-of-day alarms and 4 of programmable Square-Wave Output through Pin SQW
- Has Digital Temp Sensor to measure temperature; the accuracy rate is  $\pm 3$  °C and it always updates the temperature every 64 seconds.
- Has 236Byte Internal RAM by using Battery for Backup
- Use I2C Interface; it can receive the maximum frequency of 100KHz in Normal Mode, and 400KHz in fast Mode.
- Has ID Slave Address; it is 1101000X; when X is state of Read (1) or Write(0).

#### How to use

1. Interface Power Supply VCC and GND with Module.
2. Interface Signal SCL, SDA, and GND with MCU. If user requires using Alarm Mode, it has to interface Pin SQW/INT to check Signal INT when it reaches the setting time. Other pins that are not used are floating.
3. Set jumper SCL, SDA to the position of "ENA" if external circuit of Module is not interfaced with R-Pull Up; on the other hand, if external circuit of Module is interfaced with R-Pull Up, it has to set Jumper SCL, SDA to the position of "DIS". For Jumper INT#; if it is used in Alarm Mode and user requires using Pin SQW/INT, it has to set Jumper to the position of "ENA" to interface R-Pull Up with this pin.
4. Insert Battery Backup for timekeeping when user has removed Power Supply from Module.
5. Write program to control the operation.

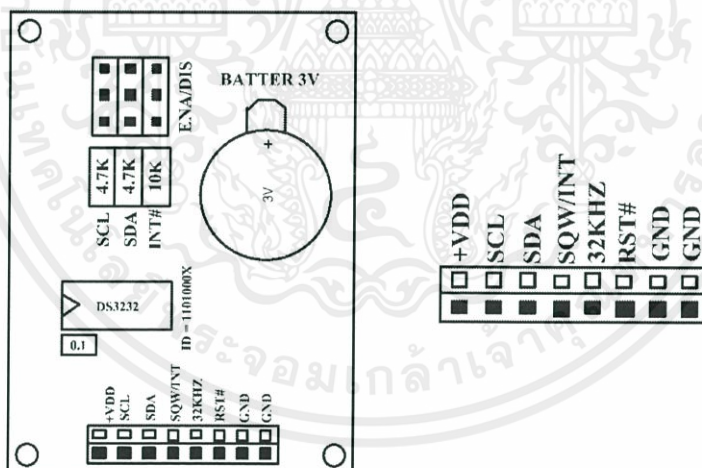


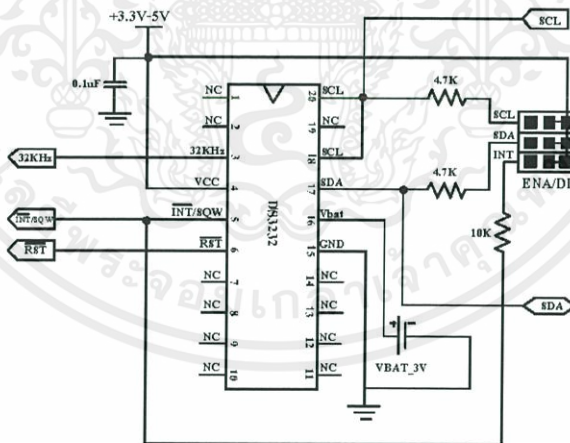
Figure shows structure of ET-MINI DS3232 and position of Pin Port.

User's Manual of MODULE ET-MINI DS3232 (I<sup>2</sup>C RTC 3V-5V)

Table shows internal Address positions of DS3232 for Read/Write

ADDRESS	BIT 7 MSB	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0 LSB	FUNCTION	RANGE
00h	0	10 Seconds			Seconds			Seconds	Seconds	00-59
01h	0	10 Minutes			Minutes			Minutes	Minutes	00-59
02h	0	12/24	AM/PM 10 Hour	10 Hour	Hour			Hour	Hours	1-12 + AM/PM 00-23
03h	0	0	0	0	0	Day			Day	1-7
04h	0	0	10 Date		Date			Date	Date	1-31
05h	Century	0	0	10 Month	Month			Month/ Century	Month/ Century	01-12 + Century
06h	10 Year			Year			Year	Year	Year	00-99
07h	A1M1	10 Seconds			Seconds			Alarm 1 Seconds	Alarm 1 Seconds	00-59
08h	A1M2	10 Minutes			Minutes			Alarm 1 Minutes	Alarm 1 Minutes	00-59
09h	A1M3	12/24	AM/PM 10 Hour	10 Hour	Hour			Alarm 1 Hours	Alarm 1 Hours	1-12 + AM/PM 00-23
0Ah	A1M4	DY/DT	10 Date		Day			Alarm 1 Day	Alarm 1 Day	1-7
0Bh	A2M2	10 Minutes			Minutes			Alarm 2 Minutes	Alarm 2 Minutes	00-59
0Ch	A2M3	12/24	AM/PM 10 Hour	10 Hour	Hour			Alarm 2 Hours	Alarm 2 Hours	1-12 + AM/PM 00-23
0Dh	A2M4	DY/DT	10 Date		Day			Alarm 2 Day	Alarm 2 Day	1-7
0Eh	EOSC	BBSQW	CCNV	RS2	RS1	INTCN	A2IE	A1IE	Control	—
0Fh	OSF	BB32kHz	CRATE1	CRATE0	EN32kHz	BSY	A2F	A1F	Control/Status	—
10h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	Aging Offset	—
11h	SIGN	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	DATA	MSB of Temp	—
12h	DATA	DATA	0	0	0	0	0	0	LSB of Temp	—
13h	0	0	0	0	0	0	0	0	Not used	Reserved for test
14h-0Fh	x	x	x	x	x	x	x	x	SRAM	00h-0Fh

\*See more details of Register in each bit in each Address from datasheet of DS3232 and user can download them from Internet\*



Picture shows Circuit ET-MINI DS3232.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# dsPIC30F4011/4012

## High-Performance, 16-bit Digital Signal Controllers

**Note:** This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the "dsPIC30F Family Reference Manual" (DS70046). For more information on the device instruction set and programming, refer to the "dsPIC30F/33F Programmer's Reference Manual" (DS70157).

### High-Performance, Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture with flexible addressing modes
- 83 base instructions
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 48 Kbytes on-chip Flash program space (16K instruction words)
- 2 Kbytes of on-chip data RAM
- 1 Kbyte of nonvolatile data EEPROM
- Up to 30 MIPS operation:
  - DC to 40 MHz external clock input
  - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 16x)
- 30 interrupt sources:
  - 3 external interrupt sources
  - 8 user-selectable priority levels for each interrupt source
  - 4 processor trap sources
- 16 x 16-bit working register array

### DSP Engine Features:

- Dual data fetch
- Accumulator write-back for DSP operations
- Modulo and Bit-Reversed Addressing modes
- Two, 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single-cycle hardware fractional/integer multiplier
- All DSP instructions are single cycle
- $\pm 16$ -bit, single-cycle shift

### Peripheral Features:

- High-current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Timer module with programmable prescaler:
  - Five 16-bit timers/counters, optionally pair 16-bit timers into 32-bit timer modules
- 16-bit Capture input functions
- 16-bit Compare/PWM output functions
- 3-wire SPI modules (supports 4 Frame modes)
- I<sup>2</sup>C™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- 2 UART modules with FIFO Buffers
- 1 CAN module, 2.0B compliant

### Motor Control PWM Module Features:

- 6 PWM output channels:
  - Complementary or Independent Output modes
  - Edge and Center-Aligned modes
- 3 duty cycle generators
- Dedicated time base
- Programmable output polarity
- Dead-time control for Complementary mode
- Manual output control
- Trigger for A/D conversions

### Quadrature Encoder Interface Module Features:

- Phase A, Phase B and Index Pulse input
- 16-bit up/down position counter
- Count direction status
- Position Measurement (x2 and x4) mode
- Programmable digital noise filters on inputs
- Alternate 16-Bit Timer/Counter mode
- Interrupt on position counter rollover/underflow

### Analog Features:

- 10-Bit Analog-to-Digital Converter (A/D) with 4 S/H inputs:
  - 1 Msps conversion rate
  - 9 input channels
  - Conversion available during Sleep and Idle
- Programmable Brown-out Reset

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## dsPIC30F4011/4012

### Special Digital Signal Controller Features:

- Enhanced Flash program memory
  - 10,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 100K (typical)
- Data EEPROM memory
  - 100,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 1M (typical)
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Flexible Watchdog Timer (WDT) with on-chip, low-power RC oscillator for reliable operation
- Fail-Safe Clock Monitor operation detects clock failure and switches to on-chip, low-power RC oscillator
- Programmable code protection
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- Selectable Power Management modes
  - Sleep, Idle and Alternate Clock modes

### CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash technology
- Wide operating voltage range (2.5V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low-power consumption

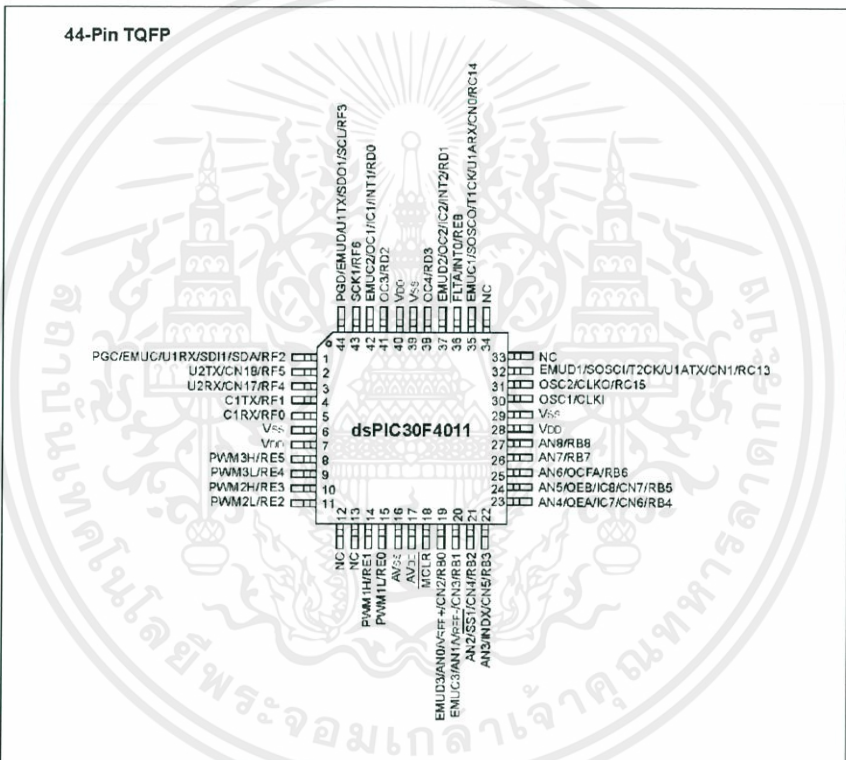
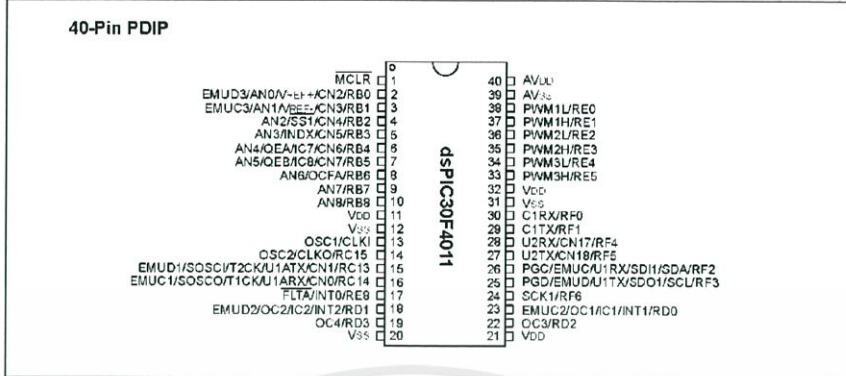
### dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family

Device	Pins	Program Mem. Bytes/Instructions	SRAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Cap	Output Comp/Std PWM	Motor Control PWM	10-Bit A/D 1 Msps	Quad Enc	UART	SPI	I <sup>2</sup> C™	CAN
dsPIC30F4012	28	48K/16K	2048	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	1
dsPIC30F4011	40/44	48K/16K	2048	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## dsPIC30F4011/4012

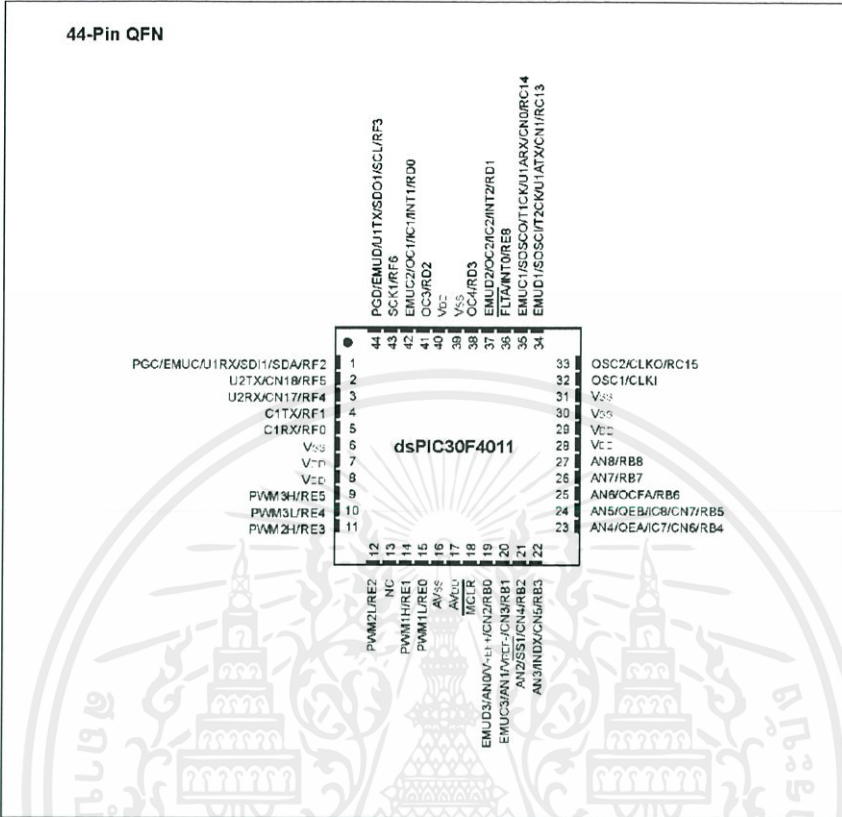
## Pin Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# dsPIC30F4011/4012

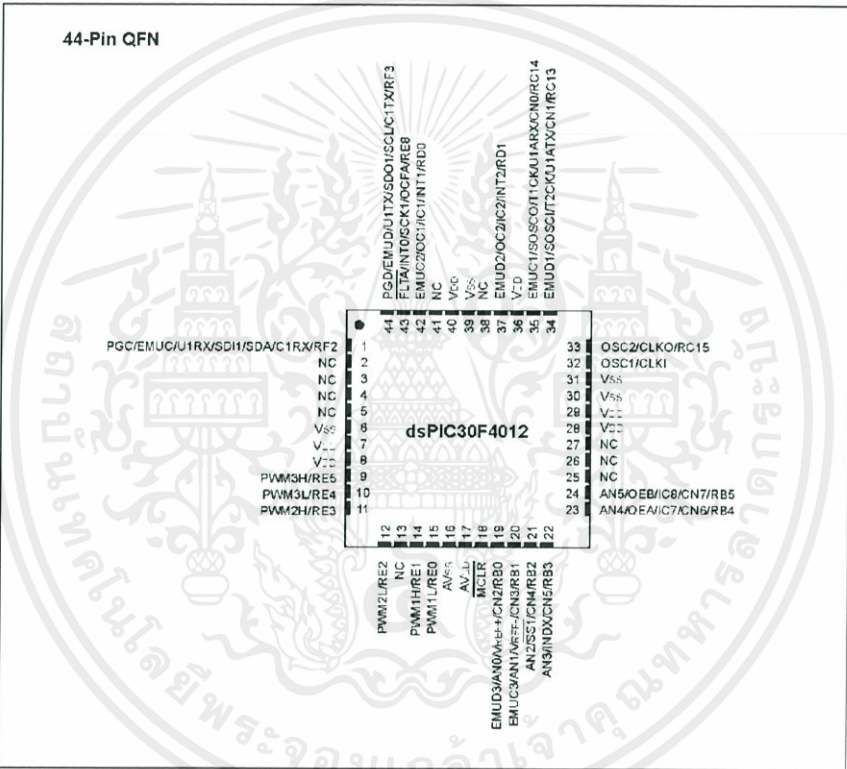
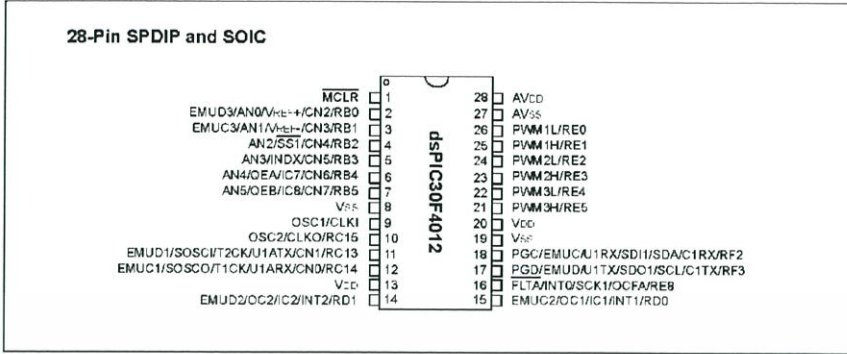
## Pin Diagrams (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# dsPIC30F4011/4012

## Pin Diagrams (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



uA741

SLOS004E - NOVEMBER 1970 - REVISED JANUARY 2015

## μA741 General-Purpose Operational Amplifiers

### 1 Features

- Short-Circuit Protection
- Offset-Voltage Null Capability
- Large Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- No Frequency Compensation Required
- No Latch-Up

### 2 Applications

- DVD Recorders and Players
- Pro Audio Mixers

### 3 Description

The μA741 device is a general-purpose operational amplifier featuring offset-voltage null capability.

