การพัฒนาปลั๊กไฟอัจฉริยะโดยใช้การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า

นายนฤพนธ์ ศรีเหรา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF SMART PLUG USING POWER LINE COMMUNICATION

Mr. Naruephon Srihara

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาปลั๊กไฟอัจฉริยะโดยใช้การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า
โดย	นายนฤพนธ์ ศรีเหรา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปรา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ณัฐพล ประยงค์พันธุ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นฤพนธ์ ศรีเหรา : การพัฒนาปลั๊กไฟอัจฉริยะโดยใช้การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (DEVELOPMENT OF SMART PLUG USING POWER LINE COMMUNICATION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ, 41 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการพัฒนาปลั๊กไฟอัจฉริยะโดยใช้การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า ซึ่งในระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะนี้จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักๆ 2 ตัวก็คือ ชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะ และตัวกลางในการจัดการข้อมูล ชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะนั้นก็คือเต้ารับธรรมดาทั่วๆ ไปที่มีความสามารถในการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและสามารถสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาต่อพ่วงอยู่กับชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะ ชุดปลั๊กไฟนี้จะทำการวัดแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, ความถี่และพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปของเครื่องใช้ไฟฟ้าและจากนั้นก็จะส่งผ่านค่าข้อมูลที่วัดได้นี้ผ่านระบบสายไฟฟ้า 220V ส่วนตัวกลางในการจัดการข้อมูลก็จะเป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานหรือเจ้าของระบบกับชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะแต่ละตัวในระบบ ระบบนี้ทำให้ผู้ใช้งานหรือเจ้าของระบบสามารถรับรู้ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพวกเขาได้และในกรณีที่ต้องการจะสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อพ่วงอยู่กับชุดปลั๊กไฟในระบบ ก็สามารถทำได้โดยสั่งงานโดยตรงผ่านทางหน้าจอควบคุมบนคอมพิวเตอร์หรืออาจจะเป็นสมาร์ทโฟนก็ได้เช่นกัน ในระบบนี้สามารถรองรับการทำงานของชุดปลั๊กไฟได้มากที่สุดถึง 65536 ชุด เนื่องจากชุดปลั๊กไฟแต่ละตัวนั้นจะมีหมายเลขประจำชุดที่ใช้ระบุตำแหน่งมีขนาด 16 บิตนั่นเอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

5570255021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: POWER LINE COMMUNICATION / ENERGY MEASUREMENT / POWER CONSUMPTION / SMART DEVICE

NARUEPHON SRIHARA: DEVELOPMENT OF SMART PLUG USING POWER LINE COMMUNICATION. ADVISOR: ASST. PROF. MANOP WONGSAISUWAN, 41 pp.

This thesis describes the development of Smart Plug using power line communication. The smart plug system is comprised of two main components which are *Smart Plug* and *Data Concentrator.* Smart Plug is a wall outlet which is able to measure power consumption and to control (turn on/off) the connected load. Smart plug will measure the voltage, current, energy and power consumption of electric home appliances that are connected to it and broadcast these data over the distributed power wires. Data Concentrator is a center of data accessing between the user and each of the smart plug in the system. System owners can access the system to get the electricity consumption data in their system or to control the operation of electric home appliances that are connected to any smart plug by a personal computer or a smart device. Each smart plug has 16-bit unique ID for address identification in the system so this system can support up to 65,536 smart plugs.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department: Electrical Engineering Student's Signature .....

Field of Study: Electrical Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ วงศ์สายสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ และกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์และงานวิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ อาจารย์ เพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบสมองกลฝังตัวและหุ่นยนต์รวมไปถึงเพื่อนๆ จากห้องปฏิบัติการวิจัยอื่นๆ ทุกคนสำหรับความช่วยเหลือ คำแนะนำ และขอบคุณสำหรับมิตรภาพและความรู้สึกดีๆ ที่มีให้กันมาโดยตลอด

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ให้ความรู้และประสบการณ์ดีๆ มากมายทั้งด้านวิชาการ ด้านสังคมและอื่นๆ แก่ข้าพเจ้าตลอดเวลาที่ข้าพเจ้าได้ศึกษาหาความรู้จนจบหลักสูตรปริญญาโท

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และญาติพี่น้อง อันเป็นที่เคารพรักที่คอยดูแลเอาใจใส่ให้กำลังใจข้าพเจ้าตลอดเสมอมาจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้ลุล่วงเสร็จสมบูรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1. แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์ 1

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3. ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4. วิธีดำเนินงานวิจัย 3

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง 4

2.1. การสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า (Power Line Communication) 4

2.1.1. โครงสร้างการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า 4

2.1.2. การมอดูเลตสัญญาณในย่านแคบ (Narrow Band Modulation) 6

2.1.3. มาตรฐานการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า 6

2.1.4. การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า 7

2.2. การติดต่อสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (SPI : Serial Peripheral Interface) 8

2.3. ST7540 (Power Line Modem) 10

2.3.1. การติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่าง ST7540 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ 12

2.3.1.1. Asynchronous Mode (UART) 12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.3.1.2. Synchronous Mode (SPI) 13
บทที่ 3 การออกแบบฮาร์ดแวร์ระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะ 14
3.1. การออกแบบชุดปลั๊กไฟ (Smart Plug Hardware Design) 15
3.1.1. ส่วนวัดพลังงาน (Energy Measurement Part) 16
3.1.2. ส่วนการจัดการและประมวลผล (Microcontroller Unit) 17
3.1.3. ส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Powerline Communication Part) 18
3.1.4. แผ่นวงจรต้นแบบชุดปลั๊กไฟ (Smart Plug Prototype) 22
3.2. การออกแบบตัวกลางการจัดการข้อมูล (Data Concentrator Hardware Design) 24
3.2.1. ส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Powerline Communication Part) 25
3.2.2. ส่วนการจัดการและประมวลผล (Microcontroller Unit) 25
3.2.3. ส่วนติดต่อสื่อสารข้อมูลไร้สาย (Wireless Communication Part) 26
3.2.4. แผ่นวงจรต้นแบบตัวกลางการจัดการข้อมูล (Data Concentrator Prototype) 27
3.3. การปรับเทียบค่าของส่วนวัดพลังงาน (STPM01 Calibration) 28
3.4. การคำนวณพลังงานสิ้นเปลือง (Power Consumption Calculation) 30
3.4.1. พลังงานสิ้นเปลืองของชุดปลั๊กไฟ (Power consumption of smart plug) 31
3.4.2. พลังงานสิ้นเปลืองของตัวกลางการจัดการข้อมูล (Power consumption of a data concentrator) 31
บทที่ 4 การออกแบบซอฟต์แวร์ระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะ 32
4.1. หลักการติดต่อสื่อสารส่งข้อมูลระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูล 32
4.2. การทำงานของชุดปลั๊กไฟ (Smart Plug) 34
4.3. การทำงานของตัวกลางการจัดการข้อมูล (Data Concentrator) 37
4.4. ชนิดของชุดข้อมูล (Data Package) 39
4.5. ระยะเวลาในการส่งของชุดข้อมูลต่างๆ (Transmission time of data package) 43

หน้า

บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดลอง....44
5.1. การทดสอบการทำงานของชุดปลั๊กไฟและตัวกลางการจัดการข้อมูล....46
5.2. ผลการทดสอบการทำงานของชุดปลั๊กไฟและตัวกลางการจัดการข้อมูล....48
5.2.1. ตัวอย่างผลการทดสอบกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า....50
5.2.2. ผลการทดสอบระยะทางการติดต่อสื่อสาร....52
บทที่ 6 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ....54
6.1. สรุปผลการทดลอง....54
6.2. ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไขปัญหา....55
6.2.1. ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการทำวิทยานิพนธ์....55
6.2.2. แนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น....55
6.3. แนวทางการพัฒนางานวิจัย....56
รายการอ้างอิง....59
ภาคผนวก....61
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 การตั้งค่าเพื่อเข้าถึงโหมดการทำงานของ ST7540.....12

ตารางที่ 4-1 ชุดข้อมูลทั้งหมดที่ใช้รับส่งกันระหว่างชุดปลั๊กไฟและตัวกลางการจัดการข้อมูล.....43

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 รูปแบบจำลองการสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า 4

รูปที่ 2-2 รูปแบบการมอดูเลตสัญญาณในย่านแคบ (Narrow Band Modulation) 6

รูปที่ 2-3 ตัวอย่างการต่อ SPI โดยมี Master 1 ตัว และ Slave 1 ตัว 9

รูปที่ 2-4 ตัวอย่างการต่อ Master 1 ตัวกับ Slave 3 ตัว 10

รูปที่ 2-5 ไอซี ST7540 10

รูปที่ 2-6 การอินเตอร์เฟสระหว่าง ST7540 กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ 11

รูปที่ 2-7 รูปแบบสัญญาณลอจิกในการควบคุมการส่งและการรับข้อมูล 13

รูปที่ 3-1 ภาพรวมของระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะ 14

รูปที่ 3-2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของชุดปลั๊กไฟ 15

รูปที่ 3-3 วงจรการติดต่อสำหรับส่วนวัดพลังงาน (Energy Measurement Circuit) 16

รูปที่ 3-4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32L 17

รูปที่ 3-5 วงจรต่อใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32L151CB 17

รูปที่ 3-6 วงจรการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Powerline Communication Circuit) 19

รูปที่ 3-7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในส่วนภาครับและส่งของส่วนติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า 19

รูปที่ 3-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสเอาต์พุตกับตัวความต้านทาน (R_{CL}) 20

รูปที่ 3-9 วงจรกรองความถี่สัญญาณทั้งภาคส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณ 21

รูปที่ 3-10 วงจรขับรีเลย์ (Relay Drive Circuit) 21

รูปที่ 3-11 แผ่นวงจรต้นแบบส่วนวัดพลังงาน 22

รูปที่ 3-12 แผ่นวงจรต้นแบบส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า 23

รูปที่ 3-13 แผ่นวงจรต้นแบบชุดปลั๊กไฟ 24

รูปที่ 3-14 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของตัวกลางการจัดการข้อมูล 24

รูปที่ 3-15 วงจรต่อใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ของตัวกลางการจัดการข้อมูล 25
รูปที่ 3-16 โมดูลติดต่อสื่อสารไร้สาย (Wi-Fi Module).....26
รูปที่ 3-17 วงจรสำหรับรองรับการติดต่อสื่อสารข้อมูลไร้สาย 26
รูปที่ 3-18 แผ่นวงจรต้นแบบตัวกลางการจัดการข้อมูล 27
รูปที่ 3-19 โครงสร้างข้อมูลที่อ่านได้มาจากชิป STPM01 28
รูปที่ 3-20 การปรับเทียบค่าข้อมูลของส่วนวัดพลังงาน STPM01.....29
รูปที่ 3-21 เพาเวอร์มิเตอร์และเครื่องปรับเทียบ (Power Meter & Calibrator Source) 29
รูปที่ 3-22 แสดงค่าที่วัดได้จากเพาเวอร์มิเตอร์โดยจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากเครื่องปรับเทียบ.....30
รูปที่ 4-1 การใช้สื่อกลางของชุดปลั๊กไฟและตัวกลางการจัดการข้อมูล.....32
รูปที่ 4-2 รายละเอียดขาใช้งานของชิปไอซี ST7540.....33
รูปที่ 4-3 แผนภาพการทำงานโปรแกรมของตัวกลางการจัดการข้อมูล 33
รูปที่ 4-4 แผนภาพการทำงานโปรแกรมของชุดปลั๊กไฟ 34
รูปที่ 4-5 แผนภาพการทำงานโปรแกรมของชุดปลั๊กไฟในกรณีของข้อมูลและคำสั่ง.....35
รูปที่ 4-6 แผนภาพการรับส่งข้อมูลระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูล.....36
รูปที่ 4-7 แผนภาพการทำงานโปรแกรมของตัวกลางการจัดการข้อมูล 37
รูปที่ 4-8 แผนภาพการทำงานโปรแกรมในการส่งเฟรมคำสั่งไปยังชุดปลั๊กไฟ.....38
รูปที่ 4-9 แผนภาพการรับส่งเฟรมคำสั่งระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูล.....38
รูปที่ 4-10 แผนภาพการทำงานโปรแกรมของตัวกลางในกรณีการส่งผ่านข้อมูลและการร้องขอหมายเลข.....39
รูปที่ 4-11 รูปแบบของเฟรมข้อมูล.....40
รูปที่ 4-12 รูปแบบของเฟรมคำสั่ง.....40
รูปที่ 4-13 รูปแบบของเฟรมร้องขอ 41
รูปที่ 4-14 รูปแบบของเฟรมหมายเลข 41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-15 รูปแบบของเฟรมตอบกลับคำสั่ง 42
รูปที่ 4-16 รูปแบบของเฟรมตอบกลับหมายเลข.....42
รูปที่ 5-1 ชุดปลั๊กไฟต้นแบบ 3 ชุด 44
รูปที่ 5-2 การติดตั้งแหล่งจ่ายไฟบริเวณด้านล่างของแผ่นวงจร 44
รูปที่ 5-3 ชุดต้นแบบตัวกลางการจัดการข้อมูล.....45
รูปที่ 5-4 หน้าจออินเตอร์เฟสติดต่อกับผู้ใช้งาน.....46
รูปที่ 5-5 ตำแหน่งของปุ่มคอนฟิกและปุ่มรีเซ็ต 47
รูปที่ 5-6 ไฟ LED แสดงสถานะการจับคู่ระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูล 47
รูปที่ 5-7 ลักษณะการต่อใช้งานของชุดปลั๊กไฟ.....48
รูปที่ 5-8 ตัวอย่างการควบคุมการทำงานเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า.....49
รูปที่ 5-9 การทำงานของตัวกลางการจัดการข้อมูล.....49
รูปที่ 5-10 หน้าจออินเตอร์เฟสเมื่อมีการใช้งานของชุดปลั๊กไฟ 50
รูปที่ 5-11 ทดสอบกับหลอดไฟขนาด 5 W 50
รูปที่ 5-12 ทดสอบกับพัดลมขนาด 33 W 51
รูปที่ 5-13 ทดสอบกับโคมไฟขนาด 22 W.....51
รูปที่ 5-14 ทดสอบกับพัดลมขนาด 27 W 51
รูปที่ 5-15 สายไฟยาวประมาณ 450 เมตร.....52
รูปที่ 5-16 การทดสอบที่ระยะทาง 450 เมตร 53

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1. แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์

การใช้ไฟฟ้าเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับทุกครัวเรือน ปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านหรือตามสถานที่ต่างๆ ก็เป็นสิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งที่ผู้อยู่อาศัยควรจะรับทราบเพื่อควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้า ควบคุมค่าใช้จ่ายที่จะต้องมาเสียเป็นค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน แต่ในปัจจุบันนี้ ผู้อยู่อาศัยหรือผู้ที่ใช้ไฟฟ้านั้น จะไม่สามารถรับรู้ถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร บ้านเรือน หรือสำนักงานของตนเองในแต่ละวัน หรือช่วงเวลาใดก็ตามได้เลย จนกว่าจะถึงสิ้นเดือน ก็คือจะทราบได้จากใบแจ้งชำระค่าบริการการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือน โดยในใบแจ้งนี้จะแจ้งเป็นหน่วยปริมาณการใช้ไฟฟ้าตลอดทั้งเดือน โดยผู้ที่ใช้ไฟฟ้าจะไม่สามารถรู้ได้เลยว่า ช่วงเวลาใดหรืออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในจุดใดภายในบ้านที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด ซึ่งถ้าหากผู้ใช้ไฟฟ้าได้ทราบถึงรายละเอียดการใช้ไฟฟ้าของตนเองในทุกช่วงเวลาที่ต้องการ ก็จะเป็นสิ่งที่ดีมาก เนื่องจากจะทำให้ผู้ที่ใช้ไฟฟ้าสามารถควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าของตนเองได้ รู้ว่าควรจะลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในจุดใดได้บ้าง รู้ว่าจุดใดที่มีการใช้ไฟฟ้าสิ้นเปลืองหรือไม่จำเป็น เมื่อผู้ใช้สามารถควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านของตนเองได้ ก็ยังจะส่งผลไปถึงค่าใช้จ่ายไฟฟ้าในแต่ละเดือน ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้อีกด้วย

จะเห็นได้ว่า ถ้ามีอุปกรณ์ที่สามารถรับรู้ถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในอาคารบ้านเรือนได้ก็จะเป็นสิ่งที่ดีสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า ปลั๊กไฟ จึงเป็นอุปกรณ์ที่ควรจะนำมาพัฒนาให้มีความสามารถในการวัดค่าพลังงานการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาต่อพ่วง และส่งค่าข้อมูลเหล่านั้นไปแสดงผลเพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ทราบถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของตนเอง

ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอปลั๊กไฟพิเศษหรือจะเรียกได้ว่าเป็นปลั๊กไฟอัจฉริยะที่สามารถวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาต่อพ่วงอยู่ได้ และส่งผ่านข้อมูลนั้นไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อประมวลผลและแสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ได้รับทราบ โดยในส่วนการส่งผ่านข้อมูลนั้น ได้เลือกรูปแบบการส่งผ่านข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า (Power Line Communication) เนื่องจากไม่จำเป็นต้องแก้ไขระบบไฟฟ้าเดิม เพียงแค่ใช้สายไฟฟ้าชุดเดิมเป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูล ทำให้ง่ายต่อการติดตั้งระบบนี้

1.2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างปลั๊กไฟที่สามารถอ่านข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่มาต่อพ่วงอยู่ได้ และส่งข้อมูลผ่านระบบสายไฟฟ้า 220V (Power Line Communication)
2. ออกแบบและสร้างตัวกลางในการจัดการข้อมูล (Data Concentrator) เพื่อเป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานหรือเจ้าของระบบกับชุดปลั๊กไฟในระบบ
3. ออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เพื่อรองรับระบบอัจฉริยะภายในบ้าน (Smart Home System)

1.3. ขอบเขตของการวิจัย

1. สร้างชุดทดลองปลั๊กไฟอัจฉริยะ (Smart plug system) ที่สามารถวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อพ่วงอยู่และส่งข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านสายไฟฟ้าเฟสเดียวได้
2. ในชุดทดลองปลั๊กไฟอัจฉริยะนั้น จะประกอบไปด้วย ชุดปลั๊กไฟ (Smart Plug) 3 ตัว และตัวกลาง (Data Concentrator) ที่ใช้ติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานกับปลั๊กไฟในระบบ 1 ตัว
3. ชุดปลั๊กไฟ (Smart Plug) แต่ละตัวนั้น สามารถวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่มาต่อพ่วงอยู่ได้ ส่งข้อมูลเหล่านั้นผ่านสายไฟฟ้าเฟสเดียว สามารถเปิด/ปิดการทำงานของอุปกรณ์ที่มาต่อพ่วงได้โดยใช้รีเลย์ (Latching Relay) เป็นตัวควบคุม และสามารถรองรับกระแสใช้งานสูงสุด 8 แอมป์
4. ตัวกลางในการจัดการข้อมูล (Data Concentrator) ใช้ติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานกับปลั๊กไฟ โดยจะติดต่อกับปลั๊กไฟแต่ละตัวผ่านทางสายไฟฟ้า และแสดงค่าข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าผ่านทางหน้าจออินเตอร์เฟส (GUI)
5. ชุดปลั๊กไฟ 1 ชุด รองรับการติดต่อสื่อสารข้อมูลกับปลั๊กไฟได้สูงสุด 65536 ตัว ต่อตัวกลางจัดการข้อมูล 1 ตัว (Smart Plug ID มีขนาด 16 บิต)
6. รูปแบบการส่งข้อมูลนั้น เป็นลักษณะการแพร่กระจาย (Broadcast) ไปตามสายไฟฟ้า โดยชุดปลั๊กไฟแต่ละตัวจะส่งข้อมูลทุกๆ 1 นาที

1.4. วิธีดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาหลักการทำงานของการสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า (Power Line Communication)
2. ศึกษาหลักวิธีการวัดพลังงานไฟฟ้าและสูตรในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมและการเลือกใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์
4. ศึกษาวิธีการใช้งานและทดสอบไอซีวัดพลังงานไฟฟ้าและไอซีที่ทำหน้าที่สื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า
5. ทดลองสร้างวงจรต้นแบบของไอซีวัดพลังงานไฟฟ้าและไอซีที่ทำหน้าที่สื่อสารข้อมูลผ่านไฟฟ้า เพื่อทดสอบการทำงานติดต่อส่งข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์
6. ออกแบบและสร้างชุดทดลองต้นแบบของปลั๊กไฟอัจฉริยะ (Smart Plug)
7. ทดสอบชุดทดลองต้นแบบปลั๊กไฟอัจฉริยะภายใต้สภาพแวดล้อมจริง พร้อมทั้งเก็บข้อมูลเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไข
8. ศึกษาการเขียนโปรแกรม Microsoft Visual C# เพื่อใช้เขียนสร้างหน้าจออินเตอร์เฟสสื่อสารข้อมูลกับผู้ใช้งาน
9. เขียนหน้าจออินเตอร์เฟส เพื่อแสดงค่าข้อมูลที่ได้จากการวัดพลังงานไฟฟ้า
10. ออกแบบและสร้างชุดทดลองต้นแบบของตัวกลางในการจัดการข้อมูล (Data Concentrator)
11. ทดสอบชุดทดลองต้นแบบตัวกลางในการจัดการข้อมูลร่วมกับปลั๊กไฟอัจฉริยะภายใต้สภาพแวดล้อมจริง และปรับปรุงแก้ไข
12. ศึกษาการเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างหน้าเว็บ (Webpage)
13. เขียนหน้าเว็บเพื่อแสดงค่าข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากการวัดพลังงานไฟฟ้า
14. ทดสอบการทำงานเต็มระบบอีกครั้ง เพื่อตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขปัญหา

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้อุปกรณ์ต้นแบบปลั๊กไฟอัจฉริยะที่สามารถวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าเฟสเดียว
2. ได้อุปกรณ์ที่สามารถบอกปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ทำให้ผู้ใช้งานระบบรับทราบถึงข้อมูลดังกล่าว เป็นการช่วยประหยัดพลังงานมากขึ้น
3. ได้อุปกรณ์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบอัจฉริยะต่างๆ (Smart System)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2

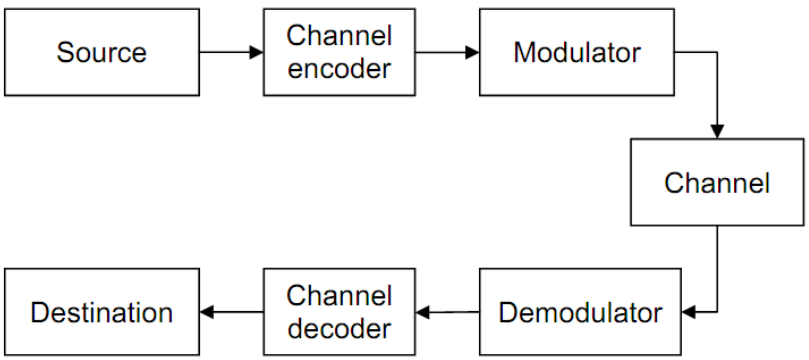
ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1. การสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า (Power Line Communication)

Power Line Communication หรือ PLC เป็นการติดต่อสื่อสารหรือส่งผ่านข้อมูลมัลติมีเดียในรูปแบบต่างๆ เช่น สัญญาณภาพและเสียง ผ่านสายไฟฟ้าที่มีใช้กันกันอยู่ตามบ้านเรือนทั่วไป จริงๆแล้วมีรูปแบบการสื่อสารมากมายที่นำมาประยุกต์ใช้กับเครือข่ายในบ้าน[1] เช่น RS-485 ซึ่งระยะการสื่อสารสามารถส่งได้ไกลถึง 1200 เมตร[2] แต่ RS-485 ยังจำเป็นต้องมีการเดินสายไฟเพื่อเป็นตัวกลาง การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้านั้นสามารถนำมาใช้ส่งสัญญาณอินเตอร์เน็ตภายในบ้านได้ด้วย[3] ข้อดีหลักๆของ PLC นั้นคือ ไม่จำเป็นต้องเดินสาย เนื่องจากจะใช้สายไฟฟ้าที่มีอยู่เดิมแล้วนั้นเป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูล[4] แต่อย่างไรก็ตาม PLC ในช่วงแรกนั้นก็ยังคงมีข้อจำกัดอยู่บ้าง คือ ความเร็วในการส่งข้อมูลนั้นไม่มากนัก เนื่องมาจากปัญหาสัญญาณรบกวนและการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นภายในสายไฟฟ้า[5]

การสื่อสารหรือส่งผ่านข้อมูลผ่านสายไฟฟ้ามีทั้งที่เป็นรูปแบบระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ (LV Distribution Cable) หรือระบบจ่ายไฟฟ้าแรงดันปานกลาง (MV Distribution Cable) โดยในที่นี้อาจจะมีชื่อเรียกอื่นๆ ที่แตกต่างกันออกไป เช่น Power Line Communication (PLC), Power Line Telecommunication (PLT), Broadband over Power Line (BPL) หรือ Ethernet over Power Line[6]

2.1.1. โครงสร้างการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า



รูปที่ 2-1 รูปแบบจำลองการสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า

จากรูปที่ 2-1 เป็นภาพรวมของการติดต่อสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า โดยจะแบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ตั้งแต่เริ่มติดต่อจากต้นทางไปจนถึงปลายทางสิ้นสุดการติดต่อ ขออธิบายเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

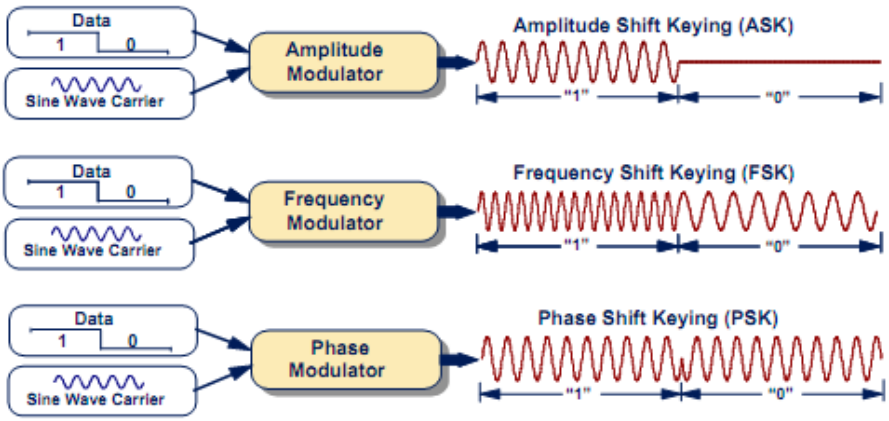
1. Source และ Destination เป็นส่วนต้นทางและปลายทางของการติดต่อสื่อสาร ซึ่งก็คือข้อมูลที่ต้องการจะส่งนั่นเอง โดยข้อมูลอาจจะอยู่ในรูปแบบของสัญญาณภาพ สัญญาณเสียง หรือเป็นข้อมูลมัลติมีเดีย ในการติดสื่อสารที่ดีนั้น ข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากต้นทางและข้อมูลที่รับได้ที่ปลายทางนั้นต้องเป็นข้อมูลเดียวกัน ไม่มีการผิดพลาดข้อมูล

2. Channel Encoder และ Channel Decoder เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการเข้ารหัสและถอดรหัสของข้อมูลที่ต้องการจะส่ง Channel Encoder จะนำเอาข้อมูลที่ได้มาจาก Source นั้นมารวมกับส่วนต่างๆ เช่น Header, Address, Checksum และส่วนอื่นๆ มาประกอบกันเป็นเฟรมข้อมูล ส่วน Channel Decoder จะนำเฟรมข้อมูลที่ได้รับมานั้นมาแยกส่วนต่างๆ ออกไป ให้เหลือเฉพาะข้อมูลเท่านั้น

3. Modulator และ Demodulator หน้าที่ของ Modulator คือ การนำเอาข้อมูลที่ได้เข้ารหัสมาแล้วนั้น มามอดูเลตกับคลื่นสัญญาณพาห์ เพื่อให้สามารถส่งข้อมูลที่เราต้องการออกไปยังสายไฟฟ้าได้ โดยรูปของการมอดูเลตนั้นก็มีหลายรูปแบบที่สามารถทำได้ เช่น ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying), PSK (Phase Shift Keying) และ QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ส่วน Demodulator นั้น จะทำงานกลับกันกับ Modulator คือ จะดึงเอาสัญญาณข้อมูลออกจากสัญญาณพาห์ เพื่อส่งไปยัง Channel Decoder ต่อไป

4. Channel คือ ตัวกลางในการส่งข้อมูล ซึ่งก็คือ สายไฟฟ้า (Power Line) นั่นเอง ข้อมูลที่ถูกมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นพาห์แล้ว จะถูกส่งออกไปตามสายไฟฟ้า เพื่อนำข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทางนั่นเอง

2.1.2. การมอดูเลตสัญญาณในย่านแคบ (Narrow Band Modulation)



รูปที่ 2-2 รูปแบบการมอดูเลตสัญญาณในย่านแคบ (Narrow Band Modulation)

จากรูปที่ 2-2 เป็นรูปแบบการมอดูเลตสัญญาณที่มักจะใช้ในการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าในย่านแคบ[7] มีอยู่ด้วยกันอยู่ 3 รูปแบบ คือ ASK (Amplitude Shift Keying) เป็นการมอดูเลตสัญญาณทางด้านแอมพลิจูด เมื่อมีช่วงข้อมูลที่มีลอจิกเป็น “1” สัญญาณขณะนั้นจะมีแอมพลิจูดที่สูงกว่า ช่วงข้อมูลที่มีลอจิกเป็น “0” ต่อมาก็คือ FSK (Frequency Shift Keying) การมอดูเลตรูปแบบนี้จะเป็นเชิงความถี่ เมื่อมีช่วงข้อมูลที่มีลอจิกเป็น “1” ความถี่ของสัญญาณข้อมูลขณะนั้นจะมากกว่าความถี่ของช่วงสัญญาณข้อมูลที่เป็น “0” และรูปแบบการมอดูเลตสัญญาณแบบสุดท้ายก็คือ PSK (Phase Shift Keying) เป็นการมอดูเลตในเชิงเฟสของสัญญาณ คือ ช่วงสัญญาณข้อมูลที่มีลอจิกเป็น “1” กับ “0” นั้นจะมีเฟสที่ต่างกัน 180 องศานั่นเอง

นอกจากการมอดูเลตสัญญาณที่ใช้ติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าในย่านแคบ ดังที่กล่าวไปแล้วนั้น ยังมีรูปแบบการมอดูเลตแบบอื่นอีกมากมายที่ถูกนำไปใช้ในการติดต่อสื่อสารย่านที่ใช้กระจายสัญญาณ (Broadband) เช่น OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) และ DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying)

2.1.3. มาตรฐานการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า

มาตรฐานที่รองรับการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าในปัจจุบันนั้น มีอยู่มากมาย ซึ่งแต่ละกลุ่มองค์กรหรือสถาบันต่างๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าได้รวมตัวกันจัดตั้งขึ้น เช่น

- IEEE Standards[8]

- IEEE P1675 “Standard for Broadband over Powerline Hardware”.

- IEEE P1775 “Powerline Communication Equipment – Electromagnetic Compatibility (EMC) Requirements – Testing and Measurement Methods”.

