

เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบสองทิศทางสำหรับระบบโซลาร์เซลล์  
BIDIRECTIONAL CURRENT METER FOR SOLAR CELL SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# BIDIRECTIONAL CURRENT METER FOR SOLAR CELL SYSTEM



THANADIS JUNLASIN  
PHONSON MEEVON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบสองทิศทางสำหรับระบบโซลาร์เซลล์ BIDIRECTIONAL CURRENT METER FOR SOLAR CELL SYSTEM
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธนดิศ จุลศิลป์ รหัสนักศึกษา 59010562 นายพรสัณห์ มีวน รหัสนักศึกษา 59010916
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล
ปีการศึกษา	2562

### บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำอุปกรณ์วัดปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานในการบริหารจัดการการใช้กระแสไฟฟ้าภายในบ้าน โดยมีอุปกรณ์หลัก ประกอบด้วย Arduino Uno R3 โมดูลเซนเซอร์ 2 โมดูลคือ โมดูลเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า (ACS712-20A) และ โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า (ZMPT101B) พร้อมทั้ง โมดูล Micro SD card และ NodeMCU โดยเครื่องวัดกระแสไฟฟ้านี้ จะจัดเก็บข้อมูลบนเซิร์ฟเวอร์และสามารถแสดงข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าภายในบ้านผ่านทางเว็บไซต์ได้

Thesis Title	BIDIRECTIONAL CURRENT METER FOR SOLAR CELL SYSTEM	
Authors	Mr. Thanadis	JUNLASIN
	Mr. Phonson	MEEVON
Thesis Advisor	Asst. Prof. Sutham	Satthamsakul
Year	2019	

## ABSTRACT

This project creates a device to measure the amount of electricity usage of the solar cell system to facilitate the users to manage the electricity usage in the house. The main components include the Arduino Uno R3, two sensor modules, the current sensor module (ACS712-20A), the voltage sensor module (ZMPT101B), as well as the Micro SD card module and NodeMCU. This electricity meter will store information on the server and can display the electricity usage in the home via the website.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและดูแลเอาใจใส่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล ในการแนะนำ ตรวจสอบ แก้ไข ให้ข้อเสนอแนะ และติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของ อาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ



# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 Arduino Uno R3.....	5
2.2 โมดูลเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า Current Sensor Module ACS712-5A.....	5
2.3 โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า Voltage sensor Module ZMPT101B.....	6
2.4 Data Logger Shield.....	7
2.5 Measuring Current Transformer.....	9
2.6 บอร์ด NodeMCU V3.....	10
2.6.1 คุณสมบัติของบอร์ด NodeMCU V3.....	10
2.6.2 ข้อมูลเชิงเทคนิคของบอร์ด NodeMCU V3.....	11
2.7 ไฟฟ้ากระแสสลับ.....	12
2.7.1 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า RMS.....	13
2.7.2 กำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ.....	13

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.2.1 การคำนวณกำลังไฟฟ้าจริง.....	14
2.7.2.2 การคำนวณกำลังไฟฟ้าปรากฏ.....	14
2.7.3 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า.....	15
2.7.3.1 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า.....	15
2.7.3.2 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบล่าหลัง.....	15
2.8 ระบบจัดการฐานข้อมูล.....	17
2.8.1 หน้าที่ของระบบจัดการฐานข้อมูล.....	18
2.8.2 องค์ประกอบของระบบฐานข้อมูล.....	19
2.8.2.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware).....	19
2.8.2.2 โปรแกรม (Program).....	19
2.8.2.3 ข้อมูล (Data).....	20
2.8.2.4 บุคลากร (People).....	20
2.8.2.5 ขั้นตอนปฏิบัติงาน (Procedures).....	20
2.8.3 ข้อดีในการใช้ระบบฐานข้อมูล.....	21
2.8.4 ข้อเสียในการใช้ระบบฐานข้อมูล.....	22
2.8.5 โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL.....	22
2.8.6 โปรแกรม phpMyAdmin.....	23
2.9 เว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server).....	23
2.10 โปรแกรม Text Editor.....	23
2.11 ภาษา C.....	24
2.11.1 โครงสร้างของโปรแกรมภาษา C.....	24
2.11.2 ตัวแปรในภาษา C.....	25
2.11.3 ฟังก์ชันในการรับและแสดงผลข้อมูล.....	25
2.11.3.1 ฟังก์ชันอื่นๆ ที่ใช้ในการรับและแสดงข้อมูล.....	27
2.11.4 เครื่องหมายดำเนินการ (Operators).....	28
2.11.4.1 ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์.....	28
2.11.4.2 ตัวดำเนินการสัมพันธ์และตัวดำเนินการตรรกะ.....	28

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11.4.3 ตัวดำเนินการประกอบ.....	29
2.12 ภาษา PHP.....	30
2.13 ภาษา HTML.....	30
2.14 ภาษาจาวาสคริปต์.....	31
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....</b>	<b>33</b>
3.1 การศึกษาเบื้องต้น.....	33
3.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	33
3.1.2 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการดำเนินงาน.....	33
3.1.3 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการดำเนินงาน.....	34
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	34
3.2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	34
3.2.2 เชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์.....	34
3.2.3 ติดตั้งเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าเข้ากับระบบโซล่าเซลล์.....	34
3.2.4 การติดตั้งโปรแกรมซอฟต์แวร์.....	35
3.2.5 สร้างฐานข้อมูลบน MySQL.....	36
3.2.6 สร้างไฟล์ PHP เพื่อเพิ่มข้อมูลแบบ GET ลงใน MySQL.....	38
3.2.7 เขียนโปรแกรมให้ NodeMCU ส่งข้อมูลจากโมดูลเซนเซอร์ไปยัง MySQL.....	39
3.2.8 การสร้างเว็บแสดงผล.....	39
3.2.9 การเขียนโปรแกรมเพื่อระบุทิศทางกระแสไฟฟ้า.....	39
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง.....</b>	<b>43</b>
4.1 การทดสอบส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปเก็บบน SD Card.....	43
4.2 การทดสอบส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปเก็บบนฐานข้อมูล MySQL.....	44
4.3 การทดสอบความถูกต้องของข้อมูล.....	46
4.3.1 การทดสอบความถูกต้องของการวัดกระแสไฟฟ้า.....	46
4.3.2 การทดสอบความถูกต้องของการวัดแรงดันไฟฟ้า.....	47

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การแสดงผลกราฟข้อมูลบนเว็บเบราว์เซอร์.....	48
4.5 การเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเพื่อบอกทิศทางของกระแสไฟฟ้า...48	
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>50</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	50
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	50
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>51</b>
<b>ภาคผนวก ก การเขียนโปรแกรม.....</b>	<b>52</b>
<b>ภาคผนวก ข Datasheet.....</b>	<b>64</b>

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสเปคของ Arduino Uno R3.....	3
2.2 แสดงข้อกำหนดของโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน ZMPT101B.....	7
2.3 แสดงชนิดและขนาดของข้อมูลที่ใช้ในภาษา C.....	26
2.4 แสดงรหัสรูปแบบที่ใช้ในฟังก์ชัน printf.....	26
2.5 แสดง Escape sequence ต่าง ๆ ที่มีใช้ในภาษา C.....	27
2.6 แสดงประเภทของตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์.....	28
2.7 แสดงตัวดำเนินการสัมพันธ์และตัวดำเนินการตรรกะ.....	29
2.8 แสดงตัวประกอบดำเนินการ.....	29
4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบความถูกต้องของการวัดกระแสไฟฟ้ากับอุปกรณ์มาตรฐาน.....	46
4.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบความถูกต้องของการวัดแรงดันไฟฟ้ากับอุปกรณ์มาตรฐาน.....	47

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Arduino Uno R3.....	4
2.2 แสดงขาพอร์ตของ Arduino Uno R3.....	4
2.3 โมดูลเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า Current Sensor Module ACS712-5A.....	5
2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของไอซี ACS712.....	6
2.5 แสดงขาพอร์ตและส่วนประกอบของโมดูลเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ACS712-20A.....	6
2.6 การจัดขาของโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า ZMPT101B.....	7
2.7 Data Logger Shield.....	8
2.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมและขาพอร์ต.....	8
2.9 Measuring Current Transformer.....	9
2.10 หลักการทำงานของ Measuring Current Transformer.....	10
2.11 การจัดขาของบอร์ด NodeMCU V3.....	11
2.12 รูปคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ.....	12
2.13 กราฟสุ่มตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเมื่อทำการวัดอย่างต่อเนื่อง.....	13
2.14 สามเหลี่ยมของกำลังไฟฟ้า.....	15
2.15 แสดงลักษณะรูปคลื่นระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า.....	16
2.16 แสดงสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า.....	16
2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบจัดการฐานข้อมูล โปรแกรมต่าง ๆ และฐานข้อมูล.....	17
2.18 แสดงการส่งข้อมูลจากผู้ใช้งานผ่านระบบอินเทอร์เน็ตผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์เพื่อเข้าสู่ระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL.....	22
3.1 บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่อโมดูลเซนเซอร์เข้ากับ Arduino Uno R3.....	35
3.2 การติดตั้งโปรแกรมซอฟต์แวร์.....	35
3.3 แสดงการเปิดใช้งาน Apache และ MySQL บนโปรแกรม XAMPP Control Panel.....	36
3.4 แสดงการเรียกใช้ phpMyAdmin บนเว็บเบราว์เซอร์.....	37
3.5 แสดงการสร้างฐานข้อมูลบน phpMyAdmin.....	37
3.6 แสดงการสร้างตารางบนฐานข้อมูล MySQL.....	37

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 แสดงการสร้างคอลัมน์ที่ต้องการเก็บค่าบน MySQL.....	38
3.8 แสดงคอลัมน์ที่สร้างขึ้นเพื่อรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรเลอร์เก็บไว้ใน MySQL.....	38
3.9 แสดงการเขียนโปรแกรมบน Notepad ด้วย PHP เพื่อติดต่อฐานข้อมูล MySQL.....	39
3.10 กราฟแสดงองศาของการนำหน้าและลำหลังของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในทิศทางเป็นบวก.....	40
3.11 กราฟแสดงองศาของการนำหน้าและลำหลังของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในทิศทางเป็นบวก.....	40
3.12 กราฟแสดงองศาการนำหน้าและลำหลังของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในทางปฏิบัติของกระแสไฟฟ้า ที่มีทิศทางเป็นบวก.....	41
3.13 กราฟแสดงองศาการนำหน้าและลำหลังของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในทางปฏิบัติของกระแสไฟฟ้า ที่มีทิศทางเป็นลบ.....	41
3.14 ผังการทำงานของโปรแกรมระบุทิศทางของกระแสไฟฟ้า.....	42
4.1 ทดลองวัดค่าจากอุปกรณ์ไฟฟ้า.....	43
4.2 ค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า วันที่และเวลาขณะเตารีดทำงาน.....	44
4.3 ค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า วันที่และเวลาขณะเตารีดตัดการทำงาน.....	44
4.4 ตารางข้อมูลที่ถูกเก็บบนฐานข้อมูล MySQL ขณะเครื่องใช้ไฟฟ้าทำงาน.....	45
4.5 ตารางข้อมูลที่ถูกเก็บบนฐานข้อมูล MySQL ขณะเครื่องใช้ไฟฟ้าหยุดทำงาน.....	45
4.6 ตารางแสดงข้อมูลย้อนหลังบนเว็บเบราว์เซอร์.....	48
4.7 ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีเฟสใกล้เคียงกันเมื่อยังไม่กลับทิศทางของกระแสไฟฟ้า.....	49
4.8 ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีเฟสตรงข้ามกันเมื่อยังไม่กลับทิศทางของกระแสไฟฟ้า.....	49

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

โครงการนี้จัดทำเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบสองทิศทาง เพื่อนำไปใช้กับการวัดกระแสไฟฟ้าของระบบโซล่าเซลล์โดยเฉพาะ เนื่องจากระบบโซล่าเซลล์ที่มีการติดตั้งภายในบ้านนั้น หากพลังงานที่ผลิตได้จากโซล่าเซลล์เกินจากความต้องการใช้งานภายในบ้าน จะมีกระแสไฟฟ้าที่ไหลย้อนกลับเพื่อขายกระแสคืนให้กับการไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้วัดกระแสแบบสองทิศทางและมีการบันทึกค่าเก็บไว้เป็นข้อมูลจึงมีความจำเป็นเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน ในการบริหารจัดการการใช้กระแสไฟฟ้าภายในบ้านโดยเครื่องวัดกระแสไฟฟ้านี้ จะจัดเก็บข้อมูลบนเซิร์ฟเวอร์และสามารถแสดงข้อมูลการใช้กระแสไฟฟ้าภายในบ้านผ่านทางเว็บไซต์ได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

โครงการนี้จัดทำอุปกรณ์เพื่อบันทึกข้อมูลการใช้งาน หรือขายคืนกระแสไฟฟ้ากับการไฟฟ้าที่สามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลัง ที่มีการเก็บบันทึกจำนวนหน่วยของกระแสไฟฟ้า ที่ใช้จากการไฟฟ้าและจำนวนหน่วยของกระแสไฟฟ้าที่ขายคืนให้การไฟฟ้าผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ได้

### 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สามารถใช้งานได้กับโซล่าเซลล์ทุกรุ่น
2. สามารถบันทึกข้อมูลการใช้งานและค่ากระแสไฟฟ้า ลงบนหน่วยความจำสำรองชนิด SD card
3. สามารถดูข้อมูลย้อนหลังของปริมาณการใช้งานกระแสไฟฟ้า และปริมาณการขายคืนกระแสผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์
4. สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อส่งข้อมูลให้กับเซิร์ฟเวอร์ผ่านสัญญาณ Wifi

### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาการวัดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า
2. ศึกษาการสร้างเว็บเซิร์ฟเวอร์
3. ศึกษาการสร้างฐานข้อมูล
4. ศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุม Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทักษะในการสร้างเว็บไซต์และการติดตั้งเว็บเซิร์ฟเวอร์
2. ได้เรียนรู้ในการเขียนโปรแกรมควบคุม Arduino
3. ได้ฝึกทักษะในการใช้และสร้างอุปกรณ์จริง
4. ได้ฝึกการทำงานร่วมกันเป็นทีม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

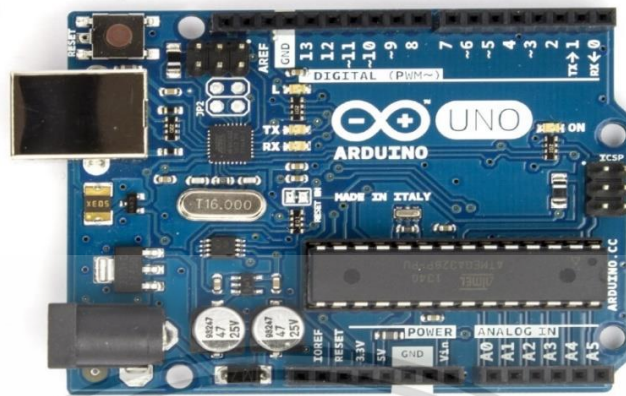
### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 Arduino Uno R3

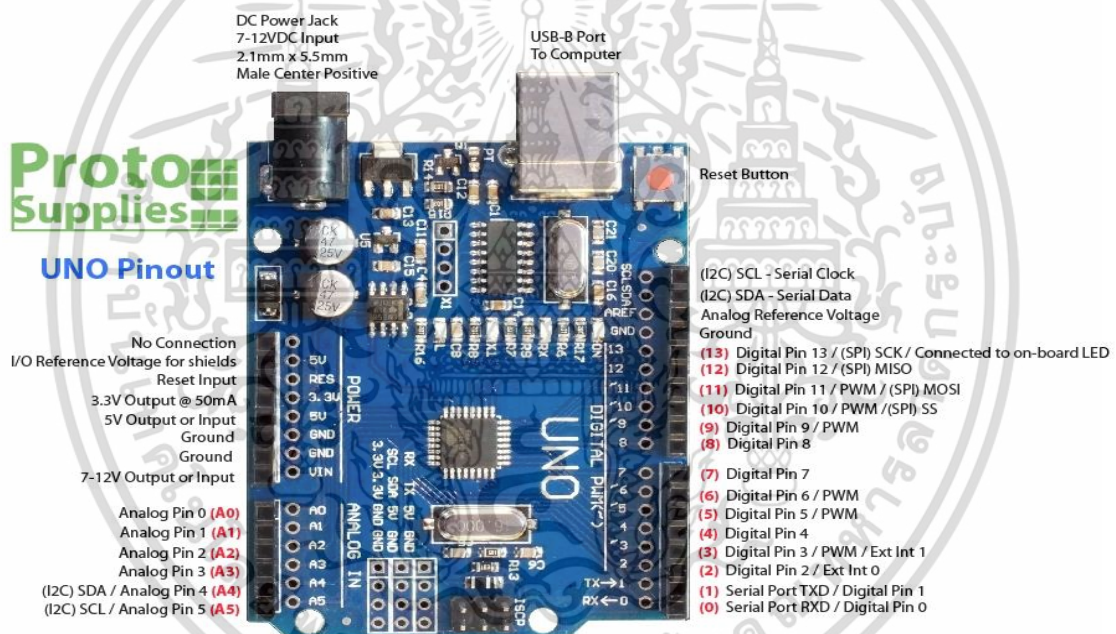
ตารางที่ 2.1 แสดงสเปคของ Arduino Uno R3

Microcontroller	ATmega328P
Operating Volt.	5V
Input Volt.(recommended)	7-12V
Input Volt.(limit)	6-20V
Digital I/O Pins	14(6 PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB(ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 Arduino Uno R3



Red numbers in paranthesis are the name to use when referencing that pin.  
Analog pins are references as A0 thru A5 even when using as digital I/O

รูปที่ 2.2 แสดงขาพอร์ตของ Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 ดังรูปที่ 2.1 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ ATmega328 (แผ่นข้อมูล) มีพอร์ตการเชื่อมต่ออินพุต / เอาต์พุตแบบดิจิทัล 14 ช่อง (6 ช่องสามารถใช้เป็นเอาต์พุต PWM) อินพุตแบบอนาล็อก 6 ช่อง ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 16 MHz พอร์ต USB พอร์ตรับไฟรองจากแหล่งจ่ายภายนอก ปุ่มรีเซ็ต สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วยสายเคเบิล USB ซึ่งเป็นได้ทั้งการเชื่อมต่อและแหล่งจ่ายพลังงานหรือสามารถใช้แบตเตอรี่หรืออะแดปเตอร์ AC-to-DC ต่อได้โดยตรงก็สามารถใช้งานได้

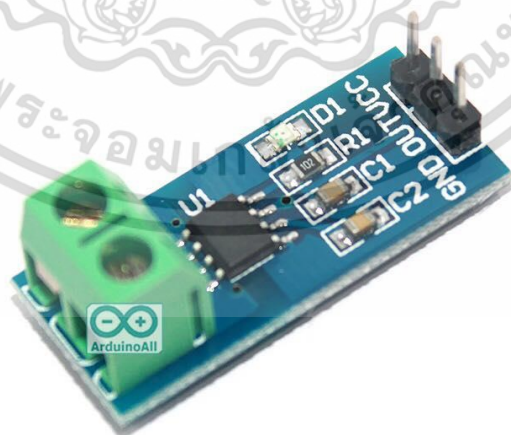
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Uno ได้แตกต่างจากบอร์ดรุ่นก่อนหน้าทั้งหมดเนื่องจากไม่ได้ใช้ชิปควบคุม USB แบบอนุกรมของ FTDI ส่วนสเปคและขาพอร์ตจะแสดงในตารางที่ 2.1 และรูปที่ 2.2

## 2.2 โมดูลเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า Current Sensor Module ACS712-5A

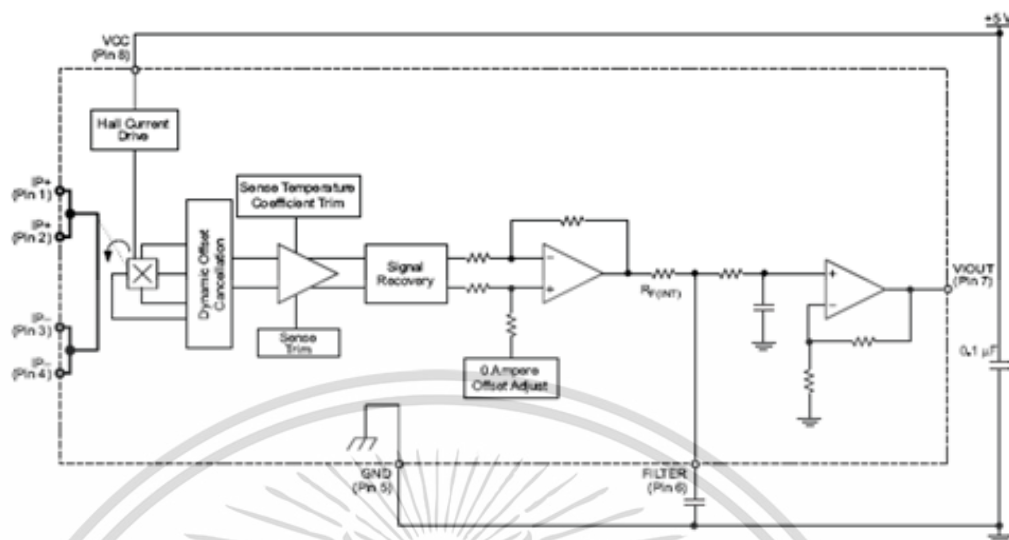
โมดูลเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้างแสดงในรูปที่ 2.3 ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักที่ใช้วัดกระแสคือ ไอซี ACS712 ซึ่งใช้หลักการของ Hall Effect เพื่อวัดสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอยู่ในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้นั้นจะมีค่าน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีวงจรขยายสัญญาณอยู่ภายใน ดังรูปที่ 2.4 เพื่อให้ได้สัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่มีขนาดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกระแสอินพุตโดยจะมีค่าความไวอยู่ที่ 185 mV/A [7] ในการนำโมดูลเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ACS712-5A ไปใช้งาน จะมีขาต่าง ๆ และส่วนประกอบอื่น ดังรูปที่ 2.5 โดยโมดูลเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ACS712-5A สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 5 A ซึ่งมีคุณสมบัติอื่น ๆ ดังนี้

- 1) มีสัญญาณรบกวนต่ำ
- 2) Rise time 5 ไมโครวินาที สำหรับอินพุตกระแสแบบ step
- 3) แบนด์วิดธ์ 80 กิโลเฮิรตซ์
- 4) มีความผิดพลาดของเอาต์พุต 1.5% ที่ อุณหภูมิ 25 °C
- 5) อุปกรณ์มีขนาดเล็กเพียง 31 มิลลิเมตร × 13 มิลลิเมตร
- 6) ความต้านทานภายใน 1.2 มิลลิโอห์ม
- 7) ทำงานที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์
- 8) ความไว 66-185 mV/A ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสภาพแวดล้อม

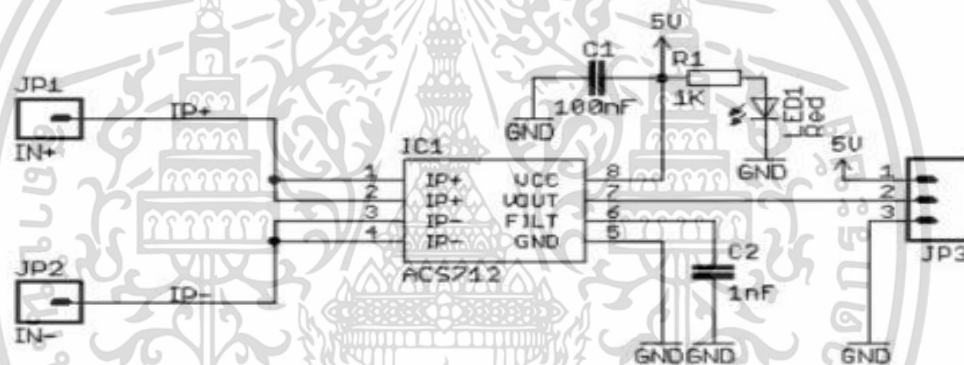


รูปที่ 2.3 โมดูลเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า Current Sensor Module ACS712-5A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของไอซี ACS712 (Allegro MicroSystems, 2017)



รูปที่ 2.5 แสดงขาพอร์ตและส่วนประกอบของโมดูลเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ACS712-20A (Allegro MicroSystems, 2017)

### 2.3 โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า Voltage sensor Module ZMPT101B

โมดูลวัดแรงดันไฟฟ้า ZMPT101B เป็นชุดโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแบบหนึ่งเฟส (Single Phase) สามารถรับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ 250 VAC สัญญาณที่ออกจากโมดูลเป็นสัญญาณอนาล็อก สามารถนำไปต่อเข้ากับขาของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้แรงดันอ้างอิง 5 โวลต์ มีวงจรขยายสัญญาณสามารถปรับขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณเอาท์พุทได้ จากการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้บนบอร์ดโดยมีข้อกำหนดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.2 และการจัดขาของโมดูล ดังรูปที่ 2.6

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อกำหนดของโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดัน ZMPT101B (Nanjing Zeming, 2015)

ข้อกำหนดทางไฟฟ้า	
Primary Current	2 mA
Secondary Current	2 mA
อัตราส่วนรอบ	1000:1000
ความคลาดเคลื่อนมุมเฟส	$\leq 20^\circ$
ช่วงของกระแส	0 ~ 3 mA
Linearity	0.1%
Accuracy Class	0.2
Rated Burden	$\leq 200 \Omega$
ช่วงความถี่	50 ~ 60 Hz
Dielectric Level	3000 VAC/min
DC Resistance at 20 °C	110 $\Omega$
ข้อกำหนดเกี่ยวกับสภาพแวดล้อม	
อุณหภูมิในการเก็บรักษา	-40 °C ~ +130 °C
ฉนวนกันความร้อน	> 100 M $\Omega$

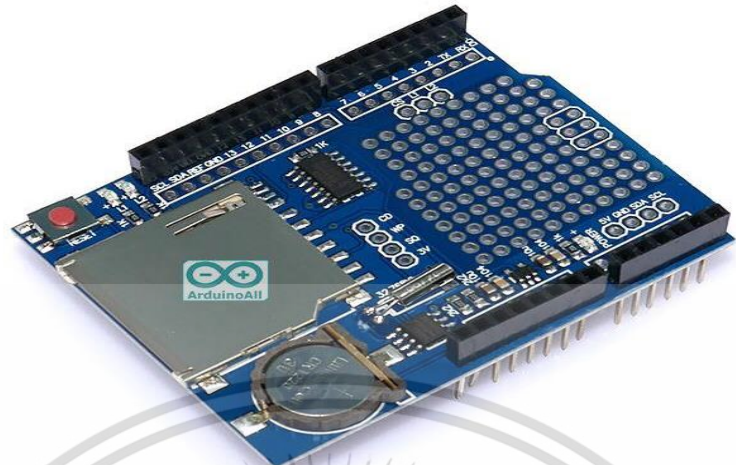


รูปที่ 2.6 การจัดขาของโมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า ZMPT101B (Yanuar M, 2017)

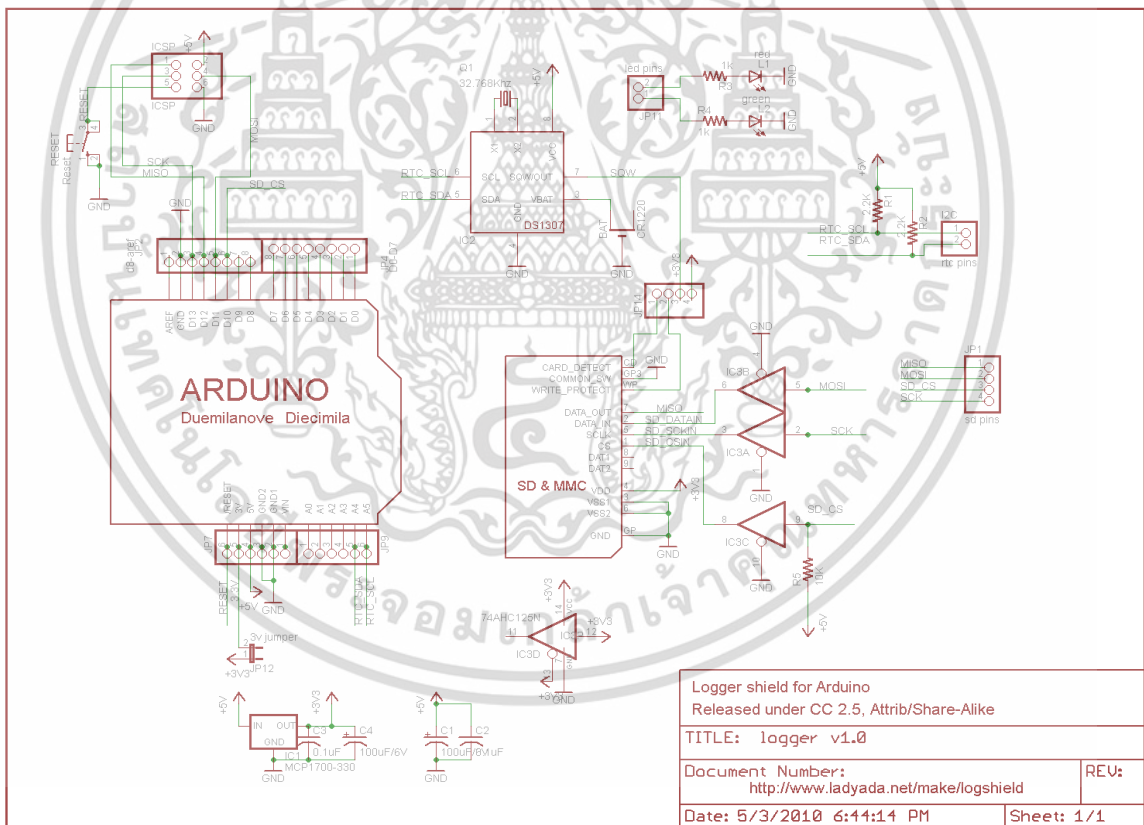
## 2.4 Data Logger Shield

Data Logger Shield แสดงดังรูปที่ 2.7 เมื่อใช้ต่อร่วมกับ Arduino Uno R3 จะทำให้สามารถบันทึกข้อมูลลงบน SD Card ได้และมาพร้อมกับวงจรนาฬิกา หากว่าต้องการบันทึกข้อมูล พร้อมแท็กเวลา ลงไปด้วย อุปกรณ์นี้จะสามารถอำนวยความสะดวกในการทำงานได้เป็นอย่างดี มีพื้นที่ด้านบนให้สามารถเพิ่มเติมอุปกรณ์อื่นได้ โมดูลนี้ออกแบบมารองรับ Arduino Uno โดยเฉพาะ จึงสามารถเสียบและใช้งานได้ทันที บล็อกไดอะแกรมและขาพอร์ตแสดงตามรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 Data Logger Shield



