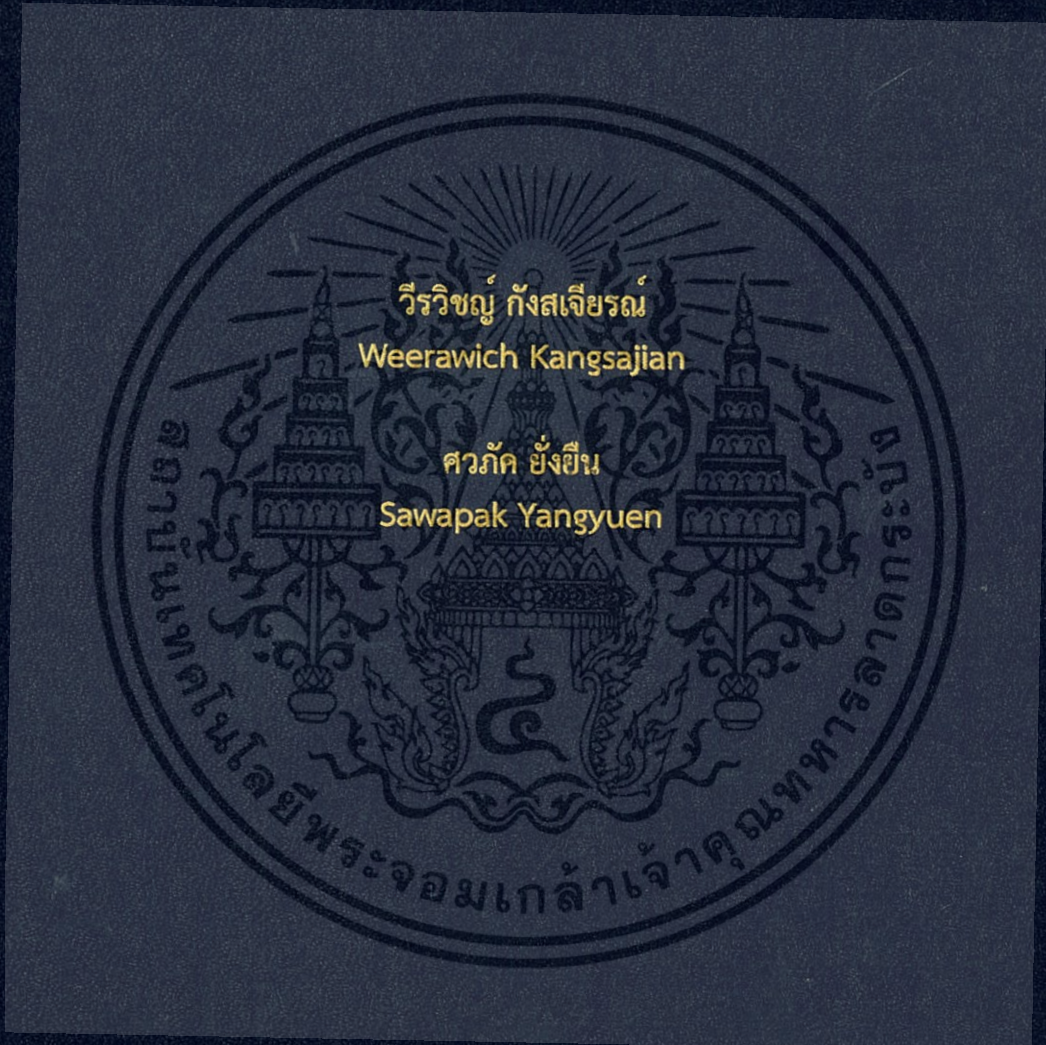


การประยุกต์ใช้การส่งสัญญาณแบบโลรา
LoRaWAN Application



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การประยุกต์ใช้การส่งสัญญาณแบบโลรา

LoRaWAN Application

โดย

วีรวิษณุ กังสเจียรณ์

ศวภค ย้งยีน

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานวิชา Project 2 ปีการศึกษา 2560

ภาควิชา อีเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์ใช้การส่งสัญญาณแบบโลว์รา

LoRaWAN Application

ผู้จัดทำ นาย วีรวิทย์ กังสเจริญณ์ รหัสนักศึกษา 57011205

นาย ศวภัค ยิ่งยืน รหัสนักศึกษา 57011227

รายงานนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว


รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบุลย์

อาจารย์ที่ปรึกษา

หัวข้อโครงการ	การประยุกต์ใช้การส่งสัญญาณแบบโลว์
นักศึกษา	นายวีรวิทย์ กังสเจริญ รหัสประจำตัว 57011205 นายศรภัค ยิ่งยืน รหัสประจำตัว 57011227
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์

บทคัดย่อ

โลว์เป็นการส่งสัญญาณระยะไกลที่ใช้พลังงานต่ำ ออกแบบมาเพื่อการติดต่อไร้สายและใช้พลังงานจากแบตเตอรี่จึงสามารถนำไปใช้เป็นโปรโตคอลบนอุปกรณ์ต่างๆ ได้ โลว์สามารถเชื่อมต่อสองทิศทางได้ทั้งกับอุปกรณ์ที่อยู่นิ่งกับที่และอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ เชื่อมต่อกันง่ายขึ้น เกิดการใช้งานที่แพร่หลายทั้งกับบุคคลทั่วไป, นักพัฒนา, และในภาคธุรกิจ แต่เนื่องจากโปรโตคอลนี้ยังไม่เป็นที่รู้จักในประเทศไทยมากนัก ดังนั้นโครงการนี้จึงเป็นโครงการนำร่องที่ได้นำโปรโตคอลโลว์มาประยุกต์ใช้งานเป็นมิเตอร์อัจฉริยะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	LoRaWAN Application	
Student	Mr.Weerawich Kangsajian	Student ID 57011205
	Mr.Sawapak Yangyuen	Student ID 57011227
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2017	
Project Advisor	Assoc.Dr.Surapan Airphaiboon	

ABSTRACT

LoRaWAN is a Low Power Wide Area Network (LPWAN) specification intended for wireless battery operated Things in a global network. LoRaWAN targets key requirements of Internet of Things such as secure bi-directional communication, mobility and localization services. The LoRaWAN specification provides seamless interoperability among smart Things without the need of complex local installation and gives back the freedom to the user, developer, businesses enabling the roll out of Internet of Things. LoRaWAN is a new protocol which is not widely used in Thailand. Therefore, this is a pilot project that applies LoRaWAN to use as a smart meter.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการประยุกต์ใช้การส่งสัญญาณแบบโลว์ร่า สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือ ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ และการสนับสนุนเงินทุนค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ทั้งหมด เพื่อนำมาศึกษาทดลอง จาก รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ อาจารย์ที่ปรึกษา ทางผู้จัดทำโครงการจึงขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

วีรวิษณุ กังสเจียรณ

ศวกัด ย้งยีน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	2
2.1 LoRa และ LoRaWAN.....	2
2.1.1 คุณสมบัติ.....	4
2.1.2 LoRaWAN Protocol Stack.....	5
2.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ LoPy.....	6
2.3 Pycom Expansion Board 2.0.....	8
2.4 โปรแกรม Atom.....	9
2.4.1 Pymkr Atom Package.....	10
2.5 Raspberry Pi 1 model B+.....	10
2.6 DHT11 Humidity and Temperature Sensor.....	12
2.7 ACS712.....	15
2.8 การวัดแรงดัน DC ด้วย ADC.....	16
2.9 การหาค่า V_{rms} และ I_{rms}	16
2.10 การเชื่อมต่อแบบ UART.....	17
2.11 การเชื่อมต่อแบบ SSH.....	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ.....	20
3.1 Specification.....	20
3.1.1 Hardware Specification.....	20
3.1.2 Software Specification.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	20
3.3 Block diagram.....	21
3.4 การอัปเดต FirmWare.....	22
3.5 การลงโปรแกรม Atom และ Pymakr Plugin.....	22
3.6 การเขียนโปรแกรม.....	22
3.6.1 การเขียนโปรแกรมที่ Node.....	22
3.6.2 การเขียนโปรแกรมที่ Gateway.....	24
3.7 การออกแบบลายวงจร.....	26
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	29
ตอนที่ 1 วัดค่าไฟฟ้ากระแสสลับด้วย ACS 712.....	29
ตอนที่ 2 ระยะทางการส่งข้อมูลระหว่าง node กับ gateway ผ่าน LoRa Protocol.....	30
ตอนที่ 3 การแสดงผลข้อมูลที่อัปโหลดขึ้นคลาวด์เซิร์ฟเวอร์.....	31
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	33
วิจารณ์ผลการทดลอง.....	33
เอกสารอ้างอิง.....	34
ภาคผนวก.....	35



สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

2.1 Modulation Setting for Europe	2
2.2 Modulation Setting	3
2.3 LoRaWAN Application	4
2.4 LoRaWAN Protocol Stack.....	5
2.5 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ LoPy.....	6
2.6 LoPy pinout.....	8
2.7 Pycom Expansion Board 2.0.....	8
2.8 Raspberry Pi 1 model B+.....	10
2.9 Raspberry Pi GPIO Header.....	11
2.10 DHT11 Humidity and Temperature Sensor.....	12
2.11 การต่อวงจร DHT11 เข้ากับ Raspberry Pi.....	13
2.12 รูปแสดงการส่งสัญญาณของเซนเซอร์ DHT11	14
2.13 ACS712	15
2.14 ไฟฟ้ากระแสสลับ.....	16
2.15 การสื่อสารอนุกรมแบบ Asynchronous	17
3.1 Block diagram แสดงการทำงานของโครงงาน.....	21
3.2 รูปแบบการดำเนินงาน.....	21
3.3 Flowchart แสดงการทำงานของโค้ดที่ LoPy node	23
3.4 Flowchart แสดงการทำงานของโค้ด LoPy ในเกตเวย์.....	24
3.5 Flowchart แสดงการทำงานของโค้ด Raspberry Pi ในเกตเวย์.....	25
3.6 schematic แสดงการเชื่อมต่อของ LoPy ,DHT11 และ UART	26
3.7 schematic แสดงการเชื่อมต่อ Raspberry Pi กับ connector	26
3.8 schematic แสดงการเชื่อมต่อไฟ LED แสดงสถานะ.....	27
3.9 การออกแบบ PCB ของ LoPy to Raspberry Pi shield	27
3.10 รูปแสดงองค์ประกอบภายในเกตเวย์.....	28
3.11 รูปแสดงองค์ประกอบภายในของ node.....	28
4.1 ค่าแรงดันที่ได้จากการวัด และค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณ.....	29
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จาก ACS712 กับ Clamp meter.....	30
4.3 ระยะเวลาที่ไกลที่สุดที่ส่งสัญญาณข้อมูลได้โดยมีสิ่งกีดขวาง.....	30
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา.....	31
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

2.1 ย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้ IoT ได้ในประเทศต่าง ๆ	6
4.1 ตารางแสดงความคาดเคลื่อนค่าที่วัดได้เทียบกับช่วงเวลาต่างๆ.....	29



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ณ ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีเข้ามามีบทบาทสำคัญในการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ ทำให้มนุษย์สะดวกสบายมากขึ้นโดยการนำระบบอัตโนมัติต่าง ๆ มาใช้ทดแทนกำลังคน (IoT) แต่ในระบบอัตโนมัติต่าง ๆ นั้นจำเป็นจะต้องมีการติดต่อสื่อสารกันภายในระบบตลอดเวลา การติดต่อสื่อสารภายในระบบที่ว่ามีวิธีการส่งข้อมูลให้เลือกใช้หลากหลายรูปแบบแล้วแต่ความเหมาะสม เช่น การส่งข้อมูลด้วย Ethernet ผ่านสายแลน, การส่งข้อมูลแบบไร้สาย (Wi-Fi, Bluetooth) ซึ่งส่งได้ระยะทางสั้น ๆ หรือ การส่งข้อมูลแบบไร้สายด้วยอินเทอร์เน็ตซิมการ์ด 3G, 4G ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการใช้งาน

รายงานนี้จึงศึกษาและประยุกต์ใช้งาน LoRa protocol ที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาต่าง ๆ ของรูปแบบการส่งสัญญาณที่กล่าวมาข้างต้น โดยที่ LoRaWAN มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ ไร้สาย, ส่งได้ไกล, ใช้พลังงานต่ำ และใช้งานได้ฟรี

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาและทดลองเพื่อให้เกิดการแพร่หลายในการนำมาประยุกต์ใช้งานด้าน IoT
- 1.2.2 ศึกษาวิธีการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา micropython

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สามารถเข้าใจถึงหลักการทำงานต่าง ๆ ของ IoT หลักการทำงานของ การส่งข้อมูลแบบ LoRa Protocol และสามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Python ได้ ซึ่งคาดว่าจะจะเป็นภาษาที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในอนาคต

1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1.4.1 สามารถเขียนโปรแกรมให้หนดกับเกตเวย์สื่อสารกันด้วย LoRa protocol ได้
- 1.4.2 node MCU สามารถ stand alone ได้นาน ๆ
- 1.4.3 นำคุณสมบัติของ LoRa protocol มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

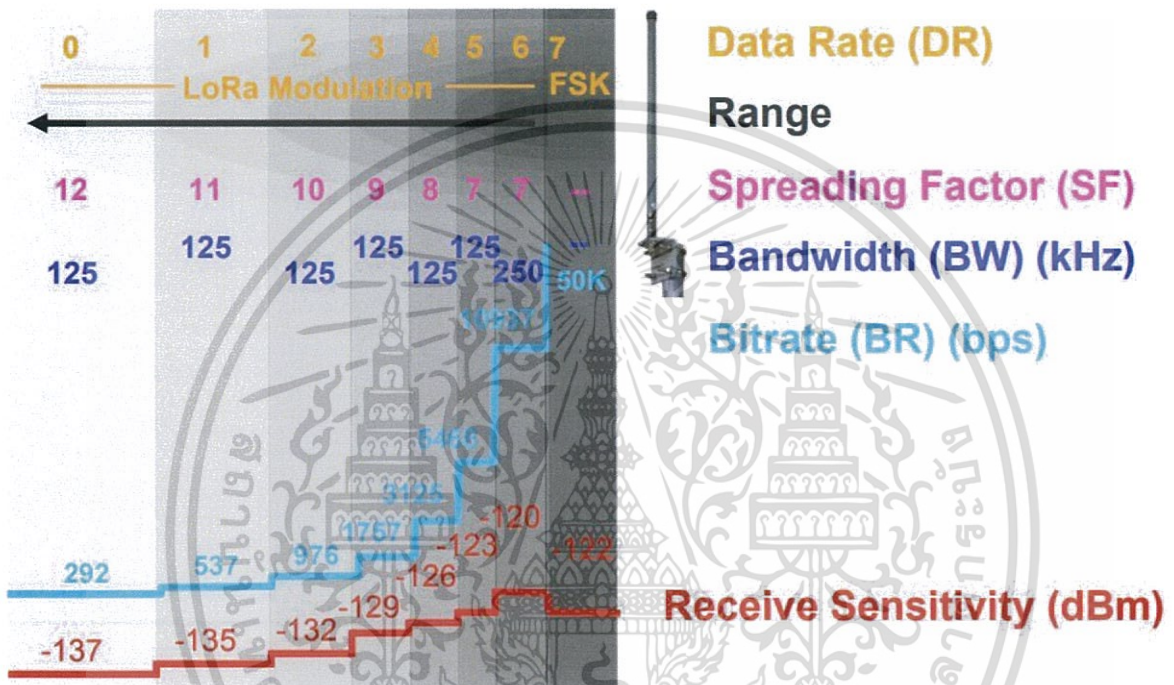
มีความรู้ความเข้าใจในการใช้งานภาษา Python โดยสามารถเขียนโปรแกรมให้รับ-ส่งข้อมูลแบบ LoRa protocol เพื่อสร้างระบบเครือข่าย IoT ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 LoRa และ LoRaWAN

LoRa เป็นเทคโนโลยีสัญญาณการสื่อสารที่ใช้เทคนิค Proprietary Spread Spectrum technology ซึ่งรูปแบบถูกพัฒนาโดย Semtech Corporation

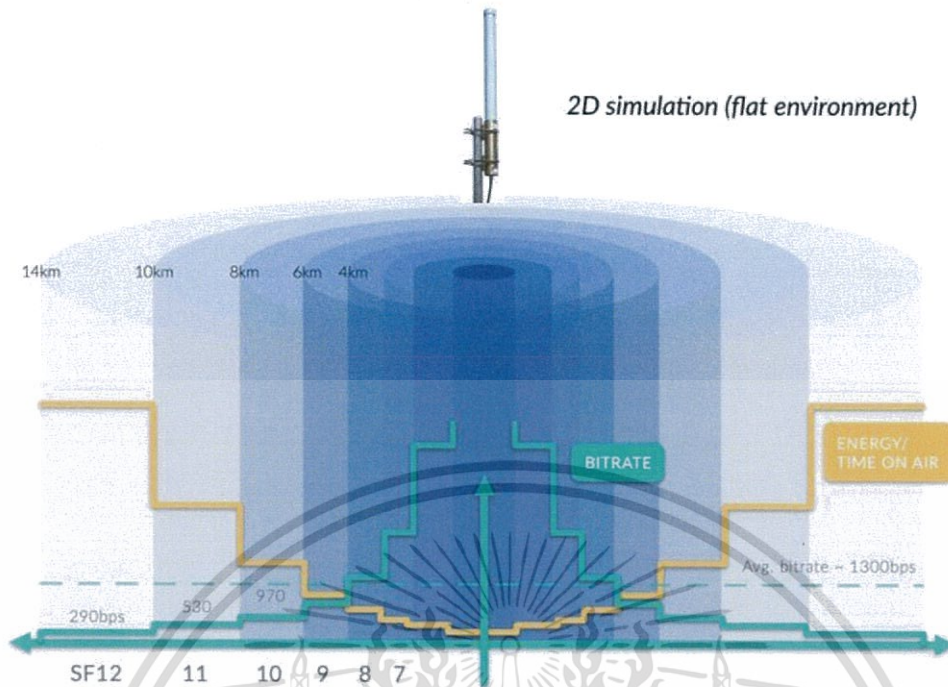


รูปที่ 2.1 Modulation Setting for Europe

(ที่มา : <https://medium.com/deaware/lora-lorawan-คืออะไร-มารู้จักกันดีกว่า-98d20055a4ca>)

ตัวอย่างค่า Data Rate (DR) สังเกตจากรูป จะเห็นว่า DR เป็น 0 อุปกรณ์จะสามารถส่งข้อมูลได้ไกลที่สุด โดยสามารถส่งด้วย Bitrate ที่ต่ำที่สุดโดยการกำหนด Data Rate จะถูกกำหนดจาก Spreading Factor (SF) ตั้งแต่ 7- 12 โดยที่แบนวิดท์ ช่องสัญญาณ และค่า SF ที่ปรับได้อาจจะเปลี่ยนแปลงตาม Frequency plan ของแต่ละโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 Modulation Setting

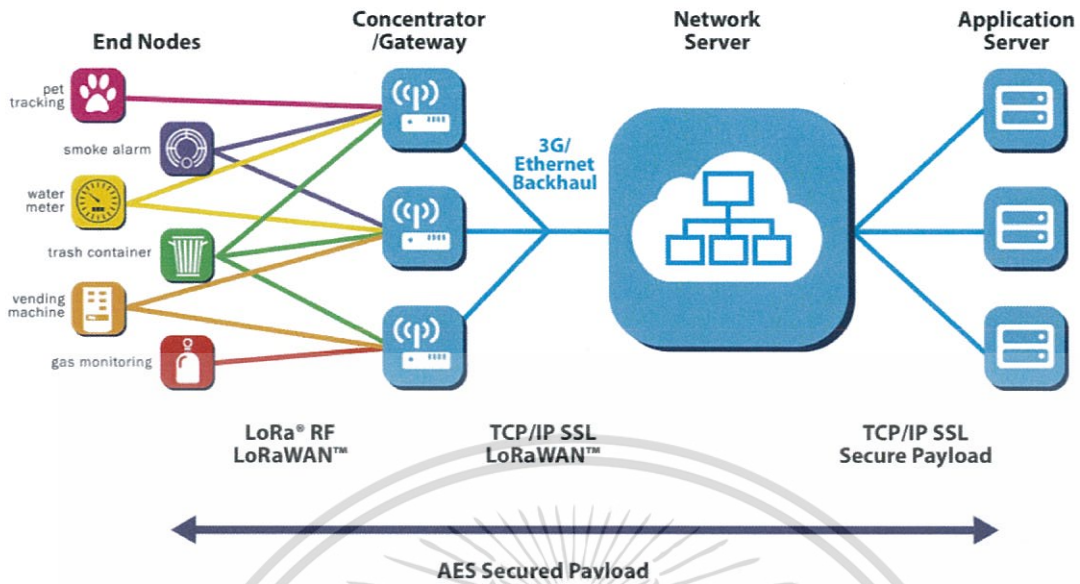
(ที่มา : <https://medium.com/deaware/lora-lorawan-คืออะไร-มารู้จักกันดีกว่า-98d20055a4ca>)