- IEEE P1901 “Draft Standard for Broadband over Power Line Networks : Medium Access Control and Physical Layer Specifications”.

- OPERA (Open PLC European Research Alliance)

- POWERNET

- Universal Powerline Association (UPA)

- Consumer Electronics Powerline Communication Alliance (CEPCA)

- ETSI PLT (European Telecommunications Standard Institute – Power Line Telecommunication)

- HomePlug Powerline Alliance Standards

- HomePlug 1.0

- HomePlug AV

- HomePlug BPL

- HomePlug CC

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.4. **การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า**

เป็นการนำเอาเทคโนโลยีที่ใช้สายไฟฟ้าในระบบจ่ายไฟฟ้าตามอาคารบ้านเรือนมาใช้เป็นโครงข่ายสื่อสารท้องถิ่น (access network) แทนคู่สายโทรศัพท์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารและสามารถรองรับบริการในรูปแบบเสียง ข้อมูลและมัลติมีเดีย รวมถึงติดต่อกับเครือข่ายอินเตอร์เน็ตความเร็วสูง ทั้งในส่วนของผู้ให้บริการสาธารณูปโภค เช่น การไฟฟ้า และประชาชนทั่วไปที่เป็นลูกค้าของการไฟฟ้า ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- **ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน** การนำการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ามาใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ภายในบ้าน เช่น โทรทัศน์ เครื่องเสียง ระบบไฟแสงสว่าง การรักษาความปลอดภัยภายในบ้านโดยใช้กล้องวีดีโอ สัญญาณข้อมูลที่ส่งเพื่อไปควบคุมอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นจะมีหมายเลขเพื่อบ่งบอกว่าจะควบคุมอุปกรณ์ตัวไหน ส่วนฝั่งรับใน

ระบบจะมีหมายเลข ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยสัญญาณที่ส่งมาและจะถูกถอดรหัสที่เครื่องรับโดยอุปกรณ์ที่ใช้สามารถเสียบเข้ากับปลั๊กไฟบ้านแล้วสามารถใช้งานได้เลย

- **ใช้เป็นโครงข่ายติดต่อสื่อสารภายในบ้าน** การนำการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ามาใช้เป็นโครงข่ายคอมพิวเตอร์ ภายในบ้าน อาคาร หรือภายในสำนักงาน โดยเสียบอุปกรณ์เข้ากับปลั๊กไฟฟ้าที่มีอยู่เดิม แต่โครงข่ายการติดต่อสื่อสารนี้จะใช้งานได้ในระยะใกล้ๆ

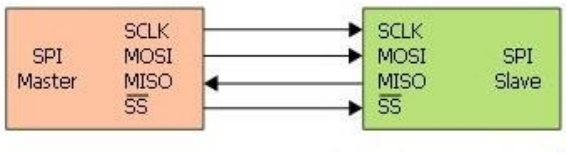
- **ใช้เป็น Internet access** การนำการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ามาใช้งานเพื่อเข้าถึงโครงข่ายอินเตอร์เน็ตหรือเรียกว่า Broadband over Powerline (BPL) ที่ให้บริการโครงข่ายโทรคมนาคม เช่น การรับส่งข้อมูลข่าวสาร ดูหนัง ฟังเพลง เล่นเกมส์ เป็นต้น โดยจะใช้ BPL Modem เป็นอุปกรณ์ทำหน้าหน้าที่ในการแปลงสัญญาณให้กับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อื่นๆ ภายในระบบ

- **ใช้งานในกิจการของการไฟฟ้า** การไฟฟ้าสามารถนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ในธุรกิจหรือการปฏิบัติงานของการไฟฟ้าเองได้ เช่น การใช้ช่องสัญญาณผ่านสายไฟฟ้า ในการสั่งการให้ Protection relay ทำงานเมื่อเกิดเหตุขัดข้องในระบบจ่ายไฟฟ้า และนำมาใช้ในระบบสื่อสารภายในองค์กร และใช้ในการสั่งการเพื่อใช้ในการ back up ของช่องสัญญาณ นอกจากนี้ยังนำการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าที่มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำมาใช้ในการอ่านปริมาณหน่วยของมาตรวัดทางไฟฟ้าได้ด้วย

- **ใช้ในการส่งสัญญาณกระจายเสียง** สามารถนำระบบสื่อสารผ่านสายไฟฟ้ามาใช้ในการส่งวิทยุกระจายเสียงผ่านสายไฟฟ้าอย่างในประเทศรัสเซียหรือสายโทรศัพท์ในประเทศเยอรมันและสวิสเซอร์แลนด์ ตัวอย่างของรายการวิทยุที่ส่งกระจายเสียงโดยใช้เทคโนโลยีสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าในสวิสเซอร์แลนด์ ซึ่งเรียกกันว่า “wire broadcasting”

2.2. การติดต่อสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (SPI : Serial Peripheral Interface)

SPI หรือ Serial Peripheral Interface เป็นวิธีการสื่อสารรูปแบบหนึ่ง ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ ตัวอย่างเช่น พริ้นเตอร์ กล้องถ่ายรูป เครื่องสแกนเนอร์ และอื่นๆ อีกมากมาย ถึงแม้ว่าการสื่อสารของ USB ที่มีฟังก์ชั่นการทำงานที่กว้างกว่า แต่การสื่อสารในรูปแบบ SPI ก็ยังถูกใช้งานกันอยู่ในบางแอพลิเคชั่น (Application)



รูปที่ 2-3 ตัวอย่างการต่อ SPI โดยมี Master 1 ตัว และ Slave 1 ตัว

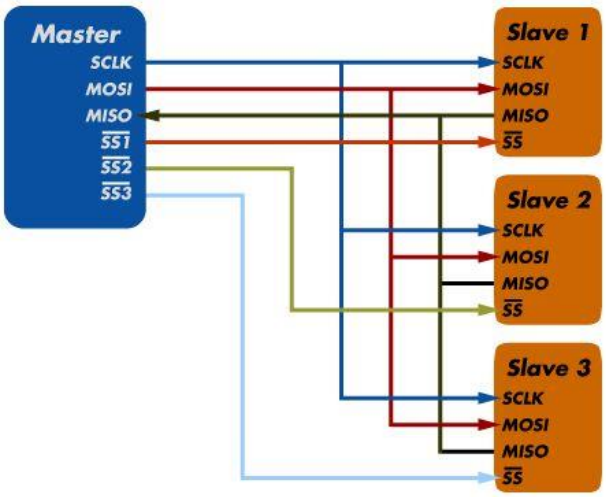
SPI เป็นการสื่อสารข้อมูลในรูปแบบอนุกรมที่มีสัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดจังหวะในการติดต่อสื่อสารข้อมูล จากรูปที่ 2-3 SPI จะทำงานในรูปแบบที่ให้อุปกรณ์ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นมาสเตอร์ (Master) ในขณะที่อีกตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็นสเลฟ (Slave) และส่งข้อมูลในโหมด Full-duplex นั่นหมายความว่า สัญญาณสามารถส่งหากันได้ระหว่างมาสเตอร์และสเลฟ ได้อย่างต่อเนื่อง การสื่อสารของ SPI มาสเตอร์ 1 ตัว สามารถติดต่อสื่อสารกับสเลฟ ได้มากกว่า 1 ตัว เพียงแค่ต่อสายสัญญาณข้อมูลทั้งหมดจากมาสเตอร์ไปยังสเลฟทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบในลักษณะที่เป็นแบบขนานตามรูปที่ 2-4[9] ในการสื่อสารแบบ SPI นี้ ไม่ได้กำหนดมาตรฐานตายตัวว่าข้อมูลที่ส่งหากันต้องอยู่ในรูปแบบไหน ในส่วนนั้นจะคิดโปรโตคอล (Protocol) ในการสื่อสารกันเอาเอง

SPI จะมีสายสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารทั้งหมด 4 เส้น หรือบางครั้งอาจจะเรียกได้ว่า บัสอนุกรม “ Four wire” มีดังนี้

1. SCLK (Serial Clock) ขานี้ กรณีที่เป็นมาสเตอร์จะทำหน้าที่จ่ายสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) ให้กับสเลฟทุกตัวในระบบ เพื่อกำหนดจังหวะในการสื่อสารข้อมูล
2. MOSI/SIMO (Master Output / Slave Input) กรณีที่เป็นมาสเตอร์ ขานี้จะทำหน้าที่เป็นเอาต์พุตของมาสเตอร์ แต่ถ้าเป็นสเลฟ ขานี้จะเป็นอินพุตของสเลฟตัวนั้นๆ
3. MISO/SOMI (Master Input / Slave Output) กรณีที่เป็นมาสเตอร์ ขานี้จะทำหน้าที่เป็นอินพุตของมาสเตอร์ แต่ถ้าเป็นสเลฟ ขานี้จะเป็นเอาต์พุตของสเลฟตัวนั้นๆ
4. SS (Slave Select) ขานี้จะเป็นตัวกำหนดว่ามาสเตอร์จะเลือกที่จะติดต่อกับสเลฟตัวใดในระบบ ถ้ามาสเตอร์ต้องการที่จะติดต่อกับสเลฟตัวใดในระบบ ก็เพียงแค่สั่งงานขานี้ให้มีลอจิกเป็น “0” (Active Low)

ที่เราเรียกว่ามาสเตอร์ (Master) ก็เพราะว่า ตัวที่เป็นมาสเตอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการสื่อสารทั้งหมด โดยควบคุมการสื่อสารตามสัญญาณนาฬิกา ตัวมาสเตอร์จะเป็นตัวที่ตัดสินใจรับหรือส่งข้อมูลภายในการสื่อสารแบบ Full Duplex เราใช้สายสัญญาณ SS หรือ Slave Select ในกรณีที่เรามีตัวสเลฟมากกว่า 1 ตัว โดยการทำให้เส้น SS มีระดับสัญญาณลอจิกเป็น “0”

เมื่อต้องการติดต่อกับสเลฟตัวใด จากรูปที่ 2-4 หากเราต้องการติดต่อสื่อสารกับสเลฟตัวใด ก็เพียงทำให้สัญญาณ SS ของสเลฟตัวนั้น มีระดับสัญญาณลอจิกเป็น “0”



รูปที่ 2-4 ตัวอย่างการต่อ Master 1 ตัวกับ Slave 3 ตัว

2.3. ST7540 (Power Line Modem)

รูปที่ 2-5 ไอซี ST7540

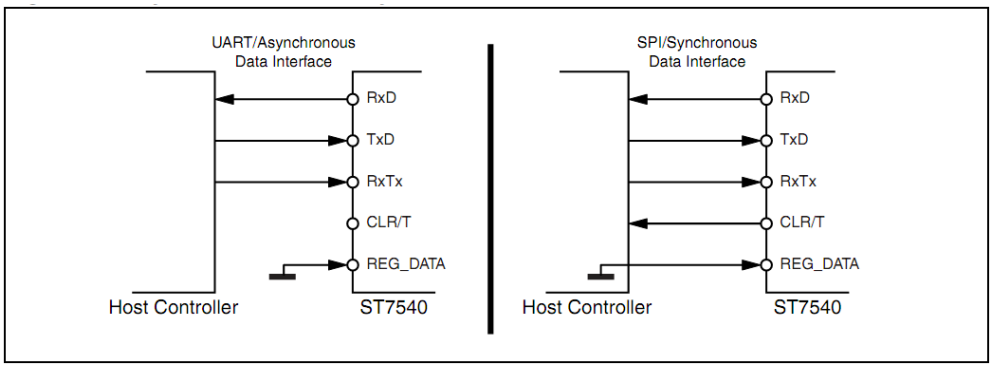
ST7540 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูล หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Power Line Modem ถูกออกแบบมาให้รองรับการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Power Line Communication) ภายใต้มาตรฐาน CENELEC EN 50065-1[10] รูปแบบของการมอดูเลตสัญญาณจะเป็น Frequency Shift Keying (FSK) การติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่าง Power Line Modem กับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเป็นการส่งในลักษณะส่งผ่านทั้งสองทิศทาง แต่ไม่ใช่เวลาเดียวกัน หรือที่เรียกว่า Half-Duplex ส่วนการอินเตอร์เฟสสัญญาณกับไมโครคอนโทรลเลอร์จะมี 2 โหมด คือ Asynchronous และ Synchronous ซึ่งแบบ Asynchronous จะเป็นการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (UART : Universal Asynchronous Receiver Transmitter) และแบบ Synchronous จะ

เป็นการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส (SPI : Serial Peripheral Interface) ในการอินเตอร์เฟสโหมด SPI นั้นผู้ใช้งานจะสามารถตั้งค่าการทำงานได้ เนื่องจากภายในไอซี ST7540 มีรีจิสเตอร์ภายใน (Control Register) ที่คอยควบคุมการทำงานอยู่ ซึ่งในการตั้งค่ารีจิสเตอร์นี้ จะกระทำได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในรูปแบบอินเตอร์เฟสโหมด SPI เท่านั้น

รีจิสเตอร์ภายใน (Control Register) ทำหน้าที่ในการตั้งค่าต่างๆที่เกี่ยวกับการทำงาน อาทิเช่น คลื่นความถี่พาห์ (Carrier Frequency), ความถี่ในการทำงาน (Master Clock), อัตราการส่งข้อมูล (Baud Rate), รูปแบบการอินเตอร์เฟส (Interfacing), การตรวจจับเฟรมข้อมูล (Header Recognition), ขนาดของเฟรมข้อมูล (Frame Length) และอื่นๆอีกมากมาย

การต่อใช้งาน ST7540 เพื่อติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือการอินเตอร์เฟสนั้น สามารถติดต่อกันได้ 2 โหมด ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น คือ Asynchronous Mode (UART) และ Synchronous Mode (SPI) ในการเลือกใช้งานโหมดอินเตอร์เฟสนั้น สามารถทำได้โดยสั่งงานที่ขา UART/SPI ของ ST7540 ถ้าต้องการให้ ST7540 อินเตอร์เฟสในโหมด SPI ก็ต่อขา UART/SPI ลงกราวด์ GND (ลอจิก “0”) หรือปล่อยลอยไว้ก็ได้ เนื่องจากโครงสร้างภายในของขา UART/SPI นั้นได้ต่อตัวต้านทานพูลดาวน์ (Pull Down) ไว้เรียบร้อยแล้ว แต่ถ้าต้องการให้ ST7540 อินเตอร์เฟสในโหมด UART ก็ให้ต่อขา UART/SPI เข้ากับสัญญาณไฟ 5V หรือ 3.3V (ลอจิก “1”) นั่นเอง

จากรูปที่ 2-6 จะเห็นได้ว่า ในโหมด Asynchronous (UART) จะต้องต่อขาใช้งานของ ST7540 เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั้งหมด 3 ขา (RxD, TxD และ RxTx) และขา REG_DATA นั้นต้องต่อลงกราวด์ GND ส่วนในโหมด Synchronous (SPI) นั้น จะต้องต่อขาใช้งานทั้งหมด 5 ขา (RxD, TxD, RxTx, CLR/T และ REG_DATA)



รูปที่ 2-6 การอินเตอร์เฟสระหว่าง ST7540 กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3.1. การติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่าง ST7540 กับไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่าง ST7540 กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถเข้าถึงได้ 2 ลักษณะ คือ การสื่อสารข้อมูล (Data Communication) ลักษณะนี้จะใช้สำหรับติดต่อรับส่งข้อมูลผ่านสายไฟฟ้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ และ การเข้าถึงรีจิสเตอร์ (Control Register Access Configuration) การเข้าถึงในลักษณะนี้มีไว้เพื่อตั้งค่าการทำงานต่างๆของ ST7540

จากตารางที่ 2-1 ด้านล่าง จะเห็นได้ว่า เมื่อต้องการติดต่อสื่อสารข้อมูล (Data Communication) ทำได้โดย เซ็ตค่า ขา REG_DATA ให้มีลอจิกเป็น “0” และขา RxTx จะเซ็ตเป็น “0” ก็ต่อเมื่อต้องการจะส่งข้อมูลไปยัง ST7540 เพื่อส่งออกผ่านสายไฟฟ้า และจะเซ็ตเป็น “1” ก็ต่อเมื่อต้องการจะรับข้อมูลจากสายไฟฟ้าผ่าน ST7540 เข้ามายังไมโครคอนโทรลเลอร์ และถ้าต้องการเข้าถึงรีจิสเตอร์ใน ST7540 (Control Register Access Configuration) ก็เพียงแค่เซ็ตลอจิกที่ขา REG_DATA ให้เป็น “1” ส่วนขา RxTx นั้น จะเซ็ตเป็น “0” ก็ต่อเมื่อต้องการจะเขียนค่ารีจิสเตอร์ไปยัง ST7540 แต่ถ้าเซ็ตค่าเป็น “1” คือต้องการจะอ่านค่ารีจิสเตอร์จาก ST7540[11]

	REG_DATA	RxTx
Data Transmission	0	0
Data Reception	0	1
Control Register Read	1	1
Control Register Write	1	0

ตารางที่ 2-1 การตั้งค่าเพื่อเข้าถึงโหมดการทำงานของ ST7540

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

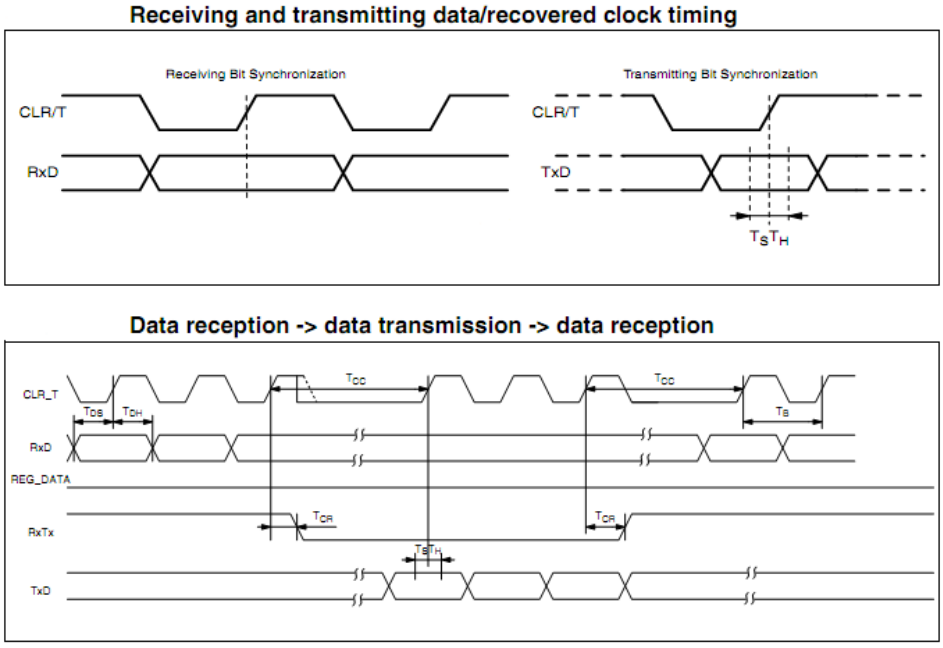
2.3.1.1. Asynchronous Mode (UART)

การอินเตอร์เฟสในโหมด Asynchronous (UART) นั้น การติดต่อสื่อสารสามารถทำได้โดยไม่ต้องอาศัยอาศัยสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) เพื่อเป็นตัวกำหนดจังหวะในการสื่อสารข้อมูล ถ้า ขา RxTx ถูกเซ็ตให้เป็น “1” และ ขา REG_DATA ถูกเซ็ตเป็น “0” (Data Reception) ST7540 จะเข้าสู่สถานะว่าง (Idle State) และหลังจากเวลา Tcc Time ก็จะสามารถอ่านข้อมูลได้จากทาง ขา RxD แต่ถ้า ขา RxTx ถูกเซ็ตให้เป็น “0” และ ขา REG_DATA ถูกเซ็ตเป็น “0” (Data Transmission) ST7540 ก็จะเข้าสู่สถานะว่างเช่นกัน และหลังจาก Tcc Time การส่งผ่านข้อมูลก็จะเริ่มขึ้นที่ขา TxD

2.3.1.2. Synchronous Mode (SPI)

การอินเตอร์เฟสในโหมด Synchronous (SPI) นั้น ST7540 จะต้องถูกเซ็ตให้เป็นตัว Master เสมอ และสัญญาณนาฬิกานั้นจะออกมาทางขา CLR/T เมื่อ ST7540 อยู่ในโหมดรับข้อมูล จะมีสัญญาณนาฬิกาที่สร้างจากภายในมาเป็นตัวกำหนดจังหวะในการรับข้อมูล ส่วนข้อมูลก็จะปรากฏบนขา RxD เมื่อมีสัญญาณขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาที่ขา CLR/T และเมื่อ ST7540 อยู่ในโหมดการส่งข้อมูล ข้อมูลที่ต้องการส่งก็จะปรากฏบนขา TxD เมื่อมีสัญญาณขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกา

ถ้าขา RxTx ถูกเซ็ตให้เป็น “1” และ ขา REG_DATA เซ็ตเป็น “0” (Data Reception) ST7540 จะเข้าสู่สถานะว่าง (Idle State) สัญญาณที่ขา CLR/T จะถูกเซ็ตเป็น “0” และหลังจากเวลา Tcc Time ก็จะสามารถอ่านข้อมูลได้จากทาง ขา RxD แต่ถ้า ขา RxTx ถูกเซ็ตให้เป็น “0” และ ขา REG_DATA ถูกเซ็ตเป็น “0” (Data Transmission) ST7540 ก็จะเข้าสู่สถานะว่างเช่นกัน สัญญาณที่ขา CLR/T จะถูกเซ็ตเป็น “0” และหลังจาก Tcc Time การส่งผ่านข้อมูลก็จะเริ่มขึ้นที่ขา TxD ตามรูปที่ 2-7 ด้านล่าง



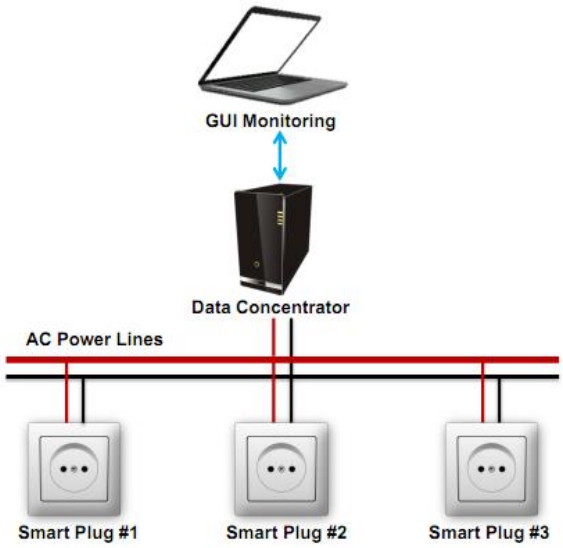
รูปที่ 2-7 รูปแบบสัญญาณลอจิกในการควบคุมการส่งและการรับข้อมูล

บทที่ 3

การออกแบบฮาร์ดแวร์ระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะ

เนื่องด้วยระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะมีอุปกรณ์หลักๆอยู่ 2 ตัว ซึ่งก็คือ ชุดปลั๊กไฟ (Smart Plug) และตัวกลางการจัดการข้อมูล (Data Concentrator) โดยชุดปลั๊กไฟนั้นต้องสามารถวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาต่อพ่วงอยู่ได้ และส่งผ่านข้อมูลที่วัดได้เหล่านั้นผ่านสายไฟฟ้าเฟสเดียวในระบบไปยังตัวกลางการจัดการข้อมูลเพื่อส่งข้อมูลต่อไปแสดงผลให้กับผู้ใช้งานหรือเจ้าของระบบได้ รวมทั้งผู้ใช้งานยังสามารถสั่งงานเปิด/ปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อพ่วงอยู่กับชุดปลั๊กไฟในระบบได้อีกด้วย ส่วนตัวกลางหรือตัวกลางการจัดการข้อมูลนั้น ก็จะคอยรับส่งข้อมูลและคำสั่งระหว่างชุดปลั๊กไฟผ่านสายไฟฟ้าในระบบ และส่งผ่านข้อมูลนั้นไปแสดงผลให้กับผู้ใช้งานระบบได้รับทราบผ่านทางหน้าจออินเตอร์เฟสซึ่งมีไว้สำหรับแสดงผลและควบคุมเปิดปิดการทำงานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะ เมื่อผู้ใช้งานต้องการจะใช้งานระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะนั้นก็จะต้องทำการเปลี่ยนจากปลั๊กไฟที่ติดอยู่ในระบบเดิมให้กลายชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะเสียก่อน หรือไม่ก็นำชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะนี้ ไปเสียบเข้ากับปลั๊กไฟเดิมก็ได้ จากนั้นก็จะต้องนำตัวกลางการจัดการข้อมูลไปเสียบเข้าปลั๊กไฟในระบบด้วย เพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลกับชุดปลั๊กไฟต่างๆ ในระบบได้ ลักษณะการติดตั้งระบบก็จะเป็นไปตามรูปที่ 3-1

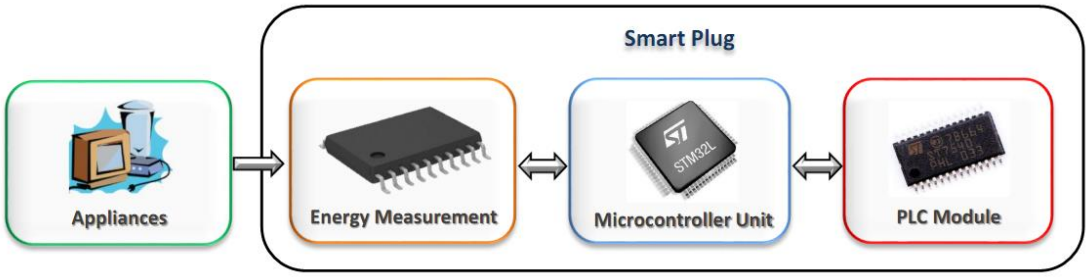


รูปที่ 3-1 ภาพรวมของระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะ

จากรูปที่ 3-1 จะเป็นโครงสร้างรวมของระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะ เมื่อผู้ใช้งานหรือเจ้าของระบบทำการติดตั้งชุดปลั๊กไฟเข้าไปในระบบไฟฟ้าเดิมเรียบร้อยแล้ว อาจจะเป็นการเปลี่ยนจากเต้ารับเดิมเป็นชุดปลั๊กไฟใหม่ หรือไม่ก็นำชุดปลั๊กไฟใหม่ไปเสียบเข้ากับเต้ารับเดิมในระบบ พร้อมทั้งนำเอาตัวกลางไปเสียบเข้ากับเต้ารับด้วยเช่นกัน จากนั้นทำการตั้งค่าจับคู่ชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางในระบบให้เรียบร้อย เมื่อมีการสั่งเปิดการใช้งานชุดปลั๊กไฟจากเจ้าของระบบ ชุดปลั๊กไฟก็จะเริ่มทำการวัดปริมาณไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ถูกใช้ไป และส่งข้อมูลที่วัดได้เหล่านั้นออกไปตามสายไฟฟ้าที่มีอยู่ในระบบ ส่งผ่านไปยังตัวกลาง เพื่อนำค่าข้อมูลไปแสดงผลบนหน้าจออินเตอร์เฟสให้กับผู้ใช้งานได้รับทราบผ่านทางการเชื่อมต่อรูปแบบอนุกรม (Serial Port) ต่อไป และในกรณีที่ผู้ใช้งานต้องการที่จะสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ก็สามารถสั่งงานได้โดยตรงผ่านทางหน้าจออินเตอร์เฟส จากนั้นคำสั่งก็จะถูกส่งมาที่ตัวกลางก่อน และตัวกลางก็ส่งผ่านคำสั่งต่อไปยังชุดปลั๊กไฟในระบบผ่านทางสายไฟฟ้าอีกครั้ง เมื่อชุดปลั๊กไฟตัวนั้นได้รับคำสั่งและทำการสั่งงานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว ก็จะตอบกลับไปยังผู้ใช้งานอีกครั้ง เพื่อเป็นการยืนยันคำสั่งนั่นเอง

ในการออกแบบระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะนั้น จะขอแบ่งการอธิบายออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ นั่นก็คือ การออกแบบชุดปลั๊กไฟ และการออกแบบตัวกลางการจัดการข้อมูล

3.1. การออกแบบชุดปลั๊กไฟ (Smart Plug Hardware Design)

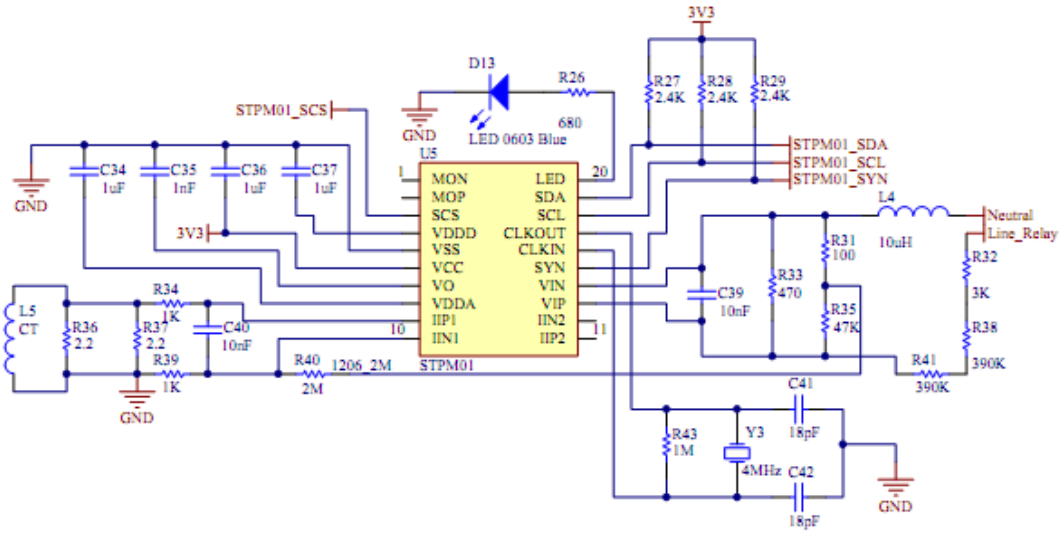


รูปที่ 3-2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของชุดปลั๊กไฟ

จากรูปที่ 3-2 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของชุดปลั๊กไฟ จะเห็นว่าชุดปลั๊กไฟนี้เป็นส่วนที่จะต้องต่อเข้ากับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (Appliances) และส่วนการทำงานต่างๆ ภายในชุดปลั๊กไฟ จะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนวัดพลังงาน (Energy Measurement Part), ส่วนการจัดการและประมวลผล (Microcontroller Unit) และส่วนติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (PLC Module)

3.1.1. ส่วนวัดพลังงาน (Energy Measurement Part)

ส่วนการทำงานนี้มีหน้าที่หลักในการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาต่อพ่วงอยู่กับชุดปลั๊กไฟ โดยมีชิปไอซี STPM01[12] เป็นอุปกรณ์หลักที่ทำหน้าที่ในการวัดพลังงานไฟฟ้า ค่าข้อมูลที่วัดได้จะมีค่าของแรงดันไฟฟ้า (Voltage), กระแสไฟฟ้า (Current), ความถี่ไฟฟ้า (Frequency) และพลังงานการใช้ไฟฟ้า (Power) ค่าข้อมูลที่ได้เหล่านี้ก็จะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อปรับเทียบค่า เนื่องจากค่าที่วัดได้จากชิปไอซี STPM01 นั้นยังไม่ใช่ค่าที่ถูกต้องที่สุด ค่าข้อมูลบางส่วนอาจยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง ข้อมูลเหล่านี้จึงจำเป็นจะต้องถูกส่งไปที่ส่วนการจัดการและประมวลผลเพื่อทำการปรับเทียบค่าให้ใกล้เคียงความถูกต้องมากยิ่งขึ้น