รูปที่ 2.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมและขาพอร์ต

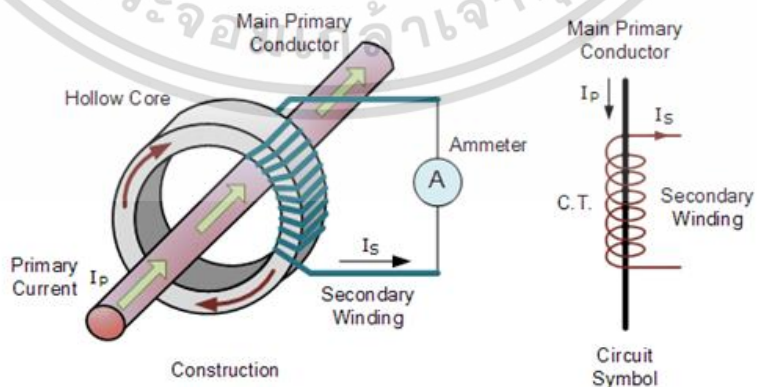
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 Measuring Current Transformer

หม้อแปลงวัดกระแส (CT: Current Transformer) แสดงดังรูปที่ 2.9 คือ อุปกรณ์ทำหน้าที่ลดกระแสที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อให้ง่ายและปลอดภัยต่อการใช้งานในระบบไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2.9 ความแตกต่างระหว่างหม้อแปลงแรงดัน (Voltage Transformer) และหม้อแปลงวัดกระแส คือ ขดลวดทางด้านปฐมภูมิ (Primary) ของหม้อแปลงวัดกระแสจะมีเพียงรอบเดียว จากรูปที่ 2.10 จะเห็นว่า ขดลวดทางด้านปฐมภูมิ (Primary) มีสายไฟหรือบัสบาร์ ผ่านแกนของหม้อแปลงวัดกระแสเพียงเส้นเดียว หมายความว่า หม้อแปลงวัดกระแส หนึ่งตัวจะใช้งานได้ ต่อโหลดได้ 1 ตัวต่อเฟส ในส่วนของขดทางด้านทุติยภูมิ (Secondary) จะมีจำนวนรอบของขดลวดมากกว่าด้านเข้า แกนรูปโดนัทของหม้อแปลงวัดกระแส ทำมาจากเหล็กที่มีความสูญเสียต่ำ ซึ่งคุณภาพของวัสดุที่นำมาทำแกนของหม้อแปลงวัดกระแสมีความสำคัญมากเนื่องจากมันมีผลกระทบกับประสิทธิภาพและค่าความแม่นยำของตัวหม้อแปลงวัดกระแสเอง การทำงานของหม้อแปลงวัดกระแสอาศัยหลักการลดกระแสทางด้านอินพุตและเอาต์พุตแบบสัดส่วน (Ratio) โดยการเอาสายตัวนำหรือบัสบาร์เป็นขดลวดทางด้านปฐมภูมิ เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นภายในแกนของหม้อแปลงวัดกระแสและมีกระแสไหลในขดลวดทุติยภูมิ



รูปที่ 2.9 Measuring Current Transformer



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของ Measuring Current Transformer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 บอร์ด NodeMCU V3

NodeMCU คือแพลตฟอร์มหนึ่งที่ใช้ช่วยในการสร้างโครงงาน Internet of Things ที่ประกอบไปด้วยตัวบอร์ด (Development Kit) และซอฟต์แวร์บนบอร์ด (Firmware) ที่เป็นแบบเปิด (Open source) สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Lua ได้ แต่เมื่อไม่นานมานี้มีนักพัฒนาที่สามารถทำให้ Arduino IDE ใช้งานร่วมกับ NodeMCU ได้ จึงทำให้สามารถเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา C/C++ ได้

### 2.6.1 คุณสมบัติของบอร์ด NodeMCU V3

NodeMCU ใช้ ESP8266 เป็นซีพียูสำหรับประมวลผลโปรแกรมต่าง ๆ มีข้อดีกว่า Arduino ตรงที่มีขนาดเล็กกว่า มีพื้นที่เขียนโปรแกรมลงไรมากกว่าทำให้สามารถประมวลผลโค้ดโปรแกรมได้อย่างรวดเร็วเหมาะสมสำหรับงาน Smart Home และ Internet of Things โดยบอร์ด NodeMCU [1][5] มีคุณสมบัติดังนี้

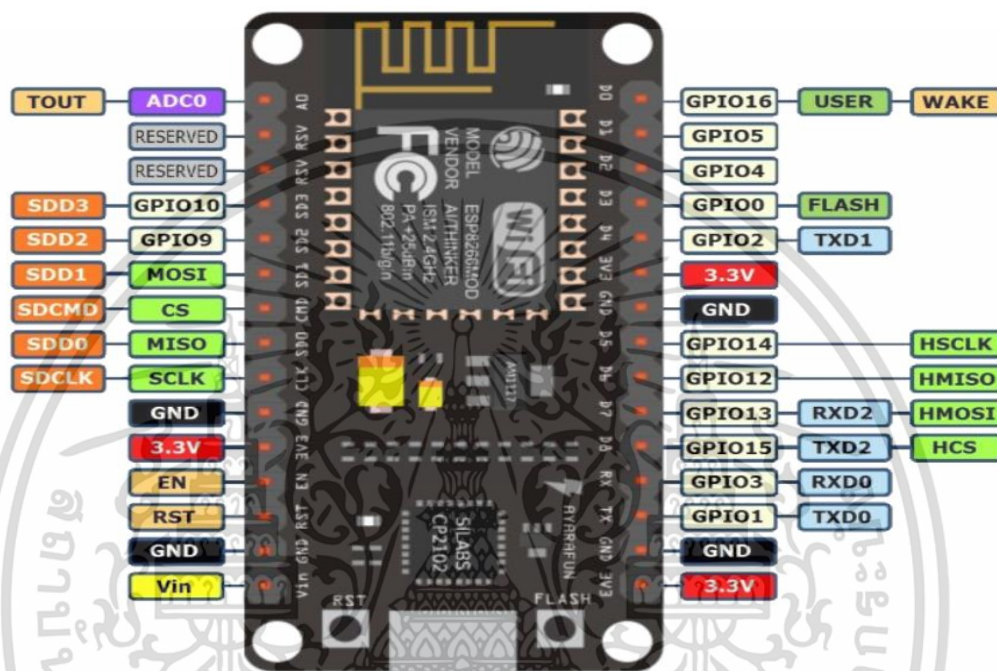
- 1) ใช้ ESP8266-12E เป็นซีพียูสำหรับประมวลผล
- 2) มีพื้นที่หน่วยความจำรวม 4 เมกะไบต์
- 3) ใช้ชิพ USB เบอร์ CH340 ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อลงโปรแกรม
- 4) สามารถใช้ไฟเลี้ยงบอร์ดจากพอร์ต USB 5 VDC หรือ จากแหล่งจ่ายไฟภายนอก 5-10 VDC
- 5) ปริมาณการกินกระแส 10  $\mu$ A ถึง 170 mA
- 6) หน่วยความจำแฟลชสูงสุด 16 เมกะไบต์
- 7) ใช้ระบบปฏิบัติการ Tensilica L106 32 บิต
- 8) ความเร็วระบบปฏิบัติการ 80-160 MHz
- 9) สามารถพัฒนาโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม Arduino IDE

### 2.6.2 ข้อมูลเชิงเทคนิคของบอร์ด NodeMCU V3

NodeMCU V3 ปรับปรุงมาจาก NodeMCU เวอร์ชันเดิม ซึ่งมีขา GPIO, PWM, I<sup>2</sup>C, 1-Wire, ADC และ SPI เพิ่มเข้ามา การจัดขาของบอร์ด NodeMCU V3 ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ขา GPIO ทั้งหมด 17 ช่อง
- 2) ระดับสัญญาณลอจิกของสัญญาณอินพุตและเอาต์พุต (GPIO) 3.3 โวลต์
- 3) ขา PWM รับส่งสัญญาณดิจิทัล 9 ขา
- 4) ขา ADC 1 ช่อง ความละเอียดของค่าที่อ่านได้ 10 บิต

- 5) มีขา D1 และ D2 สำหรับเชื่อมต่อแบบ I<sup>2</sup>C
- 6) มีขา D5, D6, D7 และ D8 สำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI
- 7) มีปุ่มกด RST เพื่อรีเซ็ตการทำงาน และ Flash สำหรับโปรแกรมเฟิร์มแวร์ใหม่
- 8) ขนาดของบอร์ด 25.4 มิลลิเมตร x 48.26 มิลลิเมตร

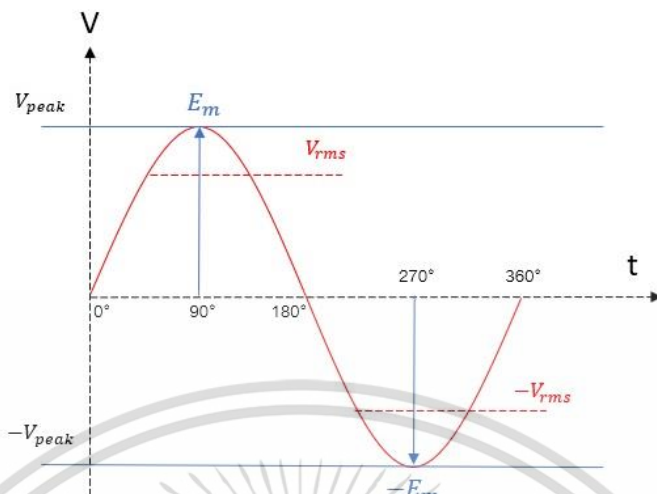


รูปที่ 2.11 การจัดขาของบอร์ด NodeMCU V3 (Smartyshirt, 2018)

## 2.7 ไฟฟ้ากระแสสลับ

แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ คือ แรงดันไฟฟ้าไม่คงที่เพราะมีรูปคลื่นสลับไปมาระหว่างบวกและลบ จึงเรียกว่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ แสดงดังรูปที่ 2.12 โดยรูปคลื่นของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ นั้นเป็นรูปคลื่นไซน์ ทำให้กระแสไฟฟ้ามีทิศทางไหลตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าไปด้วย ดังรูปที่ 2.13 จำนวนครั้งของไซเคิลที่เกิดซ้ำ ๆ กันใน 1 วินาทีเรียกว่าความถี่ มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz) ตัวอย่างเช่น เมื่อกระแสไหลกลับไปกลับมาเป็นจำนวน 50 ครั้งในเวลา 1 วินาทีนั้นคือความถี่ 50 เฮิรตซ์มีความต่อเนื่องและสม่ำเสมอ กระแสและแรงดันสลับมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอเมื่อเทียบกับเวลา ดังนั้นการบอกค่ากระแสและแรงดันสลับจึงบอกเป็นค่ารากเฉลี่ยกำลังสอง (RMS : Root Mean Square) โดยสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (2.1) และ (2.2) เมื่อ  $I_{rms}$  และ  $V_{rms}$  คือค่ากระแสไฟฟ้าสลับและแรงดันไฟฟ้าสลับที่ทำให้เกิดปริมาณความร้อนในตัวต้านทานที่ต่ออยู่ในวงจรเทียบเท่ากับเมื่อป้อนกระแสและแรงดันไฟตรงค่าเดียวกัน เมื่อ  $I_m$  และ  $V_m$  คือค่ากระแสและแรงดันสูงสุดในหนึ่งไซเคิล

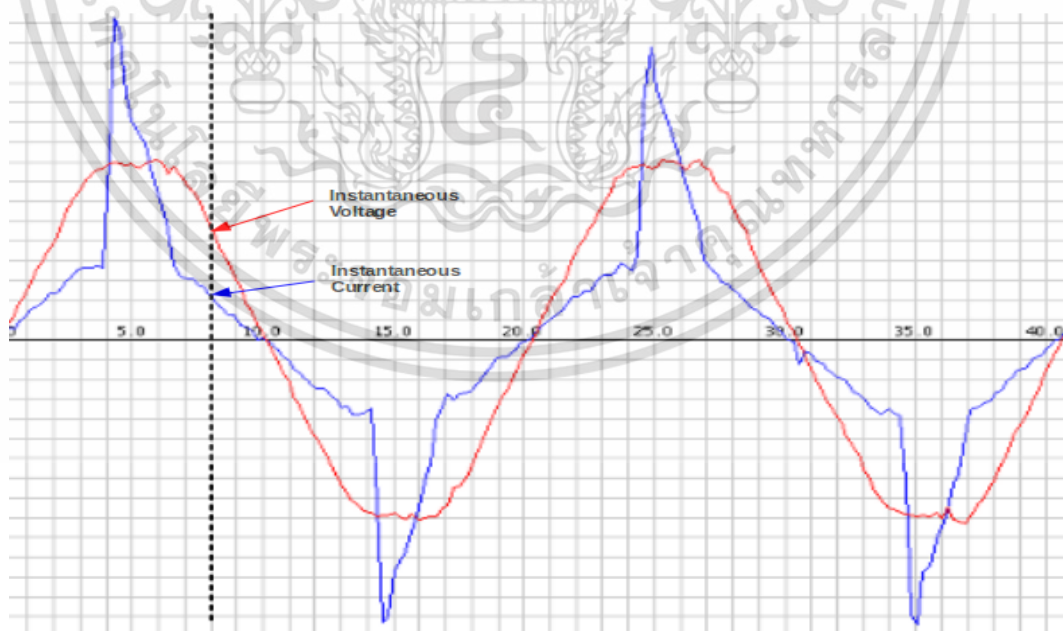
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 รูปคลื่นไซน์ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

$$I_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times I_m \quad (2.1)$$

$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times V_m \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.13 กราฟคู่ตัวอย่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเมื่อทำการวัดอย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.1 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า RMS

ค่า RMS (Root Mean Square) เป็นการวัดทางสถิติของปริมาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาหรือเรียกว่าเป็นรากที่สองของค่าเฉลี่ยของค่านั้น ๆ ยกกำลังสอง ในการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจะสามารถคำนวณหาค่า RMS เหมือนกัน ดังสมการที่ (2.3)

$$U_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} u^n(n)}{N}} \quad (2.3)$$

โดย  $U_{rms}$  แทน แรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า RMS  
 $u(n)$  แทน แรงดันไฟฟ้าชั่วขณะหรือกระแสไฟฟ้าชั่วขณะที่ทำการสุ่ม  
 $N$  แทน จำนวนสุ่มตัวอย่าง

### 2.7.2 กำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ

การเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้เป็นกำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับนั้น จะทำให้เกิดค่ากำลังไฟฟ้าขึ้น 3 ค่า คือ

- 1) กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) คือ กำลังไฟฟ้าที่สามารถถูกใช้ในการเปลี่ยนรูปพลังงานและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง กำลังส่วนนี้มีหน่วย เป็น วัตต์ (Watt) ซึ่งใช้สัญลักษณ์ “P”
- 2) กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) คือ กำลังไฟฟ้าที่ไม่ถูกใช้ในการเปลี่ยนรูปพลังงานจึงจัดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ไม่พึงประสงค์ กำลังส่วนนี้มีหน่วยเป็นวาร์ (VAR) ซึ่งใช้สัญลักษณ์ “Q”
- 3) กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) กำลังปรากฏคือค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดจากผลคูณของกระแสกับแรงดัน มีหน่วยเป็น โวลต์แอมป์ (VA) ซึ่งใช้สัญลักษณ์ “S”

#### 2.7.2.1 การคำนวณกำลังไฟฟ้าจริง

กำลังไฟฟ้าจริง คือ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับโหลดแล้วได้เป็นพลังงานรูปอื่น ได้ เช่น ความร้อน แสงสว่าง หรือพลังงานกล ในทางคณิตศาสตร์กำลังไฟฟ้าจริงเกิดจากผลรวมของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและเวลา ดังสมการ (2.4) และ (2.5) ตามลำดับ ทั้งในกรณีช่วงเวลา ต่อเนื่องกัน และไม่ต่อเนื่องกัน

$$P = \frac{1}{T} \int v(t) \times i(t) dt = V_{rms} \times I_{rms} \times \cos(\varphi) \quad (2.4)$$

โดย  $V_{rms}$  แทน แรงดันไฟฟ้า RMS  
 $I_{rms}$  แทน กระแสไฟฟ้า RMS  
 $\cos(\varphi)$  แทน ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v(n) \times i(n) \quad (2.5)$$

โดย  $v(n)$  แทน แรงดันไฟฟ้าชั่วขณะ  
 $i(n)$  แทน กระแสไฟฟ้าชั่วขณะ  
 $N$  แทน จำนวนสุ่มตัวอย่าง

### 2.7.2.2 การคำนวณกำลังไฟฟ้าปรากฏ

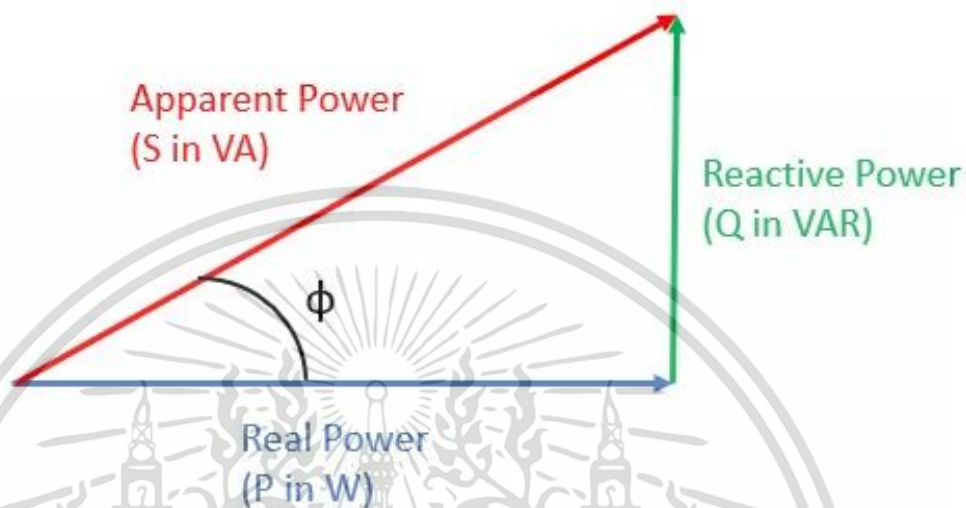
กำลังไฟฟ้าปรากฏ คือ ผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้า ดังสมการ (2.6) มีหน่วยเป็นโวลต์แอมป์หรือ VA

$$S = V_{rms} \times I_{rms} \quad (2.6)$$

### 2.7.3 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าจริง (watt) กับกำลังไฟฟ้าปรากฏ (VA) ดังสมการ (2.7) ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยกับกำลังไฟฟ้าปรากฏ จะขึ้นอยู่กับค่า  $\cos$  ของมุมต่างเฟสระหว่างกำลังไฟฟ้าจริงกับกำลังไฟฟ้าปรากฏเป็นสำคัญ ดังรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าจริงซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง จะมีค่าสูงสุดได้ไม่เกินค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ และจะมีค่าต่ำสุดได้เท่ากับศูนย์ ถ้าหากค่ากำลังไฟฟ้าจริงมีค่าเท่ากับค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏ แสดงว่า กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดจะถูกใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด แต่ถ้ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยน้อยกว่าค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏก็แสดงว่ากระแสที่จ่ายให้โหลดถูกใช้ประโยชน์ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น โดยส่วนที่เกินจาก กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานจริง จะเรียกว่ากำลังไฟฟารีแอกทีฟ ซึ่งมีหน่วยเป็นวาร์ (VAR) โดยกำลังไฟฟารีแอกทีฟไม่เกิดประโยชน์ต่อระบบเป็นภาระให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลง และสายส่ง

$$\text{Power factor} = \frac{P}{S} = \cos \theta \quad (2.7)$$



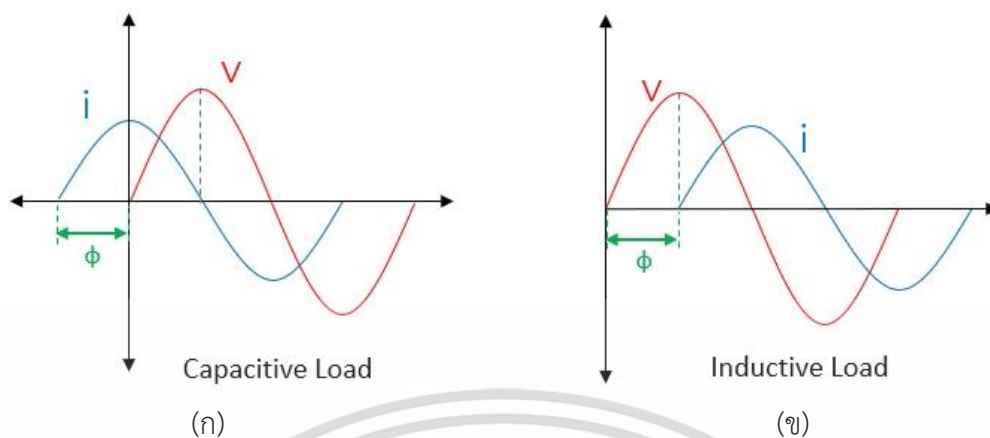
รูปที่ 2.14 สามเหลี่ยมของกำลังไฟฟ้า

### 2.7.3.1 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบล่าหลัง

โหลดประเภทตัวเหนี่ยวนำ (Inductive) จะมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไม่เป็นหนึ่ง เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ขดลวด มอเตอร์ บัลลาสต์ของหลอดฟลูออเรสเซนต์ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น จะเห็นได้ว่าหน่วยงานหรือองค์ประกอบใหญ่ จะหลีกเลี่ยงโหลดประเภทนี้ไม่ได้และมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าไม่เป็นหนึ่ง โหลดประเภทนี้จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าล่าหลัง (Lagging) คือ แรงดันไฟฟ้าจะนำหน้ากระแสไฟฟ้า ตามรูปที่ 2.15 (ข) และรูปที่ 2.16 (ข) จำเป็นที่จะต้องปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยการนำโหลดประเภทให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านำหน้า (Leading) มาต่อเข้าในวงจรไฟฟ้าของระบบ

### 2.7.3.2 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า

โหลดที่มีตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นองค์ประกอบจะมีใช้น้อยมาก ซึ่งโหลดประเภทนี้จะทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไม่เป็นหนึ่งเกิดตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้า (Leading) คือ กระแสไฟฟ้าจะนำหน้าแรงดันไฟฟ้า ตามรูปที่ 2.15 (ก) และรูปที่ 2.16 (ก) ส่วนใหญ่ จึงนิยมนำโหลดประเภทนี้มาปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบที่มีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบล่าหลัง เพื่อให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงหนึ่ง



รูปที่ 2.15 แสดงลักษณะรูปคลื่นระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

(ก) ในกรณีที่โหลดของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับเป็นชนิดตัวเก็บประจุ

(ข) ในกรณีที่โหลดของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับเป็นชนิดตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2.16 แสดงสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

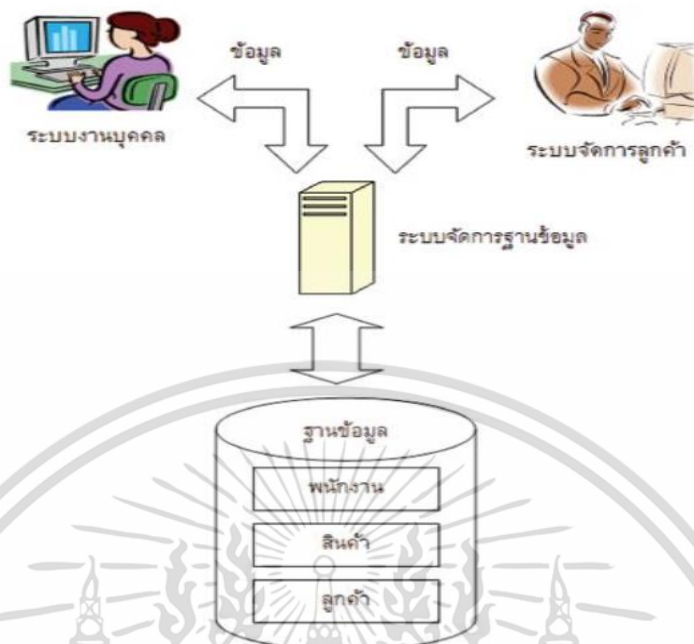
(ก) ในกรณีที่โหลดชนิดตัวเก็บประจุ

(ข) ในกรณีที่โหลดชนิดตัวเหนี่ยวนำ

## 2.8 ระบบจัดการฐานข้อมูล

ระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System: DBMS) หมายถึง ซอฟต์แวร์ของระบบที่ใช้ในการควบคุมดูแลและจัดการฐานข้อมูลโดยที่โปรแกรมของระบบงานต่าง ๆ ที่จะเข้ามาใช้ข้อมูลในฐานข้อมูลจะต้องผ่านซอฟต์แวร์ที่ดูแลฐานข้อมูล (ระบบจัดการฐานข้อมูล) แสดงดังรูปที่ 2.17 เพื่อความปลอดภัยของข้อมูลและความถูกต้องของข้อมูล อีกทั้งซอฟต์แวร์ที่ดูแลฐานข้อมูลยังมีหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบตามความต้องการของผู้ใช้ ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถทำงานได้กับระบบฐานข้อมูลตามความประสงค์ของโปรแกรมหรือผู้ใช้แต่ละคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบจัดการฐานข้อมูล โปรแกรมต่าง ๆ และฐานข้อมูล  
(สุกิจ คูชัยสิทธิ์, 2561)

