

ปลั๊กอัจฉริยะแบบไวไฟที่มีฟังก์ชันเปิดปิดและวัดพลังงาน



นางสาวเยาวลักษณ์ ทองขาว

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 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Wi-Fi Smart Plug with On-off and Energy Metering Functions

Miss Yaowaluk Thongkhao



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 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ปลั๊กอัจฉริยะแบบไวไฟที่มีฟังก์ชันเปิดปิดและวัดพลังงาน

โดย

นางสาวเยาวลักษณ์ ทองขาว

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปรา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรีย์ พุ่มรินทร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปรา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย ลีลาวัศม์)

เยาวลักษณ์ ทองขาว : ปลั๊กอัจฉริยะแบบไวไฟที่มีฟังก์ชันเปิดปิดและวัดพลังงาน (A Wi-Fi Smart Plug with On-off and Energy Metering Functions) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
 หลัก: ผศ. ดร. วันเฉลิม โปราญ, 54 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการพัฒนาปลั๊กอัจฉริยะซึ่งสามารถควบคุมการเปิด-ปิด และ
 ตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องไฟฟ้าได้ ทั้งนี้ได้พัฒนาเว็บแอปเพื่อใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้
 กับปลั๊กอัจฉริยะซึ่งผู้ใช้สามารถควบคุม และตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ทุก ๆ พื้นที่ที่มี
 อินเทอร์เน็ต โดยผ่านสมาร์ทโฟน ไอแพด หรือคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ปลั๊กอัจฉริยะในวิทยานิพนธ์นี้ได้
 ใช้ NodeMCU V2 เป็นไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมระบบของปลั๊กอัจฉริยะทั้งหมด และเลือกใช้แลท
 ซิ่งรีเลย์ชนิดหนึ่งขดลวดในการช่วยเปิดปิดการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า และการทดสอบความ
 แม่นยำการทำงานของปลั๊กอัจฉริยะโดยเปรียบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานอ้างอิงซึ่งจะได้ค่าความ
 ผิดพลาดหลังเปรียบเทียบน้อยกว่า 0.5% และนอกจากนี้ยังมีการวัดการใช้พลังงานพลังงานของ
 หลอดไฟอีกด้วย



ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

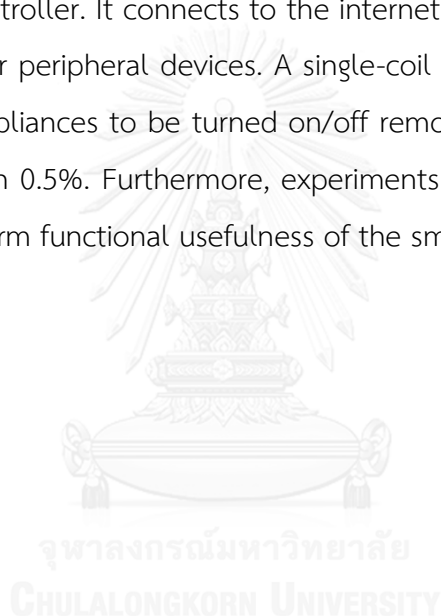
ปีการศึกษา 2558

5770279321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: SMART PLUG, ENERGY METER, WEPAPP, 54 CONTROL

YAOWALUK THONGKHAO: A Wi-Fi Smart Plug with On-off and Energy Metering Functions. ADVISOR: ASST. PROF. WANCHALERM PORA, Ph.D., pp.

This thesis presents development of a Wi-Fi smart plug with on-off and energy metering functions. Moreover, a Web App is developed so that users can communicate with the smart plug via smart phones, tablets or computers, from anywhere that has access to the internet. The smart plug employs the NodeMCU V2 board as its main controller. It connects to the internet with its built-in Wi-Fi module and controls all other peripheral devices. A single-coil latching relay within the plug allows connected appliances to be turned on/off remotely. Its energy metering part has an error less than 0.5%. Furthermore, experiments on some appliances such as electrical lamps confirm functional usefulness of the smart plug.



Department: Electrical Engineering

Student's Signature

Field of Study: Electrical Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันเฉลิม โปรา อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา

ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุรีย์ พุ่มรินทร์ ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์และรองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย ลีลาธรรม กรรมการวิทยานิพนธ์ที่ท่านได้กรุณาชี้แนะแนวทางและคำแนะนำ ตลอดจนข้อสังเกตต่าง ๆ ทำให้ผู้เขียนได้พัฒนาแนวความคิดและไตร่ตรองปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างรอบคอบมากยิ่งขึ้นจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากพี่สราวุฒิ เดชจรัสโยธิน พี่ปิยวรรณ มะธิปิไซ และขอขอบคุณความช่วยเหลือที่ดีจากเพื่อน ศรัณยู ชมภูพล กฤษดินท์ กมลพัฒนะ และเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ในแลป ESID ทุก ๆ คน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณพ่อว่าที่ ทองขาว คุณแม่จිරนันท์ ทองขาว และน้องชาย ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 ทบทวนวรรณกรรม.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 การวัดพลังงาน (Energy Meter).....	5
2.1.1 เซนเซอร์วัดกระแส (Current sensors).....	5
2.1.1.1 หม้อแปลงกระแส (Current transformer, CT).....	5
2.1.1.2 ชั้นรีซิสเตอร์ หรือตัวต้านทานวัดกระแส (Shunt resistor, R Shunt)	6
2.1.2 การติดต่อสื่อสารในการวัดพลังงาน	7
2.1.3 การคำนวณค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor, PF).....	7
2.2 รีเลย์ (Relay circuit)	8
2.2.1 แลทซ์รีเลย์แบบขดลวดเหนี่ยวนำ 1 ชุด.....	8
2.2.2 แลทซ์รีเลย์แบบขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ชุด.....	9

2.3 การสื่อสาร (Communication)	9
2.3.1 โพรโทคอลที่ซีพี/ไอพี (Transmission Control Protocol /Internet Protocol, TCP/IP protocols).....	9
2.3.2 เทคนิคเอแจ็กซ์.....	11
2.3.4 เทคนิคของการส่งต่อพอร์ต (Port forwarding).....	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการของงานวิจัย	13
3.1 แผนภาพระบบของงานวิจัย	13
3.2 ระบบฮาร์ดแวร์ของงานวิจัย.....	14
3.2.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัย	15
3.2.1.1 NodeMCU V2 (ESP8266 -12E).....	15
3.2.1.2 ESP-WROOM02 (ESP8266-EX)	16
3.2.1.3 WeMos D1 mini (ESP8266-12F)	17
3.2.1.4 แนะนำไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์ EMW3165	19
3.2.2 วงจรวัดพลังงาน (Energy Meter)	20
3.2.3 วงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่า (Voltage Quadruple circuit).....	23
3.2.4 วงจรรีเลย์ (Relay circuit).....	24
3.2.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 3.3 โวลต์ (3.3 V Power supply)	25
3.3 ระบบซอฟต์แวร์ของงานวิจัย	27
3.3.1 ซอฟต์แวร์ของวัดการใช้พลังงาน.....	27
3.3.2 ซอฟต์แวร์ของเว็บแอปพลิเคชัน	28
3.3.2.1 ผังงานของกระบวนการเชื่อมต่อปลั๊กอัจฉริยะในการทำงาน	29
3.3.2.2 ผังงานของกระบวนการเข้าถึงปลั๊กอัจฉริยะหลังจากการเชื่อมต่อไวไฟ	30
3.3.2.3 ผังงานของกระบวนการตั้งค่าเพื่อเชื่อมต่อปลั๊กอัจฉริยะจากภายนอก.....	31

3.4 ประกอบปลั๊กอัจฉริยะ	33
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	35
4.1 การทดสอบ	35
4.1.1 การทดสอบบอร์ดไวไฟไมโครคอนโทรเลอร์	35
4.1.2 การทดสอบเพื่อวัดหลอดไฟขนาด 60 วัตต์.....	36
4.1.3 การทดสอบด้วย CAL-SOURE 200	36
4.1.4 การทดลองการใช้พลังงานของปลั๊กอัจฉริยะ	38
4.2 ผลการทดลอง.....	39
4.2.1 ผลการทดสอบบอร์ดไวไฟไมโครคอนโทรเลอร์.....	39
4.2.2 ผลการทดสอบของการทดสอบเพื่อวัดหลอดไฟขนาด 60 วัตต์.....	40
4.2.3 ผลการทดสอบของการทดสอบด้วย CAL-SOURE 200.....	43
4.2.4 ผลการทดลองการวัดการใช้พลังงานของปลั๊กอัจฉริยะ	45
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัย	48
5.1 สรุปผล	48
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	48
รายการอ้างอิง	49
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	54

สารบัญรูป

รูปที่ 1 หม้อแปลงแบบวัดกระแส (current transformer metering).....	6
รูปที่ 2 หม้อแปลงกระแสแบบป้องกัน (protective current transformer) [4].....	6
รูปที่ 3 วงจรเบื้องต้น การวัดกระแสโดยใช้ R Shunt [5].....	6
รูปที่ 4 การติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม (SPI) ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับสลาฟ.....	7
รูปที่ 5 ตัวอย่างโครงสร้างรีเลย์ชนิดแลทชิ่งรีเลย์แบบขดลวดเหนี่ยวนำ 1 ชุดและแลทชิ่งรีเลย์ แบบขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ชุด [8]	9
รูปที่ 6 แผนภาพการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันแบบซิงโครนัส และอะซิงโครนัส [10].....	12
รูปที่ 7 การติดต่อจากภายนอกไปยังอุปกรณ์ภายในหลังเราเตอร์ที่หมายเลขพอร์ตเดียวกัน [12].....	12
รูปที่ 8 แผนภาพระบบของงานวิจัย.....	13
รูปที่ 9 แผนภาพของระบบฮาร์ดแวร์.....	14
รูปที่ 10 การสื่อสารแบบอนุกรม (SPI) ระหว่าง MCU กับวงจรวัดพลังงาน	15
รูปที่ 11 บอร์ด NodeMCU V2 (ESP8266 -12E) [13]	16
รูปที่ 12 บอร์ด ESP-WROOM02 (ESP8266-EX) [14].....	17
รูปที่ 13 บอร์ด WeMos D1 mini (ESP8266-12F) [16]	18
รูปที่ 14 ไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์ EMW3165 [17].....	20
รูปที่ 15 แผนที่บันทึกข้อมูลของ STPM01 [18].....	21
รูปที่ 16 วงจรวัดพลังงาน (Energy Meter)	22
รูปที่ 17 วงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่า	23
รูปที่ 18 แลทชิ่งรีเลย์ (Latching Relay).....	24
รูปที่ 19 วงจรขั้วรีเลย์ (Relay Circuit).....	25
รูปที่ 20 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 3.3 โวลต์.....	26
รูปที่ 21 ผังงานการเขียนซอฟต์แวร์ของการวัดพลังงาน	27

รูปที่ 22	ผังงานของกระบวนการเชื่อมต่อปลั๊กอัจฉริยะ	29
รูปที่ 23	ผังงานของกระบวนการเข้าถึงปลั๊กอัจฉริยะหลังจากการเชื่อมต่อไวไฟ	30
รูปที่ 24	ผังงานของกระบวนการตั้งค่าเพื่อเชื่อมต่อปลั๊กอัจฉริยะจากภายนอก	31
รูปที่ 25	การส่งต่อพอร์ต (Port forwarding).....	32
รูปที่ 26	การตั้งค่าการส่งต่อพอร์ต (Port forwarding) ของเราเตอร์รุ่น xiaomi mini Wi-Fi	33
รูปที่ 27	บรรจุปลั๊กอัจฉริยะ (Packaging Smart Plug) ในปลั๊กไฟ.....	33
รูปที่ 28	ปลั๊กอัจฉริยะ (Smart Plug) ในงานวิจัยนี้	34
รูปที่ 29	WeMos D1 mini (ESP8266-12F).....	35
รูปที่ 30	หลอดไฟใช้แรงดัน 220-240 โวลต์, 60 วัตต์	36
รูปที่ 31	หน้าจอของ CAL-SOURE 200.....	37
รูปที่ 32	เครื่องวัดพลังงานอ้างอิง (PSR 1.3 reference meter) เลือกใช้ช่อง L3 เท่านั้น	37
รูปที่ 33	การเชื่อมต่อปลั๊กอัจฉริยะ 3 ตัว เพื่อเป็นโหลด	38
รูปที่ 34	แสดงการเชื่อมต่อ “Wi-Fi SMAERT PLUG”	40
รูปที่ 35	หน้าแรกก่อนตั้งค่าไวไฟ (Wi-Fi setting).....	40
รูปที่ 36	เลือก AP ที่ต้องการเข้าถึง (Access point setting)	41
รูปที่ 37	หน้าสถานะปลั๊กอัจฉริยะปิด (Switch off) การทำงาน	42
รูปที่ 38	หน้าสถานะปลั๊กอัจฉริยะเปิด (Switch on) การทำงาน	42
รูปที่ 39	หลอดไฟสว่างหลังจาก on Switch บนเว็บแอปพลิเคชัน	43
รูปที่ 40	กราฟของผลเปรียบเทียบของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	44
รูปที่ 41	กราฟของผลเปรียบเทียบของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ	44
รูปที่ 42	กราฟของผลเปรียบเทียบของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยไฟฟ้ากระแสสลับ	45
รูปที่ 43	กราฟของผลเปรียบเทียบของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	45
รูปที่ 44	ค่าพลังงานของปลั๊กอัจฉริยะ 3 ตัว	46

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 การทดสอบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการเชื่อมต่อเครือข่ายไวไฟและวัด พลังงานของแต่ละรุ่น.....	39
--	----



ทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันทางด้านตลาดการจัดจำหน่ายเครื่องใช้ไฟฟ้ามีการแข่งขันกันสูงจึงส่งผลทำให้ผู้ประกอบการหลายๆแห่งพยายามที่จะนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามามีบทบาทเพื่อเติมแต่งให้เครื่องใช้ไฟฟ้ามีความน่าสนใจมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อสร้างจุดเด่นให้กับสินค้า และแรงจูงใจให้กับผู้บริโภค แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความสามารถสูง หรือสามารถทำอะไรได้หลายอย่าง ทั้งนี้ก็ ย่อมมีราคาของสินค้า ที่สูงตามไปด้วย ยกตัวอย่าง เช่น โทรทัศน์อัจฉริยะ (Smart TV) สำหรับทีวีอัจฉริยะจะสามารถเชื่อมต่อ เข้ากับอินเทอร์เน็ตได้ และสามารถเล่นอินเทอร์เน็ตบนทีวีได้ ซึ่งทีวีอัจฉริยะมีราคาแพง มากกว่า ทีวีธรรมดาสองถึงสามเท่าของทีวีธรรมดา ทั้งนี้นับเป็นสิ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะอินเทอร์เน็ตกลายเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันของมนุษย์ส่วนใหญ่ไปแล้ว

การติดต่อสื่อสารกันในปัจจุบันนี้สามารถทำได้ง่ายโดยผ่านช่องทางเครือข่ายที่เรียกว่า อินเทอร์เน็ต และสามารถค้นหาข้อมูลที่ต้องการ หรือสนใจได้ ปัจจุบันนี้การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตสามารถใช้สมาร์ตโฟน, ไอแพดหรือ แลปท็อปเป็นการเชื่อมต่อในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบไร้สาย (Wi-Fi) และเครื่องใช้ไฟฟ้าก็สามารถทำได้เช่นกันเครื่องใช้ไฟฟ้าในยุคปัจจุบันได้นำเทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายโดยประยุกต์ใช้ควบคู่กันกับการใช้เทคโนโลยีของมนุษย์ โดยอย่างยิ่ง สมาร์ตโฟน ปัจจุบันนี้คงปฏิเสธไม่ได้ว่า สมาร์ตโฟน ที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตอย่างมากจนแทบจะกลายเป็นปัจจัยหนึ่งในการดำรงชีวิตมนุษย์ไปแล้ว ดังนั้น ทางผู้ประกอบการเครื่องใช้ไฟฟ้าก็สร้างแรงจูงใจให้แก่ผู้บริโภคโดยสร้างเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ต แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นก็คือ ถ้าบ้านหนึ่งหลัง ต้องซื้อเครื่องใช้แบบนี้ทั้งหมดคงเป็นการสิ้นเปลืองเป็นอย่างมาก เนื่องด้วยราคาของเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทนี้มีราคาแพงมากกว่าเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบธรรมดา ดังนั้น จึงมีเทคโนโลยี หรืออุปกรณ์ที่เรียกว่า ปลั๊กอัจฉริยะ (Smart Plug) เพื่อช่วยในควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายภายในอาคาร หรือบ้านเรือนผ่านทางสมาร์ตโฟน หรืออุปกรณ์สื่อสารซึ่งเชื่อมต่อในเครือข่ายเดียวกัน

ปลั๊กอัจฉริยะเป็นอุปกรณ์ที่เป็นตัวกลางเชื่อมระหว่างผู้ใช้กับอุปกรณ์ ไฟฟ้าผ่านทางเครือข่าย อินเทอร์เน็ต เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ประกอบด้วย หลอดไฟ, ไมโครเวฟ, กาต้มน้ำไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งนั่นจะหมายความว่า เราไม่จำเป็นต้องซื้อเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีราคาแพงกว่าเดิม ดังนั้น เรา

สามารถใช้ปลั๊กอัจฉริยะแทนเพื่อควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางอินเทอร์เน็ต ปลั๊กอัจฉริยะมีราคาถูก และสามารถเข้ากับเครื่องไฟฟ้าได้หลายชนิด ดังนั้นการศึกษาเรื่องปลั๊กอัจฉริยะจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่จะสามารถพัฒนา และนำใช้งานได้จริงในอนาคตอันใกล้

ในงานวิจัยฉบับนี้นำเสนอปลั๊กอัจฉริยะที่สามารถควบคุมการทำงานแบบไร้สาย (Wi-Fi) และสามารถตรวจดูการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าบนเว็บเซิร์ฟเวอร์ (Webserver) ได้ตลอดเวลาผ่านทางสมาร์ทโฟน, แลปท็อป หรือไอแพด สำหรับปลั๊กอัจฉริยะในงานวิจัยนี้เน้นการออกแบบให้ใช้พลังงานต่ำโดยใช้ NodeMCUV2 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์, STPM01 เป็นชิปวัดพลังงาน, วงจรขั้วรีเลย์ 12 V และวงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่า สำหรับวงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่าสามารถเพิ่มจำนวนแรงดันไฟฟ้าขาเข้าเป็นแรงดันขาออกได้ประมาณสี่เท่าเพื่อนำแรงดันไฟฟ้านี้ไปขั้วรีเลย์ 12 V ดังนั้น ผลที่ได้ของวงจรนี้ก็คือ จะได้แรงดันไฟฟ้าสูง กระแสในวงจรที่ต่ำ และส่งผลทำให้ วงจรขั้วรีเลย์มีกระแสที่ต่ำด้วย และทำให้ปลั๊กอัจฉริยะในงานวิจัยนี้ เกิดการสูญเสียพลังงานที่น้อยในการใช้งานในแต่ละครั้งของอุปกรณ์