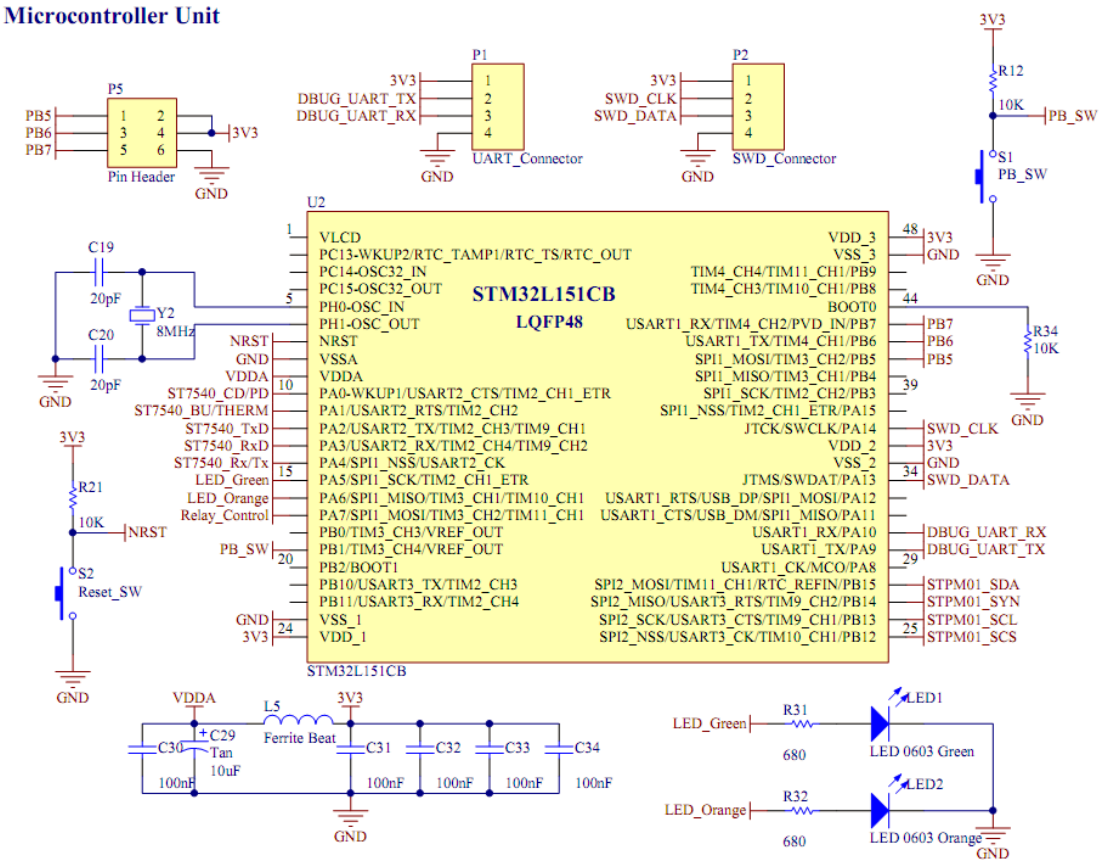
รูปที่ 3-3 วงจรการติดต่อสำหรับส่วนวัดพลังงาน (Energy Measurement Circuit)

จากรูปที่ 3-3 เป็นวงจรหลักในส่วนวัดพลังงานที่มีหน้าที่วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาต่อพ่วง ซึ่งในการวัดนั้น จะทำการวัดอยู่ 2 ค่าหลักๆ ก็คือ แรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้านั่นเอง ในการวัดแรงดันนั้นจะใช้หลักการแบ่งแรงดัน เพื่อลดทอนระดับแรงดันให้ต่ำลงพอที่จะสามารถทำการวัดได้ง่ายมากขึ้น ซึ่งแรงดันที่ได้นั้นจะถูกเข้าไปทำการวัดที่ขา VIP และขา VIN ของชิปไอซีนั่นเอง ส่วนในการวัดกระแสไฟฟ้านั้น ก็จะใช้หลักการเหนี่ยวนำกระแสผ่านขดลวด (Current Transformer) ไหลผ่านตัวต้านทานเกิดเป็นแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน แรงดันที่ได้นี้ก็จะตกคร่อมขา IIP1 และขา IIN1 ของชิปไอซี STPM01 และทำการวัดหาค่ากระแสออกมา

3.1.2. ส่วนการจัดการและประมวลผล (Microcontroller Unit)

รูปที่ 3-4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32L

STM32L Microcontroller[13] ตามรูปที่ 3-4 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวจัดการและประมวลผลข้อมูลหลักในส่วนการจัดการและประมวลผล ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการจัดการกับข้อมูลและประมวลผลข้อมูลทั้งหมดของชุดปลั๊กไฟ ซึ่งข้อมูลหลักๆนั้นก็คือข้อมูลที่ได้จากการวัดพลังงานปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาต่อพ่วงอยู่กับชุดปลั๊กไฟ และข้อมูลคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งมาจากการสั่งงานของผู้ใช้งานระบบนั่นเอง



รูปที่ 3-5 วงจรต่อใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32L151CB

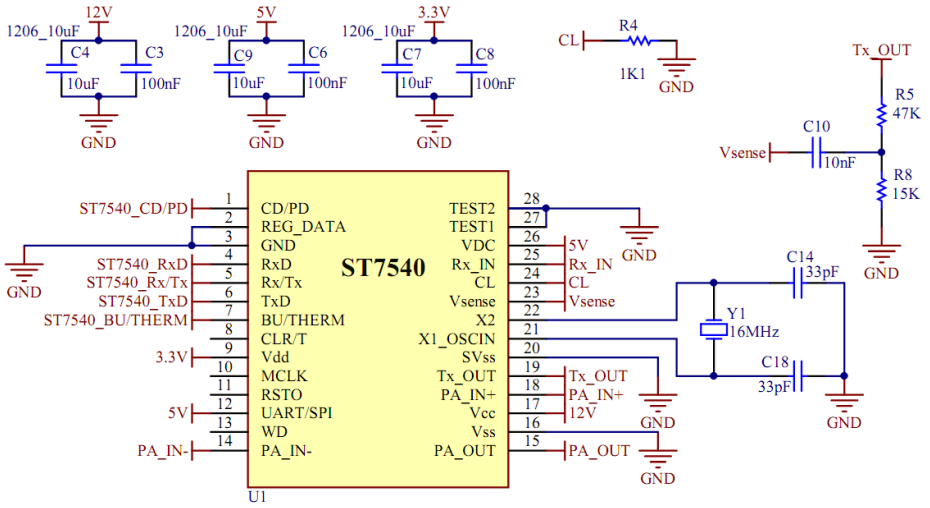
ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้านั้น จะถูกส่งเข้ามาในส่วนประมวลผลนี้เพื่อปรับเทียบค่าที่ได้จากส่วนวัดพลังงาน (STPM01 Chip) เพื่อให้ค่าที่วัดมาได้นั้นมีความใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุดและส่งข้อมูลเหล่านั้นไปยังส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าเพื่อส่งออกผ่านสายไฟฟ้าไปยังตัวกลางการจัดการข้อมูลต่อไป ในกรณีที่มีข้อมูลคำสั่งเพื่อที่จะทำการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าจากผู้ใช้งานนั้น ข้อมูลคำสั่งก็จะถูกส่งมาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนนี้เพื่อทำการประมวลผล จากนั้นก็จะสั่งงานให้วงจรรีเลย์เปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าตามคำสั่งของผู้ใช้งานต่อไป และเมื่อสั่งงานวงจรรีเลย์เรียบร้อยแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะส่งเฟรมข้อมูลตอบรับคำสั่งการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าไปยังตัวกลางการจัดการอีกครั้งเพื่อยืนยันสถานะของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้านั่นเอง

จากรูปที่ 3-5 เป็นวงจรที่ต่อใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32L151CB ซึ่งจะเห็นได้ว่า วงจรนี้จะเป็นส่วนกลางที่เชื่อมต่อกับทุกๆส่วนในปลั๊กไฟอัจฉริยะ คือส่วนวัดพลังงาน ส่วนติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าและวงจรขับรีเลย์ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่จัดการกับปุ่มคอนฟิกของชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะอีกด้วย

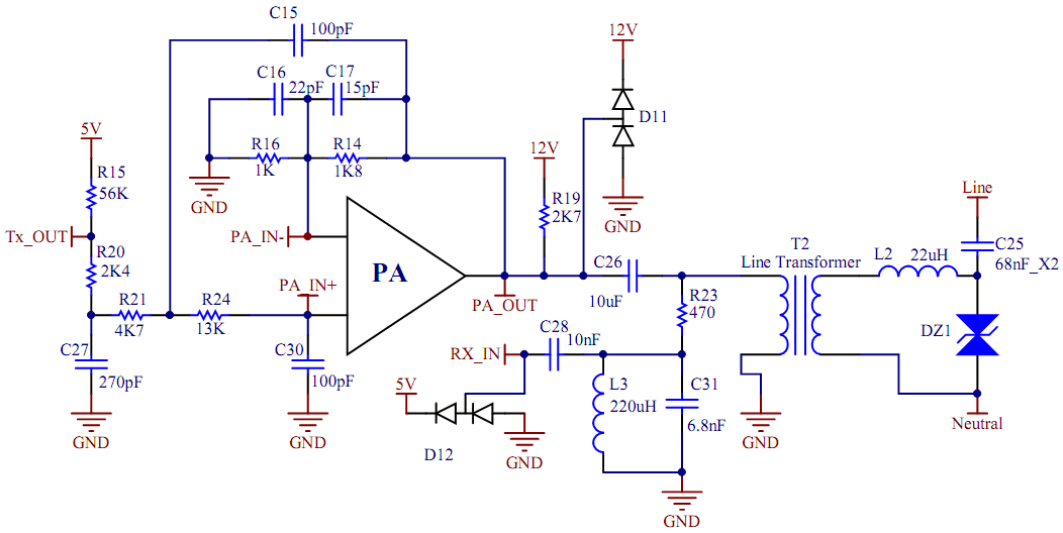
3.1.3. **ส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Powerline Communication Part)**

ในส่วนของการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลและคำสั่งทุกๆอย่างในระบบระหว่างผู้ใช้งานหรือเจ้าของระบบกับชุดปลั๊กไฟแต่ละตัวในระบบนั่นเอง โดยตัวกลางจะคอยรับข้อมูลจากชุดปลั๊กไฟแต่ละตัวในระบบที่ส่งค่าข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าออกมา และจะส่งข้อมูลต่างๆ เหล่านั้นต่อไปยังหน้าจออินเตอร์เฟส เพื่อแสดงผลข้อมูลต่างๆ ให้กับผู้ใช้งานหรือเจ้าของระบบได้รับทราบ และในทางเดียวกันตัวกลางก็จะคอยรับคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาจากการสั่งงานของผู้ใช้งานหรือเจ้าของระบบอีกด้วย

อุปกรณ์หลักที่เป็นตัวผสมสัญญาณแล้วส่งออกผ่านสายไฟฟ้านั้น จะเป็นชิปไอซี ST7540 จากรูปที่ 3-6 และรูปที่ 3-7 จะเป็นวงจรหลักที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า โดยวงจรส่วนใหญ่นั้นจะเป็นวงจรกรองความถี่ เนื่องจากการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้านั้น จะมีสัญญาณรบกวนต่างๆ มากมายที่ปะปนมากับสัญญาณไฟฟ้า 220 VAC ถึงแม้ว่าจะผ่านหม้อแปลงคัปปลิ้งสัญญาณ (T2) แล้วก็ตาม สัญญาณรบกวนในระบบนั้นจะมีผลกระทบอย่างมากกับการติดต่อสื่อสาร เนื่องจากจะทำให้ข้อมูลที่แพร่กระจายอยู่ตามสายไฟฟ้านั้นเกิดการผิดเพี้ยนหรือสูญหายของข้อมูลได้ ข้อมูลที่ปลายทางจะได้รับก็ไม่ถูกต้องนั่นเอง ดังนั้นการกำจัดสัญญาณรบกวนจึงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างสำคัญมากสำหรับการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า



รูปที่ 3-6 วงจรการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Powerline Communication Circuit)



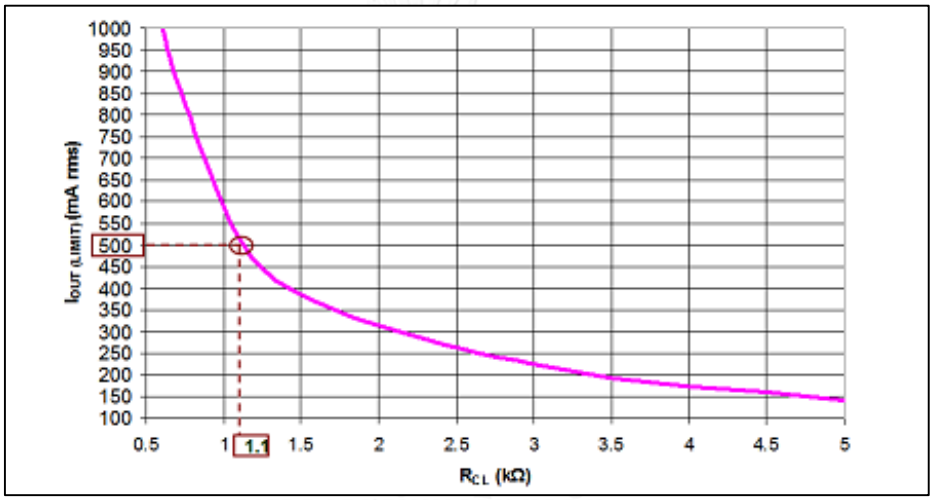
รูปที่ 3-7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในส่วนภาครับและส่งของส่วนติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า

จากรูปที่ 3-9 จะเป็นวงจรกรองความถี่ข้อมูลผ่านทั้งในส่วนที่เป็นภาครับและภาคส่งสัญญาณ ในเรื่องรูปแบบของวงจรกรองความถี่นั้นก็จะมีทั้ง 2 รูปแบบ ก็คือ พาสซีฟ (Passive) และแอคทีฟ (Active) ซึ่งแบบแอคทีฟนั้นจะดีกว่าแบบพาสซีฟตรงที่สามารถปรับเกนการขยายสัญญาณได้ ทางฝั่งภาคส่งสัญญาณนั้น จะมีวงจรกรองความถี่ทั้ง 2 รูปแบบ เนื่องจากในการส่งสัญญาณออกไปตามสายไฟฟ้าในระบบนั้น ความแรงของสัญญาณจะต้องมีมากพอที่จะขับสัญญาณออกไปยังสายไฟฟ้าในระบบซึ่งมีความยาวค่อนข้างมาก รวมทั้งสัญญาณรบกวนต่างๆ อีกมากมาย โดยกระแสสูงสุดที่ใช้ในการขับสัญญาณข้อมูลออกไปยังสายไฟฟ้าในระบบของชิปไอซี ST7540 นั้น จะอยู่ที่ 600 mA วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในส่วนภาคส่ง (Tx Passive Filter) และภาครับ (Rx Passive) นั้น

ความถี่คัทออฟ จะอยู่ที่ประมาณ 132.5 kHz ซึ่งเป็นความถี่พาห์ที่ใช้ในการส่งสัญญาณผ่านสายไฟฟ้า คำนวณได้จากสมการที่ $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (3-1)

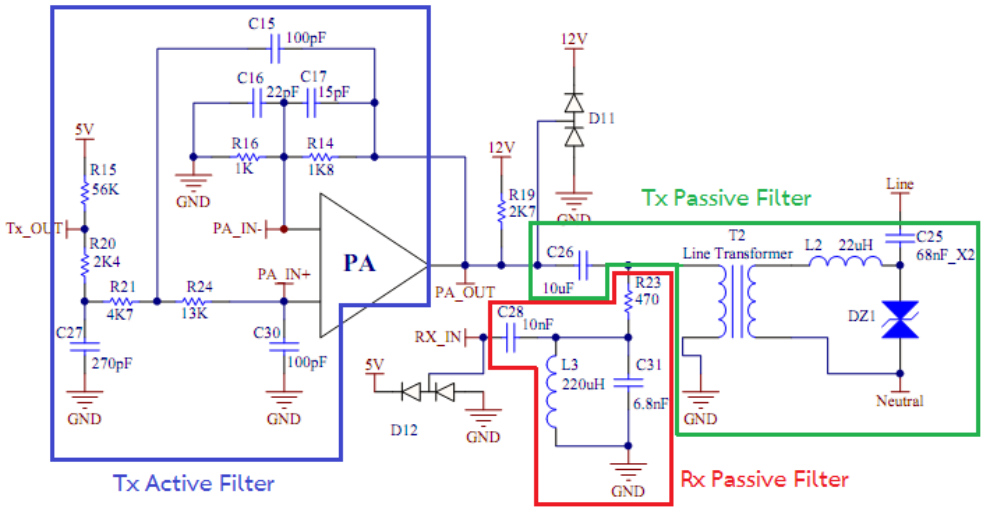
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3\text{-}1)$$

จากสมการที่ $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (3-1) จะเห็นว่าวงจรสื่อสารผ่านสายไฟฟ้านี้ใช้คลื่นพาห์ในการผสมสัญญาณก่อนที่จะส่งออกไปตามสายไฟฟ้าที่ความถี่ 132.5 kHz โดยสัญญาณลอจิก “1” ความถี่จะอยู่ประมาณ 131.826 KHz และ “0” จะอยู่ที่ประมาณ 133.138 kHz และมีความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 2400 bps



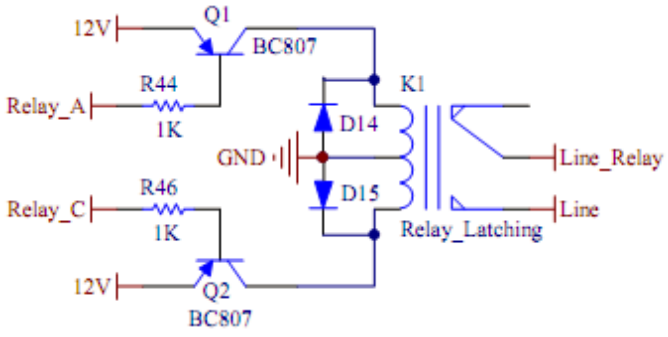
รูปที่ 3-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสเอาต์พุตกับตัวความต้านทาน (R_{CL})

ส่วนในเรื่องของกระแสสูงสุดที่ใช้ในการขับสัญญาณออกนั้น จะอยู่ที่ 500 mA โดยค่ากระแสนี้มีความสอดคล้องกับตัวต้านทาน (R_{CL}) ตามรูปที่ 3-8 และในวงจรนี้ได้เลือกใช้ตัวความต้านทาน R_{CL} (Current Limit Resistor) เท่ากับ 1.1 KΩ



รูปที่ 3-9 วงจรกรองความถี่สัญญาณทั้งภาคส่งสัญญาณและภาครับสัญญาณ

ในการสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นจะถูกควบคุมและจัดการโดยวงจรรีเลย์ ดังรูปที่ 3-10 เมื่อชุดปลั๊กไฟได้รับคำสั่งจากผู้ใช้งาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเป็นตัวที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรรีเลย์นี้ ก็จะสั่งงานให้รีเลย์นั้นเปิดปิดตามคำสั่งนั่นเอง โดยรีเลย์ที่ใช้ในวงจรนี้นั้น จะเป็นรีเลย์ที่ค้างสถานะได้ หรือที่เรียกว่า แลทช์ชิ่งรีเลย์ (Latching Relay) ซึ่งเหตุผลที่เลือกใช้รีเลย์ชนิดนี้ก็เพราะว่า ในการสั่งงานแลทช์ชิ่งรีเลย์นี้ จะใช้พลังงานที่น้อยกว่ารีเลย์ทั่วไปมาก เนื่องจากแลทช์ชิ่งรีเลย์ จะกินไฟแค่ช่วงที่มีการสั่งงานรีเลย์เท่านั้น จากนั้นก็จะค้างสถานะอยู่อย่างนั้นไปจนกว่าจะมีการสั่งงานอีกครั้ง ซึ่งต่างจากรีเลย์ทั่วไป รีเลย์ทั่วไปนั้นจะกินไฟตลอดเวลาที่มีการสั่งงานเปิดรีเลย์ ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากในกรณีที่มีการสั่งงานเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้านั่นเอง โดยแลทช์ชิ่งรีเลย์ที่เลือกใช้มีอัตราการทนกระแสใช้งานสูดสุดอยู่ที่ 8 A

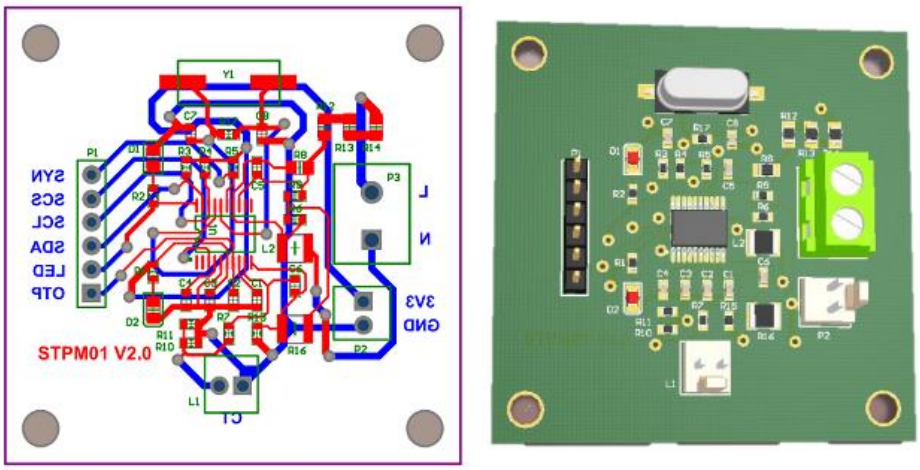


รูปที่ 3-10 วงจรขับรีเลย์ (Relay Drive Circuit)

3.1.4. **แผ่นวงจรต้นแบบชุดปลั๊กไฟ (Smart Plug Prototype)**

หลังจากที่ได้ทดลองศึกษาวงจรในส่วนการวัดพลังงานของชิปไอซี STPM01 เรียบร้อยแล้วนั้น ก็ได้ลองออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) สำหรับวงจรส่วนวัดพลังงานนี้ขึ้นมาเพื่อทดสอบการวัดพลังงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยในการทดสอบนั้นก็จำเป็นจะต้องนำแผ่นวงจรที่ได้ทำขึ้นมานี้ไปเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเขียนโปรแกรม นำค่าข้อมูลต่างๆ ที่วัดได้นั้นมาแสดงผล และตรวจสอบว่าวงจรที่ได้ศึกษามานั้น สามารถใช้งานจริงได้หรือไม่ ซึ่งรูปร่างลักษณะของแผ่นวงจรพิมพ์ในส่วนวัดพลังงานนั้นเป็นดังรูปที่ 3-11

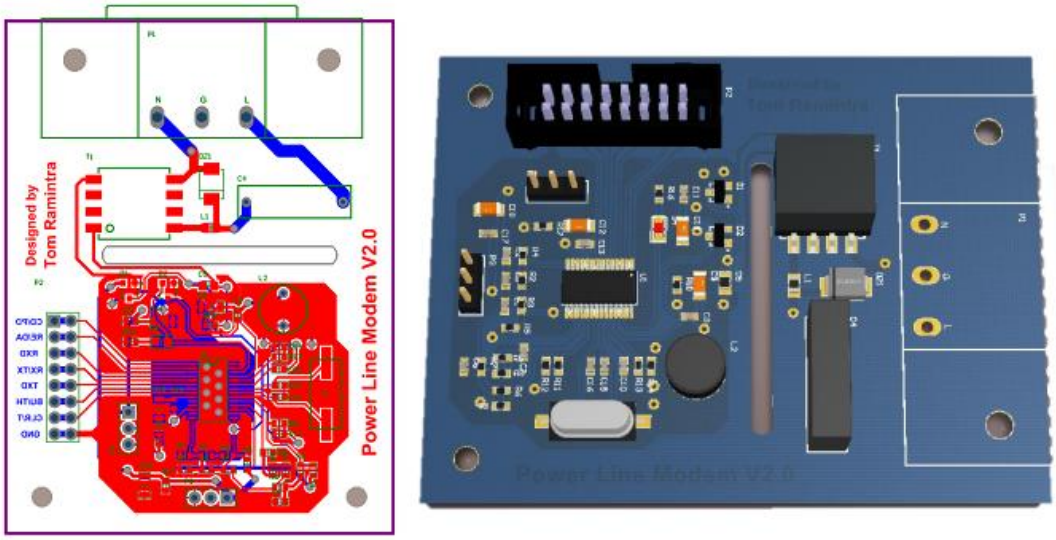
จากการทดสอบเบื้องต้นโดยเขียนโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ลองรับค่าข้อมูลจากแผ่นวงจรพิมพ์ส่วนวัดพลังงานนั้น ค่าข้อมูลที่วัดมาได้ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความถี่ และพลังงานการใช้ไฟฟ้า เมื่อนำมาเทียบค่าจริงที่ทำการวัดมาจากมิเตอร์วัดไฟฟ้าที่ได้มาตรฐาน พบว่ามีความใกล้เคียงกับค่าจริง แต่ยังไม่ถึงกับถูกต้องมากนัก ทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนแก้ไขข้อมูลที่อ่านมาได้ โดยต้องนำไปทำการปรับเทียบกับเครื่องปรับเทียบ (Calibrator Source) อีกครั้งเพื่อความแม่นยำ



รูปที่ 3-11 แผ่นวงจรต้นแบบส่วนวัดพลังงาน

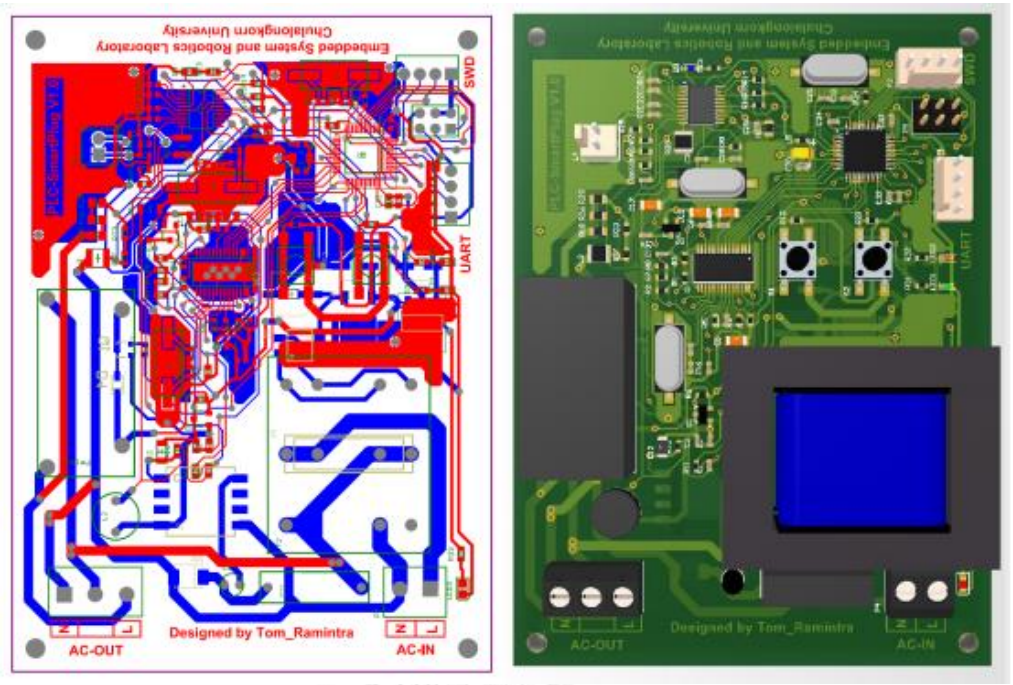
ในส่วนของการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า หลังจากที่ได้ศึกษาเรื่องวงจรมาแล้ว ก็ได้สร้างแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับทดสอบออกมาอีกเช่นกัน ลักษณะของแผ่นวงจรพิมพ์ที่ได้ออกแบบและสร้างมานั้นก็เป็นไปดังรูปที่ 3-12 แต่ในส่วนนี้ได้ออกแบบและสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ออกมา 2 บอร์ด เพื่อทดลองติดต่อสื่อสารกันระหว่างบอร์ด ผลปรากฏว่า สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบนั้นก็คือ ภายในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบสมองกลฝังตัวและหุ่นยนต์ ภาควิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการทดสอบนั้นได้ลองนำแผ่นวงจรพิมพ์ไปเสียบกับเต้ารับจุดต่างๆ ภายในห้องปฏิบัติการวิจัย ส่วนใหญ่ก็สามารถรับส่งข้อมูลกันได้ในหลายๆจุด ความถูกต้องของข้อมูลที่รับส่งกันนั้นก็อยู่ที่ 80% แต่ก็มีบางจุดที่ประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลค่อนข้างที่จะต่ำมาก คือแทบจะไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้เลย ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะว่าบางจุดของเต้ารับนั้นมีการต่อใช้งานของเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นจำนวนมากรวมไปถึงใกล้เคียงกับเครื่องปรับอากาศ ซึ่งทั้งแหล่งจ่ายไฟสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายและเครื่องปรับอากาศนั้น จะสร้างสัญญาณรบกวนออกมาตามสายไฟฟ้าในระบบมากมาย ก็เลยอาจจะเป็นผลทำให้การติดต่อสื่อสารระหว่างบอร์ด 2 บอร์ดนั้นมีปัญหาขึ้นมาได้นั่นเอง



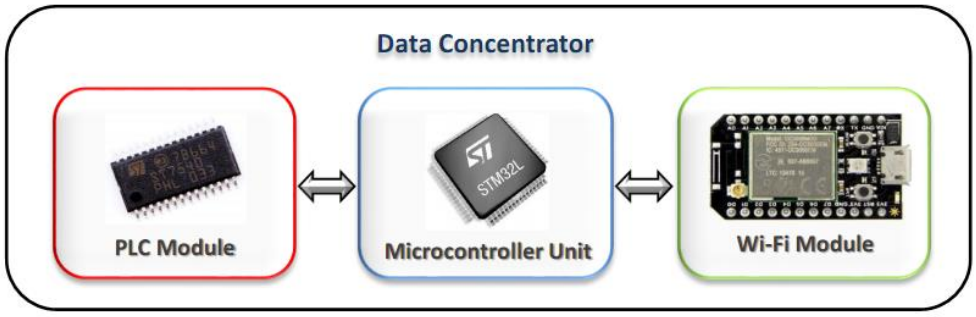
รูปที่ 3-12 แผ่นวงจรต้นแบบส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า