### 2.8.1 หน้าที่ของระบบจัดการฐานข้อมูล

- 1) ช่วยกำหนดและเก็บโครงสร้างฐานข้อมูล (Define and Store Database Structure) ระบบจัดการฐานข้อมูลจะช่วยกำหนดและเก็บโครงสร้างฐานข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลถูกจัดเก็บตามโครงสร้างของฐานข้อมูล และทำให้เกิดความถูกต้องตามกฎเกณฑ์ของระบบ โดยโครงสร้างของฐานข้อมูลนั้น ๆ จะถูกออกแบบโดยผู้ดูแลระบบฐานข้อมูลกับผู้วิเคราะห์และออกแบบระบบ
- 2) การบรรจุข้อมูลจากฐานข้อมูล (Load Database) เมื่อมีการเพิ่มข้อมูลหรือมีการประมวลผลที่เกิดจากการทำงานของเหล่าโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ระบบจัดการฐานข้อมูลจะทำการรับและเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการประมวลผลครั้งต่อไป
- 3) เก็บและดูแลข้อมูล (Store and Maintain Data) เมื่อมีการทำงาน ข้อมูลในระบบฐานข้อมูลจะถูกจัดเก็บและรวบรวมไว้ด้วยกัน โดยมีระบบจัดการฐานข้อมูลเป็นผู้ดูแลรักษาข้อมูล
- 4) ประสานงานกับระบบปฏิบัติการ (Operating Systems) ระบบปฏิบัติการเป็นโปรแกรมระบบของเครื่องที่คอยควบคุมการทำงานของอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โปรแกรมต่าง ๆ ส่วนระบบจัดการฐานข้อมูลจะทำการประสานงานกับระบบปฏิบัติการในการเรียกใช้ แก้ไขข้อมูล หรือออกรายงานที่ต้องการตามผู้ใช้
- 5) ช่วยควบคุมความปลอดภัย (Security Control) ในระบบจัดการฐานข้อมูล จะมีวิธีควบคุมการเรียกใช้หรือแก้ไขเปลี่ยนแปลงข้อมูลของผู้ใช้ในระบบ ซึ่งสามารถเรียกใช้ข้อมูลมาแก้ไขได้แตกต่างกัน เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นกับฐานข้อมูล
  - 6) การจัดทำข้อมูลสำรองและการกู้ (Backup and Recovery) ระบบจัดการฐานข้อมูลจะมีโปรแกรมเพื่อสนับสนุนการสำรองและกู้คืนของข้อมูล เพื่อทำให้แน่ใจในความปลอดภัยและความมั่นคงของข้อมูลในระบบ ระบบจัดการฐานข้อมูลจะทำการกู้ข้อมูลในฐานข้อมูลคืนมาหลังจากระบบเกิดความล้มเหลว (Failure) เช่น กระแสไฟฟ้าเกิดขัดข้อง เป็นต้น
  - 7) ควบคุมการใช้ข้อมูลพร้อมกันของผู้ใช้ในระบบ (Concurrency Control) ในระบบคอมพิวเตอร์ที่ผู้ใช้หลายคนสามารถเรียกใช้ข้อมูลพร้อมกัน ระบบจัดการฐานข้อมูลที่มีคุณสมบัตินี้ จะทำการควบคุมการใช้ข้อมูลพร้อมกันของผู้ใช้หลายคนในเวลาเดียวกันได้ โดยมีการควบคุมอย่างถูกต้องเหมาะสม เช่น ถ้ามีการแก้ไขข้อมูลนั้นยังไม่เรียบร้อย ผู้ใช้อื่น ๆ ที่ต้องการเรียกใช้ข้อมูลนี้ จะต้องรอนจนกว่าการแก้ไขเสร็จเรียบร้อย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาการเรียกใช้ข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง
  - 8) ควบคุมความบูรณภาพของข้อมูล (Integrity Control) ระบบจัดการฐานข้อมูลจะสนับสนุนและควบคุมความถูกต้องของข้อมูล ตั้งแต่การลดความซ้ำซ้อนของข้อมูลไปจนถึงความไม่สอดคล้องกันของข้อมูล ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เก็บในพจนานุกรมข้อมูลจะถูกนำมาใช้ในการควบคุมความถูกต้องของข้อมูลด้วย
  - 9) ทำหน้าที่จัดทำพจนานุกรมข้อมูล (Data Dictionary) ระบบจัดการฐานข้อมูลจะทำการจัดเก็บนิยามของข้อมูลและความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลไว้ในพจนานุกรม ข้อมูลเป็นสารสนเทศที่บอกเกี่ยวกับโครงสร้างของฐานข้อมูล โปรแกรมประยุกต์ทั้งหมดที่ต้องการเข้าถึงข้อมูลในฐานข้อมูล จะต้องทำงานผ่านระบบจัดการฐานข้อมูลโดยที่ระบบจัดการฐานข้อมูลจะใช้พจนานุกรมข้อมูล เพื่อค้นหาโครงสร้าง ตลอดจนส่วนประกอบของข้อมูลและความสัมพันธ์ที่ต้องการ นอกจากนั้นแล้วการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่มีต่อโครงสร้างฐานข้อมูลจะถูกบันทึกไว้โดยอัตโนมัติในพจนานุกรมข้อมูล ทำให้ไม่ต้องไปเปลี่ยนแปลง แก้ไขโปรแกรมเมื่อโครงสร้างข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง

## 2.8.2 องค์ประกอบของระบบฐานข้อมูล

ระบบฐานข้อมูลเป็นระบบที่ต้องนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการจัดเก็บข้อมูล โดยมีซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมช่วยจัดการข้อมูลเหล่านี้ เพื่อให้ได้ข้อมูลอย่างรวดเร็วตามที่ผู้ใช้ต้องการ องค์ประกอบของฐานข้อมูลแบ่งออกเป็น 5 ประเภท คือ

### 2.8.2.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware)

ระบบฐานข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูงควรมีฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ที่มีประสิทธิภาพพร้อมจะอำนวยความสะดวกในการจัดการระบบฐานข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตั้งแต่ความเร็วของหน่วยประมวลผลกลาง ขนาดของหน่วยความจำหลัก อุปกรณ์นำข้อมูลเข้า และออกรายงาน รวมถึงหน่วยความจำสำรองที่จะรองรับการประมวลผลข้อมูลในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.8.2.2 โปรแกรม (Program)

การประมวลผลฐานข้อมูลจะใช้โปรแกรมที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นกับระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้โปรแกรมที่ทำหน้าที่ควบคุมดูแลการสร้าง การเรียกใช้ข้อมูล การจัดการทำรายงานการปรับเปลี่ยนแก้ไข โครงสร้างการควบคุมความปลอดภัยของข้อมูลก็คือระบบจัดการฐานข้อมูลซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำหน้าที่เป็นสื่อกลางระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ ใช้ระบบฐานข้อมูล

### 2.8.2.3 ข้อมูล (Data)

ข้อมูลจะถูกรวบรวมไว้ในระบบฐานข้อมูล ซึ่งระบบฐานข้อมูลจะเป็นศูนย์กลางของข้อมูลอย่างมีระบบและสามารถใช้ข้อมูลนี้ร่วมกันได้ โดยผู้ใช้ข้อมูลในระบบฐานข้อมูลจะมองภาพข้อมูลในลักษณะที่แตกต่างกันไป

### 2.8.2.4 บุคลากร (People)

บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับฐานข้อมูล ได้แก่

- 1) ผู้ใช้ทั่วไป (User) เป็นผู้ใช้ระบบฐานข้อมูล โดยผ่านทางโปรแกรมประยุกต์ที่นักเขียนโปรแกรมประยุกต์ได้จัดเตรียมไว้ให้เรียบร้อยแล้ว เช่น พนักงานที่เคาน์เตอร์ เป็นต้น
- 2) พนักงานปฏิบัติการ (Operator) เป็นผู้ป้อนข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลผ่านโปรแกรมประยุกต์
- 3) นักวิเคราะห์และออกแบบระบบ (System Analyst) เป็นผู้ที่ทำหน้าที่วิเคราะห์และออกแบบระบบฐานข้อมูล และระบบงานที่จะนำระบบฐานข้อมูลมาใช้

- 4) ผู้เขียนโปรแกรม (Programmer) เป็นผู้เขียนโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้งานต่าง ๆ เพื่อให้การจัดเก็บการเรียกใช้ข้อมูลเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้
- 5) ผู้บริหารฐานข้อมูล (Database Administrator: DBA) เป็นผู้ที่ทำหน้าที่บริหารและควบคุมการบริหารงานของระบบฐานข้อมูลทั้งหมด เป็นผู้ที่จะต้องตัดสินใจว่าจะรวบรวมข้อมูลอะไรเข้าในระบบ จัดเก็บโดยวิธีใด เทคนิคการเรียกใช้ข้อมูล กำหนดระบบการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล กำหนดสิทธิ์ในการเข้าใช้ระบบฐานข้อมูลให้กับผู้ใช้ กำหนดกฎข้อบังคับในการบูรณาการข้อมูล การสร้างระบบข้อมูลสำรอง การกู้ และประสานงานกับผู้ใช้ว่ามีความต้องการใช้ข้อมูลอย่างไร รวมถึงนักวิเคราะห์และออกแบบระบบและโปรแกรมเมอร์ประยุกต์ใช้งานเพื่อให้การบริหารระบบฐานข้อมูลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.8.2.5 ขั้นตอนปฏิบัติงาน (Procedures)

ระบบฐานข้อมูลควรจะมีการจัดทำเอกสาร ที่ระบุขั้นตอนการทำงานของหน้าทำงานต่าง ๆ ในระบบฐานข้อมูล ข้อมูลทั้งในสภาวะปกติและในสภาวะที่ระบบเกิดปัญหา ซึ่งจะเป็นขั้นตอนการปฏิบัติงานสำหรับบุคลากรในทุกระดับขององค์กร เมื่อเกิดปัญหาก็สามารถนำเอกสารที่บันทึกการทำงานมาตรวจสอบได้ เพื่อการแก้ไขข้อผิดพลาดได้อย่างรวดเร็วและทำการบันทึกวิธีการแก้ไขเมื่ออาจจะเกิดข้อผิดพลาดนั้นขึ้นซ้ำ

### 2.8.3 ข้อดีในการใช้ระบบฐานข้อมูล

การมีระบบฐานข้อมูลมาใช้งานนั้นจะมีข้อดี ดังนี้

- 1) หลีกเลี่ยงความขัดแย้งของข้อมูล การจัดเก็บข้อมูลแบบฐานข้อมูลจะมีการจัดเก็บไว้ที่เดียว ถ้ามีการแก้ไขข้อมูลก็จะแก้ที่เดียว ทำให้โอกาสที่ข้อมูลขัดแย้งกันไม่มี
- 2) สามารถใช้ข้อมูลร่วมกันได้ การจัดเก็บข้อมูลแบบฐานข้อมูลจะมีการจัดเก็บไว้ที่เดียว ทำให้การเรียกใช้ข้อมูลจากโปรแกรมประยุกต์ต่าง ๆ หลายที่สามารถเรียกใช้ข้อมูลที่เดียวและร่วมกันได้ จะทำให้ได้ข้อมูลที่ทันสมัย
- 3) สามารถลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล การจัดเก็บข้อมูลแบบฐานข้อมูลจะมีการจัดเก็บไว้ที่เดียว ถ้ามีการแก้ไขข้อมูลก็จะแก้ที่เดียวทำให้ลดปัญหาเรื่องความซ้ำซ้อนโดยที่มีระบบจัดการฐานข้อมูล ช่วยควบคุมความซ้ำซ้อนในการจัดเก็บและการประมวลผล ทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) การรักษาความถูกต้องเชื่อถือได้ของข้อมูล ซึ่งในระบบจัดการข้อมูลสามารถระบุกฎเกณฑ์ เพื่อควบคุมความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ทำให้เกิดความน่าเชื่อถือของข้อมูล
- 5) สามารถกำหนดความเป็นมาตรฐานเดียวกัน การเก็บข้อมูลไว้ที่เดียวกันทำให้สามารถกำหนดและควบคุมความมีมาตรฐานของข้อมูลให้เป็นไปในลักษณะเดียวกันได้ เพราะในระบบฐานข้อมูลจะมีกลุ่มบุคคลที่คอยบริหารระบบฐานข้อมูล กำหนดมาตรฐานต่าง ๆ ในการจัดเก็บข้อมูลไปในลักษณะเดียวกันเช่น โครงสร้างข้อมูล ชนิดของข้อมูลที่จัดเก็บ เป็นต้น
- 6) สามารถกำหนดระบบความปลอดภัยของข้อมูลได้ ผู้บริหารระบบฐานข้อมูลสามารถกำหนดระดับการเรียกใช้ข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคน ให้แตกต่างกันตามหน้าที่ความรับผิดชอบได้ง่าย และข้อมูลสำคัญ ๆ หรือเป็นความลับก็จะให้สิทธิเฉพาะผู้ใช้บางคนได้เห็นได้ใช้เท่านั้น
- 7) ความเป็นอิสระของข้อมูลและโปรแกรม

#### 2.8.4 ข้อเสียในการใช้ระบบฐานข้อมูล

การมีระบบฐานข้อมูลมาใช้งานนั้นจะมีข้อเสีย ดังนี้

- 1) ระบบฐานข้อมูลมีต้นทุนสูง ระบบฐานข้อมูลก่อให้เกิดต้นทุนสูงขึ้น เช่นค่าใช้จ่ายซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการจัดการระบบฐานข้อมูล ค่าใช้จ่ายบุคลากรในการปฏิบัติการ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงดูแลระบบฐานข้อมูลและค่าใช้จ่ายฮาร์ดแวร์ เป็นต้น
- 2) ระบบฐานข้อมูลมีความซับซ้อน ระบบจัดการฐานข้อมูลช่วยอำนวยความสะดวกในการจัดการข้อมูลได้ดี ซึ่งกระบวนการนั้นทำให้เกิดความสลับซับซ้อนสูงได้ เช่นการจัดเก็บข้อมูล การออกแบบฐานข้อมูล การเขียนโปรแกรม เป็นต้น
- 3) การเสี่ยงต่อการหยุดชะงักของระบบ เนื่องจากข้อมูลอาจถูกเก็บไว้ในลักษณะเป็นศูนย์รวม (Centralized Database System) หากระบบเกิดความล้มเหลวบางส่วนทำให้ในระบบฐานข้อมูลเกิดการหยุดชะงัก มีผลกระทบกับการทำงานที่ต้องหยุดชะงักตามไปด้วย
- 4) การกู้คืนทำได้ยาก ต้องใช้เครื่องมือต่าง ๆ มากขึ้น

## 2.8.5 โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL

MySQL คือ โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล ที่พัฒนาโดยบริษัท MySQL AB มีหน้าที่เก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ รองรับคำสั่ง SQL ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูล ที่ต้องใช้ร่วมกับเครื่องมือหรือโปรแกรมอื่นอย่างบูรณาการ แสดงดังรูปที่ 2.18 เพื่อให้ได้ระบบงานที่รองรับความต้องการของผู้ใช้ เช่นทำงานร่วมกับเครื่องบริการเว็บ เพื่อให้บริการแก่ภาษาสคริปต์ที่ทำงานฝั่งเครื่องบริการ (Server-Side Script) เช่น ภาษา PHP ภาษา asp.net หรือภาษา JSP เป็นต้น หรือทำงานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ เช่น ภาษา Visual basic ภาษา Java หรือภาษา C# เป็นต้น โปรแกรมถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการที่หลากหลายและเป็นระบบฐานข้อมูลแบบ Open Source ที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุด



รูปที่ 2.18 แสดงการส่งข้อมูลจากผู้ใช้งานผ่านระบบอินเทอร์เน็ตผ่านเว็บเซิร์ฟเวอร์เพื่อเข้าสู่ระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL (Mitchell Anicas, 2014)

## 2.8.6 โปรแกรม phpMyAdmin

phpMyAdmin คือ โปรแกรมที่ถูกพัฒนาโดยใช้ภาษา PHP เพื่อใช้ในการบริหารจัดการฐานข้อมูล MySQL แทนการป้อนคำสั่งเป็นเครื่องมือในการจัดการฐานข้อมูล MySQL เพื่อให้สามารถจัดการระบบจัดการฐานข้อมูลที่เป็น MySQL ได้ง่ายและสะดวกยิ่งขึ้น โดย phpMyAdmin ถือเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งในการจัดการนั่นเอง โดยสามารถที่จะทำการสร้างฐานข้อมูลใหม่ หรือทำการสร้างตารางและยังมีฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการทดสอบการ Query ข้อมูลด้วยภาษา SQL พร้อมกันนั้นยังสามารถทำการแทรก (insert), ลบ (delete), อัปเดต (update) หรือแม้กระทั่งใช้คำสั่งต่าง ๆ เหมือนกันกับการใช้ภาษา SQL ในการสร้างตารางข้อมูล phpMyAdmin เป็นโปรแกรมประเภท MySQL Client ตัวหนึ่งที่ใช้ในการจัดการข้อมูล MySQL ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้โดยตรง phpMyAdmin นี้จะทำงานบนเว็บเซิร์ฟเวอร์เป็น PHP Application ที่ใช้ควบคุมจัดการ MySQL Server ความสามารถของ phpMyAdmin คือ

- 1) สร้างและลบ Database
- 2) สร้างและจัดการ Table เช่น แทรก (insert), ลบ (delete), อัปเดต (update)
- 3) โหลดเท็กซ์ไฟล์เข้าไปเก็บเป็นข้อมูลในตารางได้
- 4) หาผลสรุป (Query) ด้วยคำสั่ง SQL

## 2.9 เว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server)

เว็บเซิร์ฟเวอร์ คือ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่ให้บริการข้อมูลแก่ Client หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ ที่ขอรับบริการ ในรูปแบบสื่อผสมผ่านระบบเครือข่ายโดยสามารถแสดงผลผ่านโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ หรืออาจกล่าวได้ว่าเว็บเซิร์ฟเวอร์คือโปรแกรมที่คอยให้บริการแก่ Client ที่ร้องขอข้อมูลเข้ามาผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ โปรแกรมที่นิยมนำมาใช้เป็นเครื่องบริการเว็บ ได้แก่ อาปาเช่ (Apache Web Server) และไมโครซอฟท์ไอไอเอส (Microsoft IIS) โดย XAMPP เป็นโปรแกรม Apache Web Server สำหรับจำลองเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลให้ทำงานเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ นั่นคือเครื่องคอมพิวเตอร์จะเป็นทั้งเครื่องแม่และเครื่องลูกในเครื่องเดียวกัน ทำให้ไม่ต้องเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต โปรแกรม XAMPP จะมาพร้อมกับภาษา PHP สำหรับพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่เป็นที่นิยมฐานข้อมูล MySQL, Apache จะทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์, Perl, OpenSSL และ phpMyadmin โปรแกรม XAMPP จะอยู่ในรูปแบบของไฟล์ Zip, tar, 7z หรือ exe

## 2.10 โปรแกรม Text Editor

โปรแกรม Text Editor ใช้สำหรับสร้างและแก้ไขข้อความในการสร้างเว็บเพจสามารถแก้ไขโค้ดได้หลายภาษา เช่น HTML, PHP, Java, C/C++, CSS, ASP, Perl, JavaScript และ VBScript เป็นต้น ในการเขียนและแก้ไขตัวอักษรซึ่งเป็นคำสั่งต่าง ๆ ปัจจุบันมีโปรแกรม Text Editor หลายโปรแกรม เช่น Notepad, EditPlus หรือโปรแกรม Dreamweaver ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปในการสร้างเว็บเพจ โดยมี Notepad++ เป็นโปรแกรม Text Editor ที่ใช้กันมานานและมีการอัปเดตคุณสมบัติใหม่ ๆ อยู่ตลอดเวลา มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 1) ซอฟต์แวร์ Open Source สามารถดาวน์โหลดติดตั้งใช้งานได้ฟรี
- 2) โปรแกรมมีขนาดเล็ก ติดตั้งง่าย
- 3) มี Syntax Highlighting ซึ่งช่วยให้การเขียนโค้ดโปรแกรมได้สะดวก รองรับภาษาคอมพิวเตอร์ได้หลายภาษา เช่น C, C++, Java, C#, XML, HTML, PHP, CSS และอื่น ๆ อีกมากมาย
- 4) ระบบเติมคำอัตโนมัติ
- 5) สามารถเปิดเอกสารได้หลายชนิดในเวลาเดียวกัน
- 6) ระบบกรองคำเพื่อการค้นหาและแทนที่คำ
- 7) รองรับการเข้ารหัสเช่น ASCII และ Unicode (UTF-8) และอื่นๆ อีกมากมาย

## 2.11 ภาษาซี

ภาษาซีเป็นภาษาคอมพิวเตอร์เพื่อวัตถุประสงค์ทั่วไป เป็นภาษาที่มีความจำเป็นมาก สนับสนุนการเขียนโปรแกรมที่มีโครงสร้าง การกำหนดขอบเขตของตัวแปร และการเรียกใช้ตัวเอง (recursion) และมีความใกล้เคียงกับภาษาในระดับต่ำ (low level) นั่นคือภาษาที่สามารถทำงานได้ดีในระดับของฮาร์ดแวร์ ภาษาซีถูกออกแบบมาให้สามารถที่จะทำงานร่วมกันกับคำสั่งพื้นฐานของคอมพิวเตอร์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะฉะนั้นจึงถูกพบบ่อยในการใช้สร้างแอปพลิเคชันในสมัยก่อนที่เขียนโดยภาษาแอสเซมบลี รวมถึงระบบปฏิบัติการเช่นเดียวกันกับซอฟต์แวร์ประยุกต์สำหรับคอมพิวเตอร์ ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์และระบบฝังตัว

### 2.11.1 โครงสร้างของโปรแกรมภาษาซี

ในภาษาซีจะเขียนโปรแกรมโดยการเรียกใช้แต่ละชุดของโปรแกรม ที่เรียกว่าฟังก์ชัน (Function) หรือในโปรแกรมภาษาอื่นอาจจะเรียกว่าโปรแกรมย่อยหรือชุดคำสั่งย่อย (Procedure) ฟังก์ชันเหล่านี้จะมีชื่ออะไรก็ได้ ก็ฟังก์ชันก็ได้ แต่อย่างน้อยต้องมี 1 ฟังก์ชันที่ชื่อ main เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำงานที่ฟังก์ชันนี้ แสดงตามตัวอย่างโปรแกรม 2.1 โครงสร้างของโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาซี แบ่งย่อยได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

- 1) ส่วนเรียกใช้ไฟล์อื่น ๆ เป็นส่วนที่บอกให้คอมไพเลอร์ไปเรียกไฟล์อื่นที่กำหนดมาแปลรวมด้วย ไฟล์เหล่านี้อาจจะเป็นไฟล์มาตรฐานที่มีให้แล้วในภาษาซี หรือเป็นไฟล์ที่เขียนขึ้นมาใหม่ก็ได้ โดยส่วนใหญ่มักจะเป็นไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น .h
- 2) ส่วนกำหนดชื่อในโปรแกรม เป็นส่วนที่ใช้กำหนดค่าคงที่ ตัวแปร และค่าอื่น ๆ ที่ต้องการ
- 3) ส่วนคำสั่งจะประกอบด้วยคำสั่งต่าง ๆ หรือฟังก์ชันอื่น ๆ ที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรม 2.1 แสดงลักษณะของการเขียนโปรแกรมภาษา C

```
#include <stdio.h>
void main(void) {
printf("Hello World");
}
```

### 2.11.2 ตัวแปรในภาษาซี

ตัวแปร หมายถึงชื่อเรียกแทนพื้นที่เก็บข้อมูลในหน่วยความจำ มีชนิดของข้อมูลหรือรูปแบบของตัวแปร แสดงดังตารางที่ 2.3 ซึ่งการกำหนดตัวแปร ทำได้ 2 แบบ คือ

- 1) กำหนดไว้นอกกลุ่มคำสั่งหรือฟังก์ชัน เรียกตัวแปรนี้ว่า Global Variable กำหนดไว้ นอกฟังก์ชันใช้งานได้ทั้งโปรแกรม มีค่าเริ่มต้นเป็น 0 (กรณีไม่ได้กำหนดค่าเริ่มต้น)
- 2) กำหนดไว้ในกลุ่มคำสั่งหรือฟังก์ชัน เรียกตัวแปรนี้ว่า Local Variable กำหนดไว้ ภายในฟังก์ชัน ใช้งานได้ภายในฟังก์ชันนั้น และไม่ถูกกำหนดค่าเริ่มต้นโดยอัตโนมัติ

### 2.11.3 ฟังก์ชันในการรับและแสดงผลข้อมูล

ฟังก์ชันในการรับค่าข้อมูลในภาษาซี จะมีฟังก์ชันมาตรฐานในการรับค่าข้อมูลหรือค่าตัวแปรออกมาทางจอภาพ ฟังก์ชันนั้นคือ ฟังก์ชัน scanf ส่วนฟังก์ชันในการแสดงผลข้อมูล จะมีฟังก์ชันมาตรฐานในการแสดงผลข้อมูลหรือค่าตัวแปรออกมาทางจอภาพ ฟังก์ชันนั้นคือ ฟังก์ชัน printf ภายในฟังก์ชันประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ

- 1) ส่วน control สามารถแสดงผลเป็นข้อความหรือรหัสรูปแบบโค้ด ดังตารางที่ 2.4
- 2) ส่วน argument list เป็นชุดตัวแปร ค่าคงที่ หรือ นิพจน์ที่ต้องการนำมาแสดงผล ถ้ามีมากกว่า 1 ค่าจะแยกออกจากกัน โดยใช้เครื่องหมายคอมม่า ( , ) นอกจากนี้ยังมี Escape Sequence คือรหัสพิเศษที่แทรกลงไป ค่าคงที่ที่สตริง เพื่อใช้ควบคุมการแสดงผลของตัวอักษรในลักษณะต่าง ๆ โดยการเขียนจะต้องมีเครื่องหมาย \ (Back-Slash) นำหน้ารหัสควบคุมการแสดงผล ในตารางที่ 2.5

#### 2.11.3.1 ฟังก์ชันอื่นๆ ที่ใช้ในการรับและแสดงผลข้อมูล

ภาษาซีนอกจากจะมีฟังก์ชัน scanf สำหรับรับข้อมูลและฟังก์ชัน printf สำหรับแสดงผลแล้ว ยังมีฟังก์ชันอื่นๆอีก ได้แก่

- 1) getchar ( ) เป็นฟังก์ชันที่รับข้อมูลเข้ามาทางแป้นพิมพ์ทีละ 1 ตัวอักษร โดยต้องกด enter ทุกครั้งเมื่อสิ้นสุดข้อมูล อักษรจะปรากฏบนจอภาพ
- 2) getch ( ) เป็นฟังก์ชันที่รับข้อมูลที่เป็นตัวอักษร 1 ตัว เข้ามาทางแป้นพิมพ์ โดยเมื่อป้อน ข้อมูลเสร็จไม่ต้องกดปุ่ม enter และอักษรที่ป้อนเข้ามาจะไม่ปรากฏบนจอภาพ
- 3) gets ( ) เป็นฟังก์ชันที่รับข้อมูลที่เป็นข้อความ จากแป้นพิมพ์เข้ามาเก็บไว้ในตัวแปร

- 4) putchar ( ) เป็นฟังก์ชันที่ใช้ให้คอมพิวเตอร์แสดงผลบนจอภาพทีละ 1 ตัวอักษร
- 5) puts ( ) เป็นฟังก์ชันที่ใช้แสดงผลข้อมูลที่เป็นข้อความที่เก็บไว้ในตัวแปรชุดออกมาบนจอภาพ

ตารางที่ 2.3 แสดงชนิดและขนาดของข้อมูลที่ใช้ในภาษา C (MarcusCode, 2018)

ชนิด	ขนาดความกว้าง	ช่วงของค่า
Char	8 บิต	ASCII character (-128 ถึง 127)
Unsigned char	8 บิต	0-255
Int	16 บิต	-32768 ถึง 32767
Long int	32 บิต	-2147483648 ถึง 2147483649
Float	32 บิต	3.4E-38 ถึง 3.4E+38 หรือ ทศนิยม 6 ตำแหน่ง
Double	64 บิต	1.7E-308 ถึง 1.7E+308 หรือ ทศนิยม 12 ตำแหน่ง
Unsigned int	16 บิต	0 ถึง 65535
Unsigned long int	32 บิต	0 ถึง 4294967296

ตารางที่ 2.4 แสดงรหัสรูปแบบที่ใช้ในฟังก์ชัน printf (MarcusCode, 2018)

รหัสรูปแบบ	ชนิดตัวแปร	ลักษณะการแสดงผลออกจอภาพ
%d	int	ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นเลขจำนวนเต็มฐานสิบ
%ld	long int	ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นเลขจำนวนเต็มฐานสิบแบบ long
%u	unsigned int	ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นเลขจำนวนเต็มฐานสิบแบบ unsigned
%c	char	ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นตัวอักษร
%s	string	ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นตัวแปรสตริงหรือชุดตัวอักษร
%o	int (octal)	ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นเลขฐานแปด
%x	int (hexa)	ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นเลขฐานสิบหก
%f	float	ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นเลขทศนิยม ที่ไม่มีเลขยกกำลัง
%e	float, double	ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นเลขทศนิยม ที่มีเลขชี้กำลัง
%lf	double	ใช้แสดงข้อมูลที่เป็นเลขทศนิยมแบบ double

### 2.11.4 เครื่องหมายดำเนินการ (Operators)

เครื่องหมายดำเนินการ (Operators) หรือ ตัวดำเนินการ นั้นกำหนดการกระทำที่เกิดขึ้นกับตัวแปรและค่าคงที่ โดยที่นิพจน์ประกอบด้วยตัวแปร และค่าคงที่ และใช้ตัวดำเนินการคำนวณเพื่อให้ได้ค่า ตัวดำเนินการในภาษา C มีจำนวนมากเมื่อเปรียบเทียบกับภาษาคอมพิวเตอร์อื่น

ตารางที่ 2.5 แสดง Escape sequence ต่าง ๆ ที่มีใช้ในภาษา C (MarcusCode, 2018)

Escape Sequence	ค่า	หน้าที่
\a	0x07	เสียงดังออล่าโพงหนึ่งครั้ง
\b	0x08	เลื่อน cursor ไปลบตัวอักษรทางซ้ายมือหนึ่งตัวอักษร
\f	0x0c	ขึ้นหน้าใหม่
\n	0x0a	ขึ้นบรรทัดใหม่
\r	0x0d	เลื่อน cursor ไปทางซ้ายมือสุดของบรรทัด
\t	0x09	ตั้ง tab ในแนวนอน
\v	0x0b	ตั้ง tab ในแนวตั้ง
\\	0x5c	เครื่องหมาย \
\'	0x2c	เครื่องหมาย '
\"	0x22	เครื่องหมาย "
\?	0x3f	เครื่องหมาย ?

