

เครือข่ายไร้สายของการควบคุมระยะไกลสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

WIRELESS NETWORK OF REMOTE CONTROL FOR HOME APPLIANCES



ปริญญาโท สาขา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

จบปริญญาโท สาขา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ปีการศึกษา 2556

เครือข่ายไร้สายของการควบคุมระยะไกลสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน
WIRELESS NETWORK OF REMOTE CONTROL FOR HOME APPLIANCES



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WIRELESS NETWORK OF REMOTE CONTROL FOR HOME APPLIANCES



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องข่ายไร้สายของการควบคุมระยะไกลสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน
WIRELESS NETWORK OF REMOTE CONTROL FOR HOME
APPLIANCES

นักศึกษาผู้จัดทำ นายจิระวัฒน์ ไชยวงษ์วัฒน์ รหัสนักศึกษา 53010236

นายธนพงษ์ รอดเรือง รหัสนักศึกษา 53010627

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ

ปีการศึกษา 2556

| | |
|-------------------------------|--|
| อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
| อาจารย์ กฤษณ์ เสมอพิทักษ์ | |
| รศ.ประภาส อุดคคกิมพันธ์ |  |

| | | | |
|--------------------|---|--------------|----------|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | เครือข่ายไร้สายของการควบคุมระยะไกลสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน WIRELESS NETWORK OF REMOTE CONTROL FOR HOME APPLIANCES | | |
| นักศึกษาผู้จัดทำ | นายจิระวัฒน์ ไชยวงษ์วัฒน์ | รหัสนักศึกษา | 53010236 |
| | นายธนพงษ์ รอดเรือง | รหัสนักศึกษา | 53010627 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อาจารย์ ภุชณัฏ์ เสมอพิทักษ์ | | |
| | รศ.ประภาส อุดคคกิมพันธ์ | | |
| ปีการศึกษา | 2556 | | |

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอเทคนิคในการสร้างเครือข่ายไร้สายของการควบคุมระยะไกลสำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน เทคนิคที่นำเสนอใช้บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มีชื่อว่า Raspberry Pi และโมดูลไร้สายย่านความถี่ 2.4 GHz รุ่น nRF24LE1 โดยที่บอร์ด Raspberry Pi ถูกนำมาใช้ไม่เพียงแต่เพื่อจัดการฐานข้อมูลและการเข้าถึงข้อมูลโดยผู้ใช้ผ่านเว็บเบราว์เซอร์เท่านั้น แต่ก็ยังใช้เพื่อควบคุมการทำงานของทั้งระบบอีกด้วย หนึ่งในโมดูลไร้สายรุ่น nRF24LE1 ที่เชื่อมต่อกับบอร์ด Raspberry Pi ทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ในการรับส่งข้อมูล ส่วนโมดูลไร้สายตัวอื่นที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายทำหน้าที่เป็นสเลฟ ระบบที่ใช้ในการควบคุมระยะไกลของการทำงานของเครื่องปรับอากาศและการไหลของกระแสจากระบบสายไฟไปยังเต้าเสียบจำนวน 3 ตัวถูกสร้างขึ้นเป็นชุดต้นแบบเพื่อเป็นการทดสอบการทำงานของเทคนิคที่นำเสนอ นอกจากนี้ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อพ่วงกับเต้าเสียบแต่ละตัวถูกแสดงผลบนเว็บเบราว์เซอร์และรายงานในรูปของไฟล์ Microsoft Excel

| | | |
|-----------------------|--|--|
| Thesis Title | WIRELESS NETWORK OF REMOTE CONTROL FOR HOME APPLIANCES | |
| Autohors | Mr. Jeerawat Chaiwongwat | |
| | Mr. Thanapong Rodruang | |
| Thesis Advisor | Mr. Krit Smerpitak | |
| | Assoc.Prof. Prapart Ukakimaparn | |
| Year | 2013 | |

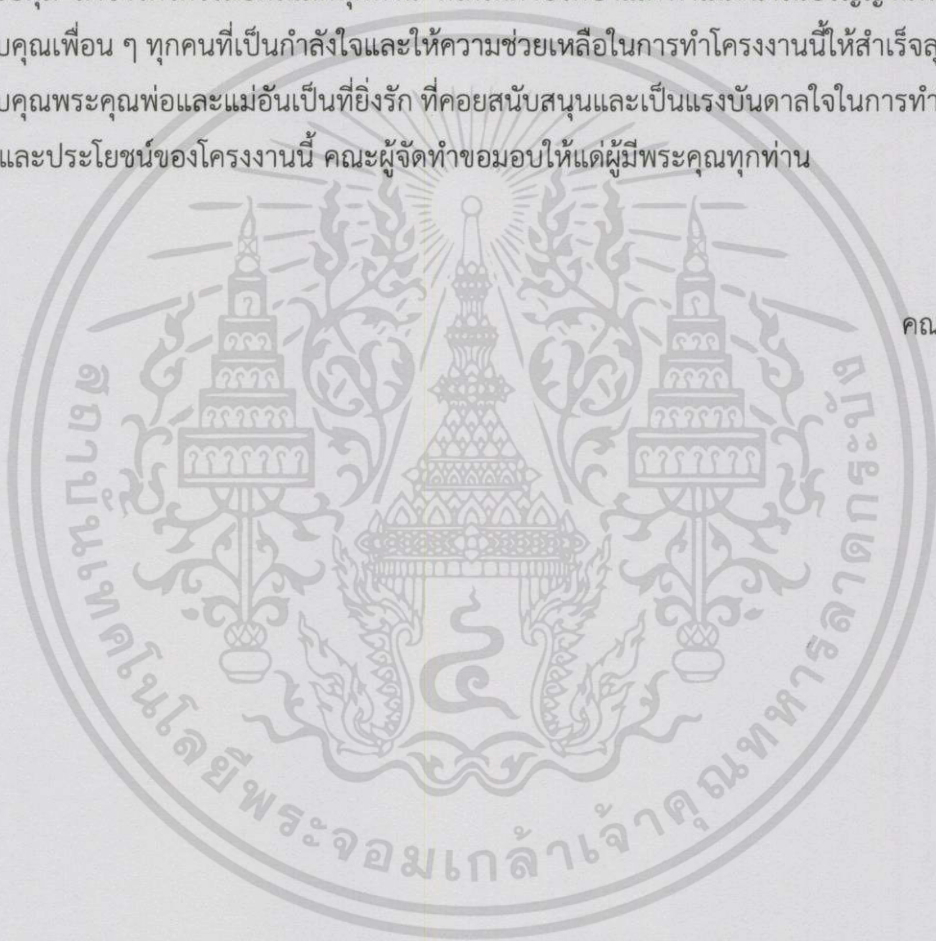
ABSTRACT

This thesis presents a technique for implementing wireless network of remote control for home appliances. The proposed technique is based on the use of a credit-card-sized single board computer named Raspberry Pi and 2.4 GHz RF wireless modules modeled NRF24LE1. The Raspberry Pi board is employed not only for managing a database and providing user access via web browser but also for controlling the entire system operation. One of the NRF24LE1 wireless modules connected with the Raspberry Pi board functions as a master of data transmission. Other wireless modules connected with final control elements are assigned as the slaves. In order to test the workability of the proposed technique, a system to remotely control an operation of air conditioner and a flow of current from the wiring to three female connectors are implemented as a prototype. Moreover, an electrical power consumption of the home appliance connected with each controlled female connector can be monitored via web browser and reported in the Microsoft Excel file format.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์
ที่ปรึกษา อาจารย์กฤษณ์ เสมอพิทักษ์ และรองศาสตราจารย์ประภาช อุคคกิมพันธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา
และคำแนะนำแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น อีกทั้งยังดูแลเอาใจใส่ ถ่ายทอดประสบการณ์
ในการทำงาน ให้แนวคิดและทฤษฎีที่คณะผู้จัดทำไม่เคยเรียนรู้มาก่อน ตลอดจนสอบถาม
ความก้าวหน้าของการทำงานอย่างสม่ำเสมอ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัด
และควบคุม สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้
ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการนี้ให้สำเร็จลุล่วง และ
ขอขอบคุณพระคุณพ่อและแม่อันเป็นที่รัก ที่คอยสนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำโครงการ
คุณค่าและประโยชน์ของโครงการนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | II |
| กิตติกรรมประกาศ..... | III |
| สารบัญ..... | IV |
| สารบัญตาราง..... | VIII |
| สารบัญรูป..... | X |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความสำคัญของปริญญาานิพนธ์..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์..... | 1 |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| 1.5 แผนการดำเนินงาน..... | 2 |
| 1.6 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์..... | 4 |
| บทที่ 2 หลักการที่เกี่ยวข้องและอุปกรณ์ที่เลือกใช้..... | 5 |
| 2.1 กล่าวนำ..... | 5 |
| 2.2 หลักการที่เกี่ยวข้อง..... | 6 |
| 2.2.1 โทโปโลยีในการสื่อสารของระบบเครือข่าย..... | 6 |
| 2.2.2 การสื่อสารผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย..... | 7 |
| 2.2.3 ระบบฐานข้อมูล..... | 8 |
| 2.2.3.1 ฐานข้อมูลและระบบจัดการฐานข้อมูล..... | 8 |
| 2.2.3.2 ภาษาที่ใช้ในการแสดงผลหน้าเว็บเบราว์เซอร์..... | 11 |
| 2.2.4 การเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต..... | 12 |
| 2.3 อุปกรณ์ที่เลือกใช้..... | 13 |
| 2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1..... | 13 |
| 2.3.1.1 Enhanced ShockBurst™..... | 15 |
| 2.3.1.2 MultiCeiver™..... | 16 |
| 2.3.1.3 Power down control..... | 17 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 2.3.1.4 Pulse-Width Modulation..... | 17 |
| 2.3.1.5 Universal Asynchronous Receiver Transmitter..... | 18 |
| 2.3.1.6 SPI (Serial Peripheral Interface)..... | 18 |
| 2.3.2 คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Raspberry Pi..... | 20 |
| 2.3.2.1 ระบบปฏิบัติการของ Raspberry Pi..... | 21 |
| 2.3.3 แลชซีรี่ส์..... | 21 |
| 2.3.4 ไอซี ACS712..... | 22 |
| 2.3.5 ไอซี ADE7763..... | 23 |
| 2.3.6 IR Emitting Diode, IR Receiver..... | 24 |
| 2.3.6.1 รูปแบบการส่งข้อมูลของรีโมตอินฟราเรด..... | 25 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน..... | 27 |
| 3.1 กล่าวนำ..... | 27 |
| 3.2 แนวคิดในการออกแบบระบบ..... | 27 |
| 3.3 โครงสร้างการติดต่อสื่อสาร..... | 28 |
| 3.3.1 รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย..... | 29 |
| 3.3.2 รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านโมดูลอนุกรม..... | 31 |
| 3.4 การออกแบบฮาร์ดแวร์..... | 33 |
| 3.4.1 วงจรกล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์)..... | 33 |
| 3.4.1.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงของกล่องควบคุมหลัก..... | 34 |
| 3.4.1.2 วงจรติดต่อกับ Raspberry Pi ของกล่องควบคุมหลัก..... | 35 |
| 3.4.2 วงจรกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ)..... | 35 |
| 3.4.2.1 วงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้าของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)..... | 38 |
| 3.4.2.2 วงจรซีรี่ส์ของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)..... | 40 |
| 3.4.2.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)..... | 40 |
| 3.4.2.4 วงจรส่งสัญญาณอินฟราเรดของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 2)..... | 40 |
| 3.5 การออกแบบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และระบบฐานข้อมูล..... | 41 |
| 3.5.1 การทำงานกล่องควบคุมหลัก..... | 41 |
| 3.5.2 การทำงานของกล่องควบคุมย่อย..... | 43 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|-----------|
| 3.5.2.1 กล่องควบคุมย้อยวัดค่ากระแสไฟฟ้า และควบคุมสถานะ การเปิด- ปิด..... | 45 |
| 3.5.2.2 กล่องควบคุมย้อยสั่งการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านสัญญาณ อินฟราเรด..... | 45 |
| 3.5.3 การทำงานของระบบฐานข้อมูล..... | 47 |
| 3.6 การตั้งค่าการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์..... | 48 |
| 3.7 ระบบฐานข้อมูล..... | 50 |
| 3.7.1 โครงสร้างฐานข้อมูล..... | 50 |
| 3.8 เว็บเซิร์ฟเวอร์..... | 54 |
| 3.8.1 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน..... | 55 |
| 3.8.2 การทำงานของส่วนติดต่อผู้ใช้งาน..... | 57 |
| 3.8.3 การตั้งค่าหมายเลข IP ของเว็บเซิร์ฟเวอร์..... | 58 |
| บทที่ 4 การทดสอบการทำงานของระบบ..... | 59 |
| 4.1 กล่าวนำ..... | 59 |
| 4.2 การทดสอบการทำงานของระบบ..... | 60 |
| 4.2.1 การทดสอบการเชื่อมต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์..... | 60 |
| 4.2.2 การทดสอบการสั่งการผ่านเว็บเบราว์เซอร์ไปยังกล่องควบคุม..... | 61 |
| 4.2.3 การทดสอบการเชื่อมต่อกับกล่องควบคุมหลักกับกล่องควบคุมย่อย..... | 63 |
| 4.2.4 การทดสอบการเชื่อมต่อกับกล่องควบคุมที่ระยะต่าง ๆ..... | 64 |
| 4.2.5 การทดสอบการสั่งงานรีเลย์..... | 64 |
| 4.2.6 การทดสอบวงจรวัดกระแสไฟฟ้า..... | 65 |
| 4.2.7 ทดสอบวงจรสั่งการผ่านสัญญาณอินฟราเรด..... | 70 |
| บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... | 73 |
| 5.1 สรุป..... | 73 |
| 5.2 ปัญหาที่พบในการทำงาน..... | 73 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ..... | 73 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--------------------|------|
| เอกสารอ้างอิง..... | 74 |
| ภาคผนวก..... | 76 |



สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|---|------|
| 1.1 แผนการดำเนินงาน..... | 3 |
| 2.1 อัตราการบริโภคพลังงานของฟังก์ชันต่าง ๆ..... | 17 |
| 2.2 การต่อขาใช้งานแลชชิงรีเลย์..... | 21 |
| 3.1 ฟังก์ชันของข้อมูลที่รับ-ส่งผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย..... | 30 |
| 3.2 ตัวอย่างข้อมูลที่รับ-ส่งผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย..... | 30 |
| 3.3 ฟังก์ชันของข้อมูลที่รับ-ส่งผ่านโมดูลอนุกรม..... | 31 |
| 3.4 ตัวอย่างข้อมูลที่รับ-ส่งผ่านโมดูลอนุกรม..... | 33 |
| 4.1 การสั่งการผ่านเว็บเบราว์เซอร์..... | 61 |
| 4.2 ผลการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลที่ระยะ 5 เมตร..... | 64 |
| 4.3 ผลการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลที่ระยะ 5-10 เมตร..... | 64 |
| 4.4 ผลการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลที่ระยะ 10-15 เมตร..... | 64 |
| 4.5 ผลการทดสอบการสั่งงานรีเลย์ที่ระยะ 5 เมตร..... | 65 |
| 4.6 การทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าช่องที่ 1..... | 65 |
| 4.7 การทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าช่องที่ 2..... | 67 |
| 4.8 การทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าช่องที่ 3..... | 69 |
| 4.9 ผลการทดสอบการสั่งการเครื่องปรับอากาศที่มีความสูง 1.5 เมตรและระยะห่าง 1 เมตรเมื่อเทียบกับตัวรับ..... | 70 |
| 4.10 ผลการทดสอบการสั่งการเครื่องปรับอากาศที่มีความสูง 1.5 เมตรและระยะห่าง 2 เมตรเมื่อเทียบกับตัวรับ..... | 71 |
| 4.11 ผลการทดสอบการสั่งการเครื่องปรับอากาศที่มีความสูง 1.5 เมตรและระยะห่าง 3 เมตรเมื่อเทียบกับตัวรับ..... | 71 |
| 4.12 ผลการทดสอบการสั่งการเครื่องปรับอากาศที่มีความสูง 1.8 เมตรและระยะห่าง 1 เมตรเมื่อเทียบกับตัวรับ..... | 71 |
| 4.13 ผลการทดสอบการสั่งการเครื่องปรับอากาศที่มีความสูง 1.8 เมตรและระยะห่าง 2 เมตรเมื่อเทียบกับตัวรับ..... | 71 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.14 ผลการทดสอบการสั่งการเครื่องปรับอากาศที่มีความสูง 1.8 เมตรและระยะห่าง 3 เมตรเมื่อเทียบกับตัวรับ..... | 72 |



สารบัญรูป

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.1 โครงสร้างระบบเครือข่ายไร้สายภายในที่อยู่อาศัย..... | 5 |
| 2.2 โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Point-to-Point..... | 6 |
| 2.3 โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Bus..... | 6 |
| 2.4 โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Star..... | 6 |
| 2.5 โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Ring..... | 7 |
| 2.6 โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Mesh..... | 7 |
| 2.7 ตัวอย่างการมอดูเลตข้อมูลกับคลื่นพาหะเชิงความถี่..... | 7 |
| 2.8 ช่องสัญญาณไวเลสในย่าน 2.4 GHz..... | 8 |
| 2.9 การเชื่อมต่อระหว่างเว็บเบราว์เซอร์กับฐานข้อมูล..... | 8 |
| 2.10 พอร์ตการเชื่อมต่อ และไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1..... | 14 |
| 2.11 วงจร และโมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1..... | 15 |
| 2.12 โครงสร้างการรับ-ส่งข้อมูลผ่าน MultiCeiver..... | 16 |
| 2.13 ตัวอย่างความกว้างของพัลส์ที่ควิตีไซเคิล..... | 18 |
| 2.14 การเชื่อมต่อรับ-ส่งข้อมูลผ่าน UART..... | 18 |
| 2.15 รูปแบบการส่งข้อมูลผ่าน UART..... | 18 |
| 2.16 การเชื่อมต่อรับ-ส่งข้อมูลผ่าน SPI..... | 19 |
| 2.17 รูปแบบการส่งข้อมูลผ่าน SPI..... | 19 |
| 2.18 บอร์ด Raspberry Pi รุ่น B..... | 20 |
| 2.19 ส่วนประกอบของ Raspberry Pi รุ่น B..... | 20 |
| 2.20 แลชชิงรีเลย์..... | 22 |
| 2.21 โครงสร้างของแลชชิงรีเลย์..... | 22 |
| 2.22 หลักการของฮอลล์เอฟเฟกต์..... | 22 |
| 2.23 ตัวอย่างการต่อขาใช้งานไอซี ACS712..... | 23 |
| 2.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสและเอาต์พุตของไอซี ACS712..... | 23 |
| 2.25 ไอซี ADE7763 และพอร์ตการเชื่อมต่อ..... | 24 |
| 2.26 ตัวอย่างการต่อขาใช้งานไอซี ADE7763..... | 24 |
| 2.27 สัญลักษณ์ และหลอดอินฟราเรด..... | 25 |
| 2.28 สัญลักษณ์ และตัวรับสัญญาณอินฟราเรด..... | 25 |
| 2.29 ตัวอย่างการส่งข้อมูลร่วมกับพาหะ..... | 25 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|---|------|
| 2.30 รูปแบบการส่งข้อมูลของรีโมทคอนโทรล..... | 26 |
| 3.1 แนวคิดในการออกแบบระบบ..... | 27 |
| 3.2 โครงสร้างการติดต่อสื่อสาร..... | 28 |
| 3.3 โครงสร้างการรับ-ส่งข้อมูล..... | 29 |
| 3.4 รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย..... | 29 |
| 3.5 รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านโมดูลอนุกรม..... | 31 |
| 3.6 บอร์ดวงจรกล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์)..... | 33 |
| 3.7 ไดอะแกรมวงจรกล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์)..... | 34 |
| 3.8 กล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์)..... | 34 |
| 3.9 ไดอะแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงของกล่องควบคุมหลัก..... | 34 |
| 3.10 ไดอะแกรมวงจรติดต่อกับ Raspberry Pi ของกล่องควบคุมหลัก..... | 35 |
| 3.11 บอร์ดวงจรกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)..... | 35 |
| 3.12 ไดอะแกรมวงจรกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)..... | 36 |
| 3.13 กล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)..... | 36 |
| 3.14 บอร์ดวงจรกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 2)..... | 37 |
| 3.15 ไดอะแกรมวงจรกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 2)..... | 37 |
| 3.16 กล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 2)..... | 37 |
| 3.17 ไดอะแกรมการทำงานวงจรวัดกระแสไฟฟ้าของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)..... | 38 |
| 3.18 ไดอะแกรมวงจรโวลต์เตจดีไวเดอร์จาก ACS712 ของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)..... | 38 |
| 3.19 ไดอะแกรมวงจรโวลต์เตจดีไวเดอร์จากหม้อแปลงของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)..... | 39 |
| 3.20 ไดอะแกรมวงจรวัดกระแสไฟฟ้าของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)..... | 39 |
| 3.21 ไดอะแกรมวงจรขั้วรีเลย์ของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)..... | 40 |
| 3.22 ไดอะแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)..... | 40 |
| 3.23 ไดอะแกรมวงจรส่งสัญญาณอินฟราเรดของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 2)..... | 41 |
| 3.24 กระบวนการทำงานของกล่องควบคุมหลัก..... | 41 |
| 3.25 กระบวนการทำงานของกล่องควบคุมย่อย..... | 43 |
| 3.26 รูปแบบสัญญาณที่รับได้จากรีโมทคอนโทรล..... | 45 |
| 3.27 วงจรรับสัญญาณอินฟราเรด..... | 46 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.28 ตัวอย่างข้อมูลที่รับจากรีโมทคอนโทรล..... | 46 |
| 3.29 กระบวนการทำงานของระบบฐานข้อมูล..... | 47 |
| 3.30 บล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1..... | 48 |
| 3.31 กระบวนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 (มาสเตอร์)..... | 48 |
| 3.32 กระบวนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 (สเลฟ)..... | 49 |
| 3.33 โครงสร้างฐานข้อมูล..... | 51 |
| 3.34 โครงสร้างตาราง member..... | 51 |
| 3.35 โครงสร้างตาราง new_device..... | 52 |
| 3.36 โครงสร้างตาราง connected_device..... | 52 |
| 3.37 โครงสร้างตาราง connecting_device..... | 52 |
| 3.38 โครงสร้างตาราง disconnect_device..... | 53 |
| 3.39 โครงสร้างตาราง ir_database..... | 53 |
| 3.40 โครงสร้างตาราง address_34xxxxx..... | 53 |
| 3.41 โครงสร้างตาราง address_43xxxxx..... | 54 |
| 3.42 โครงสร้างตาราง address_34xxxxx_status..... | 54 |
| 3.43 โครงสร้างตาราง address_43xxxxx_status..... | 54 |
| 3.44 ส่วนติดต่อผู้ใช้งานบนคอมพิวเตอร์ และโทรศัพท์มือถือ..... | 55 |
| 3.45 หน้าต่างเข้าสู่ระบบ..... | 56 |
| 3.46 หน้าต่างควบคุมการใช้งาน..... | 56 |
| 3.47 หน้าต่าง HMI..... | 56 |
| 3.48 หน้าต่างแสดงประวัติการใช้งาน..... | 57 |
| 3.49 หน้าต่างแสดงกราฟประวัติการใช้พลังงาน..... | 57 |
| 3.50 การตั้งค่าหมายเลข IP ของเว็บเซิร์ฟเวอร์..... | 58 |
| 4.1 โครงสร้างระบบที่ทำการทดสอบการเชื่อมต่อและสั่งการ..... | 59 |
| 4.2 การทดสอบ Ping IP เพื่อตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์..... | 60 |
| 4.3 การค้นหาหมายเลข IP โดยใช้โปรแกรม Advanced IP Scanner..... | 61 |
| 4.4 หน้าต่างแสดงผลการเชื่อมต่อกับกล่องควบคุมย่อย..... | 63 |
| 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้และค่าที่คำนวณของช่องที่ 1..... | 67 |

สารบัญรูป (ต่อ)

| ภาพที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้และค่าที่คำนวณของช่องที่ 2..... | 68 |
| 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้และค่าที่คำนวณของช่องที่ 3..... | 70 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปริญญาานิพนธ์

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลไร้สายได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการความสะดวกสบายของมนุษย์ ดังนั้นเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลไร้สายจึงได้เข้ามามีบทบาท เพื่อเพิ่มความสะดวกสบาย, ความปลอดภัยในการใช้งาน และลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็นภายในที่อยู่อาศัย เช่น ระบบแสงสว่าง ระบบไฟฟ้า และระบบปรับอากาศ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อการใช้พลังงาน และค่าไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัยทั้งสิ้น เพื่อให้มีการควบคุมและการวัดจึงได้เชื่อมต่ออุปกรณ์ตัดต่อและอุปกรณ์ตรวจรู้เข้ากับระบบแสงสว่าง ระบบไฟฟ้า และระบบปรับอากาศ เพื่อจัดการการเปิด-ปิด และตรวจวัดการใช้พลังงาน โดยผ่านเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย เพื่อเชื่อมโยงระบบแสงสว่าง ระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศเข้าด้วยกัน สร้างเป็นระบบเครือข่ายไร้สายภายในที่อยู่อาศัย และนำข้อมูลที่ได้มาผ่านกระบวนการเพื่อบริหารจัดการการใช้พลังงาน อีกทั้งยังมีการจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลเพื่อเก็บไว้ตรวจสอบประวัติการใช้งานย้อนหลัง และส่งการจากระยะไกล ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้มุ่งเน้นเกี่ยวกับความสำคัญ และความต้องการของผู้อยู่อาศัย จึงได้พัฒนาระบบควบคุมแสงสว่าง ระบบไฟฟ้า ระบบปรับอากาศ และการตรวจวัดการใช้พลังงาน โดยผ่านทางเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลไร้สาย ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และฐานข้อมูล เข้ามาประยุกต์ใช้ในการควบคุม และแสดงผลภายในที่อยู่อาศัยให้เกิดความพึงพอใจและความสะดวกสบายเพิ่มมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาานิพนธ์

1. เพื่อศึกษา และนำเสนอเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลไร้สาย
2. เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ตรวจรู้ ฐานข้อมูล และเครือข่ายไร้สาย
3. เพื่อสร้างบอร์ดต้นแบบควบคุมไร้สายภายในที่อยู่อาศัย สำหรับกรณีศึกษาต่อไปในอนาคต
4. เพื่อเพิ่มความพึงพอใจ และความสะดวกสบายให้กับผู้อยู่อาศัย โดยแสดงผลและควบคุมผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

1.3 ขอบเขตของปริญญาานิพนธ์

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น nRF24LE1 จากบริษัท Nordic Semiconductor มาสร้างบอร์ดต้นแบบการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย เพื่อเชื่อมต่อกับ

อุปกรณ์ตัดต่อ และอุปกรณ์ตรวจรู้เพื่อควบคุม และวัดการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย และออกแบบอุปกรณ์ควบคุมเครื่องปรับอากาศด้วยแสงอินฟราเรด อีกทั้งยังสร้างฐานข้อมูลเพื่อเก็บประวัติการใช้พลังงาน โดยเลือกใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Raspberry Pi ทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์ และสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

จากกรณีศึกษาในปริญญาโทครั้งนี้คาดว่าจะได้รับ ชุดต้นแบบสำหรับการสื่อสารผ่านทางเครือข่ายไร้สายภายในที่อยู่อาศัย ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้อยู่อาศัย เพื่อเพิ่มความสะดวกสบาย และความพึงพอใจในการใช้งานของผู้อยู่อาศัย อีกทั้งยังสามารถส่งงานได้จากระยะไกลผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีฐานข้อมูลจัดเก็บประวัติการใช้งานซึ่งสามารถนำมาใช้บริหารจัดการได้ในอนาคต

1.5 แผนการดำเนินงาน

เพื่อให้การทำงานดำเนินไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ คณะผู้จัดทำจึงได้วางแผนตารางการดำเนินงาน โดยระยะเวลาดำเนินงานอยู่ในช่วงวันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ.2556 ถึงวันที่ 15 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 รวมเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

| ตารางเวลาการดำเนินงานปริญญาโท (Thesis Schedule) | ปีที่ 4 ภาคเรียนที่ 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | สัปดาห์ที่ 1 | สัปดาห์ที่ 2 | สัปดาห์ที่ 3 | สัปดาห์ที่ 4 | สัปดาห์ที่ 5 | สัปดาห์ที่ 6 | สัปดาห์ที่ 7 | สัปดาห์ที่ 8 | สัปดาห์ที่ 9 | สัปดาห์ที่ 10 | สัปดาห์ที่ 11 | สัปดาห์ที่ 12 | สัปดาห์ที่ 13 | สัปดาห์ที่ 14 | สัปดาห์ที่ 15 | สัปดาห์ที่ 16 |
| งาน / สัปดาห์ | 28 ต.ค. 56 | 4 พ.ย. 56 | 11 พ.ย. 56 | 18 พ.ย. 56 | 25 พ.ย. 56 | 2 ธ.ค. 56 | 9 ธ.ค. 56 | 16 ธ.ค. 56 | 23 ธ.ค. 56 | 30 ธ.ค. 56 | 6 ม.ค. 57 | 13 ม.ค. 57 | 20 ม.ค. 57 | 27 ม.ค. 57 | 3 ก.พ. 57 | 10 ก.พ. 57 |
| ศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| สร้างข้อเสนอ Proposal | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ทดสอบใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ RF24LE1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ทดสอบใช้งาน Raspberry Pi | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ออกแบบระบบตรรกะและระบบควบคุม | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ออกแบบระบบเครือข่ายไร้สาย | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน | | | | | | | | | | | | | | | | |
| สร้างชุดทดสอบการใช้งาน | | | | | | | | | | | | | | | | |
| สรุปวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน | | | | | | | | | | | | | | | | |
| จัดทำปริญญาโท | | | | | | | | | | | | | | | | |

1.6 รายละเอียดของปฏิญยานิพนธ์

ปฏิญยานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งออกเป็น 5 บท ซึ่งครอบคลุมเนื้อหาดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปฏิญยานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของปฏิญยานิพนธ์ ขอบเขตของปฏิญยานิพนธ์ ผลที่คาดว่าจะได้รับ แผนการดำเนินงาน และรายละเอียดของปฏิญยานิพนธ์

บทที่ 2 หลักการที่เกี่ยวข้องและอุปกรณ์ที่เลือกใช้ กล่าวถึงหลักการและรายละเอียดอุปกรณ์ที่เลือกใช้ ซึ่งได้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Raspberry Pi แลชซีรี่ส์ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน กล่าวถึงแนวคิดในการออกแบบระบบ โครงสร้างการติดต่อสื่อสาร การออกแบบฮาร์ดแวร์ การออกแบบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และระบบฐานข้อมูล การตั้งค่าการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ และระบบฐานข้อมูล

บทที่ 4 การทดสอบการทำงานของระบบ กล่าวถึงการทดสอบการเชื่อมต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ การทดสอบการส่งการผ่านเว็บเบราว์เซอร์ไปยังกล่องควบคุม การทดสอบการเชื่อมต่อกล่องควบคุมหลักกับกล่องควบคุมย่อย การทดสอบการเชื่อมต่อกล่องควบคุมที่ระยะต่าง ๆ การทดสอบการสั่งงานรีเลย์ การทดสอบวงจรวัดกระแสไฟฟ้า และการทดสอบการส่งการผ่านสัญญาณอินฟราเรด

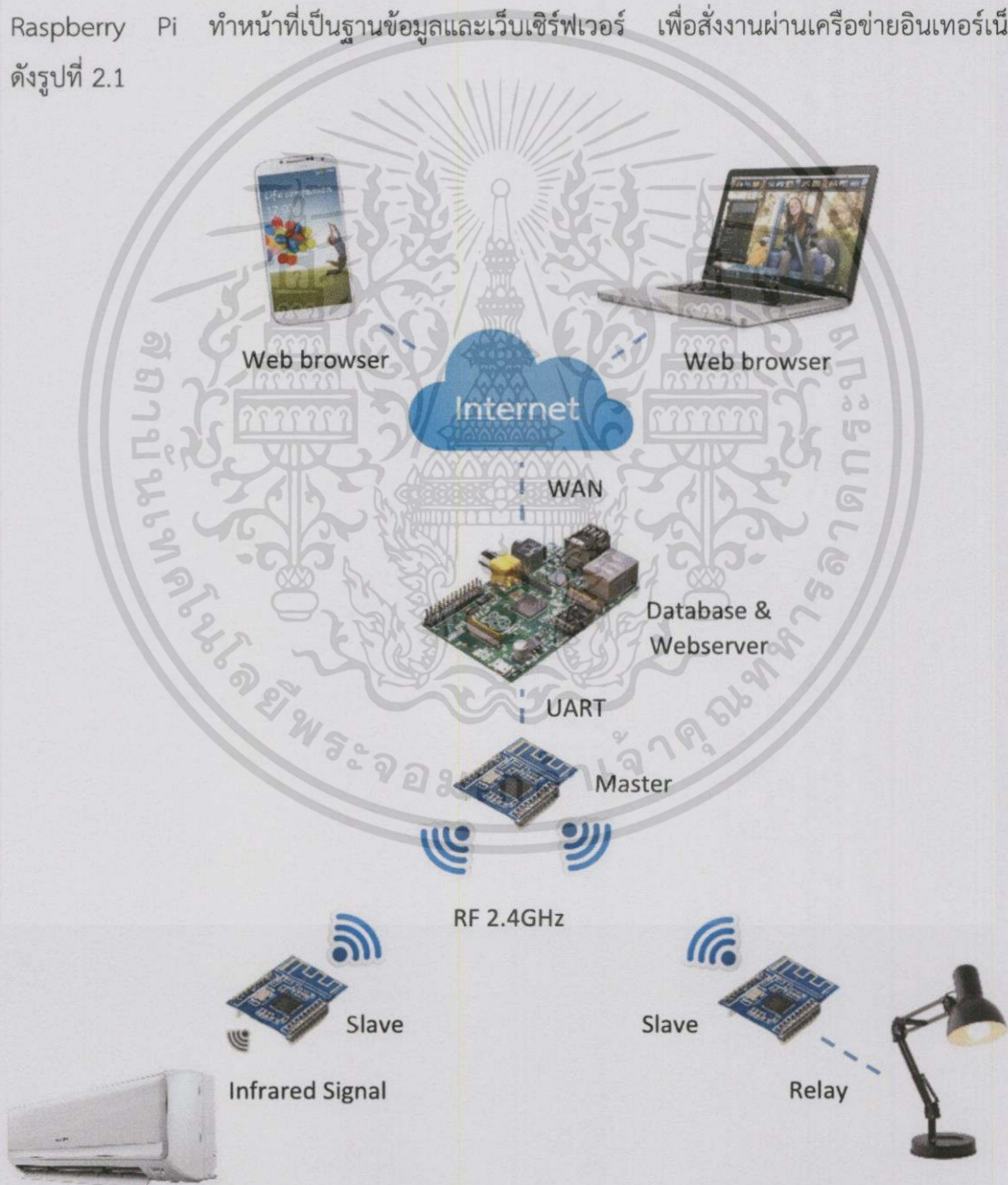
บทที่ 5 กล่าวถึงบทสรุป ปัญหาที่พบในการทำงาน รวมถึงข้อเสนอแนะ และแนวทางในการแก้ไข ปัญหา

บทที่ 2

หลักการที่เกี่ยวข้องและอุปกรณ์ที่เลือกใช้

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการ ที่นำมาใช้ในการออกแบบระบบเครือข่ายไร้สายภายในที่อยู่อาศัย เพื่อแสดงผลและควบคุมผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 ควบคุมระบบแสงสว่าง ระบบไฟฟ้า และระบบปรับอากาศ และมีคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Raspberry Pi ทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูลและเว็บเซิร์ฟเวอร์ เพื่อสั่งงานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างระบบเครือข่ายไร้สายภายในที่อยู่อาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการที่เกี่ยวข้อง

หลักการที่เกี่ยวข้องในการออกแบบการทำงาน แบ่งออกเป็นโทโพลยีในการสื่อสารของระบบเครือข่าย การสื่อสารผ่านโมดูลดรับ-ส่งข้อมูลไร้สายของไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 ระบบฐานข้อมูล และการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