ถ้าดูจากรูปด้านบนเพิ่มเติมจะเห็นว่าเมื่ออุปกรณ์เข้าใกล้ gateway มากก็จะสามารถที่จะส่งข้อมูลด้วย BITRATE ที่สูงขึ้นได้ และการส่งข้อมูลจะเร็วขึ้นอีกด้วย รวมถึงพลังงานที่ใช้ในการส่งถ้าเทียบต่อขนาดของแพคเกจก็จะน้อยกว่าอุปกรณ์ที่อยู่ไกล Gateway อีกด้วย

ซึ่งในระดับ LoRaWAN จะมีโหมด ADR (Adaptive Data Rate) ที่เซตในแพคเกจการส่งข้อมูล เพื่อให้การเชื่อมต่อระหว่าง Gateway และ Device สามารถปรับ Spreading Factor แบบอัตโนมัติเพื่อประสิทธิภาพในการส่งโดยดูจากระยะการเชื่อมต่อระหว่าง Gateway และ Device โดยสามารถเลือกได้ว่าต้องที่จะ ปรับเพื่อส่งข้อมูลได้เร็วที่สุด หรือ ปรับเพื่ออายุการใช้งานแบตเตอรี่ที่ยาวนานที่สุด เป็นต้น

เทคโนโลยี LoRa เป็นส่วนของ RF PHYSICAL Layer ในการสื่อสารที่เป็นลิขสิทธิ์ของบริษัท Semtech

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 LoRaWAN Application

(ที่มา : <https://medium.com/deaware/lora-lorawan-คืออะไร-มารู้จักกันดีกว่า-98d20055a4ca>)

LoRaWAN เป็นส่วนที่ถูกกำหนดขึ้นมาโดยใช้ประโยชน์จาก LoRa physical layer ที่กล่าวไว้ข้างต้น

โดย LoRaWAN จะแบ่งส่วนประกอบในการเชื่อมต่อออกเป็น 4 ส่วนได้แก่

1. End-Devices
2. Concentrator/Gateway
3. Network Server
4. Application Server

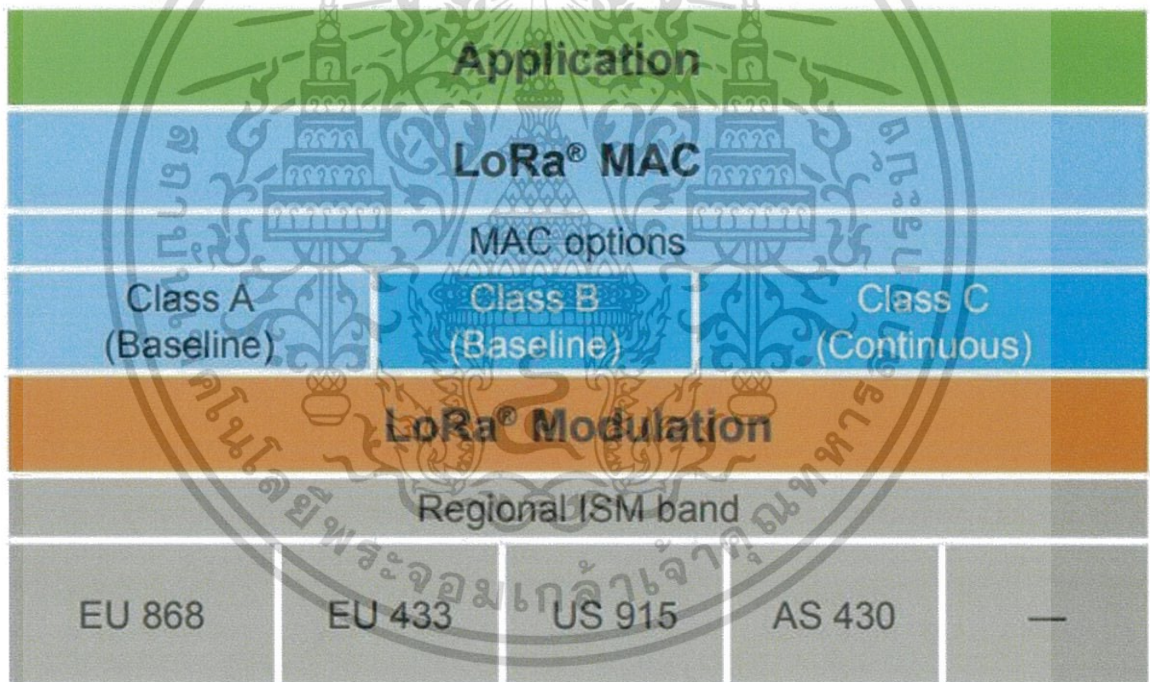
2.1.1 คุณสมบัติ

- ระยะทางไกล
 - ใช้ย่านความถี่ไม่สูงมาก จึงมีความทนต่อสิ่งกีดขวางได้มาก (long range up to 15km)
 - สัญญาณต่ำสุดของเครื่องลูกข่ายที่สามารถใช้งานได้คือ -137 dBm (End point Sensitivity up to -137 dBm)
 - กระจายสัญญาณเข้าไปใน Indoor ที่ดี (up to 20dB penetrate for deep indoor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ประหยัดพลังงาน
 - เครื่องลูกข่ายใช้ไฟแบตเตอรี่น้อยทำให้สามารถใช้งานได้หลายปี
 - กำลังส่งของสถานีฐานต่ำเนื่องจากใช้ความถี่ต่ำ ทนต่อสัญญาณรบกวน
- รองรับปริมาณเครื่องลูกข่ายได้เยอะ
 - Modulation ใช้ LoRa Modulation แบบ CSS (Chirp Spread Spectrum)
 - 125kHz Channel Bandwidth
- ราคาถูก
 - ย่านความถี่เป็น Light-License จึงทำให้ต้นทุนต่ำ
 - ระบบเครือข่ายการให้บริการไม่ยุ่งยากซับซ้อน (เมื่อเทียบกับ 3G, 4G LTE)
 - อุปกรณ์สถานีฐาน เช่น ระบบส่งสัญญาณ สายอากาศ มีราคาถูก
 - 1 สถานีฐาน สามารถให้บริการได้พื้นที่กว้าง
 - ปัจจุบันมีเครื่องลูกข่ายในตลาดมากมาย หลากหลายยี่ห้อ Economies of Scale มาก

2.1.2 LoRaWAN Protocol Stack



รูปที่ 2.4 LoRaWAN Protocol Stack

(ที่มา : <http://www.flyingmorning.com/th/articles/99980-ทำความรู้จักกับ-lora>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ที่ใช้สำหรับ LoRa (หน่วยเป็น MHz)

เป็นความถี่ย่าน ISM Band

ตารางที่ 2.1 ย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้ IoT ได้ในประเทศต่าง ๆ

ยุโรป	อเมริกาเหนือ	จีน	ไทย, เกาหลี, ญี่ปุ่น	อินเดีย
867-869	902-928	470 -510	920-925	865-867

LoRa Modulation

- Chirp Spread Spectrum (CSS)
- channel bandwidth of 125KHz

LoRa MAC

- Class A (All) - Listen Only เช่น อุปกรณ์ตรวจจับแผ่นดินไหว
- Class B (Beacon) - อุปกรณ์ที่ต้องมีการรับส่งข้อมูลเป็นเวลา เช่น Smart Meter
- Class C (Continuous) - อุปกรณ์ที่ต้องมีการรับส่งข้อมูล Real Time เช่น Fleet Management หรือระบบตรวจจับการจราจรแบบ Real Time

ด้าน Security

LoRaWAN ใช้การเข้ารหัส End-to-End ด้วย Advanced Encryption Standard (AES) 128-bit

2.2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ LoPy



รูปที่ 2.5 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ LoPy
(ที่มา : <https://pycom.io/product/lopy>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

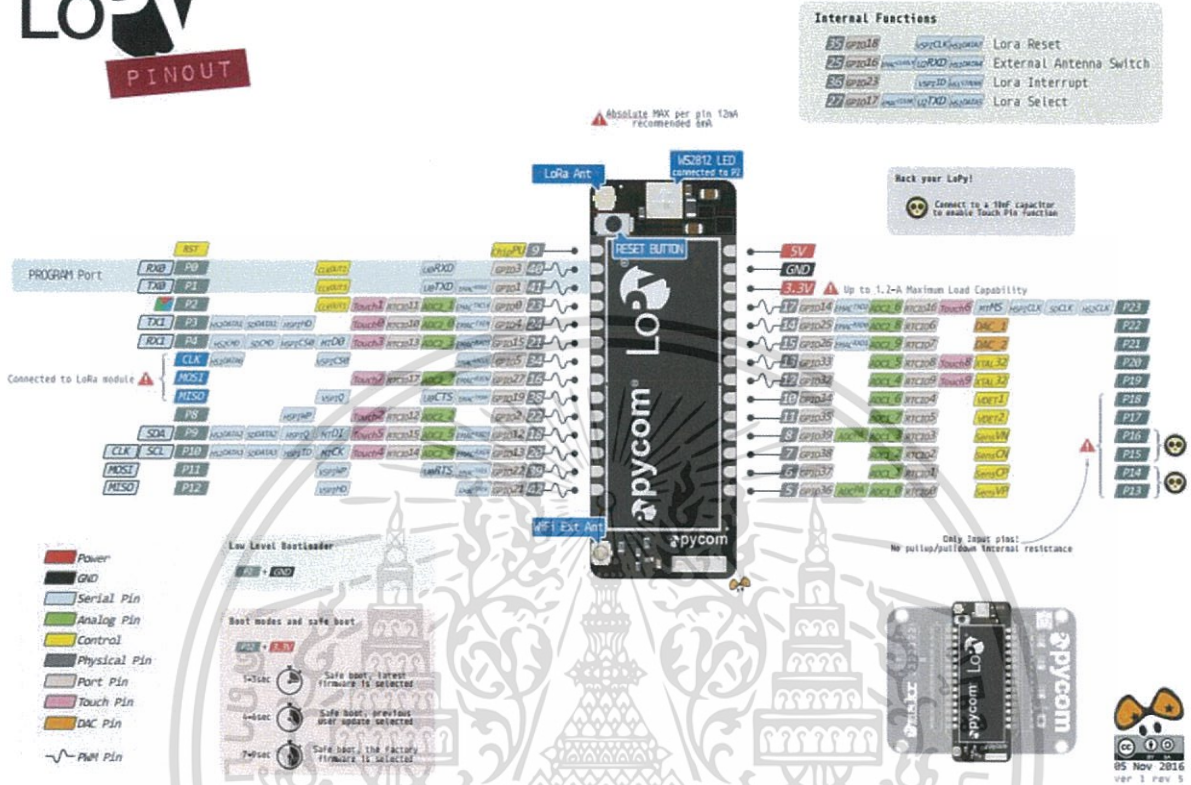
LoPy เป็นหนึ่งในโมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เรียกว่า ไมโครไพธอน (micropython) ซึ่งก็คือแผงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดเล็กที่พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน เป็นผลงานของ Pycom (www.pycom.io) จากสหราชอาณาจักร โดยบรรจุวงจรสื่อสารข้อมูลไร้สายผ่านคลื่นวิทยุความถี่สูง 3 แบบคือ LoRa, WiFi และ BLE หรือบลูทูธกำลังงานต่ำ ผู้พัฒนาใช้งานสามารถเลือกใช้วงจรสื่อสารข้อมูลไร้สายได้ตามต้องการด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

คุณสมบัติเด่นของโมดูล LoPy

- ชิพหลักคือ ESP32 จาก Espressif System เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต 2 คอร์ Tensilica LX6 ความถี่ 240MHz หน่วยความจำแรม 520 กิโลไบต์ หน่วยความจำแฟลช 4 เมกะไบต์ (32 เมกะบิต)
- มีวงจรสื่อสารข้อมูลไร้สายผ่านคลื่นวิทยุ 3 แบบให้เลือกใช้งาน ประกอบด้วย
 - LoRa Nano Gateway ความถี่ 868MHz (ใช้ในทวีปยุโรป) ที่ความแรงสูงสุด +14dBm และความถี่ 915MHz (ใช้ในทวีปอเมริกาเหนือ, อเมริกาใต้, ออสเตรเลีย และนิวซีแลนด์) ที่ความแรงสูงสุด +20dBm
 - WiFi ตามมาตรฐาน 802.11b/g/n ความเร็ว 16 เมกะบิตต่อวินาที
- บลูทูธกำลังต่ำ (BLE) ในตัว
- ระยะเวลาการสูงสุด เมื่อต่อสายอากาศภายนอก
 - 1 กิโลเมตร สำหรับ WiFi
 - 22 กิโลเมตรสำหรับ LoRa Nano Gateway รองรับอุปกรณ์โนตได้สูงสุด 100 ตัวต่อเกตเวย์
 - 40 กิโลเมตร เมื่อทำงานเป็นอุปกรณ์ LoRa Node
- พัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาไพธอน โดยใช้ Pymakr IDE พร้อมไลบรารีรองรับการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ IoT ได้อย่างสะดวก และใช้งานได้บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ MAC และ Linux
- อัปโหลดโค้ดได้ทั้งผ่าน WiFi และผ่านทางขา UART โดยใช้แผงวงจร PyCom Expansion 2.0
- ไฟเลี้ยง +3.3 ถึง +5V กินกระแสไฟฟ้ต่ำ บนโมดูลมีวงจรควบคุมไฟเลี้ยงคงที่ที่ +3.3V
 - 12mA เมื่อวงจร WiFi ทำงาน และ 5µA ในโหมดสแตนด์บาย
 - 15mA เมื่อใช้งานวงจร LoRa และ 10µA ในโหมดสแตนด์บาย
- มีสายอากาศแบบชิปบนบอร์ดและจุดต่อสายอากาศภายนอกแบบ U.FL
- มีพอร์ตอินพุตเอาต์พุต 24 ขา รองรับการติดต่ออุปกรณ์ภายนอกครบทั้ง UART (2 ชุด), I²C, SPI, I²S และ microSD การ์ด
- มีอินพุตอะนาล็อกสำหรับวงจร ADC 8 ขา (ADC1) รับแรงดันได้ 1.1V ความละเอียดในการแปลงสัญญาณ 12 บิต และเอาต์พุต DAC 2 ขา
- ขาพอร์ตทำหน้าที่เป็นขาเอาต์พุต PWM ได้ 18 ขา
- มี LED 3 สี RGB ในอนุกรม WS2812 ติดตั้งพร้อมใช้งาน
- สามารถตรวจสอบสถานะของแหล่งจ่ายไฟได้
- รองรับมาตรฐานการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลแบบ SSL/TLS และ WPA (WiFi Protect Access)
- ผ่านมาตรฐาน CE (หมายเลข CE0700) และ FCC (หมายเลข 2AJMTWIPY2R)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

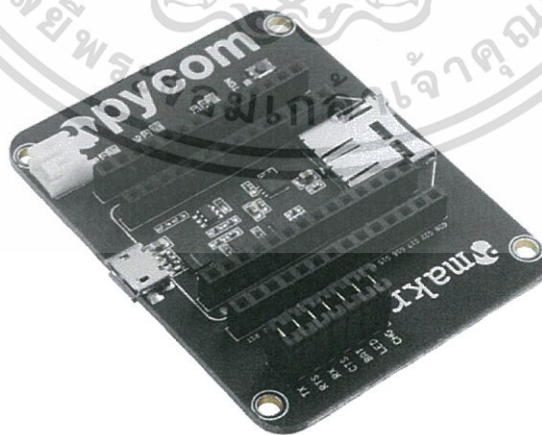
- ขนาด 55 x 20 x 3.5 มม.
- เพื่อความสะดวกในการพัฒนาโปรแกรม แนะนำให้ใช้งานกับแผงวงจร PyCom Expansion 2.0



รูปที่ 2.6 LoPy pinout

(ที่มา : <https://forum.pycom.io/topic/130/lopy-pinout-work-in-progress/20>)

2.3 Pycom Expansion Board 2.0



รูปที่ 2.7 Pycom Expansion Board 2.0

(ที่มา : <https://pycom.io/product/expansion-board>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pycom Expansion Board 2.0 คือบอร์ดที่ทางผู้ผลิตสร้างขึ้นมาเพื่อนำมาเชื่อมต่อกับโมดูล LoPy เพื่อให้ง่ายต่อการนำไปใช้งานโดยมีคุณสมบัติดังนี้

- รองรับไฟเลี้ยงจากพอร์ต USB และจุดต่อแบตเตอรี่ภายนอก
- ใช้ชิป FT234XD แปลงสัญญาณพอร์ต USB เป็นอนุกรมเพื่อการอัปโหลดโค้ดและสื่อสารกับคอมพิวเตอร์
- มีวงจรประจุแบตเตอรี่แบบ Li-Po เลือกระแสไฟในการประจุได้ 2 ค่า คือ 100mA และ 450mA
- มีวงจรป้องกันการต่อไฟเลี้ยงกลับขั้ว
- มี LED แสดงสถานะไฟเลี้ยงและสถานะการประจุแบตเตอรี่
- มีซ็อกเก็ต microSD การ์ด สำหรับติดต่อกับโมดูล Wipy2.0
- มีจุดต่อขาพอร์ตของ Wipy2.0 เป็นแบบ IDC ตัวเมีย
- มีสวิตช์ และ LED สำหรับทดสอบการทำงานของขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต

2.4 โปรแกรม Atom

โปรแกรม Atom เป็นโปรแกรมประเภทแก้ไขข้อความ (Text Editor) สามารถใช้ได้ทั้ง เขียนโค้ด รวมไปถึง แก้ไขส่วนต่างๆ ของโค้ดโปรแกรม หรือ แอปพลิเคชัน ต่างๆ ได้อย่างง่ายดาย ด้วยรูปแบบโปรแกรมที่เรียบง่าย พร้อมเครื่องมือ Tool สำหรับใช้งานที่หลากหลาย เหมาะสำหรับผู้ที่เริ่มต้นเขียนโปรแกรมและมีอาชีพที่กำลังมองหาโปรแกรมที่ใช้งานง่าย ที่จะมาช่วยในการเขียนโค้ด ง่ายและรวดเร็วมากขึ้น

โปรแกรม Atom ตัวนี้พัฒนาจาก เว็บไซต์ชื่อดัง GitHub ที่ช่วยกันร่วมพัฒนาและเปิดให้ใช้งานได้ฟรีๆ คุณสามารถใช้งาน โปรแกรมแก้ไขเขียนโค้ด Atom เปิดใช้งาน Project ของคุณ ช่วยให้คุณสามารถเขียนโค้ดของคุณได้ง่ายมากยิ่งขึ้น มีเครื่องมือให้ใช้งาน ค้นหา คัดลอก และ แสดงตัวอย่าง หลังจากเขียนเสร็จแล้วก็สามารถ Preview ดูตัวอย่างของโค้ดที่เขียนได้เลยทันที พร้อมแสดงผลและแก้ไขส่วนข้อผิดพลาดต่างๆ ได้ง่ายมากยิ่งขึ้น