#### 2.11.4.1 ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์

ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ เป็นตัวดำเนินการที่คำนวณทางด้านคณิตศาสตร์ให้มีค่าออกมา มีชนิดสอดคล้องกับชนิดของตัวถูกกระทำ แสดงดังตารางที่ 2.6

#### 2.11.4.2 ตัวดำเนินการสัมพันธ์และตัวดำเนินการตรรกะ

ตัวดำเนินการสัมพันธ์ เป็นเครื่องหมายที่ใช้ในการเปรียบเทียบและตัดสินใจ ซึ่งผลของการเปรียบเทียบจะเป็นได้ 2 กรณีเท่านั้นคือ จริงและเท็จ ภาษาซีถือว่าค่าทางตรรกะจริงและเท็จมีชนิดเป็น int ดังนั้นผลการกระทำทางตรรกะจึงมีค่าเป็นจำนวนเต็ม และมีค่าได้เพียงสองค่าคือ 1 หรือตัวเลขใดๆ แทนค่าความจริงเป็นจริง และ 0 แทนค่าความจริงเป็นเท็จ ส่วนตัวดำเนินการตรรกะใช้ในการเปรียบเทียบ และกระทำทางตรรกะกับค่าตัวเลข หรือค่าที่อยู่ในตัวแปร ผลลัพธ์ที่ได้จะมีเพียง 2 ค่า เช่นเดียวกับผลลัพธ์ของตัวดำเนินการสัมพันธ์คือจริงและเท็จ รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 แสดงประเภทของตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์ (MarcusCode, 2018)

เครื่องหมาย	ความหมาย	ตัวอย่าง
+	การบวก	A+B
-	การลบ	A-B
*	การคูณ	A*B
/	การหาร	A/B
%	การหารเอาแต่เศษไว้(Modulo)	5%3=1 เศษ2 จะเก็บแต่เศษ 2 เอาไว้
--	การลดค่าลงครั้งละ 1	A - จะเหมือนกับ A=A-1
++	การเพิ่มค่าขึ้นครั้งละ 1	A++ จะเหมือนกับ A=A+1

ตารางที่ 2.7 แสดงตัวดำเนินการสัมพันธ์และตัวดำเนินการตรรกะ (MarcusCode, 2018)

Operator	เครื่องหมาย	ความหมาย
ตัวดำเนินการสัมพันธ์ (Relational Operator)	<	น้อยกว่า
	>	มากกว่า
	<=	น้อยกว่า หรือ เท่ากับ
	>=	มากกว่า หรือ เท่ากับ
ตัวดำเนินการเท่ากับ (Equal Operator)	==	เท่ากับ
	!=	ไม่เท่ากับ
ตัวดำเนินการตรรกะ (Logical Operator)	!	นิเสธ
	&&	และ
		หรือ

#### 2.11.4.3 ตัวดำเนินการประกอบ

ตัวดำเนินการประกอบ คือ ตัวดำเนินการที่เป็นรูปแบบย่อของตัวดำเนินการกับตัวแปรที่ถูกดำเนินการ ดังตารางที่ 2.8 โดยตัวดำเนินการประกอบของภาษา C มีทั้งหมด 10 รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.8 แสดงตัวประกอบดำเนินการ (MarcusCode, 2018)

Operator	ตัวอย่าง	เทียบเท่ากับ
+=	a += 2;	a = a + 2
-=	a -= 2;	a = a - 2
*=	a *= 2;	a = a * 2
/=	a /= 2;	a = a / 2
%=	a %= 2;	a = a % 2
>>=	a >>= 2;	a = a >> 2
<<=	a <<= 2	a = a << 2
&=	a &= 2;	a = a & 2
^=	a ^= 2;	a = a ^ 2
=	a  = 2;	a = a   2

## 2.12 ภาษา PHP

PHP ย่อมาจาก PHP Hypertext Preprocessor แต่เดิมนย่อมาจาก Personal Home Page เป็นโปรแกรมภาษาที่ทำงานในลักษณะ ภาษาสคริปต์ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server-Side scripting language) คือมีลักษณะของการประมวลผลที่ฝั่งเซิร์ฟเวอร์ หลังจากนั้นก็จะทำการส่งผลลัพธ์ในรูปแบบ HTML กลับไปยังเว็บเบราว์เซอร์ ไฟล์ PHP จะเหมือนกับเอกสาร HTML ทั่วไป เนื่องจากสามารถเขียนแทรกคำสั่งภาษา PHP ลงไปในแท็กของ HTML ได้ ดังตัวอย่างโปรแกรม 2.2 ในทางกลับกันก็สามารถเขียนโปรแกรมภาษา HTML แทรกไว้ภายในภาษา PHP ได้เช่นกัน ซึ่งภาษา PHP มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 1) PHP เป็นโปรแกรมภาษาที่เป็นแบบ Open source สามารถดาวน์โหลดได้ฟรี
- 2) มีการแปลภาษาและทำการประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว
- 3) PHP สามารถทำงานได้ในระบบปฏิบัติการที่ต่างชนิดกัน เช่น Unix, Windows, Mac OS หรือ Risc OS อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจาก PHP เป็นสคริปต์ที่ต้องทำงานบนเซิร์ฟเวอร์ ดังนั้นคอมพิวเตอร์สำหรับเรียกใช้คำสั่ง PHP จึงจำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมเว็บเซิร์ฟเวอร์ไว้ด้วย เพื่อให้สามารถประมวลผล PHP ได้
- 4) PHP สามารถทำงานได้ในเว็บเซิร์ฟเวอร์หลายชนิด เช่น Personal Web Server (PWS), Apache, OmniHttpd และ Internet Information Service (IIS)
- 5) PHP สนับสนุนการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented Programming)

- 6) PHP มีความสามารถในการทำงานร่วมกับระบบจัดการฐานข้อมูลที่หลากหลาย ซึ่งระบบจัดการฐานข้อมูลที่สนับสนุนการทำงานของ PHP เช่น Oracle, MySQL, FilePro, Solid และ FrontBase เป็นต้น
- 7) PHP อนุญาตให้ผู้ใช้สร้างเว็บไซต์ซึ่งทำงานผ่านโปรโตคอลชนิดต่าง ๆ ได้ เช่น LDAP, IMAP, SNMP, POP3 และ HTTP เป็นต้น
- 8) โค้ด PHP สามารถเขียน และอ่านในรูปแบบของ XML ได้

## 2.13 ภาษา HTML

HTML ย่อมาจาก Hyper Text Markup Language คือภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแสดงผลของเอกสารบนเว็บไซต์ ถูกพัฒนาและกำหนดมาตรฐานโดยองค์กร World Wide Web Consortium (W3C) และจากการพัฒนาทางด้านซอฟต์แวร์ของ Microsoft ทำให้ภาษา HTML เป็นอีกภาษาหนึ่งที่ใช้เขียนโปรแกรมได้หรือที่เรียกว่า HTML Application HTML เป็นภาษาประเภท Markup สำหรับการการสร้างเว็บเพจ สามารถทำโดยใช้โปรแกรม Text Editor ต่าง ๆ เช่น Notepad, Editplus หรือจะอาศัยโปรแกรมที่เป็นเครื่องมือช่วยสร้างเว็บเพจ เช่น Microsoft FrontPage, DreamWeaver ซึ่งอำนวยความสะดวกในการสร้างหน้า HTML ส่วนการเรียกใช้งานหรือทดสอบการทำงานของเอกสาร HTML จะใช้โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ เช่น Microsoft Internet Explorer (IE), Mozilla Firefox, Safari, Opera, และ Netscape Navigator เป็นต้น ในการเขียนโปรแกรมภาษา HTML จะประกอบขึ้นจากแท็กคำสั่งต่าง ๆ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน มีโครงสร้างของภาษา HTML ดังนี้

- 1) <HTML>...</HTML> เป็นคำสั่งแรกที่ต้องมีในภาษา HTML ซึ่งบ่งบอกว่านี่คือภาษา HTML โดยจะอยู่ที่จุดเริ่มต้นของเอกสารและท้ายเอกสารในแต่ละแฟ้ม
- 2) <HEAD>...</HEAD> เป็นส่วนกำหนดรายละเอียดหัวข้อเรื่อง
- 3) <TITLE>...</TITLE> เป็นคำสั่งย่อย กำหนดชื่อหัวข้อเรื่องเว็บเพจที่ต้องการซึ่งจะต้องมีความยาวไม่เกิน 64 ตัวอักษร หัวข้อนี้จะไปปรากฏที่ Title bar ของเบราว์เซอร์ที่ใช้งานและปรากฏบน Bookmark ของโปรแกรมเบราว์เซอร์ด้วย
- 4) <BODY>...</BODY> ส่วนนี้เป็นส่วนเนื้อหาเว็บเพจที่จะแสดง

## 2.14 ภาษาจาวาสคริปต์

จาวาสคริปต์ คือภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการเขียนโปรแกรมบนระบบอินเทอร์เน็ต ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างสูง เป็นภาษาสคริปต์เชิงวัตถุ ซึ่งในการสร้างและพัฒนาเว็บไซต์ ใช้ร่วมกับภาษา HTML เพื่อให้เว็บไซต์มีการเคลื่อนไหว สามารถตอบสนองผู้ใช้งานได้มากขึ้น ซึ่งมีวิธีการทำงานในลักษณะแปล

ความและดำเนินงานไปที่ละคำสั่ง (interpret) หรือเรียกว่าอ็อบเจ็กต์โอเรียนเตด (Object Oriented Programming) ที่มีเป้าหมายในการ ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมในระบบอินเทอร์เน็ต สำหรับผู้เขียนด้วยภาษา HTML สามารถทำงานข้ามแพลตฟอร์มได้ โดยทำงานร่วมกับ ภาษา HTML และภาษา Java ได้ ทั้งทางฝั่งไคลเอนต์และทางฝั่งเซิร์ฟเวอร์ จาวาสคริปต์ถูกพัฒนาขึ้นโดย Netscape Communications Corporation โดยใช้ชื่อว่า Live Script ออกมาพร้อมกับ Netscape Navigator2.0 เพื่อใช้สร้างเว็บเพจ โดยติดต่อกับเซิร์ฟเวอร์แบบ Live Wire ต่อมา Netscape จึงได้ร่วมมือกับบริษัทซันไมโครซิสเต็มส์ ปรับปรุงระบบของบราวเซอร์เพื่อให้สามารถติดต่อใช้งานกับภาษาจาวาได้ และได้ปรับปรุง LiveScript ใหม่เมื่อ ปี 2538 แล้วตั้งชื่อใหม่ว่าจาวาสคริปต์ สามารถทำให้การสร้างเว็บเพจ มีลูกเล่นต่าง ๆ มากมาย และยังสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้ได้อย่างทันที เช่น การใช้เมาส์คลิกหรือการกรอกข้อความในฟอร์ม เป็นต้น เนื่องจากจาวาสคริปต์ ช่วยให้ผู้ใช้พัฒนา สามารถสร้างเว็บเพจได้ตรงกับความต้องการ และมีความน่าสนใจมากขึ้น ประกอบกับเป็นภาษาเปิด ที่ใครก็สามารถนำไปใช้ได้ ดังนั้นจึงได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง รวมทั้งได้ถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐานโดย ECMA การทำงานของจาวาสคริปต์ จะต้องมีการแปลความคำสั่ง ซึ่งขั้นตอนนี้จะถูกจัดการโดยบราวเซอร์เรียกว่าเป็น client-side script ดังนั้น จาวาสคริปต์จึงสามารถทำงานได้ เฉพาะบนบราวเซอร์ที่สนับสนุนซึ่งปัจจุบันบราวเซอร์เกือบทั้งหมดสนับสนุนจาวาสคริปต์ อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ต้องระวังคือจาวาสคริปต์มีการพัฒนาเป็นเวอร์ชันใหม่ ๆ ออกมาด้วย ดังนั้น ถ้านำโค้ดของเวอร์ชันใหม่ไปรันบนบราวเซอร์รุ่นเก่าที่ยังไม่สนับสนุน ก็อาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดได้ การเขียนคำสั่งของจาวาสคริปต์ ต้องเขียนร่วมกับภาษา HTML โดยแทรกอยู่ภายในระหว่างคำสั่ง <HEAD> กับ </HEAD> หรือจะเขียนหลังจาก <BODY> คำสั่งการเขียนสคริปต์ของ Java Script เริ่มต้นด้วย <script language="JavaScript"> และลงท้ายด้วย </script> ดังตัวอย่างโปรแกรม 2.3

### โปรแกรม 2.2 แสดงลักษณะของการเขียนโปรแกรมภาษา PHP แทรกไว้ใน HTML

```
<HTML>
<BODY>
<?php
    Echo "Hello World";
?>
</BODY>
</HTML>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### โปรแกรม 2.3 ฟังก์ชัน Hello World เขียนด้วยภาษาจาวาสคริปต์

```
<HTML>
<HEAD>
<script language="JavaScript">
document.write("Hello World!");
</script>
</HEAD>
</HTML>
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินการโครงการ ได้ทำการกำหนดขั้นตอนการดำเนินการโครงการ เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ และสามารถสร้างเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบสองทิศทาง สำหรับนำไปใช้กับการวัดกระแสไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์โดยเฉพาะ ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานต่อไปนี้

### 3.1 การศึกษาเบื้องต้น

ในการสร้างเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบสองทิศทาง เพื่อนำไปใช้กับการวัดกระแสไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์โดยเฉพาะแล้วนำข้อมูลที่ได้นบันทึกเป็นฐานข้อมูลไว้บน SD Card ขั้นตอนแรกได้ทำการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลจากเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ทั้งส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ลงมือเขียนโปรแกรม จากนั้นประกอบฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ทดสอบโปรแกรมก่อนนำไปใช้งานจริง

#### 3.1.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการสร้างเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบสองทิศทาง เพื่อนำไปใช้กับการวัดกระแสไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์โดยเฉพาะ เริ่มจากการศึกษาอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับการวัดและบันทึกปริมาณกระแสไฟฟ้าโดยไปเก็บไว้ยังฐานข้อมูล เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่ได้อ้างอิงมาจากอินเทอร์เน็ต การศึกษาฮาร์ดแวร์จะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติ เฉพาะของอุปกรณ์ และการนำไปต่อใช้งาน ส่วนการศึกษาซอฟต์แวร์เพื่อให้สามารถทำการโปรแกรมฮาร์ดแวร์ให้สามารถส่งข้อมูลจากโมดูลเซนเซอร์ ไปเก็บไว้ยังฐานข้อมูลและแสดงข้อมูลการใช้กระแส ไฟฟ้าภายในบ้านผ่านทางเว็บไซต์ได้

#### 3.1.2 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการดำเนินงานประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ ทั้งหมด 2 ส่วนคือ ส่วน ประมวลผล ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนวัดค่าซึ่งเป็นโมดูลเซนเซอร์ต่าง ๆ ประกอบด้วย

- 1) Arduino Uno R3
- 2) โมดูลเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า ACS712-5A
- 3) โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า ZMPT101B
- 4) โมดูลSD cardและนาฬิกาDS1307 (Data Logger Shield)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) บอร์ด NodeMCU V3
- 6) Measuring Current Transformer

### 3.1.3 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

โปรแกรม Arduino IDE ใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้งาน Arduino Uno R3 และ NodeMCU V3

## 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การสร้างเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบสองทิศทาง เพื่อนำไปใช้กับการวัดกระแสไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์โดยเฉพาะ เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า เวลาและวันที่จากโมดูลต่าง ๆ แล้วนำข้อมูลไปเก็บไว้ที่ SD Card และแสดงค่าที่ได้ผ่านทางเว็บไซต์ มีขั้นตอนดังนี้

### 3.2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

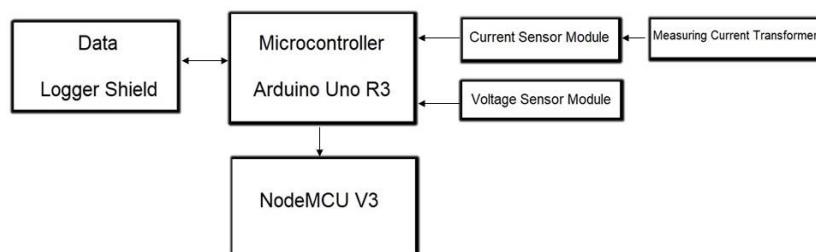
ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการสร้างเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบสองทิศทาง เพื่อนำไปใช้กับการวัดกระแสไฟฟ้าของระบบโซลาร์เซลล์โดยเฉพาะ เริ่มจากการศึกษาอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับการวัดและบันทึกปริมาณกระแสไฟฟ้าโดยไปเก็บไว้ยัง SD Card เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่ได้อ้างอิงมาจากอินเทอร์เน็ต การศึกษาฮาร์ดแวร์จะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติเฉพาะของอุปกรณ์ และการนำไปต่อใช้งาน ส่วนการศึกษาซอฟต์แวร์เพื่อให้สามารถทำการโปรแกรมฮาร์ดแวร์ให้สามารถส่งข้อมูลจากโมดูลเซนเซอร์ไปเก็บไว้ยัง SD Card และแสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ได้

### 3.2.2 เชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์

ทำการเชื่อมต่อโมดูลเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า (ACS712-5A) โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า (ZMPT101B) Measuring Current Transformer เข้ากับ Arduino Uno R3 และ NodeMCU V3 ซึ่งมีรูปแบบการเชื่อมต่อแสดงดังรูปที่ 3.1

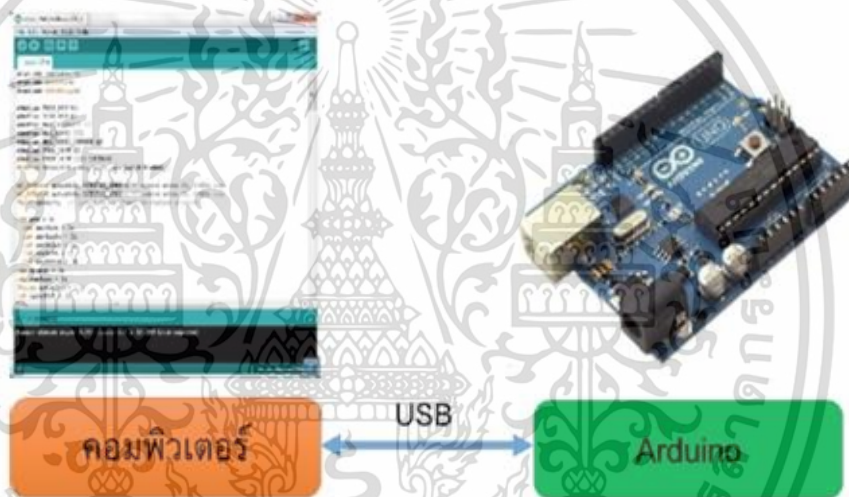
### 3.2.3 ติดตั้งเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าเข้ากับระบบโซลาร์เซลล์

การนำอุปกรณ์ไปใช้งาน ต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดเข้ากับสายเมนของอาคารที่ติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการเชื่อมต่อโมดูลเซนเซอร์เข้ากับ Arduino Uno R3

### 3.2.4 การติดตั้งโปรแกรมซอฟต์แวร์



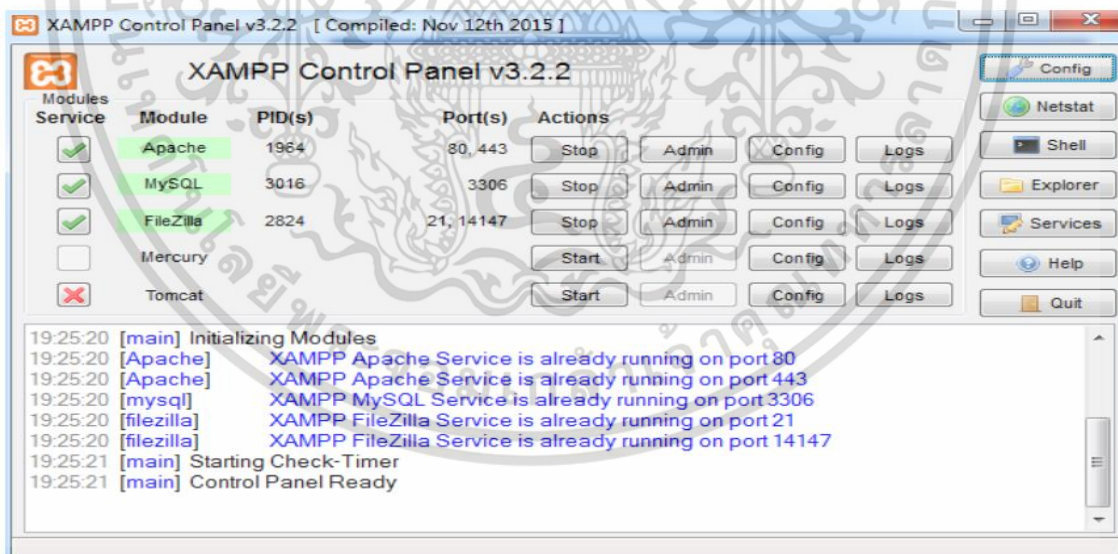
รูปที่ 3.2 การติดตั้งโปรแกรมซอฟต์แวร์

- 1) ติดตั้งโปรแกรมลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการเขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก [Arduino.cc/en/main/software](https://www.arduino.cc/en/main/software)
- 2) หลังจากเขียน Code โปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Comport
- 3) กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ดโปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที

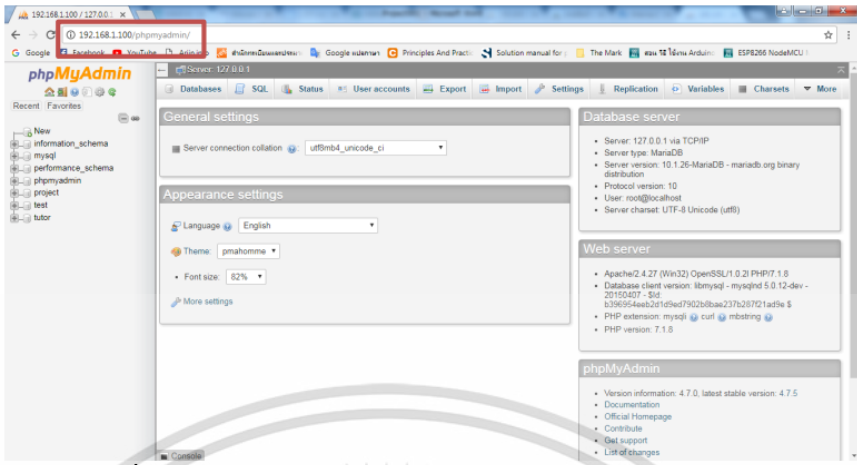
### 3.2.5 สร้างฐานข้อมูลบน MySQL

ในการสร้างฐานข้อมูลบน MySQL ต้องใช้โปรแกรม phpMyAdmin ซึ่งเป็นโปรแกรมจัดการฐานข้อมูล MySQL สามารถเรียกใช้โดยการป้อนค่า URL บนเว็บเบราว์เซอร์เป็นค่า IP ของคอมพิวเตอร์ที่จะใช้จำลองเป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์จากนั้นจึงสามารถสร้างฐานข้อมูลรูปแบบต่าง ๆ ได้ มีขั้นตอนดังนี้

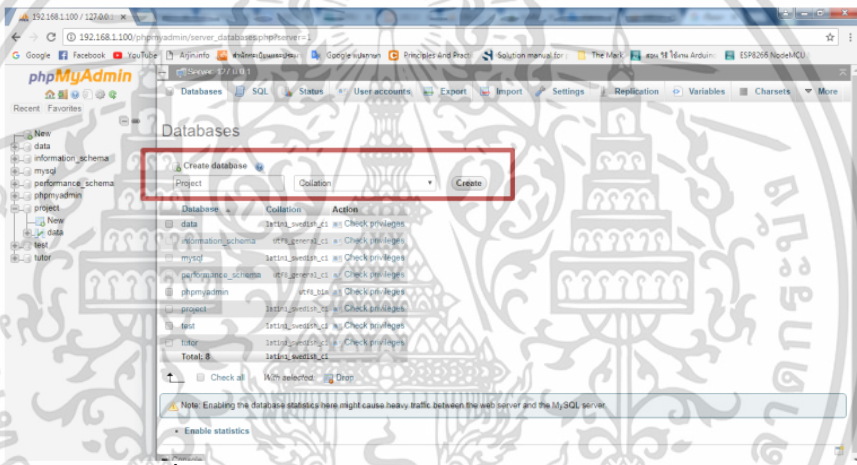
- 1) เปิดการทำงานโปรแกรม XAMPP Control Panel ต้องทำการเปิดทำงานโมดูล Apache เพื่อเชื่อมต่อกับเว็บเบราว์เซอร์และเปิดทำงานโมดูล MySQL เพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องแม่ข่าย แสดงดังรูปที่ 3.3
- 2) เปิดเว็บเบราว์เซอร์ ใส่ไอพีแอดเดรสบนช่อง URL แสดงดังรูปที่ 3.4 เพื่อเรียกใช้โปรแกรม phpMyAdmin
- 3) สร้างฐานข้อมูลโดยการกดที่ New ตั้งชื่อฐานข้อมูลแล้วกด Create เพื่อสร้างฐานข้อมูล แสดงดังรูปที่ 3.5
- 4) สร้างตารางเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล ตั้งชื่อตารางว่า “data” แสดงดังรูปที่ 3.6
- 5) กำหนดรายละเอียดของตาราง ดังรูปที่ 3.7 ใส่ข้อมูลตามหัวข้อคอลัมน์ที่ต้องการเก็บข้อมูลลงบน MySQL คอลัมน์ที่สร้างขึ้นเพื่อรับข้อมูล ดังรูปที่ 3.8



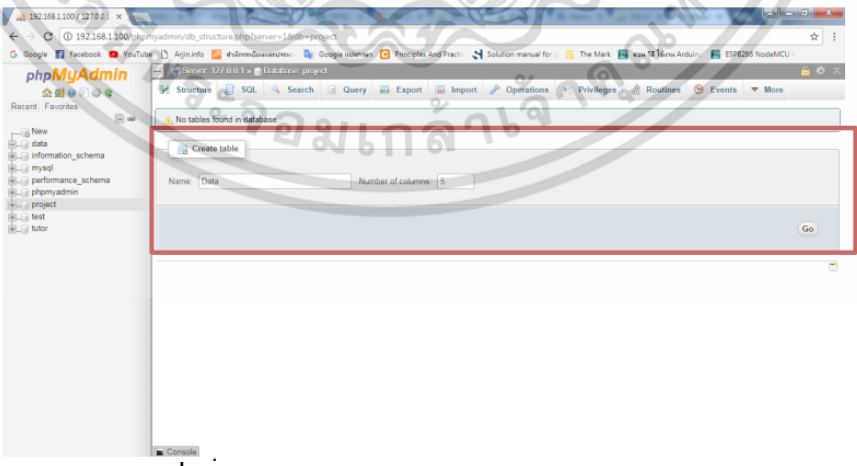
รูปที่ 3.3 แสดงการเปิดใช้งาน Apache และ MySQL บนโปรแกรม XAMPP Control Panel



รูปที่ 3.4 แสดงการเรียกใช้ phpMyAdmin บนเว็บเบราว์เซอร์

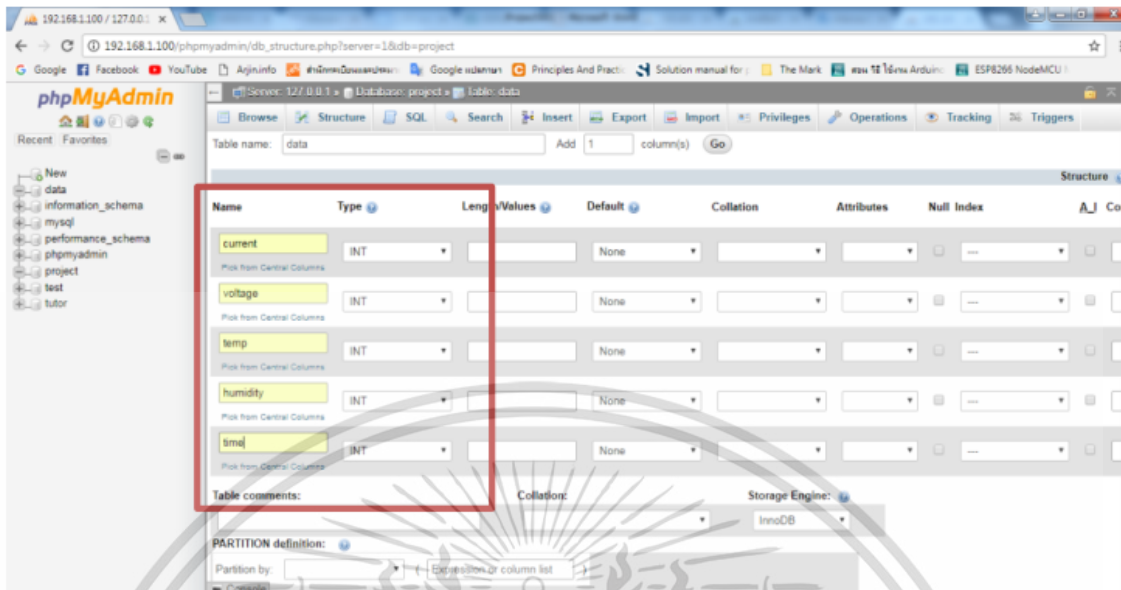


รูปที่ 3.5 แสดงการสร้างฐานข้อมูลบน phpMyAdmin

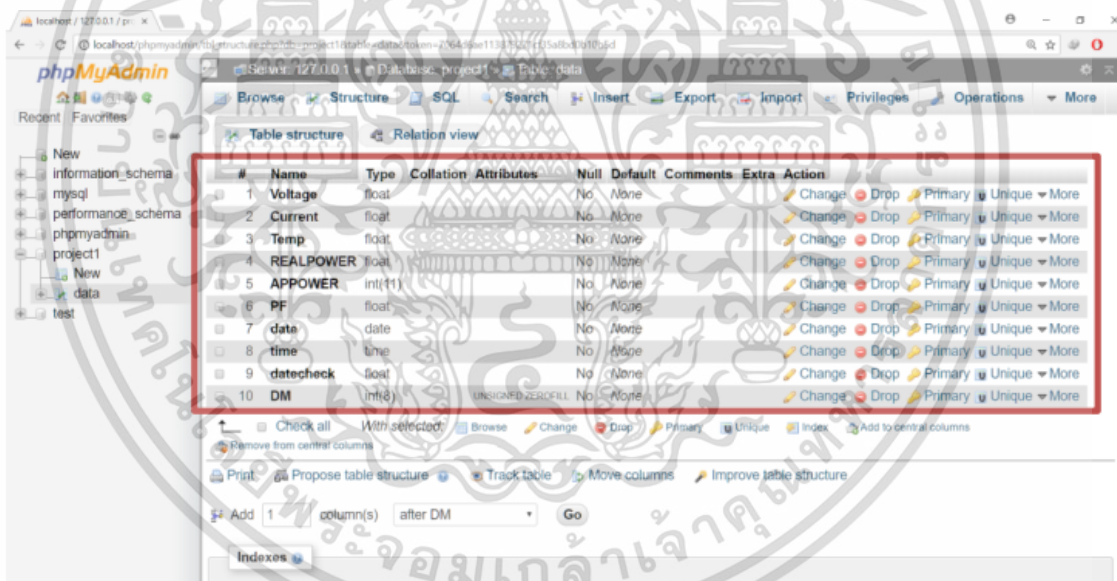


รูปที่ 3.6 แสดงการสร้างตารางบนฐานข้อมูล MySQL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงการสร้างคอลัมน์ที่ต้องการเก็บค่าบน MySQL