2.2.1 โทโพลยีในการสื่อสารของระบบเครือข่าย

โทโพลยีของเครือข่าย (Network Topology) [1] จะอธิบายถึงแผนผังการเชื่อมต่อ ลักษณะทางกายภาพ (Physical Topology) หรือทางตรรกะ (Logical Topology) ซึ่งจะแสดงถึง ตำแหน่งของอุปกรณ์หรือโหนดบนเครือข่าย และเส้นทางการเชื่อมต่อของอุปกรณ์เหล่านี้ โดยมี 5 รูปแบบพื้นฐาน คือ Point-to-Point, Bus, Star, Ring และ Mesh

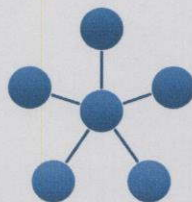
1. Point-to-Point เป็นโครงสร้างที่ง่ายที่สุดในการเชื่อมโยงระหว่างโหนดสองโหนด ผ่านทางสาย 1 เส้นดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.2 โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Point-to-Point

2. Bus เป็นโครงข่ายที่โหนดทุกโหนดจะเชื่อมต่อกับสายหลัก 1 เส้นโดยการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างกันต้องส่งข้อมูลพร้อมกับที่อยู่ตัวของปลายทางดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Bus

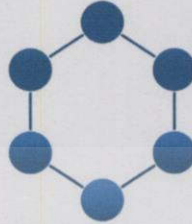
3. Star เป็นการเชื่อมต่อที่มีโหนดหลักอยู่ตรงกลาง การรับ-ส่งข้อมูลจะสามารถติดต่อกันได้ครั้งละ 1 คู่เท่านั้นดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Star

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Ring เป็นรูปแบบการเชื่อมต่อจากโหนดหนึ่งไปยังโหนดปลายทาง โดยส่งผ่านโหนดแต่ละโหนด ถ้าข้อมูลที่รับไม่ตรงตามที่ต้นทางระบุ โหนดจะส่งข้อมูลไปยังโหนดถัดไป ซึ่งจะเป็นขั้นตอนอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะถึงโหนดจุดหมายดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Ring

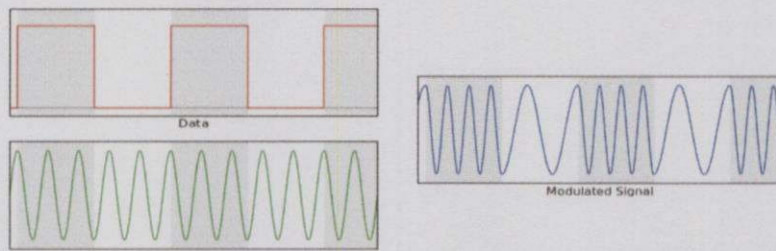
5. Mesh เป็นรูปแบบที่การเชื่อมต่อ ที่โหนดแต่ละโหนดสามารถเชื่อมต่อกับโหนดทุกโหนดในระบบเครือข่ายได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Mesh

2.2.2 การสื่อสารผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย

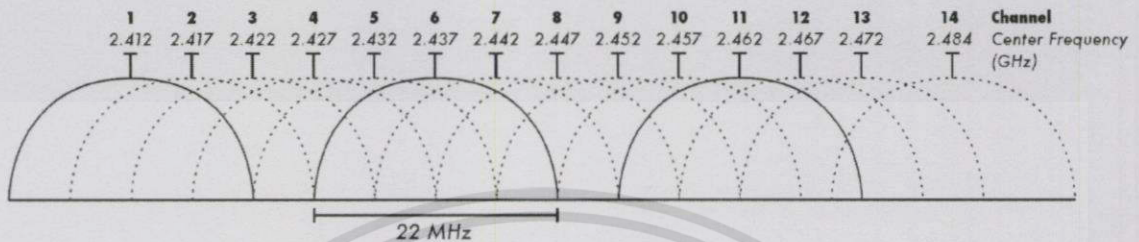
การสื่อสารผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สายของไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 จะรับ-ส่งข้อมูลผ่านสัญญาณวิทยุ โดยมอดูเลตข้อมูลกับคลื่นพาหะเชิงความถี่ FSK (Frequency-Shift Keying) ซึ่งมีความถี่ 2.4 GHz ตามมาตรฐาน ISM (Industrial, Scientific and Medical) ขนาดของคลื่นพาหะ (Carrier Wave) จะคงที่แต่ความถี่ของคลื่นจะเปลี่ยนแปลงตามข้อมูล โดยเมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่จะสูงกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นจะต่ำกว่าปกติดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการมอดูเลตข้อมูลกับคลื่นพาหะเชิงความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

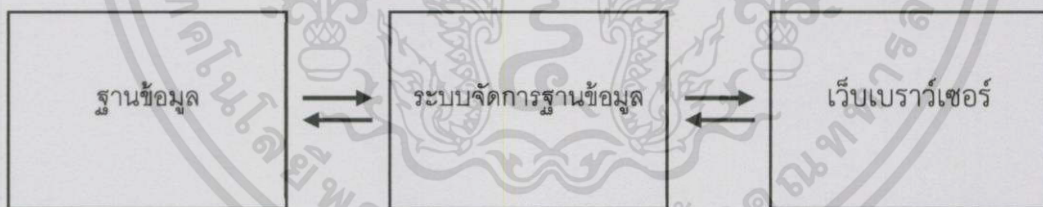
โดยความถี่ 2.4 GHz เป็นความถี่ใช้งานของไวเลสเร้าเตอร์ตามมาตรฐาน IEEE802.11 ส่งผลให้การใช้งานในบริเวณที่มีสัญญาณไวเลส มีผลกระทบต่อโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สายของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 ดังนั้นการตั้งค่าสัญญาณวิทยุของโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สายจะต้อง หลีกเลี่ยงช่วงสัญญาณที่ตรงกับไวเลสเร้าเตอร์ โดยสัญญาณไวเลสจะมีช่องสัญญาณดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ช่องสัญญาณไวเลสในย่าน 2.4 GHz

2.2.3 ระบบฐานข้อมูล

ระบบฐานข้อมูลคือโครงสร้างสารสนเทศ ที่ประกอบด้วยรายละเอียดของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกันที่จะนำมาใช้ในระบบต่าง ๆ ร่วมกัน ซึ่งผู้ใช้สามารถจัดการกับข้อมูลได้ในลักษณะต่าง ๆ ทั้งการเพิ่ม การแก้ไข การลบ ตลอดจนการเรียกดูข้อมูล ในปริมาณที่พบนั่นจึงได้เลือกใช้ระบบฐานข้อมูลเข้ามาบริหารจัดการข้อมูล โดยระบบฐานข้อมูลจะมีระบบจัดการฐานข้อมูลทำหน้าที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล เพื่อตอบสนองต่อข้อมูลที่ร้องขอจากเว็บเบราว์เซอร์ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อระหว่างเว็บเบราว์เซอร์กับฐานข้อมูล

2.2.3.1 ฐานข้อมูลและระบบจัดการฐานข้อมูล

ฐานข้อมูล (Database) [2] หมายถึงการจัดรวบรวมข้อสนเทศ หรือข้อมูลของเรื่องต่าง ๆ ไว้ในรูปแบบที่จะเรียกมาใช้ได้ทันทีเมื่อต้องการ ในการเรียกนั้นอาจเรียกเพียงส่วนใดส่วนหนึ่งมาใช้ประโยชน์เป็นครั้งคราวได้

ระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System : DBMS) [3] เป็นกลุ่มโปรแกรมที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในระบบติดต่อระหว่างผู้ใช้กับฐานข้อมูล เพื่อจัดการและควบคุมความถูกต้อง ความซ้ำซ้อน และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลต่าง ๆ ภายในฐานข้อมูล

ระบบจัดการฐานข้อมูลที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน เช่น ออราเคิล (Oracle), ไมโครซอฟท์ ซีควิลเซิร์ฟเวอร์ (Microsoft SQL Server), มายเอสคิวแอล (MySQL), ไมโครซอฟท์ แอคเซส (Microsoft Access), เอสคิวไลต์ (SQLite)

ภาษา SQL (Standard Query Language) [4] คือ ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม เพื่อจัดการกับฐานข้อมูลโดยเฉพาะ เป็นภาษามาตรฐานบนระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ และเป็นระบบเปิด (Open system) หมายถึงสามารถใช้คำสั่ง SQL กับฐานข้อมูลชนิดใดก็ได้ และได้ผลลัพธ์ที่เหมือนกันบนระบบฐานข้อมูลที่แตกต่าง ทำให้สามารถเลือกใช้ฐานข้อมูลชนิดใดก็ได้โดยไม่ต้องติดกับฐานข้อมูลใดฐานข้อมูลหนึ่ง ภาษา SQL จะมีคำสั่งหลัก ๆ อยู่ 2 ประเภท คือ

1. DDL - Data Definition Language ใช้ในการจัดการโครงสร้างของ table, view และ index ได้แก่ คำสั่ง create, alter เป็นต้น
2. DML - Data Manipulation Language ใช้ในการปรับปรุงข้อมูลภายในตารางเช่น select ,insert , update , delete

MySQL คือ โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล [5] ที่พัฒนาโดยบริษัท MySQL AB ประเทศสวีเดน มีหน้าที่เก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ รองรับคำสั่ง SQL เป็นเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูล ที่ต้องใช้ร่วมกับเครื่องมือหรือโปรแกรมอื่น เพื่อให้บริการแก่ภาษาสคริปต์ที่ทำงานฝั่งเครื่องบริการ (Server-Side Script) หรือทำงานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ (Application Program) เป็นต้น โปรแกรมถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย และเป็นระบบฐานข้อมูลโอเพนซอร์ส (Open Source) ที่ได้รับความนิยมและถูกนำไปใช้งานมาก

หน้าที่ของระบบการจัดการฐานข้อมูล มีหน้าที่สำคัญ ๆ หลายอย่าง เพื่อให้เกิดความถูกต้องและสอดคล้องกันของข้อมูลภายในฐานข้อมูล ได้แก่

- 1) การจัดการพจนานุกรมข้อมูล ระบบการจัดการฐานข้อมูลจะทำการจัดเก็บนิยามของ ข้อมูล และความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลไว้ในพจนานุกรมข้อมูล เป็นสารนิเทศที่บอกเกี่ยวกับโครงสร้างของฐานข้อมูล โปรแกรมประยุกต์ทั้งหมดที่ต้องการเข้าถึงข้อมูลในฐานข้อมูลจะต้องทำงานผ่านระบบการจัดการฐานข้อมูล โดยที่ระบบจัดการฐานข้อมูลจะใช้พจนานุกรมข้อมูลเพื่อค้นหาโครงสร้างตลอดจนส่วนประกอบของข้อมูล และความสัมพันธ์ที่ต้องการ นอกจากนั้นแล้วการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่มีต่อโครงสร้างฐานข้อมูล จะถูกบันทึกไว้โดยอัตโนมัติในพจนานุกรมข้อมูล ทำให้ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรมเมื่อโครงสร้างข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลง การจัดเก็บข้อมูลระบบการจัดการฐานข้อมูลจะสร้างโครงสร้างที่จำเป็นต่อการจัดเก็บข้อมูล ช่วยลดความยุ่งยากในการนิยามและการเขียนโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางกายภาพของข้อมูล

- 2) การแปลงและนำเสนอข้อมูล ระบบการจัดการฐานข้อมูลจะทำหน้าที่ในการแปลงข้อมูลที่ได้รับเข้ามา เพื่อให้สอดคล้องกับโครงสร้างในการจัดเก็บข้อมูล ทำให้ไม่ต้องไปยุ่งเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างรูปแบบของข้อมูลทางตรรกะและทางกายภาพ กล่าวคือทำให้มีความเป็นอิสระของข้อมูล ระบบการจัดการฐานข้อมูลจะแปลง ความต้องการเชิงตรรกะของผู้ใช้ให้เป็นคำสั่งที่สามารถดึงข้อมูลทางกายภาพที่ต้องการ
- 3) การจัดการระบบความปลอดภัยของข้อมูล ระบบการจัดการฐานข้อมูลจะสร้าง ระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูล โดยการกำหนดรายชื่อผู้มีสิทธิ์เข้าใช้ระบบ และความสามารถในการใช้ระบบ เช่น การอ่าน เพิ่ม ลบ หรือแก้ไขเปลี่ยนแปลงข้อมูล การจัดการระบบความปลอดภัยของข้อมูลมีความสำคัญมากในระบบฐานข้อมูลแบบที่มีผู้ใช้หลายคน
- 4) การควบคุมการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้หลายคน ระบบการจัดการฐานข้อมูลจะใช้หลักการออกแบบโปรแกรมที่เหมาะสม เพื่อให้แน่ใจว่าผู้ใช้หลายคนสามารถเข้าใช้ฐานข้อมูลพร้อมกันได้ และข้อมูลมีความถูกต้อง
- 5) การเก็บสำรองและกู้คืนข้อมูล ระบบการจัดการฐานข้อมูลจะมีโปรแกรมเพื่อสนับสนุนการสำรองและกู้คืนข้อมูล เพื่อให้แน่ใจว่าความปลอดภัยและความมั่นคงของข้อมูลในระบบ ระบบการจัดการฐานข้อมูลจะกู้ข้อมูลในฐานข้อมูลคืนมาหลังจากระบบเกิดความล้มเหลว เช่น เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าขัดข้อง เป็นต้น
- 6) การควบคุมความถูกต้องของข้อมูล ระบบการจัดการฐานข้อมูลจะสนับสนุนและควบคุมความถูกต้องของข้อมูล ตั้งแต่ลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล ไปจนถึงความไม่สอดคล้องกันของข้อมูล ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลจะถูกนำมาใช้ในการควบคุมความถูกต้องของข้อมูลด้วย
- 7) ภาษาที่ใช้ในการเข้าถึงฐานข้อมูล และการเชื่อมต่อกับโปรแกรมประยุกต์ ระบบการจัดการฐานข้อมูลสนับสนุน การเข้าถึงข้อมูลโดยผ่านภาษาคิวรี (Query language) ซึ่งเป็นคำสั่งที่ใช้ในการค้นหาข้อมูลจากฐานข้อมูล โดยผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องรู้ขั้นตอนในการใช้งาน เพราะระบบการจัดการฐานข้อมูล จะเป็นผู้กำหนดวิธีการในการเข้าถึงข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพเอง
- 8) การติดต่อสื่อสารกับฐานข้อมูล ระบบการจัดการฐานข้อมูลที่ทันสมัยจะต้องสนับสนุนการใช้งานฐานข้อมูลผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 ภาษาที่ใช้ในการแสดงผลหน้าเว็บเบราว์เซอร์

ประกอบด้วยภาษา HTML, JavaScript และ PHP ซึ่งเป็นกลุ่มภาษาหลักที่ใช้ในการพัฒนา และสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้งานผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์

1) HTML (Hypertext Markup Language) เป็นภาษามาร์กอัปหลักในปัจจุบันที่ใช้ในการสร้างเว็บเพจ หรือข้อมูลอื่นที่เรียกดูผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ ซึ่งตัวโค้ดจะแสดงโครงสร้างของข้อมูล ในการแสดงหัวข้อ ลิงค์ ย่อหน้า รายการ รวมถึงการสร้างแบบฟอร์ม เชื่อมโยงภาพ หรือวิดีโอด้วย เอชทีเอ็มแอลเริ่มพัฒนาโดย ทิม เบอร์เนอร์ส ลี (Tim Berners Lee) สำหรับภาษา SGML ในปัจจุบัน HTML เป็นมาตรฐานหนึ่งของ ISO ซึ่งจัดการโดย World Wide Web Consortium (W3C) ในปัจจุบันทาง W3C ผลักดันรูปแบบของ HTML แบบใหม่ที่เรียกว่า XHTML ซึ่งเป็นลักษณะของโครงสร้าง XML แบบหนึ่งที่มีหลักเกณฑ์ในการกำหนดโครงสร้างของโปรแกรมที่มีรูปแบบที่มาตรฐานกว่ามาทดแทนใช้ HTML รุ่น 4.01 ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

2) จาวาสคริปต์ (JavaScript) เป็นภาษาสคริปต์ ที่มีลักษณะการเขียนแบบโปรโตไทป์ (Prototyped-based Programming) ส่วนมากใช้ในหน้าเว็บเพื่อประมวลผลข้อมูลที่ฝั่งของผู้ใช้งาน แต่ก็ยังมีใช้เพื่อเพิ่มความสามารถในการเขียนสคริปต์โดยฝังอยู่ในโปรแกรมอื่น ๆ เริ่มพัฒนาโดย Brendan Eich พนักงานบริษัทเน็ตสเคป โดยขณะนั้นจาวาสคริปต์ใช้ชื่อว่า โมคา และภายหลังได้เปลี่ยนชื่อมาเป็น โลฟส์คริปต์ และเป็นจาวาสคริปต์ในปัจจุบัน รูปแบบการเขียนภาษาที่ใช้คล้ายคลึงกับภาษาซี รุ่นล่าสุดของจาวาสคริปต์คือ 2.0 ซึ่งตรงกับมาตรฐานของ ECMAScript จาวาสคริปต์ เป็นภาษาในรูปแบบของภาษาโปรแกรมแบบโปรโตไทป์ โดยมีโครงสร้างของภาษาและไวยากรณ์อยู่บนพื้นฐานของภาษาซี ปัจจุบันมีการใช้จาวาสคริปต์ที่ฝังอยู่ในเว็บเบราว์เซอร์ในหลายรูปแบบ เช่น ใช้เพื่อสร้างเนื้อหาที่เปลี่ยนแปลงเสมอภายในเว็บเพจ, ใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ผู้ใช้กรอกก่อนนำเข้าสู่ระบบ, ใช้เพื่อเข้าถึงข้อมูลที่อยู่ภายใต้โครงสร้างแบบ Document Object Model (DOM) เป็นต้น นอกจากนี้จาวาสคริปต์ยังถูกฝังอยู่ในแอปพลิเคชันต่าง ๆ นอกเหนือจากเว็บเบราว์เซอร์ได้อีกด้วย เช่น widget ของ ยาฮู! เป็นต้น โดยรวมแล้วจาวาสคริปต์ถูกใช้เพื่อให้นักพัฒนาโปรแกรม สามารถเขียนสคริปต์เพื่อสร้างคุณสมบัติพิเศษต่าง ๆ เพิ่มเติมจากที่มีอยู่บนแอปพลิเคชันดั้งเดิม โปรแกรมใด ๆ ที่สนับสนุนจาวาสคริปต์จะมีตัวขับเคลื่อนจาวาสคริปต์

(JavaScript Engine) ของตัวเอง เพื่อเรียกใช้งานโครงสร้างเชิงวัตถุของโปรแกรมหรือแอปพลิเคชันนั้น

- 3) พีเอชพี (PHP) คือ ภาษาคอมพิวเตอร์ในลักษณะเซิร์ฟเวอร์-ไซด์ ภาษาพีเอชพีใช้สำหรับจัดทำเว็บไซต์ และแสดงผลออกมาในรูปแบบ HTML โดยมีรากฐานโครงสร้างคำสั่งมาจากภาษา ภาษาซี ภาษาจาวา และภาษาเพิร์ล ซึ่ง ภาษาพีเอชพี นั้นง่ายต่อการเรียนรู้ ซึ่งเป้าหมายหลักของภาษานี้ คือให้นักพัฒนาเว็บไซต์สามารถเขียน เว็บเพจ ที่มีความตอบโต้ได้อย่างรวดเร็ว การแสดงผลของพีเอชพี จะปรากฏในลักษณะ HTML ซึ่งจะไม่แสดงคำสั่งที่ผู้ใช้เขียน ซึ่งเป็นลักษณะเด่นที่พีเอชพีแตกต่างจากภาษาในลักษณะไคลเอนต์-ไซด์ สคริปต์ เช่น ภาษาจาวาสคริปต์ ที่ผู้ชมเว็บไซต์สามารถอ่านดูและคัดลอกคำสั่งไปใช้เองได้ นอกจากนี้พีเอชพียังเป็นภาษาที่เรียนรู้และเริ่มต้นได้ไม่ยาก ความสามารถในการประมวลผลหลักของพีเอชพี ได้แก่ การสร้างเนื้อหาอัตโนมัติจัดการคำสั่ง การอ่านข้อมูลจากผู้ใช้และประมวลผล การอ่านข้อมูลจากฐานข้อมูล ความสามารถจัดการกับคูกี้ ซึ่งทำงานเช่นเดียวกับโปรแกรมในลักษณะ CGI คุณสมบัติอื่น เช่น การประมวลผลตามบรรทัดคำสั่ง (command line scripting) ทำให้ผู้เขียนโปรแกรมสร้างสคริปต์พีเอชพี ทำงานผ่านพีเอชพี พาร์เซอร์ (PHP parser) โดยไม่ต้องผ่านเซิร์ฟเวอร์หรือเบราว์เซอร์ พีเอชพีสามารถทำงานร่วมกับฐานข้อมูลได้หลายชนิด ซึ่งฐานข้อมูลส่วนหนึ่งที่รองรับได้แก่ ออราเคิล, dBase, PostgreSQL, IBM DB2, MySQL, Informix ODBC โดยโครงสร้างของฐานข้อมูลแบบ DBX จะทำให้พีเอชพีใช้กับฐานข้อมูลใดก็ได้ที่รองรับรูปแบบนี้ และ PHP ยังรองรับ ODBC (Open Database Connection) ซึ่งเป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อฐานข้อมูลที่ใช้กันแพร่หลายอีกด้วย

2.2.4 การเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต [6]

อินเทอร์เน็ต คือ เครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกันเป็นจำนวนมากครอบคลุมทั่วทั้งโลก โดยอาศัยโครงสร้างระบบสื่อสารโทรคมนาคมเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนข้อมูล มีการประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ อินเทอร์เน็ตเป็นทั้งเครือข่ายของคอมพิวเตอร์ และเครือข่ายของเครือข่าย เพราะอินเทอร์เน็ตประกอบด้วยเครือข่ายย่อยเป็นจำนวนมาก ต่อเชื่อมเข้าด้วยกันภายใต้มาตรฐานเดียวกันจนเป็นเครือข่ายขนาดใหญ่ อินเทอร์เน็ตเป็นเครือข่ายสาธารณะที่ไม่มีผู้ใดเป็นเจ้าของ ทำให้การเข้าสู่เครือข่ายเป็นไปได้อย่างเสรี

การเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ตจะเข้าสู่อินเทอร์เน็ต โดยผ่านทางระบบเครือข่ายของสำนักงาน บริษัท หรือสถานศึกษา ซึ่งจะเชื่อมต่อกับผู้ให้บริการ ISP (Internet Service Provider) ซึ่ง ISP เป็นชื่อหน่วยงานที่ให้บริการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หรือเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทั่วโลก ในปัจจุบันประเทศไทยมีผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตอยู่ด้วยกัน 2 ประเภทคือ หน่วยงานราชการหรือสถาบันการศึกษา กับบริษัทผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตเชิงพาณิชย์ การเชื่อมต่อกับผู้ให้บริการ ISP ผู้ใช้บริการทั่วไปตามบ้านพักหรือที่อยู่อาศัย จะเชื่อมต่อกับผู้ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตความเร็วสูง หรือ ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) ซึ่งผู้ให้บริการจะให้หมายเลข IP หรือหมายเลขประจำตัวกับผู้ใช้บริการอินเทอร์เน็ต เพื่อใช้ระบุตัวตนในเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งหมายเลข IP จะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยขึ้นอยู่กับผู้ให้บริการ ISP จึงทำให้การใช้งานเป็นเซิร์ฟเวอร์เพื่อให้บริการข้อมูล ไม่สามารถทำได้ ดังนั้นจะต้องสมัครใช้บริการคงหมายเลข IP กับผู้ให้บริการ ISP เพื่อคงหมายเลข IP ไว้ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม

2.3 อุปกรณ์ที่เลือกใช้

อุปกรณ์ที่เลือกใช้งานประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 ใช้สำหรับควบคุมการทำงานและเป็นโมดูลในการติดต่อสื่อสารไร้สาย คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Raspberry Pi ใช้เป็นฐานข้อมูลและเซิร์ฟเวอร์ และไอซี ACS712 กับไอซี ADE7763 ใช้สำหรับอ่านค่ากระแสไฟฟ้า

2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1

ไมโครคอนโทรลเลอร์ [7] คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งมีความสามารถคล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญเข้าไว้ด้วยกัน

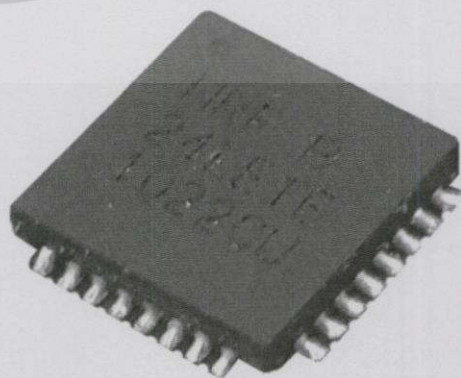
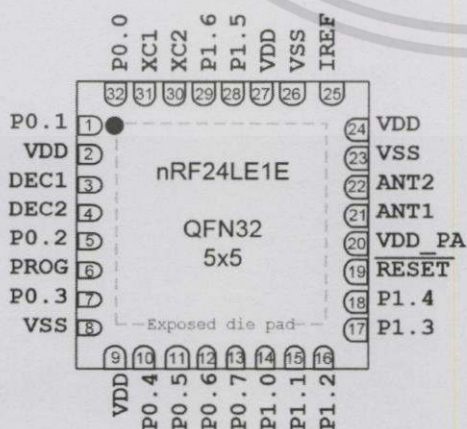
โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วน คือ

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit) ทำหน้าที่เหมือนสมองของไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ประมวลผลการทำงาน
2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือ ข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำจะไม่สูญหายแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดานจดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน หากไม่มีไฟเลี้ยงข้อมูลจะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์หน่วยความจำข้อมูลจะมี หน่วยความจำแรมซึ่งข้อมูล

จะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และหน่วยความจำอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

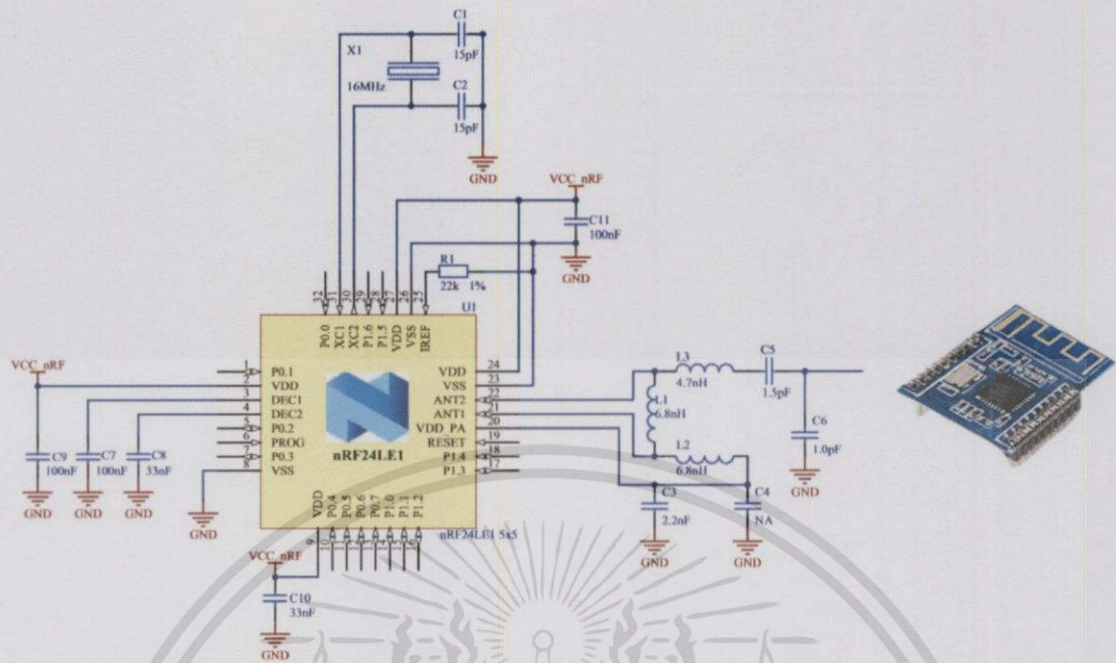
3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกหรือพอร์ต มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต ใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อรับสัญญาณอาจจะด้วยการกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น
4. ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (BUS) คือ เส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus), บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)
5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้น ส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

ในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 [8] ของบริษัท Nordic Semiconductor ดังรูปที่ 2.10 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถในด้านการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย ที่มีความถี่สัญญาณวิทยุ 2.4 GHz ซึ่งมีความสามารถในการจัดการการใช้พลังงานทำให้กินกระแสไฟสูงสุด 14mA ในขณะที่รับ-ส่งข้อมูล และมีความสามารถในการตรวจสอบการสูญหายของข้อมูลในขณะที่ติดต่อสื่อสารแบบไร้สาย อีกทั้งไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 ยังมีฟังก์ชันการทำงาน เช่น โมดูลเชื่อมต่ออนุกรม Serial Peripheral Interface (SPI), โมดูล 2-wire Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART), โมดูลแปลงสัญญาณ Analog to Digital Converter (ADC), โมดูล Pulse Width Modulation (PWM)



รูปที่ 2.10 พอร์ตการเชื่อมต่อ และไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 วงจร และโมดูลไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1

ไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายได้แก่

- 1) อุปกรณ์ต่อพ่วงเกี่ยวกับคอมพิวเตอร์ เช่น เม้าส์ คีย์บอร์ด รีโมทคอนโทรล
- 2) อุปกรณ์ในการควบคุมระยะไกล เช่น เครื่องใช้ภายในบ้าน
- 3) อุปกรณ์ในการติดตามและตรวจสอบ เช่น อุปกรณ์เครือข่ายอุปกรณ์ตรวจรู้ อุปกรณ์ที่ใช้งานเกี่ยวข้องกับ RFID
- 4) อุปกรณ์ในระบบรักษาความปลอดภัย เช่น อุปกรณ์แจ้งเตือน
- 5) อุปกรณ์เกี่ยวกับสุขภาพและการออกกำลังกาย ของเล่น และรีโมทคอนโทรล

ไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 ใช้คลื่นความถี่ 2.4 GHz ในการรับ-ส่งข้อมูลโดยมีโปรโตคอลที่ใช้รับ-ส่งข้อมูลคือ Enhanced ShockBurst โมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สายได้ออกแบบให้มีช่วงความถี่ใช้งานที่ 2.4000-2.4835 GHz โดยมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลตั้งแต่ 250 kbps, 1 Mbps และ 2 Mbps สามารถตั้งค่าการใช้งานได้ที่รีจิสเตอร์ EN_AA เพื่อเปิดการใช้งานตอบกลับข้อมูลอัตโนมัติ RF_CH เพื่อเลือกความถี่ในการใช้งาน RF_SETUP เพื่อเลือกตั้งค่าความเร็วและกำลังในการรับ-ส่งข้อมูล และ CONFIG เพื่อตั้งค่าอินเตอร์รัพท์โมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย

2.3.1.1 Enhanced ShockBurst™ [9]

Enhanced ShockBurst เป็นโปรโตคอลที่ใช้ในการจัดการแพ็คเกจ และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในขณะรับ-ส่ง อีกทั้งยังจัดการกับความเสียหายของข้อมูลที่เกิดขึ้นขณะรับ-ส่ง โดยจะทำการรับ-ส่งข้อมูลใหม่อีกครั้งเมื่อตรวจสอบพบว่าข้อมูลเกิดความเสียหาย และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

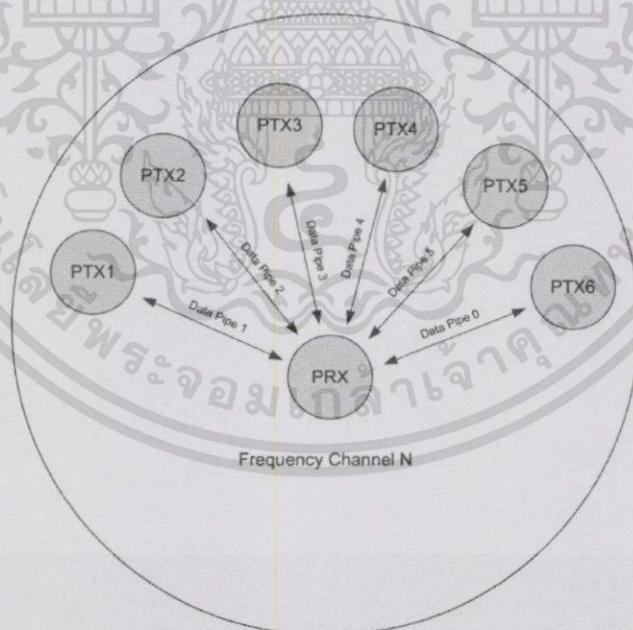
Enhanced ShockBurst ยังช่วยในการจัดการการใช้พลังงาน เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานมากที่สุด

คุณสมบัติหลักของโปรโตคอล Enhanced ShockBurst

- 1) มีขนาดข้อมูลตั้งแต่ 1-32 ไบต์ ซึ่งสามารถเลือกกำหนดได้ตามความต้องการ
- 2) สามารถจัดการแพ็คเกจข้อมูลได้โดยอัตโนมัติ
- 3) ตอบสนองการรับ-ส่งข้อมูลได้โดยอัตโนมัติ และจัดส่งข้อมูลใหม่อีกครั้งโดยอัตโนมัติ เมื่อมีการสูญหายของข้อมูล
- 4) ติดต่อกันในลักษณะเครือข่ายสตาร์ (Star Topology) แบบ 1 : 6

2.3.1.2 MultiCeiver™ [10]

MultiCeiver เป็นคุณสมบัติที่มีในไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 ซึ่งประกอบด้วย Data Pipe 6 ช่องที่มีหมายเลขประจำตัวที่แตกต่างกัน ทำให้โมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สายสามารถรับข้อมูลได้จากตัวส่งที่มีหมายเลขประจำตัวที่แตกต่างกันได้ถึง 6 ตัว โดยจะทำงานได้เพียงช่องเดียว ณ เวลาหนึ่ง ๆ โดยตั้งค่าการใช้งานได้ที่รีจิสเตอร์ EN_RXADDR เพื่อเปิดใช้งาน Data Pipe และ RX_ADDR_PX เพื่อตั้งหมายเลขประจำตัวของ Data Pipe



รูปที่ 2.12 โครงสร้างการรับ-ส่งข้อมูลผ่าน MultiCeiver

2.3.1.3 Power down control [11]

เป็นคุณสมบัติที่มีอยู่ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 เพื่อตั้งค่าให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่โหมดประหยัดพลังงาน โดยตั้งค่าที่รีจิสเตอร์ PWRDWN มีรูปแบบการประหยัดพลังงาน 5 รูปแบบ คือ Deep Sleep, Memory retention timer off, Memory retention timer on, Memory retention, Standby และสามารถเลือกออกจะโหมดประหยัดพลังงานได้ 3 รูปแบบ คือ จากสัญญาณวิทยุ, จากสัญญาณนาฬิกา และจากพอร์ต โดยตั้งค่าที่รีจิสเตอร์ WUCON ในโหมดประหยัดพลังงานไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 จะมีอัตราการบริโภคพลังงานดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราการบริโภคพลังงานของฟังก์ชันต่าง ๆ

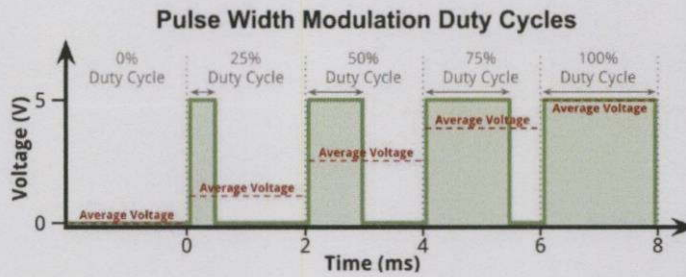
| ฟังก์ชัน | อัตราการบริโภคพลังงาน |
|----------------------------|-----------------------|
| Deep Sleep | 0.5 uA |
| Memory retention timer off | 1.0 uA |
| Memory retention timer on | 1.6 uA |
| Memory retention | 1.8 uA |
| Standby | 1.0 mA |