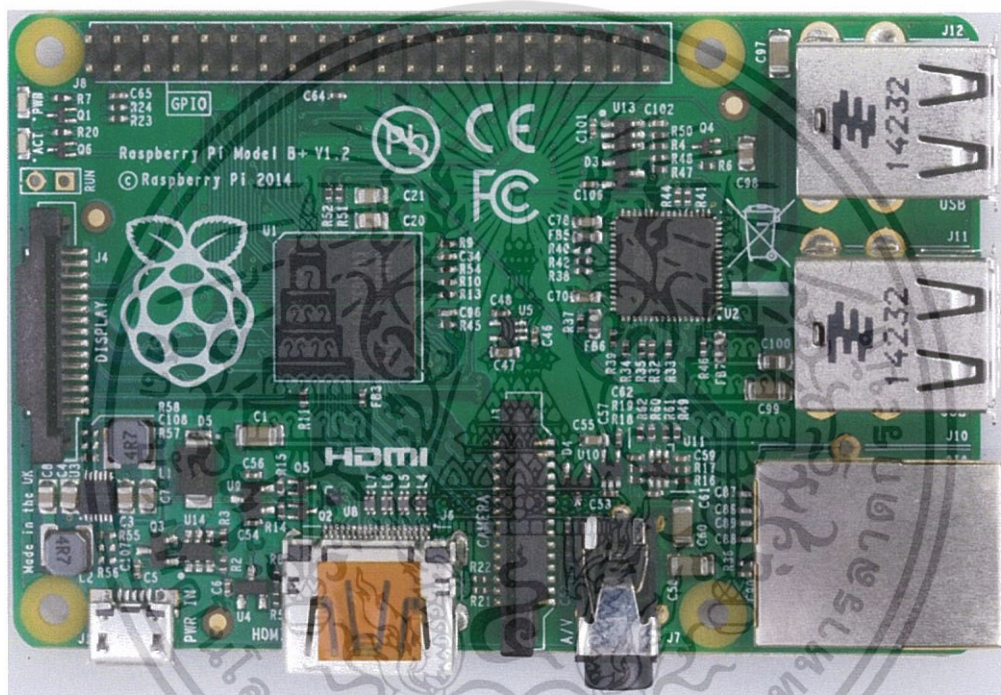
นอกจากนี้ โปรแกรม Atom ตัวนี้ยังมีฟังก์ชัน Smart autocompletion ช่วยแสดงและเติมส่วนต่างๆ ของโค้ดคุณ ทำให้คุณเขียนโค้ดได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น พร้อมแบ่งบรรทัดการเขียน เติมแต่งสีให้เห็นชัดเจน หากผู้ใช้งานคนไหนชื่นชอบหน้าตาโปรแกรมแบบอื่นๆ ก็สามารถหา Theme มาติดตั้งเองจากเว็บไซต์ GitHub ได้อีกด้วย โปรแกรมนี้ รองรับการใช้งานข้ามแพลตฟอร์ม (Cross Platform) ไม่ว่าจะเป็น บนระบบปฏิบัติการ Windows Linux และ macOS หากใครสนใจก็สามารถดาวน์โหลดมาใช้งานกันได้เลยแบบฟรีๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 Pymakr Atom Package

Pymakr คือ IDE (Integrated Development Environment) ที่เป็นส่วนเสริมบนโปรแกรม Atom ทำให้เชื่อมต่อกับบอร์ดต่าง ๆ ของทางผู้ผลิต Pycom ได้ทั้งทาง USB และ Telnet โดยเมื่อเชื่อมต่อแล้วสามารถเขียนและอัปโหลดไฟล์โค้ดได้ และยังมีฟังก์ชัน REPL (Read Evaluate Print Loop) command line ทำให้สามารถเขียนและทดลองรันโค้ดได้โดยที่ยังไม่จำเป็นต้องอัปโหลดไฟล์

2.5 Raspberry Pi 1 model B+



รูปที่ 2.8 Raspberry Pi 1 model B+

(ที่มา : <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-1-model-b-plus>)

บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อกับจอมอนิเตอร์ คีย์บอร์ด และเมาส์ได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรม หรือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะขนาดเล็ก ไม่ว่าจะเป็นการทำงาน Spreadsheet Word Processing ท่องอินเทอร์เน็ต ส่งอีเมล หรือเล่นเกมส์ อีกทั้งยังสามารถเล่นไฟล์วีดีโอความละเอียดสูง (High-Definition) ได้อีกด้วย

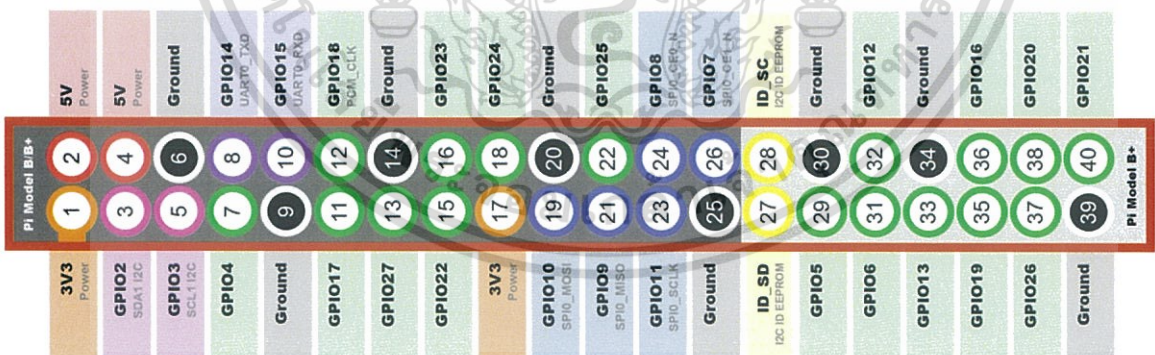
บอร์ด Raspberry Pi รองรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) ได้หลายระบบ เช่น Raspbian (Debian) Pidora (Fedora) และ Arch Linux เป็นต้น โดยติดตั้งบน SD Card บอร์ด Raspberry Pi นี้ถูกออกแบบมาให้มี CPU GPU และ RAM อยู่ภายในชิปเดียวกัน มีจุดเชื่อมต่อ GPIO ให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของบอร์ด Raspberry Pi 1 model B+

ขนาด: 85mm x 56mm x 17mm

- Broadcom BCM2835 SoC
- 700 MHz ARM1176JZF-S core CPU
- Broadcom VideoCore IV GPU
- 512 MB RAM
- 4 x USB2.0 Ports with up to 1.2A output
- Expanded 40-pin GPIO Header
- Video/Audio Out via 4-pole 3.5mm connector, HDMI, or Raw LCD (DSI)
- Storage: microSD
- 10/100 Ethernet (RJ45)
- Low-Level Peripherals: Power Requirements: 5V @ 600 mA via MicroUSB or GPIO Header
 - 27 x GPIO
 - UART
 - I2C bus
 - SPI bus with two chip selects
 - +3.3V
 - +5V
 - Ground
- Supports Debian GNU/Linux, Fedora, Arch Linux, RISC OS and More!



รูปที่ 2.9 Raspberry Pi GPIO Header

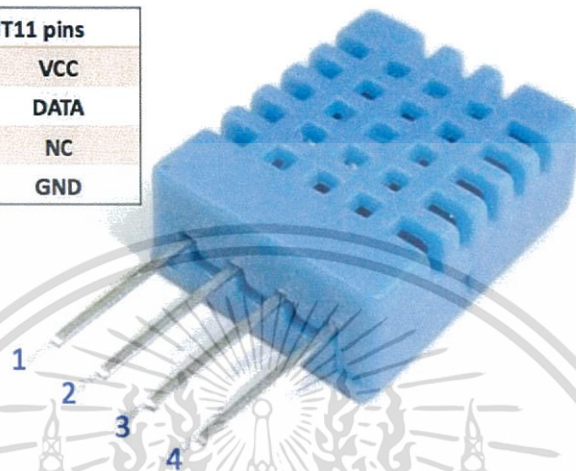
(ที่มา : <https://www.raspberrypi-spy.co.uk/2012/06/simple-guide-to-the-rpi-gpio-header-and-pins>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 DHT11 Humidity and Temperature Sensor

DHT11 Humidity and Temperature Sensor เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิกับความชื้นในอากาศ

DHT11 pins	
1	VCC
2	DATA
3	NC
4	GND



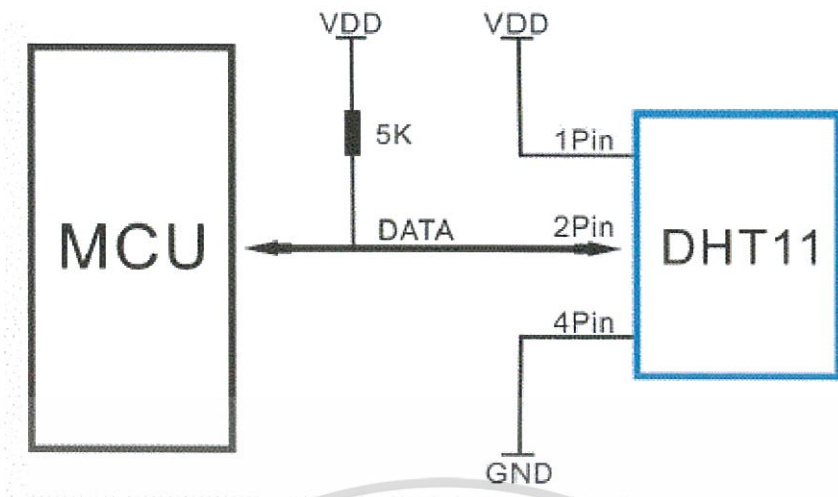
รูปที่ 2.10 DHT11 Humidity and Temperature Sensor

(ที่มา : <https://www.arduitronics.com/article/13/การใช้งาน-dht11-humidity-and-temperature-sensor-กับบอร์ด-arduino>)

Specification ของ DHT11

- ย่านวัดความชื้น 20 - 90% RH โดยมีค่าความแม่นยำ $\pm 5\%$ RH ความละเอียดในการวัด 1 % แสดงผลแบบ 8 บิต
- ย่านวัดอุณหภูมิ 0 - 50 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความแม่นยำ ± 2 องศาเซลเซียส ความละเอียดในการวัด 1 องศาเซลเซียส แสดงผลแบบ 8 บิต
- มี PIN 4 ขารายละเอียดดังรูปด้านบน
- กินกระแส 0.5 - 2.5 mA (ขณะทำการวัดค่า) ที่ระดับแรงดัน 3 - 5.5 VDC
- อ่านค่าสัญญาณ (Sample Rate) ทุก 1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 การต่อวงจร DHT11 เข้ากับ Raspberry Pi

(ที่มา : <https://www.arduitronics.com/article/13/การใช้งาน-dht11-humitdity-and-temperature-sensor-กับบอร์ด-arduino>)

ในการต่อวัดแบบปกติ คือ ระยะห่างระหว่าง Sensor กับตัว MCU ห่างกันไม่เกิน 20 เมตร จะต้องใช้ Pull up resistor ขนาด 5kohm (ต่อ R 5k ไว้กับแหล่งจ่ายแรงดันและต่อเข้าไปที่ขา DATA ด้วย)

Pin 1 ต่อกับ VDD

Pin 2 ต่อเป็นขา DATA

Pin 3 ไม่ได้ใช้

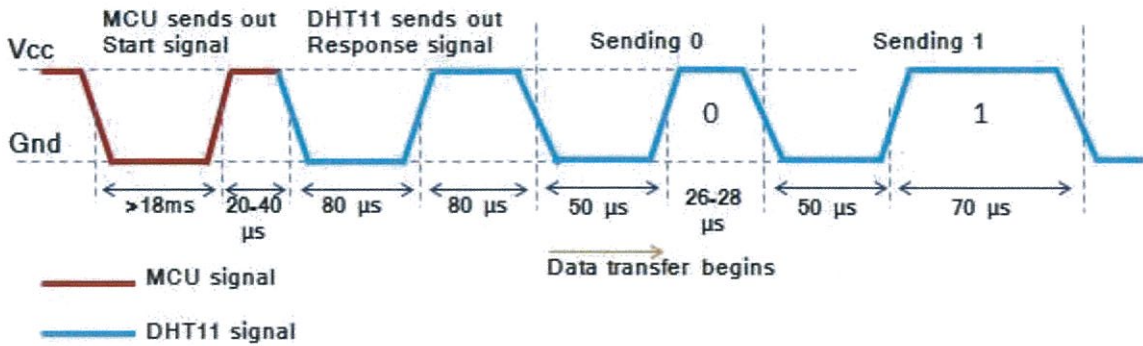
Pin 4 ลงกราวด์

โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดัน VDD ขนาด 3-5.5 VDC อุปกรณ์ตัวนี้ใช้การสื่อสารกับ MCU ด้วยวิธี Single-wire Two-way Serial interface หรือ การสื่อสารอนุกรมสองทางโดยใช้สายเส้นเดียว โดยให้ MCU เป็น Master และ DHT11 เป็น slave

ในการสื่อสารโดยใช้สายเส้นเดียวนั้น จำเป็นต้องใช้โปรโตคอลที่ตกลงกันไว้ระหว่างตัว MCU และ อุปกรณ์ที่ต้องการสื่อสารด้วย (Slave) อันดับแรก Master จะส่ง Start signal ที่เป็นแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำอย่างน้อย 18 ไมโครวินาที ไปที่ Slave เพื่อให้ Slave เข้าใจว่าจะเริ่มสั่งการ แล้วรอไป 20-40 ไมโครวินาที เพื่อรอ Slave ตอบกลับ

ทีนี้เพื่อให้ Master รู้ว่า Slave ก็พร้อม Slave จะส่งแรงดันระดับต่ำกลับไป การส่งแรงดันจาก Slave กลับไปจะนาน 80 ไมโครวินาที จากนั้นจะรออีก 80 ไมโครวินาที ก่อนที่จะส่งข้อมูลบิตแรก มาถึงตรงนี้ ข้อมูลยังไม่ถูกส่ง แต่พร้อมจะส่งแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 รูปแสดงการส่งสัญญาณของเซนเซอร์ DHT11

(ที่มา : <https://www.arduitronics.com/article/13/การใช้งาน-dht11-humitdity-and-temperature-sensor-กับบอร์ด-arduino>)

สำหรับการส่งบิตเป็น "0" ตัว Slave จะดึงระดับแรงดันลงต่ำนาน 50 ไมโครวินาที และปล่อยเป็นระดับ "สูง" นาน 26-28 ไมโครวินาที ดังรูปด้านบน (ช่วง Sending 0)

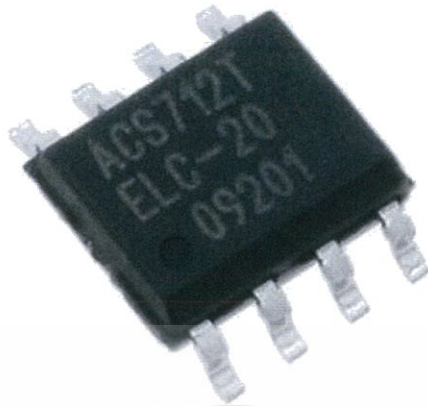
สำหรับการส่งบิตเป็น "1" ตัวส่งจะดึงสายสัญญาณลงระดับต่ำ 50 ไมโครวินาที และปล่อยให้เป็นระดับสูงนาน 70 ไมโครวินาที (ช่วง Sending 1)

ในแต่ละชุดของข้อมูลที่ส่งมาจาก DH11ตัว MCU รับข้อมูลแล้วจะต้องเอามาแปลงข้อมูลที่ส่งมา แต่ชุดข้อมูลจะยาว 40 บิต และใช้เวลาส่งประมาณ 40 มิลลิวินาที

ใน 40 บิตจะประกอบด้วย " 8bit integral RH data + 8bit decimal RH data + 8bit integral T data + 8bit decimal T data + 8bit check sum"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ACS712



รูปที่ 2.13 ACS712

(ที่มา : <https://www.ebay.co.uk/itm/ACS712-20A-SOIC8-Integrated-Circuit-SOIC-8-ACS712T-ELC-20A-Allegro-Microsystems-/111996271569>)

ไอซีวัดกระแส ACS712 ของบริษัท Allegro MicroSystem สามารถใช้แรงดันไฟเลี้ยง V_{cc} ในช่วง 4.5V ถึง 5.5V วัดกระแสได้ในสองทิศทาง (DC และ AC) และให้แรงดันเอาต์พุต V_{out} แบบเชิงเส้น ตัวไอซีมีขาฟิลเตอร์สำหรับต่อตัวเก็บประจุเพิ่ม เพื่อใช้ร่วมกับตัวต้านทานที่อยู่ภายในไอซี และทำหน้าที่เป็นวงจรกรอง (low-pass RC filter) สำหรับสัญญาณแรงดันเอาต์พุต

ACS712 คือโมดูลที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้า ซึ่งแต่ละ Packet จะมีความสามารถในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ไม่เท่ากัน โดยมีช่วงที่วัดได้ตั้งแต่ +5A , +20A และ +30A ขึ้นอยู่กับ Packet ที่ใช้ และค่าเอาต์พุตที่ได้จะเป็นค่า Voltage ซึ่งเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลภายในวงจรเลยจะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ $V_{cc}/2$ ถ้ากระแสไฟฟ้าที่วัดมีค่าเป็นบวก ค่าของแรงดันเอาต์พุตจะมากกว่า $V_{cc}/2$ และในทางตรงกันข้าม ถ้ากระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นลบ ค่าแรงดันเอาต์พุตจะน้อยกว่า $V_{cc}/2$ โดยสูตรการคำนวณหากระแสไฟฟ้าเบื้องต้นจะได้ว่า

$$\text{Current} = \frac{V_{\text{output}} - \left(\frac{V_{cc}}{2}\right)}{\text{Output sensitive}} \quad (2.1)$$

โดยที่ค่า Output Sensitive มีค่าแตกต่างกันไปตามแพ็คเกจดังนี้

ACS712ELCTR-05B-T	185	mV/A	(โครงการนี้ใช้แพ็คเกจรุ่นนี้ในการทดลอง)
ACS712ELCTR-20A-T	100	mV/A	
ACS712ELCTR-30A-T	66	mV/A	

คุณสมบัติของ ACS712 มีดังนี้

- รับ V_{cc} ที่ 5 V และสามารถทนได้สูงสุดที่ 8 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถวัดกระแสได้ทั้ง AC และ DC
- Output error ประมาณ 1.5% ที่ 25 องศา
- มีตัวต้านทานภายใน

2.8 การวัดแรงดัน DC ด้วย ADC

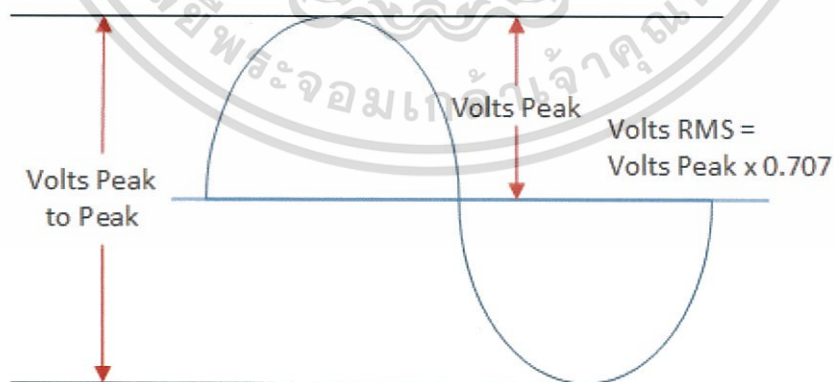
การวัดแรงดัน DC ในรูปคลื่นไซน์ด้วย ADC (Analog to Digital Converter) ของบอร์ด Lopy ที่ 12 bit resolution นั้นหมายความว่ามีความละเอียดในการอ่านค่าแรงดันอยู่ที่ $2^{12} = 4,096$ ระดับ และแรงดันที่ Lopy รับอินพุต ADC ได้สูงสุดจะมีค่าเท่ากับ V_{CC} หรือ 3.3V สามารถคำนวณหาค่าแรงดันได้ด้วยสมการ

$$ADC = \frac{V_{IN} \times 4,096}{V_{REF}} \quad (2.2)$$

โดยที่ V_{IN} = แรงดันไฟฟ้าอินพุต
 V_{REF} = 3.3 Volts

2.9 การหาค่า V_{rms} และ I_{rms}

ในกรณีส่วนใหญ่การแสดงค่าของไฟฟ้ากระแสสลับจะอยู่ในรูปแบบของ RMS การที่จะใช้เซ็นเซอร์ ACS712 วัดกระแสไฟฟ้าสลับ ต้องใช้วิธีคำนวณค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์โดยใช้สูตรการคำนวณพื้นฐาน