1.2 ทบทวนวรรณกรรม

1.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเรื่อง “การเก็บข้อมูล และควบคุมการใช้แอนดรอยด์บนฮาร์ดแวร์ (Arduino) ในรูปแบบของปลั๊กอัจฉริยะ” งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการพัฒนาปลั๊กอัจฉริยะให้ระบบการตรวจดูค่าการใช้พลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาจริง (real time) โดยงานวิจัยนี้ใช้ฮาร์ดแวร์ ATmega328 (Arduino ATmega328) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ , ENC28J60 เป็นโมดูล Ethernet และใช้หม้อแปลงกระแส (Current transformer) เป็นตัวตรวจจับ ผู้ใช้สามารถติดต่อสื่อสารกับปลั๊กอัจฉริยะผ่านแอนดรอยด์ และข้อมูลของพลังงานจะถูกอัปโหลดบนเว็บเซิร์ฟเวอร์โดยการสื่อสารแบบอีเทอร์เน็ต (Ethernet) สำหรับผลของงานวิจัยนี้คือปลั๊กอัจฉริยะสามารถตรวจดูการใช้พลังงานในระยะไกลโดยการใช้แอนดรอยด์บนฮาร์ดแวร์ สำหรับข้อเสียของงานวิจัยนี้คือผู้ใช้สามารถติดต่อสื่อสารกับปลั๊กอัจฉริยะบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เท่านั้นซึ่งมันจะมีข้อจำกัดในการใช้งานโดยไม่สามารถควบคุมหรือตรวจดูการใช้พลังงานกับระบบปฏิบัติการอื่นได้เลย [1]

1.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเรื่อง “ปลั๊กอัจฉริยะสำหรับระบบการจัดการพลังงานในอาคาร” งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับปลั๊กอัจฉริยะที่มีลักษณะวัดค่าการบริโภคพลังงาน และตระหนักถึงชนิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า นอกจากนี้ช่วยให้กรอบควบคุมระบบภายในบ้านโดยการตรวจดู และควบคุมการบริโภคพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากนั้นมีการวิเคราะห์การบริโภคพลังงานของบ้านตัวอย่าง โดยวิเคราะห์จะทำก่อน และหลังการติดตั้งปลั๊กอัจฉริยะซึ่งการวิเคราะห์นี้จะอยู่ในสถานการณ์ที่สมมุติให้

สำหรับผลการนำเสนอของงานวิจัยนี้ คือ ส่งผลเป็นไปในทางที่ดีกว่าเดิมของการใช้ปลั๊กอัจฉริยะสำหรับอัตราการบริโภคพลังงานโดยเฉพาะอย่างช้าวมองการบริโภคพลังงานที่สูง [2] สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ RS-485 ในการติดต่อสื่อสาร และระบบการจัดการพลังงานที่ใช้ติดต่อกับผู้ใช้งาน (GUI) โดยพัฒนาบนแลปวิว (LabVIEW) ข้อเสียของงานวิจัยนี้ก็คือความสะดวกในการติดต่อสื่อสารระหว่างโปรแกรมการใช้งาน (Application) กับการใช้งานที่ต้องผ่านหน้าจอกอมพิวเตอร์ตลอดเวลาซึ่งอาจจะไม่สะดวกที่ต้องอยู่หน้าจอกอมพิวเตอร์ในทุก ๆ ครั้ง

ดังนั้น งานวิจัยในฉบับนี้ได้มีการพัฒนาปลั๊กอัจฉริยะให้สามารถติดต่อสื่อสารแบบไร้สายได้ทั้งระบบปฏิบัติการโอเอส (OS) และแอนดรอยด์โดยสามารถใช้กับ สมาร์ทโฟน, ไอแพด, หรือแล็ปท็อปได้ในเครือข่ายเดียวกัน และนอกจากนี้ยังควบคุมการเปิดปิด และแสดงค่าวัตพลังงานของปลั๊กอัจฉริยะบนเว็บแอปอีกด้วย

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้รวบรวมก็เสนอราคาในการขายปลั๊กอัจฉริยะในท้องตลาดของหลายๆ ผู้ผลิตได้มีการเสนอราคาขายของปลั๊กอัจฉริยะที่ต่างกันไป ผู้จัดทำคาดการณ์ว่าหลังจากประกอบเป็นชิ้นงานเสร็จแล้วจะมีต้นทุนการผลิตปลั๊กอัจฉริยะไม่เกิน 1000 บาท สำหรับปลั๊กอัจฉริยะของงานวิจัยนี้

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. พัฒนาปลั๊กอัจฉริยะให้สามารถติดต่อสื่อสารไร้สายและวัดพลังงานได้
2. พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันให้สามารถควบคุมการเปิดปิด และแสดงค่าวัตพลังงานของปลั๊กอัจฉริยะบนเว็บแอปพลิเคชันนี้ได้

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ออกแบบบอร์ด STPM01 เพื่อวัดการใช้พลังงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า
2. ใช้บอร์ด NodeMCU V2 ติดต่อสื่อสารแบบ SPI กับบอร์ด STPM01 ในรุ่นที่ 1

(Version 1)

3. พัฒนาจากข้อ 2 โดยใช้บอร์ด ESP- WROOM2 ติดต่อสื่อสารแบบ SPI กับบอร์ด STPM01 ในรุ่นที่ 2 (Version 2)

4. ออกแบบวงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่า (Voltage Quadruple circuit) เพื่อใช้ขั้วบรีลีย์ 12 โวลต์
5. ออกแบบวงจรขั้วบรีลีย์เพื่อควบคุมสวิตซ์การเปิดปิดปลั๊กอัจฉริยะ
6. ออกแบบแหล่งจ่ายให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ 3.3 โวลต์

7. ทำเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) เพื่อควบคุมการเปิดปิดของปลั๊กอัจฉริยะ และ
ตรวจสอบค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ผู้ใช้สามารถติดต่อสื่อสารไร้สายกับเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยผ่านปลั๊กอัจฉริยะ
2. ผู้ใช้สามารถตรวจสอบการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าบนเว็บแอปพลิเคชันได้ตลอดเวลา
3. ผู้ใช้มีความสะดวกสบายในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านปลั๊ก
อัจฉริยะบนเว็บแอปพลิเคชัน



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษางานวิจัยเรื่องปลั๊กอัจฉริยะแบบไร้สายเพื่อควบคุม และตรวจดูการใช้พลังงานนี้ ผู้จัดทำได้รวบรวมแนวคิดของทฤษฎี และหลักการต่างๆ ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักในงานวิจัยนี้

2.1 การวัดพลังงาน (Energy Meter)

2.1.1 เซนเซอร์วัดกระแส (Current sensors)

การวัดพลังงานในงานวิจัยนี้จะใช้การวัดกระแสไฟฟ้า และใช้ชิป STMP01 วัดพลังงานเพื่อประมวลผลเป็นค่าพลังงานต่างๆ จากค่ากระแสที่เซนเซอร์กระแสตรวจวัดได้ สำหรับเซนเซอร์วัดกระแส (Current Sensor) ที่สามารถวัดกระแสไฟฟ้าใช้ร่วมกับชิปวัดพลังงานที่เราเลือกในงานวิจัยนี้มีดังนี้

2.1.1.1 หม้อแปลงกระแส (Current transformer, CT)

จะไม่เหมือนกับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power transformer) แต่ทั้งคู่ใช้หลักการของการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic induction) เหมือนกัน แต่ลักษณะการใช้งานที่มีความแตกต่างกัน ในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง (Power transformer) กระแสจะไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ (primary) จะมีความสัมพันธ์กับกระแส ดานขดลวดทุติยภูมิ (secondary) ซึ่งจะไปตามภาระ (load) แต่หม้อแปลงกระแสมีขดลวดปฐมภูมิต่ออนุกรม (series) กับสาย (line) เพื่อวัดกระแสที่ไหลผ่าน หรือกล่าวได้ว่ากระแสในขดลวดปฐมภูมิจะไม่ขึ้นกับภาระ (load) ที่ต่ออยู่ อาจแบ่งประเภทของหม้อแปลงกระแสได้เป็นสองชนิดตามการใช้งาน

- หม้อแปลงแบบวัดกระแส (current transformer metering) ที่ใช้วัดกระแสโดยนำอุปกรณ์เครื่องมือวัด (instrument) เช่น ระบบการวัด (metering system) ต่างๆ คือ การวัดพลังงาน , การวัดกระแสทางไฟฟ้า (current indicating meter) มาต่อเขาที่ด้านขดลวดทุติยภูมิ (secondary) [3] ดังรูปที่ 1 หม้อแปลงแบบวัดกระแส



รูปที่ 1 หม้อแปลงแบบวัดกระแส (current transformer metering)

- หม้อแปลงกระแสแบบป้องกัน (protective current transformer) ที่ใช้กับระบบป้องกัน (protective equipment) เช่น รีเลย์ (relay) [3] ดังรูปที่ 2 หม้อแปลงกระแสแบบป้องกัน

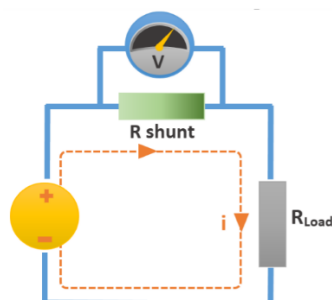


รูปที่ 2 หม้อแปลงกระแสแบบป้องกัน (protective current transformer) [4]

2.1.1.2 ชั้นรีซิสเตอร์ หรือตัวต้านทานวัดกระแส (Shunt resistor, R Shunt)

หลักการคือใช้วัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน โดยเทียบเคียงค่าเป็นกระแสไฟฟ้า [5]

ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรเบื้องต้น การวัดกระแสโดยใช้ R Shunt [5]

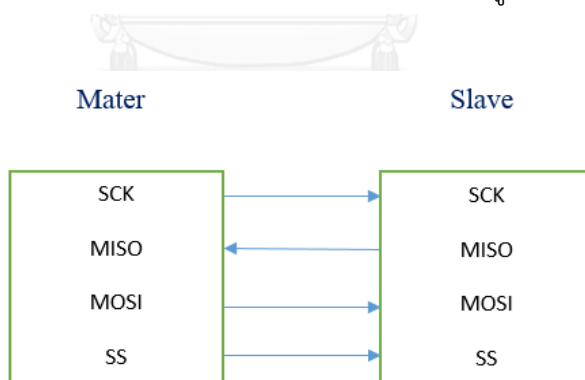
การวัดกระแสโดยใช้ ตัวต้านทานวัดกระแสจะอาศัยหลักการคือ การวัดแรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน (resistor, R) ค่าน้อยๆ ซึ่งต่ออนุกรมกับ R Load เรียกว่า R shunt และ คำนวณกลับเป็นกระแส โดยจากความสัมพันธ์ในสมการที่ 1 [5] สามารถวัดได้ทั้งไฟ DC และ AC

$$I = \frac{V_{shunt}}{R_{shunt}} \quad (1)$$

ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้หม้อแปลงแบบวัดกระแสเพราะงานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบบอร์ดวัดพลังงานไว้ก่อนหน้านี้แล้ว และชิปวัดพลังงานตัวนี้ (STMP01) สนับสนุนการใช้เซนเซอร์ชนิดนี้ด้วย ดังนั้นจึงเหมาะสมกับงานวิจัยนี้

2.1.2 การติดต่อสื่อสารในการวัดพลังงาน

การติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับชิปวัดพลังงาน (STPM01) จะใช้การสื่อสารแบบการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Peripheral Interface, SPI) ซึ่งจะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับค่าจากส่วนของวัดพลังงาน และนำค่าที่ได้ไปแสดงผลผ่านช่องทางต่าง ๆ เช่น เว็บแอปพลิเคชันได้ ซึ่งการสื่อสารแบบอนุกรมเป็นการติดต่อสื่อสารโดยอาศัยสัญญาณนาฬิกา (Clock) เป็นตัวกำหนดจังหวะในการรับส่งข้อมูล (Synchronous) ที่สามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทาง และรับข้อมูลจากปลายทางกลับมาในครั้งเดียวกัน (Full Duplex) SPI แบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 2 ฝ่าย คือ ฝ่ายของมาสเตอร์ (Master) และฝ่ายของสลาฟ (Slave) [6] แสดงแผนภาพดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม (SPI) ระหว่างมาสเตอร์กับสลาฟ

2.1.3 การคำนวณค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor, PF)

สำหรับชิปวัดพลังงาน STPM01 นี้ สามารถแสดงค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดันไฟฟ้า (Voltage root mean square, Vrms), ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสไฟฟ้า (Current root mean

square, Irms), ความถี่ (Frequency), พลังงานสะสม (Energy cumulative) และกำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power, S) แต่ไม่สามารถแสดงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าได้ ดังนั้นเราสามารถที่จะคำนวณได้จาก กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power, P) ตามสมการความสัมพันธ์ของสมการที่ 2 และ กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power, S) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3 และจะได้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor, PF) โดยได้สมการมีความสัมพันธ์ตามในสมการที่ 4

การคำนวณค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor, PF)

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power, P)

$$P = V_{rms} * I_{rms} * \cos \theta \quad (2)$$

กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power, S)

$$S = V_{rms} * I_{rms} \quad (3)$$

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor, PF)

จะได้ว่า $\cos \theta = \frac{P}{S}$ (4)

2.2 รีเลย์ (Relay circuit)

รีเลย์ (Relay) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัด-ต่อวงจร โดยการให้แม่เหล็กไฟฟ้า และการที่จะให้รีเลย์ทำงานก็ต้องจ่ายไฟตามที่รีเลย์ต้องการ ถ้าจ่ายไฟให้กับขดลวดของรีเลย์ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้หน้าสัมผัสติดกัน หรือหน้าสัมผัสปิดซึ่งจะเรียกว่า วงจรปิด และในทางตรงข้าม ถ้าไม่ได้จ่ายไฟให้กับรีเลย์ก็จะยังทำให้หน้าสัมผัสเปิดจะกลายเป็นวงจรเปิด [7]

ในงานวิจัยนี้ใช้เลือกใช้แลตชิ่งรีเลย์ (Latching Relay) เพราะรีเลย์ชนิดนี้ไม่จำเป็นต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดเหนี่ยวนำตลอดเวลาแต่หน้าสัมผัสยังเชื่อมต่อกันซึ่งรีเลย์ชนิดนี้ต้องการกระแสเฉพาะในช่วงการเปิด-ปิด (On-off) หรือปิด-เปิด (Off-on) ของอุปกรณ์เท่านั้น สำหรับแลตชิ่งรีเลย์จะมี 2 ชนิด คือ แบบขดลวดเหนี่ยวนำ 1 ชุด และขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ชุด ซึ่งในการควบคุมหน้าสัมผัสของแลตชิ่งรีเลย์จะเป็นไปตามกระบวนการข้างล่างนี้

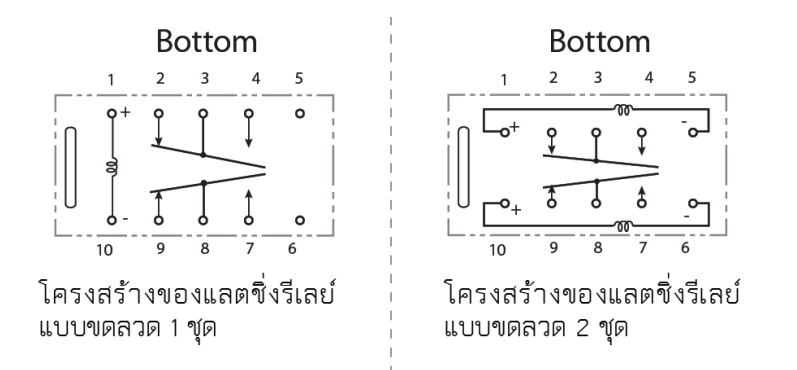
2.2.1 แลตชิ่งรีเลย์แบบขดลวดเหนี่ยวนำ 1 ชุด

แลตชิ่งรีเลย์แบบขดลวดเหนี่ยวนำ 1 ชุด ทำได้โดยจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปเลี้ยงขดลวดเพื่อกระตุ้นขดลวดทำให้เกิดการเหนี่ยวนำและจะทำให้หน้าสัมผัสเชื่อมต่อและคงสถานะล่าสุดค้างไว้ถึงแม้

ไม่มีไฟเลี้ยงขดลวดเหนี่ยวนำ และถ้าหากต้องการกลับสถานะหน้าสัมผัสก็เพียงสลับขั้วจ่ายกระแสไฟฟ้าที่จะใช้กระตุ้นขดลวดเหนี่ยวนำ [8]

2.2.2 แลตซ์รีเลย์แบบขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ชุด

แลตซ์รีเลย์แบบขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ชุด ควบคุมโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้ากระตุ้นที่ขั้วของขดลวดเหมือนกับแบบขดลวด 1 ชุด แต่จะต่างกันตรงที่หากต้องการกลับสถานะของหน้าสัมผัสจะไม่ใช้การสลับขั้วไฟ แต่จะต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นให้กับขดลวดอีกหนึ่งชุดดังรูปที่ 5 [8]



รูปที่ 5 ตัวอย่างโครงสร้างรีเลย์ชนิดแลตซ์รีเลย์แบบขดลวดเหนี่ยวนำ 1 ชุดและแลตซ์รีเลย์แบบขดลวดเหนี่ยวนำ 2 ชุด [8]

หมายเหตุ ลักษณะโครงสร้างของแลตซ์รีเลย์ในภาพนี้เป็นของ Fujitsu ซึ่งโครงสร้างของยี่ห้ออื่นอาจแตกต่างจากภาพประกอบนี้ แต่ลักษณะการทำงานเหมือนกัน

2.3 การสื่อสาร (Communication)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การสื่อสารระหว่างปลั๊กอัจฉริยะกับผู้ใช้ (User) ผ่านทางเว็บแอปพลิเคชันโดยเว็บแอปพลิเคชันนี้สร้างเพื่อควบคุมการเปิดปิด และตรวจดูค่าวัตพลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าบนเว็บแอปพลิเคชันซึ่งสามารถแสดงค่าการวัดพลังงานผ่านสมาร์ตโฟน, ไอแพด, ฯลฯ โดยในส่วนการสื่อสารนี้ได้ใช้โปรโตคอล และเทคนิคการสื่อสารต่างๆมาใช้นี้

2.3.1 โพรโทคอลทีซีพี/ไอพี (Transmission Control Protocol /Internet Protocol, TCP/IP protocols)

โพรโทคอลทีซีพี/ไอพีเป็นชุดของโพรโทคอลที่ใช้ในการสื่อสารโดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อสามารถที่จะใช้สื่อสารจากต้นทางข้ามเครือข่ายไปยังปลายทางได้ และยังสามารถ

หาเส้นทางที่จะส่งข้อมูลไปได้เองโดยอัตโนมัติ ซึ่งโพรโทคอลนี้จะมีโพรโทคอลประกอบทำงานร่วมกัน 2 โพรโทคอลก็คือ ทีซีพี (TCP) และ ไอพี (IP)

โพรโทคอลทีซีพี (Transmission Control Protocol, TCP) เป็นโพรโทคอลที่จะใช้ในการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองตัวในเครือข่ายทีซีพี/ไอพี (TCP/IP) โดยที่ทีซีพีจะใช้พอร์ตเสมือน (Virtual Port) ในการเชื่อมต่อ และคอยตรวจสอบการส่งข้อมูล [9]