2.3.1.4 Pulse-Width Modulation [12]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 มีโมดูล Pulse-Width Modulation (PWM) สองโมดูล โดยทั้งสองโมดูลจะใช้งานความถี่ในการทำงานร่วมกัน แต่สามารถมีดิวตี้ไซเคิลที่แตกต่างกันได้ มีความถี่ในการใช้งานตั้งแต่ 4 KHz จนถึง 245 KHz รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการตั้งค่าความถี่คือ PWMCON และรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการตั้งค่าดิวตี้ไซเคิลคือ PWMDC0 และ PWMDC1

การมอดูเลตขั้นสัญญาณ PWM จะเป็นการเปลี่ยนความกว้างของสัญญาณพัลส์หรือค่าของดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) โดยความถี่ของสัญญาณพัลส์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งค่าของดิวตี้ไซเคิลคือช่วงความกว้างของพัลส์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์จากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ซึ่งค่าดิวตี้ไซเคิลสามารถหาได้จากค่าความสัมพันธ์ดังนี้

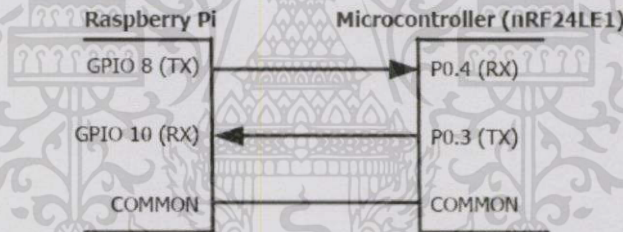
$$\text{ค่าดิวตี้ไซเคิล} = \frac{\text{ช่วงของสัญญาณพัลส์}}{\text{คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ}} \times 100\% \quad (2.1)$$



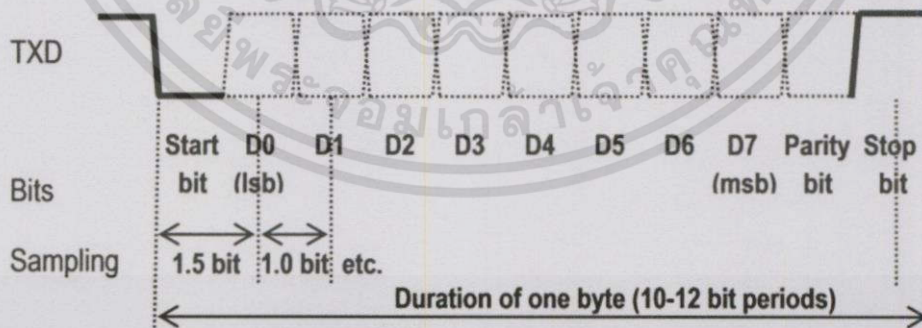
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างความกว้างของพัลส์ที่ตีวตีเซเคิล

2.3.1.5 Universal Asynchronous Receiver Transmitter

Universal Asynchronous Receiver Transmitter (UART) [13] เป็นการรับ-ส่งข้อมูลในรูปแบบอะซิงโครนัส ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการสื่อสารอนุกรม จะรับ-ส่งข้อมูลผ่านสายสัญญาณ TX และ RX ดังรูปที่ 2.14 โดยทั้ง 2 อุปกรณ์จะต้องมีคอมมอนร่วมกัน และมีค่าความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูล (Baud rate) ที่เท่ากัน มีรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการตั้งการทำงานคือ SOCON และ SORELH กับ SORELH เพื่อใช้ตั้งค่าความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลตั้งแต่ 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 และ 38400



รูปที่ 2.14 การเชื่อมต่อรับ-ส่งข้อมูลผ่าน UART



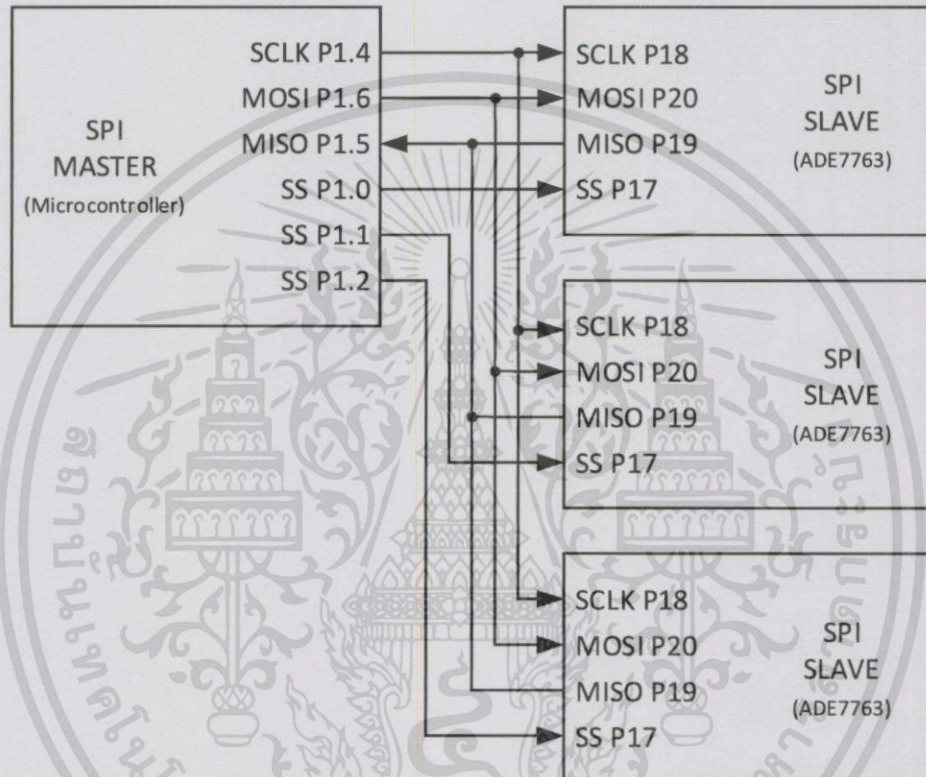
รูปที่ 2.15 รูปแบบการส่งข้อมูลผ่าน UART

2.3.1.6 SPI (Serial Peripheral Interface)

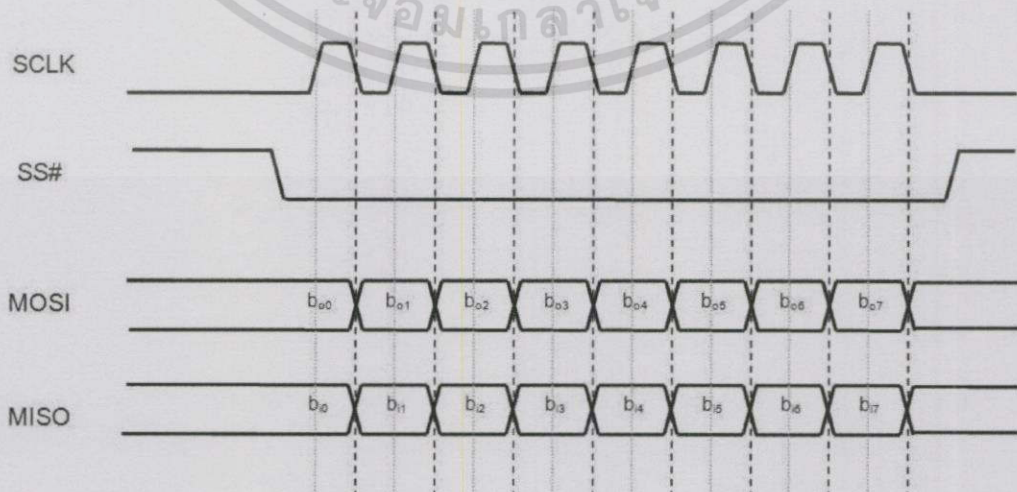
SPI (Serial Peripheral Interface) [14] เป็นการสื่อสารอนุกรม ทำงานในรูปแบบที่ให้อุปกรณ์ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ ในขณะที่อุปกรณ์ตัวอื่น ๆ ทำหน้าที่เป็นสเลฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังรูปที่ 2.16 SPI เป็นการรับ-ส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสในโหมด Full-duplex นั้นหมายความว่า สัญญาณสามารถส่งหากันระหว่างมาสเตอร์ และสเลฟได้อย่างต่อเนื่อง ในการสื่อสารแบบ SPI นี้จะ มาสเตอร์เป็นตัวกำหนดการควบคุมการสื่อสารทั้งหมด โดยควบคุมตามสัญญาณนาฬิกา ตัวมาสเตอร์ จะเป็นตัวที่ตัดสินใจ รับหรือส่งข้อมูลกับสเลฟ การรับ-ส่งข้อมูลผ่าน SPI ประกอบด้วยสายสัญญาณ สี่เส้นคือ SCLK ฐานเวลา, MOSI มาสเตอร์เอาต์พุตสเลฟอินพุต, MISO มาสเตอร์อินพุตสเลฟเอาต์พุต, SS สเลฟที่เลือกติดต่อกัน และมีรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการตั้งการทำงานคือ SPIMCON0



รูปที่ 2.16 การเชื่อมต่อรับ-ส่งข้อมูลผ่าน SPI



รูปที่ 2.17 รูปแบบการส่งข้อมูลผ่าน SPI

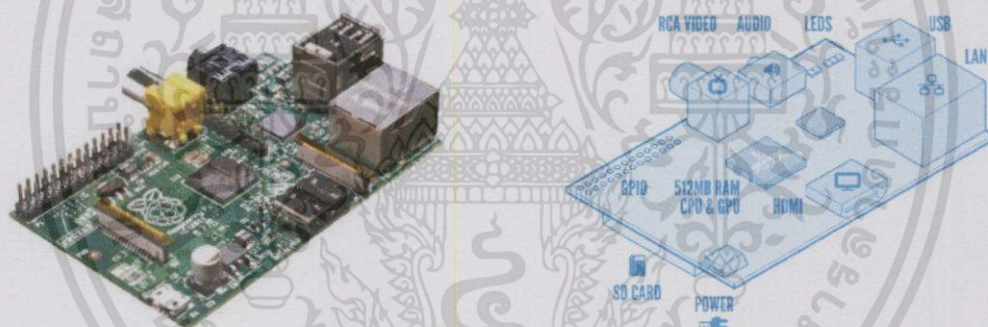
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Raspberry Pi

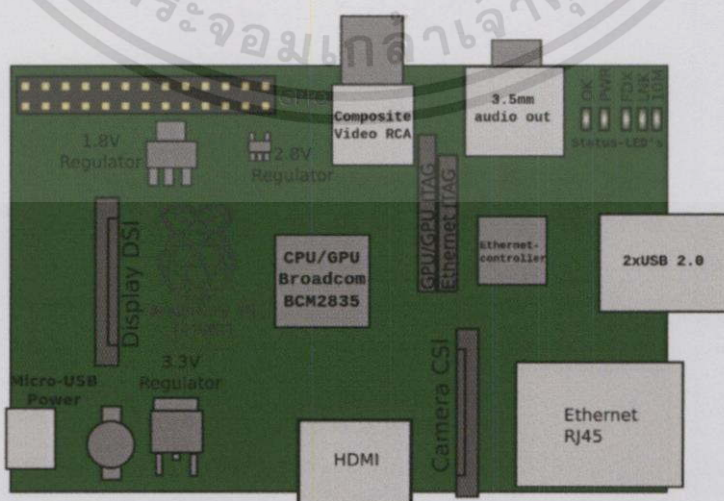
Raspberry Pi คือคอมพิวเตอร์บอร์ดเดียว (Single Board Computer) ดังรูปที่ 2.18 พัฒนาโดยทีมของ Raspberry Pi Foundation สหรัฐอเมริกา วิศวกรผู้สร้างคือ Eben Christopher Upton เดิมสร้างมาเพื่อสอนในสาขา Computer Science โดยสร้างขึ้นให้ทำงานในภาษาไพธอนเป็นภาษาหลักในการควบคุม Raspberry Pi นอกจากนั้นยังเขียนภาษาอื่นเพื่อสั่งการทำงานได้ เช่น ภาษาเบสิก, ภาษาซี, ภาษา Perl ได้อีกด้วย โดยระบบปฏิบัติการจะติดตั้งลง SD Card มีช่อง USB และช่องเสียบ LAN โดยมีส่วนประกอบดังรูปที่ 2.19

ระบบปฏิบัติการที่ใช้งานสำหรับ Raspberry Pi เป็นระบบปฏิบัติการ Linux ที่สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ผ่าน GPIO (General Purpose Input Output) ซึ่งทำให้สามารถพัฒนางานได้อย่างไม่จำกัด เช่น การเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ทำงานติดต่อเว็บฐานข้อมูล หรืออื่น ๆ อีกมากมาย

ในปริญญานิพนธ์นี้เลือกใช้ Raspberry Pi มาทำเป็นเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลจากโมดูล nRF24LE1 ผ่านทาง UART โดย Raspberry Pi จะเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อรับการควบคุมผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



รูปที่ 2.18 บอร์ด Raspberry Pi รุ่น B



รูปที่ 2.19 ส่วนประกอบของ Raspberry Pi รุ่น B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.1 ระบบปฏิบัติการของ Raspberry Pi

ระบบปฏิบัติการ [15] มีหน้าที่หลัก ๆ คือ การจัดสรรทรัพยากรเพื่อให้บริการซอฟต์แวร์ประยุกต์ ในการรับ-ส่งและจัดเก็บข้อมูลกับฮาร์ดแวร์ เช่น การส่งข้อมูลภาพไปแสดงผลที่จอภาพ การส่งข้อมูลไปเก็บหรืออ่านจากฮาร์ดดิสก์ การรับ-ส่งข้อมูลในระบบเครือข่าย การส่งสัญญาณเสียงไปออกลำโพง หรือจัดสรรพื้นที่ในหน่วยความจำ ตามที่ซอฟต์แวร์ประยุกต์ร้องขอ รวมทั้งทำหน้าที่จัดสรรเวลาการใช้หน่วยประมวลผลกลาง ในกรณีที่อนุญาตให้ซอฟต์แวร์ประยุกต์หลาย ๆ ตัวทำงานพร้อม ๆ กัน ระบบปฏิบัติการจะช่วยให้ตัวซอฟต์แวร์ประยุกต์ไม่ต้องจัดการเรื่องเหล่านั้นด้วยตนเองเพียงแคเรียกใช้บริการจากระบบปฏิบัติการ ทำให้พัฒนาซอฟต์แวร์ประยุกต์ได้ง่ายขึ้นซึ่งใน Raspberry Pi นั้นได้มีระบบปฏิบัติการที่รองรับเป็นจำนวนมาก เช่น Arch Linux ARM, Debian GNU/Linux, Gentoo, Fedora, FreeBSD, NetBSD, Plan 9, Raspbian OS, RISC OS, Slackware Linux ซึ่งในปฏิญญาสิทธิบัตรนี้ได้เลือกใช้ระบบปฏิบัติการ Debian GNU/Linux เนื่องจากเป็นระบบปฏิบัติการที่นิยม และมีการใช้งานเป็นจำนวนมากทำให้สามารถสืบค้นข้อมูลการใช้งานได้ง่าย

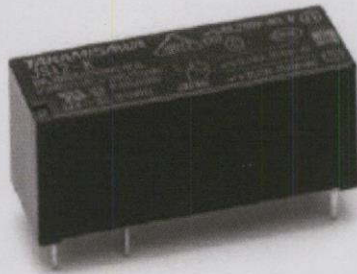
2.3.3 แลชชิงรีเลย์

แลชชิงรีเลย์ (Latching Relay) [16] ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ใช้ในการตัด-ต่อวงจร ซึ่งมีหน้าสัมผัสที่สามารถเคลื่อนไหวได้ โดยจะเปลี่ยนสถานะการทำงานเมื่อขดลวดเหนี่ยวนำถูกกระตุ้น การทำงานของหน้าสัมผัสจะแตกต่างจากรีเลย์ทั่วไปคือหน้าสัมผัสจะไม่กลับสู่สถานะเดิม เมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ขดลวด กล่าวคือหน้าสัมผัสจะคงสถานะการทำงานไว้และจะกลับสู่สถานะเดิมได้ก็ต่อเมื่อมีการกระตุ้นขดลวดในเงื่อนไขอื่นแทน

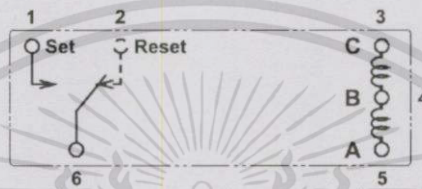
ในปฏิญญาสิทธิบัตรฉบับนี้ได้เลือกใช้แลชชิงรีเลย์ชนิดขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ชุด ดังรูปที่ 2.20 จากรูปที่ 2.21 แลชชิงรีเลย์จะประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ชุด คือ ชุด AB และชุด BC โดยมีขา B เป็นจุดคอมมอน ถ้าต้องการเซต (Set) การทำงานต้องป้อนไฟบวก (+) ที่ขา A และไฟลบ (-) ที่ขา B ในทางตรงกันข้าม ถ้าต้องการรีเซต (Reset) ต้องป้อนไฟบวก (+) ที่ขา C และไฟลบ (-) ที่ขา B ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การต่อขาใช้งานแลชชิงรีเลย์

| Version | 2 coil | | |
|------------------------|--------|---|------|
| Coil Terminal Division | A | B | C |
| Set | + | - | None |
| Reset | None | - | + |



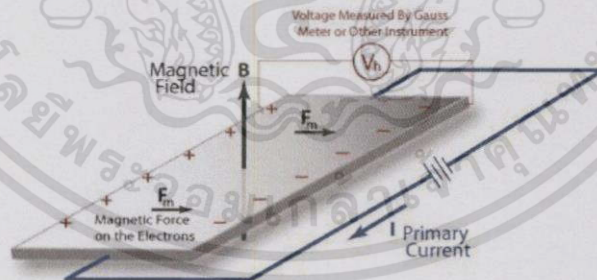
รูปที่ 2.20 แลชชิงรีเลย์



รูปที่ 2.21 โครงสร้างของแลชชิงรีเลย์

2.3.4 ไอซี ACS712

ไอซี ACS712 เป็นไอซีวัดกระแสไฟฟ้าโดยใช้ฮอลล์เซนเซอร์ (Hall Sensor) [17] ซึ่งอาศัยหลักการของฮอลล์เอฟเฟกต์ จากรูปที่ 2.22 เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ขดลวดเรียกว่า แม่เหล็กไฟฟ้า ฮอลล์เซนเซอร์จะวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น ทำให้ทราบค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวด



รูปที่ 2.22 หลักการของฮอลล์เอฟเฟกต์

สมการหา Hall Voltage

$$V_h = R \left(\frac{I}{t} \times B \right) \quad (2.2)$$

V_h คือ Hall Voltage หน่วย Volts

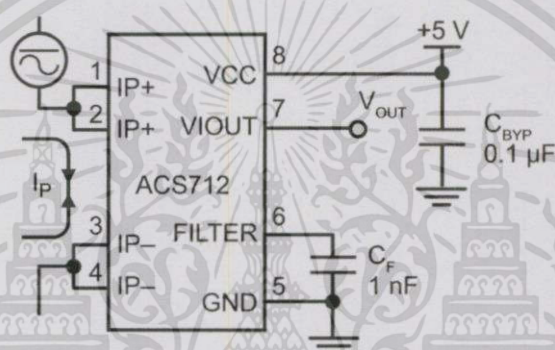
R คือ Hall Effect co-efficient

I คือ กระแสที่ไหลผ่านไอซี หน่วย Amps

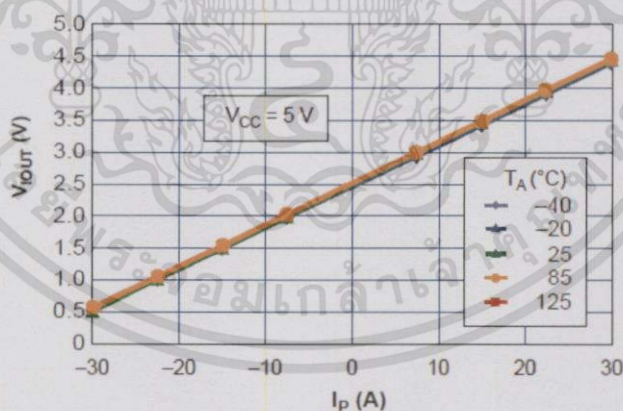
t คือ ความหนาของแผ่นอุปกรณ์ตรวจรู้ที่อยู่ภายในไอซี หน่วย mm

B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก หน่วย Teslas

กระแสไฟฟ้าที่วัดได้สามารถดูได้จากค่าแรงดันเอาต์พุต V_{OUT} ที่ขา VIOUT ดังรูปที่ 2.23 โดยสภาวะที่ไม่มีกระแสไหลผ่าน แรงแรงดันเอาต์พุตจะอยู่ที่ $\frac{V_{CC}}{2}$ โวลต์ ซึ่งแรงดันเอาต์พุตจะแปรผันตรงกับกระแสไหลที่เพิ่มขึ้นโดยมีค่าอยู่ในช่วง 0-VCC โวลต์ดังรูปที่ 2.24



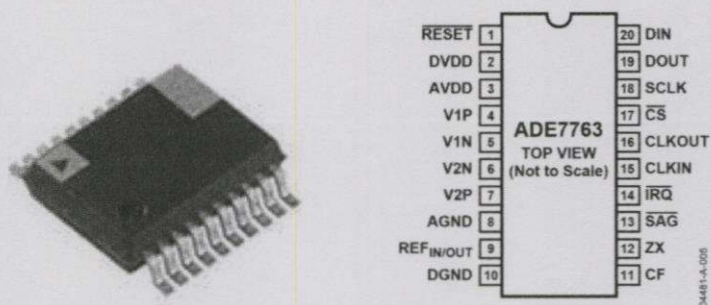
รูปที่ 2.23 ตัวอย่างการต่อขาใช้งานไอซี ACS712



รูปที่ 2.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์กระแสและเอาต์พุตของไอซี ACS712

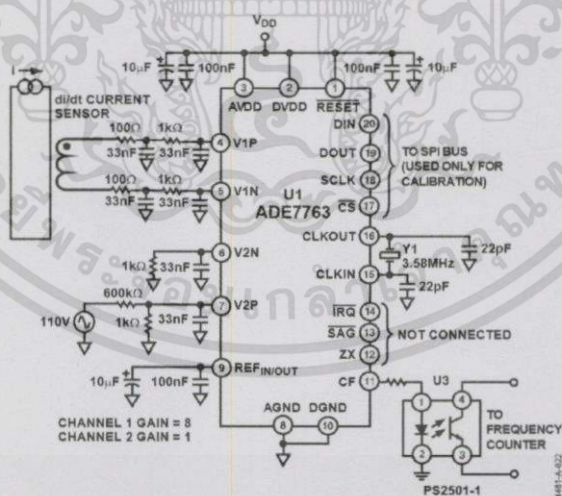
2.3.5 ไอซี ADE7763

ไอซี ADE7763 [18] ดังรูปที่ 2.25 เป็นไอซีที่มีความสามารถในการวัดและคำนวณการใช้พลังงาน เช่น กำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้าปรากฏ เอาต์พุตที่ได้จากไอซีจะเป็นค่าดิจิทัลโดยเชื่อมต่อผ่านพอร์ตอนุกรม SPI (Serial Peripheral Interface) เพื่อเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.25 ไอซี ADE7763 และพอร์ตการเชื่อมต่อ

ไอซี ADE7763 มีอินพุตที่ใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า (Current Channel) และวัดแรงดันไฟฟ้า (Voltage Channel) ซึ่งอินพุตทั้งสองช่องนี้รับค่าแรงดันไฟฟ้าได้มากที่สุดไม่เกิน ± 0.5 VRMS สัญญาณอินพุตจะเข้าสู่ตัวขยายสัญญาณ (Amplifier) และผ่านตัวแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอล (A to D) และเข้าสู่ตัวกรองความถี่สูง (High Pass Filter) เพื่อตัดสัญญาณรบกวนต่าง ๆ ออก และเมื่อสัญญาณผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator) สัญญาณจะแบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนที่หนึ่ง จะนำไปคูณกับแรงดันไฟฟ้า และเก็บในรีจิสเตอร์เป็นกำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) มีหน่วยเป็นวัตต์ ดังนั้นค่าในรีจิสเตอร์จึงเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าจริง (Active Energy) ส่วนสัญญาณที่สอง นั้นจะนำมาคำนวณเป็นค่ารากของกำลังสองเฉลี่ย (IRMS) ก่อนที่จะนำมาคูณกับแรงดันไฟฟ้า (VRMS) ผลที่ได้เก็บลงรีจิสเตอร์เป็นกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) มีหน่วยเป็น VA (Volt-Amp) ตัวอย่างการต่อใช้งานสามารถดูได้ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างการต่อใช้งานไอซี ADE7763

2.3.6 IR Emitting Diode, IR Receiver

หลอดอินฟราเรด (IR Emitting Diode) [19] รุ่น TSAL7400 และตัวรับสัญญาณอินฟราเรด (IR Receiver) [20] รุ่น TSOP4838 ดังแสดงในรูปที่ 2.27 และ 2.28 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดอินฟราเรดใช้ในการส่งการเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านสัญญาณอินฟราเรด โดยใน
 ปรินูญาพนธ์นี้ได้เลือกใช้หลอดอินฟราเรดแบบ Extra high radiant และ Low forward voltage
 โดยมีความยาวคลื่นสูงสุดถึง 940 nm

ตัวรับสัญญาณอินฟราเรด ใช้สำหรับรับสัญญาณอินฟราเรดจากรีโมทคอนโทรล เพื่อนำ
 ข้อมูลที่รับได้ไปสร้างชุดคำสั่งและเก็บลงฐานข้อมูล เพื่อนำไปใช้ส่งการเครื่องใช้ไฟฟ้า



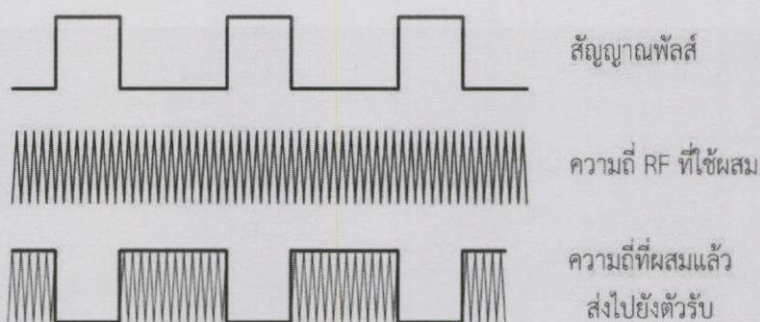
รูปที่ 2.27 สัญลักษณ์ และหลอดอินฟราเรด



รูปที่ 2.28 สัญลักษณ์ และตัวรับสัญญาณอินฟราเรด

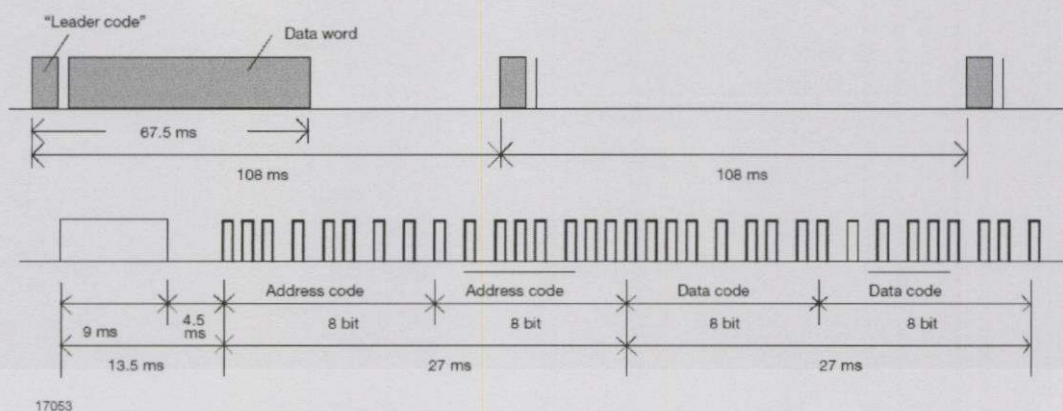
2.3.6.1 รูปแบบการส่งข้อมูลของรีโมทอินฟราเรด

การรับ-ส่งข้อมูลด้วยสัญญาณอินฟราเรด (Infrared: IR) [21] เป็นวิธีการหนึ่ง
 ในการสื่อสารข้อมูลไร้สาย ความถี่ทั่วไปในการส่งข้อมูลของอินฟราเรดอยู่ระหว่าง 30-56 kHz โดย
 วิธีการส่งข้อมูลจะส่งผ่านพาหะดังรูปที่ 2.29 และรูปแบบข้อมูลที่ส่งไปนั้นจะประกอบด้วยส่วนหัว
 (Header) กับชุดข้อมูล (Data) ดังรูปที่ 2.30



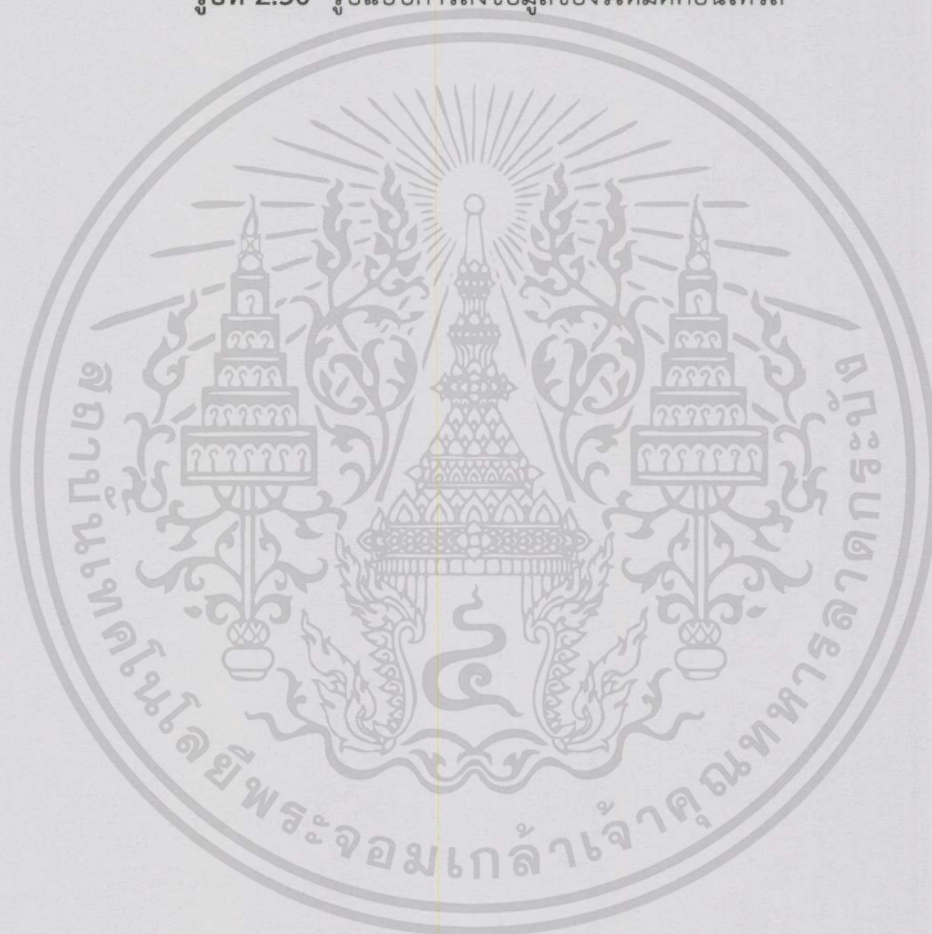
รูปที่ 2.29 ตัวอย่างการส่งข้อมูลร่วมกับพาหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



17053

รูปที่ 2.30 รูปแบบการส่งข้อมูลของรีโมตคอนโทรล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและการทำงานของระบบควบคุมไร้สาย ที่มีส่วนทำงานหลักอยู่ที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 ทำหน้าที่จัดการการเชื่อมต่อระหว่างกล่องควบคุม อีกทั้งยัง แลกเปลี่ยนข้อมูลและสถานะการทำงานกับคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Raspberry Pi ซึ่งทำหน้าที่เป็นเว็บ เซิร์ฟเวอร์และฐานข้อมูล

3.2 แนวคิดในการออกแบบระบบ

แนวคิดในการออกแบบระบบ เพื่อจัดการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย โดยมีกล่อง ควบคุมย่อยที่ทำหน้าที่วัดค่ากระแสไฟฟ้า และควบคุมสถานะการเปิด-ปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และ กล่องควบคุมย่อยที่ทำหน้าที่สั่งการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางสัญญาณอินฟราเรด ดังรูปที่ 3.1 กล่องควบคุมย่อยจะกระจายอยู่ในส่วนต่าง ๆ ที่ต้องการควบคุม เช่น ระบบแสงสว่าง ระบบไฟฟ้า หรือ ระบบปรับอากาศ การควบคุมจะมีกล่องควบคุมหลักที่ทำหน้าที่ค้นหา และเชื่อมต่อกับกล่องควบคุม ย่อย อีกทั้งยังเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลบน Raspberry Pi เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล และสถานะการทำงาน โดยแบ่งการทำงานของกล่องควบคุมออกเป็น 3 รูปแบบ คือ

1. กล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์) ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูล และสถานะการทำงาน อีกทั้งยังทำหน้าที่ค้นหาและเชื่อมต่อกับกล่องควบคุมย่อย
2. กล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1) ทำหน้าที่วัดค่ากระแสไฟฟ้า และควบคุมสถานะการเปิด-ปิด อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า
3. กล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 2) ทำหน้าที่สั่งการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางสัญญาณ อินฟราเรด โดยในปฏิญานิพนธ์นี้ได้ยกตัวอย่างการสั่งการเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ Star-Aire

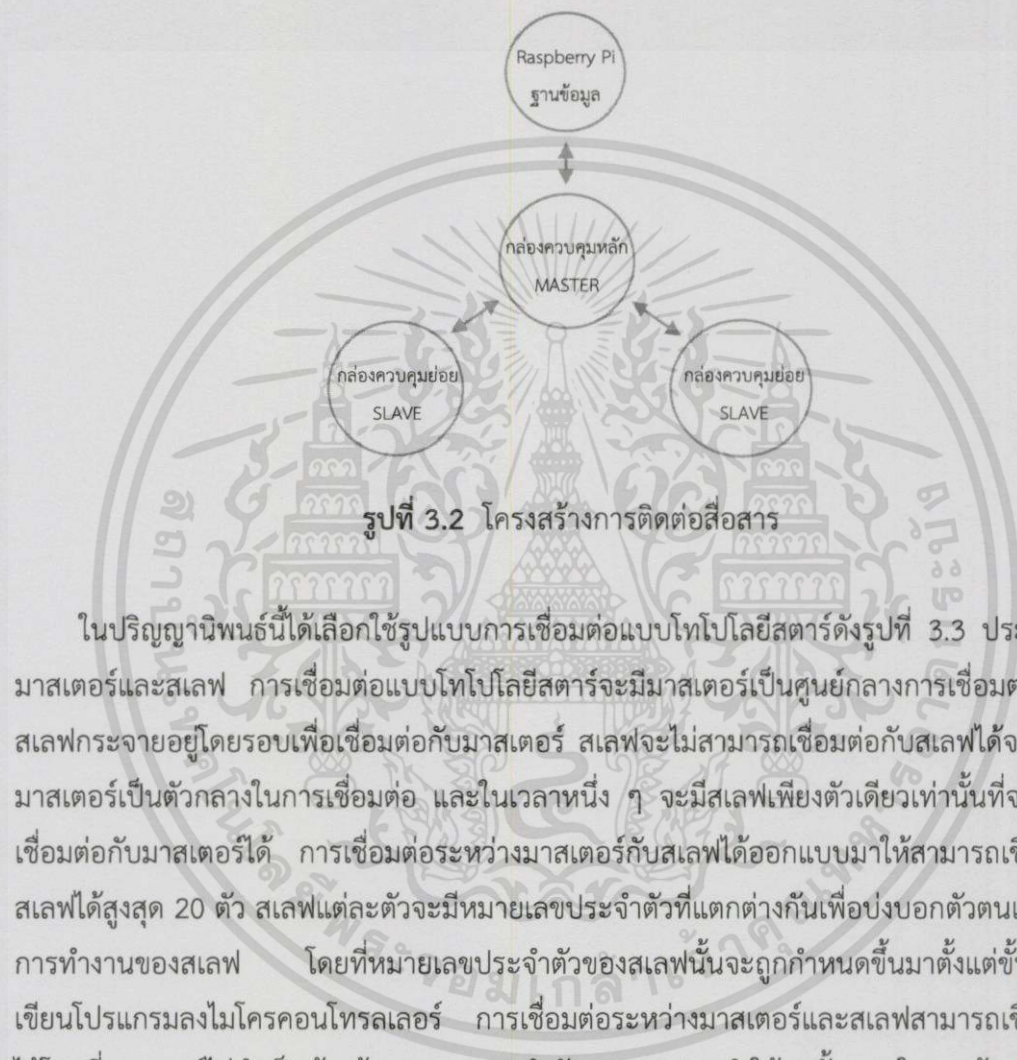


รูปที่ 3.1 แนวคิดในการออกแบบระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