รูปที่ 2.14 ไฟฟ้ากระแสสลับ

(ที่มา : <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-current-measurements/acs712-arduino-ac-current-tutorial/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACS712 จะมีการรายงานการวัดกระแสด้วยแรงดันไฟฟ้าขาออก ในที่นี้จะคำนวณ V_{rms} โดยการปรับ การคำนวณให้ตรงกับสเกลแฟคเตอร์ของ ACS712 โดยแปลงเทียบกับไลน์เพาเวอร์ของกราฟิชนตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. หา V_{pp} (Volts Peak to Peak)
2. หา V_p (Volts Peak) ได้โดยนำ V_{pp} มาหาร 2
3. หา V_{rms} โดยนำ V_p มาคูณ 0.707

ส่วนการหาค่า I_{rms} มีวิธีการคำนวณดังสมการต่อไปนี้

$$I_{rms} = \frac{V_{rms} \times 1,000}{mV/Amp} \quad (2.3)$$

โดยที่ $mV/Amp = 185$ (ค่าคงที่)

2.10 การเชื่อมต่อแบบ UART

UART ย่อมาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการสื่อสารอนุกรม แบบ Asynchronous ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลที่ไม่ต้องใช้สัญญาณ Clock มาเป็นตัวกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูลแต่ ใช้วิธีกำหนด รูปแบบ Format การรับส่งข้อมูลขึ้นมาแทน และ อาศัยการกำหนด ความเร็วของการรับ และ ส่ง ที่เท่ากันทั้งฝั่งรับและฝั่งส่ง ข้อดีของการใช้ Asynchronous คือสามารถสื่อสารแบบ Full Duplex รับ และ ส่งได้ในเวลาเดียวกัน แต่ Asynchronous มีโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหายขณะรับส่งข้อมูล หรือ รับส่งข้อมูล ผิดพลาดได้มากกว่าแบบ Synchronous

สรุปกล่าวคือ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) หมายถึง รูปแบบการส่งข้อมูล ที่ ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้รับส่งข้อมูลแบบ Asynchronous โดยมีรูปแบบดังรูป



รูปที่ 2.15 การสื่อสารอนุกรมแบบ Asynchronous

(ที่มา : <https://thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/uart-ttl-rs232-max232-max3232.html>)

เริ่มต้นจาก Start Bit เป็น Logic 0 จากนั้นจะตามด้วย Data ที่เราส่ง แล้วจะถูกปิดด้วย STOP Bit เป็น Logic 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากต้องการติดต่อสื่อสาร UART ระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ กับ คอมพิวเตอร์ สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรม Hyperterminal เข้าช่วย เพื่อการทดสอบการ รับ และ ส่ง ข้อมูล

2.11 การเชื่อมต่อแบบ SSH

ในโครงงานนี้ รูปแบบการเชื่อมต่อกับ Raspberry Pi เพื่อเขียนโค้ดนั้นใช้วิธีการเชื่อมต่อแบบ Secure Shell (SSH) คือ โพรโทคอล (Protocol) ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์บนระบบเครือข่ายผ่าน พอร์ต (Port) หมายเลข 22 ซึ่งโพรโทคอล SSH มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าควบคุมหรือสั่งการเครื่อง คอมพิวเตอร์ที่ให้บริการ SSH ตามสิทธิของผู้ใช้งานซึ่งได้มาจากการพิสูจน์ตัวตนด้วยการล็อกอิน (Login) ด้วยการใช้ชื่อผู้ใช้และรหัสผ่าน โดยผ่านช่องทางการสื่อสารที่มีการรักษาความมั่นคงปลอดภัยด้วยการเข้ารหัสลับ ข้อมูล (Encryption) ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อใช้แทนที่การสื่อสารข้อมูลบนระบบเครือข่ายที่ส่งข้อมูล แบบไม่ได้เข้ารหัสลับ (Plaintext) เช่น Telnet, Rlogin หรือ FTP ปัจจุบันโพรโทคอล SSH มีสองเวอร์ชันคือ SSH-1 และ SSH-2 (ถูกพัฒนาจาก SSH-1 เพื่อแก้ไขช่องโหว่หรือข้อผิดพลาดที่ทำให้ผู้โจมตีสามารถโจมตีเข้ามายัง เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ให้บริการ SSH ได้)

การทำงานของโพรโทคอล SSH จะทำงานในลักษณะไคลเอนต์และเซิร์ฟเวอร์ (Client-Server) โดยรูปแบบการใช้งานจะประกอบไปด้วยโปรแกรม 2 ส่วนคือ โปรแกรมส่วนที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องที่ให้บริการ (Server) จะถูกติดตั้งลงที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการให้บริการ SSH เช่น โปรแกรม OpenSSH-Server บนระบบปฏิบัติการ Linux โดยส่วนใหญ่แล้วเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งโปรแกรมที่ให้บริการ SSH จะติดตั้งเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานร่วมกับบริการอื่นๆ ควบคู่ไป เช่น บริการเว็บเซิร์ฟเวอร์ หรือบริการอัปโหลดไฟล์ เป็นต้น และโปรแกรมอีกส่วนจะทำหน้าที่เป็นผู้เชื่อมต่อ (Client) ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ให้บริการ SSH เช่น โปรแกรม PuTTY บนระบบปฏิบัติการ Windows หรือ โปรแกรม OpenSSH-Client บนระบบปฏิบัติการ Linux

ถึงแม้โพรโทคอล SSH จะมีข้อดีในเรื่องของการรักษาความมั่นคงปลอดภัยโดยมีการเข้ารหัสลับข้อมูล และมีการล็อกอินก่อนการเข้าใช้งาน แต่ก็ยังพบว่ามีโอกาสสูงที่จะถูกโจมตีจากผู้ไม่หวังดี เนื่องจากผลลัพธ์และความสำเร็จในการเข้าโจมตีอาจหมายถึงการได้รับสิทธิในการ เข้าควบคุมและสั่งการเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ให้บริการนั้นทันที โดยลักษณะการโจมตีที่เกิดขึ้นมักจะมาจากการใช้เทคนิคในการเข้าโจมตีที่ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ให้บริการโดยตรง เช่นการโจมตีด้วยวิธีการสุ่มรหัสผ่าน (Brute-force) เพื่อพยายามเข้าสู่ระบบเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ให้บริการ SSH ซึ่งหากผู้ใช้งานหรือผู้ดูแลระบบตั้งค่านามผู้ใช้หรือรหัสผ่านในการล็อกอินง่ายเกินไปก็ จะ ทำให้โอกาสในการโจมตีสำเร็จง่ายมากขึ้น โดยแนวทางในการป้องกันที่ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือการรู้ทันการโจมตีและรู้วิธี ในการป้องกันการโจมตีดังกล่าว ซึ่งหนึ่งในวิธีการป้องกันที่ผู้ดูแลระบบส่วนใหญ่นิยมใช้ และจะกล่าวถึงในบทความนี้ คือ การเปลี่ยนวิธีการล็อกอินจากวิธีการปกติที่ใช้รหัสผ่าน เป็นการใช้เทคนิคการใช้คู่กุญแจ (Key Authentication) ซึ่งเป็นรูปแบบการเข้ารหัสแบบอสมมาตร (Asymmetric-key cryptography) โดยมีการสร้างคู่กุญแจ ซึ่งจะประกอบไปด้วยกุญแจสาธารณะ (Public Key) และ กุญแจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนตัว (Private Key) มีหลักการทำงานคือ ถ้าใช้กุญแจ A ในการเข้ารหัสลับ จะต้องใช้กุญแจ B ในการถอดรหัสลับ โดยการเข้ารหัสและถอดรหัสดังกล่าวจะใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วย ซึ่งการใช้หลักการดังกล่าวในการพิสูจน์ตัวตนของผู้ใช้งานกับเครื่อง คอมพิวเตอร์ที่ให้บริการ SSH จะช่วยป้องกันการโจมตีด้วยวิธีการ Brute-force จากผู้โจมตีได้ และยังสามารถเพิ่มความมั่นคงปลอดภัยจากการใช้งาน Key Authentication ได้โดยการเข้ารหัสลับ Private key ด้วยรหัสผ่านอีกชั้นตอนหนึ่ง เพื่อป้องกันบุคคลอื่นนำกุญแจดังกล่าวไปใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 Specification

3.1.1 Hardware Specification

- บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ LoPy
- บอร์ด Pycom Expansion Board 2.0
- เสาอากาศ LoRa
- บอร์ด Raspberry Pi 1 model B+
- ชิพวัดกระแส ACS712
- สาย microUSB
- สาย LAN
- คอมพิวเตอร์

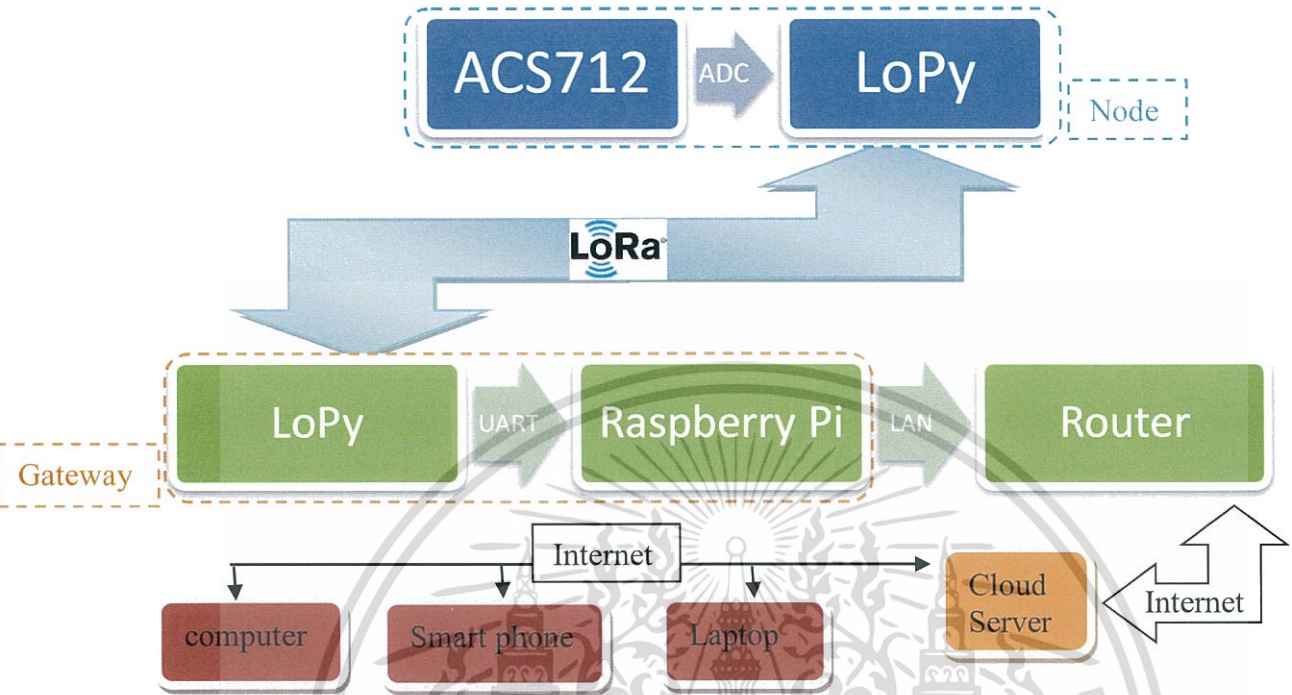
3.1.2 Software Specification

- Atom
- PuTTY (64-bit)
- Terminal
- Visual Studio Code
- Pymakr IDE Plugin

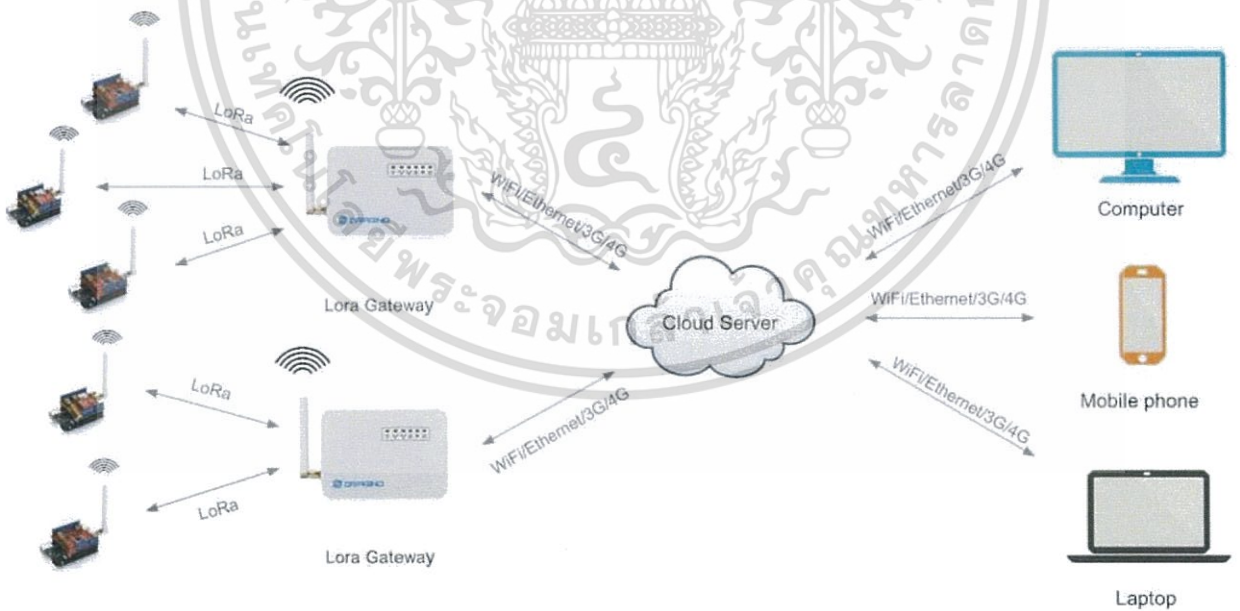
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการ

- เตรียมอุปกรณ์ทั้งฮาร์ดแวร์และการติดตั้งซอฟต์แวร์ต่าง ๆ
- วางแผนการออกแบบขั้นตอนกระบวนการดำเนินงานของโปรแกรม
- เชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์กับคอมพิวเตอร์เพื่อป้อนโปรแกรม
- ออกแบบและกั๊ดปรินต์ลายวงจรการเชื่อมต่อระหว่าง LoPy กับ Raspberry Pi
- นำอุปกรณ์ต่าง ๆ ใส่รวมกันในกล่องที่ติดตั้งเสาสัญญาณ LoRa

3.3 Block diagram



รูปที่ 3.1 Block diagram แสดงการทำงานของโครงการ



รูปที่ 3.2 รูปแบบการดำเนินงาน

(ที่มา : <https://www.robotshop.com/en/lg01-p-lora-gateway-915-mhz-north-america.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การอัปเดต Firmware

ดาวน์โหลดโปรแกรม firmware update tools จากทางเว็บของผู้ผลิต (www.pycom.io) แล้วทำตามขั้นตอนของโปรแกรม โดยเชื่อมต่อกับโปรแกรมทาง USB มีความจำเป็นที่จะต้องลง FTDI driver ก่อนใช้งาน และก่อนการอัปเดตนั้นจะต้องต่อสายไฟเชื่อมระหว่างขา G23 กับขา GND ก่อน

3.5 การลงโปรแกรม Atom และ Pymakr Plugin

ดาวน์โหลดโปรแกรม Atom จาก <https://atom.io> ทำตามขั้นตอนการติดตั้งจนเสร็จ เปิดโปรแกรมแล้วติดตั้ง Package Pymakr เพื่อใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์แบบ serial USB

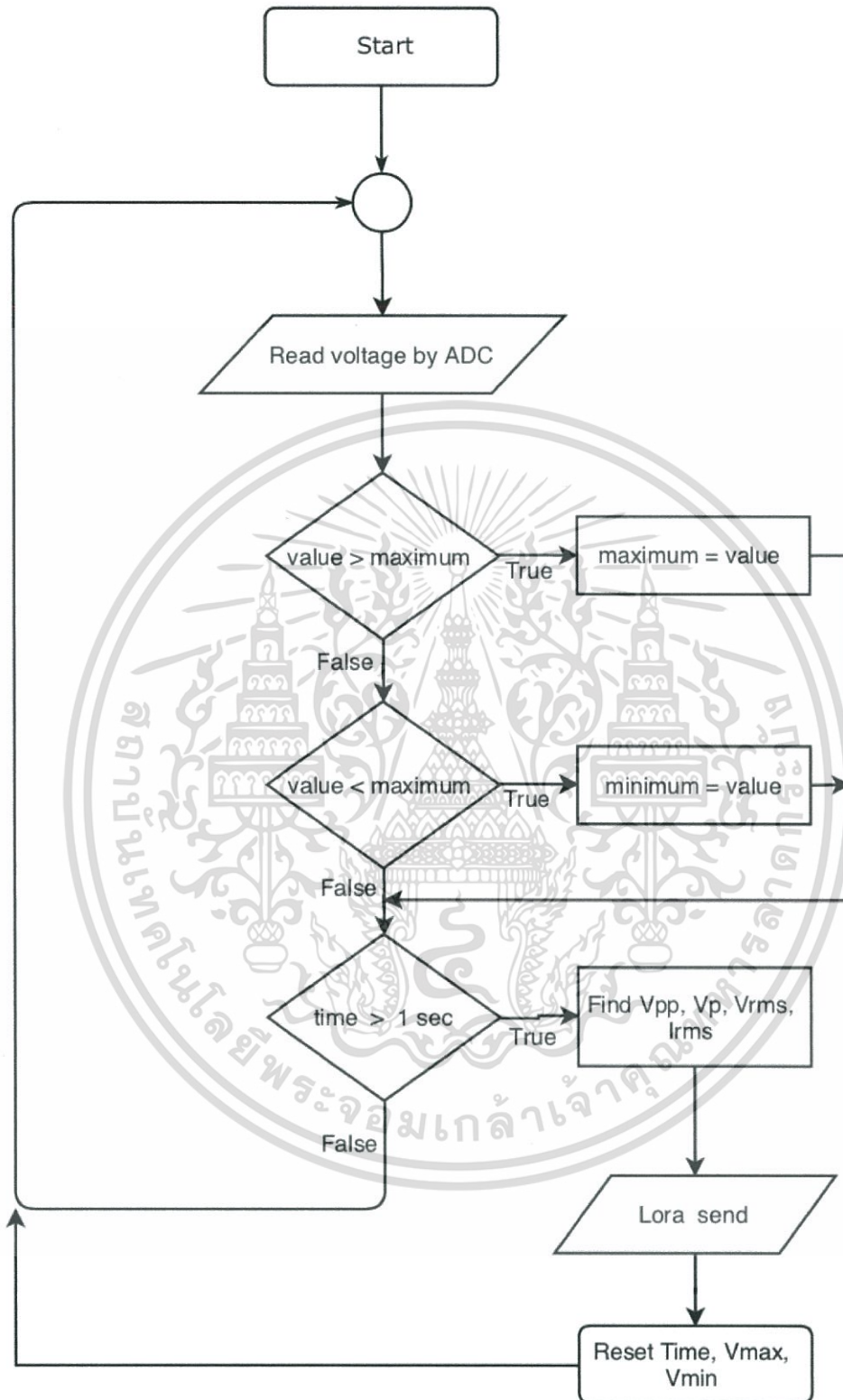
3.6 การเขียนโปรแกรม

3.6.1 การเขียนโปรแกรมที่ Node

รับค่าสัญญาณ DC จาก ACS712 โดยใช้ ADC ของ LoPy หา V_{pp} จากคลื่นรูปไซน์ จากนั้นคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้า และส่งข้อมูลผ่านทางสัญญาณ LoRa ไปสู่เกตเวย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