The high common-mode input voltage range and the absence of latch-up make the amplifier ideal for voltage-follower applications. The device is short-circuit protected and the internal frequency compensation ensures stability without external components. A low value potentiometer may be connected between the offset null inputs to null out the offset voltage as shown in Figure 11.

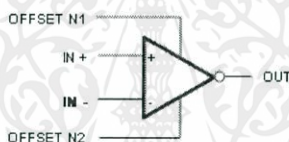
The μA741C device is characterized for operation from 0°C to 70°C. The μA741M device (obsolete) is characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.


#### Device Information<sup>(1)</sup>

PART NUMBER	PACKAGE (PIN)	BODY SIZE (NOM)
μA741x	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm
	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm
	SD (8)	6.20 mm × 5.30 mm

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

### 4 Simplified Schematic



 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Table of Contents

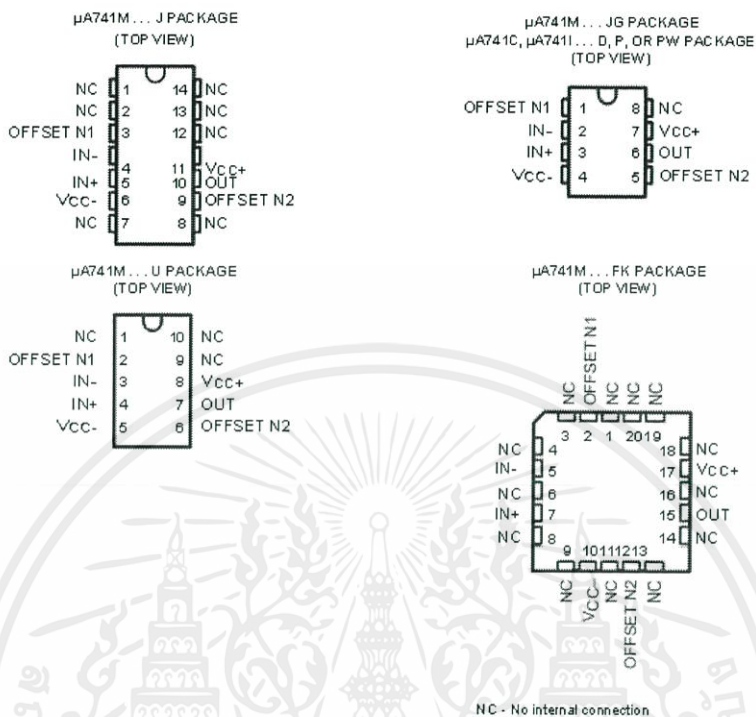
<b>1 Features</b> .....	1	8.2 Functional Block Diagram.....	9
<b>2 Applications</b> .....	1	8.3 Feature Description.....	10
<b>3 Description</b> .....	1	8.4 Device Functional Modes.....	10
<b>4 Simplified Schematic</b> .....	1	8.5 $\mu$ A741Y Chip Information.....	10
<b>5 Revision History</b> .....	2	<b>9 Application and Implementation</b> .....	11
<b>6 Pin Configurations and Functions</b> .....	3	9.1 Application Information.....	11
<b>7 Specifications</b> .....	4	9.2 Typical Application.....	11
7.1 Absolute Maximum Ratings.....	4	<b>10 Power Supply Recommendations</b> .....	13
7.2 Recommended Operating Conditions.....	4	<b>11 Layout</b> .....	13
7.3 Electrical Characteristics $\mu$ A741C, $\mu$ A741M.....	5	11.1 Layout Guidelines.....	13
7.4 Electrical Characteristics $\mu$ A741Y.....	6	11.2 Layout Example.....	13
7.5 Switching Characteristics $\mu$ A741C, $\mu$ A741M.....	6	<b>12 Device and Documentation Support</b> .....	15
7.6 Switching Characteristics $\mu$ A741Y.....	6	12.1 Trademarks.....	15
7.7 Typical Characteristics.....	7	12.2 Electrostatic Discharge Caution.....	15
<b>8 Detailed Description</b> .....	9	12.3 Glossary.....	15
8.1 Overview.....	9	<b>13 Mechanical, Packaging, and Orderable Information</b> .....	15

## 5 Revision History

Changes from Revision D (February 2014) to Revision E	Page
<ul style="list-style-type: none"> <li>Added <i>Applications</i>, <i>Device Information</i> table, <i>Pin Function</i> table, <i>ESD Ratings</i> table, <i>Thermal Information</i> table, <i>Feature Description</i> section, <i>Device Functional Modes</i>, <i>Application and Implementation</i> section, <i>Power Supply Recommendation</i> section, <i>Layout</i> section, <i>Device and Documentation Support</i> section, and <i>Mechanical Packaging, and Orderable Information</i> section.....</li> <li>Moved <i>Typical Characteristics</i> into <i>Specifications</i> section.....</li> </ul>	1 7
Changes from Revision C (January 2014) to Revision D	Page
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fixed <i>Typical Characteristics</i> graphs to remove extra lines.....</li> </ul>	7
Changes from Revision B (September 2000) to Revision C	Page
<ul style="list-style-type: none"> <li>Updated document to new TI data sheet form at - no specification changes.....</li> <li>Deleted <i>Ordering Information</i> table.....</li> </ul>	1 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6 Pin Configurations and Functions



Pin Functions

NAME	PIN				TYPE	DESCRIPTION
	J	JG, D, P, or PW	U	FK		
IN+	5	3	4	7	I	Noninverting input
IN-	4	2	3	5	I	Inverting input
NC	1, 2, 8, 12, 13, 14	8	1, 9, 10	1, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 14, 16, 18, 19, 20	—	Do not connect
OFFSET N1	3	1	2	2	I	External input offset voltage adjustment
OFFSET N2	9	5	6	12	I	External input offset voltage adjustment
OUT	10	6	7	15	O	Output
V <sub>CC</sub> <sup>+</sup>	11	7	8	17	—	Positive supply
V <sub>CC</sub> <sup>-</sup>	6	4	5	10	—	Negative supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



uA741

SLOS044E–NOVEMBER 1970–REVISED JANUARY 2015

www.ti.com

## 7 Specifications

### 7.1 Absolute Maximum Ratings

over virtual junction temperature range (unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

	μA741C		μA741M		UNIT
	MIN	MAX	MIN	MAX	
V <sub>CC</sub> Supply voltage <sup>(2)</sup>	-18	18	-22	22	V
V <sub>IN</sub> Differential input voltage <sup>(3)</sup>	-15	15	-30	30	V
V <sub>I</sub> Input voltage, any input <sup>(3,4)</sup>	-15	15	-15	15	V
Voltage between offset null (either OFFSET N1 or OFFSET N2) and V <sub>CC</sub>	-15	15	-0.5	0.5	V
Duration of output short circuit <sup>(5)</sup>	Unlimited				
Continuous total power dissipation	See Table 1				
T <sub>A</sub> Operating free-air temperature	0	70	-55	125	°C
Case temperature for 60 seconds	FK package		260		°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 60 seconds	J, JG, or U package		300		°C
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	D, P, or PS package		260		°C
T <sub>STG</sub> Storage temperature range	-65	150	-65	150	°C

(1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

(2) All voltage values, unless otherwise noted, are with respect to the midpoint between V<sub>CC+</sub> and V<sub>CC-</sub>.

(3) Differential voltages are at IN+ with respect to IN-.

(4) The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 V, whichever is less.

(5) The output may be shorted to ground or either power supply. For the μA741M only, the unlimited duration of the short circuit applies at (or below) 125°C case temperature or 75°C free-air temperature.

### 7.2 Recommended Operating Conditions

		MIN		MAX		UNIT
		μA741C	μA741M	μA741C	μA741M	
V <sub>CC+</sub>	Supply voltage	5		15		V
V <sub>CC-</sub>		-5		-15		
T <sub>A</sub>	Operating free-air temperature	0		70		°C
		-55		125		

Table 1. Dissipation Ratings Table

PAC KAGE	T <sub>A</sub> ≤ 25°C POWER RATING	DERATING FACT OR	DERATE ABOVE T <sub>A</sub>	T <sub>A</sub> = 70°C POWER RATING	T <sub>A</sub> = 85°C POWER RATING	T <sub>A</sub> = 125°C POWER RATING
D	500 mW	5.8 mW/°C	64°C	464 mW	377 mW	N/A
FK	500 mW	11.0 mW/°C	105°C	500 mW	500 mW	275 mW
J	500 mW	11.0 mW/°C	105°C	500 mW	500 mW	275 mW
JG	500 mW	8.4 mW/°C	90°C	500 mW	500 mW	210 mW
P	500 mW	N/A	N/A	500 mW	500 mW	N/A
PS	525 mW	4.2 mW/°C	25°C	338 mW	N/A	N/A
U	500 mW	5.4 mW/°C	57°C	432 mW	351 mW	135 mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



uA741

www.ti.com

SLOS094E - NOVEMBER 1970 - REVISED JANUARY 2015

### 7.3 Electrical Characteristics $\mu\text{A}741\text{C}$ , $\mu\text{A}741\text{M}$

at specified virtual junction temperature,  $V_{CC\pm} = \pm 15\text{V}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T <sub>amb</sub>	$\mu\text{A}741\text{C}$			$\mu\text{A}741\text{M}$			UNIT		
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX			
$V_{io}$	Input offset voltage	$V_B = 0$	25°C	1	6			5	mV		
			Full range		7.5			±15	6		
$\Delta V_{OS(AD)}$	Offset voltage adjust range	$V_B = 0$	25°C	±15				20	200	mV	
$I_{io}$	Input offset current	$V_B = 0$	25°C	20	200			500	nA		
			Full range		300			500			
$I_B$	Input bias current	$V_B = 0$	25°C	80	500			80	500	nA	
			Full range		800			1500			
$V_{CMR}$	Common-mode input voltage range		25°C	±12	±13			±12	±13	V	
			Full range					±12			
$V_{OM}$	Maximum peak output voltage swing	$R_L = 10\text{ k}\Omega$	25°C	±12	±14			±12	±14	V	
		$R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	Full range					±12			
		$R_L = 2\text{ k}\Omega$	25°C	±10				±10	±13		
		$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	Full range					±10			
$A_{VD}$	Large-signal differential voltage amplification	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_o = \pm 10\text{ V}$	25°C	20	200			50	200	V/mV	
			Full range		15			25			
$r_i$	Input resistance		25°C	0.3	2			0.3	2	M $\Omega$	
$r_o$	Output resistance	$V_B = 0$ , See(2)	25°C		75			75		$\Omega$	
$C_i$	Input capacitance		25°C		1.4			1.4		pF	
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_C = V_{CMR}$	25°C	70	90			70	90	dB	
			Full range		70			70			
$k_{SVS}$	Supply voltage sensitivity ( $\Delta V_o/\Delta V_{CC}$ )	$V_{CC} = \pm 9\text{ V to } \pm 15\text{ V}$	25°C		30	150			30	150	$\mu\text{V/V}$
			Full range			150			150		
$I_{OS}$	Short-circuit output current		25°C	±25	±40			±25	±40	mA	
			25°C	1.7	2.8			1.7	2.8	mA	
$I_{CC}$	Supply current	$V_B = 0$ , No load	Full range		3.3			3.3		mA	
$P_D$	Total power dissipation	$V_B = 0$ , No load	25°C		50	85			50	85	mW
			Full range			100			100		

(1) All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode input voltage unless otherwise specified. Full range for the  $\mu\text{A}741\text{C}$  is 0°C to 70°C and the  $\mu\text{A}741\text{M}$  is -55°C to 125°C.

(2) This typical value applies only at frequencies above a few hundred hertz because of the effects of drift and thermal feedback.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## uA741

SLOS094E–NOVEMBER 1970–REVISED JANUARY 2015

www.ti.com

### 7.4 Electrical Characteristics $\mu\text{A741Y}$

at specified virtual junction temperature,  $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise noted)<sup>(1)</sup>

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$\mu\text{A741Y}$			UNIT	
		MIN	TYP	MAX		
$V_{IO}$	Input offset voltage	$V_B = 0$	1	5	mV	
$\Delta V_{OS(1k\Omega)}$	Offset voltage adjust range	$V_B = 0$	$\pm 15$		mV	
$I_{IO}$	Input offset current	$V_B = 0$	20	200	nA	
$I_B$	Input bias current	$V_B = 0$	80	500	nA	
$V_{ICR}$	Common-mode input voltage range		$\pm 12$	$\pm 13$	V	
$V_{OM}$	Maximum peak output voltage swing	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ $R_L = 2\text{ k}\Omega$	$\pm 12$ $\pm 10$	$\pm 14$ $\pm 13$	V	
$A_{VD}$	Large-signal differential voltage amplification	$R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	20	200	V/mV	
$r_i$	Input resistance		0.3	2	M $\Omega$	
$r_o$	Output resistance	$V_B = 0$ , See Fig. 1		75	$\Omega$	
$C_i$	Input capacitance			1.4	pF	
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{COMMON}$	70	9.0	dB	
$k_{SVS}$	Supply voltage sensitivity ( $\Delta V_{IO}/\Delta V_{CC}$ )	$V_{IC} = \pm 9\text{ V to } \pm 15\text{ V}$		30	100	$\mu\text{V/V}$
$I_{OS}$	Short-circuit output current		$\pm 25$	$\pm 40$	mA	
$I_{SC}$	Supply current	$V_B = 0$ , No load	1.7	2.8	mA	
$P_D$	Total power dissipation	$V_B = 0$ , No load	50	85	mW	

(1) This typical value applies only at frequencies above a few hundred hertz because of the effects of drift and thermal feedback.

### 7.5 Switching Characteristics $\mu\text{A741C}$ , $\mu\text{A741M}$

over operating free-air temperature range,  $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$\mu\text{A741C}$			$\mu\text{A741M}$			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$t_r$	Rise time	$V_I = 20\text{ mV}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , $C_L = 100\text{ pF}$ . See Figure 1		0.3		0.3		$\mu\text{s}$
	Overshoot factor			5%		5%		—
SR	Slew rate at unity gain	$V_I = 10\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , $C_L = 100\text{ pF}$ . See Figure 1		0.5		0.5		V/ $\mu\text{s}$

### 7.6 Switching Characteristics $\mu\text{A741Y}$

over operating free-air temperature range,  $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	$\mu\text{A741Y}$			UNIT	
		MIN	TYP	MAX		
$t_r$	Rise time	$V_I = 20\text{ mV}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , $C_L = 100\text{ pF}$ . See Figure 1		0.3		$\mu\text{s}$
	Overshoot factor			5%		—
SR	Slew rate at unity gain	$V_I = 10\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ , $C_L = 100\text{ pF}$ . See Figure 1		0.5		V/ $\mu\text{s}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.7 Typical Characteristics

Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices.