หลังจากที่ได้ทำการทดสอบทั้ง 2 ส่วนซึ่งก็คือ ส่วนวัดพลังงานและส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าไปเรียบร้อยแล้ว ก็ได้ก็ทำการออกแบบและสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ของชุดปลั๊กไฟขึ้นมา เป็นไปดังรูปที่ 3-13 โดยในแผ่นวงจรพิมพ์ของชุดปลั๊กไฟนี้ก็จะรวมเอาทุกๆ ส่วนเข้าไว้บนแผ่นเดียวกัน ทั้งส่วนวัดพลังงาน ส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า ส่วนการจัดการและประมวลผล รวมไปถึงส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยเช่นกัน เมื่อได้ออกแบบและสร้างออกมาเรียบร้อยแล้วนั้น ก็ได้นำทดสอบการทำงานอีกครั้ง



รูปที่ 3-13 แผ่นวงจรต้นแบบชุดปลั๊กไฟ

3.2. การออกแบบตัวกลางการจัดการข้อมูล (Data Concentrator Hardware Design)



รูปที่ 3-14 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของตัวกลางการจัดการข้อมูล

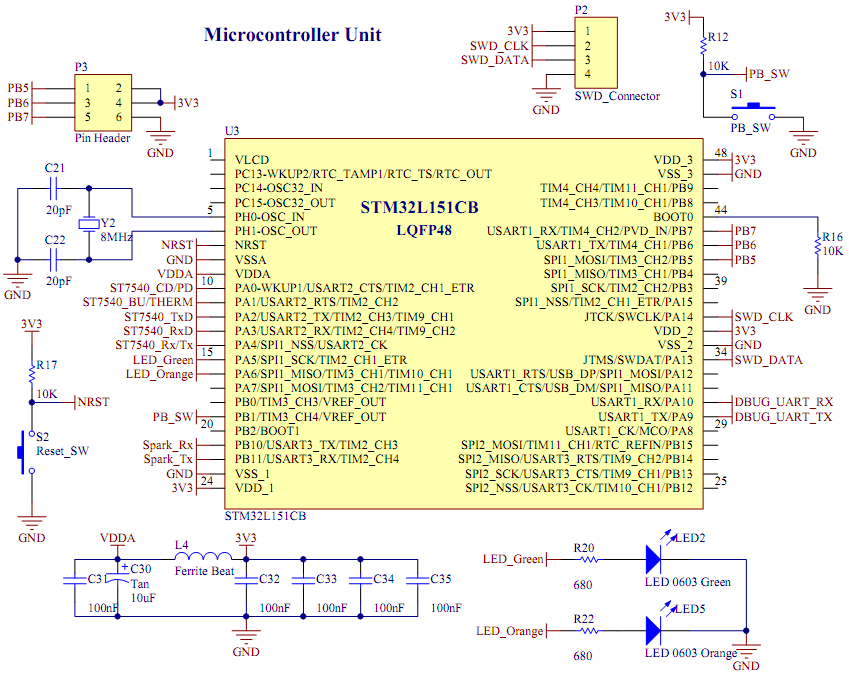
จากรูปที่ 3-14 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของตัวกลางการจัดการข้อมูล จะเห็นได้ว่าภายในตัวกลางการจัดการข้อมูลนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วนการทำงานหลักๆ เช่นกัน คือ ส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (PLC Module) ส่วนการจัดการและประมวลผล (Microcontroller Unit) และส่วนติดต่อสื่อสารข้อมูลไร้สาย (Wi-Fi Module) จะขออธิบายเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

3.2.1. ส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Powerline Communication Part)

ในส่วนนี้ก็จะมีหน้าที่การทำงานคล้ายกับของชุดปลั๊กไฟ คือคอยรับส่งข้อมูลต่างๆ ผ่านสายไฟฟ้านั่นเอง โดยสำหรับตัวกลางการจัดการข้อมูลนี้ ส่วนการติดสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าจะคอยรับข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของชุดปลั๊กไฟในแต่ละตัวในระบบเพื่อที่จะรอส่งไปแสดงผลให้กับผู้ใช้งาน และในทางเดียวกันก็จะคอยส่งข้อมูลคำสั่งที่ใช้ในการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาจากผู้ใช้งานไปยังชุดปลั๊กไฟในระบบอีกเช่นกัน ซึ่งรายละเอียดของอุปกรณ์และวงจรการทำงานนั้นก็จะเป็นชุดเดียวกับวงจรที่ใช้ในชุดปลั๊กไฟนั่นเอง

3.2.2. ส่วนการจัดการและประมวลผล (Microcontroller Unit)

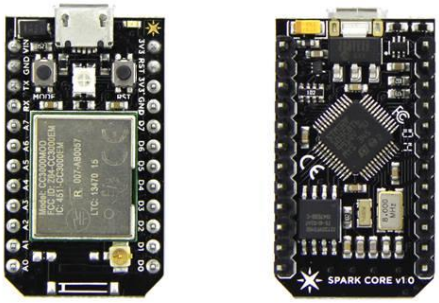
ในส่วนการจัดการและประมวลผลนี้ จะทำหน้าที่หลักๆ คือ ส่งต่อข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่ถูกส่งมาจากชุดปลั๊กไฟแต่ละตัวไปแสดงผลให้กับผู้ใช้งาน และคอยรับคำสั่งที่ใช้ในการเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าส่งต่อไปยังชุดปลั๊กไฟที่อยู่ในระบบ ในการส่งต่อข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้านั้น เมื่อตัวกลางได้รับข้อมูลจากชุดปลั๊กไฟมาแล้ว ก่อนที่จะส่งต่อไปแสดงผลให้กับผู้ใช้งาน ตัวกลางก็จะทำการคัดแยกข้อมูลก่อนว่า ข้อมูลชุดนั้นเป็นข้อมูลที่มาจากชุดปลั๊กไฟตัวใดในระบบ เมื่อทำการคัดแยกเรียบร้อยแล้ว จึงจะทำการส่งต่อไปแสดงผลให้กับผู้ใช้งาน ส่วนคำสั่งในการเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้านั้น เมื่อตัวกลางได้รับคำสั่งจากผู้ใช้งานแล้ว ก็ทำการคัดแยกคำสั่งก่อนเช่นเดียวกับข้อมูล จากนั้นจึงจะส่งต่อคำสั่งไปยังชุดปลั๊กไฟในระบบ



รูปที่ 3-15 วงจรต่อใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ของตัวกลางการจัดการข้อมูล

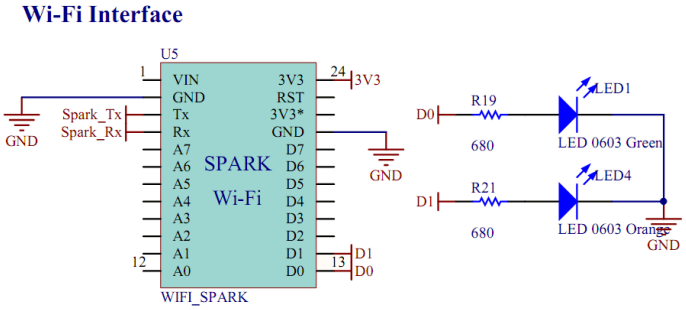
จากรูปที่ 3-15 จะเป็นวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต่อใช้งานของตัวกลางการจัดการข้อมูล จะเห็นว่าวงจรนี้มีความคล้ายกับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในชุดปลั๊กไฟนั่นเอง แต่สำหรับของตัวกลางการจัดการข้อมูลนี้ จะไม่มีการติดต่อสื่อสารกับส่วนวัดพลังงาน แต่จะมีส่วนที่รองรับการติดต่อสื่อสารกับส่วนติดต่อสื่อสารข้อมูลไร้สายเพิ่มเข้ามานั่นเอง

3.2.3. ส่วนติดต่อสื่อสารข้อมูลไร้สาย (Wireless Communication Part)



รูปที่ 3-16 โมดูลติดต่อสื่อสารไร้สาย (Wi-Fi Module)

ส่วนการติดต่อสื่อสารข้อมูลไร้สาย จะเป็นส่วนที่คอยจัดการส่งผ่านข้อมูลและคำสั่งทุกๆอย่างระหว่างผู้ใช้งานและชุดปลั๊กไฟผ่านระบบไร้สาย (Wi-Fi) โดยในส่วนนี้ได้ออกแบบมาเพื่อรองรับการปรับเปลี่ยนหรือพัฒนาต่อยอดในอนาคต จากรูปที่ 3-16 จะเป็นโมดูลการติดต่อสื่อสารข้อมูลไร้สาย ในกรณีของข้อมูล เมื่อส่วนการจัดการและประมวลผลได้จัดการแยกแยะข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ก็จะส่งต่อข้อมูลเหล่านั้นมายังส่วนติดต่อสื่อสารข้อมูลไร้สายเพื่อส่งต่อข้อมูลเหล่านี้ไปแสดงผลให้กับผู้ใช้งานหรือเจ้าของระบบต่อไป ในกรณีของคำสั่งก็เช่นเดียวกัน เมื่อผู้ใช้งานทำการสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางหน้าเว็บหรือหน้าจออินเตอร์เฟสเรียบร้อยแล้ว ส่วนติดต่อสื่อสารข้อมูลไร้สายนี้ก็จะรับคำสั่งนั้นมาและส่งต่อไปให้ส่วนการจัดการและประมวลผลเพื่อทำการคัดแยกคำสั่งต่อไป

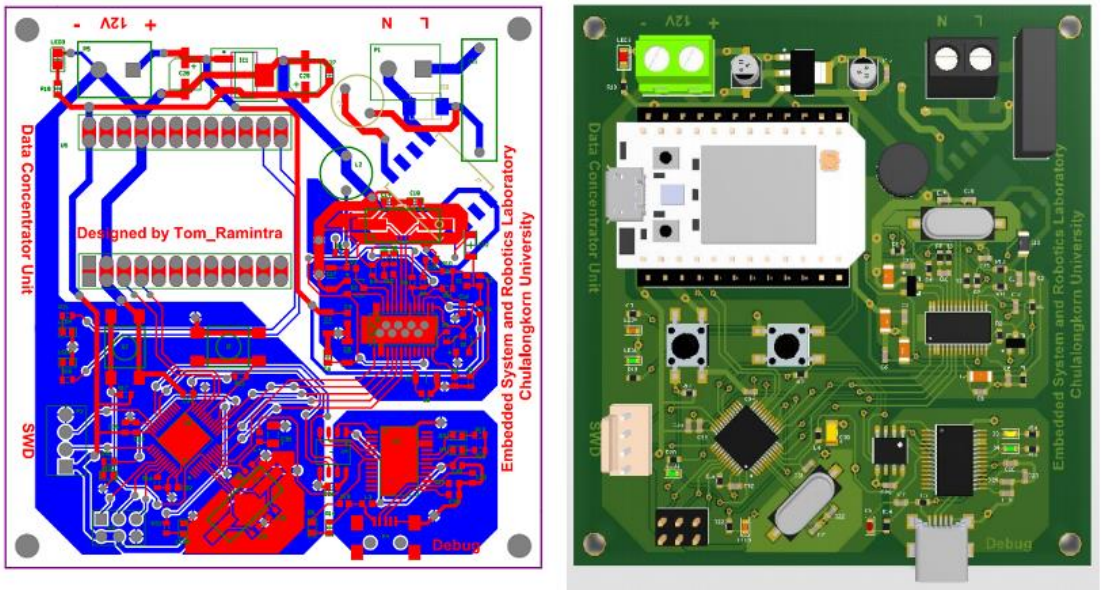


รูปที่ 3-17 วงจรสำหรับรองรับการติดต่อสื่อสารข้อมูลไร้สาย

วงจรที่รองรับการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย จะเป็นไปตามรูปที่ 3-17 โดยวงจรส่วนนี้จะเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในส่วนการจัดการและประมวลผลผ่านทางการติดต่อสื่อสารอนุกรม (Serial Interface) และได้มีการต่อหลอดไฟ LED ไว้ 2 ดวง เพื่อเอาไว้ในกรณีที่ต้องการแสดงผลสถานะบางอย่าง ซึ่งในส่วนนี้ได้ทำเป็นคอนเนกเตอร์รองรับการต่อใช้งานกับโมดูลติดต่อสื่อสารไร้สายเอาไว้

3.2.4. **แผ่นวงจรต้นแบบตัวกลางการจัดการข้อมูล (Data Concentrator Prototype)**

จะเห็นได้ว่าในตัวกลางการจัดการข้อมูลนั้นก็จะมีส่วนที่เหมือนกับชุดปลั๊กไฟ นั่นก็คือ ส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าและส่วนการจัดการและประมวลผล ดังนั้นในตัวกลางการจัดการข้อมูลจึงได้นำวงจรทั้ง 2 ส่วนนี้ซึ่งเหมือนกับวงจรที่ใช้ในชุดปลั๊กไฟมาประยุกต์ใช้ได้เลย

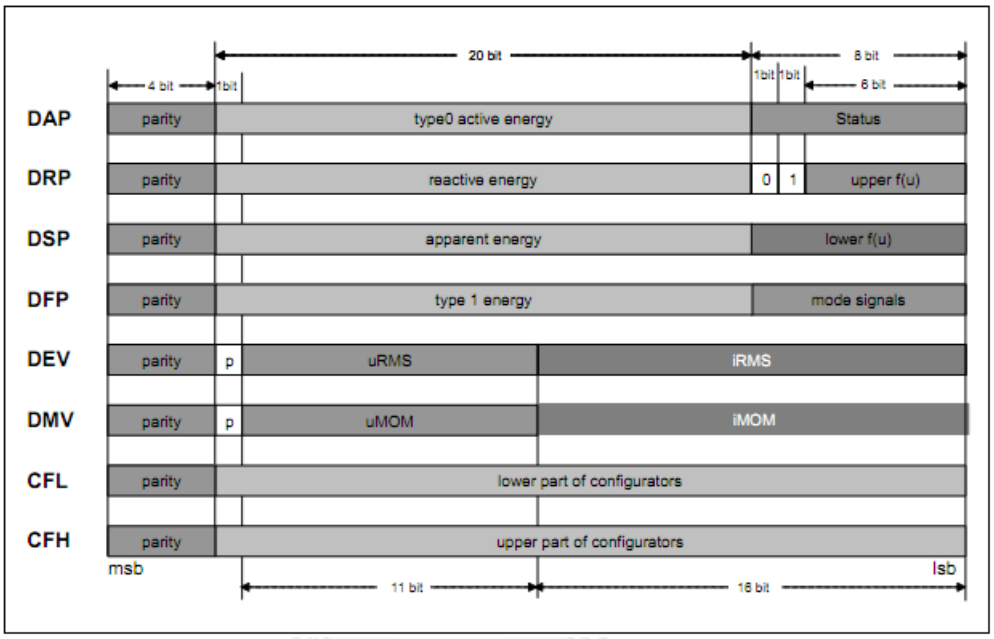


รูปที่ 3-18 แผ่นวงจรต้นแบบตัวกลางการจัดการข้อมูล

จากรูปที่ 3-18 เป็นแผ่นวงจรต้นแบบของตัวกลางการจัดการข้อมูลที่ได้รวมเอาทั้ง 3 ส่วนหลักๆ เข้าไว้ด้วยกัน นอกจากนี้ในแผ่นวงจรต้นแบบชุดนี้ยังมีวงจรติดต่อสื่อสารอนุกรมเอาไว้สำหรับติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อเอาไว้รับค่าข้อมูลมาแสดงผลบนหน้าจออินเตอร์เฟสในกรณีที่ต้องการทดสอบการทำงานของชุดปลั๊กไฟแบบไม่ต้องต่ออินเตอร์เน็ต จะเห็นได้ว่าในแผ่นวงจรต้นแบบนี้ไม่ได้มีแหล่งจ่ายไฟสำหรับเลี้ยงวงจรในส่วนต่างๆ เหมือนกับชุดปลั๊กไฟ ดังนั้นในการใช้งาน จำเป็นจะต้องมีแหล่งจ่ายไฟ 12V จากภายนอกมาใช้สำหรับจ่ายไฟให้กับทุกๆ ส่วนในแผ่นวงจรต้นแบบตัวกลางการจัดการข้อมูล

3.3. การปรับเทียบค่าของส่วนวัดพลังงาน (STPM01 Calibration)

การใช้งานของส่วนวัดพลังงานนั้น หลังจากที่ได้ออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์เรียบร้อยแล้ว ก่อนที่จะนำไปใช้วัดพลังงานกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าจริงๆนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการปรับเทียบค่าข้อมูลกับเครื่องปรับเทียบก่อน เพราะว่าค่าข้อมูลที่อ่านมาได้จากแผ่นวงจรพิมพ์นั้น ยังไม่มีความถูกต้องหรือแม่นยำมากพอที่จะไปใช้วัดจริงได้



รูปที่ 3-19 โครงสร้างข้อมูลที่อ่านได้มาจากชิป STPM01

ในการปรับเทียบค่าข้อมูลของข้อมูลที่ได้จากส่วนวัดพลังงาน (STPM01) นั้นสามารถทำได้โดย เมื่อสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ของชุดปลั๊กไฟเรียบร้อยแล้ว นำแผ่นวงจรไปต่อเข้ากับเพาเวอร์มิเตอร์และเครื่องปรับเทียบ ซึ่งเพาเวอร์มิเตอร์และเครื่องปรับเทียบนั้นมีลักษณะตามรูปที่ 3-21 โดยเครื่องปรับเทียบนั้นจะเป็นตัวจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดที่นำมาทดสอบ ในที่นี้ก็คือแผ่นวงจรชุดปลั๊กไฟ ส่วนเพาเวอร์มิเตอร์มีหน้าที่ในการวัดค่าต่างๆ เช่น แรงดัน กระแส ความถี่ และกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ เมื่อเราต่อแผ่นวงจรเข้ากับเครื่องปรับเทียบและเพาเวอร์มิเตอร์เรียบร้อยแล้ว จะเริ่มทดสอบการอ่านค่าข้อมูลของส่วนวัดพลังงาน ซึ่งค่าข้อมูลทั้งหมดที่อ่านมาได้จากส่วนวัดพลังงานนั้นมีความยาวประมาณ 32 ไบต์ โดยโครงสร้างข้อมูลจะเป็นดังรูปที่ 3-19 ภายในข้อมูลที่อ่านมาได้ จะประกอบไปด้วยค่าต่างๆ เช่น Active Energy, Reactive Energy, Apparent Energy, Frequency, Voltage RMS, Current RMS, Configuration bits และอื่นๆ

รูปที่ 3-20 การปรับเทียบค่าข้อมูลของส่วนวัดพลังงาน STPM01

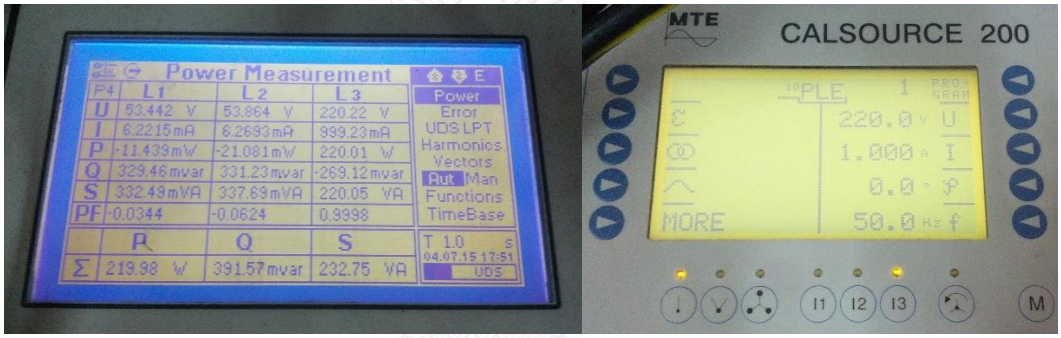
เมื่ออ่านค่าข้อมูลมาได้ เราจะพิจารณาค่าของแรงดันและกระแสที่อ่านมาได้ว่ามีความใกล้เคียงค่าจริงกับที่จ่ายมาจากเครื่องปรับเทียบมากน้อยขนาดไหน จากนั้นจะนำค่าแรงดันและกระแสที่อ่านมาได้นั้น ไปคำนวณเพื่อหาค่าที่จะนำไปโปรแกรมในส่วน Configuration bits ภายในชิป STPM01 อีกครั้ง เพื่อให้ค่าที่อ่านมาได้มีความใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น

จากรูปที่ 3-20 จะเป็นการต่อชุดปลั๊กไฟเข้ากับเครื่องปรับเทียบและเพาเวอร์มิเตอร์ เพื่อทำการปรับเทียบค่าจากส่วนวัดพลังงาน โดยจะทำการอ่านค่าข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ก

รูปที่ 3-21 เพาเวอร์มิเตอร์และเครื่องปรับเทียบ (Power Meter & Calibrator Source)

จากรูปที่ 3-21 เป็นการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องปรับเทียบ (ขวา) เข้ากับเพาเวอร์มิเตอร์ (ซ้าย) ก่อนที่จะนำแรงดันและกระแสไปใช้ทดลองหรือทดสอบปรับเทียบค่าต่างๆนั้น สายไฟที่จ่ายแรงดันและกระแสจากเครื่องปรับเทียบนั้น จะต้องมาต่อเข้ากับเพาเวอร์มิเตอร์เพื่อทำการวัดค่าต่างๆอีกครั้ง

เครื่องปรับเทียบนั้นสามารถตั้งค่าต่างๆได้ เช่น แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, ความถี่สัญญาณไฟฟ้า และค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ อีกทั้งยังสามารถเลือกจ่ายเฟสของสัญญาณไฟฟ้าได้อีกด้วย ส่วนเพาเวอร์มิเตอร์นั้นก็มีความสามารถในการวัดค่าต่างๆ เช่น ค่าแรงดัน, ค่ากระแส, คำกำลังไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ และค่าอื่นๆ ตามที่เห็นในรูปที่ 3-22 ซึ่งเป็นหน้าจอของเพาเวอร์มิเตอร์ (ซ้าย) และหน้าจอของเครื่องปรับเทียบ (ขวา)



รูปที่ 3-22 แสดงค่าที่วัดได้จากเพาเวอร์มิเตอร์โดยจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าจากเครื่องปรับเทียบ

จากรูปที่ 3-22 เป็นตัวอย่างค่ากระแสและแรงดันที่จ่ายจากเครื่องปรับเทียบและทำการวัดค่าต่างๆจากเพาเวอร์มิเตอร์ จะเห็นว่าค่าที่จ่ายนั้น ได้ทดลองที่แรงดัน 220 โวลต์ และกระแส 1 แอมป์ ซึ่งค่าที่อ่านได้จากเพาเวอร์มิเตอร์ก็มีความใกล้เคียงสูงมากเมื่อเทียบกับเครื่องปรับเทียบ ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้านี้จะถูกจ่ายไปยังชุดปลั๊กไฟที่ทำการปรับเทียบอยู่นั่นเอง ค่ากระแสที่ใช้ทดสอบนี้ สามารถปรับเปลี่ยนเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ไม่จำเป็นว่าจะต้องเป็นที่ 1 แอมป์ สำหรับค่าที่นำมาใช้ทดสอบชุดปลั๊กไฟนี้จะอยู่ที่ประมาณ 1-10 แอมป์

3.4. การคำนวณพลังงานสิ้นเปลือง (Power Consumption Calculation)

อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดย่อมมีการใช้พลังงานในการทำงานตัวมันเอง ในชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะนี้ก็เช่นกัน ในที่นี้ก็ได้คำนวณค่าพลังงานสิ้นเปลืองของตัวอุปกรณ์ชุดปลั๊กไฟและตัวกลางการจัดการข้อมูลมาแสดงไว้ด้วยเช่นกัน โดยหลักในการคำนวณนี้ จะพิจารณาที่ตัวอุปกรณ์หลักๆและการใช้งานสูงสุดของตัวอุปกรณ์เอง

3.4.1. **พลังงานสิ้นเปลืองของชุดปลั๊กไฟ (Power consumption of smart plug)**

ตัวอุปกรณ์หลักๆในชุดปลั๊กไฟนี้ก็จะมี ไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32L151CB) 1 μW, ชิปไอซีส่วนติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (ST7540) 6 W, ชิปไอซีส่วนวัดพลังงาน (STPM01) 0.16 W, และชุดควบคุมเปิดการทำงานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า (Relay) 0.78 W ซึ่งพิจารณาโดยรวมแล้ว ชุดปลั๊กไฟจะใช้พลังงานสิ้นเปลืองทั้งหมดประมาณ **6.94 W** โดยค่าพลังงานสิ้นเปลืองนี้จะเป็นค่าสูงสุด คือ ขณะที่ชุดปลั๊กไฟกำลังส่งข้อมูลและกำลังสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่นั่นเอง ซึ่งก็แค่เป็นช่วงเวลาหนึ่งในการทำงานของชุดปลั๊กไฟเท่านั้น

3.4.2. **พลังงานสิ้นเปลืองของตัวกลางการจัดการข้อมูล (Power consumption of a data concentrator)**

อุปกรณ์หลักๆภายในตัวกลางการจัดการข้อมูลนั้นก็จะคล้ายกับของชุดปลั๊กไฟ แต่จะแตกต่างกันที่ส่วนวัดพลังงานและชุดควบคุมเปิดปิดการทำงานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยภายในตัวกลางการจัดการข้อมูลนั้น จะไม่มีส่วนวัดพลังงานและชุดควบคุมเปิดปิดการทำงานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้านั่นเอง ดังนั้นอุปกรณ์หลักๆก็จะมีเพียง ไมโครคอนโทรลเลอร์ (STM32L151CB) 1 μW และชิปไอซีส่วนติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (ST7540) 6 W ซึ่งตัวกลางการจัดการข้อมูลจะใช้พลังงานสิ้นเปลืองรวมทั้งหมดประมาณ **6 W** โดยที่ค่าพลังงานสิ้นเปลืองจะพิจารณาขณะที่ตัวกลางการจัดการข้อมูลกำลังทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานกับชุดปลั๊กไฟแต่ละตัวในระบบ ซึ่งเป็นช่วงที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดนั่นเอง

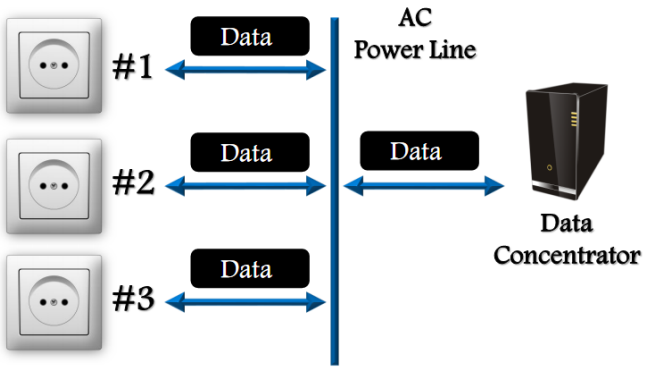
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4

การออกแบบซอฟต์แวร์ระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะ

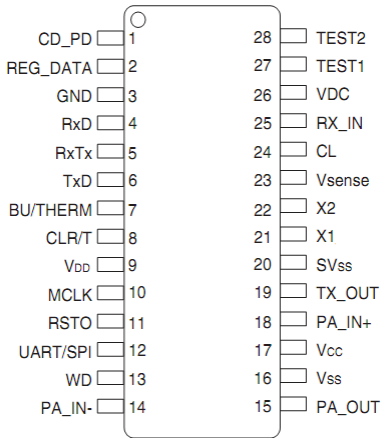
4.1. หลักการติดต่อสื่อสารส่งข้อมูลระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูล

เนื่องจากสื่อกลางที่ใช้ในการส่งข้อมูลหรือคำสั่งต่างๆ ระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูลนั้นเป็นสายไฟฟ้า 220VAC ทำให้ในสายไฟนี้จะมีชุดข้อมูลของชุดปลั๊กไฟและคำสั่งจากผู้ใช้งานระบบวิ่งอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นหากไม่มีการจัดการการใช้สื่อกลาง (Media Access) ที่ดีแล้ว จะทำให้การติดต่อสื่อสารส่งข้อมูลมีปัญหาอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น การชนกันของชุดข้อมูลอันเนื่องมาจากชุดปลั๊กไฟแต่ละตัวในระบบส่งชุดข้อมูลออกมาพร้อมกัน หรืออาจจะเกิดจากชุดปลั๊กไฟส่งชุดข้อมูลพร้อมกับในขณะที่ตัวกลางการจัดการข้อมูลก็จะส่งคำสั่งเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าออกมาพอดี ทำให้ข้อมูลนั้นเกิดการสูญหายได้



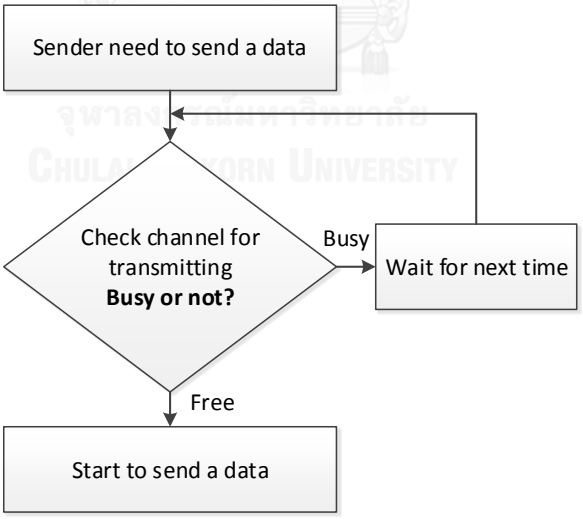
รูปที่ 4-1 การใช้สื่อกลางของชุดปลั๊กไฟและตัวกลางการจัดการข้อมูล

ดังนั้นในการจัดการการใช้สื่อกลางของชุดปลั๊กไฟและตัวกลางจึงได้มีการออกแบบโปรแกรมการทำงานให้มีประสิทธิภาพในการส่งข้อมูล ลดการสูญหายของข้อมูล โดยก่อนที่จะมีการส่งข้อมูลนั้น ไม่ว่าจะเป็นชุดปลั๊กไฟหรือตัวกลางการจัดการข้อมูล จะต้องมีการตรวจสอบสื่อกลางก่อนทุกครั้ง ถ้าสื่อกลางไม่ว่างนั่นหมายความว่ามีการใช้งานของสื่อกลางอยู่หรือมีการส่งข้อมูลอยู่นั่นเอง ผู้ส่งจะต้องรอด้วยค่าเวลาหนึ่ง จากนั้นทำการตรวจสอบสื่อกลางอีกครั้ง ถ้าว่างหรือไม่มีการส่งข้อมูลแล้ว ผู้ส่งก็จะเริ่มการส่งข้อมูลได้ แต่ถ้าสื่อกลางยังไม่ว่าง ผู้ส่งก็จะต้องรอด้วยค่าเวลาหนึ่งอีกครั้งเป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าสื่อกลางจะว่างนั่นเอง หลักการการใช้สื่อกลางนี้จึงได้นำเทคนิคการเข้าถึงสื่อกลางด้วยวิธีหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูล (CSMA/CA) มาดัดแปลงและประยุกต์ใช้นั่นเอง



รูปที่ 4-2 รายละเอียดขาใช้งานของชิปไอซี ST7540

ในชุดปลั๊กไฟและตัวกลาง การตรวจสอบสถานะว่างของสื่อกลางนั้นเป็นหน้าที่ของส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า อย่างที่ได้อธิบายมาแล้วในบทที่ 3 ภายในส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้านั้น จะมีอุปกรณ์ที่สำคัญ ก็คือ ST7540 โดยที่ไอซีตัวนี้สามารถตรวจสอบช่องสัญญาณหรือสื่อกลางได้ว่า มีการใช้งานหรือการส่งข้อมูลอยู่หรือไม่หรือไม่ ซึ่งขาใช้งานที่ทำหน้าที่ในการตรวจสอบสื่อกลางนั้นก็คือ ขา BU/THERM ดังแสดงในรูปที่ 4-2 ในการออกแบบโปรแกรมการส่งข้อมูลจึงได้ขานี้เป็นตัวตรวจสอบการใช้งานของสื่อกลางทุกครั้ง