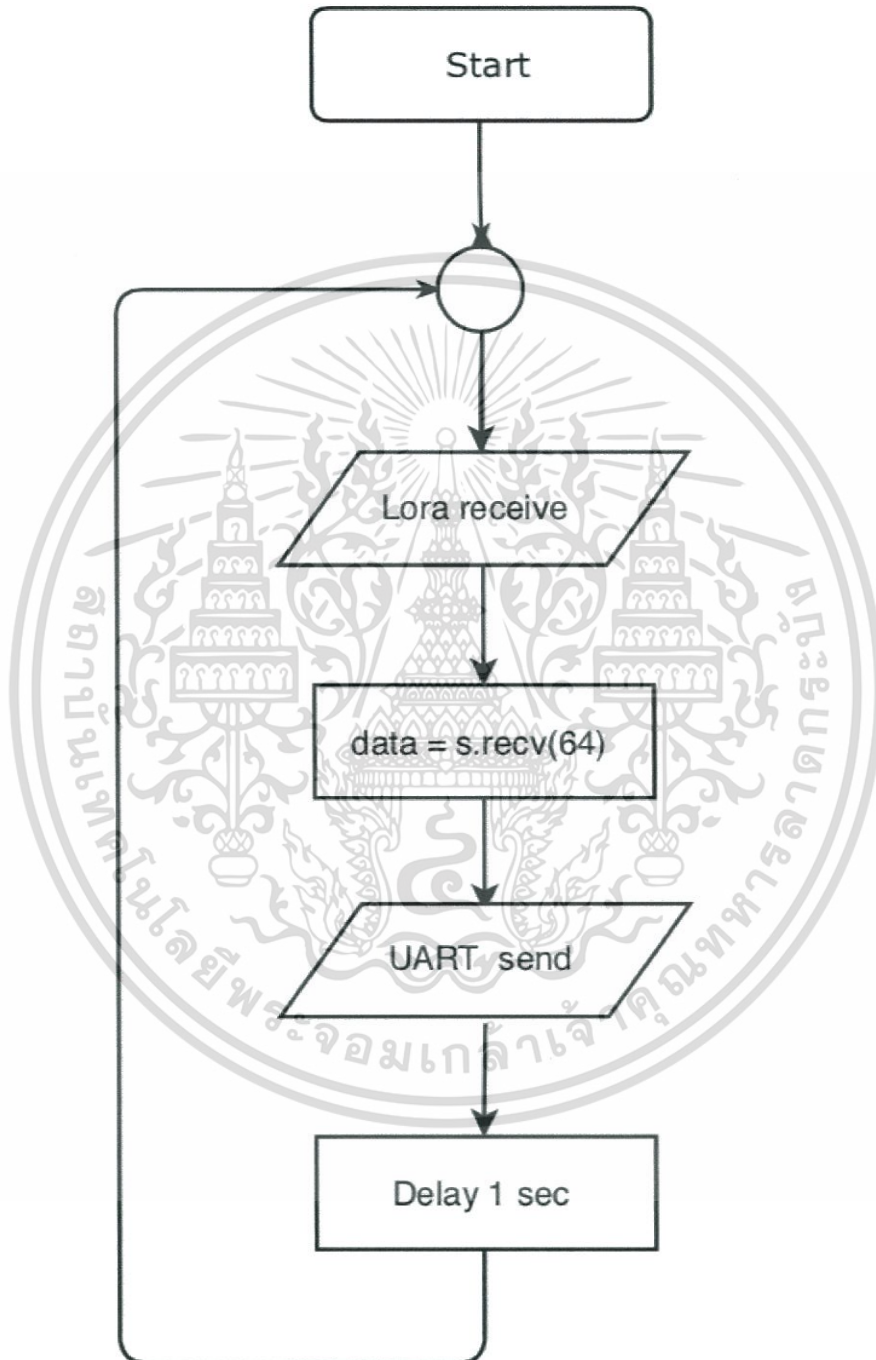


รูปที่ 3.3 Flowchart แสดงการทำงานของโค้ดที่ LoPy node

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

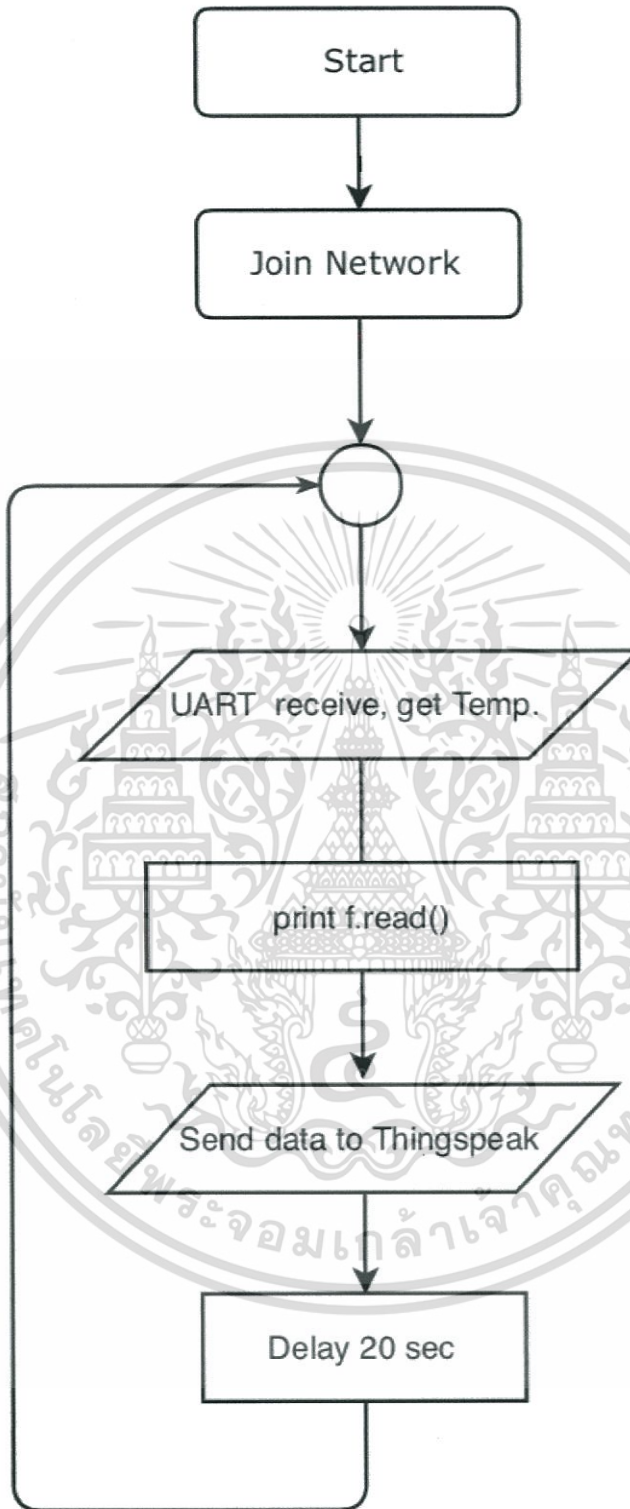
3.6.2 การเขียนโปรแกรมที่ Gateway

LoPy ที่เกตเวย์รับสัญญาณข้อมูล LoRa จาก Node จากนั้นส่งค่าที่ได้ผ่านทาง UART ไปที่ Raspberry Pi ให้ส่งค่าขึ้นคลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อรองรับการใช้งานผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน



รูปที่ 3.4 Flowchart แสดงการทำงานของโค้ด LoPy ในเกตเวย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



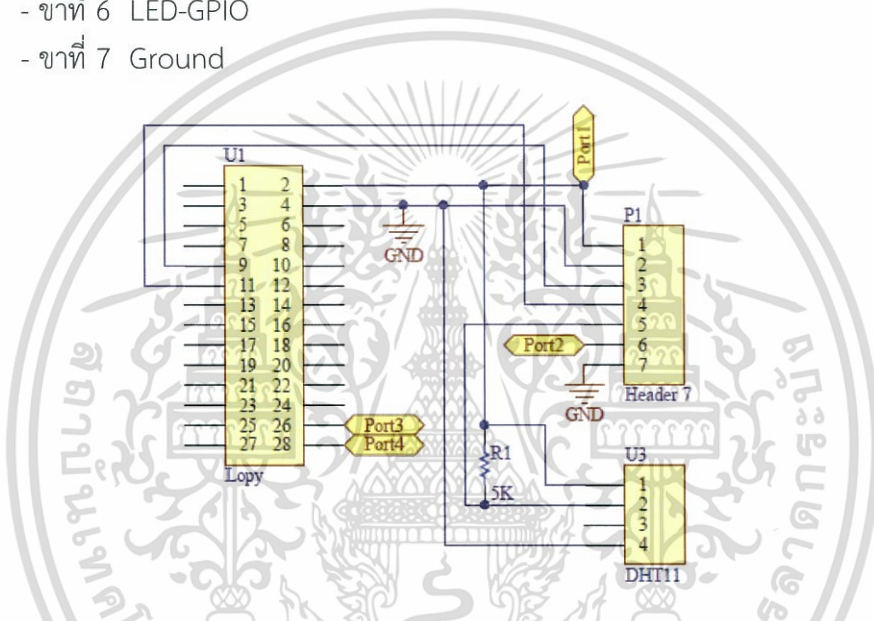
รูปที่ 3.5 Flowchart แสดงการทำงานของโค้ด Raspberry Pi ในเกตเวย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

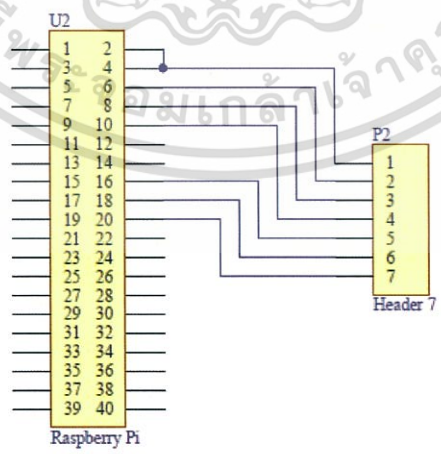
3.7 การออกแบบลายวงจร

ออกแบบลายวงจรในส่วนของการเชื่อมต่อระหว่าง LoPy กับ Raspberry Pi (LoPy to Raspberry Pi shield connection bridge) เพื่อประหยัดพื้นที่ภายในเกตเวย์และเพื่อเพิ่มเสถียรภาพในการเชื่อมต่อกันระหว่างบอร์ดโดยในรูปทั้งสองจะเป็นการเชื่อมต่อระหว่างสองบอร์ดด้วย header 7 ขา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ขาที่ 1 ไฟเลี้ยง
- ขาที่ 2 Ground
- ขาที่ 3 TX-RX
- ขาที่ 4 RX-TX
- ขาที่ 5 DHT11-GPIO
- ขาที่ 6 LED-GPIO
- ขาที่ 7 Ground

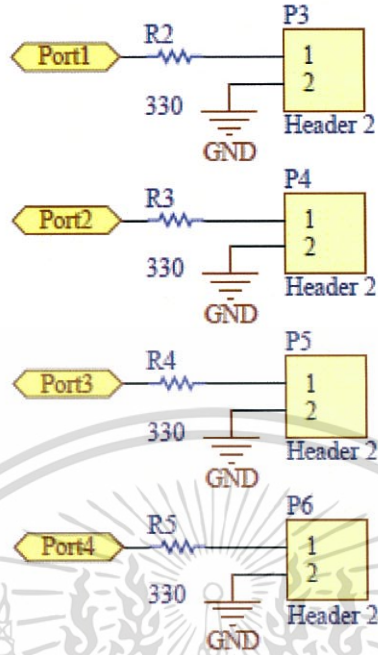


รูปที่ 3.6 schematic แสดงการเชื่อมต่อของ LoPy ,DHT11 และ UART

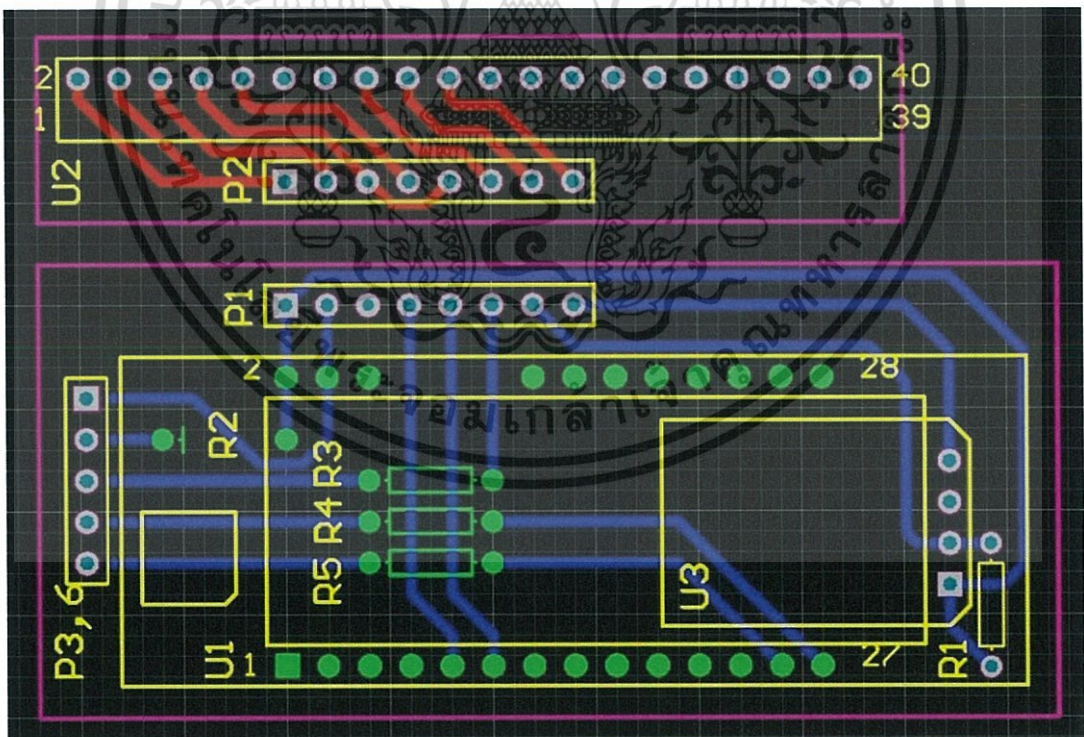


รูปที่ 3.7 schematic แสดงการเชื่อมต่อ Raspberry Pi กับ connector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

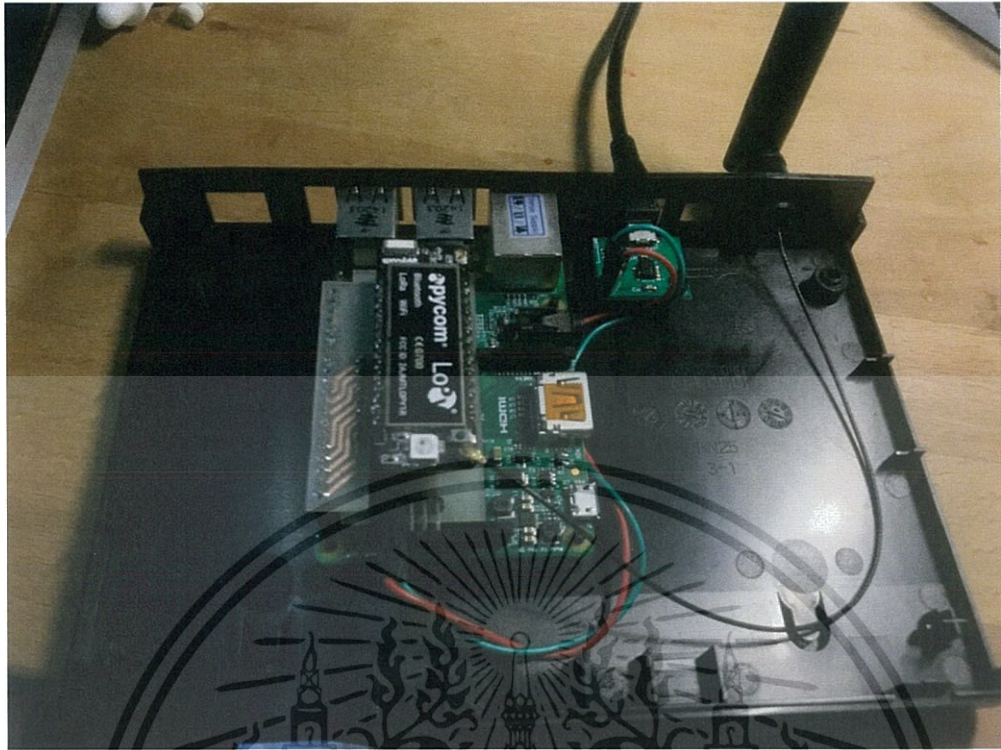


รูปที่ 3.8 schematic แสดงการเชื่อมต่อไฟ LED แสดงสถานะ

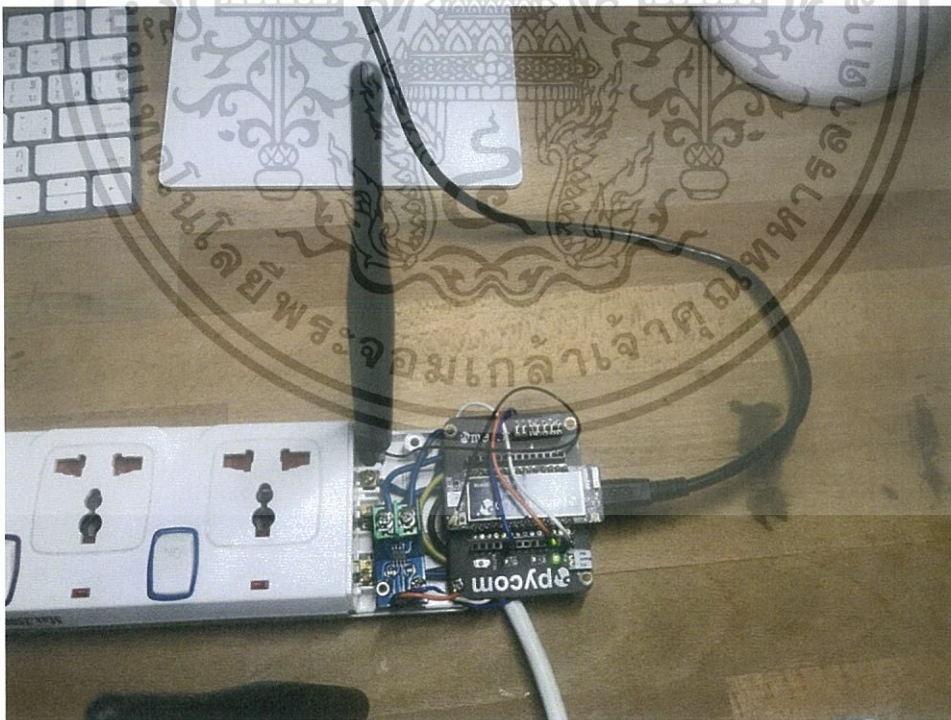


รูปที่ 3.9 การออกแบบ PCB ของ LoPy to Raspberry Pi shield

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 รูปแสดงองค์ประกอบภายในเคทเวย์



รูปที่ 3.11 รูปแสดงองค์ประกอบภายในของ node

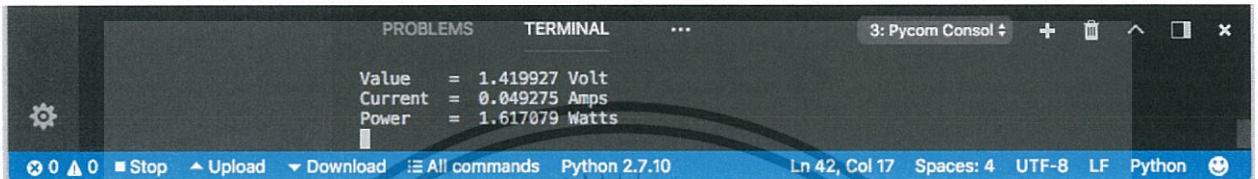
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 วัดค่าไฟฟ้ากระแสสลับด้วย ACS 712

การทดลองวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วย ACS712 เพื่อหาค่ากระแสไฟฟ้าสลับและนำค่าที่ได้มาเทียบกับค่าที่วัดได้จาก Clamp meter