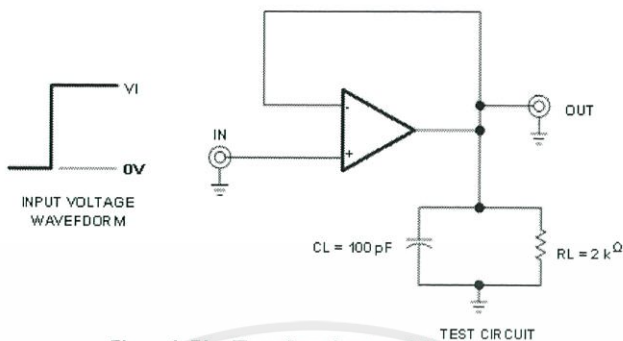
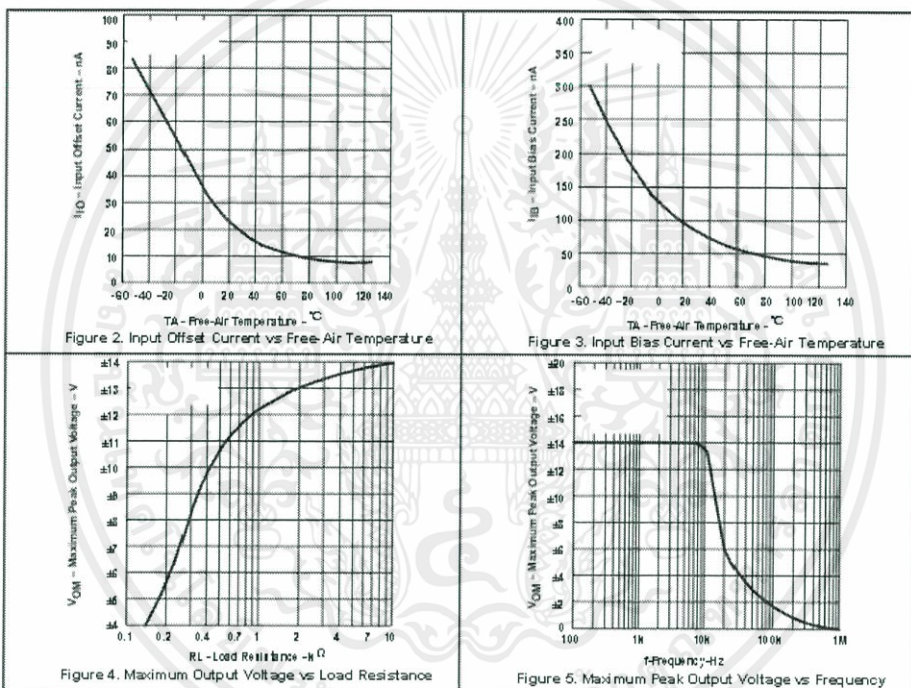


Figure 1. Rise Time, Overshoot, and Slew Rate



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

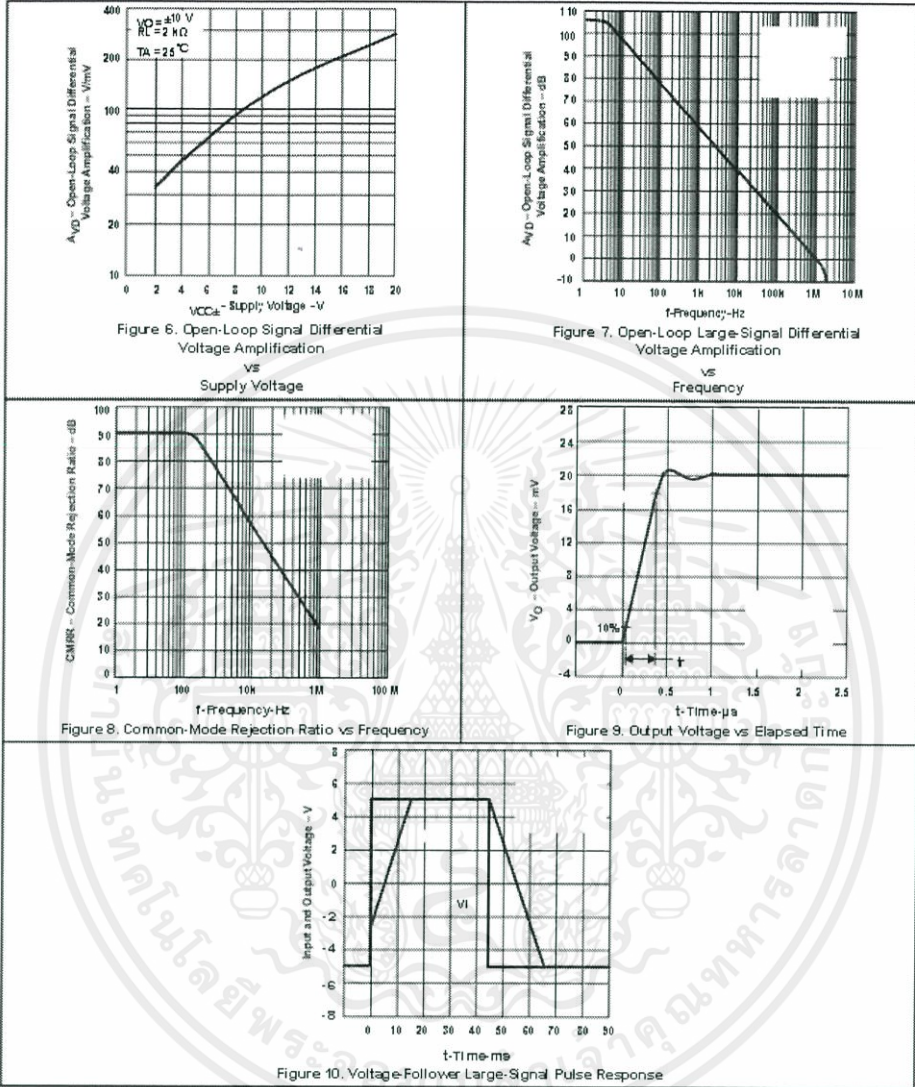
## uA741

SLOS094E - NOVEMBER 1970 - REVISED JANUARY 2015

www.ti.com

## Typical Characteristics (continued)

Data at high and low temperatures are applicable only within the rated operating free-air temperature ranges of the various devices.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8 Detailed Description

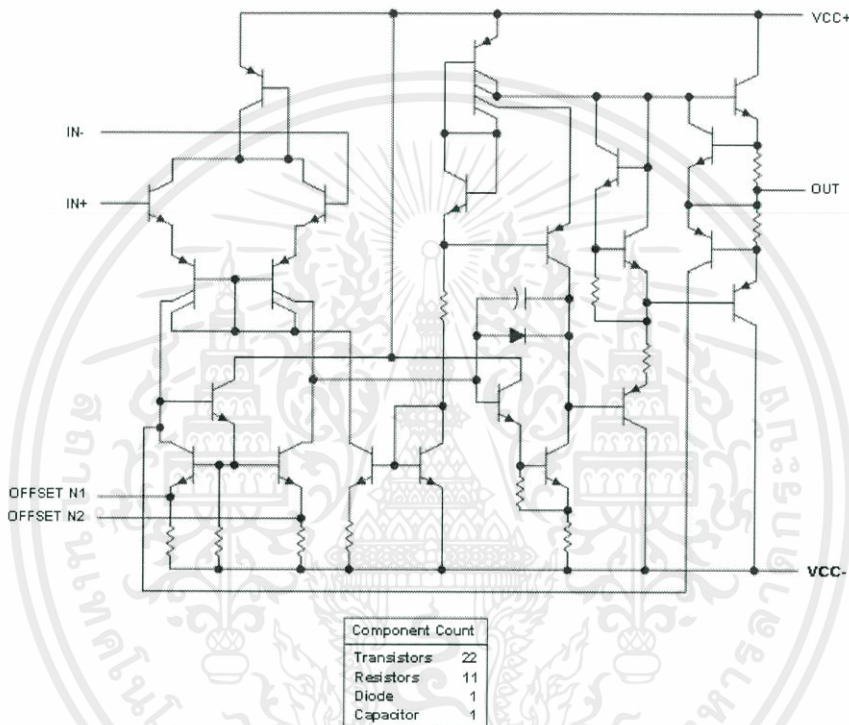
### 8.1 Overview

The  $\mu$ A741 device is a general-purpose operational amplifier featuring offset-voltage null capability.

The high common-mode input voltage range and the absence of latch-up make the amplifier ideal for voltage-follower applications. The device is short-circuit protected and the internal frequency compensation ensures stability without external components. A low value potentiometer may be connected between the offset null inputs to null out the offset voltage as shown in Figure 11.

The  $\mu$ A741C device is characterized for operation from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ . The  $\mu$ A741M device (obsolete) is characterized for operation over the full military temperature range of  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $125^{\circ}\text{C}$ .

### 8.2 Functional Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**uA741**

SLOS004E–NOVEMBER 1970–REVISED JANUARY 2015

www.ti.com

**8.3 Feature Description****8.3.1 Offset-Voltage Null Capability**

The input offset voltage of operational amplifiers (op amps) arises from unavoidable mismatches in the differential input stage of the op-amp circuit caused by mismatched transistor pairs, collector currents, current-gain betas ( $\beta$ ), collector or emitter resistors, etc. The input offset pins allow the designer to adjust for these mismatches by external circuitry. See the *Application and Implementation* section for more details on design techniques.

**8.3.2 SlewRate**

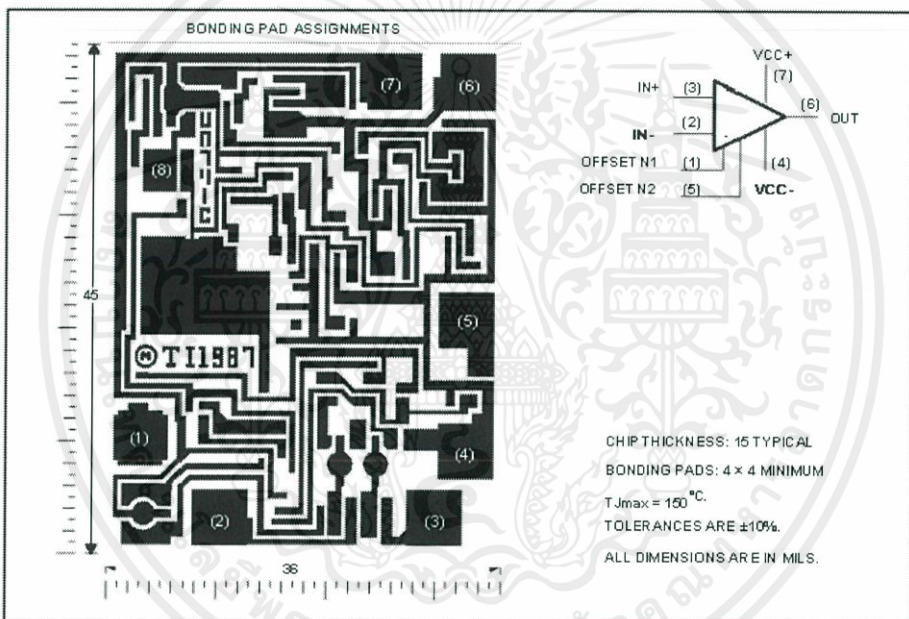
The slew rate is the rate at which an operational amplifier can change its output when there is a change on the input. The  $\mu A741$  has a 0.5-V/ $\mu$ s slew rate. Parameters that vary significantly with operating voltages or temperature are shown in the *Typical Characteristics* graphs.

**8.4 Device Functional Modes**

The  $\mu A741$  is powered on when the supply is connected. It can be operated as a single supply operational amplifier or dual supply amplifier depending on the application.

**8.5  $\mu A741Y$  Chip Information**

This chip, when properly assembled, displays characteristics similar to the  $\mu A741C$ . Thermal compression or ultrasonic bonding may be used on the doped-aluminum bonding pads. Chips may be mounted with conductive epoxy or a gold-silicon preform.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 9 Application and Implementation

### NOTE

Information in the following applications sections is not part of the TI component specification, and TI does not warrant its accuracy or completeness. TI's customers are responsible for determining suitability of components for their purposes. Customers should validate and test their design implementation to confirm system functionality.

### 9.1 Application Information

The input offset voltage of operational amplifiers (op amps) arises from unavoidable mismatches in the differential input stage of the op-amp circuit caused by mismatched transistor pairs, collector currents, current-gain betas ( $\beta$ ), collector or emitter resistors, etc. The input offset pins allow the designer to adjust for these mismatches by external circuitry. These input mismatches can be adjusted by putting resistors or a potentiometer between the inputs as shown in Figure 13. A potentiometer can be used to fine tune the circuit during testing or for applications which require precision offset control. More information about designing using the input-offset pins, see the application note *Nulling Input Offset Voltage of Operational Amplifiers*, SLOA045.

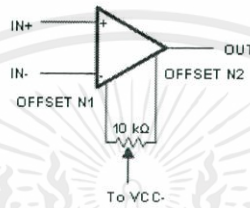


Figure 11. Input Offset Voltage Null Circuit

### 9.2 Typical Application

The voltage follower configuration of the operational amplifier is used for applications where a weak signal is used to drive a relatively high current load. This circuit is also called a buffer amplifier or unity gain amplifier. The inputs of an operational amplifier have a very high resistance which puts a negligible current load on the voltage source. The output resistance of the operational amplifier is almost negligible, so it can provide as much current as necessary to the output load.

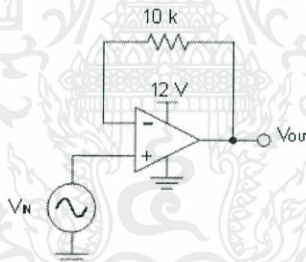


Figure 12. Voltage Follower Schematic

#### 9.2.1 Design Requirements

- Output range of 2 V to 11.5 V
- Input range of 2 V to 11.5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

uA741

SLOS004E–NOVEMBER 1970–REVISED JANUARY 2015

www.ti.com

### Typical Application (continued)

- Resistive feedback to negative input

## 9.2.2 Detailed Design Procedure

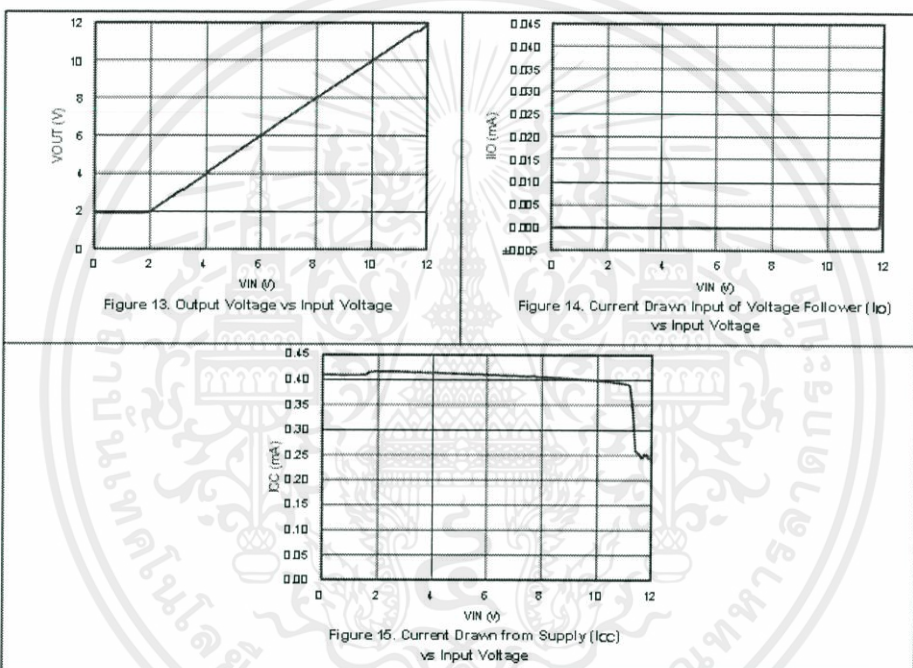
### 9.2.2.1 Output Voltage Swing

The output voltage of an operational amplifier is limited by its internal circuitry to some level below the supply rails. For this amplifier, the output voltage swing is within  $\pm 12$  V, which accommodates the input and output voltage requirements.

### 9.2.2.2 Supply and Input Voltage

For correct operation of the amplifier, neither input must be higher than the recommended positive supply rail voltage or lower than the recommended negative supply rail voltage. The chosen amplifier must be able to operate at the supply voltage that accommodates the inputs. Because the input for this application goes up to 11.5 V, the supply voltage must be 12 V. Using a negative voltage on the lower rail rather than ground allows the amplifier to maintain linearity for inputs below 2 V.