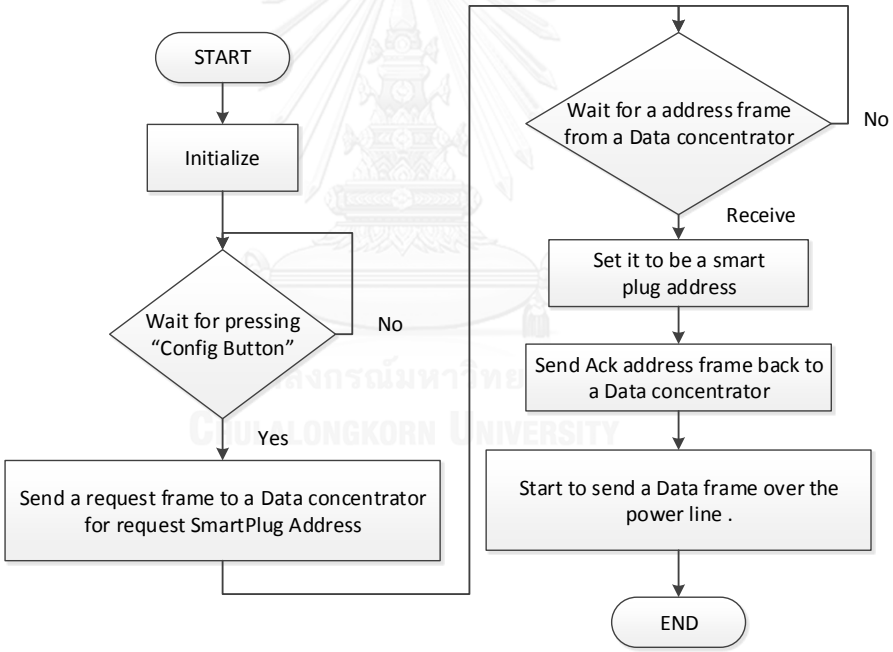
รูปที่ 4-3 แผนภาพการทำงานโปรแกรมของตัวกลางการจัดการข้อมูล

ในกรณีที่จะส่งข้อมูลหรือชุดคำสั่งนั้น ไม่ว่าจะเป็นชุดปลั๊กไฟหรือตัวกลางการจัดการข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4-3 ก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลผู้ส่งจะตรวจสอบสื่อกลางก่อนว่ามีการใช้งานอยู่หรือไม่ ถ้ามีการใช้งานอยู่หรือว่ามีการส่งข้อมูลนั้น ผู้ส่งจะต้องทำการรอด้วยค่าเวลาหนึ่ง เมื่อครบ

เวลาแล้วก็จะต้องไปตรวจสอบสื่อกลางอีกครั้งว่ามีการใช้งานอยู่หรือไม่ ถ้าหากว่าสื่อกลางว่างแล้วซึ่งก็คือไม่มีการส่งข้อมูล ผู้ส่งก็สามารถทำการส่งข้อมูลได้เลย

4.2. การทำงานของชุดปลั๊กไฟ (Smart Plug)

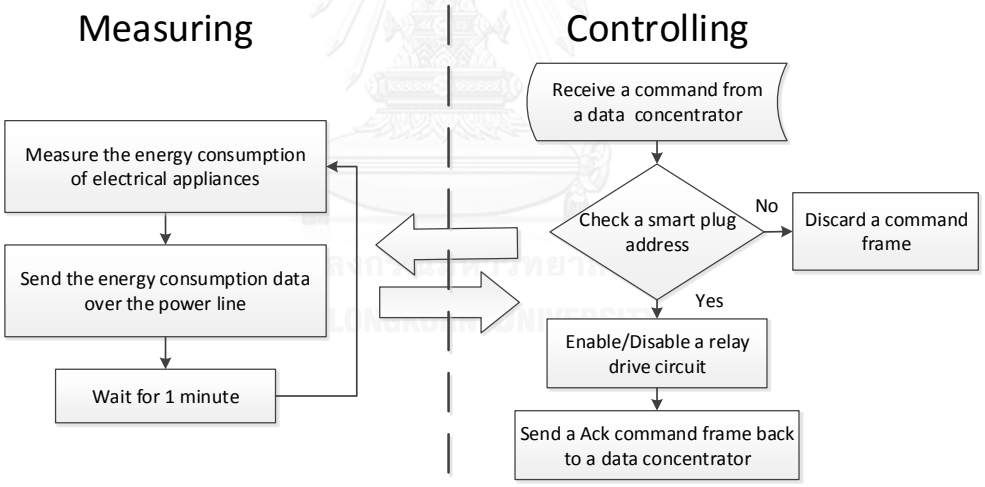
ชุดปลั๊กไฟมีหน้าที่หลักคือ การวัดปริมาณการใช้พลังงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาต่อพ่วงอยู่กับชุดปลั๊กไฟ แล้วส่งค่าข้อมูลเหล่านั้นไปยังตัวกลางการจัดการข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้า รวมไปถึงคำสั่งในการเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งมาจากการสั่งงานของผู้ใช้งานหรือเจ้าของระบบ ดังนั้นในการออกแบบโปรแกรมการทำงานสำหรับชุดปลั๊กไฟ ฟังก์ชั่นการทำงานหลักจึงเป็นการวัดค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อพ่วงอยู่กับชุดปลั๊กไฟ แล้วส่งออกไปตามสายไฟฟ้าไปยังตัวกลางการจัดการข้อมูล ส่วนการรับคำสั่งในการเปิดปิดการเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อพ่วงอยู่นั้นจะเป็นฟังก์ชั่นการทำงานรอง



รูปที่ 4-4 แผนภาพการทำงานโปรแกรมของชุดปลั๊กไฟ

จากรูปที่ 4-4 ผังการทำงานของชุดปลั๊กไฟ เมื่อเราติดตั้งชุดปลั๊กไฟเข้าไปในระบบเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการตั้งค่าส่วนใช้งานต่างๆ (Peripherals) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ก่อน จากนั้นชุดปลั๊กไฟก็จะยังไม่เริ่มการทำงาน ยังไม่เริ่มการวัดปริมาณไฟฟ้าจนกว่าจะมีการตั้งค่าเพิ่มชุดปลั๊กไฟเข้าไปในระบบ ซึ่งการตั้งค่าเพิ่มปลั๊กไฟเข้าไปในระบบนั้นคือ การกดปุ่มคอนฟิกเพื่อจับคู่ชุดปลั๊กไฟเข้ากับตัวกลาง ซึ่งตัวกลาง 1 ตัวนั้น สามารถรองรับการจับคู่กับชุดปลั๊กไฟได้มากที่สุด

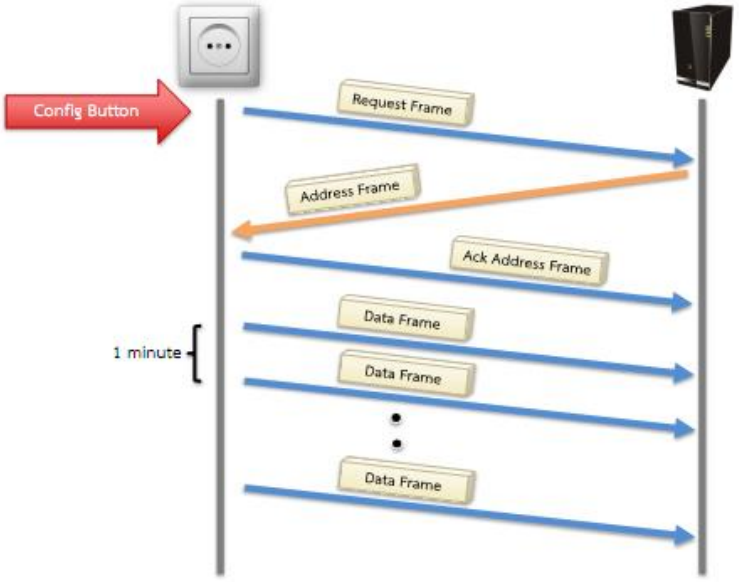
100 ตัว (ในความเป็นจริงนั้น ตัวกลางนั้นสามารถรองรับชุดปลั๊กไฟได้มากถึง 65536 ตัว จากหมายเลขที่มีขนาด 16 บิต) จะเห็นได้ว่า เมื่อโปรแกรมเริ่มทำงาน ชุดปลั๊กไฟนั้นจะรอการกดปุ่มคอนฟิกเพื่อจับคู่กับตัวกลาง และเมื่อมีการกดปุ่มคอนฟิกเกิดขึ้น ตัวชุดปลั๊กไฟจะส่งเฟรมร้องขอไปยังตัวกลาง เพื่อขอหมายเลขระบุตำแหน่งในระบบ เพราะว่าชุดปลั๊กไฟใหม่นั้น จะยังไม่มีหมายเลขที่จะนำมาระบุตัวตนในระบบได้ จากนั้นโปรแกรมก็จะรอจนกว่าจะได้รับเฟรมหมายเลขจากตัวกลางจึงจะเริ่มทำงาน เมื่อชุดปลั๊กไฟได้รับเฟรมหมายเลขแล้ว ก็จะนำหมายเลขที่ได้จากเฟรมหมายเลขนั้นมาตั้งให้เป็นหมายเลขประจำปลั๊กไฟตัวนั้น แล้วก็ทำการเก็บบันทึกค่าหมายเลขลงไปยังหน่วยความจำ EEPROM เพื่อที่ว่าในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ไฟดับขึ้น ชุดปลั๊กไฟจะยังคงสามารถจดจำหมายเลขของตัวมันเองได้ และเมื่อชุดปลั๊กไฟได้บันทึกค่าหมายเลขเรียบร้อยแล้วนั้น ชุดปลั๊กไฟก็จะส่งเฟรมตอบรับหมายเลขกลับไปให้กับตัวกลางการจัดการข้อมูล เพื่อเป็นการยืนยันว่าชุดปลั๊กไฟนั้นได้รับเฟรมหมายเลขเรียบร้อยแล้วนั่นเอง จากนั้นก็จะเริ่มทำการวัดค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อพ่วงอยู่กับชุดปลั๊กไฟตัวนั้นๆ และส่งผ่านค่าข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่วัดได้ออกไปตามสายไฟฟ้าในลักษณะที่แพร่กระจาย (Broadcast) ทุกๆ 1 นาที



รูปที่ 4-5 แผนภาพการทำงานโปรแกรมของชุดปลั๊กไฟในกรณีของข้อมูลและคำสั่ง

ในกรณีที่มีการสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อพ่วงอยู่กับชุดปลั๊กไฟนั้น เมื่อชุดปลั๊กไฟได้รับเฟรมคำสั่งแล้ว ดังรูปที่ 4-5 ในขณะที่โปรแกรมกำลังทำการวัดและส่งค่าข้อมูลอยู่นั้น เมื่อได้รับเฟรมคำสั่ง จะเกิดการขัดจังหวะ (Interruption) โปรแกรมก็จะกระโดดมาทำการตรวจสอบหมายเลขของชุดปลั๊กไฟที่ติดมาด้วยก่อนเป็นอันดับแรก ว่าตรงกับหมายเลขของตัวเองหรือไม่ จากนั้นก็จะตรวจสอบค่าคำสั่งแล้วไปสั่งงานในส่วนของวงจรขับรีเลย์ เพื่อสั่งงานเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าต่อไป และเมื่อวงจรขับรีเลย์ทำงานตามคำสั่งเรียบร้อยแล้วนั้น โปรแกรมก็จะทำการส่ง

เฟรมตอบกลับคำสั่ง กลับไปยังตัวกลางเพื่อเป็นการยืนยันว่าชุดปลั๊กไฟได้ทำการสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าตามคำสั่งเรียบร้อยแล้ว จากนั้นชุดปลั๊กไฟก็จะกระโดดกลับไปทำการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและส่งค่าข้อมูลทุกๆ 1 นาทีต่อไป



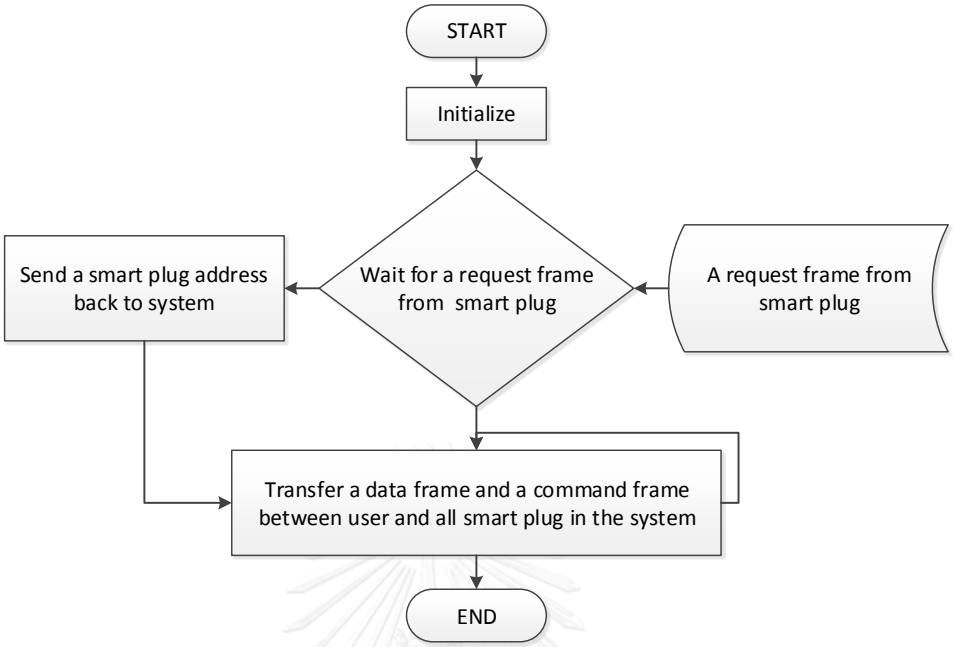
รูปที่ 4-6 แผนภาพการรับส่งข้อมูลระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูล

จากรูปที่ 4-6 แสดงแผนภาพการรับส่งข้อมูลระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูล โดยจะเห็นตั้งแต่ขั้นตอนการจับคู่ชุดปลั๊กไฟเข้ากับตัวกลางจนกระทั่งถึงการส่งข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าไปยังตัวกลาง

เมื่อมีเหตุการณ์ไฟดับเกิดขึ้น ชุดปลั๊กไฟทุกตัวในระบบนั้นจะยังสามารถจำหมายเลขของตัวเองในระบบได้ เนื่องจากการกดปุ่มคอนฟิกตั้งแต่ครั้งแรกที่มีการเพิ่มชุดปลั๊กไฟเข้ามาในระบบ หมายเลขที่ชุดปลั๊กไฟได้รับมาจากตัวกลางนั้น จะถูกเก็บบันทึกลงในหน่วยความจำ EEPROM เป็นที่เรียบร้อยอยู่แล้ว เมื่อระบบไฟกลับมาใช้งานได้ตามปกตินั้น ชุดปลั๊กไฟก็จะทำการดึงค่าหมายเลขออกมาจากหน่วยความจำ EEPROM เพื่อนำกลับมาเป็นหมายเลขที่ใช้ระบุตำแหน่งในระบบต่อไปนั่นเอง

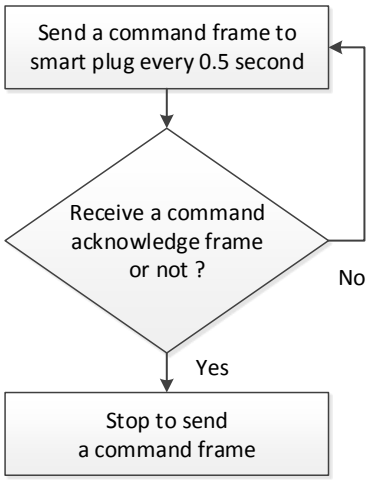
หากผู้ใช้งานต้องการที่จะลบค่าหมายเลขของชุดปลั๊กไฟนั้น สามารถทำได้โดย การกดปุ่มคอนฟิกค้างไว้เป็นเวลา 3 วินาที ตัวโปรแกรมของชุดปลั๊กไฟจะทำการลบค่าหมายเลขในหน่วยความจำ EEPROM ทิ้งไป แล้วก็จะกลับมารอการกดปุ่มคอนฟิก เพื่อจับคู่กับตัวกลางและรอรับค่าหมายเลขใหม่อีกครั้ง

4.3. การทำงานของตัวกลางการจัดการข้อมูล (Data Concentrator)



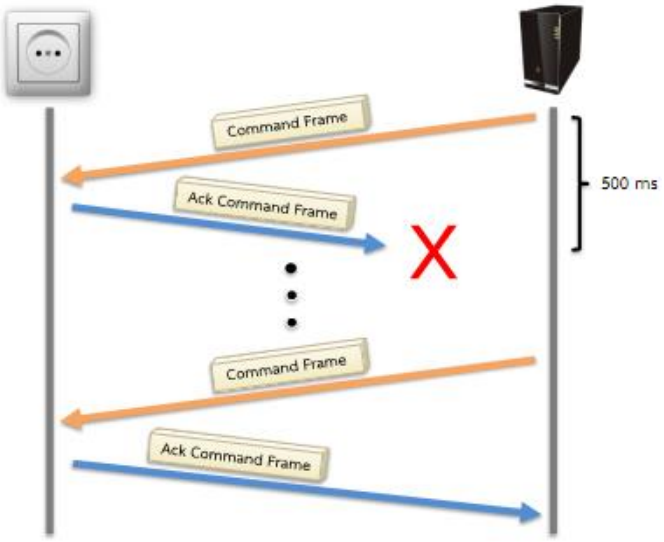
รูปที่ 4-7 แผนภาพการทำงานโปรแกรมของตัวกลางการจัดการข้อมูล

จากผังการทำงาน รูปที่ 4-7 จะเห็นได้ว่า เมื่อตัวกลางการจัดการข้อมูลเริ่มทำงาน ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตั้งค่าส่วนใช้งานต่างๆ ที่จำเป็นต่อการทำงาน เช่น ขาอินพุตเอาต์พุตที่ใช้งาน (GPIO), พอร์ตอนุกรม (USART), ส่วนสื่อสารข้อมูลอนุกรม (SPI) ที่ใช้สำหรับติดต่อสื่อสารกับโมดูลต่างๆ เป็นอันดับแรก จากนั้นโปรแกรมจะรอรับเฟรมร้องขอ (Request Frame) ซึ่งเป็นเฟรมข้อมูลที่ใช้ส่งสำหรับร้องขอหมายเลขเลข (Address Number) จากชุดปลั๊กไฟในระบบ โปรแกรมจะยังคงไม่เริ่มทำงานจนกว่าจะได้รับเฟรมร้องขอจากปลั๊กไฟตัวใดตัวหนึ่งในระบบก่อน เมื่อตัวกลางได้รับเฟรมร้องขอจากปลั๊กไฟตัวใดตัวหนึ่งในระบบแล้ว โปรแกรมจะส่งเฟรมหมายเลขตอบกลับไปยังปลั๊กไฟตัวนั้นที่ส่งเฟรมร้องขอมา และเมื่อตัวกลางได้ส่งเฟรมหมายเลขตอบกลับไปแล้ว ตัวกลางก็จะทำหน้าที่ส่งผ่านเฟรมข้อมูลจากปลั๊กไฟตัวนั้นๆ ไปแสดงผลให้กับผู้ใช้งานต่อไป พร้อมทั้งรอรับคำสั่งจากผู้ใช้งานเมื่อต้องการสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ตัวกลางก็จะส่งผ่านคำสั่งไปยังชุดปลั๊กไฟในระบบเพื่อทำการเปิดปิดอุปกรณ์ต่อไป



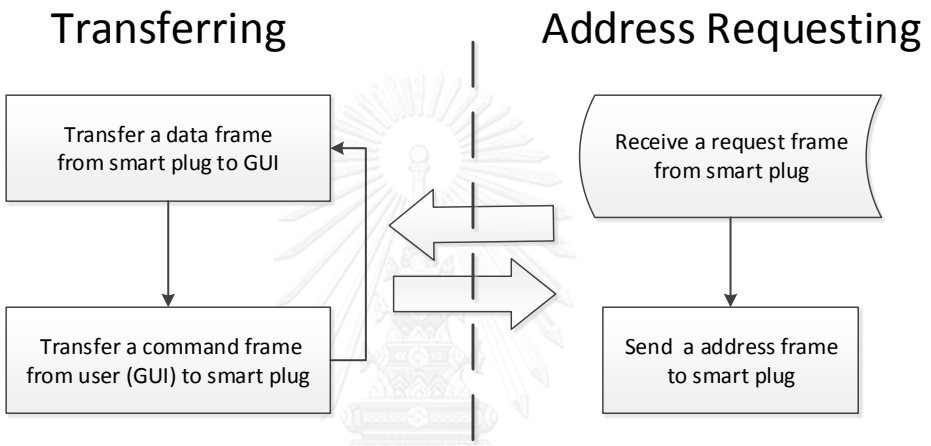
รูปที่ 4-8 แผนภาพการทำงานโปรแกรมในการส่งเฟรมคำสั่งไปยังชุดปลั๊กไฟ

สำหรับการส่งผ่านเฟรมคำสั่งจากตัวกลางไปยังชุดปลั๊กไฟในระบบนั้น จากรูปที่ 4-8 เฟรมคำสั่งจะถูกส่งออกไปเรื่อยๆ ทุกๆ 0.5 วินาที และจะหยุดส่งก็ต่อเมื่อตัวกลางได้รับเฟรมตอบกลับคำสั่งจากชุดปลั๊กไฟนั้นๆ ในระบบ เพื่อเป็นการยืนยันว่า ชุดปลั๊กไฟในระบบจะได้รับเฟรมคำสั่งและสั่งงานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเรียบร้อยแน่นอน เพราะว่าในการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้านั้น ย่อมมีโอกาสที่ข้อมูลจะสูญหาย อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนหรืออาจจะเป็นการชนกันของข้อมูล ทำให้ข้อมูลนั้นหายไป การส่งข้อมูลในลักษณะนี้จึงช่วยแก้ปัญหานี้ออกไปได้นั่นเอง



รูปที่ 4-9 แผนภาพการรับส่งเฟรมคำสั่งระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูล

ในรูปที่ 4-9 แสดงให้เห็นถึงการส่งเฟรมข้อมูลจากตัวกลางไปยังชุดปลั๊กไฟในระบบ ซึ่งตัวกลางก็จะทำการส่งทุกๆ 0.5 วินาที จนกว่าตัวกลางจะได้รับเฟรมตอบกลับคำสั่งจากชุดปลั๊กไฟตอบกลับมา จะเห็นว่าอาจจะมีกรณีที่ชุดปลั๊กไฟได้รับเฟรมคำสั่งและทำการสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว แล้วก็ทำการส่งเฟรมตอบกลับคำสั่งกลับไปยังตัวกลาง แต่เฟรมตอบกลับคำสั่งนั้นเกิดชนกันกับเฟรมข้อมูลอื่นหรือสูญหายไประหว่างทาง ตัวกลางก็จะยังคงทำการส่งเฟรมคำสั่งมาเรื่อยๆจนกว่าเฟรมตอบกลับคำสั่งจากชุดปลั๊กไฟจะส่งไปถึงตัวกลาง และเมื่อตัวกลางได้รับเฟรมตอบกลับคำสั่งเรียบร้อยแล้ว ก็จะหยุดส่งเฟรมคำสั่งนั่นเอง



รูปที่ 4-10 แผนภาพการทำงานโปรแกรมของตัวกลางในกรณีการส่งผ่านข้อมูลและการร้องขอหมายเลข

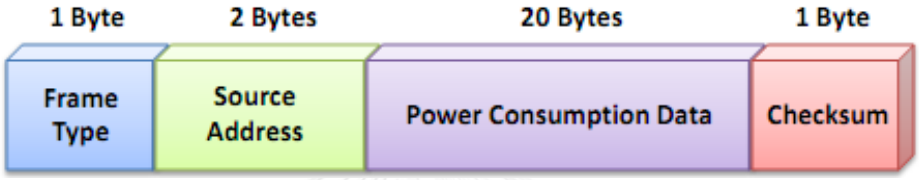
ในกรณีที่มีการเพิ่มชุดปลั๊กไฟเข้ามาในระบบ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อผู้ใช้งานต้องการนำชุดปลั๊กไฟเข้ามาต่อเพิ่มในระบบ เพื่อใช้วัดพลังงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าตัวอื่นๆ สิ่งแรกที่ต้องทำก็คือ การจับคู่ระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลาง จากรูปที่ 4-10 เมื่อมีการกดปุ่มคอนฟิกจากชุดปลั๊กไฟเฟรมร้องขอจะถูกส่งมาที่ตัวกลาง ในขณะที่ตัวกลางกำลังส่งผ่านข้อมูลและคำสั่งอยู่นั้น โปรแกรมจะกระโดดมารับเฟรมร้องขอ และจะตอบกลับไปด้วยเฟรมหมายเลข เมื่อชุดปลั๊กไฟตัวนั้นได้รับเฟรมหมายเลยเรียบร้อยแล้วก็เป็นอันเสร็จขั้นตอนการจับคู่กับตัวกลาง

4.4. ชนิดของชุดข้อมูล (Data Package)

ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางผ่านสายไฟฟ้าในระบบนั้นมีชุดข้อมูลต่างๆ มากมายที่ถูกส่งออกมาตามสายไฟฟ้า แบ่งตามประเภท เช่น ชุดข้อมูลที่ใช้บรรจุค่าข้อมูลต่างๆ (Data Frame) ที่ต้องการส่งจากต้นทางไปยังปลายทาง ชุดข้อมูลที่ใช้ส่งเพื่อร้องขอค่าหมายเลขที่ใช้ระบุตัวตนในระบบ (Request Frame) และชุดข้อมูลที่ใช้ส่งเพื่อตอบรับว่าได้รับข้อมูล

นั้นๆ แล้ว (Acknowledgement Frame) เพื่อให้เข้าใจง่ายยิ่งขึ้น จะขอเรียกชุดข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ติดต่อสื่อสารกันภายในระบบเป็นชื่อต่างๆ ดังต่อไปนี้

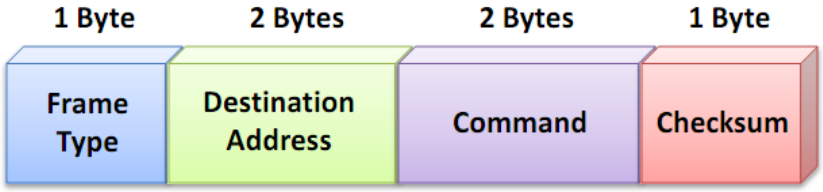
4.4.1. **เฟรมข้อมูล (Data Frame)** เป็นชุดข้อมูลที่ชุดปลั๊กไฟแต่ละตัวในระบบใช้ส่งค่าข้อมูลต่างๆ ไปยังตัวกลาง ภายในเฟรมข้อมูลนั้นประกอบไปด้วยค่าข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ที่มาต่อพ่วงอยู่กับชุดปลั๊กไฟตัวนั้นๆ ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage), ค่ากระแสไฟฟ้า (Current), ค่าความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า (Frequency), และค่าพลังงานไฟฟ้า (Power Consumption)



รูปที่ 4-11 รูปแบบของเฟรมข้อมูล

จากรูปที่ 4-11 เป็นรูปแบบของเฟรมข้อมูล ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ เช่น ชนิดของเฟรมข้อมูล (Frame Type) ซึ่งค่าภายในก็คือ 0xA1, ที่อยู่ของผู้ส่ง (Source Address) จะเป็นหมายเลขของชุดปลั๊กไฟที่ทำการส่งข้อมูล, ชุดข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Power Consumption Data) ซึ่งประกอบไปด้วยค่าของแรงดันไฟฟ้า (Voltage) 5 ไบต์ ค่าของกระแสไฟฟ้า (Current) 5 ไบต์ ค่าความถี่ (Frequency) 5 ไบต์ และค่าของพลังงานไฟฟ้า (Power) 5 ไบต์ และตามด้วย Checksum อีก 1 ไบต์

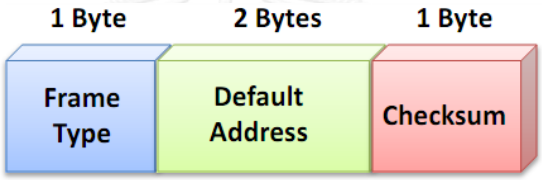
4.4.2. **เฟรมคำสั่ง (Command Frame)** เฟรมคำสั่งเป็นชุดข้อมูลที่จะถูกส่งก็ต่อเมื่อผู้ใช้งานต้องการจะสั่งงาน (เปิด/ปิด) อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อพ่วงอยู่กับชุดปลั๊กไฟ โดยเฟรมคำสั่งนั้นมาจากคำสั่งผู้ใช้งานหรือเจ้าของระบบ ถูกส่งไปยังตัวกลางและส่งต่อไปยังชุดปลั๊กไฟในระบบ



รูปที่ 4-12 รูปแบบของเฟรมคำสั่ง

จากรูปที่ 4-12 จะเห็นได้ว่า ส่วนประกอบของเฟรมคำสั่งหลักๆ นั้น ก็จะคล้ายกับส่วนประกอบของเฟรมข้อมูล ในส่วนชนิดของเฟรมข้อมูลนั้น ค่าข้อมูลจะเป็น 0xA2 อีก 2 ไบต์ถัดไปจะเป็นส่วนของที่อยู่ปลายทางที่ต้องการจะส่งข้อมูลไปนั่นเอง เนื่องจากเฟรมคำสั่งนี้เป็นเฟรมที่ตัวกลางการจัดการจะเป็นฝ่ายส่งไปยังชุดปลั๊กไฟต่างๆ ในระบบ ส่วนไบต์ถัดไปจะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยค่าคำสั่งที่ใช้ในการสั่งเปิดและสั่งปิดก็คือ 0xAA และ 0x55 ตามลำดับ

4.4.3. **เฟรมร้องขอ (Request Frame)** เป็นชุดข้อมูลที่จะมีการส่งก็ต่อเมื่อ มีการเพิ่มชุดปลั๊กไฟชุดใหม่เข้ามาในระบบเท่านั้น เนื่องจากปลั๊กไฟใหม่ที่จะเพิ่มเข้ามาในระบบนั้นยังไม่มีหมายเลขระบุตัวตนในระบบ จึงจำเป็นจะต้องมีการร้องขอหมายเลขจากตัวกลางในระบบเสียก่อน ซึ่งการที่จะร้องขอหมายเลขนั้นทำได้โดยกดปุ่มคอนฟิก (Config Button) ซึ่งเมื่อมีการกดปุ่มคอนฟิก เฟรมร้องขอจะถูกส่งไปยังตัวกลางเพื่อร้องขอหมายเลขที่ใช้ระบุตัวตนในระบบนั่นเอง