รูปที่ 3.8 แสดงคอลัมน์ที่สร้างขึ้นเพื่อรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์เก็บไว้ใน MySQL

### 3.2.6 สร้างไฟล์ PHP เพื่อเพิ่มข้อมูลแบบ GET ลงใน MySQL

การสร้างไฟล์ .php เป็นเหมือนตัวกลางในการรับค่าจากไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU เพื่อส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล MySQL แสดงดังรูปที่ 3.9 โดยการเขียนโปรแกรมจะใช้ภาษา PHP เขียนลงในโปรแกรม Notepad

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

add.php - Notepad
File Edit Format View Help
<?php
$temp = $_GET['temp'];

$servername = "localhost";
$username = "root";
$password = "1234";
$dbname = "project";

// Create connection
$conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
// Check connection
if ($conn->connect_error) {
    die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
}
$val = array($_GET['AmpsRMS'],$_GET['Volt'],$_GET['temp'],$_GET['RealPower'],$_GET['PowerFactor'],$_GET['time'],$_GET['datecheck'],$_GET['monthcheck']);
$sql = "INSERT INTO data(current,voltage,temp,REALPOWER,PF,time,datecheck,MONTH,YEAR) VALUES ('$val[0]','$val[1]','$val[2]','$val[3]','$val[4]','$val[5]','$val[6]','$val[7]','$val[8]')";

if ($conn->query($sql) === TRUE) {
    echo "Save OK";
} else
    
```

รูปที่ 3.9 แสดงการเขียนโปรแกรมบน Notepad ด้วย PHP เพื่อติดต่อฐานข้อมูล MySQL

### 3.2.7 เขียนโปรแกรมให้ NodeMCU ส่งข้อมูลจากโมดูลเซนเซอร์ไปยัง MySQL

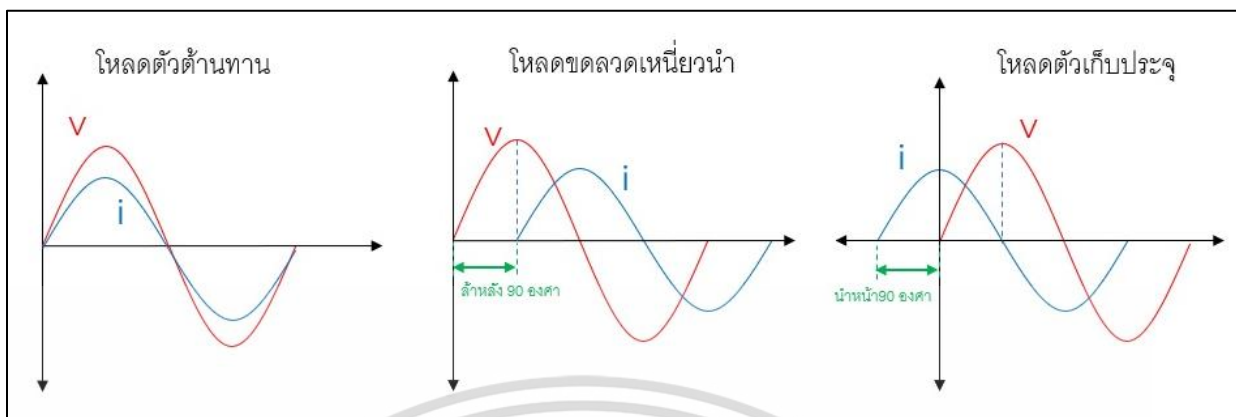
NodeMCU สามารถเขียนโปรแกรมผ่านทาง Arduino IDE โดยใช้ภาษา C เพื่อติดต่อกับเซนเซอร์ต่าง ๆ และส่งข้อมูลผ่านทางระบบไร้สายนำไปแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์โดยการเขียนโปรแกรมจะทำให้ส่งข้อมูลจากโมดูลเซนเซอร์ทุกตัวไปเก็บไว้ที่ฐานข้อมูล MySQL

### 3.2.8 การสร้างเว็บแสดงผล

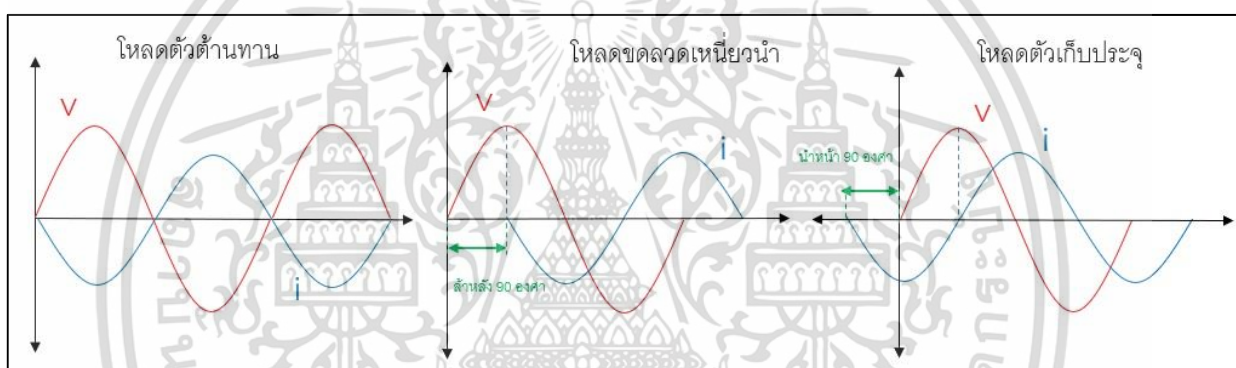
ในการสร้างเว็บเพจเพื่อแสดงผลข้อมูลที่วัดได้จากโมดูลเซนเซอร์ต่างๆ ถูกเขียนด้วยซอฟต์แวร์โปรแกรม Notepad++ สะดวก โดยใช้ภาษา C, C++, Java, C#, HTML, PHP, CSS และอื่นๆอีกมากมาย แสดงผลออกมาในรูปแบบ HTML

### 3.2.9 การเขียนโปรแกรมเพื่อระบุทิศทางกระแสไฟฟ้า

การหาทิศทางของกระแสไฟฟ้า ทำได้โดยใช้หลักการพิจารณาจากความต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า ซึ่งหากกระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางตรงข้ามกัน จะเกิดความต่างเฟสของกระแสและแรงดันไฟฟ้า 180 องศา โดยในที่นี้กำหนดให้กระแสไฟฟ้ามีทิศทางเป็นบวกและเป็นลบ โดยกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าจะมีการนำหน้าหรือล่าหลังซึ่งกันและกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของความต้านทานในวงจรโดยองศาของการนำหน้าและล่าหลังของความต้านทานชนิดต่าง ๆ ของกระแสที่มีทิศทางเป็นบวกแสดงดังรูปที่ 3.10 และองศาของการนำหน้าและล่าหลังของความต้านทานชนิดต่าง ๆ ของกระแสที่มีทิศทางเป็นลบแสดงดังรูปที่ 3.11

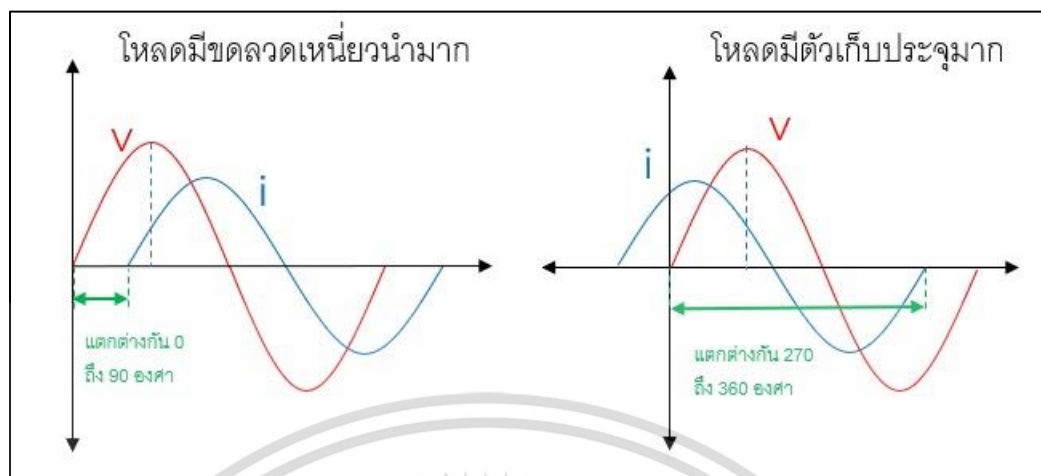


รูปที่ 3.10 กราฟแสดงองศาของการนำหน้าและล้าหลังของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในทิศทางเป็นบวก

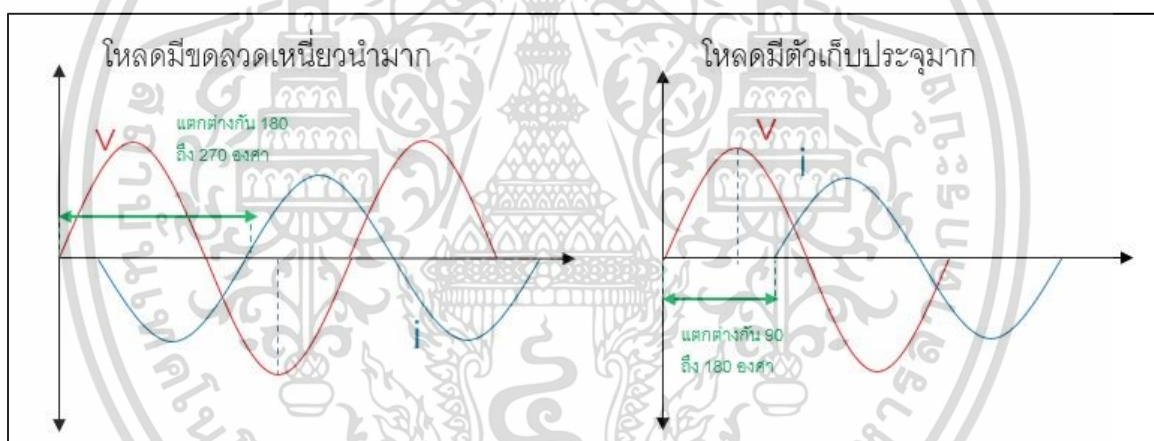


รูปที่ 3.11 กราฟแสดงองศาของการนำหน้าและล้าหลังของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในทิศทางเป็นลบ

โดยในทางปฏิบัติอาคารต่าง ๆ จะไม่มีโหลดเพียงชนิดเดียว แต่จะมีโหลดทั้งสามชนิดอยู่ในวงจร จะมีโหลดชนิดไหนมากหรือน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละอาคาร ขึ้นอยู่กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร ซึ่งส่งผลกระทบต่อองศาการนำหน้าและล้าหลังของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า แต่ในการพิจารณาเพื่อเขียนโปรแกรมจะพิจารณาจากเงื่อนไขของมุมที่แตกต่างระหว่างจุดที่ 0 องศา ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า โดยมุมที่แตกต่างระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางเป็นบวก แสดงดังรูปที่ 3.12 และมุมที่แตกต่างระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางเป็นลบ แสดงดังรูปที่ 3.13

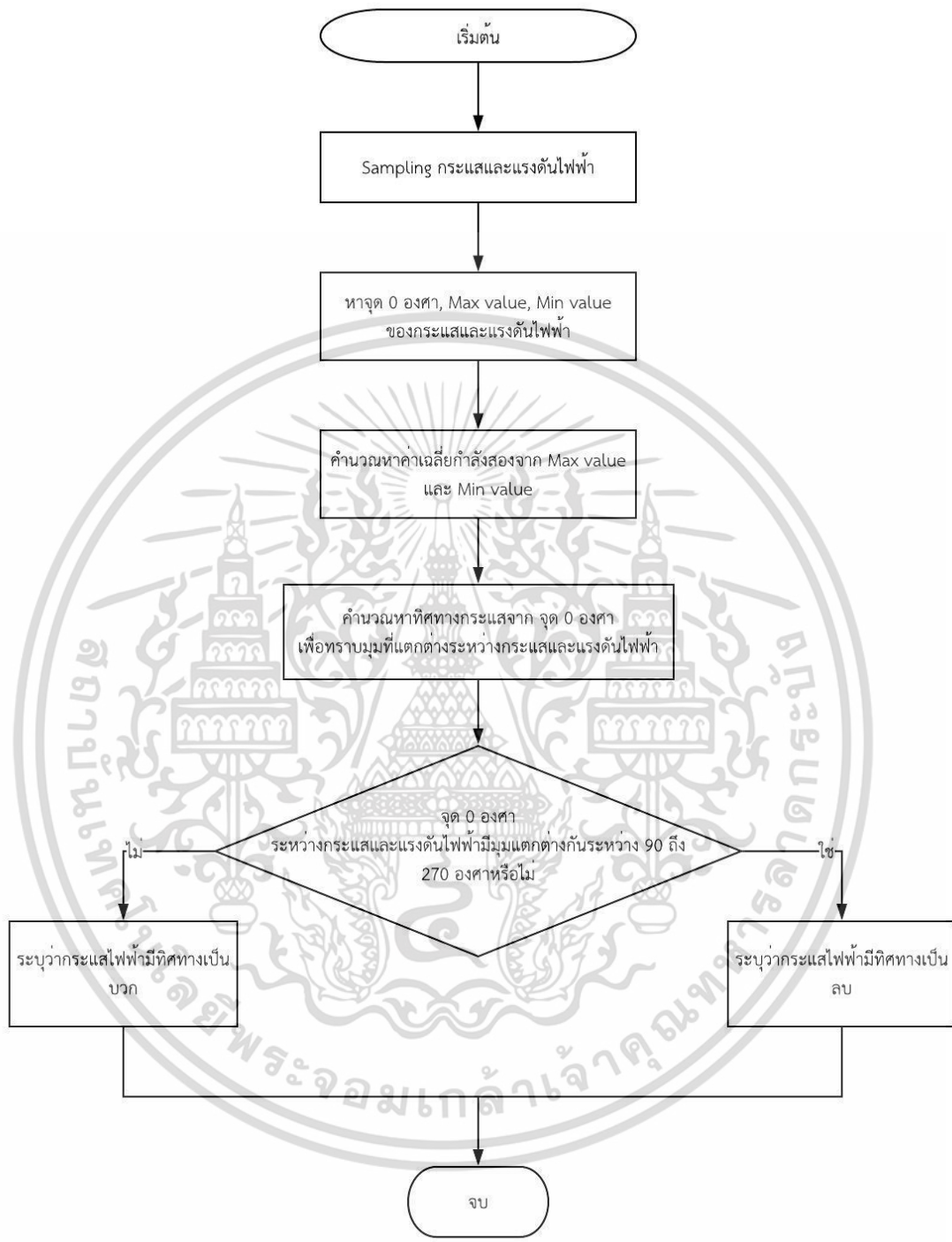


รูปที่ 3.12 กราฟแสดงมุมที่แตกต่างระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางเป็นบวก



รูปที่ 3.13 กราฟแสดงมุมที่แตกต่างระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางเป็นลบ

จากรูปที่ 3.12 และ 3.13 จะเห็นได้ว่าในทางปฏิบัติ ถ้าหากกระแสไฟฟ้าที่มีทิศทางเป็นบวกจะเกิดมุมที่แตกต่างระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 90 องศาและ 270 ถึง 360 องศา แต่ถ้ากระแสมีทิศทางเป็นลบ จะเกิดมุมที่แตกต่างระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 90 ถึง 270 องศา ทำให้สามารถนำความแตกต่างนี้มาเป็นเงื่อนไขในการเขียนโปรแกรมเพื่อระบุทิศทางของกระแสไฟฟ้าได้ โดยมีผังการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ผังการทำงานของโปรแกรมระบุทิศทางของกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

การดำเนินงานของการวัดกระแสไฟฟ้า เพื่อศึกษาการสร้างเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าสองทิศทาง สำหรับระบบโซลาร์เซลล์ แล้วนำข้อมูลที่ได้นบันทึกค่าไว้ใน SD Card และส่งค่าไปยังฐานข้อมูลบนเซิร์ฟเวอร์ เพื่อนำไปแสดงผลบนเว็บเซิร์ฟเวอร์ สำหรับผู้ใช้ในการตรวจสอบข้อมูลการใช้งานกระแสไฟฟ้าย้อนหลังเพื่อใช้ในการวางแผนการใช้ไฟฟ้า ได้ทำการทดลองวัดค่าอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าที่เราสร้างว่าสามารถวัดค่าแรงดัน กระแส และเวลาแล้วสามารถบันทึกค่าลง SD Card ได้หรือไม่ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ทดลองวัดค่าจากอุปกรณ์ไฟฟ้า

#### 4.1 การทดสอบส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปเก็บบน SD Card

จากการทดลองอุปกรณ์จะส่งข้อมูลกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าวันที่และเวลาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Uno R3) ซึ่งพบว่าข้อมูลที่ปรากฏแสดงให้เห็นว่าข้อมูลถูกบันทึกใน SD Card ด้วยระยะเวลาทางเวลาประมาณ 1 วินาที ตามรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ขณะเตารีดทำงานและเตารีดตัดการทำงาน ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

COM1
|
Amps = 7.79 Amps rms
Volt = 169.9 VAC
13:47:58 DAY : 28/11/2019
Amps = 7.91 Amps rms
Volt = 168.7 VAC
13:48:1 DAY : 28/11/2019
Amps = 7.89 Amps rms
Volt = 168.7 VAC
13:48:4 DAY : 28/11/2019
Amps = 7.85 Amps rms
Volt = 168.7 VAC
13:48:0 DAY : 28/11/2019
Amps = 7.85 Amps rms
Volt = 168.2 VAC
13:48:11 DAY : 28/11/2019
Amps = 7.80 Amps rms
Volt = 168.7 VAC
13:48:14 DAY : 28/11/2019
Amps = 7.82 Amps rms
Volt = 169.3 VAC
13:48:17 DAY : 28/11/2019
Amps = 7.85 Amps rms
Volt = 168.7 VAC
13:48:20 DAY : 28/11/2019
Amps = 7.83 Amps rms
Volt = 168.7 VAC
13:48:23 DAY : 28/11/2019
Amps = 7.80 Amps rms
Volt = 168.7 VAC
13:48:26 DAY : 28/11/2019
Amps = 7.83 Amps rms
Volt = 168.2 VAC
13:48:29 DAY : 28/11/2019
Amps = 7.89 Amps rms
Volt = 167.0 VAC

```

รูปที่ 4.2 ค่ากระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, วันที่และเวลาขณะเตารีดทำงาน

```

COM1
|
Volt = 3.4 VAC
13:46:3 DAY : 28/11/2019
Amps = 0.24 Amps rms
Volt = 3.4 VAC
13:46:6 DAY : 28/11/2019
Amps = 0.21 Amps rms
Volt = 4.0 VAC
13:46:9 DAY : 28/11/2019
Amps = 0.24 Amps rms
Volt = 3.4 VAC
13:46:12 DAY : 28/11/2019
Amps = 0.24 Amps rms
Volt = 3.4 VAC
13:46:15 DAY : 28/11/2019
Amps = 0.21 Amps rms
Volt = 3.4 VAC
13:46:18 DAY : 28/11/2019
Amps = 0.24 Amps rms
Volt = 4.0 VAC
13:46:22 DAY : 28/11/2019
Amps = 0.26 Amps rms
Volt = 4.0 VAC
13:46:25 DAY : 28/11/2019
Amps = 0.26 Amps rms
Volt = 3.4 VAC
13:46:28 DAY : 28/11/2019
Amps = 0.21 Amps rms
Volt = 3.4 VAC
13:46:31 DAY : 28/11/2019
Amps = 0.26 Amps rms
Volt = 3.4 VAC

```

รูปที่ 4.3 ค่ากระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, วันที่และเวลาขณะเตารีดตัดการทำงาน

## 4.2 การทดสอบส่งข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปเก็บบนฐานข้อมูล MySQL

จากการทดลองอุปกรณ์จะส่งข้อมูลกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า วันที่และเวลาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU V3 ด้วยอัตราสุ่ม (Sampling rate) ประมาณ 1 วินาที ซึ่งพบว่าข้อมูลที่ปรากฏบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าเว็บเซิร์ฟเวอร์ phpMyAdmin ที่ได้จำลองขึ้น แสดงให้เห็นว่าข้อมูลถูกเก็บในฐานข้อมูล MySQL ด้วยระยะเวลาทางเวลาประมาณ 1 วินาที ตามรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ขณะเครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานและเครื่องปรับอากาศตัดการทำงาน ตามลำดับ

	id	curr	volta	day
Edit Copy Delete	18030	3.94	221	2020-04-18 22:37:22
Edit Copy Delete	18031	4.15	243.15	2020-04-18 22:37:23
Edit Copy Delete	18032	4.77	247.13	2020-04-18 22:37:24
Edit Copy Delete	18033	4.77	247.13	2020-04-18 22:37:25
Edit Copy Delete	18034	3.73	230.09	2020-04-18 22:37:26
Edit Copy Delete	18035	4.15	242.02	2020-04-18 22:37:27
Edit Copy Delete	18036	4.56	243.15	2020-04-18 22:37:28
Edit Copy Delete	18037	4.56	240.88	2020-04-18 22:37:29
Edit Copy Delete	18038	3.73	228.38	2020-04-18 22:37:30
Edit Copy Delete	18039	3.73	228.38	2020-04-18 22:37:32
Edit Copy Delete	18040	3.73	228.38	2020-04-18 22:37:33
Edit Copy Delete	18041	3.94	228.95	2020-04-18 22:37:34
Edit Copy Delete	18042	3.94	244.86	2020-04-18 22:37:35
Edit Copy Delete	18043	3.94	244.86	2020-04-18 22:37:36
Edit Copy Delete	18044	4.35	242.59	2020-04-18 22:37:37
Edit Copy Delete	18045	3.94	235.77	2020-04-18 22:37:38
Edit Copy Delete	18046	4.15	244.86	2020-04-18 22:37:39
Edit Copy Delete	18047	4.15	244.86	2020-04-18 22:37:41
Edit Copy Delete	18048	-0.04	221.56	2020-04-18 22:37:42
Edit Copy Delete	18049	0.25	222.13	2020-04-18 22:37:43
Edit Copy Delete	18050	-0.25	222.13	2020-04-18 22:37:44
Edit Copy Delete	18051	0.59	220.43	2020-04-18 22:37:45
Edit Copy Delete	18052	0.59	220.43	2020-04-18 22:37:46
Edit Copy Delete	18053	-0.04	221.56	2020-04-18 22:37:47
Edit Copy Delete	18054	-0.04	222.13	2020-04-18 22:37:48

รูปที่ 4.4 ตารางข้อมูลที่ถูกเก็บบนฐานข้อมูล MySQL ขณะเครื่องใช้ไฟฟ้าทำงาน

	id	current	voltage	day
Edit Copy Delete	17526	0.17	223.84	2020-04-18 22:27:39
Edit Copy Delete	17527	-0.04	221	2020-04-18 22:27:40
Edit Copy Delete	17528	0.38	222.7	2020-04-18 22:27:41
Edit Copy Delete	17529	0.38	222.7	2020-04-18 22:27:42
Edit Copy Delete	17530	0.38	222.13	2020-04-18 22:27:43
Edit Copy Delete	17531	0.38	222.13	2020-04-18 22:27:44
Edit Copy Delete	17532	0.38	223.84	2020-04-18 22:27:46
Edit Copy Delete	17533	0.38	223.84	2020-04-18 22:27:47
Edit Copy Delete	17534	0.38	223.84	2020-04-18 22:27:48
Edit Copy Delete	17535	0.38	223.84	2020-04-18 22:27:49
Edit Copy Delete	17536	0.38	224.97	2020-04-18 22:27:50
Edit Copy Delete	17537	0.38	224.97	2020-04-18 22:27:51
Edit Copy Delete	17538	0.17	223.27	2020-04-18 22:27:52
Edit Copy Delete	17539	0.17	223.27	2020-04-18 22:27:53
Edit Copy Delete	17540	0.17	223.27	2020-04-18 22:27:54
Edit Copy Delete	17541	0.17	223.27	2020-04-18 22:27:56
Edit Copy Delete	17542	0.17	223.27	2020-04-18 22:27:57
Edit Copy Delete	17543	0.17	223.27	2020-04-18 22:27:58
Edit Copy Delete	17544	0.17	223.27	2020-04-18 22:27:59
Edit Copy Delete	17545	0.17	223.27	2020-04-18 22:28:00
Edit Copy Delete	17546	0.17	223.27	2020-04-18 22:28:01
Edit Copy Delete	17547	0.17	223.27	2020-04-18 22:28:02
Edit Copy Delete	17548	0.17	223.27	2020-04-18 22:28:03
Edit Copy Delete	17549	0.17	223.27	2020-04-18 22:28:04

รูปที่ 4.5 ตารางข้อมูลที่ถูกเก็บบนฐานข้อมูล MySQL ขณะเครื่องใช้ไฟฟ้าหยุดทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การทดสอบความถูกต้องของข้อมูล

ในการทดสอบความถูกต้องของอุปกรณ์วัดเพื่อให้อุปกรณ์มีมาตรฐานการวัดที่ตรงกันและสามารถยืนยันผลความถูกต้องของการวัดได้ จะทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดกับอุปกรณ์มาตรฐานเพื่อหาความคลาดเคลื่อนของผลการวัดและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของอุปกรณ์ ว่าอยู่ในขอบเขตที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานหรือไม่ ในการทดสอบความถูกต้องของอุปกรณ์จะพิจารณาเฉพาะค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเท่านั้น เพราะโมดูลเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิมีข้อมูลทางเทคนิคที่เชื่อถือได้ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณที่มีตัวแปรค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบความถูกต้องของการวัดกระแสไฟฟ้ากับอุปกรณ์มาตรฐาน

กระแสไฟฟ้าจาก ฐานข้อมูล MySQL เมื่อใช้อุปกรณ์วัด ที่สร้างขึ้น (A)	กระแสไฟฟ้าจากดิจิตอล แคลมป์มิเตอร์ (A)	ค่าความ คลาดเคลื่อน (A)	เปอร์เซ็นต์ความ ผิดพลาดของ อุปกรณ์ (%)
3.02	3.04	0.02	0.6579
3.5	3.53	0.03	0.8499
3.8	3.8	0	0
3.8	4.06	0.26	6.4039
4	4.1	0.1	2.4390
4.15	4.23	0.08	1.8913
4.22	4.32	0.1	2.3148
4.31	4.35	0.04	0.9195
4.32	4.35	0.03	0.6897
4.3	4.37	0.07	1.6018
	ค่าเฉลี่ย	0.073	1.7768

#### 4.3.1 การทดสอบความถูกต้องของการวัดกระแสไฟฟ้า

การหาความคลาดเคลื่อนและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัดกระแสไฟฟ้า จะทำการสุ่มตัวอย่างมาทำการทดสอบ โดยใช้ข้อมูลการวัดกระแสไฟฟ้าที่ถูกเก็บในฐานข้อมูล MySQL เปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานดิจิตอลแคลมป์มิเตอร์ โดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 นาที เป็นระยะเวลาทั้งหมด 10 นาที จากการทดลองวัดค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์พบว่ามีความคลาดเคลื่อนและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

น้อยเมื่อเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานดิจิทัลแคลมป์มิเตอร์ ถือว่าข้อมูลกระแสไฟฟ้าจากอุปกรณ์วัดมีความน่าเชื่อถือเนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดประมาณ 1.7768% ดังตารางที่ 4.1

#### 4.3.2 การทดสอบความถูกต้องของการวัดแรงดันไฟฟ้า

การหาความคลาดเคลื่อนและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการวัดแรงดันไฟฟ้า จะทำการสุ่มตัวอย่างมาทดสอบ โดยใช้ข้อมูลการวัดแรงดันไฟฟ้าที่ถูกเก็บในฐานข้อมูล MySQL เปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานดิจิทัลแคลมป์มิเตอร์ โดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 นาที เป็นระยะเวลาทั้งหมด 10 นาที จากการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าของอุปกรณ์พบว่ามีความคลาดเคลื่อนและเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยมากเมื่อเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานดิจิทัลแคลมป์มิเตอร์ ถือว่าข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจากอุปกรณ์วัดมีความน่าเชื่อถือเนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดประมาณ 0.1732% ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบความถูกต้องของการวัดแรงดันไฟฟ้ากับอุปกรณ์มาตรฐาน