## 9.2.3 Application Curves for Output Characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 10 Power Supply Recommendations

The  $\mu$ A741 is specified for operation from  $\pm 5$  to  $\pm 15$  V; many specifications apply from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ . The *Typical Characteristics* section presents parameters that can exhibit significant variance with regard to operating voltage or temperature.

### CAUTION

Supply voltages larger than  $\pm 18$  V can permanently damage the device (see the *Absolute Maximum Ratings*).

Place 0.1- $\mu\text{F}$  bypass capacitors close to the power-supply pins to reduce errors coupling in from noisy or high impedance power supplies. For more detailed information on bypass capacitor placement, refer to the *Layout Guidelines*.

## 11 Layout

### 11.1 Layout Guidelines

For best operational performance of the device, use good PCB layout practices, including:

- Noise can propagate into analog circuitry through the power pins of the circuit as a whole and the operational amplifier. Bypass capacitors are used to reduce the coupled noise by providing low impedance power sources local to the analog circuitry.
  - Connect low-ESR, 0.1- $\mu\text{F}$  ceramic bypass capacitors between each supply pin and ground, placed as close to the device as possible. A single bypass capacitor from V+ to ground is applicable for single supply applications.
- Separate grounding for analog and digital portions of circuitry is one of the simplest and most-effective methods of noise suppression. One or more layers on multilayer PCBs are usually devoted to ground planes. A ground plane helps distribute heat and reduces EMI noise pickup. Make sure to physically separate digital and analog grounds, paying attention to the flow of the ground current. For more detailed information, refer to *Circuit Board Layout Techniques*, SLOA089.
- To reduce parasitic coupling, run the input traces as far away from the supply or output traces as possible. If it is not possible to keep them separate, it is much better to cross the sensitive trace perpendicular as opposed to in parallel with the noisy trace.
- Place the external components as close to the device as possible. Keeping RF and RG close to the inverting input minimizes parasitic capacitance, as shown in *Layout Example*.
- Keep the length of input traces as short as possible. Always remember that the input traces are the most sensitive part of the circuit.
- Consider a driven, low-impedance guard ring around the critical traces. A guard ring can significantly reduce leakage currents from nearby traces that are at different potentials.

### 11.2 Layout Example

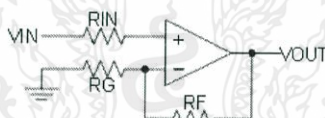


Figure 16. Operational Amplifier Schematic for Noninverting Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

uA741

SLOS094E–NOVEMBER 1970–REVISED JANUARY 2015

www.ti.com

## Layout Example (continued)

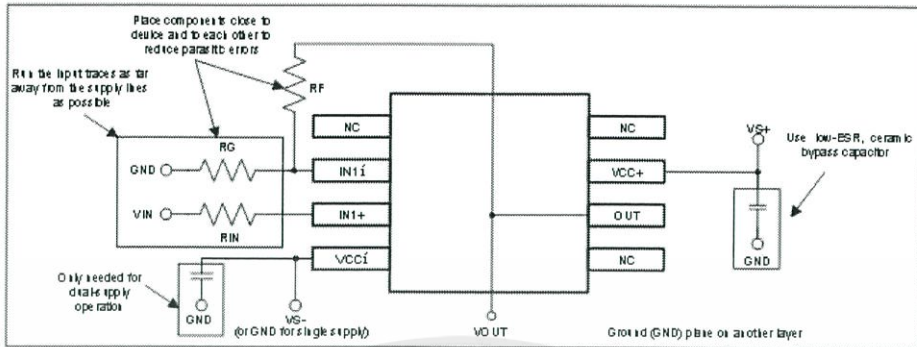


Figure 17. Operational Amplifier Board Layout for Noninverting Configuration

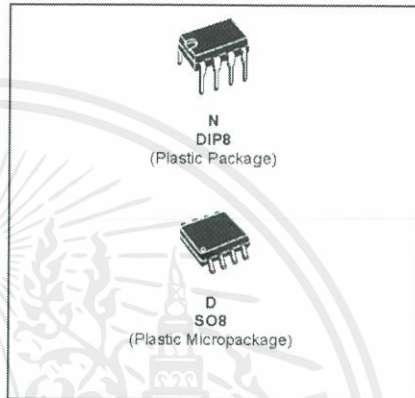
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**LF151  
LF251 - LF351**

**WIDE BANDWIDTH  
SINGLE J-FET OPERATIONAL AMPLIFIER**

- INTERNALLY ADJUSTABLE INPUT OFFSET VOLTAGE
- LOW POWER CONSUMPTION
- WIDE COMMON-MODE (UP TO  $V_{CC}^+$ ) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE: 16V/μs (typ)



**DESCRIPTION**

These circuits are high speed J-FET input single-operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

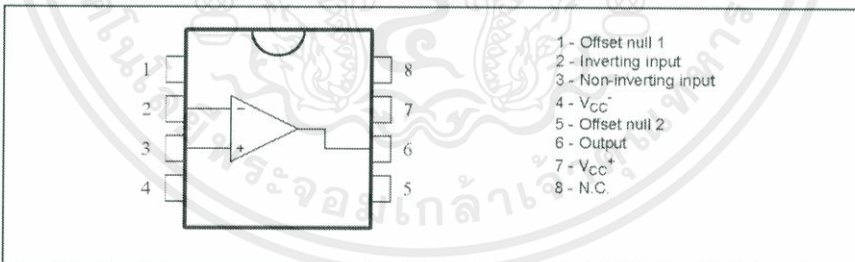
The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

**ORDER CODE**

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
LF351	0°C, +70°C	•	•
LF251	-40°C, +105°C	•	•
LF151	-55°C, +125°C	•	•

N = Dual in Line Package (DIP)  
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

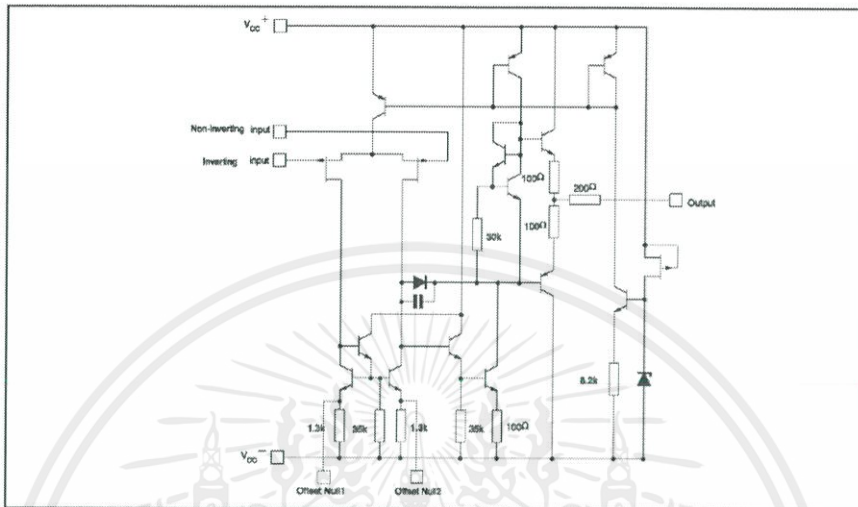
**PIN CONNECTIONS (top view)**



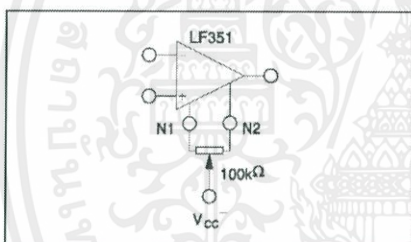
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF151 - LF251 - LF351

SCHEMATIC DIAGRAM



INPUT OFFSET VOLTAGE NULL CIRCUIT



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	LF151	LF251	LF351	Unit
$V_{cc}$	Supply voltage - note 1)		±18		V
$V_i$	Input Voltage - note 2)		±15		V
$V_{id}$	Differential Input Voltage - note 3)		±30		V
$P_{tot}$	Power Dissipation		680		mW
	Output Short-circuit Duration - note 4)		Infinite		
$T_{oper}$	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range		-65 to +150		°C

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between  $V_{cc+}$  and  $V_{cc-}$ .
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LF151 - LF251 - LF351

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = \pm 15V$ ,  $T_{amb} = +25^{\circ}C$  (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{io}$	Input Offset Voltage ( $R_S = 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		3	10 13	mV
$DV_{io}$	Input Offset Voltage Drift		10		$\mu V/^{\circ}C$
$I_{io}$	Input Offset Current- note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	100 4	pA nA
$I_{ib}$	Input Bias Current -note 1 $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	200 20	nA
$A_{vd}$	Large Signal Voltage Gain ( $R_L = 2k\Omega$ , $V_o = \pm 10V$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ( $R_G = 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		dB
$I_{cc}$	Supply Current, no load $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.4	3.4 3.4	mA
$V_{icm}$	Input Common Mode Voltage Range	$\pm 11$	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ( $R_G = 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 70	86		dB
$I_{os}$	Output Short-circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10 10	40	60 60	mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	$R_L = 2k\Omega$ 10 $R_L = 10k\Omega$ 12 $R_L = 2k\Omega$ 10 $R_L = 10k\Omega$ 12	12 13.5		V
SR	Slew Rate $V_i = 10V$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , $T_{amb} = +25^{\circ}C$ , unity gain	12	16		V/ $\mu s$
$t_r$	Rise Time $V_i = 20mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , $T_{amb} = +25^{\circ}C$ , unity gain		0.1		$\mu s$
$K_{ov}$	Overshoot $V_i = 20mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , $T_{amb} = +25^{\circ}C$ , unity gain		10		%
GBP	Gain Bandwidth Product $f = 100kHz$ , $T_{amb} = +25^{\circ}C$ , $V_{in} = 10mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$	2.5	4		MHz
$R_i$	Input Resistance		$10^{12}$		$\Omega$
THD	Total Harmonic Distortion ( $f = 1kHz$ , $A_v = 20dB$ $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , $T_{amb} = +25^{\circ}C$ , $V_o = 2V_{pp}$ )		0.01		
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage $R_S = 100\Omega$ , $f = 1kHz$		15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
$\phi_m$	Phase Margin		45		Degrees

1. The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10 $^{\circ}C$  increase in the junction temperature.

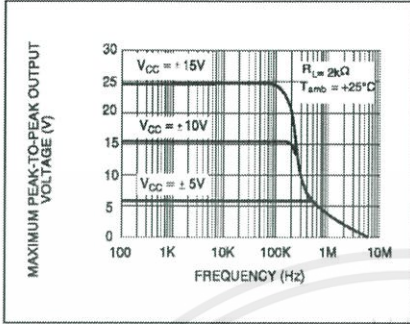
## MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT



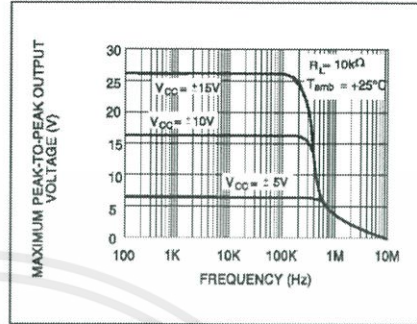
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF151 - LF251 - LF351

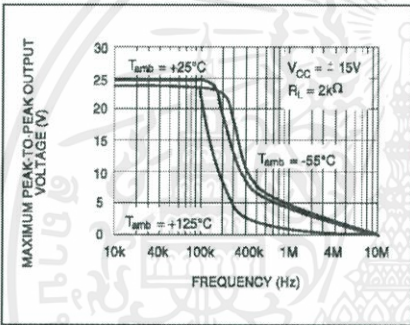
VOLTAGE versus FREQUENCY



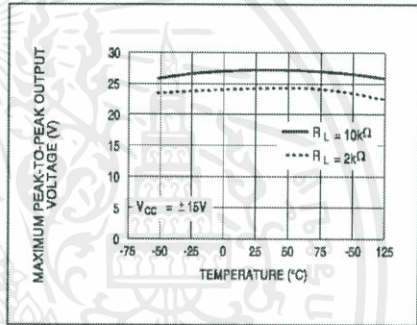
VOLTAGE versus FREQUENCY



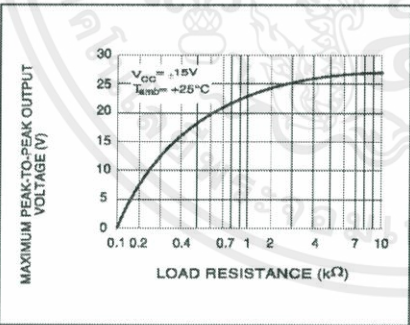
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY



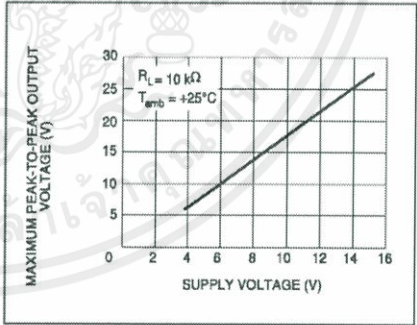
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREE AIR TEMP.



MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus LOAD RESISTANCE



MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus SUPPLY VOLTAGE



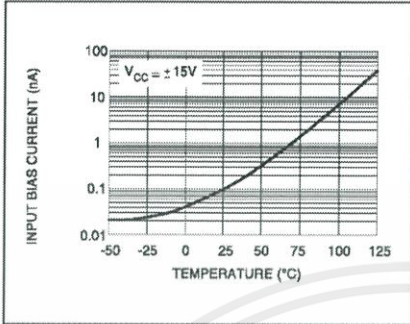
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT

INPUT BIAS CURRENT versus FREE AIR

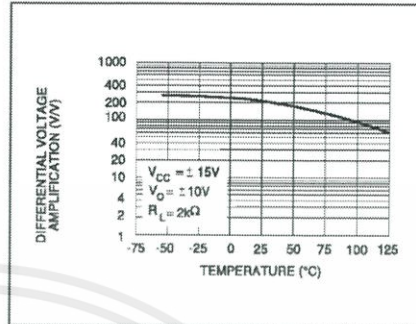


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

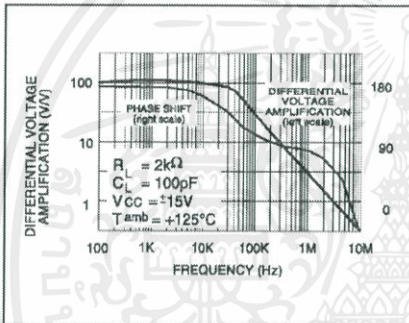
TEMPERATURE



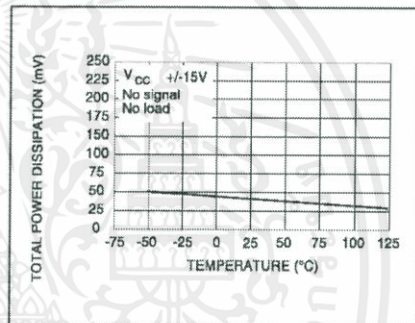
AMPLIFICATION versus FREE AIR TEMP.