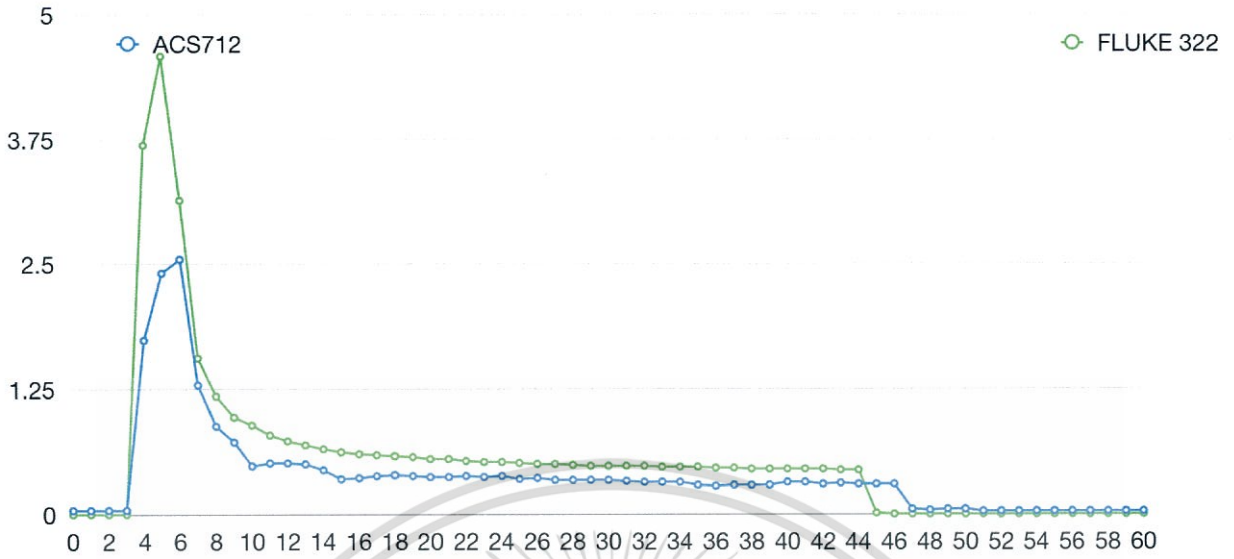
```
PROBLEMS TERMINAL ... 3: Pycom Consol + - ^ □ ×
Value = 1.419927 Volt
Current = 0.049275 Amps
Power = 1.617079 Watts
0 ▲ 0 ■ Stop ▲ Upload ▼ Download ≡ All commands Python 2.7.10 Ln 42, Col 17 Spaces: 4 UTF-8 LF Python ☺
```

รูปที่ 4.1 ค่าแรงดันที่ได้จากการวัด และค่ากระแสที่ได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนค่าที่วัดได้เทียบกับช่วงเวลาต่างๆ

Time (s)	ACS712 (A)	Clamp meter (A)	% ความคลาดเคลื่อน
0	0.04	0.00	-
10	0.48	0.89	46.07 %
20	0.37	0.55	32.73 %
30	0.34	0.48	29.17 %
40	0.32	0.45	28.89 %
50	0.05	0.00	-
60	0.03	0.00	-

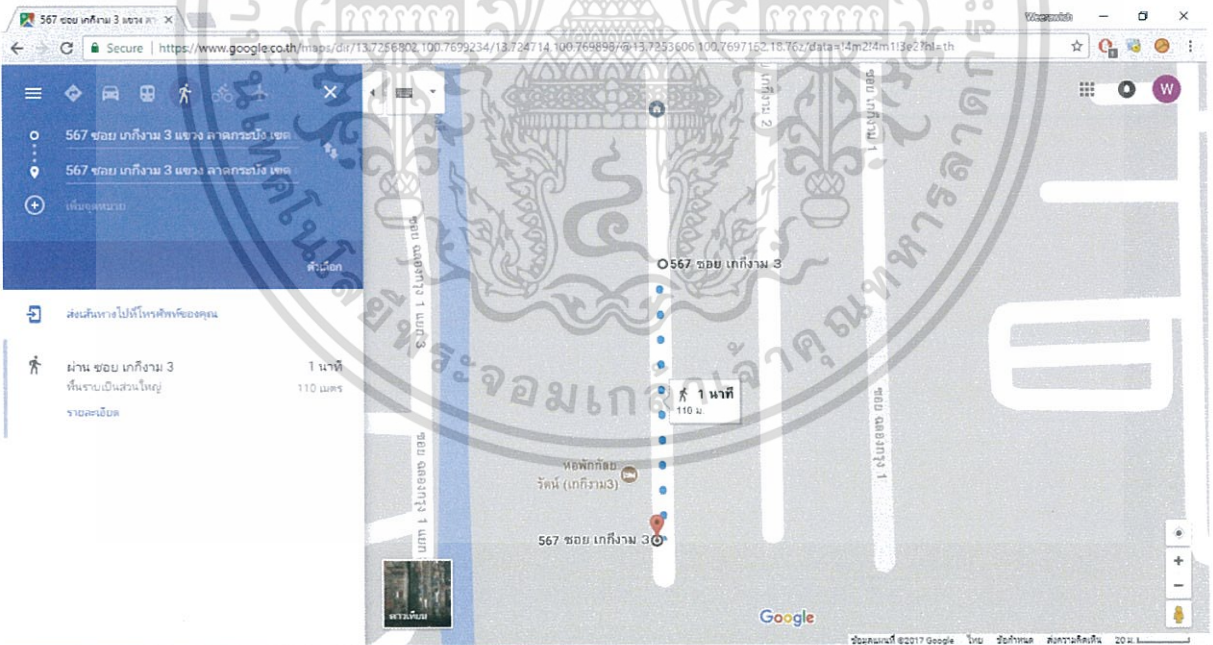
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จาก ACS712 กับ Clamp meter

ตอนที่ 2 ระยะทางการส่งข้อมูลระหว่าง node กับ gateway ผ่าน LoRa Protocol

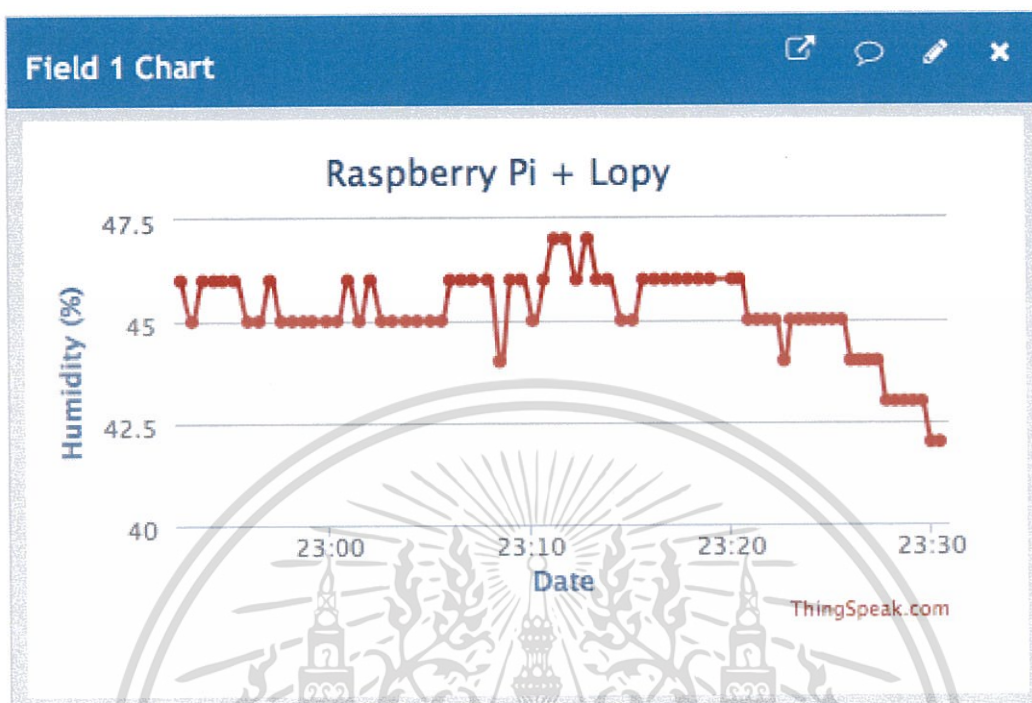
- ในบริเวณพื้นที่โล่งแจ้งระยะทางการส่งสัญญาณสามารถส่งได้ไกลในหน่วยกิโลเมตร
- ในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางจำนวนมากการส่งสัญญาณข้อมูลเริ่มขาดการเชื่อมต่อที่ระยะ 110 เมตร



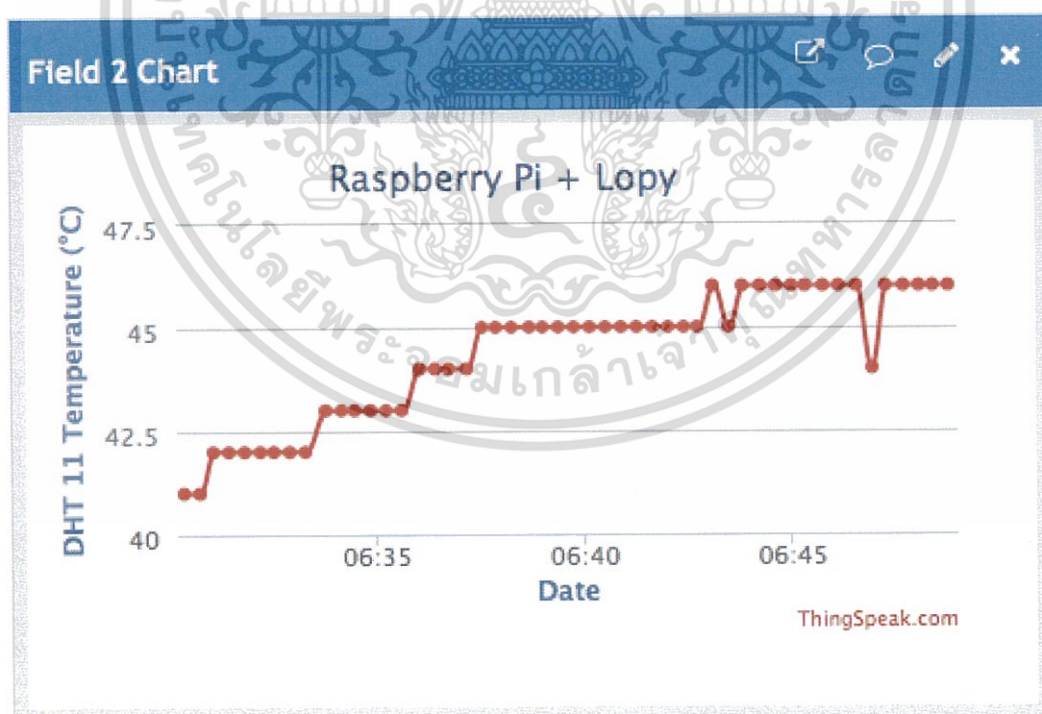
รูปที่ 4.3 ระยะทางที่ไกลที่สุดที่ส่งสัญญาณข้อมูลได้โดยมีสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 การแสดงผลข้อมูลที่อัปโหลดขึ้นคลาวด์เซิร์ฟเวอร์

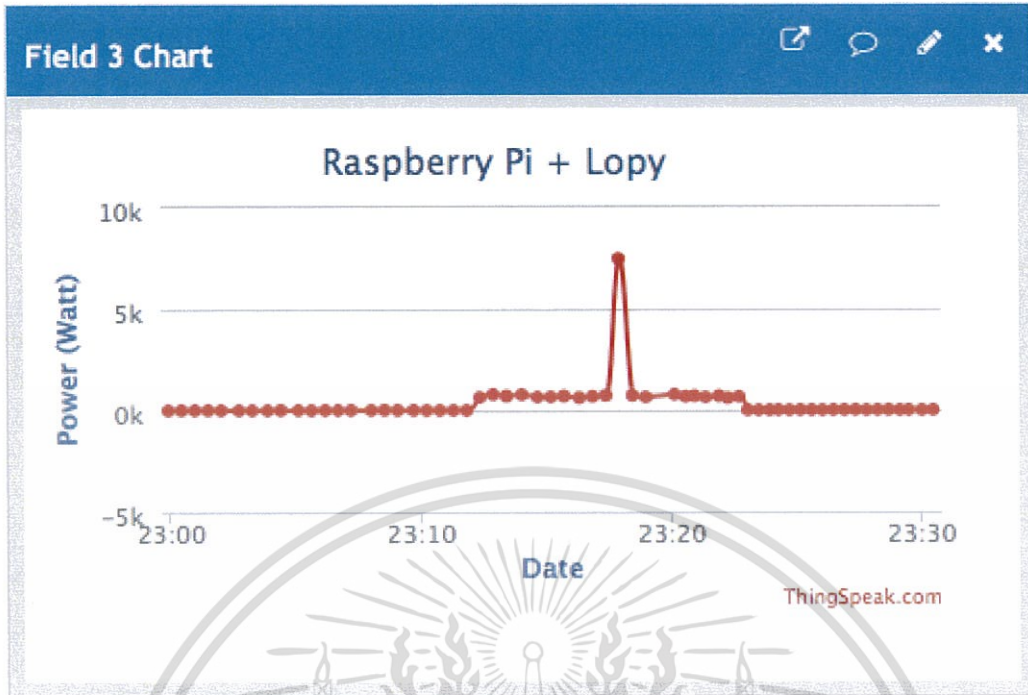


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

ตอนที่ 1 ค่ากระแสที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ ACS712 เทียบกับค่ากระแสที่วัดได้จากแคลมป์มิเตอร์ Fluke 322 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเป็น 46.07% 32.73% 29.17% และ 28.89% จะเห็นได้ว่า ค่าจากแคลมป์มิเตอร์อ่านค่าได้ไวกว่า ACS712

ตอนที่ 2 การส่งสัญญาณแบบ LoRa ในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางทำระยะได้ดีที่ระยะ 110 เมตรและในบริเวณพื้นที่โล่งแจ้งระยะทางการส่งสัญญาณสามารถส่งได้ไกลในหน่วยกิโลเมตร

ตอนที่ 3 จากกราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา มีการเปลี่ยนแปลงสูงในแต่ละช่วงเวลา ส่วนกราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานทางไฟฟ้ากับเวลาอาจมีการคำนวณได้ไม่แม่นยำมากเท่าที่ควรเนื่องจากข้อจำกัดของ cloud server (Thingspeak)

วิจารณ์ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 ค่ากระแสที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ ACS712 เทียบกับค่ากระแสที่วัดได้จากแคลมป์มิเตอร์ Fluke 322 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนมากเนื่องจากคุณสมบัติ Hall effect ที่ทำให้เซ็นเซอร์แต่ละตัวมีค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันไป ซึ่งยากต่อการปรับสูตรการคำนวณหา I_{rms} ให้เป็นสูตรเฉพาะของเซ็นเซอร์แต่ละตัว

ตอนที่ 2 การส่งสัญญาณแบบ LoRa ในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางทำระยะได้ดีกว่าการส่งสัญญาณแบบ Wi-Fi เนื่องจากการส่งสัญญาณแบบ LoRa ใช้น้ำหนักความถี่ไม่สูงมาก จึงมีความทนต่อสิ่งกีดขวางได้มาก

ตอนที่ 3 จากกราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลา และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา เนื่องจากเซ็นเซอร์มีความละเอียดต่ำ จึงทำให้กราฟมีการเปลี่ยนแปลงสูงในแต่ละช่วงเวลา ส่วนกราฟแสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานทางไฟฟ้ากับเวลาอาจมีการคำนวณได้ไม่แม่นยำมากเท่าที่ควรเนื่องจากข้อจำกัดของ cloud server (Thingspeak) ซึ่งสามารถส่งจำนวนข้อมูลมากที่สุดต่อวันได้เพียง 8,200 ข้อความต่อวัน หรือใช้เวลาน้อยที่สุดในการส่งข้อมูลได้แต่ละครั้งประมาณ 10 วินาทีต่อข้อความ

เอกสารอ้างอิง

- [1] <https://inex.co.th/shop/lopy.html>
- [2] <https://inex.co.th/shop/wipy-expansion-2.html>
- [3] <https://software.thaiware.com/13413-Atom-Download.html>
- [4] <https://atom.io/packages/pymakr>
- [5] <http://www.flyingmorning.com/th/articles/99980-ทำความเข้าใจกับ-lora>
- [6] <https://medium.com/deaware/lora-lorawan-คืออะไร-มารู้จักกันดีกว่า-98d20055a4ca>
- [7] <http://henrysbench.capnfatz.com/henrys-bench/arduino-current-measurements/acs712-arduino-ac-current-tutorial/>
- [8] <http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/uart-ttl-rs232-max232-max3232.html>
- [9] <https://www.arduitronics.com/article/13/การใช้งาน-dht11-humitdity-and-temperature-sensor-กับบอร์ด-arduino>
- [10] <https://docs.pycom.io/chapter/tutorials/>
- [11] <https://medium.com/@kevalpatel2106/monitor-the-core-temperature-of-your-raspberry-pi-3ddfdf82989f>
- [12] <https://www.hackster.io/adamgarbo/raspberry-pi-2-iot-thingspeak-dht22-sensor-b208f4>
- [13] <http://www.hobbytronics.co.uk/raspberry-pi-serial-port>
- [14] http://thingspeak.com/channels/471621/private_show
- [15] <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?t=201311>
- [16] <https://www.raspberrypi.org/documentation/remote-access/ssh/unix.md>
- [17] <https://www.sparkfun.com/datasheets/BreakoutBoards/0712.pdf>
- [18] <http://mymbed.blogspot.com/2015/06/acs712.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Node : LoPy - ADC

```
Welcome x main.py x
1  from machine import ADC
2  from machine import Timer
3  from machine import UART
4  from network import LoRa
5  import socket
6  import machine
7  import pycom, time
8  import time
9  import math
10
11  pycom.heartbeat(False) # turn off heartbeat
12  lora = LoRa(mode=LoRa.LORA)
13  s = socket.socket(socket.AF_LORA, socket.SOCK_RAW)
14  print('3.16 AM')
15  chrono = Timer.Chrono()
16  adc = ADC(0)
17  adc_c = adc.channel(pin='P16', attn=3) #G3
18  lastSample = 0
19  sampleSum = 0
20  sampleCount = 0
21  vpc = 1.2207
22  mean = 0
23  mvpa = 185
24  kwh = 0
25  divider = 1.515
26  while True:
27      chrono.start()
28      lap = chrono.read()
29      raw = adc_c.value()-2048
30
31      if raw < 20 & raw > -20:
32          raw = 0
33
34      if lap > lastSample + 0.0001: # 100us
35          sampleSum += raw*raw
36          sampleCount = sampleCount + 1
37          lastSample = lap
38
39      if sampleCount == 6000: # 1 sec
40          mean = sampleSum/sampleCount
41          value = math.sqrt(mean)
42          mv = value*vpc*divider
43          arms = mv/mvpa
44          power = arms*220
45          kwh += power/3600/1000
46          print("RMS AMPERAGE = %f A" % arms)
47          print("POWER = %f W" % power)
48          print("kilowatt hour = %f kWh" % kwh)
49          lap = 0
50          sampleSum = 0
51          sampleCount = 0
52          pycom.rgbled(0x00FF00)
53          s.setblocking(True)
54          s.send(str(kwh))
55          #time.sleep(0.005)
56          pycom.rgbled(0x000000)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gateway : LoPy - UART