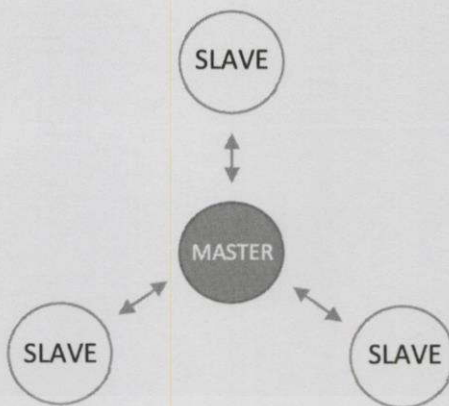
3.3 โครงสร้างการติดต่อสื่อสาร

โครงสร้างการติดต่อสื่อสารจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Raspberry Pi กล้องควบคุมหลัก (มาสเตอร์) กล้องควบคุมย่อย (สเลฟ) โดยมีคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Raspberry Pi ทำหน้าที่ประมวลผลฐานข้อมูลและส่งข้อมูลไปยังมาสเตอร์ เพื่อส่งต่อข้อมูลไปยังสเลฟที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างการติดต่อสื่อสาร

ในปฏิญานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้รูปแบบการเชื่อมต่อแบบโทโพลีสตาร์ดังรูปที่ 3.3 ประกอบด้วย มาสเตอร์และสเลฟ การเชื่อมต่อแบบโทโพลีสตาร์จะมีมาสเตอร์เป็นศูนย์กลางการเชื่อมต่อ และมีสเลฟกระจายอยู่โดยรอบเพื่อเชื่อมต่อกับมาสเตอร์ สเลฟจะไม่สามารถเชื่อมต่อกับสเลฟได้จะต้องผ่านมาสเตอร์เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ และในเวลาหนึ่ง ๆ จะมีสเลฟเพียงตัวเดียวเท่านั้นที่จะสามารถเชื่อมต่อกับมาสเตอร์ได้ การเชื่อมต่อระหว่างมาสเตอร์กับสเลฟได้ออกแบบมาให้สามารถเชื่อมต่อกับสเลฟได้สูงสุด 20 ตัว สเลฟแต่ละตัวจะมีหมายเลขประจำตัวที่แตกต่างกันเพื่อบ่งบอกตัวตนและหน้าที่การทำงานของสเลฟ โดยที่หมายเลขประจำตัวของสเลฟนั้นจะถูกกำหนดขึ้นมาตั้งแต่ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมลงไมโครคอนโทรลเลอร์ การเชื่อมต่อระหว่างมาสเตอร์และสเลฟสามารถเชื่อมต่อกันได้โดยที่มาสเตอร์ไม่จำเป็นต้องรู้หมายเลขประจำตัวของสเลฟ ทำให้ลดขั้นตอนในการค้นหาสเลฟลง แต่มาสเตอร์จะไม่สามารถเข้าควบคุมการทำงานของสเลฟได้ จนกว่ามาสเตอร์จะส่งรหัสในการเข้าควบคุมให้แก่สเลฟ เพื่อป้องกันการควบคุมสเลฟจากมาสเตอร์ที่ไม่ได้รับอนุญาต การเชื่อมต่อระหว่างมาสเตอร์และสเลฟจะมีการตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อทุก ๆ 2 วินาที เพื่อตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อของสเลฟ



รูปที่ 3.3 โครงสร้างการรับ-ส่งข้อมูล

การติดต่อสื่อสารภายในระบบจะมีแบ่งออกเป็นสองรูปแบบ คือ การติดต่อสื่อสารผ่านทางโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย และการติดต่อสื่อสารผ่านทางโมดูลอนุกรม

3.3.1 รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย

การรับ-ส่งข้อมูลจะใช้โมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สายบนไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 เพื่อรับ-ส่งข้อมูลระหว่างกล่องควบคุม ซึ่งขนาดข้อมูลที่สามารถรับ-ส่งผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สายได้มีขนาดสูงสุด 32 ไบต์ ดังนั้นในปริภูมิตำแหน่งนี้จึงได้ออกแบบชุดข้อมูลโดยแบ่งข้อมูลออกเป็นชุด ๆ ดังรูปที่ 3.4 เพื่อสร้างรูปแบบชุดข้อมูลที่จะนำไปใช้งาน การรับ-ส่งข้อมูลผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สายสามารถรับ-ส่งผ่านทาง Data Pipe ได้ถึง 6 ช่องสัญญาณ แต่ ณ ที่นี้จะใช้ Data Pipe 0 เป็นช่องส่งสัญญาณหลัก

| ฟังก์ชันการทำงาน (Function) 1 ไบต์ | ความยาวข้อมูล (Data Width) 1 ไบต์ | ข้อมูล (Data) 30 ไบต์ |
|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|

รูปที่ 3.4 รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย

รูปแบบการส่งข้อมูลจะแบ่งเป็นชุด ๆ ประกอบด้วย

1. ฟังก์ชันการทำงานขนาด 1 ไบต์ เป็นไบต์บอกหน้าที่ในการทำงาน ประกอบด้วย 14 รูปแบบ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ฟังก์ชันของข้อมูลที่รับ-ส่งผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย

| Function | Value | Description |
|------------------------|-------|--|
| FUNCTION_RESET | 100 | รีบูทการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ |
| FUNCTION_BOARDCAST | 101 | ค้นหาสเลฟและเชื่อมต่อสเลฟ |
| FUNCTION_RECHECK | 102 | เปรียบเทียบฐานเวลาระหว่างมาสเตอร์กับสเลฟ |
| FUNCTION_PASSWORD | 103 | ตรวจสอบรหัสเพื่อเชื่อมต่อมาสเตอร์กับสเลฟ |
| FUNCTION_PASSWORD_FAIL | 104 | ตอบกลับรหัสที่ใช้เชื่อมต่อไม่ถูกต้อง |
| FUNCTION_PLOAD_IR1 | 110 | รับคำสั่งอินฟราเรดชุดที่ 1 |
| FUNCTION_PLOAD_IR2 | 111 | รับคำสั่งอินฟราเรดชุดที่ 2 |
| FUNCTION_PLOAD_IR3 | 112 | รับคำสั่งอินฟราเรดชุดที่ 3 |
| FUNCTION_PLOAD_IR4 | 113 | รับคำสั่งอินฟราเรดชุดที่ 4 |
| FUNCTION_PLOAD_IR5 | 114 | รับคำสั่งอินฟราเรดชุดที่ 5 |
| FUNCTION_PLOAD_SW1 | 115 | รับข้อมูลสั่งการสวิตช์ตัวที่ 1 |
| FUNCTION_PLOAD_SW2 | 116 | รับข้อมูลสั่งการสวิตช์ตัวที่ 2 |
| FUNCTION_PLOAD_SW3 | 117 | รับข้อมูลสั่งการสวิตช์ตัวที่ 3 |
| FUNCTION_PLOAD_ADC | 118 | ตอบกลับข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้า |

2. ความยาวข้อมูลขนาด 1 ไบต์ ทำหน้าที่บอกความยาวของชุดข้อมูล เพื่อป้องกันการอ่านข้อมูลผิดช่วง

3. ข้อมูลขนาด 30 ไบต์ ทำหน้าที่บรรจุข้อมูลที่ต้องการส่งระหว่างมาสเตอร์กับสเลฟ โดยมีขนาดของข้อมูลเท่ากับความยาวข้อมูล และเติมข้อมูลให้เต็ม 30 ไบต์ด้วยค่า 255 (0xFF)

มีรูปแบบข้อมูลที่รับ-ส่งผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลที่รับ-ส่งผ่านโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย

| ชุดข้อมูล : 6E 1E 59 2C 06 10 06 05 06 05 06 05 06 10 07 04 06 10 06 05 07 04 06 05 06 05 06 05 06 05 06 05 | | |
|---|---------|------------------|
| ข้อมูล | ขนาด | คำอธิบาย |
| 6E | 1 ไบต์ | ฟังก์ชันการทำงาน |
| 1E | 1 ไบต์ | ความยาวข้อมูล |
| 59 2C 06 10 06 05 06 05 06 05 06 10 07 04 06 10 06 05 07 04 06 05 06 05 06 05 06 05 06 05 | 30 ไบต์ | ข้อมูล |

3.3.2 รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านโมดูลอนุกรม

การรับ-ส่งข้อมูลผ่านโมดูลอนุกรมหรือ UART จะรับ-ส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Raspberry Pi กับไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 ที่ทำหน้าที่เป็นกล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์) เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลและสถานะการทำงาน โดยใช้ขา RX และ TX ในการรับ-ส่งข้อมูล ชุดข้อมูลที่รับ-ส่งระหว่าง Raspberry Pi กับกล่องควบคุมหลัก ได้กำหนดชุดข้อมูลให้มีขนาด 40 ไบต์ โดยรูปแบบชุดข้อมูลจะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.5

| ที่อยู่ (Address) 5 ไบต์ | ฟังก์ชันการทำงาน (Function) 1 ไบต์ | ความยาวข้อมูล (Data Width) 1 ไบต์ | ข้อมูล (Data) 30 ไบต์ | ค่าคงที่ (Fix Data) 2 ไบต์ | ตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล (Check Sum) 1 ไบต์ |
|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--|
|-----------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--|

รูปที่ 3.5 รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านโมดูลอนุกรม

รูปแบบการส่งข้อมูล จะแบ่งเป็นชุด ๆ ประกอบด้วย

1. ที่อยู่ขนาด 5 ไบต์ เป็นไบต์ที่บอกที่อยู่ของเป้าหมายที่ต้องการรับ-ส่งข้อมูล
2. ฟังก์ชันการทำงานขนาด 1 ไบต์ เป็นไบต์บอกหน้าที่ในการทำงาน ประกอบด้วย 16 รูปแบบ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ฟังก์ชันของข้อมูลที่รับ-ส่งผ่านโมดูลอนุกรม

| Function | Value | Description |
|------------------------|-------|--|
| FUNCTION_PASSWORD | 103 | ตรวจสอบรหัสเพื่อเชื่อมต่อมาสเตอร์กับสเลฟ |
| FUNCTION_PASSWORD_FAIL | 104 | ตอบกลับรหัสที่ใช้เชื่อมต่อไม่ถูกต้อง |
| FUNCTION_PLOAD_IR1 | 110 | รับคำสั่งอินฟราเรดชุดที่ 1 |
| FUNCTION_PLOAD_IR2 | 111 | รับคำสั่งอินฟราเรดชุดที่ 2 |
| FUNCTION_PLOAD_IR3 | 112 | รับคำสั่งอินฟราเรดชุดที่ 3 |
| FUNCTION_PLOAD_IR4 | 113 | รับคำสั่งอินฟราเรดชุดที่ 4 |
| FUNCTION_PLOAD_IR5 | 114 | รับคำสั่งอินฟราเรดชุดที่ 5 |
| FUNCTION_PLOAD_SW1 | 115 | รับข้อมูลสั่งการสวิตช์ตัวที่ 1 |
| FUNCTION_PLOAD_SW2 | 116 | รับข้อมูลสั่งการสวิตช์ตัวที่ 2 |
| FUNCTION_PLOAD_SW3 | 117 | รับข้อมูลสั่งการสวิตช์ตัวที่ 3 |
| FUNCTION_PLOAD_ADC | 118 | ตอบกลับข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้า |

| Function | Value | Description |
|------------------------------|-------|--|
| SQL_ADDRESS_INSERT | 200 | ส่งหมายเลขประจำตัวของสเลฟที่เชื่อมต่อ เพื่อเพิ่มลงฐานข้อมูลบน Raspberry Pi |
| SQL_ADDRESS_DELETE | 201 | ส่งหมายเลขประจำตัวของสเลฟที่เชื่อมต่อ เพื่อลบออกจากฐานข้อมูลบน Raspberry Pi |
| SQL_ADDRESS_TEMPORARY_INSERT | 202 | ส่งหมายเลขประจำตัวของสเลฟที่ตรวจพบ เพื่อลบออกจากฐานข้อมูลบน Raspberry Pi |
| SQL_ADDRESS_TEMPORARY_DELETE | 203 | ส่งหมายเลขประจำตัวของสเลฟที่ตรวจพบ เพื่อลบออกจากฐานข้อมูลบน Raspberry Pi |
| SQL_ADDRESS_TEMPORARY_FAIL | 204 | ส่งหมายเลขประจำตัวของสเลฟที่ตรวจพบ ไปยัง Raspberry Pi เพื่อบอกว่าการเชื่อมต่อผิดพลาด |

3. ความยาวข้อมูลขนาด 1 ไบต์ ทำหน้าที่บอกความยาวของชุดข้อมูล เพื่อป้องกันการอ่านข้อมูลผิดช่วง
 4. ข้อมูลขนาด 30 ไบต์ ทำหน้าที่บรรจุข้อมูลที่ต้องการส่งระหว่างมาสเตอร์กับ Raspberry Pi โดยมีขนาดของข้อมูลเท่ากับความยาวข้อมูล และเติมข้อมูลให้เต็ม 30 ไบต์ด้วยค่า 255 (0xFF)
 5. ค่าคงที่ขนาด 2 ไบต์ ทำหน้าที่ใส่ค่าคงที่ 0 (0x00) และ 255 (0xFF) เพื่อเติมค่าในชุดข้อมูลให้มีขนาดครบ 40 ไบต์
 6. ตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลขนาด 1 ไบต์ ทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่ง การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจะคำนวณโดยการรวมค่าของข้อมูลทั้งหมดใน 39 ไบต์แรก โดยค่าที่ได้จะต้องไม่เกิน 255 (0xFF) ถ้าเกินจะนำค่าที่ได้ลบออกด้วยค่า 255 (0xFF) เพื่อไม่ให้ค่าเกินขนาดไบต์ที่กำหนด เมื่อตัวรับได้รับข้อมูลจะนำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณ และเปรียบเทียบกับค่าตรวจสอบความถูกต้อง ถ้าถูกต้องจะส่งค่าตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลกลับไปยังตัวส่ง เพื่อตอบกลับว่าได้รับข้อมูลแล้ว แต่ถ้าไม่ถูกต้องจะไม่มีการตอบกลับข้อมูลกลับไป โดยในการส่งข้อมูลทุกครั้งจะมีการส่งข้อมูลในรูปแบบนี้เสมอ เพื่อป้องกันการสื่อสารที่ผิดพลาดระหว่างตัวส่งและตัวรับ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มความถูกต้องของข้อมูล
- มีรูปแบบข้อมูลที่รับ-ส่งผ่านโมดูลอนุกรม ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลที่รับ-ส่งผ่านโมดูลอนุกรม

| ข้อมูล | ขนาด | คำอธิบาย |
|---|---------|--------------------------|
| ชุดข้อมูล 34 43 10 10 01 6E 1E 59 2C 06 10 06 05 06 05 06 05 06 10 07 04 06 10 06 05 07 04 06 05 06 05 06 05 06 05 00 FF 63 | | |
| 34 43 10 10 01 | 5 ไบท์ | ที่อยู่ |
| 6E | 1 ไบท์ | ฟังก์ชันการทำงาน |
| 1E | 1 ไบท์ | ความยาวข้อมูล |
| 59 2C 06 10 06 05 06 05 06 05 06 10 07 04 06 10 06 05 07 04 06 05 06 05 06 05 06 05 06 05 | 30 ไบท์ | ข้อมูล |
| 00 FF | 2 ไบท์ | ค่าคงที่ |
| 63 | 1 ไบท์ | ตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล |

3.4 การออกแบบฮาร์ดแวร์

การออกแบบฮาร์ดแวร์ได้แบ่งการทำงานของฮาร์ดแวร์ออกเป็น ส่วน ๆ โดยประกอบด้วยกล่องควบคุมหลัก และกล่องควบคุมย่อย กล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์) ประกอบด้วยวงจรแหล่งจ่ายไฟ กระแสตรงและวงจรติดต่อสื่อสารกับ Raspberry Pi กล่องควบคุมย่อย (สเลฟ) จะแบ่งออกเป็นสองรูปแบบคือ กล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1) ทำหน้าที่วัดค่ากระแสไฟฟ้า และควบคุมสถานะการเปิด-ปิด อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ประกอบด้วยวงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้า วงจรขั้วรีเลย์ วงจรแหล่งจ่ายไฟ กระแสตรง และกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 2) ทำหน้าที่สั่งการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางสัญญาณอินฟราเรด ประกอบด้วยวงจรส่งสัญญาณอินฟราเรด

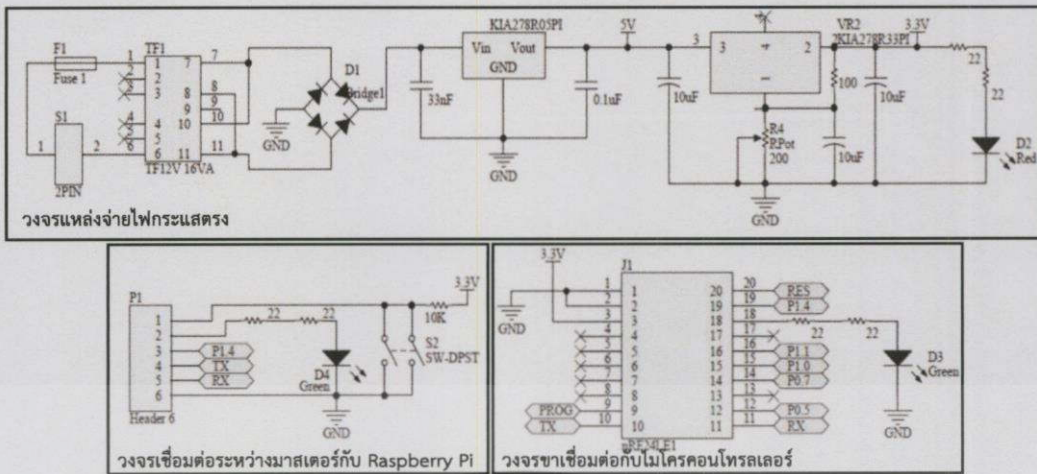
3.4.1 วงจรกล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์)

กล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์) ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการติดต่อสื่อสารประกอบด้วย วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าเลี้ยงไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 และวงจรเชื่อมต่อระหว่างมาสเตอร์กับฐานข้อมูลบน Raspberry Pi ดังรูปที่ 3.6, 3.7 และ 3.8



รูปที่ 3.6 บอร์ดวงจรกล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



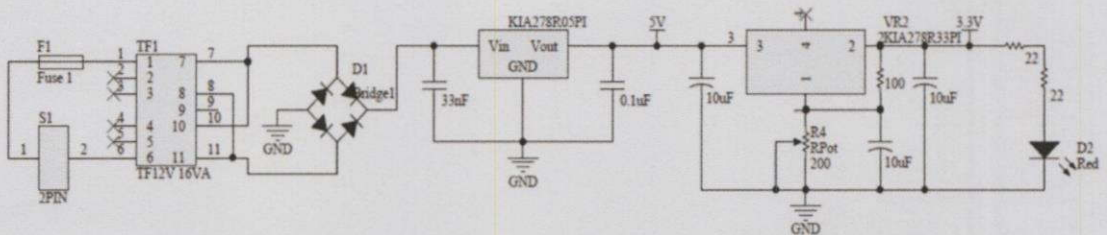
รูปที่ 3.7 ไดอะแกรมวงจรกล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์)



รูปที่ 3.8 กล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์)

3.4.1.1 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงของกล่องควบคุมหลัก

วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงดังรูปที่ 3.9 ออกแบบเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 220 VAC เป็น 12 VAC เอาดักพุดของหม้อแปลงจะต่ออนุกรมเข้ากับฟิวส์เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าลัดวงจร และต่อผ่านวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าสลับจาก 12 VAC ให้เป็น 12 VDC และใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์ KIA278R05 เพื่อลดแรงดันจาก 12 VDC ให้เป็น 5 VDC และใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์ KIA278R33PI ลดแรงดันจาก 5 VDC ให้เป็น 3.3 VDC

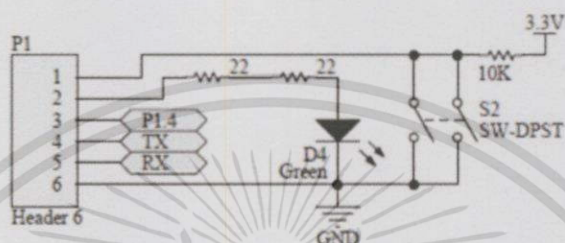


รูปที่ 3.9 ไดอะแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงของกล่องควบคุมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.2 วงจรติดต่อกับ Raspberry Pi ของกล่องควบคุมหลัก

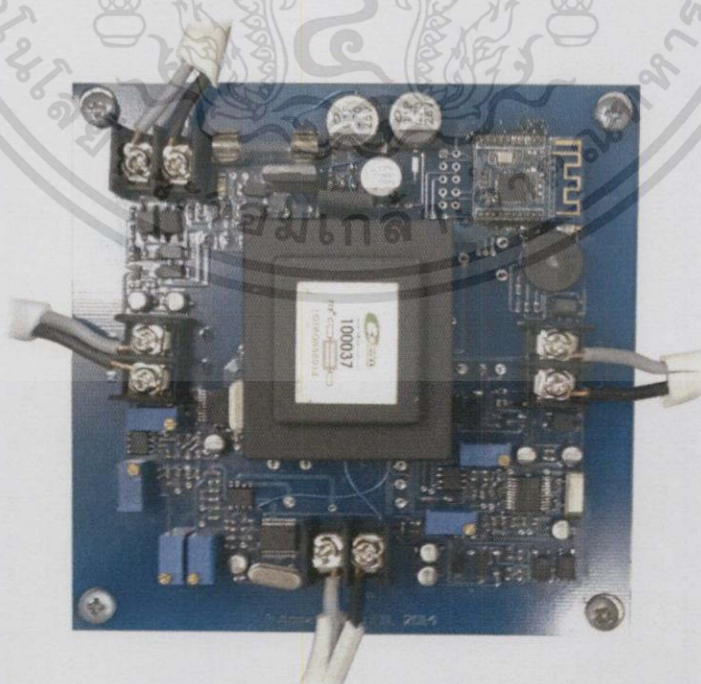
วงจรติดต่อกับ Raspberry Pi ดังรูปที่ 3.10 ออกแบบเพื่อเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 กับฐานข้อมูลบน Raspberry Pi โดยใช้สายแพร ซึ่งประกอบด้วยสายสัญญาณ TX และ RX เพื่อรับ-ส่งข้อมูลผ่านทาง UART, สายสัญญาณแสดงสถานะการทำงานของ Raspberry Pi, สายสัญญาณแสดงสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 และสายสัญญาณเพื่อสั่งปิดการทำงานของ Raspberry Pi



รูปที่ 3.10 ไดอะแกรมวงจรติดต่อกับ Raspberry Pi ของกล่องควบคุมหลัก

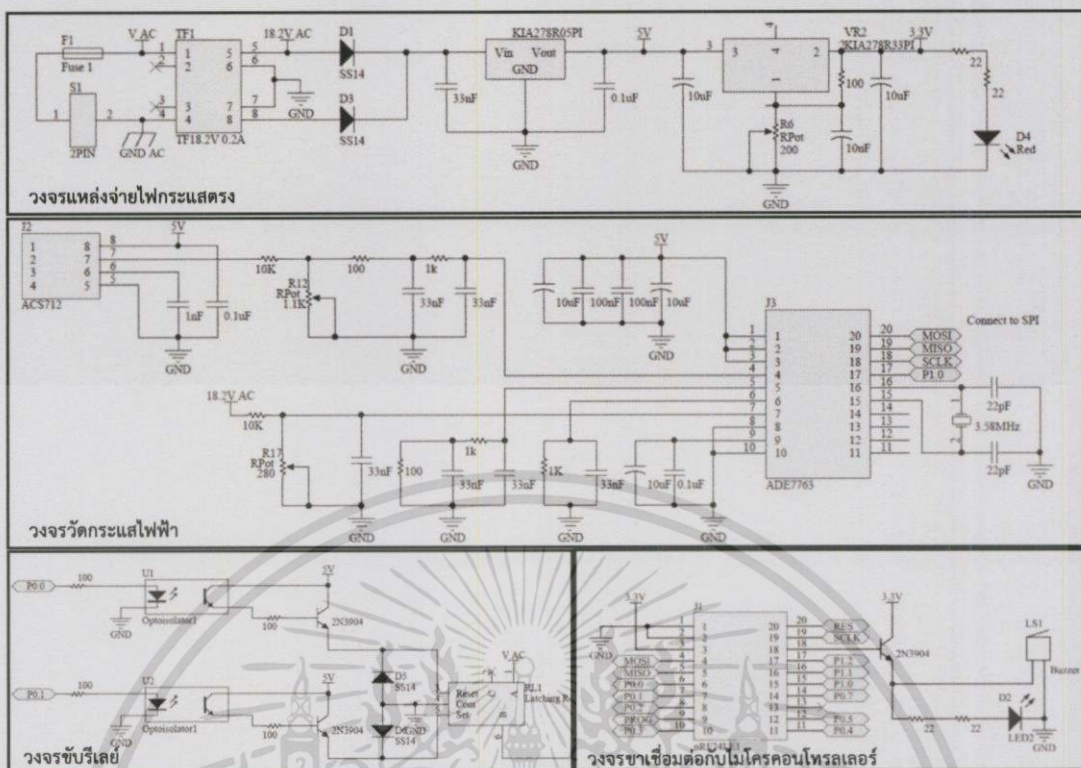
3.4.2 วงจรกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ)

กล่องควบคุมย่อย (สเลฟ) ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับกล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์) เพื่อรับคำสั่งในการทำงาน แบ่งการทำงานเป็นสองรูปแบบคือ กล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1) ประกอบด้วยวงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้า วงจรซีบรีเลย์ วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ดังรูปที่ 3.11, 3.12 และ 3.13 และกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 2) ประกอบด้วยวงจรส่งสัญญาณอินฟราเรด ดังรูปที่ 3.14, 3.15 และ 3.16



รูปที่ 3.11 บอร์ดวงจรกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 โค้ดแกรมวงจรกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)

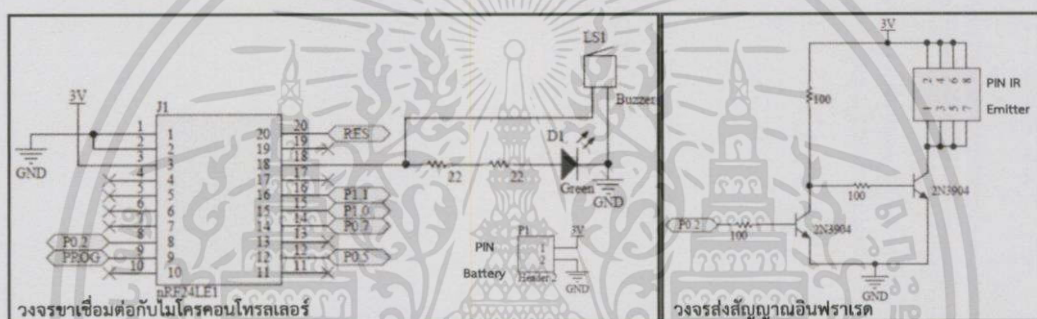


รูปที่ 3.13 กล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 บอร์ดวงจรกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 2)



รูปที่ 3.15 ไดอะแกรมวงจรกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 2)

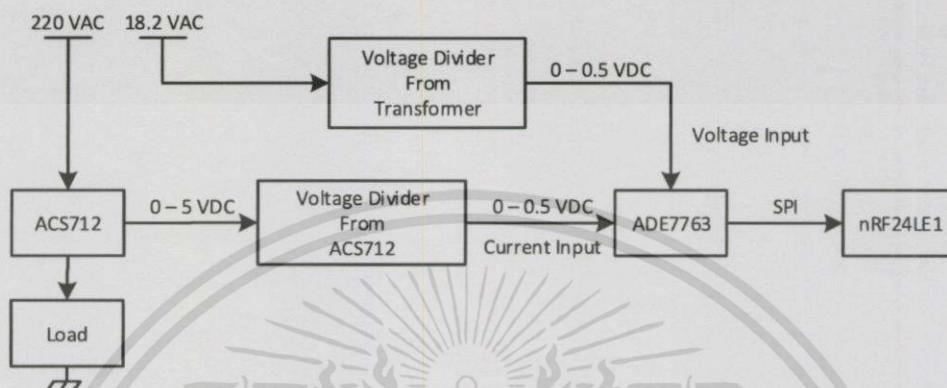


รูปที่ 3.16 กล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.1 วงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้าของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)

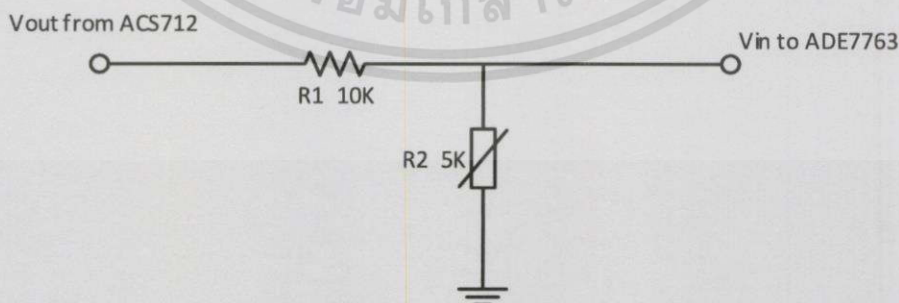
วงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้าประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ไอซี ACS712, วงจรโวลต์เตจ ดีไวเดอร์ (Voltage divider) และไอซี ADE7763 โดยในกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1) จะมีวงจรวัดค่ากระแสไฟฟ้าทั้งหมด 3 ชุด ซึ่งมีแผนผังกระบวนการทำงานดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ไดอะแกรมการทำงานวงจรวัดกระแสไฟฟ้าของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)

ไอซี ACS712 เป็นไอซีวัดกระแสไฟฟ้าสามารถวัดกระแสได้สูงสุด ± 30 A มีเอาต์พุตอยู่ในช่วง 0-5 V ถ้ากระแสที่ไหลผ่านไอซีมีค่า 0 A จะมีแรงดันเอาต์พุต $\frac{VCC}{2}$ V โดยแรงดันเอาต์พุตจะแปรผันตรงกับกระแสที่ไหลผ่าน แรงดันเอาต์พุตที่ออกจากไอซี ACS712 จะเข้าสู่วงจรโวลต์เตจดีไวเดอร์เพื่อเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้า และเข้าสู่ไอซี ADE7763

วงจรโวลต์เตจดีไวเดอร์ประกอบด้วยวงจรสองชุด ชุดแรกทำหน้าที่เปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าจากไอซี ACS712 ที่มีแรงดันเอาต์พุต 0-5 V ให้อยู่ในช่วง ± 0.5 V ก่อนเข้าช่องวัดกระแสของไอซี ADE7763 ดังรูปที่ 3.18 และชุดที่สองจะเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าจากหม้อแปลง ซึ่งมีแรงดัน 18 VAC ให้อยู่ในช่วง ± 0.5 V ก่อนเข้าช่องวัดแรงดันของไอซี ADE7763 ดังรูปที่ 3.19



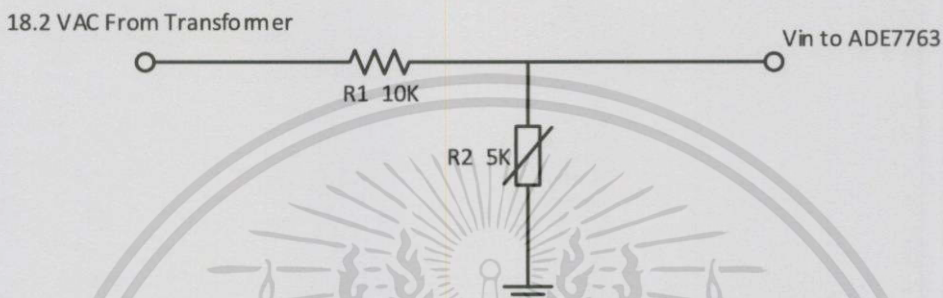
รูปที่ 3.18 ไดอะแกรมวงจรโวลต์เตจดีไวเดอร์จาก ACS712 ของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)

สูตรคำนวณ

$$V_{in \text{ to ADE7763}} = \frac{R_2}{R_1+R_2} \times V_{out \text{ from ACS712}} \quad (3.1)$$

$$0.5V = \frac{R_2}{10K+R_2} \times 5V \quad (3.2)$$

$$R_2 = 1.1K\Omega \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.19 ไดอะแกรมวงจรโวลต์เตจตีไวเดอร์จากหม้อแปลงของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)

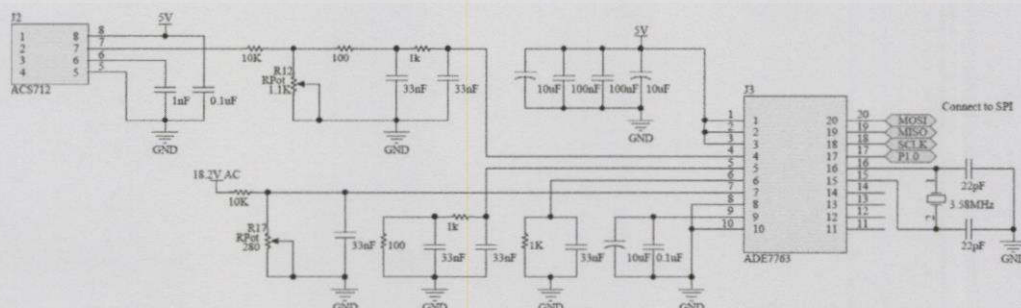
สูตรคำนวณ

$$V_{in \text{ to ADE7763}} = \frac{R_2}{R_1+R_2} \times V_{out \text{ from Transformer}} \quad (3.4)$$

$$0.5V = \frac{R_2}{10K+R_2} \times 18.2V \quad (3.5)$$

$$R_2 = 280\Omega \quad (3.6)$$

ไอซี ADE7763 จะรับค่าแรงดันไฟฟ้าจากวงจรโวลต์เตจตีไวเดอร์ดังรูปที่ 3.20 เพื่อมาประมวลผลเป็นสัญญาณดิจิทัลและคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจร ไอซี ADE7763 จะใช้วิธีการติดต่อรับ-ส่งข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางช่องอนุกรม (SPI) โดยอ้างถึงรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการอ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่ง 0x16

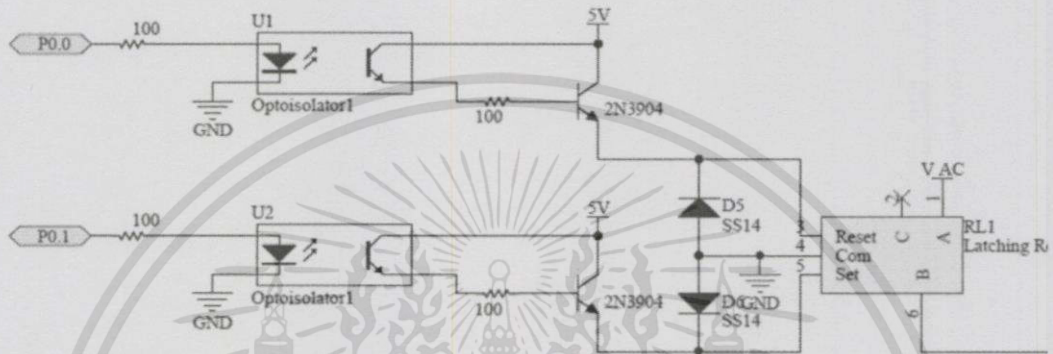


รูปที่ 3.20 ไดอะแกรมวงจรวัดกระแสไฟฟ้าของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 วงจรขั้วรีเลย์ของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)