แรงดันไฟฟ้าจาก ฐานข้อมูล MYSQL เมื่อใช้อุปกรณ์ วัด ที่สร้างขึ้น (V)	แรงดันไฟฟ้าจาก ดิจิทัล แคลมป์มิเตอร์ (V)	ค่าความคลาด เคลื่อน (V)	เปอร์เซ็นต์ความ ผิดพลาดของ อุปกรณ์ (%)
231	230	1	0.4348
231	231	0	0
232	231	1	0.4329
232	231	1	0.4329
232	232	0	0
232	232	0	0
233	232	1	0.4310
233	233	0	0
234	234	0	0
234	234	0	0
	ค่าเฉลี่ย	0.4	0.1732

#### 4.4 การแสดงผลกราฟข้อมูลบนเว็บเบราว์เซอร์

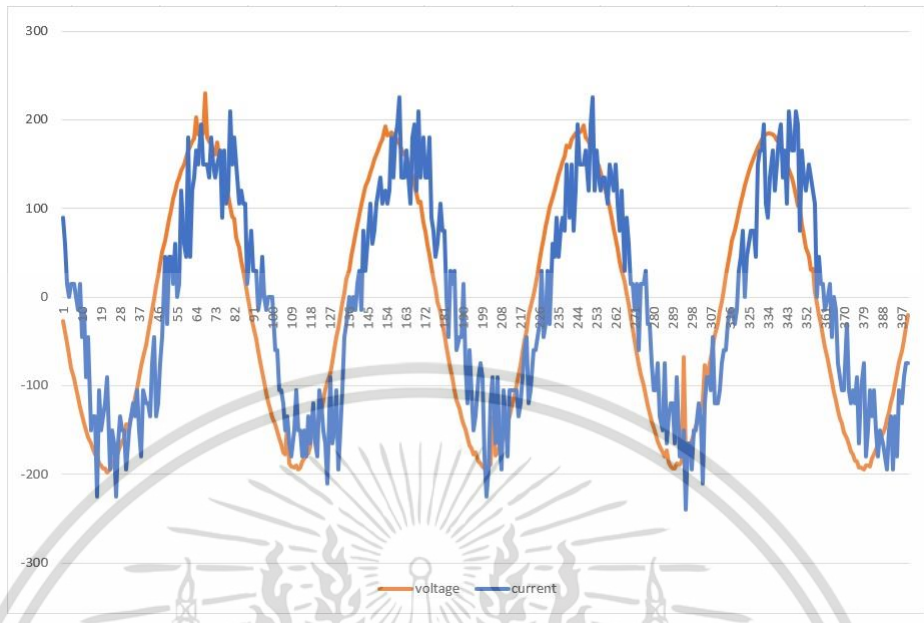
การแสดงผลข้อมูลบนเว็บเบราว์เซอร์จะเป็นรูปแบบของตารางแสดงผลข้อมูล โดยจะแสดงค่า กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า เวลาและวันที่ที่ทำการบันทึกค่า โดยตารางนี้จะโชว์ค่าย้อนหลังจำนวน 500 ค่า ซึ่งแต่ละค่ามีระยะเวลาห่างกัน 1 วินาที โดยเว็บเบราว์เซอร์จะทำการ Refresh อัตโนมัติหากผ่านไป ระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้แสดงข้อมูลได้แบบเรียลไทม์

ID	Current	Voltage	DATETIME
18163	4.15	242.59	2020-04-18 22:39:51
18162	4.15	242.59	2020-04-18 22:39:50
18161	4.15	242.59	2020-04-18 22:39:49
18160	4.15	242.59	2020-04-18 22:39:48
18159	4.15	242.59	2020-04-18 22:39:47
18158	4.15	242.59	2020-04-18 22:39:46
18157	4.15	242.59	2020-04-18 22:39:45
18156	4.15	247.7	2020-04-18 22:39:44
18155	4.15	247.7	2020-04-18 22:39:43
18154	3.94	214.75	2020-04-18 22:39:41
18153	3.94	214.75	2020-04-18 22:39:40
18152	4.35	245.43	2020-04-18 22:39:39
18151	4.35	245.43	2020-04-18 22:39:38
18150	4.35	245.43	2020-04-18 22:39:37
18149	4.35	245.43	2020-04-18 22:39:36
18148	4.35	245.43	2020-04-18 22:39:35
18147	4.35	245.43	2020-04-18 22:39:34
18146	4.35	245.43	2020-04-18 22:39:33
18145	4.35	245.43	2020-04-18 22:39:32
18144	4.35	245.43	2020-04-18 22:39:30
18143	4.35	245.43	2020-04-18 22:39:29
18142	4.35	245.43	2020-04-18 22:39:28
18141	4.15	236.34	2020-04-18 22:39:27
18140	-0.04	222.13	2020-04-18 22:39:26
18139	0.04	221	2020-04-18 22:39:25
18138	-0.04	221	2020-04-18 22:39:24
18137	-0.04	221	2020-04-18 22:39:23
18136	-0.04	221	2020-04-18 22:39:21
18135	-0.04	221	2020-04-18 22:39:20
18134	-0.04	221	2020-04-18 22:39:19

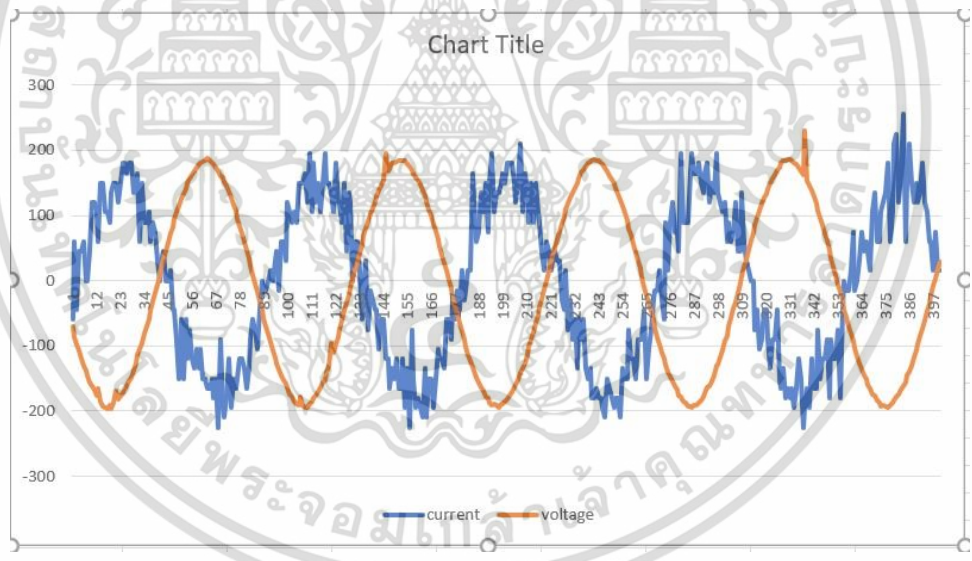
รูปที่ 4.6 ตารางแสดงข้อมูลย้อนหลังบนเว็บเบราว์เซอร์

#### 4.5 การเปรียบเทียบระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเพื่อบอกทิศทางของกระแสไฟฟ้า

ในการเปรียบเทียบเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า วัดค่าของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าพร้อมกันโดยจะวัดทั้งหมด 400 ค่า จากนั้นนำค่าที่วัดได้มาทำการสร้างกราฟเปรียบเทียบกันโดยวัด 2 ลักษณะ โดยการหัน Current Clamp Sensor คนละทิศทางเสมือนเป็นการกลับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่าถ้าหากกระแสไฟฟ้ามีการไหลคนละทิศทางจะทำให้เฟสระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าแตกต่างกัน 180 องศา แสดงดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ความเหมือนและแตกต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางของกระแสไฟฟ้านี้ สามารถนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรมเพื่อบ่งบอกถึงทิศทางของกระแสไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 4.7 ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีเฟสใกล้เคียงกันเมื่อยังไม่กลับทิศทางของกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.8 ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้ามีเฟสตรงข้ามกันเมื่อกลับทิศทางของกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการนี้จัดทำขึ้นเพื่อสร้างอุปกรณ์การวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานภายในอาคารหรือที่พักอาศัยที่ติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ พร้อมบอกวันที่และเวลาขณะใช้งานและส่งค่าปริมาณกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า วันที่และเวลาเข้าสู่ SD Card แล้วสามารถแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถดูปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ภายในบ้านและบริหารจัดการการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านได้อย่างเหมาะสม จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

- 1) สามารถสร้างอุปกรณ์การวัดที่สามารถวัดค่ากระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้าพร้อมบอกวันที่และเวลา โดยใช้โมดูลเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า (ACS712-20A), โมดูลเซนเซอร์วัดแรงดันไฟฟ้า (ZMPT101B) และโมดูลนาฬิกา DS1307 และส่งข้อมูลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมระบบเครือข่ายแบบไร้สาย NodeMCU V3 เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปเก็บที่ฐานข้อมูล MySQL โดยข้อมูลที่วัดได้จะถูกส่งเข้าไปเก็บในฐานข้อมูลทุก ๆ ระยะเวลา 1 วินาที ผู้ใช้งานสามารถดูข้อมูลในฐานข้อมูล MySQL ได้โดยการดูผ่านหน้าเว็บเบราว์เซอร์ phpMyAdmin
- 2) ข้อมูลจากการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า นั้นมีความถูกต้องแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือสูงเนื่องจากค่าที่วัดได้มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานดิจิทัลแคลมป์มิเตอร์ ข้อมูลกระแสไฟฟ้าจากอุปกรณ์วัดมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 1.78% และข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจากอุปกรณ์วัดมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.17% จึงทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ที่ได้จากการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้านั้นมีความน่าเชื่อถือสูง

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้ระบบสามารถเก็บข้อมูลการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า วันที่และเวลาในระยะเวลาที่ยาวนาน ควรใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์แทนการจำลองคอมพิวเตอร์เป็นเว็บเบราว์เซอร์ เพื่อกำจัดปัญหาขนาดหน่วยความจำและลดความล่าช้าในการทำงานของระบบ

## บรรณานุกรม

- [1] Arduino, “the Arduino Uno WiFi Rev 2”, 2020. [Online] Available:  
<https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoUnoWiFiRev2> (May 19, 2020)
- [2] Thaieasyelec, “Singlephase voltage sensor”, 2015. [Online] Available:  
<https://www.thaieasyelec.com> (May 19, 2020)
- [3] MarcusCode, “ภาษา C”, 27 มิถุนายน 2558. [Online] Available:  
<http://marcuscode.com/lang/c> (May 23, 2018)
- [4] Myarduino, “Current Sensor Module 20A (ACS712-20A)” 2020. [Online] Available:  
<https://www.myarduino.net/product/923/current-sensor-module>. (May 19, 2020)
- [5] Arduinoall, “การใช้งานโมดูล 20 A Current Sensor Module (ACS712-20A)” 2017. [Online] Available: <https://www.arduinoall.com/webboard>. (May 19, 2020)
- [6] Arduinoall, “5A Current Sensor Module” 2017. [Online] Available:  
<https://www.arduinoall.com/product>. (May 19, 2020)
- [7] Electoday 4.0, “AVR and Arduino” 2017. [Online] Available:  
<http://www.electoday.com>. (May 19, 2020)
- [8] Arduinothai, “การใช้งาน Data Logger Shield” 2020. [Online] Available:  
<https://www.arduinothai.com>. (May 19, 2020)
- [9] Allegro Microsystem Inc., “ACS712-DS Rev. 7”, 2007. [Online] Available:  
<https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf> (May 19, 2020).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม ติดต่อฐานข้อมูล MySQL โดยใช้ภาษา PHP เขียนในโปรแกรม Notepad

```
<?php
$current = $_GET['current'];
$voltage = $_GET['voltage'];

$servername = "localhost";
$username = "root";
$password = "";
$dbname = "tutor";

// Create connection
$conn = new mysqli($servername, $username,$password, $dbname);
// Check connection
if ($conn->connect_error) {
    die("Connection failed: " . $conn->connect_error);
}

// $val = $_GET['current','voltage'];

$sql = "INSERT INTO esp8266(current, voltage) VALUES ('$current', '$voltage');";
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if ($conn->query($sql) === TRUE) {  
    echo "save OK";  
} else {  
    echo "Error:" . $sql . "<br>" . $conn->error;  
}  
  
$conn->close();  
?>
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม รับค่าโมดูลเซนเซอร์แล้วส่งข้อมูลจาก Arduino ไปเก็บในฐานข้อมูล MySQL เขียนบน

โปรแกรม Arduino IDE

```
#include <Arduino.h>

#include <ESP8266WiFi.h>

#include <ESP8266WiFiMulti.h>

#include <ESP8266HTTPClient.h>

#include <SoftwareSerial.h>

ESP8266WiFiMulti WiFiMulti;

SoftwareSerial NodeSerial(D2, D3); //RX,TX

float val1,val2;

int httpCode;

String payload;

String url;

void setup() {

  pinMode(D2, INPUT);

  pinMode(D3, OUTPUT);

  Serial.begin(115200);

  NodeSerial.begin(4800);

  WiFiMulti.addAP("Tinapersona", "039313295"); // ssid , password

}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void loop() {  
  
    if ((WiFiMulti.run() == WL_CONNECTED)) {  
  
        HTTPClient http;  
  
        NodeSerial.print(0xA0);  
  
        NodeSerial.print(" ");  
  
        NodeSerial.print(0xA1);  
  
        NodeSerial.print("\n");  
  
        while (NodeSerial.available() > 0){  
        val1 = NodeSerial.parseFloat();  
        val2 = NodeSerial.parseFloat();  
        if (NodeSerial.read() == '\n'){  
            Serial.println(val1);  
            Serial.println(val2);  
        }  
        }  
  
        url = "http://192.168.1.33/nodemcu/esp8266mysql/add.php?";  
  
        url += "current=";  
  
        url += val1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
url += "&voltage=";

url += val2;

Serial.println(url);

http.begin(url); //HTTP

httpClient = http.GET();

if (httpClient > 0) {

Serial.printf("[HTTP] GET... code: %d\n", httpClient);

if (httpClient == HTTP_CODE_OK) {

payload = httpClient.getString();

Serial.println(payload);

}

} else {

Serial.printf("[HTTP] GET... failed, error: %s\n",

httpClient.toString().c_str());

}

httpClient.end();

}

delay(1000);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### โปรแกรม สร้างเว็บแสดงผลบนโปรแกรม Notepad++

```

<html>

<head>

<meta http-equiv="refresh" content="3">

</head>

<body>

<?php

$servername = "localhost";

$username = "root";

$password = "";

$dbname = "tutor";

// Create connection

$conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);

// Check connection

if ($conn->connect_error) {

    die("Connection failed: " . $conn->connect_error);

}

$sql = "SELECT * FROM esp8266 ORDER by id DESC LIMIT 50";

$result = $conn->query($sql);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if ($result->num_rows > 0) {

    // output data of each row

    echo "<table
border='1'><th>ID</th><th>Current</th><th>Voltage</th><th>DATETIME</th>";

    while($row = $result->fetch_assoc()) {

        echo "<tr>";

        echo "<td>".$row['id'].</td>";

        echo "<td>".$row['current'].</td>";

        echo "<td>".$row['voltage'].</td>";

        echo "<td>".$row['day'].</td>";

        echo "</tr>";

    }

    echo "</table>";

} else {

    echo "0 results";

}

$conn->close();

?>

</body>

</html>

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม วัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า คำนวณค่าเฉลี่ย Root mean square(RMS) และส่งค่าไปยัง NodeMCU

```
#include <SoftwareSerial.h>

#define SAMPLING 300 //กำหนดจำนวนการสุ่มค่า

#define VOFFSET 512 // 2.5V จาก 10Bit

#define ADC_PIN A1 //กำหนดค่า Analog จาก Pin A0

#define AMPLITUDE 411.00 //กำหนดค่า Amplitude ที่ได้จากโปรแกรม

#define REAL_VAC 233.5 //กำหนดค่า Vinput ที่อ่านได้จริงจาก Multimeter

float V;

String data;

int adc_max,adc_min;

int adc_vpp;

/*
Measuring AC Current Using ACS712
*/

const int sensorIn = A0;

int mVperAmp = 66; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module

double Voltage = 0;

double VRMS = 0;

double AmpsRMS = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float val1,val2;

SoftwareSerial ArduinoSerial(3,2); //RX,TX

void setup() {

  Serial.begin(115200);

  ArduinoSerial.begin(4800);

  pinMode(13, OUTPUT);

}

void loop() {

  while (ArduinoSerial.available() > 0){

    val1 = ArduinoSerial.parseFloat();

    val2 = ArduinoSerial.parseFloat();

    if (ArduinoSerial.read() == '\n'){

      if(val1 == 0xA0){

        Voltage = getVPP();

        VRMS = ((Voltage/2.0) *0.707)-0.028;

        AmpsRMS = ((VRMS * 1000)/mVperAmp)*8;

        Serial.print(AmpsRMS);

        Serial.println(" Amps RMS");

        ArduinoSerial.print(AmpsRMS);

        ArduinoSerial.print(" ");

      }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if(val2 == 0xA1){

    read_VAC(); //เรียกใช้งาน Function อ่านค่า V

    V = map(adc_vpp,0,AMPLITUDE,0,REAL_VAC*100)/100.00; // แปลงค่าที่อ่านได้เป็น
    //VAC

    data = "Volt = "+String(V,1)+" VAC";

    Serial.println(data);

    ArduinoSerial.print(V);

    ArduinoSerial.print("\n");
}
}
}

delay(100);
}

float getVPP()
{

float result;

int readValue;          //value read from the sensor

int maxValue = 0;       // store max value here

int minValue = 1023;     // store min value here

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

uint32_t start_time = millis();

while((millis()-start_time) < 1000) //sample for 1 Sec

{

    readValue = analogRead(sensorIn);

    // see if you have a new maxValue

    if (readValue > maxValue)

    {

        /*record the maximum sensor value*/

        maxValue = readValue;

    }

    if (readValue < minValue)

    {

        /*record the maximum sensor value*/

        minValue = readValue;

    }

}

// Subtract min from max

result = ((maxValue - minValue) * 5.0)/1023.0;

return result;

}

```

```
void read_VAC()
{
    int cnt;

    adc_max = 0;

    adc_min = 1024;

    for(cnt=0;cnt<SAMPLING;cnt++) //วน loop อ่านค่า ADC
    {
        int adc = analogRead(ADC_PIN); //อ่านค่า ADC
        if(adc > adc_max) //หาค่า max
        {
            adc_max = adc;
        }
        if(adc < adc_min) //หาค่า min
        {
            adc_min = adc;
        }
    }

    adc_vpp = adc_max-adc_min; //หาผลต่างของ input (Vpp)
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage 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  $T_A = 25^\circ\text{C}$
- 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



TUV America  
Certificate Number:  
UBV 05 05 54214 010



### Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



### Description

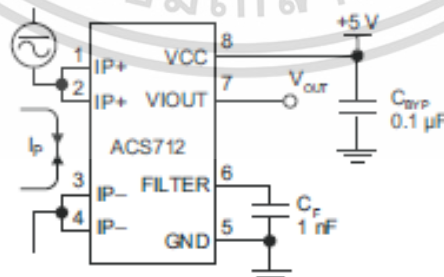
The Allegro<sup>®</sup> ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode power supplies, and overcurrent fault protection.

The device consists of a precise, low-offset, linear Hall sensor 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 is sensed by the integrated Hall IC and converted 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 sensing. The internal resistance of this conductive path is 1.2 m $\Omega$  typical, providing low power

*Continued on the next page...*

### Typical Application



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# ACS712

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

### Description (continued)

loss. The thickness of the copper conductor allows survival of the device at up to 5× overcurrent conditions. The terminals of the conductive path are electrically isolated from the sensor leads (pins 5 through 8). This allows the ACS712 current sensor 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

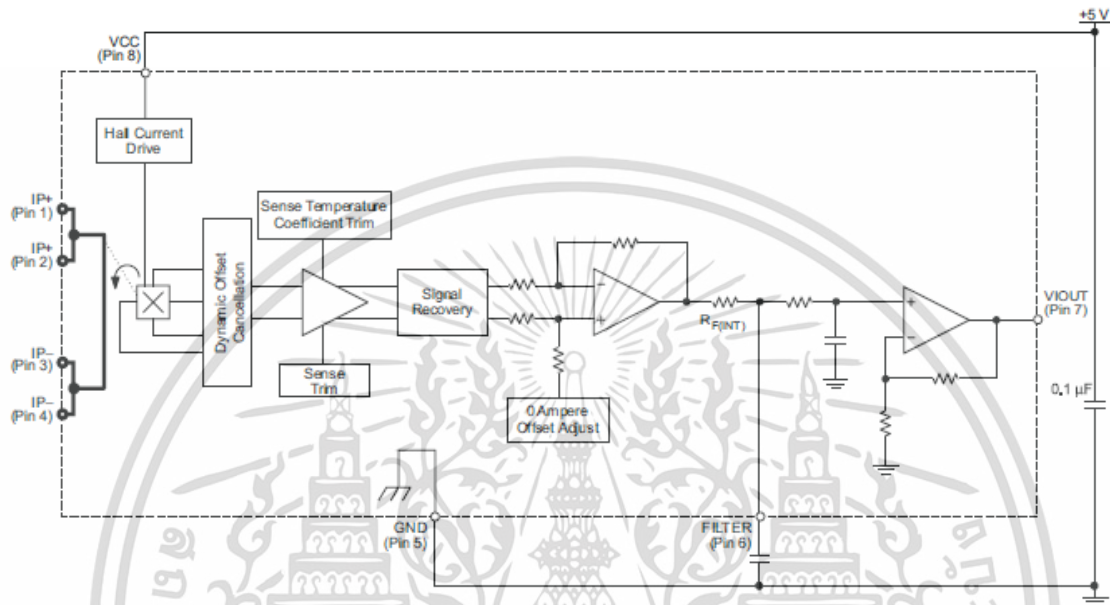
Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>		8	V
Reverse Supply Voltage	V <sub>RCC</sub>		-0.1	V
Output Voltage	V <sub>IOUT</sub>		8	V
Reverse Output Voltage	V <sub>RIOUT</sub>		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V <sub>ISO</sub>	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T <sub>A</sub> =25°C Voltage applied to leadframe (I <sub>P</sub> + pins), based on IEC 60950	2100 184	V V <sub>peak</sub>
Basic Isolation Voltage	V <sub>ISO(bsc)</sub>	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T <sub>A</sub> =25°C Voltage applied to leadframe (I <sub>P</sub> + pins), based on IEC 60950	1500 354	V V <sub>peak</sub>
Output Current Source	I <sub>IOUT(Source)</sub>		3	mA
Output Current Sink	I <sub>IOUT(Sink)</sub>		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I <sub>P</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

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

# ACS712

Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage 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 sensed; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sensed; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

### COMMON 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	$t_r$	$I_P = I_P(\text{max})$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $C_{OUT} = \text{open}$	–	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	$E_{LIN}$	Over full range of $I_P$	–	1.5	–	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_P$	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	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>2</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>1G = 0.1 mT.

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

### COMMON THERMAL CHARACTERISTICS<sup>1</sup>

			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 ASEK 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.

# ACS712

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

### x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $85^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup>, $C_F = 1\text{ nF}$ , 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	$\Delta I_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	-0.26	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.08	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	0.054	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.008	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
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,  $T_{J(\text{max})}$ , is not exceeded.

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

### x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $85^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup>, $C_F = 1\text{ nF}$ , 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	$\Delta I_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	-0.34	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.07	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	0.017	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.004	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
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,  $T_{J(\text{max})}$ , is not exceeded.

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

### x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $85^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup>, $C_F = 1\text{ nF}$ , 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 $I_P$ , $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	64	66	68	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	$\Delta I_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	-0.35	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.08	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^{\circ}\text{C}$ to $25^{\circ}\text{C}$	-	0.007	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
		$T_A = 25^{\circ}\text{C}$ to $150^{\circ}\text{C}$	-	-0.002	-	mV/A/ $^{\circ}\text{C}$
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,  $T_{J(\text{max})}$ , is not exceeded.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสาร

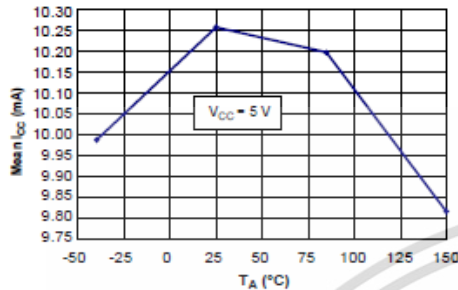


Allegro MicroSystems, Inc.  
115 Northeast Cutoff  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 U.S.A.  
1.508.853.5000; www.allegromicro.com

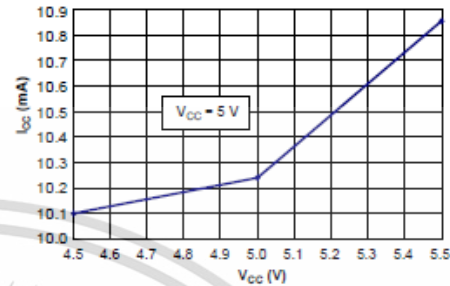
### Characteristic Performance

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

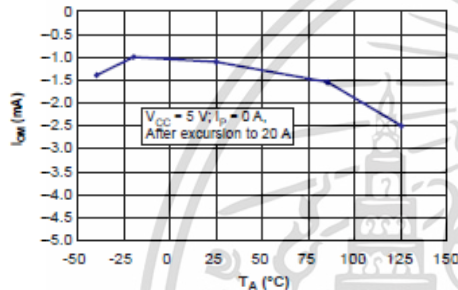
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



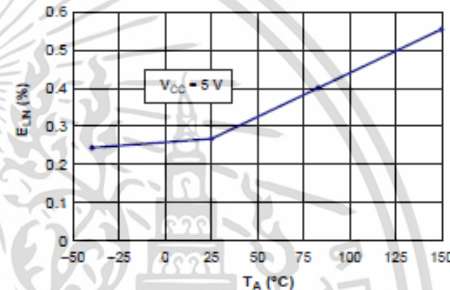
Supply Current versus Supply Voltage



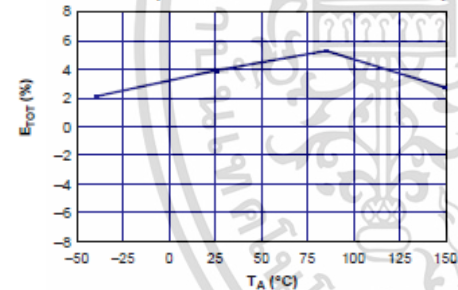
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



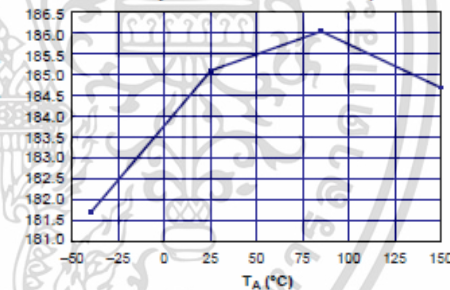
Nonlinearity versus Ambient Temperature



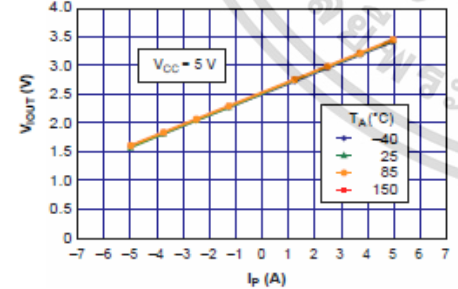
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



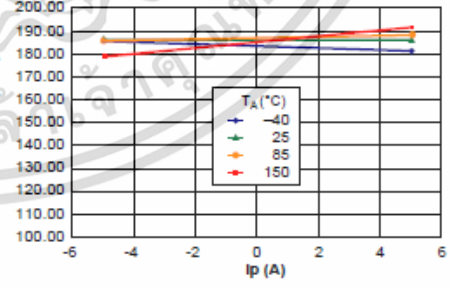
Sensitivity versus Ambient Temperature



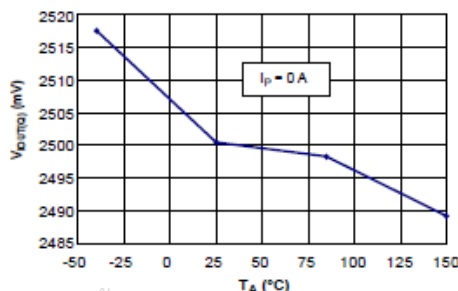
Output Voltage versus Sensed Current



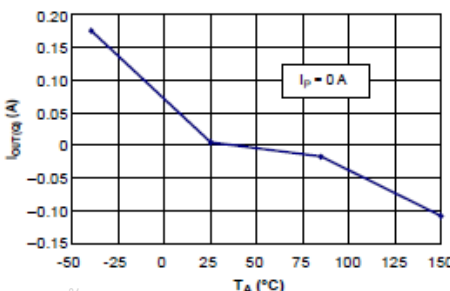
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature

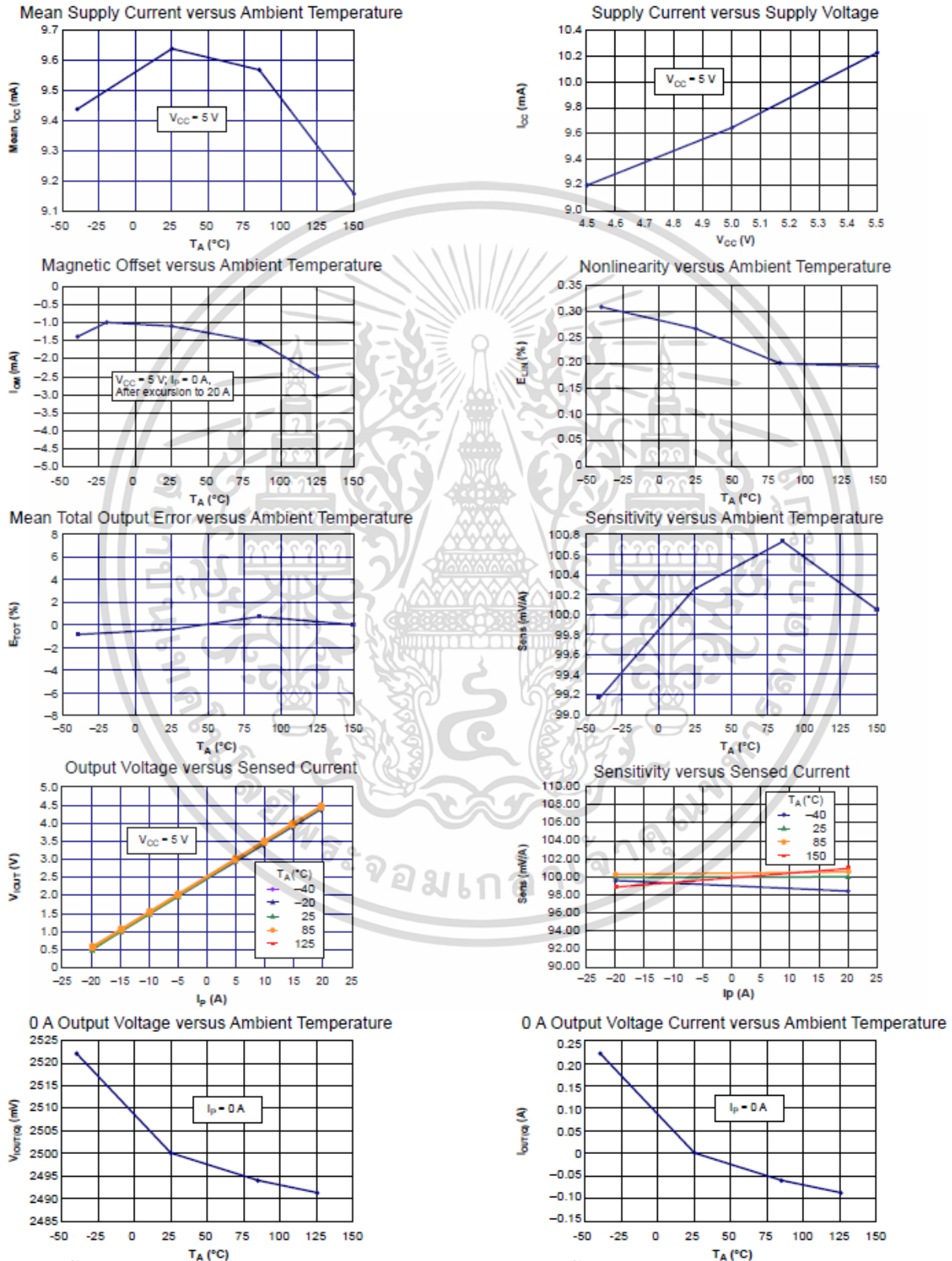


0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



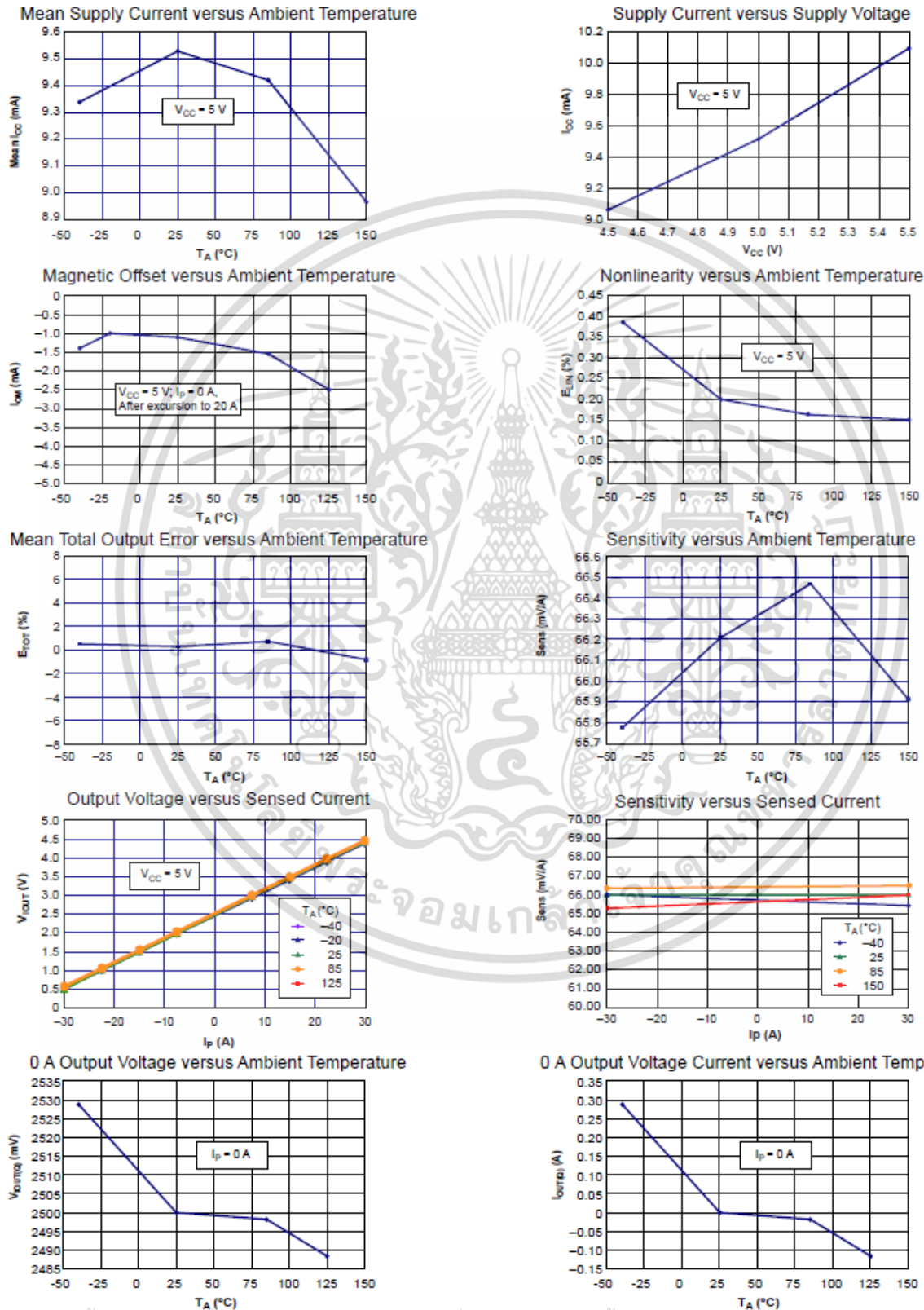
### Characteristic Performance

$I_p = 20$  A, unless otherwise specified



### Characteristic Performance

$I_p = 30$  A, unless otherwise specified



### Definitions of Accuracy Characteristics

**Sensitivity (Sens).** The change in sensor output in response to a 1 A change through the primary conductor. The sensitivity is the product of the magnetic circuit sensitivity (G/A) and the linear IC amplifier gain (mV/G). The linear IC amplifier gain is programmed at the factory to optimize the sensitivity (mV/A) for the full-scale current of the device.

**Noise ( $V_{NOISE}$ ).** The product of the linear IC amplifier gain (mV/G) and the noise floor for the Allegro Hall effect linear IC ( $\approx 1$  G). The noise floor is derived from the thermal and shot noise observed in Hall elements. Dividing the noise (mV) by the sensitivity (mV/A) provides the smallest current that the device is able to resolve.

**Linearity ( $E_{LIN}$ ).** The degree to which the voltage output from the sensor varies in direct proportion to the primary current through its full-scale amplitude. Nonlinearity in the output can be attributed to the saturation of the flux concentrator approaching the full-scale current. The following equation is used to derive the linearity:

$$100 \left\{ 1 - \left[ \frac{\Delta \text{ gain } \times \% \text{ sat } (V_{IOUT\_full\text{-scale amperes}} - V_{IOUT(Q)})}{2 (V_{IOUT\_half\text{-scale amperes}} - V_{IOUT(Q)})} \right] \right\}$$

where  $V_{IOUT\_full\text{-scale amperes}}$  = the output voltage (V) when the sensed current approximates full-scale  $\pm I_P$ .

**Symmetry ( $E_{SYM}$ ).** The degree to which the absolute voltage output from the sensor varies in proportion to either a positive or negative full-scale primary current. The following formula is used to derive symmetry:

$$100 \left( \frac{V_{IOUT\_+ \text{ full-scale amperes}} - V_{IOUT(Q)}}{V_{IOUT(Q)} - V_{IOUT\_ - \text{ full-scale amperes}}} \right)$$

**Quiescent output voltage ( $V_{IOUT(Q)}$ ).** The output of the sensor when the primary current is zero. For a unipolar supply voltage, it nominally remains at  $V_{CC}/2$ . Thus,  $V_{CC} = 5$  V translates into  $V_{IOUT(Q)} = 2.5$  V. Variation in  $V_{IOUT(Q)}$  can be attributed to the resolution of the Allegro linear IC quiescent voltage trim and thermal drift.

**Electrical offset voltage ( $V_{OE}$ ).** The deviation of the device output from its ideal quiescent value of  $V_{CC}/2$  due to nonmagnetic causes. To convert this voltage to amperes, divide by the device sensitivity, Sens.

**Accuracy ( $E_{TOT}$ ).** The accuracy represents the maximum deviation of the actual output from its ideal value. This is also known as the total output error. The accuracy is illustrated graphically in the output voltage versus current chart at right.

Accuracy is divided into four areas:

- **0 A at 25°C.** Accuracy of sensing zero current flow at 25°C, without the effects of temperature.
- **0 A over  $\Delta$  temperature.** Accuracy of sensing zero current flow including temperature effects.
- **Full-scale current at 25°C.** Accuracy of sensing the full-scale current at 25°C, without the effects of temperature.
- **Full-scale current over  $\Delta$  temperature.** Accuracy of sensing full-scale current flow including temperature effects.

**Ratiometry.** The ratiometric feature means that its 0 A output,  $V_{IOUT(Q)}$ , (nominally equal to  $V_{CC}/2$ ) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage,  $V_{CC}$ . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage,

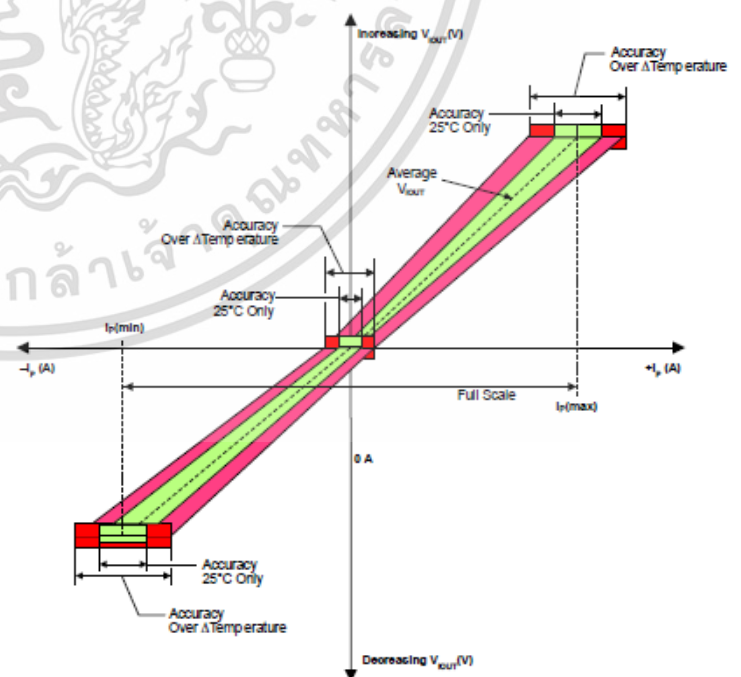
$\Delta V_{IOUT(Q)RAT}$  (%).

$$100 \left( \frac{V_{IOUT(Q)VCC} / V_{IOUT(Q)5V}}{V_{CC} / 5V} \right)$$

The ratiometric change in sensitivity,  $\Delta \text{Sens}_{RAT}$  (%), is defined as:

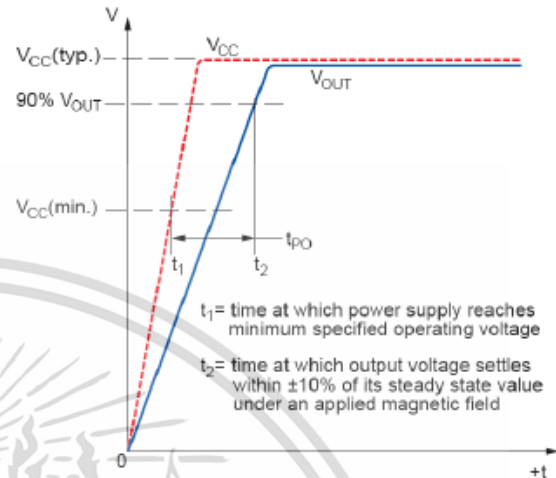
$$100 \left( \frac{\text{Sens}_{VCC} / \text{Sens}_{5V}}{V_{CC} / 5V} \right)$$

**Output Voltage versus Sensed Current Accuracy at 0 A and at Full-Scale Current**

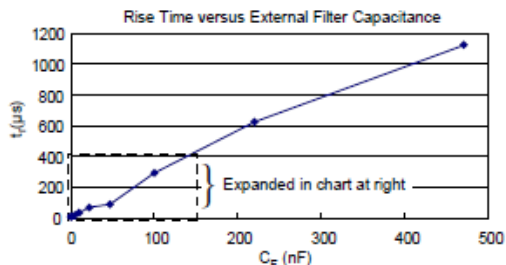
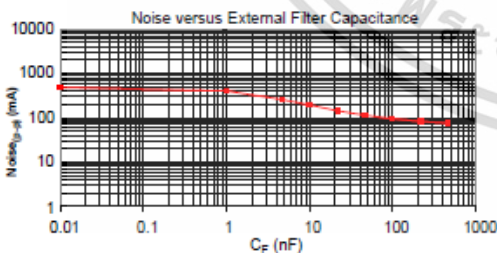
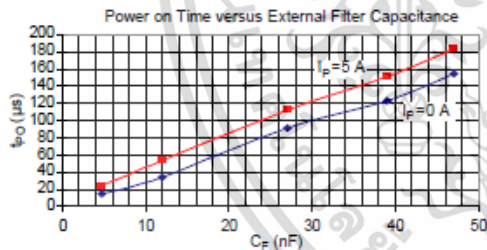
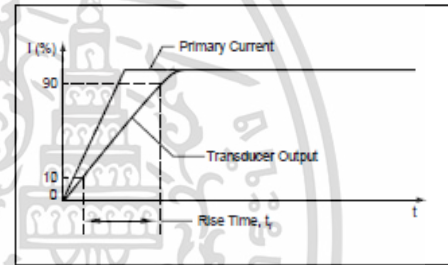


### Definitions of Dynamic Response Characteristics

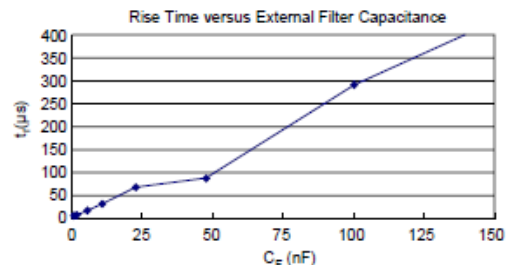
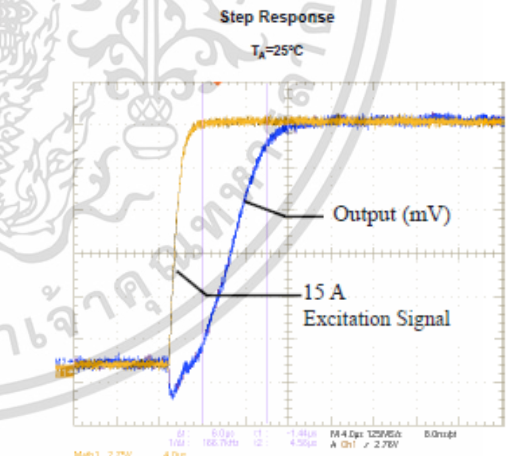
**Power-On Time ( $t_{PO}$ ).** When the supply is ramped to its operating voltage, the device requires a finite time to power its internal components before responding to an input magnetic field. Power-On Time,  $t_{PO}$ , is defined as the time it takes for the output voltage to settle within  $\pm 10\%$  of its steady state value under an applied magnetic field, after the power supply has reached its minimum specified operating voltage,  $V_{CC(min)}$ , as shown in the chart at right.



**Rise time ( $t_r$ ).** The time interval between a) when the sensor reaches 10% of its full scale value, and b) when it reaches 90% of its full scale value. The rise time to a step response is used to derive the bandwidth of the current sensor, in which  $f(-3 \text{ dB}) = 0.35/t_r$ . Both  $t_r$  and  $t_{RESPONSE}$  are detrimentally affected by eddy current losses observed in the conductive IC ground plane.



$C_F$ (nF)	$t_r$ (µs)
0	6.6
1	7.7
4.7	17.4
10	32.1
22	68.2
47	88.2
100	291.3
220	623.0
470	1120.0

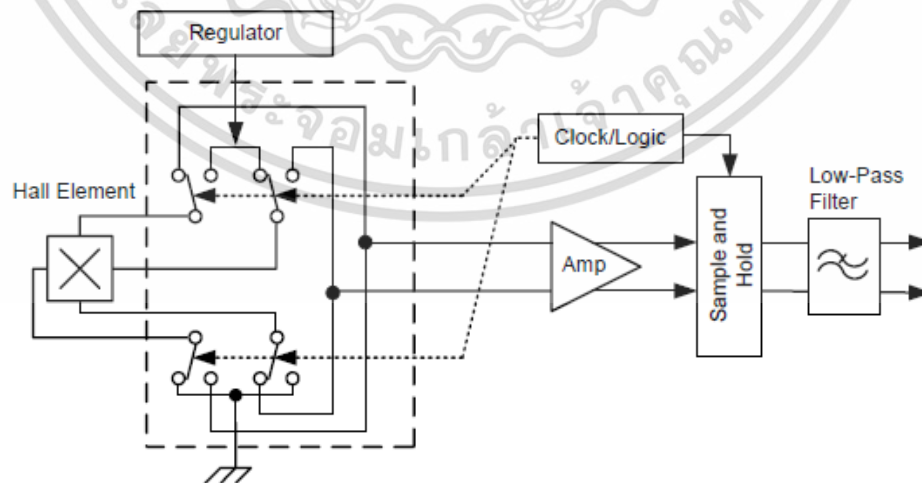


### Chopper Stabilization Technique

Chopper Stabilization is an innovative circuit technique that is used to minimize the offset voltage of a Hall element and an associated on-chip amplifier. Allegro patented a Chopper Stabilization technique that nearly eliminates Hall IC output drift induced by temperature or package stress effects. This offset reduction technique is based on a signal modulation-demodulation process. Modulation is used to separate the undesired dc offset signal from the magnetically induced signal in the frequency domain. Then, using a low-pass filter, the modulated dc offset is suppressed while the magnetically induced signal passes through the filter.

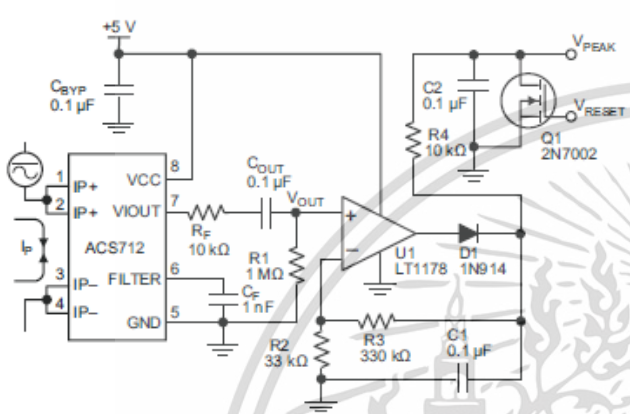
As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability after temperature cycling.

This technique is made possible through the use of a BiCMOS process that allows the use of low-offset and low-noise amplifiers in combination with high-density logic integration and sample and hold circuits.

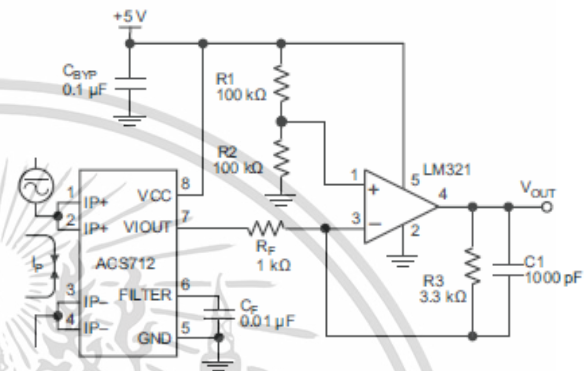


Concept of Chopper Stabilization Technique

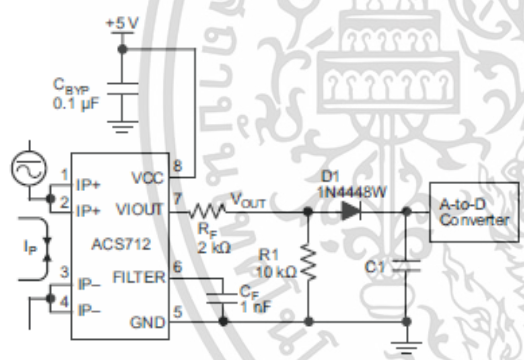
## Typical Applications



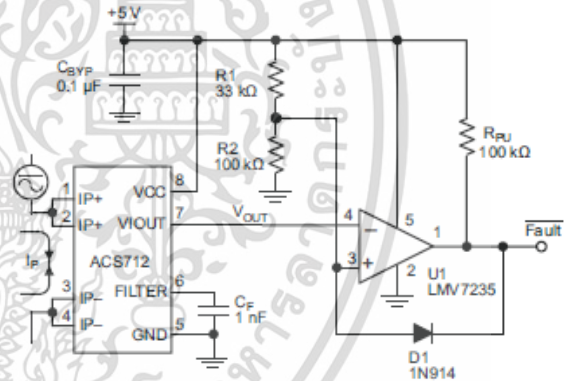
Application 2. Peak Detecting Circuit



Application 3. This configuration increases gain to 610 mV/A (tested using the ACS712ELC-05A).



Application 4. Rectified Output. 3.3 V scaling and rectification application for A-to-D converters. Replaces current transformer solutions with simpler ACS circuit. C1 is a function of the load resistance and filtering desired. R1 can be omitted if the full range is desired.



Application 5. 10 A Overcurrent Fault Latch. Fault threshold set by R1 and R2. This circuit latches an overcurrent fault and holds it until the 5 V rail is powered down.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเมื่อการติดตั้งไม่ถูกต้องและไม่อนุญาตให้แก้ไขได้โดยไม่ขออนุญาตจาก Allegro

### Improving Sensing System Accuracy Using the FILTER Pin

In low-frequency sensing applications, it is often advantageous to add a simple RC filter to the output of the sensor. Such a low-pass filter improves the signal-to-noise ratio, and therefore the resolution, of the sensor output signal. However, the addition of an RC filter to the output of a sensor IC can result in undesirable sensor output attenuation — even for dc signals.

Signal attenuation,  $\Delta V_{ATT}$ , is a result of the resistive divider effect between the resistance of the external filter,  $R_F$  (see Application 6), and the input impedance and resistance of the customer interface circuit,  $R_{INTFC}$ . The transfer function of this resistive divider is given by:

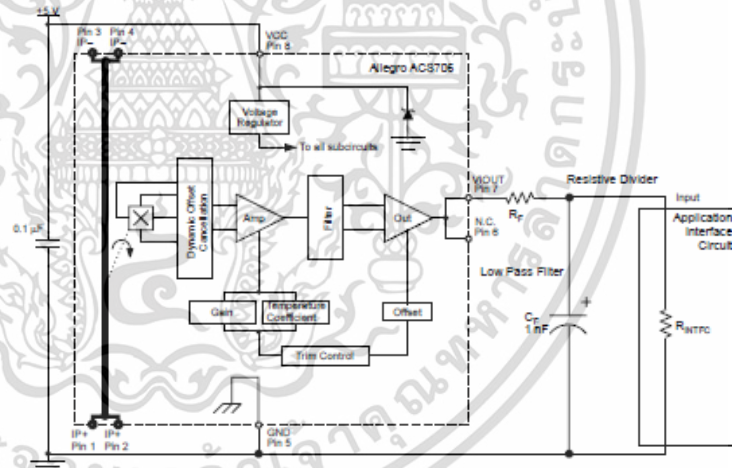
$$\Delta V_{ATT} = V_{IOUT} \left( \frac{R_{INTFC}}{R_F + R_{INTFC}} \right)$$

Even if  $R_F$  and  $R_{INTFC}$  are designed to match, the two individual resistance values will most likely drift by different amounts over

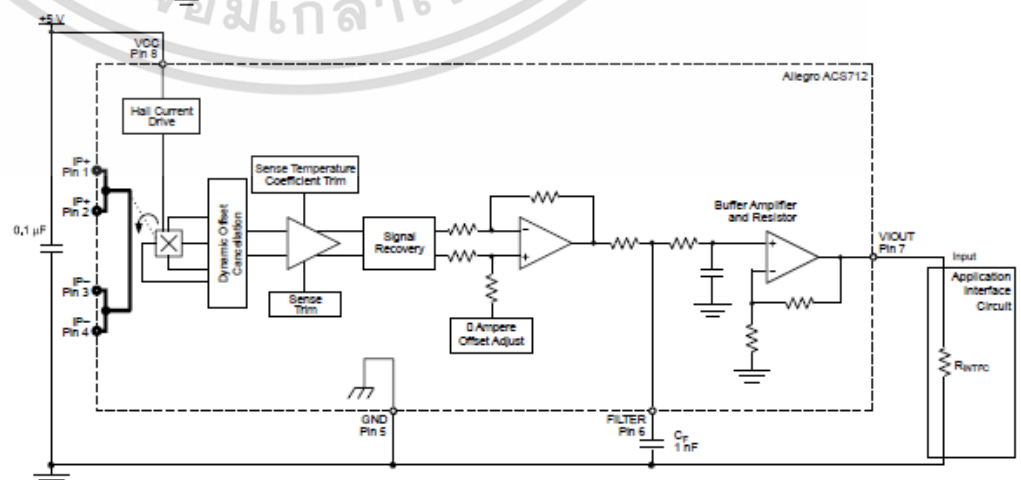
temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance,  $R_{INTFC}$ , of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be as low as 10 k $\Omega$ .

The ACS712 contains an internal resistor, a FILTER pin connection to the printed circuit board, and an internal buffer amplifier. With this circuit architecture, users can implement a simple RC filter via the addition of a capacitor,  $C_F$  (see Application 7) from the FILTER pin to ground. The buffer amplifier inside of the ACS712 (located after the internal resistor and FILTER pin connection) eliminates the attenuation caused by the resistive divider effect described in the equation for  $\Delta V_{ATT}$ . Therefore, the ACS712 device is ideal for use in high-accuracy applications that cannot afford the signal attenuation associated with the use of an external RC low-pass filter.

Application 6. When a low pass filter is constructed externally to a standard Hall effect device, a resistive divider may exist between the filter resistor,  $R_F$ , and the resistance of the customer interface circuit,  $R_{INTFC}$ . This resistive divider will cause excessive attenuation, as given by the transfer function for  $\Delta V_{ATT}$ .



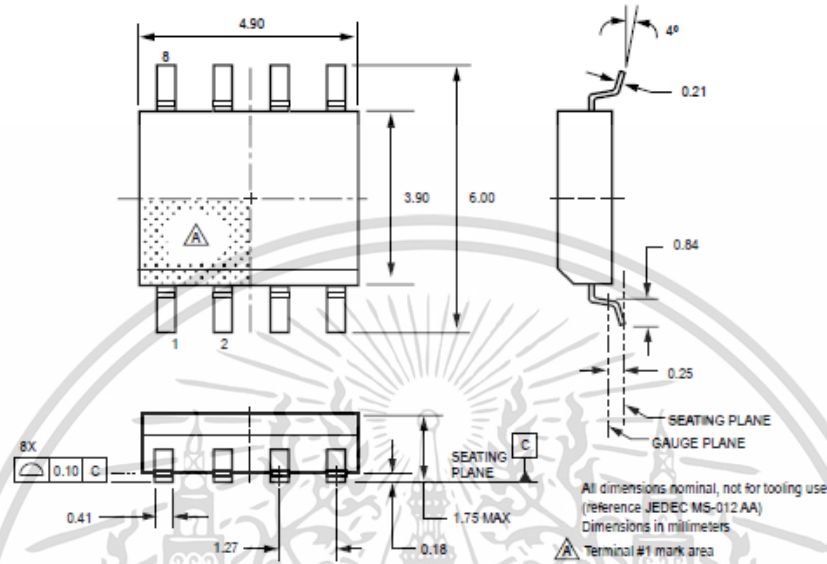
Application 7. Using the FILTER pin provided on the ACS712 eliminates the attenuation effects of the resistor divider between  $R_F$  and  $R_{INTFC}$ , shown in Application 6.