โพรโทคอลไอพี IP (Internet Protocol) จะทำหน้าที่จัดการเกี่ยวกับที่อยู่ (IP Address) ของข้อมูล และจะส่งไปยังปลายทางที่ถูกต้องในเครือข่ายทีซีพี/ไอพี (TCP/IP) [9]

และในงานวิจัยนี้ยังใช้โพรโทคอลเอชทีทีพี (Hyper Text Transfer Protocol) เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลในบริการเว็ลด์ไวด์เว็บโดยส่งจากเว็บเซิร์ฟเวอร์ไปยังเว็บเบราว์เซอร์ของผู้ใช้

ลำดับชั้นของโพรโทคอลในระบบอินเทอร์เน็ต

ลำดับชั้นของโพรโทคอลในระบบอินเทอร์เน็ตมีทั้งหมดเพียง 4 ชั้นเท่านั้น

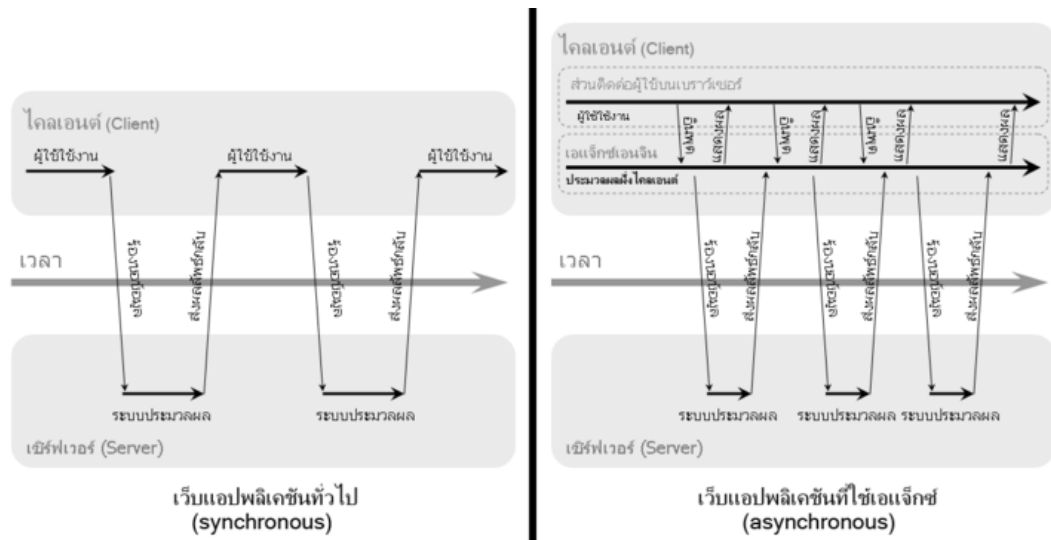
1. ชั้นการเชื่อมต่อ (Link layer) เป็นลำดับชั้นที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับระบบอินเทอร์เน็ตโดยตรง แต่เป็นระบบพื้นฐานของการเชื่อมต่อที่ระบบอินเทอร์เน็ตใช้ส่งข้อมูลภายในเครือข่าย ซึ่งหน้าที่สำหรับชั้นนี้ก็คือที่จะส่งข้อมูล สำหรับตัวอย่างในชั้นนี้ก็คือ อีเทอร์เน็ต (Ethernet), แบบไร้สาย [9]
2. ชั้นอินเทอร์เน็ต (Internet layer) เป็นชั้นที่มีหน้าที่ส่งข้อมูลจากจุดเริ่มต้นไปยังปลายทาง โดยที่หาเส้นทางที่ข้อมูลจะใช้เดินทางผ่านเครือข่ายหนึ่งไปยังอีกเครือข่ายหนึ่งจนกระทั่งถึงปลายทางโพรโทคอลที่ใช้ในชั้นนี้คือ อินเทอร์เน็ตโพรโทคอล หรือ ไอพี ทำหน้าที่ซึ่งเปรียบเสมือนกับซองจดหมายซึ่งจะระบุถึงที่อยู่ของต้นทางและปลายทาง โดยที่จะมีบุรุษไปรษณีย์ทำหน้าที่ส่งจดหมายนั้นผ่านกรมการไปรษณีย์ในพื้นที่ต่าง ๆ จนถึงจุดหมายปลายทางที่อยู่บนซองจดหมายในอินเทอร์เน็ตโพรโทคอลนี้เรียกว่า หมายเลขไอพี (IP number) ที่ทำการไปรษณีย์ก็คือเราเตอร์ที่จะทำหน้าที่ค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมเพื่อส่งข้อมูลไปตามสายส่งจนกระทั่งถึงปลายทาง สำหรับตัวอย่างในชั้นนี้ ก็คือไอพี (IP) [9]
3. ชั้นขนส่ง (Transport layer) เป็นชั้นที่มีหน้าที่ควบคุมการส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์สองเครื่องที่ติดต่อกัน ซึ่งอาจแบ่งได้สองลักษณะคือ บริการการส่งข้อมูลแบบสร้างเส้นทางการเชื่อมต่อก่อนที่ และบริการการส่งข้อมูลแบบไม่สร้างเส้นทางการเชื่อมต่อ ก่อนที่จะส่ง โดยจะส่งออกไปเลย และการจัดส่งข้อมูลไปยังการประยุกต์ใช้ (application) ที่

ต้องการข้อมูล สำหรับตัวอย่างโพรโทคอลที่นิยมใช้ในชั้นนี้ได้แก่ ทีซีพี (TCP), ยูดีพี (UDP), อาร์ทีพี (RTP) เป็นต้น [9]

4. ชั้นการประยุกต์ใช้งาน (Application layer) จะครอบคลุมบริการที่เกี่ยวข้องกับการรักษาความปลอดภัย การเข้ารหัส การเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมประยุกต์ และเป็นชั้นที่โปรแกรมประยุกต์การใช้งานโดยตรง โดยโพรโทคอลที่อยู่บนชั้นนี้จะถูกออกแบบให้เหมาะสมสำหรับประเภทของโปรแกรมประยุกต์เฉพาะทาง เช่น โปรแกรมอีเมลใช้โพรโทคอลเอสเอ็มทีพี (Simple Mail Transfer Protocol) สำหรับส่งอีเมล ใช้โพรโทคอลพีโอพีสาม (Post Office Protocol) สำหรับรับและเรียกดูอีเมล, ส่วนโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ใช้โพรโทคอลเอชทีทีพี (Hyper Text Transfer Protocol) สำหรับเรียกดูเว็บเพจ เป็นต้น สำหรับตัวอย่างโพรโทคอลในชั้นนี้ได้แก่ เอชทีทีพี (HTTP), เอฟทีพี (FTP), ดีเอ็นเอส (DNS) เป็นต้น [9]

2.3.2 เทคนิคแอสิงโครนัส

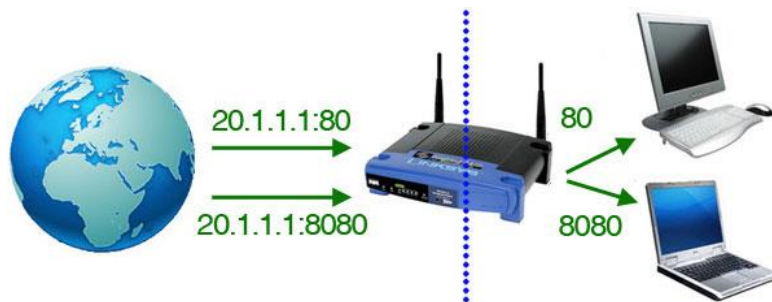
เทคนิคแอสิงโครนัส (Asynchronous JavaScript and XML, AJAX) คือ เป็นเทคนิคที่ใช้ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน โดยที่ไม่ต้องโหลดหน้าเว็บใหม่ทั้งหน้าทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลง เทคนิคนี้สามารถเปลี่ยนเฉพาะส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงเท่านั้นซึ่งจะช่วยเพิ่มการตอบสนองที่รวดเร็วขึ้น การใช้เทคนิคแอสิงโครนัสใช้กับเว็บแอปพลิเคชันซึ่งจะเป็นการทำงานแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) โดยที่เซิร์ฟเวอร์ (Server) จะส่งผลลัพธ์เป็นเว็บเพจให้ผู้ใช้ทันทีโดยไม่ต้องรอให้ประมวลผลเสร็จก่อน หลังจากนั้นเว็บเพจที่ผู้ใช้ได้รับจะทำการดึงข้อมูลส่วนต่างมาที่หลัง หรือจะดึงข้อมูลเมื่อผู้ใช้ต้องการเท่านั้น สำหรับในการทำงานแบบเก่าจะเป็นแบบซิงโครนัส (Synchronous) โดยที่การทำงานของเว็บแอปพลิเคชันผู้ใช้จะต้องทำการขอร้องข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์ จากนั้นเว็บเบราว์เซอร์จึงทำการส่งข้อมูลการร้องขอโดยใช้โพรโทคอลเอชทีทีพีเพื่อติดต่อกับเว็บเซิร์ฟเวอร์ และจากนั้นเว็บเซิร์ฟเวอร์จะทำการประมวลผลจากการร้องขอที่ได้รับ และจะส่งผลลัพธ์เป็นหน้าเอชทีเอ็มแอล (HTML) กลับไปให้ผู้ใช้ โดยที่วิธีการข้างต้นนี้เป็นวิธีการแบบการร้องขอและการตอบรับ (Request and Response) ซึ่งผู้ใช้จะต้องรอรหว่างที่เซิร์ฟเวอร์ประมวลผลอยู่ [10] ดังรูปที่ 6 แสดงแผนภาพการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันแบบซิงโครนัส และอะซิงโครนัส



รูปที่ 6 แผนภาพการทำงานของเว็บแอปพลิเคชันแบบซิงโครนัส และอะซิงโครนัส [10]

2.3.4 เทคนิคของการส่งต่อพอร์ต (Port forwarding)

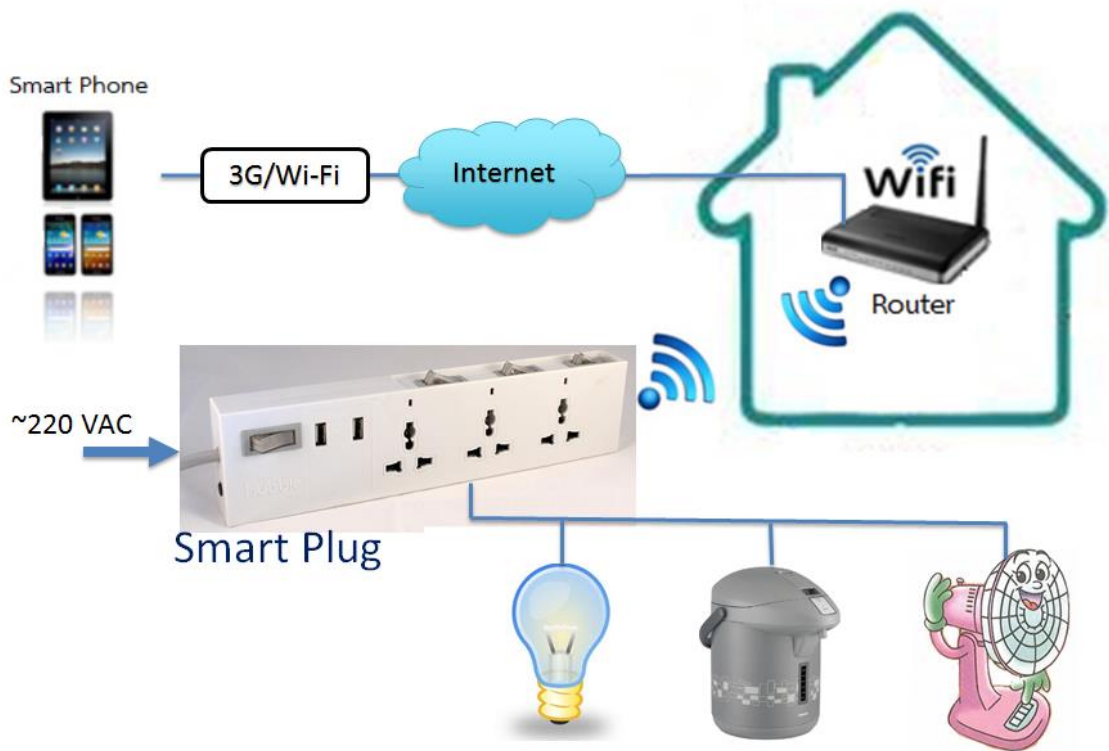
เทคนิคการของส่งต่อพอร์ต คือ การกำหนดเส้นทางของข้อมูลที่จะติดต่อเข้ามาไปยัง router โดยให้ไปข้างหน้า (forward) ไปยังเครื่องที่อยู่หลัง เราเตอร์ (router) ที่ใช้ที่อยู่ไอพีภายใน หรือเครื่องที่ได้รับที่อยู่ไอพี จากเราเตอร์นั้น โดยมีหลักการในการไปข้างหน้าที่พิจารณาจากหมายเลขพอร์ตที่ติดต่อเข้ามา เพราะ การบริการหรือพวกแอปพลิเคชัน แต่ละชนิด จะมีหลายหมายเลขพอร์ตที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารเป็นของตัวเองโดยเฉพาะ โดยจะต้องมีการตั้งค่าว่าเข้ามาทางพอร์ตที่ซีพี/ยูดีพี (TCP/UDP port) หมายเลขพอร์ตอะไร โดยถ้ามีการติดต่อเข้ามาจากหมายเลขพอร์ตที่ไหน จะให้การไปข้างหน้าของข้อมูลเหล่านั้นไปยังเครื่องที่อยู่หลังเราเตอร์เครื่องไหน คือ อุปกรณ์ที่รับไอพี จากเราเตอร์นั่นเอง [11] ดังรูปที่ 7 แสดงการติดต่อจากภายนอกไปยังอุปกรณ์ภายในหลังเราเตอร์ที่หมายเลขพอร์ตเดียวกัน



รูปที่ 7 การติดต่อจากภายนอกไปยังอุปกรณ์ภายในหลังเราเตอร์ที่หมายเลขพอร์ตเดียวกัน [12]

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการของงานวิจัย

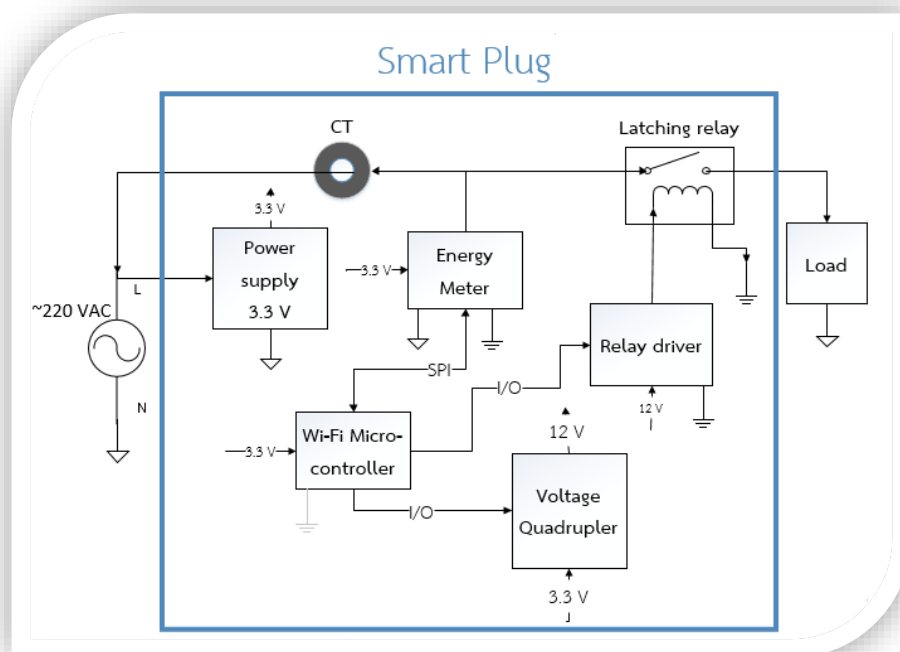
3.1 แผนภาพระบบของงานวิจัย



รูปที่ 8 แผนภาพระบบของงานวิจัย

ปลั๊กอัจฉริยะ (Smart Plug) จะเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้ (User) กับเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อควบคุมการเปิดปิด และตรวจดูค่าการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งการทำงานของปลั๊กอัจฉริยะในการต่อสื่อสารกับผู้ใช้ (User) ดังรูปที่ 8 แผนภาพระบบของงานวิจัยจะเริ่มต้นด้วยการตั้งค่าให้ปลั๊กอัจฉริยะให้เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตภายในบ้าน (Home network) เมื่อเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตเรียบร้อยแล้ว ปลั๊กอัจฉริยะจะได้รับที่อยู่ไอพี (IP Address) และนำไอพีที่ได้ไปตั้งค่าเป็นส่งต่อพอร์ต (Port forwarding) จากนั้นก็สามารุใช้สมาร์ทโฟน ไอแพด, แลปท็อป, ฯลฯ ติดต่อสื่อสารจากภายนอกได้แล้วโดยอาจจะผ่านระบบ 3G หรือ ระบบไร้สาย นอกเครือข่ายท้องถิ่น (local area)

3.2 ระบบฮาร์ดแวร์ของงานวิจัย

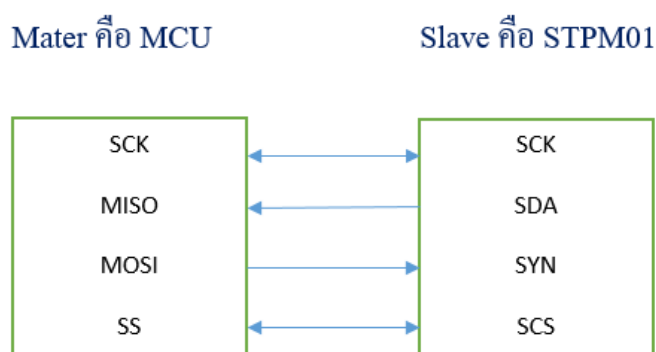


รูปที่ 9 แผนภาพของระบบฮาร์ดแวร์

จากรูปที่ 9 แผนภาพของระบบฮาร์ดแวร์ของงานวิจัย จะประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง 3.3 V, ไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์, วงจรวัดพลังงานกับเซนเซอร์หม้อแปลงกระแส, วงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่า, และวงจรขับรีเลย์โดยใช้รีเลย์ชนิดแลตชิ่ง

การทำงานโดยรวมของระบบฮาร์ดแวร์ของงานวิจัยนี้ จะเริ่มด้วยการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ให้กับปลั๊กอัจฉริยะ โดยที่ภายในของปลั๊กอัจฉริยะจะเชื่อมต่อกับไฟฟ้ากระแสสลับด้วยกัน 3 จุด คือ วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 3.3 โวลต์, วงจรวัดพลังงาน (Energy Meter), และหน้าสัมผัสรีเลย์ (relay contract) โดยเมื่อน้ำสัมผัสรีเลย์ปิด (Close) แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ก็จะไหลไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้า (Load) และจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 3.3 โวลต์ จะได้แรงดันขาออก (Vout) เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 3.3 โวลต์ จากนั้นใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 3.3 โวลต์เพื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับส่วนต่าง ๆ ที่ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 3.3 โวลต์ ก็มีไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์, วงจรวัดพลังงาน และวงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่า และในส่วนของไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม กับวงจรวัดพลังงานโดยใช้ CT เป็นเซนเซอร์เพื่อตรวจสอบกระแสไฟฟ้า ซึ่งการติดต่อแบบอนุกรม นี้ กำหนดให้ไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นมาสเตอร์ และวงจรวัดพลังงานเป็นสลาฟ โดยมีการเชื่อมต่อง่ายรูปที่ 10 การสื่อสารแบบอนุกรม (SPI)