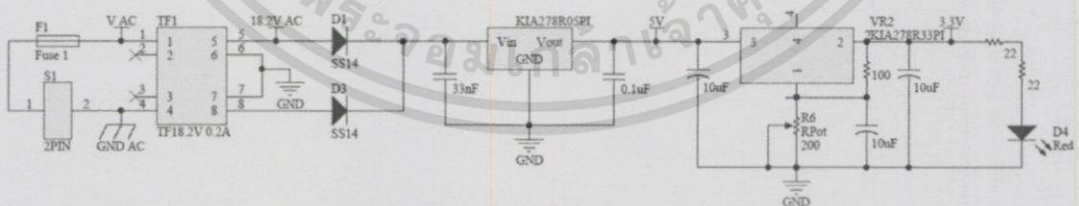
วงจรขั้วรีเลย์มีหน้าที่ตัด-ต่อวงจรไฟฟ้าในส่วนที่ต้องการควบคุม เพื่อควบคุมสถานะการเปิด-ปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าดังรูปที่ 3.21 ในการออกแบบได้ใช้ Opto Isolator แยกวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงกับแรงดันต่ำ เพื่อป้องกันความเสียหายจากแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูงไหลย้อนกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ และมีไดโอดทำหน้าที่ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเคลื่อนกลับจากขดลวดของรีเลย์ โดยในกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1) จะมีวงจรขั้วรีเลย์ทั้งหมด 3 ชุด



รูปที่ 3.21 ไดอะแกรมวงจรขั้วรีเลย์ของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)

3.4.2.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)

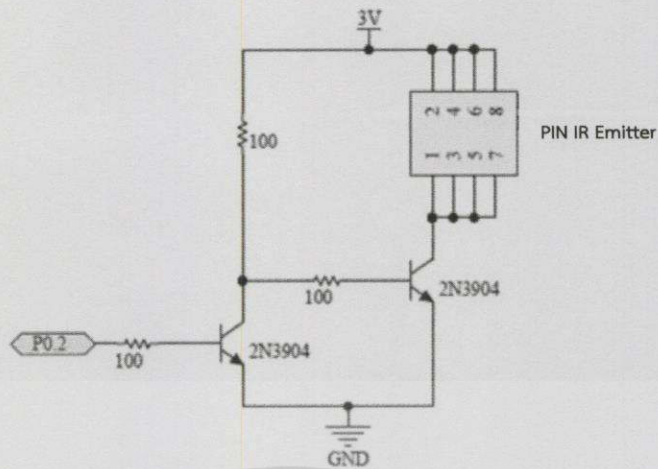
วงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงดังรูปที่ 3.22 ออกแบบเพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้า 220 VAC เป็น 18.2 VAC เอาต์พุตของหม้อแปลงจะต่ออนุกรมเข้ากับฟิวส์เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าลัดวงจร และต่อผ่านวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าสลับจาก 18.2 VAC ให้เป็น 18.2 VDC และใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์ Regulate KIA278R05 เพื่อลดแรงดันจาก 18.2 VDC ให้เป็น 5 VDC และใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์ KIA278R33PI ลดแรงดันจาก 5 VDC ให้เป็น 3.3 VDC



รูปที่ 3.22 ไดอะแกรมวงจรแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 1)

3.4.2.4 วงจรส่งสัญญาณอินฟราเรดของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 2)

วงจรส่งสัญญาณอินฟราเรดดังรูปที่ 3.23 ออกแบบมาเพื่อควบคุมการติด-ดับของหลอดอินฟราเรด โดยต่อขา PWM (Pulse Width Modulate) ของไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับขาเบสของทรานซิสเตอร์เพื่อควบคุมการไหลของกระแสที่ไหลผ่านหลอดอินฟราเรด



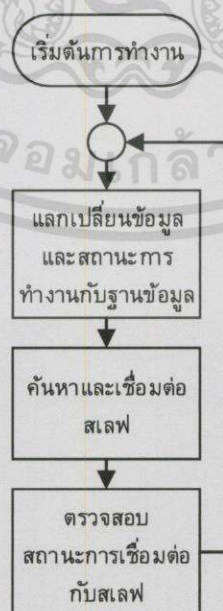
รูปที่ 3.23 ไดอะแกรมวงจรส่งสัญญาณอินฟราเรดของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ 2)

3.5 การออกแบบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และระบบฐานข้อมูล

การออกแบบการทำงานของระบบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ การทำงานของกล่องควบคุมหลัก (มาสเตอร์) การทำงานของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ) และการทำงานของฐานข้อมูล

3.5.1 การทำงานกล่องควบคุมหลัก

กล่องควบคุมหลักหรือมาสเตอร์ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางในการเชื่อมต่อกล่องควบคุมย่อยหรือสเลฟกับฐานข้อมูล จะแบ่งหน้าที่การทำงานออกเป็นสองส่วนคือ ค้นหาสเลฟ และแลกเปลี่ยนข้อมูลและสถานะการทำงานของมาสเตอร์และสเลฟกับฐานข้อมูล โดยมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 กระบวนการทำงานของกล่องควบคุมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การค้นหาล่องควบคุมย่อยหรือสเลฟ มาสเตอร์จะส่งข้อมูลโดยใช้หมายเลขประจำตัว เป็น 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01 เนื่องจากสเลฟที่ยังไม่ได้เชื่อมต่อกับมาสเตอร์จะใช้หมายเลข ประจำตัวนี้ใน Data Pipe 1 โดยรูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างมาสเตอร์และสเลฟ จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ขนาดข้อมูล และข้อมูล จากนั้นมาสเตอร์จะส่งข้อมูลออกไปโดยมีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_BOARDCAST เพื่อค้นหาสเลฟ เมื่อมีสเลฟที่ยังไม่ได้เชื่อมต่อกับระบบรับข้อมูลจาก มาสเตอร์ สเลฟจะตอบกลับมาสเตอร์โดยมีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_BOARDCAST และมีข้อมูลเป็น หมายเลขประจำตัวจริงของสเลฟ จากนั้นมาสเตอร์จะส่งหมายเลขประจำตัวของสเลฟไปยังฐานข้อมูลบน Raspberry Pi ผ่านทาง UART เพื่อเก็บลงตารางล่องควบคุมย่อยที่พบ และเก็บลงหน่วยความจำบน ไมโครคอนโทรลเลอร์ชื่อ ADDRESS_TEMPORARY เพื่อใช้ป้องกันการส่งหมายเลขประจำตัวของ สเลฟไปยัง Raspberry Pi ซ้ำ ซึ่งรูปแบบข้อมูลที่ส่งผ่าน UART จะประกอบด้วย ที่อยู่ของสเลฟ ฟังก์ชัน ขนาดข้อมูล ข้อมูล ค่าคงที่ และไบนารีตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล จากนั้นมาสเตอร์จะรอรับ รหัสเพื่อเชื่อมต่อการทำงานกับสเลฟจากฐานข้อมูล เมื่อมาสเตอร์ได้รับรหัสแล้วมาสเตอร์จะส่งรหัสที่ ได้ไปยังสเลฟโดยมีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_PASSWORD แล้วใช้หมายเลขประจำตัวเป็นหมายเลข ประจำตัวของสเลฟเพื่อติดต่อกับสเลฟใน Data Pipe 0 สเลฟจะตรวจสอบความถูกต้องของรหัส ถ้า รหัสถูกต้องสเลฟจะส่งข้อมูลกลับไปยังมาสเตอร์โดยมีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_PASSWORD แต่ถ้า รหัสไม่ถูกต้องสเลฟจะส่งข้อมูลกลับไปยังมาสเตอร์โดยมีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_PASSWORD_FAIL เมื่อมาสเตอร์ได้รับข้อมูลจากสเลฟแล้วถ้าฟังก์ชันของข้อมูลเป็น FUNCTION_PASSWORD มาสเตอร์ จะส่งฐานเวลาไปยังสเลฟเพื่อใช้ตรวจสอบการเชื่อมต่อโดยมีฟังก์ชันของข้อมูลเป็น FUNCTION_PASSWORD จากนั้นสเลฟและมาสเตอร์จะเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ สเลฟสามารถรับ คำสั่งการสั่งการจากมาสเตอร์ได้ และมาสเตอร์จะส่งหมายเลขประจำตัวของสเลฟไปยัง Raspberry Pi เพื่อเก็บข้อมูลลงตารางล่องควบคุมย่อยที่กำลังเชื่อมต่อ และลบข้อมูลออกจากตารางล่องควบคุม ย่อยที่พบ และเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำบนไมโครคอนโทรลเลอร์ชื่อ ADDRESS เพื่อใช้ตรวจสอบ สเลฟที่กำลังเชื่อมต่อ และลบข้อมูลออกจากหน่วยความจำ ADDRESS_TEMPORARY เนื่องจาก สเลฟดังกล่าวได้เชื่อมต่อกับระบบแล้ว

การตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อระหว่างมาสเตอร์และสเลฟจะตรวจสอบการเชื่อมต่อ ทุก ๆ 2 วินาที มาสเตอร์จะส่งข้อมูลที่มีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_RECHECK เพื่อให้สเลฟตรวจสอบ ฐานเวลาของข้อมูลกับฐานเวลาของสเลฟ ถ้าฐานเวลาของข้อมูลและสเลฟตรงกัน แสดงว่าสเลฟยังคง เชื่อมต่อกับมาสเตอร์อยู่ แต่ถ้าฐานเวลาของข้อมูลและสเลฟไม่ตรงกันแสดงว่าการเชื่อมต่อระหว่าง มาสเตอร์และสเลฟมีปัญหา สเลฟจะสั่งริบการทำงานของตนเองเพื่อรอรับการเชื่อมต่อกับมาสเตอร์ ใหม่ ในบางกรณีที่สเลฟได้เชื่อมต่อกับมาสเตอร์แล้ว แต่มาสเตอร์ไม่มีข้อมูลหมายเลขประจำตัวของ สเลฟ ซึ่งอาจเกิดจากมาสเตอร์ได้เริ่มการทำงานใหม่ ทำให้มาสเตอร์ไม่มีข้อมูลของสเลฟ ซึ่งจะทำให้ สเลฟไม่สามารถเชื่อมต่อกับมาสเตอร์ได้ และมาสเตอร์จะไม่สามารถค้นหาสเลฟได้เนื่องจากสเลฟ ไม่ได้อยู่ในสถานะเริ่มต้น ดังนั้นในการค้นหาสเลฟมาสเตอร์จะค้นหาโดยใช้หมายเลขประจำตัวเป็น

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x02 เนื่องจากสเลฟทุกตัวเมื่อเชื่อมต่อกับมาสเตอร์ได้แล้ว จะเปลี่ยนมาใช้หมายเลขประจำตัวใน Data Pipe 1 แทน ดังนั้นเมื่อสเลฟรับข้อมูลที่ส่งมาจากมาสเตอร์โดยมีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_RESET สเลฟจะตรวจสอบฐานเวลาของข้อมูลกับฐานเวลาของสเลฟ ถ้าฐานเวลาของข้อมูลและสเลฟตรงกัน แสดงว่าสเลฟยังคงเชื่อมต่อกับมาสเตอร์อยู่ แต่ถ้าฐานเวลาของข้อมูลและสเลฟไม่ตรงกันแสดงว่าการเชื่อมต่อระหว่างมาสเตอร์และสเลฟมีปัญหา สเลฟจะสั่งรีบูทการทำงานของตนเองเพื่อรอรับการเชื่อมต่อกับมาสเตอร์ใหม่

การแลกเปลี่ยนข้อมูลและสถานะการทำงานกับสเลฟ จะเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อสั่งการการทำงานของสเลฟ โดยมาสเตอร์จะรับข้อมูลมาจาก Raspberry Pi และจะแบ่งข้อมูลเพื่อตีหมายเลขประจำตัวของสเลฟออกมาจากข้อมูลที่ส่งมา เพื่อส่งข้อมูลไปยังสเลฟที่ต้องการตามหมายเลขประจำตัวของสเลฟ

3.5.2 การทำงานของกล่องควบคุมย่อย

กล่องควบคุมย่อยหรือสเลฟ จะแบ่งหน้าที่การทำงานออกเป็นสองส่วนคือ เชื่อมต่อกับมาสเตอร์ และแลกเปลี่ยนข้อมูลและสถานะการทำงานกับมาสเตอร์ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 กระบวนการทำงานของกล่องควบคุมย่อย

การเชื่อมต่อกับมาสเตอร์ ในสภาวะเริ่มต้นสเลฟจะอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง (Standby) ซึ่งส่งผลให้กระบวนการทำงานทั้งหมดของสเลฟหยุดลงเป็นผลให้ประหยัดพลังงาน เพื่อรอการเรียกจากมาสเตอร์ หมายเลขประจำตัวของสเลฟจะมีอยู่สองหมายเลขคือ หมายเลขประจำตัวจริงของสเลฟซึ่งในสเลฟแต่ละตัวจะไม่ซ้ำกันอยู่ใน Data Pipe 0 และหมายเลขประจำตัวกลางซึ่งในสเลฟแต่ละตัวจะมีเหมือนกันเพื่อใช้ในการค้นหาสเลฟอยู่ใน Data Pipe 1 โดยมีหมายเลขประจำตัวเป็น

0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01 เมื่อสเลฟได้รับข้อมูลร้องขอการเชื่อมต่อจากมาสเตอร์โดยมีฟังก์ชันของข้อมูลเป็น FUNCTION_BOARDCAST ผ่าน Data Pipe 1 สเลฟจะส่งหมายเลขประจำตัวจริงของสเลฟกลับไปยังมาสเตอร์ โดยมีฟังก์ชันของข้อมูลเป็น FUNCTION_BOARDCAST ในขั้นตอนนี้สเลฟจะยังไม่สามารถรับคำสั่งการสั่งการจากมาสเตอร์ได้ สเลฟจะต้องรอรับรหัสเพื่อเชื่อมต่อการทำงานกับมาสเตอร์ เพื่อป้องกันการสั่งการจากมาสเตอร์ที่ไม่ได้รับอนุญาต เมื่อสเลฟได้รับรหัสจากมาสเตอร์ที่มีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_PASSWORD ผ่านทาง Data Pipe 0 แล้วสเลฟจะตรวจสอบความถูกต้องของรหัส ถ้ารหัสถูกต้องสเลฟจะส่งข้อมูลกลับไปยังมาสเตอร์โดยมีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_PASSWORD แต่ถ้ารหัสไม่ถูกต้องสเลฟจะส่งข้อมูลกลับไปยังมาสเตอร์โดยมีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_PASSWORD_FAIL เมื่อมาสเตอร์ได้รับข้อมูลจากสเลฟ มาสเตอร์จะส่งฐานเวลาไปยังสเลฟเพื่อใช้ตรวจสอบการเชื่อมต่อโดยมีฟังก์ชันของข้อมูลเป็น FUNCTION_PASSWORD จากนั้นสเลฟและมาสเตอร์จะเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ สเลฟจะสามารถรับคำสั่งการสั่งการจากมาสเตอร์ได้

การตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อระหว่างมาสเตอร์และสเลฟ จะตรวจสอบการเชื่อมต่อทุก ๆ 2 วินาที มาสเตอร์จะส่งข้อมูลที่มีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_RECHECK เพื่อให้สเลฟตรวจสอบฐานเวลาของข้อมูลกับฐานเวลาของสเลฟ ถ้าฐานเวลาของข้อมูลและสเลฟตรงกัน แสดงว่าสเลฟยังคงเชื่อมต่อกับมาสเตอร์อยู่ แต่ถ้าฐานเวลาของข้อมูลและสเลฟไม่ตรงกันแสดงว่าการเชื่อมต่อระหว่างมาสเตอร์และสเลฟมีปัญหา สเลฟจะสั่งริบการทำงานของตนเองเพื่อรอรับการเชื่อมต่อกับมาสเตอร์ใหม่ ในบางกรณีที่สเลฟได้เชื่อมต่อกับมาสเตอร์แล้ว แต่มาสเตอร์ไม่มีข้อมูลหมายเลขประจำตัวของสเลฟ ซึ่งอาจเกิดจากมาสเตอร์ได้เริ่มการทำงานใหม่ ทำให้มาสเตอร์ไม่มีข้อมูลของสเลฟ ซึ่งจะทำให้สเลฟไม่สามารถเชื่อมต่อกับมาสเตอร์ได้ และมาสเตอร์จะไม่สามารถค้นหาสเลฟได้เนื่องจากสเลฟไม่ได้อยู่ในสถานะเริ่มต้น ดังนั้นในการค้นหาสเลฟมาสเตอร์จะค้นหาโดยใช้หมายเลขประจำตัวเป็น 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x02 เนื่องจากสเลฟทุกตัวเมื่อเชื่อมต่อกับมาสเตอร์ได้แล้ว จะเปลี่ยนมาใช้หมายเลขประจำตัวนี้ใน Data Pipe 1 แทน ดังนั้นเมื่อสเลฟรับข้อมูลที่ส่งมาจากมาสเตอร์โดยมีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_RESET สเลฟจะตรวจสอบฐานเวลาของข้อมูลกับฐานเวลาของสเลฟ ถ้าฐานเวลาของข้อมูลและสเลฟตรงกัน แสดงว่าสเลฟยังคงเชื่อมต่อกับมาสเตอร์อยู่ แต่ถ้าฐานเวลาของข้อมูลและสเลฟไม่ตรงกันแสดงว่าการเชื่อมต่อระหว่างมาสเตอร์และสเลฟมีปัญหา สเลฟจะสั่งริบการทำงานของตนเองเพื่อรอรับการเชื่อมต่อกับมาสเตอร์ใหม่

การแลกเปลี่ยนข้อมูลและสถานะการทำงานกับมาสเตอร์ จะเป็นการแลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อสั่งการการทำงานของกล่องควบคุมย่อยหรือสเลฟ โดยจะแบ่งหน้าที่การทำงานออกเป็นสองรูปแบบคือ กล่องควบคุมย่อยที่ทำหน้าที่วัดค่ากระแสไฟฟ้า และควบคุมสถานะการเปิด-ปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และกล่องควบคุมย่อยที่ทำหน้าที่สั่งการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางสัญญาณอินฟราเรด

3.5.2.1 กล้องควบคุมย่อยวัดค่ากระแสไฟฟ้า และควบคุมสถานะการเปิด-ปิด

การทำงานของสเลฟ สเลฟจะรอรับคำสั่งจากมาสเตอร์ซึ่งแบ่งออกเป็นสองรูปแบบคือ คำสั่งเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้า และคำสั่งเพื่อควบคุมสถานะการเปิด-ปิดของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

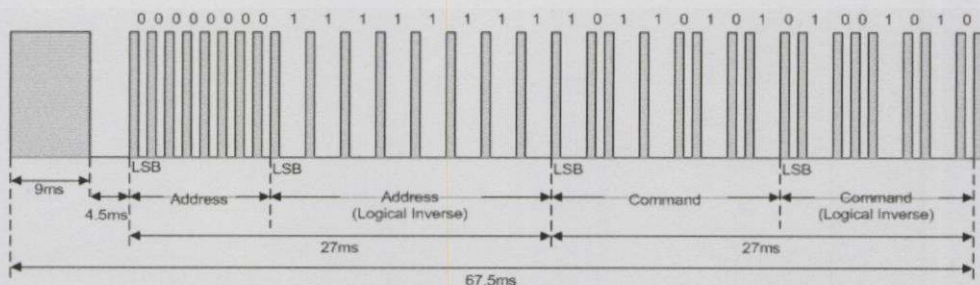
การวัดค่ากระแสไฟฟ้า สเลฟจะรับข้อมูลมาจากมาสเตอร์ซึ่งมีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_PLOAD_ADC จากนั้นสเลฟจะติดต่อกับไอซี ADE7763 ผ่านทาง SPI ที่ละตัวเพื่ออ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากรีจิสเตอร์ 0x16 เมื่อสเลฟอ่านค่าของกระแสไฟฟ้าจนครบทั้ง 3 ตัวแล้ว สเลฟจะส่งค่าที่ได้กลับไปยังมาสเตอร์โดยมีฟังก์ชันของข้อมูลเป็น FUNCTION_PLOAD_ADC เพื่อส่งต่อไปเก็บยังฐานข้อมูล

การสั่งเพื่อควบคุมสถานะการเปิด-ปิดของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า สเลฟจะรับข้อมูลมาจากมาสเตอร์ซึ่งมีฟังก์ชันเป็น FUNCTION_PLOAD_SW1 เพื่อสั่งการรีเลย์ตัวที่ 1, FUNCTION_PLOAD_SW2 เพื่อสั่งการรีเลย์ตัวที่ 2 หรือ FUNCTION_PLOAD_SW3 เพื่อสั่งการรีเลย์ตัวที่ 3 ตามข้อมูลที่ได้รับมา โดยถ้าข้อมูลเป็น 0 สเลฟจะสั่งรีบูทการทำงานของรีเลย์ (วงจรเปิด) แต่ถ้าข้อมูลเป็น 1 สเลฟจะสั่งเซตการทำงานของรีเลย์ (วงจรปิด)

3.5.2.2 กล้องควบคุมย่อยสั่งการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านสัญญาณอินฟราเรด

การทำงานของสเลฟ สเลฟจะรอรับชุดคำสั่งจากมาสเตอร์ซึ่งถูกแบ่งออกเป็น 5 ชุด เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการสั่งการผ่านทางสัญญาณอินฟราเรดมีขนาดใหญ่ จึงต้องแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 ชุดโดยมีฟังก์ชันของข้อมูลเป็น FUNCTION_PLOAD_IR1, FUNCTION_PLOAD_IR2, FUNCTION_PLOAD_IR3, FUNCTION_PLOAD_IR4 และ FUNCTION_PLOAD_IR5 เมื่อสเลฟได้รับข้อมูลครบทั้ง 5 ชุด สเลฟจะรวมข้อมูลที่ได้รับเข้าด้วยกันตามลำดับ และนำไปใช้เป็นคาบเวลาของดิวิตีไซเคิลเพื่อสร้างสัญญาณอินฟราเรด โดยมีความถี่ในการสร้างพัลส์วิทยุหอดูเลชันอยู่ที่ 39.7 kHz และขนาดของดิวิตีไซเคิลเป็น 50% เมื่อต้องการส่งบิต 1 และ 0% เมื่อต้องการส่งบิต 0

การส่งข้อมูลผ่านหลอดอินฟราเรดเพื่อใช้ส่งสัญญาณสั่งการเครื่องใช้ไฟฟ้า รูปแบบของสัญญาณจะแบ่งออกเป็นสองชุดคือ ชุดแรกเป็นที่อยู่ของข้อมูล และชุดที่สองเป็นข้อมูลคำสั่ง โดยแต่ละชุดจะมีเฮดพัลส์เป็นสัญญาณนำร่องข้อมูลก่อนข้อมูลจริง ดังรูปที่ 3.26

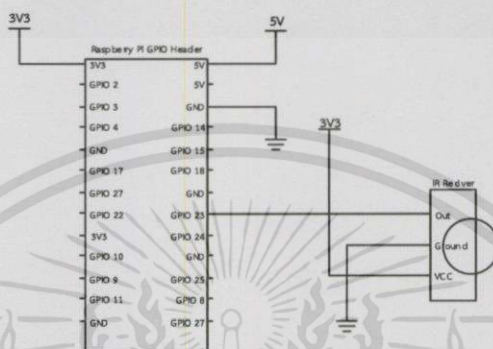


รูปที่ 3.26 รูปแบบสัญญาณที่รับได้จากรีโมทคอนโทรล

ขั้นตอนการศึกษาสัญญาณอินฟราเรด

ทดลองโดยต่อตัวรับสัญญาณ

อินฟราเรดเข้ากับ Raspberry Pi ดังรูปที่ 3.27 โดยใช้เครื่องมือ LIRC (Linux Infrared Remote Control) เพื่อสังเกตลักษณะของสัญญาณอินฟราเรดที่ส่งมาจากรีโมทคอนโทรล โดยทดลองกดปุ่มจากรีโมทคอนโทรล เพื่อส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณอินฟราเรด จากนั้นทำการวัดความยาวคลื่นของแต่ละบิต และบันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 3.27 วงจรรับสัญญาณอินฟราเรด

ค่าที่รับได้จากสัญญาณอินฟราเรดดังรูปที่ 3.28 ประกอบด้วย space และ pulse โดย space คือเวลาที่อยู่ในสถานะบิต 0 มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที และ pulse คือเวลาที่อยู่ในสถานะบิต 1 มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที

```
space 16300
pulse 95
space 28794
pulse 80
space 19395
pulse 83
space 402351
pulse 135
space 7085
pulse 85
space 2903
```

รูปที่ 3.28 ตัวอย่างข้อมูลที่รับจากรีโมทคอนโทรล

จากตัวอย่างการรับข้อมูลดังรูปที่ 3.28 space 16300 หมายถึงข้อมูลที่รับได้มีค่าเป็น 0 นาน 16300 มิลลิวินาที pulse 95 หมายถึงข้อมูลที่รับได้มีค่าเป็น 1 นาน 95 มิลลิวินาที space 28794 หมายถึงข้อมูลที่รับได้มีค่าเป็น 0 นาน 28794 มิลลิวินาที และ pulse 80 หมายถึงข้อมูลที่รับได้มีค่าเป็น 1 นาน 80 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 การทำงานของระบบฐานข้อมูล

การทำงานของระบบฐานข้อมูล Raspberry Pi จะแบ่งหน้าที่การทำงานออกเป็นสองส่วนคือ ตรวจสอบฐานข้อมูล และแลกเปลี่ยนข้อมูลและสถานะการทำงานกับมาสเตอร์ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 กระบวนการทำงานของระบบฐานข้อมูล

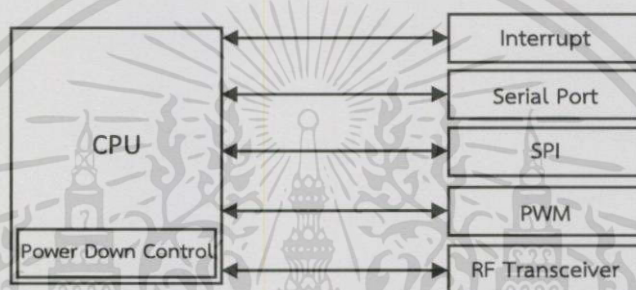
การตรวจสอบฐานข้อมูล Raspberry Pi จะตรวจสอบข้อมูลของตาราง `address_xxxxxxx` และ `address_xxxxxxx_status` โดย `xxxxxxx` จะแทนด้วยหมายเลขประจำตัวของสเลฟที่กำลังเชื่อมต่ออยู่กับระบบ ที่ดึงมาจากตาราง `connecting_device` ถ้าค่าในตาราง `address_xxxxxxx` และ `address_xxxxxxx_status` ไม่ตรงกัน แสดงว่าผู้ใช้งานได้สั่งงานผ่านทางหน้าเว็บไซต์ทำให้ข้อมูลในตารางไม่ตรงกัน Raspberry Pi จะตรวจสอบข้อมูลที่ไม่ตรง และสั่งงานไปยังมาสเตอร์โดยมีฟังก์ชัน `FUNCTION_PLOAD_SW1`, `FUNCTION_PLOAD_SW2`, `FUNCTION_PLOAD_SW3`, `FUNCTION_PLOAD_IR1`, `FUNCTION_PLOAD_IR2`, `FUNCTION_PLOAD_IR3`, `FUNCTION_PLOAD_IR4` หรือ `FUNCTION_PLOAD_IR5` พร้อมทั้งเพิ่มข้อมูลลงในตาราง `address_xxxxxxx` ให้มีค่าตรงกับตาราง `address_xxxxxxx_status` เพื่อเก็บสถานะการสั่งงานล่าสุด ในกรณีที่มีสเลฟวัดค่ากระแสไฟฟ้า และควบคุมสถานะการเปิด-ปิดเชื่อมต่ออยู่กับระบบ Raspberry Pi จะเรียกอ่านค่ากระแสไฟฟ้าจากสเลฟ เพื่อเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลโดยผ่านฟังก์ชัน `FUNCTION_PLOAD_ADC` ทุก ๆ 10 วินาที

การแลกเปลี่ยนข้อมูลและสถานะการทำงานกับมาสเตอร์ Raspberry Pi จะติดต่อสื่อสารกับมาสเตอร์ตลอดเวลา เพื่อรับ-ส่งข้อมูลผ่านทาง UART การแลกเปลี่ยนข้อมูลจะแบ่งเป็นสองรูปแบบคือ การรับ และการส่ง การรับข้อมูล Raspberry Pi จะตรวจสอบการรับข้อมูลทุก ๆ รอบการทำงานของโปรแกรม เมื่อมีข้อมูลเข้ามา Raspberry Pi จะวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ และจัดเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล และอาจส่งข้อมูลที่วิเคราะห์ได้กลับไปมายังมาสเตอร์ การส่งข้อมูล หลังจาก

Raspberry Pi ตรวจสอบข้อมูลในฐานข้อมูลแล้วพบความเปลี่ยนแปลง Raspberry Pi จะส่งข้อมูลที่ตรวจพบ ไปยังมาสเตอร์โดยผ่านทาง UART เพื่อกระจายข้อมูลการสั่งการไปยังสเลฟ ตามข้อมูลที่เปลี่ยนไป

3.6 การตั้งค่าการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องตั้งค่าการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้สามารถใช้งานและเชื่อมต่อกับส่วนต่าง ๆ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 3.30 โดยมีกระบวนการทำงานดังรูปที่ 3.31 และ 3.32 และบล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

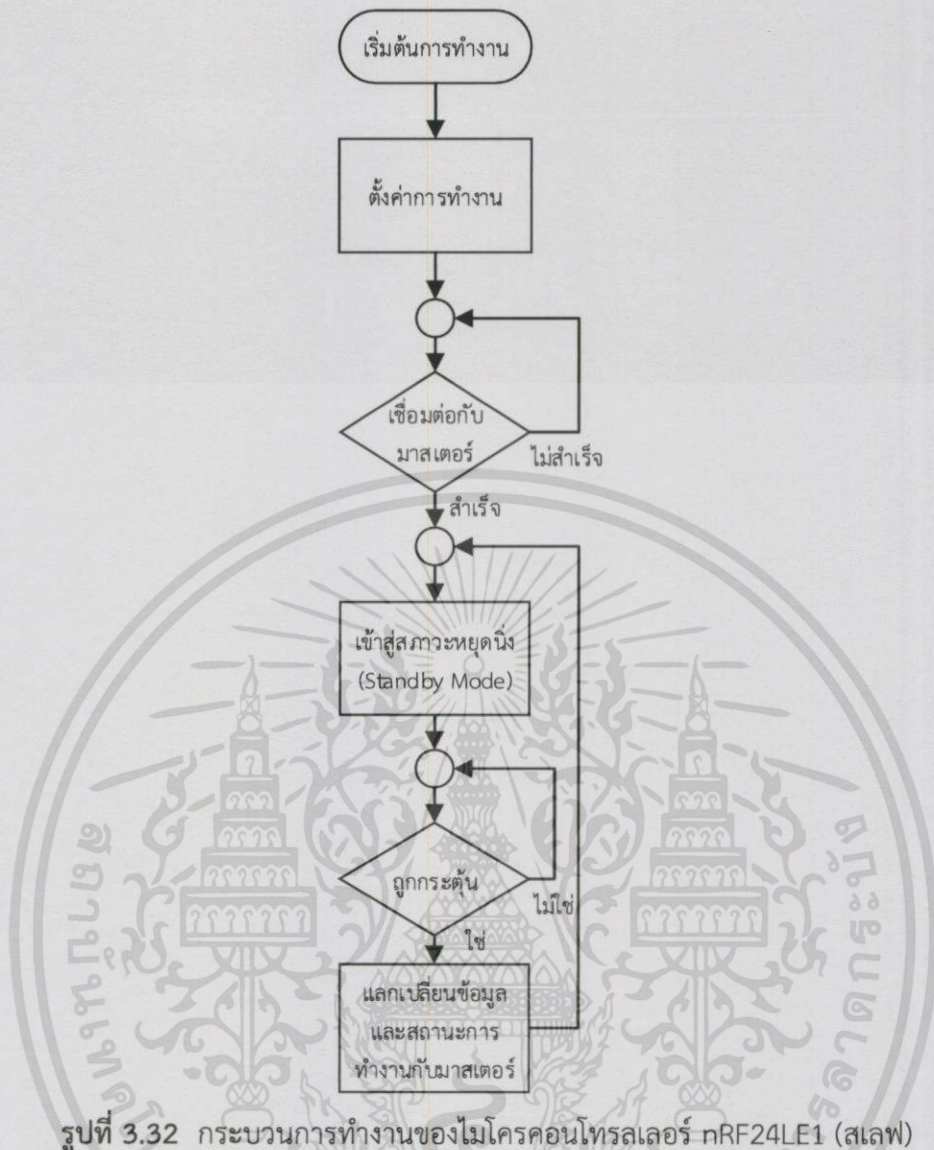


รูปที่ 3.30 บล็อกไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1



รูปที่ 3.31 กระบวนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 (มาสเตอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.32 กระบวนการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ RF24LE1 (สเลฟ)

1. อินเทอร์รัพท์ ใช้สำหรับขัดจังหวะการทำงานหลักเพื่อทำงานย่อย โดยตั้งค่ารีจิสเตอร์ EA เป็น 1 เพื่อเปิดการใช้งานอินเทอร์รัพท์ทั้งหมด จากนั้นตั้งค่ารีจิสเตอร์ RF เป็น 1 เพื่อเปิดการใช้งานอินเทอร์รัพท์จากโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย และตั้งค่ารีจิสเตอร์ ES0 เป็น 1 เพื่อเปิดการใช้งานอินเทอร์รัพท์จากพอร์ตอนุกรม (Serial Port)
2. Serial Port ใช้สำหรับรับส่งข้อมูลผ่าน UART โดยตั้งค่ารีจิสเตอร์ SOCON เป็น 0x05 เพื่อเป็นการเปิดการใช้งาน UART พร้อมทั้งเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรม และตั้งค่า Baud rates ของพอร์ตอนุกรมเป็น 38400 โดยตั้งค่ารีจิสเตอร์ SORELH เป็น 0x03 กับ SORELL เป็น 0xF3 ก่อนการเริ่มต้นใช้งานพอร์ตอนุกรมจะต้องตั้งค่ารีจิสเตอร์ SOBUF ซึ่งใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่รับ-ส่ง ให้เป็น 0 เพื่อลบค่าที่อยู่ในรีจิสเตอร์
3. Serial Peripheral Interface (SPI) ใช้สำหรับติดต่อกับไอซี ADE7763 โดยตั้งค่ารีจิสเตอร์ SPIMCON0 ให้เป็น 0x55 เพื่อเปิดการใช้งาน SPI ในการติดต่อผ่าน SPI นั้นจะมีขาที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ 4 ขาดด้วยกันคือ ขา CS ซึ่งจะต้องกำหนดขาดังกล่าวไว้เป็น 0 ทุกครั้งเมื่อต้องการรับ-ส่งข้อมูล และเมื่อไม่ใช้งานจะต้องกำหนดให้ขาดังกล่าวเป็น 1, ขา CLK จะเป็นฐานเวลาที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูล, ขา DO เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลออกไปยังมาสเตอร์หรือสเลฟ โดยในขณะที่รับ-ส่งข้อมูลขา CS ต้องมีค่าเป็น 0 เสมอ และ DI เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลจากตัวมาสเตอร์หรือสเลฟ โดยในขณะที่รับ-ส่งข้อมูลขา CS ต้องมีค่าเป็น 0 เสมอ