รูปที่ 4-13 รูปแบบของเฟรมร้องขอ

จากรูปที่ 4-13 จะเป็นรูปแบบของเฟรมร้องขอ ส่วนประกอบนั้นจะน้อยกว่าชุดข้อมูลอื่นๆ ค่าข้อมูลชนิดของเฟรมข้อมูลนี้จะเป็น 0xA3 ส่วน 2 ไบต์ถัดไปจะเป็นค่าหมายเลขเริ่มต้นของชุดปลั๊กไฟ ซึ่งในโปรแกรมถูกกำหนดไว้ที่ค่า 0xAAAA โดยค่านี้จะยังไม่ใช่ค่าหมายเลขที่ชุดปลั๊กไฟจะนำไปใช้ระบุตัวตนในระบบ จะเป็นแค่ค่าเริ่มต้นเท่านั้น ส่วนค่าหมายเลขที่ใช้ระบุตัวตนในระบบจริงๆนั้นจะเป็นค่าหมายเลขที่ได้มาจากตัวกลางผ่านทางเฟรมหมายเลขเท่านั้น

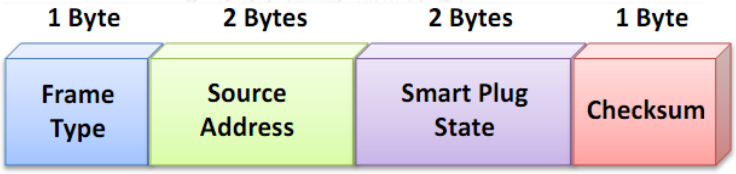
4.4.4. **เฟรมหมายเลข (Address Frame)** คือ ชุดข้อมูลที่ใช้ตอบกลับเมื่อมีการส่งเฟรมร้องขอเท่านั้น เฟรมหมายเลขนั้นเป็นชุดข้อมูลของหมายเลขที่ใช้ในการระบุตำแหน่งหรือตัวตนของชุดปลั๊กไฟในระบบ และเฟรมนี้จะถูกส่งจากตัวกลางไปยังชุดปลั๊กไฟในระบบเท่านั้น

รูปที่ 4-14 รูปแบบของเฟรมหมายเลข

ภายในเฟรมหมายเลขนี้จะมีค่าหมายเลขจริงที่ชุดปลั๊กไฟต่างๆ จะนำไปใช้ในการระบุตำแหน่งในระบบ ซึ่งจะอยู่ในส่วนของ New Address ภายในเฟรม และยังมีค่าหมายเลขเริ่มต้นอยู่ภายในเฟรมอีกด้วย เพื่อให้ตัวกลางสามารถรู้ได้ว่า จะส่งเฟรมหมายเลขนี้ไปยังชุดปลั๊กไฟตัวใดในระบบ ดังรูปที่ 4-14 และค่าชนิดของเฟรมข้อมูลนี้จะเป็น 0xA4

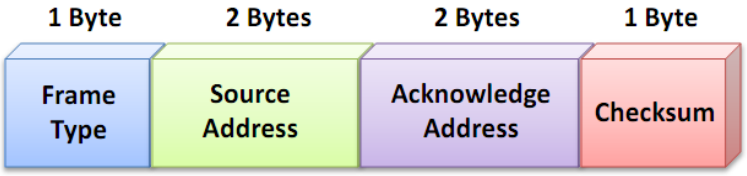
4.4.5. **เฟรมตอบกลับ (Acknowledge Frame)** เป็นเฟรมที่จะถูกส่งจากฝ่ายที่รับชุดข้อมูลไปยังฝ่ายที่ส่งชุดข้อมูล เพื่อใช้ในการยืนยันว่า ฝ่ายที่รับข้อมูลนั้น ได้รับข้อมูลที่ถูกต้องแล้ว เฟรมตอบกลับนี้ ในระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะนี้ จะมีอยู่ 2 แบบหลักๆ คือ

- เฟรมตอบกลับคำสั่ง (Command Acknowledge Frame) ดังรูปที่ 4-15 เป็นชุดข้อมูลที่ส่งไปเพื่อบอกให้ฝ่ายที่ส่งข้อมูลรับรู้ว่า ได้รับเฟรมคำสั่ง และสั่งงานเปิด/ปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเรียบร้อยแล้ว โดยในเฟรมตอบกลับคำสั่งนี้จะมีข้อมูลสถานะเปิดปิดของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นๆ ส่งกลับไปยังฝ่ายที่ส่งข้อมูลอีกด้วย เพื่อเป็นการทำให้แน่ใจว่าชุดปลั๊กไฟได้สั่งงานอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าตามคำสั่งเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 4-15 รูปแบบของเฟรมตอบกลับคำสั่ง

- เฟรมตอบกลับหมายเลข (Address Acknowledge Frame) เป็นชุดข้อมูลที่จะถูกส่งจากชุดปลั๊กไฟตอบกลับไปยังตัวกลาง เพื่อให้ตัวกลางรับรู้ว่า ชุดปลั๊กไฟนั้นได้รับเฟรมหมายเลขและหมายเลขที่ได้รับมานั้นก็ถูกต้องเรียบร้อย โดยภายในเฟรมก็จะมีหมายเลขของชุดปลั๊กไฟต้นทางพร้อมทั้งคำสั่งตอบกลับอีกด้วย ดังรูปที่ 4-16



รูปที่ 4-16 รูปแบบของเฟรมตอบกลับหมายเลข

จะเห็นว่าชุดข้อมูลที่ใช้ติดต่อสื่อสารกันระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูลนั้นมีหลายรูปแบบแตกต่างกันไป เพื่อให้ง่ายต่อการจำและเข้าใจ จึงได้สรุปมาเป็นตาราง ตามตารางที่ 4-1

Name	Frame Type	Address	Payload	Checksum
Data Frame	0xA1	Source Address (0xFF01 , 0xFF02 ,... 0xFFFF)	Power consumption data	✓
Command Frame	0xA2	Destination Address (0xFF01 , 0xFF02 ,... 0xFFFF)	Command (ON : 0xAA , OFF : 0x55)	✓
Request Frame	0xA3	Default Address (0xAAAA)	-	✓
Address Frame	0xA4	Default Address (0xAAAA)	New Address (0xFF01 , 0xFF02 ,... 0xFFFF)	✓
Ack Command Frame	0xA5	Destination Address (0xFF01 , 0xFF02 ,... 0xFFFF)	Acknowledge Value (ON : 0xAA , OFF : 0x55)	✓
Ack Address Frame	0xA6	Destination Address (0xFF01 , 0xFF02 ,... 0xFFFF)	Acknowledge Value (0x1C)	✓

ตารางที่ 4-1 ชุดข้อมูลทั้งหมดที่ใช้รับส่งกันระหว่างชุดปลั๊กไฟและตัวกลางการจัดการข้อมูล

4.5. ระยะเวลาในการส่งของชุดข้อมูลต่างๆ (Transmission time of data package)

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงระยะเวลาในการส่งชุดข้อมูลต่างๆ เนื่องจากอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลของชิปไอซีที่ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (ST7540) นั้นอยู่ที่ 2400 บิตต่อวินาที ดังนั้นระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล 1 ไบต์ (8 บิต) จึงมีค่าเท่ากับ 3.33 มิลลิวินาที ส่วนระยะเวลาของชุดข้อมูลอื่นๆที่ใช้ในการส่งจึงมีระยะเวลาดังต่อไปนี้

- เฟรมข้อมูล (Data frame) 80 มิลลิวินาที
- เฟรมคำสั่ง (Command frame) 20 มิลลิวินาที
- เฟรมร้องขอ (Request frame) 13.33 มิลลิวินาที
- เฟรมหมายเลข (Address frame) 20 มิลลิวินาที
- เฟรมตอบกลับคำสั่ง (Ack command frame) 20 มิลลิวินาที
- เฟรมตอบกลับหมายเลข (Ack address frame) 20 มิลลิวินาที

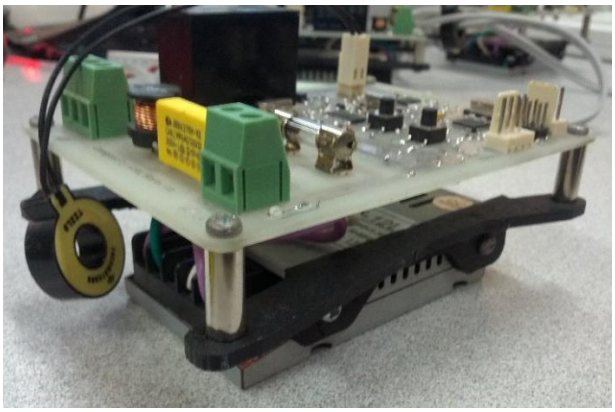
บทที่ 5

การทดสอบและผลการทดลอง

หลังจากที่ได้ออกแบบทั้งในส่วนของชิ้นงานจริงและโปรแกรมการทำงานของชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะ ก็ได้ทำการสร้างชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะที่เป็นชิ้นงานจริงขึ้นมา ซึ่งประกอบไปด้วย ชุดปลั๊กไฟ 3 ชุด และตัวกลางการจัดการข้อมูล 1 ชุด

รูปที่ 5-1 ชุดปลั๊กไฟต้นแบบ 3 ชุด

จากรูปที่ 5-1 เป็นชิ้นงานจริงของชุดปลั๊กไฟที่ได้ทำขึ้นมาทั้งหมด 3 ชุด เพื่อทดสอบวัดพลังงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาต่อพ่วงกับชุดปลั๊กไฟ พร้อมทั้งทดสอบการสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าจากหน้าจออินเตอร์เฟส โดยในชิ้นงานจริงนี้ ได้รวบรวมทุกส่วนการทำงานเอาไว้ภายในบอร์ดเดียวกัน



รูปที่ 5-2 การติดตั้งแหล่งจ่ายไฟบริเวณด้านล่างของแผ่นวงจร

จะเห็นได้ว่า ในรูปที่ 5-1 ชิ้นงานจริงของชุดปลั๊กไฟทั้ง 3 ตัว ไม่ได้ใช้แหล่งจ่ายไฟที่เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 3-9 เนื่องจาก หลังจากที่ได้ประกอบชิ้นงานชุดปลั๊กไฟที่ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขึ้นมานั้น นำไปทดสอบใช้งาน พบว่า ระยะทางในการติดต่อสื่อสารข้อมูลนั้น ได้ไม่ไกลมากนัก ความผิดพลาดของข้อมูลก็มีมาก จึงได้ลองปรับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟมาใช้เป็นสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย ซึ่งสามารถจ่ายกระแสได้มากขึ้น และได้นำไปทดสอบอีกครั้ง พบว่า ชุดปลั๊กไฟสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลได้ระยะทางที่ไกลมากขึ้น รวมไปถึงความผิดพลาดของข้อมูลก็ลดน้อยลงตามไปด้วย โดยแหล่งจ่ายไฟสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายที่มาใส่แทนหม้อแปลงนั้น ได้ทำการติดตั้งไว้ที่ด้านล่างของบอร์ดวงจร ดังแสดงในรูปที่ 5-2

รูปที่ 5-3 ชุดต้นแบบตัวกลางการจัดการข้อมูล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

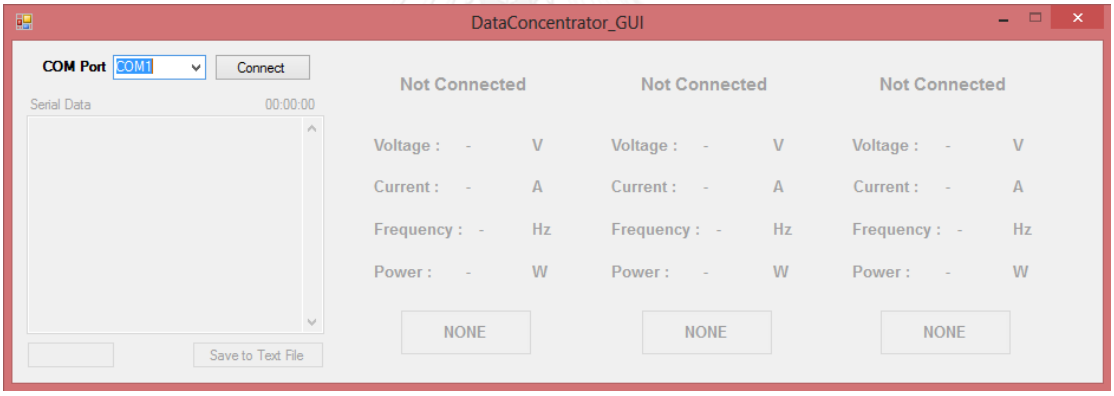
จากรูปที่ 5-3 เป็นชุดต้นแบบที่ได้สร้างขึ้นมาใช้ในการทดสอบติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างชุดปลั๊กไฟในระบบกับผู้ใช้งาน ซึ่งรูปร่างที่ได้ออกแบบมานี้เพื่อความสะดวกในการใช้งาน เพียงแค่เสียบปลั๊กไฟ ตัวกลางนี้ก็เริ่มทำงานได้ตามปกติ ภายในกล่องตัวกลางนี้ได้รวมเอาทุกส่วนวงจรไว้ภายในรวมไปถึงแหล่งจ่ายไฟสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายด้วย และยังมีช่องสัญญาณอนุกรมซึ่งได้ออกแบบไว้เป็นพอร์ตไมโครยูเอสบี (Micro USB) สำหรับรองรับการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์หรือแล็บท็อปสำหรับรับส่งข้อมูลที่ได้จากการวัดไปแสดงผลบนหน้าจออินเตอร์เฟส

ในชุดต้นแบบตัวกลางนี้ยังได้ออกแบบมารองรับวงจรสื่อสารข้อมูลไร้สาย (Wi-Fi) ในลักษณะที่เป็นวงจรสื่อสารไร้สายสำเร็จรูป (Wi-Fi Module) สำหรับการนำค่าข้อมูลไปแสดงผลให้กับผู้ใช้งานบนหน้าเว็บ โดยถ้าต้องการจะพัฒนาในส่วนนี้ ก็เพียงแค่นำวงจรสื่อสารไร้สายสำเร็จรูปมาต่อเข้ากับคอนเนกเตอร์บนบอร์ด แล้วเขียนโปรแกรมเพิ่มเติม ซึ่งส่วนนี้จะเป็นการพัฒนาในอนาคตต่อไป

5.1. การทดสอบการทำงานของชุดปลั๊กไฟและตัวกลางการจัดการข้อมูล

ก่อนจะทำการทดสอบการทำงานจริงนั้น ก็จำเป็นจะต้องมีหน้าจออินเตอร์เฟส (GUI) สำหรับเอาไว้แสดงผลค่าข้อมูลต่างๆที่ได้จากการวัด รวมไปถึงการสั่งงานเปิดปิดผ่านหน้าจออินเตอร์เฟสนั่นเอง ด้วยเหตุนี้จึงได้ใช้โปรแกรม Microsoft Visual C# เขียนโปรแกรมสร้างหน้าจออินเตอร์เฟสขึ้นมา ซึ่งรูปร่างหน้าตาของหน้าจออินเตอร์เฟสนั้น เป็นไปตามรูปที่ 5-4 ภายในหน้าจออินเตอร์เฟส จะประกอบไปด้วยส่วนแสดงข้อมูลต่างๆ เช่น ส่วนแสดงข้อมูลดิบที่รับมาจากชุดปลั๊กไฟ ส่วนแสดงค่าแรงดัน กระแส ความถี่ และกำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากชุดปลั๊กไฟแต่ละตัว ซึ่งในหน้าจออินเตอร์เฟสนี้ได้ออกแบบมาให้รองรับการทำงานจากชุดปลั๊กไฟได้เพียง 3 ตัวเท่านั้น และนอกจากนั้นยังมีปุ่มสำหรับการสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าของชุดปลั๊กไฟทั้ง 3 ตัวอีกด้วย

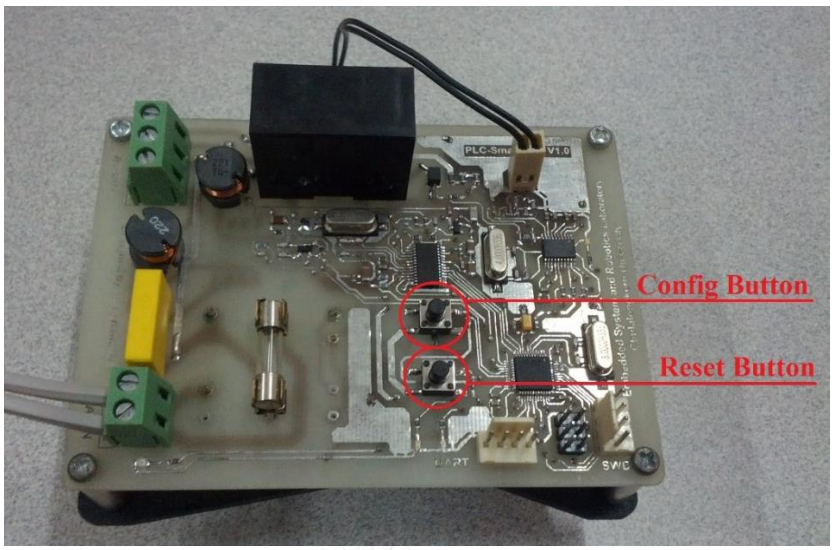
ในการเชื่อมต่อหน้าจออินเตอร์เฟสนี้ จะทำการเชื่อมต่อผ่านทางช่องสัญญาณอนุกรม (Serial Port) จะเห็นได้ว่า บริเวณด้านซ้ายบนของหน้าจออินเตอร์เฟสนั้นจะมีช่องที่เอาไว้สำหรับเลือกช่องสัญญาณอนุกรมนั่นเอง



รูปที่ 5-4 หน้าจออินเตอร์เฟสติดต่อกับผู้ใช้งาน

ในการทดสอบการทำงานนั้น ได้นำชุดปลั๊กไฟไปต่อเข้ากับปลั๊กไฟต่างๆ ในห้อง โดยสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบนั้นก็คือ ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบสมองกลฝังตัวและหุ่นยนต์ จากนั้นนำตัวกลางการจัดการข้อมูลมาต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะแสดงค่าข้อมูลที่ได้จากการวัด

เมื่อนำชุดปลั๊กไฟต่อเข้ากับปลั๊กไฟในระบบเรียบร้อยแล้ว ก็จะต้องทำการจับคู่ชุดปลั๊กไฟเข้ากับตัวกลางโดยการกดปุ่มคอนฟิกที่ชุดปลั๊กไฟ โดยตำแหน่งของปุ่มคอนฟิก ดูได้จากรูปที่ 5-5 จากนั้นชุดปลั๊กไฟก็จะเริ่มทำงาน เริ่มวัดค่าข้อมูลต่างๆ และสามารถสั่งงานควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าได้



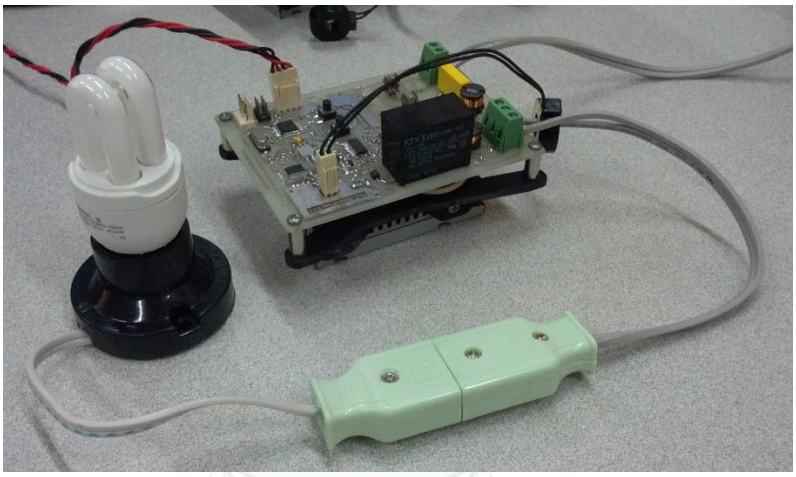
รูปที่ 5-5 ตำแหน่งของปุ่มคอนฟิกและปุ่มรีเซ็ต

เมื่อผู้ใช้งานนำชุดปลั๊กไฟไปเสียบเข้ากับปลั๊กไฟในระบบแล้ว ในขณะที่ยังไม่ได้กดปุ่มคอนฟิกนั้น ไฟ LED แสดงสถานะคอนฟิกนั้น จะยังไม่ติด จะมีเพียงแค่ไฟ LED สีแดง ซึ่งเป็นไฟแสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟ แต่เมื่อผู้ใช้งานกดปุ่มคอนฟิกเพื่อจับคู่แล้ว ไฟ LED ที่แสดงสถานะคอนฟิก ซึ่งเป็นไฟสีเขียวจะติด ดังรูปที่ 5-6 เมื่อไฟ LED สีเขียวติด นั่นหมายความว่าชุดปลั๊กไฟจับคู่กับตัวกลางเรียบร้อยแล้ว จากนั้นชุดปลั๊กไฟก็จะเริ่มทำการวัดค่าต่างๆ

รูปที่ 5-6 ไฟ LED แสดงสถานะการจับคู่ระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูล

5.2. ผลการทดสอบการทำงานของชุดปลั๊กไฟและตัวกลางการจัดการข้อมูล

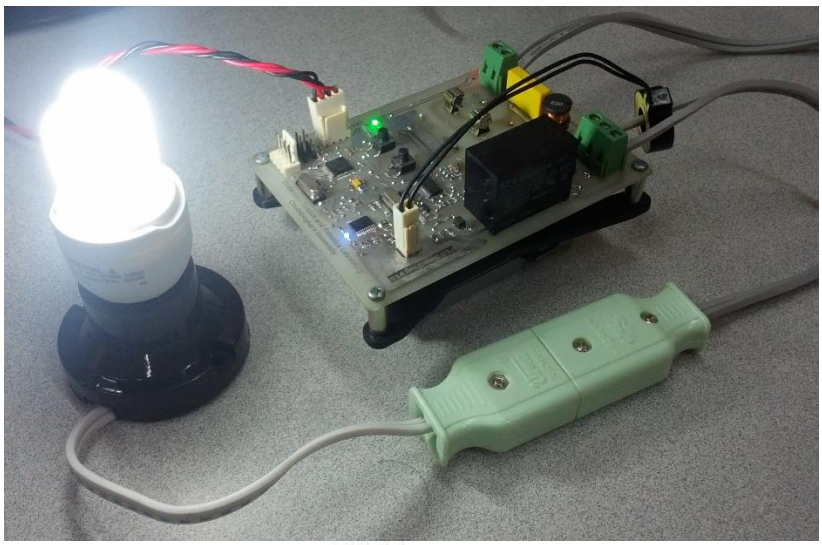
จากการทดสอบการทำงานของชุดปลั๊กไฟในตำแหน่งต่างๆภายในห้องนั้น พบว่า ชุดปลั๊กไฟนั้นสามารถวัดค่าข้อมูลต่างๆและปริมาณการใช้ไฟฟ้าและส่งค่าข้อมูลเหล่านั้นไปยังตัวกลางการจัดการข้อมูลเพื่อแสดงค่าข้อมูลออกทางหน้าจออินเตอร์เฟสได้ และในขณะเดียวกัน ผู้ใช้งานก็สามารถสั่งงานเพื่อเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับชุดปลั๊กไฟแต่ละตัวได้ มีบางครั้งที่มีความผิดพลาดของข้อมูลเกิดขึ้น คือ ข้อมูลที่ส่งออกมาจากชุดปลั๊กไฟนั้น ตัวกลางการจัดการข้อมูลไม่สามารถรับข้อมูลได้ อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนในระบบ ระยะทางที่ทำการทดสอบการทำงานนั้น จะอยู่ที่ประมาณ 10–30 เมตร ซึ่งเป็นระยะการเดินสายไฟโดยประมาณของห้อง



รูปที่ 5-7 ลักษณะการต่อใช้งานของชุดปลั๊กไฟ

ในการทดสอบต่อใช้งานของชุดปลั๊กไฟนั้น จะเป็นไปตามรูปที่ 5-7 มีการต่ออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเข้าไปด้วยเพื่อทดสอบการควบคุมเปิดปิดการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อชุดปลั๊กไฟเริ่มการทำงานจะยังไม่เปิดการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาต่อพ่วงอยู่ ผู้ใช้งานจะต้องเป็นผู้สั่งงานเปิดการทำงานเองจากหน้าจออินเตอร์เฟส

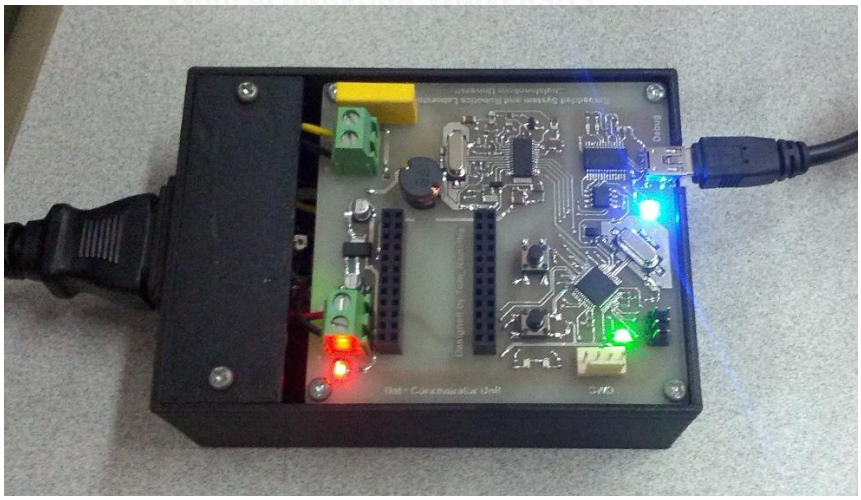
จากรูปที่ 5-7 อุปกรณ์ไฟฟ้าที่นำมาต่อพ่วงนั้น เป็นหลอดไฟตะเกียบ ขนาด 3 W ต่อเข้ากับชุดปลั๊กไฟ ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีการต่อหม้อแปลงกระแสเพื่อทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่อพ่วงอยู่ด้วย เมื่อผู้ใช้งานมีการสั่งเปิดการทำงานของอุปกรณ์ต่อพ่วง ก็จะเป็นไปตามรูปที่ 5-8 เมื่อมีการสั่งงานจากผู้ใช้งาน คำสั่งก็จะถูกส่งผ่านจากตัวกลางการจัดการข้อมูลผ่านทางสายไฟฟ้ามายังชุดปลั๊กไฟในระบบ และเมื่อชุดปลั๊กไฟได้รับคำสั่ง ก็จะสั่งงานให้ชุดวงจรขับรีเลย์สั่งเปิดการทำงานให้กับอุปกรณ์ที่ต่อพ่วง



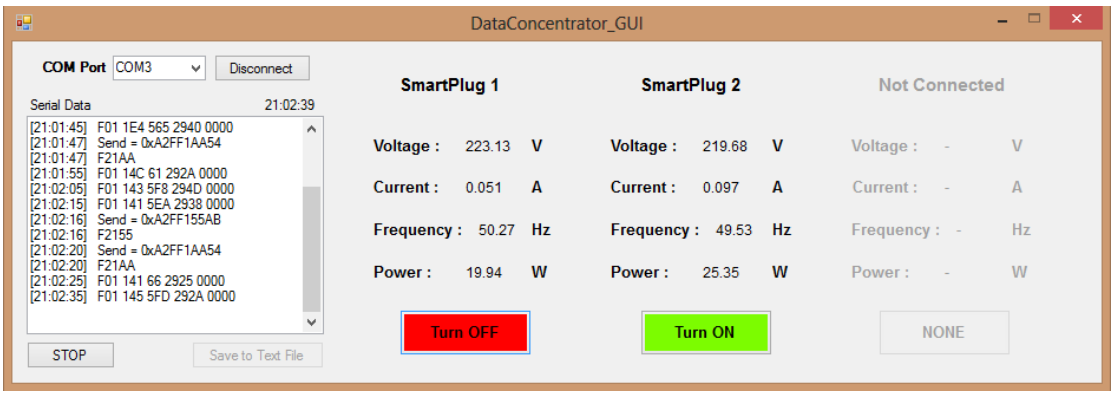
รูปที่ 5-8 ตัวอย่างการควบคุมการทำงานเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า

จากรูปที่ 5-9 เป็นลักษณะการทำงานของตัวกลางการจัดการข้อมูลในขณะที่ทำการการทดสอบ เมื่อต่อตัวกลางเข้ากับปลั๊กไฟในระบบ ตัวกลางจะเริ่มการทำงานเลย คือ เริ่มการส่งผ่านข้อมูลของชุดปลั๊กไฟและคำสั่งจากผู้ใช้งาน โดยไฟ LED สีเขียวนั้น แสดงถึงการทำงานของตัวกลางในขณะที่กำลังส่งผ่านข้อมูลและคำสั่งต่างๆ

จะเห็นได้ว่ามีการต่อสาย USB เข้ากับตัวกลางการจัดการข้อมูล ส่วนนั้นเป็นที่ทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารข้อมูลไปแสดงผลบนหน้าจออินเตอร์เฟส รูปแบบการเชื่อมต่อจะเป็นการเชื่อมต่อผ่านการสื่อสารแบบอนุกรม ไฟ LED สีน้ำเงิน ก็เป็นไฟแสดงสถานะการเชื่อมต่อนั่นเอง