ระหว่าง MCU กับวงจรวัดพลังงาน และสำหรับในส่วนของวงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่าจะใช้ I/O ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยมให้กับวงจรเพื่อที่จะสามารถสร้างแรงดันขาออก (Vout) 12 V ในการขับรีเลย์ และในการควบคุมการเปิดปิดของปลั๊กอัจฉริยะจะใช้ I/O ของไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการเปิดปิดวงจรขับรีเลย์ซึ่งการเปิดปิดนี้จะแปรผันตรงกับหน้าสัมผัสรีเลย์ และปลั๊กอัจฉริยะ



รูปที่ 10 การสื่อสารแบบอนุกรม (SPI) ระหว่าง MCU กับวงจรวัดพลังงาน

3.2.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1.1 NodeMCU V2 (ESP8266 -12E)

ปลั๊กอัจฉริยะในงานวิจัยนี้ ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ มีชื่อว่า NodeMCU V2 (ESP8266 -12E) โดยบอร์ดนี้มีมอดูลไร้สายจึงสามารถเชื่อมต่อแบบไร้กับอุปกรณ์ต่างๆ ได้ เช่น โทรศัพท์, แลปท็อป, ไอแพด เป็นต้น นอกจากนั้นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ ยังมีพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตเลือกให้ใช้อีกมากมาย สำหรับตัวของบอร์ดมีขนาดเพียง 4.8 X 2.5 ตารางเซนติเมตร และทั้งนี้ยังมี USB - TTL พอร์ตเพื่อใช้ในการโปรแกรมผ่านไมโครยูเอสบี (USB) เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้าตัวบอร์ดอีกด้วย สำหรับผู้พัฒนาสามารถใช้ Arduino IDE 1.6.5 , Lua เพื่อพัฒนาซอฟต์แวร์ควบคุมบอร์ดได้ พร้อมทั้งเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตแบบไร้สายลักษณะบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ดังรูปที่ 11 และรายละเอียดคุณสมบัติของบอร์ดดังนี้

คุณลักษณะของบอร์ด

- USB-to TTL
- มอดูลไร้สาย ESP-12E (ESP8266 chip)
- Chip Flash ความจุ 32 Mbits (4Mbytes)
- พอร์ตอินพุต และเอาต์พุต มีคุณสมบัติดังนี้
 - I²C
 - UART
 - SPI
 - PWM
- ADC
- ไฟเลี้ยงบอร์ด 3.3 โวลต์
- ไฟเลี้ยงไมโคร USB 5 โวลต์



รูปที่ 11 บอร์ด NodeMCU V2 (ESP8266 -12E) [13]

3.2.1.2 ESP-WROOM02 (ESP8266-EX)

ดังรูปที่ 12 ESP-WROOM02 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อีกรุ่นหนึ่งในตระกูล ESP8266 เช่นเดียวกับกับบอร์ด NodeMCU V2 ลักษณะของบอร์ด ESP-WROOM02 มีขนาดของบอร์ด

1.8 X 2.0 ตารางเซนติเมตร ราคาถูก บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP-WROOM02 จะไม่มี USB - UART เพื่อโปรแกรม ดังนั้นต้องต่อ RS232 USB เพิ่มในการโปรแกรม ซึ่งบอร์ดนี้มีคุณสมบัติ และรายละเอียดของบอร์ดที่คล้ายกับบอร์ด NodeMCU V2 ดังนี้

คุณลักษณะของบอร์ด

- IEEE 802.11b/g/n ที่ 2.4 GHz
- มอดูไล์สาย ESP8266-EX
- ใช้พลังงานต่ำ MCU 32 bit
- อินพุต และเอาต์พุต 10 พอร์ต ดังนี้
 - I²C
 - UART
 - SPI
 - PWM
- ADC
- ไฟเลี้ยงบอร์ด 3.3 โวลต์



จุฬา
CHULA

http://www.chula.ac.th/... Supply Co.,



รูปที่ 12 บอร์ด ESP-WROOM02 (ESP8266-EX) [14]

3.2.1.3 WeMos D1 mini (ESP8266-12F)

ดังรูปที่ 13 WeMos D1 mini เป็นบอร์ดพัฒนา ESP8266 โดยการใช้งานจะเหมือนกับบอร์ด NodeMCU V2 ทุกประการ โดยสามารถใช้โปรแกรม Arduino IDE ก็ได้ และมีพอร์ต USB to TTL ที่สามารถเชื่อมจากคอมพิวเตอร์ไปยังบอร์ด WeMos D1 mini ได้โดยตรง มีรายละเอียดของคุณสมบัติดังนี้ [15]

- บอร์ดขนาด 34.2x25.6mm น้ำหนัก 10 กรัม
- มอดูลไร้สาย ESP8266-12F
- พื้นที่หน่วยความจำโปรแกรม 4MB
- สัญญาณนาฬิกา 80MHz
- พอร์ตอนุพัทธ์อินพุต 1 ช่อง
- ดิจิตอลอินพุต / เอาพุต 11 ช่อง
 - I2C
 - UART
 - SPI
 - PWM
- ไฟเลี้ยงบอร์ด 3.3 โวลต์
- ไฟเลี้ยงไมโคร USB 5 โวลต์



รูปที่ 13 บอร์ด WeMos D1 mini (ESP8266-12F) [16]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลอง 2 บอร์ด บอร์ดไวไฟไมโครคอนโทรเลอร์ NodeMCU V2 (ESP8266) และ ESP-WROOM02 (ESP8266) ซึ่งเป็นบอร์ดไวไฟไมโครคอนโทรเลอร์ในตระกูลเดียวกัน โดยสามารถพัฒนาบน Arduino IDE 16.8 ได้ทั้งคู่ แต่จะแตกต่างกันตรงที่ส่วนประกอบ (components) ที่ประกอบเข้ากันกับชิป ESP-WROOM02 และ NodeMCU V2 สำหรับในขอบเขตการทำงานที่กล่าวไว้ในโครงร่างวิทยานิพนธ์นี้ ได้กล่าวไว้ว่าจะใช้บอร์ด ESP-WROOM02 ในการทำปพลิเคชันระยะเนื่องจากมีขนาดเล็กกว่า, ราคาที่ถูกกว่า, และมีคุณสมบัติแทบจะเหมือนกันกับ บอร์ด NodeMCU V2 ดังนั้นจากการสันนิษฐานเมื่อใช้บอร์ด ESP-WROOM02 จะสามารถช่วยลดต้นทุนใน

การสร้างชิ้นงาน และขนาดที่เล็กกว่าจะสามารถทำให้ปลั๊กอัจฉริยะหรือบอร์ดวงจร (PCB board) มีขนาดเล็กด้วย ดังนั้นจะง่ายต่อการหาบรรจุภัณฑ์ (Packaging) ในการบรรจุบอร์ดวงจร (PCB board) แต่หลังจากนั้นเมื่อทำการทดสอบปรากฏว่าบอร์ด ESP-WROOM02 จะกินกระแสถึงประมาณ 500 มิลลิแอมป์ (mA) จึงสามารถต่อไวไฟ และวัดพลังงานได้ แต่ในขณะที่เดียวกันบอร์ด NodeMCU V2 สามารถต่อไวไฟ และวัดพลังงานได้ ใช้กระแสอยู่ที่ประมาณ 200 มิลลิแอมป์ และดูรายละเอียดของผลการทดลองได้ในบทที่ 4

นอกเหนือไปจากนี้ผู้จัดทำงานวิจัยนี้ได้ทดลองบอร์ด WeMos D1 mini (ESP8266) ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกันกับบอร์ด ESP-WROOM02 และ NodeMcu V2 ผลปรากฏว่าใช้กระแสถึงประมาณ 400 มิลลิแอมป์ จึงสามารถต่อไวไฟ และวัดพลังงานได้

3.2.1.4 แนะนำไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์ EMW3165

การพัฒนาไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์ EMW3165 เป็นบอร์ดที่ประกอบด้วยโมดูล EWM3165 ซึ่งเป็นโมดูลที่ใช้พลังงานน้อย สำหรับภายใน EWM3165 ประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM Cortex M4 (STM32F411CE) ของค่าย ST ใช้สัญญาณนาฬิกา 100MHz มี หน่วยความจำแฟลช (Flash Memory) ภายใน 512K และ หน่วยความจำแฟลช (Flash Memory) ภายนอก 2M มี RAM ถึง 128 กิโลไบต์ ทำงานร่วมกับโมดูลไวไฟ (Module Wi-Fi) ของบอร์ดคอม (Broadcom) ทำให้ EWM3165 เป็นโมดูลที่มีขุมกำลังและความสามารถในการประมวลผลที่สูงกว่าโมดูลอื่นๆ และง่ายต่อการพัฒนาเนื่องจากใช้ Lua Script ในการพัฒนา และบนบอร์ด Wi-Fi MCU ยังมีชิป CP2102 ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial ทำให้ง่ายต่อการพัฒนา ดังรูปที่ 14 บอร์ดไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์ EMW3165 [17]

คุณลักษณะของบอร์ด

- มี 17 ขา GPIO
- มี UARTs 3 ช่อง
- ADC 5 ช่อง, SPI 1 ช่อง, I2C 1 ช่อง, USB 1 ช่อง
- PWM 11 ช่อง
- Wi-Fi IEEE802.11 b/g/n
- WEP,WPA/WPA2,PSK/Enterprise
- Station, Soft AP and Station + Soft AP

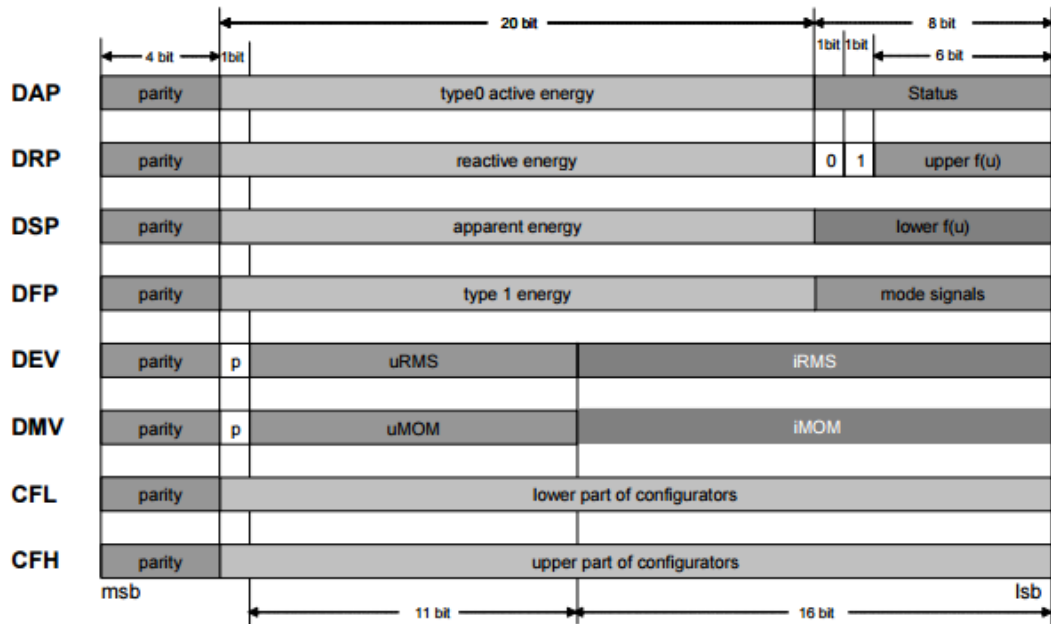


รูปที่ 14 ไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์ EMW3165 [17]

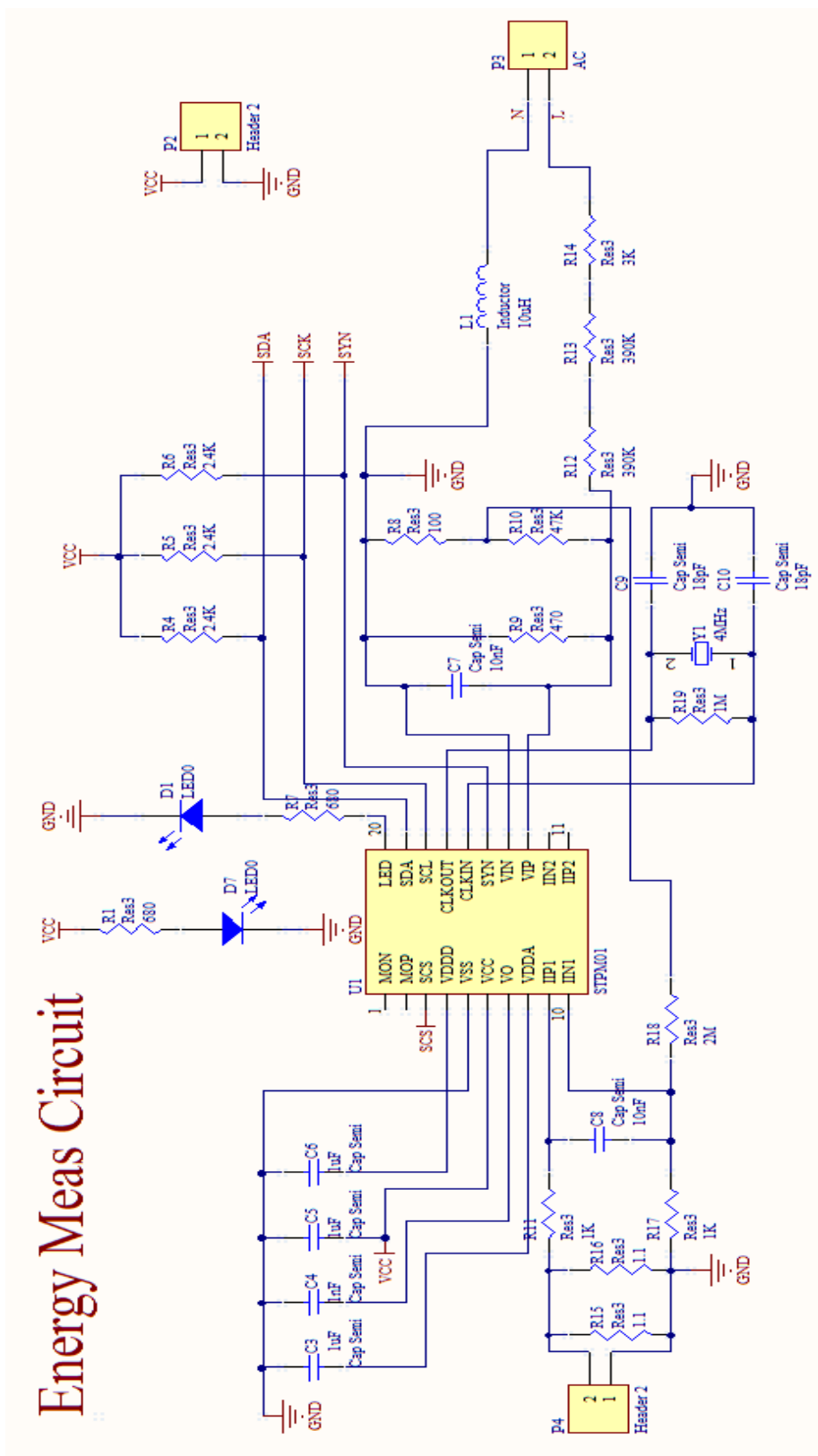
สำหรับบอร์ดไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์ EMW3165 เป็นบอร์ดที่มีคุณสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นสามารถใช้พัฒนาปลั๊กอัจฉริยะในงานวิจัยนี้ได้ ซึ่งมีพอร์ต SPI ที่ติดต่อสื่อสารกับส่วนของการวัดพลังงานได้ และมี ขา GPIO ถึง 17 ขา ที่สามารถควบคุมรีเลย์ได้มากกว่า 1 ตัว แต่เนื่องด้วยปลั๊กอัจฉริยะในงานวิจัยนี้ได้เลือกและถูกพัฒนาด้วย NodeMCU V2 ไปก่อนหน้านี้อแล้ว ดังนั้นผู้เขียนเพียงแค่นำบอร์ดไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์ EMW3165 เพื่อเป็นแนวทางให้กับผู้พัฒนาปลั๊กอัจฉริยะต่อไป

3.2.2 วงจรวัดพลังงาน (Energy Meter)

ดังรูปที่ 16 วงจรวัดพลังงาน (Energy Meter) ใช้ชิป STPM01 เป็นวงจรที่ใช้วัดพลังงาน โดยที่ประกอบด้วย CT (Current transformer) เป็นเซนเซอร์เพื่อตรวจสอบค่าพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปกับไอซี STPM01 เป็นไอซีอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้ประมวลผลค่าที่ได้รับมาจาก CT เซนเซอร์ และติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU V2 แบบอนุกรม (SPI) ซึ่งในการประมวลผลวงจรนี้ มันจะพิจารณาเป็นบิตริจิสเตอร์ซึ่งแต่ละกลุ่มบิตริจิสเตอร์ก็จะสามารถแปลงกลับเป็นค่าของรากค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดันไฟฟ้า (Voltage root mean square, V_{rms}), ค่าเฉลี่ยกำลังสองของกระแสไฟฟ้า (Current root mean square, I_{rms}), ความถี่ (Frequency), พลังงานสะสม (Energy cumulative) ซึ่งในทั้งหมดนี้สามารถดูตามแผนภาพรีจิสเตอร์ ดังรูปที่ 15 และค่าเหล่านี้สามารถคำนวณเป็นค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor, PF) ได้



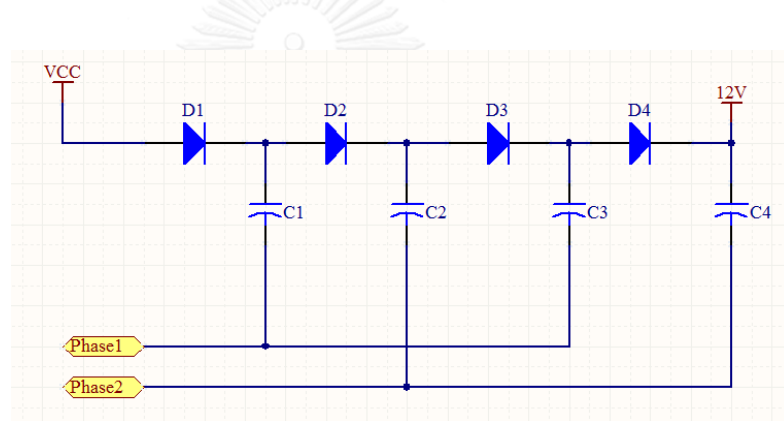
รูปที่ 15 แผนที่ยืนยันที่ข้อมูลของ STPM01 [18]



รูปที่ 16 วงจรวัดพลังงาน (Energy Meter)

3.2.3 วงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่า (Voltage Quadruple circuit)

วงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่าเป็นวงจรที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าขาเข้าจะถูกเพิ่มเป็นจำนวน 4 เท่าที่แรงดันขาออก ซึ่งวงจรมีประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 2 ชนิดคือ ไดโอด (Diode, D) และตัวเก็บประจุ (Capacitor, C) อย่างละ 4 ตัวประกอบกันเป็นวงจร [19] ดังรูปที่ 17 หลักการทำงานของวงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่าในงานวิจัยนี้ก็จะทำงานโดยใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแหล่งจ่าย ($V_{CC} = 3.3V$) ให้กับวงจรแล้วจากนั้นขาอินพุตเอาต์พุต (GPIO Pin) จะจ่ายสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Pulse signal) ให้กับตำแหน่ง Phase1 และ Phase2 ซึ่งสัญญาณที่จ่ายให้กับ Phase2 จะเป็นสัญญาณที่มีเฟสตรงกันข้ามกับ Phase1 หมายความว่า ถ้า Phase1 เป็น 1 (High) แล้ว Phase2 จะเป็น 0 (Low) และถ้า Phase1 เป็น 0 (Low) แล้ว Phase2 เป็น 1 (High) จะสลับกันแบบนี้เพื่อชาร์จตัวเก็บประจุของวงจรจนกระทั่งแรงดันตกคร่อม C_4 (V_{out}) ดังสมการที่ 5



รูปที่ 17 วงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่า

$$V_{out} (12 V) = 4 V_{cc}$$

(5)

เหตุผลของการเลือกใช้วงจรมี เพราะต้องการแรงดันไฟฟ้าที่ 12 V เพื่อใช้ในการขับรีเลย์ขนาด 12 V โดยที่วงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่าสามารถทำให้แรงดันไฟฟ้าขาเข้า ($V_{CC} = 3.3 V$) เพิ่มทวีคูณเป็นจำนวนสี่เท่า ในฝั่งแรงดันไฟฟ้าขาออก ($V_{out} = 12 V$) เมื่อแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าสูงจะทำให้กระแสขาออกจะต่ำส่งผลต่อการใช้พลังงานของปลั๊กอัจฉริยะจะน้อยลงด้วย

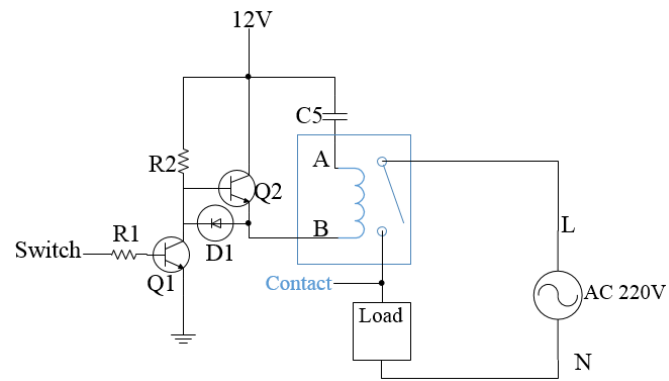
3.2.4 วงจรขั้วรีเลย์ (Relay circuit)

งานวิจัยปลั๊กอัจฉริยะนี้ใช้แลตซ์ริงรีเลย์แบบขดลวดเหนี่ยวนำ 1 ชุดเท่านั้น และในการแลตซ์ริงรีเลย์ได้เลือกใช้รีเลย์ 12 โวลต์เพราะถ้าเทียบกับรีเลย์ 3 โวลต์ จะดีกว่าซึ่งเนื่องจากรีเลย์ 12 โวลต์ จะใช้กระแสในการขดลวดน้อยกว่ารีเลย์ 3 ถึง 4 เท่า แลตซ์ริงรีเลย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 แลตซ์ริงรีเลย์ (Latching Relay)

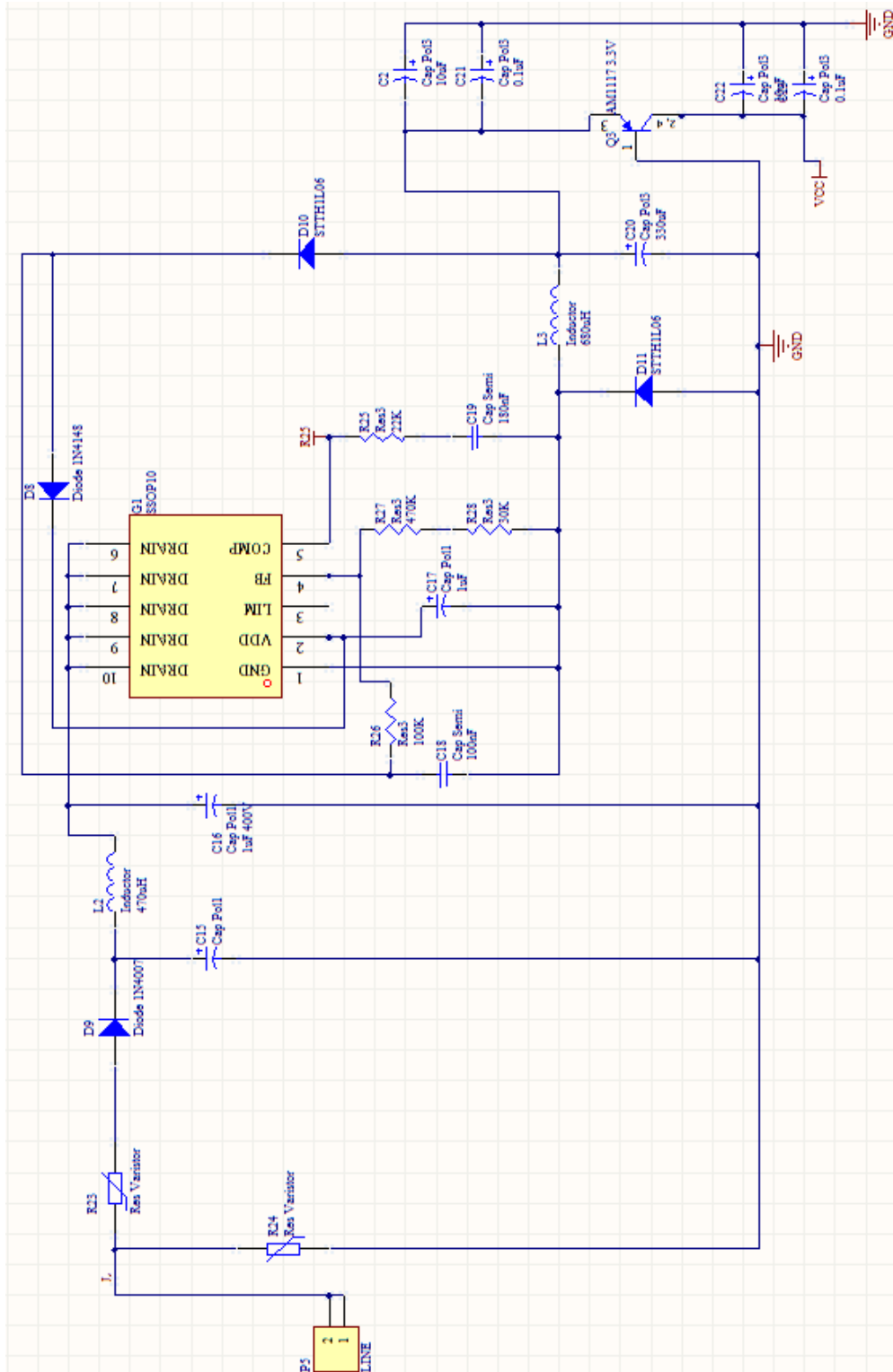
จากรูปที่ 19 เป็นวงจรขั้วรีเลย์ (Relay Circuit) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้ เมื่อเราต้องการให้หน้าสัมผัสเชื่อมต่อติดกันก็สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนสถานะที่ Switch จากเปิด (Off) เป็นปิด (On) จากนั้นสถานะของ Q1 จะปิด (On) และ Q2 จะเปิด (Off) และมีกระแสไหลผ่านขดลวดทำให้หน้าสัมผัสรีเลย์ปิด (Close) ทำให้มีแรงดันและกระแสไปเลี้ยงเครื่องใช้ไฟฟ้า (Load) และในเวลาเดียวกันตัวเก็บประจุ C5 ก็จะเริ่มชาร์จประจุเพื่อเก็บแรงดันไว้ในการรีเซตขดลวดรีเลย์ เพื่อให้หน้าสัมผัสของรีเลย์เปิด (Open) จากนั้นเมื่อ Switch เปลี่ยนสถานะจากปิด (On) เป็นเปิด (Off) ทำให้สถานะของ Q1 จะเปิด (Off) และ Q2 จะปิด (On) และตัวเก็บประจุ C5 จะคายประจุเพื่อรีเซตขดลวดรีเลย์แล้วหน้าสัมผัสรีเลย์ก็จะเปิด (Open) ซึ่งการเปิดปิดของหน้าสัมผัสรีเลย์จะเป็นการควบคุมการเปิดปิดการทำงานของปลั๊กอัจฉริยะเช่นกัน



รูปที่ 19 วงจรขับรีเลย์ (Relay Circuit)

3.2.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 3.3 โวลต์ (3.3 V Power supply)

แหล่งจ่ายไฟแบบสวิตซิ่ง (Switching Power Supply) เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงคงค่าแรงดันแบบหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนแรงดันไฟกระแสสลับแรงดันสูง ให้เป็นแรงดันไฟกระแสตรงแรงดันต่ำ เพื่อใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ได้เช่นเดียวกัน วงจรวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 3.3 โวลต์ ในงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 20

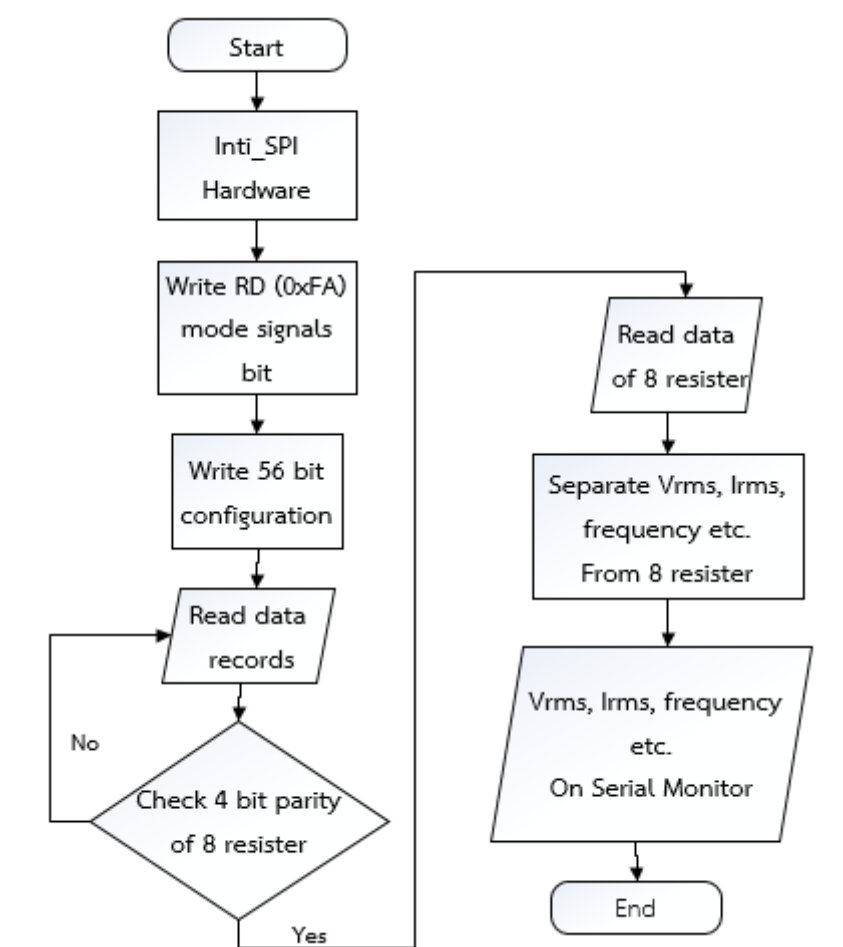


รูปที่ 20 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 3.3 โวลต์

3.3 ระบบซอฟต์แวร์ของงานวิจัย

3.3.1 ซอฟต์แวร์ของวัดการใช้พลังงาน

การออกแบบซอฟต์แวร์ของส่วนการวัดพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้ NodeMCU V2 ติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม (SPI) กับ STMP01 (Energy Meter) ซึ่งเป็นชิปที่ประมวลผลค่าพลังงานที่ตรวจสอบได้จากเซนเซอร์หม้อแปลงกระแส (Current transformer, CT) ซึ่งซอฟต์แวร์ได้พัฒนาบน Arduino IDE 16.5 ซึ่งอัลกอริทึมดังรูปที่ 21 ผังงานการเขียนซอฟต์แวร์ของการวัดพลังงาน



รูปที่ 21 ผังงานการเขียนซอฟต์แวร์ของการวัดพลังงาน

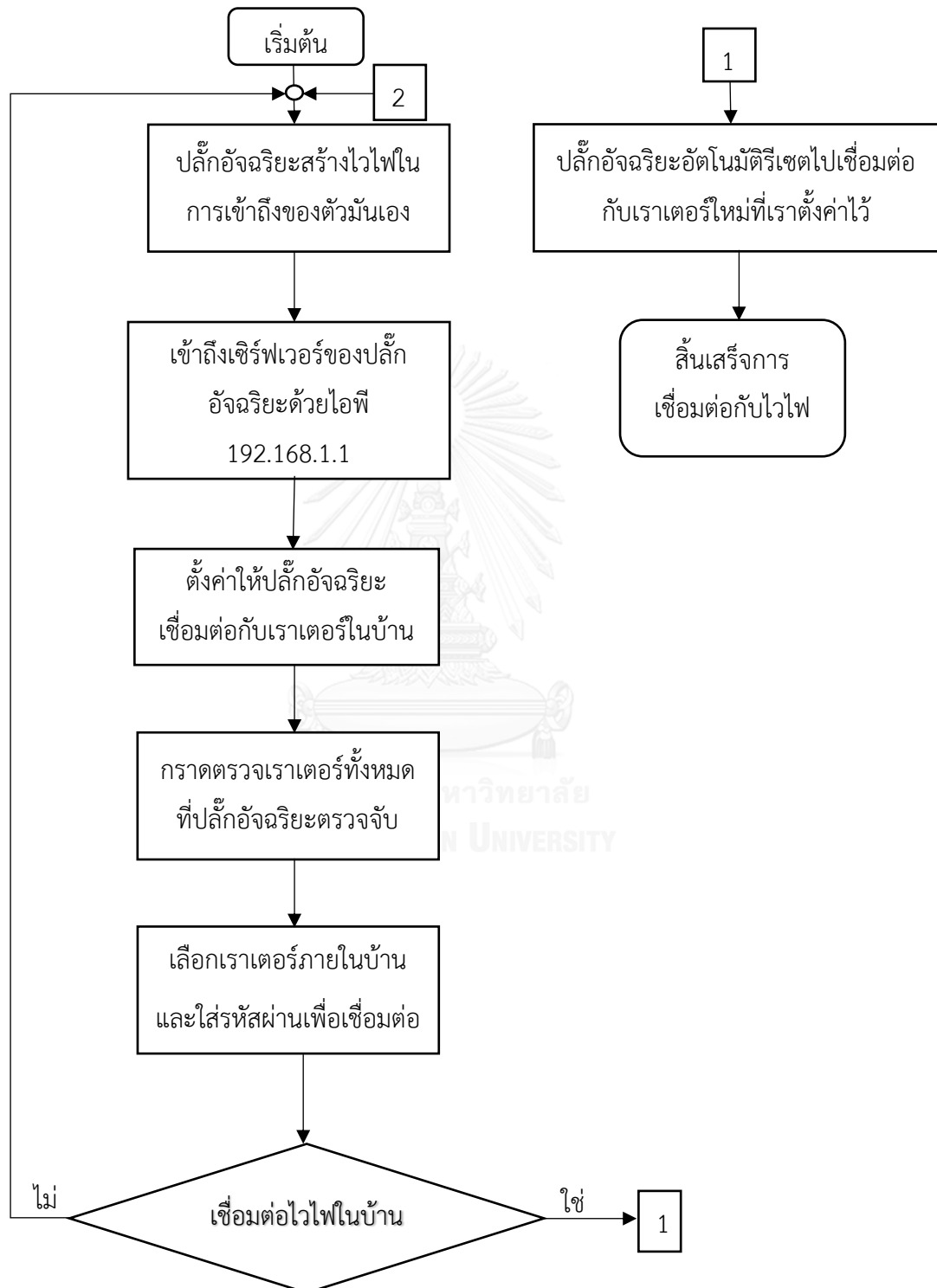
การเริ่มต้นด้วยการ Initial SPI (Init_SPI) คือ กำหนดค่าเริ่มต้นของ NodeMCU V2 โดยการกำหนดขา (SPI Pin) ที่ใช้ในการควบคุม หรือติดต่อกับ STMP01 (Energy Meter) และกำหนดสถานะตั้งต้นของขา (SPI Pin) ต่อมาก็จะเป็นการ Write RD (0xFA) เป็นการเขียน 0xFA ลงในไอซี

STPM01 เพื่อตั้งค่าระบบสัญญาณ จากนั้นก็เขียนองค์ประกอบ 56 บิต (Write 56 bit configuration) ลงใน STMP01 แล้วอ่านข้อมูลที่บันทึกไว้ (Read data records) เป็นการอ่านค่าที่เขียนลงและตรวจสอบความถูกต้องของดูลยภาพ 4 บิต ของ 8 รีจิสเตอร์ (Check 4 bit parity of 8 register) ดังรูปที่ 15 แผนที่บันทึกข้อมูลของ STPM01 ถ้าอ่านค่าไม่ได้ก็กลับไปอ่านใหม่ที่ขั้นตอนอ่านข้อมูลที่บันทึกไว้ แต่ถ้าอ่านได้ถูกต้องก็จะอ่านข้อมูลของ 8 รีจิสเตอร์ (Read data of 8 register) และเราสามารถตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่อ่านได้ด้วยการตรวจสอบรีจิสเตอร์ CFL และ CFH ของ 8 รีจิสเตอร์ในรูปที่ 15 ซึ่งเป็นค่าของ 56 บิตที่เขียนลงไป หลังจากนั้นก็นำรีจิสเตอร์ทั้ง 8 ค่า มาแยกเป็นค่าต่างๆที่ต้องการรู้ตามรูปที่ 1 แผนที่บันทึกข้อมูลของ STPM01 โดยประกอบด้วยค่าแรงดัน (Vrms), กระแส (Irms), ความถี่ (Frequency), ฯลฯ (Separate Vrms, Irms, Frequency from 8 register) และจะแสดงค่าผ่านทางหน้าจอของ Arduino IDE (Show Vrms, Irms, Frequency on serial monitor) จากนั้นก็จบกระบวนการวัดค่าพลังงาน