4. Pulse Width Modulate (PWM) ใช้สำหรับสร้างพัลส์ เพื่อส่งข้อมูลผ่านสัญญาณอินฟราเรด โดยตั้งค่ารีจิสเตอร์ PWMCON เป็น 0x31 เพื่อตั้งค่าความถี่ใช้งานเป็น 39.7 kHz และเปิดการใช้ขา PWM และตั้งค่ารีจิสเตอร์ PWMDCO เพื่อกำหนดขนาดดิวตี้ไซเคิลที่จะใช้งาน โดยตั้งค่าเป็น 0x0F เมื่อต้องการดิวตี้ไซเคิลเป็น 50% และตั้งค่าเป็น 0x00 เมื่อต้องการดิวตี้ไซเคิลเป็น 0%
5. Power Down Control ใช้สำหรับตั้งค่าให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่สภาวะประหยัดพลังงาน โดยตั้งค่ารีจิสเตอร์ PWRDWN เป็น 0x07 เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่สภาวะหยุดนิ่ง (Standby) และจะออกจากสภาวะหยุดนิ่งเมื่อมีการอินเตอร์รัพท์จากโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย
6. RF Transceiver ใช้สำหรับตั้งค่าโมดูลรับ-ส่งข้อมูลไร้สาย โดยตั้งค่ารีจิสเตอร์ EN_AA เป็น 0x03 เพื่อเปิดการใช้งานตอบกลับข้อมูลอัตโนมัติที่ Data Pipe 0 และ 1 ตั้งค่ารีจิสเตอร์ RF_CH เป็น 0x00 เพื่อเลือกความถี่ในการใช้งานเป็น 2.4 GHz ตั้งค่ารีจิสเตอร์ RF_SETUP เป็น 0x26 เพื่อเลือกตั้งค่าความเร็วในการทำงานเป็น 250kbps และกำลังในการรับ-ส่งข้อมูลเป็น 0 dBm และตั้งค่ารีจิสเตอร์ CONFIG เป็น 0x0E เพื่อตั้งค่าอินเตอร์รัพท์โมดูลส่งข้อมูลไร้สาย หรือเป็น 0x0F เพื่อตั้งค่าอินเตอร์รัพท์โมดูลส่งข้อมูลไร้สาย

3.7 ระบบฐานข้อมูล

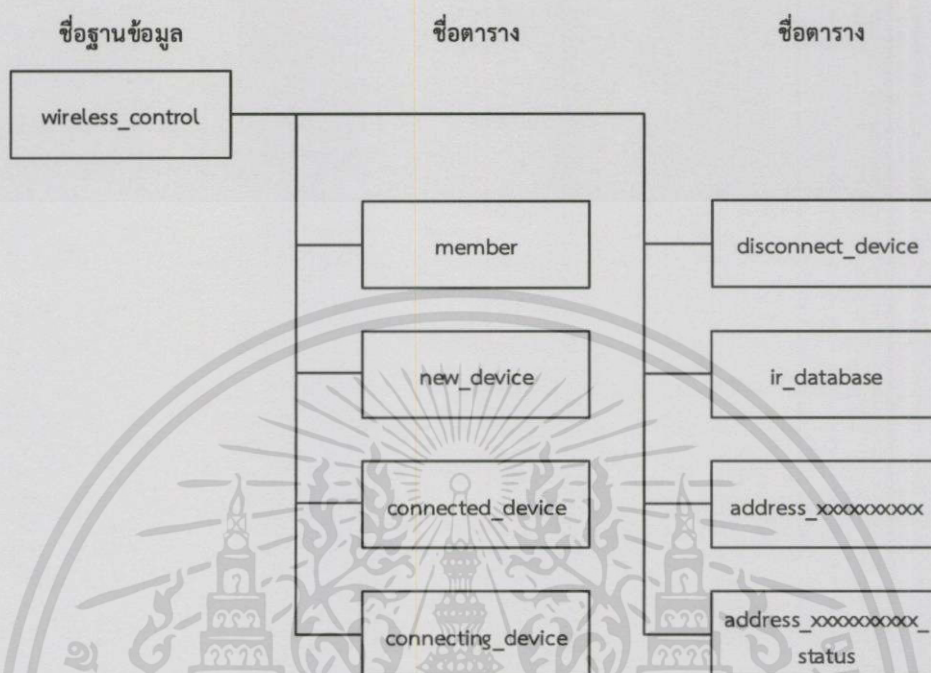
ระบบฐานข้อมูลที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลและสถานะการทำงานจะติดตั้งอยู่บน Raspberry Pi โดยมีระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL เป็นตัวจัดการฐานข้อมูล การสร้างฐานข้อมูลจะใช้ phpMyAdmin ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งกับฐานข้อมูลที่สร้างโดยภาษาพีเอชพี ใช้จัดการฐานข้อมูล MySQL ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ โดยสามารถที่จะสร้างฐานข้อมูลหรือสร้างตารางใหม่ได้ และยังสามารถใช้สำหรับการสืบค้นข้อมูล พร้อมกันนั้นยังสามารถทำการ แทรก แก้ไข หรือลบตารางได้ หรือแม้กระทั่งใช้คำสั่งต่าง ๆ ในการสร้างตารางข้อมูลเหมือนกับการใช้ภาษา SQL

3.7.1 โครงสร้างฐานข้อมูล

การออกแบบฐานข้อมูลเพื่อใช้สำหรับเก็บข้อมูลและสถานะการทำงาน ประกอบด้วยฐานข้อมูล wireless_control ซึ่งมีตาราง member, ตาราง new_device, ตาราง connected_device, ตาราง connecting_device, ตาราง disconnect_device, ตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ir_database, ตาราง address_XXXXXXXX และตาราง address_XXXXXXXX_status อยู่ภายในฐานข้อมูล โดยมีโครงสร้างฐานข้อมูลและตาราง ดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 โครงสร้างฐานข้อมูล

โครงสร้างฐานข้อมูลจะประกอบด้วยฐานข้อมูล และตารางข้อมูล โดยในปริญญานิพนธ์นี้ได้สร้างฐานข้อมูลที่มีชื่อว่า wireless_control เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยตารางดังนี้

1. ตาราง member ใช้สำหรับเก็บข้อมูลของผู้ใช้งาน ประกอบด้วย ลำดับผู้ใช้งาน (id), ชื่อผู้ใช้ (username), รหัสผ่าน (password), สิทธิการเข้าควบคุม (permission) และวันที่ลงทะเบียน (registration_date) ดังรูปที่ 3.34

| id | username | password | permission | registration_date |
|-----|----------|----------|------------|-------------------|
| ... | ... | ... | ... | ... |

รูปที่ 3.34 โครงสร้างตาราง member

2. ตาราง new_device ใช้สำหรับเก็บหมายเลขประจำตัวของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ) ที่ตรวจพบแต่ยังไม่สามารถเข้าควบคุมได้ ประกอบด้วย หมายเลขประจำตัวของสเลฟ (address), รหัสผ่านที่ใช้เชื่อมต่อกับสเลฟ (password), และสถานะของรหัสผ่าน (status) ดังรูปที่ 3.35

| address | password | status |
|---------|----------|--------|
| ... | ... | ... |

รูปที่ 3.35 โครงสร้างตาราง new_device

3. ตาราง connected_device ใช้สำหรับเก็บหมายเลขประจำตัวของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ) ที่สามารถเข้าควบคุมได้ ประกอบด้วย หมายเลขประจำตัวของสเลฟ (address), ตำแหน่งแกน x ของอุปกรณ์ตัวที่ 1 เพื่อใช้แสดงผลบนหน้า HMI (axis_x1), ตำแหน่งแกน y ของอุปกรณ์ตัวที่ 1 (axis_y1), องศาการหมุนของอุปกรณ์ตัวที่ 1 (axis_r1), คำอธิบายอุปกรณ์ตัวที่ 1 (description1), ตำแหน่งแกน x ของอุปกรณ์ตัวที่ 2 (axis_x2), ตำแหน่งแกน y ของอุปกรณ์ตัวที่ 2 (axis_y2), คำอธิบายอุปกรณ์ตัวที่ 2 (description2), ตำแหน่งแกน x ของอุปกรณ์ตัวที่ 3 (axis_x3), ตำแหน่งแกน y ของอุปกรณ์ตัวที่ 3 (axis_y3), คำอธิบายอุปกรณ์ตัวที่ 3 (description3) และรหัสผ่านที่ใช้เชื่อมต่อกับสเลฟ (password) ดังรูปที่ 3.36

| address | axis_x1 | axis_y1 | axis_r1 | description1 | axis_x2 | axis_y2 | description2 | axis_x3 | axis_y3 | description3 | password |
|---------|---------|---------|---------|--------------|---------|---------|--------------|---------|---------|--------------|----------|
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

รูปที่ 3.36 โครงสร้างตาราง connected_device

4. ตาราง connecting_device ใช้สำหรับเก็บหมายเลขประจำตัวของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ) ที่กำลังเชื่อมต่อ ประกอบด้วย หมายเลขประจำตัวของสเลฟที่กำลังเชื่อมต่อ (address) ดังรูปที่ 3.37

| address |
|---------|
| ... |

รูปที่ 3.37 โครงสร้างตาราง connecting_device

5. ตาราง disconnect_device ใช้สำหรับเก็บข้อมูลหมายเลขประจำตัวของกล่องควบคุมย่อย (สเลฟ) ที่ถูกตัดการเชื่อมต่อออกจากระบบประกอบด้วย หมายเลขประจำตัวของสเลฟที่ถูกตัดออกจากการเชื่อมต่อ (address) ดังรูปที่ 3.38

| address |
|---------|
| ... |

รูปที่ 3.38 โครงสร้างตาราง disconnect_device

6. ตาราง ir_database ใช้สำหรับเก็บชุดคำสั่งที่ใช้สำหรับการสั่งงานผ่านสัญญาณอินฟราเรด ประกอบด้วย ชื่อชุดคำสั่ง (command) และ ชุดคำสั่ง (code) ดังรูปที่ 3.39

| command | code |
|---------|------|
| ... | ... |

รูปที่ 3.39 โครงสร้างตาราง ir_database

7. ตาราง address_xxxxxxx โดย xxxxxxx จะแทนด้วยหมายเลขประจำตัวของสเลฟ ใช้สำหรับเก็บข้อมูลสถานะการทำงานของสเลฟในแต่ละช่วงเวลา โดยสเลฟที่ทำหน้าที่สั่งการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางสัญญาณอินฟราเรด จะมีหมายเลขประจำตัวเริ่มต้นด้วย 34 จะได้ตาราง address_34xxxxx ดังรูปที่ 3.40 ประกอบด้วย ลำดับข้อมูล (id), สถานะการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า (power), อุณหภูมิ (temp) และเวลาที่ทำงาน (time) และสเลฟที่ทำหน้าที่วัดค่ากระแสไฟฟ้าและควบคุมสถานะการเปิด-ปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า จะมีหมายเลขประจำตัวเริ่มต้นด้วย 43 จะได้ตาราง address_43xxxxx ดังรูปที่ 3.41 ประกอบด้วย ลำดับข้อมูล (id), สถานะการเปิด-ปิดของอุปกรณ์ตัวที่ 1 (sw1), สถานะการเปิด-ปิดของอุปกรณ์ตัวที่ 2 (sw2), สถานะการเปิด-ปิดของอุปกรณ์ตัวที่ 3 (sw3), กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ตัวที่ 1 (p1), กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ตัวที่ 2 (p2), กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ตัวที่ 3 (p3), กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตัวที่ 1 (i1), กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตัวที่ 2 (i2), กระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตัวที่ 3 (i3) และเวลาที่ทำงาน (time)

| id | power | temp | time |
|-----|-------|------|------|
| ... | ... | ... | ... |

รูปที่ 3.40 โครงสร้างตาราง address_34xxxxx

| id | sw1 | sw2 | sw3 | p1 | p2 | p3 | i1 | i2 | i3 | time |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

รูปที่ 3.41 โครงสร้างตาราง address_43xxxxxx

8. ตาราง address_xxxxxxx_status โดย xxxxxxxx จะแทนด้วยหมายเลขประจำตัวของสเลฟ ทำหน้าที่เก็บคำสั่งการทำงานของสเลฟ โดยสเลฟที่ทำหน้าที่สั่งการอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางสัญญาณอินฟราเรด จะมีหมายเลขประจำตัวขึ้นต้นด้วย 34 จะได้ตาราง address_34xxxxxx ดังรูปที่ 3.42 ประกอบด้วย ลำดับข้อมูล (id), สถานะการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า (power) และอุณหภูมิ (temp) และสเลฟที่ทำหน้าที่วัดค่ากระแสไฟฟ้า และควบคุมสถานะการเปิด-ปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า จะมีหมายเลขประจำตัวขึ้นต้นด้วย 43 จะได้ตาราง address_43xxxxxx ดังรูปที่ 3.43 ประกอบด้วย ลำดับข้อมูล (id), สถานะการเปิด-ปิดของอุปกรณ์ตัวที่ 1 (sw1), สถานะการเปิด-ปิดของอุปกรณ์ตัวที่ 2 (sw2) และสถานะการเปิด-ปิดของอุปกรณ์ตัวที่ 3 (sw3)

| id | power | temp |
|-----|-------|------|
| ... | ... | ... |

รูปที่ 3.42 โครงสร้างตาราง address_34xxxxxx_status

| id | sw1 | sw2 | sw3 |
|-----|-----|-----|-----|
| ... | ... | ... | ... |

รูปที่ 3.43 โครงสร้างตาราง address_43xxxxxx_status

3.8 เว็บเซิร์ฟเวอร์

เว็บเซิร์ฟเวอร์ทำหน้าที่ให้บริการเว็บไซต์ เพื่อใช้เป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยมี Apache HTTP Server ทำหน้าที่เป็นเว็บเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์สำหรับให้บริการเซิร์ฟเวอร์บนโพรโทคอล HTTP ถูกติดตั้งอยู่บน Raspberry Pi การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานได้ออกแบบมาเพื่อทำงานบนเว็บเบราว์เซอร์ โดยควบคุมผ่านทางหน้าเว็บไซต์ เนื่องจากในปัจจุบันอุปกรณ์ไอทีจำนวนมาก ได้รองรับการใช้งานเว็บเบราว์เซอร์ จึงทำให้ผู้ใช้งานสามารถที่จะเข้าควบคุมได้หลากหลายวิธีเช่น ผ่านโทรศัพท์มือถือ หรือผ่านคอมพิวเตอร์ ดังนั้นในการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน หน้าเว็บไซต์จะต้องสนับสนุนการทำงานบนอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน

ในปริญญาวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เลือกใช้โปรแกรม Adobe Dreamweaver CC® มาพัฒนาเว็บไซต์เพื่อสร้างส่วนติดต่อผู้ใช้งาน เนื่องจากโปรแกรม Adobe Dreamweaver CC® ได้มีเครื่องมือที่ช่วยในการออกแบบหน้าเว็บไซต์ที่มีขนาดที่หลากหลาย และได้ทดสอบบนเว็บเบราว์เซอร์ Google Chrome® เนื่องจาก Google Chrome® เป็นเว็บเบราว์เซอร์ที่ได้รับความนิยมและสามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย

3.8.1 การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน

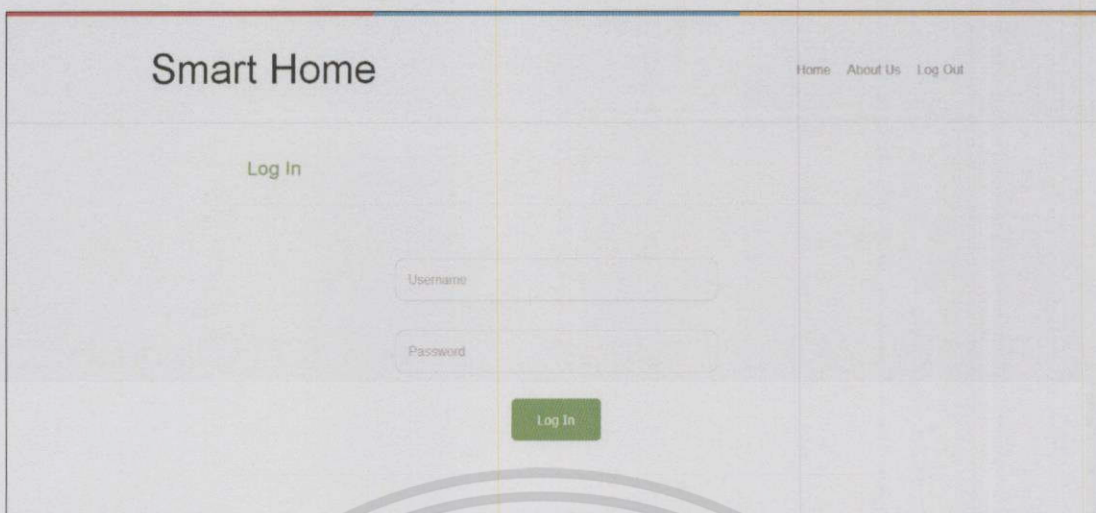
ส่วนติดต่อผู้ใช้งานได้ออกแบบมาเพื่อใช้เป็นหน้าต่างควบคุม และแสดงผลการทำงาน โดยออกแบบหน้าเว็บไซต์ให้สนับสนุนการทำงานบนขนาดหน้าจอที่หลากหลาย โดยที่หน้าเว็บไซต์ยังคงมีความสามารถในการทำงานที่เหมือนกัน แต่รูปแบบการจัดเนื้อหาจะแตกต่างกันไปตามความเหมาะสมดังรูปที่ 3.44



รูปที่ 3.44 ส่วนติดต่อผู้ใช้งานบนคอมพิวเตอร์ และโทรศัพท์มือถือ

ในการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งานนั้นได้มีการคำนึงถึงความปลอดภัยในการเข้าใช้งาน เพื่อป้องกันการเข้าใช้งานจากผู้ใช้งานที่ไม่ได้รับอนุญาต โดยมีหน้าต่างเข้าสู่ระบบดังรูปที่ 3.45 ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องป้อนชื่อผู้ใช้งานและรหัสผ่านก่อนเข้าสู่ระบบ ซึ่งผู้ใช้งานที่ไม่มีชื่ออยู่ในระบบสามารถสมัครสมาชิกเพื่อเข้าใช้งานได้ แต่จะต้องได้รับการยืนยันการใช้งานจากผู้ดูแลระบบก่อน การเข้าสู่ระบบจะแบ่งผู้ใช้ออกเป็นสองกลุ่มคือ ผู้ใช้งานทั่วไป (User) และผู้ดูแลระบบ (Admin) โดยผู้ดูแลระบบจะมีสิทธิในการควบคุม และตรวจสอบการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าเหมือนกับผู้ใช้งานทั่วไป แต่ผู้ดูแลระบบจะมีสิทธิในการเปลี่ยนข้อมูลของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า เพิ่มหรือลบสเลฟออกจากระบบ และจัดการผู้ใช้งาน การควบคุมการทำงานสามารถควบคุมได้โดยตรงผ่านทางหน้า Control ดังรูปที่ 3.46 ผู้ใช้งานสามารถเปิด-ปิดการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าโดยกดที่ปุ่ม On-Off หรือปรับเปลี่ยนอุณหภูมิได้โดยกดที่ปุ่ม Up-Down ในเว็บไซต์ยังมีหน้าต่าง HMI เพื่อใช้สำหรับดูการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้างดรูปที่ 3.47 และมีหน้าต่างแสดงประวัติการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในหน้า Record และ Graph ดังรูปที่ 3.48 และ 3.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.45 หน้าต่างเข้าสู่ระบบ

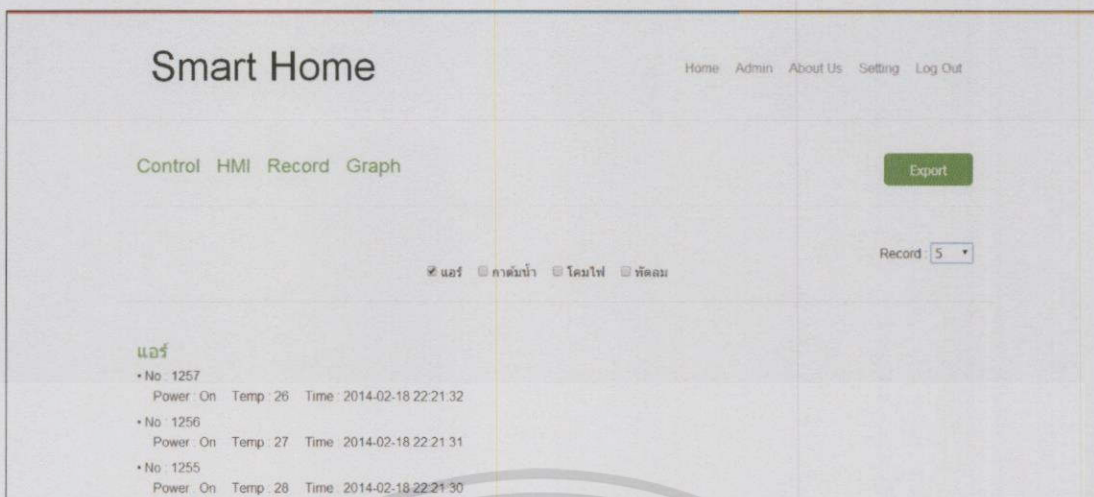


รูปที่ 3.46 หน้าต่างควบคุมการใช้งาน



รูปที่ 3.47 หน้าต่าง HMI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.48 หน้าต่างแสดงประวัติการใช้งาน



รูปที่ 3.49 หน้าต่างแสดงกราฟประวัติการใช้พลังงาน

3.8.2 การทำงานของส่วนติดต่อผู้ใช้งาน

การทำงานของส่วนติดต่อผู้ใช้งานได้ใช้เทคนิค Ajax (Asynchronous JavaScript and XML) ซึ่งเป็นกลุ่มของเทคนิคที่ใช้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อให้มีความสามารถโต้ตอบกับผู้ใช้งาน โดยการรับส่งข้อมูลในฉากหลังทำให้ไม่ต้องโหลดหน้าเว็บไซต์ใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งช่วยทำให้เพิ่มความเร็วในการตอบสนอง และการใช้งานโดยรวม มาพัฒนาหน้าเว็บไซต์โดยใช้ Ajax ทำงานร่วมกับ JavaScript เพื่อรับคำสั่งจากผู้ใช้งานไปประมวลผลกับฐานข้อมูลและส่งข้อมูลกลับมาแสดงยังหน้าเว็บไซต์

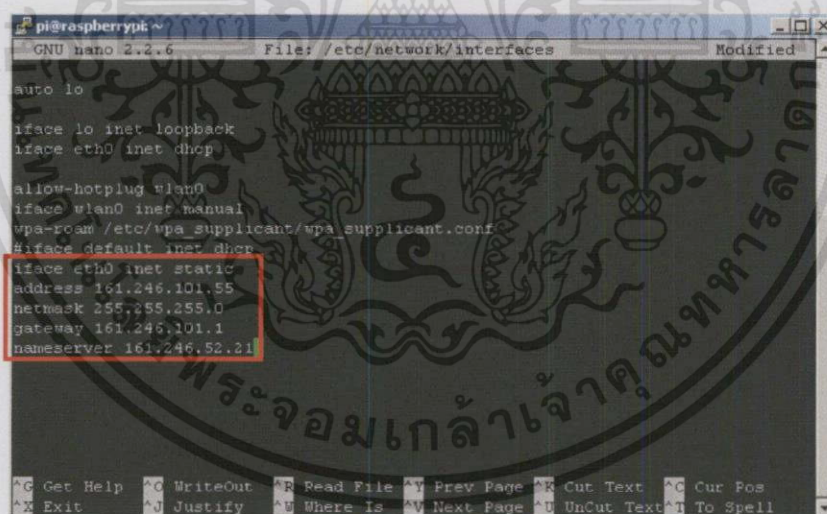
การทำงานในหน้าต่างควบคุม (Control) จะใช้ JavaScript ทำหน้าที่ตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของหน้าเว็บไซต์ เมื่อผู้ใช้งานสั่งงานโดยกดปุ่มที่อยู่บนหน้าเว็บไซต์เพื่อเปลี่ยนสถานะการทำงานของสเลฟ JavaScript จะส่งข้อมูลหมายเลขประจำตัวของสเลฟ และฟังก์ชันการทำงานผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ajax ไปประมวลผลกับฐานข้อมูลและเก็บข้อมูลลงตาราง address_xxxxxxx_status โดย xxxxxxxx จะแทนด้วยหมายเลขประจำตัวของสเลฟ เพื่อเก็บสถานะคำสั่งการทำงานของสเลฟเพื่อให้ Raspberry Pi นำข้อมูลไปประมวลผล และส่งค่าให้กับมาสเตอร์เพื่อส่งต่อไปยังสเลฟ โดยค่าของสถานะการทำงานของสเลฟในหน้าควบคุมจะดึงข้อมูลมาจากตาราง address_xxxxxxx เนื่องจากเป็นตารางที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลสถานะการทำงานล่าสุดของสเลฟ

3.8.3 การตั้งค่าหมายเลข IP ของเว็บเซิร์ฟเวอร์

การทำงานตั้งค่าหมายเลข IP ของเว็บเซิร์ฟเวอร์ จะต้องตั้งหมายเลข IP ที่ไฟล์ interfaces ในโฟลเดอร์ /etc/network บน Raspberry Pi หรือใช้คำสั่ง sudo nano /etc/network/interfaces ซึ่งตั้งค่าการทำงานดังรูปที่ 3.50 โดยปิดการใช้งานฟังก์ชัน dhcp เพื่อปิดการรับหมายเลข IP อัตโนมัติ โดยใช้เครื่องหมาย # วางไว้หน้าบรรทัด iface default inet dhcp จะได้ #iface default inet dhcp และเพิ่มคำสั่ง iface eth0 inet static เพื่อกำหนดการตั้งค่า network เอง โดยตั้งค่า address เป็นหมายเลข IP ของเซิร์ฟเวอร์ที่ต้องการ เช่น 161.246.101.55 และตั้งค่า netmask เป็น 255.255.255.0, gateway เป็น 161.246.101.1, nameserver เป็น 161.246.52.21 เพื่อเชื่อมต่อเว็บเซิร์ฟเวอร์เข้ากับโมเด็มอินเทอร์เน็ต



```

pi@raspberrypi: ~
GNU nano 2.2.6 File: /etc/network/interfaces Modified
auto lo
iface lo inet loopback
iface eth0 inet dhcp
allow-hotplug wlan0
iface wlan0 inet manual
wpa-ecm /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf
#iface default inet dhcp
iface eth0 inet static
address 161.246.101.55
netmask 255.255.255.0
gateway 161.246.101.1
nameserver 161.246.52.21
^C Get Help ^O WriteOut ^R Read File ^V Prev Page ^K Cut Text ^C Cur Pos
^X Exit ^J Justify ^W Where Is ^N Next Page ^U UnCut Text ^I To Spell

```

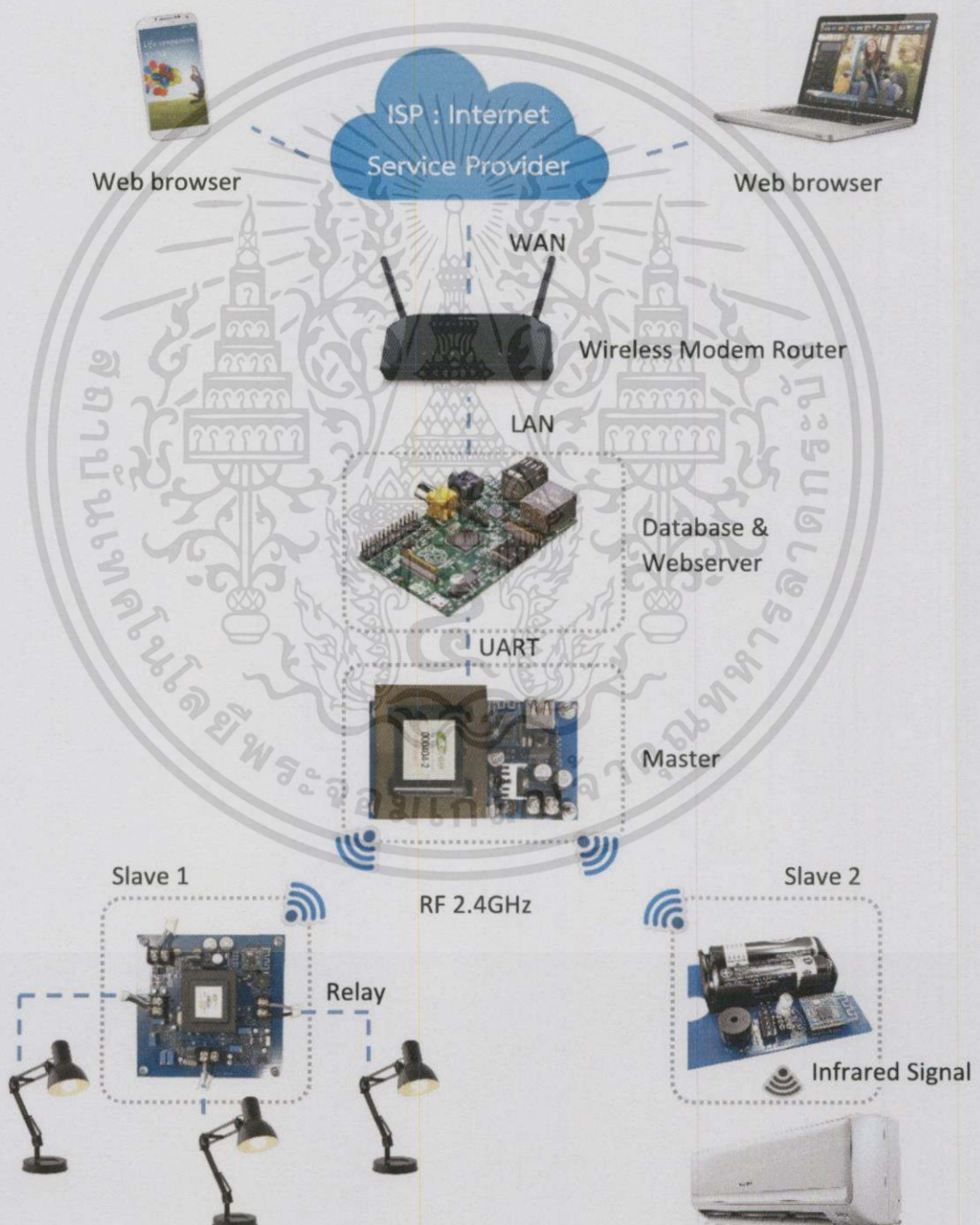
รูปที่ 3.50 การตั้งค่าหมายเลข IP ของเว็บเซิร์ฟเวอร์

บทที่ 4

การทดสอบการทำงานของระบบ

4.1 กล่าวนำ

ในบทจะนี้นำเสนอการทดสอบการทำงานของระบบควบคุม ซึ่งประกอบด้วย ส่วนฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และแอปพลิเคชัน เพื่อตรวจสอบและบันทึกผลการทำงานของระบบ ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างระบบที่ทำการทดสอบการเชื่อมต่อและสั่งการ

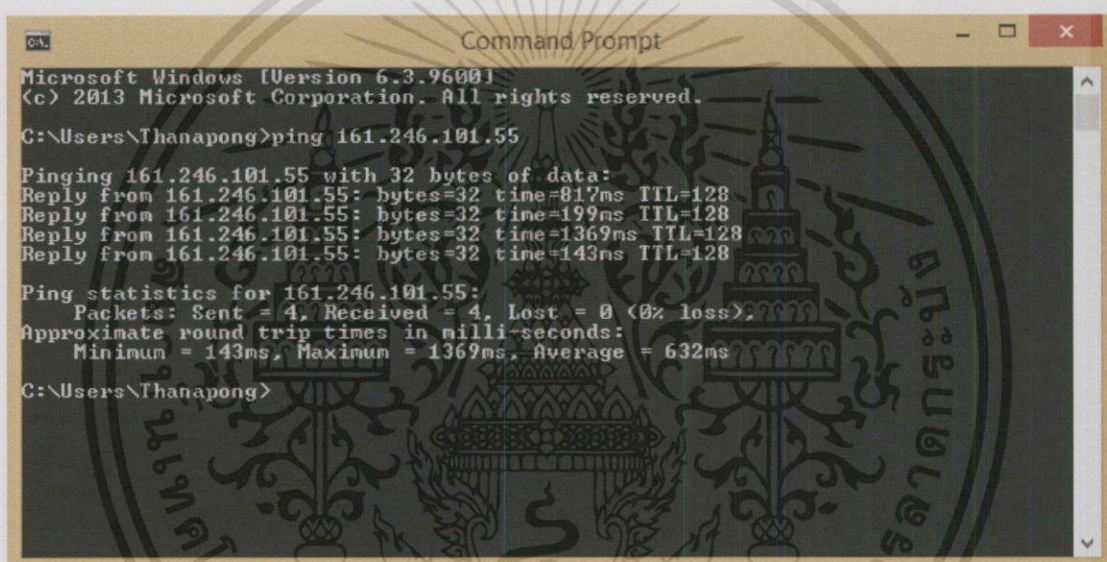
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบการทำงานของระบบ

การทดสอบจะแบ่งการทดสอบออกเป็น การทดสอบการเชื่อมต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ การทดสอบการเชื่อมต่อกล่องควบคุมหลักกับกล่องควบคุมย่อย การทดสอบการเชื่อมต่อกล่องควบคุมที่ระยะต่าง ๆ การทดสอบการส่งงานรีเลย์ การทดสอบวัดกระแสไฟฟ้า การทดสอบการส่งการผ่านสัญญาณอินฟราเรด และการทดสอบการส่งงานผ่านเว็บเบราว์เซอร์

4.2.1 การทดสอบการเชื่อมต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์

การเชื่อมต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์โดยการใช้ CMD (Command Prompt) Ping หมายเลข IP ของเว็บเซิร์ฟเวอร์ เพื่อตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ดังรูปที่ 4.2



```

C:\Users\Thanapong>ping 161.246.101.55

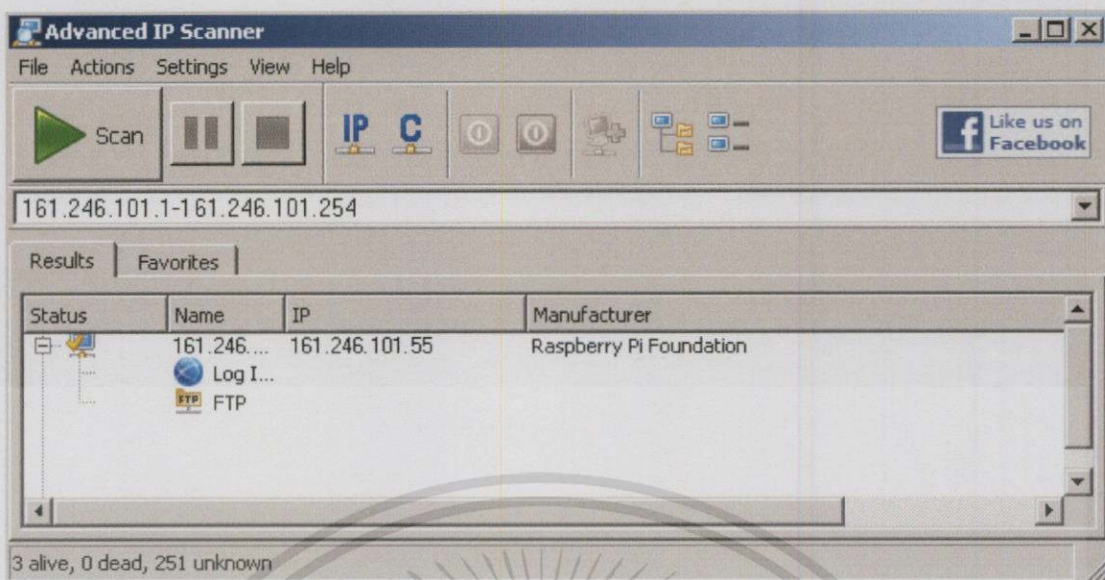
Pinging 161.246.101.55 with 32 bytes of data:
Reply from 161.246.101.55: bytes=32 time=817ms TTL=128
Reply from 161.246.101.55: bytes=32 time=199ms TTL=128
Reply from 161.246.101.55: bytes=32 time=1369ms TTL=128
Reply from 161.246.101.55: bytes=32 time=143ms TTL=128

Ping statistics for 161.246.101.55:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 143ms, Maximum = 1369ms, Average = 632ms

C:\Users\Thanapong>
  
```

รูปที่ 4.2 การทดสอบ Ping IP เพื่อตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์

จากการทดสอบพบว่า สามารถเชื่อมต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ได้ โดยเว็บเซิร์ฟเวอร์มีหมายเลข IP เป็น 161.246.101.55 ในกรณีที่ไม่ทราบหมายเลข IP ของเซิร์ฟเวอร์สามารถค้นหาหมายเลข IP ได้ โดยใช้โปรแกรม Advanced IP Scanner ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การค้นหาหมายเลข IP โดยใช้โปรแกรม Advanced IP Scanner