รูปที่ 5-9 การทำงานของตัวกลางการจัดการข้อมูล

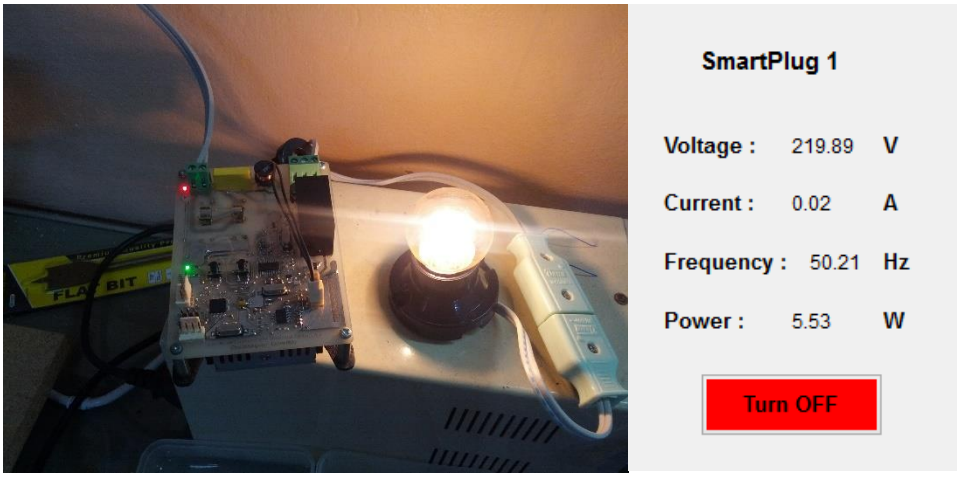


รูปที่ 5-10 หน้าจออินเตอร์เฟสเมื่อมีการใช้งานของชุดปลั๊กไฟ

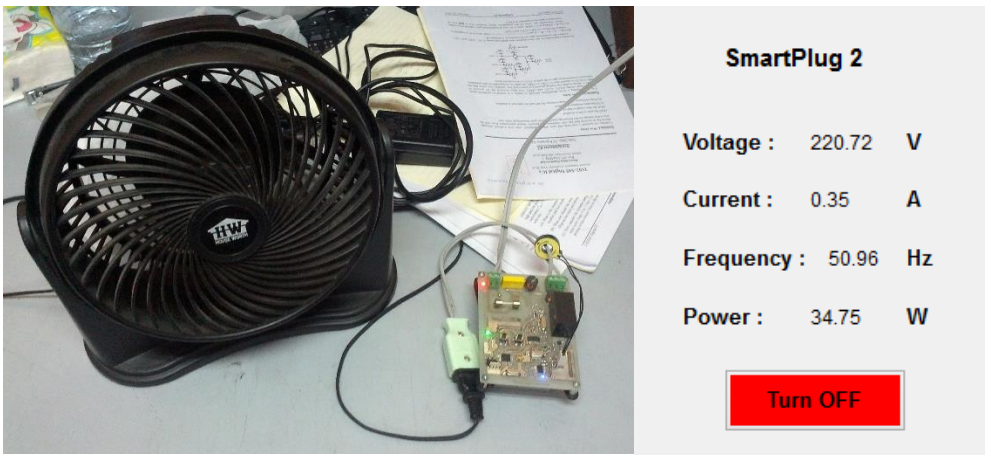
จากรูปที่ 5-10 เป็นรูปแบบของหน้าจออินเตอร์เฟส เมื่อมีการรับค่าข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกณ์ที่มาต่อพ่วงอยู่กับชุดปลั๊กไฟ จากรูปจะเห็นได้ว่ามีชุดปลั๊กไฟที่เชื่อมต่ออยู่กับตัวกลางทั้งหมด 2 ตัว ซึ่งหน้าจออินเตอร์เฟสนี้รองรับการทำงานร่วมกับชุดปลั๊กไฟได้ทั้งหมด 3 ตัว เมื่อผู้ใช้งานต่อชุดปลั๊กไฟเข้ากับปลั๊กไฟในระบบ พร้อมกับกดปุ่มคอนฟิกเพื่อทำการจับคู่ชุดปลั๊กไฟเข้ากับตัวกลางเรียบร้อยแล้ว หน้าจออินเตอร์เฟสก็จะทำการแสดงค่าข้อมูลขึ้นมาโดยอัตโนมัติดังรูป โดยที่ชุดปลั๊กไฟตัวใดมีการกดปุ่มคอนฟิกก่อน ตัวนั้นก็ถูกตั้งค่าให้เป็นหมายเลข 1 ชุดปลั๊กไฟที่เหลือเมื่อมีการกดปุ่มคอนฟิก ก็จะได้รับหมายเลขเป็น 2 และ 3 ตามลำดับของการกดปุ่มนั่นเอง

5.2.1. ตัวอย่างผลการทดสอบกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า

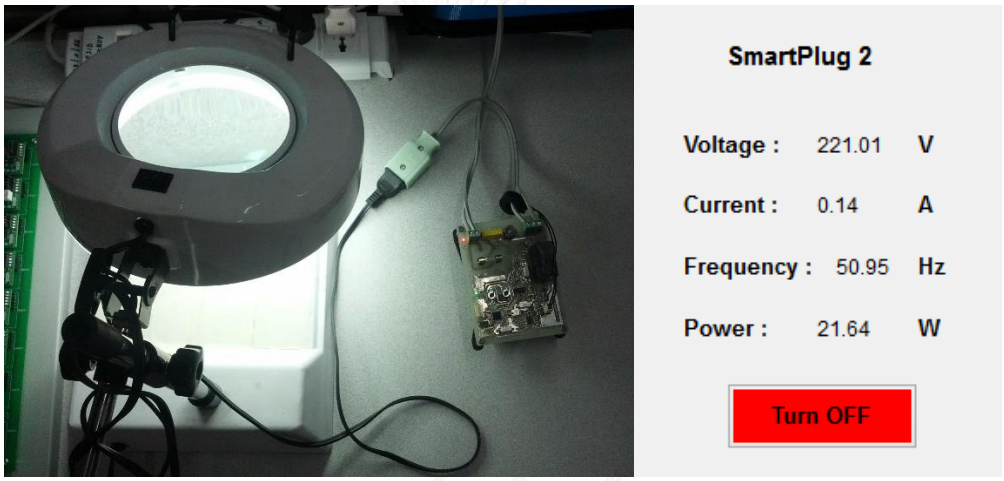
ชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะได้นำไปทดสอบการทำงานวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและสั่งงานเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ตามรูปด้านล่างต่อไปนี้



รูปที่ 5-11 ทดสอบกับหลอดไฟขนาด 5 W



รูปที่ 5-12 ทดสอบกับพัดลมขนาด 33 W



รูปที่ 5-13 ทดสอบกับโคมไฟขนาด 22 W

รูปที่ 5-14 ทดสอบกับพัดลมขนาด 27 W

จะเห็นได้ว่า ชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะที่ได้พัฒนาขึ้นมานี้สามารถนำไปใช้วัดปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆได้ โดยค่าต่างๆที่วัดออกมาได้นั้นก็ค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าจริง อาจจะมีความคลาดเคลื่อนบ้างเล็กน้อย

5.2.2. **ผลการทดสอบระยะทางการติดต่อสื่อสาร**

จากการทดสอบการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและสั่งงานเปิดปิดไปเรียบร้อยแล้ว ก็ได้มาทำการทดสอบในด้านระยะทางของการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าอีกด้วย โดยใช้สายไฟยาวทั้งหมด 450 เมตร ตามรูปที่ 5-15 มาทำการทดสอบ ปลายสายไฟต่อเข้ากับชุดปลั๊กไฟและใช้หลอดไฟขนาด 5 W เป็นอุปกรณ์ที่นำมาต่อพ่วงเข้ากับปลั๊กไฟ

รูปที่ 5-15 สายไฟยาวประมาณ 450 เมตร

ในเบื้องต้นที่ได้ทดสอบนั้น พบว่า ชุดปลั๊กไฟสามารถส่งค่าข้อมูลไปยังตัวกลางการจัดการข้อมูลได้ แต่เมื่อผู้ใช้งานสั่งงานควบคุมเปิดปิดหลอดไฟ สามารถสั่งงานได้เพียงครั้งเดียวแล้วไม่สามารถสั่งงานได้อีก จึงได้หาทางแก้ไขปัญหา หลังจากที่ได้ทำการทดสอบหลายๆครั้ง พบว่าปัญหาเกิดมาจากการชุดปลั๊กไฟได้ส่งเฟรมตอบกลับคำสั่งไปที่ตัวกลาง แต่ตัวกลางไม่ได้รับเฟรมตอบกลับคำสั่งจากชุดปลั๊กไฟ อาจจะเนื่องมาจากระยะทางที่ไกลมาก ส่งผลให้เฟรมตอบกลับอาจจะส่งไปไม่ถึงตัวกลางหรือไม่ก็เกิดการชนกันของข้อมูลภายในช่องสัญญาณ จึงได้ลองปรับเปลี่ยนรูปแบบการส่งเฟรมตอบกลับคำสั่ง คือ ส่งให้มากขึ้นกว่าเดิมจากเดิมที่ส่งเพียงแค่ 1 ครั้งต่อ 1 คำสั่งจากตัวกลาง เพื่อเพิ่มโอกาสที่ตัวกลางจะได้รับเฟรมตอบกลับคำสั่งมากขึ้น

จากที่ได้ทดลองแก้ไขโปรแกรมในส่วนของการส่งเฟรมตอบกลับคำสั่งให้ส่งมากขึ้นเป็น 10 เฟรม ต่อ 1 คำสั่ง ก็ได้นำชุดปลั๊กไฟกลับมาต่อกลับสายไฟ 450 เมตรเพื่อทดสอบการสั่งงานควบคุมเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าอีกครั้ง ผลปรากฏว่า ตัวกลางการจัดการข้อมูลนั้น สามารถรับเฟรมตอบกลับคำสั่งจากชุดปลั๊กไฟได้ และผู้ใช้งานก็ยังสามารถสั่งงานเปิดปิดหลอดไฟได้ตลอดเวลาอีกด้วย โดยระยะทางที่ไกลที่สุดที่ได้ทำการทดสอบกับชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะก็คือ 450 เมตร เป็นไปตามรูปที่ 5-16

รูปที่ 5-16 การทดสอบที่ระยะทาง 450 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1. สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำการพัฒนาปลั๊กไฟอัจฉริยะโดยใช้การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า เป็นการพัฒนาอุปกรณ์ที่มีลักษณะเหมือนกับปลั๊กไฟหรือเต้ารับทั่วไป แต่จะมีความสามารถพิเศษที่มากกว่าการเป็นปลั๊กไฟหรือเต้ารับธรรมดา คือมีความสามารถในการวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไปของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มาต่อพ่วงอยู่กับชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะนี้ และนำข้อมูลที่วัดได้นั้นไปแสดงผลให้กับผู้ใช้งานหรอเจ้าของระบบผ่านทางหน้าจออินเตอร์เฟส (GUI) นอกจากนั้นชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะนี้ยังสามารถควบคุมเปิดปิดการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อพ่วงอยู่ได้อีกด้วย ซึ่งผู้ใช้งานหรือเจ้าของระบบสามารถสั่งงานผ่านทางหน้าจออินเตอร์เฟสได้โดยตรง ซึ่งในการส่งผ่านข้อมูลหรือคำสั่งนั้น ใช้รูปแบบการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Power Line Communication) ซึ่งก็คือการใช้สายไฟฟ้า AC 220 V ที่มีอยู่ในระบบอยู่แล้วเป็นตัวกลางในการสื่อสารข้อมูลนั่นเอง

จากการทดลองการทำงานของระบบปลั๊กไฟอัจฉริยะภายในบ้าน 2 ชั้น พบว่าชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะสามารถส่งผ่านค่าข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าและข้อมูลคำสั่งในการเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าได้ สามารถแสดงผลบนหน้าจออินเตอร์เฟสได้ แต่พบว่ายังมีการผิดพลาดของข้อมูลเกิดขึ้นบ้างในบางครั้ง และบางจุดที่ทำการทดสอบภายในบ้าน อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนภายในระบบ อาจจะมาจากเครื่องปรับอากาศ หรือแหล่งจ่ายไฟสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายของคอมพิวเตอร์

จากที่ได้ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะนี้ สรุปได้ว่า ระยะทางของการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าก็เป็นสิ่งที่สำคัญอีกสิ่งหนึ่งที่สามารถใช้วัดผลประสิทธิภาพของระบบได้ โดยระยะทางที่สามารถจะทดสอบได้ไกลที่สุดคือ 450 เมตร เนื่องจากในช่วงที่ทำการทดสอบนั้นมีสายไฟยาวที่สุดอยู่เพียง 450 เมตร พบว่าชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะสามารถติดต่อสื่อสารข้อมูลและสั่งงานเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าได้ ในเรื่องของระยะเวลาในการติดต่อสื่อสารระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูลนั้น จากที่ได้ทดสอบ พบว่าระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในระบบที่นำชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะนี้ไปใช้ ถ้าหากภายในระบบมีสัญญาณรบกวนน้อยการลดทอนสัญญาณที่ต่ำ ระยะเวลาในการรับส่งข้อมูลก็จะเร็วกว่าระบบที่มีสัญญาณรบกวนสูง ทั้งนี้ในเรื่องระยะเวลาในการรับส่งนั้นก็ไม่สามารถระบุออกมาเป็นตัวเลขที่แน่ชัดได้ อันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมของระบบนั้นๆนั่นเอง

6.2. ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไขปัญหา

6.2.1. ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการทำวิทยานิพนธ์

- **แหล่งจ่ายไฟ** ในความเป็นจริงนั้น การออกแบบวงจรชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะจะต้องมีวงจรแหล่งจ่ายไฟอยู่รวมบนบอร์ด ซึ่งวงจรแหล่งจ่ายไฟที่วางแผนไว้นั้นจะเป็นประเภทสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายขนาดแรงดันไฟฟ้า 12 V 1 A แต่เนื่องด้วยมีอุปกรณ์บางตัวในวงจรสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายไม่สามารถหาซื้อตามท้องตลาดทั่วไปได้ นั่นก็คือ หม้อแปลงจำเป็นจะต้องสั่งทำขึ้น และในการสั่งทำขึ้นมานั้น ก็จะต้องผลิตออกมาในจำนวนมาก ซึ่งก็จะเป็นการสิ้นเปลืองเกินไปสำหรับการทำงานต้นแบบ ทำให้จำเป็นต้องตัดวงจรสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายในส่วนนี้ออกไป
- **วงจรส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า** ในขั้นตอนการทดลองวงจรนั้นได้มีการออกแบบวงจรพร้อมทั้งทำแผ่นวงจรขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดสอบ 2 ชุด และได้เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อการสื่อสารกับบอร์ด ผลการทดสอบพบว่า แผ่นวงจรที่ทำขึ้นมานั้น ไม่สามารถติดต่อสื่อสารส่งข้อมูลระหว่างกันได้
- **การติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า** หลังจากที่ได้ทดสอบติดต่อสื่อสารส่งข้อมูลกันระหว่างบอร์ดได้แล้วนั้น ผลปรากฏว่า ระยะที่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ยังไม่ไกลมากนัก ประมาณ 20-30 เมตร ซึ่งนับว่าเป็นระยะทางที่น้อยกว่าที่ควรจะเป็น
- **การรับส่งข้อมูลในระยะทางที่ไกลมากๆ** ในการทดสอบรับส่งข้อมูลในระยะทางไกลๆ ประมาณ 400 เมตร ระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูลนั้น พบว่า ส่วนใหญ่จะมีปัญหาที่ตัวกลาง คือตัวกลางจัดการข้อมูลไม่สามารถรับเฟรมตอบกลับที่มาจากชุดปลั๊กไฟในระบบได้

6.2.2. แนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

- **แหล่งจ่ายไฟ** ในส่วนของภาคจ่ายไฟได้ทำการแก้ไขปัญหาโดย ใช้แหล่งจ่ายไฟสวิทชิ่งเพาเวอร์ซัพพลายสำเร็จรูปที่มีขนาด 12 V 1 A มาใช้ และเหตุผลที่เลือกก็คือ ในวงจรชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะนั้น ส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าเป็นส่วนที่ต้องการไฟเลี้ยงวงจรมากที่สุด ซึ่งก็คือต้องการแรงดันไฟฟ้า 12 V
- **วงจรส่วนการติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า** ในส่วนนี้ได้กลับไปศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับตัวอุปกรณ์ไอซีที่ทำหน้าที่ในการจัดการสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้าให้มากขึ้น และได้พบข้อผิดพลาดบางอย่างคือ การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์นั้น บริเวณโดยรอบของตัว

ไอซี ควรจะต้องมีกราวนด์เพลน เพื่อป้องกันและลดทอนสัญญาณรบกวนที่อาจจะเกิดขึ้นและอุปกรณ์ ตัวความต้านทานและตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรนี้ควรมีค่าความคลาดเคลื่อนแค่ 1 % เท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนการออกแบบและอุปกรณ์ใหม่ทั้งหมด และผลการทดสอบหลังจากแก้ไขแล้ว พบว่าบอร์ดติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าทั้ง 2 บอร์ด สามารถติดต่อสื่อสารส่งข้อมูลระหว่างกันได้

- **การติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า** เนื่องจากในตอนแรกนั้นได้ใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีขนาด 12V 500mA แต่ตัวไอซีหลักในภาคติดต่อการสื่อสารผ่านสายไฟฟ้านั้นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการขับสัญญาณผ่านสายไฟฟ้ามากที่สุดคือ 600 mA นั่นก็หมายความว่าแหล่งจ่ายไฟชุดเดิมนั้นไม่เพียงพอต่อการขับสัญญาณนั่นเอง การแก้ไขจึงทำโดย เปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟให้สามารถจ่ายกระแสได้มากขึ้น จากเดิม 500 mA เปลี่ยนมาเป็น 1 A และได้ทำการทดสอบส่งข้อมูลอีกครั้ง พบว่าสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ระยะทางที่ไกลมากขึ้นกว่าเดิม

- **การรับส่งข้อมูลในระยะทางที่ไกลมากๆ** หลังจากที่ได้ทดสอบไปแล้ว ก็พบว่าต้นเหตุของปัญหาจริงๆแล้วไม่ได้มาจากตัวกลางการจัดการข้อมูล แต่เป็นชุดปลั๊กไฟ คือ ชุดปลั๊กไฟส่งเฟรมตอบกลับไปที่ตัวกลางแต่ตัวกลางนั้นไม่สามารถรับได้ อาจจะเนื่องมาจาก เฟรมตอบกลับที่ส่งออกไปนั้น เกิดการชนกันของข้อมูลกับเฟรมอื่นๆ หรือไม่ก็การลดทอนสัญญาณอันเนื่องมาจากระยะทางหรือสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบนั่นเอง ส่งผลให้ตัวกลางไม่ได้รับเฟรมตอบกลับ แนวทางการแก้ปัญหาคือ ได้มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการส่งเฟรมตอบกลับ จากเดิมที่เมื่อชุดปลั๊กไฟได้รับคำสั่งจากตัวกลางก็จะทำตามและส่งเฟรมตอบกลับไปยังตัวกลางเพียง 1 เฟรมเท่านั้น เปลี่ยนเป็นส่งเฟรมตอบกลับให้มากขึ้น โดยจากที่ได้ทดลอง ได้เปลี่ยนให้เป็นส่งเฟรมตอบกลับ 10 เฟรมต่อคำสั่งจากตัวกลาง และเมื่อนำไปทดสอบอีกครั้ง พบว่า ตัวกลางการจัดการข้อมูลสามารถรับเฟรมตอบกลับจากชุดปลั๊กไฟในระบบได้

6.3. แนวทางการพัฒนางานวิจัย

ชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดได้ในส่วนของการเขียนโปรแกรมเพื่อจัดการกับรูปแบบการติดต่อสื่อสารข้อมูลเพื่อให้การสื่อสารข้อมูลระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางการจัดการข้อมูลมีประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยของข้อมูลมากยิ่งขึ้น โดยส่วนที่สามารถนำไปพัฒนาต่อได้นั้น จะขออธิบายเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1. **Forward Error Correction** ทั้งชุดปลั๊กไฟและตัวกลางการจัดการข้อมูลนั้นควรจะมีความสามารถในการแก้ไขข้อมูลที่ปลายทางในกรณีของข้อมูลที่ส่งไปนั้นเกิดการผิดพลาด ทั้งนี้เพื่อลดอัตราการผิดพลาดของข้อมูลและเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบนั่นเอง

2. **เพิ่ม Data Log สำรับชุดปลั๊กไฟ** ในตอนนี้การส่งข้อมูลของชุดปลั๊กไฟนั้นจะเป็นไปในลักษณะของการส่งแบบแพร่กระจาย คือส่งทุกๆ 1 นาที การส่งด้วยวิธีนี้มีข้อเสียคือ มีการใช้ช่องสัญญาณเกือบจะตลอดเวลา ส่งผลให้เปลืองช่องสัญญาณ มีโอกาสเกิดการชนกันของข้อมูลสูง ในส่วนนี้สามารถปรับเปลี่ยนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยเปลี่ยนจากการส่งข้อมูลทุกๆ 1 นาที เป็น ให้ชุดปลั๊กไฟนั้นเก็บข้อมูลที่วัดได้ไว้ก่อน ยังไม่ต้องส่งให้กับตัวกลาง แต่จะส่งก็ต่อเมื่อมีการร้องขอจากตัวกลางการจัดการข้อมูล การส่งด้วยวิธีนี้ มีข้อดีคือ ช่วยลดโอกาสที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลได้มาก

3. **เพิ่มเฟรมตอบกลับให้กับทุกๆเฟรมข้อมูล** ถ้าทุกๆเฟรมข้อมูลจากชุดปลั๊กไฟนั้น มีการส่งเฟรมตอบกลับมาจากตัวกลาง จะส่งผลให้การทำงานของชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะนั้นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แต่ก็จะมีข้อเสียอยู่บ้างก็คือ จะมีการใช้ช่องสัญญาณมากขึ้นนั่นเอง

4. **Time Out** ในการส่งเฟรมข้อมูลของชุดปลั๊กไฟไปยังตัวกลางนั้น ที่ตัวกลางการจัดการข้อมูลควรจะมีการกำหนดเวลาสำหรับการส่งข้อมูลของชุดปลั๊กไฟ เพื่อเพิ่มความสามารถในการตรวจจับว่าชุดปลั๊กไฟในระบบนั้นยังคงสามารถเชื่อมต่อกับตัวกลางการจัดการข้อมูลอยู่หรือว่าขาดการเชื่อมต่อไปแล้ว

5. **เพิ่ม Config Button สำหรับตัวกลางการจัดการข้อมูล** การทำงานของชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะในตอนนี้นั้น การจับคู่ชุดปลั๊กไฟเข้ากับตัวกลางนั้นจะต้องมีการกดปุ่มคอนฟิกจากทางฝั่งของชุดปลั๊กไฟเพียงฝ่ายเดียว ซึ่งในกรณีนี้ ถ้าหากว่าพื้นที่ใกล้เคียงหรือบ้านข้างเคียงซื้อชุดปลั๊กไฟมาใช้ แล้วจะทำการจับคู่ชุดปลั๊กไฟ เมื่อมีการกดปุ่มคอนฟิกอาจจะมีผลทำให้ชุดปลั๊กไฟตัวนั้นมาจับคู่กับตัวกลางของบ้านอีกหลังหนึ่งได้ การแก้ไขปัญหาในกรณีนี้จึงควรมีการเพิ่มปุ่มคอนฟิกให้กับตัวกลางการจัดการข้อมูลด้วย ดังนั้นการจับคู่ระหว่างชุดปลั๊กไฟกับตัวกลางจึงต้องมีการกดปุ่มจากทั้งชุดปลั๊กไฟและจากตัวกลาง วิธีนี้ทำให้การจับคู่มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น

การพัฒนาปลั๊กไฟอัจฉริยะโดยใช้การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้านี้ สามารถนำประยุกต์ใช้ได้ในงานระบบอัจฉริยะ (Smart System) ได้ต่างๆ มากมาย เช่น ระบบตึกอัจฉริยะ (Smart Building), ระบบสำนักงานอัจฉริยะ (Smart Office), ระบบบ้านอัจฉริยะ (Smart Home) และอื่นๆ เนื่องจากระบบอัจฉริยะต่างๆ เหล่านี้ จะมีฟังก์ชั่นการทำงานที่มีความอัจฉริยะ เช่น ควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งระบบได้ ควบคุมอุณหภูมิในระบบ ควบคุมระบบแสงสว่าง แสดงผลข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของส่วนต่างๆ ในระบบ ซึ่งจะเห็นได้ว่า ชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะนี้สามารถนำไปประยุกต์ในงานเหล่านี้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. Chia-Hung Lien, H.-C.C.a.M.B., *Power Monitor and Control for Electric Home Appliances Based on Power Line Communication*, in *Instrumentation and Measurement Technology Conference* 2008, IEEE: Victoria, BC. p. 365-370.
2. Tyco Electronics UK Limited, C.I., *tyco Electronics Energy Division*, in *RS485 & Modbus Protocol Guide*. 2002. p. 35.
3. Lauber, M.Z.a.W., *Evaluation of the interference potential of in-home power line communication systems*, in *International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC)*. 2008, IEEE: Jeju city, Jeju Island. p. 263-268.
4. Wu, S.H.a.C., *An intelligent hotel room controller based on power line communication*, in *ICECC*. 2011, IEEE: Ningbo. p. 1313 - 1316.
5. Dong-Sun Kim, S.-Y.L., Kyu-Yeul Wang, Jong-Chan Choi and Duck-Jin Chung, *A Power Line Communication Modem Based on Adaptively Received Signal Detection for Networked Home Appliances.* Consumer Electronics, 2007. **53**(3): p. 864 - 870.
6. TeleCom, K.B.H.-C., *Power Line Communication*, H.S.o.L.M. Technology, Editor. 2003.
7. Downey, P.S.a.W., *A Power Line Communication Tutorial - Challenges and Technologies*.
8. Muhammad Salman Yousuf, S.Z.R.a.M.E.-S., *Power Line Communications: An Overview - Part II*, in *International Conference on Telecom Technology and Applications (ICTTA)*. 2008, IEEE: Damascus. p. 1 - 6.
9. Phase, T. *SPI Background*. 2006; Available from: http://www.totalphase.com/support/articles/200349236-SPI-Background.
10. Kaöpar, Z., *Power-Line Communication - Regulation Introduction, PL Modem Implementation and Possible Application*.
11. Microelectronics, S. *ST7540 FSK power line transceiver*. 2006 September 2006; Available from:

http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00096923.pdf.

12. Microelectronics, S. *STPM01 Programmable single phase energy metering IC with tamper detection*. 2011; Available from: http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00044094.pdf.

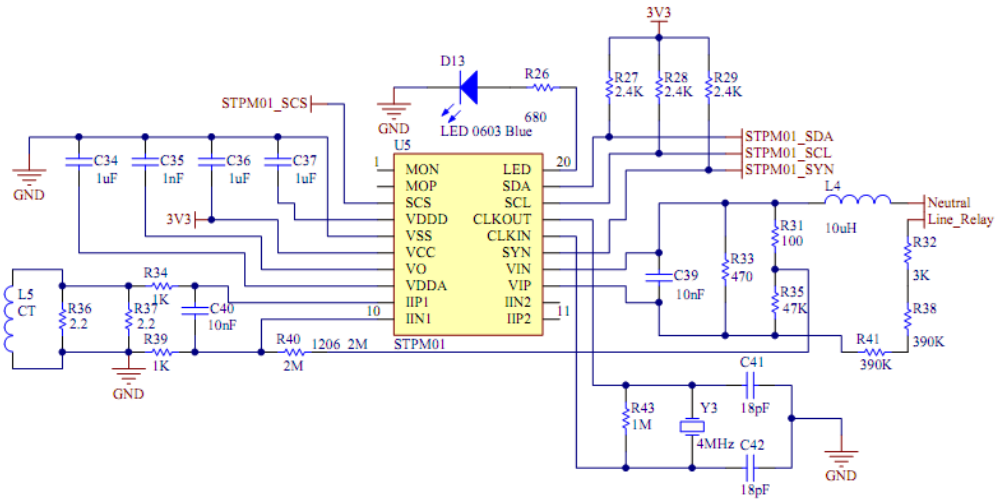
13. Microelectronics, S. *STM32L151x6/8/B, STM32L152x6/8/B Ultra-low-power 32-bit MCU ARM®-based Cortex®-M3, 128KB Flash, 16KB SRAM, 4KB EEPROM, LCD, USB, ADC, DAC*. 2015; Available from: http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00277537.pdf.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

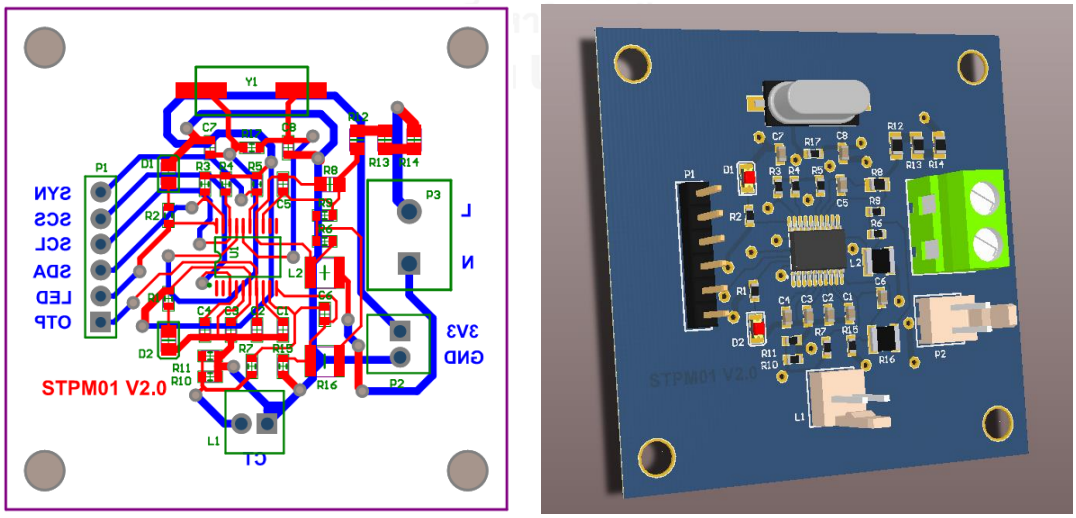
ภาคผนวก

แผนภาพวงจร แผ่นวงจรพิมพ์ และแบบจำลองแผ่นวงจรพิมพ์ 3 มิติ ของชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะ

1. <u>ส่วนวัดพลังงาน (Energy Measurement part)</u>

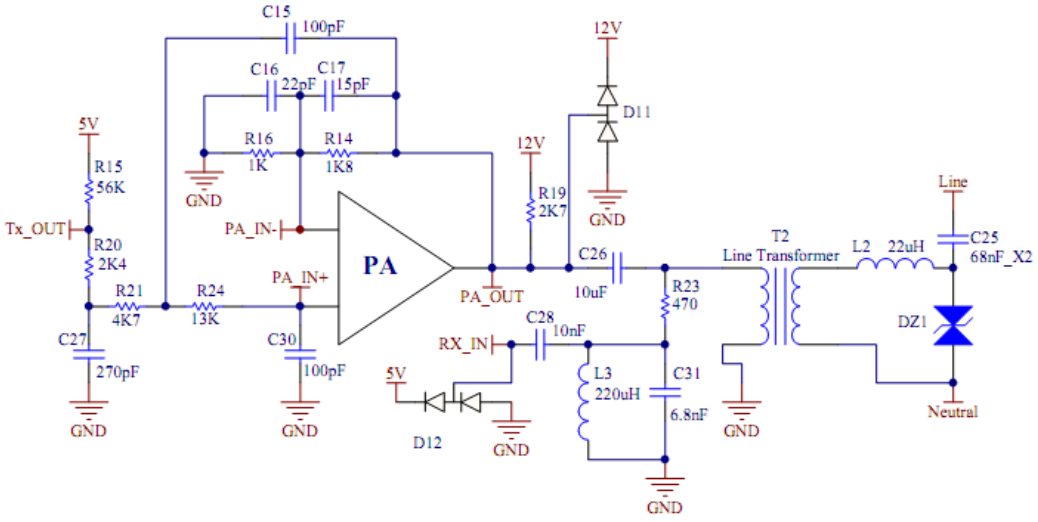


รูป 1 วงจรส่วนวัดพลังงาน

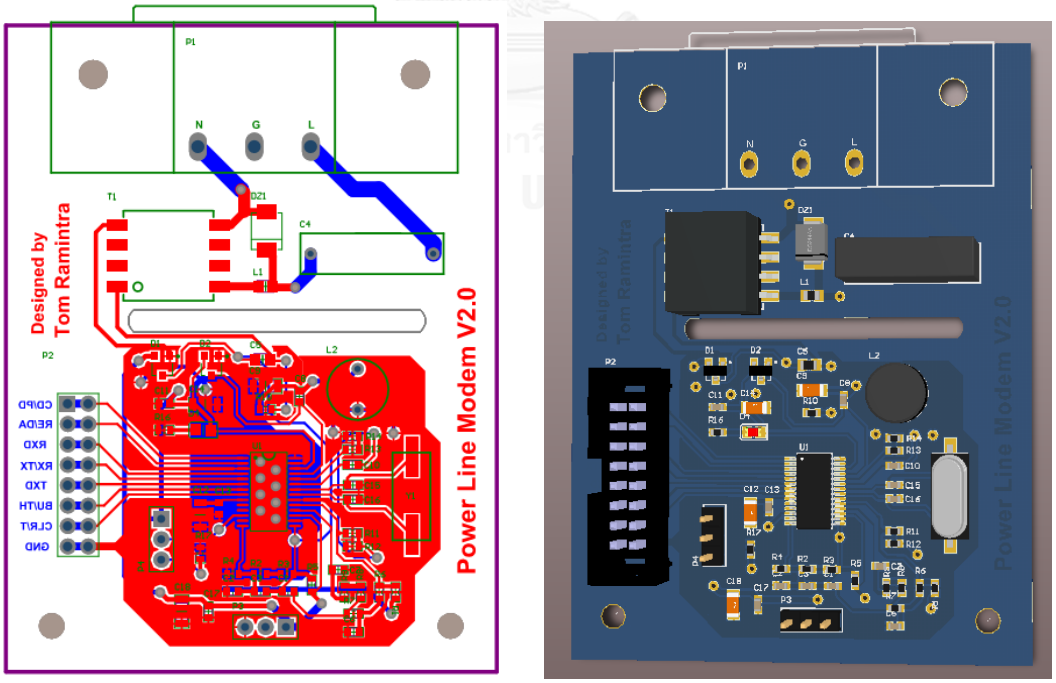


รูป 2 ตัวอย่างต้นแบบแผ่นวงจรพิมพ์ 3 มิติของส่วนวัดพลังงาน

2. ส่วนติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า (Power line communication part)