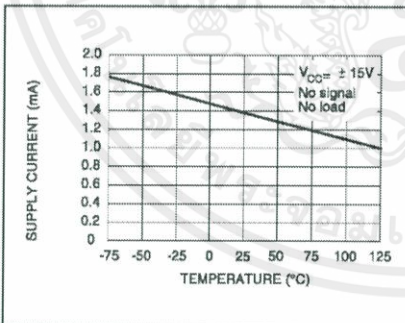
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION AND PHASE SHIFT versus FREQUENCY



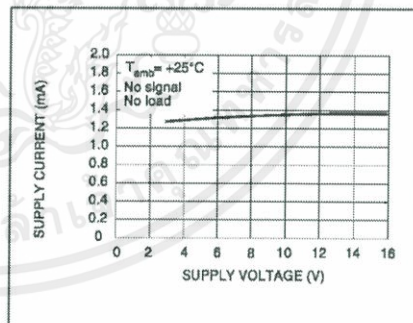
TOTAL POWER DISSIPATION versus FREE AIR TEMPERATURE



SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER versus FREE AIR TEMPERATURE



SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER versus SUPPLY VOLTAGE



LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE

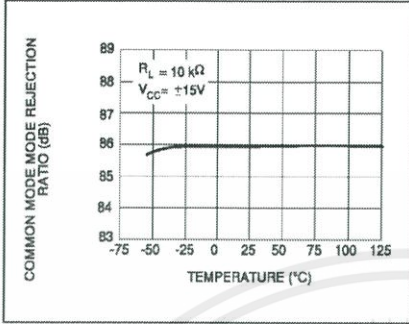


COMMON MODE REJECTION RATIO versus

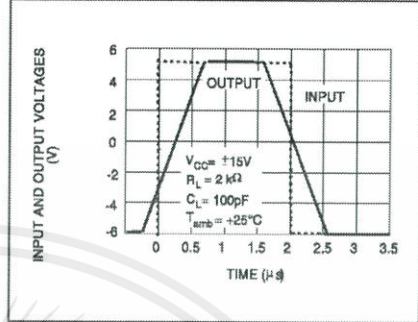
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LF151 - LF251 - LF351

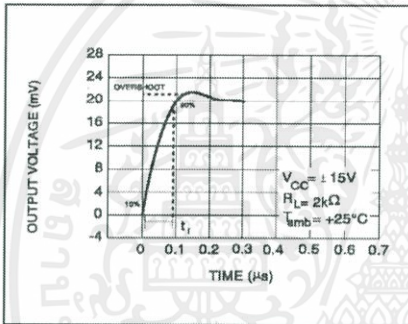
FREE AIR TEMPERATURE



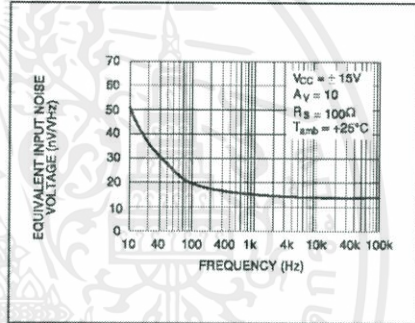
VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE



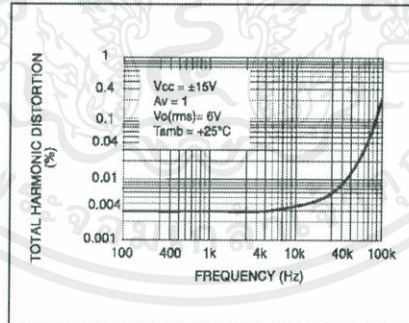
OUTPUT VOLTAGE versus ELAPSED TIME



EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE versus FREQUENCY



TOTAL HARMONIC DISTORTION versus FREQUENCY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower

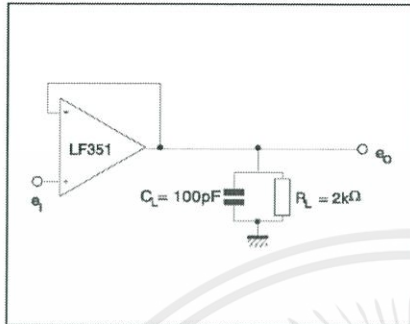
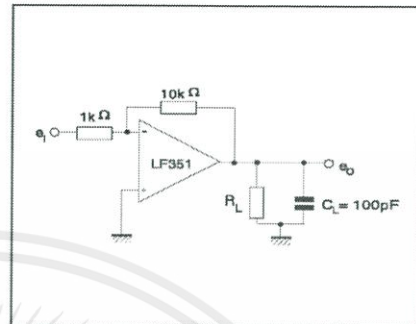
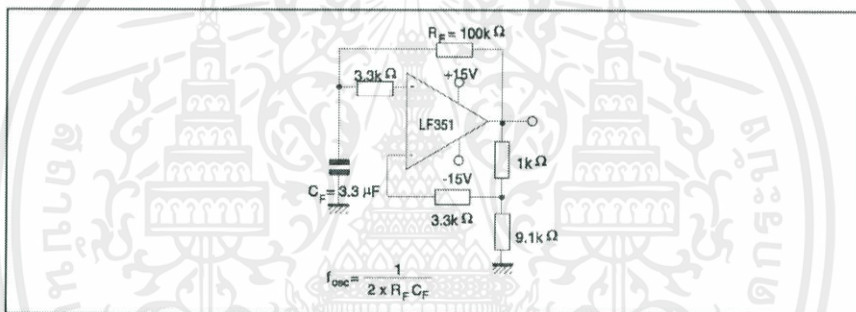


Figure 2 : Gain-of-10 inverting amplifier

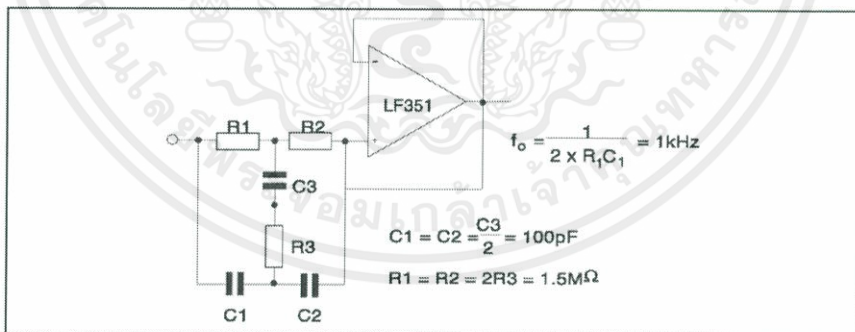


## TYPICAL APPLICATION

(0.5 Hz) SQUARE WAVE OSCILLATOR



## HIGH Q NOTCH FILTER

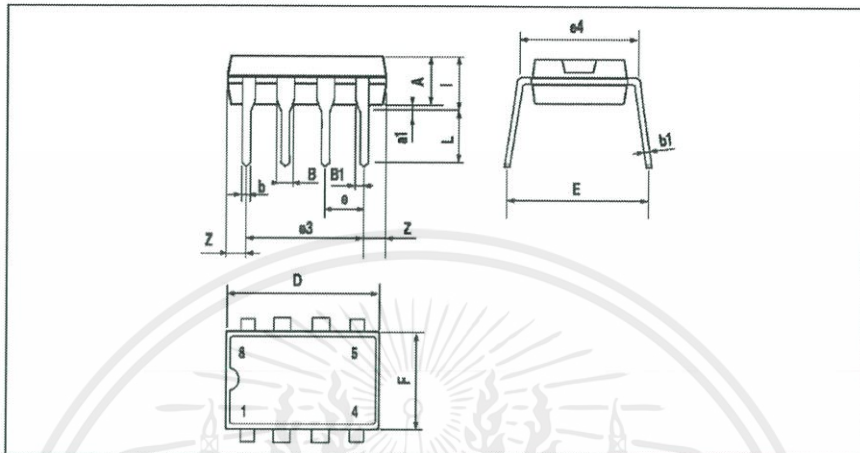


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LF151 - LF251 - LF351

## PACKAGE MECHANICAL DATA

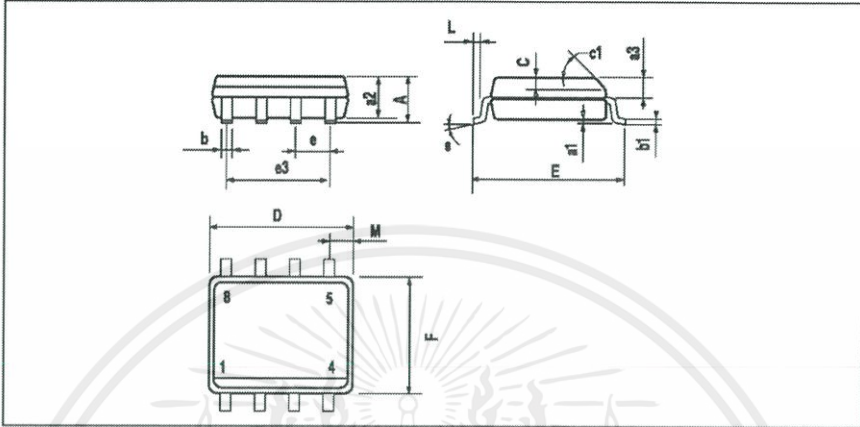
8 PINS - PLASTIC DIP



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32		0.020	0.131	
a1	0.51			0.045		0.065
B	1.15		1.65	0.014		0.022
b	0.356		0.55	0.008		0.012
b1	0.204		0.304			0.430
D			10.92			0.384
E	7.95		9.75	0.100		
e		2.54		0.300		
e3		7.62		0.300		
e4		7.62				
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PACKAGE MECHANICAL DATA**  
8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1,75			0,069
a1	0,1		0,25	0,004		0,010
a2			1,65			0,065
a3	0,65		0,85	0,026		0,033
b	0,35		0,48	0,014		0,019
b1	0,19		0,25	0,007		0,010
C	0,25		0,5	0,010		0,020
c1	45° (typ)					
D	4,8		5,0	0,189		0,197
E	5,8		6,2	0,228		0,244
e		1,27			0,050	
e3		3,81			0,150	
F	3,8		4,0	0,150		0,157
L	0,4		1,27	0,016		0,050
M			0,6			0,024
S	8° (max)					

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved  
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Italy - Japan - Malaysia - Malta - Morocco  
Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom  
© <http://www.st.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Features and Benefits

- Low-noise analog signal path
- Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- 5  $\mu$ s output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth
- Total output error 1.5% at  $I_A = 25^\circ\text{C}$
- Small footprint, low-profile SOIC8 package
- 1.2 m $\Omega$  internal conductor resistance
- 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8
- 5.0 V, single supply operation
- 66 to 185 mV/A output sensitivity
- Output voltage proportional to AC or DC currents
- Factory-trimmed for accuracy
- Extremely stable output offset voltage
- Nearly zero magnetic hysteresis
- Ratiometric output from supply voltage

### Description

The Allegro™ ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switch-mode power supplies, and overcurrent fault protection. The device is not intended for automotive applications.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall circuit with a copper conduction path located near the surface of the die. Applied current flowing through this copper conduction path generates a magnetic field which the Hall IC converts into a proportional voltage. Device accuracy is optimized through the close proximity of the magnetic signal to the Hall transducer. A precise, proportional voltage is provided by the low-offset, chopper-stabilized BiCMOS Hall IC, which is programmed for accuracy after packaging.

The output of the device has a positive slope ( $>V_{IOUT(Q)}$ ) when an increasing current flows through the primary copper conduction path (from pins 1 and 2, to pins 3 and 4), which is the path used for current sampling. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m $\Omega$  typical, providing low power loss. The thickness of the copper conductor allows survival of

*Continued on the next page...*

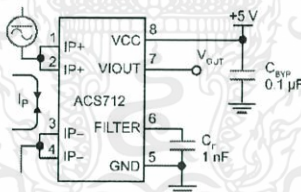


Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1

### Typical Application



Application 1. The ACS712 outputs an analog signal,  $V_{IOUT}$ , that varies linearly with the uni- or bi-directional AC or DC primary sampled current,  $I_p$ , within the range specified.  $C_b$  is recommended for noise management, with values that depend on the application.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ACS712

### Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

#### Description (continued)

the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the signal leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 to be used in applications requiring electrical isolation without the use of opto-isolators or other costly isolation techniques.

The ACS712 is provided in a small, surface mount SOIC8 package. The leadframe is plated with 100% matte tin, which is compatible with standard lead (Pb) free printed circuit board assembly processes. Internally, the device is Pb-free, except for flip-chip high-temperature Pb-based solder balls, currently exempt from RoHS. The device is fully calibrated prior to shipment from the factory.

#### Selection Guide

Part Number	Packing*	T <sub>A</sub> (°C)	Optimized Range, I <sub>P</sub> (A)	Sensitivity, Sens (Typ) (mV/A)
ACS712ELCTR-05B-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±5	185
ACS712ELCTR-20A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±20	100
ACS712ELCTR-30A-T	Tape and reel, 3000 pieces/reel	-40 to 85	±30	66

\*Contact Allegro for additional packing options.

#### Absolute Maximum Ratings

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		8	V
Reverse Supply Voltage	V <sub>RECC</sub>		-0.1	V
Output Voltage	V <sub>OUT</sub>		8	V
Reverse Output Voltage	V <sub>REOUT</sub>		-0.1	V
Output Current Source	I <sub>OUT(SOURCE)</sub>		3	mA
Output Current Sink	I <sub>OUT(SINK)</sub>		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I <sub>OC</sub>	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T <sub>A</sub>	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T <sub>J(MAX)</sub>		165	°C
Storage Temperature	T <sub>STG</sub>		-65 to 170	°C

#### Isolation Characteristics

Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Unit
Dielectric Strength Test Voltage*	V <sub>ISO</sub>	Agency type-tested for 60 seconds per UL standard 60950-1, 1st Edition	2100	VAC
Working Voltage for Basic Isolation	V <sub>W(BIST)</sub>	For basic (single) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	354	VDC or V <sub>DC</sub>
Working Voltage for Reinforced Isolation	V <sub>W(RIFR)</sub>	For reinforced (double) isolation per UL standard 60950-1, 1st Edition	184	VDC or V <sub>DC</sub>

\* Allegro does not conduct 60-second testing. It is done only during the UL certification process.

Parameter	Specification
Fire and Electric Shock	CAN/CSA-C22.2 No. 60950-1-03 UL 60950-1 2003 EN 60950-1 2001



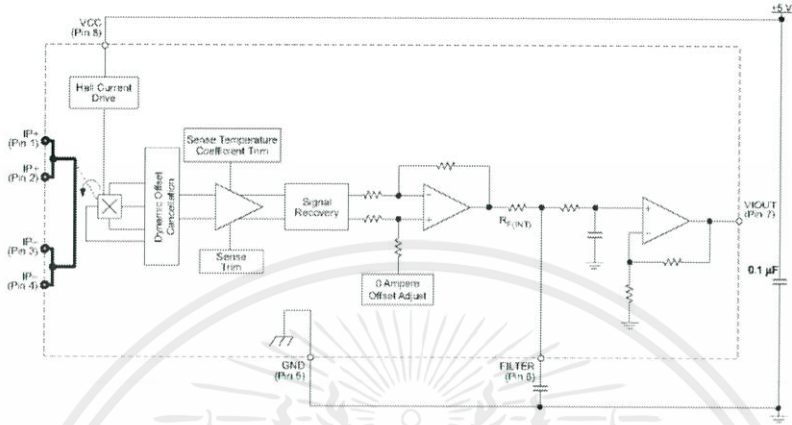
Allegro Microsystems, LLC  
115 Northland Court  
Worcester, Massachusetts 01418-0028 U.S.A.  
1-508-953-5000, www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

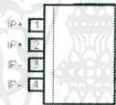
# ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Functional Block Diagram



Pin-out Diagram



Terminal List Table

Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled, fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled, fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal



Allegro MicroSystems, LLC  
115 Northeast Cuttiff  
Worcester, Massachusetts 01015-0026 U.S.A.  
1.508.653.5600 www.allegromicro.com

3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current ConductorCOMMON OPERATING CHARACTERISTICS<sup>1</sup> over full range of  $T_A$ ,  $C_F = 1$  nF, and  $V_{CC} = 5$  V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>						
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	$C_{LOAD}$	VIOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	$R_{LOAD}$	VIOUT to GND	4.7	–	–	k $\Omega$
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m $\Omega$
Rise Time	$t_r$	$I_P = I_P(\text{max})$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $C_{LOAD} = \text{open}$	–	3.5	–	$\mu\text{s}$
Frequency Bandwidth	$f$	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$ ; $I_P$ is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	$E_{LN}$	Over full range of $I_P$	–	1.5	–	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_P$	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(IG)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	$t_{PO}$	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$ , 20 A present on leadframe	–	35	–	$\mu\text{s}$
Magnetic Coupling <sup>3</sup>			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance <sup>3</sup>	$R_{F(INT)}$			1.7		k $\Omega$

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient,  $T_A$ , and internal leadframe temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_J(\text{max})$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>IG = 0.1 mT.

<sup>3</sup> $R_{F(INT)}$  forms an RC circuit via the FILTER pin.

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS<sup>1</sup>

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	$T_A$	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
Junction-to-Lead Thermal Resistance <sup>2</sup>	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro A5EK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

<sup>1</sup>Additional thermal information is available on the Allegro website.

<sup>2</sup>The Allegro evaluation board has 1500 mm<sup>2</sup> of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.



Allegro MicroSystems, LLC  
115 Northland Court  
Woburn, Massachusetts 01815-0028 U.S.A.  
1-508-653-5600; www.allegromicro.com

4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor**x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup>**  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$ ,  $C_F = 1\text{ nF}$ , and  $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-5	-	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	21	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(IG)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.26	-	mV/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.08	-	mV/°C
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.054	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.008	-	mV/A/°C
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 5\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_{\text{J(max)}}$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 5\text{ A}$ . Output filtered.

**x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup>**  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$ ,  $C_F = 1\text{ nF}$ , and  $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(IG)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.34	-	mV/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.07	-	mV/°C
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.017	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.004	-	mV/A/°C
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 20\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_{\text{J(max)}}$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 20\text{ A}$ . Output filtered.