4.2.2 การทดสอบการสั่งการผ่านเว็บเบราว์เซอร์ไปยังกล่องควบคุม


การทดสอบนี้จะทดสอบการสั่งการผ่านเว็บเบราว์เซอร์ไปยังกล่องควบคุม เพื่อดูสถานะการทำงานของระบบ ประกอบด้วยผลลัพธ์ของฐานข้อมูลโดยดูผ่านโปรแกรม Putty ผลลัพธ์ของกล่องควบคุมหลัก และผลลัพธ์ของกล่องควบคุมย่อย โดยดูผ่านโปรแกรมอ่านค่า UART ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การสั่งการผ่านเว็บเบราว์เซอร์

| คำสั่งจากเว็บเบราว์เซอร์ | ตำแหน่งที่ตรวจสอบ | ผลลัพธ์ |
|--------------------------|-------------------|--|
| | ฐานข้อมูล | <pre>***** 1 25 17 0 4377 2 167 16 0 4263 3 119 8 0 2167 0 0 0 627.375245 524.204383 687.305169 Off</pre> |
| | กล่องควบคุมหลัก | <pre>34 43 10 10 01 6E 1E 59 2C 06 10 06 05 06 05 06 05 06 10 07 04 06 10 06 05 07 04 06 05 06 05 06 05 06 05 06 05 00 FF 63</pre> |
| | กล่องควบคุมย่อย | <pre>6E 1E 59 2C 06 10 06 05 06 05 06 05 06 10 07 04 06 10 06 05 07 04 06 05 06 05 06 05 06 05 06 05</pre> |

| คำสั่งจากเว็บเบราว์เซอร์ | ตำแหน่งที่ตรวจสอบ | ผลลัพธ์ |
|---|-------------------|--|
| <p>แอร์ห้องทำงาน</p> <p>Power</p> <p>On</p> <p>On Off</p> | ฐานข้อมูล | <pre>***** 1 70 17 0 4422 2 178 16 0 4274 3 37 7 0 1829 0 0 0 627.375245 524.204383 687.305169 On</pre> |
| | กล่องควบคุมหลัก | <pre>34 43 10 10 01 6E 1E 59 2C 07 10 06 05 06 05 06 0F 06 05 07 04 06 10 06 05 06 05 06 0F 07 04 06 10 06 05 07 04 00 FF 78</pre> |
| | กล่องควบคุมย่อย | <pre>6E 1E 59 2C 07 10 06 05 06 05 06 0F 06 05 07 04 06 10 06 05 06 05 06 0F 07 04 06 10 06 05 07 04</pre> |
| <p>Temp</p> <p>25 °C</p> <p>Up Down</p> | ฐานข้อมูล | <pre>***** 1 197 16 0 4293 2 57 16 0 4153 3 195 6 0 1731 0 0 0 627.375245 524.204383 687.305169 25</pre> |
| | กล่องควบคุมหลัก | <pre>34 43 10 10 01 6E 1E 5A 2C 07 0F 06 05 06 05 06 10 07 04 06 05 06 10 06 05 07 0F 07 04 06 05 06 10 06 05 06 05 00 FF 7A</pre> |
| | กล่องควบคุมย่อย | <pre>6E 1E 5A 2C 07 0F 06 05 06 05 06 10 07 04 06 05 06 10 06 05 07 0F 07 04 06 05 06 10 06 05 06 05</pre> |
| <p>คอมไฟในห้องนอน</p> <p>Off</p> <p>On Off</p> | ฐานข้อมูล | <pre>***** 1 33 17 0 4385 2 138 16 0 4264 3 18 7 0 1810 0 0 0 627.375245 524.204383 687.420863 Off</pre> |
| | กล่องควบคุมหลัก | <pre>43 43 10 10 01 73 01 00 FF 00 FF FD</pre> |
| <p>คอมไฟในห้องนอน</p> <p>On</p> <p>On Off</p> | กล่องควบคุมย่อย | <pre>73 01 00 FF</pre> |
| | ฐานข้อมูล | <pre>***** 1 214 16 0 4310 2 130 16 0 4226 3 246 6 0 1782 0 0 0 627.375245 524.204383 687.305169 On</pre> |

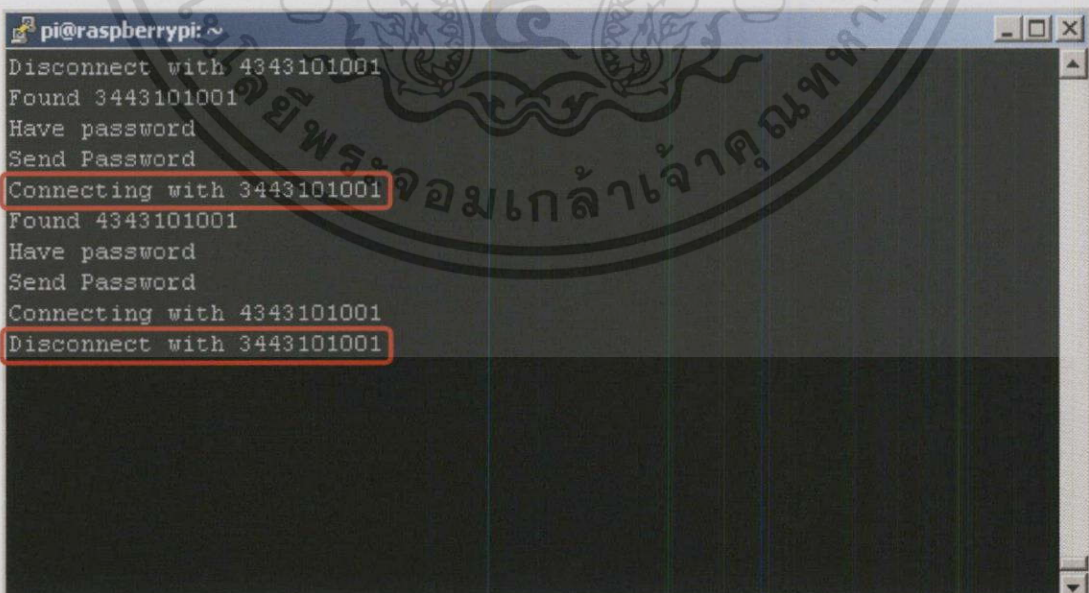
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| คำสั่งจากเว็บเบราว์เซอร์ | ตำแหน่งที่ตรวจสอบ | ผลลัพธ์ |
|---|-------------------|--|
|  | กล่องควบคุมหลัก | 43 43 10 10 01 73 01 01 FF 00 FF FE |
| | กล่องควบคุมย่อย | 73 01 01 FF |

จากการทดสอบ พบว่าการสั่งการผ่านเว็บเบราว์เซอร์ Raspberry Pi สามารถตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจากฐานข้อมูลได้ และส่งต่อข้อมูลไปยังมาสเตอร์ และสเลฟได้ตามรูปแบบการทำงานที่กำหนดไว้

4.2.3 การทดสอบการเชื่อมต่อกล่องควบคุมหลักกับกล่องควบคุมย่อย

การทดสอบการเชื่อมต่อกล่องควบคุมหลักกับกล่องควบคุมย่อย โดยดูสถานะการเชื่อมต่อของกล่องควบคุมผ่านทางโปรแกรม Putty ซึ่งเป็นโปรแกรมใช้สำหรับเข้าควบคุมการทำงานของ Raspberry Pi จากระยะไกล โดยเมื่อกล่องควบคุมย่อยเชื่อมต่อกับระบบ Putty จะแสดงข้อความ Connecting with xxxxxxxx และเมื่อกล่องควบคุมย่อยหลุดการเชื่อมต่อกับระบบ Putty จะแสดงข้อความ Disconnect with xxxxxxxx โดย xxxxxxxx จะแทนด้วยหมายเลขประจำตัวของกล่องควบคุมย่อยดังรูปที่ 4.4



```

pi@raspberrypi: ~
Disconnect with 4343101001
Found 3443101001
Have password
Send Password
Connecting with 3443101001
Found 4343101001
Have password
Send Password
Connecting with 4343101001
Disconnect with 3443101001

```

รูปที่ 4.4 หน้าต่างแสดงผลการเชื่อมต่อกับกล่องควบคุมย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การทดสอบการเชื่อมต่อกล่องควบคุมที่ระยะต่าง ๆ

การทดสอบนี้จะทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างกล่องควบคุมที่ระยะต่าง ๆ เพื่อทดสอบระยะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 โดยแบ่งออกเป็นเงื่อนไขในการทดสอบออกเป็น 3 เงื่อนไขที่แตกต่างกันตามตารางที่ 4.2, 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลที่ระยะ 5 เมตร

| การทดสอบครั้งที่ | มีสิ่งกีดขวาง | ไม่มีสิ่งกีดขวาง |
|------------------|------------------|------------------|
| 1 | รับ-ส่งข้อมูลได้ | รับ-ส่งข้อมูลได้ |
| 2 | รับ-ส่งข้อมูลได้ | รับ-ส่งข้อมูลได้ |
| 3 | รับ-ส่งข้อมูลได้ | รับ-ส่งข้อมูลได้ |

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลที่ระยะ 5-10 เมตร

| การทดสอบครั้งที่ | มีสิ่งกีดขวาง | ไม่มีสิ่งกีดขวาง |
|------------------|---------------------|------------------|
| 1 | รับ-ส่งข้อมูลไม่ได้ | รับ-ส่งข้อมูลได้ |
| 2 | รับ-ส่งข้อมูลได้ | รับ-ส่งข้อมูลได้ |
| 3 | รับ-ส่งข้อมูลได้ | รับ-ส่งข้อมูลได้ |

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการรับ-ส่งข้อมูลที่ระยะ 10-15 เมตร

| การทดสอบครั้งที่ | มีสิ่งกีดขวาง | ไม่มีสิ่งกีดขวาง |
|------------------|---------------------|------------------|
| 1 | รับ-ส่งข้อมูลไม่ได้ | รับ-ส่งข้อมูลได้ |
| 2 | รับ-ส่งข้อมูลไม่ได้ | รับ-ส่งข้อมูลได้ |
| 3 | รับ-ส่งข้อมูลไม่ได้ | รับ-ส่งข้อมูลได้ |

สรุปผลการทดสอบจากตารางที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 จะเห็นได้ว่าในระยะการรับ-ส่งข้อมูลในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ไกลถึง 15 เมตร แต่ในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางจะรับ-ส่งข้อมูลได้ดีในช่วงระยะ 5 เมตร และจะเกิดข้อขัดข้องในการส่งข้อมูลในระยะ 5-10 เมตร และจะไม่สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ที่ระยะ 10-15 เมตร

4.2.5 การทดสอบการสั่งงานรีเลย์

การทดสอบนี้จะทดสอบการสั่งงานรีเลย์ เพื่อควบคุมสถานะการเปิด-ปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุต ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการสั่งงานรีเลย์ที่ระยะ 5 เมตร

| การทดสอบครั้งที่ | รีเลย์ตัวที่ 1 | รีเลย์ตัวที่ 2 | รีเลย์ตัวที่ 3 |
|------------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ |
| 2 | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ |
| 3 | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ |
| 4 | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ |
| 5 | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ |
| 6 | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ |
| 7 | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ |
| 8 | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ |
| 9 | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ |
| 10 | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ | สั่งงานได้ |

สรุปผลการทดสอบจากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าการสั่งงานรีเลย์สามารถสั่งงานได้ถูกต้องไม่เกิดข้อผิดพลาดในการทำงานเมื่ออยู่ในระยะ 5 เมตร

4.2.6 การทดสอบวัดกระแสไฟฟ้า

ในการทดสอบการทำงานของวงจรวัดกระแสไฟฟ้า จะต่ออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเข้ากับวงจรวัดกระแสไฟฟ้า โดยมีแอมป์มิเตอร์ต่ออนุกรมอยู่เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากไอซี ADE7763 และแอมป์มิเตอร์ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.6, 4.7 และ 4.8

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหาได้จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{\text{ค่าจริง} - \text{ค่าที่ได้จากการทดสอบ}}{\text{ค่าจริง}} \times 100\% \quad (4.1)$$

ตารางที่ 4.6 การทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าช่องที่ 1

| ค่ากระแสที่วัดได้จาก แอมป์มิเตอร์ (mA) | ค่าที่อ่านได้จาก ADE7763 | ช่องที่ 1 (mA) | ค่าความคลาด เคลื่อน (%) |
|---|-----------------------------|----------------|----------------------------|
| 130 | 2846.966667 | 130.0022213 | 0.0017 |
| 139 | 3150.066667 | 140.9016973 | 1.3681 |
| 155 | 3885.700000 | 167.3550720 | 7.9710 |
| 170 | 4343.333333 | 183.8115667 | 8.1245 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ค่ากระแสที่วัดได้จาก แอมป์เตอร์ (mA) | ค่าที่อ่านได้จาก ADE7763 | ช่องที่ 1 (mA) | ค่าความคลาด เคลื่อน (%) |
|---|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 250 | 5668.530000 | 231.4656388 | 7.413744 |
| 257 | 5999.800000 | 243.3781080 | 5.300347 |
| 268 | 6317.100000 | 254.7882160 | 4.929770 |
| 286 | 6968.900000 | 278.2269440 | 2.717852 |
| 290 | 7057.666667 | 281.4189933 | 2.958968 |
| 300 | 7118.100000 | 283.5921760 | 5.469275 |
| 308 | 7381.100000 | 293.0496560 | 4.854008 |
| 320 | 7865.666667 | 310.4746733 | 2.976665 |
| 328 | 8062.800000 | 317.5635880 | 3.181833 |
| 377 | 9715.857143 | 377.0075229 | 0.002000 |
| | | ค่าเฉลี่ยความคลาด เคลื่อน (%) | 4.090700 |

สมการเส้นตรงของช่องที่ 1

หาจากสมการ

$$y = mx + c \quad (4.2)$$

โดยค่าความชันหาได้จาก

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (4.3)$$

$$m = \frac{377 - 130}{9715.857 - 2846.966} \quad (4.4)$$

$$m = 0.03596 \quad (4.5)$$

แทนค่าความชันลงในสมการ (4.2) ได้

$$y = 0.03596x + c \quad (4.6)$$

แทนค่า x และ y ลงในสมการ (4.6) ได้

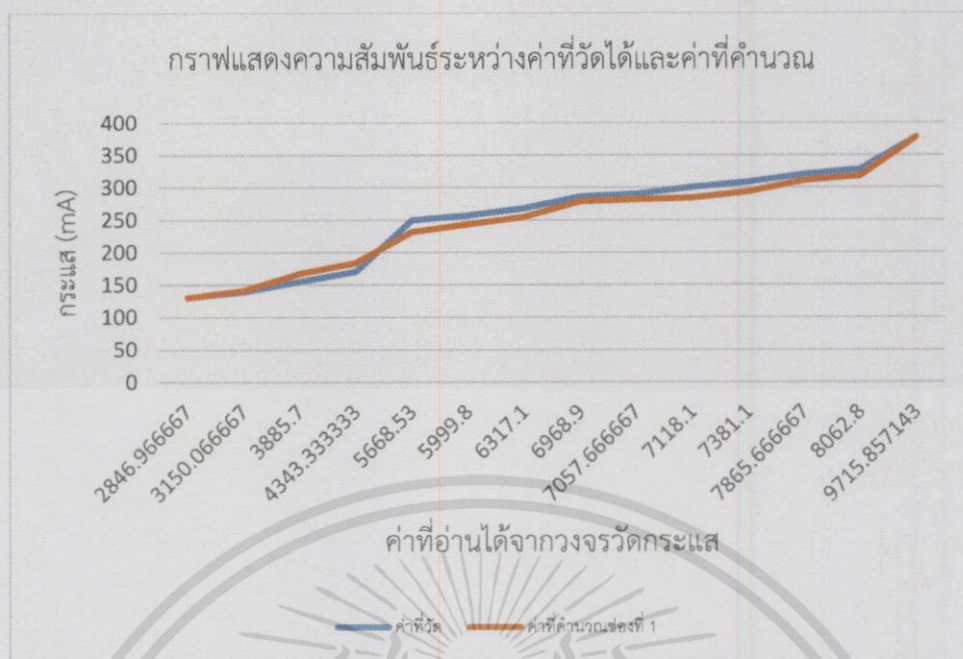
$$130 = (0.03596 \times 2846.966) + c \quad (4.7)$$

$$c = 27.623 \quad (4.8)$$

จะได้สมการเส้นตรงของตัววัดกระแสช่องที่ 1 คือ

$$y = 0.03596x - 27.623 \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้และค่าที่คำนวณของช่องที่ 1

ตารางที่ 4.7 การทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าช่องที่ 2

| ค่ากระแสที่วัดได้จากแอมป์เตอร์ (mA) | ค่าที่อ่านได้จาก ADE7763 | ช่องที่ 2 (mA) | ค่าความคลาดเคลื่อน (%) |
|-------------------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------|
| 130 | 4555.400000 | 130.0003240 | 0.000200 |
| 139 | 4752.100000 | 136.8966260 | 1.513219 |
| 155 | 4989.133333 | 145.2070147 | 6.318055 |
| 170 | 5665.750000 | 168.9291950 | 0.629885 |
| 250 | 7682.530000 | 239.6375018 | 4.144999 |
| 257 | 7852.214286 | 245.5866329 | 4.440999 |
| 268 | 8124.181818 | 255.1218145 | 4.805293 |
| 286 | 8491.545455 | 268.0015836 | 6.293153 |
| 290 | 8765.870000 | 277.6194022 | 4.269172 |
| 300 | 8859.600000 | 280.9055760 | 6.364808 |
| 308 | 9005.400000 | 286.0173240 | 7.137232 |
| 320 | 9575.680000 | 306.0113408 | 4.371456 |
| 328 | 9737.900000 | 311.6987740 | 4.969886 |
| 377 | 11600.50000 | 377.0015300 | 0.000400 |
| | | ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน (%) | 3.947054 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการเส้นตรงของช่องที่ 2

หาจากสมการ $y = mx + c$ (4.10)

โดยค่าความชันหาได้จาก $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ (4.11)

$$m = \frac{377 - 130}{11600.5 - 4555.4}$$
 (4.12)

$$m = 0.03505$$
 (4.13)

แทนค่าความชันลงในสมการ (4.10) ได้ $y = 0.03505x + c$ (4.14)

แทนค่า x และ y ลงในสมการ (4.14) ได้ $130 = (0.03505 \times 4555.4) + c$ (4.15)

$$c = -29.666$$
 (4.16)

จะได้สมการเส้นตรงของตัววัดกระแสช่องที่ 2 คือ

$$y = 0.0305x - 29.666$$
 (4.17)



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้และค่าที่คำนวณของช่องที่ 2

ตารางที่ 4.8 การทดสอบการวัดกระแสไฟฟ้าช่องที่ 3

| ค่ากระแสที่วัดได้จาก แอมป์เตอร์ (mA) | ค่าที่วัดได้จาก ADE7763 | ช่องที่ 3 (mA) | ค่าความคลาด เคลื่อน (%) |
|---|----------------------------|----------------|----------------------------|
| 130 | 4964.200000 | 130.0027780 | 0.002100 |
| 139 | 5011.333333 | 132.1280200 | 4.943871 |
| 155 | 5267.300000 | 143.6695570 | 7.309963 |
| 170 | 5661.083333 | 161.4252475 | 5.043972 |
| 250 | 7051.125000 | 224.1022263 | 10.35911 |
| 257 | 7087.642857 | 225.7488164 | 12.15999 |
| 268 | 7340.769231 | 237.1622846 | 11.50661 |
| 286 | 7726.615385 | 254.5600877 | 10.99298 |
| 290 | 8032.330000 | 268.3447597 | 7.467324 |
| 300 | 8280.000000 | 279.5122000 | 6.829267 |
| 308 | 8626.250000 | 295.1246125 | 4.180321 |
| 320 | 8765.485000 | 301.4027187 | 5.811650 |
| 328 | 8857.250000 | 305.5404025 | 6.847438 |
| 377 | 10442.200000 | 377.0057980 | 0.001500 |
| ค่าเฉลี่ยความคลาด เคลื่อน(%) | | | 6.675435 |

สมการเส้นตรงของช่องที่ 3

$$\text{หาจากสมการ} \quad y = mx + c \quad (4.18)$$

$$\text{โดยค่าความชันหาได้จาก} \quad m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (4.19)$$

$$m = \frac{377 - 130}{10442.2 - 4964.2} \quad (4.20)$$

$$m = 0.045 \quad (4.21)$$

$$\text{แทนค่าความชันลงในสมการ (4.18) ได้} \quad y = 0.045x + c \quad (4.22)$$

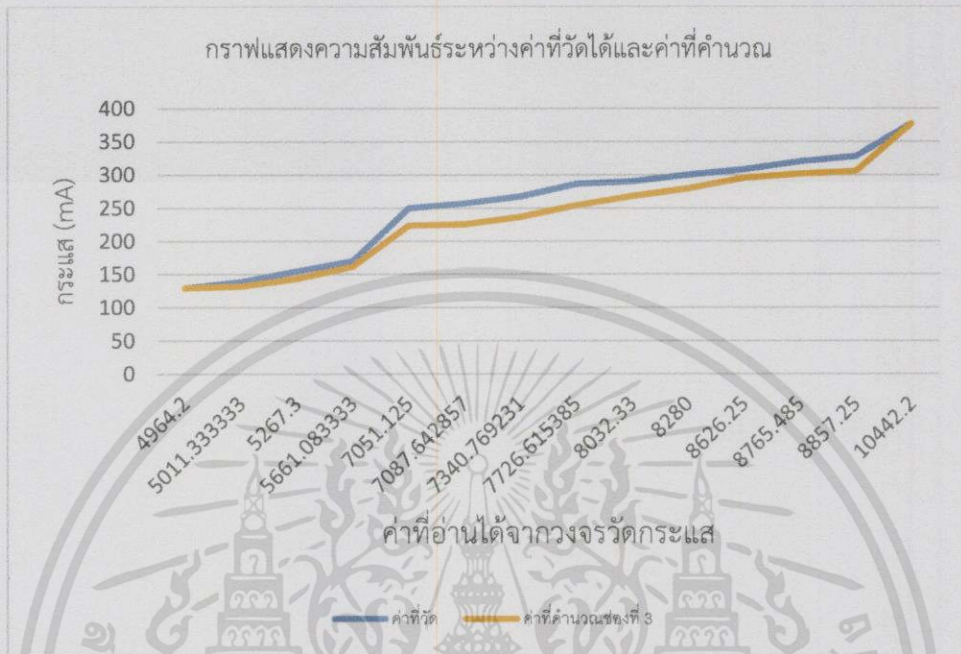
$$\text{แทนค่า } x \text{ และ } y \text{ ลงในสมการ (4.22) ได้} \quad 130 = (0.045 \times 4964.2) + c \quad (4.23)$$

$$c = -93.389 \quad (4.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้สมการเส้นตรงของตัววัดกระแสช่องที่ 2 คือ

$$y = 0.045x - 93.389 \quad (4.25)$$



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้และค่าที่คำนวณของช่องที่ 3

4.2.7 การทดสอบการสั่งการผ่านสัญญาณอินฟราเรด

ในการทดสอบนี้จะทดสอบการสั่งการเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ Star-Aire โดยทดสอบการสั่งงานที่ระยะและมุมต่าง ๆ เพื่อหาระยะห่างและมุมในแนวระนาบกับเครื่องปรับอากาศที่สามารถทำงานได้ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.14

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบการสั่งการเครื่องปรับอากาศที่มีความสูง 1.5 เมตรและระยะห่าง 1 เมตรเมื่อเทียบกับตัวรับ

| การทดสอบครั้งที่ | มุม 0 องศา | มุม +30 องศา | มุม -30 องศา |
|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ |
| 2 | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ |
| 3 | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ |

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบการสั่งการเครื่องปรับอากาศที่มีความสูง 1.5 เมตรและระยะห่าง 2 เมตรเมื่อเทียบกับตัวรับ

| การทดสอบครั้งที่ | มุม 0 องศา | มุม +30 องศา | มุม -30 องศา |
|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ |
| 2 | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ |
| 3 | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ |

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบการสั่งการเครื่องปรับอากาศที่มีความสูง 1.5 เมตรและระยะห่าง 3 เมตรเมื่อเทียบกับตัวรับ

| การทดสอบครั้งที่ | มุม 0 องศา | มุม +30 องศา | มุม -30 องศา |
|------------------|------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | สามารถสั่งงานได้ | สามารถสั่งงานได้ | สามารถสั่งงานได้ |
| 2 | สามารถสั่งงานได้ | สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ |
| 3 | สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | สามารถสั่งงานได้ |

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบการสั่งการเครื่องปรับอากาศที่มีความสูง 1.8 เมตรและระยะห่าง 1 เมตรเมื่อเทียบกับตัวรับ

| การทดสอบครั้งที่ | มุม 0 องศา | มุม +30 องศา | มุม -30 องศา |
|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ |
| 2 | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ |
| 3 | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ |

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบการสั่งการเครื่องปรับอากาศที่มีความสูง 1.8 เมตรและระยะห่าง 2 เมตรเมื่อเทียบกับตัวรับ

| การทดสอบครั้งที่ | มุม 0 องศา | มุม +30 องศา | มุม -30 องศา |
|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ |
| 2 | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ |
| 3 | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบการสั่งการเครื่องปรับอากาศที่มีความสูง 1.8 เมตรและระยะห่าง 3 เมตรเมื่อเทียบกับตัวรับ

| การทดสอบครั้งที่ | มุม 0 องศา | มุม +30 องศา | มุม -30 องศา |
|------------------|------------------|---------------------|------------------|
| 1 | สามารถสั่งงานได้ | สามารถสั่งงานได้ | สามารถสั่งงานได้ |
| 2 | สามารถสั่งงานได้ | ไม่สามารถสั่งงานได้ | สามารถสั่งงานได้ |
| 3 | สามารถสั่งงานได้ | สามารถสั่งงานได้ | สามารถสั่งงานได้ |

สรุปผลการทดสอบจากตารางการทดสอบที่ 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 และ 4.14 สรุปผลการทดสอบได้ว่าการสั่งการเครื่องปรับอากาศจะสามารถทำงานได้ดี เมื่อมีระยะห่างจากเครื่องปรับอากาศเกิน 3 เมตรและมีมุมสั่งงานที่ 0 องศา เนื่องจากตัวรับสัญญาณอินฟราเรดของเครื่องปรับอากาศนั้นถูกติดตั้งอยู่ภายในเครื่องปรับอากาศ ทำให้กรอบของเครื่องปรับอากาศบังสัญญาณอินฟราเรด ดังนั้นเมื่อส่งสัญญาณในระยะที่น้อยกว่า 3 เมตรสัญญาณจะไม่สามารถส่งไปยังตัวรับได้ดีเท่าที่ควร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สาย และออกแบบชุดทดสอบระบบควบคุมไร้สาย โดยมีอุปกรณ์ตรวจรู้, ฐานข้อมูล, การจัดการเครือข่าย, และการสั่งการผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต มาประยุกต์ใช้งานร่วมกันเพื่อจัดการสภาพแวดล้อมภายในบ้าน เพื่อเพิ่มความพึงพอใจ และความสะดวกสบายให้กับผู้อยู่อาศัย ซึ่งสามารถทำตามจุดประสงค์ที่วางไว้ได้ตรงตามหน้าที่การทำงาน

5.2 ปัญหาพบในการทำงาน

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 มีข้อจำกัดในการรับ-ส่งข้อมูลผ่านสิ่งกีดขวาง ซึ่งส่งผลให้สัญญาณลดทอนลง และทำให้การสื่อสารเกิดข้อขัดข้อง อีกทั้งไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 ยังมีหน่วยความจำที่จำกัดทำให้รูปแบบในการเขียนโปรแกรมควบคุมมีข้อจำกัด
2. สัญญาณวิทยุของไวเลสเร้าเตอร์มีผลกระทบต่อสัญญาณวิทยุของไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1 ทำให้การรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดปัญหา
3. คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก Raspberry Pi ซึ่งใช้งานเป็นเซิร์ฟเวอร์และฐานข้อมูล ไม่สามารถรองรับการเข้าใช้งานพร้อมกันจากผู้ใช้จำนวนมากได้ เนื่องจาก Raspberry Pi จะทำงานหนัก และส่งผลให้ระบบการทำงานค้าง
4. ความเร็วของหน่วยความจำ SD Card ที่ใช้งานใน Raspberry Pi มีผลต่อความเร็วในการเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูล ดังนั้นควรใช้ SD Card ที่เป็นรุ่น 10 (Class 10) หรือสูงกว่า
5. หลอดอินฟราเรดที่ใช้งานมีระยะและมุมในการสั่งการที่จำกัด ทำให้การสั่งการเครื่องปรับอากาศผ่านหลอดอินฟราเรดใช้งานได้ไม่ดีเท่าที่ควร
6. ชุดข้อมูลสัญญาณอินฟราเรดของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละฟังก์ชัน มีรูปแบบที่แตกต่างกันทำให้ใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลมากขึ้น ซึ่งทำให้ไม่สามารถเก็บข้อมูลลงบนหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การรับ-ส่งข้อมูลระหว่างกล่องควบคุมหลักและกล่องควบคุมย่อย ไม่สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ดีเท่าที่ควรเมื่อมีสิ่งกีดขวาง ดังนั้นควรเปลี่ยนไปใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีกำลังส่งมากขึ้น ซึ่งจะทำให้มีระยะในการรับ-ส่งข้อมูลมากขึ้น และการสูญหายของข้อมูลลดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Network Topology. [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก http://en.wikipedia.org/wiki/Network_topology สืบค้นวันที่ 20 ตุลาคม 2556
- [2] ฐานข้อมูลและระบบการจัดการฐานข้อมูล[ออนไลน์]. เข้าถึงจาก <http://th.wikipedia.org/wiki/ระบบจัดการฐานข้อมูล> สืบค้นวันที่ 23 ธันวาคม 2556
- [3] วิธีการจัดการฐานข้อมูล. [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก <http://www.th.easyhostdomain.com/dedicated-servers/mysql.html> สืบค้นวันที่ 20 ตุลาคม 2556
- [4] ภาษา SQL [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก <https://sites.google.com/site/piyanathw5505sql/> สืบค้นวันที่ 23 ธันวาคม 2556
- [5] MySQL. [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก <http://mysql-thaigroup.blogspot.com/2012/11/sql.html> สืบค้นวันที่ 20 ตุลาคม 2556
- [6] การเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก http://www.thaigoodview.com/library/contest2552/type2/tech04/22/cit/7_1.html สืบค้นวันที่ 23 ธันวาคม 2556
- [7] ไมโครคอนโทรลเลอร์ [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก <http://th.wikipedia.org/wiki/ไมโครคอนโทรลเลอร์> สืบค้นวันที่ 19 ธันวาคม 2556
- [8] nRF24LE1 Product Specification rev1_6.pdf : p22-42
- [9] nRF24LE1 Product Specification rev1_6.pdf : p33,34
- [10] nRF24LE1 Product Specification rev1_6.pdf : p113
- [11] Pulse Width Modulation [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation สืบค้นวันที่ 23 ธันวาคม 2556
- [12] UART [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก <http://www.thaieasyelec.com/electronics-in-chapter/UART-TTL-RS232-MAX232-MAX3232.html> สืบค้นวันที่ 21 ธันวาคม 2556
- [13] SPI [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral-Interface_Bus สืบค้นวันที่ 21 ธันวาคม 2556
- [14] ขั้นตอนการใช้ Raspberry Pi [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก <http://www.ett.co.th/prod2013/et-rasbery-pi/Getting%20Start%20Raspberry%20Pi.pdf> สืบค้นวันที่ 25 ตุลาคม 2556
- [15] ระบบปฏิบัติการ[ออนไลน์]. เข้าถึงจาก <http://th.wikipedia.org/wiki/ระบบปฏิบัติการณ> สืบค้นวันที่ 27 ธันวาคม 2556

- [16] POWER RELAY 1 POLE-8 A Polarized Latching Type, 2008 : 1-5
- [17] ACS712 Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor .pdf
- [18] ADE7763 Single-Phase Active and Apparent Energy Metering IC.pdf
- [19] TSAL7400 IR Emitting Diode.pdf
- [20] TSOP4838 IR Receiver.pdf
- [21] Dataform [ออนไลน์]. เข้าถึงจาก <http://www.vishay.com/docs/80071/dataform.pdf>
สืบค้นวันที่ 20 ธันวาคม 2556



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 ชุดคำสั่ง Raspberry Pi

ชุดคำสั่งบน Raspberry Pi ที่ใช้ติดตั้งและตั้งค่าโปรแกรม lirc เพื่อรับสัญญาณอินฟราเรดจากรีโมทคอนโทรล

```
sudo apt-get install lirc
```

ติดตั้งโปรแกรม lirc

Add this to your `/etc/modules` file:

```
lirc_dev
lirc_rpi gpio_in_pin=23 gpio_out_pin=22
```

Change your `/etc/lirc/hardware.conf` file to:

```
#####
# /etc/lirc/hardware.conf
#
# Arguments which will be used when launching lircd
LIRC_ARGS="--input"
# Don't start lircd even if there seems to be a good config file
# START_LIRCMD=false
# Don't start lircd even if a good config file seems to exist.
# START_LIRCMD=false
# Try to load appropriate kernel modules
LOAD_MODULES=true
# Run "lircd --driver-help" for a list of supported drivers.
DRIVER="default"
# usually /dev/lirc0 is the correct setting for systems using udev
DEVICE="/dev/lirc0"
MODULES="lirc_rpi"
# Default configuration files for your hardware if any
LIRC_CONF=""
LIRCMD_CONF=""
#####
```

ตั้งค่าพอร์ตที่ใช้งาน

```
sudo /etc/init.d/lirc start
```

คำสั่งเริ่มต้นการใช้งานโปรแกรม lirc

```
sudo /etc/init.d/lirc stop
```

คำสั่งหยุดการใช้งานโปรแกรม lirc

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 การใช้งานส่วนติดต่อผู้ใช้

การใช้งานส่วนติดต่อผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานสามารถเข้าใช้งานได้โดยผ่านโปรแกรมเว็บ เบราวเซอร์ซึ่งมีหมายเลข IP ของเว็บเซิร์ฟเวอร์เป็น 161.246.101.55 เมื่อเว็บเซิร์ฟเวอร์เชื่อมต่ออยู่กับโมเด็มอินเทอร์เน็ตเน็ตของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในกรณีที่ไม่ทราบหมายเลข IP ของเซิร์ฟเวอร์สามารถค้นหาหมายเลข IP ได้ โดยใช้โปรแกรม Advanced IP Scannerซึ่งสามารถค้นหาได้ในเครือข่ายวงเดียวกันเท่านั้น

เมื่อผู้ใช้เปิดโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ไปยังหมายเลข IP ของเว็บเซิร์ฟเวอร์ หน้าต่างเว็บไซต์จะเปลี่ยนหน้าไปยังหน้าต่าง login เพื่อเข้าสู่ระบบ โดยมีชื่อผู้ใช้งานเป็น admin และรหัสผ่านเป็น rootซึ่งผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนรหัสผู้ใช้งานได้ภายหลัง

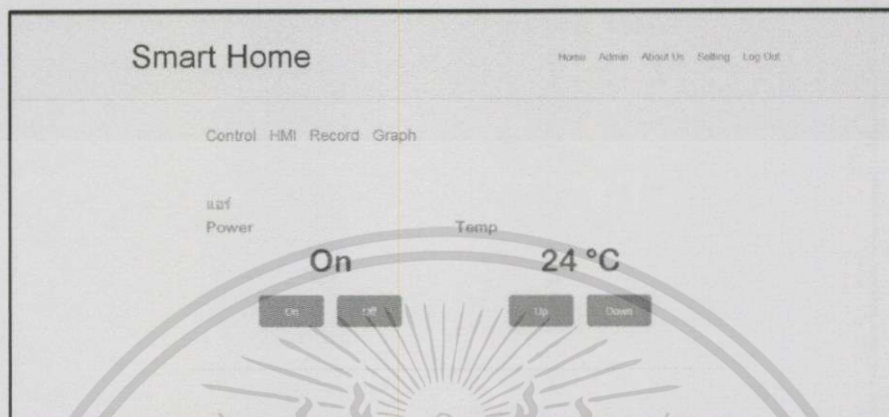


โดยถ้าผู้ใช้ไม่มีชื่อผู้งาน และรหัสผ่านเข้าสู่ระบบ ผู้ใช้งานจะต้องสมัครสมาชิกในหน้า signup.php และรอกการยืนยันการสมัครสมาชิกจากผู้ดูแลระบบ