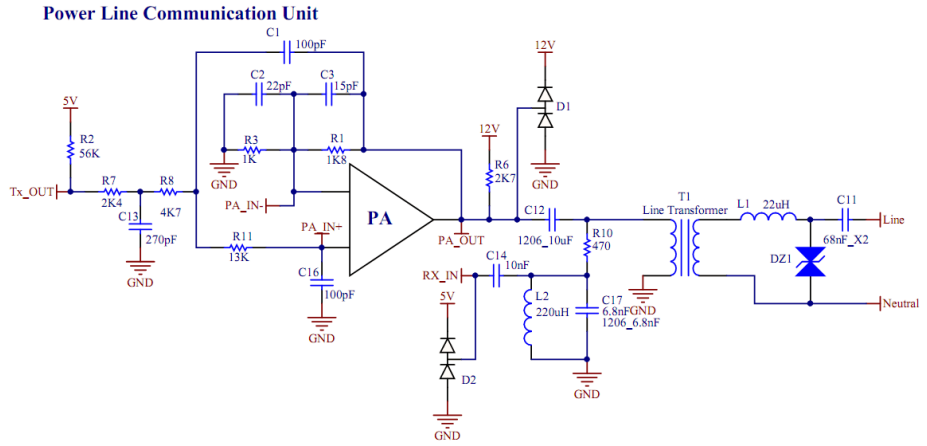


รูป 3 วงจรส่วนติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า

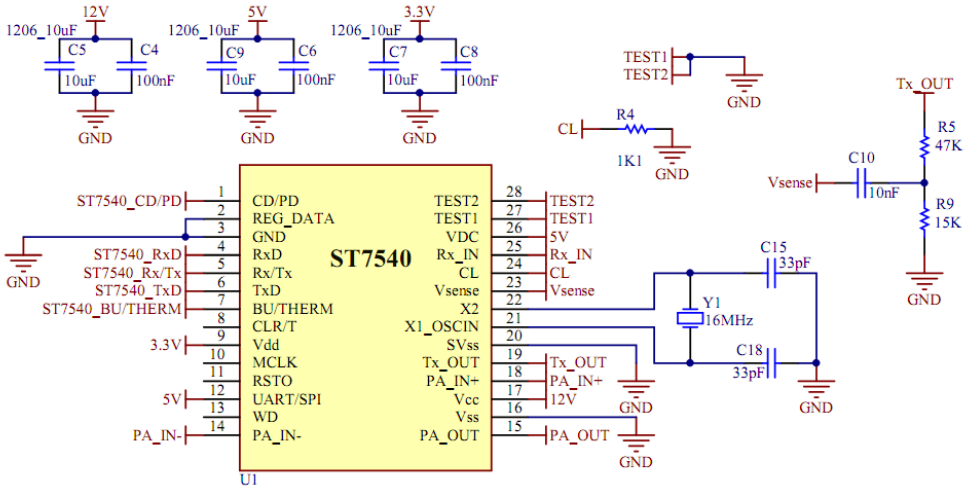


รูป 4 ตัวอย่างต้นแบบแผ่นวงจรพิมพ์ 3 มิติของส่วนติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า

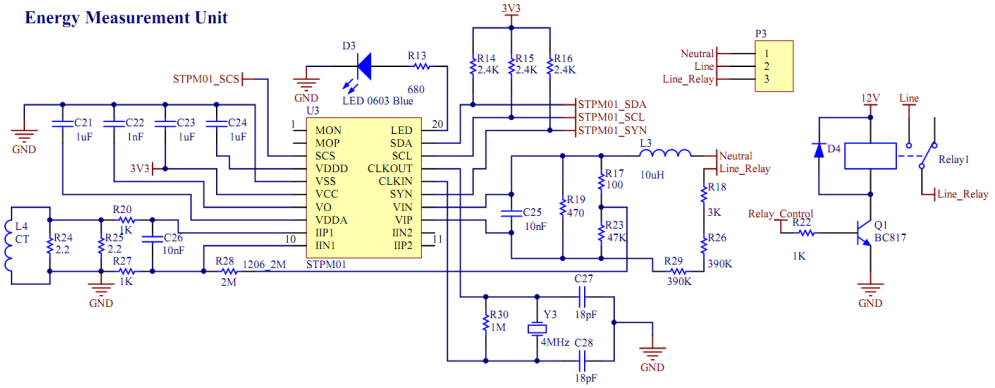
3. ชุดปลั๊กไฟอัจฉริยะ (Smart plugs)



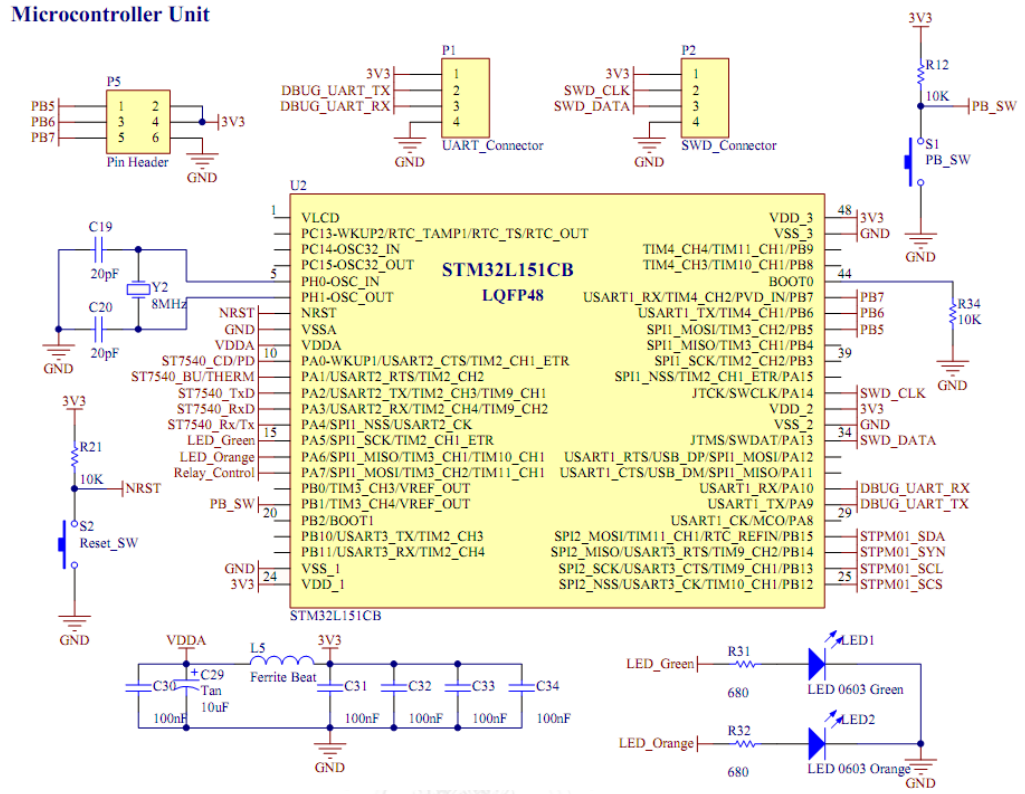
รูป 5 วงจรส่วนติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าในชุดปลั๊กไฟ



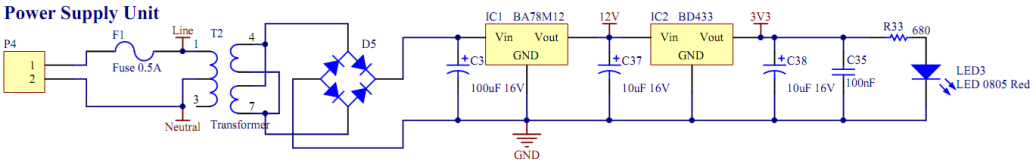
รูป 6 วงจรส่วนติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าในชุดปลั๊กไฟ (1)



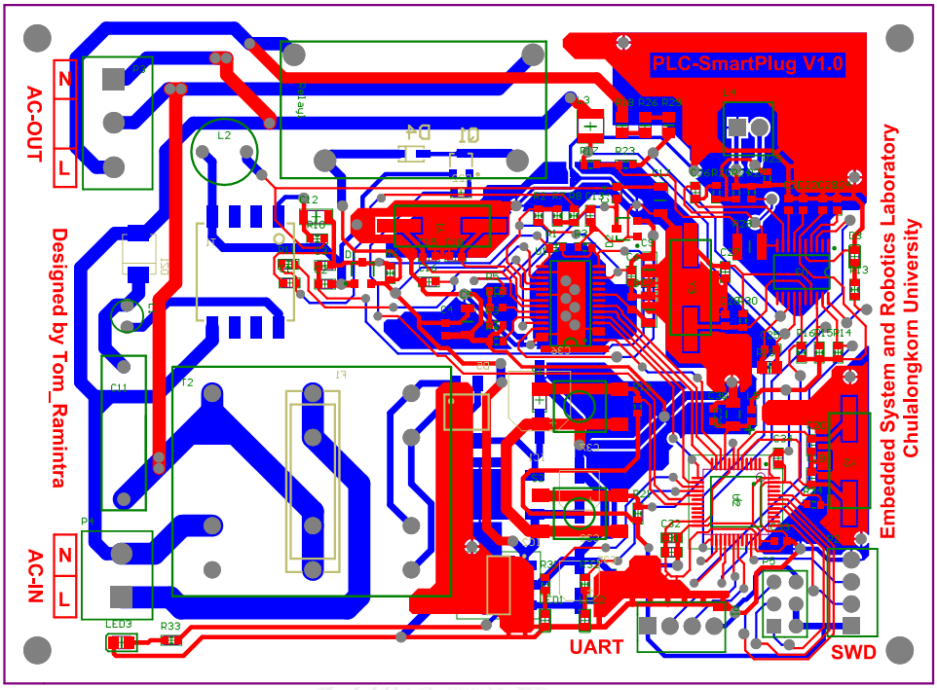
รูป 7 วงจรส่วนวัดพลังงานในชุดปลั๊กไฟ



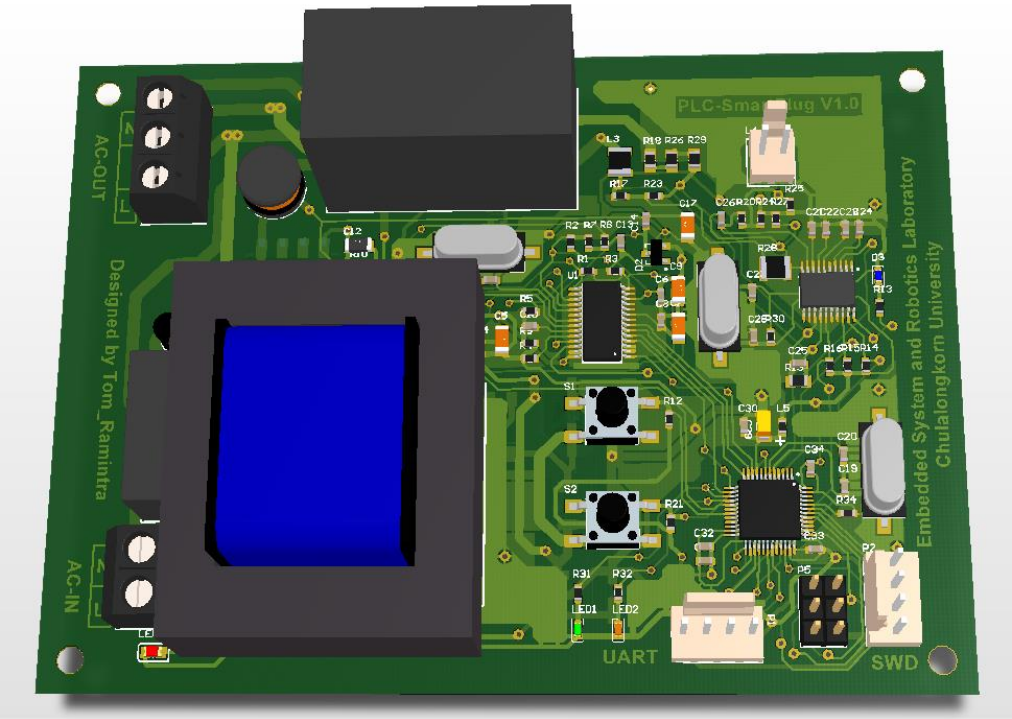
รูป 8 วงจรส่วนการจัดการและประมวลผลในชุดปลั๊กไฟ



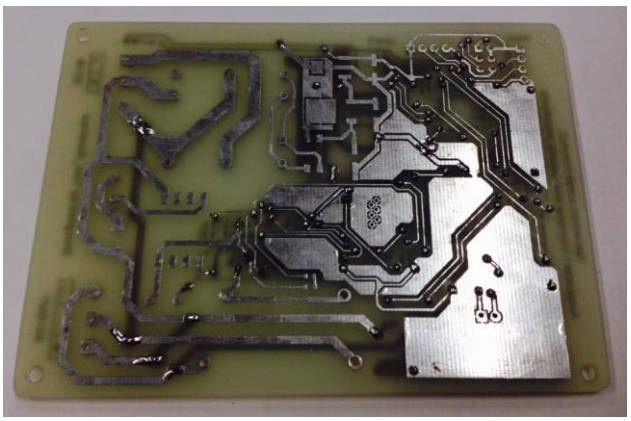
รูป 9 วงจรส่วนจ่ายไฟในชุดปลั๊กไฟ



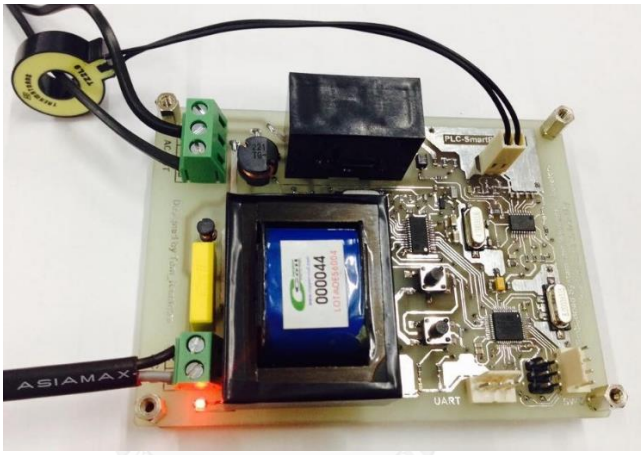
รูป 10 ตัวอย่างแผ่นวงจรพิมพ์ชุดปลั๊กไฟ



รูป 11 ตัวอย่างแผ่นวงจรพิมพ์ 3 มิติของชุดปลั๊กไฟ



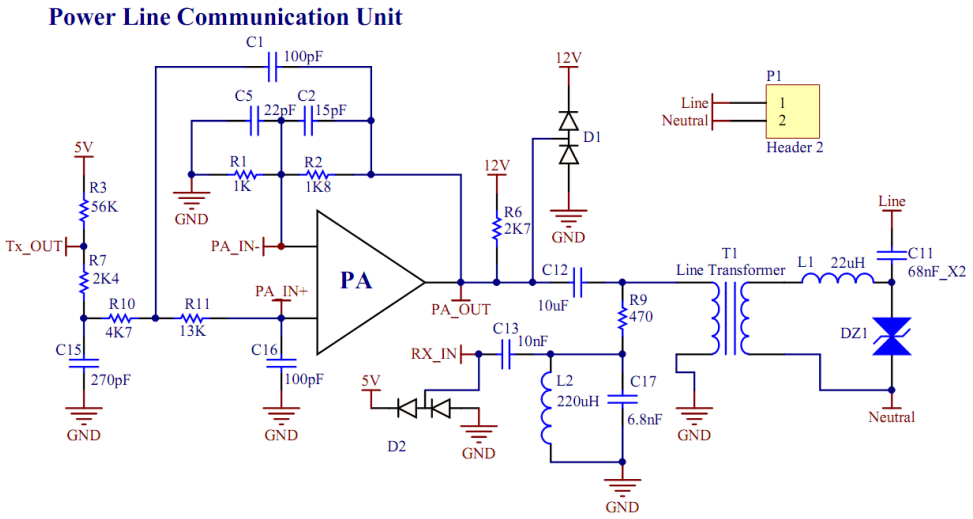
รูป 12 แผ่นวงจรพิมพ์ชุดปลั๊กไฟ



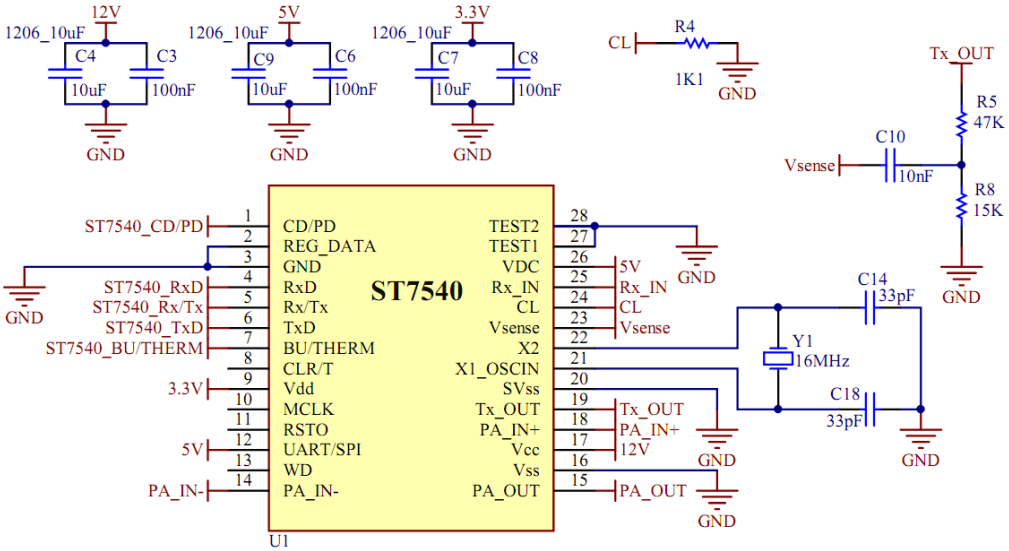
รูป 13 ชิ้นงานจริงของชุดปลั๊กไฟ

รูป 14 ชุดปลั๊กไฟขณะต่อใช้งาน

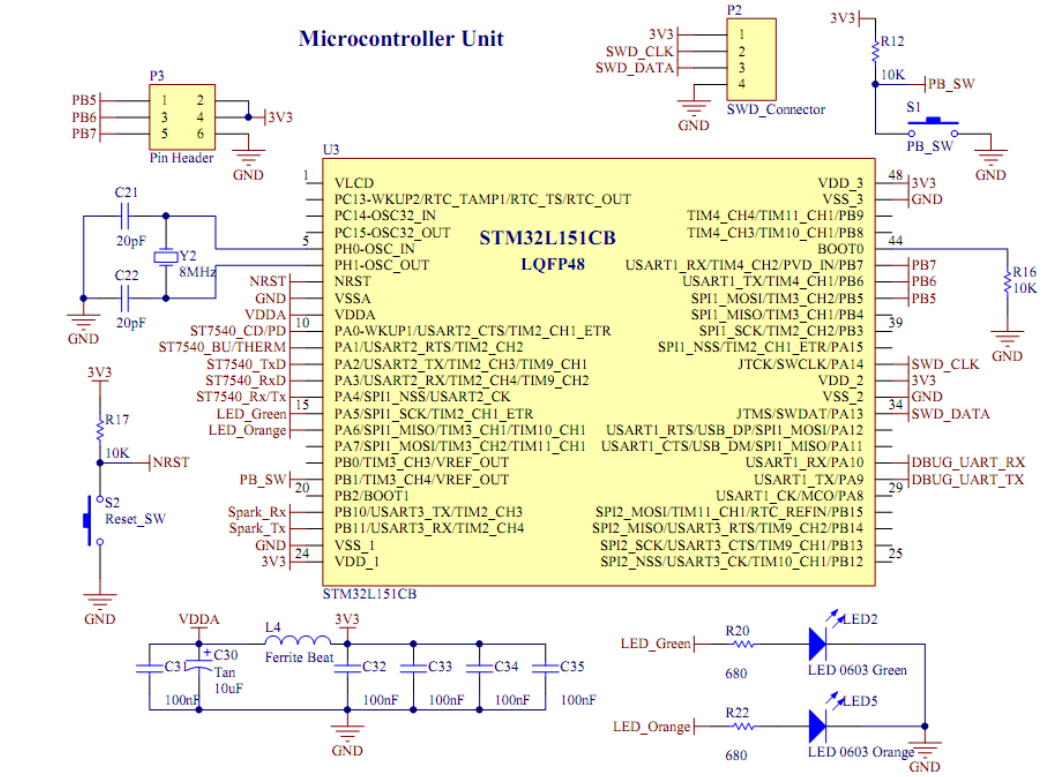
4. ตัวกลางการจัดการข้อมูล (Data Concentrator)



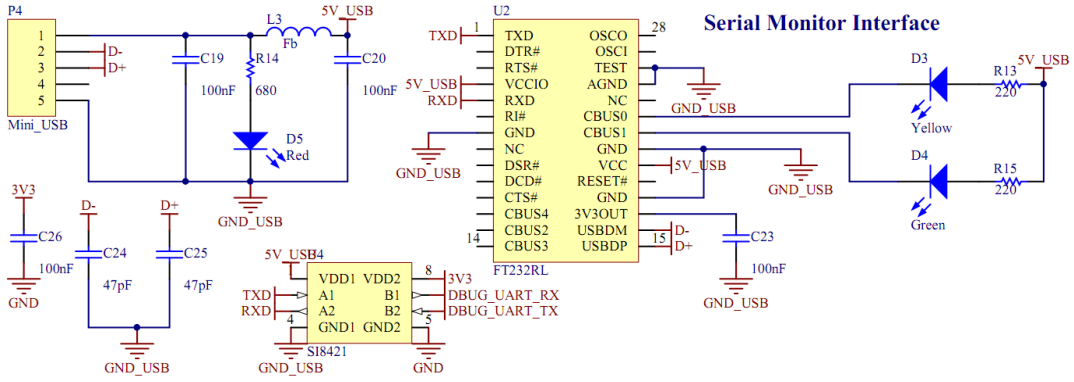
รูป 15 วงจรส่วนติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าของตัวกลางการจัดการข้อมูล



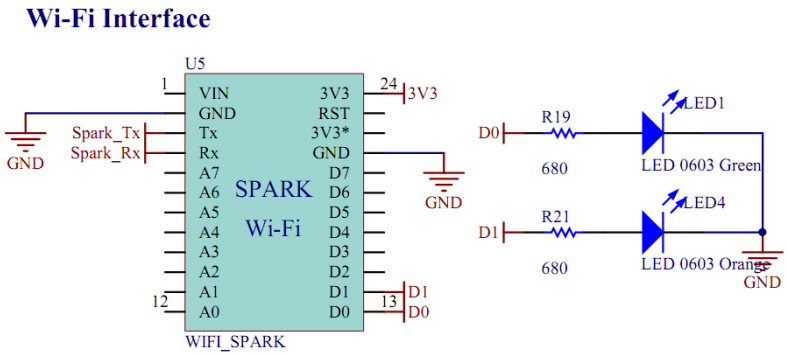
รูป 16 วงจรส่วนติดต่อสื่อสารผ่านสายไฟฟ้าของตัวกลางการจัดการข้อมูล (1)



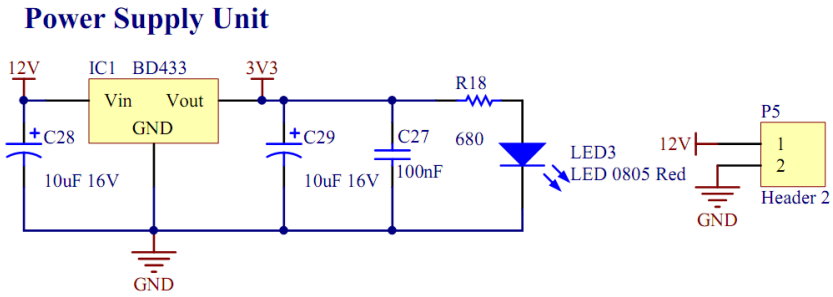
รูป 17 วงจรส่วนการจัดการและประมวลผลของตัวกลางการจัดการข้อมูล



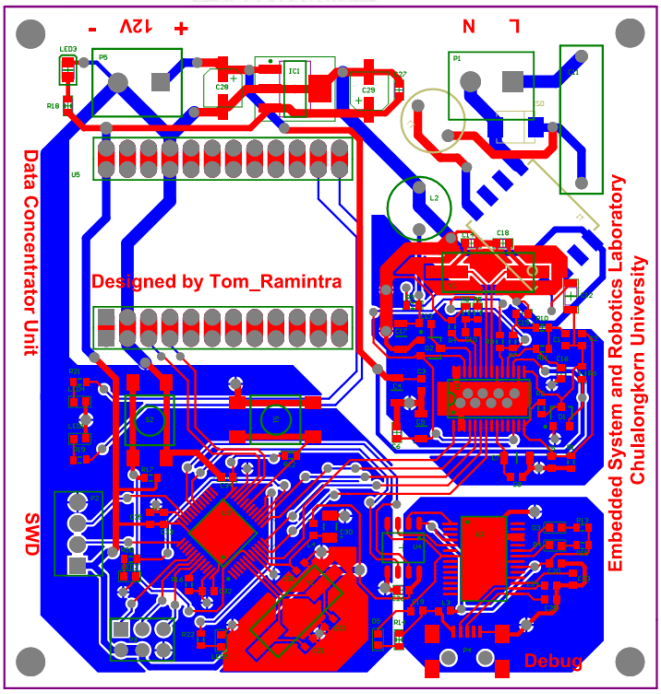
รูป 18 วงจรส่วนติดต่อสื่อสารกับหน้าจออินเตอร์เฟสของตัวกลางการจัดการข้อมูล



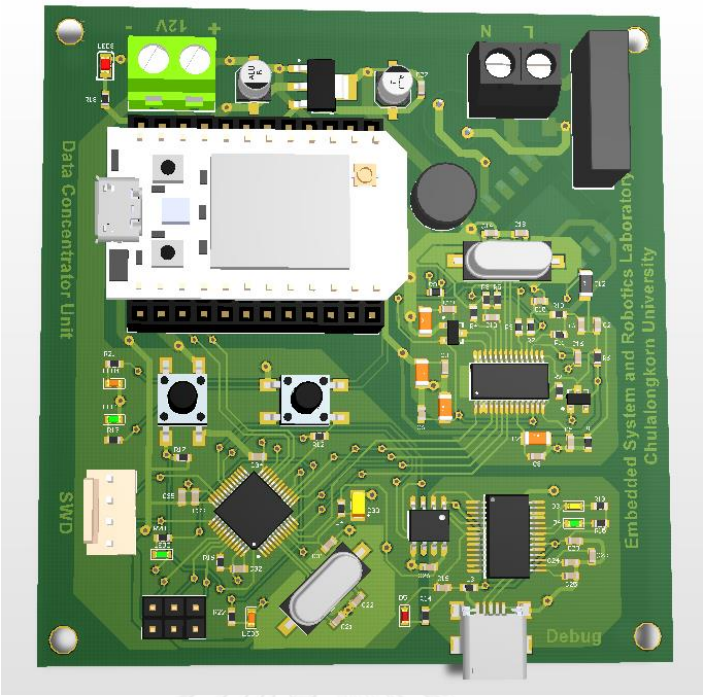
รูป 19 วงจรส่วนติดต่อสื่อสารไร้สายของตัวกลางการจัดการข้อมูล



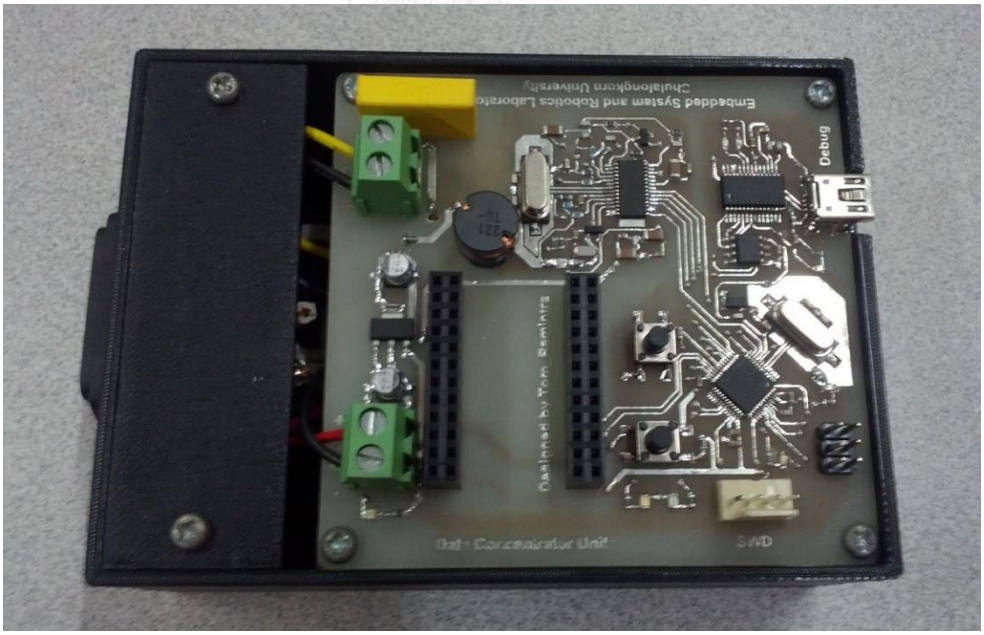
รูป 20 วงจรส่วนจ่ายไฟของตัวกลางการจัดการข้อมูล



รูป 21 ตัวอย่างแผ่นวงจรพิมพ์ของตัวกลางการจัดการข้อมูล



รูป 22 ตัวอย่างแผ่นวงจรพิมพ์ 3 มิติของตัวกลางการจัดการข้อมูล



รูป 23 ชิ้นงานจริงของตัวกลางการจัดการข้อมูล

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายนฤพนธ์ ศรีเหรา เกิดเมื่อวันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือในปีการศึกษา 2554 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สังกัดห้องปฏิบัติการวิจัยระบบสมองกลฝังตัวและหุ่นยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University