3.3.2 ซอฟต์แวร์ของเว็บแอปพลิเคชัน

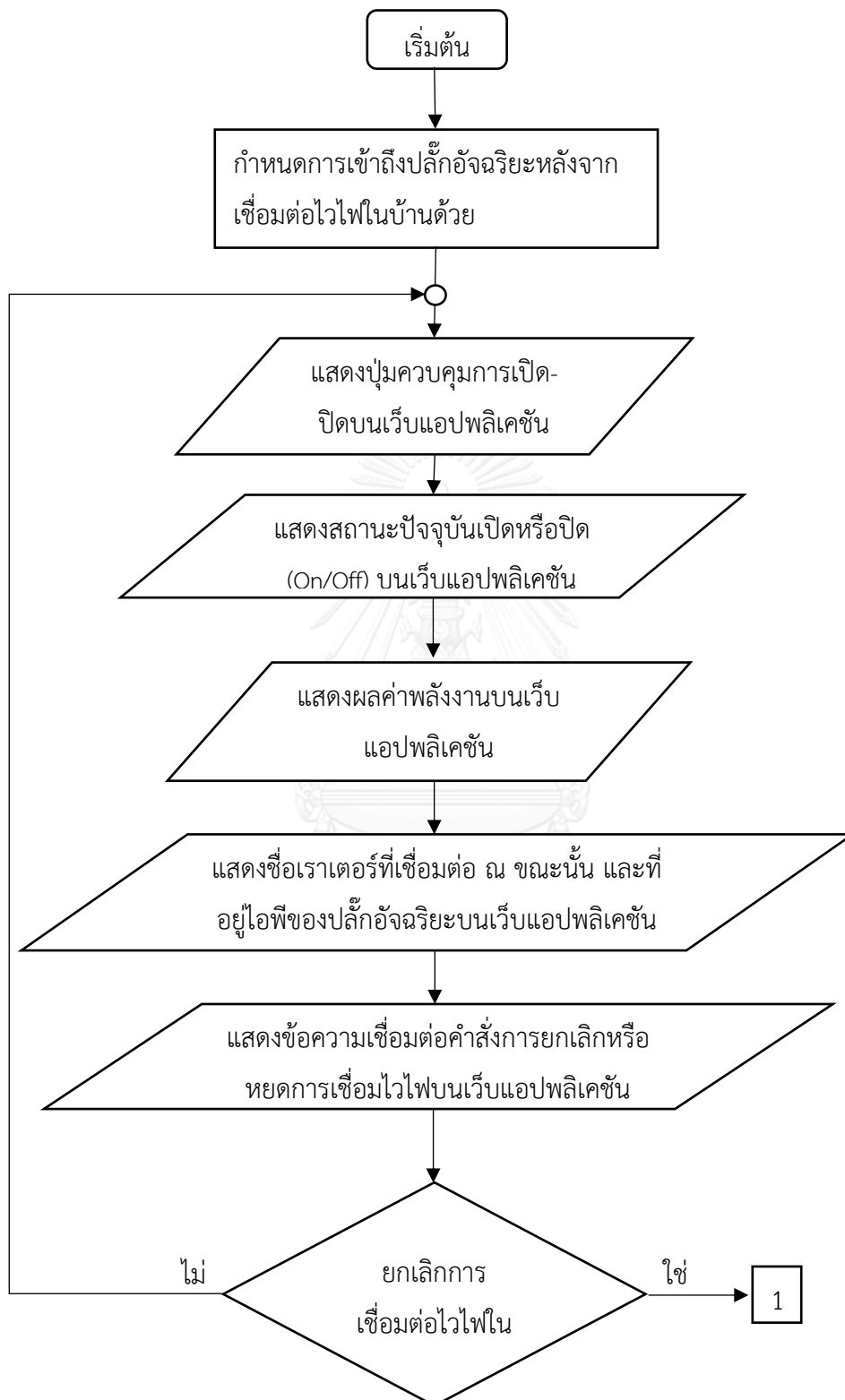
อัลกอริทึมของการเขียนซอฟต์แวร์เพื่อที่จะควบคุมการเปิดปิดของอุปกรณ์ และแสดงผลการวัดพลังงานผ่านทางสมาร์ทโฟน, ไอแพด, ฯลฯ ซึ่งแบบเป็น 3 ส่วน คือ ดังรูปที่ 22 เป็นการอธิบายของกระบวนการเชื่อมปลั๊กอัจฉริยะในการใช้งาน, รูปที่ 23 เป็นส่วนของการอธิบายกระบวนการเข้าถึงปลั๊กอัจฉริยะหลังจากการเชื่อมต่อไวไฟ, และในส่วนสุดท้ายเป็นดังรูปที่ 24 เป็นการอธิบายถึงกระบวนการตั้งค่าทั่วไปเพื่อทำให้เชื่อมต่อปลั๊กอัจฉริยะจากภายนอก โดยสรุปแล้วการเริ่มต้นของกระบวนการทั้งหมดทุกส่วนสามารถสรุปได้ดังนี้ เราเริ่มด้วยการใช้ NodeMCU V2 สร้างไวไฟของตัวเองขึ้นมา และกำหนดที่อยู่ไอพี (IP address) เพื่อให้ผู้ใช้ปลั๊กอัจฉริยะในการตั้งค่าปลั๊กอัจฉริยะให้เข้าถึงการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตภายในบ้าน จากนั้นเมื่อเข้าถึงหน้าตั้งค่าไวไฟ ผู้ใช้เลือก SSID และใส่รหัสผ่านเพื่อเชื่อมต่อ และเมื่อเชื่อมต่อเรียบร้อยแล้วมันจะรีเซตอัตโนมัติโดยเปลี่ยนไปยังเราเตอร์ที่เลือกไว้ จากนั้นเข้าถึงปลั๊กอัจฉริยะด้วย <http://xxxx.local> ที่กำหนดจากซอฟต์แวร์เพื่อใช้เข้าถึงหน้าควบคุมการเปิดปิด และตรวจดูการใช้พลังงานผ่านทางสมาร์ทโฟน จากหน้านั้นจะเห็นรายละเอียดของปุ่มควบคุมการเปิดปิดของอุปกรณ์, ค่าพลังงานที่วัดได้, ชื่อของเราเตอร์ที่เชื่อมต่อ ณ ขณะนี้, ที่อยู่ไอพีของปลั๊กอัจฉริยะ, และปุ่มเพื่อยกเลิกหรือเปลี่ยนไวไฟ ใหม่ที่จะเลือกเชื่อมต่อ จากนั้นการที่ปลั๊กอัจฉริยะจะสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกวงพื้นที่อินเทอร์เน็ตภายในบ้าน เราต้องนำที่อยู่ไอพีของปลั๊กอัจฉริยะไปตั้งค่าที่เราเตอร์โดยตั้งค่าเป็นส่งต่อพอร์ตทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมการเปิดปิด และตรวจดูค่าพลังงานจากภายนอกบ้านได้

3.3.2.1 ผังงานของกระบวนการเชื่อมต่อปลั๊กอัจฉริยะในการใช้งาน



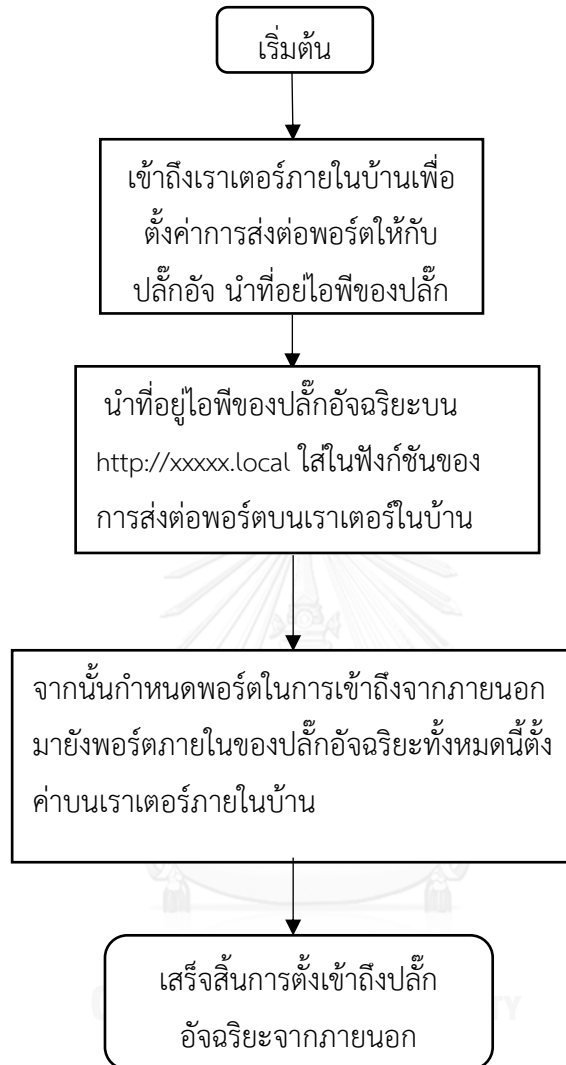
รูปที่ 22 ผังงานของกระบวนการเชื่อมต่อปลั๊กอัจฉริยะ

3.3.2.2 ผังงานของกระบวนการเข้าถึงปลั๊กอัจฉริยะหลังจากการเชื่อมต่อไวไฟ



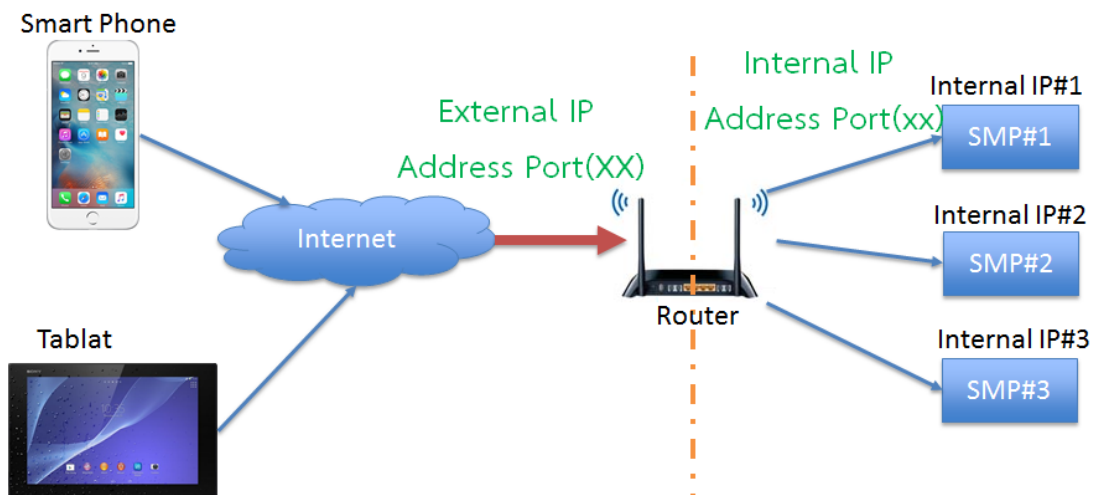
รูปที่ 23 ผังงานของกระบวนการเข้าถึงปลั๊กอัจฉริยะหลังจากการเชื่อมต่อไวไฟ

3.3.2.3 ผังงานของกระบวนการตั้งค่าเพื่อเชื่อมต่อปลั๊กอัจฉริยะจากภายนอก



รูปที่ 24 ผังงานของกระบวนการตั้งค่าเพื่อเชื่อมต่อปลั๊กอัจฉริยะจากภายนอก

จากรูปที่ 25 อุปกรณ์สื่อสาร (Smart Phone, Tablet) จะเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตโดยถ้าต้องการจะเข้าถึงอุปกรณ์ปลั๊กอัจฉริยะเพื่อควบคุม หรือตรวจดูการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับปลั๊กอัจฉริยะได้ต้องเข้าจากไอพีภายนอกที่อุปกรณ์เราเตอร์รับหรือแสดงเป็นไอพีของมัน และตามด้วยพอร์ตที่กำหนดไว้ให้อุปกรณ์ภายนอกเข้าถึงปลั๊กอัจฉริยะได้



รูปที่ 25 การส่งต่อพอร์ต (Port forwarding)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการตั้งค่าการส่งต่อพอร์ต (Port forwarding) ของเราเตอร์รุ่น xiaomi mini Wi-Fi โดยลงโปรแกรมเฟิร์มแวร์ (Firmware) เป็น OpenWrt ซึ่งเป็นโปรแกรมเฟิร์มแวร์สนับสนุน (Support) เราเตอร์รุ่นนี้ ในการตั้งค่าเมื่อเข้าสู่ระบบ (Login) เข้าไปแล้วจะพบกับเมนูต่างๆที่สามารถปรับแต่งความสามารถของเราเตอร์ได้ตามการใช้งาน และในที่นี้เราจะไปที่เมนูบาร์ชื่อเครือข่าย (Network) จากนั้นก็เลือกไฟร์วอลล์ (Firewall) และตามด้วยเลือกการส่งต่อพอร์ต (Port Forwards) จากนั้นก็กรอกข้อมูลต่างตรง “New Port forward” ในกรอบสีแดงดังรูปที่ 26 เข้า และเลือกโปรโตคอล (Protocol) เป็นทีซีพี (TCP) 0 จากนั้นก็เพิ่ม (Add) เข้าไป และเมื่อเพิ่มแล้วก็จะไปอยู่ที่รายชื่อดังภาพเดียวกัน จากนั้นก็สามารถเข้าถึงปลั๊กอัจฉริยะจากภายนอกได้แล้ว

OpenWrt Status System Network Logout

General Settings Port Forwards Traffic Rules Custom Rules

Firewall - Port Forwards

Port forwarding allows remote computers on the Internet to connect to a specific computer or service within the private LAN.

Port Forwards

Name	Match	Forward to	Enable	Sort
smart	IPv4-TCP From any host in wan Via any router IP at port 80	IP 192.168.1.104, port 80 in lan	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="button" value="↑"/> <input type="button" value="↓"/> <input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Delete"/>

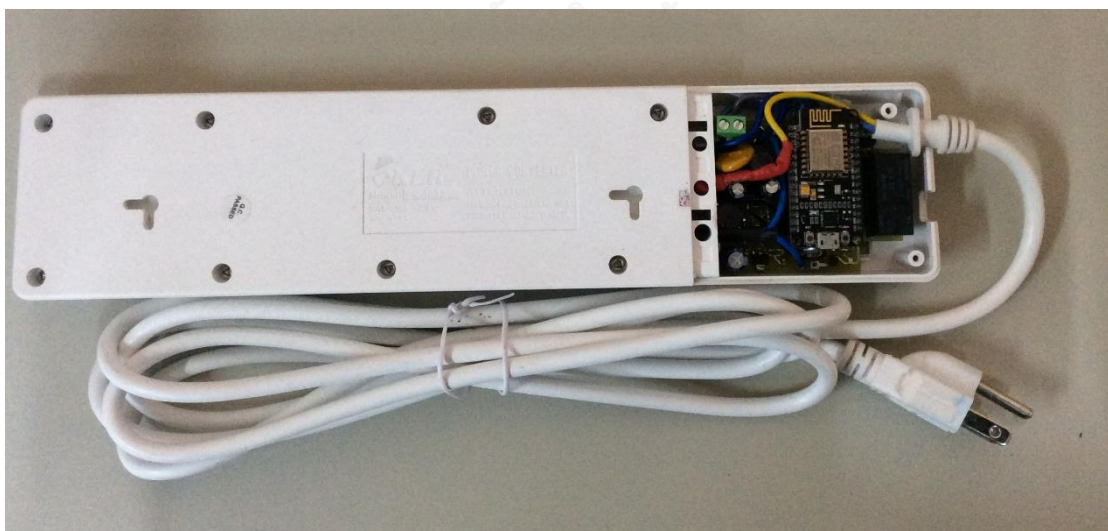
New port forward:

Name	Protocol	External zone	External port	Internal zone	Internal IP address	Internal port
New port forward	TCP+UDP	wan		lan		

รูปที่ 26 การตั้งค่าการส่งต่อพอร์ต (Port forwarding) ของเราเตอร์รุ่น xiaomi mini Wi-Fi

3.4 ประกอบปลั๊กอัจฉริยะ

ดังรูปที่ 27 เป็นการบรรจุวงจรบอร์ดของปลั๊กอัจฉริยะลงในกล่องปลั๊ก และดังรูปที่ 28 ปลั๊กอัจฉริยะ (Smart Plug) ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 27 บรรจุปลั๊กอัจฉริยะ (Packaging Smart Plug) ในปลั๊กไฟ



รูปที่ 28 ปลั๊กอัจฉริยะ (Smart Plug) ในงานวิจัยนี้



บทที่ 4

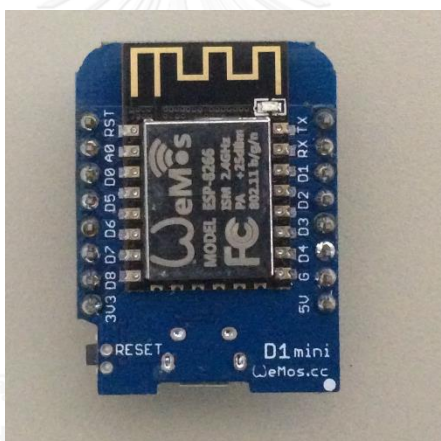
การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบ

4.1.1 การทดสอบบอร์ดไวไฟไมโครคอนโทรลเลอร์

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. แหล่งจ่าย (supply) ตั้งค่าป้อนไฟกระแสตรง 3.3 V
2. NodeMCU V2 (ESP8266 -12 E)
3. ESP-WROOM02 (ESP8266-EX)
4. WeMos D1 mini (ESP8266-12F) ดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 WeMos D1 mini (ESP8266-12F)

5. วงจรรวมของปลั๊กอัจฉริยะ (วงจรวัดพลังงาน, วงจรเพิ่มแรงดันสี่เท่า, และวงจรชั้ปรีเลย์)

วิธีการทดสอบ

กำหนดแรงดันของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแส 3.3 โวลต์ และปรับเปลี่ยนค่ากระแสที่ละ 100 มิลลิแอมป์ จนถึง 500 มิลลิแอมป์ หรือจนถึงค่ากระแสที่แต่ละบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานได้ หมายความว่า เมื่อบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานร่วมกันกับวงจรรวมของปลั๊กอัจฉริยะโดยที่สามารถเชื่อมต่อไวไฟหรืออินเทอร์เน็ต และตรวจดูค่าพลังงานบนเว็บแอปพลิเคชันได้การทดลองนี้จะ

สามารถประมาณปริมาณกระแสที่ปลั๊กอัจฉริยะของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละบอร์ดที่ต้องการใช้ในการเลี้ยงวงจรได้

4.1.2 การทดสอบเพื่อวัดหลอดไฟขนาด 60 วัตต์

กำหนดการทดลองโดยให้ปลั๊กอัจฉริยะวัดการใช้พลังงานหลอดไฟขนาด 60 วัตต์ และควบคุมการเปิดปิดของหลอดไฟ จากนั้นก็อ่านค่าที่วัดได้ และควบคุมปลั๊กอัจฉริยะผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน อุปกรณ์ในการทดลอง