**x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup>**  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$ ,  $C_F = 1\text{ nF}$ , and  $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(IG)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.35	-	mV/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.06	-	mV/°C
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.007	-	mV/A/°C
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.002	-	mV/A/°C
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 30\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_{\text{J(max)}}$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 30\text{ A}$ . Output filtered.



Allegro Microsystems, LLC  
115 Northland Circle  
Worcester, Massachusetts 01615-0028 U.S.A.  
1-508-655-5500; www.allegromicro.com

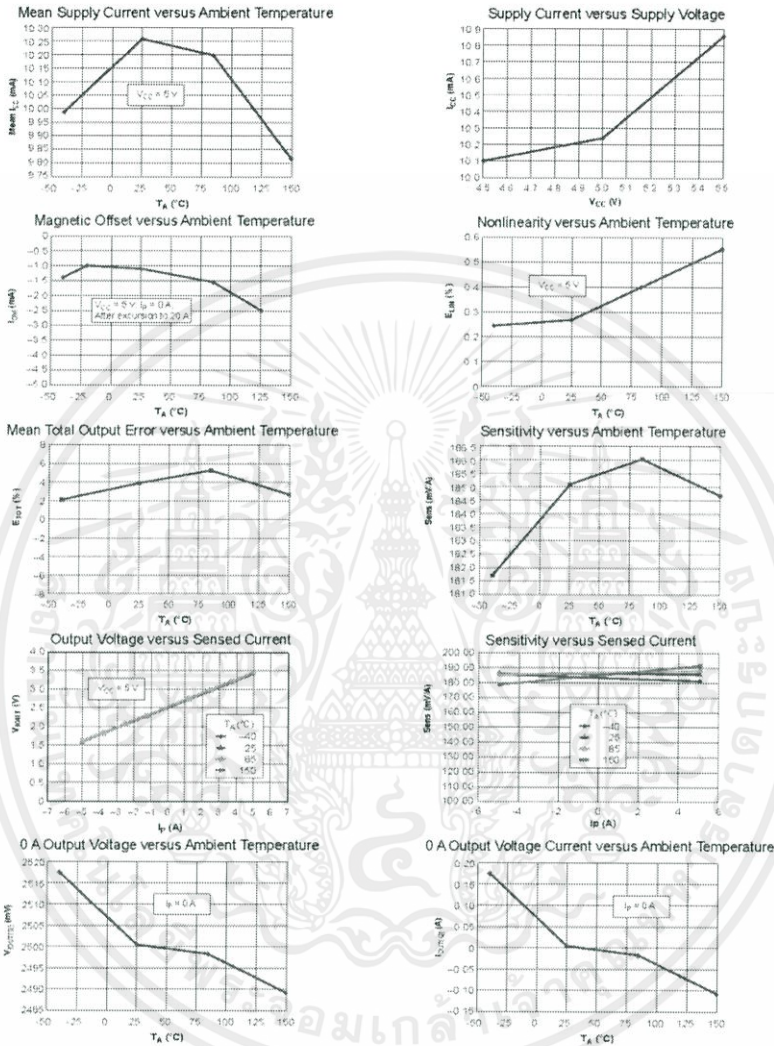
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Characteristic Performance

$I_p = 5\text{ A}$ , unless otherwise specified



Allegro MicroSystems, LLC  
155 Northland Court  
Worcester, Massachusetts 01615-0018 U.S.A.  
1.508.555.5500, www.allegromicro.com

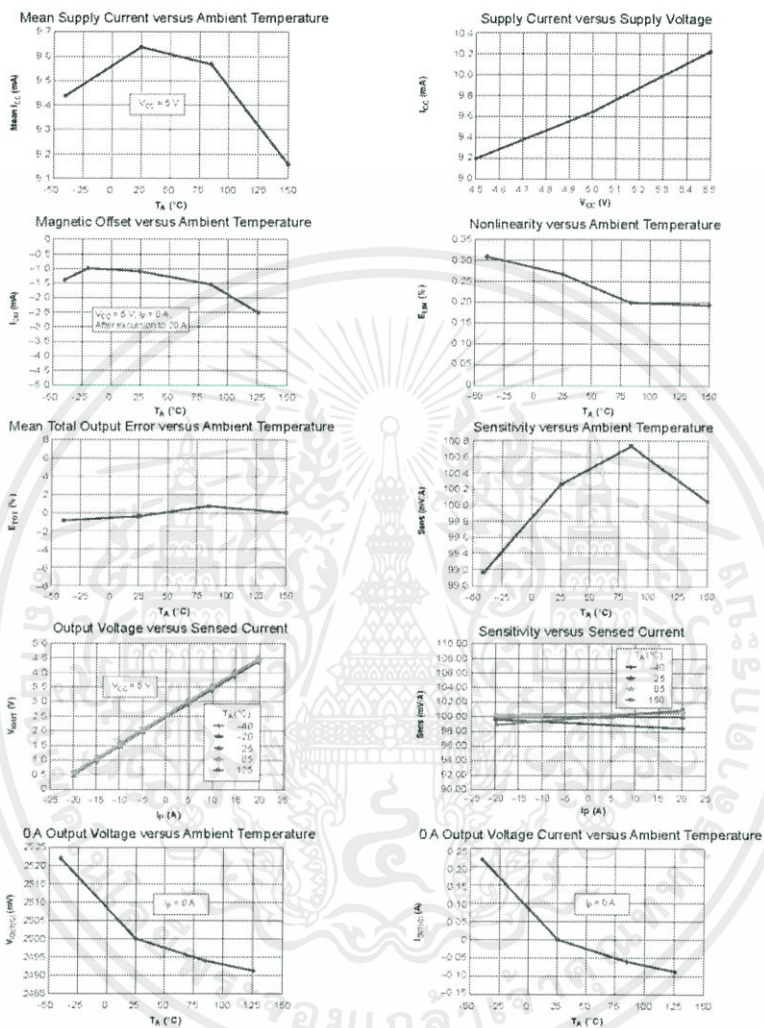
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ACS712

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

### Characteristic Performance

$I_p = 20\text{ A}$ , unless otherwise specified



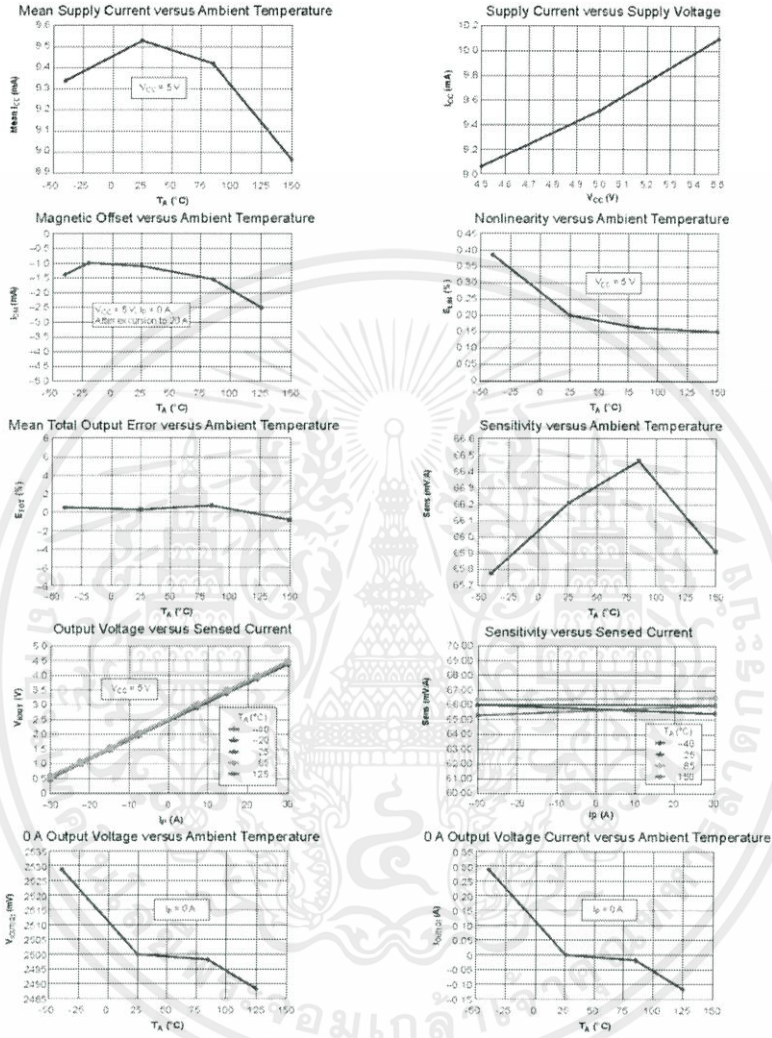
Allegro MicroSystems, LLC  
115 Northeast Corridor  
Woburn, Massachusetts 01815-0028 U.S.A.  
1-508-655-5500; www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

Characteristic Performance  
 $I_p = 30\text{ A}$ , unless otherwise specified



Allegro MicroSystems, LLC  
 115 Northland Court  
 Worcester, Massachusetts 01615-0058 U.S.A.  
 1.508.653.6550; www.allegromicro.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ET-WiFly GSX

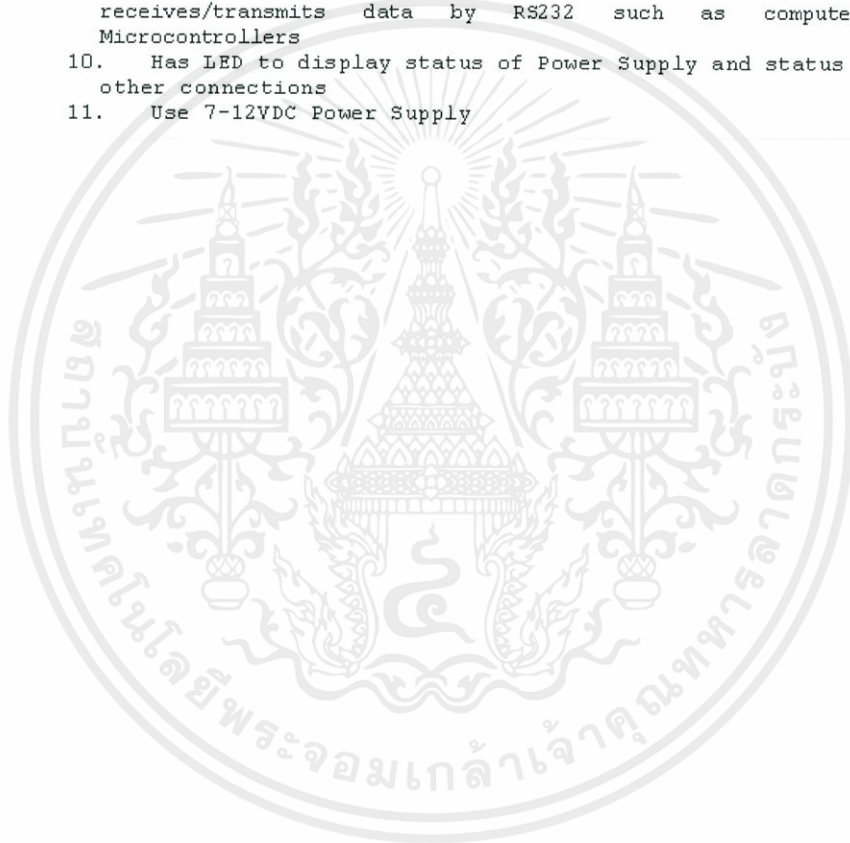


ET-WiFly GSX is equipment to convert data system from Wireless LAN to RS232. There are 2 sides; one side is RS232 Serial Port Communication and another one side is Wireless LAN. This ET-WiFly GSX converts data for the communication of RS232 device and Wireless LAN device. It reduces difficulty in communication through Wireless LAN because user does not waste time to learn much information about transmitting/receiving data through Wireless LAN but user can interface and communicate data through Wireless LAN efficiently.

ET-WiFly GSX is suitable to modify and adapt for the communication through Wireless LAN, especially between Microcontroller and other devices in the same network such as computer or Smartphone such as Iphone, Android Phone, or Windows Phone. In this case, it interfaces ET-WiFly GSX on the side of RS232 Serial Port Communication with Microcontroller Systems; next, setup configurations of ET-WiFly GSX to use with Wireless LAN of user; and finally, user can communicate data through Wireless LAN successfully.

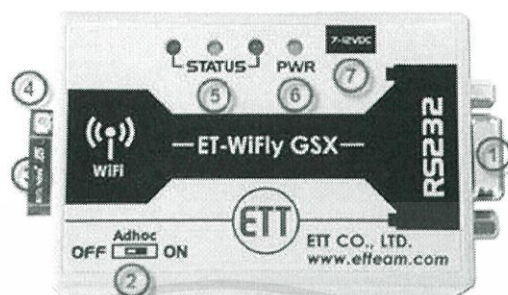
**Specifications of ET-WiFly GSX**

1. Use Module RN-131C from Roving Networks
2. Use 2.4GHz Frequency standard IEEE 802.11b/g
3. Use ceramic chip antenna and has Connector U.FL to interface with external antenna
4. Support various communications such as DHCP, UDP, DNS, ARP, ICMP, TCP, sockets
5. Support communication as Adhoc Mode(Peer to Peer)
6. Has security system to protect the communication as WEP-128, WPA-PSK(TEMP), WPA2-PSK(AES)
7. Has standard MAC Address inside the product
8. Can setup Configurations through WiFi by Telnet or RS232
9. Has connecting point of Serial Port(RS2323); it uses Connector DB9 FEMALE to interface with device that receives/transmits data by RS232 such as computer or Microcontrollers
10. Has LED to display status of Power Supply and status of other connections
11. Use 7-12VDC Power Supply



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### External Feature of ET-WiFly GSX



- **No.1:** It is Connector DB9 RS232 FEMALE that is used to interface with device for transmitting/receiving data by RS232 such as computer or Microcontrollers.
- **No.2:** It is Switch to choose the operation mode as Adhoc Mode; or it clears Configurations of Module and returns to the default value that is set by manufacturer.
- **No.3:** It is Ceramic Chip Antenna of Module.
- **No.4:** It is Connector U.FL to interface with external antenna.
- **No.5:** It is LED STATUS to display status of ET-WiFly GSX.
- **No.6:** It is LED PWR to display the status of Power Supply to notify that it has supplied power to ET-WiFly GSX.
- **No.7:** It is Connector DC-JACK that is used to receive external 7-12VDC Power Supply. User can arrange Connector in any format because there is Circuit Converter for Connector Power Supply internal ET-WiFly GSX.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**LED Display of ET-WiFly GSX**

There are 4 LEDs to display status of ET-WiFly GSX as follows;

- **LED PWR:** It displays status of external Power Supply that is interfaced with ET-WiFly GSX. This LED will shine (ON) when it supplies power into ET-WiFly GSX completely.
- **LED STATUS:** There are 3 colored LEDs that are red, yellow, and green. These LEDs display status as shown in the table below;

Condition	Red LED	Yellow LED	Green LED
ON solid			Connected over TCP
Fast blink	Not Associated	Rx/Tx data transfer	No IP address
Slow blink	Associated, No Internet		IP address OK
OFF	Associated, Internet OK		

Table 1 displays status of LED STATUS.

**How to communicate with ET-WiFly GSX**

If it communicates with ET-WiFly GSX, it is connected through RS232 Serial Port Communication by using Connector DB9 FEMALE according to the standard RS232-DCE; so, it can be directly interfaced with standard Signal RS232-DCE by using Cable DB9 instantly. All signals at this Connector DB9 has been converted through Circuit Line Driver from Signal Logic from Module to standard Signal RS232 completely; so, user can directly interface with RS232 (ComPort) of computer PC, without alternating any cable. There are 5 Cables for interfacing with ET-WiFly GSX. However, user can interface all 5 Cables at the same time or user only interfaces 3 Cables (RXD, TXD and GND) as required; in this case, it can be setup by Configuration. Pin of RS232 Interface is shown in Table 2 and Table 3 below;

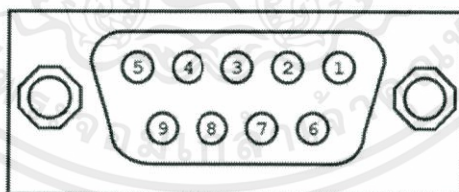


Figure 2 shows pin position of RS232 (DB9 FEMALE) of ET-WiFly GSX.

DB9 Female(ET-WiFly GSX)		Signal Direction	DB9 Male (Computer PC)	
Pin	Signal		Signal	Pin
1	NC		DCD	1
2	TXD	↗	RXD	2
3	RXD	↘	TXD	3
4	NC		DTR	4
5	GND	—	GND	5
6	NC		DSR	6
7	RTS	↘	RTS	7
8	CTS	↗	CTS	8
9	NC		RI	9

Table 2 shows how to interface Cables between ET-WiFly GSX and computer PC.