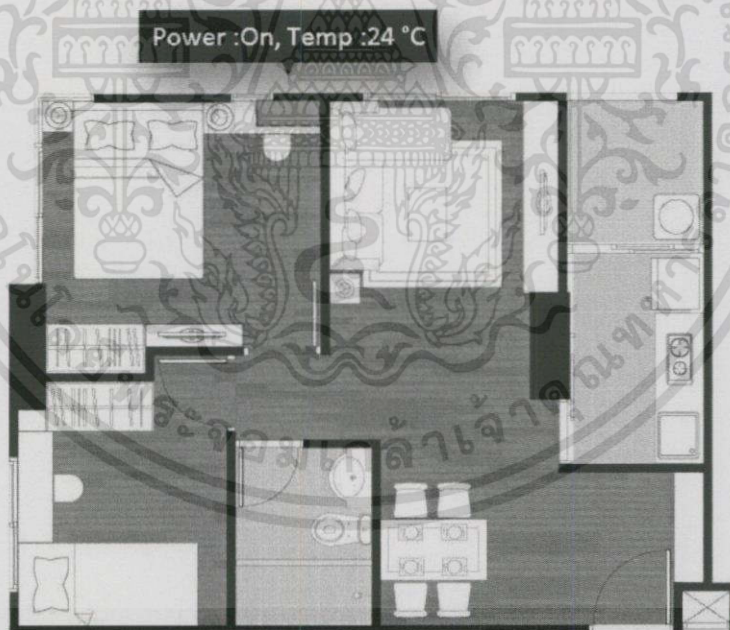


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผู้ใช้งานเข้าสู่ระบบแล้ว หน้าต่างเว็บไซต์จะเปลี่ยนไปยังหน้า control.php เพื่อให้ผู้ใช้งานสั่งงานควบคุม และดูสถานะการทำงานของกล่องควบคุมย่อยที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบ การควบคุมการทำงานสามารถสั่งงานควบคุมได้โดยกดที่ปุ่ม On-Off เพื่อเปิด-ปิดการทำงานของอุปกรณ์หรือปุ่ม Up-Down เพื่อปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ

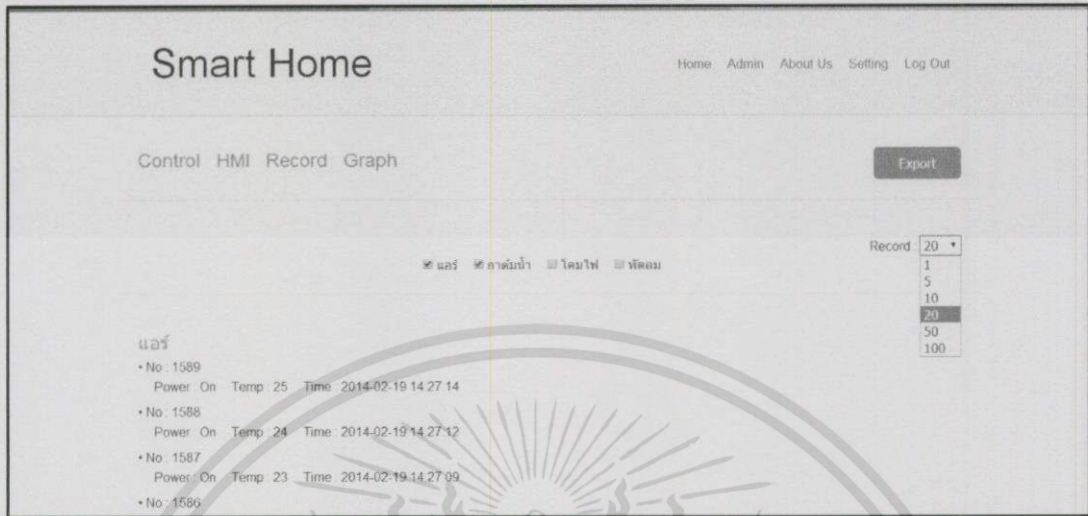


ในเว็บไต์ยังมีหน้า hmi.php, record.php และ graph.php โดยหน้า hmi.php จะแสดงกล่องควบคุมย่อยที่กำลังเชื่อมต่ออยู่กับระบบ และแสดงสถานะการทำงานของกล่องควบคุมย่อย

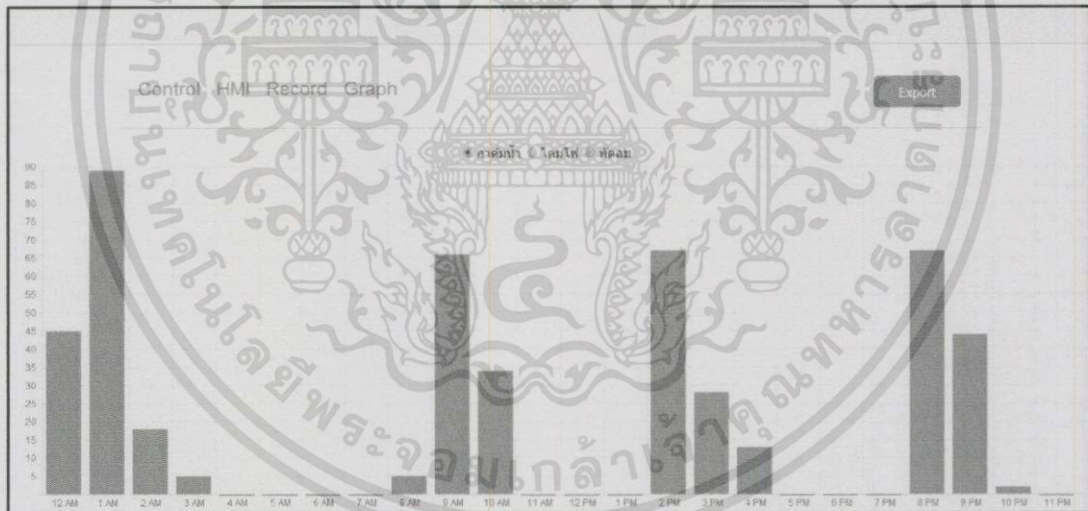


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหน้า record.php จะเป็นหน้าที่ใช้สำหรับดูประวัติการใช้งานย้อนหลังโดยสามารถดูได้ตั้งแต่ 1, 5, 10, 20, 50 และ 100 ค่า และสามารถส่งออกประวัติข้อมูลการใช้งานเป็นไฟล์ Excel ได้



ในหน้า graph.php จะแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละตัวที่เชื่อมต่อกับสเปคโดยค่าที่อ่านได้จะเป็น วัตต์ชั่วโมง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนรหัสผ่านผู้ใช้งาน สามารถแก้ไขรหัสผ่านได้ที่หน้า setting.php

ในการใช้งานเว็บไซต์ ผู้ใช้งานจะแบ่งออกเป็น User และ Admin โดยในหน้าต่าง Admin จะมีหน้าต่าง connecting_device.php, connected_device.php, new_device.php และ user.php โดยมี connecting_device.php เพื่อใช้สำหรับดูกล่องควบคุมย่อยที่กำลังเชื่อมต่ออยู่กับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า connected_device ใช้สำหรับดูรายชื่อกล่องควบคุมย่อยที่เคยเชื่อมต่อ ทั้งยังสามารถตั้งชื่อที่ต้องการให้กับกล่องควบคุมย่อยแต่ละตัวได้

Smart Home Home Admin About Us Setting Log Out

Connecting Device Connected Device New Device user

Online
No. 1
Address : 34.43.10.10.01
Description แอร์ Save

Disconnect this device

Offline
No. 2
Address : 43.43.10.10.01
Description 1 ภาคนิรนา

หน้า new_device ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับกล่องควบคุมย่อยใหม่ ที่ไม่เคยเชื่อมต่อ

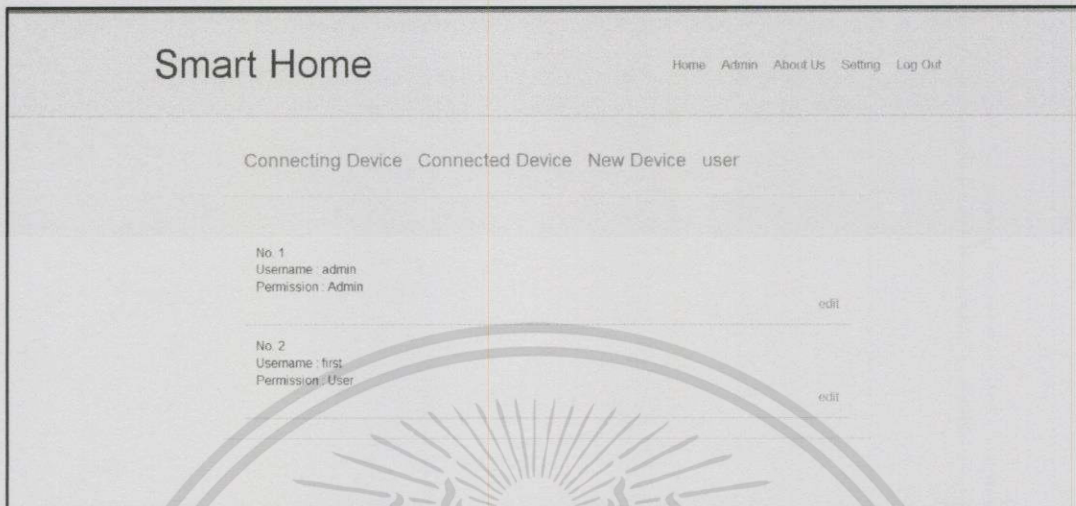
Smart Home Home Admin About Us Setting Log Out

Connecting Device Connected Device New Device user

No. 1
Address : 34.43.10.10.01
Password 12 34
Connect this Device

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า user.php ใช้จัดการกับผู้ใช้งาน และยืนยันการสมัครสมาชิก การเปลี่ยนสิทธิการใช้งาน อีกทั้งยังสามารถลบผู้ใช้งานออกจากระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

คู่มือการใช้งานอุปกรณ์ในปริญญาโท

ข.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ nRF24LE1

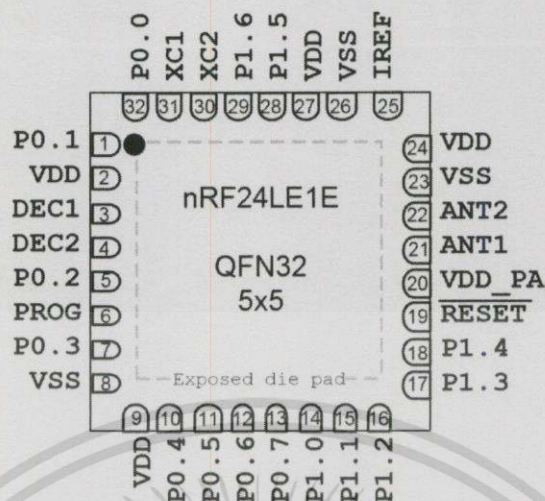
Features of the nRF24LE1 include:

- Fast 8-bit microcontroller:
 - ▶ Intel MCS 51 compliant instruction set
 - ▶ Reduced instruction cycle time, up to 12 times compared to legacy 8051
 - ▶ 32 bit multiplication – division unit
- Memory:
 - ▶ Program memory: 16 kB of Flash memory with security features (up to 1k erase/ write cycles)
 - ▶ Data memory: 1 kB of on-chip RAM memory
 - ▶ Non-volatile data memory: 1 kB
 - ▶ Non-volatile data memory extended endurance: 512 bytes (up to 20k erase/ write cycles)
- A number of on-chip hardware resources are available through programmable multi-purpose input/output pins (7-31 pins dependent on package variant):
 - ▶ GPIO
 - ▶ SPI master
 - ▶ SPI slave
 - ▶ 2-Wire master/ slave
 - ▶ Full duplex serial port
 - ▶ PWM
 - ▶ ADC
 - ▶ Analog comparator
 - ▶ External interrupts
 - ▶ Timer inputs
 - ▶ 32.768 kHz crystal oscillator
 - ▶ Debug interface
- High performance 2.4 GHz RF-transceiver
 - ▶ True single chip GFSK transceiver
 - ▶ Enhanced ShockBurst™ link layer support in HW:
 - ▶ Packet assembly/disassembly
 - ▶ Address and CRC computation
 - ▶ Auto ACK and retransmit
 - ▶ On the air data rate 250 kbps, 1 Mbps or 2 Mbps
 - ▶ Digital interface (SPI) speed 0-8 Mbps
 - ▶ 125 RF channel option, with 79 (2.402 GHz-2.480 GHz) channels within 2.400 - 2.4835 GHz
 - ▶ Short switching time enable frequency hopping
 - ▶ Fully RF compatible with nRF24LXX
 - ▶ RF compatible with nRF2401A, nRF2402, nRF24E1, nRF24E2 in 250 kbps and 1 Mbps mode
- A/D converter:
 - ▶ 6, 8, 10 or 12 bit resolution
 - ▶ 14 input channels
 - ▶ Single ended or differential input
 - ▶ Full-scale range set by internal reference, external reference or VDD
 - ▶ Single step mode with conversion time down to 3 μ s
 - ▶ Continuous mode with 2, 4, 8 or 16 kbps sampling rate
 - ▶ Low current consumption; only 0.1mA at 2 kbps
 - ▶ Mode for measuring supply voltage

- Analog comparator:
 - ▶ Used as wakeup source
 - ▶ Low current consumption (0.75µA typical)
 - ▶ Differential or single-ended input
 - ▶ Single-ended threshold programmable to 25%, 50%, 75% or 100% of VDD or an arbitrary reference voltage from pin
 - ▶ 14-channel input multiplexer
 - ▶ Rail-to-rail input voltage range
 - ▶ Programmable output polarity
- Encryption/decryption accelerator
 - ▶ Utilize time and power effective AES firmware
- Random number generator:
 - ▶ Non-deterministic architecture based on thermal noise
 - ▶ No seed value required
 - ▶ Non-repeating sequence
 - ▶ Corrector algorithm ensures uniform statistical distribution
 - ▶ Data rate up to 10 kB per second
 - ▶ Operational while the processor is in standby
- System reset and power supply monitoring:
 - ▶ On-chip power-on and brown-out reset
 - ▶ Watchdog timer reset
 - ▶ Reset from pin
 - ▶ Power-fail comparator with programmable threshold and interrupt to MCU
- On-chip timers:
 - ▶ Three 16-bit timers/counters operating at the system clock (sources from the 16 MHz on-chip oscillators)
 - ▶ One 16-bit timer/counter operating at the low frequency clock (32.768 kHz)
- On-chip oscillators:
 - ▶ 16 MHz crystal oscillator XOSC16M
 - ▶ 16 MHz RC-oscillator RCOSC16M
 - ▶ 32.768 kHz crystal oscillator XOSC32K
 - ▶ 32.768 kHz RC-oscillator RCOSC32K
- Power management function:
 - ▶ Low power design supporting fully static stop/ standby
 - ▶ Programmable MCU clock frequency from 125 kHz to 16 MHz
 - ▶ On chip voltage regulators supporting low power mode
 - ▶ Watchdog and wakeup functionality running in low power mode
- On chip support for FS2 or nRFprobe™ HW debug
- Complete firmware platform available:
 - ▶ Hardware abstraction layer (HAL) Functions
 - ▶ Library functions
 - ▶ Gazell Wireless protocol
 - ▶ Application examples



32-pin 5x5 QFN-package variant



Pin functions

| Name | Type | Description |
|-----------------|-----------------------|--|
| VDD | Power | Power supply (+1.9V to +3.6V DC) |
| VSS | Power | Ground (0V) |
| DEC1 DEC2 | Power | Power supply outputs for de-coupling purposes (100nF for DEC1, 33nF for DEC2) |
| P0.0 – P3.6 | Digital or analog I/O | General purpose I/O pins. Number of I/O available depends on package type. |
| PROG | Digital Input | Input to enable flash programming |
| RESET | Digital Input | Reset for microcontroller, active low |
| IREF | Analog Input | Device reference current output. To be connected to reference resistor on PCB. |
| VDD_PA | Power Output | Power supply output (+1.8V) for on-chip RF Power amplifier |
| ANT1, ANT2 | RF | Differential antenna connection (TX and RX) |
| XC1, XC2 | Analog Input | Crystal connection for 16M crystal |
| Exposed die pad | Power/heat relief | For the nRF24LE1 QFN48 7×7mm and QFN32 5×5mm connect the die pad to GND. For nRF24LE1 QFN24 4×4mm do not connect the die pad to GND. |

| pin | Default connections | | Dynamically enabled connections | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------|---------|---------------------------------|------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|--------|-------|-----|-------|-------|--|
| | Inputs | Outputs | XOSC32K | SPI Master | Slave/Flash SPI | PWM | ADC/COMP | HW Debug | 2-Wire | | | | | | |
| | | | priority 1 | priority 2 | priority 3 | priority 4 | priority 5 | priority 6 | priority 7 | | | | | | |
| P1.6 | p1Di.6 | p1Do.6 | | MMISO in | | | | | | | | | | | |
| P1.5 | p1Di.5 | p1Do.5 | | MMOSI out | | | | | | | | | | | |
| P1.4 | p1Di.4 | p1Do.4 | | MSCK out | | | | | | | | | | | |
| P1.3 | p1Di.3 | p1Do.3 | | | | | | | | | OCITO | out | | | |
| P1.2 | p1Di.2 | p1Do.2 | | | | | | AIN10 | ana | OCITDO | out | | | | |
| P1.1 | p1Di.1 | p1Do.1 | | | SCSN | in | | AIN 9 | ana | OCITDI | in | | | | |
| | | | | | FCSN ^a | in | | | | | | | | | |
| P1.0 | p1Di.0 | p1Do.0 | | | SMISO | out | | AIN 8 | ana | OCITMS | in | | | | |
| | | | | | FMISO ^a | out | | | | | | | | | |
| | | | | | SMOSI | in | | | | | | | | | |
| P0.7 | p0Di.7 | p0Do.7 | | | FMOSI ^a | in | | AIN 7 | ana | OCITCK | in | | | | |
| | | | | | T0 | | | | | | | | | | |
| P0.6 | p0Di.6 | p0Do.6 | | | | | | AIN 6 | ana | | | | | | |
| P0.5 | p0Di.5 | p0Do.5 | | | SSCK | in | | AIN 5 | ana | | | | W2SDA | inout | |
| | | | | | FSCK ^a | in | | | | | | | | | |
| P0.4 | p0Di.4 | p0Do.4 | | | | | | AIN 4 | ana | | | | W2SCL | inout | |
| | | | | | UART/ RXD | | | | | | | | | | |
| P0.3 | p0Di.3 | p0Do.3 | | | | | PWM1 | out | AIN 3 | ana | | | | | |
| | | | | | UART/ TXD | | | | | | | | | | |
| P0.2 | p0Di.2 | p0Do.2 | | | | | PWM0 | out | AIN 2 | ana | | | | | |
| P0.1 | p0Di.1 | p0Do.1 | CLKLF ^b | | | | | | AIN1 | ana | | | | | |
| P0.0 | p0Di.0 | p0Do.0 | CLKLF ^c | ana | | | | | AIN0 | ana | | | | | |
| Conflict exists, use priorities to determine IO allocation | | | | | | | | | | | | | | | |
| Conflict may exist depending on device configuration. In the case of a conflict, use priorities to determine IO allocation | | | | | | | | | | | | | | | |

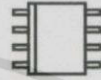
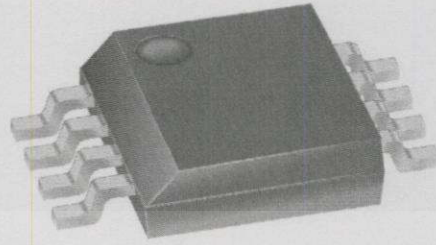
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|--------------------|--|
| Power source: | 5 volt via MicroUSB or GPIO header |
| Operating systems: | Arch Linux ARM, Debian GNU/Linux, Gentoo, Fedora, FreeBSD, NetBSD, Plan 9, Raspbian OS, RISC OS, Slackware Linux |



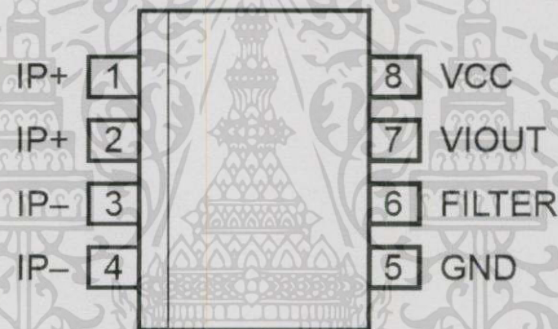
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 ไอซี ACS712



Approximate Scale 1:1

Pin-out Diagram



Terminal List Table

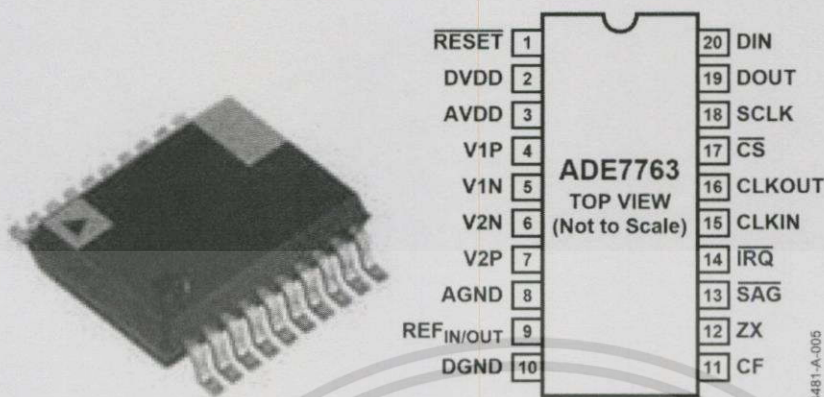
| Number | Name | Description |
|---------|--------|---|
| 1 and 2 | IP+ | Terminals for current being sampled; fused internally |
| 3 and 4 | IP- | Terminals for current being sampled; fused internally |
| 5 | GND | Signal ground terminal |
| 6 | FILTER | Terminal for external capacitor that sets bandwidth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

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 |
| 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 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.4 ไอซี ADE7763



ไอซี ADE7763 พอร์ตการเชื่อมต่อใช้งานไอซี ADE7763

Table 4. Pin Function Descriptions

| Pin No. | Mnemonic | Description |
|---------|-----------------------|--|
| 1 | RESET | Reset Pin ¹ . A logic low on this pin holds the ADCs and digital circuitry (including the serial interface) in a reset condition. |
| 2 | DVDD | Digital Power Supply. This pin provides the supply voltage for the digital circuitry. The supply voltage should be maintained at $5\text{ V} \pm 5\%$ for specified operation. This pin should be decoupled to DGND with a $10\ \mu\text{F}$ capacitor in parallel with a ceramic $100\ \text{nF}$ capacitor. |
| 3 | AVDD | Analog Power Supply. This pin provides the supply voltage for the analog circuitry. The supply should be maintained at $5\text{ V} \pm 5\%$ for specified operation. Minimize power supply ripple and noise at this pin by using proper decoupling. The typical performance graphs show the power supply rejection performance. This pin should be decoupled to AGND with a $10\ \mu\text{F}$ capacitor in parallel with a ceramic $100\ \text{nF}$ capacitor. |
| 4, 5 | V1P, V1N | Analog Inputs for Channel 1. This channel is intended for use with a di/dt current transducer, i.e., a Rogowski coil or another current sensor such as a shunt or current transformer (CT). These inputs are fully differential voltage inputs with maximum differential input signal levels of $\pm 0.5\text{ V}$, $\pm 0.25\text{ V}$, and $\pm 0.125\text{ V}$, depending on the full-scale selection—see the Analog Inputs section. Channel 1 also has a PGA with gain selections of 1, 2, 4, 8, or 16. The maximum signal level at these pins with respect to AGND is $\pm 0.5\text{ V}$. Both inputs have internal ESD protection circuitry and can sustain an overvoltage of $\pm 6\text{ V}$ without risk of permanent damage. |
| 6, 7 | V2N, V2P | Analog Inputs for Channel 2. This channel is intended for use with the voltage transducer. These inputs are fully differential voltage inputs with a maximum differential signal level of $\pm 0.5\text{ V}$. Channel 2 also has a PGA with gain selections of 1, 2, 4, 8, or 16. The maximum signal level at these pins with respect to AGND is $\pm 0.5\text{ V}$. Both inputs have internal ESD protection circuitry and can sustain an overvoltage of $\pm 6\text{ V}$ without risk of permanent damage. |
| 8 | AGND | Analog Ground Reference. This pin provides the ground reference for the analog circuitry, i.e., ADCs and reference. This pin should be tied to the analog ground plane or to the quietest ground reference in the system. Use this quiet ground reference for all analog circuitry, such as antialiasing filters and current and voltage transducers. To minimize ground noise around the ADE7763, connect the quiet ground plane to the digital ground plane at only one point. It is acceptable to place the entire device on the analog ground plane. |
| 9 | REF _{IN/OUT} | Access to the On-Chip Voltage Reference. The on-chip reference has a nominal value of $2.4\text{ V} \pm 8\%$ and a typical temperature coefficient of $30\ \text{ppm}/^\circ\text{C}$. An external reference source can also be connected at this pin. In either case, this pin should be decoupled to AGND with a $10\ \mu\text{F}$ capacitor in parallel with a $100\ \text{nF}$ ceramic capacitor. |
| 10 | DGND | Digital Ground Reference. This pin provides the ground reference for the digital circuitry, i.e., multiplier, filters, and digital-to-frequency converter. Because the digital return currents in the ADE7763 are small, it is acceptable to connect this pin to the analog ground plane of the system. However, high bus capacitance on the DOUT pin could result in noisy digital current, which could affect performance. |
| 11 | CF | Calibration Frequency Logic Output. The CF logic output gives active power information. This output is intended to be used for operational and calibration purposes. The full-scale output frequency can be adjusted by writing to the CFDEN and CFNUM registers—see the Energy-to-Frequency Conversion section. |
| 12 | ZX | Voltage Waveform (Channel 2) Zero-Crossing Output. This output toggles logic high and logic low at the zero crossing of the differential signal on Channel 2—see the Zero-Crossing Detection section. |
| 13 | SAG | This open-drain logic output goes active low when either no zero crossings are detected or a low voltage threshold (Channel 2) is crossed for a specified duration—see the Line Voltage Sag Detection section. |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|----|-------------------------|---|
| 14 | $\overline{\text{IRQ}}$ | Interrupt Request Output. This is an active low, open-drain logic output. Maskable interrupts include active energy register rollover, active energy register at half level, and arrivals of new waveform samples—see the Interrupts section. |
| 15 | CLKIN | Master Clock for ADCs and Digital Signal Processing. An external clock can be provided at this logic input. Alternatively, a parallel resonant AT crystal can be connected across CLKIN and CLKOUT to provide a clock source for the ADE7763. The clock frequency for specified operation is 3.579545 MHz. Ceramic load capacitors between 22 pF and 33 pF should be used with the gate oscillator circuit. Refer to the crystal manufacturer's data sheet for load capacitance requirements. |
| 16 | CLKOUT | A crystal can be connected across this pin and CLKIN, as described for Pin 15, to provide a clock source for the ADE7763. The CLKOUT pin can drive one CMOS load when either an external clock is supplied at CLKIN or a crystal is being used. |
| 17 | $\overline{\text{CS}}$ | Chip Select ¹ . Part of the 4-wire SPI serial interface. This active low logic input allows the ADE7763 to share the serial bus with several other devices—see the Serial Interface section. |
| 18 | SCLK | Serial Clock Input for the Synchronous Serial Interface ¹ . All serial data transfers are synchronized to this clock—see the Serial Interface section. The SCLK has a Schmitt-trigger input for use with a clock source that has a slow edge transition time, such as an opto-isolator output. |
| 19 | DOUT | Data Output for the Serial Interface. Data is shifted out at this pin upon the rising edge of SCLK. This logic output is normally in a high impedance state, unless it is driving data onto the serial data bus—see the Serial Interface section. |
| 20 | DIN | Data Input for the Serial Interface. Data is shifted in at this pin upon the falling edge of SCLK—see the Serial Interface section. |

¹ It is recommended to drive the $\overline{\text{RESET}}$, SCLK, and $\overline{\text{CS}}$ pins with either a push-pull without an external series resistor or with an open-collector with a 10 k Ω pull-up. Pull-down resistors are not recommended because under some conditions, they may interact with internal circuitry.



ข.5 หลอดอินฟราเรด

GaAs/GaAlAs IR Emitting Diode in ϕ 5 mm (T-1^{3/4}) Package

Description

TSAL7400 is a high efficiency infrared emitting diode in GaAlAs on GaAs technology, molded in clear plastic packages.

In comparison with the standard GaAs on GaAs technology these emitters achieve more than 100 % radiant power improvement at a similar wavelength.

The forward voltages at low current and at high pulse current roughly correspond to the low values of the standard technology. Therefore these emitters are ideally suitable as high performance replacements of standard emitters.



Features

- Extra high radiant power and radiant intensity
- High reliability
- Low forward voltage
- Suitable for high pulse current operation
- Standard T-1^{3/4} (ϕ 5 mm) package
- Angle of half intensity $\phi = \pm 25^\circ$
- Peak wavelength $\lambda_p = 940$ nm
- Good spectral matching to Si photodetectors

Absolute Maximum Ratings

$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$

| Parameter | Test Conditions | Symbol | Value | Unit |
|-------------------------------------|--|------------|------------|------------------|
| Reverse Voltage | | V_R | 5 | V |
| Forward Current | | I_F | 100 | mA |
| Peak Forward Current | $t_p/T = 0.5, t_p = 100 \mu\text{s}$ | I_{FM} | 200 | mA |
| Surge Forward Current | $t_p = 100 \mu\text{s}$ | I_{FSM} | 1.5 | A |
| Power Dissipation | | P_V | 210 | mW |
| Junction Temperature | | T_J | 100 | $^\circ\text{C}$ |
| Operating Temperature Range | | T_{amb} | -55...+100 | $^\circ\text{C}$ |
| Storage Temperature Range | | T_{stg} | -55...+100 | $^\circ\text{C}$ |
| Soldering Temperature | $t \leq 5\text{sec}, 2 \text{ mm from case}$ | T_{sd} | 260 | $^\circ\text{C}$ |
| Thermal Resistance Junction/Ambient | | R_{thJA} | 350 | K/W |

Basic Characteristics

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$

| Parameter | Test Conditions | Symbol | Min | Typ | Max | Unit |
|----------------------------------|---|------------------|-----|----------|-----|---------------|
| Forward Voltage | $I_F = 100 \text{ mA}, t_p = 20 \text{ ms}$ | V_F | | 1.35 | 1.6 | V |
| | $I_F = 1 \text{ A}, t_p = 100 \mu\text{s}$ | V_F | | 2.6 | 3 | V |
| Temp. Coefficient of V_F | $I_F = 100 \text{ mA}$ | TK_{V_F} | | -1.3 | | mV/K |
| Reverse Current | $V_R = 5 \text{ V}$ | I_R | | | 10 | μA |
| Junction Capacitance | $V_R = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}, E = 0$ | C_j | | 25 | | pF |
| Radiant Intensity | $I_F = 100 \text{ mA}, t_p = 20 \text{ ms}$ | I_e | 25 | 40 | | mW/sr |
| | $I_F = 1.0 \text{ A}, t_p = 100 \mu\text{s}$ | I_e | 220 | 310 | | mW/sr |
| Radiant Power | $I_F = 100 \text{ mA}, t_p = 20 \text{ ms}$ | ϕ_e | | 35 | | mW |
| Temp. Coefficient of ϕ_e | $I_F = 20 \text{ mA}$ | TK_{ϕ_e} | | -0.6 | | %/K |
| Angle of Half Intensity | | ϕ | | ± 25 | | deg |
| Peak Wavelength | $I_F = 100 \text{ mA}$ | λ_p | | 940 | | nm |
| Spectral Bandwidth | $I_F = 100 \text{ mA}$ | $\Delta\lambda$ | | 50 | | nm |
| Temp. Coefficient of λ_p | $I_F = 100 \text{ mA}$ | TK_{λ_p} | | 0.2 | | nm/K |
| Rise Time | $I_F = 100 \text{ mA}$ | t_r | | 800 | | ns |
| Fall Time | $I_F = 100 \text{ mA}$ | t_f | | 800 | | ns |
| Virtual Source Diameter | method: 63% encircled energy | ϕ | | 2.8 | | mm |

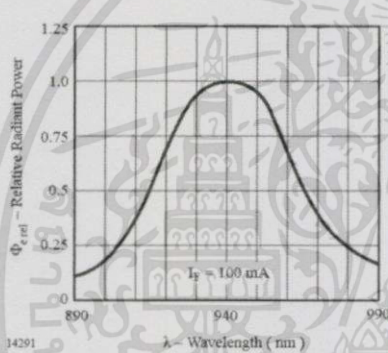


Figure 9. Relative Radiant Power vs. Wavelength

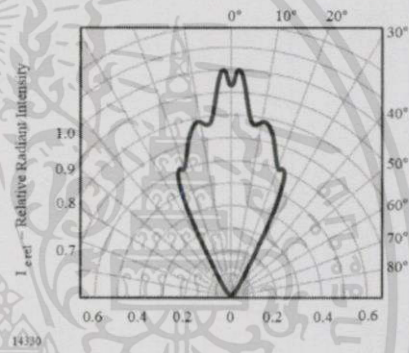
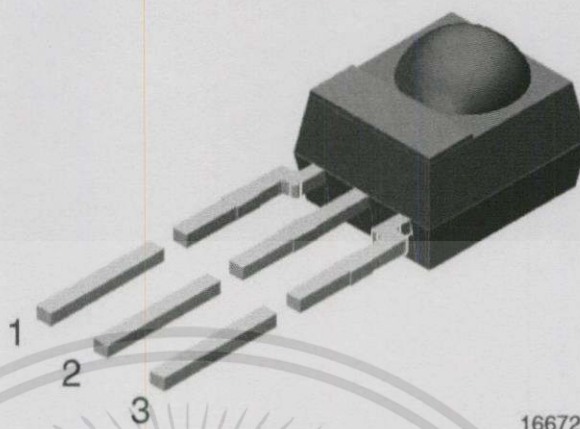


Figure 10. Relative Radiant Intensity vs. Angular Displacement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.6 ตัวรับแสงอินฟราเรด



MECHANICAL DATA

Pinning for TSOP44..., TSOP48...:

1 = OUT, 2 = GND, 3 = V_S

Pinning for TSOP22..., TSOP24...:

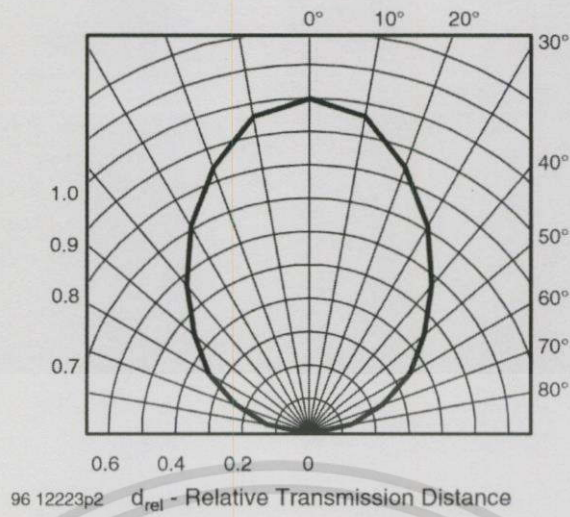
1 = OUT, 2 = V_S , 3 = GND

| ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------|--------------------------|------|
| PARAMETER | TEST CONDITION | SYMBOL | VALUE | UNIT |
| Supply voltage | | V_S | - 0.3 to + 6 | V |
| Supply current | | I_S | 5 | mA |
| Output voltage | | V_O | - 0.3 to 5.5 | V |
| Voltage at output to supply | | $V_S - V_O$ | - 0.3 to ($V_S + 0.3$) | V |
| Output current | | I_O | 5 | mA |
| Junction temperature | | T_J | 100 | °C |
| Storage temperature range | | T_{stg} | - 25 to + 85 | °C |
| Operating temperature range | | T_{amb} | - 25 to + 85 | °C |
| Power consumption | $T_{amb} \leq 85$ °C | P_{tot} | 10 | mW |
| Soldering temperature | $t \leq 10$ s, 1 mm from case | T_{sd} | 260 | °C |

Note

- Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect the device reliability.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้