```
main.py — project
Welcome main.py x
1  from network import LoRa
2  from machine import Timer
3  from machine import UART
4  import pycom, time
5  import socket
6  import time
7  import machine
8
9  lora = LoRa(mode=LoRa.LORA)
10 # create a raw LoRa socket
11 s = socket.socket(socket.AF_LORA, socket.SOCK_RAW)
12 pycom.heartbeat(False) # turn off heartbeat
13 uart1 = UART(1, 115200, bits=8, parity=None, stop=1)
14 uart1.init(baudrate=115200, bits=8, parity=None, stop=1)
15 print('test')
16 uart1.write("UART Connected..")
17 delim = "\x00"
18 pycom.rgbled(0x7f0000) # red
19 time.sleep(0.1)
20 pycom.rgbled(0x7f0000) # red
21 time.sleep(0.1)
22 pycom.rgbled(0x000000) # off
23 while True:
24     # get any data received...
25     time.sleep(machine.rng() & 0x0F)
26     s.setblocking(False)
27     data = s.recv(10)
28     received = data.decode('UTF-8')
29     print("recived = " + received)
30     uart1.write(str(received)+delim)
31     pycom.rgbled(0x0000FF) # green
32     time.sleep(0.01)
33     pycom.rgbled(0x000000) # off
34
35
36
37
38
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gateway : Raspberry Pi - Thingspeak

```
sawapaksawapak — pi@raspberrypi: ~/ThingSpeak — ssh pi@10.0.1.12 — 127x47
-- pi@raspberrypi: ~/UART — ssh pi@10.0.1.12 ... ~ — pi@raspberrypi: ~/ThingSpeak — ssh pi@10.0.1.12
GNU nano 2.2.6 File: thingspeak.py

import os
import serial
import sys
import RPi.GPIO as GPIO
from time import sleep
import Adafruit_DHT
import urllib2
ser = serial.Serial('/dev/ttyAMA0')
ser.baudrate = 115200
ser.stopbits = serial.STOPBITS_ONE
ser.bytesize = serial.EIGHTBITS
ser.parity = serial.PARITY_ODD
ser.parity = serial.PARITY_NONE
ser.timeout = 1
delim = "\x00"
myAPI = "YY1ATM.9154NM0J5"

def getSensorData():
    RH, T = Adafruit_DHT.read_retry(Adafruit_DHT.DHT11, 24)
    return (str(RH), str(T))
def main():
    print 'starting...'
    baseURL = 'https://api.thingspeak.com/update?api_key=%s' % myAPI
    while True:
        try:
            recvd = "".join(iter(lambda:ser.read(1),delim))
            P = recvd
            RH, T = getSensorData()
            f = urllib2.urlopen(baseURL +
                "&field1=%s&field2=%s&field3=%s" % (RH, T, str(P)))
            print(recvd)
            print f.read()
            f.close()
            sleep(300) #uploads DHT22 sensor values every 5 minutes
        except:
            print 'exiting.'
            break
# call main
if __name__ == '__main__':
    main()

AG Get Help      AD WriteOut     AR Read File    AY Prev Page    AK Cut Text     AC Cur Pos
AX Exit         AJ Justify      AW Where Is     AV Next Page    AU UnCut Text   AT To Spell
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LoPy 1.0

With LoRa, Wifi and BLE, the LoPy is the only triple bearer MicroPython enabled micro controller on the market today – the perfect enterprise grade IoT platform for your connected Things. With the latest Espressif chipset the LoPy offers a perfect combination of power, friendliness and flexibility. Create and connect your things everywhere. Fast.

LoPy Features

- Powerful CPU, BLE and state of the art WiFi radio. 1KM Wifi Range
- Can also double up as a Nano LoRa gateway
- MicroPython enabled, the Linux IoT for fast deployment
- Fits in a standard breadboard (with headers)
- Ultra-low power usage: a fraction compared to other connected micro controllers

Processing

- Espressif ESP32 chipset
- Dual processor + WiFi radio System on Chip.
- Network processor handles the WiFi connectivity and the IPv6 stack.
- Main processor is entirely free to run the user application.
- An extra ULP-coprocessor that can monitor GPIOs, the ADC channels and control most of the internal peripherals during deep-sleep mode while only consuming 25uA.

Operating Frequencies

- 868 MHz (Europe) at +14dBm maximum
- 915 MHz (North and South America, Australia and New Zealand) at +20dBm maximum

Range Specification

- Node range: Up to 40km
- Nano-Gateway: Up to 22km
- Nano-Gateway Capacity: Up to 100 nodes

Use the Pymakr IDE

Super easy code editor to write your Python scripts

Quick Verification

For easy and fast debugging use the interactive shell that is accessible through telnet or one of the serial ports

Easy Upload

Upload your scripts, and any other files you want to the LoPy via the FTP server

Locally or remotely

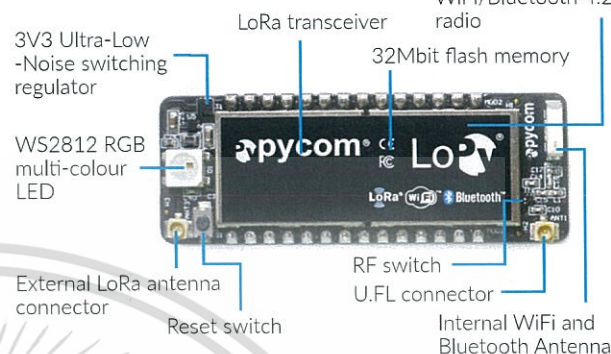
Reset the LoPy (you can do it locally, or remotely via Telnet)

Mechanical

Size: 55mm x 20mm x 3.5mm

Operating temperature:
-40 to 85 degrees celsius

ESP32 Dual Core
Microcontroller and
WiFi/Bluetooth 4.2
radio



Interfaces

- 2 x UART, 2 x SPI, I2C, I2S, micro SD card
- Analog channels: 8x12 bit ADCs
- Timers: 4x16 bit with PWM and input capture
- DMA on all peripherals
- GPIO: Up to 24

Security & Certifications

- SSL/TLS support
- WPA Enterprise security
- FCC - 2AJMTWIPY2R
- CE 0700

Memory

- RAM: 512KB
- External flash 4MB
- Hardware floating point acceleration.
- Python multi-threading.

Power

- Input: 3.3V - 5.5V
- 3v3 output capable of sourcing up to 400mA
- Wi-Fi: 12mA in active mode, 5uA in standby
- Lora: 15mA in active mode, 10uA in standby

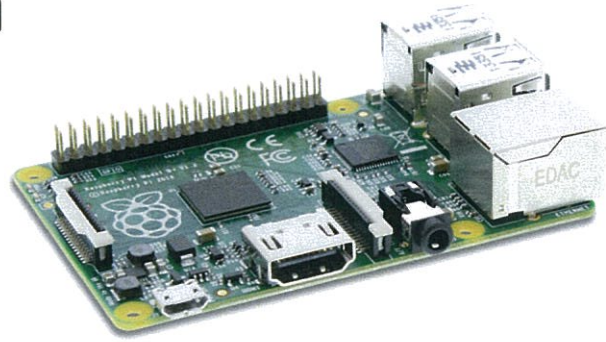
LoRa Specification

- Semtech LoRa transceiver SX1272
- LoRaWAN stack
- Class A and C devices

With dozens of ready to use templates and libraries soon to be available on the Pycom Exchange, developing a new IoT solution is now easier and faster.



Raspberry Pi



MODEL B+

Product Name Raspberry Pi Model B+

Product Description The Raspberry Pi Model B+ incorporates a number of enhancements and new features. Improved power consumption, increased connectivity and greater IO are among the improvements to this powerful, small and lightweight ARM based computer.

Specifications

Chip	Broadcom BCM2835 SoC
Core architecture	ARM11
CPU	700 MHz Low Power ARM1176JZFS Applications Processor
GPU	Dual Core VideoCore IV® Multimedia Co-Processor Provides Open GL ES 2.0, hardware-accelerated OpenVG, and 1080p30 H.264 high-profile decode Capable of 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s or 24GFLOPs with texture filtering and DMA infrastructure
Memory	512MB SDRAM
Operating System	Boots from Micro SD card, running a version of the Linux operating system
Dimensions	85 x 56 x 17mm
Power	Micro USB socket 5V, 2A

Connectors:

Ethernet	10/100 BaseT Ethernet socket
Video Output	HDMI (rev 1.3 & 1.4) Composite RCA (PAL and NTSC)
Audio Output	3.5mm jack, HDMI
USB	4 x USB 2.0 Connector
GPIO Connector	40-pin 2.54 mm (100 mil) expansion header: 2x20 strip Providing 27 GPIO pins as well as +3.3 V, +5 V and GND supply lines
Camera Connector	15-pin MIPI Camera Serial Interface (CSI-2)
JTAG	Not populated
Display Connector	Display Serial Interface (DSI) 15 way flat flex cable connector with two data lanes and a clock lane
Memory Card Slot	SDIO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ 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 μ 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 Ω internal conductor resistance
- 2.1 kV_{RMS} 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



Package: 8 Lead SOIC (suffix LC)



Approximate Scale 1:1



Description

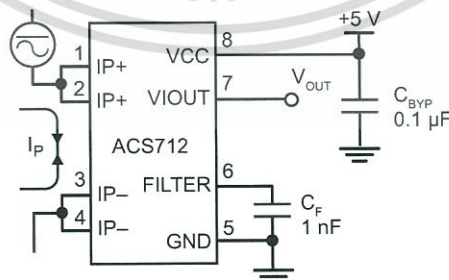
The Allegro® ACS712 provides economical and precise solutions for AC or DC current sensing in industrial, commercial, and communications systems. The device package allows for easy implementation by the customer. Typical applications include motor control, load detection and management, switched-mode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

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 _A (°C)	Optimized Range, I _p (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

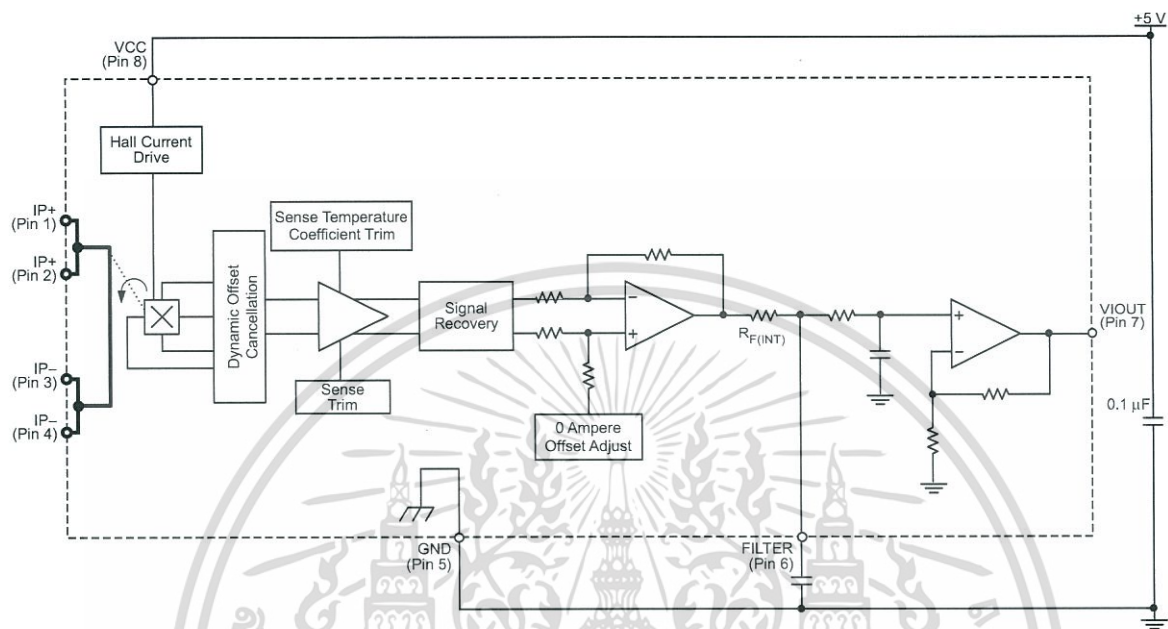
*Contact Allegro for additional packing options.

Absolute Maximum Ratings

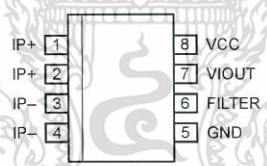
Characteristic	Symbol	Notes	Rating	Units
Supply Voltage	V _{CC}		8	V
Reverse Supply Voltage	V _{RCC}		-0.1	V
Output Voltage	V _{IOUT}		8	V
Reverse Output Voltage	V _{RIOUT}		-0.1	V
Reinforced Isolation Voltage	V _{ISO}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	2100	V
		Voltage applied to leadframe (I _p + pins), based on IEC 60950	184	V _{peak}
Basic Isolation Voltage	V _{ISO(bsc)}	Pins 1-4 and 5-8; 60 Hz, 1 minute, T _A =25°C	1500	V
		Voltage applied to leadframe (I _p + pins), based on IEC 60950	354	V _{peak}
Output Current Source	I _{IOUT(SOURCE)}		3	mA
Output Current Sink	I _{IOUT(SINK)}		10	mA
Overcurrent Transient Tolerance	I _p	1 pulse, 100 ms	100	A
Nominal Operating Ambient Temperature	T _A	Range E	-40 to 85	°C
Maximum Junction Temperature	T _{J(max)}		165	°C
Storage Temperature	T _{stg}		-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

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	VIOOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