1. หลอดไฟใช้แรงดัน 220-240 โวลต์, 60 วัตต์ ดังรูปที่ 30



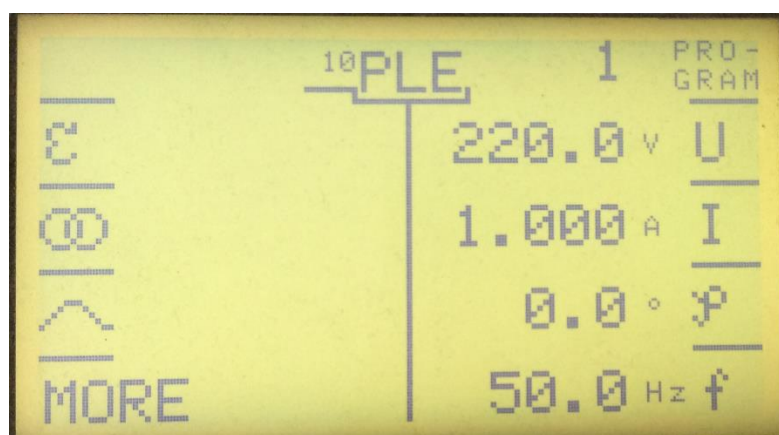
รูปที่ 30 หลอดไฟใช้แรงดัน 220-240 โวลต์, 60 วัตต์

2. ไอแพด (Ipad)
3. ปลั๊กอัจฉริยะในงานวิจัยนี้

4.1.3 การทดสอบด้วย CAL-SOURE 200

CAL-SOURE 200 คือแหล่งจ่ายที่ผู้ใช้สามารถปรับค่าหรือกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{rms} , U), กระแสไฟฟ้า (I_{rms} , I), ความถี่ (frequency, f) และ มุมเฟส (angle, φ) ตามต้องการได้ในคุณลักษณะที่กำหนดของอุปกรณ์นี้ ในการทดสอบครั้งนี้จะทำได้โดยกำหนดค่าของ CAL-SOURE 200 ให้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ (V_{rms} , U), ความถี่ 50 เฮิร์ต (frequency, f), มุมเฟส 0 องศา (angle, φ) และปรับเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าจาก 1 ถึง 10 แอมป์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น (I_{rms} , I)

โดยปรับค่าให้เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 แอมป์ ทำการวัดทั้งหมดจำนวน 3 ครั้ง เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของการวัดด้วยปลั๊กอัจฉริยะในงานวิจัยนี้ และดังรูปที่ 31 แสดงหน้าจอของ CAL-SOURE 200 จากนั้นทำการวัดค่าที่จ่ายด้วย CAL-SOURE 200 โดยปลั๊กอัจฉริยะในงานวิจัยนี้ และเราจะยืนยันความถูกต้องของค่าที่วัดได้จากปลั๊กอัจฉริยะโดยจะอ้างอิงจากการวัดของเครื่องวัดพลังงานอ้างอิง (PSR 1.3 reference meter) ซึ่งเครื่องอ้างอิงการวัดพลังงานนี้เป็นเครื่องที่ใช้อ้างอิงในการวัดพลังงานในการทดสอบในครั้งนี้ และดังรูปที่ 32 แสดงหน้าจอของ เครื่องวัดพลังงานอ้างอิง (PSR 1.3 reference meter) เลือกใช้ช่อง L3 เท่านั้น เพราะเป็นเฟสเดียว (single phase)



รูปที่ 31 หน้าจอของ CAL-SOURE 200

Power Measurement			
P4	L1	L2	L3
U	54.617 V	55.176 V	220.15 V
I	----- A	----- A	999.19 mA
P	----- W	----- W	219.97 W
Q	----- var	----- var	15.754 mvar
S	----- VA	----- VA	219.97 VA
PF	-----	-----	0.9999

รูปที่ 32 เครื่องวัดพลังงานอ้างอิง (PSR 1.3 reference meter) เลือกใช้ช่อง L3 เท่านั้น

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. แหล่งจ่าย (CAL-SOURE 200)
2. เครื่องอ้างอิงการวัดพลังงาน (PSR 1.3 reference meter)
3. ปลั๊กอัจฉริยะในงานวิจัยนี้

4.1.4 การทดลองการใช้พลังงานของปลั๊กอัจฉริยะ

การวัดการใช้พลังงานของปลั๊กอัจฉริยะทำงานโดยไม่มีการวัดพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า (Load) และไม่มีการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ดังนั้นเพื่อที่จะทราบถึงการใช้พลังงานขณะที่ไม่มีการใช้งานใด ๆ ทั้งสิ้นว่าใช้พลังงานไปเท่าไรจึงมีการกำหนดการทดลองนี้ขึ้นมา โดยการทดลองนี้มีปลั๊กอัจฉริยะทั้งหมด 4 ตัว ใช้ปลั๊กอัจฉริยะ 3 ตัว เป็นโหลด และปลั๊กอัจฉริยะอีก 1 ตัว เป็นมิเตอร์เพื่อวัดการใช้พลังงานของโหลด (ปลั๊กอัจฉริยะ 3 ตัว) แล้วจากนั้นนำค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่อ่านได้บนเว็บแอปพลิเคชันของปลั๊กอัจฉริยะที่เป็นมิเตอร์มาหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปลั๊กอัจฉริยะ 1 ตัว เพราะค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่อ่านได้เป็นผลรวมของปลั๊กอัจฉริยะ 3 ตัว ดังนั้นกำลังเฉลี่ยของต่อปลั๊กอัจฉริยะ 1 ตัว ต้องนำค่าที่ได้มาหารด้วย 3



รูปที่ 33 การเชื่อมต่อปลั๊กอัจฉริยะ 3 ตัว เพื่อเป็นโหลด

4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 ผลการทดสอบบอร์ดไวไฟไมโครคอนโทรเลอร์

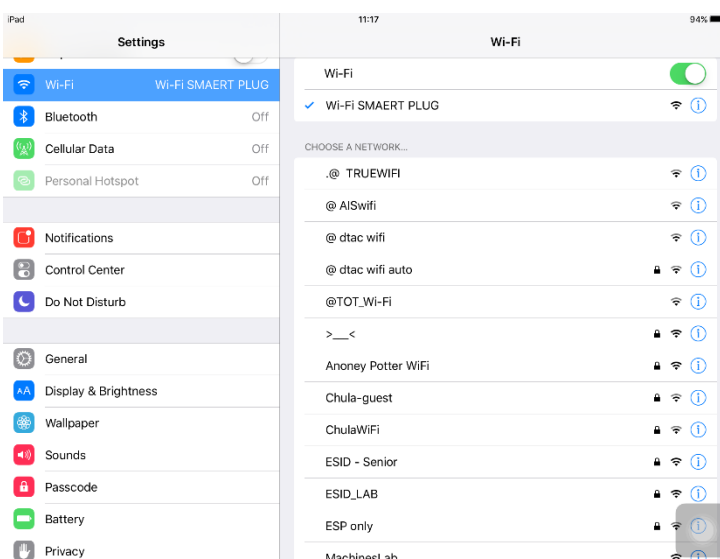
ตารางที่ 1 การทดสอบการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ในการเชื่อมต่อเครือข่ายไวไฟและวัดพลังงานของแต่ละรุ่น

ชื่อไมโครคอนโทรเลอร์	แหล่งจ่าย 3.3 โวลต์ (V), ปรับกระแสสูงสุด (mA)	เชื่อมต่อกับเครือข่ายไวไฟ	วัดค่าพลังงาน
NodeMCU V2 (ESP8266 -12E)	235	ได้	ได้
ESP-WROOM02 (ESP8266-EX)	500	ได้	ได้
WeMos D1 mini (ESP8266-12F)	400	ได้	ได้

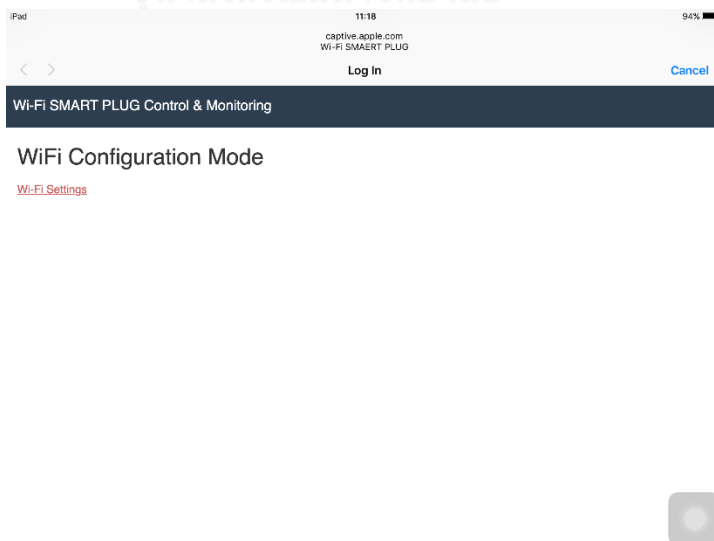
จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์แต่ละตัวในตารางเป็น ESP8266-xx ทั้งหมด แต่เพียงเป็นคนละรุ่นกัน และผลที่แสดงออกมาในตารางที่ 1 การทดสอบการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ในการเชื่อมต่อเครือข่ายไวไฟและวัดพลังงานของแต่ละรุ่น จะเห็นได้ว่า ESP-WROOM02 (ESP8266-EX) จะใช้กระแสในการปฏิบัติการทำงานคือการเชื่อมต่อไวไฟกับ AP (Access point) และการวัดค่าพลังงาน จากนั้นก็ส่งไปยังเว็บแอปพลิเคชันซึ่งใช้กระแสมากที่สุดของการทดสอบนี้คือ 500 มิลลิแอมป์โดยประมาณ และรองลงมาคือ WeMos D1 mini (ESP8266-12F) คือ 400 มิลลิแอมป์โดยประมาณ ซึ่งทางทีมผู้ทำวิทยานิพนธ์นี้ได้นำผลของ WeMos D1 mini (ESP8266-12F) เพื่อมาเปรียบเทียบผลการทดลองถึงสาเหตุของการเปลี่ยนบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ในงานวิจัยนี้ซึ่งจะเห็นได้ว่าแต่ละรุ่นของบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์มีการกินกระแสที่แตกต่างกัน ทั้งนี้คงเป็นเพราะการออกแบบในส่วนประกอบของ (component) บนบอร์ดที่แตกต่างกันด้วย สำหรับการกินกระแสที่มากของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นก็จะทำให้ผู้ใช้ต้องเสียค่าไฟที่มากไปด้วยจึงไม่ส่งผลดีสักเท่าไร ดังนั้นในงานวิจัยนี้ถึงตัดสินใจเปลี่ยนบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์เป็น NodeMCU V2 (ESP8266 -12E) เพราะจากผลการทดสอบ NodeMCU V2 (ESP8266 -12E) กินกระแสในกระบวนการต่างๆน้อยกว่า ESP-WROOM02 (ESP8266-EX) มากกว่า 50% ดังผลในตารางที่ 1

4.2.2 ผลการทดสอบของการทดสอบเพื่อวัดโหลดไฟขนาด 60 วัตต์

1. เลือกชื่อ AP ของปลั๊กอัจฉริยะที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้เข้าถึงการตั้งค่าไวไฟ ในที่นี้คือ "Wi-Fi SMAERT PLUG" ดังรูปที่ 34 เมื่อต่อเรียบร้อยแล้ว มันจะอัตโนมัติเข้าถึง หรือไม่ก็เข้าเว็บเพจไปที่ 192.168.1.1 ซึ่งเป็นที่อยู่ของหน้าเว็บแอปพลิเคชันเพื่อตั้งค่าไวไฟใหม่ ดังรูปที่ 35 หน้าแรกก่อนตั้งค่าไวไฟ (Wi-Fi setting)

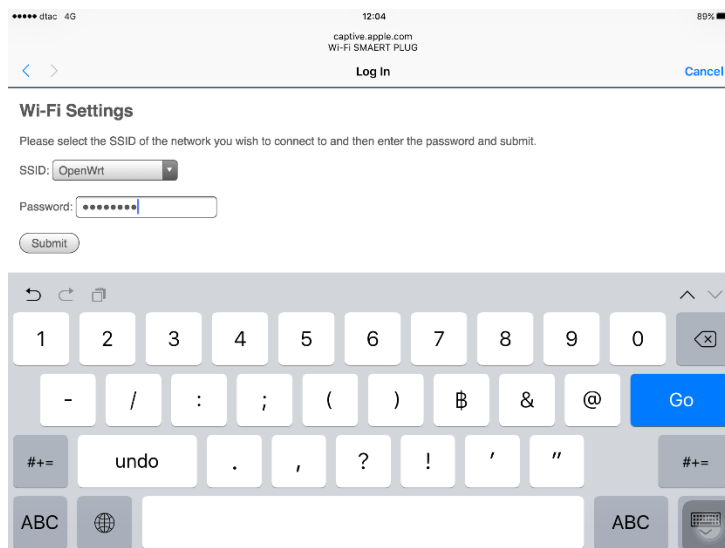


รูปที่ 34 แสดงการเชื่อมต่อ "Wi-Fi SMAERT PLUG"



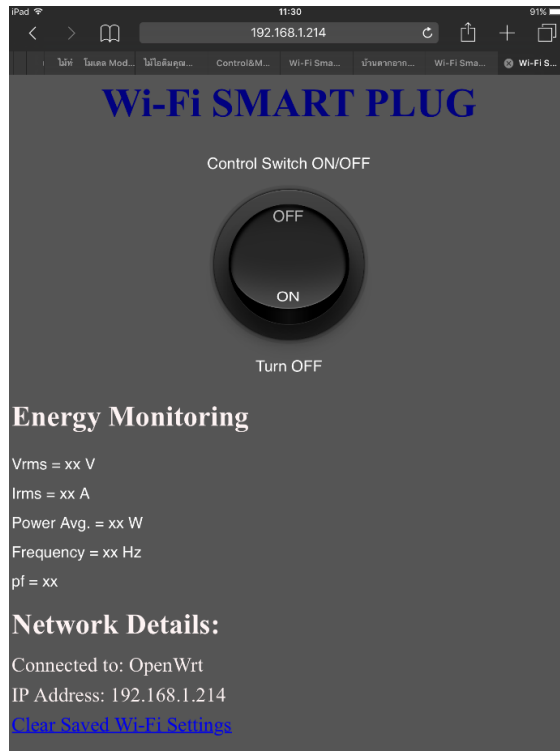
รูปที่ 35 หน้าแรกก่อนตั้งค่าไวไฟ (Wi-Fi setting)

2. จากนั้นก็เลือก SSID ที่จะเข้าถึง และใส่รหัสผ่าน แล้วก็กดปุ่ม “Submit” เพื่อเชื่อมต่อกับ AP ที่เลือก ดังรูปที่ 36 เลือก AP ที่ต้องการเข้าถึง (Access point setting)



รูปที่ 36 เลือก AP ที่ต้องการเข้าถึง (Access point setting)

3. นำ <http://xxxx.local> ที่กำหนดจากนักพัฒนาซอฟต์แวร์เพื่อเข้าถึงปลั๊กอัจฉริยะในการควบคุมการเปิดปิด และตรวจดูค่าการใช้พลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับปลั๊กอัจฉริยะ ในหน้านี้จะแสดงค่าการวัดพลังงานที่ได้, ปุ่มเลื่อนควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า, ชื่อ AP ที่กำลังเชื่อมต่อ ณ ขณะนั้น, ที่อยู่ IP (IP address) ของอุปกรณ์ปลั๊กอัจฉริยะ และสุดท้ายก็คือ การยกเลิกหรือเปลี่ยน AP ใหม่ให้ปลั๊กอัจฉริยะเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 37 หน้าสถานะปลั๊กอัจฉริยะปิด (Switch off) การทำงาน และ รูปที่ 38 หน้าสถานะปลั๊กอัจฉริยะเปิด (Switch on) การทำงาน และหลังจาก on switch หลอดไฟสว่างดังรูปที่ 39



รูปที่ 37 หน้าสถานะปลั๊กอัจฉริยะปิด (Switch off) การทำงาน



รูปที่ 38 หน้าสถานะปลั๊กอัจฉริยะเปิด (Switch on) การทำงาน



CHULALONGKORN UNIVERSITY

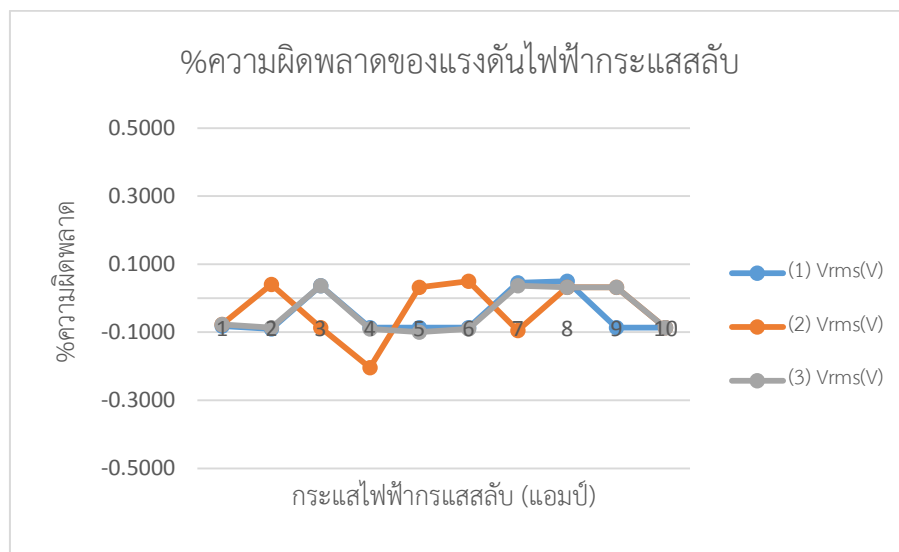
รูปที่ 39 หลอดไฟสว่างหลังจาก on Switch บนเว็บแอปพลิเคชัน

จากรูปที่ 38 จะเห็นได้ว่าค่าพลังงานเฉลี่ยที่วัดได้ 60.62 วัตต์ จากขนาดของหลอดไฟตามระบุไว้คือ 60 วัตต์, กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ 0.29 แอมป์, แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ 226.91 โวลต์, ความถี่ที่วัดได้ 50.02 เฮิรต และ ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 0.92

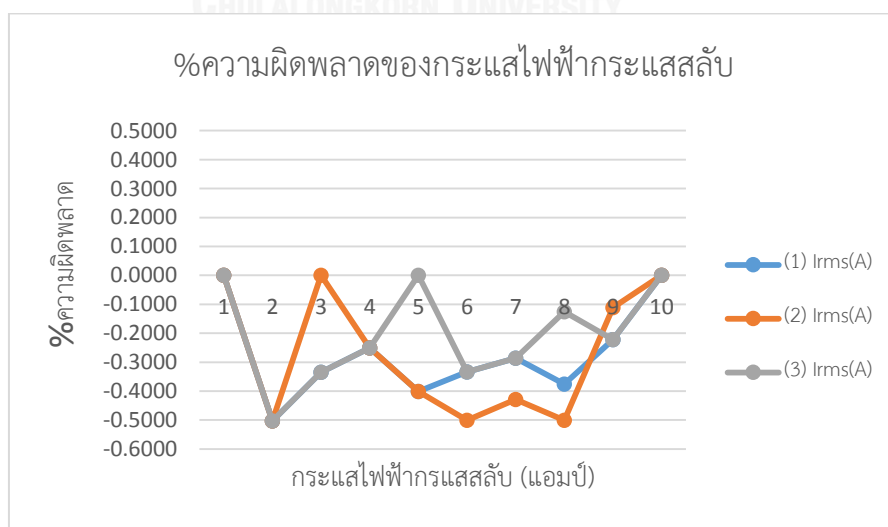
4.2.3 ผลการทดสอบของการทดสอบด้วย CAL-SOURE 200