DB9 Female(ET-WiFly GSX)		Signal Direction	Microcontroller
Pin	Signal		Signal
2	TXD	↗	RXD
3	RXD	↘	TXD
5	GND	—	GND

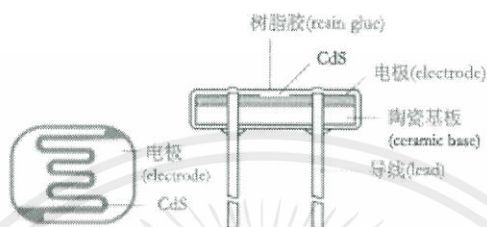
Table 3 shows how to interface Cables between ET-WiFly GSX and Microcontroller.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## GL55 Series Photoresistor

Photoresistor is a resistor which made of semi-conductor material, and the conductance changes with luminance variation. The photoresistor can be manufactured with different figures and illuminated area based on this characteristic. Photoresistor is widely used in many industries, such as toys, lamps, camera, etc.

## Schematic Drawing



## Performances and Features

Coated with epoxy	Good reliability
Small volume	High sensitivity
Fast response	Good spectrum characteristic

## Typical Applications

Camera automatic photometry	Photoelectric control
Indoor ray control	Annunciator
Industrial control	Light control switch
Light control lamp	Electronic toy

## Types and Specifications

Specification	Type	Max. Voltage	Max. power	Environmental temp.	Spectrum peak value
Φ5 series	GL5516	150	90	-30~+70	540
	GL5528	150	100	-30~+70	540
	GL5537-1	150	100	-30~+70	540
	GL5537-2	150	100	-30~+70	540
	GL5539	150	100	-30~+70	540
	GL5549	150	100	-30~+70	540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Specification	Light resistance (10Lux) (K $\Omega$ )	Dark resistance (M $\Omega$ )	$\gamma_{10}^{100}$	Response time (ms)		Illuminance resistance Fig. No.
				Increase	Decrease	
Φ5 series	5-10	0.5	0.5	30	30	2
	10-20	1	0.6	20	30	3
	20-30	2	0.6	20	30	4
	30-50	3	0.7	20	30	4
	50-100	5	0.8	20	30	5
	100-200	10	0.9	20	30	6

### Test Conditions

**Max. external voltage:** Maximum voltage to be continuously given to component in the dark.

**Dark resistance:** Refer to the resistance ten seconds after the 10Lux light is shut up.

**Max. power consumption:** Maximum power at the environmental temperature 25°C.

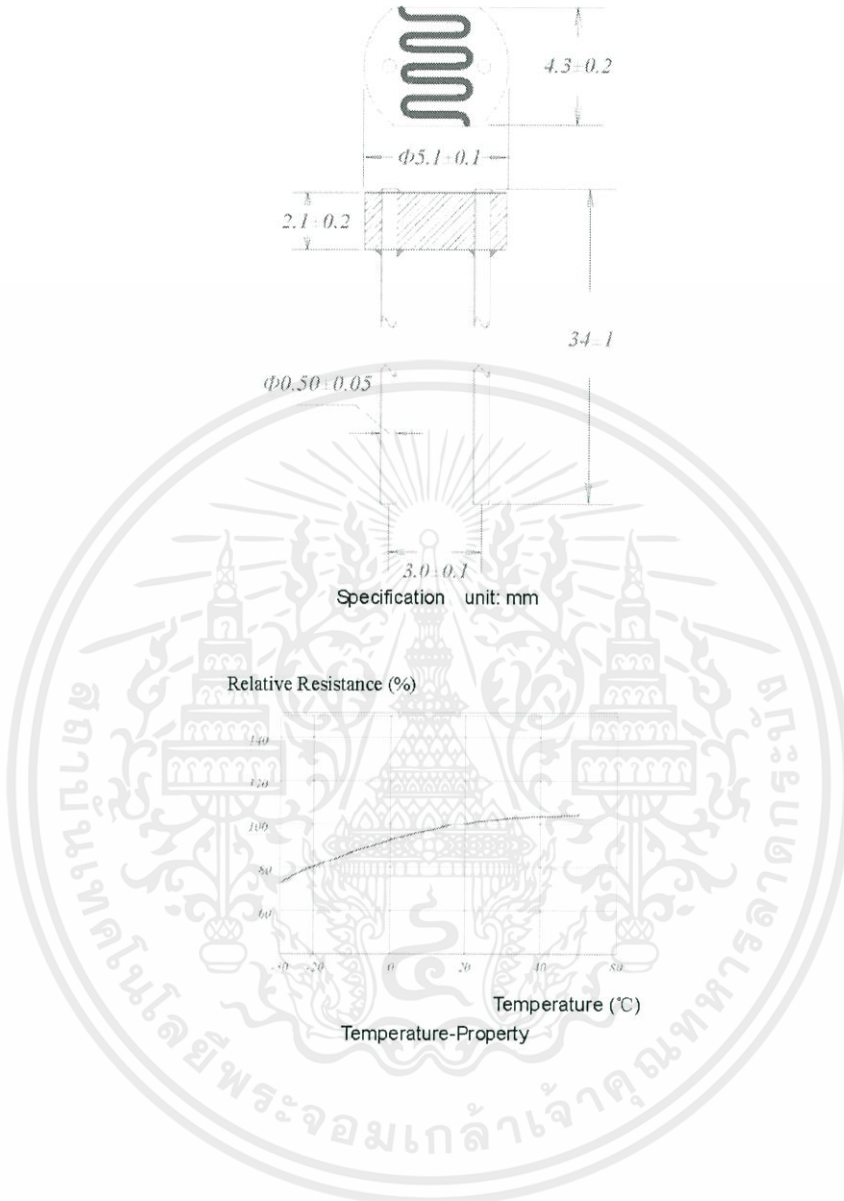
**Light resistance:** Irradiated by 400-600Lux light for two hours, then test with 10Lux under standard light source A(as colour temperature 2856K).

**$\gamma$  value:** Logarithm of the ratio of the standard resistance value under 10Lux and that under 100Lux.

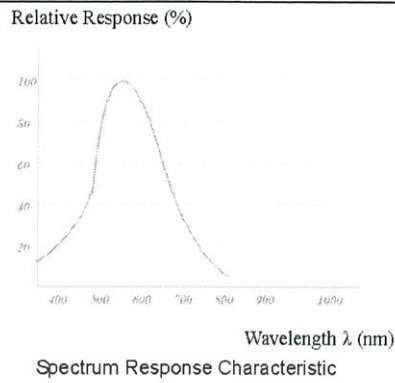
$$\gamma = \frac{\text{Lg}(R_{10}/R_{100})}{\text{Lg}(100/10)} = \text{Lg}(R_{10}/R_{100})$$

R<sub>10</sub>,R<sub>100</sub> are the resistances under 10Lux and 100Lux respectively.

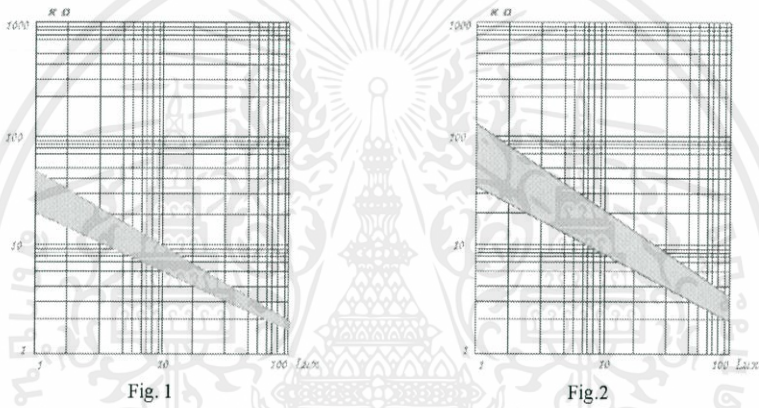
## Main Characteristics Curve and Dimensions



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Illuminance-Resistance Characteristics Curve



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

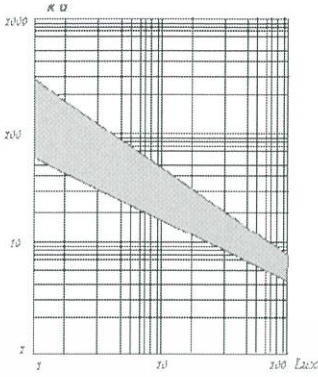


Fig. 3

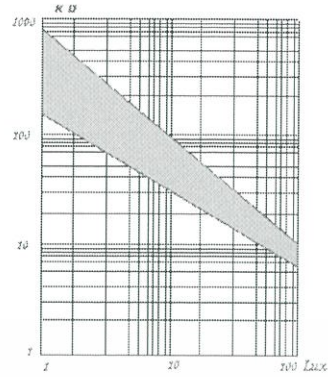


Fig. 4

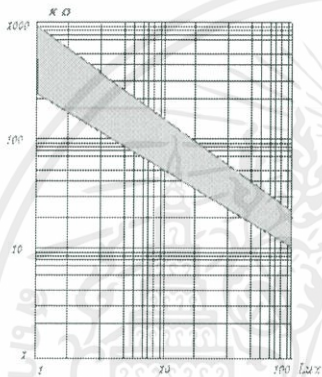


Fig. 5

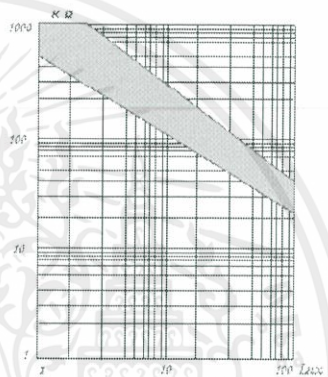


Fig. 6

### Packing and Precaution

This product is packed with the environmental protection material, 100pcs per small package, 1000pcs per big package.

Avoid high temperature and humidity for storing.

Soldering should be completed in the shortest possible time.

**It is recommended that the soldering should keep 4mm away from ceramic substrate.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข  
บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ระบบเครือข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

## Smart Solar Street Lighting Network System

กฤษิต พรพิรุณ<sup>1</sup> มนต์รี พนมนิเวศน์<sup>2</sup> และ รุจิรา ละกะเต็ม<sup>3</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ดลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

**บทคัดย่อ**

ปัญหานี้มีจุดมุ่งหมายนำเสนอการสร้างขึ้นงานต้นแบบของระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีเงื่อนไขว่าสามารถจ่ายพลังงานให้ไฟถนนแอลอีดีได้ 12 ชม. และสามารถจ่ายพลังงานให้ไฟถนนแอลอีดีได้ในสถานการณ์พิเศษ เช่น เมื่อเวลาที่ฝนตกหรือเมื่อเวลาที่ไฟจากการไฟฟ้าเกิดการขัดข้อง เป็นต้น เริ่มจากออกแบบระบบการทำงาน รวมถึงฟังก์ชันการทำงานของไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมและประมวลผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบ เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า เป็นต้น พร้อมทั้งส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย และรับข้อมูลด้วยโปรแกรม LabVIEW

คำสำคัญ : เซลล์แสงอาทิตย์, โคมไฟถนนแอลอีดี

**Abstract**

This project presents the prototype of smart solar street lighting network system. With the condition that supplies power to LED street lights for 12 hours and supplies power to LED street lights in a particular situation. For example, when raining or utility failure. By using a microcontroller to monitor, control and analyze the parameters in the system such as voltage, current, power, etc. Then send that data via a wireless networks to LabVIEW program for display and record.

**1. บทนำ**

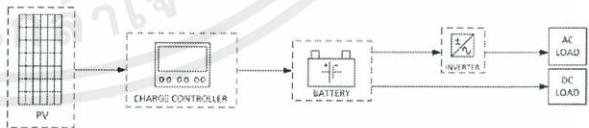
เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยต่อปีค่อนข้างสูง มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รวมประมาณ 5 kWh/m<sup>2</sup>/day คณะผู้จัดทำได้เห็นความสำคัญในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จึงคิดที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ โดยการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบไฟถนนที่เป็นโคมไฟถนนแอลอีดี (LED) ซึ่งมีข้อดีคือมีประสิทธิภาพสูง อายุการใช้งานนานกว่าโคมไฟถนนที่ใช้ขั้วทั่วไปในปัจจุบัน โดยส่วนของการควบคุมและประมวลผลนั้นจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 เป็นตัวควบคุมเวลาการเปิด-ปิดโคมไฟถนนให้ทำงานในช่วงเวลาที่กำหนด และประมวลผลโดยรับค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเข้ามาผ่านตัว

ตรวจจับแรงดันและตัวตรวจจับกระแส โดยจะวัดค่าจาก 3 ตำแหน่ง ได้แก่ (1) เอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ (2) แบตเตอรี่ (3) เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ เมื่อประมวลผลแล้วจะส่งสัญญาณออกไปยัง (1) รีเลย์ เพื่อเลือกว่าจะรับพลังงานจากแบตเตอรี่หรือจากการไฟฟ้า และส่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่คำนวณได้ไปยัง (2) ส่วนแสดงผล ที่จะแสดงผ่านจอแสดงผลแอลซีดี (LCD Display) ที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการแสดง เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้า, ค่ากระแสไฟฟ้า, ค่ากำลังไฟฟ้า, พลังงานไฟฟ้าที่ใช้, ระดับของแบตเตอรี่ เป็นต้น

**2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง**

**2.1 พลังงานแสงอาทิตย์**

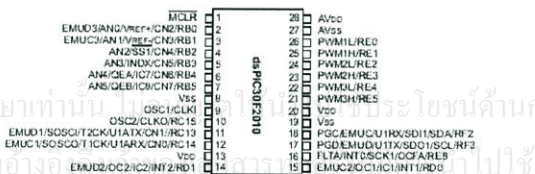
การใช้เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์โดยตรง จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ อาทิ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุม การประจุแบตเตอรี่ เครื่องเปลี่ยนระบบไฟฟ้าและแบตเตอรี่ โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องมีกรอกแบบเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานในบ้านพักอาศัย ซึ่งในการออกแบบระบบจึงต้องมีความรู้ความเข้าใจในอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อสามารถใช้งานได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพที่สุด ในการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องใช้ส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน ได้แก่ (1) เซลล์แสงอาทิตย์ (2) เครื่องควบคุมประจุ (Charge Controller) (3) แบตเตอรี่ (Battery) (4) อินเวอร์เตอร์ (Inverter)



รูปที่ 1 ระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

**2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010**

28-Pin SDIP and SOIC



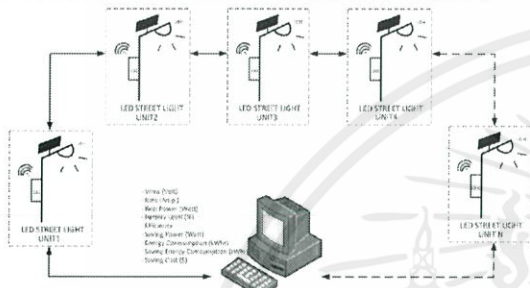
รูปที่ 2 โครงสร้าง dsPIC30F2010 [1]

2.3 โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW คือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม จุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัดอย่างมีประสิทธิภาพโดยการใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาโค้ดรูปภาพ (Graphical programming) และมีการต่อสายส่งค่าข้อมูลคล้ายกับการวาดโฟลชาร์ตที่เข้าใจได้ง่าย

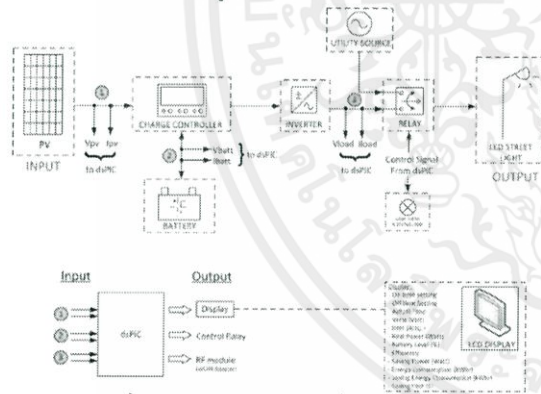
3. การออกแบบระบบเชิงแนวคิด

ในส่วนของการออกแบบระบบนั้น จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การออกแบบชิ้นงานต้นแบบและการออกแบบระบบเครือข่าย



รูปที่ 3 แนวคิดการออกแบบเครือข่ายไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