COMMON OPERATING CHARACTERISTICS¹ 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
ELECTRICAL CHARACTERISTICS						
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}	VIOOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	R_{LOAD}	VIOOUT to GND	4.7	–	–	k Ω
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m Ω
Rise Time	t_r	$I_P = I_P(\text{max})$, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_{OUT} = \text{open}$	–	5	–	μs
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	$V_{I(OUT(Q))}$	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	–	μs
Magnetic Coupling ²			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance ³	$R_{F(INT)}$			1.7		k Ω

¹Device 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.

²1G = 0.1 mT.

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

COMMON THERMAL CHARACTERISTICS¹

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	T_A	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance ²	$R_{\theta JL}$	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	$^\circ\text{C/W}$

¹Additional thermal information is available on the Allegro website.

²The Allegro evaluation board has 1500 mm² 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.

x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, 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°C	-	-0.26	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.054	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.008	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 5\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device 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.

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

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, 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°C	-	-0.34	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.07	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.017	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 20\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

¹Device 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.

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

x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS $T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C ¹, $C_F = 1\text{ nF}$, 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°C	-	-0.35	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	ΔSens	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 25°C	-	0.007	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	-	-0.002	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error ²	E_{TOT}	$I_P = \pm 30\text{ A}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	± 1.5	-	%

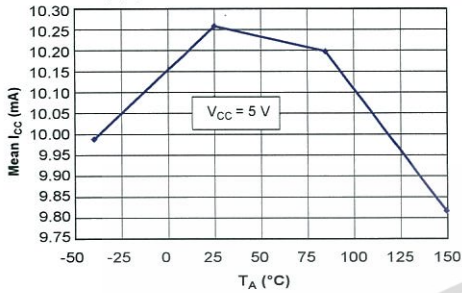
¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P , and ambient temperatures, T_A , provided that the Maximum Junction Temperature, $T_{J(\text{max})}$, is not exceeded.

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

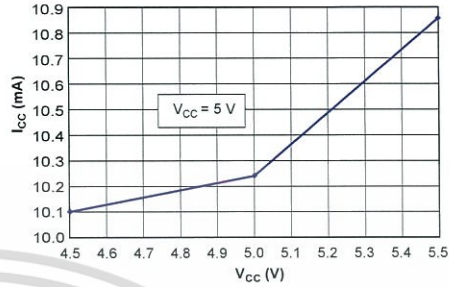
Characteristic Performance

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

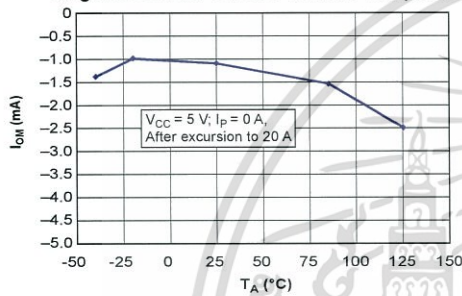
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



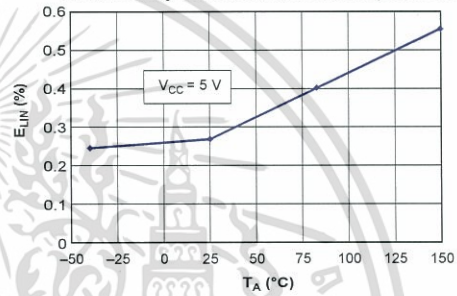
Supply Current versus Supply Voltage



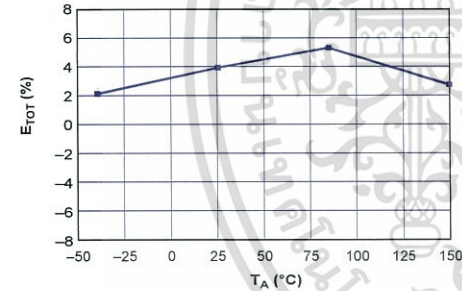
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



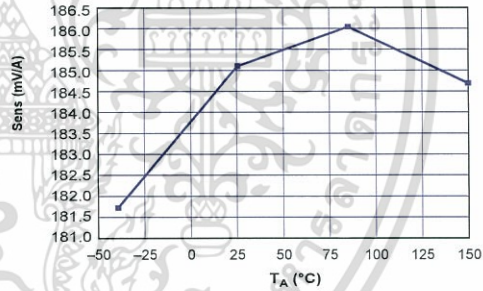
Nonlinearity versus Ambient Temperature



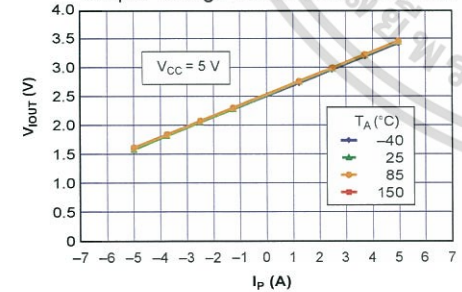
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



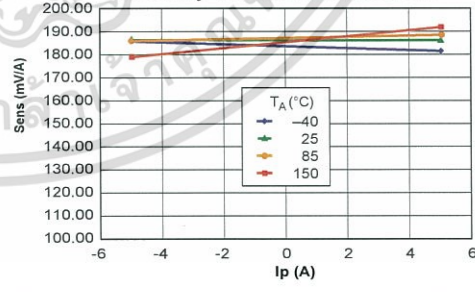
Sensitivity versus Ambient Temperature



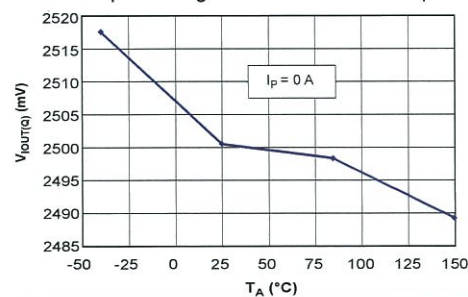
Output Voltage versus Sensed Current



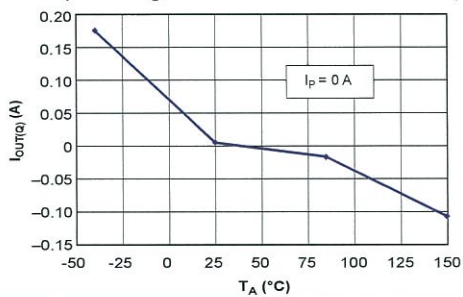
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



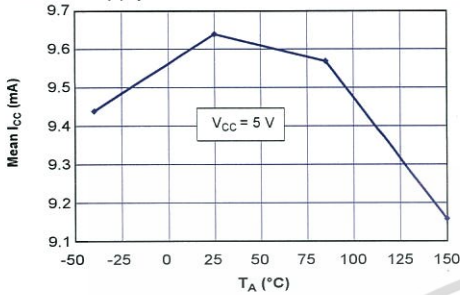
0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



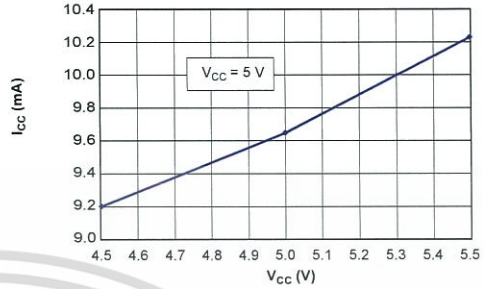
Characteristic Performance

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

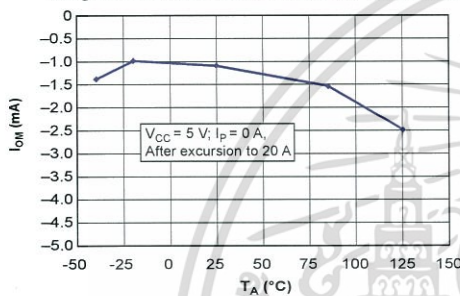
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



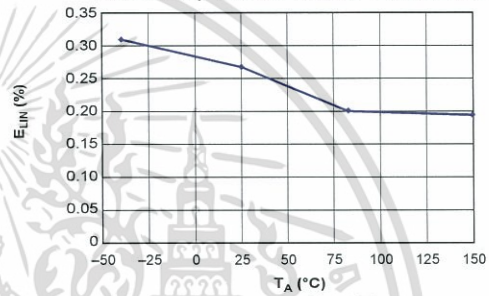
Supply Current versus Supply Voltage



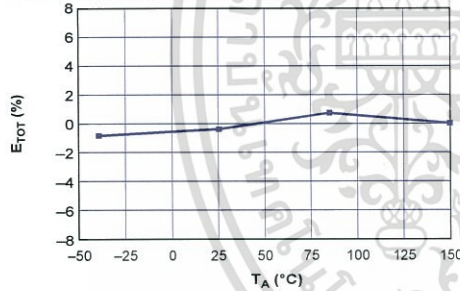
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



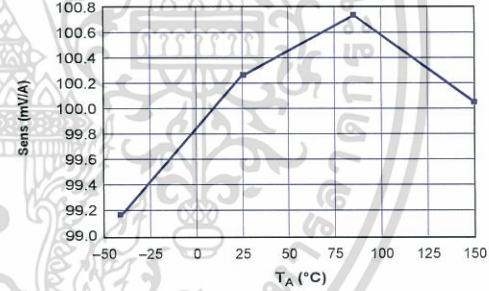
Nonlinearity versus Ambient Temperature



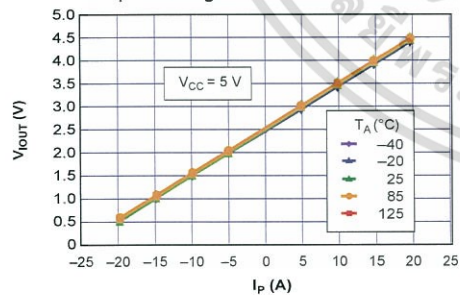
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



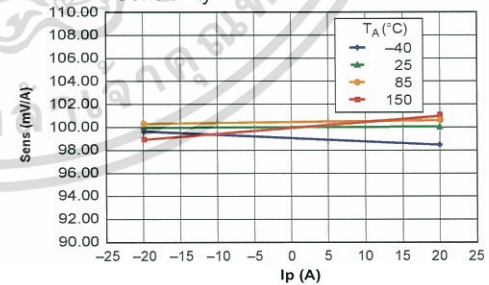
Sensitivity versus Ambient Temperature



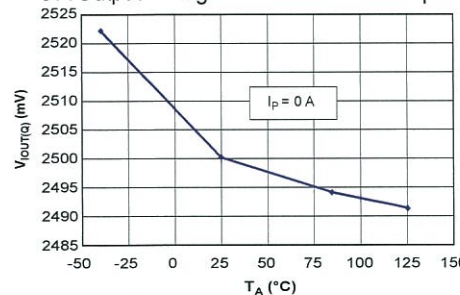
Output Voltage versus Sensed Current



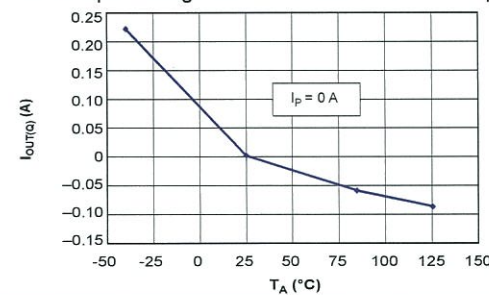
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



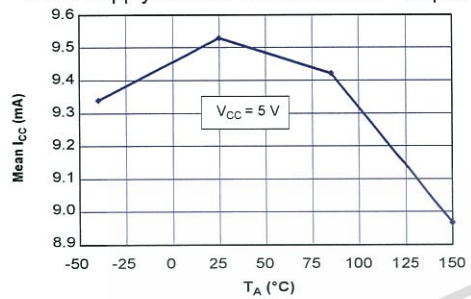
0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



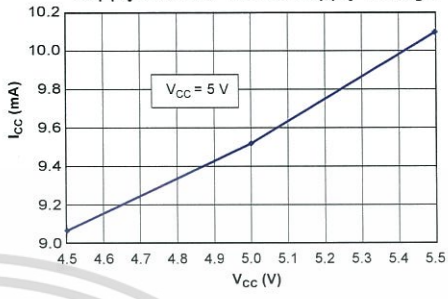
Characteristic Performance

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

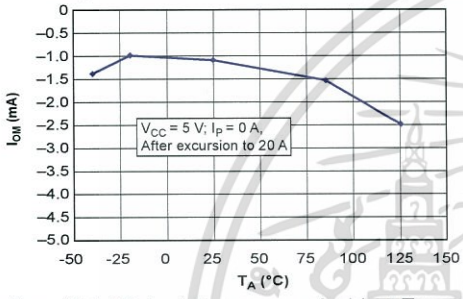
Mean Supply Current versus Ambient Temperature



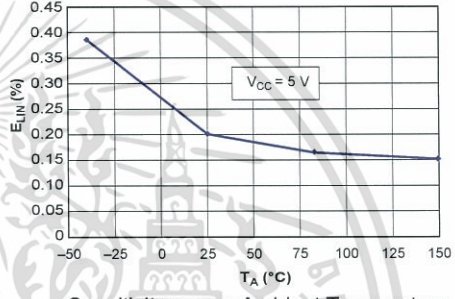
Supply Current versus Supply Voltage



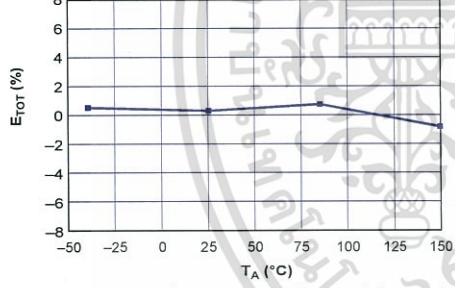
Magnetic Offset versus Ambient Temperature



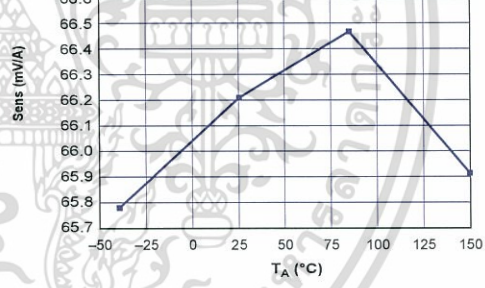
Nonlinearity versus Ambient Temperature



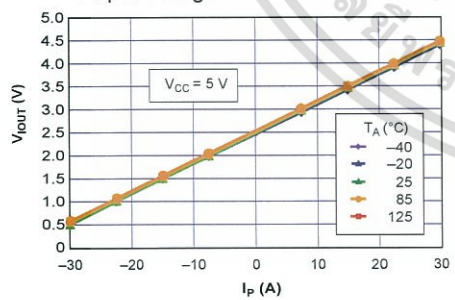
Mean Total Output Error versus Ambient Temperature



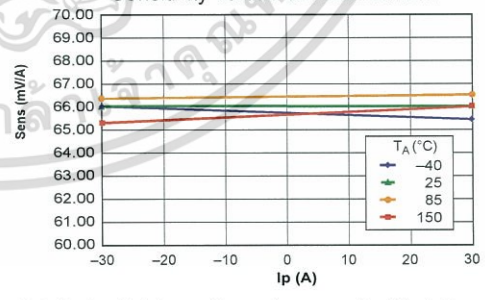
Sensitivity versus Ambient Temperature



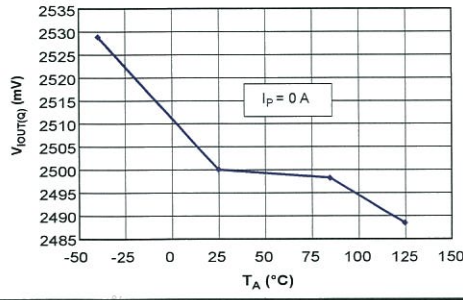
Output Voltage versus Sensed Current



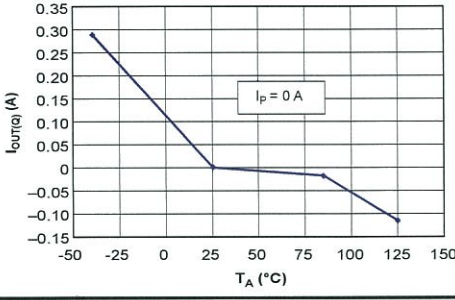
Sensitivity versus Sensed Current



0 A Output Voltage versus Ambient Temperature



0 A Output Voltage Current versus Ambient Temperature



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 (≈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:

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

where $V_{\text{IOUT_full-scale amperes}}$ = 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:

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

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, $V_{CC} = 5 \text{ V}$ translates into $V_{\text{IOUT(Q)}} = 2.5 \text{ V}$. Variation in $V_{\text{IOUT(Q)}}$ 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 Δ 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 Δ temperature.** Accuracy of sensing full-scale current flow including temperature effects.

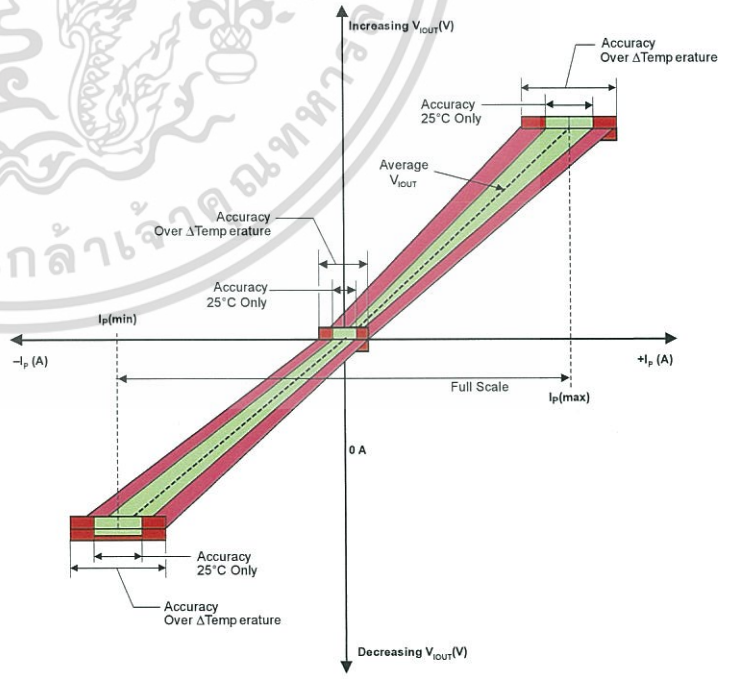
Ratiometry. The ratiometric feature means that its 0 A output, $V_{\text{IOUT(Q)}}$, (nominally equal to $V_{CC}/2$) and sensitivity, Sens, are proportional to its supply voltage, V_{CC} . The following formula is used to derive the ratiometric change in 0 A output voltage, $\Delta V_{\text{IOUT(Q)RAT}}$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

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

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

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

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

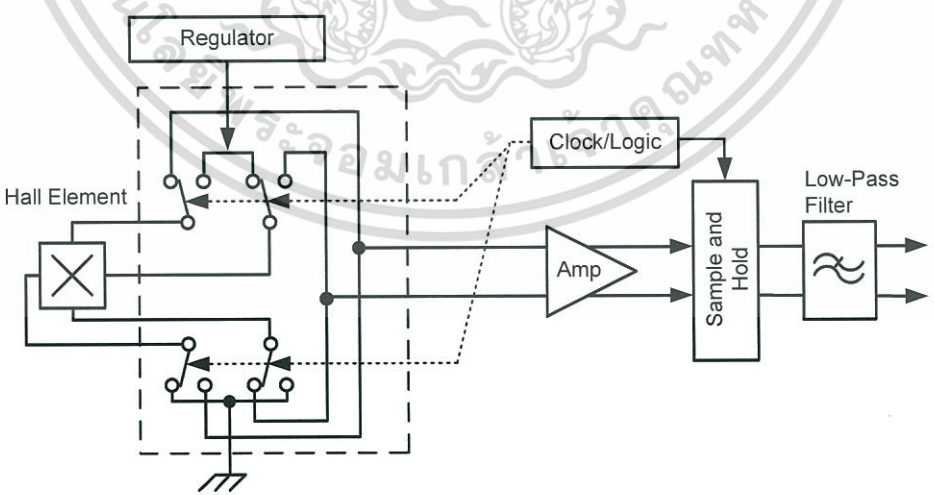


Chopper Stabilization Technique

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.

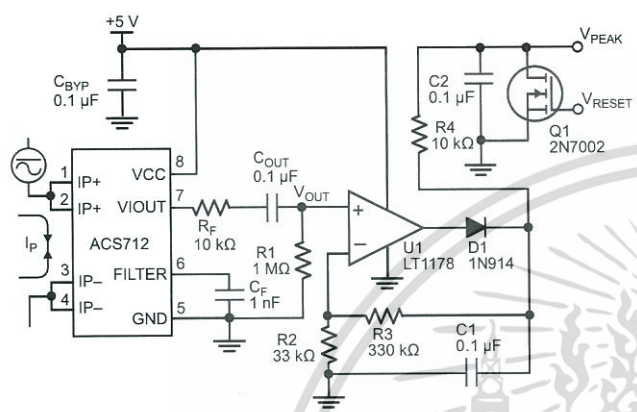
As a result of this chopper stabilization approach, the output voltage from the Hall IC is desensitized to the effects of temperature and mechanical stress. This technique produces devices that have an extremely stable Electrical Offset Voltage, are immune to thermal stress, and have precise recoverability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

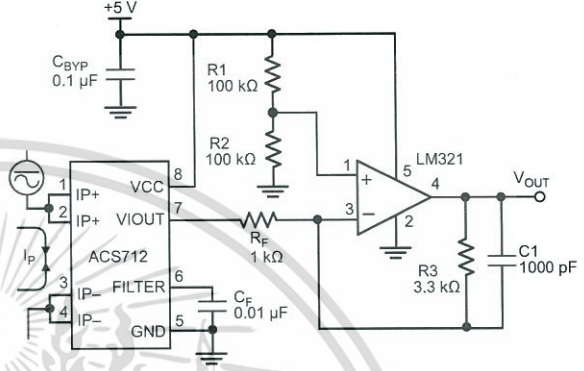


Concept of Chopper Stabilization Technique

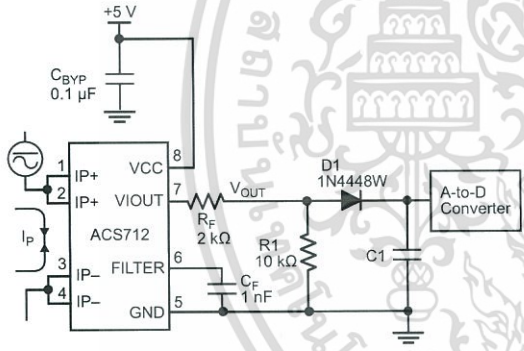
Typical Applications



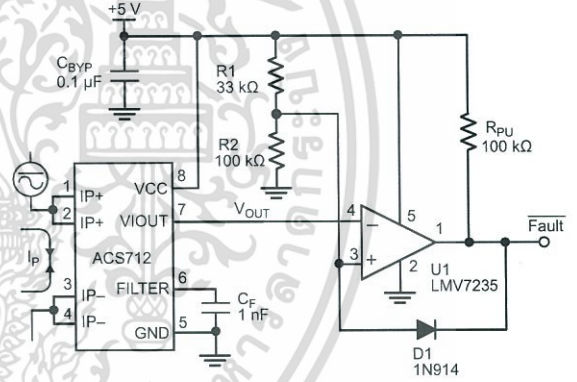
Application 2. Peak Detecting Circuit



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.

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

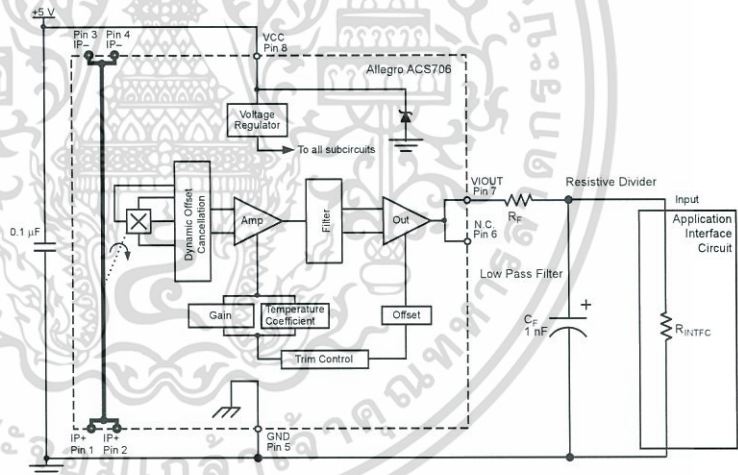
$$\Delta V_{ATT} = V_{IOUT} \left(\frac{R_{INTFC}}{R_F + R_{INTFC}} \right)$$

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

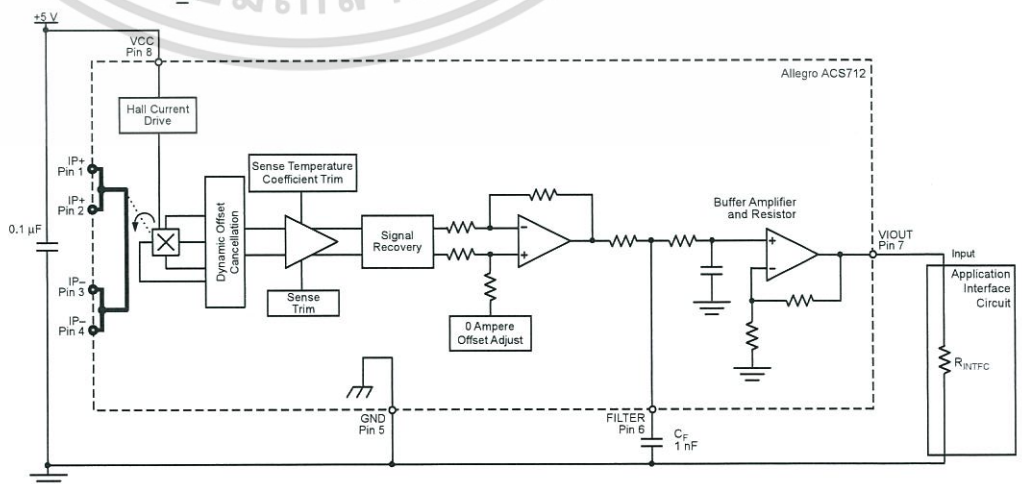
temperature. Therefore, signal attenuation will vary as a function of temperature. Note that, in many cases, the input impedance, R_{INTFC} , of a typical analog-to-digital converter (ADC) can be as low as 10 k Ω .

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 ΔV_{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 ΔV_{ATT} .



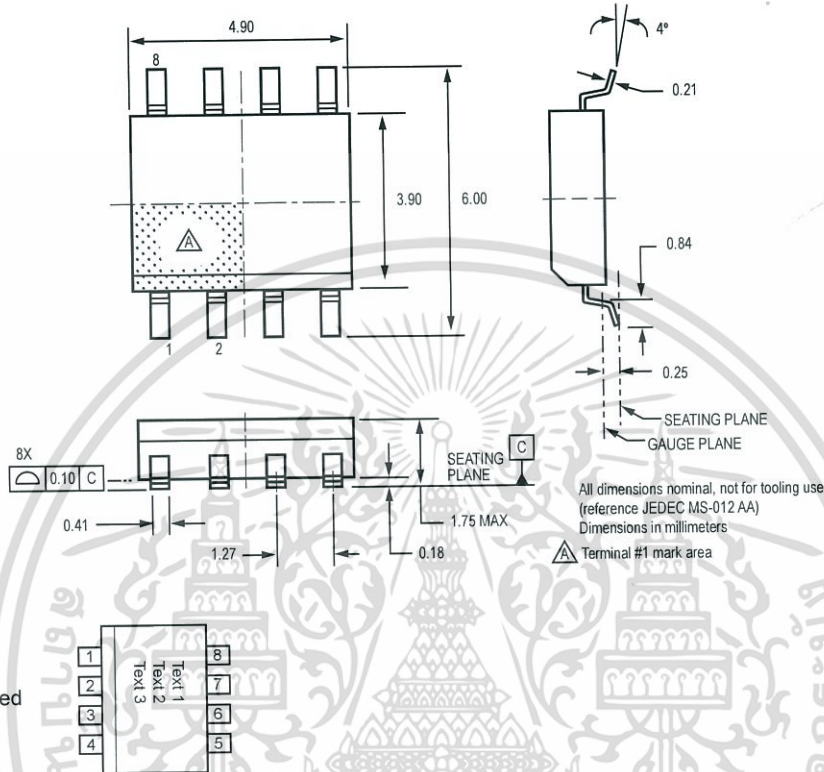
Application 7. Using the FILTER pin provided on the ACS712 eliminates the attenuation effects of the resistor divider between R_F and R_{INTFC} , shown in Application 6.



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

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Allegro MicroSystems, Inc.

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