ผลที่วัดจากการทดสอบวัดค่าพลังงานไฟฟ้าระหว่างปลั๊กอัจฉริยะกับเครื่องวัดพลังงานอ้างอิง (PSR 1.3 reference meter) จำนวน 3 ครั้ง เพื่อการทดสอบความแม่นยำในการวัดของปลั๊กอัจฉริยะ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 40 กราฟของผลเปรียบเทียบของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ, ดังรูปที่ 41 กราฟของผลเปรียบเทียบของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ, ดังรูปที่ 42 กราฟของผลเปรียบเทียบของ

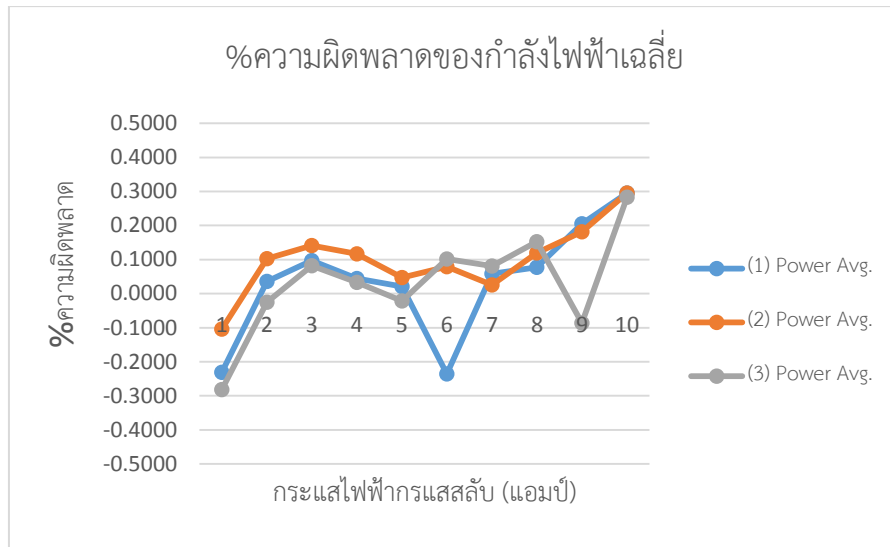
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยไฟฟ้ากระแสสลับ และดังรูปที่ 43 กราฟของผลเปรียบเทียบของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ผลของกราฟแต่ละกราฟในการวัดค่าของปลั๊กอัจฉริยะกับเครื่องวัดพลังงานอ้างอิง เปรียบเทียบกันได้อ่านเป็นกราฟที่แสดงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของแต่ละแฟกเตอร์ จากกราฟ จะเห็นได้ว่าข้อมูลทั้งสองชุดระหว่างปลั๊กอัจฉริยะกับเครื่องวัดพลังงานอ้างอิง มีค่าใกล้เคียงกันจน เกือบจะเท่ากัน ดังแสดงตามรูปข้างล่าง และจะเห็นได้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของค่าที่วัดได้ จากปลั๊กอัจฉริยะไม่เกิน 0.5%



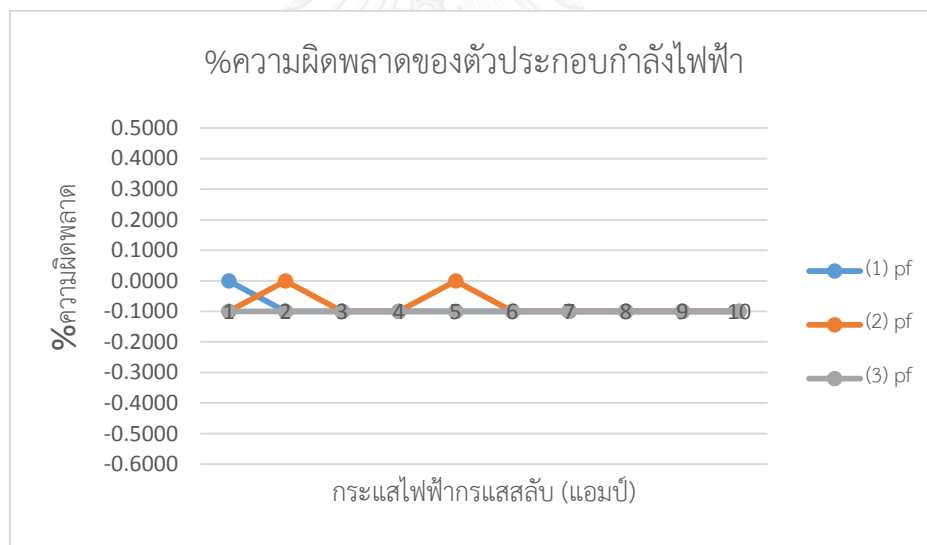
รูปที่ 40 กราฟของผลเปรียบเทียบของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 41 กราฟของผลเปรียบเทียบของกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 42 กราฟของผลเปรียบเทียบของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 43 กราฟของผลเปรียบเทียบของตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

4.2.4 ผลการทดลองการวัดการใช้พลังงานของปลั๊กอัจฉริยะ

ผลการทดลองการใช้พลังงานของปลั๊กอัจฉริยะที่ไม่มีการวัดพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า (Load) และไม่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อกับปลั๊กอัจฉริยะที่ได้ดังรูปที่ 1 เป็นค่าพลังงานรวมของปลั๊กอัจฉริยะ 3 ตัว



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 44 ค่าพลังงานของปลั๊กอัจฉริยะ 3 ตัว

การคำนวณค่าพลังงานขณะที่ไม่มีการวัดพลังงานและเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต

จากรูปที่ 1 อ่านค่า กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย(ปลั๊กอัจฉริยะ3 ตัว) = 6.72 วัตต์

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (ปลั๊กอัจฉริยะ1 ตัว)} &= \frac{\text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย(ปลั๊กอัจฉริยะ3 ตัว)}}{3} \\ &= \frac{6.72}{3} \\ &= 2.24 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

จากการคำนวณจะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของปลั๊กอัจฉริยะ 1 ตัว ประมาณ 2.24 วัตต์

การคำนวณอัตราค่าไฟต่อปี

จากสมการความสัมพันธ์ที่ 6 สามารถคำนวณการหาจำนวนยูนิตที่ใช้ต่อ 1 วัน คิดเป็น 24 ชั่วโมง ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนหน่วย (Unit)} &= \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)} \times \text{จำนวนเครื่องที่ใช้งาน}}{1000} \times \text{จำนวนที่ใช้งานใน 1 วัน} \quad (6) \\ &= \frac{2.24 \times 1}{1000} \times 24 \\ &= 0.05376 \text{ หน่วยต่อวัน} \end{aligned}$$

ดังนั้น 1 วัน ปลั๊กอัจฉริยะใช้ไฟฟ้าไป 0.05376 หน่วย

ถ้า 1 เดือน ปลั๊กอัจฉริยะใช้ไฟฟ้าไป 0.05376×30 (วัน) = 1.6128 หน่วย

ถ้า 1 ปี ปลั๊กอัจฉริยะใช้ไฟฟ้าไป 1.6128×12 (เดือน) = 19.3536 หน่วย

การคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าที่ใช้งานนี้ได้อ้างอิงอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วย จากการไฟฟ้านครหลวง โดยการเลือกประเภทเป็นประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย ซึ่งมีอัตราค่าไฟต่อหน่วยเท่ากับ 2.3488 บาท

ดังนั้น อัตราค่าไฟฟ้าต่อปีจะเท่ากับ $19.3536 \times 2.3488 = 45.4577$ บาทต่อปี



บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัย

5.1 สรุปผล

ปลั๊กอัจฉริยะในงานวิจัยนี้ เราสามารถใช้ปลั๊กอัจฉริยะเพื่อควบคุม และตรวจสอบการใช้พลังงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางเว็บแอปพลิเคชันโดยอุปกรณ์สื่อสาร เช่น สมาร์ทโฟน, ไอแพด, แท็บเล็ต ฯลฯ สามารถตัดหน้าสัมผัสรีเลย์อัตโนมัติทันที และมีเสียงเตือนให้ผู้ทราบถึงเหตุการณ์เมื่อมีกระแสเกิน 10 แอมป์ เพื่อป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหาย และนอกจากนี้ปลั๊กอัจฉริยะในงานวิจัยนี้ควบคุมอุปกรณ์ผ่านทางอุปกรณ์สื่อสารจากภายนอกโดยช่องทางอินเทอร์เน็ตได้อีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สามารถนำปลั๊กอัจฉริยะไปทำงานร่วมกับระบบการจัดการพลังงานภายในงานอาคารได้เพื่อจัดการการใช้พลังงานของแต่ละอุปกรณ์ไฟฟ้า
2. สามารถปรับปรุงการแสดงค่าพลังงานให้มีลูกเล่นมากขึ้น โดยอาจจะแสดงค่าพลังงานที่วัดเป็นกราฟการเปลี่ยนแปลงของแต่ละเวลา
3. สร้างเครื่องบริการ (server) เพื่อบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานในแต่วัน เพื่อวิเคราะห์ผลและจัดการพลังงาน
4. ลดต้นทุนในการผลิตปลั๊กอัจฉริยะ โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์บางอย่างที่มีค่าสูง เช่น เปลี่ยนรีเลย์, เปลี่ยนชิปวัดพลังงาน เป็นต้น

รายการอ้างอิง

- [1] A. H. Shajahan, Anand, A., "Data acquisition and control using Arduino-Android platform Smart plug," presented at the in Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS), International Conference on 2013.
- [2] H. Morsali, Shekarabi, S.M., Ardekani, K., Khayami, H., Fereidunian, A., Ghassemian, M., Lesani, H., "Smart plugs for building energy management systems," presented at the in Smart Grids (ICSG), 2nd Iranian Conference on, 2012.
- [3] A. Engineering. (2004, May 5). *Instrument transformer*. Available: <http://www.aida-engineering.co.th/download/subs/ch05.pdf>
- [4] P-Team-Group. (2016, May 5). *Current transformer*. Available: <http://www.pteamengineer.com/articles/346263/current-transformer.html>
- [5] Thaieasyelec. (2012, May 5). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ *Current Sensor* (เซ็นเซอร์วัดกระแส). Available: <http://www.thaieasyelec.com//article-wiki/review-product-article/ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับ-current-sensor-เซ็นเซอร์วัดกระแส.html>
- [6] Thaieasyelec. (2015, Oct 19). ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมรับ-ส่งข้อมูลผ่านทาง *SPI*. Available: [http://thaieasyelec.com/article-wiki/embedded-electronics-application/ บทความการพัฒนาโปรแกรมบน-raspberry-pi-ด้วย-qt-ตอนที่-8.html](http://thaieasyelec.com/article-wiki/embedded-electronics-application/บทความการพัฒนาโปรแกรมบน-raspberry-pi-ด้วย-qt-ตอนที่-8.html)
- [7] Wikipedia.org. (2015, Oct 19). *Relay*. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/รีเลย์>
- [8] Inventor.in. (2015, Oct 19). *Latching-relay*. Available: <http://www.inventor.in.th/home/แลทชิ่งรีเลย์-latching-relay/#.ViXzLX4vflU>
- [9] Blogspot. (May 5). การสื่อสารข้อมูลและเครือข่าย (*Fundamental of Data Communications and Networks*). Available: <http://dome-comnetwork.blogspot.com/p/16.html>
- [10] wikipedia.org. (2015, May 5). *Ajax*. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/เอแจ็กซ์>
- [11] mastersatcom.com. (2013, May 5). ความรู้ในการ *Forward Port*. Available: <http://www.mastersatcom.com/pages/how-to-forward-port.html>

- [12] Portforward.com. (May 5). *How To Port Forward a Router*. Available: <http://portforward.com/help/portforwarding.htm>
- [13] seeedstudio. (2015, Oct 19). *NodeMCU v2 - Lua based ESP8266 development kit*. Available: <http://www.seeedstudio.com/depot/NodeMCU-v2-Lua-based-ESP8266-development-kit-p-2415.html>
- [14] Thaieasyelec. (2015, Oct 19). *ESP-WROOM02*. Available: <http://www.thaieasyelec.com/products/wireless-modules/wifi-modules/esp-wroom-02-wifi-serial-transceiver-module-esp8266-detail.html>
- [15] loxhop.com. (2016, May 5). *WeMos D1 mini Lua WIFI IoT ESP8266 Development Board*. Available: <http://www.ioxhop.com/product/190/wemos-d1-mini-lua-wifi-iot-esp8266-development-board>
- [16] wemos.cc. (May 5). *D1 mini*. Available: http://www.wemos.cc/Products/d1_mini.html
- [17] Arduinoall.com. (2016, May 5). *WiFiMCU Development Board with EMW3165*. Available: <http://www.arduinoall.com/product/1024/wifimcu-development-board-with-emw3165>
- [18] STMicroelectronics. (2015, Oct 19). *STPM01 Datasheet*. Available: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00044094.pdf>
- [19] R. U. o. T. Lanna. (2015, Oct 19). *Voltage Multiplier*. Available: <http://niponw.rmutl.ac.th/04220205/PDF/Lab6.pdf>
- [20] ภ. ภากรณ. (2010, July 5). ประวัติความเป็นมาของภาษาซี. Available: <https://sites.google.com/site/bbmm2553/prawati-khwam-pen-ma-khxng-phasasi>
- [21] ก. โรงเรียนคลองท่อมราชภัฏรำงสรรค์. (July 5). การสร้างเว็บด้วยภาษา HTML. Available: <http://www.kts.ac.th/kts/kanghan/html/unit201.html>
- [22] mindphp.com. (2013, July 5). CSS คืออะไร. Available: <http://www.mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/2193-css-คืออะไร.html>
- [23] mindphp.com. (2014, July 5). JavaScript คืออะไร จาวา สคริปต์ คือ ภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการเขียนโปรแกรมบนระบบอินเทอร์เน็ต. Available: <http://www.mindphp.com/คู่มือ/73-คืออะไร/2187-java-javascript-คืออะไร.html>





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมของงานวิจัยนี้

1. ภาษาซี

ภาษาซี (C) เป็นภาษาที่ใช้การเขียนโปรแกรมพื้นฐาน ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ ได้มากมาย ไม่ว่าจะเป็นระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ ระบบทางคณิตศาสตร์ โปรแกรมทางไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น โปรแกรม MATLAB (The MathWorks - MATLAB and Simulink for Technical Computing) ซึ่งเวลาใช้สามารถพิมพ์ชุดคำสั่งภาษาซีเพิ่มเข้าไปใน โปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อประมวลผลทางสัญญาณไฟฟ้า และทางไฟฟ้าสื่อสารก็ได้ ซึ่งจะ ทำให้ประสิทธิภาพของงานที่ทำดียิ่งขึ้น [20]

2. ภาษาเอชทีเอ็มแอล

ภาษาเอชทีเอ็มแอล (HyperText Markup Language) เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ภาษาหนึ่งที่ใช้ สร้างเอกสารเว็บเพจเพื่อนำเสนอข้อมูลข่าวสารบนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่เป็นลักษณะเหมือน ใยแมงมุม ซึ่งจะสามารถเชื่อมต่อกันทั่วโลก โครงสร้างการเขียนของภาษานั้นจะอาศัยตัวกำกับเรียกว่า แท็ก (Tag) หรือป้ายระบุการแสดงผล เป็นตัวควบคุมการแสดงผลของข้อความ รูปภาพ หรือวัตถุอื่น ที่แสดงผลผ่านทาง โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) [21]

3. ภาษาซีเอสเอส

ภาษาซีเอสเอส (Cascading Style Sheet) คือ ภาษาที่ใช้เป็นส่วนของการจัดรูปแบบการ แสดงผลเอกสารเอชทีเอ็มแอล โดยที่ซีเอสเอสจะกำหนดกฎเกณฑ์ในการระบุรูปแบบของเนื้อหาใน เอกสาร ได้แก่ สีของข้อความ สีพื้นหลัง ประเภทตัวอักษร และการจัดวางข้อความ ซึ่งการกำหนด รูปแบบนี้ใช้หลักการของการแยกเนื้อหาเอกสาร เอชทีเอ็มแอลออกจากคำสั่งที่ใช้ในการจัดรูปแบบ การแสดงผลโดยกำหนดให้รูปแบบของการแสดงผลเอกสาร ไม่ขึ้นอยู่กับเนื้อหาของเอกสาร เพื่อให้ ง่ายต่อการจัดรูปแบบการแสดงผลลัพท์ของเอกสารเอชทีเอ็มแอล โดยเฉพาะในกรณีที่มีการ เปลี่ยนแปลงเนื้อหาเอกสารบ่อยครั้ง หรือต้องการควบคุมให้รูปแบบการแสดงผลเอกสารเอชทีเอ็ม แอลมีลักษณะของความสม่ำเสมอทั่วกันทุกหน้าเอกสารภายในเว็บไซต์เดียวกัน [22]

4. ภาษาจาวาสคริปต์

ภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript) คือ ภาษาคอมพิวเตอร์สำหรับการเขียนโปรแกรมบนระบบ อินเทอร์เน็ตที่กำลังได้รับความนิยมอย่างสูงจาวาสคริปต์เป็น ภาษาสคริปต์เชิงวัตถุซึ่งในการสร้างและ พัฒนาเว็บไซต์ (ใช้ร่วมกับ เอชทีเอ็มแอล) เพื่อให้เว็บไซต์ของคู่มือการเคลื่อนไหว และสามารถ ตอบสนองกับผู้ใช้งานได้มากขึ้น ซึ่งมีวิธีการทำงานในลักษณะ "แปลความและดำเนินงานไปที่ละคำสั่ง"

(interpret) หรือที่เรียกว่า อ็อบเจ็กต์โอเรียนเตด (Object Oriented Programming) ที่มีเป้าหมายในการออกแบบ และพัฒนาโปรแกรมในระบบอินเทอร์เน็ต สำหรับผู้เขียนด้วยภาษาเอชทีเอ็มแอลสามารถทำงานข้ามแพลตฟอร์มได้ โดยทำงานร่วมกับภาษาเอชทีเอ็มแอล และภาษาจาวา ได้ทั้งทางฝั่งไคลเอนต์ (Client) และ ทางฝั่งเซิร์ฟเวอร์ (Server)

เนื่องจากจาวาสคริปต์ ช่วยให้ผู้พัฒนา สามารถสร้างเว็บเพจได้ตรงกับความต้องการ และมีความน่าสนใจมากขึ้น ประกอบกับเป็นภาษาเปิด ที่สามารถนำไปใช้ได้ ดังนั้นจึงได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง และมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง การทำงานของจาวาสคริปต์ จะต้องมีการแปลความคำสั่ง ซึ่งขั้นตอนนี้จะถูกจัดการโดยบราวเซอร์ ดังนั้น จาวาสคริปต์ จึงสามารถทำงานได้ เฉพาะบนบราวเซอร์ที่สนับสนุน ซึ่งปัจจุบันบราวเซอร์เกือบทั้งหมดก็สนับสนุนจาวาสคริปต์แล้ว [23]



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเยาวลักษณ์ ทองขาว เกิดวันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จาก มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขต หาดใหญ่ ในปีการศึกษา 2552 และศึกษาต่อในระดับ หลักสูตรวิศวกรรมมหาบัณฑิต ภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