ชิ้นงานต้นแบบ หมายถึง ชุด โคมโไฟถนนแอลอีดี 1 ชุด ที่ประกอบไปด้วย (1) เซลล์แสงอาทิตย์ (2) เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (3) แบตเตอรี่ (4) อินเวอร์เตอร์ (5) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (6) โคมไฟแอลอีดี ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 แนวคิดการออกแบบชิ้นงานต้นแบบ

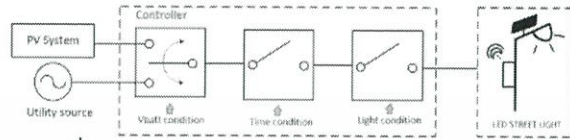
3.1 การคำนวณพิกัดของอุปกรณ์

ตารางที่ 1 พิกัดอุปกรณ์

ที่	อุปกรณ์	พิกัดของอุปกรณ์
1	เซลล์แสงอาทิตย์	228.38 W ขึ้นไป
2	แบตเตอรี่	71.89 Ah ขึ้นไป
3	เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่	12 V 10 A
4	อินเวอร์เตอร์	55 W ขึ้นไป

3.2 การออกแบบส่วนควบคุมของชุดต้นแบบ

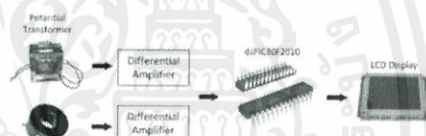
ส่วนควบคุมของชุดต้นแบบ จะทำหน้าที่ตรวจสอบเวลาและค่าความเข้มแสงที่ถูกตั้งไว้เพื่อควบคุมเวลาการเปิด-ปิดโคมไฟให้ทำงานในช่วงเวลาที่กำหนดและทำการตรวจสอบสถานะของประจุในแบตเตอรี่ว่าสามารถจ่ายโหลดได้หรือไม่ หากมีค่าประจุต่ำกว่าระดับที่สามารถจ่ายให้ระบบ จะเปลี่ยนให้ระบบไปรับไฟจากการไฟฟ้า



รูปที่ 5 แนวคิดในการออกแบบส่วนควบคุมของชุดต้นแบบ

3.3 การออกแบบส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า

ส่วนของการวัดพลังงานไฟฟ้าแสดงดังรูป 7 จะใช้หลักการตรวจจับสัญญาณแรงดันและกระแสโดยหม้อแปลงแรงดัน (PT) และหม้อแปลงกระแส (CT) โดยทำการสุ่มสัญญาณและแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยใช้โมดูล A/D ขนาด 10 บิตภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 หลังจากนั้นนำข้อมูลมาประมวลผลหาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆ และแสดงผลทางจอแสดงผลแอลซีดีต่อไป



รูปที่ 6 แนวคิดการออกแบบส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า

3.4 การออกแบบส่วนแสดงผล

การแสดงผลพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าจะแสดงผลผ่านทางจอแสดงผลแอลซีดี ค่าพารามิเตอร์ที่สามารถแสดงผลได้คือ แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, ค่ากำลังไฟฟ้าจริง, ค่าประจุของแบตเตอรี่, ประสิทธิภาพของระบบ, ค่าพลังงานไฟฟ้า, ค่าไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าที่สามารถประหยัคได้เมื่อติดตั้งระบบไฟถนนแอลอีดีพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 7 แนวคิดการออกแบบส่วนแสดงผล

3.5การออกแบบระบบเครือข่าย

Multiple access points and roaming คือการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ กับ Access Point ของเครือข่ายไร้สาย จะอยู่ในรัศมีประมาณ 500 ฟุตภายในอาคาร และ 1000 ฟุตภายนอกอาคาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การสร้างชิ้นงานต้นแบบ

4.1 การเลือกอุปกรณ์ในระบบ

ตารางที่ 2 พิกัดอุปกรณ์ที่เลือกใช้

ที่	อุปกรณ์	ชนิด	พิกัด
1	เซลล์แสงอาทิตย์	Polycrystalline Silicon Solar Cell	295 W
2	แบตเตอรี่	Deep Cycle Battery	75 Ah
3	เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่	True Sine Wave with MPPT Charger	500 W
4	อินเวอร์เตอร์		
5	โคมไฟถนน	LED	55 W

4.2 การสร้างส่วนควบคุมของชุดต้นแบบ

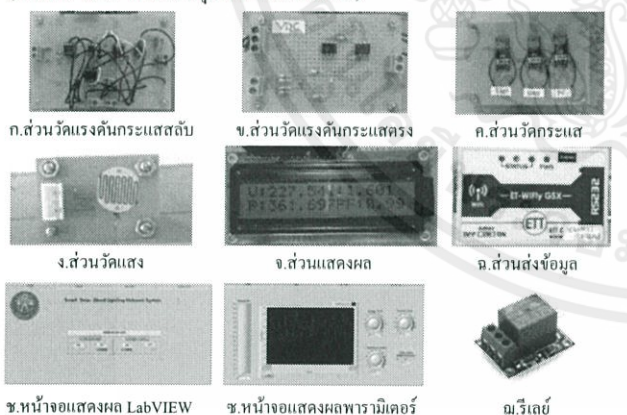
ส่วนของฮาร์ดแวร์ (Hardware) ที่สร้างขึ้นนั้นคือ ส่วนควบคุมของชุดต้นแบบ (Controller) สร้างขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดประกอบด้วย (1) ส่วนวัดพลังงานไฟฟ้า (2) ส่วนวัดแสง (3) ส่วนแสดงผล (4) ส่วนส่งข้อมูลและเก็บบันทึกข้อมูล และ (5) รีเลย์

เงื่อนไขของส่วนควบคุม

(1) ทำงานตามเงื่อนไขเวลา เปิด-ปิด โคมไฟถนนตามเงื่อนไขเวลาที่กำหนดไว้ โดยในแต่ละวันจะกำหนดให้เวลาเปิดโคมไฟคือเวลา 18:00 น. และปิดในเวลา 6:00 น.

(2) ทำงานตามเงื่อนไขของความเข้มแสง โดยกำหนดให้ระบบเริ่มทำงานเมื่อความเข้มแสงต่ำกว่า 12 lux

(3) ทำงานตามเงื่อนไขของค่าประจุในแบตเตอรี่ โดยกำหนดให้สามารถทำงานได้เมื่อค่าประจุแบตเตอรี่มากกว่า 10.5 โวลต์ (คิดเป็น 70% ของประจุเต็มของแบตเตอรี่)

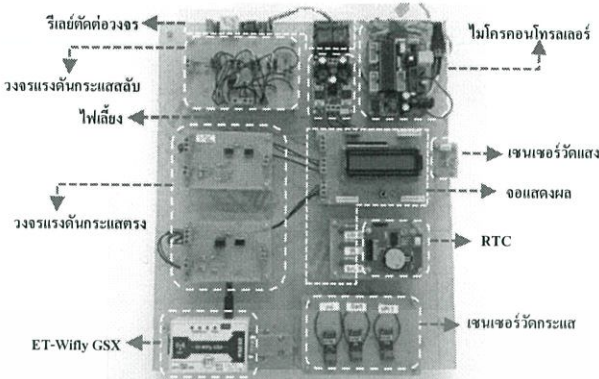


รูปที่ 8 อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นในชุดควบคุม

ตารางที่ 2 พิกัดของวงจรวัดค่าแรงดันและกระแสที่สร้างขึ้น

ที่	อุปกรณ์	พิกัดแรงดัน	พิกัดกระแส
1	เซลล์แสงอาทิตย์	60 Vdc	20 A
2	แบตเตอรี่	60 Vdc	30 A
3	โหลด	400 Vac	20A

นำแต่ละส่วนมารวมกัน จะได้ชิ้นงานต้นแบบดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ชุดควบคุมของชิ้นงานต้นแบบ

5. การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การทดสอบวงจรควบคุมการทำงาน

การทดลองนั้นจะทดลองโดยการต่อระบบทั้งหมดเข้าด้วยกันดังรูปที่ 12 โดยทำการทดสอบเงื่อนไขทั้ง 3 เงื่อนไขเป็นเวลา 3 วัน ได้ผลการทดสอบจะได้ตามตารางที่ 3



รูปที่ 10 วงจรทดสอบความถูกต้องของชิ้นงานต้นแบบ

ตารางที่ 3 การทดสอบการทำงานของวงจรควบคุม

เงื่อนไขที่กำหนด	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
เวลา	✓	✓	✓
แสง	✓	✓	✓
ค่าประจุแบตเตอรี่	✓	✓	✓

5.2 การทดสอบส่วนแสดงผล

ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณและประมวลผลออกมานั้นจะถูกแสดงออกทางจอแอลซีดีแสดงผลได้อย่างถูกต้อง โดยมีจอแสดงผลอยู่ 4 หน้าจอ เลือกเปลี่ยนหน้าจอโดยการกดปุ่มสวิทช์ด้านล่างเพื่อดูค่าพารามิเตอร์ของส่วนอื่นๆ



รูปที่ 11 ตัวอย่างการแสดงผลหน้าจอ LCD

### 5.3 การทดสอบส่วนของการส่งข้อมูลเพื่อเก็บบันทึกข้อมูล

นอกจากการทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดได้แล้วมีการเพิ่มความถี่และความสามารถของระบบโดยการออกแบบให้สามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายมายังหน้าจคอมพิวเตอร์เพื่อทำการเก็บบันทึก ทำให้เกิดความสะดวกและช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลทางไฟฟ้าเป็นไปได้ง่ายขึ้น โดยรับค่าและแสดงค่าที่รับมาด้วยโปรแกรม LabVIEW โดยพารามิเตอร์ที่ส่ง มีทั้งหมด 14 ค่า ได้แก่

- (1) วัน (Date) & เวลา (Time)
- (2) แรงดันที่โหลด (Vload)
- (3) กระแสที่โหลด (Iload)
- (4) กำลังงานที่โหลด (Pload)
- (5) พลังงานที่โหลด (Eload)
- (6) ค่าตัวประกอบกำลังของโหลด (P.F.)
- (7) แรงดันที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Vpv)
- (8) กระแสที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Ippv)
- (9) กำลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Pppv)
- (10) แรงดันที่แบตเตอรี่ (Vbatt)
- (11) กระแสที่แบตเตอรี่ (Ibatt)
- (12) กำลังงานที่แบตเตอรี่ (Pbatt)
- (13) พลังงานที่แบตเตอรี่ (Ebatt)
- (14) ระดับของค่าประจุแบตเตอรี่ (%Batt)

### 6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่าชิ้นงานต้นแบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่ออกแบบไว้ นอกเหนือจากการทำงานพื้นฐานแล้ว ยังสามารถทำงานได้ในสภาวะพิเศษ เช่น ฝนตก, ไฟจากการไฟฟ้าขัดข้อง เป็นต้น รวมทั้งยังสามารถส่งข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆผ่านเครือข่ายไร้สาย ทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลดังกล่าวผ่านคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์มือถือได้ ซึ่งผลปรากฏว่าทำให้สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมในการทำงานของระบบโดยรวมได้และยังช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าในช่วงที่แบตเตอรี่จ่ายไฟฟ้าให้กับโหลด อาจเป็นแนวทางในการตัดสินใจเพื่อหันมาใช้พลังงานทางเลือกมากขึ้นอีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมและระดมทุนให้มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดมาใช้มากขึ้นอีกด้วย ซึ่งจากการทดลองสามารถเห็นแนวโน้มพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ จะได้ว่าการศึกษเกี่ยวกับชุดโคมไฟถนนแอลอีดีพลังงานแสงอาทิตย์นี้ มีข้อดี คือ

1. ระบบสามารถทำงานได้ในสภาวะพิเศษต่างๆ เช่น ฝนตก, ไฟฟ้าขัดข้อง เป็นต้น

2. สามารถทราบค่าพารามิเตอร์ได้แบบเรียลไทม์
3. สามารถวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์เพื่อดูแนวโน้มระบบได้
4. เป็นการนำพลังงานสะอาดมาใช้ให้เกิดประโยชน์

### 7. กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ศศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินใจ และศศ.ดร.ชาย ชมภูอินใจ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาโดยตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

### เอกสารอ้างอิง

- [1] นคร ภักดีชาติ, ญัฐพล วงศ์สุนทรชัย, กฤษดา ใจเย็น, ชัยวัฒน์ สัมพรจิตรวิไล, **คู่มือการทดลอง dsPIC Microcontroller เบื้องต้นด้วยโปรแกรมภาษา C และ MPLAB C30**, กรุงเทพฯ: บริษัท อินโนเวติฟ แกลเพอริเมนด์ จำกัด, ม.ป.ป.
- [2] Hayt, Kimmerly, and Durbin, **Engineering Circuit Analysis**, 8th Ed., New York, McGraw-Hill, 2012.
- [3] กิจไพญญ์ ชีวพันธุ์ศรี. (2557) “LabVIEW ซอฟต์แวร์เพื่อการพัฒนากระบวนการวัดและควบคุม”. กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน).



นายภูริทัต พรพิรุณ เกิดวันที่ 1 มิถุนายน 2536

Tel. 092-260-9547

E-mail : Phuri.pond@gmail.com



นายมนตรี พนมนิเวศน์ เกิดวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2536

Tel. 085-340-9612

E-mail : Kuramapk@gmail.com



นางสาวรุจิรา ตะกะเต็ม เกิดวันที่ 23 พฤศจิกายน 2535

Tel. 087-542-5902

E-mail : iboven@msn.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1. ระบบสามารถทำงานได้ในสภาวะพิเศษต่างๆ เช่น ฝนตก, ไฟฟ้าขัดข้อง เป็นต้น

## ประวัติผู้เขียน



นาย ภูริทัต พรพิรุณ

ที่อยู่ : 884 ม.1 ต.พนมสารคาม อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา 24120

E-mail : phuri.pond@gmail.com

Tel : 092-260-9547



นาย มนตรี พนมนิเวศน์

ที่อยู่ : 40 ม.2 ต.ปากเกร็ด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

E-mail : Kuramapk@gmail.com

Tel : 085-340-9612

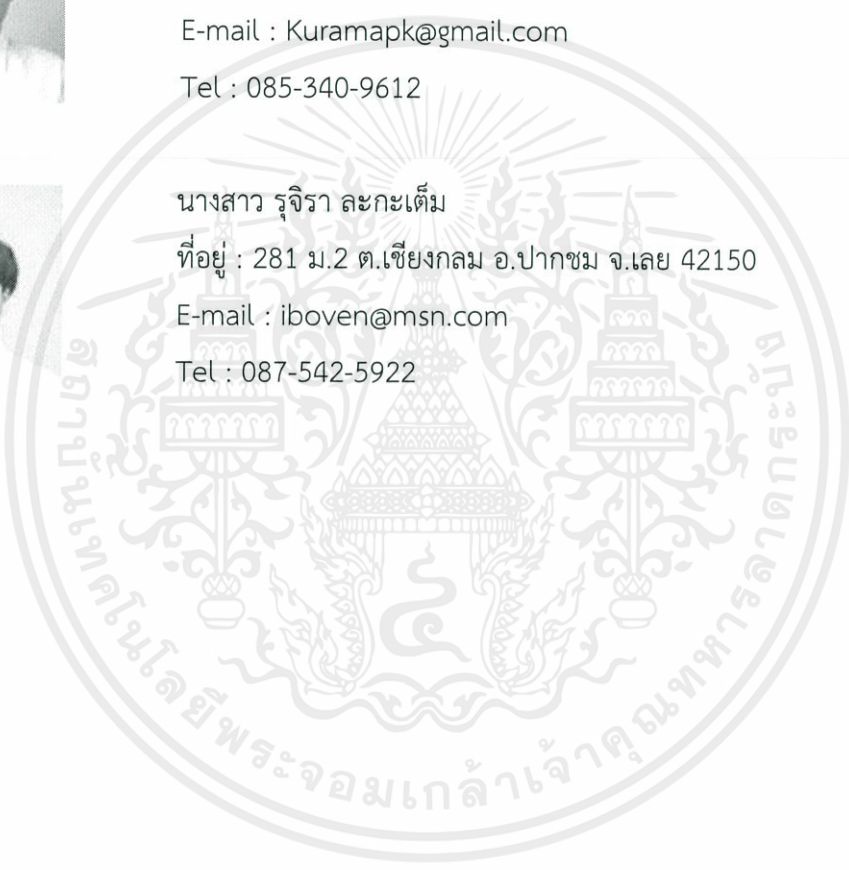


นางสาว รุจิรา ละกะเต็ม

ที่อยู่ : 281 ม.2 ต.เชียงกลม อ.ปากชม จ.เลย 42150

E-mail : iboven@msn.com

Tel : 087-542-5922



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้