# ACS712

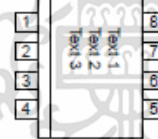
Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor with 2.1 kVRMS Voltage Isolation and a Low-Resistance Current Conductor

## Package LC, 8-pin SOIC



## Package Branding

Two alternative patterns are used



ACS712T RLCPPP YYWWA	ACS	Allegro Current Sensor	ACS712T RLCPPP L...L YYWW	ACS	Allegro Current Sensor
	712	Device family number		712	Device family number
	T	Indicator of 100% matte tin leadframe plating		T	Indicator of 100% matte tin leadframe plating
	R	Operating ambient temperature range code		R	Operating ambient temperature range code
	LC	Package type designator		LC	Package type designator
	PPP	Primary sensed current		PPP	Primary sensed current
	YY	Date code: Calendar year (last two digits)		L...L	Lot code
	WW	Date code: Calendar week		YY	Date code: Calendar year (last two digits)
	A	Date code: Shift code		WW	Date code: Calendar week

Copyright ©2006, 2007, Allegro MicroSystems, Inc.

The products described herein are manufactured under one or more of the following U.S. patents: 5,045,920; 5,264,783; 5,442,283; 5,389,889; 5,581,179; 5,517,112; 5,619,137; 5,621,319; 5,650,719; 5,686,894; 5,694,038; 5,729,130; 5,917,320; and other patents pending.

Allegro MicroSystems, Inc. reserves the right to make, from time to time, such departures from the detail specifications as may be required to permit improvements in the performance, reliability, or manufacturability of its products. Before placing an order, the user is cautioned to verify that the information being relied upon is current.

Allegro's products are not to be used in life support devices or systems, if a failure of an Allegro product can reasonably be expected to cause the failure of that life support device or system, or to affect the safety or effectiveness of that device or system.

The information included herein is believed to be accurate and reliable. However, Allegro MicroSystems, Inc. assumes no responsibility for its use; nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use.

For the latest version of this document, visit our website:

[www.allegromicro.com](http://www.allegromicro.com)



# 1.

# Overview

Espressif's ESP8266EX delivers highly integrated Wi-Fi SoC solution to meet users' continuous demands for efficient power usage, compact design and reliable performance in the Internet of Things industry.

With the complete and self-contained Wi-Fi networking capabilities, ESP8266EX can perform either as a standalone application or as the slave to a host MCU. When ESP8266EX hosts the application, it promptly boots up from the flash. The integrated high-speed cache helps to increase the system performance and optimize the system memory. Also, ESP8266EX can be applied to any microcontroller design as a Wi-Fi adaptor through SPI / SDIO or I2C / UART interfaces.

ESP8266EX integrates antenna switches, RF balun, power amplifier, low noise receive amplifier, filters and power management modules. The compact design minimizes the PCB size and requires minimal external circuitries.

Besides the Wi-Fi functionalities, ESP8266EX also integrates an enhanced version of Tensilica's L106 Diamond series 32-bit processor and on-chip SRAM. It can be interfaced with external sensors and other devices through the GPIOs. Software Development Kit (SDK) provides sample codes for various applications.

Espressif Systems' Smart Connectivity Platform (ESCP) enables sophisticated features including fast switch between sleep and wakeup mode for energy-efficient purpose, adaptive radio biasing for low-power operation, advance signal processing, spur cancellation and radio co-existence mechanisms for common cellular, Bluetooth, DDR, LVDS, LCD interference mitigation.

## 1.1. Wi-Fi Protocols

- 802.11 b/g/n support
- 2 x Wi-Fi interface, supports infrastructure BSS Station mode / P2P mode / SoftAP mode support
- Hardware accelerators for CCMP (CBC-MAC, counter mode), TKIP (MIC, RC4), WAPI (SMS4), WEP (RC4), CRC
- 802.11n support (2.4 GHz)
- Supports MIMO 1×1 and 2×1, STBC, and 0.4 μs guard interval
- WMM
- UMA compliant and certified
- Antenna diversity and selection (software managed hardware)
- Configurable packet traffic arbitration (PTA) with dedicated slave processor based design provides flexible and exact timing Bluetooth co-existence support for a wide range of Bluetooth Chip vendor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- Dual and single antenna Bluetooth co-existence support with optional simultaneous receive (Wi-Fi/Bluetooth) capability

## 1.2. Specifications

Table 1-1. Specifications

Categories	Items	Parameters
Wi-Fi	Certification	Wi-Fi Alliance
	Protocols	802.11 b/g/n
	Frequency Range	2.4G ~ 2.5G (2400M ~ 2483.5M)
	Tx Power	802.11 b: +20 dBm
		802.11 g: +17 dBm
		802.11 n: +14 dBm
	Rx Sensitivity	802.11 b: -91 dbm (11 Mbps)
		802.11 g: -75 dbm (54 Mbps)
	Antenna	PCB Trace, External, IPEX Connector, Ceramic Chip
	Hardware	CPU
Peripheral Interface		UART/SDIO/SPI/I2C/I2S/IR Remote Control
		GPIO/ADC/PWM/LED Light & Button
Operating Voltage		2.5V ~ 3.6V
Operating Current		Average value: 80 mA
Operating Temperature Range		-40°C ~ 125°C
Storage Temperature Range		-40°C ~ 125°C
Package Size		QFN32-pin (5 mm x 5 mm)
External Interface		-
Software		Wi-Fi Mode
	Security	WPA/WPA2
	Encryption	WEP/TKIP/AES
	Firmware Upgrade	UART Download / OTA (via network)
	Software Development	Supports Cloud Server Development / Firmware and SDK for fast on-chip programming
	Network Protocols	IPv4, TCP/UDP/HTTP/FTP
	User Configuration	AT Instruction Set, Cloud Server, Android/iOS App

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 1.3. Applications

- Home appliances
- Home automation
- Smart plugs and lights
- Mesh network
- Industrial wireless control
- Baby monitors
- IP cameras
- Sensor networks
- Wearable electronics
- Wi-Fi location-aware devices
- Security ID tags
- Wi-Fi position system beacons



# Clamp Type AC Current Sensors

For energy management systems CCT series

**Expansion of the line-up.** There is a movement to introduce BEMS, FEMS and CEMS by consideration of the global environment and the point of view of energy conservation-oriented. Its new product 600A model, the optimization of the shape using a high-performance ferrite core of the new development has been carried out. As a result it is possible to correspond to the new demand. By the Nominal Current Transformation Ratio of the series unification, the further standardization of circuit parts is enabled.



Photo : Type -00

- 56(L)x67(W)x96mm(H) Small size package
- Internal clamp diameter of  $\Phi 36\text{mm}$  (Nom)
- Nominal current transformation ratio of 3000:1 \*
- Clamp type for easy installation on existing power equipment.
- Accommodates automatic processes from wire wrapping and winding to soldering , ensuring high-quality and stable supply.
- Equipped with a built-in open-circuit protective device.
- Product compatible with RoHS directive.
- Compatible with lead-free solders.

■ APPLICATION

For energy management systems such as BEMS/FEMS/CEMS

■ Electrical Characteristics

Part No.	CCT406393-600-36-00	CCT406393-600-36-02	
Applied current (50/60Hz) / Arms	1.0 to 600		
Maximum allowed current / Arms continuous	700		
Internal clamp section diameter. (Nom)	36mm		
Nominal current transformation ratio	3000 : 1		
Output current accuracy	200.0mA±1% (600A, 50/60Hz)		
Phase difference	0.35°±0.2°(10Ω,600A, 50/60Hz)		
Secondary winding resistance	64Ω		
Open-circuit protection	7.5V Clamp element		
Output connector	Pin contact	SYM-001T-P0.6 (JST)	SPAL-001T-P0.5 (JST)
	Receptacle housing	SMR-02V-B (JST)	PALR-02VF (JST)
Adaptation connector	Socket contact	SHF-001T-0.8BS (JST)	SPHD-001T-P0.5 (JST)
	Plug housing	SMP-02V (JST)	PAP-02V-S (JST)
Output lead wire	AWG22 155mm		
Allowable desorption number of times	About 100 times		
Withstanding Voltage	AC2200V , 1min. (Between outer case and output)		
Insulation Resistance	100MΩ Over (DC500V)		
Flame retardant grade	UL 94 V-0		
Temperature range	Operating temp.**	-20 to +60 °C	
	Storage temp.***	-30 to +60 °C	
External L x W x H (Max.) / mm	56 x 67 x 96		
Individual weight	535 g		
Packaging quantity (pieces/box)	8		

\* 9000:1 is general for nominal current transformation ratio of the said class product. When a product of 3000:1 is used for this, it's possible to set load resistance (RL) to only one.

\*\*Operating temperature range includes self-temperature rise. \*\*\*The Storage temperature range is for after the assembly.

# "CCT272440-80-10" type

Added 80A type "CCT272440-80-10"(Internal clamp section diameter of 10mm) to the line-up.  
It's produced by the same magnetic material like 30A type and 100A type.



Photo : Type -00

Photo : Type -02

- 30.5(L)x27.5(W)x41.5mm(H) Small size package
- Internal clamp diameter of  $\Phi$ 10mm (Nom)
- Nominal current transformation ratio of 3000:1 \*
- Clamp type for easy installation on existing power equipment.
- Accommodates automatic processes from wire wrapping and winding to soldering , ensuring high-quality and stable supply.
- Equipped with a built-in open-circuit protective device.
- Product compatible with RoHS directive.
- Compatible with lead-free solders.

#### APPLICATION

For energy management systems such as HEMS/BEMS/FEMS/CEMS

#### Electrical Characteristics (LINE-UP)

Part No.	Type -00	CCT406393-600-36-00	CCT354571-300-24-00	CCT323047-100-16-00	CCT272440-80-10-00	CCT261631-30-06-00
	Type -02	CCT406393-600-36-02	CCT354571-300-24-02	CCT323047-100-16-02	CCT272440-80-10-02	CCT261631-30-06-02
Applied current (50/60Hz) / Arms	1.0 to 600		0.1 to 300	0.1 to 100	0.1 to 80	0.1 to 30
Maximum allowed current / Arms continuous	700		400	200	120	50
Internal clamp section diameter. (Nom)	36mm		24mm	16mm	10mm	6mm
Nominal current transformation ratio	3000:1					
Output current accuracy	200.0mA $\pm$ 1% (600A, 50/60Hz)		100.0mA $\pm$ 1% (300A, 50/60Hz)	33.3mA $\pm$ 1% (100A, 50/60Hz)	26.6mA $\pm$ 1% (80A, 50/60Hz)	10mA $\pm$ 1% (30A, 50/60Hz)
Phase difference	0.35 $\pm$ 0.2 $^\circ$ (10 $\Omega$ , 600A, 50/60Hz)		0.7 $\pm$ 0.5 $^\circ$ (10 $\Omega$ , 300A, 50/60Hz)	1.2 $\pm$ 0.8 $^\circ$ (10 $\Omega$ , 100A, 50/60Hz)	1.7 $\pm$ 1.0 $^\circ$ (10 $\Omega$ , 80A, 50/60Hz)	3.0 $\pm$ 1.5 $^\circ$ (10 $\Omega$ , 30A, 50/60Hz)
Secondary winding resistance	64 $\Omega$		103 $\Omega$	285 $\Omega$	352 $\Omega$	492 $\Omega$
Open-circuit protection	7.5V Clamp element					
Output connector	Type -00	Pin Contact	SYM-001T-P0.6 (JST)			
		Receptacle Housing	SMR-02V-B (JST)			
	Type -02	Pin Contact	SPAL-001T-P0.5 (JST)			
		Receptacle Housing	PALR-02VF (JST)			
Adaptation connector	Type -00	Socket Contact	SHF-001T-0.88S (JST)			
		Plug Housing	SMP-02V (JST)			
	Type -02	Socket Contact	SPHD-001T-P0.5 (JST)			
		Plug Housing	PAP-02V-S (JST)			
Output lead wire	AWG22 155mm		AWG22 140mm	AWG22 150mm	AWG22 155mm	AWG22 160mm
Allowable desorption number of times	About 100 times					
Withstanding Voltage	AC2200V, 1min. (Between outer case and output)					
Insulation Resistance	100M $\Omega$ Over (DC500V)					
Flame retardant grade	UL 94 V-0					
Temperature range	Operating temp.**		-20 to +60 $^\circ$ C			
	Storage temp.***		-30 to +60 $^\circ$ C			
External L x W x H (Max.) / mm	56 x 67 x 96		39.5 x 48.5 x 72	35 x 32.5 x 47.5	30.5 x 27.5 x 41.5	28.6 x 18.5 x 32
Individual weight	535 g		221 g	70 g	41 g	24 g
Packaging quantity (pieces/box)	8		24	36	36	60

\*\*Operating temperature range includes self-temperature rise. \*\*\*The Storage temperature range is for after the assembly.

RoHS Directive Compliant Product: See the following for more details related to RoHS Directive compliant products. <http://product.tdk.com/en/environment/rohs/>

All specifications are subject to change without notice.

[Code : L2054 : 2/02 : P02]

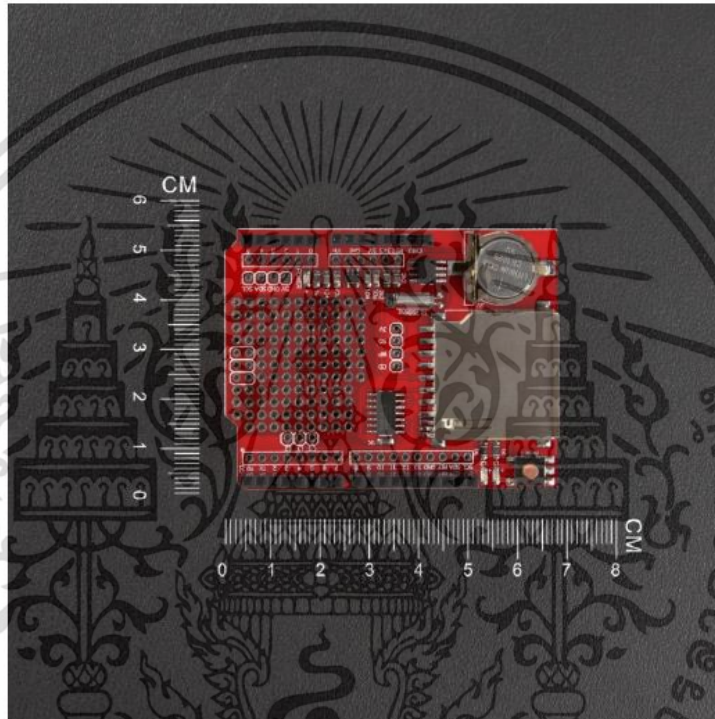


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
TDK Corporation  
<https://product.tdk.com/info/en/index.html> ติดต่อขอข้อมูลเพิ่มเติม และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# User Manual

## For

### Arduino Data logg shield (ST1046)



### Description:

This Arduino data log shield is a dedicated ,well-designed and not expensive data logging shield. Which is originally designed by Adafruit, we only add some power pins and change the appearance to make it good-looking. And most important is that we have soldered the pins for you, so you needn't do that, Now it can directly plug into Arduino compatible UNO/Mega board.

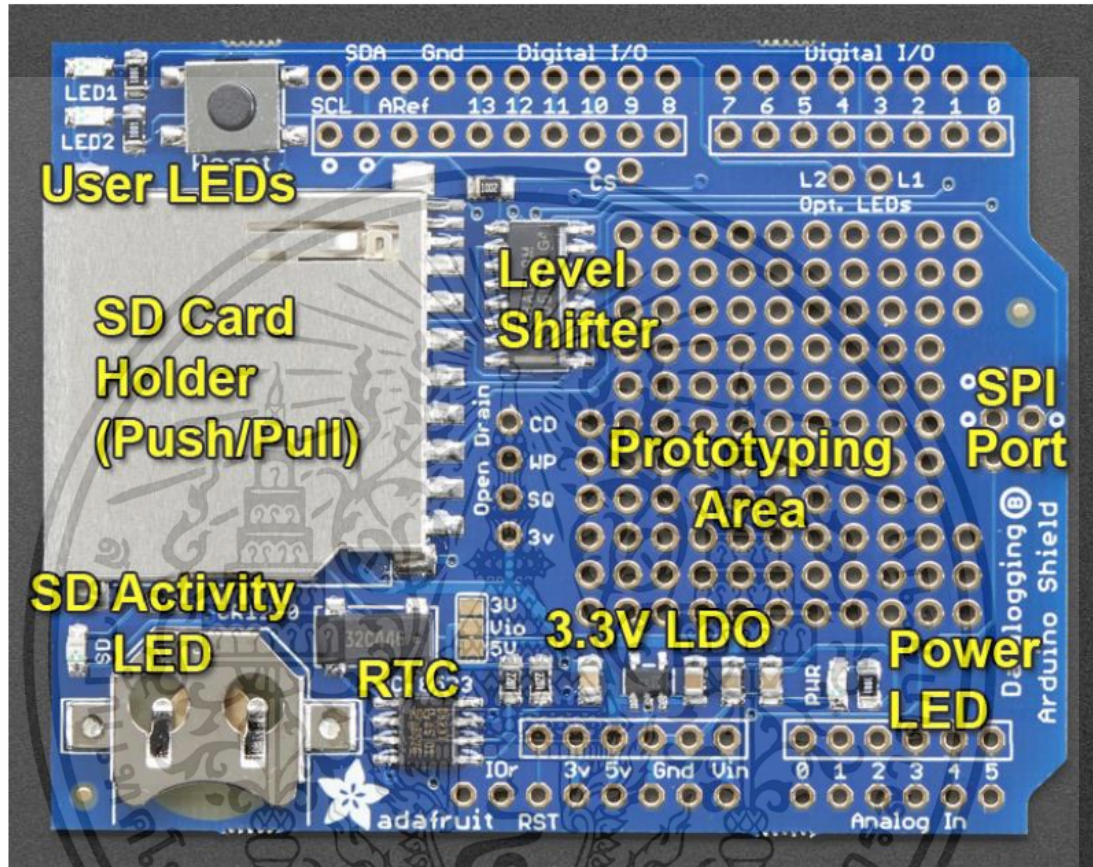
This popular is "R3" compatible so you can use it with just about any Arduino or compatible. You can be up and run with it in less than 15 minutes - saving data to files on any FAT16 or FAT32 formatted SD card, to be read by any plotting, spreadsheet or analysis program. This tutorial will also show you how to use two free software programs to plot your data. The included RTC (Real Time Clock) can be used to timestamp all your data with the current time so that you know precisely what happened when!

### Feature:

- SD card interface works with FAT16 or FAT32 formatted cards. Built in 3.3v level shifter circuitry lets you read or write super fast and prevents damage to your SD card
- Real time clock (RTC) keeps the time going even when the Arduino is unplugged. The coin cell battery backup lasts for years
- Included libraries and example code for both SD and RTC mean you can get going quickly
- Prototyping area for soldering connectors, circuitry or sensors.
- Two onfigurable indicator LEDs
- Onboard 3.3v regulator is both a reliable reference voltage and also reliably runs SD cards that require a lot of power to run
- Uses the "R3 layout" I2C and ICSP/SPI ports so it is compatible with a wide variety of Arduinos and Arduino-compatibles

## Shield Overview

The data log shield has a few things to make it an excellent way to track data. Here's a rough map of the shield:



## SD Card

The big SD card holder can fit any SD/MMC storage up to 32G and as small as 32MB (Anything formatted FAT16 or FAT32) If you have a MicroSD card, there are low cost adapters which will let you fit these in. SD cards are tougher to lose than MicroSD, and there's plenty of space for a full size holder.

Simply Push to insert, or Pull to remove the card from this slot

The SD Activity LED is connected to the clock pin, it will blink when data goes over SPI, which can help you detect when its ok to remove or insert the SD card or power down the Arduino.

## IDUINO for maker's life

---

The Level Shifter moves all signals from 3.3 or 5V down to 3.3V so you can use this shield with any Arduino safely and not damage cards. Cheaper shields use resistors to level shift, but this doesn't work well at high speed or at all voltage levels!

The SD library, download from here <https://github.com/adafruit/SD>

### Real Time Clock

This is the time-keeping device. It includes the 8-pin chip, the rectangular 32KHz crystal, and a battery holder

The battery holder must contain a battery in order for the RTC to keep track of time when power is removed from the Arduino! Use any CR1220 compatible coin cell.

RTC Library, download from here:

<https://github.com/adafruit/RTClib/archive/master.zip>

### Data logger

For using the data log function, you need the following parts to get this shield work.

- Arduino (of course!) an Atmega328 type is best - we always recommend going with an official 'classic' Arduino such as the Uno.
- SD card formatted for FAT and tested using our example sketch
- CdS photocell and a matching 10K pulldown resistor
- Temperature sensor with analog out, such as TMP36
- Battery pack such as a 6-AA 'brick' and a 2.1mm DC jack.
- or you can use a 9V clip for a power supply but a 9V powered logger will last only a couple hours so we suggest 6xAA's
- Some 22 AWG wire, soldering iron, solder, etc.

About how to connect the parts, we can refer the Adafruit's tutorial from here, but remember, this shield have soldered the pins already,

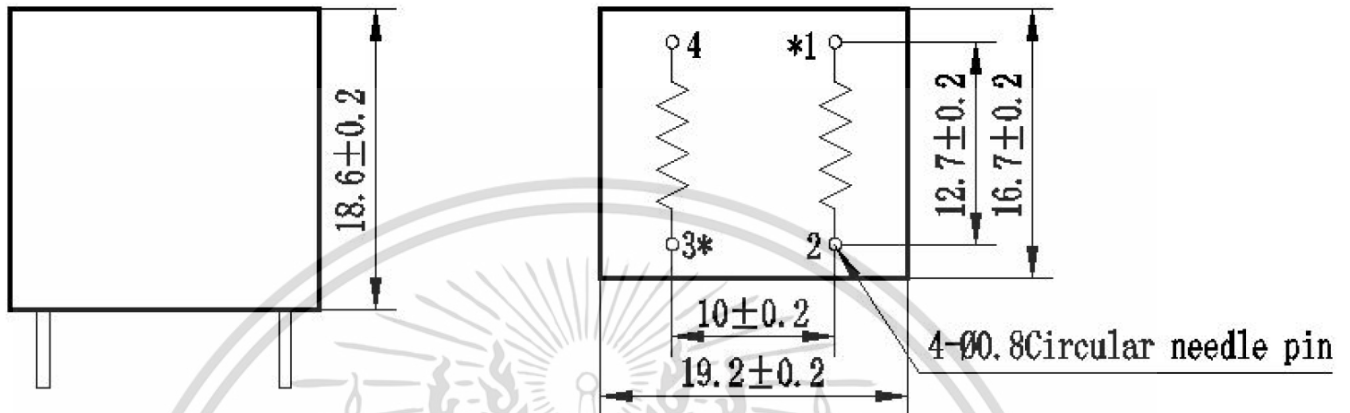
<https://learn.adafruit.com/adafruit-data-logger-shield/overview>

# ZMPT101B

## Current-type Voltage Transformer

Small size, high accuracy, good consistency, for voltage and power measurement

### Structural parameters:



Remarks: primary input: 1, 2 pins secondary output: 3, 4 pins  
 Or  
 primary input: 3, 4 pins secondary output: 1, 2 pins  
 "\*" Same polarity

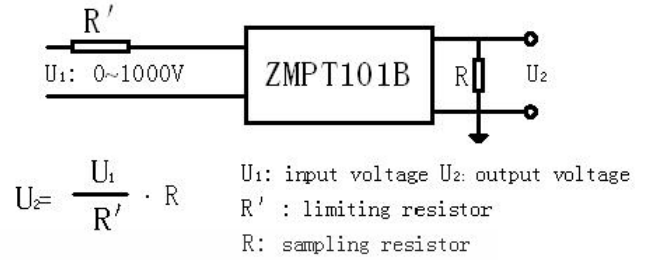
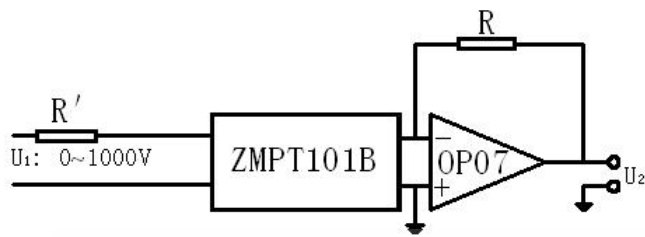
Front view

Bottom view

### The main technical parameters:

Model	ZMPT101B	
Rated input current	2mA	
Rated output current	2mA	
turns ratio	1000:1000	
phase angle error	≤20' (input 2mA, sampling resistor 100Ω)	
operating range	0~1000V	0~10mA (sampling resistor 100Ω)
linearity	≤0.2%(20%~120%)	
Permissible error	-0.3% ≤ f ≤ +0.2% (input 2mA, sampling resistor 100Ω)	
isolation voltage	4000V	
application	voltage and power measurement	
Encapsulation	Epoxy	
installation	PCB mounting (Pin Length>3mm)	
Operating temperature	-40℃~+60℃	
<b>Case Material</b>	<b>ABS (Note: ABS CASE is NOT available for wave-soldering)</b>	

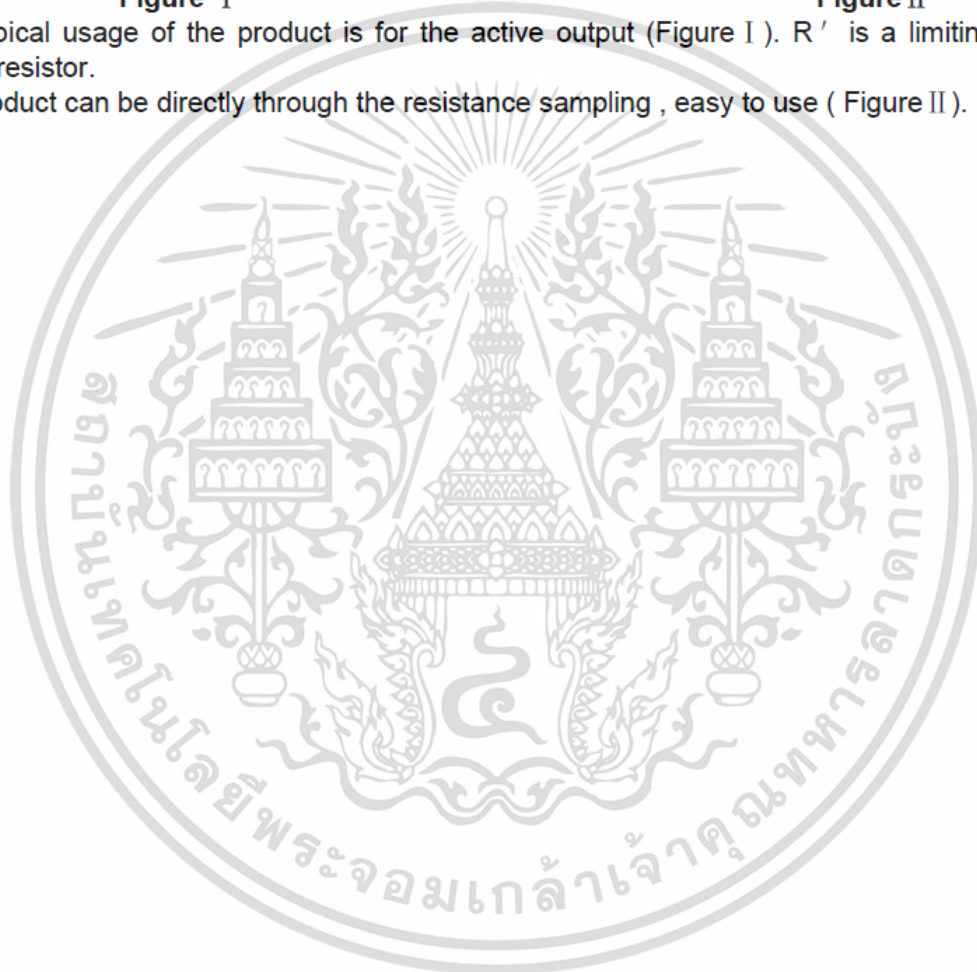
**Direction for use:**



**Figure I**

**Figure II**

1. The typical usage of the product is for the active output (Figure I).  $R'$  is a limiting resistor,  $R$  is a sampling resistor.
2. The product can be directly through the resistance sampling, easy to use (Figure II).



# Arduino Uno



Arduino Uno R3 Front

Arduino Uno R3 Back



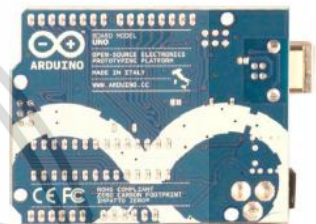
Arduino Uno R2 Front



Arduino Uno SMD



Arduino Uno Front



Arduino Uno Back

## Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 (datasheet). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

Revision 2 of the Uno board has a resistor pulling the 8U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

Revision 3 of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the 8U2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

## Summary

Microcontroller ATmega328

Operating Voltage 5V

Input Voltage (recommended) 7-12V

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

## Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

**Note:** The Arduino reference design can use an Atmega8, 168, or 328, Current models use an ATmega328, but an Atmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

## Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

## Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the ATmega8, 168, and 328 is identical.

## Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins. The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

## Programming

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

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available. The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

**Automatic (Software) Reset**

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

## USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

## Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้